

「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業」
中間評価報告書

2021年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2021年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業」
中間評価報告書

2021年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-5
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-18
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第64回研究評価委員会（2021年3月1日）に諮り、確定されたものである。

2021年3月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2020年12月17日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 第64回研究評価委員会（2021年3月1日）

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」

中間評価分科会委員名簿

(2020年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	いいやま あきひろ 飯山 明裕	山梨大学 特任教授 燃料電池ナノ材料研究センター センター長
分科会長 代理	おがた ゆうじ 緒方 雄二	国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 研究部門長
委員	おがた しげのぶ 尾方 成信	大阪大学 大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 教授
	さくらい てるひろ 桜井 輝浩	燃料電池実用化推進協議会 企画部 部長
	はらだ ふみよ 原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 ストラクチャードファイナンス部長
	まつおか よしはる 松岡 美治	日本水素ステーションネットワーク合同会社 担当部長
	まるた あきてる 丸田 昭輝	株式会社テクノバ エネルギー研究部 エネルギー技術調査グループ グループマネージャー

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

世界における水素エネルギー利用に対する戦略的研究開発の取り組みの現状、国内における水素基本戦略、技術ロードマップなどが提示されている状況において、水素ステーションの普及拡大は、避けて通ることができない社会インフラに関する重要課題であり、本事業の目的は妥当である。また、内外の政策動向や技術動向の変化を把握し、新たに必要と考えられる課題を追加で公募して実用化するなどのマネジメントが適切に行われていることは高く評価できる。さらに、超高圧水素ステーションの無人運転化や、新たな水素特性判断基準の導入などにおいて、リスクアセスメントやデータベース化した成果で安全を担保しつつ、コストと両立できる成果があがっており、世界的にも極めて価値が高く、評価できる。

今後は、超高圧水素のインフラを普及させていく上で、障害となる他者による特許権利化を適切に避け、本成果を有効に活用して国際競争力や市場開拓に役立つ国際連携に活用できるよう、公開できるデータベースの運用・活用体制の構築に継続して取り組むとともに、NEDOの分析機能やリーダーシップ発揮が今まで以上に図られることを期待したい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業は、燃料電池自動車及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と燃料電池自動車関連産業の競争力向上のために、規制見直しに関わる技術開発、水素ステーションの設備費と運営費のコスト低減などに関連する研究開発、国際調和などの国際展開に係る研究開発動向調査を実施しており、目的は適切であると言える。

2050年のゼロエミッション社会の実現に向けて、水素・燃料電池技術はエネルギー政策上重要度が高い一方、水素供給インフラについては、燃料電池自動車の黎明期において市場が限られるために民間での開発リスクが大きく、また、何らかの規制がなければ、総合的に安価なエネルギーが選択されやすいため、価格競争力が付くまでの期間はインキュベーションが必要であり、NEDOのような公的機関の関与は必須である。

2. 2 研究開発マネジメントについて

水素ステーションの整備費や運営費の低コスト化に資する要素技術が網羅され、実施者として我が国のトップレベルの企業や研究機関および大学などが適切に選択され、また、ユーザーが業界団体等として関与する体制が構築されていることは、評価できる。さらに、海外の商用車向け水素ステーション整備の加速化の動きに対応して、新たな課題を追加公募し実施するなど、適切に内外の政策や技術の動向を把握し迅速に対応をとっていることも、高く評価できる。

一方、目標設定に関しては、整備費・運営費の削減等の目標は総合的なものであり、個々の要素が適切に構成され管理されることが必要ある。本事業は、商用ステーションの設置と

並行して技術開発を進めるという特殊性から、開発成果の反映にはスピード感が求められる一方で、将来に向けた着実な成果も求められる。また、開発項目の選定や開発スケジュールの的確な設定、さらには技術の公開・標準化によってコスト低減をはかるべきテーマか、独自性を保つことによって競争力を維持するべきテーマかの適切な選別等、NEDO のマネジメントに期待したい。

2. 3 研究開発成果について

プロジェクト全体としておおむね中間目標を達成し、個別テーマでやや遅れているとされるものも、具体的な方針が明確になっており、妥当と言える。また、これまでで根拠が曖昧なまま安全側で設定されていた材料選定の基準を、地道な基礎研究によって、より具体的な基準に焼き直し、汎用材料を広い温度や圧力条件で利用できることを実証することで、水素ステーションのコスト低減に向けた具体的な開発成果が得られたことは、高く評価できる。

今後、国内外で水素戦略をリードするためには、知的財産権の出願・審査請求・登録を、競合国や競合企業との関係を考慮して適切に実施していただくとともに、各国の R&D 情報を吸い上げ、新規アイデアの採択と率先実施等により、国際的に優位性のある技術やコンセプトの育成も行っていくことを期待したい。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

国内規制適正化に関わる技術開発は、技術基準案の作成、評価方法の確立、技術文書の改訂など、また、水素ステーションのコスト低減などに関連する技術開発は、規格案の作成、試験計画、ISO への提案など、事業ごとに成果の実用化のために適切な手段をそれぞれとっており、評価できる。特に鋼種拡大は、安全を担保するデータベースをもとに使用可能種類を拡大する成果がでており、低コスト材の使用による水素ステーション整備費用の低減のみならず、国際的にも標準・基準などへの波及効果が大きなものになると期待される。

一方、製品の国内での社会実装に加え、国外へのインフラ輸出も視野に入れ、市場調査、競合技術評価、市場機会分析といった、世界市場の分析と国際展開に必要な戦略情報のさらなる収集が望まれる。

また、本事業への理解促進、支援の継続・拡大や水素ステーション事業化への産業界の意欲を維持・増大させるために、事業成果全体をまとめて、水素ステーションの設置費用・運営費用が政府などの目標に対してどの程度にまで到達／到達見込み／到達可能性があるのかを、必要に応じてわかりやすく示すことが望まれる。

研究評価委員会委員名簿

(2021年3月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 参与・名誉教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	株式会社日経 BP 日経バイオテック編集 シニアエディター
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まきひこ 平尾 雅彦	東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	東海国立大学機構名古屋大学 名誉教授
よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員	

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第64回研究評価委員会（2021年3月1日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 水素ステーションの普及には、技術的課題、コスト的課題、適切な規制、社会の受容度、さらには世界的動向等、多岐にわたる大きな課題があるが、是非これらの課題の解決に向けて、NEDOには先導的な役割を果たしていただきたい。また特にプロジェクト後半では自立展開可能なインフラ実現に向けた着実な展開を期待したい。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

世界における水素エネルギー利用に対する戦略的研究開発の取り組みの現状、国内における水素基本戦略、技術ロードマップなどが提示されている状況において、水素ステーションの普及拡大は、避けて通ることができない社会インフラに関する重要課題であり、本事業の目的は妥当である。また、内外の政策動向や技術動向の変化を把握し、新たに必要と考えられる課題を追加で公募して実用化するなどのマネジメントが適切に行われていることは高く評価できる。さらに、超高压水素ステーションの無人運転化や、新たな水素特性判断基準の導入などにおいて、リスクアセスメントやデータベース化した成果で安全を担保しつつ、コストと両立できる成果があがっており、世界的にも極めて価値が高く、評価できる。

今後は、超高压水素のインフラを普及させていく上で、障害となる他者による特許権利化を適切に避け、本成果を有効に活用して国際競争力や市場開拓に役立つ国際連携に活用できるよう、公開できるデータベースの運用・活用体制の構築に継続して取り組むとともに、NEDOの分析機能やリーダーシップ発揮が今まで以上に図られることを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 本事業の位置づけや必要性は非常に重要であり、研究開発マネジメントは適切になされ、優れた成果があがり、実用化に向けた取り組みや見通しも明確である。
- ・ 特に、超高压水素ステーションの無人運転化や、新たな水素特性判断基準の導入などにおいて、リスクアセスメントやデータベース化した成果で安全を担保しつつコストと両立できる成果を挙げていることは、高く評価される。
- ・ 内外の政策動向や技術動向の変化を把握し、新たに必要と考えられる課題を追加で公募して事業化するなどのマネジメントが適切に行われていることも高く評価できる。
- ・ 研究計画に従い研究開発の目標を設定し、適切な研究マネジメント管理から研究成果、研究成果の実用が進んでいることを確認した。また、本事業は政府目標である2050年温室効果ガス排出ゼロに向けた重要な技術開発であり、実用化が期待できる。
- ・ 世界における水素エネルギー利用に対する戦略的研究開発の取り組みの現状、国内における水素基本戦略、METIロードマップなどが提示されている状況において、水素ステーションの普及拡大は避けて通ることができない社会インフラに関する重要課題であり、本事業の目的は妥当である。社会インフラに関する公共性の高い事業であり、NEDOが積極的に関与して、陣頭指揮を執るべき事業である。投じた研究開発費に対する効果については、ステーションの整備費、運営費の低減により、長期的な視点に立てば、十分に見込めるものと思われる。2025年までに、整備費を2億、運指費を1.5千万（年間）の削減、さらには個別機器のコスト低減を達成するという目標を明確に設定し、それに向けた戦略的かつ組織的なマネジメントが行えている。目標値についても、現在の技術動向を詳細に把握した上で、個別の技術課題の目標にブレイクダウンし、比較的容易に達成できるものと、挑戦的なものとを明確に認識し、その挑戦性

に応じたスケジュール管理、さらには開発費の投入を行っている。大学、公的研究機関、企業がそれぞれの強みを活かして連携できており、実施体制が機能していることを示している。水素ステーションの安全性に関する知見、材料の利用範囲に関する知見、さらにはシール部材や継手部材の新しい材料開発など、成果の実用化に向けた具体的な取り組みが明確に設定され、それぞれにおける課題を明確にし、それらひとつひとつを着実に解決している。安全性を担保した上での水素ステーションのコスト低減は、水素ステーションの増加やFCVの普及を通じて社会に与える影響も大きく、また、国際社会の中で水素技術における日本のプレゼンスを明確に示すためにも極めて重要な課題である。プロジェクトの中間地点においてコスト低減が達成される見通しが十分にあり、期待が膨らむ。

- 本事業は水素ステーションを社会実装するための低コスト化のための重要な事業であり、事業の目標も適切に設定されており、NEDOが関与する意義に照らし合わせても正しく、NEDOのこれまでの知識と実績を活用して推進すべき事業と言える。事業の実用化のための戦略・手段もそれぞれ適切に選択され、規制見直し、低コスト化で水素ステーションの普及拡大と自立化支援が期待でき、国際協調・連携により水素産業の活性化が期待でき、概ね自己評価の通りの成果を達成していると言える。また、事業の隙間を埋めて総合的に成果を出せるものも取りこぼすことなく事業を遂行するNEDOの管理は、特に評価できる。以上のことから、変更を必要とする既存の本事業の部分はほとんどなく、最終目標に向けて事業を計画通り継続してよいと考える。
- 燃料電池自動車とそれを支えるインフラである水素ステーションの自立拡大には、当事業が支援する技術開発研究は不可欠である。一方、初期の市場規模は限定的で民間単独で開発リスクを全面的に負うことは困難であり、かつ、規制の見直しも同時に進める必要があることから、当事業はNEDO事業として産学官の連携の下、推進すべきものである。全般的に重要事項が網羅され、目標設定も明確であり、大多数の研究が中間目標を達成していることから、スケジュール及び研究開発費配分、また実施者の選定も妥当であったと考えられる。金属の機械的特性で新たな指標が確認された事例や、高圧水素ホース加速耐久性評価法の検討等、世界に先駆けて成果を出しつつある事業も見受けられ、また無人運転、保安監督者の兼任についても省令や基本通達に反映されたこと等は高い評価に値する。
- 本事業は、水素インフラのコスト低減と普及に対して重要であり、成果も着実に出ていると評価される。
- 水素ステーション展開として欧米と肩を並べるために最低限必要なR&Dは実施されている。またホースやシール材、また鋼材などは、世界に展開できる実績を上げている。
- 今後実施される新規テーマ（センサー、分析装置）は、コンセプト的には興味深いものがある。

<改善すべき点>

- 事業成果全体をまとめて、水素ステーションの設置費用・運営費用が政府などの目標に対してどの程度にまで到達／到達見込み／到達可能性があるのかを示し、必要に応じてわかりやすく示してほしい。本事業への理解促進、支援の継続・拡大や水素ステーション事業化への産業界の意欲を維持・増大させるためにも望まれる。
- 特に、改善すべき点はないが、新型コロナウイルスの影響を考えられるが、本研究開発は、着実に進めて頂きたい。
- 成果の見せ方に工夫をお願いしたい。事業ごとに詳細に見て成果を積み上げればわかることだが、容易に全体がわかるように工夫して欲しい。水素ステーションの整備、運用コストの全体を俯瞰できるようにすれば、コストダウンのために律速になるものの抽出や情報共有のために有効である。そして、その推移の見える化を行えば事業による成果の把握にも役に立つと思料する。
- 各々の研究が重複なく進められている一方、将来のコスト低減を導くような実施者間の競争の仕組みがない。知的財産権に関する取扱いは原則として実施者に委ねられているが、統一的な見地からの戦略が必要ではないか。各要素研究の具体的なコスト削減が必ずしも定量的に示されておらず、そのため事業間の優先順位が分かりにくい。また、論文発表方法、一般に向けた分かりやすい情報発信、成果の普及方策については更に検討、改善の余地があると思われる。
- 一方で、先の事業開始から実用化までは長期に亘り、その間に事業環境の変化があることを考えると、設定目標の見直し等にフレキシブルに対応することが重要であると考え。
例えば、開発の指標となっている 300Nm³/h は、設定当時（2010 年台初め）の平均的ガソリン SS の油量（ガソリン+軽油）取扱量は、水素換算で 800Nm³/h 程度であったが、現状では 3,000Nm³/h 弱となっている等。
- R&D の司令塔として、NEDO の分析機能やリーダーシップ発揮が今まで以上に望まれている。

<今後に対する提言>

- 今後も内外の政策動向・技術動向の変化は大きいと思われることから、産業界や国とよく相談して必要な課題を追加で公募するなどのマネジメントの対応を継続してほしい。
- 中間評価で抽出された課題について、一企業では対応のリスクが高いものについてはその波及効果の大きさも加味しながら取り組みを工夫して、課題解決の取り組みを維持・継続・促進して当初の目標レベルでの実用化につながるようにしてほしい。
- 本事業の成果は、超高压水素インフラ普及に有効な安全とコストを両立する成果として、世界的にも極めて価値が高い。そのため実施する上での障害となる他者による特許権利化を適切に避けるとともに、本成果を有効に活用して国際競争力や市場開拓に役立つ国際連携に活用できるよう、公開できるデータベースの運用・活用体制の構築

に継続して取り組んでほしい。

- クリーンエネルギーとして注目されている水素であるが、安全面からの検証は不可欠である。特に、高圧水素や液化水素が大量に導入されることが想定できることから、水素の大量導入に向けてシナリオを検討する必要がある。
- 先ほども述べたとおりであるが、溶接技術、ホースやシール材の開発において、まだ開発に時間を要する課題が残されているように思われる。他の開発課題からこちらに力点を移していくなどのリバランスの工夫が必要ではないかと思われる。
- 脱炭素社会の実現のために、用途の多様化は必須である。定置用と乗用車から、トラック、フォークリフト、鉄道等への用途拡大を想定し、そのための水素ステーション用機器の仕様変更等の開発補助、液体水素利用のための技術開発・規制見直しを行うための事業を追加するなどの本事業の拡充をお願いしたい。
- きめ細かに最新の政策動向、世界の主要プレイヤーの技術開発の進展を正確に把握し、わが国の強みを活かしながら、国際協調と戦略分野での国際競争のバランスを取りつつ対応してゆくことを期待する。国際標準化によってマーケットを確保する事業と、独自性を保つことによってわが国の競争力を維持すべき事業を選別しつつ、前者については確実に実施していただきたい。また、各種要素研究において、研究コスト回収と成果の最大利用という趣旨から、水素ステーション以外の分野でも活用できる可能性を常に追求していただきたい。また、商用車を含めた乗用車以外のモビリティへの活用のためにはさらにどのような条件が必要か、今後の課題として念頭に置いていただきたい。
- 事業の成果は出ているものの、それが事業全体の目標（整備費・運営費の低減）に対してどのように寄与しているか、また、目標に対する達成度はどうかと言った、成果の見える化が必要と考える。
- 今後は水素インフラの大規模化、HDV 対応が必須になる中、液化水素技術は大きなテーマとなる。その場合、NEDO の水素社会構築技術開発事業（水素サプライチェーン構築）とも連携し、オールジャパンで知見を共有する仕組みが望まれる。現状では、水素ステーションなどの道路交通関連の水素事業が中心になっているが、今後船舶分野や鉄道、ドローン分野などの新規アプリケーション分野の拡大が予想される。欧米では特に水素インフラとしてアプリケーション分野を区別していないが、日本は縦割り行政になりがちであり、道路交通以外の分野は NEDO でも実施できていない。今後 10 年の展開を考えた場合、道路交通の技術・知見の他アプリケーション分野への展開があってしかるべきであり、NEDO もそれを見据えた展開が必要である。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業は、燃料電池自動車及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と燃料電池自動車関連産業の競争力向上のために、規制見直しに関わる技術開発、水素ステーションの設備費と運営費のコスト低減などに関連する研究開発、国際調和などの国際展開に係る研究開発動向調査を実施しており、目的は適切であると言える。

2050年のゼロエミッション社会の実現に向けて、水素・燃料電池技術はエネルギー政策上重要度が高い一方、水素供給インフラについては、燃料電池自動車の黎明期において市場が限られるために民間での開発リスクが大きく、また、何らかの規制がなければ、総合的に安価なエネルギーが選択されやすいため、価格競争力が付くまでの期間はインキュベーションが必要であり、NEDOのような公的機関の関与は必須である。

<肯定的意見>

- ・ 我が国の水素基本戦略やエネルギー基本計画、水素・燃料電池戦略ロードマップ等に位置付けられた目標を達成するために、水素ステーションの規制見直しや低コスト機器開発等は必須であり、本事業は非常に重要である。
- ・ 海外においても、水素ステーションに関連する産業競争力を強化するための政策の取り組みが加速している。海外市場や海外製品への対応も含め、国際基準調和・国際標準化を通じた国際競争力の確保・強化の必要性が高まっており、本事業は非常に重要である。
- ・ 水素ステーションの普及拡大には規制見直しが必要であり、また低コスト化に向けた技術開発をFCV普及初期の限られた市場環境で実施することから民間単独では開発リスクが大きいため、NEDO事業として推進すべき事業である。
- ・ 水素ステーション関連売り上げ予測や水素燃料売り上げ予測は、事業で投じる研究開発費用に比べて十分に大きい。
- ・ 2050年のゼロエミッション社会の実現に向けて、クリーンエネルギーとして期待できる水素利用技術の実用化が一つと解決策なると思います。このためには、本事業である超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業は、CO₂を排出しない燃料電池車の普及に不可欠な水素ステーションの実用化と普及には意義が大きいと思います。また、必要不可欠な事業と判断できます。
- ・ 世界における水素エネルギー利用に対する戦略的研究開発の取り組みの現状、国内における水素基本戦略、METIロードマップなどが提示されている状況において、水素ステーションの普及拡大は避けて通ることができない社会インフラに関する重要課題であり、本事業の目的は妥当である。社会インフラに関する公共性の高い事業であり、NEDOが積極的に関与して、陣頭指揮を執るべき事業である。投じた研究開発費に対する効果については、ステーションの整備費、運営費の低減により、長期的な視点に立てば、十分に見込めるものと思われる。
- ・ 政策が低炭素化から脱炭素化へ大きく舵が切られ、本事業の目的の重要性は事業開始

時よりさらに増している。このような状況の下、米国、ドイツ、中国等の FCV、水素ステーションの普及数を我が国と比較すれば、これらの国々と比較して遜色がなく、概ね当該技術の水準も劣後することはないと考えられる。これは、これまでの技術開発の蓄積によるところが大きい。本事業は、規制見直しに関わる技術開発、水素ステーションの設備費と運営費のコスト低減などに関連する研究開発、国際調和などの国際展開に係る研究開発動向調査が目的であり、燃料電池自動車及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と燃料電池自動車関連産業の競争力向上を目指すとしており、目的は適切であり、また脱炭素化の目標達成のために大きく寄与するものであると言える。

脱炭素化のために水素・燃料電池技術は、エネルギー政策上の重要度は高く、また、水素供給インフラについては FCV の黎明期においては市場が限られるために民間では開発リスクが大きい。エネルギーは、何らかの規制がなければ、総合的に安価な方が選択されやすい。技術開発等で価格競争力が付くまでの期間か、制度等の変更で価格競争力がつくまでの期間はインキュベーションが必要で、そのために NEDO のような公的機関の関与は必須である。

- 水素利活用は 2050 年カーボンニュートラル実現のための重要ミッションである。水素の様々な用途の中でも早期に本格導入が可能となる燃料電池自動車とそれを支えるインフラである水素ステーションの自立拡大には、当事業が支援する技術開発研究は不可欠である。一方、当概事業は初期の市場規模は限定的で民間単独で開発リスクを全面的に負うことは困難であるとともに、規制の見直しも同時に進める必要があることから、NEDO 事業として産学官の連携の下、推進すべきものである。
- 本研究開発事業は、国の目標である低炭素化社会の実現に向けて、水素ステーションの早期自立化を果たす上で、重要な役割を負っており、NEDO の関与も妥当と言える。
- 世界が水素展開を加速する中、水素インフラの性能向上、国際競争力向上、低コスト化は必須である。そのため、安全確保、材料開発、材料や蓄圧気等の評価手法開発は大いに評価される。また鋼材のデータ収集、ホース・シール材の開発は国際展開が期待される。

現在の事業は公共性が高く、複数の水素インフラ事業に貢献するため、NEDO が実施する意義は高い。

<改善すべき点>

- 本事業開始時に比べ内外の水素インフラ構築に対する期待が高まり、政策としての広がりが見られる。この変化に対応するため、当初の取り組み課題の確実な実施に加え新たな必要な取り組み課題を産業界や国と相談して適宜実施してきていることは、高く評価される。今後も内外の政策動向や技術動向の動きがあると考えられるため、それら変化への対応を迅速に行うことを継続・加速してほしい。
- 事業に改善すべき点は、特に見当たらない。近年、車両等の電動化は加速しているが、燃料電池車の普及等の国内外の状況に注意すべきであり、自動車等の製造業者との協

力を密にすべきである。

- 水素基本戦略は今年度見直しが行われる予定であり、水素・燃料電池戦略ロードマップについても現状の目標値から改訂される可能性がある。当事業においても必要に応じゴール設定の変更や研究項目を追加する等、柔軟な対応を検討されたい。
- 効果の算定は一律に数値化できるものではないため、費用対効果の評価は困難だが、事業評価の重要な要素でもあるため、何かしらの工夫が必要と考える。
- 事業全体の予算額は公表されているが、研究項目毎の予算額は開示されないため評価不能。この点は NEDO のマネジメントに委ねるしかない。
- ロードマップにおいて低減が必要となっているプレクーラーの低コスト化を検討するプロジェクトが必要である。
- 将来の大規模化と HDV 対応を見据え、液化水素に関わる研究開発（クライオポンプ、ディスペンサ、流量計）と安全確保のための検討が必要である。液化水素分野は米国が集中的に R&D を行っている分野なので、国際連携も強化してほしい。
- 国際の R&D 動向・政策調査は、欧米だけでなく、潜在的な競合国の深い情報（ローカル言語）を得るようにすることが必要である。

インフラは世界的な協調領域かつ競争領域であるため、実用化のスピード感が求められる。研究費の追加が研究加速につながるのであれば、それも検討されるべきである。

2. 2 研究開発マネジメントについて

水素ステーションの整備費や運営費の低コスト化に資する要素技術が網羅され、実施者として我が国のトップレベルの企業や研究機関および大学などが適切に選択され、また、ユーザーが業界団体等として関与する体制が構築されていることは、評価できる。さらに、海外の商用車向け水素ステーション整備の加速化の動きに対応して、新たな課題を追加公募し実施するなど、適切に内外の政策や技術の動向を把握し迅速に対応をとっていることも、高く評価できる。

一方、目標設定に関しては、整備費・運営費の削減等の目標は総合的なものであり、個々の要素が適切に構成され管理されることが必要ある。本事業は、商用ステーションの設置と並行して技術開発を進めるという特殊性から、開発成果の反映にはスピード感が求められる一方で、将来に向けた着実な成果も求められる。また、開発項目の選定や開発スケジュールの的確な設定、さらには技術の公開・標準化によってコスト低減をはかるべきテーマか、独自性を保つことによって競争力を維持するべきテーマかの適切な選別等、NEDOのマネジメントに期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 研究開発マネジメントは、わが国の現状を考慮した戦略的な事業目標を設定しその実現に向けた課題を実施しており、非常に良い。
- ・ スケジュール的にも、2020年の東京オリンピックを考慮したインパクトのある早期達成項目を設けるなど、意欲的である。
- ・ 水素ステーションの整備費や運営費の低コスト化に資する要素技術が網羅されている。またその実施者として我が国のトップレベルの最適な企業や研究機関および大学などが選択されている。さらに、ユーザーが業界団体等として関与する体制が構築されており、非常に良い。
- ・ 海外の商用車向け水素ステーション整備の加速化の動きに対応して新たな課題を追加公募し実施するなど、適切に内外の政策や技術の動向を把握し迅速に対応をとっていることは、高く評価できる。
- ・ 「知財の取り扱いに関する合意書」を策定し、知財運営委員会などを適切に運用して、必要な知財の取得が行われている。
- ・ 国際標準化については、本事業で得られた成果をもとに国内審議団体の活動を支援しており、WGにおけるコンビナー（議長）を獲得して国際標準化活動の主導権を握るなど、戦略的に実施されている点は高く評価できる。
- ・ 水素社会の実現に向けて、水素ステーションの普及に必要な技術的課題を選定し、戦略的な目標を設定していることは、評価できる。また、実用化に向けて期中に発生した新たな課題にも適切に対応し、研究マネジメント対応が行われていることも高く評価できる。
- ・ 2025年までに、整備費を2億、運指費を1.5千万（年間）の削減、さらには個別機器のコスト低減を達成するという目標を明確に設定し、それに向けた戦略的かつ組織的

なマネジメントが行えている。目標値についても、現在の技術動向を詳細に把握した上で、個別の技術課題の目標にブレイクダウンし、比較的容易に達成できるものと、挑戦的なものとを明確に認識し、その挑戦性に応じたスケジュール管理、さらには開発費の投入を行っている。大学、公的研究機関、企業がそれぞれの強みを活かして連携できており、実施体制が機能していることを示している。

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、研究開発目標などは適切に設定されている。また、中間評価時において研究開発の計画、実施体制などもおおむね適切に管理されていることが、中間評価分科会や資料から理解できた。進捗管理については、個別の事業からは読み取れないような 2 つの事業の成果によって一つの製品の耐久性向上につながるような事業の隙間を埋めて成果を出せるもの（充填ホースの耐久性向上のためにシール部材と耐久性評価法の二つの事業成果を活用）についても NEDO が適切に仲介しており、高く評価してよいと考える。また、今後の事業化で重要となる国際標準化等も積極的に行われていることも評価できる。
- ・ 技術開発研究対象として、材料、試験分析方法、運営等の関連技術に加え、関連規制、国際標準化等の重要事項が網羅されている。目標設定も明確であり、大多数の研究が中間目標を達成していることから、スケジュール及び研究開発費配分、また実施者の選定も妥当であったと考えられる。また、一部の事業では状況変化に合わせて臨機応変目標を変更、追加していることも評価できる。
- ・ 研究開発目標については、ベースとなる戦略ロードマップの指標自体が意欲的なものであり、帰結として、意欲的な目標となっている。
- ・ おおむね、実力があり、必要と思われる事業者が選定されている。
- ・ 公的研究機関と企業の体制はおおむね妥当である。
- ・ 国際標準化はおおむね妥当である。先導できる素材分野のコンビナを日本がとるなど、展開の点では大いに評価できる。さらなる強化を期待する。

<改善すべき点>

- ・ 知財の取り扱いは各事業者において判断が適切になされている。一方、本事業は、海外において実施が不十分な安全を確保するための検討を綿密に行っていることなどから非常に注目されており、今回公表された成果などについては特許性のあるものが含まれていないかどうかの観点でのチェックのプロセスが重要である。他者に特許化されて実施に障害が生じないように慎重を期したマネジメントの継続をお願いしたい。
- ・ 新型コロナウイルスの影響は、少ない様ですが、研究現場への負担が大きい場合もある。
- ・ 各国の市場動向を見ると、商用水素ステーション数は日本国が最多で、インフラ投資は積極的に行われていると思われる。一方、FC 乗用車の普及は、米国は日本国の 2 倍、FC フォークリフトに至っては 100 倍以上普及が進んでいる。FC バスは、日本国、米国、独国がほぼ同数であるのに対して、トラックを含めてであるが中国が突出している。このように各国が普及台数を近年急速に伸ばしていることと比較すると、日本国

内での普及はここ数年停滞気味と言わざるを得ない。FCVの普及の停滞はいずれインフラ投資に悪影響を与えかねないと思料する。走行距離の長い国でのFC乗用車の優位性は変わらないと思うが、国土が狭く、また鉄道の発達した我国では、バッテリー電気自動車の発展による市場の変化を常に捉えている必要がある。従って、バス、トラック、フォークリフト、鉄道等への用途拡大を想定し、他の用途にも適用できる水素ステーション整備の準備は重要である。

- 用途拡大のための水素ステーション用圧縮機、蓄圧器などの仕様変更等への開発補助、液体水素利用のための技術開発・規制見直し等も必要ではないかと思料する。用途拡大のための仕様変更は本技術の足腰を鍛えるために、液体水素利用技術は裾野を広げるためにも有効であると考えらる。
- 各々の研究が重複なく進められている一方、将来のコスト低減を導くような実施者間の競争の仕組みがない。知的財産権に関する取扱いは原則として実施者に委ねられているが、統一的な見地からの戦略が必要ではないか。
- 目標（例えば整備費・運営費の削減）は総体としてのものであり、それを実現するためには、個々の要素が適切に構成され管理されることが必要。一部のテーマには必要性に疑問を感じるものがある。
- 現状のR&Dでは、第一には現状の国内規制という足かせの中で「欧米に追いつく」ことが求められており、必須である。そのうえで、日本が世界をリードするための新たな目標設定（インフラの海外輸出やシミュレーションの国際共通基盤化）が求められる。特に安全分野は欧米のシミュレーションに頼るところが大きい。これは知恵次第でもあるので、数年先を見据えて、日本初の国際標準ソフトを生み出すことも検討すべき。
- 知的財産や研究開発データに関する取扱は、水素・FC分野だけでなく、蓄電池等の競合分野全体にかかわるので、NEDOとして方針をだしていただきたい。
- 成果の普及の評価項目が現状で「論文、研究発表・講演、受賞、掲載、展示会出展、特許」であるが、あまりに国内志向である。国際展開（例、国際標準提案やコンビナ確保）も加える必要がある（むしろ重みづけを大きくすべき）。

<今後に対する提言>

- 成果として得られた鋼材に関するデータベース等の構築と活用に関して、現時点での取り組み内容も含め、公開して有効に活用できるものはHPなどを整備し国際連携などにおいても有効に活用できるよう検討をすべきである。
- ゼロエミッション技術の開発は、加速することが期待されるが、水素利用技術については、国内外の情勢の変化が激しいため、迅速に対応されることを期待します。特に、世界に先駆けて新規技術を開発し、実用化する意義は大きい。今後は、液体水素の利用も考えられるが、まずは高圧水素の安全・安心な利用技術を確立し、社会実装を実現することを期待します。
- 溶接技術、ホースやシール材の開発において、まだ開発に時間を要する課題が残され

ているように思われる。他の開発課題からこちらに力点を移していくなどのリバランスの工夫が必要ではないかと思われる。

- 用途拡大のために水素ステーション用機器の仕様変更等の開発補助、液体水素利用のための技術開発・規制見直しに関連する本事業の拡充をお願いしたい。
- 世界各国は野心的な目標と共に次々と基本戦略を打ち出してきている。きめ細かに最新の各国政策動向、世界の主要プレイヤーの技術開発の進展を正確に把握しながら、わが国の強みを活かし、国際協調と戦略分野での国際競争のバランスを取りつつ対応してゆくことを期待する。また、技術の公開、標準化によってコスト低減をはかるべき事業と、独自性を保つことによってわが国の競争力を維持すべき事業とを適切に選別するよう意識されたい。
- 本事業の特殊性として、商用ステーションの設置が進む中で、並行して技術開発を進めるという状態が挙げられる。このため、開発成果の反映にはスピード感が求められる一方で、将来に向けた着実な成果も求められる。この点で、開発項目の選定や開発スケジュールの的確な設定等 NEDO のマネジメントを期待したい。
- 現在の事業においては、検討の結果として実用化が難しいとの結論を得ているものもある（例、オフサイトステーション向けの高圧水素トレーラーなど）。このように「失敗や反面教師でもよいので成果を得る」という、ある程度の失敗も許容する（その分イノベーションも加速される）R&D 方針を望む。
- 欧州（ドイツ）を中心に大規模かつ総力戦的な水素の取り組みが加速する中（Clean Hydrogen for Europe、Green Deal といった欧州の取り組み、Hydrogen Europe などの民間企業の取り組み、また Mission Innovation といった国際連携）、NEDO も日本の司令塔として一層の体制強化が求められる。これまで以上に NEDO の責任は大きい。マネジメント体制の強化・増員あるいは R&D 分野のオールジャパン司令塔の設置も検討されるべき。
- 国際インフラワークショップなど日本の R&D や取り組みを PR できる分野は、事業者だけでなく NEDO も率先して、日本としてのリーダーシップの発揮を期待したい。

2. 3 研究開発成果について

プロジェクト全体としておおむね中間目標を達成し、個別テーマでやや遅れているとされるものも、具体的な方針が明確になっており、妥当と言える。また、これまでで根拠が曖昧なまま安全側で設定されていた材料選定の基準を、地道な基礎研究によって、より具体的な基準に焼き直し、汎用材料を広い温度や圧力条件で利用できることを実証することで、水素ステーションのコスト低減に向けた具体的な開発成果が得られたことは、高く評価できる。

今後、国内外で水素戦略をリードするためには、知的財産権の出願・審査請求・登録を、競合国や競合企業との関係を考慮して適切に実施していただくとともに、各国の R&D 情報を吸い上げ、新規アイデアの採択と率先実施等により、国際的に優位性のある技術やコンセプトの育成も行っていくことを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ ほぼすべてで達成あるいは達成見込みであり、非常に良い。
- ・ 一部見られる計画に対する遅れ見込みについては、まずは成果として達成すべきレベルを示すなど、技術開発のステップごとに確実に達成を積み上げて技術構築をする対応が適切に行われている。
- ・ 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発においては、例示基準の改正に繋がる大きな成果が得られた。海外と比べても、安全性と両立した低コスト材の使用可能化検討は例がなく、高く評価される。
- ・ 水素ステーション用蓄圧機の供用中検査手法の研究開発は、定期的自主点検等によるステーション休止期間の解消を図るうえで重要であり、実ステーションデータ取得に進むのはよい成果である。
- ・ 各研究課題では、数値目標を設定し、着実に実施され達成できることを確認しました。本事業の技術開発の進展で、超高压水素を利用する水素ステーションのインフラ技術の実用化と普及が期待できる。
- ・ プロジェクト全体としておおむね中間目標を達成しており、個別テーマでやや遅れているとされるものも、具体的な方針が明確になっており、全く問題がない。これまで根拠が曖昧なまま安全側で設定されていた材料選定の基準を、地道な実証研究によってより具体的かつ科学的な基準に焼き直し、汎用材料を広い温度や圧力条件で利用できることを実証することで、水素ステーションのコスト低減に向けた具体的な開発成果が得られており、高く評価できる。まだ、ホースやシール材などに関する課題が残されているものの、実施体制を柔軟に変化させつつプロジェクトを進行させれば、最終目標は十分に達成できるものと考えられる。成果普及、知財確保についても、本プロジェクトの性格や目的を考慮してみれば、妥当なものである。
- ・ 研究開発の中間評価時の自己評価は、達成しているまたは見込みが立っているということであり、分科会での質疑及び資料から、この自己評価を支持する。
- ・ 大多数の研究が中間目標を達成しており、中には超過達成している事業もある。現時

点では大宗の事業が最終目標を達成できる可能性が高いと判断される。金属の機械的特性で新たな指標が確認された事例や、高圧水素ホース加速耐久性評価法の検討等、世界に先駆けて成果を出しつつある事業も見受けられることは評価に値する。

- ・ 研究開発成果については、概ね上がっていると評価される。
- ・ 現在実施されている事業に関しては、ほぼ中間目標を達成している。最終目標も達成できる可能性が高い。
- ・ 鋼材開発（データ）、ホース・シールは世界的に優位性を有する製品開発につながっており、大いに評価できる。米国での連携や ISO 展開もできており、さらなる展開を期待する。
- ・ 国際標準化はおおむね順調に進捗している。

<改善すべき点>

- ・ 事業成果全体をまとめて、水素ステーションの設置・運営コストの低減レベルが政府などの目標に対してどの程度にまで到達／到達見込み／到達可能性があるのかを示し、必要に応じてわかりやすく示すことが、望ましい。
- ・ 国内外で水素戦略をリードするためには、戦略的に重要と思われる技術は、特許化等の権利化を進めることも必要である。
- ・ 知的財産権に関する取扱いは原則として実施者に委ねられているが、統一的な見地からの戦略が必要ではないか。また、論文発表方法、一般に向けた分かりやすい情報発信、成果の普及方策については更に検討、改善の余地があると思われる。
- ・ いくつかの研究項目については、前事業から取り組まれているものがあり、それを含めて見る必要があるのではないか。例えば、複合容器の評価手法確立はもっと早期の成果が期待されていたのでは。
- ・ 日本から国際的に「優位性」のある技術やコンセプトの育成を望む。例えばケミカルコンプレッサでも欧州の発案のアイデアであり、日本はこれを後追いしているに過ぎない。水素分野は目先で必須な技術に集中しがちであるが、ベンチャー企業のアイデアの吸い上げや、国際連携で各国の R&D 情報を吸い上げている産総研の情報の活用を通じて、新規アイデアの採択と率先実施を期待する。

<今後に対する提言>

- ・ 電気化学式水素ポンプの事業化の課題が改めて浮き彫りになったが、一企業ではリスクが大きいと考えられる。まずは見通しの得られる圧力条件での事業化を探ることは妥当であるが、並行して、抽出された諸課題の解決に向けた取り組みを促進する検討を継続してほしい。
- ・ 国際標準化は非常に良い成果が出ているが、今後、さらに国際連携が進むよう、有効なデータベースの活用などを継続して進めてほしい。
- ・ 本事業は、順調に進展しているので、超高压水素を利用する水素ステーションの技術は確立できることが、期待できる。しかし、本研究開発の成果が、普及し社会実装され

るには、コスト面を含めて事業化の進展が必要であり、今後の課題になる。

- 先ほども述べたとおりであるが、溶接技術、ホースやシール材の開発において、まだ開発に時間を要する課題が残されているように思われる。他の開発課題からこちらに力点を移していくなどのリバランスの工夫が必要ではないかと思われる。
- 水素産業の活性化や国際化のために、シール材料の DB 蓄積から ISO の TC197WG31 への提案につながった事例があるように、今後も事例を増やす努力を積極的に行ってほしい。
- 国際標準化によってマーケットを確保する事業と、独自性を保つことによってわが国の競争力を維持するべき事業を選別しつつ、前者については確実に実施していただきたい。また、各種要素研究において、研究コスト回収と成果の最大利用という趣旨から、水素ステーション以外の分野でも活用できる可能性を常に追求していただきたい。
- すでに水素分野はビジネス領域であるので、知的財産権の出願・審査請求・登録は、競合国や競合企業との関係を考慮して適切に実施すべきである。
- 成果の普及では、コロナ下の状況を踏まえオンラインで開催することなどを検討するのが良い。ただし当面は事業実施者や関係者のみに絞って試験的に実施するのが良い。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

国内規制適正化に関わる技術開発は、技術基準案の作成、評価方法の確立、技術文書の改訂など、また、水素ステーションのコスト低減などに関連する技術開発は、規格案の作成、試験計画、ISO への提案など、事業ごとに成果の実用化のために適切な手段をそれぞれとっており、評価できる。特に鋼種拡大は、安全を担保するデータベースをもとに使用可能種類を拡大する成果がでており、低コスト材の使用による水素ステーション整備費用の低減のみならず、国際的にも標準・基準などへの波及効果が大きなものになると期待される。

一方、製品の国内での社会実装に加え、国外へのインフラ輸出も視野に入れ、市場調査、競合技術評価、市場機会分析といった、世界市場の分析と国際展開に必要な戦略情報のさらなる収集が望まれる。

また、本事業への理解促進、支援の継続・拡大や水素ステーション事業化への産業界の意欲を維持・増大させるために、事業成果全体をまとめて、水素ステーションの設置費用・運営費用が政府などの目標に対してどの程度にまで到達／到達見込み／到達可能性があるのかを、必要に応じてわかりやすく示すことが望まれる。

<肯定的意見>

- ・ 成果の実用化に向けた取り組みは明確であり、見通しも十分得られている。
- ・ 規制見直しについては、事業当初のNEDO技術開発で対応できる案件がほぼ完了となったことは大きな成果である。
- ・ 特に鋼種拡大は、安全を担保するデータベースをもとに使用可能種類を拡大する成果がでており、低コスト材の使用による水素ステーション整備費用の低減のみならず、国際的にも標準・基準などへの波及効果が大きなものになると期待される。
- ・ 新型コロナウイルスの影響も少なく、予定通りに超高压水素インフラ本格普及技術研の実用化に向けた研究開発は進んでいることは評価できる。特に、各研究開発で開発目標を設定し、実用化が着実に進展している。
- ・ 水素ステーションの安全性に関する知見、材料の利用範囲に関する知見、さらにはシール部材や継手部材の新しい材料開発など、成果の実用化に向けた具体的な取り組みが明確に設定され、それぞれにおける課題を明確にし、それらひとつひとつを着実に解決している。安全性を担保した上での水素ステーションのコスト低減は、水素ステーションの増加やFCVの普及を通じて社会に与える影響も大きく、また、国際社会の中で水素技術における日本のプレゼンスを明確に示すためにも極めて重要な課題である。プロジェクトの中間地点においてコスト低減が達成される見通しが十分にあり、期待が膨らむ。
- ・ 国内規制適正化に関わる技術開発は、技術基準案の作成、評価方法の確立、技術文書の改訂など、それぞれの事業ごとに成果の実用化のために適切な手段をそれぞれとっており、評価できる。また、水素ステーションのコスト低減などに関連する技術開発

は、規格案の作成、試験計画、ISO への提案など、こちらもそれぞれの事業ごとに成果の実用化のために適切な手段をそれぞれとっており、評価できる。国際展開、国際標準化等に関する技術開発でも、ISO で新規提案を行うなど積極的に活動を行っており、評価できる。

- ・ 大多数の事業につき、実用化を見通した課題、マイルストーンの検討が進捗していると判断される。無人運転については既に本年8月の省令に反映され、自主基準案も本年度末完成予定であり、保安監督者の兼任についての必要要件も基本通達案に反映されている。
- ・ 成果の実用化についても着実に進んでいると言える。
- ・ 出口に関しては、本格普及の準備、水素インフラの低コスト化、国際競争力強化という点で明確であり、妥当である。

<改善すべき点>

- ・ 実用化の取り組みを促進するための方策としても、本事業の成果による水素ステーションの整備・運営コストの低減の可能性を示し、実用化意欲の維持・増大を図ってほしい。
- ・ 困難なことではあるが、開発された器材の耐久性等の実証が必要である。安全性の確保は重要であるが、事業化に向けては、ホース、Oリング等の開発された器材の実用的な安全性評価が望ましい。
- ・ 成果の公表をわかりやすく行ってほしい部分の一部にある。水素ステーションの整備費、運営費について可能な限り、事業開始時、中間評価時、事業終了時での推移で示すことを検討してほしい。資料5に整備費の詳細があるのと同様に、運営費についても一括ではなく詳細項目を設けて推移が容易にわかるように工夫してほしい。なお、原料水素価格、人件費など本事業に関係ないものは省いても構わない。
水素ステーションの整備、運用のコストの全体を俯瞰すれば、コストダウンのために律速になるものを抽出して目標達成に向けて個々の事業の中から注力すべき事業を抽出でき、事業運営管理に役立てられると思料する。
- ・ 各要素研究の具体的なコスト削減が必ずしも定量的に示されておらず、そのため事業間の優先順位が分かりにくい。コスト削減効果の正確な算定は困難であるものの、大まかにでも把握できる分析が必要ではないか。
- ・ 製品の国内での社会実装に加え、国外へのインフラ輸出も視野に入れるべきであり、そのためには世界市場の冷静な分析が必要である（市場調査、競合技術評価、市場機会分析）。現状の公開情報の収集に加え、国際展開に必要な戦略情報の収集・分析が望まれる。

<今後に対する提言>

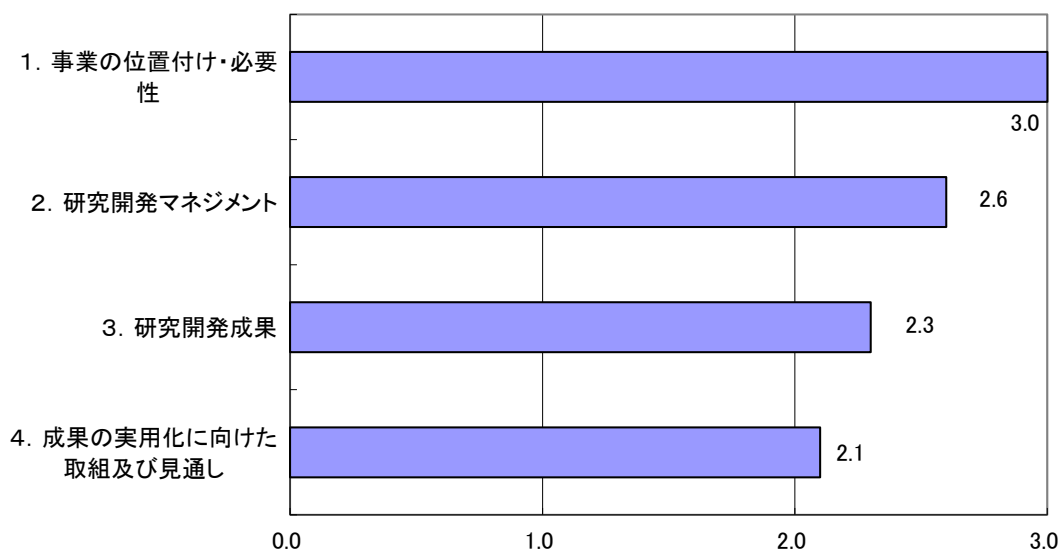
- ・ 今回の中間評価までで抽出された実用化を目指す上での課題のうち一企業では対応するリスクが高いと思われるもの（規制見直しなど）については、積極的に対応の促進

を検討してほしい。

- I S OやH F C V－G T Rなどの国際標準・規格化活動は、国際競争力の強化や市場拡大に不可欠であり、継続して取り組みを進めてほしい。
- 本事業により実用化されて技術の普及することを期待します。
- 容易に事業を俯瞰できるようにして事業の運営管理に役立て、またその推移の見える化を行うなどの工夫をお願いしたい。
- ステーション運営コストのうち、ホースの耐久性強化の実証とそれによる交換費用の削減、検査休業日を不要にする蓄圧器等の検査方法等、特にコスト削減効果が高いものについては、優先的かつ着実に実現していただきたい。また、商用車を含めた乗用車以外のモビリティへの活用のためにはさらにどのような条件が必要か、今後の課題として念頭に置いていただきたい。
- 当事業の範囲ではないが、研究項目によっては実用化に至らないものもあったのではないか。
- 当事業が要素研究というよりは、実用化開発に近い性格を持っていることから、採択に当たっては、実用化見通しを重視し、実施者に責を負わせるべきと考える。
- 「実用化」の定義としては、「社会的利用」や「基準標準策定」に加えて、「社会実装」まで見据えることが必要である。
- 資源エネルギー庁公表資料^{*}では、2019年度実績値は、整備費 3.3 億円、運営費 31 百万円（数字は何れも補助対象経費）で、技術開発や規制見直しにより、建設当初よりは低減が図られているものの、ロードマップ目標値である整備費 2.3 億円/2.0 億円、運営費 23 百万円/15 百万円（2020年/2025年）からは大きく乖離しているのが現状である。整備費・運営費の低減は、NEDO 事業においてのみ達成されるものでもなく、事業者の企業努力や市場原理による部分が大きいですが、目標実現に向けた継続的な取組が必要である。

※「水素・燃料電池戦略ロードマップの 達成に向けた対応状況」（2020年6月8日）資源エネルギー庁

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	B	C
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	A	A	A	B	C	
3. 研究開発成果について	2.3	A	A	B	B	B	B	B	
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.1	A	A	A	B	B	C	C	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 次世代電池・水素部
-----	--

—目次—

概要	2
プロジェクト用語集	8
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	I-4
2.1 NEDO が関与することの意義	I-4
2.2 実施の効果（費用対効果）	I-4
II. 研究開発マネジメントについて.....	II-1
1. 事業の目標	II-1
1.1 研究開発の目標.....	II-1
1.2 各研究開発項目の目標.....	II-1
2. 事業の計画内容	II-9
2.1 研究開発の内容.....	II-9
2.2 研究開発の実施体制	II-21
2.3 研究開発の運営管理	II-22
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-23
3. 情勢変化への対応	II-23
4. 評価に関する事項	II-23
III. 研究開発成果について.....	III-1
1. 事業全体の成果.....	III-1
2. 研究開発項目毎の成果.....	III-3
IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	IV-1
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	IV-1

(添付資料)

- ・ プロジェクト基本計画：添付-1
- ・ プロジェクト開始時関連資料：添付-2
- ・ 特許論文等リスト：添付-3

概要

		最終更新日	2020年11月10日
プロジェクト名	超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業	プロジェクト番号	P18011
担当推進部/ PM または担当者	次世代電池・水素部 横本克巳（2018年6月～2020年11月現在） 次世代電池・水素部 大平英二（2020年8月～2020年11月現在）		
0. 事業の概要	<p>2025年以降のFCV及び水素ステーションの本格普及、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する研究開発等を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性、新たな水素特性判断基準の導入に資する研究開発等を行う。 ・ 水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化、運営費低減、高压対応高分子技術、次世代向け水素ステーションに資する研究開発を行う。 ・ ISO、HFCEV-GTR、国際会議等を通じて、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、国内への適切な情報発信、及び日本の政策や技術開発への影響分析等に資する研究開発等を行う。 		
1. 事業の位置 付け・必要性について	<p>(1) 政策上の位置付け</p> <p>「第4次エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)では、「水素をエネルギーとして利用する”水素社会”」についての包括的な検討を進めるべき時期に差し掛かっている」等の記載が盛り込まれており、多様化する柔軟なエネルギー需要構造の構築に取り組むこととされている。</p> <p>更に2017年12月には再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議にて「水素基本戦略」が発表され、2050年を視野に目指す目標や官民が共有すべき方向性・ビジョンが示された。</p> <p>経済産業省資源エネルギー庁にて作成された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2016年改訂)に、フェーズ1として運輸部門においての水素の利活用として水素ステーションの整備、FCVの普及目標値が明記されている。また、未来投資戦略2017では水素ステーションの戦略的整備に向けた官民一体の新たな推進体制の構築、コスト低減等に向けた技術開発・実証、新たな規制改革実施計画に基づく水素ステーションの保安管理等に関する規制改革をパッケージで推進しFCV、FCバス、水素ステーションの普及を加速化すると記載されている。</p> <p>(2) NEDO が関与する意義</p> <p>FCV・水素ステーションの普及拡大に向けた規制見直し・技術開発は、以下の観点からNEDOが持つ知識、実績を活かして推進すべき事業である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい。 ・ 水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献。 ・ 規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要。 ・ 水素供給インフラについてはFCV普及初期の市場が限られるため、民間単独では開発リスクが大きい。 ・ 本格的普及、自立化に必要な規格化・標準化は全体として取組。 		

	<p>(3) 実施の効果</p> <p><u>市場規模予測</u> (出典: 富士経済「2020年版水素燃料関連市場の将来展望」)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素ステーション 89億円(2020年) 339億円(2030年) ・FCV用水素燃料 9億円(2020年) 433億円(2030年) <p><u>CO2削減効果予想</u></p> <p>目標最終年度2025年度におけるFCVの普及に伴うCO2削減量の目標値(40万トン/年)を達成する。</p>
<p>2. 研究開発マネジメントについて</p>	
<p>事業の目標</p>	<p>(1) アウトプット目標</p> <p>2025年の水素ステーションの自立化、2030年以降の水素ステーション事業自立化に向け、水素ステーションの整備費、運営費を低減することを目指し、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国内の規制適正化に向けたデータ取得及び基準案の作成・提案を行う。 ・本格普及期を想定した水素ステーションの技術基準案(もしくはガイドライン案)を作成する。(水素ステーションで利用される機器の最適化、次世代水素ステーションの構成の最適化、長寿命化に関する提案など) ・我が国の水素ステーション関連技術の国際競争力強化等の観点から、国際基準調和・国際標準化にかかる提案を行う。 <p>以下に、各研究開発項目の最終目標、中間目標を記載する。</p> <p><u>研究開発項目1:「国内規制適正化に関わる技術開発」</u></p> <p>『最終目標』(2022年度)</p> <p>主に汎用材料の適用範囲拡大に関し、高圧水素下での評価試験結果を基に基準案作成を行う。</p> <p>『中間目標』(2020年度)</p> <p>水素ステーションの規制見直し等のために必要となる研究データを取得し、新たな規制見直し検討項目に対する技術基準案、例示基準案を作成する。</p> <p><u>研究開発項目2:「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」</u></p> <p>『最終目標』(2022年度)</p> <p>水素ステーション(ST)を構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。</p> <p>『中間目標』(2020年度)</p> <p>水素ステーションコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーション運営費・整備費低減のための規格案、技術基準案等を作成する。</p> <p><u>研究開発項目3:「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」</u></p> <p>『最終目標』(2022年度)</p> <p>水素ステーション関連技術の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。</p> <p>IEA等海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。</p> <p>『中間目標』(2020年度)</p> <p>水素ステーション関連技術の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。</p> <p>IEA等海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。</p>

(2) アウトカム目標
 水素ステーション（固定式オフサイトステーション・300Nm³/h）のコスト
 2025年以降に、

- ・ 整備費を2.0億円以下まで低減させる。
- ・ 運営費を現行の1/2以下まで低減させる。

上記目標値は、本事業で実施しない部分の規制見直し、民間企業等の取り組みを含めている。

(3) アウトカム目標達成に向けての取り組み
 研究開発項目1、3で得られた規制見直し等の成果を研究開発項目2の技術開発に反映する等積極的に項目間連携を実施することにより、水素ステーションに係るコスト低減等を着実に図る。

更なる規制見直し、運営費低減、装置・構成部品の規格化・標準化、機器設備の長寿命化、高分子材料開発により、低コストステーションの設計が可能となると考えられる。また、入手しやすく、短納期が期待できる汎用材の適用拡大を図ることで、水素ステーション普及につながる裾野拡大に寄与する。更に水素ステーションへの多様化するニーズに対応可能となり、現状の4大首都圏へのステーション整備から地方への展開が可能となり、国が目標とする2025年320箇所（2020年160箇所）の整備に向けた自立的な普及が期待できる。

事業の計画内容	主な実施事項	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	
	研究開発項目1 国内規制適正化							
	研究開発項目2 水素STコスト低減							
	研究開発項目3 国際展開標準化							事後評価
				◆ 中間評価				
事業費推移 (単位:百万円)	会計・勘定	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	
	一般会計	-	-	-				
	特別会計 (電源・需給の別)	1,611	2,579	3,420	(2,560)	(2,221)		
	開発成果促進財源	-	-	-				
	総NEDO負担額	1,611	2,579	3,420	(2,560)	(2,221)		
	(委託)	1,586	2,505	3,346	(2,560)	(2,221)		
	(助成) : 助成率 1/2	25	74	74	(0)	(0)		
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギーシステム課 燃料電池推進室						
	プロジェクトリーダー	—						
	プロジェクトマネージャー	次世代電池・水素部 横本克巳 (2018年6月~2020年11月現在) 次世代電池・水素部 大平英二 (2020年8月~2020年11月現在)						

	委託先／助成先	<p><u>研究開発項目 1</u></p> <p>[委託先]</p> <p>(一財)石油エネルギー技術センター、[共](大)横浜国立大学、(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(大)九州大学、(一財)金属系材料研究開発センター、日本製鉄(株)、[共]日鉄ステンレス(株)、[再](国研)物質・材料研究機構、愛知製鋼(株)、(株)日本製鋼所、JFEスチール(株)、(国研)物質・材料研究機構、[再](学)立命館大学、[再]国立高等専門学校機構仙台高等専門学校</p> <p><u>研究開発項目 2</u></p> <p>[委託先]</p> <p>(一社)水素供給利用技術協会、[再](一財)石油エネルギー技術センター、ENEOS(株)、JFEスチール(株)、[再](学)東京電機大学、JFEコンテナ(株)、千代田化工建設(株)、(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(大)東京大学、(株)日本製鋼所、(一社)水素供給利用技術協会、(大)九州大学、(一財)化学物質評価研究機構、NOK(株)、高石工業(株)、日本ピラー工業(株)、(株)キッツ、(株)フジキン、(株)タツノ、トキコシステムソリューションズ(株)、(大)九州大学、[再](大)山形大学、[再](大)大阪大学、(一社)日本ゴム工業会、ENEOS(株)、(株)本田技術研究所、トキコシステムソリューションズ(株)、(一社)水素供給利用技術協会、ENEOS総研(株)、日鉄総研(株)、(一財)金属系材料研究開発センター、日本製鉄(株)、ヌヴォトンテクノロジージャパン(株)、[再]パナソニック(株)、(株)四国総合研究所、[共](学)東海大学、[共](大)千葉大学、(国研)産業技術総合研究所、日本重化学工業(株)、(国研)産業技術総合研究所、岩谷産業(株)、(株)タツノ、トキコシステムソリューションズ(株)、(一社)水素供給利用技術協会、(一財)日本自動車研究所</p> <p>[助成先]</p> <p>(株)加地テック、東レ(株)</p> <p><u>研究開発項目 3</u></p> <p>[委託先]</p> <p>(一社)水素供給利用技術協会、(一財)日本自動車研究所、(一財)日本自動車研究所、[再](国研)産業技術総合研究所、[再](大)東京大学、(株)大和総研</p>	
情勢変化への対応		2018年8月	研究開発項目2(水素STコスト低減)及び研究開発項目3(国際展開標準化)追加公募
中間評価結果への対応		2020年4月	研究開発項目2(水素STコスト低減)追加公募
評価に関する事項		事前評価	2017年度実施 担当部 新エネルギー部
	中間評価	2020年度 中間評価実施	
	事後評価	2023年度 事後評価実施予定	

3. 研究開発成果について	<p>研究開発項目 1 : 「国内規制適正化に関わる技術開発」</p> <p>NEDO 技術開発にて対応できる案件については完了予定で、水素ステーションの普及拡大に貢献が可能な見込みである。事業の個別成果は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般則 7 条の 4 制定に資する技術基準案、7 条の 3 第 2 項の安全設備に関する技術基準見直し案、圧縮水素スタンドにおける保安監督者兼任の許容制定に資する技術基準案を策定した。 ・一般則例示基準の規制見直しに資する水素特性判断基準の考え方を確立し、使用可能な SUS316 系ステンレス鋼の範囲を拡大した。低合金鋼技術文書 (JPECTD-0003) の改訂を完了する。 ・陰極水素チャージ条件を明確化し、SSRT 試験で 105MPa 高圧水素中と同等の結果であること、3 機関のラウンドロビン試験で変位-荷重曲線が一致することを確認した。 ・中空試験片高圧水素中 SSRT 試験法案を作成し、ISO (英文案) に提案済、高圧力技術協会 (日本文案) に提案予定。 <p>研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」</p> <p>HRS 共通指針 (案) 等の作成を完了し、水素ステーションの自立化を支援が可能な見込みである。事業の個別成果は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素ステーションの業界統一規格 (標準化ガイドライン) 案、充填能力を指標とする水素ステーションカテゴリ案を設定し、コスト削減効果を検討した。 ・疲労限近傍の応力条件で損傷が発生すれば AE を検知可能で、き裂進展に起因する漏洩発生位置を特定可能であることを確認した。 ・タイプ 3 容器ライナー材の最適疲労曲線、CFRP の疲労寿命設計線図、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式 (累積損傷関係式) を構築し、技術基準 KHKS 0225 改訂方針を作成した。タイプ 2 容器金属層には KHKS 0220 の設計疲労曲線を適用でき、技術文書を作成した。 ・シール部材の加速耐久性評価法を検討、高分子材料水素特性データベースを拡充し、標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発した。また、シール部接触面圧低下に至る複数因子の作用を明確にした。 ・加速耐久性評価法として、高温ホース揺動水素インパルス試験法を設定した。また、北米水素ステーションで 87.5 MPa ホースの 3,000 回充填を実証した。 ・新規開発プロトコルで、T20 相当のプレクール温度緩和の見通しを得た。また、協調制御システムを開発し、10 台/h 充填を確認した。 ・95MPa 級水素トレーラーと水素 ST の概念設計を行い、輸送効率、コスト、エネルギー効率を算定した。 ・タイプ I 蓄圧器向けに JIS 低合金鋼を選定し、Mo-V 添加鋼は最大 5 割の重量低減の可能性があることを確認した。 ・5Nm³/h × 40MPa 水素ポンプスタック 3000 時間耐久を実証し、電力 0.4kWh/Nm³ の見通しを得た。また、2.2Nm³/h × 20MPa 水素ポンプシステムの技術を開発し、山梨向けに実証試験機を製作した。 <p>研究開発項目 3 : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」</p> <p>ISO にて新規 WG を主導的に活動 (コンビナー獲得) し、国際協調、国際連携により水素産業の活性化が期待される。事業の個別成果は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ISO/TC197 において共同議長として、国際規格 7 件発行と 0-ring 等の新規 2 提案を行った。 ・HFCV-GTR Phase2 審議に参画、火炎暴露試験法案を提案し、ドラフト案として採用された。また、金属材料水素適合性試験法案が SAE から HFCV-GTR Phase2 に提案された。 ・水素・燃料電池に関する情報精査・傾向分析を実施した。諸外国の水素政策等の整理・分析を実施した。 	
	投稿論文	3 件
	特 許	「出願」3 件
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「研究発表・講演」94 件、「新聞・雑誌等への掲載」13 件

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	国内規制の見直し、水素ステーション設備のコスト低減、構成機器の最適化、機器の省エネ化、高分子材料開発等の研究開発への取組を通して、水素ステーションの整備費低減、運営費低減に資する低コスト水素ステーションの設計が可能となり、水素ステーションの地域拡大（四大都市圏から地方への展開）、水素関連産業の裾野拡大を目的とする多様化するニーズへの対応をすることで、自立的展開可能な水素インフラ実現し、水素ステーションを 2025 年に 320 箇所の整備が可能となる。	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2018 年 3 月 作成
	変更履歴	2018 年 4 月 改訂（担当部を変更） 2018 年 8 月 改訂（研究開発項目の内容を一部改訂） 2020 年 8 月 改訂（プロジェクトマネージャーの追加）

プロジェクト用語集

研究開発項目 1：「国内規制適正化に関わる技術開発」

1-(1)：「本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」

一般財団法人石油エネルギー技術センター

	用語	説明
英数	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す
	FMEA	システムやプロセスの構成要素に起こりうる故障を予測し、考えられる原因や影響を事前に解析・評価することで設計・計画上の問題点を摘出し、事前対策の実施を通じてトラブル未然防止を図る手法
	HAZOP	システムやプロセスの操作因子、制御因子などのパラメータに対して、それが適切な状態からはずれた場合にどのような災害につながるのかを分析する手法
	KHK	高圧ガス保安法第1条に明記されている「高圧ガス保安協会」(協会)の略称。「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もつて公共の安全を確保する(同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う(第59条の2)」団体である
	QRA	Quantitative Risk Assessment 定量的リスクアセスメント プラントの運転等に伴うリスクを定量的に評価するために用いられるリスクアセスメント手法のひとつであり、主に海外で、製油所やガス処理、液化天然ガス(LNG)プラントなどの建設を計画する際にしばしば実施される
あ行	圧力リリーフ弁	放出する気体の圧力を監視し、安全装置が作動する圧力より小さい値で設定された圧力以上の圧力になった場合に開となり、当該安全装置が作動する前に圧力を低下させる機能を有する弁
	安全弁	高圧ガス機器の内圧が設計圧力以上にならないように圧力を逃がすための安全装置
	一般高圧ガス保安規則	高圧ガス保安法(昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。)に基づいて、高圧ガスに関する保安(コンビナート等保安規則(昭和六十一年通商産業省令第八十八号)に規定する特定製造事業所に係る高圧ガスの製造に関する保安を除く。)について規定する
	オフサイト方式	水素スタンドの敷地外で製造した水素を水素スタンド内に運び込む方式の水素スタンドのこと
	オリフィス	流量を低減させるために配管中に設定される管径を狭めた部分
	オンサイト方式	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと
か行	ガイドライン	技術基準の分類における「技術文書」にあたる。技術文書とは、①技術的な成熟度その他の点で、十分なコンセンサスに達する段階には至っていない規格案であって、将来的に制定が期待されるもの、②規格等の作成根拠に関する技術調査報告書等を指す
	ガス事業法	ガス事業の運営を調整することによって、ガスの使用者の利益を保護し、及びガ

	用語	説明
		ス事業の健全な発達を図るとともに、ガス工作物の工事、維持及び運用並びにガス用品の製造及び販売を規制することによって、公共の安全を確保し、あわせて公害の防止を図ることを目的とする法律
	過流防止弁	水素ステーションの蓄圧器の出口、または充填容器等の出口側に設ける、圧縮水素の流量が著しく増加することを防止する為の弁
	嵌合	「かんごう」と読む。機械部品の軸と穴とを互いにぴったりと合うように入れ込むことをいう。ここでは、ディスペンサーノズルと車載容器レセプタクルの接合状態を示す
	危害予防規程	危害予防規程は、高圧ガス保安法第26条第1項に第一種製造者が定めるべきものとして規定されている。災害の発生の防止や災害の発生が起きた場合において、事業所が自ら行うべき保安活動について規定したもので、保安体制、緊急時の対応方法、設備の整備・点検等の管理方法等を記載する必要がある。本プロジェクトでは、技術基準案の一つとして危害予防規程の指針案を作成している
	技術基準	本プロジェクトにおける「技術基準」とは、圧縮水素スタンドに係る圧縮水素等の取扱い及びこれらに係る設備、施設等の設計、施工、維持管理等並びに容器の製造、設計、試験、検査等に関する保安を推進するために、最新の技術的知見に基づき制定される基準。技術基準には、規格、質疑応答・運用解釈、技術文書に分類される
	基本通達	高圧ガス保安法や一般高圧ガス保安規則等の省令に記載された内容に関し、具体的な運用の仕方や解釈が記載されている。内規ともいう。本プロジェクトの成果として、「顧客に自ら充填に係る行為をさせる圧縮水素スタンド」における保安体制や駆けつけ体制等について追記された。 「保安監督者が複数のスタンドを兼任する場合」の「兼任保安監督者」及び「準保安監督者」等についても追記された
	緊急遮断装置	緊急時に当該装置が遠隔操作により作動し、水素の流れを遮断するもの。規定した温度を超えたときに直ちに自動的に閉止作動するものも含まれる
	兼任保安監督者	複数の水素スタンドを兼務する保安監督者のこと。現状の高圧ガス保安法では、複数のスタンドの兼任は許容されていないため、本プロジェクトで必要要件を検討し、保安を維持しながら複数のスタンドを兼任するための技術基準案を作成した
	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱い及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保することを目的とする法律。本プロジェクトにおける技術基準案はこれに基づいて作成される
	公道ディスペンサー距離	水素ディスペンサーと公道との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第7条の3において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている
さ行	敷地境界距離	高圧ガス設備と敷地境界との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第7条の3において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている

	用語	説明
	車載容器	燃料電池自動車の車両に固定した燃料装置用として圧縮水素を充填するための容器
	車載容器の記載事項	燃料電池自動車の車載容器の記載事項とは、車載容器総括証票における充填すべきガスの名称、搭載容器の本数、充填可能期限、検査有効期限、最高充填圧力、車台番号、及び容器再検査合格商標における再検査有効期限、再検査日をいう。高圧ガス保安法第 48 条より、車載容器に水素を充填する場合に、本記載事項を確認する必要がある
	遮断弁	危険な事象が見つかり次第、有害な液体や外部の炭化水素（気体）の流れを遮断するよう設計された作動弁
	準保安監督者	保安監督者が兼務する水素スタンドに常駐が義務付けられている従業者のこと。本プロジェクトにおいて、保安監督者が複数の水素スタンドを兼任しても保安を維持できる要件として、スキルの高い従業者を選任することを提案した。この考え方が基本通達に盛り込まれた
	障壁	法令（高圧ガス保安法等）で定める保安距離を緩和し、保安物件を有効に保護するために設置する強固な壁。（保安距離；高圧ガス設備から保安物件までの法令で定める距離）
	製造細目告示	製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法等に関する技術基準の細目を定める告示
	セルフ水素スタンド	ドライバーが自ら、燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を充填することができる水素スタンド。本プロジェクトでは、国内でのセルフ水素スタンド実施の可能性及び詳細な規格・基準について検討
た行	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ 1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ 2, 3, 4）に分類される
	ディスペンサー	圧縮水素スタンド内の装置のうち、燃料電池自動車に燃料として水素ガスを供給する装置。管体、流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される
は行	保安監督者	高圧ガス保安法第 27 条の 2 第 1 項第 1 号の経済産業省令で定める、保安統括者等の選任を必要としない事業者において、第一種製造者により選任され高圧ガスの製造にかかる保安について監督するものの通称。圧縮水素スタンド（処理能力 25 万 m ³ /日未満）もこれに該当する
	保安検査	高圧ガス保安法 35 条。 第一種製造者は、高圧ガスの爆発その他災害が発生するおそれがある製造のための施設について、経済産業省令で定めるところにより、定期に、都道府県知事が行う保安検査を受けなければならない
ら行	離隔距離	水素スタンドで義務付けられている 3 つの距離（敷地境界距離、火気離隔距離、公道ディスペンサー距離）の総称。高圧ガス保安法で定義された用語ではない
	リスクアセスメント	リスク解析によりハザードを特定し、ハザードから事故が起こるシナリオを明らかにし、次に、その起こりやすさと影響度を組み合わせてリスクの大きさ（リス

	用語	説明
		クレベル) を算定し、リスク評価によりその許容基準を設定し、必要に応じてリスク低減策を講じる一連の検討プロセスのこと
	例示基準	本項では「一般高圧ガス保安規則関係例示基準」のことを指す。一般高圧ガス保安規則関係例示基準は、一般高圧ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、一般高圧ガス保安規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる

1-(2)-①：「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」

一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人九州大学、一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社、愛知製鋼株式会社、株式会社日本製鋼所

	用語	説明
英数	0.2%耐力	オーステナイト鋼では応力-ひずみ線図において明瞭な降伏点が示されないため、0.2%の永久ひずみが表れる点が降伏点の代用として用いられる。JIS 規格においても降伏応力の代わりに0.2%耐力が規定されている。
	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)	タングステンを電極棒に使用して、別の溶接材料(溶加材(溶接棒))をアーク中で溶融して溶接する方式。
	Ni 当量	熱力学的立場から導入された Fe-Cr-Ni 系ステンレス鋼の化学組成上のオーステナイト組織の安定度を示す式で、基準の元素として Ni を用いている。本事業で用いられる Ni 当量は下記の平山の式で求められる。 $\text{Ni 当量 (質量\%)} = 12.6 \times \text{C} + 0.35 \times \text{Si} + 1.05 \times \text{Mn} + \text{Ni} + 0.65 \times \text{Cr} + 0.98 \times \text{Mo}$
	REL (相対伸び)	引張試験や SSRT 試験での試験片破断時における伸び量(破断伸び)について、高圧水素ガス雰囲気における値を大気または不活性ガス雰囲気における値で除した値。
	RRA (相対絞り)	高圧水素ガス雰囲気における絞りを大気中または不活性ガス雰囲気における絞りで除した値。
	RTS (相対引張強さ)	高圧水素ガス雰囲気における引張強さを大気中または不活性ガス雰囲気における引張強さで除した値。
	SSRT	低歪速度引張試験 (Slow Strain Rate Test) のこと。ある環境下で一定の低歪み速度で引張荷重を負荷していき、破断時の伸びや破面の観察で脆化の程度を評価する試験方法。
	SUH660 鋼	常温、及び高温において高い強度を有する析出強化型オーステナイトステンレス鋼である。SUS-316 に比べ Ni を多量に含み (24~27%)、Ti、Al、V 等の析出硬化性元素が添加されている。固溶化熱処理 (約 900℃、又は 980℃の急冷) と時効処理 (700~760℃の徐冷) を行い製造される。高い強度と耐水素性を有する。やや加工性に難がある。
	SUS301,	オーステナイト系ステンレス鋼の種類。鉄のほか C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr を含み、

	用語	説明
	SUS304, SUS304L, SUS305, SUS316, SUS316L	耐食性・耐孔食性を向上させたオーステナイト系ステンレス鋼。Mo を添加している場合もある。ステンレス鋼では表面に「不動態被膜」という薄い膜が形成され、耐食性や耐薬品性を向上させている。 名称の L は、炭素含有量がより低く規定された極低碳素鋼であることを意味し、耐粒界腐食性が向上し溶接用途に適している。
あ行	一般則例示基準	本項では「一般高圧ガス保安規則関係例示基準」のことを指す。一般高圧ガス保安規則関係例示基準は、一般高圧ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、一般高圧ガス保安規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる。
	応力-ストローク線図	応力-ひずみ線図とも呼ばれる。材料の引張試験によって得られる応力とひずみの関係図である。この図から引張強さ、伸び、0.2%耐力等の機械的特性値が得られる。
か行	共振疲労試験	垂直に設置した棒状試験片の上部に重錘を取付け、架台ごと振動させて試験片を共振させ破壊に至らしめる疲労試験方法。水素ガス環境中油圧サーボ疲労試験機では、荷重伝達ロッドと圧力容器の間の摺動部の存在により試験周波数が 1Hz 程度に制限されるのに対し、水素ガス環境中共振疲労試験機では摺動部が存在せず、数十 Hz での試験が可能である。
	許容引張応力	機械や構造物に許容される引張側の強さ。適用する材料の常温及び設計温度での引張り強さを設計係数で除した値、又は降伏点（又は耐力）を 1.5 で除した値のうち、最も小さい値を用いる。
	固溶化熱処理	合金成分が固溶体に溶解する温度以上に加熱して十分な時間保持し、急冷してその析出を阻止する操作。ステンレス鋼では炭化物などを素地に固溶させて安定した耐食性を確保するために行われ、また時効硬化合金では時効処理の前の準備として行われる。溶体化処理とも呼ばれる。一般にオーステナイト系ステンレス鋼では、1,010℃～1,150℃に加熱し急冷。
さ行	絞り	引張試験や SSRT 試験での試験片破断後における最小断面積とその原断面積との差の原断面積に対する百分率。
	シールドガス	溶接中にアークと溶接金属を覆い、空気が溶接雰囲気内に侵入することを防ぐために用いるガス。
	水素適合性	金属材料は水素による脆化を起こすことが知られている。水素中での使用に適した材料であれば水素適合性が高いという表現がなされる。Ni 当量の増加につれてオーステナイト構造が安定化、水素脆化への抵抗が増加して水素適合性が向上する。
た行	蓄圧器	水素スタンドにおいて、燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ 1）、金属層の胴部を炭素繊維強化プラスチックで補強した「鋼製蓄圧器（タイプ 2）、金属ライナーまたは樹脂製ライナーを炭素繊維強化プラスチックで補強した「複合圧力容器蓄圧器」（タイプ 3、4）に分類される。

	用語	説明
	低合金鋼技術文書 JPEC-TD0003	(一財) 石油エネルギー技術センターが発行した低合金鋼の利用に関する技術文書を指す。
な行	熱間圧延	金属が加工による硬化を生じない再結晶温度以上の温度で圧延が行われる加工法。
	熱間鍛造	高温に熱した金属をプレスし成型を行う金属加工法。冷間鍛造に比較し、大型材料や複雑形状の加工に適する。
は行	バタリング溶接	アーク溶接の溶接現象に定義される用語の一つであり、突合せ溶接（母材がほぼ同じ面内の溶接継手となる溶接）を行う際に、突合せ溶接継手の開先面に、肉盛溶接、溶射などのように母材表面に金属を溶着させる方法を行うこと。
	疲労限度	無限回繰返しても材料が破壊されずに耐えうる最大の変動応力。
や行	溶接後熱処理	溶接部を溶接後に徐加熱・保持・徐冷する処理で、溶接残留応力の緩和、溶接硬化物の軟化やじん性の向上などを図るために行う。溶接後熱処理を行わないものを AS WELD、溶接ままという。
	溶接熱影響部	溶接・切断などの熱で組織、冶金的性質、機械的性質などに変化が生じた、溶接金属の周囲に位置する溶融していない母材の部分を用いる。
ら行	冷間加工	塑性変形を利用した加工方法。常温もしくは材料の再結晶温度未満で行なう加工である。主に金属材料で用いられるが、鋼の場合、通常は摂氏 350-500 度未満で行われる。 冷間加工によって金属は加工硬化し、残留応力やひずみエネルギーが蓄積されるので加工前より不安定な性質となる。安定化するためには再度再結晶温度に加熱後、徐冷し焼なましをする。冷間加工の例では冷間圧延、引抜き、冷間鍛造、プレスなどがある。
	例示基準	省令は機能性基準であるため詳細な仕様を記載していないが、省令への適合性評価に当たって、例示基準に示されているとおりである場合には、当該機能性基準に適合すると見なされるもの。

1-(2)-②：「連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発」

JFE スチール株式会社

	用語	説明
あ行	陰極水素チャージ	サンプルを溶液に浸漬し、サンプルを陰極とし、電位を設定することで、水素イオンもしくは水酸化イオンを還元して水素原子とし、試験片中に水素を侵入させる手法
か行	拡散性水素	鋼中を拡散することができる水素。昇温分析法で 200～300℃程度までに放出される水素に相当する。この温度は試験片サイズに依存して変化する。
さ行	昇温水素分析法	サンプル中の水素原子を、サンプルを加熱し放出させ、検出された水素を積算することでサンプル中の水素量を定量化する手法。一般的には加熱時の昇温速度を一定とする。

	用語	説明
ら行	連続陰極水素チャージ材料試験	SSRT 試験もしくは疲労寿命試験において試験片に水素を陰極チャージしながら試験を行う手法

1-(2)-③：「中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発」

国立研究開発法人物質・材料研究機構

	用語	説明
英数	HPIS	High Pressure Institute of Japan Standard（日本高圧力技術協会規格）の略。
	ISO	International Organization for Standardization（国際標準化機構）の略。
	REL	Relative Elongation の略。相対伸びのこと。低ひずみ速度引張試験（SSRT）で得られた伸びについて、下記式に基づき算出した値。 相対伸び = (水素中の伸び) / (大気または不活性ガス中の伸び) 水素適合性を評価する指標となる。
	RRA	Relative Reduction of Area の略。相対絞りのこと。低ひずみ速度引張試験（SSRT）で得られた絞りについて、下記式に基づき算出した値。 相対絞り = (水素中の絞り) / (大気または不活性ガス中の絞り) 水素適合性を評価する指標となる。
	SSRT	Slow Strain Rate Test（低ひずみ速度（引張）試験）の略。ある環境下で一定の低ひずみ速度で引張荷重を負荷していき、破断時の伸びや絞り、破面の観察で脆化の程度を評価する試験方法。
た行	電着ダイヤモンド研磨	金属製の線材上に電気メッキによってダイヤモンド砥粒を固定させたものを作製し、それを用いて行う研磨。
ら行	ラウンドロビンテスト（RRT）	同じサンプルを同時に複数の試験所で試験・分析を実施し、統計的に測定値の偏りやばらつきを評価する方法。
	流動研磨	柔らかい研磨材と機械の組み合わせによって行う面研磨方法。
わ行	ワイヤカット	真鍮製をはじめとした電極線（ワイヤ）を供給しながら通電を行い、電極からの放電によって、工作物を溶かして切断を行う加工方法。

研究開発項目 2：「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

2-(1)：「水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」

一般社団法人水素供給利用技術協会、ENEOS 株式会社

	用語	説明
英数	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
あ行	圧縮機	圧縮機とは、水素供給設備から供給された水素を昇圧する機器をいう。

	用語	説明
	液化水素供給方式	水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、液化水素により水素を輸送・供給する方式。
	オンサイト供給方式	市中の都市ガス配管やLPG等により水素ST内の水素製造装置にて水素を製造し、供給する方式。
か行	ガイドライン	技術基準の分類における「技術文書」にあたる。技術文書とは、①技術的な成熟度その他の点で、十分なコンセンサスに達する段階には至っていない規格案であって、将来的に制定が期待されるもの、②規格等の作成根拠に関する技術調査報告書等を指す。
さ行	最高充填圧力	最高充填圧力とは、容器に充填することのできる高圧ガスの圧力のうち最高のものをいい、容器区分ごとに定められている。国際圧縮水素自動車燃料装置用容器等の場合、最高充填圧力は、公称使用圧力の1.25倍であり、公称使用圧力が70MPaの場合、最高充填圧力は87.5MPa、公称使用圧力が35MPaの場合、最高充填圧力は43.75MPaである。
	常用の圧力（常用圧力）	常用の圧力（常用圧力）とは、当該設備においてそれらが通常使用される状態での圧力（当該圧力が変動する場合にあつては、その変動範囲のうちの最高の圧力）であって、ゲージ圧力をいう。なお、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第7条の3準拠の水素STでは、常用圧力は82MPa以下と定められている。
	充填プロトコル	充填プロトコルとは、FCV等に水素を充填する際に容器の安全性を確保するために圧力上昇率や供給水素温度等を制御する充填の方法を言う。FCV（FCバスを含む）等に充填する際は、「圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S 0003」（一般財団法人石油エネルギー技術センター）に従い充填することが一般則関係例示基準55の2及び59の4に記載されている。
	主要設備	主要設備とは、水素STにおける主要な役割を担う圧縮機、蓄圧器、冷凍機、ディスプレイの4設備をいう。
	車両通信システム	車両通信システムとは、FCVから来る車両データを受信し、適切な制御信号に変換した後、制御盤へデータ送信する通信システムのことをいう。
	シリンダー	シリンダーとは、高圧ガス、液化ガス等を充填し持ち運ぶための耐圧容器をいう。
	水素ST	水素STとは、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第二条二十五号、二十六号に定義される「圧縮水素スタンド」、「移動式圧縮水素スタンド」をいう。
	水素供給方式	水素STの外から水素あるいは水素の原料を輸送する各方式（水素供給方式）をいい、代表例は以下の通り。なお、以下の方式を組み合わせた方式等も存在する。 <ul style="list-style-type: none"> ・水素カードル供給方式 ・水素トレーラ供給方式 ・荷卸蓄圧器方式 ・液化水素供給方式 ・オンサイト供給方式 ・水素導管供給方式
	水素カードル供給方式	水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、シリンダーと呼ばれる高圧ガス容器を集結させた機器（カードル）をその場に留め置き、水素ST

	用語	説明
		に水素を供給する方式
	水素トレーラ供給方式	水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、シリンダーより容量の大きい長尺容器と呼ばれる高圧ガス容器を集結させた機器（トレーラ）をその場に留め置き、水素 ST に水素を供給する方式。
	水素導管供給方式	事業所内あるいは付近に敷設される水素導管より直接水素を供給する方式。
	設計圧力	設計圧力とは、当該設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。
	設計温度	設計温度とは、当該設備を使用することができる最高又は最低の温度として設定された温度をいう。
	制御盤	制御盤とは、圧縮機、冷凍機等の電動機の運転や充填等に関わる電磁弁の開閉、異常時のインターロック等の制御・操作するための各種電気機器を納めた装置をいう。
た行	蓄圧器	蓄圧器とは圧縮機で昇圧された水素を高圧のまま貯蔵する機器をいう。 ①高圧蓄圧器 82MPa 程度の高圧で蓄圧可能な蓄圧器であって、払い出された高圧水素はディスプレイを介して FCV へと充填される。 ②中間蓄圧器 高圧蓄圧器以下の圧力で蓄圧可能な蓄圧器であって、払い出された高圧水素は再度圧縮機で昇圧される。
	ディスペンサー	圧縮水素スタンド内の装置のうち、燃料電池自動車に燃料として水素ガスを供給する装置。筐体、流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
な行	日処理量、日製造量	日処理（製造）量とは、以下の式で求められる、圧縮（製造）水素量をいう。 日処理（製造）量(kg/日) = 1 時間あたりの最大圧縮（製造）水素量(kg/h) × 24(h/日)
	荷卸蓄圧器方式	水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、大容量トレーラで複数の水素 ST を巡回し、水素 ST の「蓄圧器」に水素を供給する方式。大容量トレーラは 1 つの水素 ST に留まらず、水素 ST の蓄圧器が満タンになれば、必要に応じて次の水素 ST にトレーラを移動し、同様に補給を行う
は行	パッケージ	パッケージとは、圧縮機、蓄圧器、冷凍機、ディスペンサーなどの主要構成モジュールを 1 又は複数の筐体に内包し近接配置し一体設置する設備形態のものをいう。
ま行	モジュール	有モジュールとは、各主要設備の一まとまりの部分をいう。
や行	有効水素保有量	有効水素保有量とは、他からの水素の供給が無い場合において充填および圧縮時に一定量又は時間、正常稼働できる水素量をいう。例えば蓄圧器から FCV への差圧充填時には常用圧力で保持された蓄圧器から充填車両容器へ差圧充填可能な蓄圧器の水素保有量をいう。

2-(2)-①：「水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発」

JFE スチール株式会社、JFE コンテナ株式会社、千代田化工建設株式会社

	用語	説明
英数	AE 法	材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波（弾性波、AE 波）として放出する現象。AE 波は主に超音波領域(数 10kHz～数 MHz)の高い周波数成分を持つ。
	AE 振幅	AE 波の振動の大きさ。
	CFRP	炭素繊維強化プラスチック（CFRP: carbon fiber reinforced plastic, CFRP）は、強化材として炭素繊維を用いた繊維強化プラスチックである。母材には主にエポキシ樹脂が用いられる。単にカーボン樹脂やカーボンとも呼ばれる。
か行	渦流探傷	金属などの導電体表面付近に存在する割れや腐食などの欠陥を非破壊で検査する手法
	技量認定技術者	非破壊検査技術者技量認定試験とは、非破壊で製品を傷つけることなく検査し、製品の安全性や品質を調査する技術者を認定する資格
	グランドナット	水素蓄圧器を構成する部材の一つであり、内包する水素ガスを封止するための蓋部材を支える。グランドナットの外周にはねじが切られており、水素蓄圧器の金属円筒に設けられた雌ねじと螺合することで固定される。
さ行	差圧充填	水素ステーションにおいて、車載高圧水素容器に水素蓄圧器の内圧のみで充填する方法
	充填プロトコル	車載高圧水素容器に水素を安全に効率よく充填する条件
た行	タイプⅢ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプⅢと呼ぶ。
	定期自主検査	高圧ガス保安法 35 条の 2。第一種製造者、指定数量以上の第二種製造者は、製造又は消費のための施設であって経済産業省令で定めるものについて、経済産業省令で定めるところにより、定期的に、保安のための自主検査を行い、その検査記録を作成し、これを保存しなければならない。
	突発型 AE 波	AE 信号は、性質の異なる 2 つの信号にわけられます。1 つは、下図(a)で示されるように、弾性波が立ち上がり、その後減衰していく「突発型 AE」、もう一つは摩擦・摩耗現象が起因とされる(b)「連続型 AE」 <div style="text-align: center;"> <p>(a)突発型AE波</p> <p>(b)連続型AE波</p> </div>
な行	日本非破壊検査協	一般社団法人 日本非破壊検査協会は、「非破壊検査法に関する調査・研究を行い、

	用語	説明
	会	技術水準の向上・普及を図り、もって学術文化の発展に寄与する」ことを目的とした学術団体。
	日本非破壊検査協会規格	日本非破壊検査協会が制定する非破壊試験関連の規格
	ノイズ	試験対象物の表面状態又は組織若しくは装置又は試験条件に起因する本来的でない指示。
は行	フェーズドアレイ法	超音波探傷検査の方法の一つ。アレイ探触子の各振動子から異なったタイミングで超音波を送信および受信し、アレイ探触子を走査することなく所定の領域全体を探傷できる。
	プラグ	水素蓄圧器を構成する部材の一つであり、内包する水素ガスを封止するための蓋部材である。
ら行	連続陰極水素チャージ	溶液中に試験片と対極を浸漬し、試験片を陰極として水の電気分解を行うことにより、試験片表面を水素環境にばく露させる方法である。溶液の種類、電流密度の制御等によって目標の水素量をチャージしやすい方法である。陰極チャージ法とも呼ばれる。

2-(2)-②：「複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」

一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、
国立大学法人東京大学、株式会社日本製鋼所

	用語	説明
英数	JPEC-TD	一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）が発行する技術文書（Technical Document）。
	KHKS 0220	高圧ガス保安協会（KHK）が発行する技術基準「超高圧ガス設備に関する基準」。
	KHKS 0225	高圧ガス保安協会（KHK）が発行する技術基準「圧縮水素蓄圧器用複合圧力容器に関する基準」。
	S-N 線図	縦軸を Stress-amplitude（応力振幅）、横軸を Number of cycles to failure（破断までの繰返し数=疲労寿命、対数目盛）とした疲労特性の関係図。
あ行	圧力サイクル試験	容器に気体または液体（圧力媒体）によって繰返し圧力を加え、破断までの繰返し数(=疲労寿命)を計測する試験。 KHKS 0225 における疲労試験と同意。
	応力	部材内に発生している単位面積あたりの力を言い、部材の変形や破壊などに関する負担の大きさを検討するのに用いられる。破壊の条件をこの値に基づき設定することが多く行われている。 圧力によって容器に生じる応力は、周方向、軸方向、半径方向の3つの応力に整理される。引張応力はプラス、圧縮応力はマイナスで表示する。 単位は、圧力の単位と同じになり、MPa または N/mm ² を使う場合が多い。
	応力範囲	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差。
	応力振幅	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差の 1/2 の値。

	用語	説明
		材料の疲労特性の整理には応力振幅が用いられる。(S-N 線図項参照)
か行	鏡部	容器の円筒胴部の両端の椀状の蓋部分。
さ行	最適疲労曲線	ひずみ制御又は荷重制御の疲労試験の結果に最も適合するように、最小二乗法などによって定めた S-N 曲線をいう。縦軸はひずみ振幅に縦弾性係数の基準値を乗じた仮想弾性応力振幅又は実際の応力振幅を示し、横軸は破壊に至るまでの繰返し回数を示す。
	自緊処理	金属ライナーが塑性変形するのに十分な圧力を容器にかけて、金属ライナーに残留圧縮応力、金属ライナーの外周繊維に引張残留応力を発生させる圧力処理。残留する圧縮応力が、金属ライナーの疲労き裂進展を抑制し、容器の圧力サイクル寿命を延ばす効果が期待できる。
	設計疲労曲線	最適疲労曲線を基準として、応力振幅及び破壊に至るまでの繰返し回数に適切な安全係数を考慮して定めた、許容応力振幅と許容繰返し回数の関係を与える S-N 曲線。
た行	蓄圧器	水素スタンドにおいて、燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」(タイプ 1)、金属層の胴部を炭素繊維強化プラスチックで補強した「鋼製蓄圧器 (タイプ 2)、金属ライナーまたは樹脂製ライナーの全面を炭素繊維強化プラスチックで補強した「複合圧力容器蓄圧器」(タイプ 3, 4) に分類される。
	胴部	容器中央の円筒状部分。
は行	疲労寿命設計線図	本プロジェクトで作成する設計疲労曲線。
	部分充填	蓄圧器から燃料電池車への水素ガス充填において、蓄圧器と車両の燃料容器の圧力が平衡に達したとき、この平衡圧力より高圧力の次の蓄圧器に切り替えて充填を継続する方法が効率的であると言われている。この場合、個々の蓄圧器の圧力が 0 となる前に、蓄圧器に対する充填を行うので、蓄圧器に発生する圧力変動は小さくなる。このように蓄圧器の圧力変動を小さくして充填を繰返し行うこと。
	平均応力	繰返し圧力によって容器に生じる応力の平均値。 (最大応力+最小応力) / 2。 部分充填で用いる蓄圧器は、受けもつ充填圧力の領域によって平均応力が異なる。
	平均応力補正	供用中の蓄圧器の疲労強度を評価するために、疲労強度に影響を与える平均応力の効果を、修正 Goodman 式などを用いて評価し、応力振幅を修正すること。
ら行	累積損傷則	材料の疲労寿命予測において、材料が変動応力を受けるときに、疲労破壊までの寿命を予測する実験則。 S-N 曲線における一定応力振幅の繰返し応力 σ_i に対する破断繰返し数を N_i とし、この材料に σ_i が n_i 回繰返されたとき、下記疲労損傷度 D が 1 に達したときに疲労破壊するという考え方。 $D = \sum (n_i / N_i) = 1$ で破壊。

2-(3)-①：「長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」

一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人九州大学、
 一般財団法人化学物質評価研究機構、NOK 株式会社、高石工業株式会社、
 日本ピラー工業株式会社、株式会社キッツ、株式会社フジキン、
 株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社

	用語	説明
英数	EPDM	エチレン，プロピレンおよびジエン化合物の共重合体をベースとするゴム材料。低温特性に優れ，耐候性，耐溶剤性，耐オゾン性に優れたゴム材料である。共重合の組成比により様々な仕様の材料がある。
	FEM 弾塑性解析	固体の弾性変形と塑性変形を考慮した有限要素法による応力解析
	KHK 事故事例データベース	高圧ガス保安協会（KHK）が製作し、運営管理している高圧ガス関連事故情報データの一覧表。収集した高圧ガス関連の事故情報データを決まった形式で整理し、一般公開している。
	NBR	アクリロニトリルとブタジエンの共重合体をベースとするゴム材料。耐油性，耐熱性，耐摩耗性に優れたゴム材料である。共重合の組成比により様々な仕様の材料がある。
	O リング	溝に組み付けて単独またはバックアップリングとともに静的にまたは可動部分に用いられる円形断面をもった環状のゴムパッキン。
	POM	エンジニアリングプラスチックとして汎用的に用いられているポリオキシメチレンの略である。ポリアセタール樹脂とも呼ばれる。摺動特性に優れた樹脂である。
	PTFE	Polytetrafluoroethylene（四フッ化エチレン）。高い化学的，熱的安定性と優れた自己潤滑性を有する熱可塑性樹脂。しゅう動材やしゅう動用樹脂複合材の母材として広く用いられている。
	PPS	Polyphenylenesulfide（ポリフェニレンサルファイド）。高い強度と耐熱性を有する熱可塑性樹脂。耐摩耗性に優れ、しゅう動部材用樹脂複合材に充てん材として用いられる。
	6 分力計	接触部がうける直交 3 軸方向の 3 つの力（ F_x 、 F_y 、 F_z ）と、各軸まわりの 3 つのモーメント（ M_x 、 M_y 、 M_z ）の 6 分力を同時に計測できるロードセル
あ行	圧縮機	圧縮機とは、水素供給設備から供給された水素を昇圧する機器をいう。
	ウイリアムス摩耗試験	研磨材を設定した円板を回転させ、ゴム試験片を一定の荷重で密着させ、摩耗量を測定する方法。JIS K6264-2 に規定されている。
か行	クラック	き裂と同義語である。材料の降伏変形により発生した裂け目、ひび割れを表す。
	拡散係数	拡散とは、粒子、熱などが自発的に散らばり広がる物理現象である。拡散係数とは拡散の早さを規定する物理量であり、拡散する粒子や熱の流れ（流束密度）は粒子の濃度や温度の勾配に比例し、その比例係数を拡散係数と呼ぶ。固体中の水素の拡散係数は高圧水素中に曝露された際に発生する破壊現象などに影響を与える。
	機械継手	高圧ガス管を接続しねじを締めこむことで密封性を保つ鋼製ねじ込み式管継手の略称。
	コーン&スレッド	ねじ込み式管継手の一種で、円錐形の密封部と締め込みねじから成る。

	用語	説明
	継手	
さ行	セーフティーデータベース	水素ステーションにおける事故、不具合等事例データの一覧表。 NEDO 事業の一環として、水素供給利用技術協会 (HySUT) が 2014 年度より製作/運営管理を行っている。
	充てん率	O リング溝体積に対する O リングの体積比率。
	常用圧力	その製造設備又は消費設備においてそれらが通常使用される状態での圧力 (圧力が変動する場合は、その変動範囲のうちの最高の圧力)。
	設計圧力	設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。
	接触圧力	接触面の法線方向に作用する圧力。
た行	蓄圧器	水素ステーション内に設置される水素を蓄えるための容器。
	ディスペンサー	水素ステーションの設備で、燃料電池自動車等に燃料として高圧水素ガスを供給する装置。 管体、ガス用流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填ノズル等で構成される。
	つぶし率	O リング太さに対する溝組み付け時につぶした長さ比率。
な行	ノズル	水素を車両に供給するための機器。水素を充填する際に車と接続する箇所、セルフ式ガソリンスタンドに例えると実際にドライバーが手にとって給油する部分。
	熱衝撃試験	試験シール部材が周囲温度の変化に対する耐性を評価する方法。本研究では、試験シール部材が高温室と低温室を繰り返し移動させた後にシール特性を評価することで繰り返し熱衝撃に対する耐性を評価した。
は行	ピストンリング	レシプロ式水素ガス圧縮機のピストン部に用いられ圧縮される水素ガスを封止する動的シール部材。
	プレクーラー	水素ステーションの設備の一つで、急速充填による車載タンク温度の上昇を防止するため、事前に水素を冷却する設備。熱交換器と冷凍機から構成される。
	バックアップリング	O リングのはみ出しを防止するために用いられる樹脂製の部品。
	比摩耗量	二つの物体間に働く摩擦による物体の体積または重量の減少量を摩耗量と呼び、単位すべり距離・単位荷重あたりの体積摩耗量を比摩耗量と呼ぶ。
	ブリスタ	ゴム内部に含まれている空気・ガス・水分などにより内部より生ずる膨れなどの破壊。
ま行	摩擦係数	二つの物体の接触面に働く摩擦力と、接触面に垂直に作用する圧力 (垂直抗力) との比を摩擦係数と呼ぶ。
	ミスアラインメント	管の接合部分に生じる軸のずれ。軸心の平行誤差と角度誤差がある。
ら行	ランク区分	水素ステーションで発生した事故、不具合等事例データについて、セーフティーデータベース上、A から E のいずれかに区分している。なお、ランク A、B、C に

用語	説明												
	<p>については高圧ガス保安法上の事故に該当する。各ランク区分の定義は以下の通りである。</p> <p>表. ランク区分</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ランク区分</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A,B,C</td> <td>事故(高圧ガス保安法上の分類)</td> </tr> <tr> <td>D1</td> <td>「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等</td> </tr> <tr> <td>D2</td> <td>「D1」以外の水素設備の故障</td> </tr> <tr> <td>D3</td> <td>「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>ヒヤリ・ハット</td> </tr> </tbody> </table>	ランク区分	定義	A,B,C	事故(高圧ガス保安法上の分類)	D1	「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等	D2	「D1」以外の水素設備の故障	D3	「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障	E	ヒヤリ・ハット
ランク区分	定義												
A,B,C	事故(高圧ガス保安法上の分類)												
D1	「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等												
D2	「D1」以外の水素設備の故障												
D3	「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障												
E	ヒヤリ・ハット												

2-(3)-②：「水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」

国立大学法人九州大学、一般社団法人日本ゴム工業会

用語	説明
<p>あ行</p> <p>一般社団法人日本ゴム工業会</p>	<p>ゴム産業に関する生産、流通、消費等の調査・研究や技術、労働、環境・安全、標準化等に係る諸問題の調査・研究並びに対策の企画及びその推進等を行うことにより、我が国ゴム産業の健全な発展を図り、もって国民経済の健全な発展と国民生活に寄与することを目的として 1950 年に設立された団体である。本プロジェクトに協力いただいているホースメーカー 2 社も加盟している。また、ISO TC45（ゴムおよびゴム製品）の国内審議委員会が設置されており、ISO TC45 の National Mirror Committee である。TC45 ではゴム・樹脂ホースの規格、評価法について取り扱っており、高圧水素ホースの国際規格 ISO 19880-5 を担当する TC197（水素技術）とはリエゾンを行なっている。</p>
<p>か行</p> <p>加速耐久性評価法</p>	<p>高圧水素ホースの評価において、水素ステーションの実用における充填回数・使用期間に比べ、少ない回数、短い期間にて評価するラボ試験を言う。</p>
<p>高圧水素ホースの試用</p>	<p>これまでの NEDO 事業の成果として開発した高圧水素ホースについて、北米水素ステーションのステーションオーナーに協力いただき、国内メーカー製ホースを無償提供し、商用運営されている北米水素ステーションにおいて一般ユーザーの燃料電池自動車に対する実用の水素充填に使用する評価を言う。設置した水素ステーションは米国カリフォルニア州ロサンゼルス近郊の 2 か所であり、1 日の充填回数が 50 回～70 回程度であった。いずれもセルフ充填ステーションであり、充填操作、ホースの取り扱いはユーザー自身が行う。</p>
<p>さ行</p> <p>水素インパルス試験法</p>	<p>高圧水素ホースを最小曲げ半径にて逆 U 字型に設定し、所定の条件で高圧水素を流通させることで供試ホースにパルス状の加減圧を印加する試験法。ISO 19880-5 の 7.9 項に記載されている。現状、1 MPa 以下の圧力から高圧水素ホースの圧力レベルの 1.25 倍の圧力まで 12 秒程度で加圧し、高圧で 5 秒保持、4 秒程度で 1 MPa 以下まで減圧し低圧で 5 秒保持する 30 秒程度の圧力変動プロトコルにより 10,000 回のサイクル試験加減圧を行うことが求められている。</p>
<p>は行</p> <p>パラボラパターン</p>	<p>ゴム、樹脂の破面に見られるパターンの一種である。破壊の進行方向に強度が低い欠陥が存在する場合、き裂の進展に伴いその欠陥からも破壊が放射状に発生</p>

	用語	説明
		し、主き裂の進展による破壊と重なった部分が放物線状の形態を示し、パラボラパターンとなる。
	ホース交換サイクル	水素ステーションにおいて高圧水素ホースを使用する際、交換後、次に交換するまでの限度となる充填回数を示す。
ら行	ラボ試験	本プロジェクトで言うホースの「ラボ試験」とは、実際の水素ステーションではなく、実験室に設置した高圧水素供給設備により所定の条件でホースに加減圧を行う試験の総称である。

2-(4)-①：「本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発」

ENEOS 株式会社、株式会社本田技術研究所、
トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会

	用語	説明
英数	HySUT ガイドライン	水素ステーションの充填性能が JPEC で制定する充填技術基準に合致するかどうか確認するための検査方法を規定するガイドライン。ガイドラインは HySUT がインフラ及び FCV 関連企業、団体と協議し制定する。JPEC-S0003(2012)、JPEC-S0003(2014)、JPEC-S0003(2016)に対応するガイドラインが制定されている。
	MC フォーミュラ	供給ガス温度等に依存して昇圧率を動的に可変させて充填する充填プロトコル。
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、乗り物の標準化を推進する非営利団体
	SAE J2601	SAE の規格は J 番号で表される。J2601 は米国の充填プロトコルを規定する。
	SOC	State of Charge。高圧水素容器に搭載可能な最大水素量に対する実際の水素量の百分率。100%は、容器に最大水素量が格納されていることを示す。
	Type3 容器	金属製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック (CFRP)層からなる複合容器
	Type4 容器	プラスチック製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック (CFRP)層からなる複合容器
か行	過充填	燃料電池車の燃料である水素を格納する高圧容器に規定量以上の水素を充填すること。危険であるため、防止する必要がある。
さ行	充填プロトコル	燃料電池車に燃料の水素を充填する際の規定。過昇温・過充填などにならないように決められている。
な行	ノズル	燃料電池車の車両側の燃料の供給口に接続する装置。燃料電池車に燃料の水素を供給する際に使用する。
は行	プレクール	高圧水素容器に燃料の水素を充填する際、予め供給水素を冷却すること。最低でマイナス 40℃まで冷却される。充填時の圧縮の影響によって容器内の気体温度が上昇する。この温度は 85℃を上限としているため、これを超えないようにする必要があるために取られる措置である。

	用語	説明
	ホットソーク	暖房や日射などを想定し、燃料電池車の高圧水素容器内の温度が周囲の環境温度より高い状態のこと。これを前提にプロトコルは昇圧率を決める。
ら行	レセプタクル	燃料電池車の車両側の燃料の供給口。ノズルと接続することで、燃料電池車に燃料の水素を供給することが可能となる。

2-(4)-②：「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

ENEOS 総研株式会社

	用語	説明
英数	35MPa 水素スタンド	水素スタンドの常用圧力が 40MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 35MPa 充填に対応したもの。
	45MPa トレーラー	45MPa の充填圧力で水素を輸送するトレーラー。45MPa は現行規制上限。
	70MPa スタンド	水素スタンドの常用圧力が 82MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 70MPa 充填に対応したもの。
	7 条の 3 ステーション	市街地への設置が可能な水素ステーション規則
	95MPa トレーラー	95MPa の充填圧力で水素を輸送するトレーラー。95MPa での輸送は、現行規制では認められていない。
	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	KHK	高压ガス保安法第 1 条に明記されている「高压ガス保安協会」(協会) の略称。「高压ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する(同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高压ガスによる災害の防止に資するため、高压ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高压ガスの保安に関する検査等の業務を行う(第 59 条の 2)」団体である。
	WtT エネルギー効率	Well to Tank 一次エネルギー生産(Well)から、FCV 充填(Tank)に至るまでのエネルギー効率
あ行	圧縮水素運送自動車(水素トレーラー)	高压ガスに相当する圧縮状態の水素を移動するための車両であって、圧縮水素運送自動車用容器を車両に固定し、車両ごと移動できるものをいう。高压ガスの製造/消費機能を有する移動式製造設備はこれに該当しない。
	圧縮水素運送自動車用容器	水素製造装置等から圧縮水素を運送するための自動車(トレーラー; 圧縮水素運送自動車)に搭載される炭素繊維複合容器。地盤面に対して移動して使用するため、容器保安規則が適用される。
	圧力サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出を繰り返すことにより、繰り返し疲労を受けることから、想定繰り返回数加圧・降圧を繰り返しても必要強度・性能が確保されていることを確認する試験
	安全弁	高压ガス機器の内圧が設計圧力以上にならないように圧力を逃がすための安全装置。

	用語	説明
	安全弁環境試験	HFCV-gtr に準拠し、硫酸(バッテリー液を想定)、水酸化ナトリウム(洗浄剤を想定)、硝酸アンモニウム(路上の肥料を想定)、メタノール(ウォッシャー液を想定)に浸漬させ、使用上問題となる欠陥が生じないことを確認する試験。
	一般高圧ガス保安規則	高圧ガス保安法（昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）に基づいて、高圧ガスに関する保安（コンビナート等保安規則（昭和六十一年通商産業省令第八十八号）に規定する特定製造事業所に係る高圧ガスの製造に関する保安を除く。）について規定する。
	液体水素	液化した水素のこと。「液化水素」も同義。沸点は-252.6℃で融点は-259.2℃である。圧縮水素に比べて圧倒的に密度が大きく、大量貯蔵・輸送に適している。
	液体水素ポンプ	「液化水素ポンプ」も同義。液体水素を移送したり加圧したりするために用いられる。圧縮水素スタンドに導入されれば、より高いエネルギー効率、よりコンパクトな設備レイアウト、とりわけ高価な蓄圧器の削減、を実現することが可能である。
	オフサイト方式	水素スタンドの敷地外で製造した水素を水素スタンド内に運び込む方式の水素スタンドのこと。
	オンサイト型水素スタンド	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと。
	オンサイト方式	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと。
	温度サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出の都度、温度が上昇・下降するため、温度の上昇・下降を繰り返しても必要強度・性能が確認されていることを確認する試験。FCV よりは圧縮水素運送自動車用附属品の方が使用温度範囲が狭いので試験条件を緩和できると考えられる。
か行	ガイドライン	技術基準の分類における「技術文書」にあたる。技術文書とは、①技術的な成熟度その他の点で、十分なコンセンサスに達する段階には至っていない規格案であって、将来的に制定が期待されるもの、②規格等の作成根拠に関する技術調査報告書等を指す。
	カプラー	水素配管の連結器
	火炎長	水素が漏洩し着火した際の噴出口からの火炎長さ。ピンホール（口径Φ1.0mm）から漏洩させて測定。
	火炎暴露試験	圧力容器を火炎で焙り、圧力上昇に対して安全性が確保されていることを確認する試験。
	火炎暴露対応安全弁	火炎で焙られて温度、圧力が上昇した場合に作動して圧力を逃がす装置
	加速応力破壊試験	高圧ガス保安法容器保安規則により義務化された高圧ガス充てん用容器の試験の一つ。圧縮水素運送自動車用複合容器では、同一の型式内の一つの容器において、最高充てん圧力の125%以上で加圧し、65℃以上で1000時間以上保持することにより行う。
	加速寿命試験	一般には試験時間短縮を目的とし、製品を設計条件より過酷な条件にさらし、不具合が生じないことを確認する試験をいう。

	用語	説明
		安全弁の場合は、作動条件より低い温度に規定時間さらし、劣化等により作動すべきでない温度で作動しないことを確認する。
	火気離隔距離	可燃性ガスを取り扱う高圧ガス製造設備と火気を取り扱う施設との間に確保せねばならぬ距離。一般則第 6 条を引用するかたちで、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
	ガラス球式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱によりガラス体内に封入された液体が膨張し、ガラス体が割れ、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	簡易水素充填設備	本項では JAF のレスキュー車両に搭載し、ガス欠車両に小型水素容器より差圧で水素を最低必要量充填する設備を指す。
	簡易ステーション	圧縮機を省略し、蓄圧器とディスペンサーのみからなる水素ステーション
	技術基準	本プロジェクトにおける「技術基準」とは、圧縮水素スタンドに係る圧縮水素等の取扱い及びこれらに係る設備、施設等の設計、施工、維持管理等並びに容器の製造、設計、試験、検査等に関する保安を推進するために、最新の技術的知見に基づき制定される基準。技術基準には、規格、質疑応答・運用解釈、技術文書に分類される。
	緊急遮断装置	緊急時に当該装置が遠隔操作により作動し、水素の流れを遮断するもの。規定した温度を超えたときに直ちに自動的に閉止作動するものも含まれる。
	クッションタンク	水素ステーションやトレーラーで一時的に水素を貯蔵する高圧容器
	公道ディスペンサー距離	水素ディスペンサーと公道との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
さ行	サイクル試験	高圧容器内の圧力を周期的に上下させ、圧力変動に対する耐性を確認する試験。
	サドルマウント	圧縮水素運送自動車用容器を水素トレーラーに固定するにあたり、胴部の前後 2 ヶ所以上を容器固定バンドで固定する方式。現行の例示基準「一般則第 49 条第 1 項第 2 号ロ関連 63.2 集合容器の固定に係る措置」に記載されている。
	敷地境界距離	高圧ガス設備と敷地境界との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
	遮断弁	水素の供給、遮断を制御するバルブ。
	車載容器	燃料電池自動車の車両に固定した燃料装置用として圧縮水素を充填するための容器。
	車載容器の記載事項	燃料電池自動車の車載容器の記載事項とは、車載容器総括証票における充填すべきガスの名称、搭載容器の本数、充填可能期限、検査有効期限、最高充填圧力、車台番号、及び容器再検査合格商標における再検査有効期限、再検査日をいう。高圧ガス保安法第 48 条より、車載容器に水素を充填する場合に、本記載事項を確認する必要がある。
	車両の重量規制	道路法車両制限令により、重量ごとにかげられる道路の走行制限。
	障壁	法令（高圧ガス保安法等）で定める保安距離を緩和し、保安物件を有効に保護するために設置する強固な壁。（保安距離；高圧ガス設備から保安物件までの法令で定める距離）

	用語	説明
	常用圧力上限	水素ステーションの建設・取り扱いが認められている、通常環境下における圧力上限
	水素透過試験	圧力容器の水素透過性を評価する試験
	水素キャリアー	水素を貯蔵・輸送するための媒体。化学的、物理的に水素を取り出すことが可能な物質、素材全般を指す。代表的なものとして水素吸蔵合金、有機ハイドライド、アンモニアなどがある。
	水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。現行の充填圧力は70MPa。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は70MPaである。
	水素トレーラー	水素の陸上輸送手段の一つ。タイヤのついたフレームに水素を充てんする容器を固定し、これをトラクターでけん引できるようにしたもの。輸送後にトラクターとフレームを分離することができる。
	セルフガソリンスタンド	ドライバーが自ら、内燃エンジン自動車に、ガソリンあるいは軽油を給油することができる水素スタンド。国内では、給油ポンプの起動は従業員が行う。
	セルフ水素スタンド	ドライバーが自ら、燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を充填することができる水素スタンド。国内でのセルフ水素スタンド実施の可能性及び詳細な規格・基準について、本プロジェクトで検討。
た行	タイプⅢ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプⅢと呼ぶ。
	タイプⅣ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。樹脂ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプⅣと呼ぶ。
	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ2,3,4）に分類される。
	超音波探傷検査方法	超音波を試験体中に伝搬させたときに、試験体の示す音響的性質を利用して、試験体内部のきず又は材質を調べる非破壊試験方法。略語はUT
	定期自主検査	高圧ガス保安法35条の2。第一種製造者、指定数量以上の第二種製造者は、製造又は消費のための施設であって経済産業省令で定めるものについて、経済産業省令で定めるところにより、定期的に、保安のための自主検査を行い、その検査記録を作成し、これを保存しなければならない。
	ディスペンサー	圧縮水素スタンド内の装置のうち、燃料電池自動車に燃料として水素ガスを供給する装置。筐体、流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
	電磁式自動弁	水素圧力配管に装着する、電磁式の自動開閉弁
	ドータステーション	マザーステーションから水素供給を受けるステーション

	用語	説明
	ン	
な行	熱作動式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により作動し、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	熱伝達率	固体表面とそれに接する流体との間での熱エネルギーの伝えやすさを表す値。単位面積、単位時間、単位温度差あたりの伝熱量で表す。
	燃焼圧測定	燃焼時に発生する圧力を、圧力センサーを用いて計測すること。
	ネックマウント	圧縮水素運送自動車用容器を水素トレーラーに固定するにあたり、両端に口金部が存在する容器に対し、口金部をブラケットで支持する固定方式。口金部の支持において、一方は固定し、他方はガス充填時等の膨張を考慮した方法であることが求められる。
は行	破壊靱性試験	き裂・き裂状の欠陥を有する材料に、力学的な負荷が加わったときの破壊に対する抵抗を破壊靱性と言い、その値を測定する試験。
	爆風圧	水素が漏洩し着火・燃焼した際に発生する圧力。1kPa 以下となる距離が基準となる。ピンホール（口径 Φ1.0mm）から漏洩させて測定。
	保安検査	高圧ガス保安法 35 条。 第一種製造者は、高圧ガスの爆発その他災害が発生するおそれがある製造のための施設について、経済産業省令で定めるところにより、定期に、都道府県知事が行う保安検査を受けなければならない。
	輻射	ここでは、熱輻射の意味で、(熱)放射ともいう。伝熱の一部で、熱が電磁波によって運ばれる現象。または、物体が熱を電磁波として放出する現象をいう。
	輻射熱	水素が漏洩し着火した際に発生する熱。輻射熱が 1.26kW/m ² 以下となる距離が基準となる。ピンホール（口径 Φ1.0mm）から漏洩させて測定。
	バンク	充填システムにおいて、複数の蓄圧器で構成される、圧力ごとのグループ
	ブースター	吸入圧を任意に設定できるタイプの圧縮機。国内では水素用は製造されていない。海外ではハイドロパック社等が製造・販売している。
	ブラケット	ネックマウント方式において、水素トレーラーに容器口金部を固定するための治具。
	フレーム	容器を搭載するための鋼製の棚。水素トレーラー用のフレームをフルフレームと称することがある。
	プレクーラー	FCV に充填する水素を-40℃(現状規格)まで冷却する設備
	ボイルオフガス	液化水素において蒸発して散失するガス
ま行	マザーステーション	FCV への充填とともに、他ステーション(ドータステーション)への水素出荷も行うステーション
や行	有機ハイドライド	有機化合物に水素を化学的に結合させた物質を指す。常温常圧で液体であり、大量かつ長期の貯蔵・輸送に適している。水素との結合、水素の取り出しが可逆であることも特徴の一つ。
	輸送圧力上限	輸送が認められている(トレーラー容器に充填が認められている)圧力の上限
	容器保安規則	高圧ガス保安法、高圧ガス保安法施行令（平成九年政令第二十号。以下「令」という。）に基づいて、高圧ガスを充てんするための容器であって、地盤面に対して移動することができるもの（以下単に「容器」という。）に関する保安について規定している。
	溶栓式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により金属製の溶栓が溶けて容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
ら行	落下試験	圧力容器を落下させ、変形や破損の程度を確認する試験
	落下衝撃緩衝材	圧力容器が落下した際の衝撃を軽減し、変形や破損を防ぐ材料

	用語	説明
	離隔距離	水素スタンドで義務付けられている3つの距離（敷地境界距離、火気離隔距離、公道ディスペンサー距離）の総称。高压ガス保安法で定義された用語ではない。
	リスクアセスメント	リスク解析によりハザードを特定し、ハザードから事故が起こるシナリオを明らかにし、次に、その起こりやすさと影響度を組み合わせてリスクの大きさ（リスクレベル）を算定し、リスク評価によりその許容基準を設定し、必要に応じてリスク低減策を講じる一連の検討プロセスのこと。
	例示基準	本項では「一般高压ガス保安規則関係例示基準」のことを指す。一般高压ガス保安規則関係例示基準は、一般高压ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、一般高压ガス保安規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる。
	レセプタクル	受け手側のコネクタ(接続器)
	レシプロ型圧縮機	レシプロ(往復動ピストン)による圧縮機。通常、吸入圧は 1MPa 程度以下に制限される。

2-(4)-③：「新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究」

日鉄総研株式会社

	用語	説明
英数	35MPa 水素スタンド	水素スタンドの常用圧力が 40MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 35MPa 充填に対応したもの。
	70MPa スタンド	水素スタンドの常用圧力が 82MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 70MPa 充填に対応したもの。
	A ₃ 点	鋼の結晶構造が体心立方格子(body-centered cubic lattice, bcc)と面心立方格子(face-centered cubic lattice, fcc)の間で変化する固相間の相変態が起こる温度のこと。鋼が含有する化学成分によって変化する。
	AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics
	AIST	国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研） (The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
	ANSI	American National Standard Institute, Inc.（米国規格協会）
	API	American Petroleum Institute（米国石油学会）
	ASME	The American Society of Mechanical Engineers（米国機械学会）
	BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code (ASME)
	CaFCP	California Fuel Cell Partnership
	CEP	Clean Energy Project
	CSA	Canadian Standard Association（カナダ規格協会）
	Design by Analysis	包括的で一般的な設計計算をルール（公式）化してそれに則った設計。限られた情報でも設計でき合否判定も解り易い。しかし包括的である分、安全率は大きく取らざるを得ず、コストアップ要因ともなる。
	Design by Rule	詳細具体的な情報を集めて高度な解析を実施することで不確実性を減じてより小さい安全率を適用する設計。製造や施工のコストダウンの可能性に繋がるが、設計解析に手間とコストがかかる。
	Design by Test	Design by Analysis の Analysis の代わりに実証試験で確認する

	用語	説明
	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	HEE	Hydrogen Environmental Embrittlement (水素脆化)
	HFCV-gtr	水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準であり、欧州を中心に作成され、国連の認証も受けている。燃料電池自動車用の規格であるが、現在作成中のJPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」にも必要箇所は準拠させる。
	JHFC	水素・燃料電池実証プロジェクト (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)
	JPEC	一般財団法人石油エネルギー技術センター (Japan Petroleum Energy Center)
	KHK	高圧ガス保安法第1条に明記されている「高圧ガス保安協会」(協会)の略称。「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する(同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う(第59条の2)」団体である。
	NASA	National Aeronautics and Space Administration (米国航空宇宙局)
	NEDO	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization)
	NIMS	国立研究開発法人物質・材料研究機構 (National Institute for Materials Science)
	NTS	Notched Tensile Strength (切欠き引張強さ)
	RRA	Relative Reduction of Area の略。相対絞りのこと。 相対絞り = (水素中の絞り) / (大気または不活性ガス中の絞り) 水素適合性を評価する指標となる。
	SOC	State Of Charge (充填率)。FCV タンクが圧力 70MPa、温度 15℃のときを 100% とする。
	SSRT	低歪速度引張試験 (Slow Strain Rate Test) のこと。ある環境下で一定の低歪み速度で引張荷重を負荷していき、破断時の伸びや破面の観察で脆化の程度を評価する試験方法。
あ行	安全率	安全率 = 基準強さ / 許容応力。材料のバラツキ、想定する荷重の性質、用途の重要性などに基づいて経験的に決められる。あるいは技術基準類や法規制で(明示的/暗示的に)規定される。
	一般高圧ガス保安規則	高圧ガス保安法 (昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。)に基づいて、高圧ガスに関する保安(コンビナート等保安規則 (昭和六十一年通商産業省令第八十八号)に規定する特定製造事業所に係る高圧ガスの製造に関する保安を除く。)について規定する。 通称「一般則」。
	液体水素	液化した水素のこと。「液化水素」も同義。沸点は-252.6℃で融点は-259.2℃である。圧縮水素に比べて圧倒的に密度が大きく、大量貯蔵・輸送に適している。
	延性破壊	大きく変形した後、くびれを伴って破断する破壊。
	オーステナイト組織	fcc 構造を持つ鋼の組織。
か行	機能性基準	法(例えば高圧ガス保安法)や省令(例えば一般高圧ガス保安規則)で定められた機能上の要求事項。要求を満たす方法は自由であるが、それだけでは適合性の

	用語	説明
		立証も審査も大変なので、多くの場合、監督省庁の内規「機能性基準の運用について」の中で具体的な「例示基準」が示されている。
	技術基準	本プロジェクトにおける「技術基準」とは、圧縮水素スタンドに係る圧縮水素等の取扱い及びこれらに係る設備、施設等の設計、施工、維持管理等並びに容器の製造、設計、試験、検査等に関する保安を推進するために、最新の技術的知見に基づき制定される基準。技術基準には、規格、質疑応答・運用解釈、技術文書に分類される。
	規準強さ	その材料の破損の限界を表す応力で「引張強度」や「降伏強度」など。
	許容応力	使用時あるいは設計荷重に対して許容できる最大の応力。 技術基準あるいは法規制によって、許容応力＝規準強さ／安全率 として安全率を規定する場合、より複雑な許容応力の算出方法を規定する場合、規準強さや安全率には言及せずに許容応力の値を直接規定する場合、などがある。
	コンビナート保安規則	高圧ガス保安法（昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）に基づいて、特定製造事業所における高圧ガス（冷凍保安規則（昭和四十一年通商産業省令第五十一号）の適用を受ける高圧ガスを除く。以下同じ。）の製造（地盤面に対して移動することができる設備による製造を除く。）に関する保安について規定する。通称「コンビ則」
さ行	水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。現行の充填圧力は70MPa。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は70MPaである。
	水素適合性	材料が高圧水素環境下で著しく脆化することなく使用可能であること。
た行	タイプⅠ	鋼製の継目無し圧力容器
	タイプⅡ	鋼製ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。鋼製ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器
	タイプⅢ	アルミライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器
	タイプⅣ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。樹脂ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプⅣと呼ぶ。
	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ2,3,4）に分類される。
	ディスペンサー	圧縮水素スタンド内の装置のうち、燃料電池自動車に燃料として水素ガスを供給する装置。筐体、流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
	ディンプル	多数の小さなくぼみ状の模様。延性破壊をおこした材料の破面に見られる。

	用語	説明
	特定設備検査規則	高圧ガス保安法（昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）及び高圧ガス保安法施行令（平成九年政令第二十号。以下「令」という。）に基づき、特定設備に関する保安について規定する。特定設備の範囲は同規則第三条で定義されている。通称「特定則」。
な行	熱間鍛造	鋼を再結晶温度以上の高温で熱し、プレス機等で圧力をかける鋼の製造工程。鋼の成形および内部欠陥の除去、鋼組織の均質化を目的に行う。
	熱処理	主に鋼の組織を調整する焼入れ、焼もどし、焼ならし工程を指す鋼の製造工程。
	引張試験	鋼試料から採取した試験片に一軸の引張荷重をかけ、試料が破断する引張強さ、降伏点、伸び、絞り等の機械的性質を測定する試験方法。
	引張強さ	引張試験において鋼が破断する強度のこと。
ま行	マルテンサイト組織	原子の拡散を伴わず固相間で結晶構造が変化して生成した硬い組織。
	マルテンサイト変態	原子の拡散を伴わず固相間で結晶構造が変化する変態のこと。
や行	焼入れ	鋼を A_3 点以上の温度まで熱し、一定時間保持後、急激に冷却する熱処理工程。ある速度以上で冷却するとオーステナイト組織が過冷され、硬いマルテンサイト組織に変態する。
	焼入れ性	熱処理において、焼入れ硬化のしやすさを示す鋼の性質で、焼入れ時に表面からどれだけ深く硬い組織が得られるかを示す性質。また、焼入れ性に優れるほど遅い冷却速度でもマルテンサイト変態が起こりやすくなる。
	焼ならし	鋼の均質化を目的とした熱処理工程。
	焼もどし	焼入れた鋼を適切な温度に加熱保持して、組織と性質を調整する熱処理工程。主に鋼の靱性が向上する。
	容器保安規則	高圧ガス保安法、高圧ガス保安法施行令（平成九年政令第二十号。以下「令」という。）に基づいて、高圧ガスを充てんするための容器であって、地盤面に対して移動することができるもの（以下単に「容器」という。）に関する保安について規定している。通称「容器則」。
ら行	例示基準	高圧ガス保安法などの運用および解釈についての経済産業省の内規の一部である。例えば、「一般則例示基準」は、一般高圧ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、同規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる。cf.機能性基準

2-(4)-④：「電気化学式水素ポンプの開発・実証」

株式会社加地テック、東レ株式会社

	用語	説明
英数	TIIS（産業安全技術協会）	労働安全衛生法令で定める機械等の検定業務のほか、JIS、IEC、ISOなどの基準による安全性能試験業務、また国際安全規格体系に基づく規格・基準への適合

	用語	説明
		性の評価と認証業務を行い、また、関係機関からの委託研究、産業安全に係る技術指導、技術講習会などを実施する協会。
あ行	一般則第6条	高圧ガス保安法における一般高圧ガス保安規則（一般則）に該当する。水素以外のガスも含む、高圧ガスの定置式製造設備に係る技術上の基準を定めている。
	一般則第7条3項	高圧ガス保安法における一般高圧ガス保安規則（一般則）に該当する。水素ステーションに関わる技術上の基準を定めている。
か行	機械式圧縮機	気体を加圧、圧縮して連続的に送り出す機械である。機械式圧縮機には大別して容積形とターボ形があり、容積形圧縮機は往復式と回転式がある。
	高圧ガス保安協会（KHK）	高圧ガスによる災害の防止に向け、その保安に関する技術基準の作成、調査、研究、指導、検査等の業務を担っている。独立した第三者機関として、高圧ガス保安法、関係規則等に基づき高圧ガスに用いる容器、設備、施設等に対する検査・認定などの法定業務を実施している。
	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、公共安全を確保することを目的とした法律。
	高圧ガス設備	高圧ガスの通る部分を有する設備であり、圧縮機、ポンプ、蒸発器などの処理設備や配管、貯槽等を表す。
さ行	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料となる水素を補給する施設であり、ディスペンサー、蓄圧器、圧縮機などの設備で構成される。水素ステーションには、その場で水素を製造するオンサイト型、他で製造した水素を運び込むオフサイト型、移動での運用が可能な移動式の3種類がある。
	セル・スタック	セルは電解質膜、電極からなる、水素ポンプを構成する最小単位。スタックは複数のセルを積層し、直列に接続したものの。
	その他の圧力容器類	高圧ガス設備に係る機器の種類。区分Eとして分類されており、蓄圧器、油分離器、ドレンセパレータ等の内圧容器をいう。ただし、貯槽、熱交換器、蒸発器、凝縮器に区分されるものを除く。
た行	電解質膜	電子を通さずイオンのみを通す性質の膜で、負極と正極が電氣的にショートしない絶縁体のような性質を持つ膜のこと。
	電気化学式水素ポンプ	外部から電気エネルギーを加える事により水素を圧縮するポンプ。原理は電解質膜で隔てた電極に外部から電気エネルギーを加える事により水素イオンが電解質膜を移動し、水素を圧縮する。従来のレシプロ式圧縮機と比較して、高効率で水素を圧縮でき、機械的な可動部がない事から優れた耐久性や静音性も期待できる。
	特定設備	高圧ガス保安法において、製造設備のうち、その製作段階における設計、品質、製造過程などの検査が特に必要とされると定められたものを「特定設備」と呼び、貯槽、反応器、熱交換器などを表す。

	用語	説明
は行	防爆	爆発性雰囲気（可燃性ガス・蒸気または粉塵がガスと混合し、その濃度が爆発する恐れがある状態）を生成する恐れがある危険場所で、電気機器から発生する火花や高温による爆発性雰囲気の点火を防ぎ、電気機器を安全に使用する考え方。
	防爆規格	国内では厚生労働大臣が定めた防爆規格として、「電気機械器具防爆構造規格（構造規格）」がある。また、国際電気標準会議（IEC）で制定された国際基準に基づく技術的基準として、「国際整合防爆指針 2015」がある。

2-(4)-⑤：「高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発」

一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社

	用語	説明
英数	35MPa 水素スタンド	水素スタンドの常用圧力が 40MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 35MPa 充填に対応したもの。
	70MPa スタンド	水素スタンドの常用圧力が 82MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 70MPa 充填に対応したもの。
	A ₃ 点	鋼の結晶構造が体心立方格子(body-centered cubic lattice, bcc)と面心立方格子(face-centered cubic lattice, fcc)の間で変化する固相間の相変態が起こる温度のこと。鋼が含有する化学成分によって変化する。
	AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics
	AIST	国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研） (The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
	ANSI	American National Standard Institute, Inc.（米国規格協会）
	API	American Petroleum Institute（米国石油学会）
	ASME	The American Society of Mechanical Engineers（米国機械学会）
	BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code (ASME)
	CaFCP	California Fuel Cell Partnership
	CEP	Clean Energy Project
	CSA	Canadian Standard Association（カナダ規格協会）
	Design by Analysis	包括的で一般的な設計計算をルール（公式）化してそれに則った設計。限られた情報でも設計でき合否判定も解り易い。しかし包括的分である分、安全率は大きく取らざるを得ず、コストアップ要因ともなる。
	Design by Rule	詳細具体的な情報を集めて高度な解析を実施することで不確実性を減じてより小さい安全率を適用する設計。製造や施工のコストダウンの可能性に繋がるが、設計解析に手間とコストがかかる。
	Design by Test	Design by Analysis の Analysis の代わりに実証試験で確認する
	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	HEE	Hydrogen Environmental Embrittlement（水素脆化）

	用語	説明
	HFCV-gtr	水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準であり、欧州を中心に作成され、国連の認証も受けている。燃料電池自動車用の規格であるが、現在作成中のJPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」にも必要箇所は準拠させる。
	JHFC	水素・燃料電池実証プロジェクト (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)
	JPEC	一般財団法人石油エネルギー技術センター (Japan Petroleum Energy Center)
	KHK	高压ガス保安法第1条に明記されている「高压ガス保安協会」(協会)の略称。「高压ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する(同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高压ガスによる災害の防止に資するため、高压ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高压ガスの保安に関する検査等の業務を行う(第59条の2)」団体である。
	NASA	National Aeronautics and Space Administration (米国航空宇宙局)
	NEDO	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization)
	NIMS	国立研究開発法人物質・材料研究機構 (National Institute for Materials Science)
	NTS	Notched Tensile Strength (切欠き引張強さ)
	RRA	Relative Reduction of Area の略。相対絞りのこと。 相対絞り=(水素中の絞り)/ (大気または不活性ガス中の絞り) 水素適合性を評価する指標となる。
	SOC	State Of Charge (充填率)。FCV タンクが圧力 70MPa、温度 15℃のときを 100% とする。
	SSRT	低歪速度引張試験 (Slow Strain Rate Test) のこと。ある環境下で一定の低歪み速度で引張荷重を負荷していき、破断時の伸びや破面の観察で脆化の程度を評価する試験方法。
あ行	安全率	安全率=基準強さ/許容応力。材料のバラツキ、想定する荷重の性質、用途の重要性などに基づいて経験的に決められる。あるいは技術基準類や法規制で(明示的/暗示的に)規定される。
	一般高压ガス保安規則	高压ガス保安法 (昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。)に基づいて、高压ガスに関する保安(コンビナート等保安規則 (昭和六十一年通商産業省令第八十八号)に規定する特定製造事業所に係る高压ガスの製造に関する保安を除く。)について規定する。 通称「一般則」。
	液体水素	液化した水素のこと。「液化水素」も同義。沸点は-252.6℃で融点は-259.2℃である。圧縮水素に比べて圧倒的に密度が大きく、大量貯蔵・輸送に適している。
	延性破壊	大きく変形した後、くびれを伴って破断する破壊。
	オーステナイト組織	fcc 構造を持つ鋼の組織。
か行	機能性基準	法(例えば高压ガス保安法)や省令(例えば一般高压ガス保安規則)で定められた機能上の要求事項。要求を満たす方法は自由であるが、それだけでは適合性の立証も審査も大変なので、多くの場合、監督省庁の内規「機能性基準の運用について」の中で具体的な「例示基準」が示されている。
	技術基準	本プロジェクトにおける「技術基準」とは、圧縮水素スタンドに係る圧縮水素等

	用語	説明
		の取扱い及びこれらに係る設備、施設等の設計、施工、維持管理等並びに容器の製造、設計、試験、検査等に関する保安を推進するために、最新の技術的知見に基づき制定される基準。技術基準には、規格、質疑応答・運用解釈、技術文書に分類される。
	規準強さ	その材料の破損の限界を表す応力で「引張強度」や「降伏強度」など。
	許容応力	使用時あるいは設計荷重に対して許容できる最大の応力。 技術基準あるいは法規制によって、許容応力＝規準強さ／安全率 として安全率を規定する場合、より複雑な許容応力の算出方法を規定する場合、規準強さや安全率には言及せずに許容応力の値を直接規定する場合、などがある。
	コンビナート保安規則	高圧ガス保安法（昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）に基づいて、特定製造事業所における高圧ガス（冷凍保安規則（昭和四十一年通商産業省令第五十一号）の適用を受ける高圧ガスを除く。以下同じ。）の製造（地盤面に対して移動することができる設備による製造を除く。）に関する保安について規定する。 通称「コンビ則」
さ行	水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。 現行の充填圧力は 70MPa。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は 70MPa である。
	水素適合性	材料が高圧水素環境下で著しく脆化することなく使用可能であること。
た行	タイプⅠ	鋼製の継目無し圧力容器
	タイプⅡ	鋼製ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。鋼製ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器
	タイプⅢ	アルミライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器
	タイプⅣ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。樹脂ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプⅣと呼ぶ。
	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ 1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ 2, 3, 4）に分類される。
	ディスペンサー	圧縮水素スタンド内の装置のうち、燃料電池自動車に燃料として水素ガスを供給する装置。筐体、流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
	ディンプル	多数の小さなくぼみ状の模様。延性破壊をおこした材料の破面に見られる。
	特定設備検査規則	高圧ガス保安法（昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）及び高圧ガス保安法施行令（平成九年政令第二十号。以下「令」という。）に基づき、特定設備に関する保安について規定する。特定設備の範囲は同規則第三条で定義されて

	用語	説明
		いる。通称「特定則」。
な行	熱間鍛造	鋼を再結晶温度以上の高温で熱し、プレス機等で圧力をかける鋼の製造工程。鋼の成形および内部欠陥の除去、鋼組織の均質化を目的に行う。
	熱処理	主に鋼の組織を調整する焼入れ、焼もどし、焼ならし工程を指す鋼の製造工程。
	引張試験	鋼試料から採取した試験片に一軸の引張荷重をかけ、試料が破断する引張強さ、降伏点、伸び、絞り等の機械的性質を測定する試験方法。
	引張強さ	引張試験において鋼が破断する強度のこと。
ま行	マルテンサイト組織	原子の拡散を伴わず固相間で結晶構造が変化して生成した硬い組織。
	マルテンサイト変態	原子の拡散を伴わず固相間で結晶構造が変化する変態のこと。
や行	焼入れ	鋼を A ₃ 点以上の温度まで熱し、一定時間保持後、急激に冷却する熱処理工程。ある速度以上で冷却するとオーステナイト組織が過冷され、硬いマルテンサイト組織に変態する。
	焼入れ性	熱処理において、焼入れ硬化のしやすさを示す鋼の性質で、焼入れ時に表面からどれだけ深く硬い組織が得られるかを示す性質。また、焼入れ性に優れるほど遅い冷却速度でもマルテンサイト変態が起こりやすくなる。
	焼ならし	鋼の均質化を目的とした熱処理工程。
	焼もどし	焼入れた鋼を適切な温度に加熱保持して、組織と性質を調整する熱処理工程。主に鋼の靱性が向上する。
	容器保安規則	高圧ガス保安法、高圧ガス保安法施行令（平成九年政令第二十号。以下「令」という。）に基づいて、高圧ガスを充てんするための容器であって、地盤面に対して移動することができるもの（以下単に「容器」という。）に関する保安について規定している。通称「容器則」。
ら行	例示基準	高圧ガス保安法などの運用および解釈についての経済産業省の内規の一部である。例えば、「一般則例示基準」は、一般高圧ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、同規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる。cf.機能性基準

2-(4)-⑥：「新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発」

スヴォトンテクノロジージャパン株式会社

	用語	説明
英数	AI	「Artificial Intelligence」の略で、本プロジェクトではセンサモジュールの経時変動、環境変動を検知し、自己補正等に活用する。
	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。

	用語	説明
	IoT	「Internet of Things」の略で、様々な機器がインターネットに接続され、情報交換により相互に制御する仕組み。 本プロジェクトでは無線によるインターネット接続を想定している。
	IP65	日本工業規格(JIS)準拠の防塵防水規格。防塵 6 級：粉塵が中に入らない(耐塵形)、防水 5 級：あらゆる方向からの噴流水による有害な影響がない
	ISA100.11a	国際標準化された工業用無線規格の一つで、高い信頼性が特徴
	LTE-Cat.M1	LPWA(Low Power Wide Area)向け LTE 通信のカテゴリの一つで、低電力/低遅延が特徴
	Pt 電極	センサエレメント電極に用いる。触媒作用により、水素がイオン化され、センサエレメントに到達することで水素が検知可能となる。
	ReRAM	Resistive Random Access Memory(抵抗変化型 RAM)の略で。電圧パルスを印加することで金属酸化物が酸化/還元され、抵抗が高抵抗化/低抵抗化される性質を電源を切っても記憶内容を保持できる不揮発性半導体メモリとして用いている。
あ行	アルゴリズム	水素検知センサエレメントの動作制御方法
	インフラ (水素)	水素の「製造→貯蔵→輸送→利用」までのプロセスを効果的に運用するための構造。例) 水素パイプライン、水素運搬車
か行	環境分析	環境センサ(温度、湿度、気圧)を用い、センサモジュールの動作環境を分析すること
	間欠動作	システムの動作制御のひとつで、定期的に通常動作とスタンバイ動作を繰り返す制御方法。
	基板	電氣的に外部と繋ぐため金属の配線を内蔵した、センサ素子を搭載する板
	クラウドサーバー	クラウド環境に作られたサーバーで、水素検知センサモジュールのログデータを蓄積し、AI 学習/診断を可能とする。
	検知ベース電流	水素が 0%の時の検知電流
	故障予測システム	センサモジュールから得られたデータを分析、異常を検知し故障予測することにより故障前のメンテナンス、早期部品交換を可能とするシステム。
さ行	自己診断	水素検知センサエレメントの劣化状態をセンサモジュール自身で診断すること
	自己補正	センサモジュールの特性変動が発生した場合、印加電圧等を変更することでセンシング特性を補正し、センサモジュール寿命を延長させるための手段。
	純水素燃料電池	燃料が水素のみの燃料電池。家庭用燃料電池(エネファーム)は都市ガスや液化天然(LP)ガスを改質器に通し、取り出した水素を使って発電する。これに対し、純水素燃料電池は改質器を通す必要がないため、起動が速く、出力を素早く切り替えられるメリットがある。
	水素開口窓	センサエレメント中に設けられ、Pt 電極上の絶縁膜を除去し、電極を露出させた領域。

	用語	説明
	水素検知センサ	気体中の水素濃度を検知し、水素ステーション等での水素漏れを検知する為のセンサ。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は70MPaである。
	水素透過膜	水素だけを通し、その他ガスや水分を通さない膜
	水素パイプライン	製造した水素を輸送する為に地中等に敷設されたパイプライン。
	水素発電	水素と酸素の化学反応を使って電気と熱を生み出す発電方法。
	水素プラント	水素製造を行う設備。化学燃料から水素を生成する設備や最新のものでは自然エネルギーを利用して水素を生成する設備もある。 また、水素を液化する設備も水素プラントに該当する。
	スター型	機器(センサモジュール)とアクセスポイント(基地局等)が直接接続されるネットワーク形態であり、伝送遅延を最小化可能
	成膜	物体の表面に特定の材料を用いてごく薄い膜を形成すること
	接合	同種または異種材料をつなぎ合わせる事
	接触燃焼方式センサ	酸化触媒上で可燃性ガスが燃焼する際の発熱量を利用したセンサで、世界で最も広く普及している可燃性ガス専用検知センサ。
	センサエレメント	水素濃度を検知する為の抵抗素子を指す。
	センサモジュール	センサエレメント、無線通信機器、制御用回路が一体となり、水素漏れ検知を可能としたモジュール。
	センサ素子	水素を検知するセンサ機能を有した電気回路などの構成要素。センサエレメントと同義。
た行	耐圧防爆	内部で水素爆発が発生した場合、制御盤がその圧力に耐え、かつ、外部水素への引火を防止した防爆構造。
	定置式センサモジュール	現在の水素ステーション等で用いられており、有線接続で定点設置されているセンサモジュール。
	ドリフト	検知ベース電流が時間と共に増加或いは減少方向に推移すること
な行	熱伝導方式センサ	ガスの熱伝導率の差をガス濃度として検知する、高濃度ガスの検知に適した実績のある可燃性ガス検知センサ。
は行	パッケージ	センサ素子の機能が果たせるよう、センサ素子自体を外部から保護する部位と、外部と電氣的に接続するための端子などから構成されたもの
	半導体ウェハ	半導体材料を薄く円盤状に加工してできた薄い板のことで半導体基板の材料として用いられている。半導体ウェハ上に印刷・撮影技術を使って回路を書き込んでいき、LSI半導体が出来上がる。
	半導体工場	半導体製品を製造する工場。製造工程の中で水素ガスを使用するケースが多くある。
	フィラメント	ReRAMにおいて、金属酸化物層を絶縁破壊することで形成できる酸素欠損を含む導電領域。

	用語	説明
	防爆構造	電気機器が点火源となり、周囲に存在する水素による爆発を防止する為に適用する技術的手法。
ま行	マスク	電子デバイス（半導体）やマイクロマシン（MEMS）などの精密部品を半導体プロセスで製造する際、回路を書き込むフォトリソグラフィ工程で使用されるツールで、パターニングの原版になるものです。
	メッシュ型	機器が中継機能を持ち、網目状にネットワークが構成され、アクセスポイントと接続されるネットワーク形態であり、経路の冗長化が可能となり信頼性を高めることが可能

2-(4)-⑦：「半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発」

株式会社四国総合研究所

	用語	説明
英数	2f 検波法	レーザーの波長をガスの吸収ピークを中心として周期的に変化させ、検出器をその2倍の周波数に同期させて検出することで、信号を高感度に検出する手法。
	APD	Avalanche Photodiode の略称。検出素子である半導体に電圧を加えることで光子の衝突によって発生する電子を増幅し、通常の写真ダイオードよりも高感度に光を検出することができる。
	AR コート	Anti-Reflection コートの略称。光学素子の表面に誘電体の膜をコーティングすることにより、特定の波長の光の反射率を大幅に低減することができる。
	cm ⁻¹	1 cm の長さに含まれる光の波数を表す単位。波長の逆数。波長に代わる単位として使用したり、励起光の波長を基準とする散乱光の波長のシフト量を表したりする際に使用する。
	CRDS	Cavity Ring-Down Spectroscopy の略称。2枚の高反射率ミラーを向かい合わせにしたキャビティ（共振器）を利用して、低濃度のガスを高感度検出する光学的計測手法。
	DFB レーザー	Distributed Feedback レーザーの略称。半導体レーザーの一種。半導体素子内部のレーザー活性層に回折格子構造を作ることによって、極めて細い線幅で発振する。電流や温度により多少の発振波長の制御が可能である。
	ECDL	External Cavity Diode Laser の略称。外部共振器型半導体レーザー。半導体レーザー本体とは別に外部に共振器を設けて構成するため、このように呼ばれる。
	FCV	Fuel Cell Vehicle の略称。燃料電池自動車。水素を燃料とする燃料電池によって発電した電気によって走行する、電気自動車的一种。水素ステーションにおいて燃料である水素を補給する。
	ICCD 検出器	Intensified Charge-Coupled Device 検出器の略称。入射した光を増幅するイメージンシファイア機構が内蔵されているため、一般的な CCD 検出器（カメラ）と比較して検出感度が高い。
	InAs 光検出素子	半導体であるヒ化インジウムを使った光検出素子。波長 1～3.5 μm 付近の赤外線検出器として使用される。

	用語	説明
	IR	Infra-red の略。一般に赤外波長領域の、という意味で使われる。
	IR-ECDL	赤外波長領域で発振する半導体レーザーを光源とする外部共振器型半導体レーザー装置のこと。本事業においては、キャビティリングダウン分光法 (CRDS) と組み合わせて、特に低濃度成分の計測に適用する予定である。
	IR-LD	赤外波長領域で発振する半導体レーザー。
	ISO	International Organization for Standardization の略称。国際標準化機構。各国の標準化団体で構成される非政府組織。スイス・ジュネーヴに本部があり、国際的な標準である国際規格 (IS: international standard) を策定している。
	LED	Light Emitting Diode の略称。高輝度、長寿命であり、信頼性も高いことから、近年、白熱電球や蛍光灯に代わる照明用の光源として普及が進んでいる。LD (半導体レーザー) と極めて近い構造だが、共振器構造を持たない点で異なる。LD と比べて安価であるため、本事業においても光源としての適用可能性を評価する予定である。
	LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy の略称。レーザー誘起ブレイクダウン分光法。パルスレーザーを集光させて計測対象物質に照射することでプラズマ化し、励起された原子の発光を計測することで物質の組成を分析する分光計測手法。
	PBC	Power Build-up Cavity の略。光出力を増幅するための共振器を指す。本事業においては、半導体レーザーの外部共振器を PBC として使用し、共振器内部の光強度を高めることにより、成分ガスの高感度計測を目指す。
	PD	Photodiode の略。光検出器として働く半導体ダイオード。
	PMT	Photomultiplier tube の略称。光電子増倍管、フォトマルとも言う。光電面と呼ばれる検出領域に入射する光の光電効果により発生した電子を、高電圧によって増幅する。極めて感度が高く、応答も速いため、各種光計測実験において広く用いられている。
	ppb	parts per billion、比率あるいは濃度の単位。十億分の一。1 ppb は 0.001 ppm に同じ。
	ppm	parts per million、比率あるいは濃度の単位。百万分の一。1 ppm は 0.0001% に同じ。
	S/N 比	信号 (Signal) とノイズ (Noise) の比率。
	Si 光検出器	シリコンを検出素子とする光検出器。シリコンフォトダイオードなど。可視～近赤外域に感度がある。
	TDLAS	Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy の略称。波長可変半導体レーザー吸収分光法。半導体レーザーの波長を対象となるガスの吸収線に合わせて変化させ、透過光強度からガス濃度を算出する。
	TEM ₀₀ モード	レーザーの横モードを示す記法。添字 00 は基本モードであることを示す。TEM ₀₀ モードはガウシアンモードとも呼ばれ、ビーム中心の強度が最も高く、周辺に向かうに従い強度が低下する正規分布状の強度分布を示すモードである。TEM は Transverse electromagnetic の略で、光波の磁場と電場がともに伝搬方向に対して垂直であることを示す。

	用語	説明
	Violet-ECDL	波長 400 nm～450 nm 付近の青紫色半導体レーザーを光源とする、外部共振器型半導体レーザー。本事業では、この Violet-ECDL の外部共振器内部で増幅されたビームを励起光源とするラマン分光法により、水素ガス中の不純物ガスの濃度計測を行う。ラマン散乱は、ガスの分子種に応じてそれぞれ異なる特定の波長において生じるため、原理的に、一台の光源で複数のガス種を同時に計測することが可能である。
あ行	アナモルフィックプリズムペア	2つの特殊形状のプリズムを組み合わせて使用することにより、楕円形のレーザービームを円形に整形する光学素子。
	エタロン	2つの反射面を向かい合わせて配置することで、光の干渉を利用して特定の波長のみを透過させるように機能する光学素子。
	オンサイト分析	現場での分析。ガスをサンプリングして持ち帰るのではなく、現場である水素ステーションに分析装置を持ち込んで分析することを指す。
か行	回折格子	基板上に多数の微細な溝が等間隔に刻まれた光学素子で、反射した光を波長ごとに異なった角度に分散する。多くの分光器で使用されている。
	外部共振器	半導体レーザーは素子単体で共振器構造をもつが、それとは別に配置された共振器であることから、外部共振器と呼んでいる。
	ガウス分布	正規分布とも言う。中心付近で最も強度が高く、周辺に向かって連続的に強度が低下するような分布。
	ガスクロマトグラフ	各種の科学分野で汎用されている微量分析装置。
	キャビティ	共振器に同じ。
	キャビティミラー	共振器を構成する高反射ミラー。
	共振器	本事業においては、2枚の高反射ミラーを向かい合わせにした、ファブリ・ペロー型と呼ばれる共振器を使用して開発を行う。2枚のミラー間に閉じ込められた光は共振によって増幅され、定在波を形成する。
	空間モード	横モードとほぼ同じ意味。レーザービーム強度の空間的な分布。
	コア径（光ファイバ）	光ファイバのうち、実際に光が伝搬する部分であるコアの直径のこと。
	光電変換	光電効果を示す物質を利用することで、光を電流に変換すること。
	光路長	光が通過する経路の長さ。高反射ミラーからなる共振器では、内部を光が何度も往復することになるため、共振器を通過する光の光路長は共振器の物理的な長さよりも大幅に長くなる。
さ行	実効光路長	光路長は、光を遮断した場合の減衰時間を計測することにより求められる。共振器を通過する光の光路長はミラーの反射率から計算によって理論的に求めることもできるが、実際に計測された減衰時間から算出した光路長を実効光路長と呼んでいる。
	シリンдриカル	シリンダー（円筒）の一部分を切り取った形状をもつ光学素子の頭に付ける語。シリンдриカルレンズ、シリンдриカルミラーなど。

	用語	説明
	水素	原子番号1の元素。常温常圧で気体であり、最も軽い気体である。次世代のエネルギー源として注目されており、燃料電池自動車FCVの燃料となる。
	水素ステーション	燃料電池自動車FCVへの水素の供給を目的とする施設。本事業は、水素ステーションにおける水素ガスの純度分析装置開発を目的とする。
	スペクトラムアナライザ	波長計とも。一般にスペクトラムアナライザは電磁波のスペクトルを分析する機器の総称であるが、本事業においては特に光の波長を分析する機器を指す。本事業では、レーザーの波長の確認やガスの吸収スペクトルの計測に使用する。
	赤外吸収	赤外波長域における光の吸収のこと。ほとんどの物質はその分子に特異な赤外吸収スペクトルを示す。本事業では、各分析対象ガスに特異な吸収波長を見出し、その波長に合わせたレーザーを光源として使用する。
	全硫黄化合物	H ₂ S、COS、CS ₂ 、メルカプタン等、硫黄を含む化合物。本事業では、H ₂ Sを計測の対象とする。
	線幅	レーザーの発振特性に関する用語。発振しているレーザーの波長（または周波数）領域におけるスペクトルの分布する幅。レーザーの線幅が狭いほど、分光計測の精度は高くなる。
	全ハロゲン化合物	H-Cl等の無機塩化物等やR-Cl等の有機塩化物等。
	線形性	計測された信号と測定対象の物理量との間に、比例関係がどの程度成り立つかを示す語。線形性が高いほど、計測精度が高まる。
た行	縦モード	レーザーの波長（あるいは振動数）領域でのスペクトルの形状。レーザーの光軸方向のモード。
	定在波	進行せず、その場にとどまって振動する波動。共振器内部では、逆方向に進行する2つの光波の干渉により、共振器内部に定在波が生じる。
	同期検波	レーザーの波長などを周期的に変調し、検出器をその変調周波数と同期させて目的の信号の検出を行う手法。雑音に埋もれた微小な信号の検出に有効である。
は行	発振	レーザー装置内部で光が増幅され、レーザービームが射出されることを一般に発振するという。
	半値全幅	山形の関数の広がり程度の指標。ピーク値の半分の値を超える部分の幅。
	バンドパスフィルタ	特定の波長の光のみを通す光学フィルタ。
	ビームプロファイラ	レーザービームの品質（横モード）を評価する機器の名称。
	ビルドアップ	外部共振器（PBC）内部で光波が共振し、生じる定在波の強度が高まることをビルドアップされるという。
	フィードバック光	本事業では、外部共振器から漏れ出し、半導体レーザーの素子に帰還する光のこと。
	分光	光を波長ごとに分けること。プリズムや回折格子などの光学素子によってなされる。

	用語	説明
	偏光	電場および磁場の振動方向が規則的な光のこと。一般に光学では、そのうち電場の振動方向を偏光方向と呼ぶ。
	偏光面	光波の進行方向ベクトルを含み、電場ベクトルもしくは磁場ベクトルのどちらかを含む平面。
	偏波保持ファイバ	光の偏光を保持したまま伝送することが可能な光ファイバ。
	防爆構造	電気機器が点火源となって、周囲に存在する爆発性ガスに点火させることがないように、電気機器に適用する技術的手法。
や行	横モード	進行方向に垂直な断面のレーザービームの強度分布、形状。
ら行	ラマン散乱	入射した光と異なる波長となって散乱される光のこと。
	ラマン散乱断面積	ラマン散乱の強度を表す指標。散乱断面積とは、量子力学において、入射粒子が散乱される確率を標的粒子の断面積として表わす量のこと。
	ラマンシフト	励起光からみたラマン散乱光の波長領域でのずれを示す値。単位 cm^{-1} で表されることが多い。
	ラマンスペクトル	ラマン散乱光のスペクトル。
	ラマン分光	ラマン散乱光を観測することにより物質の分析を行う分光光学的手法。
	利得帯域	本事業においては、半導体レーザー素子内部において、光の増幅が損失を上回り、レーザー発振が生じる可能性のある波長帯域のことをいう。
	リングダウン信号	キャビティリングダウン分光法 (CRDS) において、光源の光を遮断した後、光が減衰していく様子を電気信号として捉えたもの。指数関数的に減衰する信号となる。
	ロングパスフィルタ	特定の波長よりも短い波長の光を遮断し、長い波長の光のみを透過させる光学フィルタ。

2-(4)-⑧：「水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」

国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本重化学工業株式会社

	用語	説明
あ行	圧力組成等温線	水素吸蔵特性を示す曲線で、ある一定温度における水素圧力と水素吸蔵量の関係を示す曲線。
さ行	シェルアンドチューブタイプ	多管式熱交換器とも呼ばれ、胴体に多数のチューブを収めた形の熱交換器の名称。
	水素吸蔵合金	水素を可逆的に高密度に吸蔵・放出できる合金。
	水素吸蔵・放出圧力	水素吸蔵合金が水素を吸蔵して水素化物になる圧力および水素化物が水素を放出して合金相に戻る圧力
	水素吸蔵・放出サイクル試験	水素の吸蔵反応・放出反応を繰り返し実施することで、材料の劣化状況を判断するための試験。一般的には水素を加圧・減圧することで評価されるが、本プロジェクトでは運用条件に合わせて温度を加熱・冷却することで吸蔵・放出反応を繰り返す。

	用語	説明
な行	熱化学式水素圧縮機	熱エネルギーを利用して化学反応を生じさせることで水素圧力を高めることが可能な圧縮機。ここでは化学反応として、水素吸蔵合金の水素吸蔵・放出反応を利用する。
	熱伝導解析	初期温度分布や境界条件などを設定し、数値解析によりシステムの温度分布変化を求める解析
は行	ヒステリシス	ここでは、同一温度で評価した際の水素吸蔵圧力と水素放出圧力の差を指す。
	非定常熱伝導解析	所定の時間範囲における温度やガス流速の計算を行い、各時間における温度分布等を評価する解析
	ファントホッフの関係式	熱力学における状態関数の変化を評価するために使われる関係式。ここでは、温度の逆数と水素吸蔵・放出圧力をプロットすることで、反応のエンタルピー及びエントロピー変化を評価する。
ら行	律速過程	化学反応を複数の素反応に分割した際の一番時間を要する素反応過程。
	ルツボ	高周波誘導溶解を利用して金属を高温で溶解する際に、溶湯を保持する耐熱性容器。

2-(4)-⑨：「HDV 等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発」

国立研究開発法人産業技術総合研究所、岩谷産業株式会社／株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所

	用語	説明
さ行	重量法	水素充填質量をはかりで計量して、ディスペンサーの計量評価を行う方法のこと。
	充填プロトコル (充填手順)	燃料電池自動車に安全かつ迅速に水素を充填するための技術基準。
た行	脱圧量	水素ステーションのディスペンサー付属ノズル取り外しのため行われる、脱圧時の水素放出量のこと。
	トレーサビリティ	ここでは、「計量トレーサビリティ」を指す。国家標準又は国際標準で決められた標準に関連づけられ得る測定結果又は標準の値の性質のこと。
は行	不確かさ	測定の結果に付随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴付けるパラメータ。測定された結果がどの程度確かなのかを示す指標で、計量トレーサビリティが確保できていることを証明するもの。
ま行	マスターメーター法	トレーサビリティが確保された流量計であるマスターメーターを用いて、ディスペンサーの計量評価を行う方法のこと。

研究開発項目 3 : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

3-① : 「水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発」

一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所

	用語	説明
英数	CHS	Center for Hydrogen Safety (水素安全センター) : 米国化学工学会 (The American Institute of Chemical Engineers: AIChE) の下部に設立された水素安全の技術情報を集約する機関
	DOE	Department of Energy : 米国エネルギー省
	EMPIR	The European Metrology Programme for Innovation and Research の略。欧州国立計測研究所協会が実施する計量関連の研究開発プログラムである。
	EN	欧州の規格は EN 番号で表される。例えば EN17124 は欧州における水素品質規格および水素品質保証を規定した規格。ISO 14687:2019 および ISO 19880-8:2019 と整合している。
	FCH JU	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking の略。欧州燃料電池水素共同実施機構で、欧州連合の複数年の研究開発プログラムのうち、水素燃料電池関係の公募・助成・政策等とりまとめを担う官民パートナーシップである。
	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	HYDRAITE	Hydrogen Delivery Risk Assessment and Impurity Tolerance Evaluation の略。欧州 FCH JU のプロジェクトの一つで、燃料電池自動車用水素の品質上の課題に取り組む。
	Hydrogen (プロジェクト)	フランス国立計量研究所が主導した EMPIR との共同プロジェクトで、燃料電池自動車用水素の品質上の課題に取り組む。
	Hydrogen fuel index	水素燃料指標。水素品質規格で定められる 13 成分の濃度の和を 100% から差し引いたもの。
	Hydrogen purity	水素純度。ISO14687 で定められた以外の成分も含むすべての非水素成分を 100% から差し引いたもの。
	IEA/ HTCP	International Energy Agency (IEA) Hydrogen Technology Collaboration Program (TCP) : 国際エネルギー機関/水素技術に関する国際協力プログラム
	ISO	International Organization for Standardization : 国際標準化機構。国際規格の世界的相互扶助を目的とする独立組織で、国家間に共通な標準規格を提供し、世界貿易を促進している。約 2 万の規格は、電気通信を除く全分野、工業製品・技術・食品安全・農業・医療などの分野を網羅している。 また、ISO で策定される国際規格は ISO の後に番号を付け、水素燃料仕様の国際規格は ISO 14687 と称される。
	NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (水素・燃料電池機構) : ドイツの燃料電池・水素ナショナルプロジェクトの研究開発をマネジメントする機関。
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、米国の自動車用規格を定める標準化機関。

	用語	説明
		SAEの規格は「SAE J2600」とJのついた番号であらわされる。
	TC	Technical Committee：専門委員会 ISOの下に設置される各技術分野に関する標準化審議を担当する委員会。各委員会は番号で呼ばれ、水素技術のTCは197番 ISO/TC 197と称される。
	WG	Working Groupe：作業グループ 通常TCあるいはSC:Sub Committee（分科委員会）の下に設置され、個々の国際規格について審議する。TC/SCと同様に番号で呼ばれ、例えば水素燃料仕様（ISO 14687）のWGは27番。ISO/TC 197/WG 27と称される。

3-②：「燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

一般財団法人日本自動車研究所

	用語	説明
英数	1958年協定	正式名称は「車両並びに、車両への取付け又は車両における使用が可能な装置及び部品に係わる統一的な技術上の要件の採用並びに、これらの要件に基づいて行われる認定の相互承認のための条件に関する協定」。自動車の構造及び装置の安全・環境に関する統一基準の制定と相互承認を図ることを目的とし、自動車の構造及び装置に関する規則(以下「UN規則」)について規定されている。
	1998年協定	1998年にジュネーブで作成された「車両並びに車両への取付け又は車両における使用が可能な装置及び部品に係る世界技術規則の作成に関する協定。自動車の安全、環境、燃費及び盗難防止にかかわる世界技術規則「UN GTR」の制定と統一基準「UN規則」との両立を目的とする。つまり、自動車の安全分野についてメーカーが製品の基準適合性を保証し、販売後に政府が市場の自動車の適合性を確認する「自己認証制度」を採用している国を考慮した協定。
	A6061-T6	マグネシウムとシリコンを加えた熱処理型アルミニウム合金の一種で、耐食性が高く、T6処理により高い強度を有する。FCVではType3容器の金属製ライナーに広く使用されている。
	CFRP	炭素繊維強化プラスチック。10 μ mレベルの炭素繊維を数万本単位で幾層にも巻き付けることで、軽量化を実現しながら巻き付けた部品の強度アップを図ることができる。高压容器の場合、ライナーの周囲にCFRPを数10mmの厚さで巻きつけることで、高压ガスを充填した際の耐圧性能を確保する。
	CSA	Canadian Standard Association
	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	GTR	自動車の安全性に関する世界統一基準であり、欧州を中心に作成され、国連の認証も受けている。燃料電池自動車用の基準は、GTR No.13と呼ばれている。
	GTR13-HFCV Phase 1	水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準の審議を行い、2013年6月に採択された。GTR13-HFCVの第1フェーズ。
	GTR13-HFCV Phase 2	Phase1で残課題とされた項目を検討するため、2017年度10月に審議が始まる。GTR13-HFCVの第2フェーズ。

	用語	説明
	GTR13-HFCV	水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準。GTR No.13。
	HRR	発熱速度 (Heat release rate) のこと。火源の燃料の低発熱量[kJ/kg]×火源の流量[kg/min.]で表され、火源のエネルギーを表すための指標のひとつである。
	HRR/A	発熱速度 (kW/m ²) とは、物が燃える時に発生するエネルギーを示す。一般的には発生するエネルギーが小さい程、防火性能が優れている。
	ISO/TC197/WG18 (車載用水素容器および安全弁)	ISO/TC197 は「エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、輸送、測定および利用に関するシステム・装置に関わる標準化」を目的として、1989年11月に国際標準 ISO 中に委員会として設立された。WG18 は、車載用高圧水素容器と熱作動式容器用安全弁(TPRD)を作業テーマとし、陸上乗用車両用燃料として高圧水素ガス・水素混合気体のガス容器に関する要求項目を規定する。また容器に付属する安全弁についての規定を担当するワーキンググループである。
	NWP	Nominal Working Pressure. 公称使用圧力のことで、基準温度(国際的には15℃)における最大の使用圧力のこと。現在の FCV では 70MPa が主流。
	OICA	自動車製造業者の国際団体 (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles) である。フランス・パリに本部を置き、自動車産業の利益を代表する。現在約 40 カ国の自動車関連団体がメンバーとなっており、業者間の意見の交換・調整、自動車関連規制の国際調整のための協議、国際自動車展示会の認定・後援、世界的な視点での自動車生産の統計などをおこなっている。
	SAE	SAE は、モビリティ専門家を会員とする米国の非営利団体である。専門家会議を開き、自動車関連の標準規格の開発を行っている。HFCV-gtr の規格において重要な影響力を持っている。
	SAE J2578	Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety (燃料電池自動車の安全に係る標準)。FCV の水素漏れ等に関する安全の他、高電圧の電気安全等、車両に係る安全要件が規定されている。
	SAE J2579	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles (燃料電池および水素自動車の燃料装置の標準)。GTR13-HFCV Phase1 の審議に、その当時の J2579 ドラフトがベースとして使われた。現在もドラフト審議中であり、GTR13-HFCV Phase2 の審議でもベースとして使用される可能性が高いため、日本からも審議に参加している。
	SSRT	低ひずみ速度引張試験 (Slow Strain Rate Technique)。水素脆化感受性を評価する目的で、腐食液中等で水素を材料にチャージしながら、低ひずみ速度で引張試験を実施する方法。
	SUS304	SUS304 はクロムとニッケルを成分に含むオーステナイト系ステンレスの代表格であり、最もよく使われるステンレスです。
	SUS316L	SUS304 同様オーステナイト系ステンレス鋼の一種。成分調整により高い水素適合性が認められている。
あ行	オーステナイト系ステンレス	常温でもオーステナイトの組織が安定している非磁性材料(オーステナイト相がフェライト相に変化することなく、結晶構造も面心立方格子を維持する)。一般に、耐食性、耐熱性に優れる。

	用語	説明
	応力腐食割れ	引張り応力と腐食環境の相互作用で、材料にき裂が発生し、その亀裂が時間と共に進展する現象を応力腐食割れ(SCC : Stress Corrosion Cracking)と呼ぶ。 本事業で扱うアルミニウム合金の応力腐食割れは、特に湿潤環境中で発生する応力腐食割れに着眼し、HG-SCC : Humid Gas-Stress Corrosion Cracking と称した。
か行	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保することを目的とする法律。
	局所火災暴露試験	車両火災時の最悪時を想定し、熱作動式安全弁から最も離れた箇所を局所的な火災によって容器を晒す試験法である。GTR phase1 では容器底部温度のみが規定されていたため、試験機関によってバラツキがあることが分かった。そのため、Phase 2 では再現性向上のための試験法開発を実施している。
さ行	車載容器	燃料電池自動車の車両に固定した燃料装置用として圧縮水素を充填するための容器。
	自動車基準調和世界フォーラム UN/ECE/WP29	安全で環境性能の高い自動車を容易に普及させる観点から、自動車の安全・環境基準を国際的に調和することや、政府による自動車の認証の国際的な相互承認を推進することを目的としている。国連で世界的な基準調和を議論する唯一の場であり、UN 規則や UN GTR を作成している。
	水素適合性試験法	本事業では、高圧水素ガス環境中で金属材料の耐水素特性を評価する試験法を称する。金属組織の中に侵入した水素が拡散・集積して材料強度を低下させる従来のいわゆる"水素脆化"に対し、ここで扱う水素感受性に影響する現象はメカニズム的に異なるものとして、"水素適合性"と称した。
	世界統一技術基準 (GTR)	GTR : Global Technical Regulation。自動車の装置ごとの安全・環境に関する世界の知見を集めた統一的な技術基準。各国法規への導入による基準の国際調和を目的として、国連において採択された 1998 年協定により制定される。
	赤外線熱画像装置	本装置は、被測定物からの赤外線エネルギーの温度を画像(熱画像)として表示でき、あらゆる物体の表面温度の分布状況の測定ができる
な行	熱作動式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により作動し、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	熱電対	異種金属の 2 つの接点間の温度差により発生する熱起電力現象を利用して、温度差を測定する温度センサー。
	熱流束	対流、熱伝達及び輻射により伝達される熱量のこと
は行	発熱量	発熱量とは、一定の単位の燃料が完全燃焼するときに発生する熱量のこと。一般にボンベ熱量計を用いて測定される。それぞれの燃料に固有の値を持ち、燃料の性能を表すもっとも重要な指標である。発熱量の計算には、通常、低発熱量が用いられ、本試験法にも低発熱量が使われる。
	破裂圧	GTR13-HFCV Phase1 等に規定されている設計確認試験の一つである破裂試験によって測定された圧力(破裂圧力)。

	用語	説明
	破裂試験	GTR13-HFCV Phase1 等に規定されている設計確認試験の一つ。 容器が破裂するまで昇圧することによって破裂圧を測定する試験。
	引張強さ	応力ひずみ線図で最大の応力を示すポイントをこの材料の引張強さと呼ぶ。通常この領域では試験片が大きく変形しており、力学的には意味のない値だが(変形前の断面積を元に計算される公称応力であるため)、疲労限度や硬さと強い相関があるため広く用いられる。
	疲労限	材料の疲労において、物体が振幅一定の繰返し応力を受けるとき、これ以上回数を増やしても破断まで至らない下限の応力振幅値。
	疲労試験	規定された試験片を用い、繰返し応力に対する破断繰返し数を調査する試験。
	ブンゼン型バーナー	このバーナーはガスの供給口を小さな穴を通すことでベンチェリー効果が発生し、その側面から空気を取り込まれる予混合火炎である。構造が単純であり、火炎が安定化しやすい特徴がある。
	輻射	ここでは、熱輻射の意味で、(熱)放射ともいう。伝熱の一部で、熱が電磁波によって運ばれる現象。または、物体が熱を電磁波として放出する現象をいう。
	輻射熱	水素が漏洩し着火した際に発生する熱。輻射熱が 1.26kW/m ² 以下となる距離が基準となる。ピンホール(口径 Φ1.0mm) から漏洩させて測定。
ら行	ラウンドロビンテスト	ラウンドロビンテストは、測定者の技量を含めて測定方法や測定装置の信頼性を検証するために、複数の試験機関に同一試料を回して測定を行う共同作業の一方法。最近では、国際標準試験法の策定や標準試料の選定に国を超えた取り組みも行われている。

3-③：「水素社会に係る国際関連機器等研究・政策動向に関する調査研究」

株式会社大和総研

特別な用語なし。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

1.1 政策的な重要性

「第4次エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)では、エネルギー政策の基本的視点として、「3E+S」、安全性(Safety)を前提とした上で、エネルギーの安全保障(Energy Security)、経済効率性の向上(Economic Efficiency)による低コストなエネルギー供給を実現し、合わせて環境への適合(Environment)を図ることが確認されている。また「水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期に差し掛かっている」等の記載が盛り込まれており、多様化する柔軟なエネルギー需要構造の構築に取り組むこととされている。

更に2017年12月には再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議にて「水素基本戦略」が発表され、2050年を視野に目指す目標や官民が共有すべき方向性・ビジョンが示された。

経済産業省資源エネルギー庁にて作成された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2016年改訂)に、フェーズ1として運輸部門においての水素の利活用として水素ステーションの整備、FCVの普及目標値が明記されている。

また、「第5次エネルギー基本計画」(2018年7月閣議決定)では、水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、“水素社会”を実現していくために、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在しているため、前述の「水素基本戦略」等に基づき、水素が自国技術を活かした中長期的なエネルギー安全保障と地球温暖化対策の切り札となるよう、戦略的に制度やインフラ整備を進めるとともに、多様な技術開発や低コスト化を推進し、実現可能性の高い技術から社会に実装していくことが明記されている。

2019年3月には、水素社会の実現に向けて、水素基本戦略及び第5次エネルギー基本計画で掲げた目標を確実にするため、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が改訂され、2019年9月には同ロードマップにおいて分野毎に掲げる目標の達成に向けて具体的な技術開発事項を定める「水素・燃料電池技術開発戦略」が策定された。以下に、本「水素・燃料電池戦略ロードマップ」と「水素・燃料電池技術開発戦略」の抜粋を添付する。

アクションプランのポイント① <水素利用（モビリティ）>

赤字は新規目標等

‘25年への本格普及期に向けたコスト大幅削減のため、量産技術の確立、徹底的な規制改革

	目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組	
水素利用（モビリティ）	FCV	<ul style="list-style-type: none"> ● 2025年20万台、2030年80万台 ● 2025年頃にFCVをHV並の価格競争力へ価格差低減（FCVとHVの価格差300万円→70万円） ● 2025年頃に主要な要素技術のコスト低減 （燃料電池システム約2万円/kW→0.5万円/kW） （水素貯蔵システム約70万円→30万円） ● 2025年にボリュームゾーン向け車種展開 	<ul style="list-style-type: none"> ● 関係企業・研究機関等での協領域の技術情報や課題の共有 ● 貴金属の使用量低減等に向けた技術開発 ● 水素貯蔵システムにおける炭素繊維の使用量低減等に向けた技術開発
	水素ST	<ul style="list-style-type: none"> ● 2025年320箇所、2030年900箇所相当 ● 2020年代後半の自立化 ● 2025年頃までの整備費・運営費の抜本的な削減（整備費3.5億円→2.0億円、運営費3.4千万円/年→1.5千万円/年） ● 個別機器の2025年頃のコスト目標の設定 （圧縮機0.9億円→0.5億円） （蓄圧器0.5億円→0.1億円） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 徹底的な規制改革と技術開発の一体的な推進（2020年秋までに無人化の実現、低コスト鋼材の使用等） ● 全国的な水素ステーションネットワーク構築の検討 ● 営業時間・土日営業の拡大 ● ガソリンスタンド/コンビニ併設ステーションの拡大
	バス	<ul style="list-style-type: none"> ● 2030年1,200台 ● 普及地域の全国拡大 ● 2020年代前半の車両価格の半減（1億500万円→5,250万円） ● 2030年頃までに自立化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃費・耐久性向上に向けた技術開発 ● 路線バス以外への車種展開 ● バス対応ステーションの整備促進
	トラック	<ul style="list-style-type: none"> ● 2030年1万台 ● 海外市場への展開 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料電池ユニット等の多用途展開 ● 簡素で運用が容易な充填設備の整備促進

※上記の他に、トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める

2. 水素サプライチェーン分野 水素ステーション

現状および目標			主な課題	技術開発事項
	2018年（実績）	2025年頃（目標）	整備費の削減 運営費の削減	① 遠隔監視による水素ステーション運転の無人化や設備構成等の見直し に向けたリスクアセスメント ② 汎用金属材料の水素特性 等に係るデータ取得 ③ 蓄圧器 の寿命延長、新たな検査方法の開発 ④ ホース及びシール材 の更なる耐久性向上 ⑤ 新たな充填プロトコルの開発 （水素供給温度緩和等） ⑥ 運用データの解析の結果等に基づく、水素ステーションの 各機器の仕様や制御方法の標準化・規格化 ⑦ 圧縮機 の効率化・低コスト化（ 電気化学式圧縮機、熱化学式圧縮機 の開発等） ⑧ 液化水素ポンプ の開発 ⑨ 燃料電池トラック等、 新たなアプリケーションに対応した充填、計量技術 の開発 ⑩ 大容量、軽量容器 の開発 ⑪ 大容量、高耐久な 水素貯蔵材 の開発及び生産技術の確立
圧縮機	0.60億円	0.50億円（100台/年・社）		
蓄圧器	0.70億円	0.10億円（500本/年・社）		
プレクーラー	0.20億円	0.10億円（100台/年・社）		
ディスペンサー	0.20億円	0.20億円（100台/年・社）		
その他工事費	1.40億円	1.10億円		
整備費計	3.10億円	2.00億円		
	2017年（実績）			
運営費	3.2千万円	1.5千万円		

※1 実績値は、補助金実績額より試算（固定式、オフサイト・300Nm³/h）。なお、補助金支給対象とならない各種費用（ケーブル・障壁設置費用、土地代等）が存在することに留意。
 ※2 2025年のコスト目標については、一定の出荷数等を確保するといった前提条件あり。

【参考】水素ステーションイメージ図

1.2 我が国の状況

水素・燃料電池戦略ロードマップで示された水素ステーションの2020年160箇所、2025年320箇所程度の設置を実現するためには、水素ステーション事業の自立化に向けたさらなるFCVの導入支援と合わせてステーション整備費、運営費、更には水素調達コストの低減に係る技術開発が重要となる。世界に先駆けて商用水素ステーションの設置を進めてきたが、設置当初とは異なる新たな課題が明確になってきた。水素ステーション、FCVの本格的普及を実現する為に、新たな共通課題を解決することで、水素ステーション事業の自立化に向けた取り組みが求められている。

1.3 世界の取り組み状況

米・欧・中などにおいても、国家レベルで水素ステーション整備およびFCVの導入目標数を設定し、基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みを行い、さらに、我が国と同様にFCV及び水素ステーションの一般普及を目指している等我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。以下に日本及び主要各国の水素ステーション等の状況を示す。

表. 日本及び主要各国の水素ステーション等の状況

国名		日本	米国	ドイツ	中国
水素ステーション 燃料電池自動車	研究開発	NEDO ・超高压水素インフラ 本格普及技術研究開発 事業 ・燃料電池等利用の飛 躍的拡大に向けた共通 課題解決型産学官連携 研究開発事業	エネルギー省 Hydrogen and Fuel cell Program H2@port 等	NOW Clean Energy Partnership (CEP)	科学技術部 再エネおよび水素技術 重要特別プロジェクト 等
	商用 水素ステーション 設置目標数 (70MPa 充填)	160 箇所@2020 年 320 箇所@2025 年 設置補助金：国供出	カリフォルニア州内で 100 箇所@2023 年 設置補助金：州供出 アメリカ全土：280 カ 所計画中@2025 年	100 箇所@2019 年 400 箇所@2023 年 設置補助金：官民折半 (50%/50%) H2 Mobility 中心	300 箇所@2025 年 1,000 箇所@2030 年
	商用 水素ステーション @2020 年 (予定含む)	157	カリフォルニア州 43 (カリフォルニア州建 設決定総数：51)	86	63
	FC 乗用車台数	約 3,800	約 8,000	約 550 台	—
	FC バス等台数 @2020	約 80(70MPa)	約 100	約 60	約 6,500 バス,トラック (35MPa 中心)
水素車 その他	FC 電動リフター (FC フォークリフ ト)	約 250 台 @北九州市、関西国際 空港など 実証試験	約 30,000 台	約 200 台 実証試験実施中	—

1.4 本事業のねらい

2025年以降のFCV及び水素ステーションの本格普及、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する。

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

FCV・水素ステーションの普及拡大に向けた規制見直し・技術開発は、以下の観点から NEDO が持つ知識、実績を活かして推進すべき事業である。

- ・ エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい。
- ・ 水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献。
- ・ 規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要。
- ・ 水素供給インフラについては FCV 普及初期の市場に限られるため、民間単独では開発リスクが大きい。
- ・ 本格的普及、自立化に必要な規格化・標準化は全体として取組み。

2.2 実施の効果（費用対効果）

市場規模予測（出典：富士経済「2020年版水素燃料関連市場の将来展望」）

・ 水素ステーション	89 億円（2020 年）
	339 億円（2030 年）
・ FCV 用水素燃料	9 億円（2020 年）
	433 億円（2030 年）

CO2 削減効果予想

目標最終年度 2025 年度における FCV の普及に伴う CO2 削減量の目標値（40 万トン/年）を達成する。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

2025年の水素ステーションの自立化、2030年以降の水素ステーション事業自立化に向け、水素ステーションの整備費、運営費を低減することを目指し、

- ・ 国内の規制適正化に向けたデータ取得及び基準案の作成・提案を行う。
- ・ 本格普及期を想定した水素ステーションの技術基準案（もしくはガイドライン案）を作成する。（水素ステーションで利用される機器の最適化、次世代水素ステーションの構成の最適化、長寿命化に関する提案など）
- ・ 我が国の水素ステーション関連技術の国際競争力強化等の観点から、国際基準調和・国際標準化にかかる提案を行う。

1.1 研究開発の目標

水素ステーション（固定式オフサイトステーション・300Nm³/h）のコスト

2025年以降

- ・ 整備費を2.0億円以下まで低減させる。
- ・ 運営費を現行の1/2以下まで低減させる。

上記目標値は、本事業で実施しない部分の規制見直し、民間企業等の取り組みを含めている。

1.2 各研究開発項目の目標

達成目標は下記の通り。

研究開発項目1：「国内規制適正化に関わる技術開発」

『最終目標』（2022年度）

主に汎用材料の適用範囲拡大に関し、高圧水素下での評価試験結果を基に基準案作成を行う。

『中間目標』（2020年度）

水素ステーションの規制見直し等のために必要となる研究データを取得し、新たな規制見直し検討項目に対する技術基準案、例示基準案を作成する。

	中間目標	最終目標
1-(1)本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発		
	① 無人運転を実施するための研究開発 無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出、その課題に対する対策とその進め方の明確化	2020年度で終了予定
	① 無人運転を実施するための研究開発 無人運転を可能とする技術課題の整理、それを可能とする安全対策案の検討・立案	
	① 無人運転を実施するための研究開発 省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成	

中間目標	最終目標
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築	
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案	
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 技術基準（省令や例示基準）の改訂に資する技術基準案の作成	
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成	
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業者の業務内容や役割の明確化	
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成	
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施	
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	
1-(2)-①新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発 水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高い SUS316 系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータ並びに既存データを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	新たな水素特性判断基準及びそれを満たす汎用ステンレス鋼を提示し、基準化に資する資料を作成する。
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発 汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	評価結果に基づく許容引張応力を検討し、基準化に資する資料を作成する。
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発 ・汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかにする。 ・汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性の測定結果に基づき、技術指針の作成に資するデータを取得し、技術指針案を作成する。
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発 汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータを取得し、汎用低合金鋼の水素圧縮機への適用可否を判断する。	検討結果に基づき、低合金鋼技術文書を改定する。

	中間目標	最終目標
1-(2)-②連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発		
	① 高圧水素環境下での水素侵入を模擬する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化 105MPa 高圧水素環境下と同等の水素チャージ可能な連続陰極水素チャージ条件を高温～低温まで確立	2020 年度で終了予定
	② 連続陰極水素チャージ法による SSRT 試験方法の確立 陰極チャージ SSRT と高圧水素ガス SSRT の差異確認し陰極チャージ法適用範囲を確立	
	③ 連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立 室温で陰極チャージ疲労と高圧水素ガス疲労試験の差異明確化し陰極チャージ法適用範囲を確立	
	④ 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証 陰極チャージと高圧水素試験で破面等を比較し、妥当性を検証	
	⑤ 水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定 ラウンドロビンテスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成	
1-(2)-③中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発		
	① 中空 SSRT 法／試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発 ・試験条件の最適化を行う。 ・ラウンドロビンテストを行う。	中空試験の簡素化を図る。
	① 中空 SSRT 法／中実試験片高圧水素中材料試験との相関に関する研究開発 中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする。	—
	① 中空 SSRT 法／規格化に向けた調査研究 規格案を作成する。	簡素化附属書案を作成する。
	② 中空疲労試験法／試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	保持時間や繰り返し速度等の影響評価を行い、中空試験片での疲労試験条件を確定する。
	② 中空疲労試験法／中実試験片高圧水素中疲労試験との相関に関する研究開発	中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする。
	② 中空疲労試験法／規格化に向けた調査研究	規格案を作成する。

研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

『中間目標』(2020 年度)

水素ステーションコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーション運営費・整備費低減のための規格案、技術基準案等を作成する。

『最終目標』(2022 年度)

水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。

	中間目標	最終目標
2-(1)水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発		
	① 標準化ガイドライン案の検討 標準化ガイドライン案の完成	2020 年度で終了予定
	② 水素ステーションの能力分類化 適正な充填能力により「能力分類」を制定、ガイドライン案への反映	
	③ 標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討 次世代パッケージシステム実証の検討を行い、必要に応じ実証を行って、低コスト化効果と信頼性・耐久性等の技術を検討	

中間目標	最終目標
2-(2)-①水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発	
①定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築 定期自主検査へのAE法導入障壁への対応策	JSNDIの規格委員会において協議/審査し、2022年度までに日本非破壊検査協会規格を制定
②鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 ・疲労き裂進展に及ぼす水素劣化の影響が、AE法によっても確認される。 ・AE法の定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得	
③鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 AE法の定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得	
④実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築 ・外部環境(振動等)、実操業条件下での昇圧・減圧条件下でのAE監視の妥当性が確認される。 ・保安検査へのAE法導入障壁への対応策の構築	
2-(2)-②複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発	
①-1 ライナー試験片評価法の検討 Al合金の最適疲労曲線の作成	平均応力の補正方法について提案を行い、実容器試験および円筒試験との比較検証を実施
①-2 CFRP試験片評価法の検討 ・樹脂単体の疲労寿命設計線図の作成 ・CFRP試験片のミクロスケール有限要素シミュレーションを完了	タイプ2容器およびタイプ3容器のCF層に関する疲労寿命設計線図を作成
①-3 円筒試験体 評価法の検討 フープラップ容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験結果を用いて疲労寿命設計線図の妥当性を確認	タイプ2容器ライナーおよびタイプ3容器ライナーに対する疲労寿命設計線図の妥当性を検証
①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成 タイプ2容器ライナー材料およびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図を作成	タイプ3容器のライナー材料に関する疲労寿命設計線図を作成
①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証 タイプ3実容器試験データにより疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証	タイプ3実容器の疲労試験データ等から、疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証
② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発 ・タイプ2容器の自主基準案を策定 ・KHKS 0225 改正方針検討	応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法を確立し、KHKS 0225 改正や ISO TC195 WG15(水素ステーション用蓄圧器)に提案
2-(3)-①長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発	
①セーフティデータベースの解析知見の整理 SDBデータ解析の継続	SDBデータ解析の継続
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 機器の加速耐久性評価法案設定	機器の加速耐久性評価法の確立
③シール基盤・改良開発 ・HRSにおける充填回数 15,000 回相当のシール部材開発 ・シール部材の加速耐久性評価法案設定	HRSにおける充填回数 30,000 回相当のシール部材開発 シール部材の加速耐久性評価法の確立
④継手基盤・機器開発 機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。
⑤シール成果に基づく機器開発 HRSにおける充填回数 15,000 回相当の機器開発	HRSにおける充填回数 30,000 回相当の機器開発
2-(3)-②水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発	
①水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素インパルス試験法、改良試験法と実水素ステーションにおける充填回数の相関係数設定。	・高圧水素ホース加速耐久性評価法規格案の作成。 ・充填回数 30,000 回以上の耐久性判断に資するデータ取得
②高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明 ホース耐久性に対する影響が大きい内層樹脂の劣化、破壊に影響する因子を明確化。	

	中間目標	最終目標
	<p>③ 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定 高圧水素加速耐久性評価法を開発し、規格案を作成</p> <p>④ ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供 加速耐久性評価法を用いてデータを取得し、ホースメーカーにフィードバック</p>	
	2-(4)-① 本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発	
	<p>① 低コスト対応プロトコルの開発 ・ Phase1: 水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコルの制御マップを完成させる。(現行: -35~-38℃ ⇒ 緩和後: -25~-33℃) ・ Phase2: 車載タンク側の上限温度見直しを含む革新的プロトコルの見直しを得る。</p>	革新的新規プロトコルの安全性検証を実施し、規格化の提案を行う。革新的新規プロトコルの効果及び課題を纏める。
	<p>② 低コスト高頻度水素充填システムの開発 1時間 10 台の充填を可能とする低コスト高頻度充填システムを完成させる。</p>	<p>・ ダブル充填に対応した低コストプレクールシステムを開発する。 ・ MC フォーミュラに対応した協調制御システムを開発する。</p>
	<p>③ 水素充填技術基準整備に関する研究開発 SAE J2601 改定内容の国内適用における妥当性を検討し、充填技術基準案及び充填技術自主ガイドライン案を作成する。</p>	革新的新規プロトコルの充填技術基準案を作成する。
	2-(4)-② 超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究	
	<p>① 94MPa 級トレーラー概念設計 技術的可能性を確認し、コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする。</p>	2019 年度で終了済
	<p>② 対応する水素ステーション概念設計 コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする。</p>	
	<p>③ システム効率・コスト評価 供給システム全体のコスト、効率を評価し、現行システムと比較評価する。</p>	
	2-(4)-③ 新型高圧水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究	
	<p>① 既存低合金鋼の調査 既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を特定する。</p>	2019 年度で終了済
	<p>② 製造パラメータの影響の調査 熱処理条件が鋼材の引張特性に与える影響を定量的に把握する。</p>	
	<p>③ 耐水素特性の評価 既存低合金鋼および Mo - V 添加鋼について、高強度化と耐水素特性のバランスを評価する。</p>	
	<p>④ 新型蓄圧器の試設計 高強度低合金鋼を想定した試設計を行って鋼材使用量低減の可能性を評価する。</p>	
	2-(4)-④ 電気化学式水素ポンプの開発・実証	
	<p>① 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発 ・ 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する。 ・ スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機(システム消費電力 0.5kWh/Nm³) 対比で有利なことを実証する。</p>	2020 年度で終了予定
	<p>② 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発 システムの技術開発を完了し、コンパクト性、低振動、低騒音について機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 水素出荷設備で実使用における課題を抽出し、82MPa 仕様の水素ポンプシステムに反映する。</p>	

中間目標	最終目標
<p>③水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法 <p>水素ポンプは法律に例示がないため、高圧ガス保安協会(KHK)等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な性能・構造とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防爆規格 <p>水素ポンプは規格に例示がないため、産業安全技術協会(TIIS)等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な仕様とする。</p>	
2-(4)-⑤高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発	
<p>①Mo-V 添加鋼等の高強度化と水素適合性の評価</p> <p>評価用素材を作製し、引張強さが 1000 MPa 以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対して SSRT による水素適合性評価を開始する。</p>	<p>1000MPa 以上の引張強さと水素適合性の両立が可能な化学成分と製造プロセス条件を提示する。</p>
<p>②低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価</p> <p>SCr445、SNCM447、SNCM630 等の低合金鋼の JIS 規格成分材について評価用素材を作製し、各鋼種の引張強さが 1000MPa 以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対して SSRT による水素適合性評価を開始する。</p>	<p>1000MPa 以上の引張強さと水素適合性の両立が可能な JIS 規格鋼種と製造プロセス条件を提示する。</p>
<p>③蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査</p> <p>蓄圧器の製造コストに関する情報収集と整理を行い、本研究開発におけるコスト低減目標ターゲットを明確にする。</p>	<p>上記結果に基づいて新型高圧水素蓄圧器の試設計を行うと共に製造コスト試算を行い、コスト低減効果を検証する。</p>
2-(4)-⑥新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発	
<p>①超低消費電力水素検知センサエレメントの開発</p> <p>センサエレメントの製造条件と回路レイアウト仕様の確立(水素雰囲気 0.5%、反応速度\leq10sec)</p>	<p>水素 0.1%、反応速度\leq10sec、寿命 85°C10 年</p>
<p>②高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モジュール構造仕様、工法の課題抽出と対策方針決定 ・水素透過膜の検証方法の決定 	<p>完全防水型センサモジュール仕様および、信頼性評価の仕様確立</p>
<p>③自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発</p> <p>小型、低消費電力の IoT 対応センサモジュール仕様の確立</p>	<p>開発したシステム技術をベースに警報(漏えい/故障)機能を搭載したシステム技術の確立</p>
2-(4)-⑦半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発	
<p>①Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・PBC 内光強度 1 W 以上を持つ ECDL を開発する。 ・ECDL 発振の安定化を達成する (横モードがガウス分布)。 ・受光光学系の概念設計を完了する。 ・2020 年度研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否 (測定方法、濃度等) を含めて明示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PBC 内光強度 10W以上を持つ ECDL を開発する。 ・ECDL の発振線幅 30cm⁻¹ 以下を達成する。 ・PBC 内光強度 5W以上を達成する。 ・受光系を試作し、酸素を用いて目標感度 ppm オーダー (S/N 比 10 以上) を達成する。 ・寸法 40×50×30cm以下、重量 10k g 以下を達成する。 ・検出限界 1ppm 以下、応答時間 1 分以下、コスト 150 万円以下を達成する。 ・ISO 品質規格全成分を対象として小型マルチガス分析装置の適用可能性を検討し、検出可否 (測定方法、濃度等) を含めて明示する。

中間目標	最終目標
<p>②IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光路長 20m 以上を達成する。 ・ECDL 発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。 ・TDLAS の適用可能性を水素ガスにて確認する。 ・ISO 品質規格）全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 <p>全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。</p> <p>全硫黄成分について、ISO 規格値に対しての計測方法を検討する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・光路長 200m 以上を達成する。 ・ECDL の発振線幅 0.3cm⁻¹ 以下を達成する。 ・実効光路長 100m 以上を達成する。 ・水素検出限界 100ppm 以下を達成する。水素分析への適用可能性を評価する。 ・寸法 40×50×30cm 以下、重量 10k g 以下を達成する。 ・アンモニアを対象として検出限界サブ ppm オーダー以下、応答時間 1 分以下、コスト 150 万円以下（量産効果含む）を達成する。 ・硫化水素を対象として検出限界 ppb オーダー以下を目指す。 ・ISO 品質規格全成分を対象として高感度ガス分析装置の適用可能性を検討し、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 ・全硫黄成分について、計測方法を確立する。
2-(4)-⑧水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発	
<p>①昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発</p> <p>30℃において 20MPa～35MPa の水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、80℃における水素放出圧力を評価する。</p>	<p>80℃で 80MPa での水素放出が可能で、30,000 回の吸蔵放出サイクル後（外挿により算出）に初期容量の 80%以上を維持する水素吸蔵合金を開発する。</p>
<p>②昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1 回/2 時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計する。 ・昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ・良好な伝熱性能を備え、80MPa の水素に対する耐圧性を有する昇圧用水素吸蔵合金容器構造を開発する。 ・昇圧容器に必要となる熱交換システムなども含めた設計検討を行い、実用化・事業化を意識した水素昇圧システムを確立する。
<p>③昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討</p> <p>Ti 系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を行い、適したルツボ材の候補を選定する。</p>	<p>ルツボ材の使用可能回数を調査検討し、製造コストについて提示する。量産炉に適用可能なルツボ材、溶解プロセスを確定し、本システムに適用される水素吸蔵合金の大規模製造プロセスを確立する。</p>
2-(4)-⑨HDV 等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発	
<p>①マスターメーター法計量精度検査方法の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備の整備仕様の確定 ・実流装置改善による高精度コリオリ流量計の準備 ・実証データ蓄積による精度影響要因の分析・抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・流量計性能向上改良。 ・器差±2.0%級、不確かさ 0.4%の達成 ・計量検査周期見直しによる検査コストを 1/3 に低減 ・マスターメーター法計量検査基準・安全基準策定
<p>②新プロトコルに対応する水素計量技術の開発</p> <p>大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の性能評価</p>	<p>HDV 用プロトコルの水素計量技術に対する影響評価及び不確かさ評価</p>
<p>③HDV 用の水素充填技術等に関する調査・研究</p> <p>HDV 対応システムハードウェアの仕様検討</p>	<p>HDV 対応システム機器の詳細仕様を決定し、水素先進技術研究センター(仮)の試験条件にフィードバックし、技術検証</p>
<p>④HDV 等の新プロトコル対応に係る技術検証</p> <p>水素先進技術研究センター(仮)の仕様決定</p>	<p>2022 年度下半期に各開発項目の成果を技術検証</p>
<p>⑤高圧水素計量技術に関する国際協調</p> <p>水素燃料計量用流量計・検査装置の調査</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・海外製流量計との比較試験による国際整合性評価 ・ラウンドロビンテストの実施による優位性の立証

研究開発項目 3：「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

『中間目標』(2020 年度)

水素ステーション関連技術の国際標準化、F C Vにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

I E A等海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。

『最終目標』(2022 年度)

水素ステーション関連技術の国際標準化、F C Vにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

I E A等海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。

中間目標	最終目標
3-①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発	
①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進 国際議論の進捗に合わせた関連国際規格の発行と日本からの新規提案の具体化	策定審議中の ISO 国際規格、並びに、今後新規提案される ISO 国際規格や既制定規格の改訂に関しグローバル動向を踏まえつつ、日本案を策定して、制定を主導的に取り進める。
①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進 水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行	水素品質、インターフェース関連国際規格改定に関し日本案を策定して、制定を主導的に取り進める。
②標準化活動等に係る国際連携の推進 国際連携の推進のため種々関連会議等への参加	CHS 等国際連携活動の継続
③ISO 水素品質国際規格のための研究開発 ISO 水素燃料仕様で規定される不純物の許容濃度の適正化指針策定	改定に必要なデータを見極め、海外と連携しながら必要な検討結果を取りまとめる。
③ISO 水素品質国際規格のための研究開発 適切な管理方法を検討し、水素品質ガイドライン案を作成する。	水素品質管理の国際規格改定に合わせたガイドライン改定等の取組
3-②燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発	
①FCV の国際技術基準 (HFCV-GTR Phase2 等) に関する国際基準調和・標準化活動 各審議課題に対する日本提案 (試験法等) を HFCV-GTR Phase2 会議に提案し、自動車基準調和世界フォーラム (UN/ECE/WP29) 傘下の GRSP にて国際合意を得る。	HFCV-GTR Phase2 審議に参画し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制した合理的な基準となるよう審議を推進して国際合意を得る。
②容器火炎暴露試験法見直し HFCV-GTR Phase2 において、再現性向上に向けた火炎暴露試験法案を提案する。	HFCV-GTR Phase2 において、再現性向上に向けた火炎暴露試験法案を提案する。
③金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大 ・国際合意可能な水素適合性試験法案およびその技術的根拠を提案する。 ・ SUS304 を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。	・ 国際合意可能な水素適合性試験法案およびその技術的根拠を提案する。 ・ SUS304 を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。
3-③水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究	
①最新動向調査 世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な最新動向を把握する。	2020 年度で終了予定
②国別政策・市場調査 主要国の水素燃料電池に関する政策・市場動向を正確に把握・分析する。	
③方向性検討 上記結果を踏まえ、国内政策への示唆を得る。	

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

事業の目標を達成するために、以下の研究開発項目について、研究開発を実施する。

研究開発項目 1：「国内規制適正化に関わる技術開発」

主に将来に向けた水素ステーションに関する課題として、例えば省人・無人運転に関する法的課題の整理、省人・無人に必要な対応技術開発項目および安全性向上に関する検討し、水素ステーションに関するリスクアセスメントの実施、最適な解析手法に基づく安全性向上に関する技術開発項目検討や代替措置の検討を行う。この結果を研究開発項目 2 の「水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」の技術基準見直しに反映し、国内外の商用ステーションの現状調査、規格に基づく機器構成を比較するとともに、家庭・小規模事業所等での水素充填等を可能にするための法的課題の抽出を行う。

汎用材料の適用性拡大のため、使用圧力・温度を検討し材料の疲労に関するデータ取得、解析を行い、水素特性判断基準を検討し、新たな水素特性判断基準に基づき、汎用材の適用範囲の拡大、合わせて工事費、メンテナンス費の低減、漏えい等の安全対策向上を目的として汎用材の溶接特性評価・検討するとともに、試験費用の低減及び試験期間短縮のために疲労試験方法に代わる簡易試験方法を確立する。

1-(1)：「本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」

一般財団法人石油エネルギー技術センター

水素ステーションの自立化、建設コスト低減を通じた自律的な水素販売ビジネスの展開を目的に、規制改革実施計画の案件を踏まえ、以下の 4 項目に対する研究開発を実施する。

1. 無人運転を実施するための研究開発

水素ステーションの無人運転を実現するために必要な技術基準案を策定する。そのために、現行規制の無人運転に対する課題整理と国内外の法規制の比較等も踏まえて、無人運転を実現するために対応が必要となる法規制の整理と課題抽出や対策検討等の法技術的な検討を行う。また、ステーションの無人運転に伴い生じる技術課題を抽出し、その結果を踏まえた安全対策の調査及び技術検討を実施する。これらをもとに技術基準案を策定する。

2. リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

リスクアセスメントの対象となる高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則（以下、一般則）第 7 条の 3 第 2 項を満足する狭小な水素ステーションモデルを構築するとともに、定量性と汎用性を高めることが可能となった新たなリスクアセスメント手法を構築する。そして、リスクアセスメントの再実施を行い、その結果に基づき、必要十分な安全対策を明確にし、技術基準等の見直しに資する検討を行う。そして、一般則第 7 条の 3 において、見直し余地のある条項を抽出し、安全対策の有効性検討により技術基準を見直し、技術基準案を策定する。

3. その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施

(1)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

水素ステーションの保安を監督するものとして、各水素ステーションで選任が求められ

ている保安監督者に関して、複数の水素ステーションの兼任を可能とするための要件の検討を実施し、検討から得られた兼任を可能とする要件を明確にする技術基準案を策定する。

(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

FCV 普及の目的で家庭での充填が可能になるよう、家庭用水素充填設備のモデルを構築し、そのモデルに基づき、実現に向けての法的課題の抽出を実施する。

1-(2)-①：「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」

一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、
国立大学法人九州大学、一般財団法人金属系材料研究開発センター、
日本製鉄株式会社、愛知製鋼株式会社、株式会社日本製鋼所

水素ステーションの普及目標として 2025 年に 320 か所の整備が掲げられている。実現には水素ステーション事業の自立化に向け、コスト低減のためのさらなる取り組みが必要である。そこで水素ステーションで使用可能な材料の範囲を拡大するために以下の 4 項目の研究開発を行い、汎用レベルの材料の使用の可能を目指す。

1. 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

絞りに代わる新たな水素特性判断基準について可能性を検討し、安全を担保しつつ、規制の緩和につながる材料範囲の拡大に向けた検討を行う。例えば SUS316 系・SUS304 系といった汎用材について高圧水素環境での試験を行い、得られた試験結果とこれまでに報告されてきた既存データを元に総合的に解析して新たな水素特性判断基準を検討する。新たな水素特性判断基準に基づいて検討された、水素ステーションで使用可能な鋼材の範囲拡大について、一般則例示基準 9.2 への反映を目指し、基準化に資する資料を作成する。

2. 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

従来の研究において良好な水素適合性を有することが確認されている SUS316L や SUS305 等に上記の SUS304 等も加えた汎用ステンレス鋼について、冷間加工を施した場合の水素適合性や許容引張応力の設定を検討し、基準化に資する資料を提示するものである。

3. 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

研究開発 1 で新たに適用範囲拡大が見込まれる領域も含めた SUS316 等の汎用ステンレス鋼の溶接について強度等の材料特性や水素適合性を検討する。検討結果を踏まえ、汎用ステンレス鋼が使用可能な範囲、条件等を明らかにし、水素ステーションで汎用ステンレス鋼溶接材を用いる際の技術指針を作成する。

4. 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

圧縮機を想定した高温水素ガス中の使用に対する汎用低合金鋼の各種評価試験や検討を行い、水素圧縮機への適用可否について判断する。水素圧縮機への適用が可能と判断されれば、低合金鋼技術文書(JPEC TD 0003)を水素圧縮機の対象温度まで適用温度範囲を拡大する取組を行う。特に、圧縮機材料における水素の影響は、高温状態が維持されているときより、高温での運転中に鋼中へ水素が侵入し、停止により温度が下がった後、再起動で大きな圧力負荷が発生した場合が最も厳しい条件と考えられるが、そのような条件を想定した評価

結果がほとんど存在しない。そこで、具体的な取り組みとしては、高温高圧水素ガス環境等により鋼中に水素を侵入させた材料を、鋼中から水素が抜けないように高圧水素ガス環境のまま温度を下げ、SSRT 試験、破壊靱性試験等を実施し、水素圧縮機の安全性を評価するための材料特性に関するデータを採取する。

1-(2)-②:「連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発」

J F E スチール株式会社

高圧水素ガス環境下での材料特性を、より多くの研究機関で、より低コストかつ簡便に評価可能な手法の開発を目的とした。具体的には、低合金鋼を対象とし、高圧水素ガス中と同等の水素を電気化学的に試験片中にチャージし、汎用の SSRT 試験機や疲労試験機を用い、試験中も水素チャージを継続して行いながら SSRT もしくは疲労寿命試験を行う連続陰極水素チャージ材料試験法を開発する。

1. 高圧水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化
2. 連続陰極水素チャージ法による SSRT 試験方法の確立
3. 連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立
4. 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証
5. 水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定

1-(2)-③:「中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発」

国立研究開発法人物質・材料研究機構

中空試験片高圧水素中 SSRT 法と中空試験片高圧水素中疲労試験法を確立するために以下の研究開発を行う。

1. 中空試験片高圧水素中材料試験法の試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発
水素ステーション常用圧力クラス以上でのデータを取得し、標準試験片の形状と条件を決める。
2. 中空試験片高圧水素中材料試験と中実試験片高圧水素中材料試験の相関に関する研究開発
同材質、同試験条件で両方式の試験データを比較し、中空・中実試験片方式間の相関関係を把握する。
3. 中空試験片高圧水素中材料試験法の規格化に向けた調査研究
規格化に向けて、外部有識者を含むタスクフォース等により研究項目①及び②の実施内容及び結果の評価を行い、当該試験法の規格案を作成する。

4. 事業間連携

重複データ取得を避けるため、連携する NEDO 事業である「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」と連携を図り、共同にて効率的な事業推進に努める。

研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

標準的な仕様条件などの規格化、標準化を検討する。構成機器検討から得られる成果を具体的なシステムに落とし込みモジュール化、パッケージ化および規格化の検討、運営費低減のために、構成機器の寿命延長の安全性評価方法の確立と業界技術基準案の策定を行う。特に複合容器については I S O T C 1 9 7 W G 1 5 (複合容器分科会) への容器寿命検討に関する提案が出来るようデータ取得、理論構築、ヒートサイクル・圧力サイクルに対する信頼性向上として、長寿命高圧水素ホースの開発、長寿命高圧水素継手・シール部材の開発、本格普及期に必要なと思われる大量かつ効率的な水素輸送やそれに伴う次世代向け水素ステーションの法的課題の抽出、技術課題の検討、さらに普及期を見据えた充填対応技術開発、省エネルギー等に資する機器開発を実施する。

2-(1) : 「水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」

一般社団法人水素供給利用技術協会、E N E O S 株式会社

水素ステーションの設備・機械設計及び制御・電気設計の標準化を検討し、業界全体で統一可能なガイドライン案を策定し、規制見直し・技術開発と一体で進めることで、建設コスト削減や設備の互換性・拡張性向上につなげる。また、水素ステーション規模を実際の商用水素ステーションの実需要データ等に基づき適正な充填能力を指針とした「能力分類化(カテゴリー化)」を実施し、過剰設備の洗い出しと適正化を検討する。

1. 標準化(ガイドライン案)の検討
2. 水素ステーションの能力分類化
3. 標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討

2-(2)-① : 「水素ステーション用タイプ 2 蓄圧器の供用中検査手法の研究開発」

J F E スチール株式会社、J F E コンテナ株式会社、千代田化工建設株式会社

水素蓄圧器の定期自主検査は、開放検査および非破壊検査(肉厚測定)を実施することが定められている。Type1 蓄圧器は UT を用いた供用中検査が可能である一方、タイプ 2 蓄圧器は表面が CFRP 層で覆われているため UT 法の適用が困難となり、コスト高な開放検査が必須である。タイプ 2 蓄圧器へのアコースティック・エミッション法(AE 法)の適用技術を開発することで、タイプ 2 蓄圧器の供用中検査を可能とし、水素ステーションの保安検査の運営コストを削減する。

1. 定期自主検査への AE 法導入シナリオの構築
2. 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動の AE による検出
3. 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動の AE による検出
4. 実機タイプ 2 蓄圧器による高圧水素サイクル条件下で AE 法の構築
5. 基準化への取組

2-(2)-②：「複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」

一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、
国立大学法人東京大学、株式会社日本製鋼所)

水素ステーションに設置される複合圧力容器のコスト削減に向け、複合圧力容器評価方法の簡素化及び使用寿命延長に関する技術開発を実施するものである。具体的には、現状では実蓄圧器を用いた圧力サイクル試験により寿命を評価している、タイプ 2 およびタイプ 3 蓄圧器（複合圧力容器）を構成する材料の材料試験片による疲労寿命評価方法、複合圧力容器の応力解析、疲労解析方法を確立し、疲労寿命設計線図を用いた疲労設計、累積損傷則の適用を可能とし、実容器疲労試験費用、試験時間の削減を図ると共に使用寿命の延長を図る。また、複合圧力容器の技術基準の整備に向け、タイプ 2 蓄圧器の技術基準に資する自主基準案を策定するとともに、タイプ 3 蓄圧器の技術基準である KHKS 0225 の改正に向けた内容検討を実施する。事業推進に当っては、圧力サイクル試験に替わる蓄圧器の寿命評価手法にあたる以下に示す 1 の技術開発に関して 5 テーマにわけ、計 6 テーマに取り組む。

1. 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発
 - (1) ライナー試験片評価法の検討（KHK）
 - (2) CFRP 試験片評価法の検討（KHK、東京大学）
 - (3) 円筒試験体評価法の検討（JSW、東京大学）
 - (4) 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成（東京大学）
 - (5) 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証（JPEC）
2. 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発（JPEC）

2-(3)-①：「長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」

一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人九州大学、
一般財団法人化学物質評価研究機構、NOK株式会社、高石工業株式会社、
日本ピラー工業株式会社、株式会社キッツ、株式会社フジキン、
株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社

水素ステーションの設備信頼性向上のためには、継手、シールなど高圧水素インフラにおける締結・摺動要素に関する潜在的漏えい箇所について、その漏えい発生メカニズムの検討が必要である。また、水素ステーションの運営に際して、毎年実施される開放検査もコスト増大の一因となっている。例えば、プレクラー以降の配管、付属品類（遮断弁、フィルター、緊急

離脱カップラー、ノズル等)はヒートサイクル(外気温度 \leftrightarrow -40 $^{\circ}$ C)及び圧力サイクル(0.1MPa \leftrightarrow 82MPa)に曝されることから、ガスケット、継手、グラウンド等で微少リークが発生する可能性があり、信頼性確保のため消耗品であるOリング等シール部材を毎年交換している。本事業で、継手等の締結部材からの漏えい発生メカニズム、高圧水素シール部材の高圧水素環境下における劣化、寿命に関する知見を得て、継手、シール、弁の使用期間を延長し、もって開放検査の実施間隔の延長を可能とし、水素ステーションの運営コストの低減や稼働日数の増加を図ることを目的として、以下の5つのサブテーマにより研究開発を実施する。

1. セーフティーデータベースの解析知見の整理
2. 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討
3. シール基盤・改良開発
4. 継手基盤・機器開発
5. シール成果に基づく機器開発

2-(3)-②:「水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」

国立大学法人九州大学、一般社団法人日本ゴム工業会

現在、ホースメーカー各社はNEDO事業「水素利用技術研究開発事業」において試作した87.5MPa水素ホースの実用化、事業化を進めるフェーズにあるため、本事業では、ホースメーカー各社がそれぞれの高圧水素ホース実用化、事業化を進める上で、共通の開発課題である高圧水素ホースの耐久性評価法に関する開発を目的とする。高圧水素ホース耐久性評価法及びその評価基準をホースメーカー各社及びディスペンサー等ステーション機器メーカー、ステーション運営事業者と共有することによって、さらなる高耐久性高圧水素ホースの開発及びその水素ステーションへの実装が進展し、高圧水素ホースの使用可能充填回数の延長によりステーション運営コストの低減に寄与できると考えられる。具体的な研究開発の内容は以下の4点である。

1. 高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充填回数の相関解明
2. 高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明
3. 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定
4. ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供

2-(4)-①:「本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発」

Eneos株式会社、株式会社本田技術研究所、
トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会

水素ステーションの自立化は、本格普及期(1時間に10台充填)であり、水素社会を実現

するためには、高頻度充填を狙った低コストなダブル充填システムを構築することが必須である。水素ステーションの低コスト化の鍵は、ステーション構成要素の簡素化と、それを可能とする充填プロトコルを含む低コストな充填システムの開発である。そこで、本事業では本格普及期において両者が達成できるよう、次の研究開発を実施する。

1. 低コスト対応プロトコルの開発

充填時間を延ばすことなく水素供給温度を緩和（高温化）可能とする革新的プロトコルを開発する。

2. 低コスト高頻度水素充填システムの開発

整備費及び運営費を低減する、本格普及期に向けた低コスト高頻度充填システム（1時間に10台充填可能）を開発する。

3. 水素充填及び水素ステーションシステムに関する調査

プロトコルの規格化に向けた調査・検討を行う。

4. 水素充填技術基準整備に関する研究開発

SAE J2601 の改正に対応し、国内の水素ステーションの諸制約に応じた水素充填技術基準の整備や研究開発 1 で開発されるプロトコルに対応した基準の整備に向けた技術検討を行い、基準案を作成する。

2-(4)-②：「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

E N E O S 総研株式会社

燃料電池自動車の本格普及期に必要とされる大量かつ効率的輸送方法(軽量容器を搭載した超高压水素トレーラー等)並びに、それに伴う次世代水素ステーションの技術課題と法的課題について調査研究を行う。

2-(4)-③：「新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究」

日鉄総研株式会社

タイプ I 高压水素蓄圧器には JIS 材である SCM435 や SNCM439 といった比較的安価な汎用低合金鋼をベースとした強度低減材が用いられているが、高压による厚肉化はコスト増の要因であると共に大口径化の障壁ともなっている。また、一般論として低合金鋼は強度が大きいほど水素感受性が高まる傾向があるが、すべての鋼種でデータが揃っている訳ではない。

本調査研究では、蓄圧器の薄肉化や大口径化によるコスト低減に寄与する可能性のある高強度の鋼材を見出すことを目的として、①既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を探索し、②強度に対する熱処理条件の影響を材料試験によって評価し、③耐水素特性を材料試験によって評価し、④蓄圧器を試設計して薄肉化の可能性を定量的に評価する。

2-(4)-④：「電気化学式水素ポンプの開発・実証」

株式会社加地テック、東レ株式会社

水素ステーションにおいて、機械式圧縮機を使用した場合、現状からの大幅なコスト低減は困難と予想される。電気化学式水素ポンプシステムは、将来大容量化が可能となると、大幅に水素ステーションのコストを削減できる可能性がある。水素ポンプシステムの国内初の製品化を行い、将来的に水素ステーション向けの製品化、水素充填設備向けの製品化を目指し、以下の研究開発を実施する。

1. 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発

吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様水素ポンプのセル・スタックを開発する。

2. 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発

吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様の水素ポンプシステムを開発する。

3. 水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応

水素ポンプ（セル・スタック）及び同システムの国内法規の対応を担当する。水素ポンプ及び同システムを製品化するにあたり、高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応が必須である。水素ポンプは法規に例示がないため、高圧ガス保安協会(KHK)、産業安全技術協会(TIIS)等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な性能・構造とする必要がある。

2-(4)-⑤：「高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発」

一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社

水素ステーションでのコスト低減に寄与すべく、水素ステーションにおいて使用されているタイプ I 型の高圧水素蓄圧器において、現在使用されている低合金鋼よりも高強度を有する鋼材を適用することにより、使用鋼材量の低減や蓄圧器製造プロセスに関するコスト低減を通じて蓄圧器に関する製造コストの低減を実現させることを目的としている。

実施内容は、前調査研究(課題番号 2-(4)-③)で明らかになった高強度化と水素適合性の両立の可能性を有する Mo-V 添加鋼と過去に水素適合性が未評価である低合金鋼規格材の評価を行うと共にコスト低減効果が期待される鋼材について、採取した実験データを用いて新型タンクの試設計とコスト比較調査を実施する。具体的な実施項目としては、以下の 3 項目に大別される。

1. Mo-V 添加鋼等の高強度化と水素適合性の評価

本項目は、Mo-V 添加鋼を中心に引張強さ 1000 MPa 以上の高強度と水素適合性を両立する低合金鋼の製造条件範囲および水素蓄圧器への適合可否について検討するものである。

2. 低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価

本項目は、JIS 規格に掲載されている低合金鋼の中で水素適合性が未評価の鋼種について、

現在水素蓄圧器に使用されている鋼材よりも一段と高強度となる引張強さ 1000 MPa 以上を
発現し、水素適合性と両立する鋼材の製造条件範囲および水素蓄圧器への適合可否について
検討するものである。

3. 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査

前調査研究では、Mo-V 添加鋼や他の高強度低合金鋼の高圧水素タンクへの適用の可能性を
鋼材の強度と耐水素特性の面から調査した結果、蓄圧器の薄肉化により最大で 5 割程度の鋼
材重量削減の可能性がある、水素ステーションの低コスト化に資する可能性があることが示
された。本項目においては、新型高圧蓄圧器の実用化を念頭に、実際に水素ステーションで採
用されるための条件を整理した上で、研究開発にフィードバックする目的で国内外の水素ス
テーションの建設実態調査およびタイプ I 蓄圧器の需要予測と海外も含めた材料の技術規
格・基準の調査を行う。また、蓄圧器のコストに関する情報を収集して、上記①および②にお
いて得られた有望な鋼材を用いた蓄圧器の試設計を実施し、コスト低減効果について明らか
にする。

2-(4)-⑥：「新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発」

ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社

2025 年以降の水素ステーションの本格普及、2030 年以降の水素ステーションの事業自立
化に向けて、ステーション整備費、運営費のコストを低減する技術開発が重要である。一方で
水素漏れを防ぐための「安心・安全」を担保するために費やすコストの課題が顕在化している。
本事業では、半導体メモリ方式による超低消費電力かつ耐環境性の高い電池駆動型の水素検
知センサを開発し、IoT 技術を駆使した設置制約が緩くメンテナンス性に優れた低コストの水
素検知システムを実現するため、以下の研究開発を実施する。

1. 超低消費電力水素検知センサエレメントの開発
2. 高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発
3. 自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発

2-(4)-⑦：「半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発」

株式会社四国総合研究所

FCV に供給する水素の品質は ISO 国際規格 (ISO14687) に基づき管理されている。水素
中の不純物分析には複数の大型分析装置が必要、且つ微量成分分析には濃縮等の特殊な作業
が必要となることから、分析の実施機関が限られているのが現状である。そこで、ISO 品質規
格の全成分を対象として、より多くの成分が分析できる、小型・軽量・低コスト且つ応答が速
いマルチガス複合水素分析装置を開発し、分析装置そのもののコストの低減及び、より簡便で
短時間のオンサイト分析の導入によって、水素品質管理におけるトータルコストを大幅に削
減することを目的とする。

1. Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

レーザーのビームを外部に設けた共振器内で増幅し、強力な定在波を生成する青紫色波長域の外部共振器型半導体レーザー (Violet-ECDL) を用いてガス分子を励起し、発生するラマン散乱光を検知することで、ガスに含まれる分子種とその濃度を特定する小型且つ低コストなマルチガス分析装置を開発する。外部共振器型半導体レーザー、小型共振器および高感度受光系を開発し、それらを最適化した分析装置のプロトタイプを設計・製作する。水素品質管理の対象となる物質のうち、ISO 規格値が ppm オーダーの物質についてガス濃度計測機能の検証を行い、性能を証明する。また、その結果を踏まえて、製品化に向けた課題の抽出およびコスト試算を行う。

2. IR-LD を用いた赤外吸収式高感度ガス分析装置の研究開発

赤外波長域の外部共振器型半導体レーザーと物質の赤外波長域における光吸収を利用するキャビティリングダウン分光法を用いて、対象ガスの高感度計測を可能とする小型且つ低コストなガス分析装置を開発する。ECDL および PBC を最適化した分析装置のプロトタイプを設計・製作する。水素品質管理の対象となる物質のうち、ISO 規格値がサブ ppm オーダーの物質についてガス濃度計測機能の検証を行い、性能を証明する。また、その結果を踏まえて、製品化に向けた課題の抽出およびコスト試算を行う。併せて、波長可変半導体レーザー吸収分光法など、新たな水素検知技術の実現可能性を明らかにする。

2-(4)-⑧ : 「水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」

国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本重化学工業株式会社

35MPa の中圧水素を供給可能な電気化学式水素ポンプや高圧水電解と水素吸蔵合金を活用した熱化学式水素圧縮機を組み合わせたハイブリッドシステムの構築に必要な熱化学式水素圧縮機の要素技術の開発および昇圧システムの省エネルギー効果の評価を実施する。このシステムを構築するためには室温で 35MPa 以下の水素圧力(20~35MPa)で水素を吸蔵し、かつ、80°Cの排熱により水素放出圧力が 80MPa を超える水素吸蔵合金を開発するとともに、良好な伝熱性能を備え、かつ 80MPa に対する耐圧性を有する熱交換器構造の最適化を実施し、新規熱化学式水素圧縮機の要素技術を開発する必要があるため、以下の研究開発を実施する。

1. 昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発
2. 昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討
3. 昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討

2-(4)-⑨:「HDV 等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発」

国立研究開発法人産業技術総合研究所、岩谷産業株式会社、株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所

操作性・効率性に優れたマスターメーター法による FCV 実車充填計量検査方法と検査基準及び安全基準の策定に取り組む。加えて、様々な燃料電池モビリティ、特に HDV に対応するための大流量充填計量検査方法の確立および HDV に関連した新プロトコルに関わる条件出しと諸問題に対する調査・研究を実施し、安全かつ低コスト化に向けた提案および国際標準に資するデータを提供する。さらに、HDV の普及および HDV 用ステーションの実用化を目指し、水素モビリティ全般に関わる部品評価において国際共同研究を推進可能とする実証研究拠点として「水素先進技術研究センター（仮）」の整備に向けた検討を進める。これらの成果は、水素ステーションでの適正な運用に向けて業界団体や工業会の国内外の規格・ガイドライン等への技術基準として提供していく。

実施者らが前事業等で開発してきた水素ディスペンサー計量精度検査技術は世界的に先行しており、本研究開発テーマの成果も含め、国際的な超高压水素インフラ本格普及に貢献するために相互比較による国際整合性の確認、国際技術基準の開発に取り組む。これらを実現するため、以下の研究開発を実施する。

1. マスターメーター法計量精度検査方法の高度化
2. 新プロトコルに対応する水素計量技術の開発
3. HDV 用の水素充填技術等に関する調査・研究
4. HDV 等の新プロトコル対応に係る技術検証
5. 高压水素計量技術に関する国際協調

研究開発項目 3 :「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

I S O 等の標準化、国際的に調和、連携のための活動、H F C V - G T R (水素・燃料電池自動車の世界統一基準) の P h a s e 2 の技術課題対し、必要に応じ人的派遣、議論への参加を行い、国内基準との整合を図る検討、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、国内への適切な情報発信、及び日本の政策や技術開発への影響分析等を行う。

3-①:「水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発」

一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所

従来日本が世界の先導的役割を果たしてきた ISO/TC197 (水素技術) が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定につき、引き続き世界をリードするための取組みを実施し、もって、日本の産業振興・競争力強化を図ること、更に、ISO 国際審議を日本が主導

するため、水素品質に関する研究開発を行うことが本事業の目的であり、以下の研究開発を実施する。

1. 水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進

現在策定審議中の 14 の ISO 国際規格、並びに、今後新規提案される ISO 国際規格や既制定規格の改訂に関し、グローバル動向を踏まえつつ、日本の技術・知見を活かして制定を主導的に取り進める。

2. 標準化活動等に係る国際連携の推進

安全に関する国際連携のため、CHS 関連活動等に取り組む。グローバルな動向の把握のため、IEA HTCP 会議や NOW、DOE 等との国際インフラワークショップ会議等に参加して、海外事業者との意見交換、論議を行う。

3. ISO 水素品質国際規格のための研究開発

燃料電池に影響を及ぼすハロゲン化物等水素中に含まれる恐れがある不純物の成分を特定し、ISO 水素燃料仕様 (ISO14687) で規定されているハロゲン化物をはじめとした不純物の許容濃度の妥当性を示すことで水素品質の管理対象物質の絞り込みと許容濃度の適正化を行う。併せて、ハロゲン、硫黄、微粒子などの適切な品質管理方法を机上検討し、水素品質ガイドライン案の改定を順次行う。

3-②：「燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

一般財団法人日本自動車研究所

国際的な FCV の基準である HFCV-GTR (GTR13：水素および燃料電池自動車に関する世界統一技術基準) 等の合理的な改定および円滑な国内導入のための審議を推進することにより、安全性を確保しつつ水素ステーションのコスト増加要因にならないよう注意を払い、過剰な要求を抑制し、円滑な国際取引を可能とすることで、高圧水素部品および FCV の低コスト化を加速することを目的として、以下の研究開発を実施する。

1. FCV の国際技術基準に関する国際基準調和・標準化活動

2017 年 10 月に HFCV-GTR の Phase2 審議が開始された。各技術課題に対し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制した合理的な基準となるよう審議を推進して国際技術基準として成立させ、その後の円滑な国内導入を行う必要がある。このため、国内審議体による日本案のとりまとめを行ったうえで、国際会議への専門家派遣を行い、審議を推進する。その後、UNR134 (HFCV の相互認証基準) の Phase2 審議に参画し、国内基準との整合を図る。

また併せて国際標準化活動を行い、ISO/TC197/WG18 (容器、TPRD の国際規格)、および米国 SAE 規格の審議に積極的に参画し、HFCV-GTR および国内基準との整合を図る。

2. FCV の国際技術基準策定に資する研究開発

以下の項目について、FCV の国際技術基準への日本提案作成に資する技術検討やシミュレーション解析結果に基づくデータ取得計画を策定し、海外との協力体制も踏まえて必要なデ

ータ取得を実施する。

(1) 容器火炎暴露試験法見直し

火炎暴露試験の再現性向上に向けた適切な試験方法を導くため、試験結果のバラツキの要因と推定される火源の幅と火炎高さの影響について、安全弁の作動時間、容器周囲の熱流動や温度を、数値シミュレーション解析によって調査する。また、その数値シミュレーションモデルに基づいた火炎暴露試験を行い、数値シミュレーション結果の妥当性を検証する。これらの火炎定義に基づく日本提案を基に、OICA（国際自動車工業連合会）で検討方針と必要な実証試験計画を合意した上で、HFCV-GTR Phase2へ検討方針と実証試験計画を提案する。実証試験計画に基づき、各国試験機関と協力・分担してデータ取得を開始し、HFCV-GTR Phase2において、再現性向上に向けた火炎暴露試験法の合意を得る。

(2) 金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大

HFCV-GTR Phase1では、金属材料に関する規定は見送られ、各国の基準を適用することとされた。国際流通を円滑にするため、材料の水素適合性に関する規定が必要である。そこで、前NEDO事業で水素適合性試験法の日本案を作成した。本事業では、前NEDO事業で作成した水素適合性試験法の日本案をベースに、海外の意見・データを考慮して試験法案を修正し、国際合意を得る。また、自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。

3-③：「水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」

株式会社大和総研

安全・環境に配慮した水素社会の実現に向け、世界各国の水素燃料電池に関する政策、市場、研究開発動向等の最新情報を幅広くタイムリーに収集、分析し、国内関係者に展開、共有していくことを目的として以下の研究開発を実施する。また、各国の政策や、市場および産業動向を正確に把握し、評価・分析することで、今後のわが国における水素燃料電池技術の開発戦略への示唆を得ることを目指す。

1. 最新動向調査
2. 各国政策・市場調査
3. 方向性検討

2.2 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下PMという）にNEDO 次世代電池・水素部 大平英二 統括研究員（研究開発項目2のうち「HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発事業」のみ）、横本克巳（研究開発項目2の「HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発事業」以外の事業）、をそれぞれ任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる

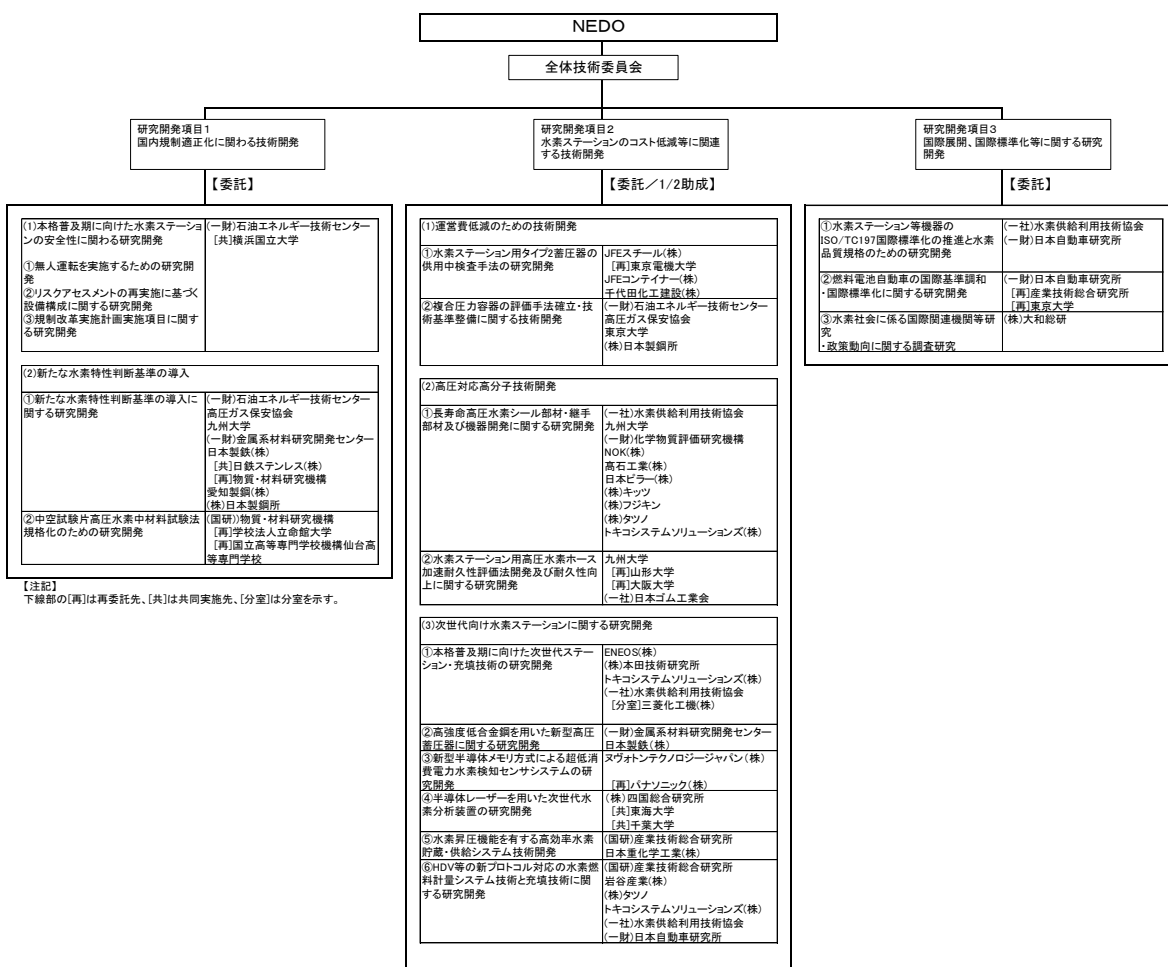
技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

研究開発項目間連携のため、「全体技術委員会」を設置し、それぞれの成果、課題を共有する体制とする。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

実施体制の全体図

「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業」に係る実施体制



2.3 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMは、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、技術検討委員会等を設置し、外部有識者から技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

また、事業運営の形態（委員会の設置方法等）をスリム化し、意思決定のスピードアップを図るため、事業全体の調整、個別事業に反映させる全体技術委員会をPMが定期的に関催する。

② 技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

③ 研究開発テーマの評価

研究開発を効率的に推進するため、研究開発項目（1）～（3）を対象として、ステージゲート方式を適用する。

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

① 成果の普及

得られた研究開発の成果は、機構及び実施者ともに普及に努める。

② 標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業または国際標準化等との連携を図るため、データベースへのデータ提供、標準技術情報（TR）制度への提案等を戦略的かつ積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

3. 情勢変化への対応

- ・ 2018年8月：研究開発項目2及び研究開発項目3追加公募
- ・ 2020年4月：研究開発項目2追加公募

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を2020年度に、事後評価を2023年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に

応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

各研究開発項目についての成果概要は以下の通りである。

研究開発項目 1 : 「国内規制適正化に関わる技術開発」(委託事業)

研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

(委託事業、共同研究事業 [負担率: 1 / 2]・助成事業 [助成率: 1 / 2])

研究開発項目 3 : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」(委託事業)

達成度 「◎: 大幅達成、○: 達成、△: 一部達成、×: 未達」

項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
1	水素ステーションの規制見直し等のために必要となる研究データを取得し、新たな規制見直し検討項目に対する技術基準案、例示基準案を作成する。	<p>NEDO 技術開発にて対応できる案件については完了予定で、水素ステーションの普及拡大に貢献が可能な見込みである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一般則 7 条の 4 制定に資する技術基準案、7 条の 3 第 2 項の安全設備に関する技術基準見直し案、圧縮水素スタンドにおける保安監督者兼任の許容制定に資する技術基準案を策定した。 一般則例示基準の規制見直しに資する水素特性判断基準の考え方を確立し、使用可能な SUS316 系ステンレス鋼の範囲を拡大した。低合金鋼技術文書(JPECTD-0003)の改訂を完了する。 陰極水素チャージ条件を明確化し、SSRT 試験で 105MPa 高压水素中と同等の結果であること、3 機関のラウトロビン試験で変位・荷重曲線が一致することを確認した。 中空試験片高压水素中 SSRT 試験法案を作成し、ISO(英文案)に提案済、高圧力技術協会(日本文案)に提案予定。 	△ (2020 年度末達成見込)	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視ステーション用に制定された一般則 7 条の 4 第 1 項に多く盛り込まれた安全設備の個別必要性を確認する。 汎用ステンレス鋼の適材適所化、冷間加工材の許容引張応力設定、疲労限度の検討、母材・溶接材の水素適合性を低下させる要因を整理する。 低温高压水素ガス環境下での陰極チャージ法による模擬手法を確立する。 中空試験片形状許容範囲の決定、疲労試験繰り返し速度の影響を検証するデータ蓄積が必要である。

項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
2	水素ステーションコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーション運営費・整備費低減のための規格案、技術基準案等を作成する	<p>HRS 共通指針(案)等の作成を完了し、水素ステーションの自立化を支援が可能な見込みである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素ステーションの業界統一規格(標準化ガイドライン)案、充填能力を指標とする水素ステーションカテゴリ案を設定し、コスト削減効果を検討した。 ・疲労限近傍の応力条件で損傷が発生すればAEを検知可能で、き裂進展に起因する漏洩発生位置を特定可能であることを確認した。 ・タイプ3容器ライナー材の最適疲労曲線、CFRPの疲労寿命設計線図、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式(累積損傷関係式)を構築し、技術基準KHKS 0225改正方針を作成した。タイプ2容器金属層にはKHKS 0220の設計疲労曲線を適用でき、技術文書を作成した。 ・シール部材の加速耐久性評価法を検討、高分子材料水素特性データベースを拡充し、標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発した。また、シール部接触面圧低下に至る複数因子の作用を明確にした。 ・加速耐久性評価法として、高温ホース揺動水素インパルス試験法を設定した。また、北米水素ステーションで87.5MPaホースの3,000回充填を実証した。 ・新規開発プロトコルで、T20相当のプレクール温度緩和の見通しを得た。また、協調制御システムを開発し、10台/h充填を確認した。 ・95MPa級水素トレーラーと水素STの概念設計を行い、輸送効率、コスト、エネルギー効率を算定した。 ・タイプI蓄圧器向けにJIS低合金鋼を選定し、Mo-V添加鋼は最大5割の重量低減の可能性があることを確認した。 ・5Nm³/h×40MPa水素ポンプスタック3000時間耐久を実証し、電力0.4kWh/Nm³の見通しを得た。2.2Nm³/h×20MPa水素ポンプシステムの技術を開発し、山梨県向け実証試験機を製作した。 	△ (2020年度未達成見込)	<ul style="list-style-type: none"> ・規制緩和追加項目等を検討し、最終案を確定する。 ・実水素ステーションでのノイズの原因と除去方法を検討する。 ・タイプ2容器に制定した技術文書のKHKS 0220の附属書化、タイプ3容器の応力解析・疲労解析に基づく容器設計手法を確立、KHKS 0225の改正提案をする。 ・継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を検証、継手接触面圧低下条件とガス漏洩の相関、理論検証、漏洩リスク低減新型/改良型継手、機器を開発する。 ・加速評価法案としてホース揺動水素インパルス試験の検討を進め、ホース温度等の影響、実機劣化調査結果を検討し、規格化を推進する。 ・ヒートマス測定法確立、データベース化、充填制御マップ完成、安全性検証、プレクール最適化、協調制御改良、新規プロトコルの基準案を作成する。 ・水素需要動向に見合う評価システムの実装判断と開発移行。 ・SCr445、SNCM447、SNCM630の耐水素特性、Mo-V添加鋼も加え、熱処理条件による強度と耐水素特性のバランス向上、蓄圧器への適用を検討する。 ・高温運転可能なスタックによるシステム消費電力の低減、高圧ガス保安法一般則7条3項準拠によるシステム製作が必要である。
3	水素ステーション関連技術の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。IEA等海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する	<p>ISOにて新規WGを主導的に活動(コンビナー獲得)し、国際協調、国際連携により水素産業の活性化が期待される</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ISO/TC197において共同議長として、国際規格7件発行とO-ring等の新規2提案を行った。 ・HFCV-GTR Phase2審議に参画、火炎暴露試験法案を提案し、ドラフト案として採用された。また、金属材料水素適合性試験法案がSAEからHFCV-GTR Phase2に提案された。 ・水素・燃料電池に関する情報精査・傾向分析、諸外国の水素政策等の整理・分析を実施した。 	△ (2020年度未達成見込)	<ul style="list-style-type: none"> ・ISO対応、CHS等国际連携活動の継続、次期水素品質規格・ガイドラインの改定等を検討する。 ・HFCV-GTR Phase2の国際合意、HFCV-GTRの中・長期課題の解決、UNR134(HFCV)の改定審議を行う。 ・世界の水素燃料電池動向が活発化しており、継続した情報収集と、分析・検討の更新が必要である。

2. 研究開発項目毎の成果

各テーマについての成果概要は以下の通りである。

研究開発項目 1：「国内規制適正化に関わる技術開発」

中間目標	研究開発成果	達成度
1-(1) 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発		
① 無人運転を実施するための研究開発 無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出、その課題に対する対策とその進め方の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ・法技術的な課題の抽出と整理 ・理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成 	○
① 無人運転を実施するための研究開発 無人運転を可能とする技術課題の整理、それを可能とする安全対策案の検討・立案	<ul style="list-style-type: none"> ・従来 RA での人による安全対策の抽出 ・従業者等の平常時、緊急時の作業に関する課題整理 ・遠隔監視のための安全対策の立案 ・緊急時の対応策の立案 	○
① 無人運転を実施するための研究開発 省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成	<ul style="list-style-type: none"> ・省令に資する技術基準案及び省令（一般則 7 条の 4、製造細目告示、基本通達）制定に向けた対応 ・例示基準案 ・安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案 ・運営のガイドライン案 	△ (2021/2)
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	<ul style="list-style-type: none"> ・検討方針策定 ・リスクシナリオ抽出結果 ・リスクアセスメントのガイドライン 	△ (2021/2)
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・二次元モデル（PFD、P&ID 等） ・三次元モデル 	○
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案	<ul style="list-style-type: none"> ・リスクアセスメント結果 ・合理的な安全対策 ・シビアアクシデント対応策 	△ (2021/2)
② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発 技術基準（省令や例示基準）の改訂に資する技術基準案の作成	技術基準（省令・例示基準）の見直し案	△ (2021/2)
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業者の業務内容や役割の明確化	専任ステーションの事業者、保安監督者、従業者の職務と保安体制を整理	○
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成	兼任スタンドモデル構築・課題抽出	○
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施	m-SHEL 分析によるヒューマンファクターの検討や同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメントを実施	○
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業者の必要要件を抽出・整理	○
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	<ul style="list-style-type: none"> ・危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案 ・基本通達制定に向けた対応 	○

中間目標	研究開発成果	達成度
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築	検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築	○
③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施 充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化	・ 高圧ガス保安法での実施⇒保安距離確保が困難 ・ ガス事業法での可能性を提案	△ (2021/2)
1-(2)-①新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発		
① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発 水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高い SUS316 系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータ並びに既存データを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	・ 新指標の判定基準を構築するため、水素適合性評価試験を実施した。Ni 当量下限値を見極めるため、既存データを補完するデータを取得 (Ni 当量 24.2%, 25.1%, 26.6%, 26.8%) した。 ・ SSRT により、引張強さ・伸び・絞りの Ni 当量依存性、温度依存性、水素圧依存性を確認した。 ・ 疲労試験：低温・高圧水素中で疲労限度が低下しないことを確認した。 ・ 例示基準改正に資するデータをまとめた。	○
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発 汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	・ 例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方を確立した。 ・ 上記の考え方にに基づき使用条件を明確化した。 ・ 許容引張応力の設定に向けたデータを取得した。	○
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発 ・ 汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかにする。 ・ 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	・ 高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件を明確化した。 ・ 水素適合性の判断基準として必要な検討項目を明確化した。	○
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発 汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータを取得し、汎用低合金鋼の水素圧縮機への適用可否を判断する。	・ 圧縮機の高温での作動状況を模擬した実験手法確立した。 ・ 各水素適合性評価試験を実施した。 ・ 低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)の改訂の目途を得た。	◎
1-(2)-②連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発		
① 高圧水素環境下での水素侵入を模擬する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化 105MPa 高圧水素環境下と同等の水素チャージ可能な連続陰極水素チャージ条件を高温～低温まで確立。	室温および高温 (85℃) で条件明確化済み	△ (2020/11)
② 連続陰極水素チャージ法による SSRT 試験方法の確立 陰極チャージ SSRT と高圧水素ガス SSRT の差異確認し陰極チャージ法適用範囲を確立	高温(85℃) ・ 室温は同等、低温(-30℃)は確認中	△ (2020/11)
③ 連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立 室温で陰極チャージ疲労と高圧水素ガス疲労試験の差異明確化し陰極チャージ法適用範囲を確立	陰極チャージ条件確定済。大気、陰極チャージ、高圧水素でデータ採取中	△ (2020/11)
④ 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証 陰極チャージと高圧水素試験で破面等を比較し、妥当性を検証	SSRT で擬へき開破面分布がやや異なる。	○

	中間目標	研究開発成果	達成度
	⑤水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定 ラウンドロビンテスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成	SSRT ラウンドロビンテストで3機関でデータ一致。	○
1-(2)-③中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発			
	(1) 中空 SSRT 法/①試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発 ・試験条件の最適化を行う。 ・ラウンドロビンテストを行う。	・内面仕上げ条件を確定し、内径/外径寸法の許容範囲、ならびに試験条件を確認。 ・試験条件の最適化に向けた実験中。 ・ラウンドロビンテスト準備中。	○
	(1) 中空 SSRT 法/②中実試験片高圧水素中材料試験との相関に関する研究開発 中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする。	中空と中実間のデータの相関関係を確認済。	○
	(1) 中空 SSRT 法/③規格化に向けた調査研究規格案を作成する。	中空試験片高圧水素中 SSRT 法の規格案を ISO に提案済(過達)、と HPI に提案予定の規格案を作成中。	◎

研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

	中間目標	研究開発成果	達成度
2-(1)水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発			
	①標準化ガイドライン案の検討 標準化ガイドライン案の完成。	標準化項目を抽出し、設備間取り合いの 11 項目について標準化ガイドライン案に取りまとめた。	○
	②水素ステーションの能力分類化 適正な充填能力により「能力分類」を制定、ガイドライン案への反映。	商用水素 ST の実需要データやシミュレーション結果に基づき、充填能力を指標とする水素 ST 分類を設定し、標準化ガイドライン案に取りまとめた。	○
	③標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討 次世代パッケージシステム実証の検討を行い、必要に応じ実証を行って、低コスト化効果と信頼性・耐久性等の技術を検討する。	次世代パッケージシステムを実現するための技術課題の整理と実証項目を取り纏め。検討の結果、パッケージ水素 ST は建設せず、机上で検討可能である結論を得た。	○
2-(2)-①水素ステーション用タイプ 2 蓄圧器の供用中検査手法の研究開発			
	①定期自主検査への AE 法導入シナリオの構築 定期自主検査への AE 法導入障壁への対応策	日本非破壊検査協会での規格委員会の設置準備中。	△ (2021/2)
	②鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動の AE による検出 ・疲労き裂進展に及ぼす水素劣化の影響が、AE 法によっても確認される。 ・AE 法の定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得。	・蓄圧器使用応力場では AE が検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すれば AE は検知。 ・大気中および連続陰極水素チャージ中で AE の有効性が確認。	○
	③鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動の AE による検出 ・AE 法の定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得。	・蓄圧器使用応力場では AE が検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すれば AE は検知。 ・き裂進展時に、発生位置が特定。	△ (2021/2)
	④実機タイプ 2 蓄圧器による高圧水素サイクル条件下で AE 法の構築 ・外部環境(振動等)、実作業条件下での昇圧・減圧条件下での AE 監視の妥当性が確認される。 ・保安検査への AE 法導入障壁への対応策の構築	加圧時と減圧時で異なる発生数となるノイズ源が存在するなど実環境での AE ノイズの状況を把握した。	△ (2021/2)
2-(2)-②複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発			
	①-1 ライナー試験片評価法の検討 Al 合金の最適疲労曲線の作成。	引張強さをパラメータに含む最適疲労曲線を構築した。	○
	①-2 CFRP 試験片評価法の検討 ・樹脂単体の疲労寿命設計線図の作成。 ・CFRP 試験片のミクロスケール有限要素シミュレーションを完了。	CFRP 試験片に関して樹脂の疲労寿命設計線図に基づく一般性の高い疲労寿命設計線図を得た。	○

中間目標	研究開発成果	達成度
①-3 円筒試験体評価法の検討 フープラップ容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験結果を用いて疲労寿命設計線図の妥当性を確認。	フープラップ容器対応円筒試験体の試験結果からタイプ2容器の疲労寿命設計線図の妥当性を確認した。	○
①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成 タイプ2容器ライナー材料およびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図を作成。	タイプ2容器の金属層はKHKS0220の設計疲労曲線を使用できることを確認した。	○
①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証 タイプ3実容器試験データにより疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証。	実容器試験データから、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式（累積損傷関係式）を構築した。	○
② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発 ・タイプ2容器の自主基準案を策定。 ・KHKS0225改訂方針検討。	・公式および解析による設計をまとめたタイプ2技術文書（JPEC-TD）案が完成した。 ・KHKS0225の改訂方針を作成した。	○
2-(3)-①長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発		
①セーフティデータベースの解析知見の整理 SDBデータ解析の継続。	シール、継手のトラブル事例解析より、プレクレーター二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	○
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 機器の加速耐久性評価法案設定。	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	○
③シール基盤・改良開発 ・HRSにおける充填回数15,000回相当のシール部材開発 ・シール部材の加速耐久性評価法案設定	・水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 ・高圧水素シール部材標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 ・HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。	○
④継手基盤・機器開発 機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用を試験と解析により確認した。	○
⑤シール成果に基づく機器開発 HRSにおける充填回数15,000回相当の機器開発。	基盤・改良開発に基づき、新たな機器（バルブ、フィルター等）の設計検討を実施した。	○
2-(3)-②水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発		
①水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素インパルス試験法、改良試験法と実水素ステーションにおける充填回数の相関係数設定。	85℃ホース揺動水素インパルス試験と実水素ステーションの相関係数1.6を設定。	○
②高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明 ホース耐久性に対する影響が大きい内層樹脂の劣化、破壊に影響する因子を明確化。	ホース内層樹脂の疲労特性について応力負荷パターンの影響明確化。	○
③高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定 高圧水素加速耐久性評価法を開発し、規格案を作成。	85℃ホース揺動水素インパルス試験法を規格案として設定。	○
④ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供 加速耐久性評価法を用いてデータを取得し、ホースメーカーにフィードバック。	ホースメーカーより提供いただいたホースの評価結果をフィードバック。	○

	中間目標	研究開発成果	達成度
2-(4)-①本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発			
	①低コスト対応プロトコルの開発 ・Phase1：水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコルの制御マップを完成させる。(現行：-35～-38℃ ⇒緩和後：-25～-33℃) ・Phase2：車載タンク側の上限度見直しを含む革新的プロトコルの見直しを得る。	熱容量等の値を適正化した新規充填制御マップを開発した。本格普及期に想定される連続充填での予冷の効果も加味すれば、夏場の気温でも T20 相当 (-26℃以上) へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。	○
	②低コスト高頻度水素充填システムの開発 1時間 10 台の充填を可能とする低コスト高頻度充填システムを完成させる。	最小限のバンク構成でダブル充填可能な協調制御システムを開発し、安定的に充填出来ることを実証した。	○
	③水素充填技術基準整備に関する研究開発 SAE J2601 改定内容の国内適用における妥当性を検討し、充填技術基準案及び充填技術自主ガイドライン案を作成する。	SAE J2601 の改定版入手、改正部分を確認、各部分の改正理由について整理を実施した。	△ (2021/2)
2-(4)-②超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究			
	①94MPa 級トレーラー概念設計 技術的可能性を確認し、コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする。	・輸送効率:搭載容器を 95MPa 化することで重量が増加し、車両重量の運用限界により、95MPa トレーラーでの水素輸送可能量は、45MPa と同等の 300kg であった。	○
	②対応する水素ステーション概念設計 コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする。	・コスト:トレーラー容器をクッションタンクとして用い、ステーション蓄圧器を省略すること等で建設コストは低減されるが、トレーラーと出荷設備のコストアップにより、水素供給コスト全体では95MPa システムと 45MPa システムで大きな差はなかった。	○
	③システム効率・コスト評価 供給システム全体のコスト、効率を評価し、現行システムと比較評価する。	・エネルギー効率・CO2:ステーションにブースタータイプの圧縮機を配備し、輸送圧力を無駄なく利用することにより、水素供給に伴うエネルギー効率、CO2 排出量は、共に従来システムより 10% 程度改善されると見積もられた。	○
2-(4)-③新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究			
	①既存低合金鋼の調査 既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を特定する。	高強度でありながら耐水素特性が未評価な JIS 材があることが判った。	○
	②製造パラメータの影響の調査 熱処理条件が鋼材の引張特性に与える影響を定量的に把握する。	Mo-V 添加鋼は 1400MPa レベルの引張強さを得られることが判った。	○
	③耐水素特性の評価 既存低合金鋼および Mo-V 添加鋼について、高強度化と耐水素特性のバランスを評価する。	Mo-V 添加鋼は強度—耐水素脆性バランスに優れている可能性があることが判った。	○
	④新型蓄圧器の試設計 高強度低合金鋼を想定した試設計を行って鋼材使用量低減の可能性を評価する。	高強度低合金鋼が使えるなら最大で5割近い鋼材使用量低減の可能性があると判った。	○
2-(4)-④電気化学式水素ポンプの開発・実証			
	①5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発 ・5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する。 ・スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機 (システム消費電力 0.5kWh/Nm ³) 対比で有利なことを実証する。	・5Nm ³ /h×40MPa 水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み。 ・5Nm ³ /h×40MPa スタック耐久性 3000 時間を実証し、スタックの消費電・力 0.4kWh/Nm ³ を確認できる見込み。	△ (本事業後)
	②5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発 システムの技術開発を完了し、コンパクト性、低振動、低騒音について機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 水素出荷設備で実使用における課題を抽出し、82MPa 仕様の水素ポンプシステムに反映する。	・2.2Nm ³ /h×20MPa 水素ポンプシステムの技術開発は達成見込み。 ・コンパクト性(対当社比・30%)、低振動(ほぼゼロ)、低騒音(-20db 以上)が、機械式圧縮機対比に対する評価できる見込み。	△ (本事業後)

	中間目標	研究開発成果	達成度
	<p>③水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法 <p>水素ポンプは法律に例示がないため、高圧ガス保安協会(KHK)等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な性能・構造とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防爆規格 <p>水素ポンプは規格に例示がないため、産業安全技術協会 (TIIS) 等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な仕様とする。</p>	山梨向け KTC-A 号機を高圧ガス保安法（一般則 6 条対応）で製作。	△ (本事業後)
2-(4)-⑤高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発			
	<p>①Mo-V 添加鋼等の高強度化と水素適合性の評価</p> <p>評価用素材を作製し、引張強さが 1000 MPa 以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対して SSRT による水素適合性評価を開始する。</p>	2020 年 8 月より研究開発推進中	△ (2021/2)
	<p>②低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価</p> <p>SCr445、SNCM447、SNCM630 等の低合金鋼の JIS 規格成分材について評価用素材を作製し、各鋼種の引張強さが 1000 MPa 以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対して SSRT による水素適合性評価を開始する。</p>	2020 年 8 月より研究開発推進中	△ (2021/2)
	<p>③蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査</p> <p>蓄圧器の製造コストに関する情報収集と整理を行い、本研究開発におけるコスト低減目標ターゲットを明確にする。</p>	2020 年 8 月より研究開発推進中	△ (2021/2)
2-(4)-⑥新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発			
	<p>①超低消費電力水素検知センサエレメントの開発</p> <p>センサエレメントの製造条件と回路レイアウト仕様の確立。 (水素雰囲気 0.5%、反応速度 ≤ 10sec)</p>	<p>実施計画及び内容の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マスク制作（～第 3 四半期） 	△ (2021/2)
	<p>②高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モジュール構造仕様、工法の課題抽出と対策方針決定。 ・水素透過膜の検証方法の決定。 	<p>実施計画及び内容の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・膜材料、接合法検討（～第 3 四半期） 	△ (2021/2)
	<p>③自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発</p> <p>小型、低消費電力の IoT 対応センサモジュール仕様の確立。</p>	<p>実施計画及び内容の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・IoT センサモジュール設計（～第 3 四半期） 	△ (2021/2)
2-(4)-⑦半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発			
	<p>①Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・PBC 内光強度 1 W 以上を持つ ECDL を開発する。 ・ECDL 発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。 ・受光光学系の概念設計を完了する。 ・2020 年度研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PBC の設計及び光学部品調達を実施中。 ・光学部品調達及び技術調査を実施中。 ・受光系の設計及び部品調達を実施中。 ・調査及びスペクトル計測実験を実施中。 	△ (2021/2)

中間目標	研究開発成果	達成度
<p>②IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光路長 20m 以上を達成する。 ・ECDL 発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。 ・TDLAS の適用可能性を水素ガスにて確認する。 ・ISO 品質規格) 全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 <p>全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。</p> <p>全硫黄成分について、ISO 規格値に対しての計測方法を検討する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・PBC の設計及び光学部品調達を実施中。 ・光学部品調達及び技術調査を実施中。 ・実験装置の設計及び部品調達を実施中。 ・調査及びスペクトル計測実験を実施中。 	<p>△ (2021/2)</p>
2-(4)-⑧水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発		
<p>①昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発</p> <p>30℃において 20MPa～35MPa の水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、80℃における水素放出圧力を評価する。</p>	<p>Ti リッチ組成の各種 AB2 型ラーベス相の水素吸蔵合金の試作および 30℃での水素吸蔵特性の評価を開始した。水素吸蔵圧力が約 20MPa となる合金組成を見出した。</p>	<p>△ (2021/2)</p>
<p>②昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1 回/2 時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計する。 ・昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ・小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手した。 ・昇圧システムの省エネルギー効果の検討を開始した。 	<p>△ (2021/2)</p>
<p>③昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討</p> <p>Ti 系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を行い、適したルツボ材の候補を選定する。</p>	<p>Ti 系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。</p>	<p>△ (2021/2)</p>
2-(4)-⑨HDV 等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発		
<p>①マスターメーター法計量精度検査方法の高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備の整備仕様の確定 ・実流装置改善による高精度コリオリ流量計の準備 ・実証データ蓄積による精度影響要因の分析・抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備仕様の検討開始。 ・コリオリ流量計の選定開始。 ・ガイドライン改定に向け、タスクフォースにて協力体制を構築。 	<p>△ (2021/2)</p>
<p>②新プロトコルに対応する水素計量技術の開発</p> <p>大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の性能評価。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高レンジに対応する実流装置の仕様検討。 ・変動充填模擬試験開始。 ・圧力損失及びヒートマス評価開始。 	<p>△ (2021/2)</p>
<p>③HDV 用の水素充填技術等に関する調査・研究</p> <p>HDV 対応システムハードウェアの仕様検討。</p>	<p>HDV 対応システム機器の調査開始。</p>	<p>△ (2021/2)</p>
<p>④HDV 等の新プロトコル対応に係る技術検証</p> <p>水素先進技術研究センター(仮)の仕様決定。</p>	<p>検討委員会・WG を設置し、仕様検討を開始。</p>	<p>△ (2021/2)</p>
<p>⑤高圧水素計量技術に関する国際協調</p> <p>水素燃料計量用流量計・検査装置の調査。</p>	<p>開発プロジェクトの内容や使用されている流量計・検査装置等の調査開始。</p>	<p>△ (2021/2)</p>

研究開発項目3：「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

中間目標	研究開発成果	達成度
3-①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発		
①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進 国際議論の進度に合わせた関連国際規格の発行と日本からの新規提案の具体化。	日本他各国にとって問題ある規格の否決の後、日本も共同議長として再提案。その他、7 件の IS 発行と O-ring 規格の日本新規提案。	○
①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進 水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行。	品質関連 3 規格（議長国日本他）、充填インターフェース関連 2 規格を日本の意見を十分に反映し発行。	○
②標準化活動等に係る国際連携の推進 国際連携の推進のため種々関連会議等への参加。	CHS への Strategic Partner としての参加。その他予定通り対応。	○
③ISO 水素品質国際規格のための研究開発 ISO 水素燃料仕様で規定される不純物の許容濃度の適正化指針策定。	規格改定に必要な試験データ等が必要な成分について 3 種まで絞り込み、今後の改定提案に資する情報を取り纏めた。	○
③ISO 水素品質国際規格のための研究開発 適切な管理方法を検討し、水素品質ガイドライン案を作成する。	2 度にわたる水素品質ガイドライン改定案の策定の実施。検知管等の可能性を示した。	○
3-②燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発		
①FCV の国際技術基準(HFCV-GTR Phase2 等)に関する国際基準調和・標準化活動 各審議課題に対する日本提案（試験法等）を HFCV-GTR Phase2 会議に提案し、自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）傘下の GRSP にて国際合意を得る。	日本の提案項目について、試験法案の提案またはドラフト提示まで進捗中。	△ (2021/2)
②容器火炎暴露試験法見直し HFCV-GTR Phase2 において、再現性向上に向けた火炎暴露試験法案を提案する。	火炎暴露試験法の再現性向上に向けたデータ取得を実施し、試験法案を提案し、試験法草案に採用された。	○
③金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大 ・国際合意可能な水素適合性試験法案およびその技術的根拠を提案する。 ・ SUS304 を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。	・ 海外案と日本案を選択可能とする水素適合性試験法案を SAE 材料専門家会議で合意し、SAE から HFCV-GTR Phase2 に提案された。 ・ SUS304 市中材を用いた材料データ取得を完了した。	○
3-③水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究		
①最新動向調査 世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な最新動向を把握する。	水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を日々ウォッチし、最新情報を隔週報告し、四半期ごとに情報の精査・傾向分析を行った。(情報リスト 40 本、総ニュース件数 1,621 件)	△ (2021/2)
②国別政策・市場調査 主要国の水素燃料電池に関する政策・市場動向を正確に把握・分析する。	米国、欧州、ドイツ、中国、韓国について水素政策の全体像を体系的に整理した。HRS の導入状況について整理した。	△ (2021/2)
③方向性検討 上記結果を踏まえ、国内政策への示唆を得る。	各国比較や国際機関の報告書などを分析し、各国の特徴から得られる示唆を検討した。	△ (2021/2)

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

国内規制の見直し、水素ステーション設備のコスト低減、構成機器の最適化、機器の省エネ化、高分子材料開発等の研究開発への取組みを通して、水素ステーションの整備費低減、運営費低減に資する低コスト水素ステーションの設計が可能となり、水素ステーションの地域拡大（4大都市圏から地方への展開）、水素関連産業の裾野拡大を目的とする多様化するニーズへの対応をすることで、自立的展開可能な水素インフラ実現し、水素ステーションを2025年に320箇所の整備が可能となる。また、事業毎の実用化の見通しは以下の通り。

研究開発項目1：「国内規制適正化に関わる技術開発」

実用化の見通し	
1-(1)本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発	<p>本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発として取り組んだ、①無人運転を実施するための研究開発、②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発、③（1）保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発、③（2）家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出の4つの研究開発は、すべて実施計画書どおりに完了し、①、②、③（1）の3つのテーマで、その結果が活かされ、省令制定、省令や例示基準の改訂、（省令解釈に関する）基本通達のかたちで規制当局から示された。これにより、水素インフラ事業者は、これらを実行可能となった。また、事業者がそれらを実施する際の一助となるようなガイドライン案の作成も完了した。</p> <p>事業化までのシナリオについては、この研究開発が担当するものではなく、この研究開発の成果物を、水素インフラ事業者がどのように活用するかにかかっている。技術基準案やガイドライン案を作成してきた経験を活かし、事業者からの問い合わせ等には、丁寧に対応していく必要がある。</p>
1-(2)-①新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	<p>(1) 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大 本研究で得られた汎用ステンレス鋼の使用可能範囲の拡大案は一般則例示基準9.2の改正に盛り込まれ、パブリックコメントの募集が開始された。正式認可ののち、各水素インフラ事業者において、材料・設計変更が検討され一般申請での利用が可能となる。境界条件を考慮した適材適所の基準化については今後の課題となる。</p> <p>(2) 汎用ステンレス鋼冷間加工材 一般則例示基準化された材料を冷間加工する場合とそれ以外の場合に分け、一般則例示基準化されたSUS316系ステンレス鋼を対象とした検討を優先して行っている。母材に冷間加工を施すことにより、どの程度水素適合性が変化するかを検証し、安全に使用可能な条件を明確化した。 今後は基準化を意識し、より簡便に冷間加工材を使用可能にするための環境を整えていく必要がある。 また、SUS305の冷間加工材については、SUH660と同等の強度が得られることがわかった。水素適合性の検証や許容引張応力の設定に向けた評価を進め、水素適合性がSUS316系ステンレス鋼の場合と同等に扱えることが立証できれば母材の一般則例示基準化も視野に入る。</p> <p>(3) 汎用ステンレス鋼溶接材 汎用ステンレス鋼を用い、適正な母材・溶接金属の組合せによる溶接継手の水素適合性を検証し、良好な水素適合性を示す溶接継手の事例があることを実証する。試験の過程で観察される水素適合性を低下させる要因を整理し、技術指針に記載することにより注意喚起を図る。</p> <p>(4) 汎用低合金鋼の高温適用 低合金鋼技術文書JPEC-TD0003の改訂が完了することにより、使用可能温度域の上限が200℃まで引き上げられ、従来では蓄圧器に使用されていた汎用低合金鋼が圧縮機の出口部分にも使用可能となる。既に関係事業者や有識者からなる低合金鋼技術文書検討分科会が活動を開始しており、主に高温における安全性について吟味がなされている。低合金鋼技術文書JPEC-TD0003の改訂完了次第、高圧水素関係団体、機器メーカー等への周知を図り、利用を促していく。</p>

実用化の見通し

1-(2)-②連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発

連続陰極水素チャージにより、105MPa 水素中と同等の水素をチャージできる条件を見出した。その条件を用いて連続陰極水素チャージ SSRT 試験および疲労試験を行う試験機構成を示した。また、実際に試験を行うことにより、高圧水素ガス中の試験結果との比較を行った。SSRT 試験では室温および 85℃ で高圧水素ガス中試験と連続陰極水素チャージではほぼ同等の変位-応力曲線を得たが、き裂が長くなった際のき裂進展および破壊について相違があると推測された。連続陰極水素チャージ疲労試験では低サイクル領域で大気中よりも寿命が短い傾向が明らかとなった。室温連続陰極水素チャージ SSRT 試験のラウンドロビンテストを 3 機関で行い、同等の結果を得た。

今後の課題は 2021 年 2 月までに、低温での連続陰極水素チャージ SSRT 試験と高圧水素ガス中との比較、疲労寿命試験のデータ拡充による連続陰極水素チャージ疲労試験と高圧水素ガス中疲労試験との比較、連続陰極水素チャージ疲労試験のラウンドロビンテスト、陰極チャージ法の規準化案策定を完了させる。実用化に対しては、本プロジェクトで得られた結果に基づいた考え方について、学会・論文等を通じて広く関係者と議論し手法の認知拡大取り組みを行うとともに、規準化案をブラッシュアップし、将来の規準化検討につなげる。

1-(2)-③中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発

本テーマの目的・目標は中空試験片高圧水素中材料試験法を確立することであり、規格原案を作成し制定団体に提出することが事業化へのシナリオである。本テーマは当初、中空試験片高圧水素中低ひずみ速度引張試験(SSRT)を主に規格案を作成する実施計画であったが、順調に進んでいることから、中空試験片高圧水素中疲労試験についても試験法を確立し規格原案を作成するように実施計画を加速した。3 年目の 2020 年度に実施計画通りに中空 SSRT の規格原案を作成し、英文案を ISO に提案していることは、事業化に向けての成果が十分に達成されていることを示している。

研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

実用化の見通し

2-(1)水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発

水素ステーションの能力分類化については、商用水素 ST の実需要データやシミュレーション結果に基づき、充填能力を指標とする水素 ST 規模カテゴリーを設定し、ガイドライン案に反映した。標準化項目の検討については、標準化項目を抽出し、設備間取り合いの 11 項目について標準化案を取りまとめ、ガイドライン案に反映した。

本研究で策定するガイドライン案に基づき、水素供給利用技術協会にて 2020 年度までに業界統一規格 (HySUT ガイドライン) を制定する。国内の水素ステーション事業者は当該ガイドライン及び技術的成果を用い、業界統一仕様に対応した低コストな水素ステーションの整備を開始する。

今後は業界統一規格 (HySUT ガイドライン) のメンテナンスを実施し、規制適正化状況や技術進捗状況を業界統一規格 (HySUT ガイドライン) に反映させることにより、より有用な業界指針となるように改良していく必要がある。

2-(2)-①水素ステーション用タイプ 2 蓄圧器の供用中検査手法の研究開発

・実用化・事業化のイメージ:

① AE 法と渦流探傷などの併用により、使用寿命の延長と、定期自主検査指針などへの供中検査基準に AE 法が導入される事により、運営コスト削減を可能とし、市場の拡大につながる。

② 先行するフェーズドアレイ法と比較して、供用中検査の作業負荷が少ない事は優位性がある。

・当該技術を確立する見通し:

① 2020 年度までに本テーマで実施すべき技術課題は順調に達成されている。

② AE 法の標準化に向けての準備作業は既に、日本非破壊検査協会(JNDI)と進められている。

③ 2021 年度から、JNDI にて 2 年間の審議期間を経て、供用中 AE 法の基準が策定される予定。

・波及効果

本事業の成果として、供用中 AE 検査に係る規格が策定される。この策定と連携して、AE 法を実施する非破壊検査者の技量認定制度が整備されることが期待される。結果、日本でも欧米と同じように AE に特化した技量認定技術者が育成されるシステムが構築される。

実用化の見通し	
2-(2)-②複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発	<p>水素ステーションに設置される複合圧力容器のコスト削減に向け、容器評価方法の簡素化及び使用寿命延長に関する技術開発として、蓄圧器を構成する材料の最適疲労曲線、疲労寿命設計線図に関する検討、円筒試験体の評価法の検討、き裂進展寿命予測法の検討、タイプ3蓄圧器への累積損傷則の適用検討等を実施した。</p> <p>また、技術基準を整備するため、タイプ2蓄圧器に関する技術文書を作成するとともに、KHKS 0225に規定する容器試験を課す内容等に関して改訂方針を作成した。</p> <p>タイプ2蓄圧器に関しては、制定した技術文書（JPEC-TD）のKHKS 0220への附属書化を目指す。タイプ3蓄圧器に関しては、2022年度末迄にKHKS 0225の改正案を作成し、提案する。</p> <p>これらのKHK技術基準を広く活用してもらうことにより、蓄圧器に係る運営コスト低減に繋げる。</p>
2-(3)-①長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> HySUTが前事業で収集・蓄積した水素ステーションの各種トラブルに関するSDBの事例を対象に、シール及び継手に関する事例に絞り込んで解析した。 商用ステーションで使用済みのバルブの各種シール材を採取、劣化要因分析を実施し、シール部材劣化要因の絞り込み、劣化度と漏えいの相関性を解析し、加速耐久性評価法の概要を決定した。 接触面圧を評価するための継手要素試験装置、及び面圧低下と高圧水素ガスのシール性の関係を調べるための超高圧継手要素評価試験装置を用いて、継手の締め付け、軸方向ミスアラインメントの付与、軸方向力の付与、軸方向力の繰返し（温度サイクルを模擬）、横方向ミスアラインメント付与下での軸方向力の繰返し、曲げモーメントの繰返し（振動）、等の条件下での接触面圧低下の有無を明らかにした。 <p>⇒漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、本プロジェクトの成果として、「水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減」が実現できる。</p>
2-(3)-②水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発	<p>本テーマでは高圧水素加速耐久性評価法を確立し、開発した評価法を用いてホース評価を実施する。その結果をホースメーカーにフィードバックすることでホースメーカーにおける開発を加速し、最終的に水素ステーションにおける30,000回の充填に使用可能な長寿命ホースを実用化に資するデータを取得することを目的としている。本テーマにおける成果として期待される高圧水素ホース加速耐久性評価法は高圧水素ホースメーカー、高圧水素ホースのユーザーであるディスプレイメーカー、水素ステーションコンストラクター、水素ステーションオーナーなどステークホルダーが高圧水素ホースの耐久性を評価する指標として、開発した高圧水素ホース加速耐久性評価法を活用し、新たな長寿命ホースの開発、ホース交換サイクルの延長による水素ステーション運営の低コスト化に資することが期待される。</p>
2-(4)-①本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発	<p>顧客の利便性を損なわず、低コストで高頻度充填に対応したシステムを構築できるため、本格普及期には必須の技術となり得る。「1時間10台充填可能な高頻度充填システム（建設費 低）」と「水素供給温度を緩和しても充填時間が遅くならないプロトコル（運営費 低）」の組み合わせにより、以下の効果が期待される。</p> <ul style="list-style-type: none"> 顧客を待たせない（5台/時間を超えても待ち時間が発生しない） 低コストシステム（建設費の低減） 電気代の低減（運営費の低減） 部材、システムの信頼性向上（運営費の低減）
2-(4)-②超高圧水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究	<ul style="list-style-type: none"> 超高圧での輸送効率の限界が見極められたことから、長期的な大量輸送という観点では、液化水素や有機ハイドライド技術、さらにはパイプライン輸送の検討にシフトすべきと考えられる。 その際、液化水素と有機ハイドライドについては、高圧輸送より劣位と見られるWtTエネルギー効率、CO2排出関連の取り組みが重要となるが、WtTプロセスに適用するエネルギー源についても併せて検討が必要である。ただし、再生可能エネルギーの適用を前提とすれば、CO2排出は課題から外れることになる。 一方、トレーラー容器をクッションタンクとして用いる充填方法と、マザー&ドータステーションへの適用は、エネルギー効率の向上と当面のコストダウンに資する可能性がある。実証、実装、また技術課題、法的課題の解決に取り組む価値があると思われる。
2-(4)-③新型高圧水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究	<p>既存低合金鋼を使ってタイプI蓄圧器の薄肉化（コスト低減）を実現する可能性が示された。今後は、新型高圧水素蓄圧器の実機化に向けて、候補鋼材の耐水素特性の評価、強度と耐水素特性のバランスの向上を図ること、高強度鋼を蓄圧器に仕上げるための加工技術の検討（必要に応じて技術開発）に加えて、市場の要求（需要規模とタイミング、規格・基準による要求など）を把握して技術開発活動に適宜インプットしていくことが必要と考えられる。</p>
2-(4)-④電気化学式水素ポンプの開発・実証	<p>電気化学式水素ポンプシステムは高圧ガス保安法上で圧縮機と分類されず、「その他の圧力容器類」となる。従って、高圧になると現行法規ではコストが非常に高く、商品化は難しいが、20MPaを上限とした場合は、事業化できる市場があると考えられる。今後、スタックの高温点における消費電力の低減に成功すれば、既に機械式が使用されている分野・用途で事業化できる可能性がある。</p>

実用化の見通し	
2-(4)-⑤高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発	<p>本テーマでは、現状のタイプ I 蓄圧器の製造コストの削減を図ることを目的としている。素材である低合金鋼の高強度化と高圧水素適合性の両立ができれば、蓄圧器の軽薄短小化が可能となる。蓄圧器のコンパクト化による使用鋼材量の削減および軽薄短小化による製造プロセスコストの低減も併せて蓄圧器に関する総合的なコスト低減により実用化を推進する。</p>
2-(4)-⑥新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発	<p>従来の水素検知センサは主に定置式の漏れ管理用途であり、水素プラントや半導体工場、燃料電池車 (FCV) 等に使用されている。一方で、本テーマで開発する新たな水素検知センサは従来の水素検知センサでは展開できない市場の潜在ニーズがあると推察される。具体的には、IoT 化(無線化)が必要な設置制約のある箇所での水素検知センサの市場と、100%に近い高湿度で完全防水性が要求される箇所での水素検知センサの市場である。本研究で開発する技術をベースに、この2つの新規市場にフォーカスした。</p>
2-(4)-⑦半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発	<p>本テーマでは、事業化に向けて必要となる基盤技術の開発を、プロジェクト期間中に全て完了する計画としている。実用化・事業化のために、製品設計や製造プロセスの確立等が必要となるが、大規模な研究開発を伴う事項はない。</p> <p>プロジェクト終了後 2 年間を目途に、(株)四国総合研究所が主体となって、製品化に向けた各種フィールドでの実証試験、長期稼働試験及び展示会への出展・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールしていくと共に、プロジェクト終了後 3 年目より、主に水素ステーションにおける水素品質管理をターゲットとして、サンプル出荷による実績を積み上げつつ商品販売を進める。</p> <p>(株)四国総合研究所は、これまでに自社開発技術の商品化・事業化実績を多数有し、事業化に必要な体制が確立されている。また、本件シーズ技術開発を含め、これまでに水素エネルギー利用に関連する多数のプロジェクトに参画する過程において、多くのエネルギー関連企業や商社とのコネクションを構築しており、市場ニーズや実証試験フィールドの提供及び、サンプル販売の端緒を得ることができる環境にある。出荷台数が比較的少ない販売開始初期の段階での製造は、当社が指定する光学機器の製作に幅広い知見と実績のあるメーカー (エナジーサポート(株)、(株)ワイイーエス等より検討) が行うが、同社も自社開発技術に基づく商品化・事業化実績を有し、商品が高い品質で安定供給できる製造プロセスに必要な体制が確立されているため、強力な事業推進が見込める。</p> <p>量産体制に移行した場合は、国内における主要光学機器メーカー (シグマ光機(株)など) に製造・販売を委託する。同社についても、十分な事業実施体制が確立されており、高い事業化能力を有している。</p>
2-(4)-⑧水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発	<p>事業化までのシナリオとしては、まずは本プロジェクト期間(~2022 年度)において、新規熱化学式水素圧縮機の構築に必要な室温で 35MPa 以下の水素圧力(20~35MPa)で水素を吸蔵し、80℃の排熱により水素放出圧力が 80MPa を超える水素吸蔵合金を開発するとともに、良好な伝熱性能を備え、かつ 80MPa に対する耐圧性を有する熱交換器構造の最適化を実施する。その後、今回開発する新規熱化学式水素圧縮機を実用化初期段階として水素ステーション未整備地域への小規模水素ステーション向けをターゲットとし、高圧ガス保安法対応などを含めた実用化検討を開始する。また、実証試験を行うことで事業化検討、客先評価を行い、それに基づくシステム改良を実施し事業化へつなげる。</p>
2-(4)-⑨HDV 等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発	<p>本事業において開発される水素燃料計量システム技術及び充填技術は、HDV をはじめとする様々な燃料電池モビリティとインフラの普及に資するものであり、国が策定した第五次エネルギー基本計画や水素基本戦略の目標達成に貢献すると期待される。これらの技術は燃料電池モビリティユーザーに適正な水素燃料商取引を提供するとともに、水素インフラ事業者に対して運営コストの低減により 2020 年代後半に設定されている自立化を支えるものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マスターメーターの計量性能向上を目標として、トレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備を整備し、国際法定計量機関勧告 OIML R139 での計量精度と不確かさをクリアし、国際調和へ向けた活動を推進する予定である。 ・水素先進技術研究センター (仮) での充填技術の効率的技術検証を行い、別事業「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」及び「本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発」と連携しながら、GTR や ISO などの標準化活動を推進する予定である。

研究開発項目 3 : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

実用化の見通し	
<p>3-①水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発</p>	<p>本プロジェクトは、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきた ISO/TC197 (水素技術) が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組みを実施するものである。更に標準化活動等に係る国際連携を推進し、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。更に、上記の ISO 国際審議を日本が主導し、国際規格策定に資するため、水素品質に関する研究開発を行う。</p> <p>このように、ISO/TC197 関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、国際連携における日本のプレゼンスが上がり、水素・FCV 関連の市場における日本の国際競争力を強化することが可能となる。以って水素・FCV の大量普及に資することが出来る。</p>
<p>3-②燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ FCV の国際技術基準 (HFCV-GTR Phase2 等) に関する国際基準調和・標準化活動 <p>2021 年末の国連 GRSP への全体ドラフト提案に向けて国際審議に継続的に参画し、最終合意に向けて議論を誘導する。さらに、国際議論を通じ、高圧ガス保安法領域に関する新たな技術課題 (新構造容器、長尺容器の試験法等) が出されており、引き続きこれらの課題審議への継続参加が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ FCV の国際技術基準 (HFCV-GTR Phase2 等) 策定に資する研究開発 <ol style="list-style-type: none"> 1) 容器火炎暴露試験の見直し <p>各国でのラウンドロビン試験結果から新たな課題が生じる可能性がある。また、新たな試験法として提案された PRD が作動しなくても合格とする試験法案について検討する必要がある。さらに、新たな課題である、新構造容器や長尺容器の火炎暴露試験法についても検討する必要がある。</p> 2) 金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大 <p>Rationale 案を国内材料専門家会議他で議論した後、SAE 材料専門家会議、および HFCV-GTR Phase2 IWG 会議に提出し、議論を進め、最終提案の形にまとめていくことで国際合意を得る必要がある。さらに、UNR134(相互認証基準)審議に向けて、材料の認証方法を検討する必要がある。</p>
<p>3-③水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究</p>	<p>本調査では、世界各国の水素燃料電池に関する最新動向を隔週の「情報リスト」としてとりまとめ、NEDO および事業参加企業と共有し、国内関係者による最新動向の収集、把握を支援する。</p> <p>具体的には、次の取組みを実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 各国の政策・市場動向等を体系的にとりまとめ、市場参加者が基礎情報を把握することを支援する。 ・ 収集した情報や分析結果から、各国の特徴を明らかにし、国内への示唆となるポイントの抽出を図り、政策決定者およびビジネスの意思決定の一助となることを目指す。

添付資料

- ・ プロジェクト基本計画：添付-1
- ・ プロジェクト開始時関連資料：添付-2
- ・ 特許論文等リスト：添付-3

(添付-1)

各研究開発項目の詳細

研究成果詳細目次

(1) 国内規制適正化に関わる技術開発

- 1-(1) 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発・・・・・・・・・・ 1
- 1-(2)-① 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発・・・・・・・・・・ 20
- 1-(2)-② 連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の
簡易評価手法の開発・・・・・・・・・・ 48
- 1-(2)-③ 中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発・・・・・・・・・・ 55

(2) 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発

- 2-(1) 水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発・・・・・・・・ 71
- 2-(2)-① 水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発・・・・・・・・ 105
- 2-(2)-② 複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発・・・・・・・・ 124
- 2-(3)-① 長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発・・・・・・・・ 141
- 2-(3)-② 水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び
耐久性向上に関する研究開発・・・・・・・・・・ 162
- 2-(4)-① 本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発・・・・・・・・ 178
- 2-(4)-② 超高圧水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に
関する調査研究・・・・・・・・・・ 194
- 2-(4)-③ 新型高圧水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究・・・・・・・・・・ 209
- 2-(4)-④ 電気化学式水素ポンプの開発・実証・・・・・・・・・・ 220
- 2-(4)-⑤ 高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発・・・・・・・・ 232
- 2-(4)-⑥ 新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの
研究開発・・・・・・・・・・ 236
- 2-(4)-⑦ 半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発・・・・・・・・ 246

2-(4)-⑧ 水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発・・・・・・・・・・267

2-(4)-⑨ HDV 等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に
関する研究開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・275

(3) 国際展開、国際標準化等に関する研究開発

3-① 水素ステーション等機器の I S O / T C 1 9 7 国際標準化の推進と
水素品質規格のための研究開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・282

3-② 燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発・・・・・・・・・・297

3-③ 水素社会に係る国際関連機器等研究・政策動向に関する調査研究・・・・・・・・・・321

(1-1-1)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」

委託：一般財団法人石油エネルギー技術センター

● 成果概要 (実施期間：2018年度～2020年度終了)

- 一般則7条の4 (顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせる圧縮水素スタンドに係る技術上の基準) 制定に資する技術基準案 (省令案) の策定
- 一般則7条の3第2項 (都市型) 圧縮水素スタンドに係る技術上の基準) 的安全設備に関する技術基準見直し案 (省令案や例示基準案) の策定
- 【基本通達】圧縮水素スタンドにおける保安監督者兼任の許容 (一般則63条と64条の運用及び解釈について (内規)) 制定に資する技術基準案の策定

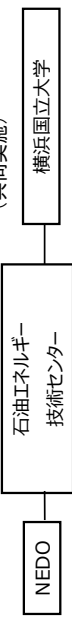
● 背景/研究内容/目的

- (背景)
- 2016年「水素・燃料電池戦略ロードマップ」改訂で水素ステーションとFCVの目標数明確に
 - 2017年閣議決定「規制改革実施計画」ステーションやFCVに係る37項目の規制改革案件が決定
 - No.29a：保安監督者の複数スタンダード兼任の許容
 - No.30：水素スタンド設備の遠隔監視による無人運転の許容
 - No.32：一般家庭等における水素充填の可能化
 - No.38：水素スタンド設備に係る技術基準の見直し
- (研究内容/目的)
- 規制改革案件の実現には省令等の制定や改訂が必要であり、その根拠となる技術的裏付けが不可欠→上記3件 (No.32除く) に関する省令等の制定や改訂に資する技術検討
 - 本事業の研究開発の成果を活かした技術基準案 (省令案、例示基準案等) を作成→省令等の制定や改訂に資する資料

● 研究目標

実施項目	目標
無人運転を実施するための研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 無人運転を可能とするための法的・技術的課題の整理と対策の立案 省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成
リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 定量性・汎用性の高いリスクアセス手法と多様な設備構成で狭小ステーションモデル構築 安全対策の合理化案と省令等改訂に資する技術基準案の作成
保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 保安監督者の兼任を可能とする要件の提案 保安監督者兼任ステーションに関する各種技術基準案の作成
家庭・小規模事業等での水素充填のための法的課題抽出	<ul style="list-style-type: none"> 家庭・小規模事業等での水素充填のモデル構築し、そのモデルに基づく法的課題の抽出

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

- 実施内容
- 無人運転を実施するための研究開発
 - 無人運転の実施に伴う法的課題の検討
 - 技術的課題の検討と安全対策の立案
 - 無人運転実施のための技術基準案の策定
 - リスクアセス再実施に基づく設備構成研究開発
 - 定量性・汎用性の高いリスクアセス手法の構築
 - 既設ステーション設備ベースのステーションモデル構築
 - リスク算定実施と結果に基づく合理的な安全対策提案
 - リスクアセス再実施結果に基づく検査・点検方法の見直し
 - 保安監督者複数水素ステーション兼任研究開発
 - 現状の保安監督者の役割抽出
 - 保安監督者兼任の場合保安体制モデルと課題抽出
 - 兼任ステーションのリスクアセス実施
 - 兼任ステーションの必要要件の検討
 - 兼任ステーションのための技術基準案作成
 - 家庭・小規模事業等での水素充填の法的課題抽出
 - 家庭用水素充填設備のモデル構築
 - モデルに基づく法的課題の抽出

- 研究成果
- 無人運転を実施するための研究開発
 - 国内法規制の整理と課題抽出、理想のステーションへのロードマップ
 - 遠隔監視を可能とする安全対策の立案、緊急時対応策の立案
 - 省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案作成
 - リスクアセス再実施に基づく設備構成研究開発
 - リスクシナリオ一覧表、リスクアセスメントのガイドライン
 - 狭小ステーションモデルのPFD、P&ID、二次元・三次元モデル
 - リスクアセス結果に基づく安全対策の合理化案
 - 技術基準 (省令・例示基準) の見直し案
 - 今回の合理化案では検査・点検方法の見直しと結論
 - 保安監督者複数水素ステーション兼任研究開発
 - 現状のステーションでの保安監督者、従業者、事業者の業務整理
 - 事業者インタビュー等を基に保安体制モデル構築
 - ヒューマンファクターの考慮や同時発災も想定したリスクアセス実施
 - 兼任のための事業者、保安監督者、従業者の必要要件
 - 危害予防規程や保安教育計画の指針案、ガイドライン案
 - 家庭・小規模事業等での水素充填の法的課題抽出
 - 家庭用水素充填設備モデル
 - モデルに基づく法的課題

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
無人運転を実施するための研究開発	新省令制定 (一般則7条の4) に資する技術基準案作成	○
リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発	省令や例示基準改訂に資する技術基準案作成 リスクアセス手法やステーションモデル	△ 2020年度末
保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	省令解釈に関する基本通達制定に資する技術基準案作成	○
家庭・小規模事業等での水素充填のための法的課題抽出	家庭用水素充填設備モデルに基づく法的課題	△ 2020年度末

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0件	1件	10件	0件

課題番号：1-(1)

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター

共同実施者：国立大学法人横浜国立大学

1. 研究開発概要

2016年3月に水素・燃料電池戦略協議会が「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を改訂し、これまでの取組の進展を踏まえて水素ステーションに係る自立化に向けた道筋や定量目標等が改めて示された。その実現に向け、2017年6月に37項目からなる規制改革実施計画が閣議決定された。水素ステーションに関して、

No.29a：保安監督者の複数スタンド兼任の許容

No.30：水素スタンド設備の遠隔監視による無人運転の許容

No.32：一般家庭等における水素充填の可能化

No.38：水素スタンド設備に係る技術基準の見直し

などが含まれた。さらに、2017年12月には再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議により、2050年を視野に入れた「水素基本戦略」が策定された。この基本戦略において、FCVをはじめとするモビリティに向けた水素ステーションの数値目標が示され、また日本が世界の水素社会実現を先駆ける姿勢が明確に示された。そういった中、これまでの検討の延長線上にある検討では、「水素基本戦略」の数値目標の達成、建設コスト低減を通じた自律的な水素販売ビジネスの展開は困難であり、新たなイノベーションが不可欠である。そこで、規制改革実施計画の案件を踏まえ、以下の4項目に対する研究開発を実施する。

① 無人運転を実施するための研究開発

② リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

③ その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施

(1) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発（2019年10月に追加）

(2) 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

①の無人運転を実施するための研究開発では、水素ステーションの無人運転を実現するために必要な技術基準案を策定する。そのために、現行規制の無人運転に対する課題整理と国内外の法規制の比較等も踏まえて、無人運転を実現するために対応が必要となる法規制の整理と課題抽出や対策検討等の法技術的な検討を行う。また、ステーションの無人運転に伴い生じる技術課題を抽出し、その結果を踏まえた安全対策の調査及び技術検討を実施する。これらをもとに技術基準案を策定する。

②のリスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発では、まず、リスクアセスメントの対象となる高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則（以下、一般則）第7条の3第2項を満足する狭小な水素ステーションモデルを構築するとともに、定量性と汎用性を高めることが可能となった新たなリスクアセスメント手法を構築する。そして、リスクアセスメントの再実施を行い、その結果に基づき、必要十分な安全対策を明確にし、技術基準等の見直しに資する検討を行う。そして、一般則第7条の3において、見直し余地のある条項を抽出し、安全対策の有効性検討により技術基準を見直し、技術基準案を策定する。

③ (1) の保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発では、水素ステーション

の保安を監督するものとして、各水素ステーションで選任が求められている保安監督者に関して、複数の水素ステーションの兼任を可能とするための要件の検討を実施し、検討から得られた兼任を可能とする要件を明確にする技術基準案を策定する。

③(2)の家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出では、FCV普及の目的で家庭での充填が可能になるよう、家庭用水素充填設備のモデルを構築し、そのモデルに基づき、実現に向けての法的課題の抽出を実施する。

2. 研究開発目標

以下に、研究開発目標を、研究開発概要に記した小テーマ①、②、③(1)、③(2)ごとに記す。

無人運転を実施するための研究開発については、表1-①に示す。

表1-① 研究開発目標（無人運転を実施するための研究開発）

実施項目	最終目標
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出、その課題に対する対策とその進め方の明確化
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	無人運転を可能とする技術課題の整理、それを可能とする安全対策案の検討・立案
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成

水素ステーションの無人運転を実現するためには、有人を前提としている技術基準である一般則に、新たに無人運転に関する規程を追加する必要がある。そのため、法技術的なアプローチと技術的なアプローチの双方で、無人運転を可能とするための課題を整理し、その課題を解決するための対策を検討する。その検討結果を基に省令制定に資する技術基準案を作成する。併せて、制定された省令や例示基準などを基に、事業者が水素ステーションの無人運転を実現するために有用となる各種の技術基準案（安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案）を作成する。

リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発については、表1-②に示す。

表1-② 研究開発目標（リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発）

実施項目	最終目標
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準（省令や例示基準）の改訂に資する技術基準案の作成
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成

水素ステーションの設備構成を見直すためのリスクアセスメントの再実施においては、最新のリスク

アセスメントの知見を活かし、水素ステーションという工学モデルに最適な定量性と汎用性の高いリスクアセスメント手法と、その手法を適用する対象となる水素ステーションモデルが必要となる。ステーションモデルにおいては、多様な設備構成をカバーし、リスクの影響が敷地外に及び易い狭小なステーションモデルとする必要がある。このステーションモデルに対するリスクアセスメント再実施の結果から、定量的に説明可能な安全対策の合理化案を提案し、安全対策を定義している技術基準である省令や例示基準の改訂に資する技術基準案を作成する。その合理化案が設備の検査・点検方法に影響を及ぼす場合には、検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成も必要となる。

保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発については、表1-③(1)に示す。

表1-③(1) 研究開発目標(保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発)

実施項目	最終目標
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容や役割の明確化
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案(必要要件)の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成

保安監督者の複数の水素ステーションの兼任に関しては、兼任した際の「平常時・緊急時に職務を全うできるか」と「複数のステーションが同時発災した場合、従業員を含め適切な対応が取れるか」の検証が不可欠である。そのため、現状の保安監督者専任のステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容や役割を明確化し、それをベースに保安監督者が複数ステーションを兼任するモデルを作成、それを対象に同時発災やヒューマンファクターを考慮したリスクアセスメントを実施し、保安監督者が複数のステーションを兼任する要件を提案する。その要件を基に、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のためのガイドライン案を作成する。

家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出については、表1-③(2)に示す。

表1-③(2) 研究開発目標(家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出)

実施項目	最終目標
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化

家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出に関しては、その検討の対象となる家庭用小規模充填設備のモデルを構築し、それを家庭に設置する際の法的課題を抽出し、明確化するものである。

3. 研究開発成果 ①無人運転を実施するための研究開発

3. 1 研究開発成果、達成度

この研究開発の検討スキームを図1に示す。水素ステーションを無人運転するためには、遠隔監視が不可欠であり、遠隔監視による水素ステーションの無人運転の実現に向け、法技術的な検討と技術的な検討を並行して実施し、その結果を合体させたのち、省令制定に資する技術基準案の作成や省令案以外の各種技術基準案の作成と進めていくものである。

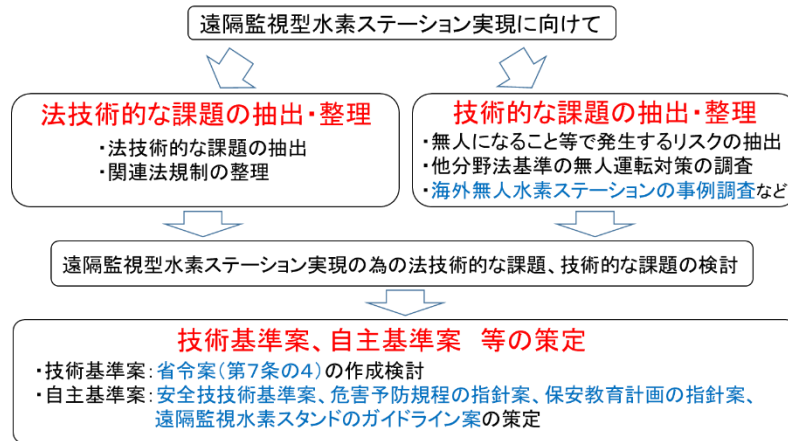


図1 無人運転を実施するための研究開発の検討スキーム

(1) 無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討

遠隔監視による水素ステーションの無人運転の実現に向けた法技術的な検討として、国内外関連法規を整理、検討し(図2参照)、そこから、理想の遠隔監視型水素ステーションに向けたロードマップを作成した(図3参照)。(達成度:○)

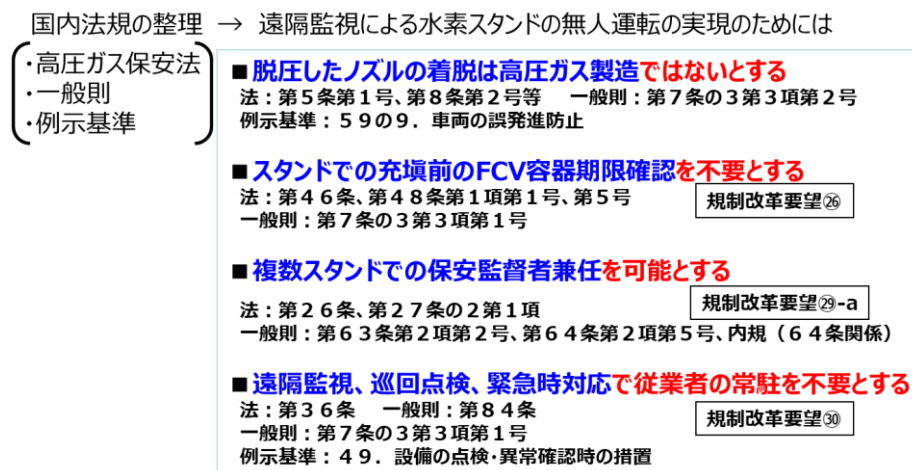


図2 水素ステーションの無人運転の実現に向けての法技術的な検討

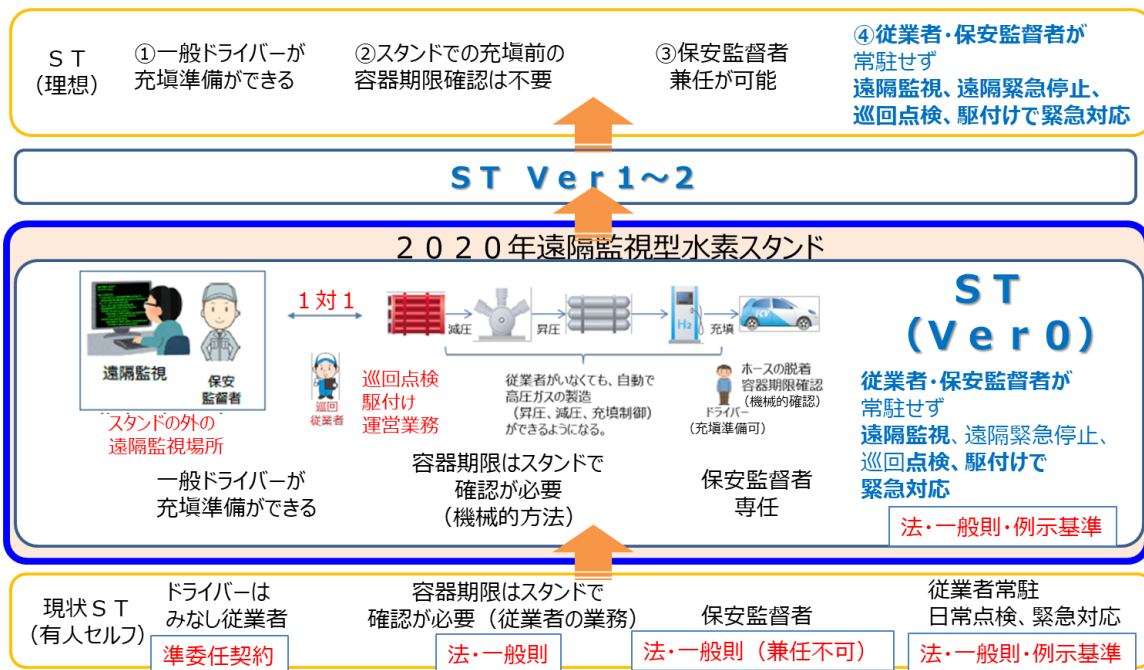


図3 理想の遠隔監視型水素ステーションに向けたロードマップ

(2) 無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案

技術的な課題に関しては、水素ステーションが無人になることから、有人ステーションにおいて人が関与する安全対策の検討から開始した。図4に示すリスクアセスメントを実施し、人が関与してリスクを低減している安全対策をすべて検討し、日常の巡回点検、遠隔監視による遠隔緊急停止と顧客が押下できる緊急停止ボタンがあれば解決できることを確認できた。

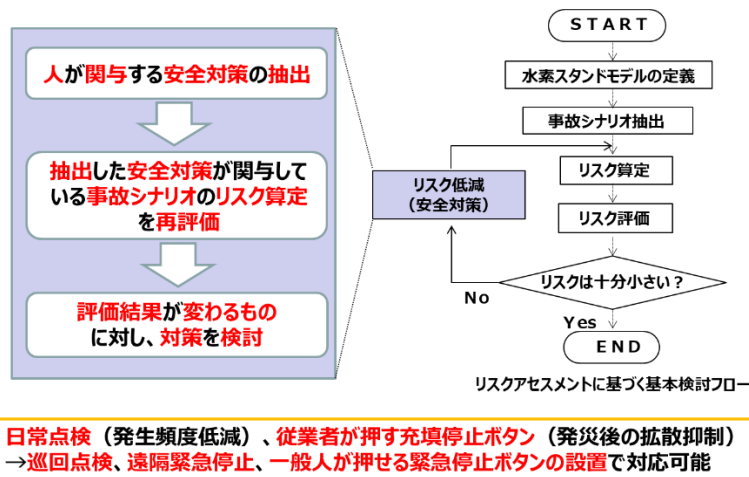


図4 人が関与する安全対策に関する検討

さらに、平常時の従業員の作業解析や2013-2014年度に実施のNEDO事業「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」における重要な初期事象への対応方法なども検討し、図4に加え、「駆けつけ」が必要になることを明確化した。これらに関し、無人運転に関する先進国である米国加州の事例調査を実施し、明確化した内容が的確であることの確認を実施した。概略を図5に示す。

水素スタンド運営事業者である**First Element Fuel, Shell, ITM Power**の3社にヒアリングを行うとともに、実際に**11箇所の水素スタンド**を視察

【視察した水素スタンド】

スタンド名	UC Irvine	Long Beach	Hollywood	Riverside
外観				
立地	街中	街中	街中	郊外
形態	単独型	コンビニ、GS併設	GS併設	GS、CNG・LPGスタンド併設

【調査結果の概要】

- ✓ カリフォルニア州においては、**遠隔監視による無人運転の水素スタンドが一般的**
- ✓ 巡回点検や緊急時対応の方法等、**法規制に無人運転に係る規定は無く、保安確保についての具体策は事業者自らが定め、自主的に実施**
 例：巡回点検や駆け付けを行う者への教育・研修を定期的を実施
 近隣消防と、緊急時対応の取り決めを行うとともに、スタンドの情報を事前に共有
- ✓ **遠隔監視による集中監視システム**は水素インフラ全体の運営費低減に寄与

図5 米国加州の遠隔監視ステーション運営方法の調査

続いて、無人運転を実施するための必要要件について、設備的な面を中心に検討した。一つ目の要件として、従業員不在でも十分な監視体制の確保等により保安を維持する対策、二つ目の要件として、顧客によるセルフ充填を可能にする追加的安全対策があり、これらを整理すると前者は図6、後者は図7となる。(達成度：○)

	ハード対策	ソフト対策
平常時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所でのスタンドの場景監視措置 設備の運転状況監視措置 	<ul style="list-style-type: none"> 保安監督者、遠隔監視員、巡回点検員、駆けつけ員による保安体制の確立
緊急時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所での警報、緊急停止措置 インターロック、停電・サイバー対策 	<ul style="list-style-type: none"> 同時発災も含めた、緊急時の保安体制、駆けつけ体制の確立

◇監視カメラによる場景監視



◇集中監視等による設備状態の把握

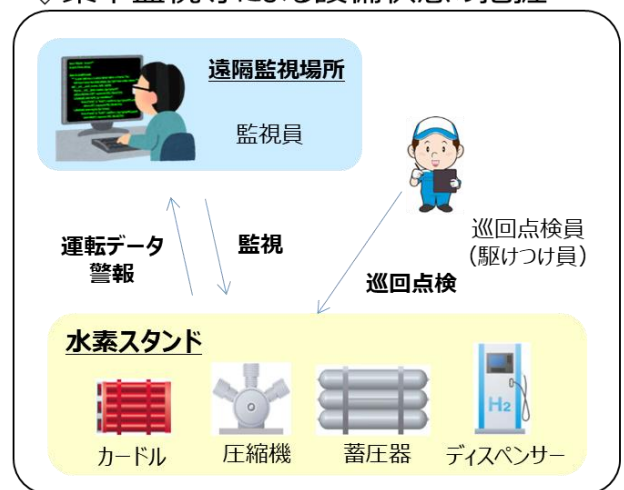


図6 従業員不在でも十分な監視体制の確保等により保安を維持する対策

※ 充填プロトコル以外はすべて新たに追加

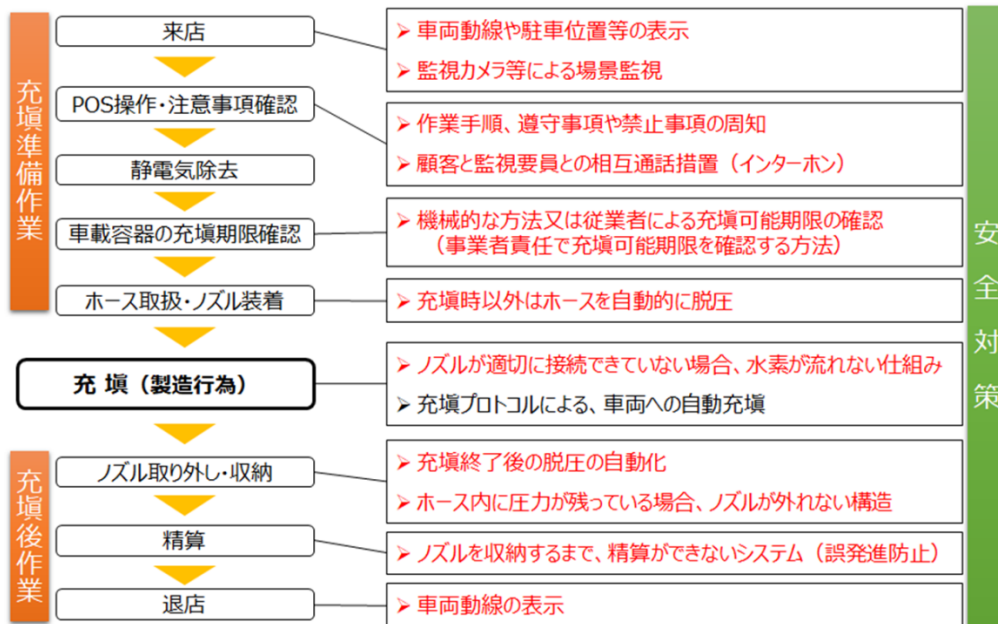


図7 顧客によるセルフ充墳を可能にする追加的安全対策

(3) 無人運転実施のための技術基準案の策定

法技術的な検討と技術的な検討の結果から省令制定に資する技術基準案の作成と省令案以外の各種技術基準案の作成を実施した。省令制定に資する技術基準案は省令制定に反映され、一般則7条の4が2020年8月6日に公布、8月7日に施行された。今後、例示基準等が明確になる予定であり、既に本研究開発で作成済みの安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案とガイドライン案を、例示基準に則り調整していくことになる。省令化に関する状況を図8に示す。（達成度：△も2020年度末達成見込）

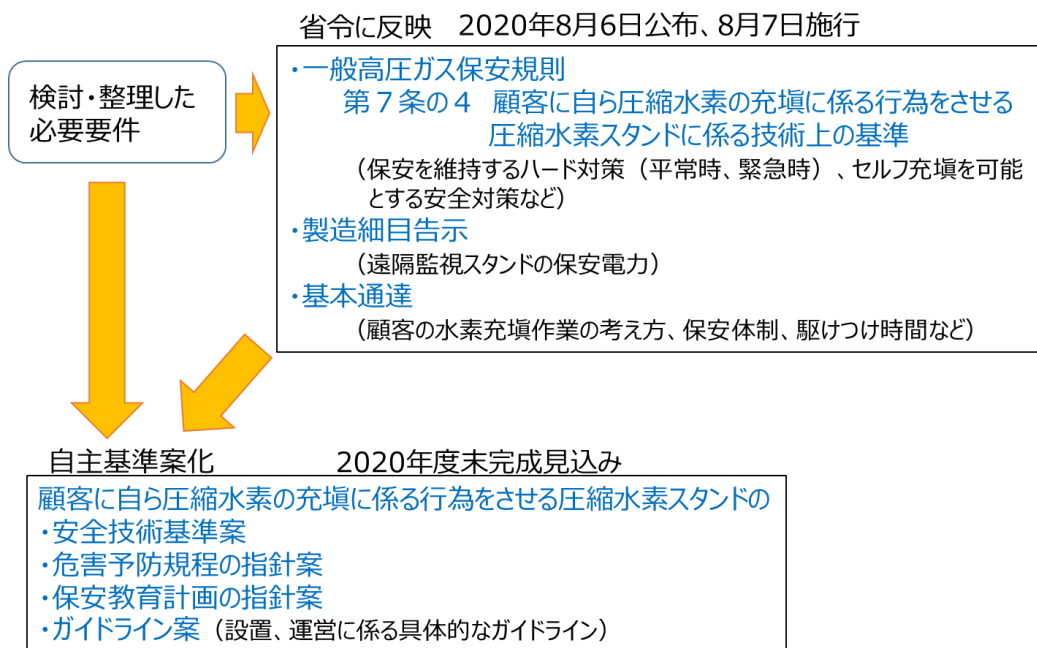


図8 省令化等と各種自主基準案の関係図

3. 2 成果の意義

遠隔監視による水素ステーションの無人化実現による意義を、以下に列挙する。

1. 顧客の利便性向上：有人と無人セルフの選択肢の拡大
2. 事業者の運営コスト・建設コスト低減：遠隔監視所による複数のステーション管理の効果
3. 上記2点による水素ステーションの普及、FCV 市場拡大、水素社会の実現に寄与

3. 3 開発項目別残課題

実施計画書に記載の内容は本年度末にすべて完了の予定である。プロジェクトの進捗に従い、新たに見出された開発項目別残課題として2点記載する。

今回、公布・施行された一般則7条の4であるが、本則の第1項は、郊外型ステーションとの位置付けで保安距離により安全を確保するものであるが、ステーションが遠隔監視下で無人となることから、都市型ステーションに対して必要としている安全設備(一般則7条の3第2項)の多くが盛り込まれた。これは、過剰の安全対策となっている可能性があり、事業者にとって建設費や運営費の増加につながる。追加された安全設備が1項ステーションに必要かどうか、個別に、その効果の定量化をしながら、必要性を確認する必要がある。

遠隔監視ステーションにおける保安監督者の兼任については、その要件の検討による技術基準案の作成は今年度中に完了の予定であるが、その要件が反映される通達等の法整備過程は、遠隔監視ステーションや保安監督者兼任のステーションの実態を見てからとのことであり、それらの実態に関する調査や法整備過程における各種の技術的対応は来年度になる見込みである。

3. 研究開発成果 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築

本研究で水素ステーションに適用するリスクアセスメント手法の構築を行った。実施していくリスクアセスメント手法としては、図9にその考えを示す。また、網羅的なリスクアセスメントをすることが不可欠であることから、表2に示すようにリスクアセスメント手法の使い分けを実施した。(達成度：△も2020年度末達成見込)

□ リスクシナリオの特性に応じたふたつの定量的リスクアセスメント手法の採用

- QRA(種々の事故原因のリスクの総括的評価)
- シナリオベース評価(個々の事故原因のリスクの個別評価)

□ リスクシナリオ抽出

- HAZOP、FMEA、手順HAZOP

□ 日本学術会議が推奨する工学システム安全目標(A基準)をリスククライテリアに設定

- 敷地外の人への死亡率 : $10^{-6}/\text{yr}$
* 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会, 工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 2017

□ 本研究の手法を取りまとめたガイドラインの作成

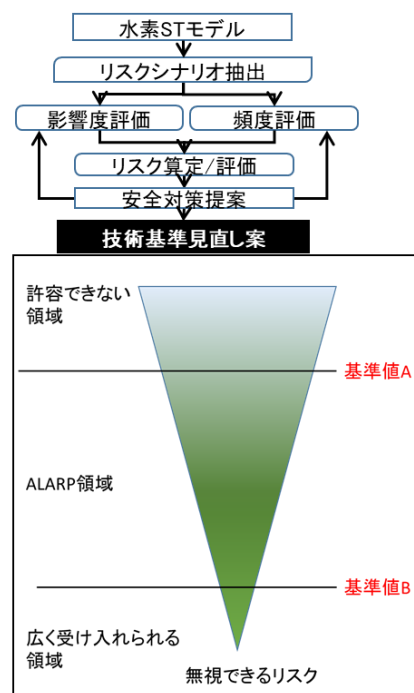


図9 今回実施のリスクアセスメントの考え方

表2 網羅的なリスクアセスメント

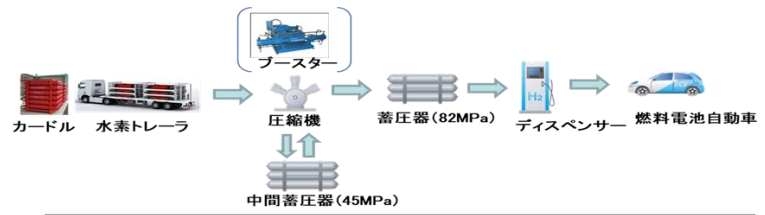
	事故のトリガーによるリスクシナリオの分類	リスク分析手法			評価精度			対象となるリスクシナリオ
		リスクシナリオ特定	頻度分析	影響度分析	頻度評価	影響度評価	リスク評価	
I 内的要因に起因する事故	・機器故障 ・機器故障の連鎖 ・設計不良、施工不良 ・ヒューマンエラー ・その他	HAZOP 作業HAZOP FMEA	漏洩頻度DB パーツカウント (狭義のQRA(TNO式))	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	漏洩頻度データにより頻度の定量化が可能であり、定量的な評価が可能ナリスク
	I a 機器故障の連鎖 ・遮断弁誤作動→圧力上昇→漏洩	FMEA	機器故障率DB ETA	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	故障率データによりリスクの定量化が精度よく可能であり、定量的な評価が可能ナリスク
	I b ヒューマンエラー ・誤操作 ・その他	作業HAZOP	ヒューマンエラー頻度DB ETA	数値解析	△ (精度低)	○ (可能)	△ (精度低)	頻度データの不確かさが大きい が、リスクを相対評価可能ナリスク
II 外的要因に起因する事故	・近隣火災 ・内部火災 ・地震(外力の作用) ・車両誤発進 ・車両飛び込み等	HAZOP What-if	類似事象の頻度データ ETA	数値解析	△ (精度低)	○ (可能)	△ (精度低)	頻度データの不確かさが大きい が、リスクを相対評価可能ナリスク

- [Iの最上段のみ] QRAを適用 (種々の事故原因のリスクの総括的評価)
- [その他の3段] シナリオベース評価を適用 (個々の事故原因のリスクの個別評価)

(2) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築

リスクアセスメントの対象となる水素ステーションモデルの構築では、多様な設備構成をカバーし、また、リスクの影響が敷地外に及び易い狭小なステーションモデルとする必要がある。多くの事業者からのヒアリングや多くの実ステーションの調査から、図10に示すステーションモデルを構築した。(達成度: ○)

7条の3第2項による
都市型STの狭小モデル



□ 図面類

- PFD(プロセスフローダイアグラム)
- P&ID
- 平面配置図
- 立面図
- 三次元モデル

□ 資料

- 設備構成の概要説明
- 運転モードと機器動作シーケンス
- 異常時の機器動作シーケンス
- オペレーションマニュアル(水素カードル/水素トレーラの脱着作業)

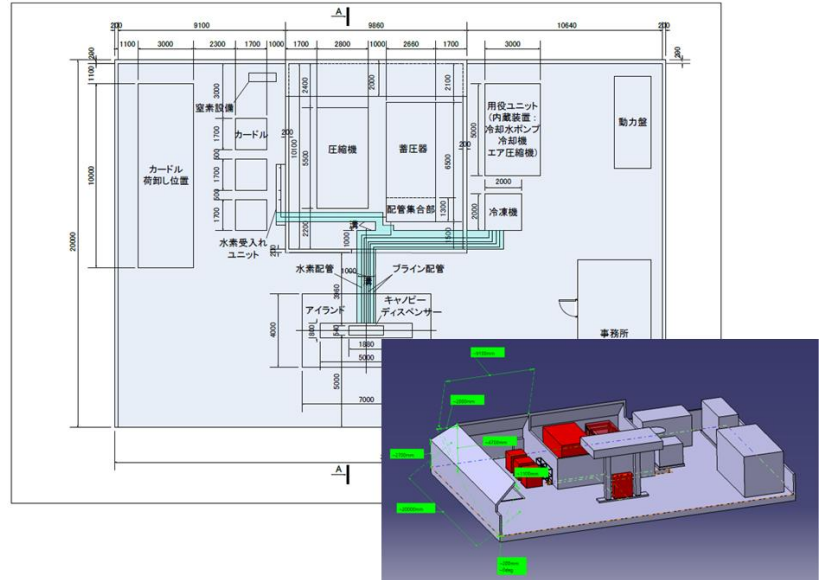


図10 リスクアセスメントの対象となるステーションモデルの構築

(3) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案

リスクアセスメント手法が確立し、対象となるステーションモデルが構築できたので、漏洩頻度データに基づく定量的リスクアセスメントとシナリオベースのリスクの個別評価を実施した。前者については図11に、後者については図12に結果を示す。

□漏洩頻度データ : 米国Sandia report(2017)の水素ST設備の漏洩頻度DBに準拠

□影響度解析手順

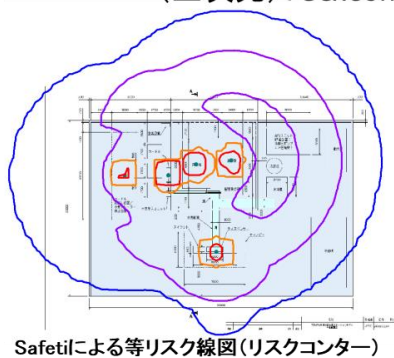
・パラメータ入力
容量V 温度T
圧力P 漏洩径d
漏洩高さH、他

・漏洩後の各最終事象の影響度算出
火災: 輻射熱[kW/m²]
爆発: 爆風圧[kPa]

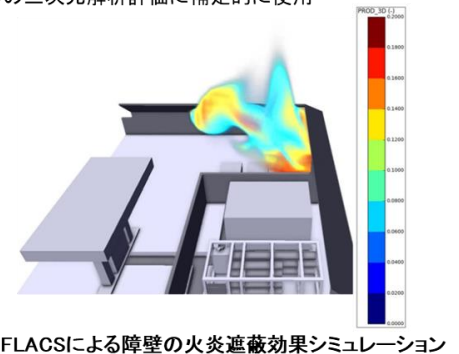
・致死率(死亡率)に換算

□ 解析ソフトウェア(二次元): DNV社 PHAST-Safeti ver 8.11 ※二次元解析のため、障壁効果は評価できない

(三次元): GexCon社 FLACS ※障壁効果等の三次元解析評価に補足的に使用



Safetiによる等リスク線図(リスクカウンター)



FLACSIによる障壁の火炎遮蔽効果シミュレーション

図11 漏洩頻度データに基づく定量的リスクアセスメント

□ 評価対象の事故原因：機器故障、ヒューマンファクター（操作ミス等）、外乱（火災）、天災（地震等）

□ リスクシナリオ毎のイベントツリー分析を実施し、漏洩頻度を算出

元データ：国内原発の機器故障率DB（JANSI-CFR-02）、北海油田プラットフォームの機器故障率DB（OREDA2015）、国内原発のヒューマンファクターDB、その他

□ 影響度評価とリスク算定

- ・ 上記漏洩頻度算出結果を用い、PHAst-Safetiで影響度とリスクを算定
- ・ 結果を一覧表に整理（全64シナリオ）

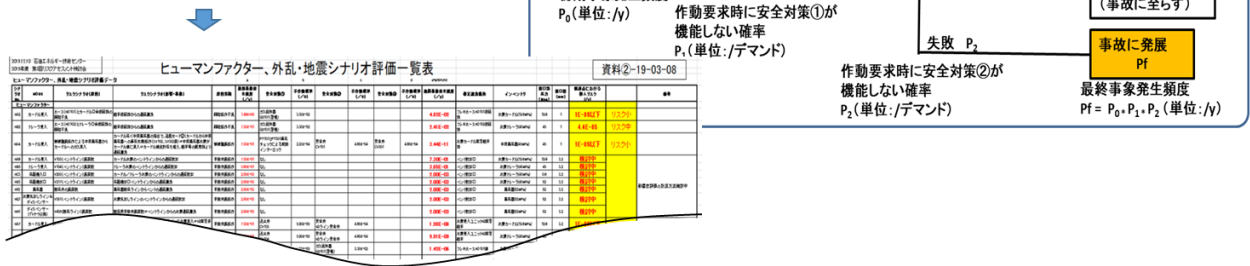


図1.2 シナリオベースのリスクの個別評価

図1.1の左下図において、等リスク線図の確率 10⁻⁶を意味する一番外側の線が左右と上にはみ出しているが、この二次元評価では、障壁などの抑え込み効果を見積もっていない。図1.1の右下の三次元シミュレーションで障壁は火炎遮断が確実にできることを示しているので、10⁻⁶の等リスク線は敷地内に納まっていることになる。また、図1.2に示すシナリオベースのリスクの個別評価では、すべてのシナリオで10⁻⁶を下回っていることが確認できた。

このことから、狭小ステーションにおいても、現行技術基準（省令・例示基準）に対し、新たに追加すべき安全対策は無いことが明らかになった。その上で、リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案として表3を提案した。

表3 安全対策の合理化案

項目	対象基準	要点	見直し提案内容
遮断弁二重化に関する配置の合理化	例示基準 19の2	緊急遮断装置のうち一つは蓄圧器から圧縮水素を送り出す集合配管に設置することが可能	例示基準に当該配置図を追加記載
過流防止弁の配置の合理化	例示基準 59の5	ディスペンサーに供給する配管に過流防止弁を設置することが可能（蓄圧器フレーム内）	左記を例示基準に追記
過流防止弁代替安全対策（オリフィス）	例示基準 59の5	過流防止弁の代替としてディスペンサー出口の最大流量（ホース破断時）を60g/sec以下となる措置（オリフィス等）を可能	左記を例示基準に追記
圧カリリース弁設置条件の見直し	一般則 7条の3 2項10号	蓄圧器配管の安全装置が揚程式バネ式安全弁で吹き出し量が一定以下の場合、圧カリリース弁は不要とする	安全弁に仕様条件を提示し、安全弁の放出口が上向きの場合とする

リスクアセスメントをさらに網羅的にするため、表2に加え、シビアアクシデントへの対応策を検討した。2013-2014年度に実施のNEDO事業「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」等を参考に、最新の知見を活かして表4に示す9つのシビアアクシデントへの進展シナリオを考えた。この9つのシナリオに対して、詳細な事象進展、保安監督者や従業員の取るべき行動、事業者や行政との連携などにも踏み込んだ対応策を作成している。（達成度：△も2020年度末達成見込）

表4 9つのシビアアクシデントへの進展シナリオ

外力による配管損傷	設計値以上の外力が配管に負荷 ⇒ 蓄圧器遮断弁下流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
	設計値以上の外力が配管に負荷 ⇒ 蓄圧器遮断弁上流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
外力による蓄圧器損傷	設計値以上の外力が蓄圧器に負荷 ⇒ 蓄圧器損傷 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
火災(熱)による配管損傷	火炎、輻射熱による配管の過熱 ⇒ 蓄圧器遮断弁下流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
	火炎、輻射熱による配管の過熱 ⇒ 蓄圧器遮断弁上流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
火災(熱)による蓄圧器損傷	火炎、輻射熱による蓄圧器の過熱 ⇒ 蓄圧器損傷 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
	火炎、輻射熱による過熱 ⇒ シール機能損傷(Oリング等) ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
蓄圧器の流出	冠水 ⇒ 蓄圧器の流出 ⇒ 蓄圧器、元弁の破損 ⇒ 水素の連続漏洩(大量)
圧縮機の異常運転による圧力上昇	サイバー攻撃 ⇒ 制御系の異常 ⇒ 圧縮機異常運転による圧力上昇

(4) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し

表3に示す4点の合理化案については、表中に示すように省令の改訂と例示基準の改訂が必要になる。定量的なリスクアセスメントの評価結果を裏付けとする技術基準(省令や例示基準)の改訂に資する技術基準案の作成を実施した。また、リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直しに関しては、今回提案した4件の合理化案では、検査・点検方法の見直しに至るものはないことを確認した。(達成度：△も2020年度末達成見込)

3. 2 成果の意義

リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成の見直しの意義を、以下に列举する。

1. 事業者の運営コスト・建設コスト低減：安全設備数の減少により、初期投資だけでなく、定期自主検査や保安検査の負荷が低減することによる運営費削減も可能
2. 上記による水素ステーションの普及、FCV市場拡大、水素社会の実現に寄与
3. 本研究のリスクアセスメント手法の他の工学システムへの適用の可能性

3. 3 開発項目別残課題

実施計画書に記載の内容は本年度末にすべて完了の予定である。プロジェクトの進捗に従い、新たに見出された開発項目別残課題は、このテーマでは生じなかったが、①の無人運転を実施するための研究開発で残課題となった一般則7条の4第1項の安全設備の見直しに関しては、このテーマで得られた個別シナリオ評価手法を有効に活用できると考えられる。

3. 研究開発成果 ③ (1) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

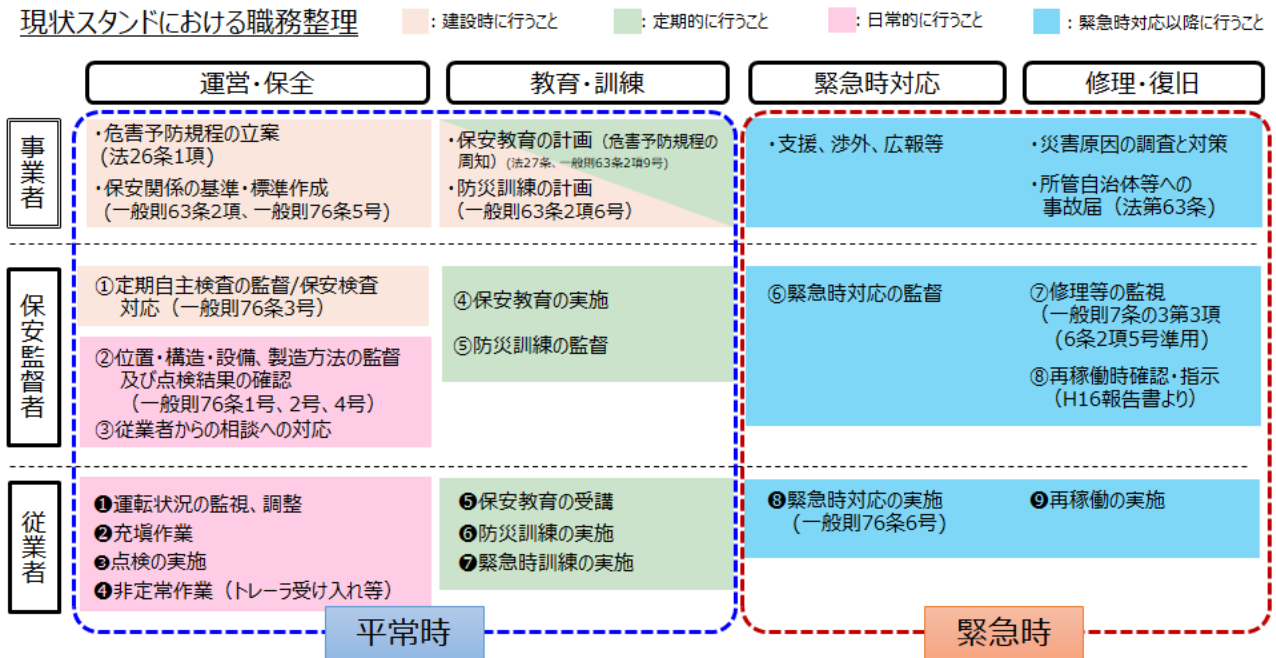
3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出

保安監督者が複数の水素ステーションを兼任する要件を検討するに当たり、これまで、明確化されていなかった保安監督者の業務を、一般的な高圧ガス設備で選任が義務付けられている保安統括者や保安係員等の職務として高圧ガス保安法や一般則に記載されている事項をベースに、1ステーションに1名が専任されている保安監督者の業務を整理し、明確化した。併せて、保安体制としては保安監督者1名

である水素ステーションにおける、事業者や従業員の役割も明確にした。結果を表5に示す。(達成度：○)

表5 水素ステーションにおける保安監督者、事業者、従業員の職務



(2) 水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出

保安監督者が複数の水素ステーションを兼任することを可能とする必要要件の検討に向け、表5で整理した専任されている保安監督者の業務内容の1件ごとに、兼任になると課題となる点を抽出した。その結果、課題として、①水素ステーションの保安監督者としての経験、②ステーションの設備構成等の違いの把握、が挙げられた。また、水素ステーションで1年の範囲内に実施される各種のイベント（保安検査、防災訓練等）が、兼任するステーションが複数になった場合の業務の繁忙の程度を検討した。4か所の兼任においては、各種イベントの準備の期間が重複することが明らかになり、兼任ステーション数の上限として、4か所が示唆された。

モデルをより具体化するため、事業者や保安監督者へのインタビューを実施した。モデルに反映できる情報として、①保安監督者がステーションを離れる際には、一人で作業することが可能な従業員が担当する、②本社組織等の事業者は、保安監督者が多忙な際はサポートする体制と緊急時に保安監督者がステーションを離れている際には保安監督者をバックアップする体制を用意している、が得られた。また、防災訓練や保安教育に関しては、保安監督者が兼任になることを想定すると、同時発災訓練やステーション相互の保安教育も重要との意見が得られた。こういった情報もモデルに反映させた。(達成度：○)

(3) 水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施

上で得られたステーションモデルにおける緊急時対応の検討として、2013-2014年度に実施のNEDO事業「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」における14のトリガー事象への対応について検討した。多くの場合、あらかじめ定められた要領や基準に従って一人で作業できる従業員がステーションに勤務していれば、従業員は異常を覚知したら、要領や基準どおりに作業することで対応できる

こと、また、近隣住民の避難を伴うような重要な判断が必要な場合も保安監督者への連絡・確認が追加になるだけで保安監督者の駐在は必要ないことが確認できた。

さらには、当事者(従業者、保安監督者、事業者)のヒューマンファクターを網羅的に考慮する m-SHEL モデルでの解析や同時発災想定での検討も実施した。(達成度：○)

(4) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案(必要要件)の検討

(2)と(3)の検討結果を反映して、保安監督者が兼任可能となる要件を明確にした。図13に示す。図中の左半分は、現在の保安監督者専任のステーション、右半分は兼任後に保安体制が維持できるために必要な要件となる。追加される要件は、保安監督者だけでなく、従業者、事業者、ステーション設備や複数のステーションの立地条件等(図中では「全体」と記している)に及ぶものである。(達成度：○)

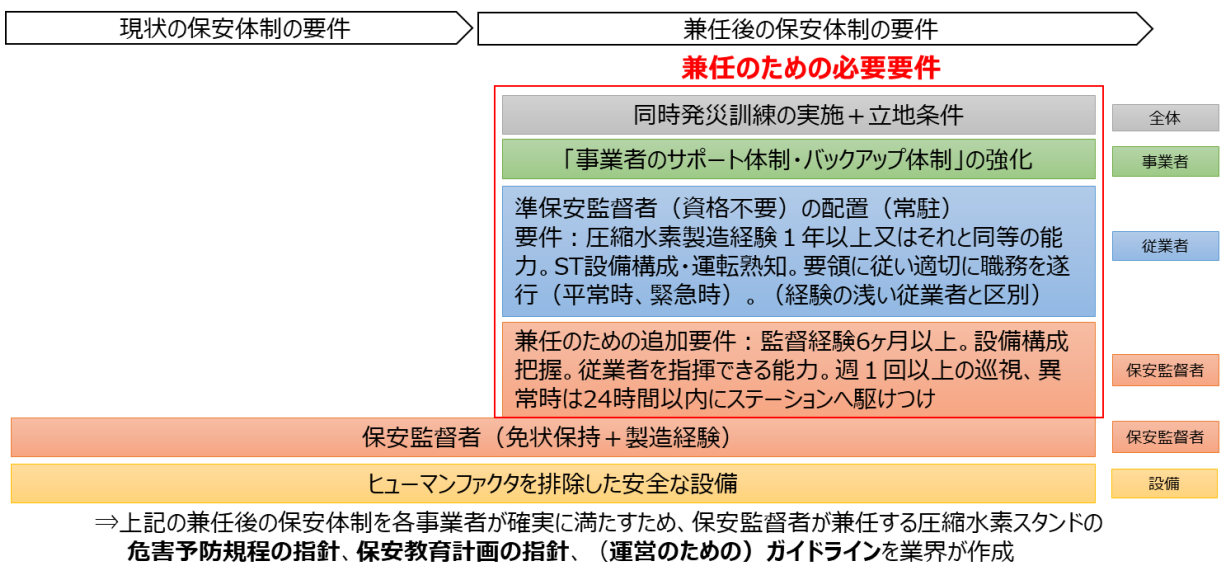


図13 保安監督者兼任のための必要要件

(5) 保安監督者の兼任のための技術基準案の作成

得られた必要要件を具体的に説明し、事業者が効率的に保安監督者兼任の仕組みを活用できるよう、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のためのガイドライン案を作成した。この研究開発の成果は、基本通達に反映されることになるが、その基本通達案と本研究開発の関係を図14に示す。

(達成度：○)

3. 2 成果の意義

保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発の意義を、以下に列挙する。

1. 事業者の運営コスト低減: 有資格者である保安監督者の人数を兼任により低減可能
2. ステーション普及の可能性拡大: 人材確保が困難な有資格者である保安監督者の人数の抑制により、新規事業者の参入が容易に
3. 上記により FCV 市場拡大、水素社会の実現に寄与

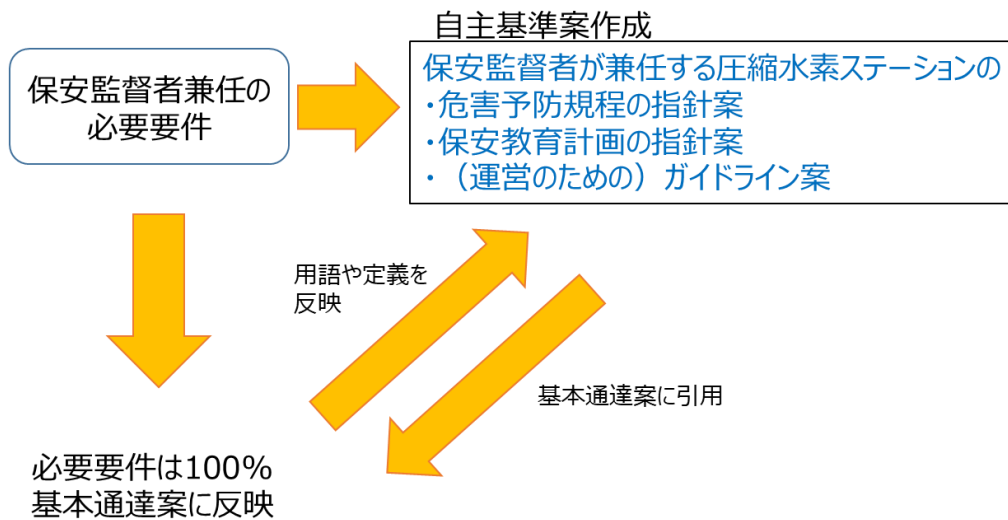


図1 4 各種自主基準案と基本通達案の相関関係

3. 3 開発項目別残課題

すべての研究開発は終了しており、残課題はない。

3. 研究開発成果 ③ (2) 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 家庭用小規模充填設備のモデル構築

FCVの広い普及のためには、家庭・小規模事業所等での水素充填を可能とすることは重要である。実現に向けての法的課題の抽出のため、検討のベースとなる家庭用小規模充填設備のモデルを構築した。

図1 5に示す。(達成度：○)

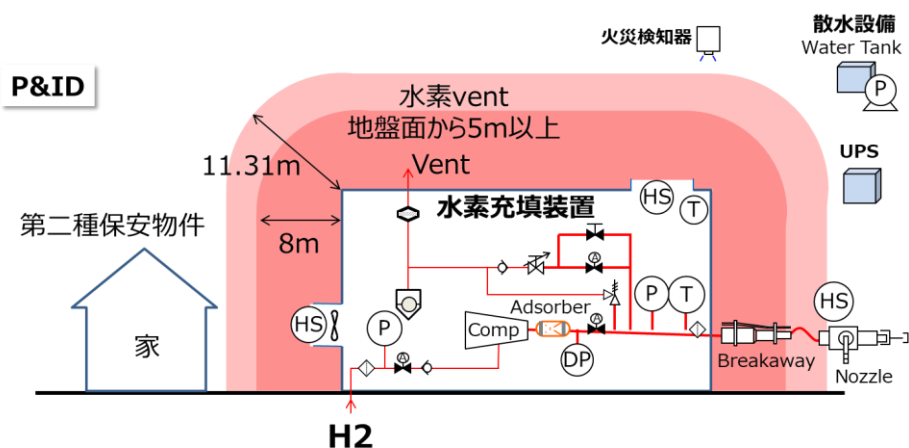
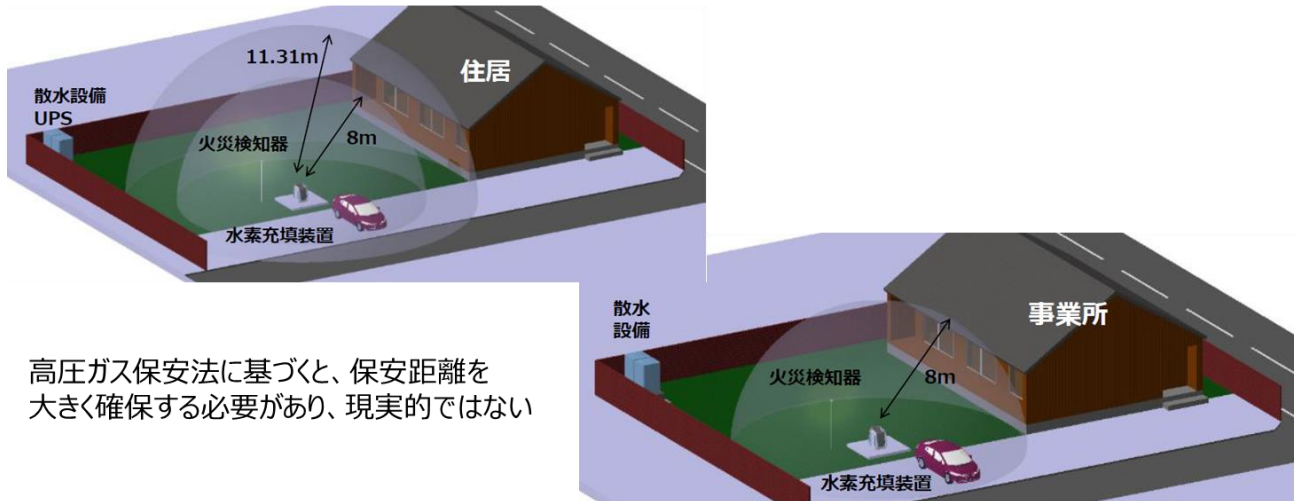


図1 5 家庭用小規模充填設備モデル

(2) 充填設備モデルに基づく法的課題抽出

高圧ガス保安法のもとに上記の家庭用小規模充填設備モデルを家庭に設置する場合を検討した。結果を図1 6に示す。左図が住居ケース、右図が事業所（ディーラー想定）であるが、いずれにしても大きな距離が必要であり、現実的ではないと考えられる。

高圧ガス保安法のもとでの検討



高圧ガス保安法に基づく、保安距離を大きく確保する必要があり、現実的ではない

図16 高圧ガス保安法による設置イメージ

そこで、他の法規制等について調査し、ガス事業法で管理されている CNG 充填設備が非常にコンパクトであることを確認できた。このことから、この設備を規定する、ガス事業法、ガス工作物の技術上の基準を定める省令、ガス工作物技術基準の解釈例(天然ガス自動車用昇圧供給装置技術指針)を検討し、このルールの下で設置できれば、高圧ガス保安法に比べコンパクトな設置が可能になると考えられる。図17に示す。この場合、圧縮水素に関する技術指針の制定が必要になるであろうという課題を抽出した。(達成度：△も2020年度末達成見込)

ガス事業法のもとでの検討

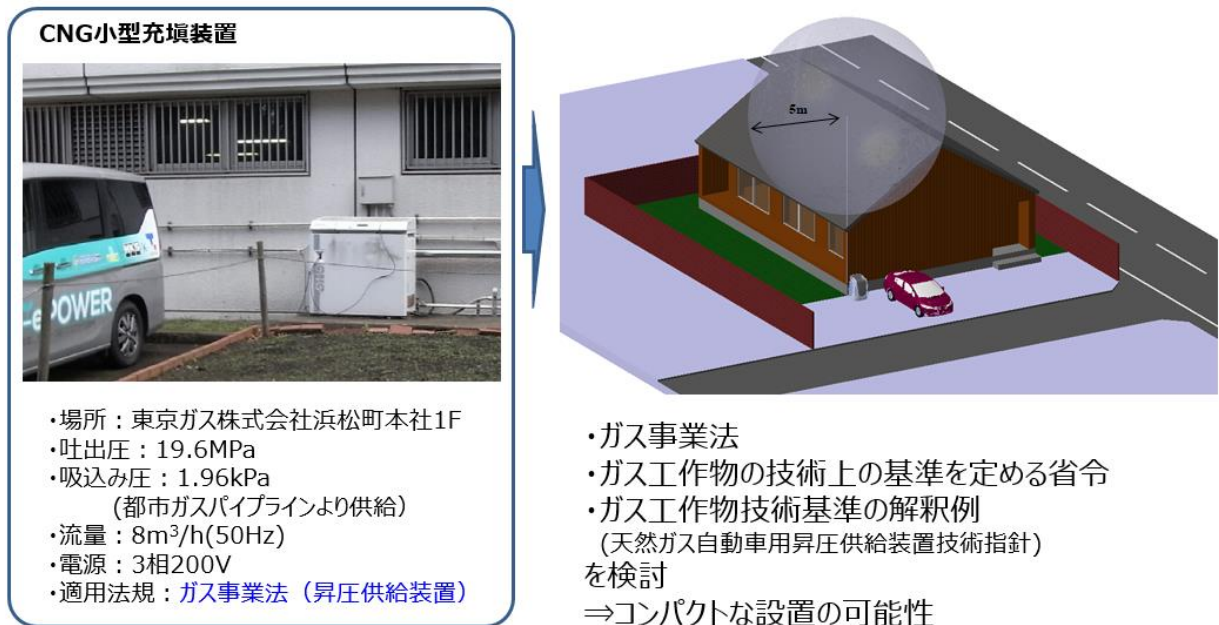


図17 CNG 充填装置とガス事業法による設置イメージ

3. 2 成果の意義

家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出の意義であるが、この法的課題抽出により家庭・小規模事業所等での水素充填が可能となる場合の意義を、以下に列举する。

1. FCV 市場拡大：近隣に水素ステーションが無い場合も、FCV 購入が可能に

2. ステーション建設拡大：これまでFCV台数が少ない地域におけるFCV購入拡大により、ステーション建設可能エリアが拡大
3. 上記により、水素社会の実現に寄与

3. 3 開発項目別残課題

すべての研究開発は終了しており、残課題はない。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発として取り組んだ、①無人運転を実施するための研究開発、②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発、③(1)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発、③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出の4つの研究開発は、すべて実施計画書どおりに完了し、①、②、③(1)の3つのテーマで、その結果が活かされ、省令制定、省令や例示基準の改訂、(省令解釈に関する)基本通達のかたちで規制当局から示された。これにより、水素インフラ事業者は、これらを実行可能となった。また、事業者がそれらを実施する際の一助となるようなガイドライン案の作成も完了した。

事業化までのシナリオについては、この研究開発が担当するものではなく、この研究開発の成果物を、水素インフラ事業者がどのように活用するかにかかっている。技術基準案やガイドライン案を作成してきた経験を活かし、事業者からの問い合わせ等には、丁寧に対応していく必要がある。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年5月	JPEC フォーラム（口頭）	無人運転を実施するための研究開発	今岸 健郎（JPEC）
2	2019年5月	JPEC フォーラム（口頭）	リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発	佐藤 光一（JPEC）
3	2019年9月	横浜国立大学 第2回メディア向け勉強会（口頭）	横浜国大発「リスク共生学」から考える未来社会	伊里 友一朗（横国大）
4	2019年11月	2019年度 安全工学研究発表会（口頭）	本格普及期における水素ステーションの包括的フィジカルリスク評価フレームワーク	伊里 友一朗（横国大）
5	2020年5月	JPEC フォーラム（HP掲載）	（遠隔監視による）無人運転を実施するための研究開発	今岸 健郎（JPEC）
6	2020年5月	JPEC フォーラム（HP掲載）	リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発	小森 雅浩（JPEC）

7	2020年5月	JPEC フォーラム (HP 掲載)	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	種田 憲人 (JPEC)
8	2020年9月	JPEC レポート (HP 掲載)	水素スタンドの無人運転を実施するための研究開発 (NEDO 事業)	河島 義実 (JPEC)
9	2020年9月	International Journal of Hydrogen Energy (論文投稿)	Quantitative risk assessment using a Japanese hydrogen refueling station model	鈴木 智也(横国大)
10	2020年10月 (予定)	ケミカルマテリアル Japan2020-ONLINE- (WEB 口頭)	横浜国立大学先端科学高等研究院の三宅教授が主任研究者を務めるエネルギーシステムの安全研究ユニットの活動報告	横国大 三宅研究室
11	2020年12月 (予定)	2020年度 安全工学研究発表会 (口頭)	水素ステーションモデルの定量的リスクアセスメント	鈴木 智也(横国大)

—特許等—

ありません。

(1-2)-①「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」委託先：石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、九州大学、金属系材料研究開発センター、日本製鉄、愛知製鋼、日本製鋼所

●成果が判り（実施期間）：2018年度～2020年度

- ・汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関し、一般則例示基準の規制見直しに資する新たな水素特性判断基準の考え方を確立し、使用可能なSUS316系ステンレス鋼の範囲を拡大した。
- ・汎用低合金鋼の高温適用に関し安全性に関する評価検討を行い、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003(2017))の改訂も時期を前倒し2020年度内に完了する見込みである。
- ・汎用ステンレス鋼の冷間加工材、溶接材については使用条件の明確化を行い、今後の技術的指針の作成に向けた検討を進めている。

●背景/研究内容/目的

水素ステーションの普及目標として2025年に320か所の整備が掲げられている。実現には水素ステーション事業の自立化に向け、コスト低減のためのさらなる取組が必要である。

そこで水素ステーションで使用可能な材料の範囲を拡大するための検討を行い、汎用レベルの材料の使用の可能を目指す。

●研究目標

実施項目	目標
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の使用可能範囲の明確化と新たな水素特性判断基準の創出
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	水素ステーションにおける冷間加工材の使用条件の明確化
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	基本的な材料特性、使用条件等の明確化と技術指針作成の必要検討課題の抽出
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	高温水素ガス中使用を想定した汎用低合金鋼データの取得と水素圧縮機への適用可否判断

●実施体制及び分担等

NEDO	石油エネルギー技術センター（項目1、2、3、4）
	高圧ガス保安協会（項目1、2、3、4）
	九州大学（項目1、2、3、4）
	金属系材料研究開発センター（項目2、4）
	日本製鉄（項目2、3）
	日鉄ステンレス（項目2、3）（共同実施）
	物質・材料研究機構（項目2、3）（再委託）
	愛知製鋼（項目2）
	日本製鋼所（項目4）

●これまでの実施内容 / 研究成果

- ①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大のための研究開発
 - ・伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準の考え方を確立
 - ・上記基準案に基づき低温高圧水素中で使用可能なSUS316系材料の範囲拡大
 - ・SUS316Lを用いた低温高圧水素中での疲労特性の検証等による安全性確認
- ②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発
 - ・例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方の確立
 - ・SUS316系ステンレス鋼を用いた検討による冷間加工材の使用条件の明確化
 - ・SUS305を用いた許容引張応力の設定および水素適合性の検討
- ③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発
 - ・高圧水素中で使用できる溶接材の使用条件の明確化
 - ・技術指針における検討項目の明確化
- ④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発
 - ・高温での使用を想定した高圧水素の影響を検証可能な実験手法の確立
 - ・汎用低合金鋼を用いた高温高圧水素の影響評価試験の実施
 - ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003(2017))改訂完了見込み（2020年度内）

●今後の課題

- ・低温領域以外にも汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大を図るため、材料の適材適所化の検討を行う。
- ・冷間加工材の基準化に資する許容引張応力の設定に関する検討や大型サイズの冷間加工材の使用条件、高強度化に伴う疲労限度への影響についての検討を行う。
- ・母材・溶接金属の組合せによる良好な水素適合性を示す溶接事例を美証し、水素適合性を低下させる要因を技術指針に整理する。

●実用化・事業化の見通し

- ・汎用ステンレス鋼の使用可能範囲の拡大は一般則例示基準の改正案に反映され、一般申請での利用が可能となる。
- ・低合金鋼技術文書の改訂に伴い、コスト削減に優れる汎用低合金鋼の圧縮機出口への適用が可能となる。
- ・冷間加工材、溶接材の検討については検討結果を技術資料化して使用範囲の拡大と利用の簡便性の向上を図る。

実施項目	成果内容	自己評価
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな水素適合性判断基準を確立 ・低温高圧水素におけるSUS316系ステンレス鋼の使用可能範囲拡大 ・一般則例示基準の見直しへの寄与 	○
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・冷間加工材の使用条件を明確化 ・許容引張応力の設定検討 	○
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接材の使用条件の明確化 ・技術指針作成に向けた検討項目 	○
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・高温使用に関する評価方法の確立 ・高温使用における安全性の検討 ・低合金鋼技術文書の改訂 	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	25	なし

課題番号：1-(2)-①

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター
高圧ガス保安協会
国立大学法人 九州大学
一般財団法人金属系材料研究開発センター
日本製鉄株式会社
愛知製鋼株式会社
株式会社日本製鋼所

1. 研究開発概要

本研究では、大別して4つのサブテーマを実施する。以下、サブテーマごとに概要を述べる。

(1) 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

水素ステーションの高圧水素部には、絞りを指標とした Ni 当量規制に適合した鋼材が使用されている。現規制に適合する鋼材は水素の影響がないものの、結果として市中で流通しており汎用的に使用される鋼材とはかけ離れた特殊な材料となり、流通量も少なく調達コストも高くなっている。一方、水素環境での材料評価試験のデータが蓄積されていく中で、汎用材の材質によっては、現行の判断基準 (Ni 当量) は満足しないものの、水素ステーションで使用できる水素適合性を有しているとみられるものがあることが分かってきた。

そこで、絞りに代わる新たな水素特性判断基準について可能性を検討し、安全を担保しつつ、規制の緩和につながる材料範囲の拡大に向けた検討を行う。例えば SUS316 系・SUS304 系といった汎用材について高圧水素環境での試験を行い、得られた試験結果とこれまでに報告されてきた既存データを元に総合的に解析して新たな水素特性判断基準を検討する。新たな水素特性判断基準に基づいて検討された、水素ステーションで使用可能な鋼材の範囲拡大について、一般則例示基準 9.2 への反映を目指し、基準化に資する資料を作成する。

(2) 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

水素ステーションで使用される鉄鋼材料においては、高強度である方が部材の薄肉化や部品の小型化が可能となり、水素ステーション建設コストの削減に寄与することに繋がるが、代表的な汎用ステンレス鋼である SUS304 は冷間加工により加工誘起マルテンサイト変態が起りやすく、強度が上昇する一方で耐水素特性が劣化する傾向にあることが知られている。また、水素ステーション用機器に冷間加工材を使用する事業者の利便性を図るためには、一般則例示基準等に当該材料の使用が可能であることを規定することが望ましいが、そのためには、当該材料の水素適合性検証及び許容引張応力の設定が要件となる。

本項目では、従来の研究において良好な水素適合性を有することが確認されている SUS316L や SUS305 等に上記の SUS304 等も加えた汎用ステンレス鋼について、冷間加工を施した場合の水素適合性や許容引張応力の設定を検討し、基準化に資する資料を提示するものである。

(3) 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

サブテーマ (1) で新たに適用範囲拡大が見込まれる領域も含めた SUS316 等の汎用ステンレス鋼の溶接について強度等の材料特性や水素適合性を検討する。検討結果を踏まえ、汎用ステンレス鋼が使用可能な範囲、条件等を明らかにし、水素ステーションで汎用ステンレス鋼溶接材を用いる際の技術指針を作成する。

(4) 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

水素圧縮機で使用される SUH660 は高強度かつ 120°C での高温使用が可能な例示基準材であるが、調達コストや加工コストが高いため機器のコストが高くなる要因の一つとなっている。一方、

水素蓄圧器で使用されている SCM435、SNM439、SA-723 に代表される汎用低合金鋼は、350℃以下の高圧機器での使用が認められている低コスト材であるが、高温での水素適合性が未知であるため、200℃程度まで温度が上昇する水素圧縮機用としては使用されていないのが現状である。

そこで、圧縮機を想定した高温水素ガス中の使用に対する汎用低合金鋼の各種評価試験や検討を行い、水素圧縮機への適用可否について判断する。水素圧縮機への適用が可能と判断されれば、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003(2017))を水素圧縮機の対象温度まで適用温度範囲を拡大する取組を行う。

特に、圧縮機材料における水素の影響は、高温状態が維持されているときより、高温での運転中に鋼中へ水素が侵入し、停止により温度が下がった後、再起動で大きな圧力負荷が発生した場合が最も厳しい条件と考えられるが、そのような条件を想定した評価結果がほとんど存在しない。そこで、具体的な取り組みとしては、高温高圧水素ガス環境等により鋼中に水素を侵入させた材料を、鋼中から水素が抜けないように高圧水素ガス環境のまま温度を下げ、SSRT、K_LH 測定試験等を実施し、水素圧縮機の安全性を評価するための材料特性に関するデータを採取する。

2. 研究開発目標

表 1 にサブテーマ毎の中間目標（2020 年度）を示す。各サブテーマはさらにいくつかの実施項目に分類される。

表 1 研究開発目標

実施項目	中間目標（2020 年度）
（1）汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高い SUS316 系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータ並びに既存データを基に新たな水素特性判断基準を検討する。
①新たな水素特性判断基準の検討	
②高圧水素環境での試験	
（2）汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。
①汎用ステンレス鋼冷間加工材の水素適合性判断と冷間加工材の許容引張応力検討	
②SUS316L、SUS304 冷間加工材に関する水素適合性評価	
③SUS305 冷間加工材に関する水素適合性評価	
④汎用ステンレス鋼の水素適合性に及ぼす冷間加工度の影響解明	
⑤高圧水素環境における評価試験	
（3）汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。
①汎用ステンレス鋼溶接材に関する水素適合性評価	
②汎用ステンレス鋼溶接の技術指針作成	汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。
（4）汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータを取得し、汎用低合金鋼の水素圧縮機への適用可否を判断する。
①水素圧縮機を想定した条件下の材料特性評価手法の検討	
②汎用低合金鋼の水素圧縮機を想定した材料特性評価試験	
③低合金鋼技術文書の改定	

サブテーマ（１）汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発の中間目標（2020年度）は、水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高い SUS316 系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにすること、および新たな水素特性判断基準を検討すること、とした。

現在の水素ステーションの高圧水素部に使用されている主要な材料は SUS316 系のステンレス鋼で規制の Ni 当量を満たすものであるから、上記材料で使用可能範囲を拡大することができれば水素インフラ業界のメリットにつながると考え、SUS316 系のデータ取得を優先して行うこととした。また、材料の使用可能範囲を拡大するには現在の基準を緩和する必要があり、現在の例示基準の根拠となっている絞り特性から新たな水素特性判断基準に置き換え、さらに新たな水素特性判断基準に立脚した材料について低温、高圧の水素中での様々な挙動を評価し、安全性を立証することが必要である。

サブテーマ（２）汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発の中間目標（2020年度）は、汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化すること、とした。

冷間加工による高強度化は部材の薄肉化や部品の小型化を可能とし低コスト化に寄与する。しかし、水素ステーション用途における使用の拡大に関しては将来の例示基準化を視野に入れた、当該材料の水素適合性や許容引張応力の検討が必要である。よって、水素適合性を考慮した冷間加工材の使用条件の明確化や、機器設計に必要な許容引張応力の設定についての検討が必要である。

サブテーマ（３）汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発の中間目標（2020年度）は、汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとすること、および汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにすること、とした。

配管接続に汎用ステンレスの溶接が使用可能になれば部品点数の削減や漏えいリスクの低減に効果的であると考えられるものの、水素ステーション用途においては溶接が必ずしも用いられているわけではない。高圧水素環境で使用するには溶接部への水素による影響を考慮しなければならず、実使用に耐える溶接を実現するための検討と実施に向けた技術指針の作成が必要である。

サブテーマ（４）汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発の中間目標（2020年度）は、汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータを取得し、汎用低合金鋼の水素圧縮機への適用可否を判断すること、とした。

高圧水素設備で特に高温となる部分には水素適合性と耐熱性、強度を兼ね備えた SUH660 が使用されることがあるが、加工性等に難点がある。一方、汎用低合金鋼は加工性やコストに優れ、水素ステーション用途においては蓄圧器に使用されている。水素適合性については低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003(2017))においても 50℃までの確認に留まり、水素圧縮機の温度範囲では水素適合性が未知であるため現状では水素圧縮機に使用することができない。そこで、圧縮機の動作環境を考慮した高温水素ガス中のデータを取得し、水素適合性を検討した上で、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003(2017))での温度領域の改訂を行うことが必要となる。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

各実施項目について 2020 年度時点での成果の概略と達成度を表 2 に示す。達成度は中間目標に対する評価となる。

成果の詳細については以下に別記する。

表 2 研究開発成果と達成度の一覧

実施項目	成果	達成度
(1) 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発		
①新たな水素特性判断基準の検討	<ul style="list-style-type: none"> 水素中における伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準の考え方を確立 上記基準案に基づく低温高圧水素中で使用可能な SUS316 系材料の範囲拡大 使用範囲が拡大された材料の低温高圧水素中での疲労特性の確認 	○
②高圧水素環境での試験	<ul style="list-style-type: none"> SUS316/316L の SSRT データの取得 素材・試験片に関する各種因子が SSRT 結果に与える影響の明確化等、使用可能範囲の明確化に資する、データの信頼性検証 高圧水素ガス中で SUS316/316L の疲労限度が低下しないことの確認 	○
(2) 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発		
①汎用ステンレス鋼冷間加工材の水素適合性判断と冷間加工材の許容引張応力検討	<ul style="list-style-type: none"> 例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方提案 冷間加工材の使用条件の明確化 許容引張応力の設定に関する材料仕様の検討 	○
②SUS316L、SUS304 冷間加工材に関する水素適合性評価	<ul style="list-style-type: none"> 冷間加工率を変化したステンレス鋼素材を製作し、材料特性と水素適合性を評価 	○
③SUS305 冷間加工材に関する水素適合性評価	<ul style="list-style-type: none"> 許容引張応力設定に関する特性データ取得 高圧水素中 SSRT による水素適合性の検証 	○
④汎用ステンレス鋼の水素適合性に及ぼす冷間加工度の影響解明	<ul style="list-style-type: none"> 特に冷間強加工材(冷延率 50、70%)の高圧水素適合性試験(SSRT)の実施 Ni 当量が異なる JIS 規格鋼種の低温および常温における SSRT による温度依存性の把握 	○
⑤高圧水素環境における評価試験	<ul style="list-style-type: none"> 冷間加工を施した SUS316/SUS316L の SSRT データの取得 高圧水素ガス中で SUS316/SUS316L 冷間加工材の疲労限度が低下しないことの確認 	○
(3) 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発		
①汎用ステンレス鋼溶接材に関する水素適合性評価	<ul style="list-style-type: none"> 汎用ステンレス鋼溶接材の基本的な材料特性、使用条件等の明確化 	○
②汎用ステンレス鋼溶接の技術指針作成	<ul style="list-style-type: none"> 水素適合性の判断基準として必要な検討項目の明確化 	○
(4) 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発		
①水素圧縮機を想定した条件下の材料特性評価手法の検討	<ul style="list-style-type: none"> 水素圧縮機の安全性評価に必要な材料特性データの検討 水素圧縮機の運転状況を想定した高温、高圧水素ガス中の評価試手法の確立 	○
②汎用低合金鋼の水素圧縮機を想定した材料特性評価試験	<ul style="list-style-type: none"> 低温～高温域における SSRT 特性の取得 高温高圧水素ガス曝露により飽和した水素が室温・高圧水素ガス中の SSRT 特性および K_{I,H} に影響を及ぼさないことの確認 	◎
③低合金鋼技術文書の改定	<ul style="list-style-type: none"> 低合金鋼技術文書検討分科会の開催 低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)は今年度中に改訂見込み 	◎

サブテーマ (4) ②及び③については 2022 年度実施予定内容を 2020 年度に完了見込み

(1)－①新たな水素特性判断基準の検討（石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会）

現在の一般則例示基準の根拠となっている絞り特性基準の置き換えの可能性を検討した。高圧機器に使用する材料には延性破壊する材料を選定すべきことに着目し、高圧水素環境における材料の延性と強度の確保を基本要件とし、水素適合性の判断に伸びの基準を導入した新たな水素特性判断基準を確立した。

<延性の確保>

- ・伸びの実測値（大気中）×REL（相対伸び比）≥伸びの規格値

即ち、大気中で規格材料を用いる場合と同等の伸びの挙動を水素中においても示すことを使用可能な条件として、水素中で伸びが低下する材料の場合には伸びの規格値に対して低下分相当の裕度を持たせることを水素中での延性確保の条件とした。

<強度の確保>

- ・水素中のSSRTの応力-ひずみ線図において、最大荷重点を超過していること（RTS（相対引張強さ比）=1であること）

即ち、水素中で引張強さが低下しないことを強度確保の条件とした。

<疲労限度の確認>

- ・大気中と比較して疲労限度が低下しない材料であること

上記の条件を満たすSUS316系ステンレス鋼のNi当量（*1）を、過去の多数のデータを用いて数式化した伸びの遷移曲線を用いて検討した結果、-45℃の高圧水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼のNi当量を、絞りを指標とした現行基準（一般則例示基準9.2）の28.5%から26.9%に低減できることを示した。合わせて、現行基準のNi当量を有する材料については絞りの裕度は不要であることを示した。また、材料の入手可能性についても考慮し、市中に流通する汎用ステンレス鋼の特性や成分について市場調査を行い、Ni当量と伸びの組合せを決定するとともに、現行のJIS規格との整合性についても十分配慮し、例として、材料形状毎の規格値の差異や例外条項に関する検討も行い、使用可能な材料範囲の拡大を提案した（図1）。

*1：本項で用いられるNi当量は下記の式で求められる。

$$\text{Ni当量（質量％）} = 12.6 \times \text{C} + 0.35 \times \text{Si} + 1.05 \times \text{Mn} + \text{Ni} + 0.65 \times \text{Cr} + 0.98 \times \text{Mo}$$

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 (60%) に対し 75%以上	材料規格 の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

**現行の一般則例示基準における
材料使用可能範囲**

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 の通り	材料規格 の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

温度範囲	材料形状	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	棒	57%以上	26.9%以上
	管	50%以上	
	鍛鋼	42%以上	

**新たな水素特性判断基準に基づく
材料使用可能範囲**

図1 現行一般則例示基準9.2の材料使用可能範囲と伸びを基準とした新たな水素特性判断基準に基づくSUS316系ステンレス鋼の材料使用可能範囲との比較

また、Ni 当量 26.8%の SUS316L を用いた疲労限度の確認試験の結果を図 2 に示す。水素ステーションの動作温度域を考慮した低温高圧水素環境での高サイクルの軸疲労試験は本例が初である。-45℃、100MPa の水素中で疲労試験を行った場合でも応力振幅 270MPa において 160 万サイクル以上で破断しておらず、室温、-45℃条件のいずれにおいても大気中と高圧水素中での疲労限度に明確な差が見られないことを確認した。

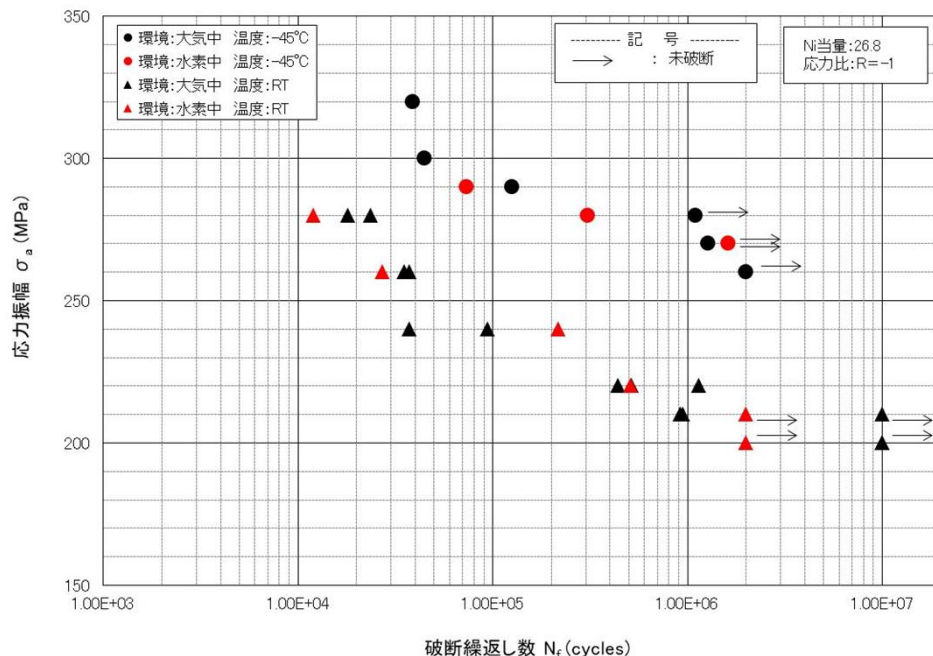


図 2 SUS316L (Ni 当量 26.8%) の疲労試験結果

以上の検討結果については、一般則例示基準 9.2 の規制見直しに資するものとなり、2020 年 11 月に上記提案内容のとおり改正された。

(1)－②高圧水素環境での試験 (九州大学)

汎用ステンレス鋼 (SUS316/SUS316L) を対象として、-45℃～200℃の高圧水素ガス中で SSRT を実施した。図 3 に試験結果の一例を示す。Ni 当量が 24.2%の SUS316 では、特に -45℃の水素ガス中において、引張強さ・破断伸びが顕著に低下した。一方、Ni 当量が 26.8% の SUS316L では、-45℃の水素ガス中においても、各種特性に不活性ガス中との相違は認められなかった。また、(1)－①における伸びの基準の検討にあたり、いずれの材料においても、高圧水素中 SSRT 特性に及ぼす素材形状 (図 4)、試験片寸法 (図 5) および試験片表面性状 (図 6) の影響は軽微であることを明らかにした。さらに、図 7 に示すように、原標点間距離から算出された伸びと、ストローク変位から算出された伸びが、材料 (SUS316、SUS316L) や試験温度 (-45℃～200℃) によらず良く一致することを示した。以上の結果によって、過去に様々な素材・試験片により取得された実験データを新たな水素特性判断基準の検討に取り込み、有効活用することが可能になった。

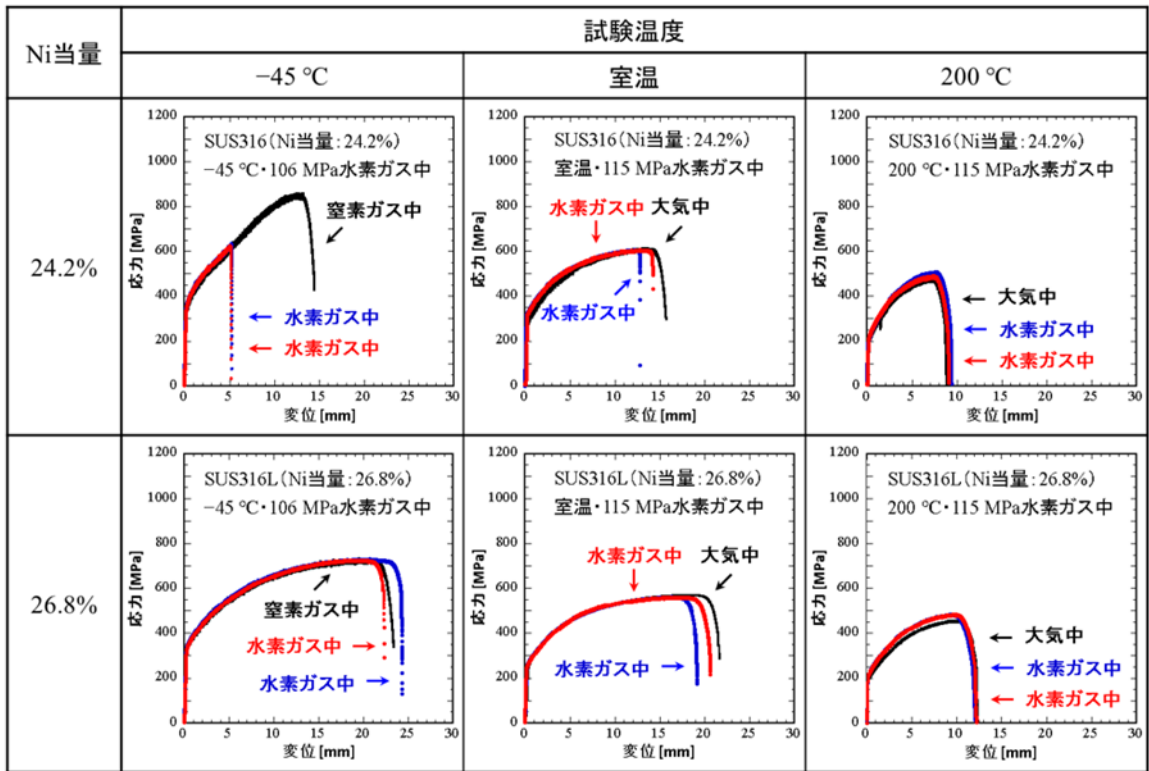


図3 汎用ステンレス鋼の高圧水素ガス中における SSRT 結果の例

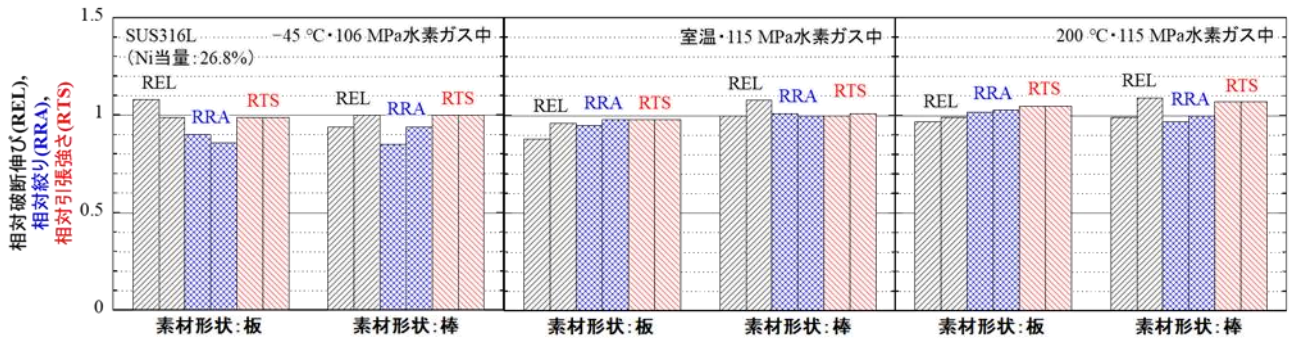


図4 耐水素特性に及ぼす素材形状の影響

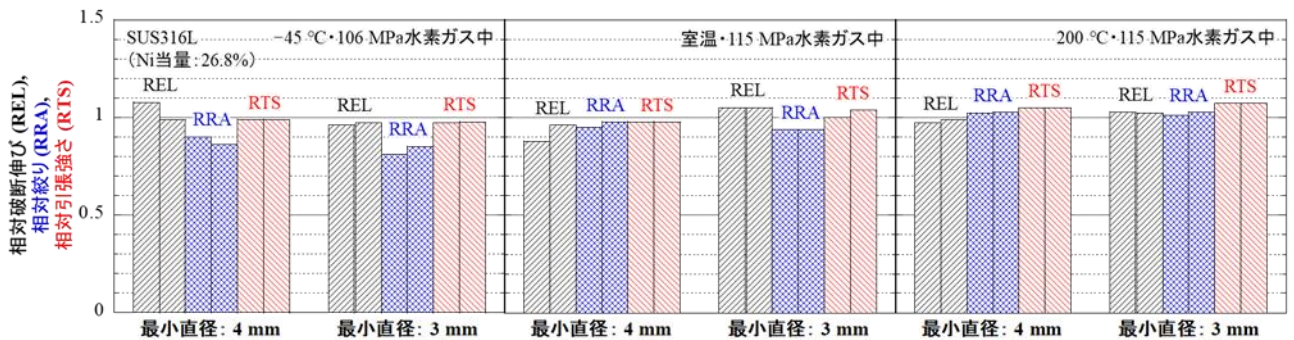


図5 耐水素特性に及ぼす試験片寸法の影響

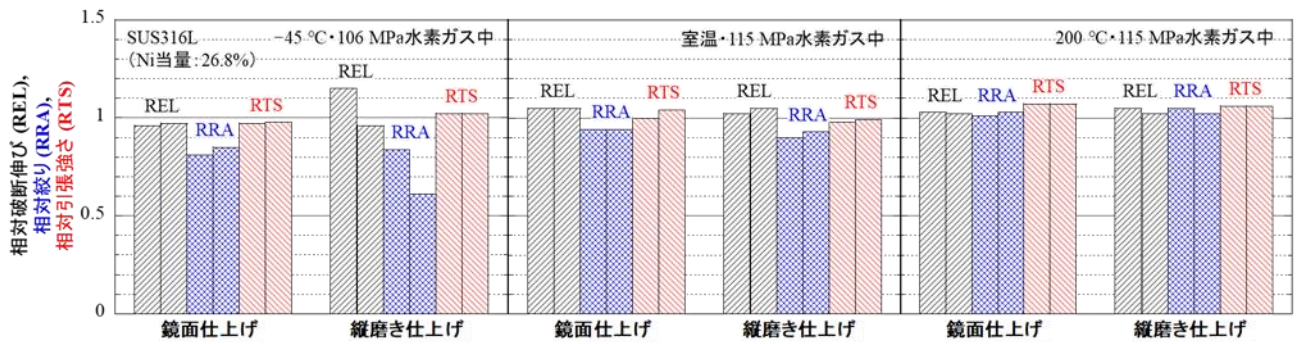


図6 耐水素特性に及ぼす試験片表面性状の影響

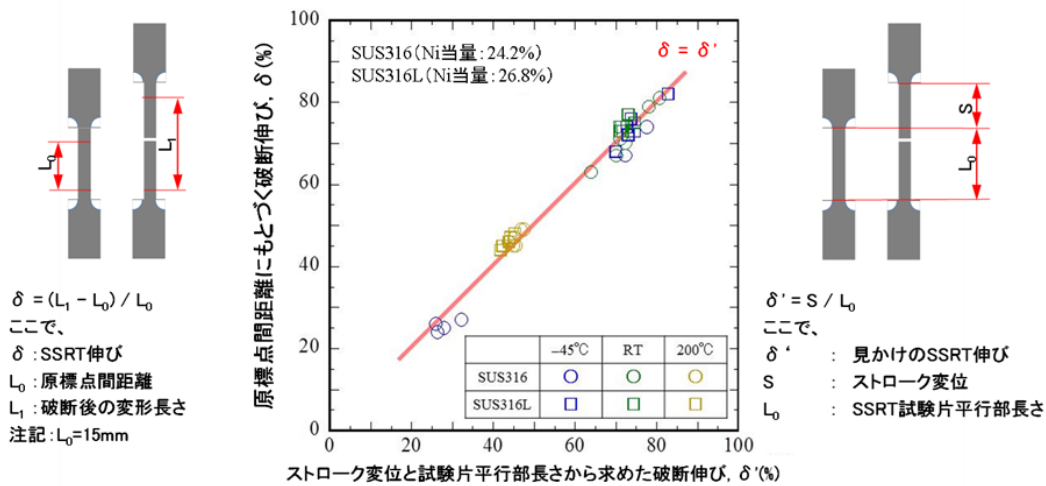


図7 異なる方法で取得された伸びの比較

また、(1)–①の図2で示した引張圧縮疲労試験結果に加えて、 -45°C での高サイクル疲労データを拡充することを目的として、 $-45^\circ\text{C} \cdot 106\text{MPa}$ 水素ガス中で 10^7 回を打ち切り回数とする共振疲労試験を実施した。図8に試験結果を示す。共振疲労試験では、試験片表面近傍で生じる局所的な繰返し塑性変形を考慮して、 -45°C で取得した同材の繰返し弾塑性ひずみ応答をもとに応力振幅値の補正を行った。その結果、 -45°C における共振疲労試験と引張圧縮疲労試験の結果がほぼ一致した。これにより、 -45°C における疲労限度データの取得方法を確立するとともに、 -45°C においてもSUS316Lの疲労限度は高圧水素ガス環境中で低下しないことの確証を得た。

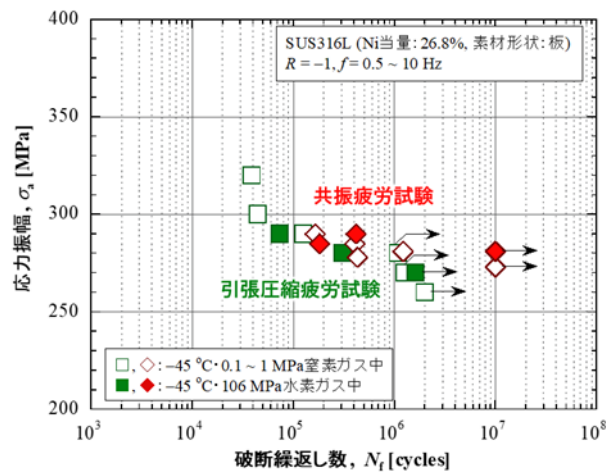


図8 $-45^\circ\text{C} \cdot 106\text{MPa}$ 水素ガス中での共振疲労試験結果 (SUS316L)

(2)－①汎用ステンレス鋼冷間加工材の水素適合性判断と冷間加工材の許容引張応力検討

(石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会)

新たな水素特性判断基準に合致する SUS316 系ステンレス鋼の冷間加工材を用いる場合の水素適合性について方向性の検討を行った。現状では冷間加工材は一般則例示基準化されていないため、その使用に際しては事前評価を行うことになり、水素適合性については冷間加工後に SSRT を実施して判断することになる。しかし、新たな水素特性判断基準に合致する SUS316 系ステンレス鋼は加工前の状態では水素適合性については十分であると判断できることから、冷間加工によって水素適合性が低下しない範囲の冷間加工度のものについては冷間加工後の SSRT 実施を省略できるとの考え方を提案した。

そこで、以下の検証を行い、水素ステーションで使用できる材料の使用範囲を明確化させ、例示基準化に資する基準の取りまとめを行うこととした。

- ・水素適合性に関する冷間加工度の上限
- ・冷間加工後の水素中での伸びの確保
- ・冷間加工後の水素中での強度の確保
- ・冷間加工後の水素中での疲労限度の検証

水素適合性に関する冷間加工度の上限の検討については、項目(2)－②～(2)－⑤で得られる冷間加工に伴う水素適合性の変化に関する試験結果等も考慮している。現在の検討状況として、項目(1)－①で提案した範囲の SUS316 系ステンレスについては冷間加工度 40%でも水素ステーションで使用される材料の水素適合性として問題ないとの見通しが得られた(図9)。よって、例示基準化された SUS316 系ステンレス鋼の加工については冷間加工度 40%までは十分な水素適合性を保つと判断される。なお、本試験には $t=20\text{mm}$ の冷間圧延材を用いたが、大型の冷間加工材についてはさらに詳細な検討が必要である。冷間加工後の疲労限度の検証についても材料のサイズを考慮した上で行う必要がある。

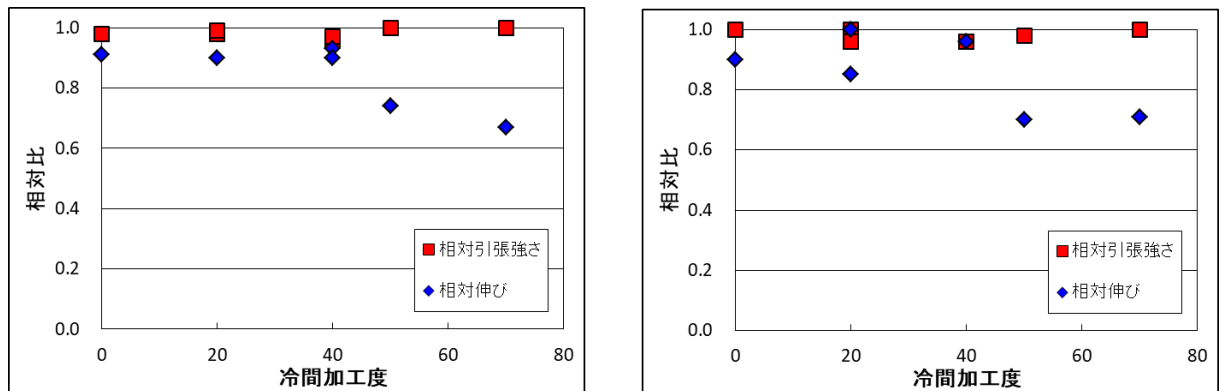


図9 低温 (-40～-45°C) における水素適合性に与える冷間加工度の影響

(a)左 : Ni 当量 28.6 (b)右 : Ni 当量 26.6、PH₂=100MPa

また、冷間加工材が一般則例示基準化されて一般申請でも使用が可能となるためには、冷間加工材の許容引張応力の設定が必要となるが、許容引張応力値の申請に使用した材料サイズまでの大きさしか許容引張応力値が適用されないため、高圧水素用部品メーカー等へ冷間加工材の形状や寸法、強度等に関するヒアリングを実施した。

(2)–②SUS316L、SUS304 冷間加工材に関する水素適合性評価（日本製鉄）

新たな水素特性判断基準に合致する汎用ステンレス鋼の冷間加工材の水素適合性を評価するため、SUS316、SUS316L、SUS304L、SUS304LN 鋼をラボ溶製にて作製した。具体的には、冷間加工率（肉厚減少率）を 0%、20%、40%、50%、70% に変化させた最終板厚を統一した試験用素材を作製した。但し、SUS304LN については冷間加工率を 0%、20%、40% の 3 水準とした。表 3 は作製した各鋼種の成分分析結果を示す。

表 3 作製した母材の化学組成 (mass%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Ni 当量 ¹⁾
SUS316	0.019	0.38	1.39	12.00	16.40	2.13	—	26.6
SUS316L	0.019	0.37	1.71	12.39	17.51	2.57	—	28.5
SUS304L	0.019	0.38	1.72	9.35	18.36	—	—	23.5
SUS304LN	0.019	0.37	1.71	10.98	18.46	—	0.173	25.2

1) Ni 当量=12.6×C+0.35×Si+1.05×Mn+Ni+0.65×Cr+0.98×Mo

図 10～12 は代表として SUS316、SUS316L、SUS304L 鋼の常温引張試験結果に及ぼす冷間加工度の影響を示す。いずれの鋼種も冷間加工度の増加によって 0.2%耐力及び引張強さは増加した。また、絞りも同様に冷間加工度の増加に従って単調に減少するが、伸びは 40%までの冷間加工度の増加で急激に減少することがわかった。

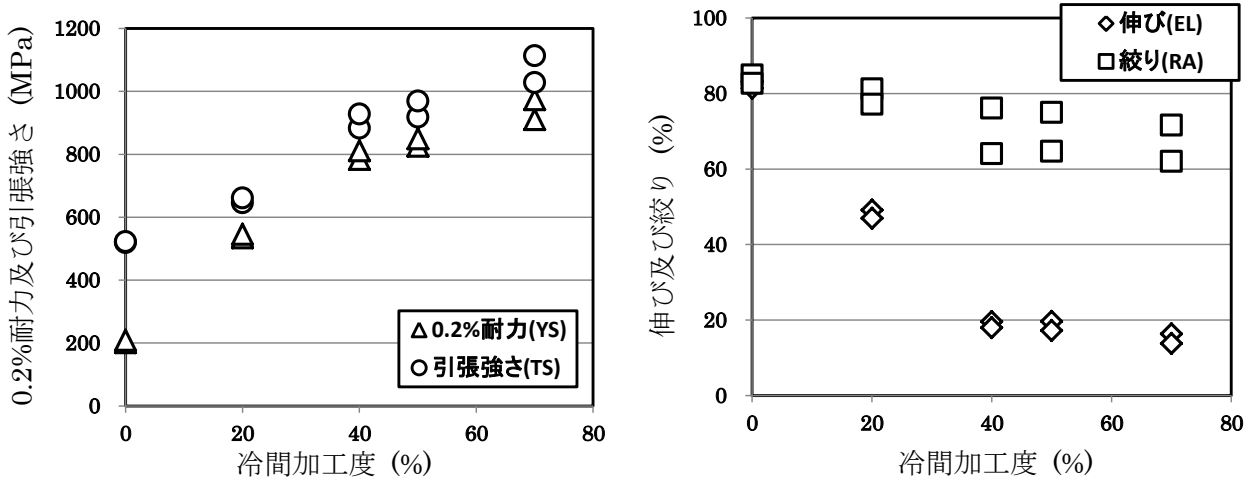


図 10 SUS316 鋼の常温引張特性に及ぼす冷間加工度の影響

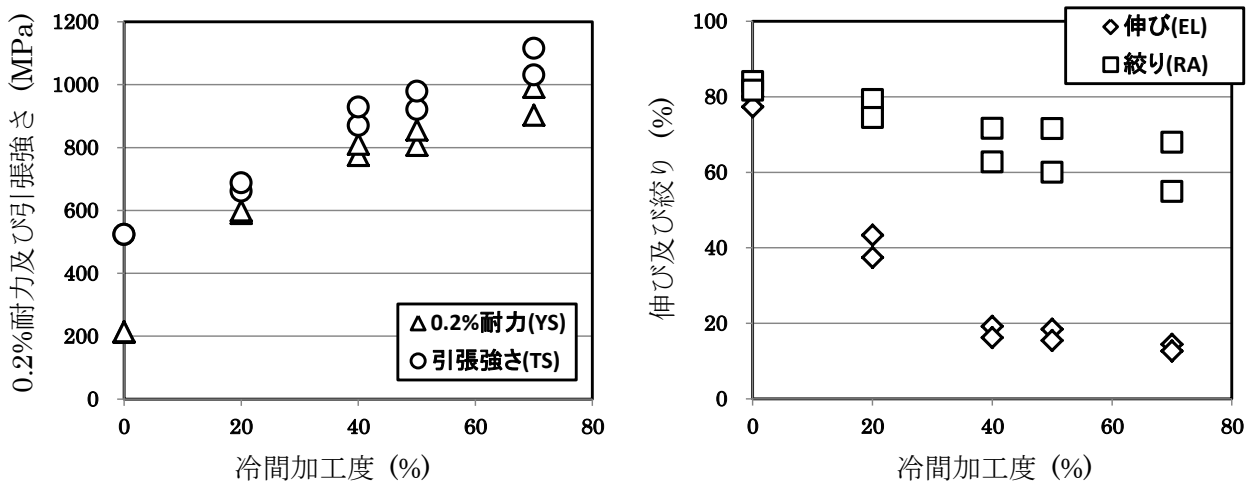


図 11 SUS316L 鋼の常温引張特性に及ぼす冷間加工度の影響

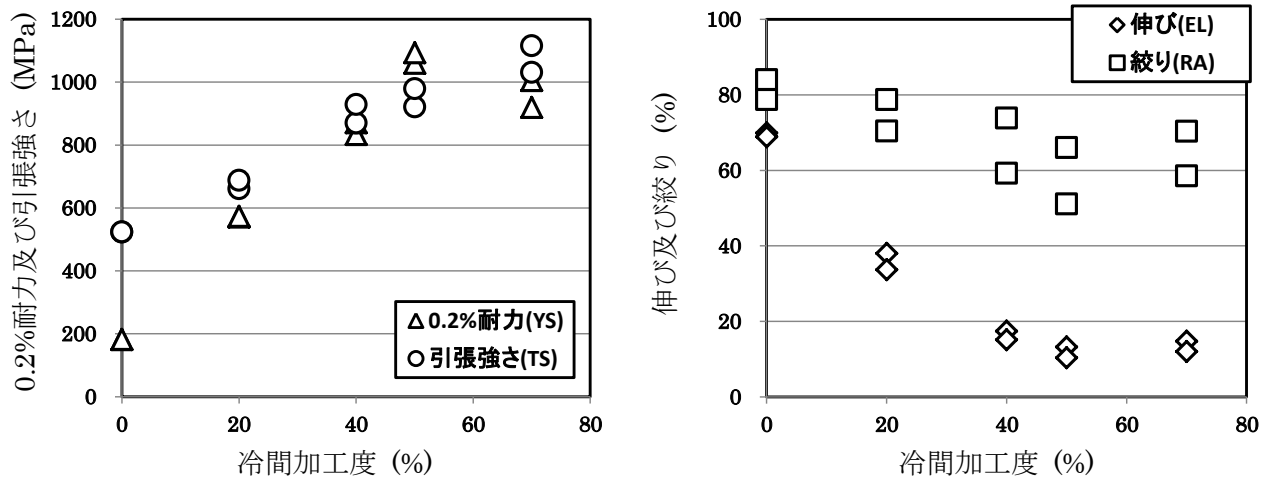


図 12 SUS304L 鋼の常温引張特性に及ぼす冷間加工度の影響

冷間加工度を変化した素材を用いた水素適合性評価は、当社およびプロジェクト参画各機関で評価中であり、代表的なデータは項目 (2) -①に記載されている。また、SUS316 などの汎用ステンレス鋼の冷間加工材については、国立研究開発法人物質・材料研究機構にて下部組織に着目した変形・破壊挙動を調査し、材料特性、水素適合性に関する金属学的評価を行っている。加えて、汎用ステンレス鋼の金属学的評価については日鉄ステンレス株式会社と共同にて調査しているところである。

(2)－③SUS305 冷間加工材に関する水素適合性評価（愛知製鋼）

SUS305（Ni 当量：26.0～28.8 の 4 水準）の冷間引抜材（減面率：30%、35%の 2 水準）および固溶化熱処理材において、許容引張応力設定に関する材料特性評価として、-50℃～175℃における強度特性データを取得した。また、高圧水素中 SSRT を順次実施し、水素適合性の検証を進めている。

供試材

供試材の化学成分を表 4 に示す。供試材の製造工程を図 13 に示す。

表 4 化学成分

溶解番号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	N	Ni当量
1	0.11	0.93	1.91	0.029	0.024	0.19	12.83	18.78	0.12	0.0592	28.8
2	0.11	0.89	1.90	0.026	0.027	0.15	11.99	18.63	0.10	0.0119	27.9
3	0.11	0.90	1.91	0.027	0.027	0.15	10.99	18.68	0.10	0.0120	26.9
4	0.04	0.90	1.89	0.027	0.024	0.15	10.99	18.69	0.10	0.0126	26.0

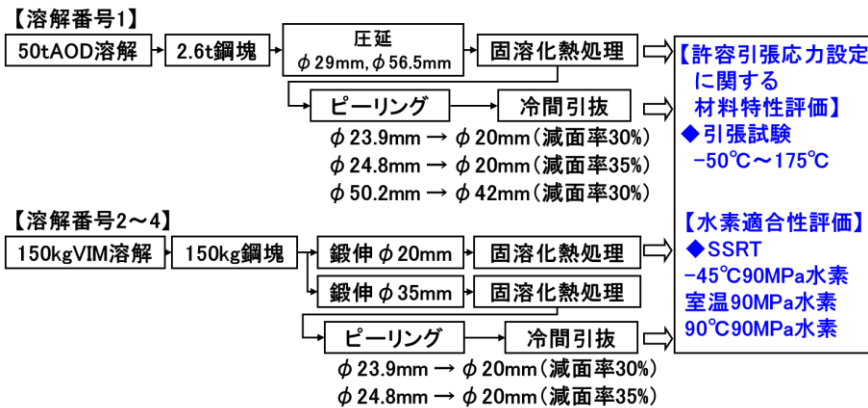


図 13 製造工程

実験方法

- ・許容引張応力設定に関する材料特性評価

強度特性の評価の条件を表 5 に示す。溶解番号 1～4 の冷間引抜材（減面率：30%、35%の 2 水準）および固溶化熱処理材において、表 5 の条件にて引張試験を実施した。引張試験の標本数は、1 条件につき N=3 とした。

表 5 強度特性の評価の条件

試験温度	試験方法	試験片
-50℃、室温	JIS Z 2241 「金属材料引張試験方法」に準拠	平行部 φ6mm の JIS14A号試験片
75℃、100℃、125℃、 150℃、175℃	JIS G 0567 「鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験方法」に準拠	平行部 φ6mm の つば付き試験片

- ・水素適合性評価

水素適合性評価に用いた SSRT の試験片形状を図 14 に示す。SSRT のひずみ速度は $5 \times 10^{-5}/s$ とし、試験雰囲気は、-45℃90MPa 水素中、-45℃大気圧窒素中、室温 90MPa 水素中、室温大気中、90℃90MPa 水素中および、90℃大気中とした。

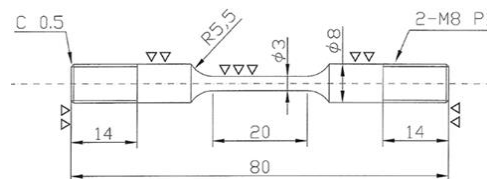


図 14 SSRT 試験片形状

実験結果

・許容引張応力設定に関する材料特性評価

強度特性の評価結果の例として、各試験温度における 0.2%耐力および引張強さを図 15 に示す。いずれの供試材においても、冷間引抜加工による高強度化が認められた。

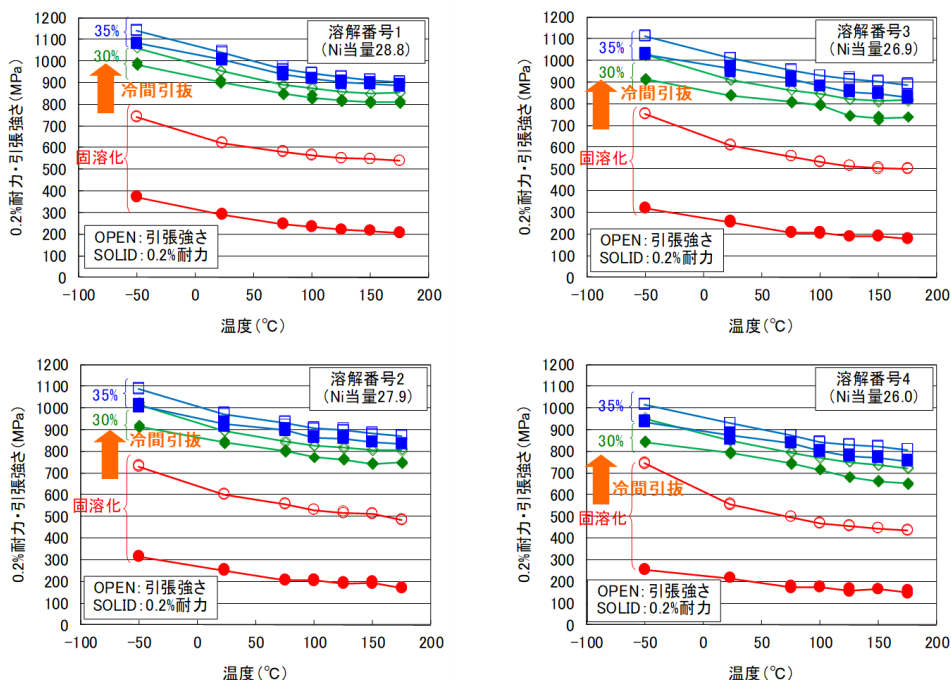


図 15 各試験温度における 0.2%耐力および引張強さ

・水素適合性評価

水素適合性評価結果の例として、Ni 当量 28.8、減面率 30%の SUS305 冷間引抜材の-45°Cにおける SSRT 結果を表 6 に、応力-ストローク線図を図 16 に示す。表 6 および、図 16 に示すように、Ni 当量 28.8、減面率 30%の SUS305 冷間引抜材は、-45°C90MPa 水素中においても、-45°C大気圧窒素中と同等の引張強さおよび、伸びを示し、優れた水素適合性を有することが認められた。

表 6 SSRT 結果 (Ni 当量 28.8、減面率 30%の SUS305 冷間引抜材)

Ni当量	減面率 (%)	試験	引張強さ (MPa)	相対引張強さ	伸び(%) [※]	相対伸び [※]	絞り(%)	相対絞り
28.8	30	-45°C0.1MPa窒素中	1012	—	30	—	75	—
		-45°C90MPa水素中	1017	1.00	30	0.98	76	1.01

※原評点20mmにて測定した値

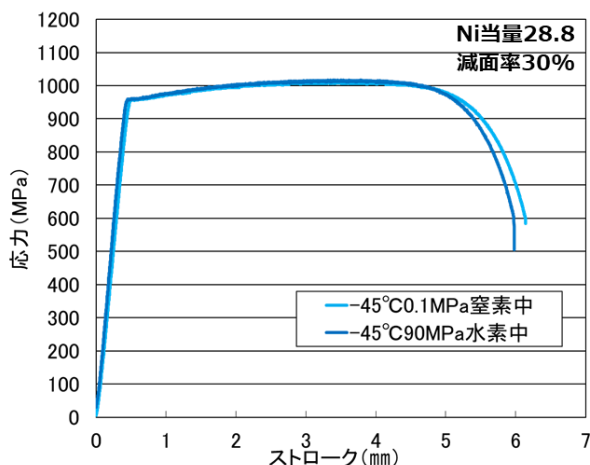


図 16 SSRT の応力-ストローク線図 (Ni 当量 28.8、減面率 30%の SUS305 冷間引抜材)

(2)－④汎用ステンレス鋼の水素適合性に及ぼす冷間加工度の影響解明（金属系材料研究開発センター）

汎用ステンレス鋼の水素適合性に及ぼす冷間加工度の影響については、他の項目において述べられており、軽加工から強加工までの冷間加工度の影響全般については、他の節を参照して頂き、ここでは特に冷間強加工の影響として、具体的には冷間圧延率で 50%および 70%の冷間強加工された Ni 当量が異なる汎用オーステナイト系ステンレス鋼の規格鋼について、高圧水素適合性を-40℃および常温における高圧水素適合性を SSRT にて評価した結果の概要について記述する。

SSRT を実施した鋼種は何れもオーステナイト系から準安定オーステナイト系に属するステンレス鋼の JIS 規格材であり、Ni 当量が高い方から(a)SUS316L(Ni 当量 28.6)、(b)SUS316(同 26.6)、(c) SUS304L(同 23.5)に加えて極端に Ni 当量が低い場合の比較材として(d) SUS301L(同 19.9)についても試験を実施した。SSRT の条件は、低温については温度を-40℃とし、水素圧力 70MPa、対比環境は 0.1MPa 窒素中とした。一方、常温については水素圧力 90MPa、対比環境は大気中とした。

表 7 に-40℃における各鋼種の SSRT の結果を示す。これより主要な結果として下記の事項が判明した。

- Ni 当量が高い SUS316L においても高圧水素環境下では延性が低下し、REL と RRA は 0.8 を下回った。
- 延性の低下は Ni 当量が低い方が顕著であり、Ni 当量が極端に低い SUS301L の 70%冷間圧延材においては弾性限内で破断に至る。
- RTS は Ni 当量が低い SUS304L でも高圧水素環境下でも 1 の値が維持されるが、SUS304L の REL および RRA は著しく低下し、およそ 0.3 以下となる。

表 7 オーステナイト系ステンレス鋼冷間強加工材の低温 SSRT 特性

鋼種	冷延率 (%)	環境	最大応力 (MPa)	RTS	伸び (%)	REL	絞り (%)	RRA
SUS316L (Ni当量:28.6)	50	窒素	990	1.01	23	0.74	77	0.78
		水素	1003		17		60	
	70	窒素	1101	1.00	21	0.67	74	0.63
		水素	1103		14		47	
SUS316 (Ni当量:26.6)	50	窒素	974	0.98	20	0.70	78	0.43
		水素	957		14		33	
	70	窒素	1092	1.00	14	0.71	76	0.43
		水素	1093		10		33	
SUS304L (Ni当量:23.5)	50	窒素	1059	1.01	36	0.17	69	0.33
		水素	1067		6		23	
	70	窒素*	1235	1.00	13	0.31	68	0.12
		水素*	1236		4		8	
SUS301L (Ni当量:19.9)	50	窒素*	1379	0.73	21	0.10	57	0.11
		水素*	1012(弾性限内)		2		6	
	70	窒素*	1398	(0.84)	3	(0.67)	15	(0.46)
		水素*	1173(弾性限内)		2		7	

* 試験片直径 2.5mm(他は 3mm)

表 8 に常温における各鋼種の SSRT の結果を示す。これより主要な結果として下記の事項が判明した。

- Ni 当量が高い SUS316L および SUS316 では高圧水素の影響は認められず、RTS、REL、RRA 共に 1 の値は維持される。
- Ni 当量が低い SUS304L では高圧水素環境下において延性の低下が認められるが、表 7 の -40℃ の場合と比較して低下の程度は小さい。
- Ni 当量が極端に低い SUS301L においては、常温においても延性が著しく低下し、弾性限近傍で破断に至る。

上記の低温および常温の結果の比較により、高圧水素の影響に関する温度依存性について知ることができる。何れの温度でも Ni 当量の低下に伴い高圧水素の影響が顕著になるが、その影響の程度は常温よりも低温の方が顕著である。

また、冷間圧延率 50% と 70% を比較した場合、冷間圧延率の増加により強度が増加し、延性が減少するが、低延性値となるのは、大気(窒素)中よりも高圧水素中において顕著であり、常温よりも低温において顕著であった。

表 8 オーステナイト系ステンレス鋼冷間強加工材の常温 SSRT 特性

鋼種	冷延率 (%)	環境	最大応力 (MPa)	RTS	伸び (%)	REL	絞り (%)	RRA
SUS316L (Ni当量:28.6)	50	大気	919	1.00	15	1.33	73	1.01
		水素	923		20		74	
	70	大気	1032	1.00	14	0.86	69	1.07
		水素	1033		12		74	
SUS316 (Ni当量:26.6)	50	大気	914	1.01	15	1.13	70	1.12
		水素	920		17		79	
	70	大気	960	1.00	14	1.00	71	1.07
		水素	930		14		76	
SUS304L (Ni当量:23.5)	50	大気	1090	0.97	12	0.67	66	0.52
		水素	1071		8		34	
	70	大気	1234	1.00	11	0.82	66	0.58
		水素	1236		9		38	
SUS301L (Ni当量:19.9)	50	大気	1237	(0.90)	23	(0.13)	51	(0.47)
		水素	1110(弾性限近)		3		24	
	70	大気	1403	(0.97)	21	(0.19)	53	(0.25)
		水素	1367(弾性限近)		4		13	

(2) - ⑤ 高圧水素環境における評価試験 (九州大学)

Ni 当量 26.6% の SUS316 および Ni 等量 28.6% の SUS316L の冷間加工材を対象として、 -45°C ~ 室温の高圧水素ガス中で SSRT を実施した。図 17 に Ni 当量 28.6% の SUS316L の SSRT 結果を示す。比較的高い Ni 当量 (28.6%) を有する SUS316L では、2 種類の冷間加工度 (CW=20%、40%) のいずれにおいても、高圧水素ガス中で SSRT 特性が低下しないことが確認された。図 18 に Ni 当量 26.6% の SUS316 の SSRT 結果を示す。Ni 当量 26.6% の SUS316 では、室温・115MPa 水素ガス中では SSRT 特性が低下しないものの、 -45°C ・106MPa 水素ガス中で低下することが明らかになった。

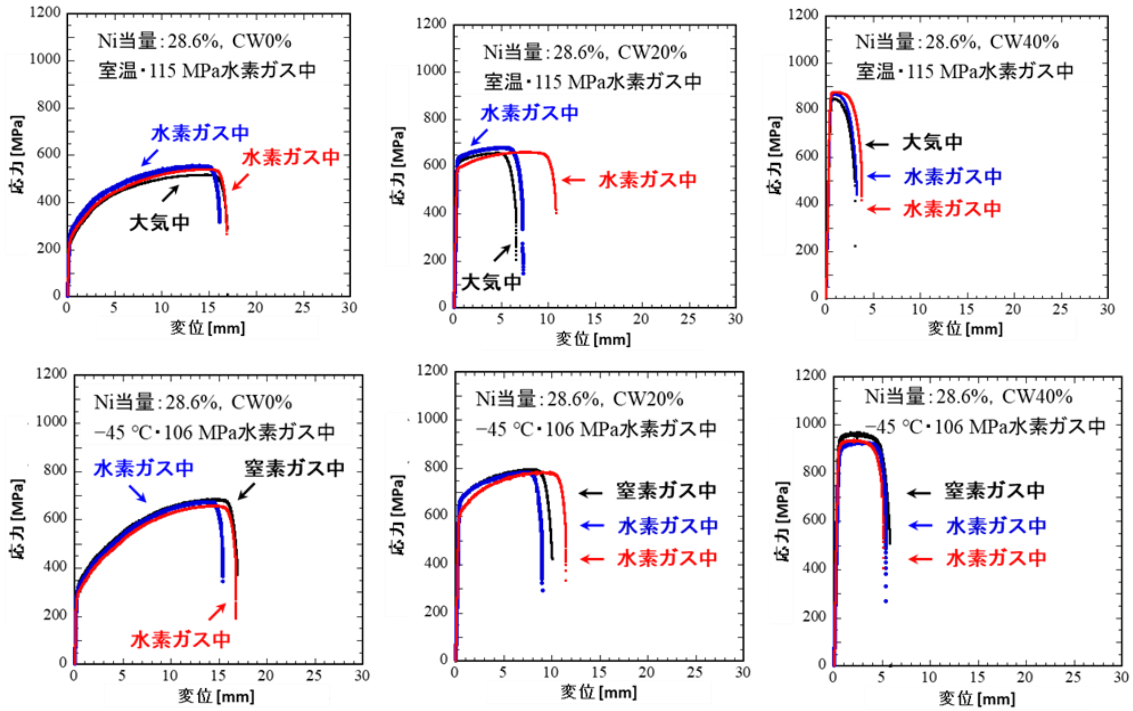


図 17 高圧水素ガス中における SUS316L (Ni 当量 28.6%) 冷間加工材の SSRT 結果の例

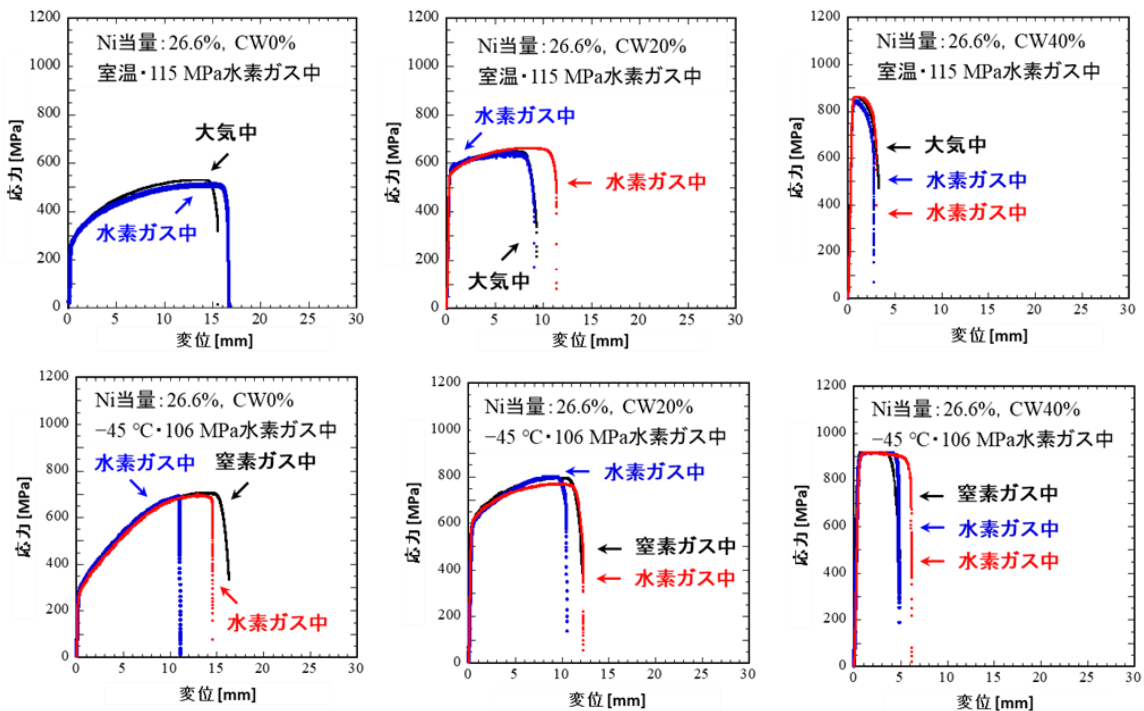


図 18 高圧水素ガス中における SUS316 (Ni 当量 26.6%) 冷間加工材の SSRT 結果の例

Ni 当量 26.6%の SUS316 および Ni 等量 28.6%の SUS316L の冷間加工材を対象として、室温・115MPa 水素ガス中での引張圧縮疲労試験を実施した。図 19 に疲労寿命特性 ($S-N$ 線図) を示す。いずれの材料においても、2 種類の冷間加工度 (CW=20%、40%) において、高圧水素ガス中の疲労限度は大気中に比べて低下しないことが確認された。

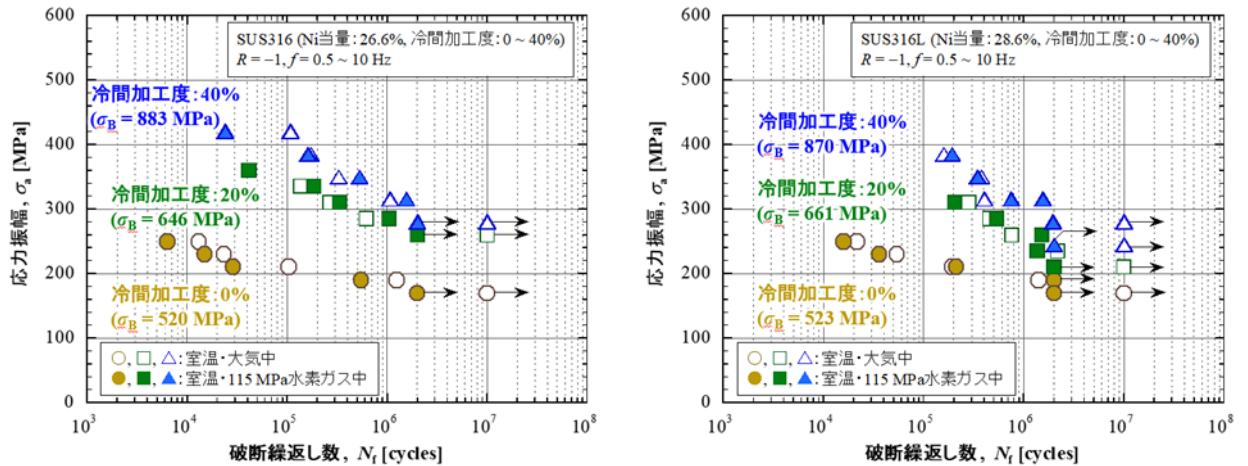


図 19 高圧水素ガス中における冷間加工材の引張圧縮疲労試験結果

(3) - ① 汎用ステンレス鋼溶接材に関する水素適合性評価 (日本製鉄)

水素ステーションで適用範囲拡大が見込まれる SUS316L 等の汎用ステンレス鋼の溶接材について、強度等の材料特性と併せて、必要な温度領域、圧力領域における水素適合性について評価を実施中。これらにより、汎用ステンレス鋼溶接時の技術指針作成に資するデータを提供する。

具体的には、溶接材評価に資する母材単独及び溶接材料からなる全溶着金属部の材料特性および水素適合性を評価し、溶接材を構成する母材及び溶接材料の性能を把握する。次に、図 20 に示すように、これらの組合せにて得られる溶接材を作製し、母材と溶接材料の希釈から成る溶接金属と溶接熱影響部及び母材の組合せで構成される溶接材の材料特性および水素適合性を評価する。溶接材の性能評価に際しては、水素ステーション配管の主要寸法である外径 14.3mm の想定肉厚 5mm に加工した母材板材を用いて、溶接ままで特性を評価することとした。

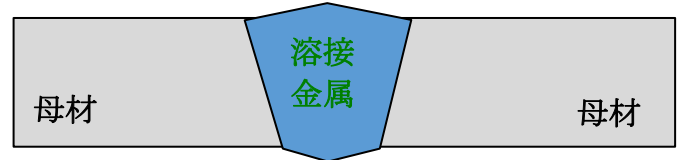


図 20 ステンレス鋼溶接材のイメージ図

・ 評価鋼種及び溶接材料

表 9 はラボ溶製にて作製した母材の化学組成を示す。Ni 当量を変化した SUS316L 相当材、比較として SUS304L 及び SUS304LN 相当材を選定した。母材はラボ溶製にて作製し、熱間鍛造・熱間圧延・固溶化熱処理 (1100°C×30min 水冷) によって板厚を揃えた素材に加工した。

表 9 作製した母材の化学組成 (mass%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Ni 当量 ¹⁾
SUS316L(a)	0.019	0.37	1.37	11.99	16.31	2.11	—	26.5
SUS316L(b)	0.020	0.37	1.71	12.49	17.44	2.57	—	28.5
SUS304L	0.019	0.38	1.72	9.35	18.36	—	—	23.5
SUS304LN	0.019	0.37	1.71	10.98	18.46	—	0.173	25.2

1) Ni 当量=12.6×C+0.35×Si+1.05×Mn+Ni+0.65×Cr+0.98×Mo

表 10 は表 9 中の母材に対して選定したステンレス鋼溶接材料の化学組成を示す。線径 1.2mm のスプール状の溶接材料を用いた。

表 10 使用した溶接材料の化学組成 (mass%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Ni 当量
YS316L	0.014	0.45	1.55	12.03	18.58	2.29	0.026	28.3
YS309LMo	0.024	0.36	2.06	13.89	21.23	2.22	0.086	32.5
YS308L	0.029	0.48	1.67	9.59	19.60	—	0.020	24.7

・溶接材料を用いた全溶着金属の作製

選定した溶接材料から成る全溶着金属の材料特性および水素適合性を評価するため、バタリング溶接を実施した。図 21 は全溶着金属試験片採取位置のイメージ図を示す。自動 GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) で実施し、入熱は 6-9kJ/cm とした。シールドガスは Ar、パス間温度は 150℃以下とし、溶接後熱処理は実施していない。

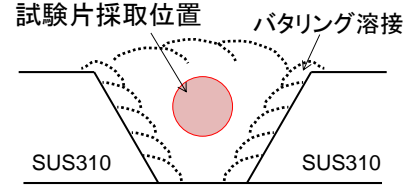


図 21 全溶着金属試験片採取位置

・溶接材 (溶接継手) の作製

板厚 5mm に加工した素材に対し、選定した溶接材料を用いた溶接材 (溶接継手) を作製した。具体的には表 9 中の母材と表 10 中の溶接材料を組合せて溶接材を作製した。図 22 に素材に付与した開先形状、図 23 に多層盛溶接のイメージを示す。溶接は自動 GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) で実施し、入熱は 4-7kJ/cm、シールドガスは Ar、パス間温度は 150℃以下とし、溶接後熱処理は実施していない。

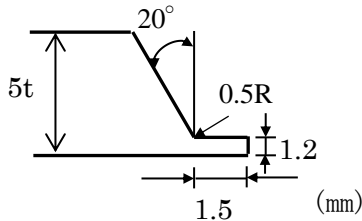


図 22 開先形状

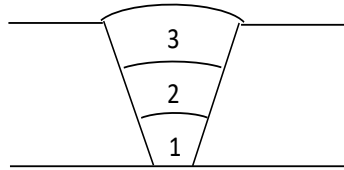


図 23 多層盛溶接



図 24 作製した溶接材 (溶接継手) 外観

・母材及び全溶着金属の材料特性評価結果

表 11~12 は母材及び全溶着金属の常温での引張試験結果を示す。表中の値は N=3 での平均値を示す。

表 11 母材の常温引張試験結果

	0.2%耐力	引張強さ	伸び	絞り
SUS316L(a)	210 MPa	531 MPa	93 %	85 %
SUS316L(b)	215 MPa	531 MPa	80 %	83 %
SUS304L	187 MPa	603 MPa	72 %	83 %
SUS304LN	296 MPa	628 MPa	72 %	81 %

表 12 全溶着金属の常温引張試験結果

	0.2%耐力	引張強さ	伸び	絞り
YS316L	524 MPa	643 MPa	38 %	76 %
YS309LMo	599 MPa	744 MPa	28 %	67 %
YS308L	471 MPa	633 MPa	46 %	80 %

・全溶着金属の水素適合性評価結果

図 25～26 は全溶着金属における常温及び-40℃での水素適合性評価試験結果を示す。汎用ステンレス溶接材料を用いた溶接金属の水素適合性は Ni 当量と相関があった。特に、-40℃且つ 70MPa 水素環境下では、少なくとも Ni 当量 \geq 28.5%を有する溶接材料が望ましいことがわかった。

室温（水素圧 90MPa）

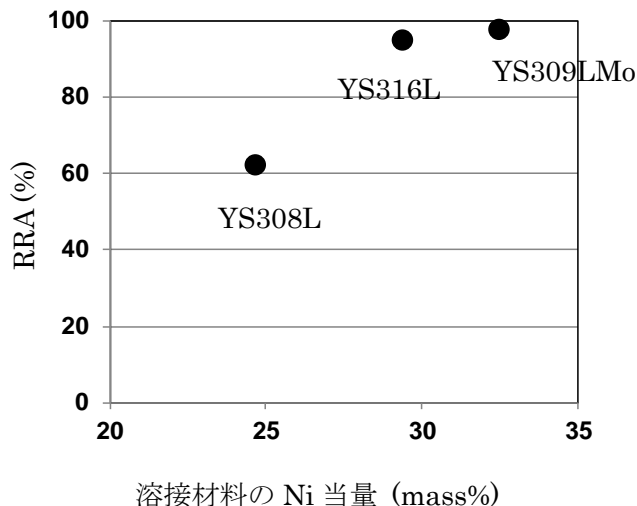


図 25 室温での全溶着金属の水素適合性評価

-40℃（水素圧 70MPa）

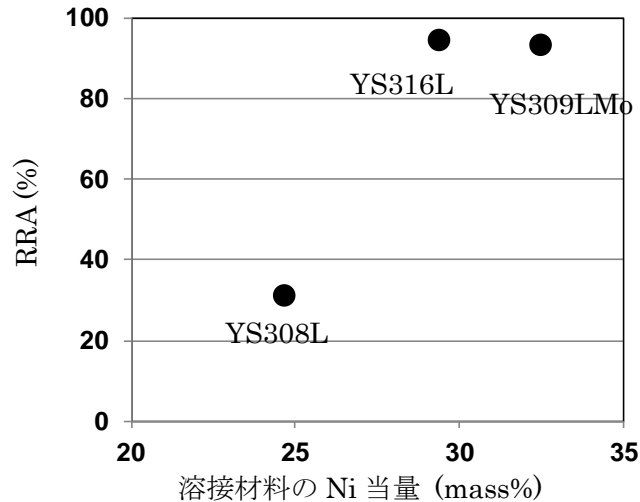


図 26 -40℃での全溶着金属の水素適合性評価

また、溶接部の材料特性、水素適合性については国立研究開発法人物質・材料研究機構にて金属学的評価を行っている。加えて、日鉄ステンレス株式会社と共同にて母材と全溶着金属のミクロ偏析を解析し、水素適合性への影響を調査している。

(3) -②汎用ステンレス鋼溶接の技術指針作成（石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会）

溶接継手の水素適合性を判断する際には、高圧水素環境下の引張強さのほかに、伸び、絞りならびに疲労限への水素の影響を把握する必要があると考える。(3) -①項の研究結果に基づき、検討を継続し、技術指針としてこれら項目を確認する必要があるかどうかを見極める。

(4)－①水素圧縮機を想定した条件下の材料特性評価手法の検討（日本製鋼所）

水素圧縮機の起動時、運転時、再起動時の状態を想定し、高圧水素ガス中評価試験条件を検討した。材料の強度特性に対して最も水素の影響が大きいと考えられる条件として、高温・高圧水素ガスチャージ後の室温・高圧水素ガス中試験を選定し、影響を評価するための実験方法を確立した。実験における水素ガス温度・圧力プロファイルの模式図を図 27 に示す。

評価対象の SNCM439、SCM435 を、高圧ガス設備の設計基準で水素用設備に適用可能な材料として規定されている条件で製造することで、低合金鋼技術文書と国内基準との整合性を図ることとした。

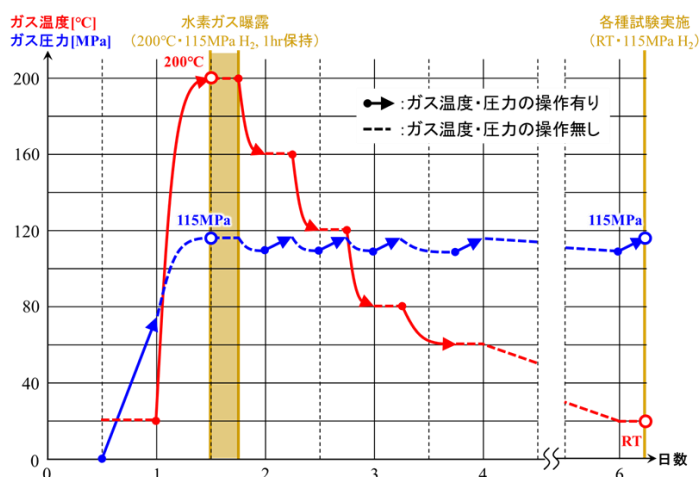


図 27 高温・高圧水素ガス曝露試験における水素ガス温度・圧力プロファイルの模式図

(4)－②汎用低合金鋼の水素圧縮機を想定した材料特性評価試験（日本製鋼所、九州大学）

圧縮機の稼働中、一部の部材では温度が約 200°C 程度に達する。このような高温域では水素は鋼中に容易に侵入・拡散して飽和し、各種特性に悪影響を及ぼす懸念がある。このような状態を模擬するために、低合金鋼中に水素を飽和させた状態で SSRT と $K_{I,H}$ 測定試験を実施した。対象材料は、水素ガス圧縮機への使用が期待されている低合金鋼 SNCM439 である。本評価試験では、図 27 に示したプロファイルに基づき、水素ガス環境を 200°C・115MPa で 1 時間保持した後、圧力を高圧に保ったままで水素ガス温度を段階的に室温まで下げ、鋼中の水素を飽和させた状態で SSRT 特性および $K_{I,H}$ を取得した。

図 28 および図 29 に水素ガス曝露後に実施した室温・高圧水素ガス中における SSRT および $K_{I,H}$ 測定試験の結果を示す。各図中には、水素ガス曝露を施さず、常温で昇圧後に試験を実施した場合の結果も併せて示している。両試験結果を比較することにより、高温・高圧水素ガス曝露により材料中に水素を飽和させても、室温・高圧水素中で得られる SSRT 特性と $K_{I,H}$ には影響がないことが明らかになった。また、各種低合金鋼を高圧水素ガス中で使用する際の使用可能温度範囲の拡大を目的として、各種低合金鋼 (SCM435、SNCM439、SA-723) の SSRT 特性、疲労き裂進展特性および $K_{I,H}$ を -45°C～200°C の高圧水素ガス中で取得した。

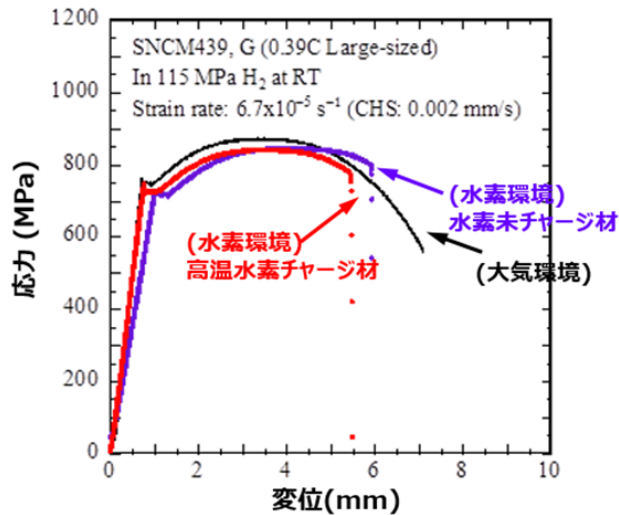


図 28 低合金鋼 SNCM439 の SSRT 特性に及ぼすに及ぼす高温・高圧水素ガス曝露の影響

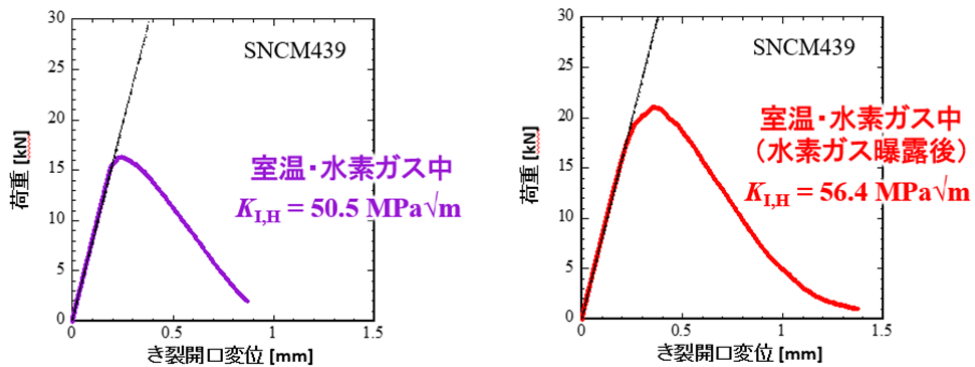


図 29 低合金鋼 SNCM439 の $K_{I,II}$ に及ぼす高温・高圧水素ガス曝露の影響

(4) - ③低合金技術文書の改訂 (石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、九州大学、金属系材料研究開発センター、日本製鋼所)

前章のとおり低合金鋼が高温でも高圧水素用耐圧材料として安全に使用できることが立証されたため、低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)の改訂に向けて、有識者からなる低合金鋼技術文書検討分科会を設置し、検討を開始した。当初の予定では低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)の改訂完了は 2022 年を見込んでいたが、今年度中に前倒しで改訂できる見通しである。

現状では低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)における設計温度の上限は 85℃であるため、水素ステーションでは蓄圧器への適用に留まっているが、改正によって使用温度範囲が拡張され、低合金鋼を水素圧縮機の高圧部にも使用できる見込みである。

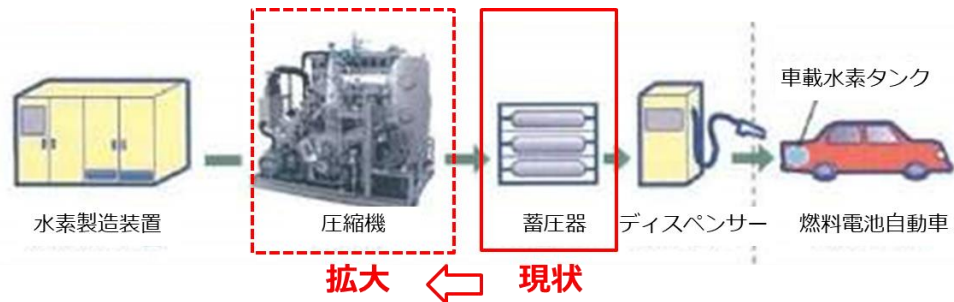


図 30 低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)の改訂による低合金鋼利用拡大のイメージ

3. 2 成果の意義

(1) 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

現行の水素ステーションの高圧水素部で使用可能な SUS316 系ステンレス鋼の範囲を拡大できる伸びを基準とした水素適合性の判断基準案および実使用条件である-45℃高圧水素中での疲労データを示したことで、一般則例示基準 9.2 の規制見直しにつながるものとなった。一般申請で使用できる材料の範囲が拡大されることで、水素インフラ事業者での低コスト材料の使用の選択肢を提供できる。

- ・-45℃の高圧水素部で使用できる SUS316 系ステンレス鋼の Ni 当量を現行の 28.5%以上から 26.9%以上に低減できた。Ni 当量 26.9%の SUS316L ステンレス鋼は水素インフラ以外の用途で一般的に使用されている材料である。
- ・現行の一般則例示基準 9.2 に規定されている SUS316 系ステンレス鋼の材料範囲については、絞り 75%以上の規定を撤廃することが可能となった。
- ・一般則例示基準 9.2 の見直しに資するものとなり、水素インフラ関連の規制見直しに貢献した。

(2) 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

水素ステーションで冷間加工材を簡便に使用できることにより、高強度化による小型軽量化や鋼材使用量の低減、曲げ加工による機械式継手の省略、成形による切削ロスの低減、材料の変更による加工性・加工コストの改善などの様々な効果が期待できる。

- ・サブテーマ (1) で検討された範囲の SUS316 系ステンレス鋼の冷間加工材については、冷間加工度 40 程度であれば水素適合性の低下は見られず、水素ステーションにおいても使用できる。
- ・一般則例示基準化された SUS316 系ステンレス鋼の冷間加工材については、水素適合性に影響を及ぼさない範囲の冷間加工度に留めることで加工後の SSRT 実施省略等の簡素化を図れる提案を行った。
- ・SUH660 から SUS305 冷間加工材への代替が可能である。加工条件によっては SUH660 と同等の強度を得ることができ、材料の加工性や使用の簡便性については時効処理が必要な SUH660 を大きく上回る。

(3) 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

汎用ステンレス鋼の溶接に関する技術指針により、安全に溶接が利用できるようになれば、現行の機械継手と比較して、日常点検の負荷や部品点数の削減や継手部の緩みによる漏えいリスクを低減することができる。将来的には遠隔監視によるステーション運営の増加も見込まれるため、溶接へのニーズは高まっていくものと考えられる。

(4) 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

汎用低合金鋼の高温水素中での安全性が確認できたことにより、低合金鋼技術文書 JPEC-TD0003 の改訂が可能となり、高温水素環境での使用が可能となる。水素圧縮機の高温部分での使用が可能となるため、SUH660 の置き換えが可能となり、材料コスト、入手性、加工性の改善が見込まれる。

- ・SNCM439、SCM435 といった汎用低合金鋼について、200℃までの高温域においても高圧水素用部材として安全に使用できる。
- ・低合金鋼技術文書 JPEC-TD0003 の改訂により、200℃までの高温高圧水素用部材として事前評価による使用が可能となる。

3. 3 開発項目別残課題

当初の中間目標については達成の見込みであり、残課題はない。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1まとめ

- ・本事業は規制改革実施計画（2017年6月9日閣議決定）に掲げられる規制見直しの主要3項目のうちの1つに対応するものであり、水素ステーションにおける低コスト鋼材を使用できるための取組を行ってきた。
- ・汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大、汎用ステンレス鋼冷間加工材の使用可能基準の明確化、汎用ステンレス鋼溶接材の基本的な材料特性や使用条件の明確化および指針化に向けた検討課題の抽出、汎用低合金鋼の高温適用の検討の結果、当初の事業目標を達成できる見通しとなった。

4. 2課題

事業成果の実用化に向けては、例示基準化、技術文書化、あるいは技術指針などの文書化を行い、水素インフラ事業者にとって利用しやすい形態にまとめていくことが望ましいと考えられる。冷間加工材、溶接材については、上記のような技術的な文書にまとめていくには詳細な検討が必要である。

汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大については-45℃という最も厳しい温度条件での使用についての検討結果であり、これよりも緩い温度域で使用する場合は材料の使用可能範囲は拡大できるはずである。さらなる適材適所化の取組を行って使用できる材料の選択肢を広げる検討が必要である。

4. 3事業化までのシナリオ

(1) 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大

汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大については研究成果が規制見直しに反映され、一般申請での利用が可能となることを目指している。本研究で得られた材料範囲の拡大案は一般則例示基準9.2の改正に反映された。各水素インフラ事業者において、材料・設計変更が検討されることを期待する。境界条件を考慮した適材適所の基準化については今後の課題となる。

(2) 汎用ステンレス鋼冷間加工材

一般則例示基準化された材料を冷間加工する場合とそれ以外の場合に分け、一般則例示基準化されたSUS316系ステンレス鋼を対象とした検討を優先して行っている。母材に冷間加工を施すことにより、どの程度水素適合性が変化するかを検証し、安全に使用可能な条件を明確化した。

今後は基準化を意識し、より簡便に冷間加工材を使用可能にするための環境を整えていく必要がある。大きく分けて以下の4つの取組が必要である。

- ・高圧機器設計に必要となる許容引張応力の設定の検討
- ・大型の冷間加工材を利用する場合の、材料内部の不均一性についての詳細な検討
- ・冷間加工による高強度化の効果に見合う疲労限度向上の確認
- ・冷間加工材の基準化を図るための文書化

また、SUS305の冷間加工材については、SUH660と同等の強度が得られることがわかった。水素適合性の検証や許容引張応力の設定に向けた評価を進め、水素適合性がSUS316系ステンレス鋼の場合と同等に扱えることが立証できれば母材の一般則例示基準化も視野に入る。

(3) 汎用ステンレス鋼溶接材

汎用ステンレス鋼を用い、適正な母材・溶接金属の組合せによる溶接継手の水素適合性を検証し、良好な水素適合性を示す溶接継手の事例があることを実証する。試験の過程で観察される水素適合性を低下させる要因を整理し、技術指針に記載することにより注意喚起を図る。

(4) 汎用低合金鋼の高温適用

低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)の改訂が完了することにより、使用可能温度域の上限が 200℃まで引き上げられ、従来では蓄圧器に使用されていた汎用低合金鋼が圧縮機の出口部分にも使用可能となる。既に関係事業者や有識者からなる低合金鋼技術文書検討分科会が活動を開始しており、主に高温における安全性について吟味がなされている。低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)の改訂完了次第、高圧水素関係団体、機器メーカー等への周知を図り、利用を促していく予定である。

以上

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

・石油エネルギー技術センター

(口頭発表 2018年度:3件、2019年度:4件、2020年度:1件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年12月	溶接接合工学振興会 H30年度セミナー	水素インフラの現状 と将来展望	小林
2	2019年2月	第8回次世代ものづくり 基盤技術産業展 「TECH Biz EXP O 2019」	水素ステーションで 使用する鋼材の規制 と今後の展開	小林
3	2019年2月	FCCJ 燃料電池・水素 に係る規制見直し・標準化等 動向説明会	水素ステーション用 鋼材・複合容器の技術 開発動向	小林
4	2019年5月	2019年度 JPEC フォーラム	新たな水素特性判断 基準の導入に関する 研究開発	鈴木
5	2019年9月	水素貯蔵技術WG 第1回 セミナー	水素社会を取り巻く 環境、規制、規制緩和	小林
6	2019年12月	水素貯蔵技術WG 第2回 セミナー	水素ステーション用 金属部材の今後の例 示基準化の方向性	鈴木
7	2020年1月	九州水素・燃料電池 フォーラム&水素先端世界 フォーラム2020	水素ステーションで 使用する金属材料の 規制見直しと今後の 方向性	小林
8	2020年5月	2020年度 JPEC フォーラム	新たな水素特性判断 基準の導入に関する 研究開発	小林

・高圧ガス保安協会

(口頭発表 2018年度:1件、2019年度:1件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年12月	KHK 水素保安セミナー	鋼種拡大に関するこ れまでの成果と今後 の取組について	佐野等
2	2019年12月	KHK 水素保安セミナー	水素スタンド設備に 使用するオーステナ イト系ステンレス鋼 の選定基準	山田

(新聞・雑誌等へ掲載 2018年度:2件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年11月	エネルギー総合工学 研究所「エネルギー 総合工学」	水素スタンドで使用 される材料の選定に ついて	佐野
2	2018年12月	高圧ガス誌	鋼種拡大に関するこ れまでの成果と今後 の取組について	佐野等

・九州大学

(口頭発表 2018年度：8件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年11月	International workshop on standards and codes for hydrogen infrastructure safety Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)	Recent activities for hydrogen compatibility of materials used in hydrogen station in Japan	松永 久生
2	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス環境中における材料強度試験	松永 久生
3	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼の強度特性	高桑 脩
4	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼溶接金属317LのSSRT特性	中村 眞実
5	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	オーステナイト系ステンレス鋼突合せ溶接継手の疲労強度特性に及ぼす内部水素の影響	岡崎 三郎
6	2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	高桑 脩
7	2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	岡崎 三郎
8	2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	松永 久生

(新聞・雑誌等へ掲載 2018年度：3件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年7月	Proceedings of ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	Osamu Takakuwa, Saburo Matsuoka, Saburo Okazaki, Michio Yoshikawa, Junichiro Yamabe, Hisao Matsunaga
2	2018年7月	Proceedings of ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	Saburo Okazaki, Hisao Matsunaga, Masami Nakamura, Shigeru Hamada, Saburo Matsuoka
3	2018年7月	Proceedings of ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	Hideo Kobayashi, Hiroshi Kobayashi, Takeru Sano, Takashi Maeda, Hiroaki Tamura, Ayumu Ishizuka, Mitsuo Kimura, Nobuhiro Yoshikawa, Takashi Iijima, Junichiro Yamabe, Saburo Matsuoka, Hisao Matsunaga

・金属系材料研究開発センター

(新聞・雑誌等へ掲載 2018年度：1件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年11月	JRCM NEWS No.385	NEDO 事業「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(平成 25～29 年度実施)の成果概要	前田尚志

・愛知製鋼株式会社

(口頭発表 2019年度1件)

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年12月	愛知県主催 2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第2回セミナー	愛知製鋼における高圧水素用ステンレス鋼の開発取り組み	渡邊

－特許等－

なし

(1)-(2)-②)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発」
 委託：事業者名 JFEスチール (株)

- 成果ガリ (実施期間：2018年度～2020年度)
- ① 室温および高温 (85℃) で105MPa高圧水素中と同等の水素チャージ条件を明確化した。
 - ② ①で明確化した条件で連続陰極水素チャージSSRT試験を行った結果、室温および高温 (85℃) では陰極チャージSSRT試験結果は105MPa高圧水素中と同等であった。
 - ③ 室温での連続陰極水素チャージSSRTのアウトピク試験を3機関で行った結果、変位-荷重曲線はほぼ一致し、機関によらず同等の結果が得られることが確認できた。

●背景/研究内容・目的
 高圧水素インフラに用いられる素材は、高圧水素ガス中での材料特性採取が必要である。しかし、高圧水素ガスに対応した試験装置は、世界的にも限定されており、必要データの取得には多大な時間およびコストを要する。このことが、水素ステーションに用いられる金属材料の種類拡大を遅延し、かつ、開発費用を押し上げる大きな要因になっている。この状況に鑑み、本事業では、高圧水素ガス環境下での材料特性を、より多くの研究機関で、より低コストかつ簡便に評価可能な手法の開発を目的とした。具体的には、低合金鋼を対象とし、高圧水素ガス中と同等の水素を電気化学的に試験片中にチャージし、汎用のSSRT試験機や疲労試験機を用いた連続陰極水素チャージ材料試験法を開発する。

●研究目標

実施項目	目標
(1)	105MPa高圧水素環境下と同等の水素チャージ可能な陰極水素チャージ条件を高温～低温まで確立
(2)	陰極チャージSSRTと高圧水素ガスSSRTの差異確認し陰極チャージ法適用範囲を確立
(3)	室温で陰極チャージ疲労と高圧水素ガス疲労試験の差異明確化し陰極チャージ法適用範囲を確立
(4)	陰極チャージと高圧水素試験で破面等と比較し、妥当性を検証
(5)	ラウンドロビンテスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成

●実施体制及び分担等

NEDO	JFE	東京電機大学
[(1),(2),(3),(5)]		[(4),(5)]

(再委託)

- これまでの実施内容 / 研究成果
- 供試材：SNCM439 (焼き戻しマルテンサイト)
 材質：0.2%YP=776, TS=921MPa
 tEl=24.4%, RA=70.3%
- (1) 室温、高温 (-85℃) で105MPa高圧水素ガス環境下と同等の水素チャージ条件を確立。(図1)
 - (2) (1)で決定した陰極水素チャージ条件で行ったSSRT試験結果は、105MPa高圧水素ガスSSRTと同等だった。(図2)
 - (3) 陰極チャージ疲労試験手法確立。
 - (4) SSRT試験片の擬へき開破面の分布状態が高圧水素ガス中と陰極チャージで異なる傾向が認められた。
 - (5) SSRTラウンドロビンテストを3機関で行い、データ一致を確認(図2)。

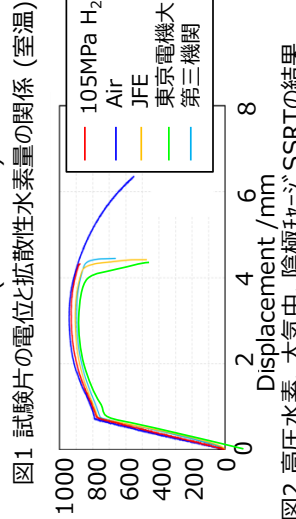
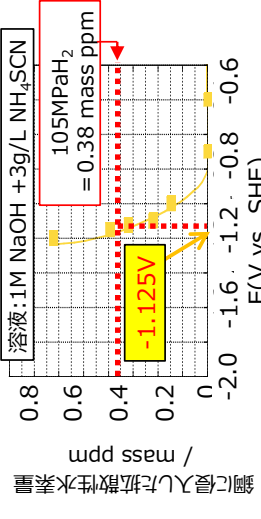


図1 試験片の電位と拡散性水素量の関係 (室温)

図2 高圧水素、大気中、陰極チャージ SSRTの結果

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(1)	室温、高温 (85℃) で条件明確化	△
(2)	高温 (85℃)・室温は同等、低温 (-30℃)は確認中	△
(3)	陰極チャージ条件確定。大気、陰極チャージ、高圧水素でデータ採取中	△
(4)	SSRTで擬へき開破面分布が異なる	○
(5)	SSRTアウトピクで3機関でデータ一致。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	2	0

- 今後の課題
 - ・低温 (-30℃) での高圧水素ガス環境下での水素チャージ量の陰極チャージ法による模擬手法確立
- 実用化・事業化の見通し
 - ・本プロジェクト内で、規準化案を策定。
 - ・本プロジェクトで得られた結果に基づいた規準化案について、学会、論文等を通じて広く関係者と議論し、規準化案の合意形成を図る。

課題番号：1-(2)-②

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発」

実施者：JFE スチール株式会社

1. 研究開発概要

高压水素ガスインフラに用いられる素材は、高压水素ガス中での材料特性採取が必要である。しかし、高压水素ガスに対応した試験装置は、世界的にも限定されており、必要データの取得には多大な時間およびコストを要する。このことが、水素ステーションに用いられる金属材料の種類の拡大を遅延し、かつ、開発費用を押し上げる大きな要因になっている。この状況に鑑み、本事業では、高压水素ガス環境下での材料特性を、より多くの研究機関で、より低コストかつ簡便に評価可能な手法の開発を目的とした。具体的には、低合金鋼を対象とし、高压水素ガス中と同等の水素を電気化学的に試験片中にチャージし、汎用の SSRT 試験機や疲労試験機を用い、試験中も水素チャージを継続して行いながら SSRT もしくは疲労寿命試験を行う連続陰極水素チャージ材料試験法を開発する。

2. 研究開発目標

表 1 研究開発目標

実施項目	最終目標	目標の意義・理由、妥当性
<u>(1) 高压水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化</u>	高温、室温、低温で条件明確化	主として蓄圧器の使用可能性のある温度域での連続陰極チャージ法適用可能性を見極める。
<u>(2) 連続陰極水素チャージ法による SSRT 試験方法の確立</u>	高温、室温、低温で陰極チャージ SSRT と高压水素ガス SSRT の差異確認し連続陰極チャージ法適用可能範囲を確立	主として蓄圧器の使用可能性のある温度域での連続陰極チャージ法適用可能性を見極める。
<u>(3) 連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立</u>	室温で連続陰極チャージ疲労と高压水素ガス疲労試験の差異明確化し連続陰極チャージ法適用範囲を確立	本テーマで扱う疲労試験は高サイクル疲労域を主眼としており、高压水素中でも室温のみの試験とする。
<u>(4) 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証</u>	連続陰極チャージと高压水素試験で破面等を比較し、妥当性を検証	破面等も比較・解析することで連続陰極チャージ試験の妥当性を精緻に確認する。
<u>(5) 水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定</u>	ラウンドロビンテスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成	複数機関で実施し、結果を比較することで、試験法の汎用性に関して確認する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

本検討での供試材は、SNCM439 の焼き戻しマルテンサイト鋼を用いた。材質は、0.2%耐力 776MPa, TS 921MPa、全伸び 24.4%、絞り 70.3%である。

(1) 高压水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化

105MPa 水素ガス中で鋼中に侵入する拡散性水素量と同等の水素量をチャージできる陰極チャージ条件を明確化するため、両条件での水素侵入量を比較した。105MPa 水素ガス中の水素量は、10mm x 10mm x 20mm の供試材に 96 時間チャージを行って求めた。陰極水素チャージは、85℃ および室温は、1M NaOH +3g/L NH₄SCN 中で行った。低温は検討中である。試験温度は、水素

蓄圧器が曝される可能性のある上限 85℃、室温、下限-30℃とした。水素チャージしたサンプルの水素分析は、昇温水素分析法を用い、200℃/h で測定した。拡散性水素量は 1st ピークと呼ばれる放出ピークの積算値とした。

高压水素ガス中のチャージサンプルはチャージ後、試験片取り出しに長時間かかる。室温では水素ガス放出後、チャンバーを空けて試験片を取り出し水素分析を行うため、試験片は水素チャージ後、室温で数十分滞留している。85℃では、チャージ終了後、ガス温度を 40℃程度に下げたから水素を放出させ、チャンバーを空けて試験片を取り出し水素分析を行う。-30℃では温度を 0℃前後に上げてからチャンバーを空けて試験片を取り出し水素分析を行う。よって、高压水素ガスチャージサンプルで求めた拡散性水素量は高压水素ガス中にあるサンプル内に存在する水素量よりも減少していると推測される。そのため、陰極チャージ法で水素チャージしたサンプルの拡散性水素量測定には、高压水素ガス中チャージサンプルと同等の温度履歴を経験させて測定を行った。

室温では 105MPa 水素ガスチャージ材で測定された拡散性水素量が 0.38ppm であった。試験片はチャージ終了後から取り出しまで 42.5 分必要であった。そのため、陰極チャージ材はチャージ終了後、室温で 42.5 分放置した後、水素測定を行った。陰極チャージの電位を種々変化させて測定した結果を図 1 に示す。105MPa 水素ガスチャージ材と同等の水素量をチャージできる条件は電位-1.125V (VS SHE) であることが明らかとなった。

また、85℃では、チャージ後試験片の温度履歴の模式図と鋼中の水素量変化の模式図を図 2 に、図 3 に 85℃で水素チャージした測定サンプルにチャージ後の実際に与えた温度履歴を示す。実験の結果、表 2 に示すように、85℃でも-1.125V (VS SHE) の電位で陰極チャージした場合に、高压水素ガス中と同等の水素チャージが可能であることが明らかとなった。今後、-30℃での水素チャージ条件を確定する。(△)

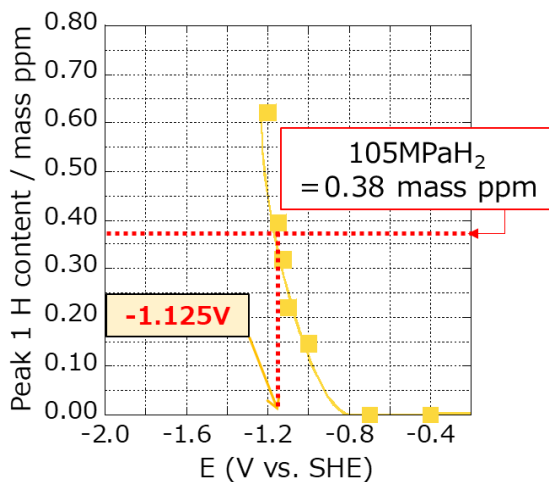


図 1 室温チャージした供試材中の拡散性水素量におよぼす電位の影響

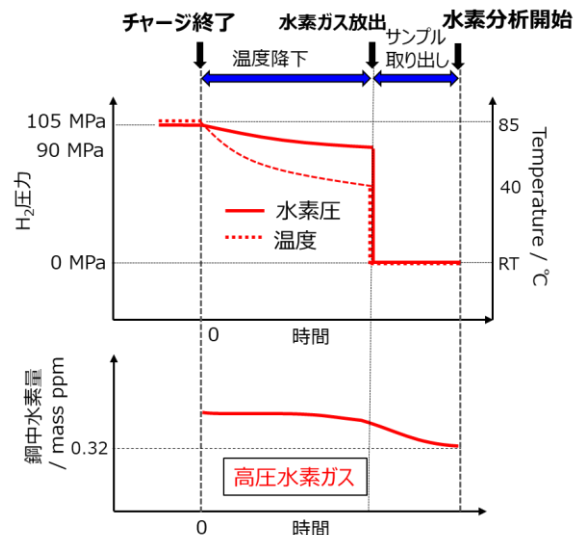


図 2 85℃ 105MPa 水素ガス中チャージにおける水素圧および温度履歴とサンプル中の水素量変化イメージ

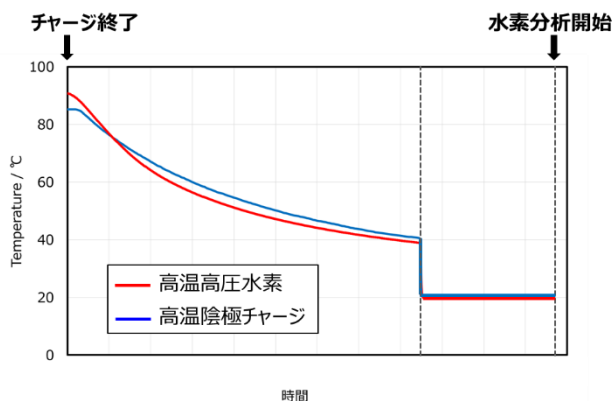


図 3 85℃での 105MPa 水素ガス中チャージ材および陰極チャージ材の温度履歴

表 2 105MPa 水素ガス中と同等の水素をチャージするための水素チャージ条件

	105MPa水素ガス中の水素チャージ量* (ppm)	陰極チャージでの水素チャージ量* (ppm)	105MPa水素ガス中と同等の水素をチャージできる電位
85℃	0.32	0.31	-1.125V
室温	0.38	0.38	-1.125V
-30℃	0.31	確認中	確認中

(2) 連続陰極水素チャージ法による SSRT 試験方法の確立

(4) 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証

((2)、(4) は密接に関連しているため、併せて記載)

(1) で得られた高圧水素ガス中と同等の水素がチャージできる陰極チャージ条件下で陰極チャージを実施ながら SSRT 試験を行った。SSRT 試験片の平行部形状は直径 6mm、平行部長さ 28.6mm である。試験機構成を図 4 に示す。本事業では、SSRT 試験機の試験片部を覆うことができる恒温槽を設置し、 -30°C から 85°C の試験を可能とした。室温および 85°C において 105MPa 高圧水素ガス中および連続陰極チャージ SSRT 試験で得られた変位-応力曲線を比較した結果を図 5 に示す。破断変位は両者ではほぼ一致し、大気中試験よりも小さくなった。絞りも室温では、高圧水素ガス中で 29%、連続陰極チャージ中で 27% とほぼ一致した。 -30°C での試験は水素チャージ条件が確定した後に実施する。(Δ)

一方、高圧水素ガス中試験では荷重が急激に低下するのに対し、連続陰極チャージ試験では荷重の低下が遅いという違いが認められた。また、高圧水素ガス中および連続陰極チャージ SSRT 試験での破断後試験片の側面観察を実施した。その結果を図 6 に示す。高圧水素ガス中試験では、大きなき裂発生は破断発生部しか認められなかったのに対し、連続陰極チャージ SSRT では破断部以外にも大きな亀裂発生が認められた。これらのことから、連続陰極チャージではき裂が長くなると、水素チャージする際に発生する水素ガスがき裂内に滞留し、水素発生反応が抑制され、き裂先端への水素の供給が遅くなることが考えられる。そのため、き裂はある深さまで成長すると成長速度が低下し、他の部位でき裂が発生点成長を始め、大きな亀裂が増加する。試験片内部き裂先端には試験片表面に近いき裂開口部付近から鋼中に侵入した水素が拡散により集積することで水素脆化は発生できるため、き裂の成長は続くが、水素脆化の度合いはわずかに小さくなると推測される。図 7 に試験中の水素ガス発生状況の観察結果を示す。矢印で示すき裂発生部分から水素の泡が生成していることが確認できた。き裂内部で水素ガスが発生していることを示唆しており、このガスが水素チャージを阻害していると推測される。

以上の結果から、室温～ 85°C の領域では、連続陰極チャージ SSRT 試験により、高圧水素ガス中 SSRT 試験と同等の結果が得られることが明らかとなった。しかし、破壊現象は完全に同一ではなく、き裂が成長し長くなると、陰極チャージ法ではき裂成長速度が低下すると推測された。高圧水素インフラでは、SSRT 試験は、変位-応力曲線が最高荷重を示した後に破断すれば使用可能と判断される。本検討では連続陰極チャージ試験において最高荷重点を示す変位量ではき裂発生しないことを確認している。また、松永らは、高圧水素チャージ法でもき裂発生は最高荷重点を示す変位以降であることを明らかとしている。そのため、陰極チャージ法は高圧水素ガス中試験と完全には同一ではないが、高圧水素インフラに対する素材の適用可否判断は高圧水素ガス中試験法と同等に評価可能であると考えられる。(○)

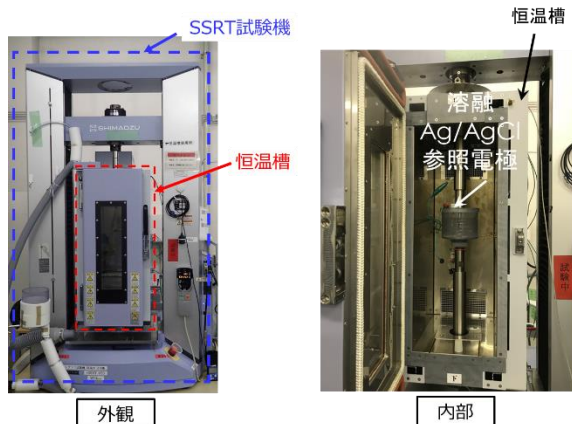


図 4 連続陰極チャージ SSRT 試験設備構成

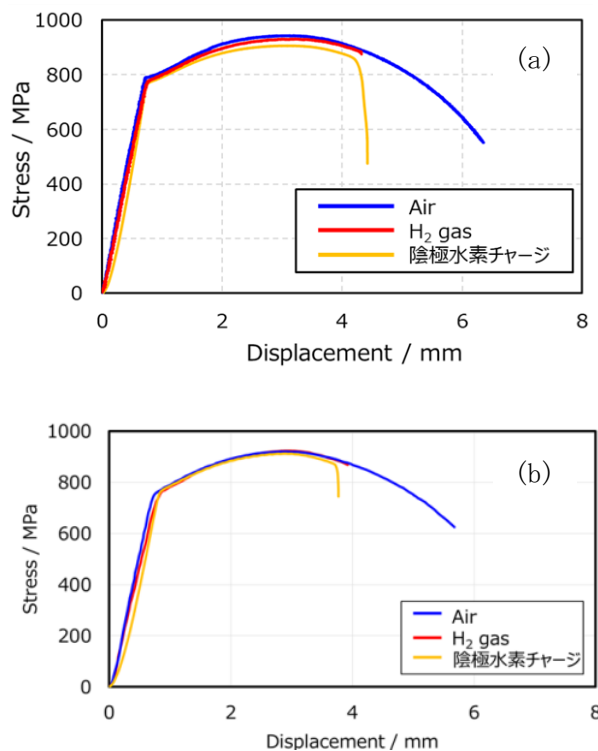


図 5 連続陰極チャージ SSRT で得られた変位-応力曲線と大気中および高圧水素ガス中で得られた結果の比較 (a) 室温 (b) 85°C

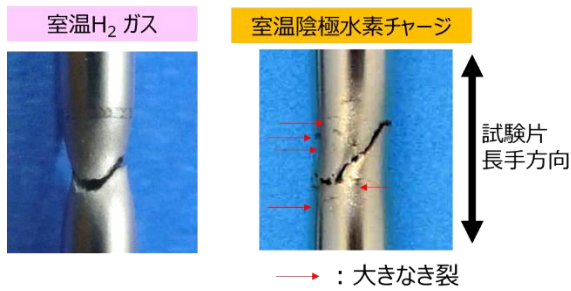


図6 破断後の高圧水素ガス中試験片と連続陰極充電試験片の外観

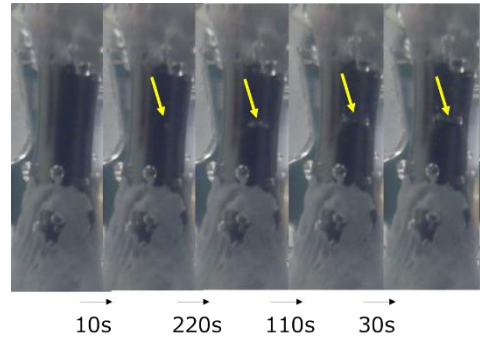


図7 連続充電試験中の表面観察結果 (黄色矢印：試験中に発生したき裂)

(3) 連続陰極水素充電法による疲労試験方法の確立

連続陰極水素充電疲労試験は、既存の疲労試験機の試験片に陰極水素充電用セルを取り付けて実施した。試験状況を図8に示す。この試験機を用いて、連続陰極充電疲労試験を実施している。現在までに得られた結果を図9に示す。低サイクル域においては、連続陰極充電疲労試験での寿命は大気中と比較して短時間かしており、水素による特性劣化が認められた。今後、特に高サイクル域での大気中および連続陰極充電疲労試験結果を拡充する。合わせ高圧水素ガス中疲労データも採取する。

高圧水素インフラでは、疲労試験は、高圧水素ガス中での疲労限が大気中と大きく変化しないことで、使用可能と判断される。従来知見では、高圧水素ガス中の 10^6 の高サイクル疲労領域では疲労寿命に及ぼす水素の影響はほとんどないことが確認されている。前節で示した通り、き裂発生以前では高圧水素充電と陰極水素充電で同等の結果が得られているため、き裂発生の無い、もしくは小さな停留き裂しか存在しない高サイクル域では、連続陰極水素充電疲労試験結果は高圧水素ガス中疲労試験結果とほぼ一致すると推測され、疲労試験においても連続陰極充電疲労試験方法は高圧水素インフラ材料の適用可否判断が可能であると期待される。(△)



図8 連続陰極充電疲労試験機の外観

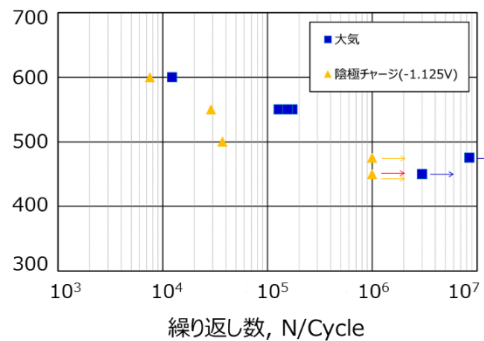


図9 大気中および連続陰極水素充電での疲労試験結果の比較

(5) 水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定

規準化案策定のために、まず、異なる機関でも試験条件を合わせれば同様の結果が得られることを確認するため、室温の連続陰極充電 SSRT 試験のラウンドロビンテストを JFE スチール(株)、東京電機大学、第3者機関、の3機関で実施した。その結果を図10に示す。3機関で変位-応力曲線はほぼ一致し、同一条件では試験機関によらずほぼ同一の結果が得られることを確認した。連続陰極水素充電疲労試験についても JFE スチール(株)と東京電機大学でラウンドロビンテストを実施中である。

連続陰極水素充電試験方法の規準化案は、SSRT 試験および疲労試験方法そのものは従来の大気中試験法に基づいて実施しているため、規準化案は陰極水素充電の条件について作成する。(○)

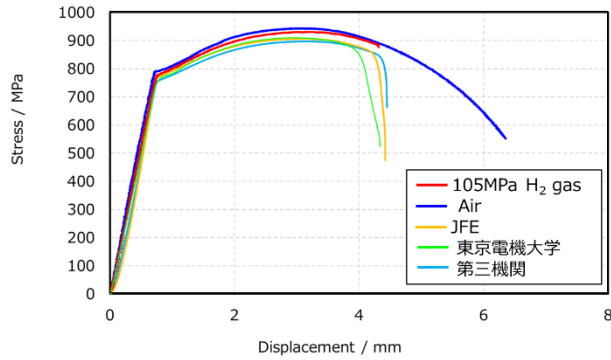


図 10 室温連続陰極水素チャージ SSRT 試験のラウンドロビンテスト結果

3. 2 成果の意義

連続陰極水素チャージ材料試験方法を確立することにより、高圧水素ガス環境中試験で課題となっている試験設備費（数億円）、試験技術者の限定（高圧ガス取り扱い資格および管理）、試験稼働日の制限（年 1 回 1～2 か月の定期点検による停止）を大きく改善できる。具体的には、試験設備費は数千万円であり、試験技術者および試験稼働日の制限がなくなる。これにより、例えば 20 日以上かかる 200 万回越えの疲労寿命試験も可能となる。

3. 3 開発項目別残課題

本事業終了（2021 年 2 月）までに低温での連続陰極水素チャージ SSRT 試験と高圧水素ガス中との比較、疲労寿命試験のデータ拡充による連続陰極水素チャージ疲労試験と高圧水素ガス中疲労試験との比較、連続陰極水素チャージ疲労試験のラウンドロビンテスト、陰極チャージ法の規準化案策定を完了見込みであり、残課題はない見込み。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

連続陰極水素チャージにより、105MPa 水素中と同等の水素をチャージできる条件を見出した。その条件を用いて連続陰極水素チャージ SSRT 試験および疲労試験を行う試験機構成を示した。また、実際に試験を行うことにより、高圧水素ガス中の試験結果との比較を行った。SSRT 試験では室温および 85℃で高圧水素ガス中試験と連続陰極水素チャージでほぼ同等の変位-応力曲線を得たが、き裂が長くなった際のき裂進展および破壊について相違があると推測された。連続陰極水素チャージ疲労試験では低サイクル領域で大気中よりも寿命が短い傾向が明らかとなった。室温連続陰極水素チャージ SSRT 試験のラウンドロビンテストを 3 機関で行い、同等の結果を得た。

今後の課題は 2021 年 2 月までに、低温での連続陰極水素チャージ SSRT 試験と高圧水素ガス中との比較、疲労寿命試験のデータ拡充による連続陰極水素チャージ疲労試験と高圧水素ガス中疲労試験との比較、連続陰極水素チャージ疲労試験のラウンドロビンテスト、陰極チャージ法の規準化案策定を完了させる。

実用化に対しては、本プロジェクトで得られた結果に基づいた考え方について、学会・論文等を通じて広く関係者と議論し手法の認知拡大取り組みを行うとともに、基準化案をブラッシュアップし、将来の規準化検討につなげる。

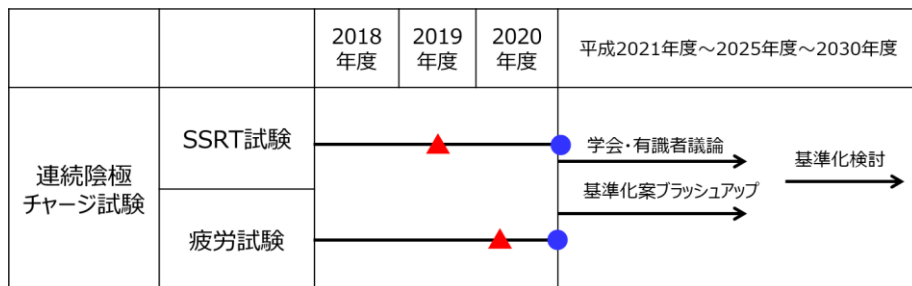


図 11 本手法の実用化方向性

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年3月	日本鉄鋼協会	Comparison of SSRT between H ₂ gas and concurrent cathodic hydrogen charging environments	JFE ○野崎彩花・長尾彰英・石川信行, 東京電機大 齋藤博之・辻裕一
2	2020年11月	日本高圧力技術協会	連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用低合金鋼の耐水素性評価	JFE 西原佳宏,野崎彩花,岡野拓史,高木周作

—特許等—

該当なし

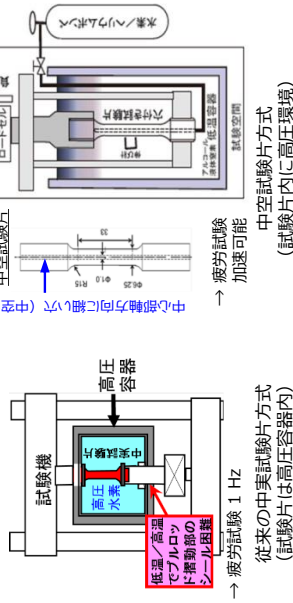
(1-2-3)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／中空試験片 高压水素中材料試験法規格化のための研究開発」

委託先：国立研究開発法人物質・材料研究機構

●成果ガリ（実施期間：2018年度～2022年度予定）

- 計画通りに、低ひずみ速度引張試験（SSRT）の中空試験片形状のうち、内表面仕上げ条件を確定し、内径／外径寸法の許容範囲を確認した。
- 中空試験片高压水素中低ひずみ速度引張試験（SSRT）法の原案と解説案を作成し、2020年度末に高压力技術協会に提案する予定。英文案をISOに提案した。
- 中空試験片の高压水素中疲労試験法案作成のための、中空疲労試験片の作製と試験周波数等の疲労試験条件について確認した。

●背景/研究内容・目的



●研究目標

実施項目	目標
(I) 中空 SSRT	<ul style="list-style-type: none"> ① 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究（2020年度） ② 中実試験片との相関確認（2020年度） ③ 規格化に向けた調査研究（2020年度）
(II) 中空 疲労	<ul style="list-style-type: none"> ① 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発（2022年度） ② 中実試験片との相関確認（2021年度） ③ 規格化に向けた調査研究（2022年度）

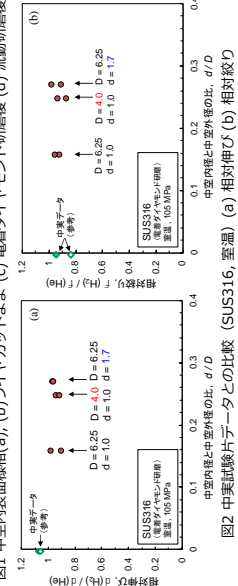
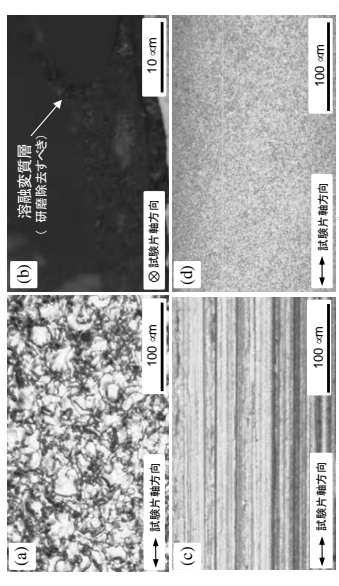
（再委託）
物質・材料研究機構（実施項目(I)(II)）
仙台高等専門学校（実施項目(I)-①の一部）

●これまでの実施内容／研究成果

- (I) 中空 SSRT
 - 中空内表面仕上げ状態の異なる中空試験片でSSRTを実施し、中実試験片データと比較した結果、中空内表面は原則として研磨仕上げとすることを確定した（図1参照）。
 - 内径／外径寸法の異なる中空試験片でSSRTを実施し、中実試験片データと比較した結果、中空試験片平行部の外径は原則として4～8mmの範囲、内径は1mm～2mmの範囲とする目安がわかった（図2参照）。
 - 中空試験片高压水素中低ひずみ速度引張試験（SSRT）法の原案と解説案を作成。
- (II) 中空疲労
 - 105MPa水素ガスを中空に封入した上で室温、10Hzで引張・圧縮疲労試験を実施し、中空試験片による疲労試験への適用可能性を確認した。

●今後の課題

- 中空試験片形状の許容範囲は、低温データに基づいた検証も行った上で決定する必要がある。
- 疲労試験では、中実試験片データとの比較を行うとともに、繰り返し速度の影響等検証するためのデータ取得・蓄積が重要。
- 実用化・事業化の見通し
ISOに提案した中空試験片SSRTは2023年に制定される見込み。
2020年度末にHPIに原案を提出、和文案は2022年に制定見込み。



●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(I)-①	中空試験片について、内面仕上げ条件を確定し、内径／外径寸法の許容範囲、ならびに試験条件を確認	○
(I)-②	中空と中実間のデータの相関関係を明確化	○
(I)-③	中空試験片高压水素中SSRT法の規格案をISOとHPI(予定)に提案	○
(II)-①,②,③	中空疲労試験法の試験条件を確認	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	9	0

課題番号： 1-(2)-③

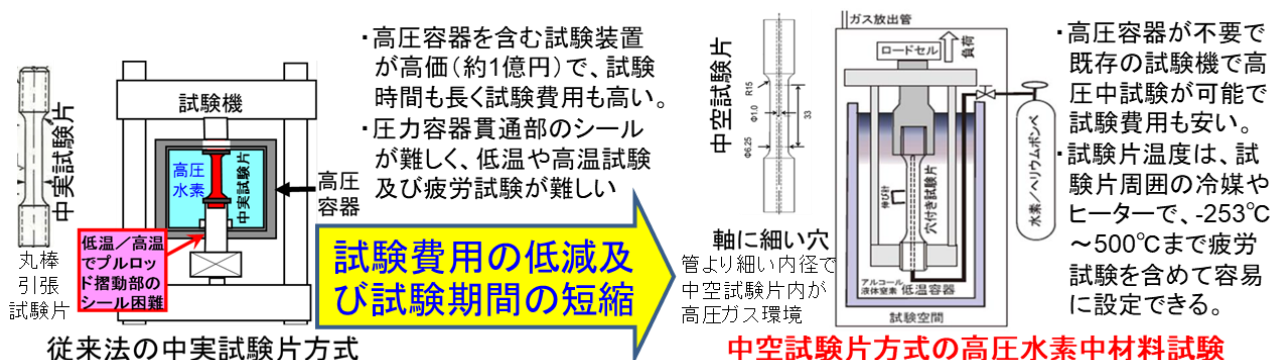
研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／中空試験片高压水素中材料試験法規格化のための研究開発」

実施者：国立研究開発法人 物質・材料研究機構

1. 研究開発概要

水素ステーション事業の自立化に向けたさらなるFCVの導入支援と合わせてステーション整備費、運営費、更には水素調達コストの低減に係る技術開発が重要となる中で、高压水素中で使用可能な鋼材の普及に必要な材料特性評価に関わる試験機が高額な上、疲労試験では試験片1本のデータ取得に数か月を要することが課題となっている。これまでの研究で、従来の方法に代わる簡易な試験方法が示唆されデータ取得を行ってきたが、代替法としての確立までには至っていない。

高压水素環境中の低ひずみ速度引張試験(SSRT)と疲労試験費用の低減及び試験期間の短縮のために、簡易な標準試験方法として中空試験片高压水素中材料試験法を確立する。



2. 研究開発目標

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(I) 中空 SSRT 法	
①試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	ラウンドロビンテスト (RRT) を行い、再現性を確認する(2020年度)。 中空試験の簡素化を図る(2022年度)。
②中実試験片高压水素中材料試験との相関に関する研究開発	中空・中実試験片方式間の相関関係を明らかにする(2020年度)。
③規格化に向けた調査研究	規格案を作成する(2020年度)。 簡素化附属書案を作成する(2022年度)。
(II) 中空疲労	
①試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	保持時間や繰返し速度等の影響評価を行い、中空試験片による疲労試験条件を確定する(2022年度)。
②中実試験片高压水素中疲労試験との相関に関する研究開発	中空・中実試験片方式間の相関関係を明らかにする(2021年度)。
③規格化に向けた調査研究	中空試験片高压水素中疲労試験法の規格案を作成する(2022年度)。

表 2-1 (I) 中空 SSRT 法に関する事業項目と実施計画線図

試験	事業項目	2018年度				2019年度				2020年度				2021年度(参考)				2022年度(参考)			
		第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
(I) SSRT	①中空試験片高圧水素中材料試験法の試験片及び試験条件の標準化に関する研究開発 ・中空SSRT試験片形状の最適化 -中空SSRT試験片内面仕上げ方法 -中空SSRT試験片の内径と外径の検討 ・試験条件の最適化(ひずみ速度等) ・中空試験方式SSRTラウンドロビンテスト																				
	②中空試験片高圧水素中材料試験と中実試験片高圧水素中材料試験の相関に関する研究開発																				
	③中空試験片高圧水素中材料試験法の規格化に向けた調査研究 ・中実試験片方式SSRT試験、中空試験片方式SSRT試験に関する既研究の調査 ・FEM応力解析 ・委員会組織(タスクフォース)の設置 ・中空SSRT試験規格原案の作成 ・中空SSRT試験解説書案・附属書案の作成																				

表 2-2 (II) 中空疲労試験法に関する事業項目と実施計画線図

試験	事業項目	2018年度				2019年度				2020年度				2021年度(参考)				2022年度(参考)			
		第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
(II) 疲労	①中空試験片高圧水素中材料試験法の試験片及び試験条件の標準化に関する研究開発 ・中空試験片疲労試験法標準化の検討 -中空疲労試験片の内面仕上げの検討 -試験条件(繰返し速度と保持時間の影響)検討 ・標準試験方法/試験条件の決定 -中空疲労試験片試験条件の最適化 ・中空試験方式疲労ラウンドロビンテスト																				
	②中空試験片高圧水素中材料試験と中実試験片高圧水素中材料試験の相関に関する研究開発																				
	③中空試験片高圧水素中材料試験法の規格化に向けた調査研究 ・中実試験片方式疲労試験、中空試験片方式疲労試験に関する既研究の調査 ・委員会組織(タスクフォース)の設置 ・中空疲労試験規格原案の作成																				

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 中空 SSRT 法

(1)–① 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発

a. 内面処理条件の確定

中空試験片の試験片形状のうち、中空内面処理条件を確定するため、以下の内面処理条件および SSRT の試験条件を設定して評価を行った。図 1 は、本研究開発で用いる中空 SSRT 試験片の基本形状である。

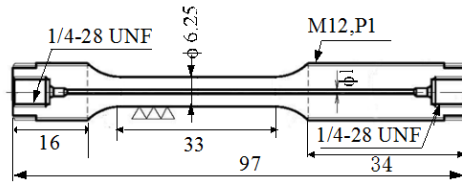


図 1 中空 SSRT 試験片の概要と寸法 (単位: mm)

i. 内面処理 3 条件:

- A) Ra : 1.5 μm 狙い ワイヤカット仕上げ
- B) Ra : 0.3 μm 狙い 電着ダイヤモンド縦研磨 (電着研磨)
- C) Ra : 0.02 μm 狙い 流動粉を用いた鏡面仕上げ (流動研磨)

※なお、全ての内面処理条件において目標の Ra は達成されていた。

ii. 試験条件

- 試験温度 3 条件: ㉞ -80°C ㉟ -45°C ㊱ 室温
- 試験材料 2 鋼種: SUS316L (A)B)×㉞㉟㊱) SNCM439 (A)B)C)×㉟㊱)
各材料の化学成分と熱処理は、以下の通りである。
 - SUS316L (JIS G 4304:2015 30 mmt, Ni 当量 26.8 %) *1
化学組成 (mass%) 0.018C-0.62Si-0.83Mn-12.11Ni-17.49Cr-2.09Mo
最終熱処理条件 1120°C-4 min → 水冷
 - SNCM439 (JIS G 4053 30 mmt) *1
化学組成 (mass%) 0.39C-0.22Si-0.79Mn-0.016P-0.002S-1.8Ni-0.84Cr-0.26Mo
熱処理条件 焼入れ 850°C×2 hr → 油冷 焼戻し 640°C×4 hr → 空冷
- ガス 2 種類: 水素 (H₂) とヘリウム (He) ガス (圧力 105 MPa)
- N 数 各条件 3 本: 中空試験片 試験数 全 72 本
- 初期ひずみ速度 : 5 × 10⁻⁵/sec
(「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」の事業の試験条件と整合)

*1 事業間連携として、取得データを共有し活用するため、「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で使用している SUS316L と、平成 25 年度～平成 29 年度に「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」で使用・評価された SNCM439 を用いた。

この SNCM439 では、中実試験片を用いた室温、-45°C での水素ガス環境 SSRT において、応力-変位線図で極大値を示すことが確認されている。

図 2 は、内面処理を施した SNCM439 の中空 SSRT 試験片の内表面の拡大写真を示す。ワイヤカット仕上げ (a) では、熔融加工に伴って形成された凹凸が見られる。試験片軸方向に対して垂直な断面について組織観察を行った結果、内表面には熔融変質層が観察された (b)。硬さ測定の結果より、熔融変質層は内部に比べて高硬度であった。ワイヤカットにおいて表面が高温に曝され、その後急冷されることを考えると変質層の組織は焼入れままのマルテンサイトと推察される。一方、電着ダイヤモンドで研磨した試験片では、試験片軸方向に平行に、すなわち研磨方向に沿った筋状の跡が観察された (c)。同試験片では、研磨によって熔融変質層が除去されていた。流動研磨仕上げした試験片では、表面は

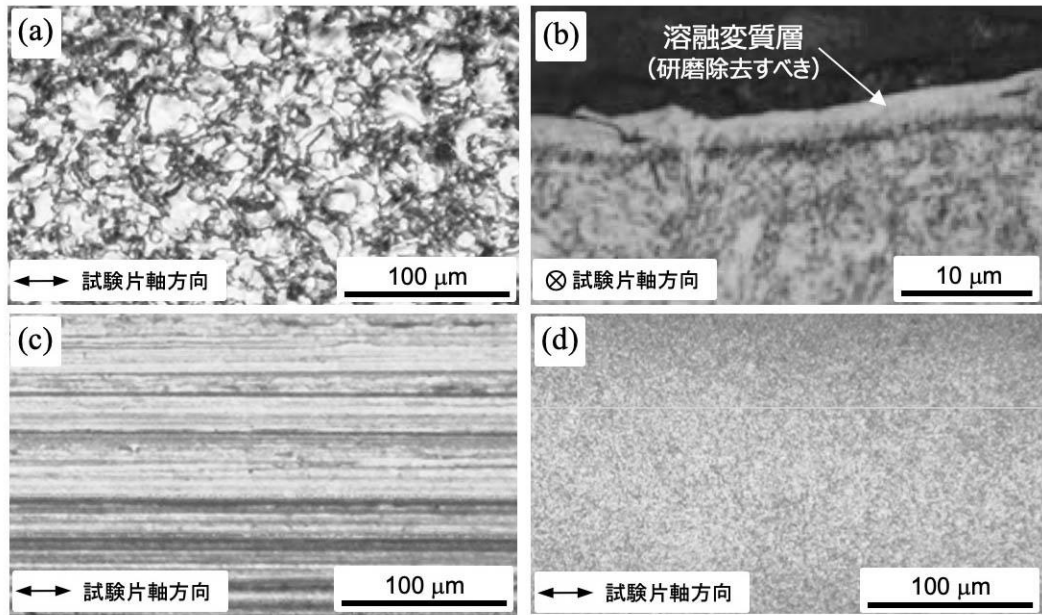


図 2 SNCM439 中空試験片内表面様相
(a), (b)ワイヤカット (c) 電着ダイヤモンド縦研磨後 (d) 流動研磨後

非常に滑らかであり、表面粗さは最も小さくなっていた (d)。同試験片でも、研磨によって熔融変質層が除去されていた。SUS316L でワイヤカット仕上げを行った場合には、内表面には熔融変質層は確認されなかった。これはワイヤカットにおいて表面が高温に曝されても急冷されることによって再度オーステナイト組織が得られるためと考えられる。

中空そのものの影響を検討するために、中空試験片の 105 MPa ヘリウム環境での応力-変位曲線と中実試験片 (外径 $\phi 6.25$ mm, 平行部長さ 33 mm) の応力-変位曲線を比較した。環境は室温大気中あるいは低温アルコール中であり、その結果を図 3 に示す。SUS316L(a) では、中空試験片の内表面の仕上げにかかわらず、また、 -80°C ~室温においては温度にかかわらず、中実試験片とほぼ同等の応力-変位曲線および引張特性が得られることを確認した。一方、SNCM439(b)においては、中空試験片の 105 MPa ヘリウム環境では、中実試験片より伸びが小さくなっており、形状 (中空) の影響が確認された。この結果は図 14 に示す FEM 解析結果でも確認されている。なお、SNCM439 でも中空試験片の内表面の仕上げによる大きな違いは無い。

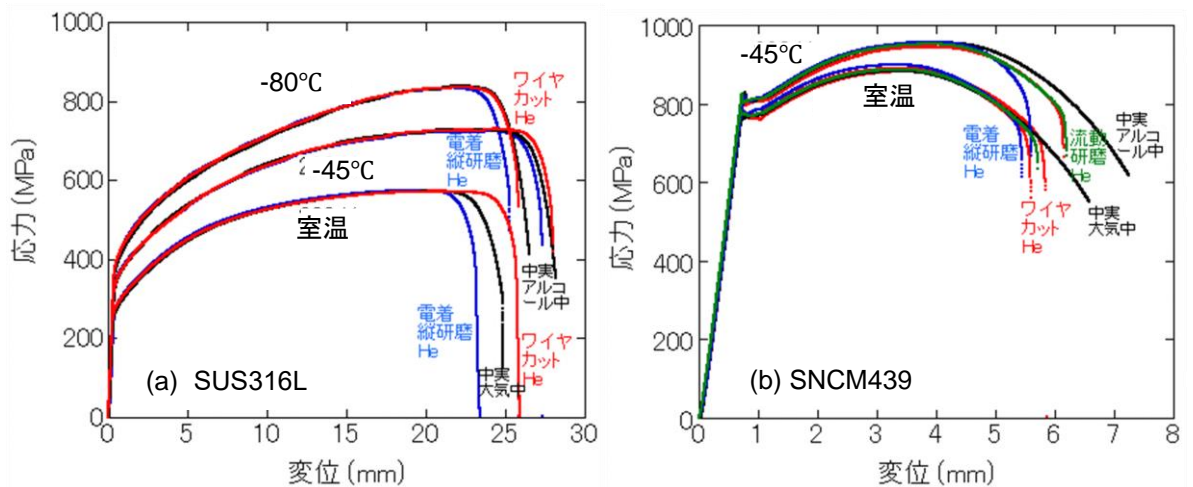


図 3 中空試験片 (105 MPa ヘリウム中) と中実試験片 (室温大気中あるいは低温アルコール中) の応力-変位曲線の比較
(a)SUS316L (試験温度: 室温、 -45°C 、 -80°C) , (b)SNCM439 (試験温度: 室温、 -45°C)

図4は、中空内面処理が異なる SUS316L について、105 MPa ヘリウム環境ならびに水素環境で得られた応力-変位曲線を比較したものであり、室温(a)と-45°C(b)の結果を示している。なお、参考のために室温大気中あるいは低温アルコール中で取得した中実試験片（外径φ6.25 mm、平行部長さ 33 mm）のデータも示している。室温では、中空内表面仕上げの違いにかかわらず、伸びと絞りに大差はなく、水素環境ですら中実と同等の特性が得られている（図5(a)、図6(a)参照）。一方、-45°Cでは、ヘリウム環境では中空内表面仕上げの違いにかかわらず、伸びと絞りに大差は無く（図5(b)、図6(b)参照）、中実とほぼ同等の特性が得られている。しかし、水素環境では、中空内面仕上げの違いによらず早期破断が生じている。

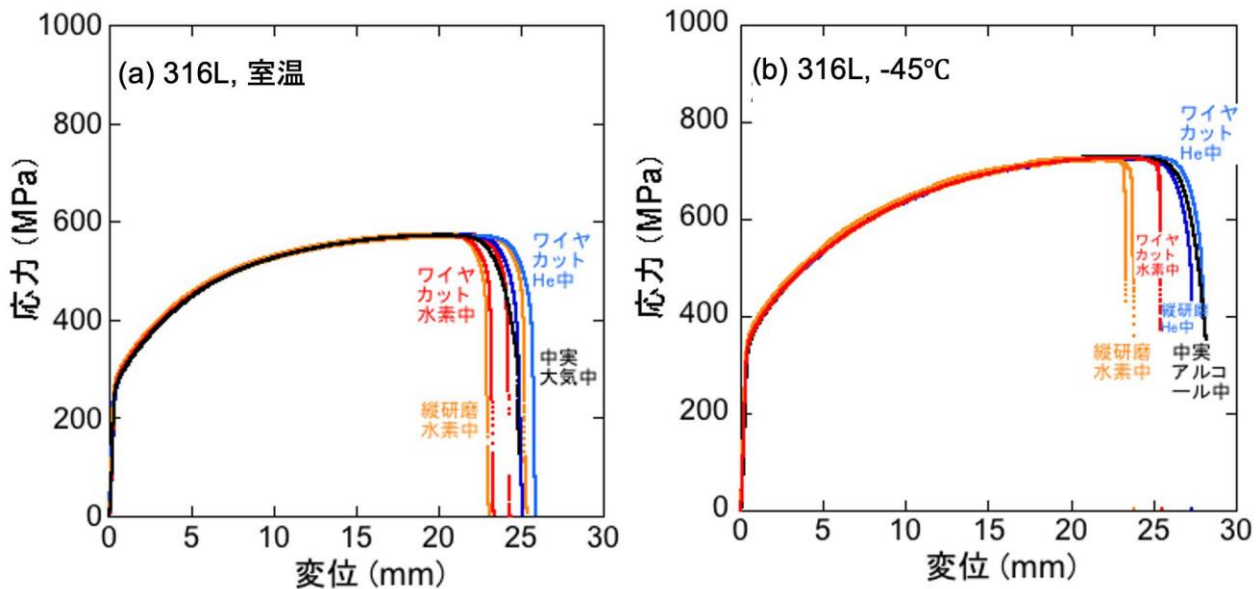


図4 SUS316L の応力-変位曲線に及ぼす内表面仕上げ条件の影響 (a)室温 (b)-45°C

図5は、図4に示した SSRT より得られた伸びと相対伸びの室温(a)と-45°C(b)の結果を示す。参考のために中実試験片のデータも示している。室温では、中空内の環境ならびに中空内面処理条件によらず中実試験片とほぼ同じデータが得られている。一方、-45°Cでは、応力-変位線図（図4(b)）で見られたように、ヘリウム環境では中実試験片と同等の伸びが得られるが、水素環境では中空試験片の伸びが若干小さくなり、その結果、相対伸びも小さくなっている。この理由は、図15に示す FEM 解析結果をもとに検討している。

図6は、図4に示した SSRT より得られた絞りと相対絞りの室温(a)および-45°C(b)の結果を示す。参考のために中実試験片で得られたデータも示す。室温では、伸びと同様に中

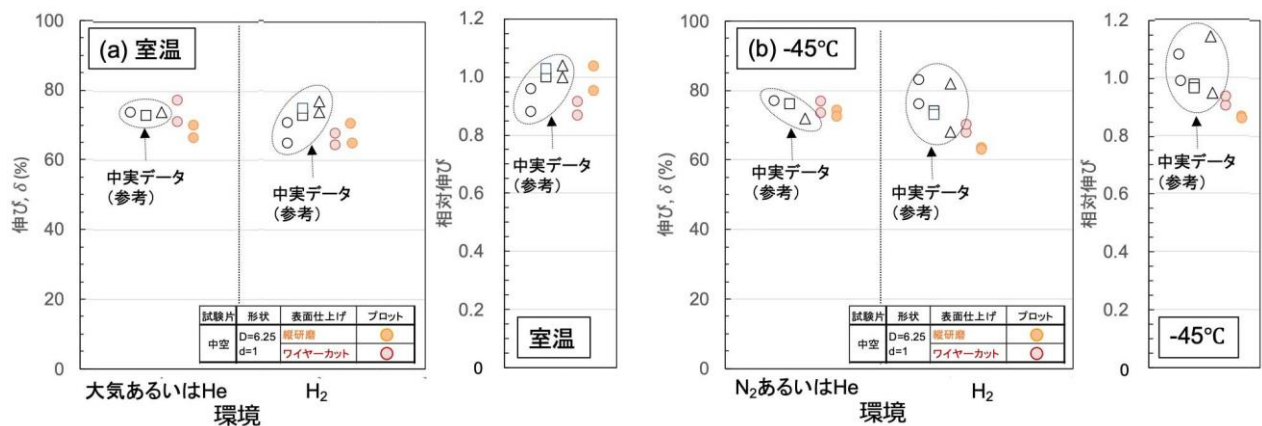


図5 SUS316L の伸びと相対伸び (a) 室温、 (b) -45°C
中実データは「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で取得されたデータである。

空内の環境ならびに中空内面処理条件によらず、中実試験片とほぼ同じデータが得られている。ただし、 -45°C 、ヘリウム環境では中実試験片に比べて絞り小さくなっていることから、中空試験片では形状（中空）の影響により、中実試験片に比べて絞り小さくなり、低温ほどより小さくなる傾向があるようである。 -45°C 、水素環境では中空試験片の絞り小さくなっており、その結果相対絞りも小さくなる傾向にある。すなわち、低温では中空試験片の方が中実試験片に比べて厳しめの評価になっている。この理由は、図 15 に示す FEM 解析結果をもとに検討している。なお、SUS316L ではワイヤカット仕上げと電着研磨仕上げにおいて有意差は認められなかった。これは、SUS316L ではワイヤカット仕上げでも、溶解に伴って内表面に変質層が形成されないことと関係していると推察される。

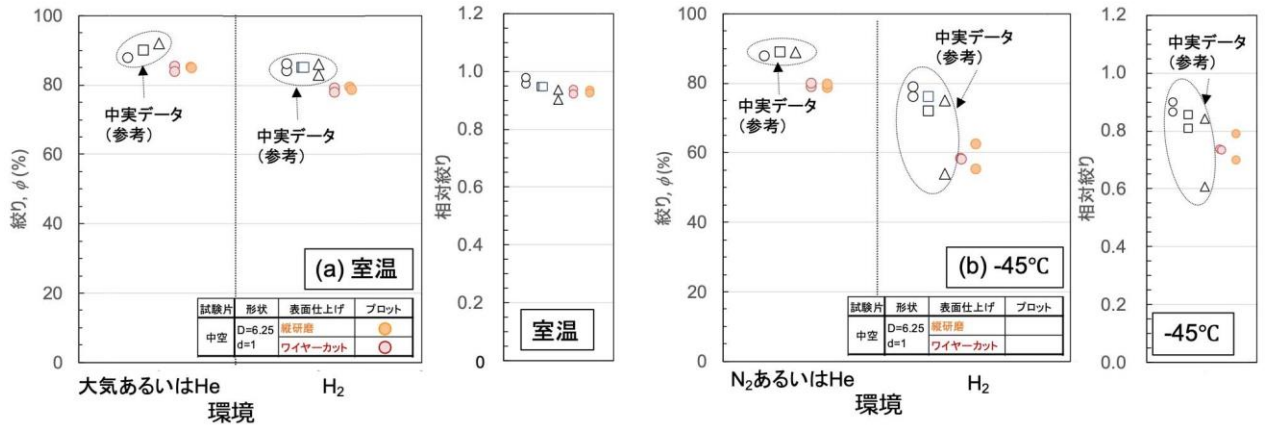


図 6 SUS316L の絞りと相対絞り (a) 室温、(b) -45°C
 中実データは「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で取得されたデータである。

「JPEC-TD 0003(2017) 水素スタンドで使用される低合金鋼製蓄圧器の安全利用に関する技術文書」では、蓄圧器に使用する低合金鋼では、水素ガス環境の応力-変位曲線において、極大値を示すことが重要とされている。図 7 は、各内面処理条件における SNCM439 の応力-変位曲線である。室温 (300 K) では、内面処理条件によらず、水素ガス環境で極大値を示した上で破断している。一方、 -45°C (228 K) では、ワイヤカット (a) と電着研磨 (b) は加工硬化過程で破断しており、それらの有意差は認められない。一方、流動研磨では極大値近傍で破断している。また、図 9 に示す電着研磨した SNCM439 の応力-変位曲線では、 -45°C でも極大値付近まで変形した後で破断している。

以上の内表面処理条件の異なる中空試験片を用いた結果において、SUS316L および SNCM439 ともに室温では中実試験片と同等の評価ができたものの、低温では中実試験片に比べて厳しめの評価になることが判明した。この点については図 15 に示す FEM 解析結果

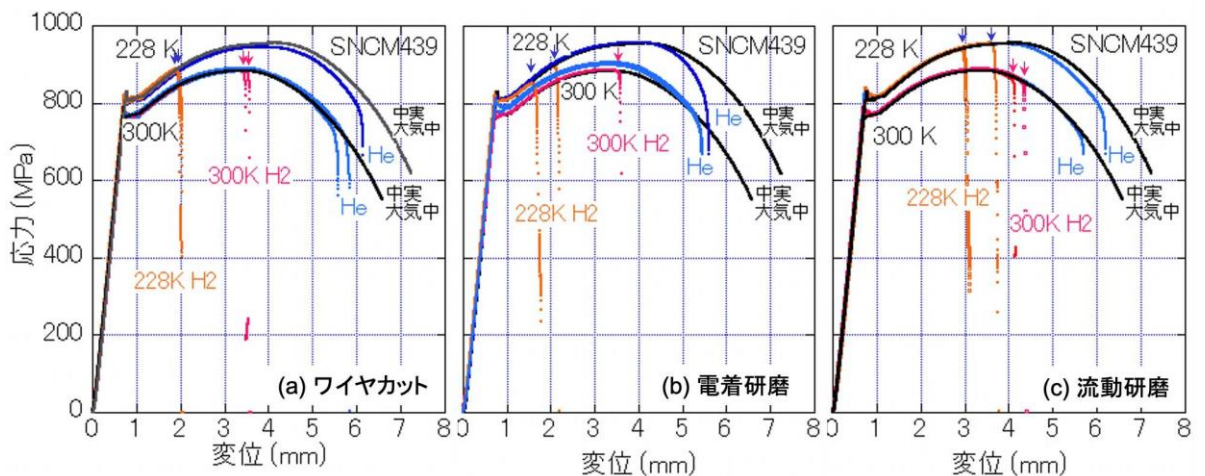


図 7 各内面処理条件における SNCM439 の室温 (300 K) と -45°C (228 K) での応力-変位曲線
 (a) ワイヤカット (b) 電着研磨 (c) 流動研磨

をベースに引き続き検討していく。なお、中空試験片を用いた高圧水素環境 SSRT を行う場合には、（中空形状の加工方法にもよるが、）ワイヤカットによって内表面形成される溶融変質層の影響を除去するために、電着研磨、流動研磨等の研磨を行う必要がある。○

b. 平行部外径と中空内径の許容範囲の決定

以下の試験条件を設定し、図 1 の試験片の内径と外径を変えて評価を行った。

- ・ 平行部外径／内径 3 条件：
 - ① 外径 (D) 6.25 mm, 内径 (d) 1.0 mm $d/D=0.16$
 - ② 外径 (D) 6.25 mm, 内径 (d) 1.7 mm $d/D=0.27$
 - ③ 外径 (D) 4.0 mm, 内径 (d) 1.0 mm $d/D=0.25$
- ・ 内面仕上げ条件は電着ダイヤモンド研磨仕上げとし NIMS で実施。
電着ダイヤモンドワイヤによる研磨後の Ra は 0.5 μ m 以下であることを確認。
- ・ 試験温度 3 条件の内の 2 条件： ㉞ -80 $^{\circ}$ C ㉟ -45 $^{\circ}$ C ㊱ RT
- ・ 試験材料 2 鋼種： SUS316 (①②③×㉞㉟) SNCM439 (①②③×㉟㊱)
 - SUS316 (20 mmt, Ni 当量 26.6 %) *2
化学組成 (mass%) 0.019C-0.37Si-1.37Mn-11.97Ni-16.32Cr-2.12Mo
最終熱処理条件 1130 $^{\circ}$ C-30 min \rightarrow 水冷
 - SNCM439 (JIS G 4053 30 mmt) *2
化学組成 (mass%) 0.39C-0.22Si-0.79Mn-0.016P-0.002S-1.8Ni-0.84Cr-0.26Mo
熱処理条件 焼入れ：850 $^{\circ}$ C \times 2 hr \rightarrow 油冷 焼戻し：640 $^{\circ}$ C \times 4 hr \rightarrow 空冷
- ・ ガス 2 種類： H₂ と He ガス (圧力 105 MPa)
- ・ 他の試験条件 (ひずみ速度) は a. 内面処理条件の確定と同じ。

*2 事業間連携として、取得データを共有し活用するため、「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で使用している SUS316 と、平成 25 年度～平成 29 年度に「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」で使用・評価された SNCM439 を用いた。

SUS316 について、内径と外径の異なる試験片を用いて 105 MPa 水素あるいはヘリウム環境で SSRT を行った。室温で得られた応力-変位曲線を図 8 に示す。なお、D=4.0 mm の試験片では D=6.25 mm の試験片より試験荷重が低いため、プルロードが弾性変形しない分、同じ応力でもストローク値が小さくなっている（この傾向は図 9 に示す SNCM439 の方が変形量が少ないため明確に分かりやすい）。内径が大きいあるいは d/D が大きい方が、破断までの伸びが小さい傾向で、平行部外径 4 mm で内径 1 mm は d/D が近い外径 6.25 mm で内径 1.7 mm より、伸びが明らかに小さい。この傾向は、ヘリウム／水素環境とも

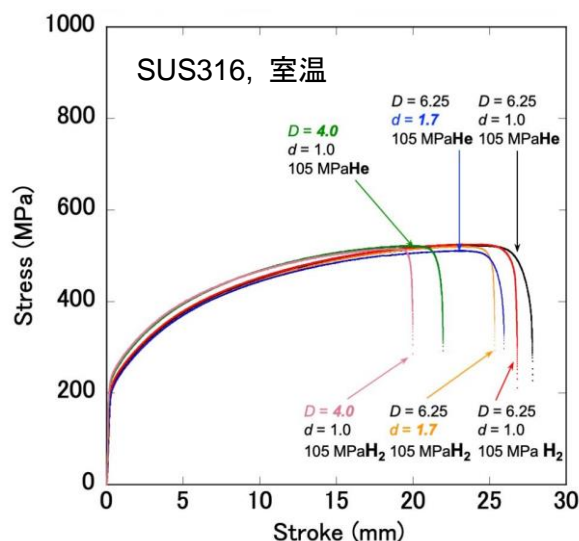


図 8 外径と内径の異なる SUS316 中空試験片の室温、105 MPa ヘリウム／水素環境の応力-変位曲線

と同じである。

図 9 に内径外径の異なる SNCM439 試験片の 105 MPa ヘリウムおよび水素環境における応力-変位曲線を示す。室温(a)と-45°C(b)の結果である。SUS316 の結果と同様に、内径が大きいあるいは d/D が大きい方が、破断までの伸びが小さい傾向にある。この傾向は図 14 の FEM 解析の結果とも合うが、平行部外径 4 mm で内径 1 mm は d/D が近い外径 6.25 mm で内径 1.7 mm より、伸びが明らかに小さい。この理由は現在検討中である。室温では、試験片形状によらず、水素ガス環境で極大値を示した上で破断している。一方、-45°Cでは、水素ガス環境において極大値を示さずに加工硬化過程で破断している。

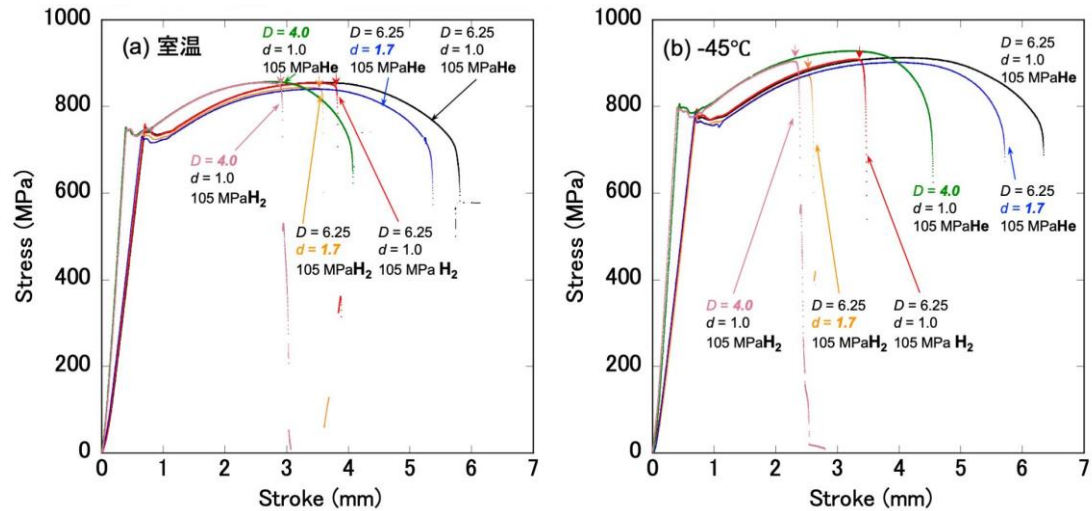


図 9 外径と内径の異なる SNCM439 中空試験片の 105 MPa 水素中とヘリウム中の応力-変位曲線
(a) 室温 (b) -45°C

図 10 に、SUS316 の室温における相対伸び(a)と相対絞り(b)に及ぼす内径/外径の影響を示す。現状評価を行った試験片形状の範囲では、相対伸び、相対絞りについては中空試験片の形状によらず、同様の評価結果が得られている。また、室温の相対伸びと相対絞りについては中実試験片と同等の評価ができていていることが分かる。中空試験片形状の許容範囲については、種々の検討の結果、平行部の外径は原則として 4~8 mm の範囲、内径は 1 mm ~ 2 mm の範囲とする目処があった。今後低温で取得したデータも加えた上で決定していく。ただし、図 5、6 に示す伸び、絞りにおいて、中実試験片と同等の値が得られていることを考慮すると、平行部外径 6.25 mm で内径 1 mm が最も無難で最適と考える。○
また、ラウンドロビンテストでは、同試験片を使用することを想定している。△

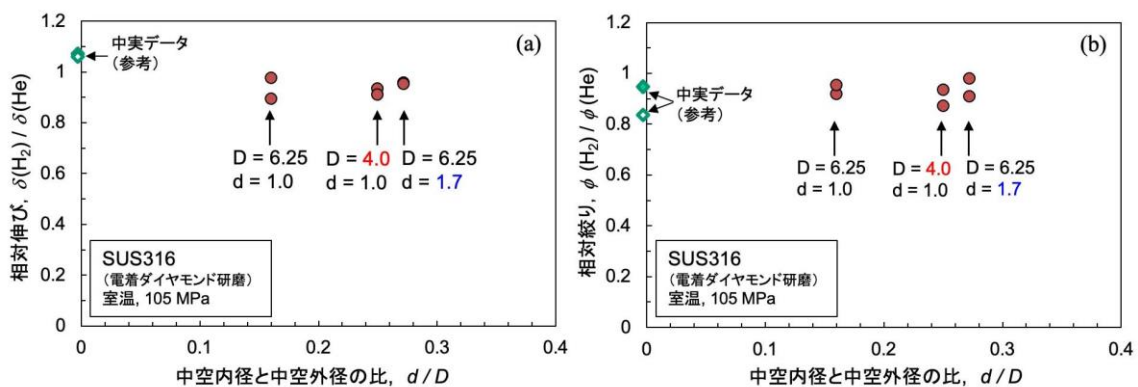


図 10 SUS316 の室温における相対伸び(a)と相対絞り(b)に及ぼす内径/外径の影響

中実データは「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で取得されたデータである。

(1)–② 中空試験片高圧水素中材料試験と中実試験片高圧水素中材料試験の相関に関する研究開発

- ・中空試験片方式 SSRT 試験と中実試験片 SSRT 試験の比較を行うために、中実試験片と同じ試験対象材料を選択し、試験片を実施した。○

(1)–③ 中空試験片高圧水素中材料試験法の規格化に向けた調査研究

a. 中実試験片方式試験、中空試験片方式試験に関する既研究の調査

- ・ NEDO 事業でこれまでに実施されている中実試験片方式 SSRT 試験及び疲労試験について調査し、研究項目②で結果を比較するために、試験対象材料を Ni 当量 26.8% の SUS316L と熱処理条件を揃えた SNCM439 とし、SSRT の初期ひずみ速度を $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とした。
- ・ 中実試験片と中空試験片について引張試験中の大変形弾塑性有限要素法解析を行い、本研究開発で得られた試験データの妥当性を確認した。○
その結果を以下に示す。

コード : Ansys

- 要素モデル : 大変形を考慮した二次元軸対称要素
- 材料モデル : 多直線近似弾塑性モデル
- モデル寸法 : 図 11 にモデル寸法を示す (試験部がくびれるように、図の下端をわずかに細くした)。穴径は $\phi 1.35 \text{ mm}$ とした (図 11 の $X=0.5, 1.75$)。
- 要素サイズ : 試験片中央が変形によりくびれた時に、要素が崩れないように要素を分割した (図 12)。下端部の最小メッシュサイズは X 方向に 0.025 mm 、Y 方向に 0.005 mm とした。
- 拘束条件 : 図 13 に境界条件を示す。上端は Y 方向一様変位として強制変位を負荷した。分布荷重 p (無し or 100 N/mm^2) を先に付与する。内外圧を付与する際、上端の Y 方向変位は拘束しない。
- 負荷 : 変位制御で端面に引張り負荷

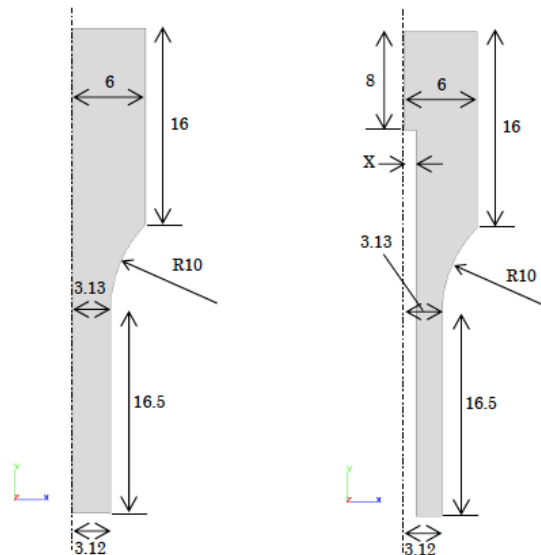


図 11 モデル寸法 (a) 中実モデル (b) 中空モデル ($X=0.5, 1.75$)
(試験部がくびれるように、図下端をわずかに細くした)

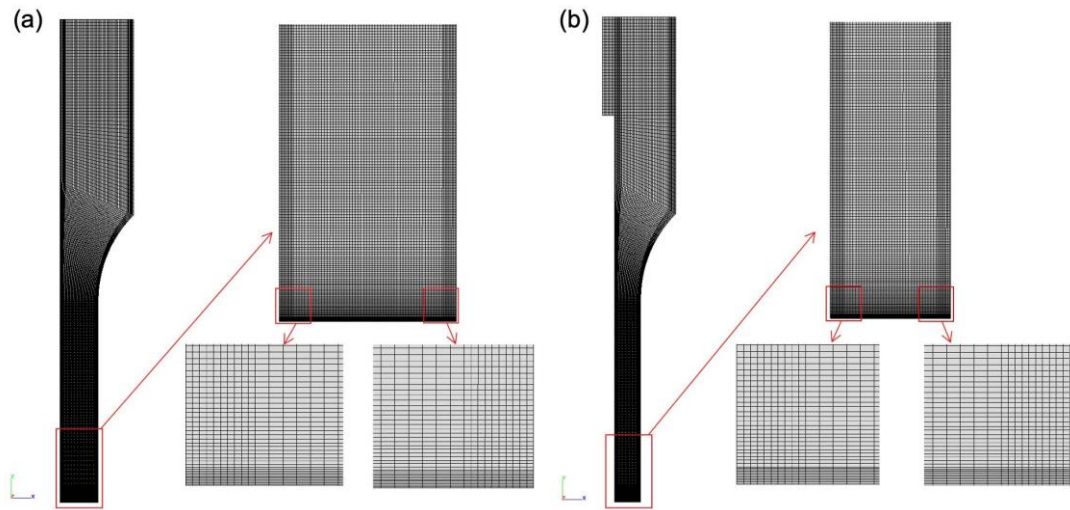


図 12 メッシュ図 (a) 中実モデル (b) 中空モデル ($X=0.5, 1.75$)

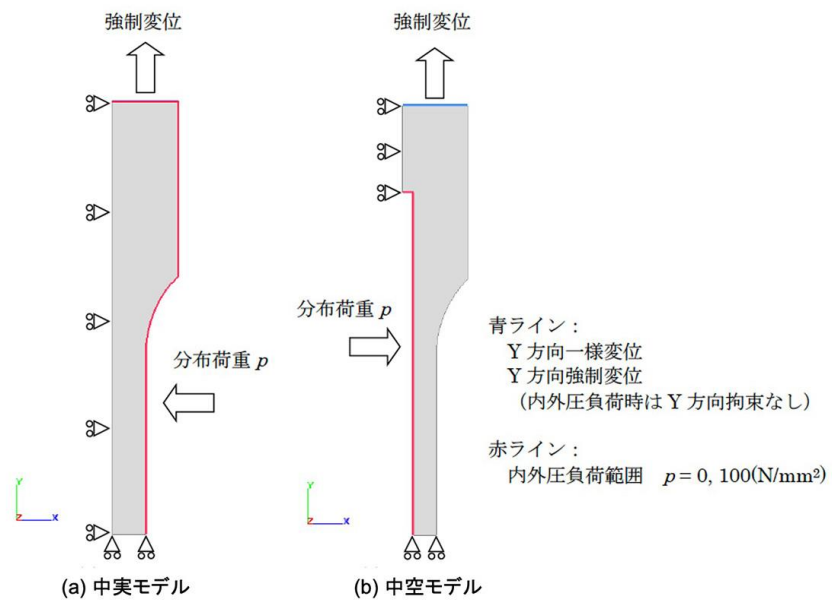


図 13 境界条件 (a) 中実モデル (b) 中空モデル

図 14 には、SNCM439 について、平行部外径が 6.25 mm の中空試験片と中実試験片の引張試験時の大変形弾塑性有限要素法解析を行った結果を示す。内径および圧力の影響で引張強度以降の塑性変形挙動が変化する（ただし、ボイド形成、破壊は考慮されていない）。中空試験片において、内径が小さく、内圧がない場合（ $d=1, p=0$ ）は、中空試験片と中実試験片の応力-ひずみ曲線は殆ど同じであることが分かる。ただし、同じ内径でも内圧がかかった場合（ $d=1, p=100$ ）は、内圧無しに比べて伸びが小さくなることが分かる。これは図 3 (b) に示す試験結果と一致している。また、中空試験片で、内径を大きくした場合（ $d=3.5$ ）には伸びが小さめに出ることを示しており、これは図 9 に示す試験結果と一致する。なお、内径が大きくなる方が、内圧の影響で伸びがさらに短くなる傾向も示している。

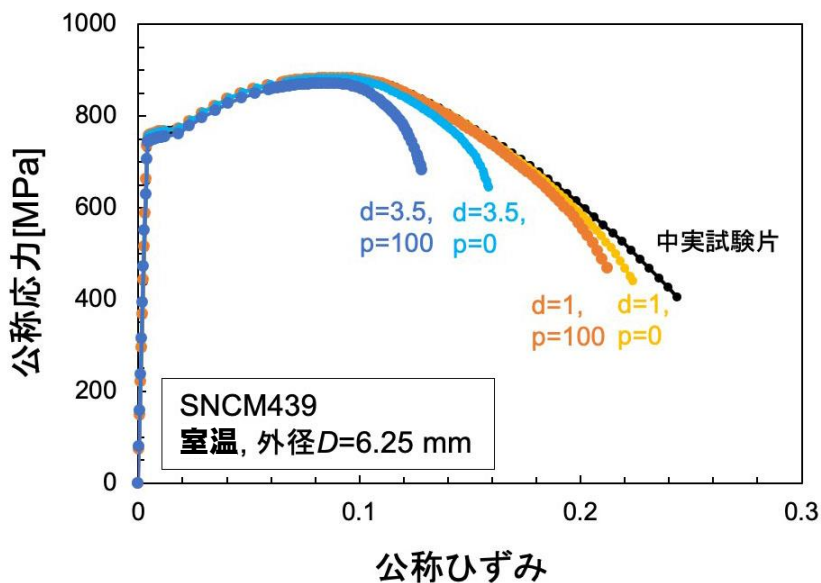


図 14 応力-ひずみ曲線に及ぼす中空内径と内圧の影響の FEM 解析結果 (SNCM439, 室温)

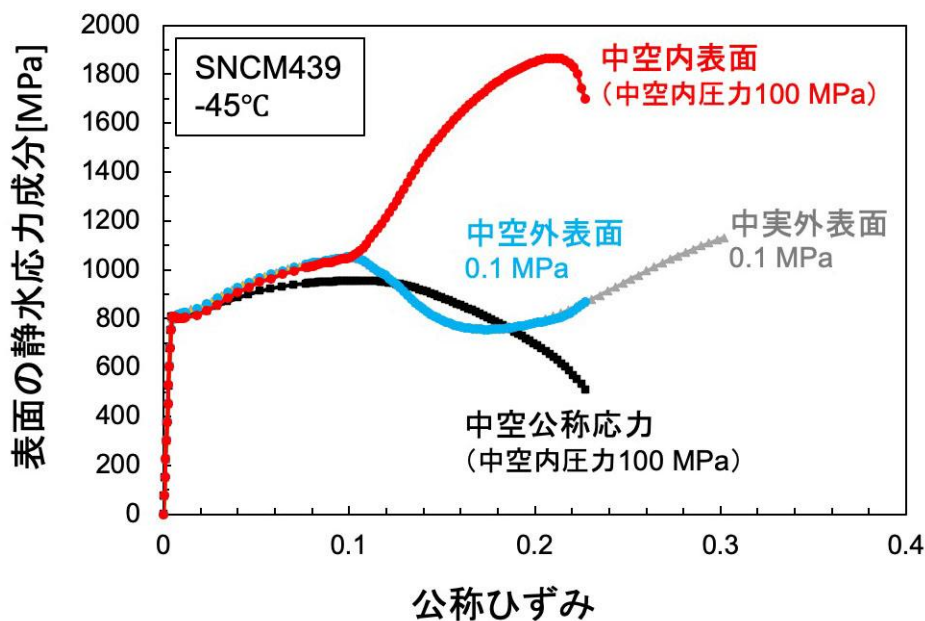


図 15 SNCM439 の-45°Cにおける中空／中実試験片表面の静水応力成分の変化

図 15 には、SNCM439 の-45℃における中空／中実試験片表面の静水応力成分の変化を示している。中空内外表面の静水応力差（赤と青のデータの差）は絞り開始から急激に大きくなり、中空内表面の静水応力は大きい。これに対して、中空、中実試験片の外表面の静水応力分布は同等である。すなわち、この結果より、中空試験片では絞り開始から静水応力がより高くなる中空内表面側に高圧水素環境があるため、外表面に水素環境がある中実試験片よりも厳しい結果（安全側）になると推察される。

b. 委員会組織（タスクフォース）の設立

- ・中空試験片方式 SSRT 試験の規格化に向け、2018 年度に「中空試験片高圧水素中材料試験法規格化検討委員会」（タスクフォース）を立ち上げ、「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」事業と連携するとともに、事業全体の試験方法や試験結果の妥当性を確認した。○

c. 規格原案の作成

- ・2018 年度は、規格原案の骨子を作成し、内面仕上げについての検証結果をもとに、規格には、「中空内部内表面は研磨仕上げとする」と記述することが、タスクフォースで承認された。
- ・2019 年度に、平行部外径と中空内径の影響の検証結果から、「試験片平行部の外径は原則として 4 mm～8 mm の範囲とする。中空部(穴)の内径は原則として 1 mm～2 mm の範囲とする。」と記述することが、タスクフォースで承認され、規格原案を作成した。
- ・2020 年度には、規格原案の解説案を作成した。○さらに、英文原案を ISO に提案した。○

d. 海外調査

- ・中空試験片高圧水素中材料試験法の日本国内における活用と高圧ガスの規制が異なる海外においても中空試験片方式の普及を図るため、2018 年 7 月にチェコで開催された ASME PVP と 2019 年 7 月に米国で開催された ASME PVP とにおいて、中空試験片方式の概要とこれまでに得られているデータおよび規格化に向けての取り組みと得られているデータを発表した。○

(2) 中空疲労試験法

(2)–① 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発

図 16 に示すように、中空疲労試験片と治具を製作し、105 MPa を封入した上で、室温で ± 200 MPa 負荷試験を実施し、中空試験片による疲労試験への適用可能性を確認した。○

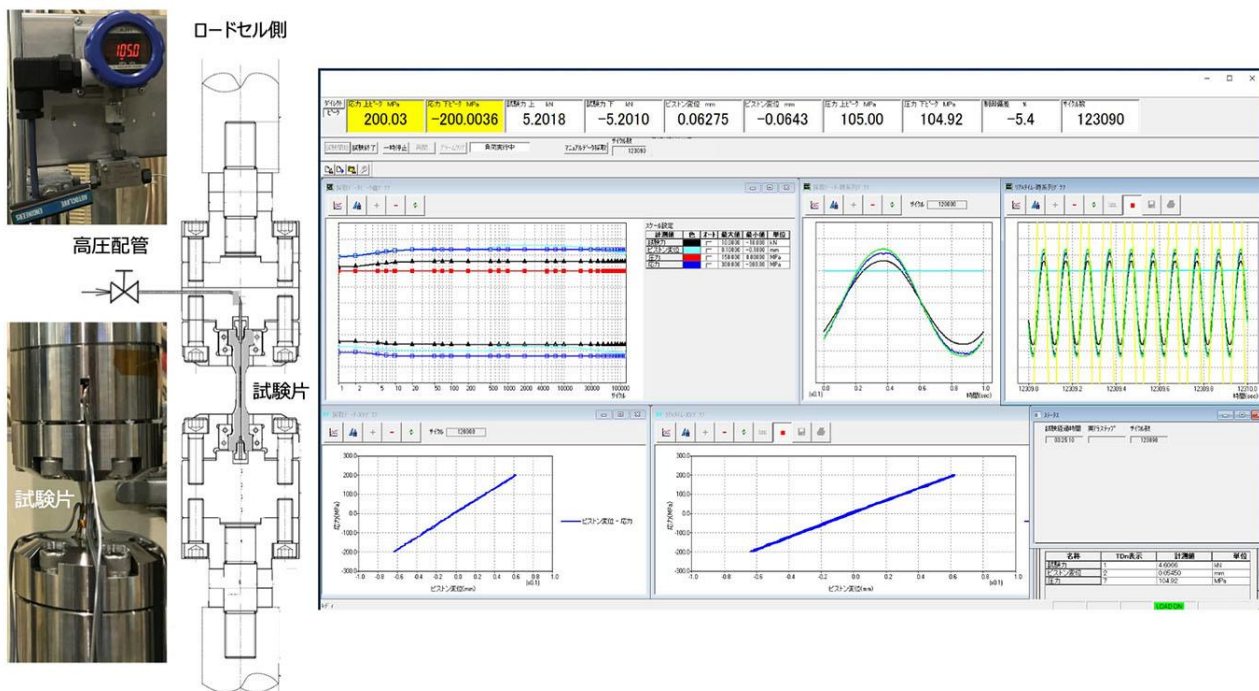


図 16 試験片装着時図面および圧力計、試験片外観写真（左）と中空疲労試験片を用いて室温、105 MPa において、 ± 200 MPa 負荷試験を 10 Hz で実施した際のモニター画面（右）

(2)–② 中実試験片高圧水素中材料試験の相関に関する研究開発

2020 年度に中実試験片と同じ試験対象材料を選択し、2021 年度に実施予定。×

(2)–③ 中空疲労試験法の規格化に関する調査研究

NEDO 事業でこれまでに実施されている中実試験片方式疲労試験について調査を実施し、規格骨子案を検討中。△

(3) 事業間連携

関連する NEDO 事業である「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」と連携を図り、共同にて効率的に事業を推進するため、鋼材ステアリング委員会に本事業の概要と進捗状況について報告し、確認を受けた。

3. 2 成果の意義

前項の 3. 1 研究開発成果で得られた結果及び活動は、全て有効に規格原案に反映され、規格原案の作成に役立った。

3. 3 開発項目別残課題

2020 年度から中空 SSRT のラウンドロビンテストの実施機関及び研究項目(II)中空疲労の①試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発を担当する予定の再委託先機関の担当者が 7 月に急に逝去されたので、物質・材料研究機構が大部分を肩代わりする形の実施体制の変更を行う予定である。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業の目的・目標は中空試験片高圧水素中材料試験法を確立することであり、規格原案を作成し制定団体に提出することが事業化へのシナリオである。本事業は当初、中空試験片高圧水素中低ひずみ速度引張試験(SSRT)を主に規格案を作成する実施計画であったが、順調に進んでいることから、中空試験片高圧水素中疲労試験についても試験法を確立し規格原案を作成するように実施計画を加速した。3年目の2020年度に実施計画通りに中空SSRTの規格原案を作成し、英文案をISOに提案していることは、事業化に向けての成果が順調に達成されていることを示している。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年7月	口頭発表/ASME PVP 2018	Simple Mechanical Testing method to Evaluate Influence of High Pressure Hydrogen Gas	緒形俊夫
2	2018年7月	口頭発表/ASME PVP 2018	Influence of 70 MPa Hydrogen Gas on SUS 630 from 77 K to 373 K by Simple Testing Method	緒形俊夫
3	2019年3月	講演/立命館大学 エネルギーイノベーション材料研究センター シンポジウム	水素エネルギーインフラの普及に向けた中空試験片による簡便な高圧水素中材料試験法の標準化と水素脆化の本質の考察	緒形俊夫
4	2019年3月	口頭発表/日本鉄鋼協会春季講演大会	ステンレス鋼の高圧水素環境中破断変形挙動に及ぼす水素の影響	緒形俊夫
5	2018年8月	誌上/日本鉄鋼協会会報ふえらむ8月号	極限環境材料評価法開発と標準化および強度と脆性の電子軌道による説明	緒形俊夫
6	2018年12月	誌上/水素利用技術集成 Vol.5～水素ステーション・設備の安全性	高圧水素ガス環境中の簡便な材料評価技術	緒形俊夫
7	2019年7月	ASME PVP 2019	Influence of Roughness of Inner Surface of Simple Mechanical Testing Method to Evaluate Influence of High Pressure Hydrogen Gas	緒形俊夫、小野嘉則
8	2019年9月	日本鉄鋼協会秋季講演大会	中空試験片による高圧水素環境下材料特性評価法の規格化	緒形俊夫、小野嘉則、西川嗣彬

9	2020年10月	ISO TC164(金属の機械的試験) SC1(単軸引張試験)	Metallic materials – Tensile testing – Hollow-type test pieces for severe environment tests and slow-strain rate tensile test (SSRT) method in high-pressure hydrogen environment	緒形俊夫
---	----------	---------------------------------	---	------

(注1) TC164 に加盟する日本としての提案で、プレゼンの後 11 月からメンバー国間での投票があり、3 分の 2 以上の賛成と 5 か国の積極的な賛成が必要。

・新規提案として採択されれば、来年 4 月からワーキンググループが始まり、WD, CD, DIS と FDIS 投票を経て 3 年後に ISO になる予定。

以上

(資料2-(1)) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」

委託先：一般社団法人水素供給利用技術協会、ENEOS株式会社

●成果ガリ (実施期間：2018年度～2020年度)

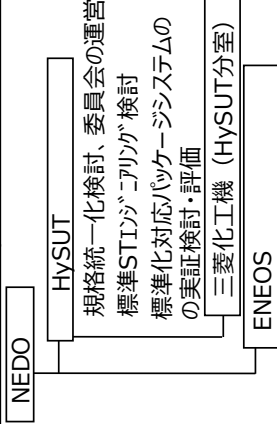
- ・運営事業者、エンジニアリング会社、機器メーカーを中心とした分科会にて、標準化すべき項目を抽出し、業界統一規格（標準化ガイドライン）案の素案を完成。
- ・充填能力を指標とする大・中・小規模の3種類の水素ステーションカテゴリー案を設定。中規模カテゴリーは、FCV普及拡大時における充填能力増強を可能とすべく、拡張性のある構成も設定。
- ・上記の標準化及び新規水素ステーションカテゴリーについてエンジニアリング検討を実施し、コスト削減効果を検討した。

●背景/研究内容・目的

- ・水素ステーションの設備・機械設計及び制御・電気設計の標準化を検討し、業界全体で統一可能なガイドライン案を策定し、規制見直し・技術開発と一体で進めることで、建設コスト削減や設備の互換性・拡張性向上につなげる。
- ・水素ステーション規模を実際の商用水素ステーションの実需要データ等に基づき適正な充填能力を指標とした「能力分類化（カテゴリー化）」を実施し、過剰設備の洗い出しと適正化を検討する。

●研究目標

実施項目	目標
①標準化の検討	業界統一規格（標準化ガイドライン）案の完成
②水素ステーションの能力分類化	適正な充填能力により「能力分類化（カテゴリー化）」を制定、ガイドライン案への反映
③標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討	標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討を行う。必要に応じて実証を行い、低コスト効果と信頼性・耐久性等の技術の評価する。



●これまでの実施内容／研究成果

- ・標準化をすべき項目を抽出し、設計圧力や配管取口口径等、11項目について標準化案を取りまとめ、規格（標準ガイドライン）案を作成した。
- ・上記の標準化項目を盛り込んだエンジニアリング検討を実施し、コスト削減効果を明らかにした。
- ・商用水素STにおける水素の実需要データやシミュレーション結果に基づき、充填能力を指標とする大・中・小規模の3種類のカテゴリーを設定した。中規模カテゴリーには、FCV普及拡大時における充填能力増強を可能とすべく、拡張性のある構成を設定し、ガイドライン案に反映した。
- ・上記の新たな水素ステーション規模カテゴリーごとの建設費を積算し、FCV普及時における経済性検討を実施した。

●今後の課題

- ・業界統一規格（ガイドライン）案の素案を作成済み。新規の追加項目（規制緩和項目など）を検討し、最終案を確定させる。

●実用化・事業化の見通し

- ・本研究で策定するガイドライン案に基づき、水素供給利用技術協会にて業界統一規格（HYSUTガイドライン）を制定する。事業者等は当該ガイドラインを用い、業界統一仕様に対応した低コストな水素ステーションの整備を開始する。
- ・本研究成果である標準化と充填能力を指針とした新たな水素ST規格カテゴリーの規定により水素STの建設費の削減がはかられ、2020年代後半までの水素ステーション事業の自立化に貢献できる。
- ・策定したガイドラインのうち、海外との協調が可能部分は、ISO等において国際標準化を目指すことで、日本のメーカーの国際展開にも貢献することが可能となる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①標準化の検討	業界統一規格（HYSUTガイドライン）案の素案を作成済み。	○
②水素ステーションの能力分類化	充填能力を指標とする大・中・小規模の3種類のカテゴリーを設定。ガイドライン案に反映した。	○
③標準化対応次世代パッケージシステムの美証検討	次世代パッケージシステムを実現するための技術課題の整理と実証項目を取り纏め、検討の結果、パッケージ水素STは建設せず、机上で検討可能である結論を得た。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	5	0

資料番号：2-(1)

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」

実施者：一般社団法人水素供給利用技術協会

ENEOS株式会社

1. 研究開発概要

1. 1 目的

現在の水素ステーション仕様は、商用化以前の実証段階に策定したもので、商用水素ステーションの建設補助金の支給条件にも踏襲されている。水素ステーションの規模を圧縮機の処理能力ベースで規定しているため、圧縮機やその他設備の仕様や組合せが一義的に決まり、新規技術導入等、メーカー独自の創意工夫の余地が乏しい。実際に整備された商用ステーションでは、FCVによる水素需要量や来店パターン等の運用実態に合わず、設備の能力過剰を生じている。

また、これまでの水素ステーションの構成設備や機器は、メーカー毎に設計条件等の仕様が異なり、水素ステーション建設時には、各事業者が採用するメーカー・機種に合わせ、水素ステーション毎にその都度、全体設計を一から実施せざるを得ない。

この結果、水素ステーション建設時の設計費や土建費の高止まりにより整備費の高コスト化や、建設期間の長期化を招き、今後の水素ステーション整備拡大にあたっての大きな障害となっている。

本研究では、業界標準の水素ステーション規模を実際の商用水素ステーションの実需要データ等に基づき、適正な充填能力により改めて設定し直す「能力分類化（カテゴリー化）」を実施し、過剰設備の洗い出しと不要化等を検討した。

加えて、2017度を実施した調査結果（次世代自動車振興センターの委託事業で水素供給利用技術協会が実施した「燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金に係る基礎調査」）を踏まえ、水素ステーションの設備・機械設計及び制御・電気設計を標準化するとともに、業界全体で統一可能な設計規格案（ガイドライン案）を策定している。

更に、前述の新たな能力分類及び業界統一規格案（ガイドライン案）に対応した最適モジュールを机上検討し、水素ステーション整備費のコスト低減効果を試算した。

1. 2 概要

本研究開発は、一般社団法人水素供給利用技術協会（HySUT）、HySUT分室（三菱化工機株式会社）、およびENEOS株式会社が協力し、以下に示す2つのサブテーマの研究開発を実施した。

①サブテーマ1：水素ステーションの能力分類化（カテゴリー化）と標準化の検討

関係団体、水素ステーション運営事業者・コントラクター（エンジニアリング会社）・機器メーカーを中心とした委員会及び分科会を構築し、水素ステーション規模を実際の商用水素ステーションの実需要データに基づき、適正な充填能力により改めて設定し直す「能力分類化（カテゴリー化）」を実現することで、新規技術導入や過剰設備の不要化等によるコスト低減促進につなげる。また、水素ステーションの設備・機械設計及び制御・電気設計の標準化に関する業界統一規格案を策定し、規制見直し・技術開発と一体で進める

ことで、建設コスト低減や設備の互換性・拡張性向上につなげる。

②サブテーマ2：標準化対応次世代パッケージシステムの実証評価

サブテーマ1で検討された業界統一規格案に準拠した最適設計（過剰設備の洗い出し・不要化、低コストとなる標準化仕様等）により水素ステーション主要設備（圧縮機、冷凍機、高圧蓄圧器）を一体化（パッケージ化）した最適モジュールを検討し、本モジュールの配置検討等を行い、コスト低減効果を見極める。また、最適モジュールに関する実証項目を抽出・整理し、実証の必要可否の検討を行った。

1. 3 研究体制

サブテーマ1では水素ステーションの能力分類化（カテゴリー化）・標準化等に関する研究開発を実施するため、これまでも業界規格策定の経験を持つ一般社団法人水素供給利用技術協会（HySUT）が、専門家・有識者で構成した委員会・分科会を通して、業界統一規格案の検討・策定を行った。また、2018年度から2019年度において既存の水素技術センター（山梨県）を整備した三菱化工機株式会社（MKK）がHySUT分室として業界統一規格案に対応した標準化対応次世代パッケージシステムのエンジニアリング開発を行った。

サブテーマ2では、HySUT分室であるMKKが標準化対応次世代パッケージ水素ステーションの配置検討等を行った。本標準化対応次世代パッケージ水素ステーションでの実証項目についてはHySUTおよびENEOSが実証項目素案策定を行い、各検討分科会で検討・整理し、委員会で審議を行った。本事業の実施体制を以下に示す。

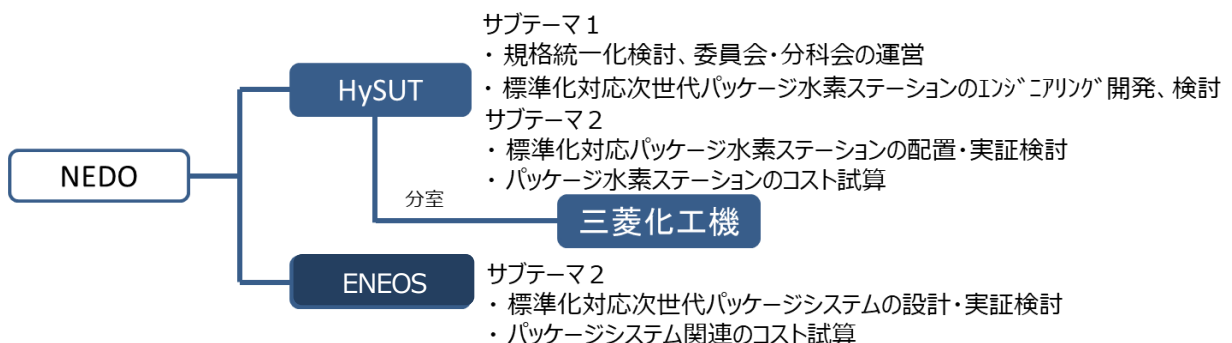


図1. 実施体制

また、委員会・分科会体制を下図のように構築し、検討・審議を実施した。

水素ステーション標準化・実証検討委員会においては、水素ステーション運営事業者、コントラクター（エンジニアリング会社）および水素事業関連の業界団体（FCCJ、JGA）や大学のなどの外部有識者が広く参画し、能力分類・標準仕様検討結果及び統一規格案（ガイドライン案）について審議した。

水素ステーション標準化・実証検討委員会の下に設置する3分科会は、能力分類化検討分科会は水素ステーション運営事業者、設備・機械標準化検討分科会及び制御・電気標準化検討分科会ではコントラクター（エンジニアリング会社）及び機器メーカーを中心に構成し、各分野における詳細な技術検討を行い、能力分類化（カテゴリー化）、標準化に関する業界統一規格案（ガイドライン案）を検討し、委員会に提案を実施する。

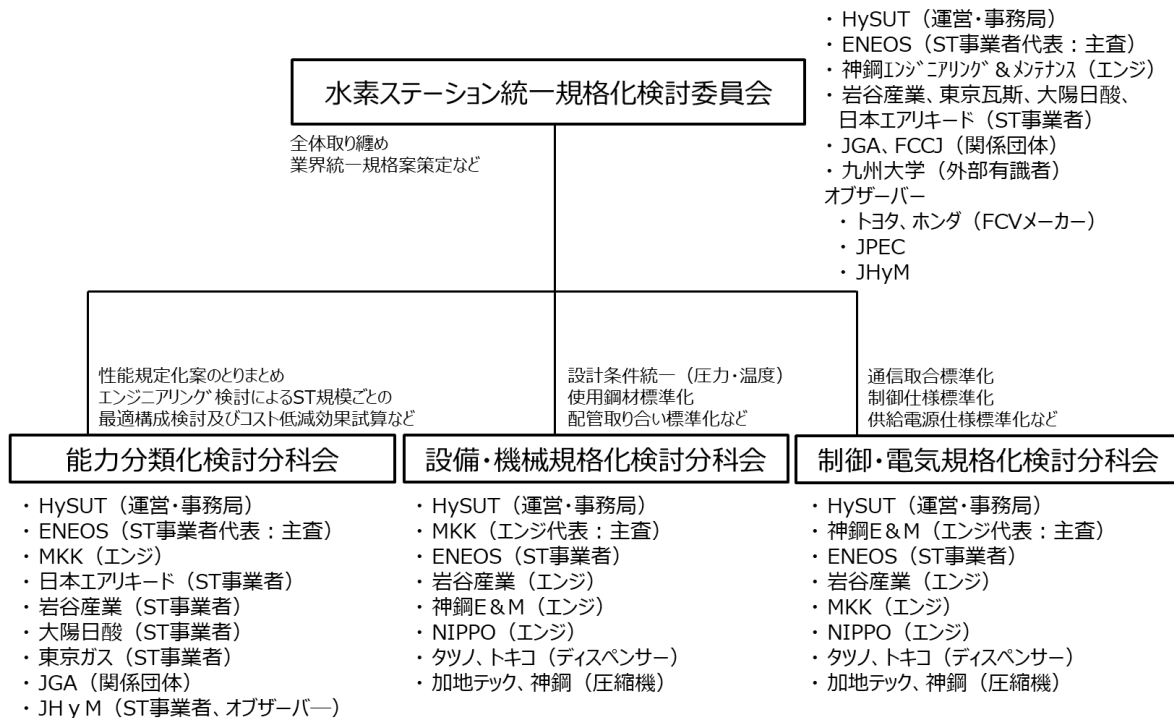


図2. 委員会・分科会の委員、オブザーバー

2. 研究開発目標

<全体目標>

- ・ 水素ステーション規模カテゴリー設定と設備・機械設計及び制御・電気設計の標準化と業界統一規格案を策定する。
- ・ 業界統一規格案に準拠した最適設計（過剰設備の洗い出し・不要化等）によりコスト低減効果を見極める。

<テーマ別目標>

- ① サブテーマ1：水素ステーションの能力分類化（カテゴリー化）と標準化の検討
 - ・ 水素ステーション設備が適正規模となる標準的な充填能力パターンの策定
 - ・ 適正な水素ステーション設備能力・構成パターンの明確化
 - ・ 過剰設備の洗い出し・不要化等によるコスト低減効果の算定
 - ・ 充填能力を指標とする新たな水素ステーション規模カテゴリーの提案
 - ・ 商用水素ステーション設備・機械設計及び制御・電気設計の標準化と業界全体で統一可能な設計規格（HySUT-G）案の策定
- ② サブテーマ2：標準化対応次世代パッケージシステムの実証評価
 - ・ 標準化対応次世代パッケージシステムを反映した設備配置検討等によるコスト削減効果の見極め
 - ・ 標準化対応次世代パッケージ水素ステーション実証の可否の決定

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

3. 1. ① サブテーマ1：水素ステーションの能力分類化（カテゴリー化）と標準化の検討

(1)-a.標準化ガイドライン案の検討

「設備・機械標準化検討分科会」、「制御・電気標準化検討分科会」を中心に、FCV向け（タンクカテゴリーが4~7kg）の全ての商用水素STを対象として、水素STの標準化すべき項目を抽出した。なお、水素供給方式の違いによる部分（例：水素製造装置、水素トレーラ受入設備等）や各モジュール内の方式等については言及しないものとした。標準化検討の適用範囲を図3に示す。

抽出した標準化すべき項目を基に、上記の標準化検討分科会で設計圧力や配管取合口径等、11項目について標準化ガイドライン案に取りまとめた。（表1、表2、表3）今後、遠隔監視型水素ステーションの技術基準等、規制見直しの動きについても規格に反映すべく検討を行った。

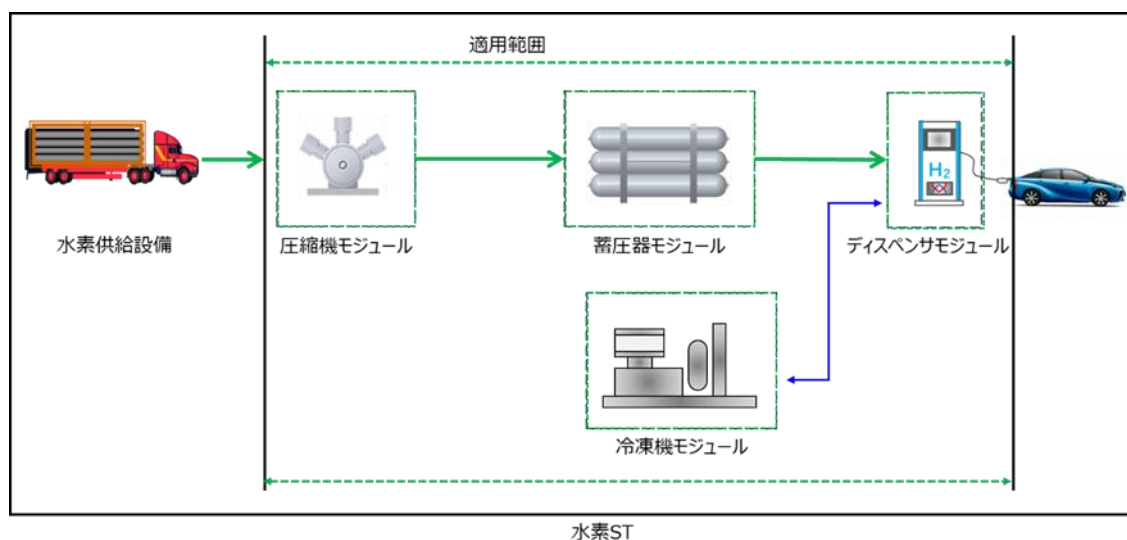


図3 標準化検討に係る適用範囲

表1 設備設計項目に関わる標準化ガイドライン案 (要旨抜粋)

項目	必須要件	望ましい要件
設計圧力	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所は、圧縮機の設計圧力以上かつ94MPa以上	個社が設計圧力を統一化せず、配管肉厚の削減を進めていく場合のコスト低減効果よりも標準化によるコスト低減効果が大きいと認められた場合、設計圧力を99MPaとするなど1点を標準とすることが望ましい。
設計温度	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所は、圧縮機の設計温度以上かつ50℃以上	—
常用圧力	82MPa以下 (一般高圧ガス保安規則第7条の3で規定)	水素保有量増加や蓄圧器の本数削減の可能性がある為、ディスプレイ内熱交換器前流までは、82MPaを超える常用圧力への引き上げが望ましい。
最高充填圧力	82MPa以下 (一般高圧ガス保安規則第7条の3で規定)	現状でSOC98%を満足した充填ができており、当該箇所の圧力の引き上げはトラブル増加の要因になりかねないため、最高充填圧力の引き上げは、常用圧力の引き上げと切り分けて検討することが望ましい。
充填プロトコル	圧縮水素充填技術基準 (圧縮水素スタンド関係) JPEC-S0003に従う (一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定)	設備・運営コスト削減や機器のトラブル低減に寄与できる、現行水素STの充填時間と同等で水素温度緩和可能な充填制御の導入が望ましい。
使用鋼材	定められた鋼材を使用 (一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定)	安価且つ加工が容易な汎用材や設計係数が抑えられる材料を導入することが望ましい。
配管取合形状	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所のモジュールと配管の取り合いはコーン&スレッドとする。	—
配管取合口径	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所のモジュールと配管の取り合いの口径は14.29 mm (9/16インチ) とする。	—

表2 制御電気、その他項目に関わる標準化ガイドライン案 (要旨抜粋)

項目	必須要件	望ましい要件
設計圧力	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所は、圧縮機の設計圧力以上かつ94MPa以上	個社が設計圧力を統一化せず、配管肉厚の削減を進めていく場合のコスト低減効果よりも標準化によるコスト低減効果が大きいと認められた場合、設計圧力を99MPaとするなど1点を標準とすることが望ましい。
設計温度	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所は、圧縮機の設計温度以上かつ50℃以上	—
常用圧力	82MPa以下 (一般高圧ガス保安規則第7条の3で規定)	水素保有量増加や蓄圧器の本数削減の可能性がある為、ディスプレイ内熱交換器前流までは、82MPaを超える常用圧力への引き上げが望ましい。
最高充填圧力	82MPa以下 (一般高圧ガス保安規則第7条の3で規定)	現状でSOC98%を満足した充填ができており、当該箇所の圧力の引き上げはトラブル増加の要因になりかねないため、最高充填圧力の引き上げは、常用圧力の引き上げと切り分けて検討することが望ましい。
充填プロトコル	圧縮水素充填技術基準 (圧縮水素スタンド関係) JPEC-S0003に従う (一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定)	設備・運営コスト削減や機器のトラブル低減に寄与できる、現行水素STの充填時間と同等で水素温度緩和可能な充填制御の導入が望ましい。
使用鋼材	定められた鋼材を使用 (一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定)	安価且つ加工が容易な汎用材や設計係数が抑えられる材料を導入することが望ましい。
配管取合形状	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所のモジュールと配管の取り合いはコーン&スレッドとする。	—
配管取合口径	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所のモジュールと配管の取り合いの口径は14.29 mm (9/16インチ) とする。	—

表3 将来的に望ましいステーションの標準化項目

項目	必要要件	望ましい要件
主要設備のパッケージ化	—	建設コスト低減（機器費・現地工事費）及び敷地面積削減の観点から、水素STの主要構成設備をパッケージ化することが望ましい。
複数車両への充填制御	—	複数車両への充填を行う場合は、同時充填可能な制御を保有することが望ましい。
車両通信システム構成	—	車両からの受信信号を直接ディスペンサに取り込むことが望ましい。
ディスペンサー表示	商用水素STのディスペンサー表示器表示内容は車両に供給される水素ガス充填量（kg）を表示するものとする。	顧客利便性の観点から金額についても表示することが望ましい。
遠隔監視	将来的に遠隔監視型セルフスタンド検討会等で検討される業界自主ガイドライン案等に従い、遠隔監視システムを構築する必要がある。	—

(1)-b.標準化項目によるコスト低減効果の確認

本事業で検討した標準化ガイドライン案でのST仕様を基にエンジニアリング検討を実施し、標準化と規制緩和によるコスト低減効果を試算した。導入初期ST（2014年度）と現行ST（2019年度）および標準化・規制緩和を反映したSTの建設費の比較を以下の図4に示す。（※水素STの方式は「固定式オフサイト・300N m³/h」として試算した。）

コスト試算結果より、導入初期ST（2014年度）と現行ST（2019年度）の建設を比較すると1.2億円低く、設備費の低減が主であり、メーカー努力等による影響が出ていることを確認した。また、標準化と規制緩和によるコスト低減効果は0.3億円であることを確認し、規制距離緩和や散水装置の削減といった規制緩和によるコスト低減効果が大きいことを確認した。

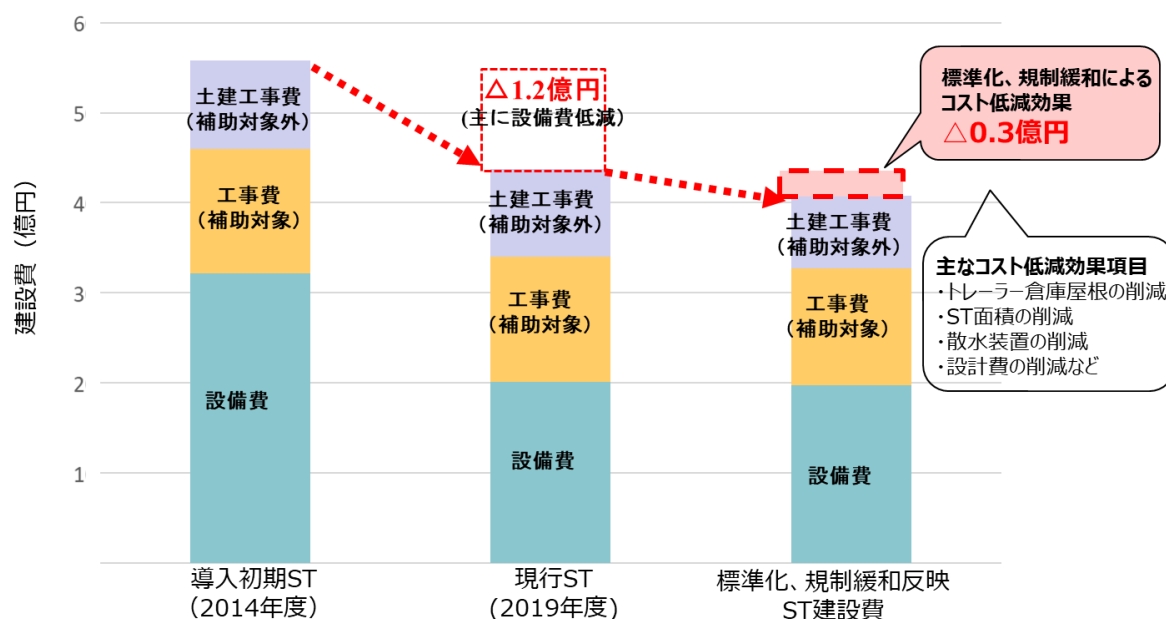


図4 導入初期ST（2014年度）、現行ST（2019年度）、標準化反映したSTの建設費の比較

(2)-a.水素ST運用実態調査、水素ST規模策定

HySUT及び各インフラ事業者の保有する運用実績データを基に水素STでの運用実態を調査した、結果を表4に示す。調査した水素の実需要データや燃料電池水素ロードマップの将来予測等から、STでの水素供給に係る将来需要想定および各種データを算出した。結果を表5に示す。結果より、2025年～2030年での需要想定を以下の通り、確認した。

- ・各インフラ事業者ヒアリング等により、1台当りの平均充填量は約3kg/台で推移すると想定。
- ・2030年度での1時間当り最大充填台数は約8台と推定され、2025～2030年には2系統で充填できる設備が必要となる。
- ・2030年度での1時間当り最大充填量は8台/h×3kg/台≒24kg/hとなり、圧縮機は既存の主流である340Nm³/h 1台でも対応可能である。

表4 商用水素ST実需要調査結果(2017年度)

区分	項目		単位	実績値
水素ST	営業日数		日/年	237
	営業時間		時間/日	7.8
	1台当たり充填量	平均	Kg/台	2.9
	1か月当り充填台数	平均	台/月	48.1
	1日当り充填台数	平均	台/日	2.9
	1時間当り充填台数	平均	台/時間	0.4

表5 商用水素STにおける水素の実需要データやシミュレーション結果

区分	項目	単位	2020年	2025年	2030年
水素ST	水素ST数	基	160	320	900
	営業日数	日/年	250~300	350	
	営業時間	時間/日	8~12	14~24	
FCV	1台当り平均充填量	Kg/台	2.9		
	普及台数	台	40,000	200,000	800,000
	1ST当りのFCV台数	台/ST	250	625	889
	1ST当りの日間充填回数	回/日	29.6	52.8	75.1
	1時間当り最大充填台数	台/h	4.5	5.2	7.3

上記の将来需要想定に基づき、1台当りの平均充填量(規格検討値)を3kg/台とし、充填能力を指標とする大・中・小規模の3種類の水素ST分類を設定した。なお、中規模STの分類には、FCV普及拡大時における充填能力増強を可能とすべく、拡張性のある構成も設定した。(表6)

表6 充填性能を指標とした新たな水素 ST 分類

新たな水素ST分類		充填能力要件	レーン数
1	大規模ST	3kg/台×10台/時間程度	2
2.1	中規模ST	大規模STへの拡張性あり	1
2.2		大規模STへの拡張性なし	
3	小規模ST	3kg/台×5台/時間未満	1

(2)-b.各分類での水素 ST コストの試算

(2)-a で新たに設定した充填能力を指標とする新たな水素 ST 分類ごとに水素 ST 構成例を設定し、各分類（大・中規模 ST）における建設費を試算した。各分類での ST(充填可能台数：10 台/h 以上)におけるコスト試算の比較を図 5 に示す。コスト試算の結果より、各分類によるコストメリットを以下のように確認した。

- ・現時点（近い将来）で 2 レーンの需要がある地域では、大規模 ST（2 レーン）が最適。
- ・中長期的に 2 レーンの需要が見込める地域では、FCV 普及台数に応じて容易に大規模 ST への拡張（2 レーン化）が可能な中規模 ST（拡張性あり）で建設することが、経済的に優位（初期投資、メンテ費低減等）である。
- ・大規模 ST（2 レーン）の 1 レーン当り（現行と同等能力）の建設費は 2.4 億円となり、中規模 ST（拡張性無し）と 1 レーン当りで比較すると△1.7 億円となる。

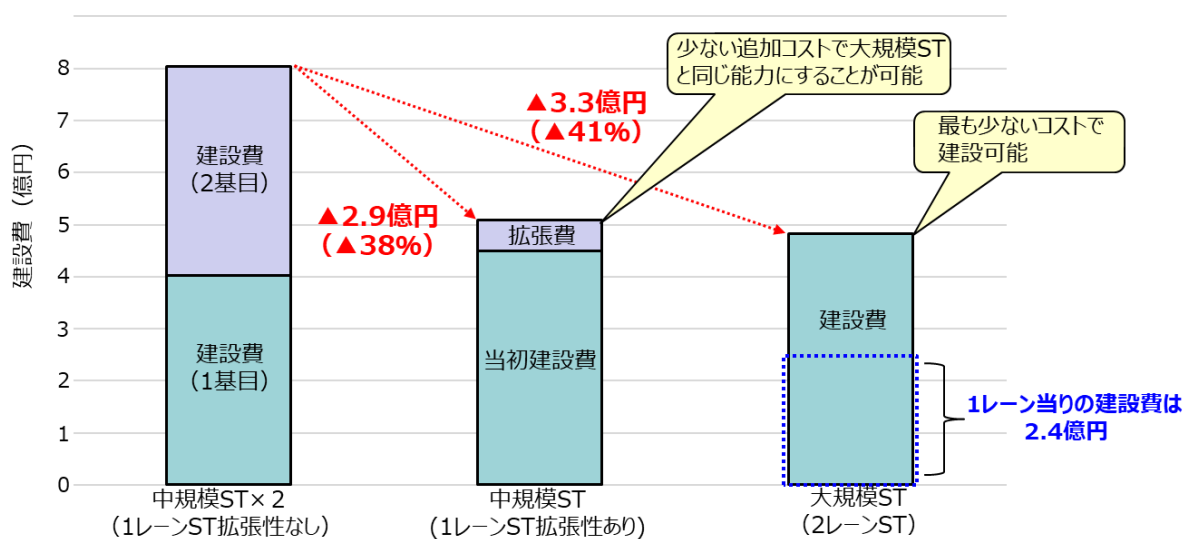


図 5 各分類での ST(充填可能台数：10 台/h 以上)におけるコストの比較

(3)標準化ガイドライン案の策定状況について

上記の検討結果を基に、標準化ガイドライン案を作成し、精査している。現時点でのガイドライン（水素ステーションの標準化に関する業界自主ガイドライン）案を資料1として添付した。

3. 1. ② サブテーマ2：標準化対応次世代パッケージシステムの実証評価

(1) 標準化対応次世代パッケージシステムの実証評価の目的

次世代パッケージシステムを建設し、実証評価する目的は以下の通りである。

- 新たな性能規定・標準仕様に関する業界統一規格案に基づいた最適モジュール設計により、水素ST主要設備（圧縮機、高圧蓄圧器、冷凍機）を一体化した低コストな標準化対応次世代パッケージシステムを建設し、この効果を実証する。
- 標準化対応次世代パッケージシステムの安全性、信頼性等の技術検証を実施するとともに、検証結果を業界統一規格案への反映し、より良い業界統一規格を目指す。
- 標準化対応次世代パッケージシステムで使用されている消耗品類の耐久性検証等による水素STの信頼性向上をリサイクル検証設備によって検証する。

(2) 実証課題の検討

実証を実施するにあたっての課題検討は、下記のフローにより実施した。実証方法、実証の必要性も含め、検討を進めた。

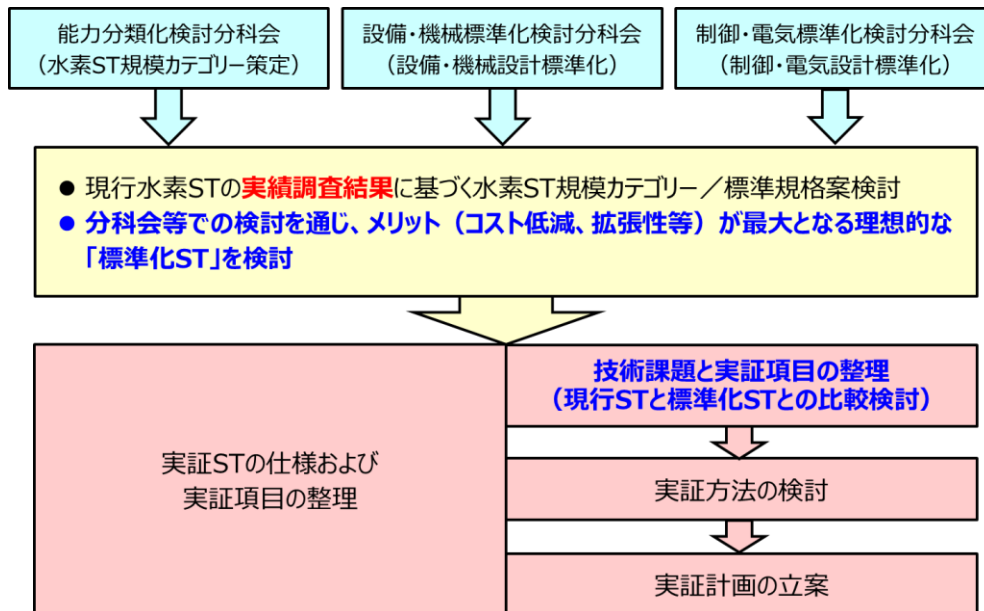


図6 実証課題の検討フロー

(3) 現行STと標準化STの仕様比較

実証STの仕様および実証項目の検討のため、標準化STを実現するための技術課題を整理し、下記のように現行STと標準化STの仕様を比較した。

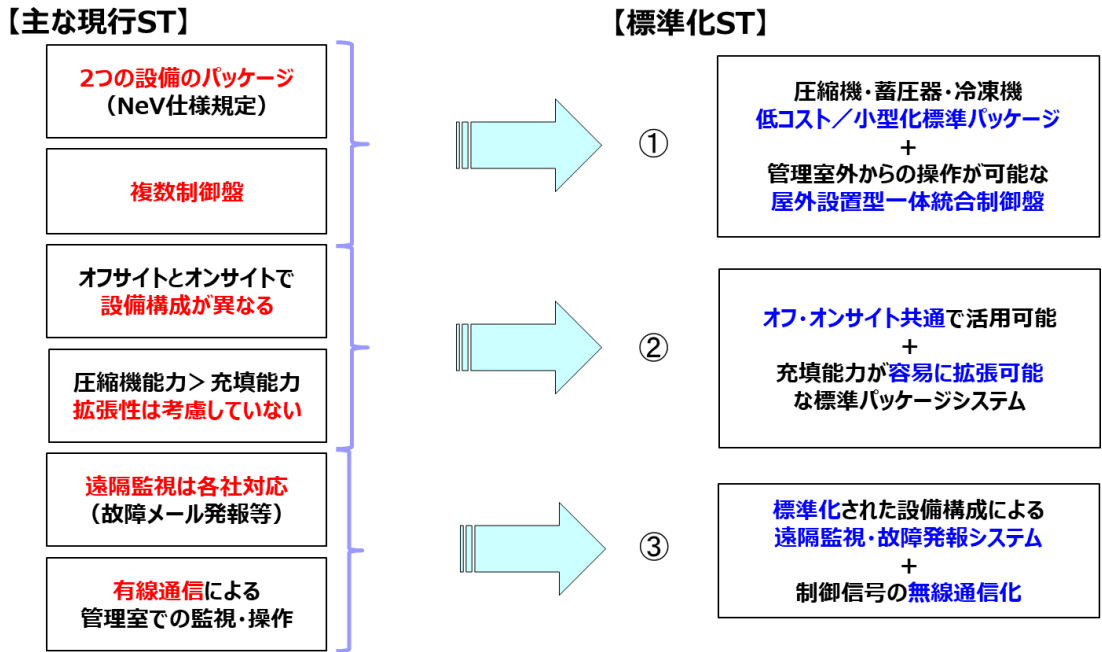


図7 現行 ST と標準化 ST の仕様比較

(4) 標準化 ST の検討

上記 (3) で検討した標準化項目を取り入れた標準化 ST についてパッケージ実証水素ステーションに適用した場合を検討し、下記のように纏めた。

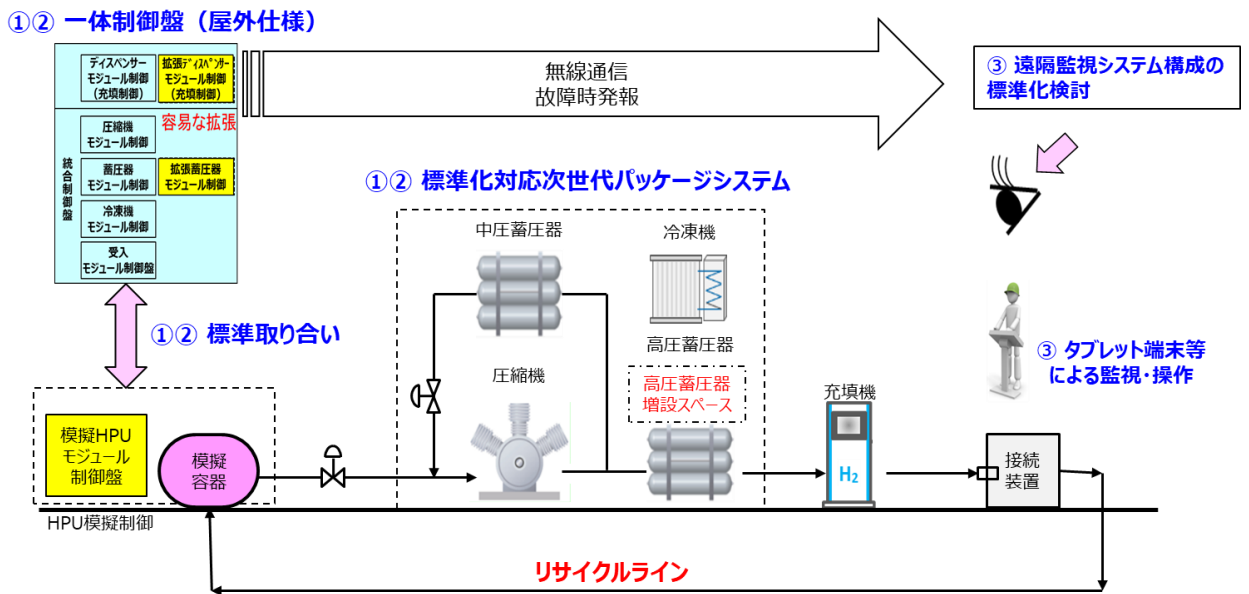


図8 標準化対応次世代パッケージ実証水素ステーション (イメージ)

(5)パッケージシステム実証の必要性の検討結果

次世代パッケージシステムを実現するための技術課題の整理と実証項目を取り纏め、対応方針を検討した(表7)。検討した結果、パッケージ水素STは建設しなくとも当初の目的を達成できるとの結論を得た。分科会での検討後、本事業での標準化対応次世代パッケージシステムの建設・実証評価は実施しないことを2019年12月18日に開催した規格化検討委員会(ステアリング会議)にて審議し、承認を得た。また、実証しない代わりに、机上検討を実施して、ST標準仕様(実績ベース)を策定することとした。また、同時に検討してきた検証設備(リサイクルライン)については、水素技術センターに追設して利便性向上をはかり、他事業との連携で有効利用することとした。

表7 パッケージST実証項目および検討結果・対応方針

No.	実証項目	検討結果・対応方針
①	標準化項目仕様の実証	<ul style="list-style-type: none"> 実績に基づく標準仕様化のため基本的に実証不要
②	低コスト/小型化標準パッケージ + 屋外設置型一体統合制御盤	<ul style="list-style-type: none"> 標準パッケージ及び一体統合制御盤の概念設計 ⇒コスト低減効果を試算し、エンジニアリング検討に活用
③	オフ・オンサイト共通で活用可能 + 充填能力が容易に拡張可能	<ul style="list-style-type: none"> オン・オフサイト共通/拡張可能な標準パッケージ検討 ⇒拡張工事のコスト試算=中規模ST(拡張性あり)の優位性の確認
④	標準遠隔監視・故障発報システム + 制御信号の無線通信化	<ul style="list-style-type: none"> 第7条の4(遠隔監視型水素ST)の検討内容に基づき制御・電気分科会で継続検討
⑤	標準化パッケージの安全性、信頼性等の技術検証	<ul style="list-style-type: none"> 実績に基づく標準仕様化のため基本的に実証不要 パッケージ内の個別技術検証は個社での対応が必要
⑥	標準化パッケージの消耗品類の耐久性検証等による信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> リサイクルラインを採用した検証設備の仕様検討 ⇒検討結果を他事業へ移管し、既存の水素技術センターにリサイクルラインを追設し、他事業と連携し有効活用
⑦	検証設備(リサイクルライン)追設	

3.2 成果の意義

本研究で新たに充填能力に応じた水素ST規模カテゴリーを規定することにより水素STの建設費の低減がはかられ、かつ、効率的な水素ST整備を可能とし、2020年代後半までの水素ステーション事業の自立化に貢献できる。

また、策定したガイドラインのうち、海外との協調が可能な部分については、ISO等において国際標準化を目指すことで、日本のメーカーの国際展開にも貢献することが可能となる。

3.3 開発項目別残課題

業界統一規格(標準化ガイドライン)案の完成に向け、新規の追加項目(規制緩和項目など)を検討し、必要に応じ案の中に入れ込んで完成させる。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 サブテーマ1のまとめ

水素ステーションの能力分類化については、商用水素STの実需要データやシミュレーション結果に基づき、充填能力を指標とする水素ST規模カテゴリーを設定し、ガイドライン案に反映した。

標準化項目の検討については、標準化項目を抽出し、設備間取り合いの11項目について標準化案を取りまとめ、ガイドライン案に反映した。

4. 2 サブテーマ2のまとめ

次世代パッケージシステムを実現するための技術課題の整理と実証項目を取り纏め、検討の結果、パッケージ水素 ST は建設せず、机上で検討する結論を得た。

4. 3 研究成果の実用化

本研究で策定するガイドライン案に基づき、水素供給利用技術協会にて 2020 年度までに業界統一規格 (HySUT ガイドライン) を制定する。国内の水素ステーション事業者は当該ガイドライン及び技術的成果を用い、業界統一仕様に対応した低コストな水素ステーションの整備を開始する。

4. 4 今後の課題と解決策

本事業において 業界統一規格 (HySUT ガイドライン) 案を策定し、今後、水素供給利用技術協会にて業界統一規格 (HySUT ガイドライン) を制定する。今後は業界統一規格 (HySUT ガイドライン) のメンテナンスを実施し、規制適正化状況や技術進捗状況を業界統一規格 (HySUT ガイドライン) に反映させることにより、より有用な業界指針となるように改良していく必要がある。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年6月3日	WHTC2019 NEDO Session (東京国際フォーラム)	Status on Activities of Hydrogen Infrastructure in Japan	池田 哲史 (HySUT)
2	2019年6月13日	FCCJ インフラサブワーキング	水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発	中西 功 (HySUT)
3	2019年9月10日	福岡県主催 技術者育成セミナー	水素ステーションの構成と規制	池田 哲史 (HySUT)
4	2020年2月17日	FCCJ/燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーションの能力分類化・標準化	中西 功 (HySUT)
5	2020年2月17日	International Transport Forum Expert Workshop	Efforts toward the Realization of Hydrogen-utilized Society in Japan	前原 和巳 (ENEOS エネルギー(株))

—特許等—

特になし

以上

超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／
水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発

水素ステーションの標準化に関する
業界自主ガイドライン（案）

2020年9月暫定版

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先: (一社)水素供給利用技術協会
ENEOS 株式会社

目次

1. はじめに	85
2. 適用範囲	87
3. 用語の定義	87
3. 1 水素 ST	87
3. 2 主要設備	88
3. 3 圧縮機	88
3. 4 蓄圧器	88
3. 5 ディスペンサー	88
3. 6 モジュール	88
3. 7 パッケージ	88
3. 8 水素供給方式	88
3. 9 設計圧力	89
3. 10 設計温度	89
3. 11 常用の圧力（常用圧力）	89
3. 12 最高充填圧力	89
3. 13 充填プロトコル	89
3. 14 制御盤	89
3. 15 車両通信システム	89
3. 16 シリンダー	89
3. 17 日処理量、日製造量	89
3. 18 有効水素保有量	89
4. 水素 ST の分類について	89
4. 1 カテゴリー1（大規模水素 ST）	90
4. 2 カテゴリー2（中規模水素 ST）	91
4. 3 カテゴリー3（小規模水素 ST）	95
4. 4 現行の水素 ST 分類との比較	95
5. 水素 ST の標準化について	97
5. 1 標準化の基本的考え方	97
5. 2 設備・機械に関わる標準化	97
5. 3 制御・電気に関わる標準化	101
5. 4 その他の標準化	103
5. 5 標準化対応項目一覧	103
6. 付属資料	103

1. はじめに

現在の水素ステーション（以下水素 ST）仕様は、商用化以前の実証段階に策定したもので、商用水素 ST の建設補助金の支給条件にも踏襲されている。水素 ST の規模を圧縮機の処理能力ベースで規定してい

るため、圧縮機やその他設備の仕様や組合せが一義的に決まり、新規技術導入等、メーカー独自の創意工夫の余地が乏しい。実際に整備された商用水素 ST では、FCV による水素需要量や来店パターン等の運用実態に合わず、設備の能力過剰を生じている。

実際に 2018 年度に本事業にて検討した本格普及期での商用水素 ST 充填パターン解析および水素 ST 充填量の実績調査において、1 台当たり平均充填量は約 3kg/台となり、2030 年度での 1 日あたりの水素 ST 平均充填回数は 75.1 回/基と推定した（付属資料 1）。また、経済産業省水素基本戦略ロードマップ等に基づいた将来の水素 ST 運営状況想定では、2030 年度における平均的な水素 ST のピーク充填台数はおよそ約 8 台/h となり、ピーク時充填台数に対応するためには充填レーンを 2 系統有する大規模水素 ST が必要と想定される。さらに、FCV 本格普及をむかえる 2025 年以降、大規模水素 ST の需要が高まることが明らかになった（付属資料 2）。

また、これまでの水素 ST の構成設備や機器は、メーカー毎に設計条件等の仕様が異なり、水素 ST 建設時には、各事業者が採用するメーカー・機種に合わせて、水素 ST の全体設計を実施する必要がある。この結果、水素 ST 建設時の設計費や土建費の高止まりにより建設費の高コスト化や、建設期間の長期化を招き、今後の水素 ST 整備拡大にあたっての大きな障害となっている。

そこで、本ガイドラインでは、更なる水素 ST の普及を目的とし水素 ST の低コスト化に資する実態に即した適正な水素 ST の新たな能力分類および水素 ST の標準設計を提案する。

具体的には、実際の商用水素 ST の実需要データから求めた充填量や、将来予測に基づいた FCV 台数を分析することにより算出された適正な能力性能毎の規模カテゴリーを提示するとともに、全体設計や現場工事の簡素化に資するモジュール間およびモジュールの取り合い部分を中心とした設備・機械設計及び制御・電気設計の標準を提示する。

なお、本ガイドラインで提示する標準設計仕様を反映した水素 ST の購入仕様書を参考例として付属資料 3 に提示する。

商用水素 ST を建設する上においては、高圧ガス保安法の他、適用される法令等を遵守することを前提とし、本ガイドラインは、図 1 の通り業界自主ガイドラインの一つとして、水素 ST 建設の低コスト化に資する資料として積極的に活用いただきたい。

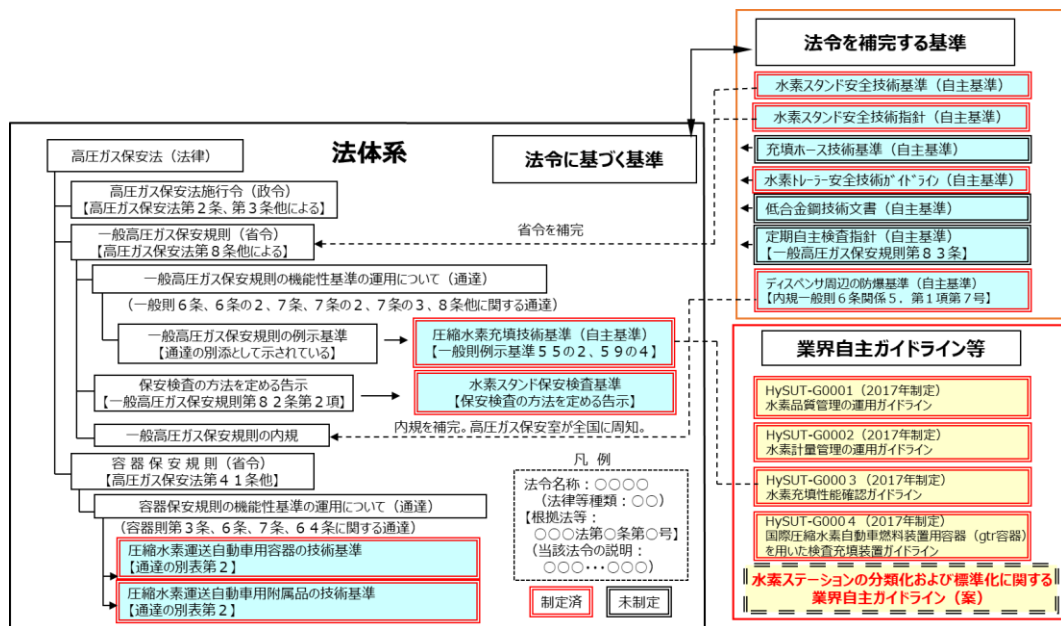


図1 本ガイドラインの位置づけ (JPEC 資料 (2017.9.1 版) を元に HySUT が加筆)

2. 適用範囲

本ガイドラインでは、FCV 向け (タンクカテゴリーが 4~7kg) の全ての商用水素 ST を対象とする。ただしの水素 ST の標準化については、水素供給方式の違いによる部分 (例: 水素製造装置、水素トレーラ受入設備等) や各モジュール内の方式等については言及しない。適用範囲について図 2 に示す。

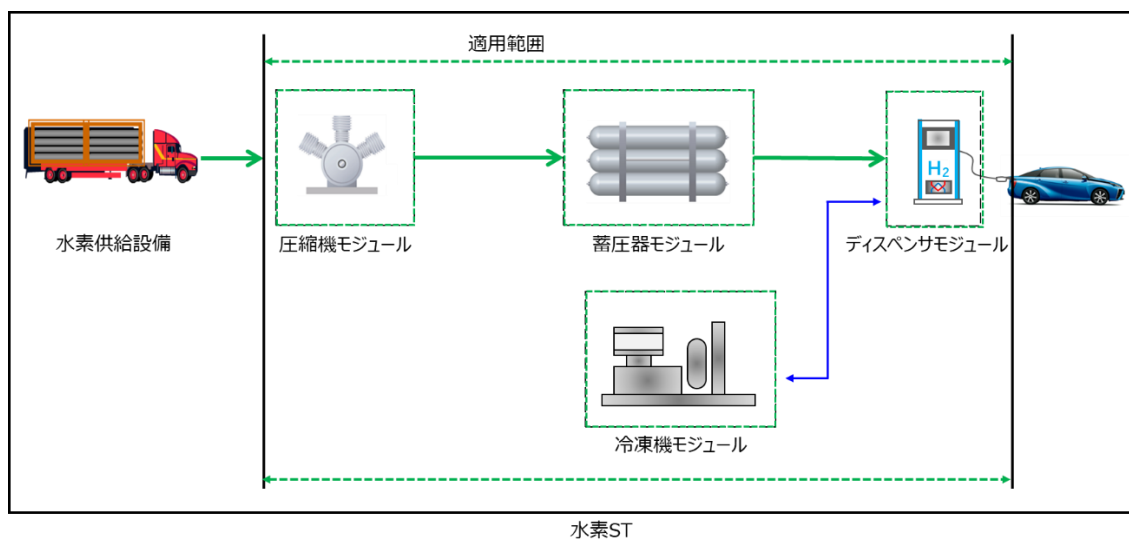


図2 適用範囲

3. 用語の定義

本ガイドラインで用いる主な用語及び定義は、図 1 に示す法令、基準、ガイドラインによるほか、次に示す。

3. 1 水素 ST

水素 ST とは、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第二条二十五号、二十六号に定義される「圧縮水素スタンド」、「移動式圧縮水素スタンド」をいう。

3. 2 主要設備

主要設備とは、水素 ST における主要な役割を担う圧縮機、蓄圧器、冷凍機、ディスペンサーの 4 設備をいう。

3. 3 圧縮機

圧縮機とは、水素供給設備から供給された水素を昇圧する機器をいう。

3. 4 蓄圧器

蓄圧器とは圧縮機で昇圧された水素を高圧のまま貯蔵する機器をいう。

① 高圧蓄圧器

82MPa 程度の高圧で蓄圧可能な蓄圧器であって、払い出された高圧水素はディスペンサーを介して FCV へと充填される。

② 中間蓄圧器

高圧蓄圧器以下の圧力で蓄圧可能な蓄圧器であって、払い出された高圧水素は再度圧縮機で昇圧される。

3. 5 ディスペンサー

ディスペンサーとは、水素 ST において、FCV へ水素充填を行うための機器をいう。

3. 6 モジュール

モジュールとは、各主要設備の一まとまりの部分をいう。

3. 7 パッケージ

パッケージとは、圧縮機、蓄圧器、冷凍機、ディスペンサーなどの主要構成モジュールを 1 又は複数の筐体に内包し近接配置し一体設置する設備形態のものをいう。

3. 8 水素供給方式

水素 ST の外から水素あるいは水素の原料を輸送する各方式（水素供給方式）をいい、代表例は以下の通り。なお、以下の方式を組み合わせた方式等も存在する。

① 水素カードル供給方式

水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、シリンダーと呼ばれる高圧ガス容器を集結させた機器（カードル）をその場に留め置き、水素 ST に水素を供給する方式

② 水素トレーラ供給方式

水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、シリンダーより容量の大きい長尺容器と呼ばれる高圧ガス容器を集結させた機器（トレーラ）をその場に留め置き、水素 ST に水素を供給する方式。

③ 荷卸蓄圧器方式

水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、大容量トレーラで複数の水素 ST を巡回し、水素 ST の「蓄圧器」に水素を供給する方式。大容量トレーラは 1 つの水素 ST に留まらず、水素 ST の蓄圧器が満タンになれば、必要に応じて次の水素 ST にトレーラを移動し、同様に補給を行う。

④ 液化水素供給方式

水素を外部から輸送してくる方式（オフサイト方式）であって、液化水素により水素を輸送・供給する方式。

⑤ オンサイト供給方式

市中の都市ガス配管や LPG 等により水素 ST 内の水素製造装置にて水素を製造し、供給する方式。

⑥ 水素導管供給方式

事業所内あるいは付近に敷設される水素導管より直接水素を供給する方式。

3. 9 設計圧力

設計圧力とは、当該設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。

3. 10 設計温度

設計温度とは、当該設備を使用することができる最高又は最低の温度として設定された温度をいう。

3. 11 常用の圧力（常用圧力）

常用の圧力（常用圧力）とは、当該設備においてそれらが通常使用される状態での圧力（当該圧力が変動する場合にあっては、その変動範囲のうちの最高の圧力）であって、ゲージ圧力をいう。なお、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第7条の3 準拠の水素STでは、常用圧力は82MPa以下と定められている。

3. 12 最高充填圧力

最高充填圧力とは、容器に充填することのできる高圧ガスの圧力のうち最高のものをいい、容器区分ごとに定められている。国際圧縮水素自動車燃料装置用容器等の場合、最高充填圧力は、公称使用圧力の1.25倍であり、公称使用圧力が70MPaの場合、最高充填圧力は87.5MPa、公称使用圧力が35MPaの場合、最高充填圧力は43.75MPaである。

3. 13 充填プロトコル

充填プロトコルとは、FCV等に水素を充填する際に容器の安全性を確保するために圧力上昇率や供給水素温度等を制御する充填の方法を言う。FCV（FCバスを含む）等に充填する際は、「圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S 0003」（一般財団法人石油エネルギー技術センター）に従い充填することが一般則関係例示基準55の2及び59の4に記載されている。

3. 14 制御盤

制御盤とは、圧縮機、冷凍機等の電動機の運転や充填等に関わる電磁弁の開閉、異常時のインターロック等の制御・操作するための各種電気機器を納めた装置をいう。

3. 15 車両通信システム

車両通信システムとは、FCVから来る車両データを受信し、適切な制御信号に変換した後、制御盤へデータ送信する通信システムのことをいう。

3. 16 シリンダー

シリンダーとは、高圧ガス、液化ガス等を充填し持ち運ぶための耐圧容器をいう。

3. 17 日処理量、日製造量

日処理（製造）量とは、以下の式で求められる、圧縮（製造）水素量をいう。

日処理（製造）量(kg/日) = 1時間あたりの最大圧縮（製造）水素量(kg/h) × 24(h/日)

3. 18 有効水素保有量

有効水素保有量とは、他からの水素の供給が無い場合において充填および圧縮時に一定量又は時間、正常稼働できる水素量をいう。例えば蓄圧器からFCVへの差圧充填時においては常用圧力で保持された蓄圧器から充填車両容器へ差圧充填可能な蓄圧器の水素保有量をいう。

4. 水素STの分類について

水素STを付属資料1「本格普及期での商用水素ステーション充填パターン解析」の検討結果の充填量、ピーク充填台数を前提とし以下の3カテゴリーに分類する。なお、どのカテゴリーにおいても、工事費や工事期間の短縮が期待されるパッケージ品を採用することが望ましい。なおピーク時間、回数は上記の検討結果より1回・h/日とする。

4. 1 カテゴリー1 (大規模水素 ST)

大規模水素 ST は、圧縮水素充填技術基準 (圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0003 に規定される充填プロトコルを有し、かつ、ピーク時に1時間当たり 10 台以上の FCV (平均充填量 3kg/台) に充填が可能となる以下の各モジュールの仕様を満足すること。また代表的な構成例を図 3 に示す。

ア. オフサイト方式

圧縮機： 常用圧力 82MPa 以上の吐出圧力を有し、日処理量が 230kg^{※1} 以上を有するもの

蓄圧器： 圧縮機の供給能力と合わせピーク時に1時間当たり 10 台以上の FCV (平均充填量 3kg/台) に充填可能な水素を保有するもの。圧縮機の処理能力が 30kg/h 未満である場合は以下の計算式^{※2}を満足する蓄圧器を保有すること

$(3\text{kg/台} \times 10 \text{台} - 1 \text{時間の圧縮機の処理能力})(\text{kg}) < \text{蓄圧器有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}^{※3}) - (\text{蓄圧器が } 70\text{MPa} \text{ 時に保持されている時の水素保有量}^{※3})$

※1 2030年では付属資料1より 1STの1日あたりの充填台数は75.1台と予想されるため75.1台/日 $\times 3\text{kg/台} = 225.3 \Rightarrow 230\text{kg/日}$ の製造能力を規定

※2 複数バンク方式等を採用しており、蓄圧器有効水素保有量を合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い

※3 35℃換算

冷凍機： 1時間当たり 10 台以上の FCV 充填において充填プロトコルを満足する水素充填温度に出来る能力を有するもの

ディスペンサー： 2基以上保有すること。ただし1基にノズル2系統を保有するディスペンサーを設置する場合は、その限りではない。

イ. オンサイト方式

オンサイト供給方式を採用する場合は上記アの事項に加え以下の仕様も満足すること

水素製造装置： 水素の日製造量が 230kg 以上を有するもの。

蓄圧器等： 水素製造装置の製造能力が 30kg/h 未満かつ圧縮機の処理能力未満である場合は、以下の計算式^{※1}を満足する低圧タンクあるいは蓄圧器^{※2}等を圧縮機1次側に保有すること。

$(1 \text{時間の圧縮機の処理能力} - 1 \text{時間の水素製造装置製造能力})(\text{kg}) < \text{有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{圧縮機1次側の低圧タンクあるいは蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}) - (\text{圧縮機1次側の低圧タンクあるいは蓄圧器が圧縮機吸込み圧力時に保持されている時の水素保有量}^{※3})$

※1 圧縮機1次側の有効水素保有量を合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い

※2 圧縮機2次側の車両充填に直接使用する蓄圧器から1次側へ供給する場合はア.の蓄圧器の規定と同時に満足できる様な機器構成とすること。

※3 蓄圧器の運転圧力範囲が指定されている場合は、運転圧力範囲の下限値での水素保有量

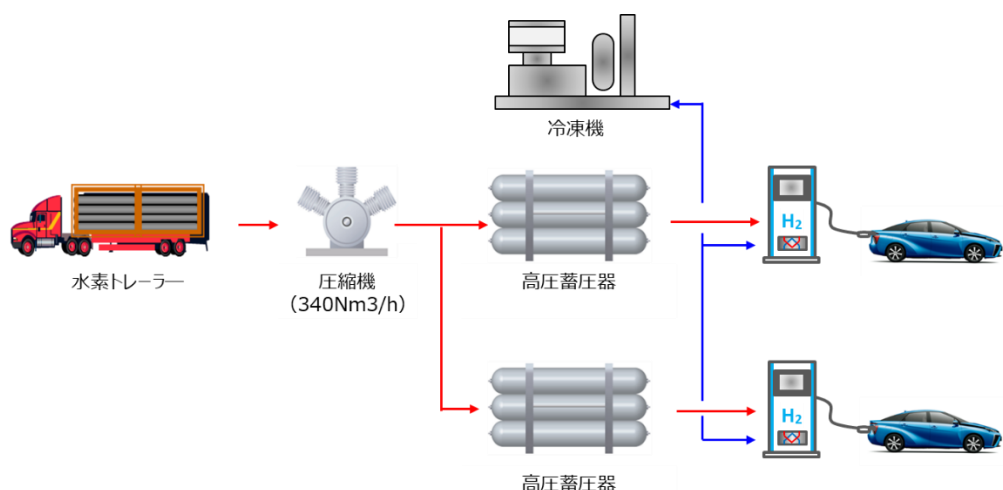


図3 大規模水素 ST 構成例※

※本図は例示であり、水素供給方式や圧縮方式、供給能力、蓄圧器の本数等を規定するものではない。

4. 2 カテゴリー2（中規模水素 ST）

中規模水素 ST は付属資料2「各分類における水素ステーションの需要推定」の検討結果に基づき2パターンに分類する。

(1) カテゴリー2.1（拡張性中規模 ST）

拡張性中規模 ST は、建設当初は(2)と同様に1時間当たり5台以上のFCV（充填量3kg/台）に充填が可能となる様な設備能力を有するものの、地域ごとのFCV普及状況に合わせた戦略的な水素 ST 整備を実現するため、需要の増加後に容易に大規模 ST と同等程度の設備能力に拡張が可能な仕様とする。また代表的な構成例を図4、図5に示す。

建設コストや冗長性等を勘案し、以下の2ケースが構成例として考えられるが、どちらの場合も建設当初に拡張時のスペースや設備配置を予め想定し、容易な改造を可能とする配管取り合いの追加をする等の考慮を行う必要がある他、拡張時の工期短縮や建設コスト低減を図る事前工事（例：拡張部分基礎工事の当初実施等）を実施することが望ましい。ただし、スペース確保や拡張想定による事前工事を行ったにも関わらず、需要が伸びず、拡張をしない（できない）という状況を避けるために、各 ST での充填台数や充填量の予測を十分に行い、拡張を実施する需要の設定値等を建設前に実施する必要がある。

①ケース1

○当初

ア. オフサイト方式

圧縮機：カテゴリー1と同等の能力を有するもの

蓄圧器：圧縮機の供給能力と合わせピーク時に1時間当たり5台以上のFCV（平均充填量3kg/台）に充填可能な水素を保有するもの。圧縮機の処理能力が15kg/h未満である場合は以下の計算式※1を満足する蓄圧器を保有すること

$$(3\text{kg/台} \times 5\text{台} - 1\text{時間の圧縮機の処理能力})(\text{kg}) < \text{蓄圧器有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}^{※2}) - (\text{蓄圧器が} 70\text{MPa 時に保持されている時の水素保有量}^{※2})$$

※1 複数バンク方式等を採用しており、蓄圧器有効水素保有量が合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い

※2 35℃換算

冷凍機：カテゴリ1と同等の能力を有するもの

ディスペンサー：1基以上保有すること

配管類：圧縮機～蓄圧器間の高圧ガス配管に拡張用の取り合いを有するもの

冷凍機ブライン配管に拡張用の取り合いを有するもの

土木工事：拡張する蓄圧器・ディスペンサーを設置するスペースを有するもの。またその設置が容易になる基礎、障壁、トレンチ、アイランド等の工事を当初実施することが望ましい。

イ. オンサイト方式

オンサイト供給方式を採用する場合は上記アの事項に加え以下の仕様も満足すること

水素製造装置：カテゴリ1と同等の能力を有するもの

蓄圧器等：水素製造装置の製造能力が15kg/h未滿且つ圧縮機の処理能力未滿である場合は、以下の計算式^{※1}を満足する低圧タンクあるいは蓄圧器^{※2}等を圧縮機1次側に保有すること。

$(1 \text{ 時間の圧縮機の処理能力} - 1 \text{ 時間の水素製造装置製造能力})(\text{kg}) < \text{有効水素保有量}(\text{kg}) =$
 $(\text{圧縮機1次側の低圧タンクが常用圧力時に保持されている時の水素保有量あるいは蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}) \cdot (\text{圧縮機1次側の低圧タンクが圧縮機吸込み圧力時に保持されている時の水素保有量あるいは蓄圧器が圧縮機吸込み圧力時に保持されている時の水素保有量})$

※1 圧縮機1次側の有効水素保有量を合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い

※2 圧縮機2次側の車両充填に直接使用する蓄圧器から1次側へ供給する場合はア.の蓄圧器の規定と同時に満足できる様な機器構成とすること。

※3 蓄圧器の運転圧力範囲が指定されている場合は、運転圧力範囲の下限値での水素保有量

○拡張時

ア. オフサイト方式

蓄圧器：拡張後の水素ST全体で見て、カテゴリ1と同等以上の能力を有していること

ディスペンサー：拡張後の水素ST全体で見て、カテゴリ1と同等以上の能力を有していること

イ. オンサイト方式

オンサイト供給方式を採用する場合は上記アの事項に加え以下の仕様も満足すること

蓄圧器等：拡張後の水素ST全体で見て、カテゴリ1と同等以上の能力を有していること

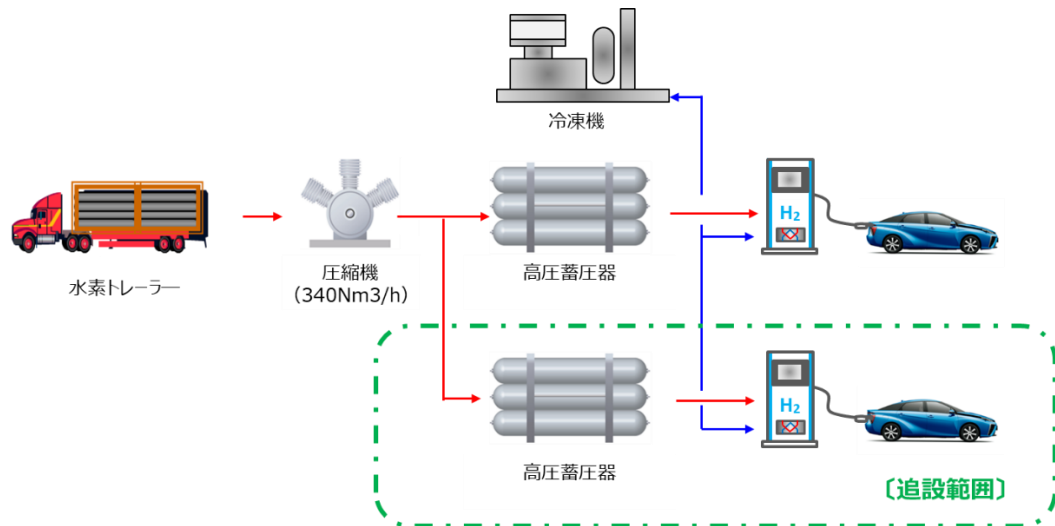


図4 拡張性中規模水素ST構成例(ケース1)※

※本図は例示であり、水素供給方式や圧縮方式、供給能力、蓄圧器の本数等を規定するものではない。

②ケース2

以下の各モジュールの仕様を満足すること。

○当初

ア. オフサイト方式

圧縮機：常用圧力 82MPa 以上の吐出圧力を有し、日処理量が 160kg/日※1 以上を有するもの

蓄圧器：圧縮機の供給能力と合わせピーク時に1時間当たり5台以上のFCV(平均充填量3kg/台)に充填可能な水素を保有するもの。圧縮機の処理能力が15kg/h未満である場合は以下の計算式※2を満足する蓄圧器を保有すること

$(3\text{kg/台} \times 5\text{台} \cdot 1\text{時間の圧縮機の処理能力})(\text{kg}) < \text{蓄圧器有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}) \cdot (\text{蓄圧器が70MPa時に保持されている時の水素保有量})$

※1 1ノズルで1時間あたり充填できる台数はFCVの入場から出場までにかかる時間や、既存設備を活用した場合の処理能力等を考慮すると5台程度であるから、最大ピーク時の台数を5台と想定した際の1日あたりの充填台数は充填台数割合(付属資料1参照)より51.1台と予想されるため51.1台/日 \times 3kg/台 = 153.3 \approx 160kg/日の製造能力を規定

※2 複数バンク方式等を採用しており、蓄圧器有効水素保有量が合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い

冷凍機：1時間当たり5台以上のFCV充填において充填プロトコルを満足する水素充填温度に出来る能力を有するもの

ディスペンサー：1基以上保有すること

配管類：圧縮機の1次側のガス配管に拡張用の取り合いを有するもの

土木工事：拡張する圧縮機・蓄圧器・冷凍機・ディスペンサーを設置するスペースを有するもの。またその設置が容易になる基礎、障壁、トレンチ、アイランド等の工事を実施することが望ましい。

イ. オンサイト方式

オンサイト供給方式を採用する場合は上記アの事項に加え以下の仕様も満足すること

水素製造装置：水素の製造量が 160kg/日以上を有するもの。

蓄圧器等：水素製造装置の製造能力が 15kg/h 未満且つ圧縮機の処理能力未満である場合は、以下の計算式^{※1}を満足する低压タンクあるいは蓄圧器^{※2}等を圧縮機 1 次側に保有すること。

$$(1 \text{ 時間の圧縮機の処理能力} - 1 \text{ 時間の水素製造装置製造能力})(\text{kg}) < \text{有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{圧縮機 1 次側の低压タンクが常用圧力時に保持されている時の水素保有量あるいは蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}) - (\text{圧縮機 1 次側の低压タンクが圧縮機吸込み圧力時に保持されている時の水素保有量あるいは蓄圧器が圧縮機吸込み圧力時に保持されている時の水素保有量}^{\text{※3}})$$

- ※1 圧縮機 1 次側の有効水素保有量を合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い
- ※2 圧縮機 2 次側の車両充填に直接使用する蓄圧器から 1 次側へ供給する場合はア. の蓄圧器の規定と同時に満足できる様な機器構成とすること。
- ※3 蓄圧器の運転圧力範囲が指定されている場合は、運転圧力範囲の下限値での水素保有量

○拡張時

ア. オフサイト方式

圧縮機：拡張後の水素 ST 全体で見て、常用圧力 82MPa 以上の吐出圧力を有するものを 2 つ以上有し、処理量が合計で 230kg/日以上を有するもの

蓄圧器：拡張後の水素 ST 全体で見て、カテゴリー 1 と同等以上の能力を有していること

ディスペンサー：拡張後の水素 ST 全体で見て、カテゴリー 1 と同等以上の能力を有していること

冷凍機：拡張後の水素 ST 全体で見て、カテゴリー 1 と同等以上の能力を有していること

イ. オンサイト方式

オンサイト供給方式を採用する場合は上記アの事項に加え以下の仕様も満足すること

水素製造装置：拡張後の水素 ST 全体で見て、カテゴリー 1 と同等以上の能力を有していること

蓄圧器等：拡張後の水素 ST 全体で見て、カテゴリー 1 と同等以上の能力を有していること

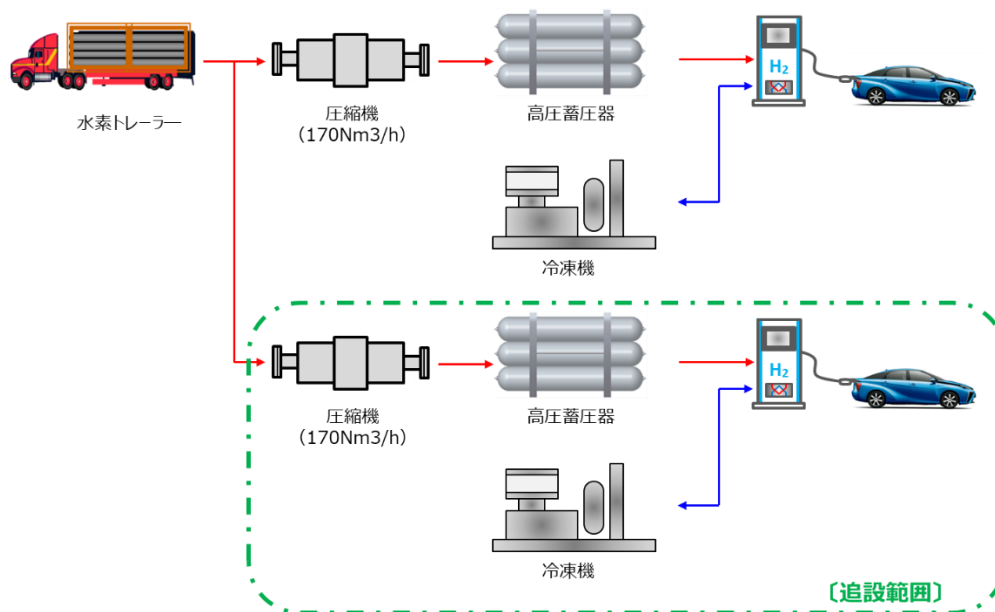


図 5 拡張性中規模水素 ST 構成例 (ケース 2) ※

※本図は例示であり、水素供給方式や圧縮方式、供給能力、蓄圧器の本数等を規定するものではない。

(2) カテゴリー2.2 (中規模水素 ST)

カテゴリー2.2は、ピーク時に1時間当たり5台以上のFCV(平均充填量3kg/台)に充填が可能となる以下の各モジュールの仕様を満足すること。また代表的な構成例を図6に示す。

圧縮機: 常用圧力82MPa以上の吐出圧力を有し、処理量が160kg/日以上を有するもの

蓄圧器: 圧縮機の供給能力と合わせピーク時に1時間当たり5台以上のFCV(平均充填量3kg/台)に充填可能な水素を保有するもの。圧縮機の処理能力が15kg/h未満である場合は以下の計算式^{※1}を満足する蓄圧器を保有すること

$(3\text{kg/台} \times 5\text{台} - 1\text{時間の圧縮機の処理能力})(\text{kg}) < \text{蓄圧器有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}) - (\text{蓄圧器が70MPa時に保持されている時の水素保有量})$

※1 複数バンク方式等を採用しており、蓄圧器有効水素保有量が合理的に算出できる場合は、上記の計算式を用いなくても良い

冷凍機: 1時間当たり5台以上のFCV充填において充填プロトコルを満足する水素充填温度に出来る能力を有するもの

ディスペンサー: 1基以上保有すること

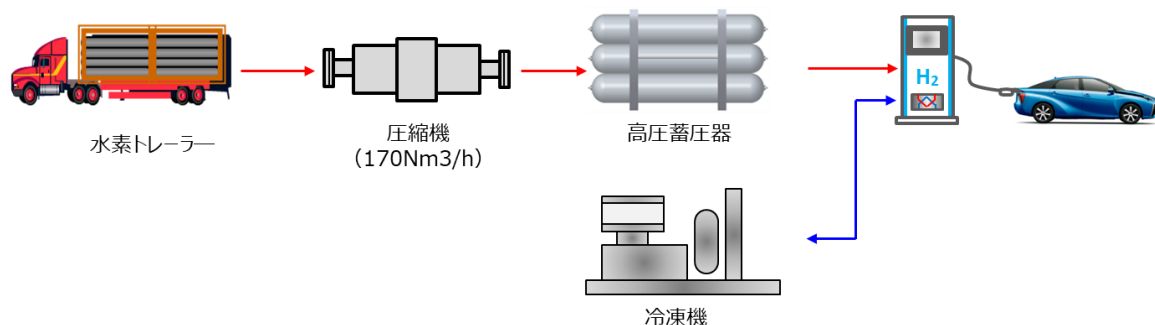


図6 中規模水素 ST 構成例[※]

※本図は例示であり、水素供給方式や圧縮方式、供給能力、蓄圧器の本数等を規定するものではない。

4. 3 カテゴリー3 (小規模水素 ST)

カテゴリー3は中規模水素 ST 未満(1時間当たり5台未満のFCV(平均充填量3kg/台)に充填)の設備能力を有するカテゴリーである。

小規模水素 ST は事業性が見込めないものの、FCV 普及初期段階にある地域における水素インフラとして設置が必要である規模カテゴリーとして認識される。また需要や仕様は、設置する地域や条件で大きく異なってくるため、本カテゴリーの仕様・構成例については明記しない。

4. 4 現行の水素 ST 分類との比較

上記の分類(新分類)と現行の次世代自動車振興センター(NeV)が平成30年度「燃料電池自動車用水素供給設備設置補助事業」で掲げる水素 ST 分類(NeV 分類)との違いは表1の通り。また、本ガイドライン分類と現行の分類との比較を図7に示す。

表1 本ガイドライン分類と現行の分類との比較

		新分類		NeV分類（現行ST分類）
大規模	名称	カテゴリ1（大規模ST）		
	圧縮機能力（圧力,日処理量）	82MPa以上の吐出圧力且つ230kg/日以上		
	ピーク時供給能力	圧縮機の処理量と有効水素保有量の合算値が30kg/h以上 (10台/h×3kg/台)		
	充填能力	JPEC-S0003準拠		
	ディスベンサー	2基以上保有 ^{※1}		
	水素製造能力	230kg/日以上 ^{※1}		
中規模	名称	カテゴリ2-1（拡張性中規模ST）		
		当初	拡張後	
	圧縮機能力（圧力,日処理量）	82MPa以上の吐出圧力且つ 160kg/日以上 ^{※2} の処理量	82MPa以上の吐出圧力且つ 230kg/日以上 ^{※2} の処理量	
	ピーク時供給能力	圧縮機の処理量と有効水素保有量の合算値が15kg/h以上 (5台/h×3kg/台)	圧縮機の処理量と有効水素保有量の合算値が30kg/h以上 (10台/h×3kg/台)	
	充填能力	JPEC-S0003準拠		
	ディスベンサー	1基以上	2基以上保有 ^{※1}	
	水素製造能力	160kg/日以上 ^{※1}	230kg/日以上 ^{※1}	
	名称	カテゴリ2-2（中規模ST）		中規模
	圧縮機能力（圧力,日処理量）	82MPa以上の吐出圧力且つ160kg/日以上		300Nm ³ /h以上
	ピーク時供給能力	圧縮機の処理量と有効水素保有量の合算値が15kg/h以上 (5台/h×3kg/台)		
充填能力	JPEC-S0003準拠		5kg/台を3分程度で充填	
ディスベンサー	1基		規定せず	
水素製造能力	160kg/日以上 ^{※1}		300Nm ³ /h以上	
小規模	名称	カテゴリ3（小規模ST）		小規模
	圧縮機能力（圧力,日処理量）	規定せず（35MPa等も考えられる）		50Nm ³ /h以上300Nm ³ /h未満
	ピーク時供給能力	160kg/日未満		
	充填能力	規定せず（ノンプレカール充填も考えられる）		5kg/台を3分程度で充填
	ディスベンサー	1基		規定せず
	水素製造能力	160kg/日未満 ^{※1}		50Nm ³ /h以上300Nm ³ /h未満
				※1 その他規定あり
				※2 4.2(1)ケース1を選択する場合は当初から拡張後の能力を有するもの

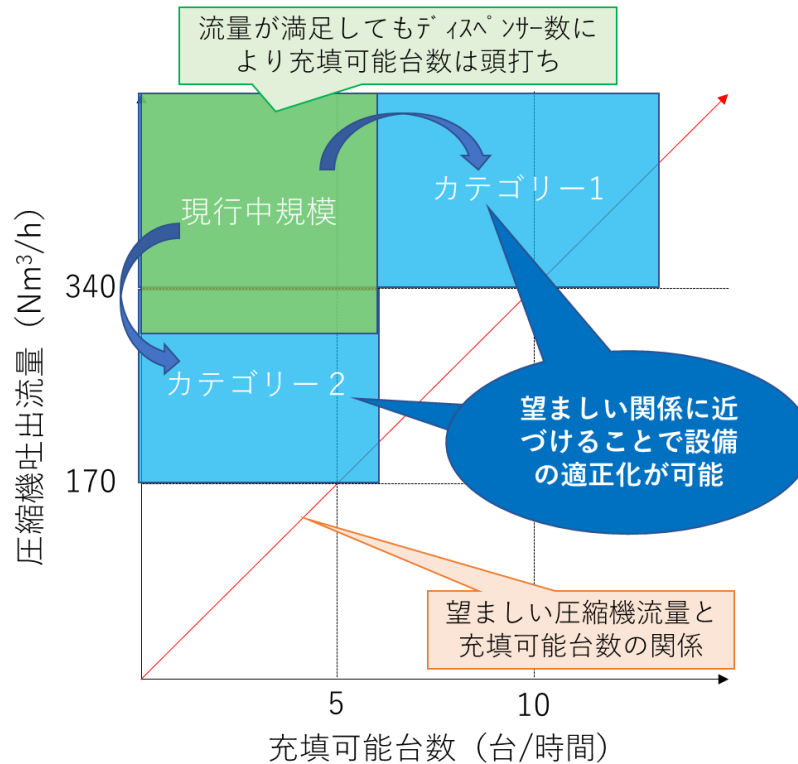


図7 本ガイドライン分類と現行の分類との比較

5. 水素STの標準化について

5. 1 標準化の基本的考え方

標準化を行った上で、その標準仕様で水素STを建設するようになるためにはステークホルダー全てに受け入れられる標準でなければならない。そのために最も考慮すべき点は、協調領域と競争領域を明確に区分することである。

モジュール内については、各々方式等も大きく異なることや技術的課題も多く、各メーカーの競争による技術ブレイクスルーを目指すことで低コスト化が可能である。一方、どの水素STでも概ね似た仕様かつ技術が確立されてきているモジュール間については、仕様を標準化することにより、製品の単一化や水素ST設計の単純化が促進され、量産効果や効率化によるコスト低減が可能となる。

そこで、本ガイドラインでは、モジュール間およびモジュールの取り付け部分の標準化を提示する。

5. 2 設備・機械に関わる標準化

(1) 設計圧力・設計温度

圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所の設計圧力は、圧縮機の設計圧力・温度以上であり94MPa以上、設計温度は50℃以上とする。なお、設計圧力・温度はモジュール間に設置するバルブや圧力計といった機器にも適用することが必要である。ただし、個社が設計圧力を統一化せず、配管肉厚の削減を進めていく場合のコスト低減効果よりも標準化によるコスト低減効果が大きいと認められれば、設計圧力を99MPaとするなど1点を標準とすることが望ましい。

(2) 常用圧力

一般高圧ガス保安規則第7条の3では、水素STの常用圧力は82MPa以下と定められている。

一方で、将来的には離隔距離等が現行の基準同等の前提で、現行の設計圧力を超えない範囲での常用圧力引き上げが可能となれば水素保有量増加や蓄圧器の本数削減が可能となる可能性があるため、特にディスプレイ内熱交換器前流までについては、コスト観点から 82MPa を超える常用圧力への引き上げが望ましい。

(3) 最高充填圧力

一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 では、最高充填圧力＝常用圧力となる。

将来的には、(2) の望ましい形である常用圧力引き上げの際に最高充填圧力の引き上げも可能となるが、現状でもほとんどの充填で SOC98% を満足した充填ができていることや、ディスプレイ内熱交換器後流からノズルまでは低温且つ高圧水素となるため、当該箇所の圧力のさらなる引き上げはトラブル増加の要因になりかねないため、最高充填圧力の引き上げは、常用圧力の引き上げと切り分けて検討することが望ましい。

(4) 充填プロトコル

一般高圧ガス保安規則の例示基準において、35MPa を超える充填をする場合、充填時の圧力上昇率や充填停止圧力について圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S0003 に従うことと定められている。

将来的には設備・運営コスト低減や機器のトラブル低減に寄与できる、現行水素 ST の充填時間と同等で水素温度緩和可能な充填制御の導入が望ましい。

(5) 使用鋼材

一般高圧ガス保安規則の例示基準で認められた使用鋼材を使用する。

将来的には安価且つ加工が容易な汎用材や設計係数が抑えられる材料を導入することが望ましい。

(6) 配管取合形状

圧縮機出口以降で常用圧力が 82MPa となる箇所のモジュールと配管の取り合いはコーン&スレッドとする。

(7) 配管取合口径

圧縮機出口以降で常用圧力が 82MPa となる箇所のモジュールと配管の取り合いの口径は 14.29 mm (9/16 インチ) とする。

(8) 主要設備のパッケージ化

建設コスト低減（機器費・現地工事費）及び敷地面積削減の観点から、水素 ST の主要構成設備をパッケージ化することが望ましい。

「4. 水素 ST の分類について」で規定した各水素 ST 規模カテゴリーでは機器構成・仕様が異なるが、主要設備のパッケージ化設計は以下の要件を考慮することが望ましい。

① カテゴリー 1（大規模水素 ST：2 レーン）

a. 圧縮機モジュール・冷凍機モジュール共用（各 1 台）ケース

- ・ 圧縮機モジュール・冷凍機モジュールを 2 レーンで共用化するカテゴリー 1 水素 ST では、2

レーン相当の能力を有する圧縮機モジュール、高圧蓄圧器モジュール、冷凍機モジュールをパッケージ化することが望ましい。

- ・ さらに、中間蓄圧器を必要とする水素 ST においては（オンサイト方式の中間蓄圧器、オフサイト方式の荷降し蓄圧器など）、蓄圧器モジュールには中間蓄圧器も一括収納することが望ましい。
- ・ パッケージ化に際しては、輸送上の制約から一括輸送が困難な場合は、パッケージを分割可能な構成とし廉価な輸送手段を選択可能とすることが望ましい。この場合、現地での配置は各モジュールを接して配置し、現地工事を極小化することが望ましい。
- ・ 蓄圧器モジュール内レイアウトにおいて、蓄圧器寿命による交換の容易性を考慮し、例示（図 8）のように交換頻度の高い高圧蓄圧器^{※1}を交換頻度の低い中間蓄圧器^{※2}の上方に設置することが望ましい。

※1：高圧蓄圧器は、FCV 充填ごとに各バンク（高圧蓄圧器）に圧力サイクルが生じるため蓄圧器の圧力サイクル回数上限値（寿命）に達するのが早く、交換頻度が高くなることが想定される。

※2：中間蓄圧器は、中間蓄圧器への蓄圧回数が圧力サイクル回数となるため設置される中間蓄圧器本数にもよるが、高圧蓄圧器に比較し圧力サイクル回数は低く抑えられるため蓄圧器の圧力サイクル回数上限値（寿命）に達するのが抑制され、交換頻度が低くなることが想定される。

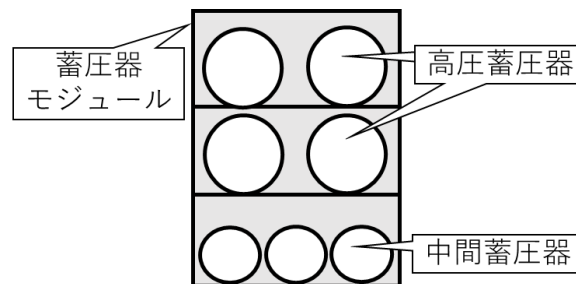


図 8 一括収納型蓄圧器モジュールの望ましいレイアウト
(本数は例示)

b. 圧縮機モジュール・冷凍機モジュール個別（各 2 台）ケース

- ・ 圧縮機モジュール・冷凍機モジュールをレーンごとに個別設置するカテゴリー 1 水素 ST では、1 レーン相当の能力を有する圧縮機モジュール、高圧蓄圧器モジュール、冷凍機モジュールをパッケージ化することが望ましい。さらに、ディスペンサーも収納したパッケージも適用可能である。この際には FCV の充填口の位置（左右）を考慮したディスペンサー仕様とする必要がある。
- ・ 中間蓄圧器を必要とする水素 ST においては（オンサイト方式の中間蓄圧器、オフサイト方式の荷降し蓄圧器など）、蓄圧器モジュールには中間蓄圧器も一括収納することが望ましい。
- ・ パッケージ化に際しては、輸送上の制約から一括輸送が困難な場合は、パッケージを分割可能な構成とし廉価な輸送手段を選択可能とすることが望ましい。この場合、現地での配置は各モジュールを接して配置し、現地工事を極小化することが望ましい。
- ・ 中間蓄圧器を持つ蓄圧器モジュール内レイアウトにおいて、蓄圧器寿命による交換の容易性を考慮し、交換頻度の高い高圧蓄圧器を交換頻度の低い中間蓄圧器の上方に設置することが望ましい。

② カテゴリー 2-1 (拡張性中規模水素 ST)

a. 圧縮機モジュール・冷凍機モジュール共用 (各 1 台) ケース

- ・ 圧縮機モジュール・冷凍機モジュールを 2 レーンで共用化するカテゴリー 1 (大規模水素 ST) への拡張性を考慮したカテゴリー 2-1 水素 ST では、2 レーン相当の能力を有する圧縮機モジュール、冷凍機モジュールと高圧蓄圧器を増設可能な高圧蓄圧器モジュールをパッケージ化し、地域ごとの FCV 普及状況に合わせ容易な能力拡張を実現可能とする設計とすることが望ましい。
- ・ さらに、中間蓄圧器を必要とする水素 ST においては (オンサイト方式の中間蓄圧器、オフサイト方式の荷降し蓄圧器など)、蓄圧器モジュールには中間蓄圧器も一括収納することが望ましい。
- ・ パッケージ化に際しては、輸送上の制約から一括輸送が困難な場合は、パッケージを分割可能な構成とし廉価な輸送手段を選択可能とすることが望ましい。この場合、現地での配置は各モジュールを接して配置し、現地工事を極小化することが望ましい。
- ・ 蓄圧器モジュール内レイアウトにおいて、蓄圧器寿命による交換の容易性を考慮し、交換頻度の高い高圧蓄圧器を交換頻度の低い中間蓄圧器の上方に設置することが望ましい。

b. 圧縮機モジュール・冷凍機モジュール個別 (2 台) ケース

- ・ 圧縮機モジュール・冷凍機モジュールを 1 レーンごとに個別設置するカテゴリー 1 (大規模水素 ST) への拡張性を考慮したカテゴリー 2-1 水素 ST では、1 レーン相当の能力を有する圧縮機モジュール、高圧蓄圧器モジュール、冷凍機モジュールを 1 パッケージとし設置し、FCV 普及状況に合わせ同一のパッケージを追設可能な機器配置設計とし、容易な能力拡張を実現可能とする設計とすることが望ましい。
- ・ さらに、中間蓄圧器を必要とする水素 ST においては (オンサイト方式の中間蓄圧器、オフサイト方式の荷降し蓄圧器など)、蓄圧器モジュールには中間蓄圧器も一括収納することが望ましい。
- ・ パッケージ化に際しては、輸送上の制約から一括輸送が困難な場合は、パッケージを 2 分割可能な構成とし廉価な輸送手段を選択可能とすることが望ましい。この場合、現地での配置は各モジュールを接して配置し、現地工事を極小化することが望ましい。
- ・ 蓄圧器モジュール内レイアウトにおいて、蓄圧器寿命による交換の容易性を考慮し、交換頻度の高い高圧蓄圧器を交換頻度の低い中間蓄圧器の上方に設置することが望ましい。

③ カテゴリー 2-2 (中規模水素 ST) 及びカテゴリー 3 (小規模水素 ST)

- ・ 1 レーン仕様であるカテゴリー 2-2 (中規模水素 ST) 及びカテゴリー 3 (小規模水素 ST) では、1 レーン相当の能力を有する圧縮機モジュール、高圧蓄圧器モジュール、冷凍機モジュールを 1 パッケージとすることが望ましい。
- ・ 1 レーン仕様であるカテゴリー 2-2 (中規模水素 ST) 及びカテゴリー 3 (小規模水素 ST) では、前項のパッケージにさらにディスペンサーも収納したパッケージも適用可能である。この際には FCV の充填口の位置 (左右) を考慮したディスペンサー仕様とする必要がある。
- ・ さらに、中間蓄圧器を必要とする水素 ST においては (オンサイト方式の中間蓄圧器、オフサイト方式の荷降し蓄圧器など)、蓄圧器モジュールには中間蓄圧器も一括収納することが望ましい。

- ・ パッケージ化に際しては、輸送上の制約から一括輸送が困難な場合は、パッケージを分割可能な構成とし廉価な輸送手段を選択可能とすることが望ましい。この場合、現地での配置は各モジュールを接して配置し、現地工事を極小化することが望ましい。
- ・ 蓄圧器モジュール内レイアウトにおいて、蓄圧器寿命による交換の容易性を考慮し、交換頻度の高い高圧蓄圧器を交換頻度の低い中間蓄圧器の上方に設置することが望ましい。

5. 3 制御・電気に関わる標準化

(1) 制御盤構成

機器費・現地工事費低減や敷地面積削減の観点から、制御盤数は可能な限り削減する必要がある。特に、今後新規で製作されるパッケージの制御盤については、充填制御機能（充填プロトコル制御やバンク切り替え制御をつかさどる充填制御ボード）はディスプレイ内に収納し、その他の設備（圧縮機、補器類など）の制御機能を統合制御盤として一体化することが望ましい。

(2) 制御信号

(1)の原則に基づき、統合制御盤と、各主要機器および水素供給設備(水素製造装置や受け入れ設備等)等間の取り合い制御を設計する。

なお、どのような制御盤構成をとったとしても、各モジュールとの信号は表2、表3、表4、表5の項目を共通で保有するものとする。

表2 圧縮機モジュール制御信号

信号名称	出力/入力	信号タイプ	行先	備考
圧縮機起動・停止指令	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	
圧縮機運転中	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	
重故障/軽故障	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	
補機起動・停止指令	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	
ガス検知異常	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項16号
吸込バルブリミットアンサ	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項6号
吐出バルブリミットアンサ	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項22号
吸込圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項6号
吸込温度	出力	数値データ※	統合制御盤	
各段圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項6号
各段温度	出力	数値データ※	統合制御盤	6条1項18号
吐出圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項6号
吐出温度	出力	数値データ※	統合制御盤	6条1項18号
換気扇運転/異常	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項6号(パッケージモジュールに収納する場合)

※ハードワイヤの場合はアナログ 4-20mA 信号とする。

表3 冷凍機モジュール制御信号

信号名称	出力/入力	信号タイプ	行先	
冷凍機運転・停止指令	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	
冷凍機運転中	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	
ブライポンプ 運転・停止指令	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	

ブラインポンプ運転中	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	
重故障/軽故障	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	
ブライン温度	出力	数値データ※	統合制御盤	

※ハードワイヤの場合はアナログ 4-20mA 信号とする。

表 4 ディスペンサーモジュール制御信号

信号名称	出力/入力	信号タイプ	行先	備考
充填許可要求/充填許可	出力/入力	ON/OFF データ	統合制御盤	
蓄圧器出口バルブ開閉指令	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	
重故障/軽故障	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	
ディスペンサー入口圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	
ディスペンサー出口圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項28号
ディスペンサー入口温度	出力	数値データ※	統合制御盤	
ディスペンサー出口温度	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項28号
車両タンク温度	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項28号
車両タンク圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項28号
車両充填量	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項28号
感震センサ (衝突防止)	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項23号(7条の3第1項準拠の場合不要)
外気温	出力	数値データ※	統合制御盤	

※ハードワイヤの場合はアナログ 4-20mA 信号とする。

表 5 蓄圧器モジュール制御信号

信号名称	出力/入力	信号タイプ	行先	備考
水素配管バルブ開閉指令	入力	ON/OFF データ	統合制御盤	
水素配管バルブリミット	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項22号
ガス検知異常	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項16号
火災検知異常	出力	ON/OFF データ	統合制御盤	7条の3第2項19号
蓄圧器圧力	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項35号
蓄圧器表面温度	出力	数値データ※	統合制御盤	7条の3第2項20号

※ハードワイヤの場合はアナログ 4-20mA 信号とする。

(3) 車両通信システム構成

車両通信システム構成については、車両からの受信信号を直接ディスペンサーに取り込むことが望ましい。

(4) 複数車両への充填制御

複数車両への充填を行う場合は、同時充填可能な制御を保有することが望ましい。

(5) 遠隔監視

現行の水素 ST では、故障のメール発報や遠隔地での PC における監視など様々な遠隔監視方法がある。将来的には、遠隔監視型セルフスタンド検討会等で検討される業界自主ガイドライン案等に従い、遠隔監視システムを構築する必要がある。

5. 4 その他の標準化

(1) ディスペンサー配管取り出し位置

ディスペンサーに接続する配管（水素配管、冷媒配管、放散配管）は、ディスペンサー下部から接続するものとする。

(2) ディスペンサー表示

商用水素 ST のディスペンサー表示器表示内容は車両に供給される水素ガス充填量（kg）を表示するものとする。また、顧客利便性の観点から金額についても表示することが望ましい。

5. 5 標準化対応項目一覧

上記の標準化項目が水素 ST のどの場所に該当するかを表 6 に示す。

表 6 標準化対応項目一覧

	圧縮機	圧縮機～ 蓄圧器	蓄圧器	蓄圧器～ ディスペンサー	ディスペンサー	制御 関連
設計圧力・設計温度	△※1,5	○	△※2,5	○	△※3,5	—
常用圧力	△※1	○	○	○	○	—
最高充填圧力	—	—	—	—	○	—
充填プロトコル	—	—	—	—	○	—
使用鋼材	△※1,5	○	△※2,5	○	△※3,5	—
配管取合形状	○	○	○	○	○	—
配管取合口径	○	○	○	○	○	—
配管内径	△※1,5	○	△※2,5	○	△※3,5	—
制御盤構成	△※4	—	—	—	△※4	○
制御信号	—	—	—	—	—	○
車両通信システム構成	—	—	—	—	○	○
バンク方式	—	—	○	—	—	○
遠隔監視	—	—	—	—	—	○
ディスペンサー配管 取り出し位置	—	—	—	○	○	—
ディスペンサー表示	—	—	—	—	○	—

※1 最終の遮断弁出口～取り合い部分までが該当

※2 蓄圧器モジュール内配管等が該当

※3 取合い部分～遮断弁までが該当

※4 モジュールに制御盤を持つ構造である場合該当

※5 競争領域であるものの本ガイドラインを適用することも可能

凡例 ○：該当 △：一部該当 —：非該当

6. 付属資料

付属資料 1：本格普及期での商用水素ステーション充填パターン解析

付属資料2：各分類における水素ステーションの需要推定

付属資料3：水素ステーション建設工事 購入統一仕様書 標準化検討反映版（オフサイト方式向け）

(2-(2)-①)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発 委託：事業者名 JFEスチール(株)、JFEコンテナー(株)、千代田化工建設(株)

●成果概要 (実施期間：2018年度～2022年度終了予定)

- ・蓄圧器使用応力場ではAEは検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知可能であることを明確化。
- ・小型容器を用いた試験から、容器内からのき裂進展に起因する漏洩発生時において、その漏洩発生位置をAE信号から特定可能であることを立証。
- ・研究成果を関係学会誌へ掲載1件、関係学会への口頭発表6件を実施し、本開発技術の有効性を告知することで、規格化に資する活動を実施中。

●背景/研究内容・目的

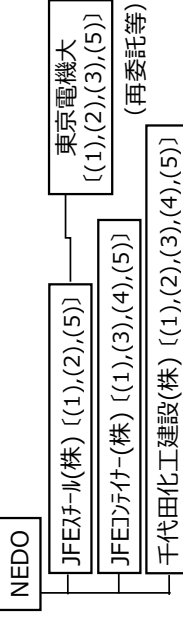
【背景】水素蓄圧器の定期自主検査は、開放検査および非破壊検査(肉厚測定)を実施することが定められている。Type1蓄圧器はUTを用いた供用中検査が可能である一方、タイプ2蓄圧器は表面がCFRP層で覆われているためUT法の適用が困難となり、コスト高な開放検査が必須。

【研究内容・目的】タイプ2蓄圧器へのアプリーク・インシジョン法(AE法)の適用技術を開発することで、Type2蓄圧器の供用中検査を可能とし、水素ステーションの保安検査の運営コストを削減する。

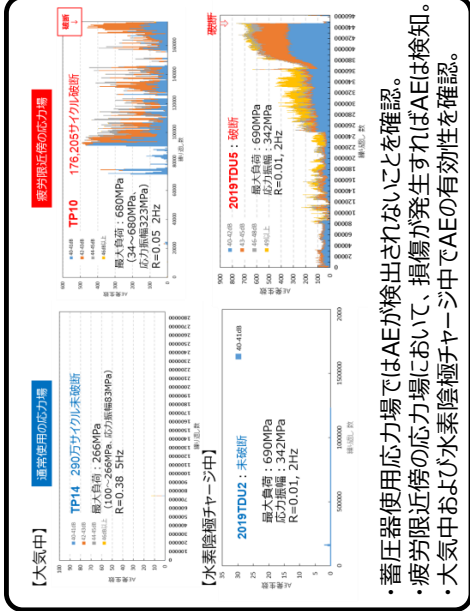
●研究目標

実施項目	最終目標
(1) 定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築	AE法の供用中検査基準の策定
(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展とAE波の発生関係の評価	鋼材の疲労き裂発生進展とAE波の発生関係の評価
(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	使用応力場及び疲労限近傍の応力場にてのAE発生挙動を確認
(4) 実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築	実機稼働中のAE発生挙動を確認し、ノイズの原因や除去方法を確立。
(5) 基準化への取組(2021年度以降計画)	民間規格化(日本非破壊検査協会規格)の試み。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容/研究成果



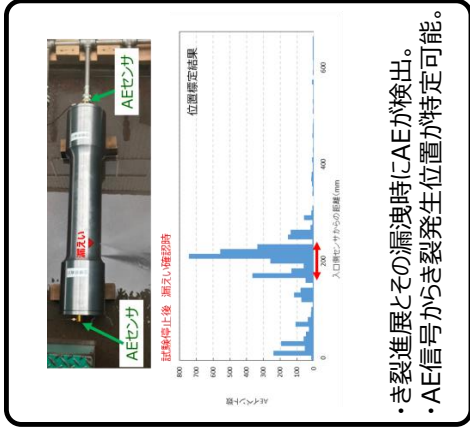
- ・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されないことを確認。
- ・疲労限近傍の応力場において、損傷が発生すればAEは検知。
- ・大気中および水素陰極化でAEの有効性を確認。

●今後の課題

・実水素ステーションでのノイズの原因と除去方法の検討。

●実用化・事業化の見通し

- ① 定期自主検査指針などの供用中検査基準にAE法が導入される事により、運営コスト削減が可能とし、市場の拡大につながる。
- ② 先行するフェーズドアレイ法と比較して、供用中検査の作業負荷が少なく、優位性が高い。
- ③ 東邦ガス様と共同で実水素ステーションでの適応事例の蓄積



- ・き裂進展とその漏洩時にAEが検出。
- ・AE信号からき裂発生位置が特定可能。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(1)	日本非破壊検査協会での規格委員会の設置準備中	△
(2)	・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず。 ・疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知。 ・大気中および水素チャージ中でAEの有効性が確認。	○
(3)	・き裂進展時に、発生位置が特定。	△
(4)	・加圧時と減圧時で異なる発生数となるノイズ源が存在するなど実環境でのAEノイズの状況を把握した。	△
(5)	規格化に資する検討委員会の設置/運営を準備中	-

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	6	0

課題番号：2-(2)-①

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーション用タイプ2 蓄圧器の供用中検査手法の研究開発」

実施者：JFE スチール株式会社

JFE コンテナ株式会社

千代田化工建設株式会社

1. 研究開発概要

1. 1 タイプ2 蓄圧器の供用中検査方法の必要性

水素・燃料電池戦略ロードマップで示された水素ステーションの2020年160箇所、2025年320箇所程度の設置を実現するためには、水素ステーション事業の自立化に向けたさらなる水素燃料電池自動車（FCV：Fuel Cell Vehicle）の導入支援と合わせて水素ステーション整備費、運営費、更には水素調達コストの低減に係る技術開発が重要となる。世界に先駆けて商用水素ステーションの設置を進めてきたが、設置当初とは異なる新たな課題が明確になってきた。水素ステーション、FCVの本格的普及を実現するために、新たな共通課題を解決することで、水素ステーション事業の自立化に向けた取り組みが求められている。

一方、水素ステーションの設備構成においては、水素蓄圧器のコスト比率が大きく課題となっている。そこで、NEDO 事業「水素利用研究開発事業」において、量産型の継ぎ目なし厚肉鋼管を素材とする低合金金属円筒を炭素繊維強化プラスチックで補強するタイプ2 蓄圧器が実用化のレベルに至っている。このタイプ2 複合蓄圧器を使用すれば、既存の鍛造製タイプ1 蓄圧器と比較して、コスト低減、重量効率の向上が可能となるため、タイプ2 蓄圧器の拡販が期待されている。

水素ステーションの運営費の中で水素蓄圧器の定期自主検査費用が課題となっている。水素蓄圧器の耐圧性能および強度に関する検査は、目視検査および非破壊検査（肉厚測定）を実施することが定められており、現状では2～3年に一度は蓄圧器を開放し、目視検査を実施している。しかしながら、定期自主検査は水素ステーションを連続10日程度の休業させる必要があり、運営の大きな負担となる。そこで、近年では保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンドおよびコールド・エバポレーター関係を除く。）KHKS 8501-1(2011)の附属書D(規定)供用中探傷試験では、当該附属書のD.3a) 1) において供用中探傷試験として、超音波探傷試験法（UT法）が定義されている。この保安検査基準が改訂されたことで、スタンドへの適用が予定されている。非破壊検査協会から新たに発行された蓄圧器に係るUT法を用いて、供用中探傷試験を行う事により、定期自主検査の代替となりえ、定期自主検査にともなる運営費低減に繋がることを期待されている。

一方、タイプ2 蓄圧器は金属円筒の外表面がCFRP層で覆われていることから、超音波が大きく減衰し、CFRP層からの蓄圧器内面の欠陥の検査は現実的ではない。そこで、Type2 蓄圧器においても供用中で非破壊・非開放で検査できる技術開発が求められている。そこで、本研究開発では、タイプ2 蓄圧器の供用中検査手法にUTよりも実用的で簡便な非破壊検査技術のひとつであるAEを適用し、金属円筒の損傷（疲労き裂発生やき裂進展挙動）を供用中に開放せずに検知する検査法を実用化する技術開発を目的とする。本技術開発により、AE法が従来の検査法に替わる適切な検査手法であることを検証し、検査による水素ステーションの長期間の休業を不要とし、ユーザーの利便性向上、メンテナンスコストの低減が可能となる。

1. 2 AE法の概要（従来AE法と現在の最新AE法の比較）

AEとは、固体材料内部で局所的かつ急激なエネルギー開放を生じる現象が発生すると、それに伴い超音波領域の周波数の弾性波（AE波）が放出される現象である。図1左に示すように、材料中のき裂形成に伴って発生したAE波（図1右）を対象材料表面に設置したAEセンサーによって検出し、その波形を分析、評価することによって材料の損傷の検知や損傷形態の情報を得ることができる。

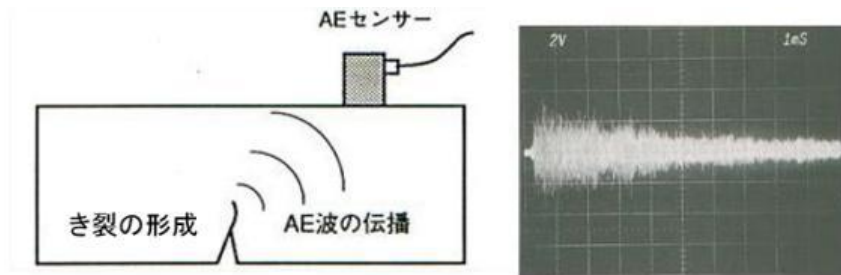


図1 AE法の概念

AE法の主な特徴は以下のように挙げられる。

- ・き裂が発生するAEを検出するため、UTのように超音波エネルギー等を与える必要がない（受動的）
- ・センサ走査しなくても広域の検査が可能であり、複数のセンサを用いれば、AE源の位置標定可能（広域的）
- ・活性で危険度の高いき裂ほど検出が容易。
- ・センサ設置後、遠隔・自動検査が可能。

AE法は30年以上前より、材料開発や圧力蓄圧器の品質管理等に活用されてきたが、近年のIT関連技術の劇的な進歩によって、最新のAE法は従来のそれと比較して格段に向上している。

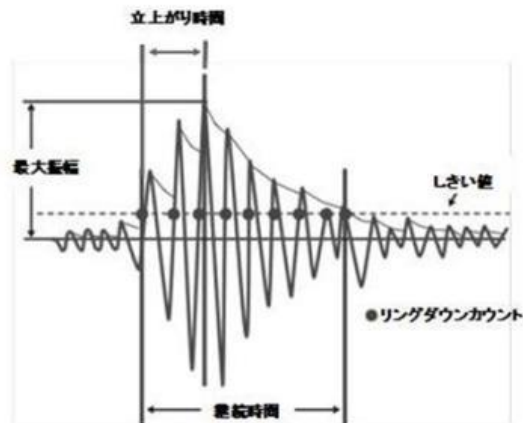


図2 従来のAE波形分析法（AEパラメーター法）

過去のAE計測においては、計測用コンピュータの計算処理速度や記憶速度・記憶容量に限界があり、発生した全てのAE波形をコンピュータに記録できず、図2に示すようなAEパラメータ法と呼ばれる、最大振幅や継続時間などの波形の特徴量だけを数値で抽出して分析、評価を行うものであり、重要なAE波形の取り逃がしや、ノイズ処理に課題があった。

一方、近年のIT技術によってコンピュータの処理速度、記憶媒体の大容量化によって最新のAE法は詳細なAE波形の分析・評価が可能となった。そのため、図3に示すようなコンピュータ内部にAE波形を直接読

み込むことが可能になると共に、1秒間に数万のAE波形を記録、処理することができるようになり、重要なAE波形を取り逃す事なく全てのAE波を分析・評価することができるようになった。更に、最新の各種デジタル信号処理技術を実時間で導入でき、図3に示すように材料の損傷に起因した真のAE波(図3(a))とノイズ(図3(b))との弁別にパターン認識法などが適用できるようになり、計測後、数時間という実用的な処理時間で正確に真のAE波を抽出できるようになったのが最新のAE技術である。本提案のタイプ2蓄圧器の供用中検査手法には上記のような最新のAE技術を適用する。

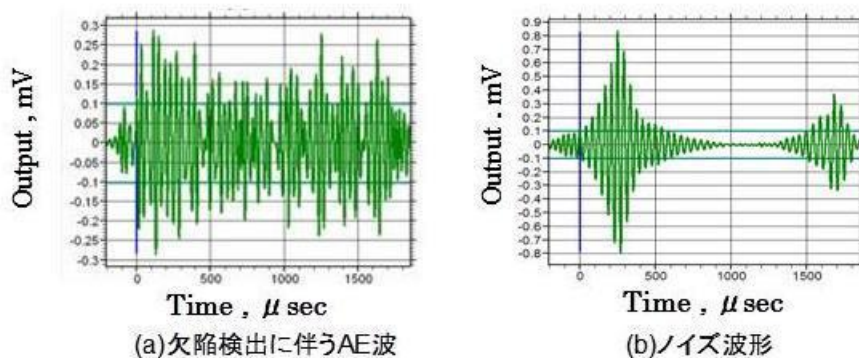


図3 最新のAE波形分析法(波形パターン分類法など)

2. 研究開発目標

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(1) : 定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築	AE法の供用中検査基準の策定
(2) : 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	鋼材の疲労き裂発生進展とAE波の発生関係を明らかにし、定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得。
(3) : 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	使用応力場及び疲労限近傍の応力場にてのAE発生挙動を確認
(4) : 実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築	実機稼働中のAE発生挙動を確認し、ノイズの原因や除去方法を確立する。
(5) : 基準化への取組	JSNDIの規格委員会において協議/審査し、2022年度までに日本非破壊検査協会規格の制定を試みる。 (参考: 2021年度以降実施計画)

2. 1 (1) : 定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築

(担当: JFEスチール(株)、JFEコンテナ(株)、千代田化工建設(株))

本研究開発の成果は、定期自主検査などに導入されて始めて水素ステーションのライフサイクルコスト(整備費用、運営費用)の低減が可能となる。AE法による供用中検査は業界全体で共有できる検査方法とする事が重要であり、定期自主検査不要になる取組を関係機関と共に検討する事が重要である。本項目では、本

研究開発成果の業界全体へ波及を鑑み、業界と連携した定期自主検査への「供用中 AE 法（以降、AE 法）」の導入シナリオの構築を目的とし、最終目標を AE 法の供用中検査基準の策定とする。

2. 2 (2) : 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動の AE による検出

(担当 : JFE スチール株、千代田化工建設株)

今回の対象である低合金鋼の疲労に伴う AE データについては、AE と疲労現象とを明確に結びつけた事例は無く、詳細な検討をする必要がある。蓄圧器の疲労試験では、試験時間が長くなり、試験費用も高額になるため、複数の条件での試験を実施するためには試験片による試験が必要となる。また、試験片と蓄圧器では、同じ金属材料の疲労に伴う AE は同じであるが、疲労する領域の違いや応力のかかり方という観点で挙動が異なることも考えられるため、蓄圧器を用いた試験も実施し検証を行う。

タイプ 2 蓄圧器の金属円筒にき裂が発生すると、水素の漏洩に繋がる。金属材料は、疲労の進行とともに、段階的に疲労破壊が発生する。これらの変化に対し、AE 法が有効であると考えられ、疲労き裂の進展状況を検知できれば、有効な保全管理技術になり得る。本項目では、鉄鋼材料の疲労き裂発生進展と AE 波の発生関係を、鋼製小型片を用いて評価する事を目的とする。更に、実機蓄圧器では、高圧水素による水素劣化が想定される事から、連続陰極チャージ法を併用して、水素環境下における疲労き裂発生進展と AE 波の発生挙動に及ぼす水素劣化の影響を評価する事を目的とする。最終目標は、上述の知見を元に鋼材の疲労き裂発生進展と AE 波の発生関係を明らかにし、定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得することとする。

2. 3 (3) : 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動の AE による検出

(担当 : JFE コンテナ株、千代田化工建設株)

タイプ 2 蓄圧器の金属円筒にき裂が発生すると、水素の漏洩に繋がる。金属材料は、疲労の進行とともに、段階的に疲労破壊が発生する。これらの変化に対し、AE 法が有効であると考えられ、疲労き裂の進展状況を検知できれば、有効な保全管理技術になり得る。本項目では、小型鋼製蓄圧器の疲労き裂発生進展と AE 波の発生関係を、鋼製蓄圧器を用いて評価する事を目的とする。最終目標は、使用応力場及び疲労限近傍の応力場にての AE 発生挙動を確認し、AE 法を供用中検査手法への適応の可能性を検証することとする。

2. 4 (4) : 実機タイプ 2 蓄圧器による高圧水素サイクル条件下で AE 法の構築

(担当 : JFE コンテナ株、千代田化工建設株)

タイプ 2 蓄圧器の金属円筒がき裂を発生すると、水素の漏洩に繋がる。金属材料は、疲労の進行とともに、段階的に疲労破壊が発生する。これらの変化に対し、AE 法が有効であると考えられ、疲労き裂の進展状況を検知できれば、有効な保全管理技術になり得る。しかしながら、実環境においては疲労き裂の進展に伴う AE 信号のみならず、周辺機器の作動音等の外乱ノイズが発生するため、疲労損傷ともなう AE 信号とは分離する必要がある。そこで、本項目では実機タイプ 2 蓄圧器を用いて、3バンク方式などの実操業の昇圧・減圧条件で AE 監視の妥当性の検証を行い、環境騒音、振動等の外乱ノイズの影響を検証することを目的とする。最終目標は、実機稼働中の AE 発生挙動を確認し、ノイズの原因や除去方法を確立する。

2. 5 (5) : 基準化への取り組み (2021 年度以降から計画)

(担当 : JFE スチール株、JFE コンテナ株、千代田化工建設株)

研究開発項目(1)、(2)、(3)及び(4)の項目の研究開発を推進して、2018～2020 年度末までの期間に、AE 法の規

格化に資する技術的データ、法的検討資料を蓄積し取り纏める。本項目(5)では、纏めたデータ/資料に基づいて規格原案を作成し、参考として、2021年度～2022年度の二年間に、規格化に資する有識者による検討委員会の設置/運営を JSNDI に外注する。当該委員会を通じた本研究開発成果の AE 法に関する協議/審査によって民間規格（日本非破壊検査協会規格、NDIS）で制定を試みることを最終目標とする。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 定期自主検査への AE 法導入シナリオの構築

・ 高圧ガス製造施設の保安の維持・向上には事業者における定期自主検査の充実が不可欠であり、高圧ガス保安法ではその詳細が規定されていない定期自主検査の方法について、事業者の参考のために高圧ガス保安協会は定期自主検査指針(圧縮水素スタンド)KHK/JPECS 1850-9 を制定した。定期自主検査指針では、保安検査基準(KHK/JPEC S 0850-9) に定めた事項の他、肉厚測定以外の非破壊検査について、先進的な検査技術の検討等を行い、検査方法を採択するよう努めることの明記などを追加しており、本 AE 法による供用中検査手法は先進的な検査技術に該当することを確認した。

・ 蓄圧器管理への AE 法適応への考え方

蓄圧器寿命と AE 発生挙動との相関を理解するために、従来から存在する有限寿命蓄圧器を例に説明する。

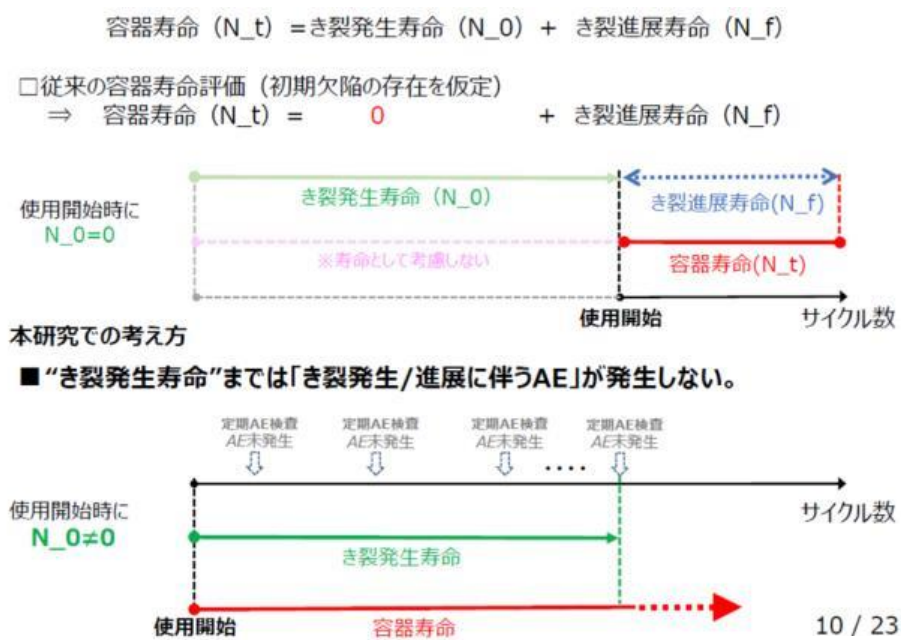


図4 蓄圧器管理への AE 法適応への考え方

図4に従来の有限寿命蓄圧器の寿命の考え方を示す。従来蓄圧器の寿命は蓄圧器の内部に欠陥（き裂）が存在することを前提とし、そのき裂が進展し蓄圧器肉厚を貫通するまで回数を評価し、その回数に安全率を乗じた値が寿命と判定される。本質的な蓄圧器寿命 (N_t) はき裂発生寿命 (N₀) とき裂進展寿命 (N_f) の和であるが、き裂発生寿命は現時点では予測およびその計測が困難であることから、安全側に寿命評価されるように蓄圧器寿命 (N_t) ≒ き裂進展寿命 (N_f) として取り扱われている。本研究開発の結果から、AE 信号は蓄圧器内面に何かしらの損傷が生じた際に発生するものであることを見出した。すなわち、何かしらの損傷である“き裂発生寿命 (N₀) ”までは、き裂発生およびき裂進展にともなう AE が発生しないことを定性的に明らかにした。そ

の知見を元に、新たな考え方として、図4下部に示すように定期的に蓄圧器のAE計測を実施し、AEが検出されなければ「き裂発生寿命 (N_0)」はまだ残存されており、蓄圧器は無欠陥と等しいと言える。またAE信号が検出された場合は何かしら損傷が発生したものとし、その時点定期自主検査の時期として設定することで、適切な蓄圧器定期自主検査時期を診断することができることを提案した。

この方法ではき裂発生寿命 (N_0) を包含した蓄圧器寿命診断となるため、本来の蓄圧器寿命である (N_t) として蓄圧器寿命を評価することが可能であることが特徴である。適正な寿命となるため検査開放周期を実質的に延長することが可能となり、運営費削減につながる。

上記の方法をもって定期自主検査へのAE法導入シナリオを検討し、複合蓄圧器ステアリング委員会等にて、その方向性の妥当性を議論した結果、有識者からの賛同を得た。今後、「基準化への取組」においては、2018年度から2020年度までの研究成果を纏めたデータ/資料に基づいて規格原案を作成し、有識者による検討委員会の設置/運営を日本非破壊検査協会(JSNDD)に委託する計画である。

達成度：△

(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出

・疲労試験中AE挙動およびAE法適用の技術的妥当性の検証

大気環境にて試験片を用いた高サイクル疲労試験を実施し、疲労き裂発生進展挙動とAE信号の関係を検証した。試験には、TYPE2蓄圧器で用いられるライナー材と同等の低合金鋼(SCM435相当)を用い、引張強さは807MPa、上降伏点718MPa、下降伏点690MPaである。試験片形状は、一般的な中実丸棒疲労試験片(中心部φ6mm)を用い、試験片のネジ部に平面部を加工しAEセンサを設置した(図5)。

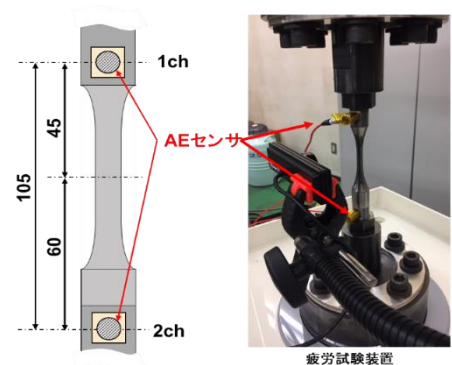


図5 AEセンサー設置状況

試験条件と結果のSN線図を図6に示した。応力比(R)によって疲労限が異なり、 $R=-1$ の時は約420MPa、 $R=0$ の時は約320MPaであった。このうち、破断に至ったTP10と実蓄圧器の使用時の負荷に近い低負荷条件のTP17について、AE計測結果を比較した(図7-8)。破断に至ったTP10は、漏洩までの繰返し数(N_f)と繰返し数(N)の比(N/N_f)が約40%付近(約70,000cycle)以降ではAE振幅36dB以上のAEが急激に増加しているが、TP17では、30dBを超えるAEは認められなかった。これにより低合金鋼の疲労損傷の有無がAEで評価できることが示唆される結果を得た。

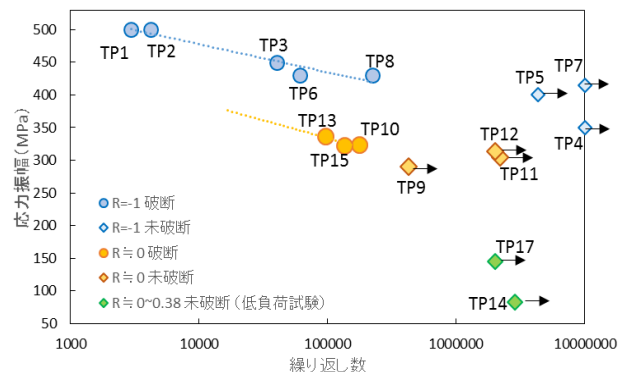


図6 大気中疲労試験のSN線図

①最大680MPa、R=0.05 2Hz 176,205cycle 破断

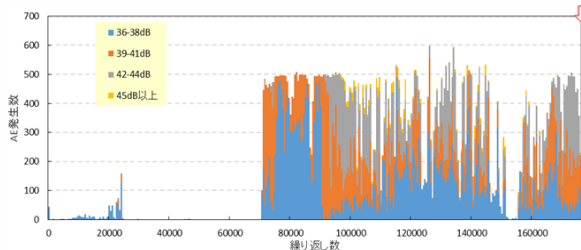


図7 AE計測結果(TP10)

②最大306MPa、R=0.05 5Hz 2,000,000cycle 未破断

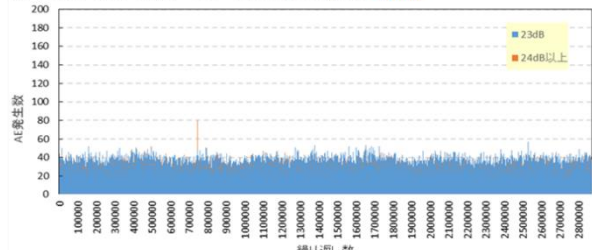


図8 AE計測結果(TP17)

・連続陰極水素チャージ疲労試験中の AE 計測技術の開発

東京電機大学に一部再委託を行い、AE 法適用のための技術的な妥当性の検証を実施している。低合金鋼の小型試験片の高サイクル疲労試験において、疲労き裂発生・進展過程に対応した AE 信号の確認などの、AE 法の基本的な技術的妥当性を検証した。そのため、図 9 に示すように、連続陰極水素チャージ法を併用して、疲労き裂の発生・進展と AE 波の発生挙動に及ぼす高圧水素環境の影響を評価できる試験環境を開発した。陰極水素チャージによる気泡発生に対して、有意な AE を検知できることを確認した。

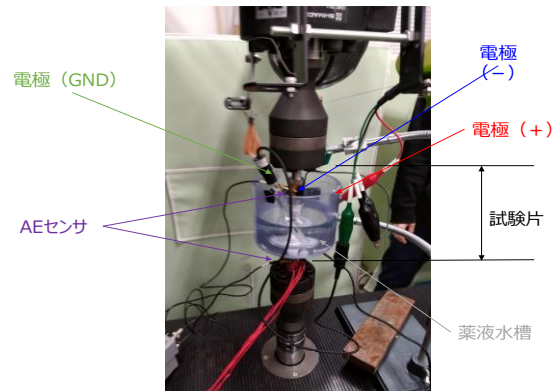


図 9 連続陰極水素チャージ疲労試験の実験風景

・水素環境下（連続陰極水素チャージ）疲労試験中の AE 挙動および AE 法適用の技術的妥当性の検証

AE 信号に及ぼす水素環境下疲労損傷の影響を調査するために、連続陰極水素チャージ環境にて試験片を用いた高サイクル疲労試験を実施し、疲労き裂発生進展挙動と AE 信号の関係を検証した。試験には、Type2 蓄圧器で用いられるライナー材と同等の低合金鋼（SCM435 相当）を用い、引張強さは 807MPa、上降伏点 718MPa、下降伏点 690MPa である。試験片形状は、一般的な中実丸棒疲労試験片（中心部 $\phi 6\text{mm}$ ）を用い、試験片のネジ部に平面部を加工し AE センサを設置した（図 10）。試験条件と結果の SN 線図を図 11 に示した。TDU-5 の AE 発生挙動として図 12 に AE 発生数を示す。疲労試験の初期は AE 発生が活発であるが、しばらくして落ち着き、その後、試験片破断が近づくにつれ、再び AE 発生が活発になる。図 13 は TDU-2 の AE 発生挙動として AE 発生数を示す。疲労試験の全期間に渡って 40dB を超えるような AE 発生がない。これらの結果から、陰極水素チャージ疲労試験において、未破断試験片では AE 発生が認められず、破断試験片では破断が近づくにつれ AE 発生が活発になる。すなわち、健全な蓄圧器であれば AE は発生せず、蓄圧器に疲労き裂進展が起きている状況では水素環境においても AE を検出できるということを意味する。

達成度：○

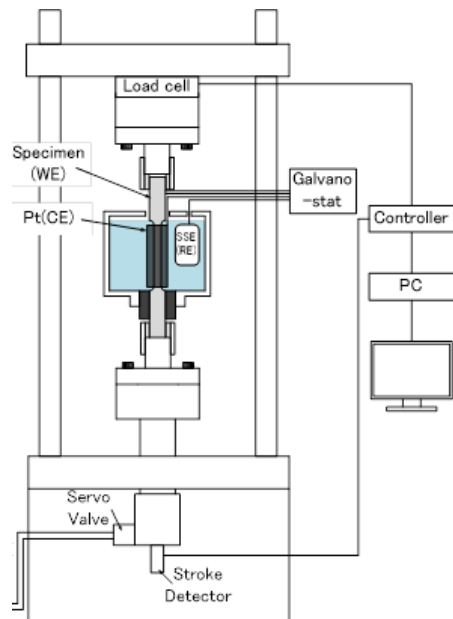


図 10 連続陰極水素チャージ疲労試験の試験装置の構成

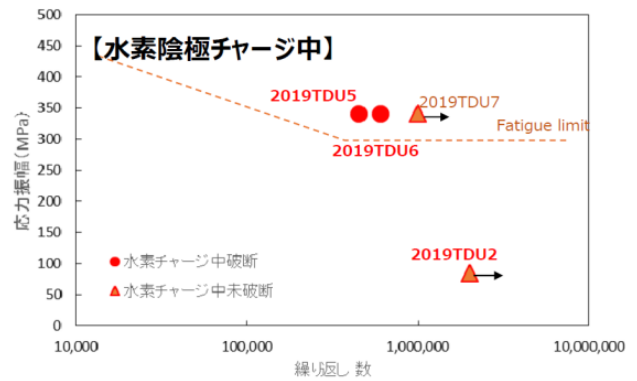


図 11 連続陰極水素チャージ疲労試験 ($R=0.01$) の S-N 関係

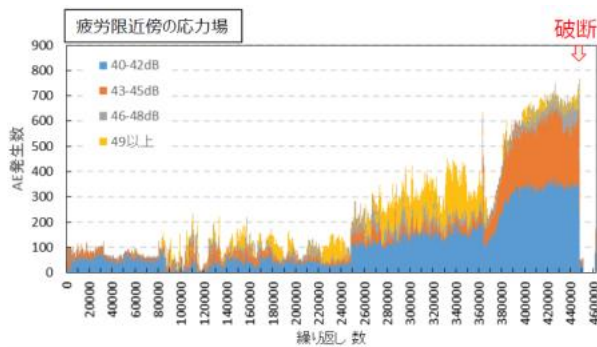


図 12 破断試験片 (TDU-5、応力振幅 342 MPa、応力 $R=0.01$ 、2Hz) において得られた AE 発生挙動

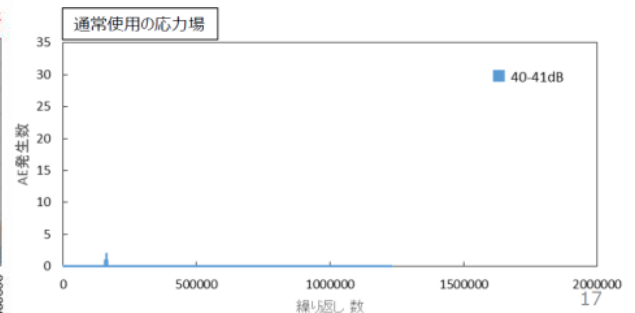


図 13 未破断試験片 (TDU-2、応力振幅 84 MPa、応力 $R=0.01$ 、2Hz) において得られた AE 発生挙動

(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動の AE による検出

- ・ 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動の AE による検出

鋼製小型蓄圧器による水圧サイクル試験を実施し、疲労き裂発生・進展挙動と AE 信号の関係を検証した。水圧疲労試験中の AE 発生数の変化を図 14-15 に示した。ここで、大気中試験片で破断に至った応力相当 (最大 630MPa) で試験を実施し漏洩に至った容器 2 と、実ステーションでの容器使用負荷相当の低負荷で試験を実施した容器 6 について示している。容器 2 では、漏洩までの繰返し数 (N_f) と繰返し数 (N) の比 (N/N_f) が約 40%付近から AE 振幅値 36dB 以上の比較的高振幅な AE の発生数が増加する傾向が見られた (図 14)。一方、容器 6 では、AE 振幅 36dB 以上の AE の発生は全く認められなかった (図 15)。したがって、容器 2 で得られた AE 発生数の増加は、漏洩に至る間の疲労損傷に起因した AE と考えることができ、漏洩に至らな

い場合は、その AE の発生がほとんどないと考えることができる。

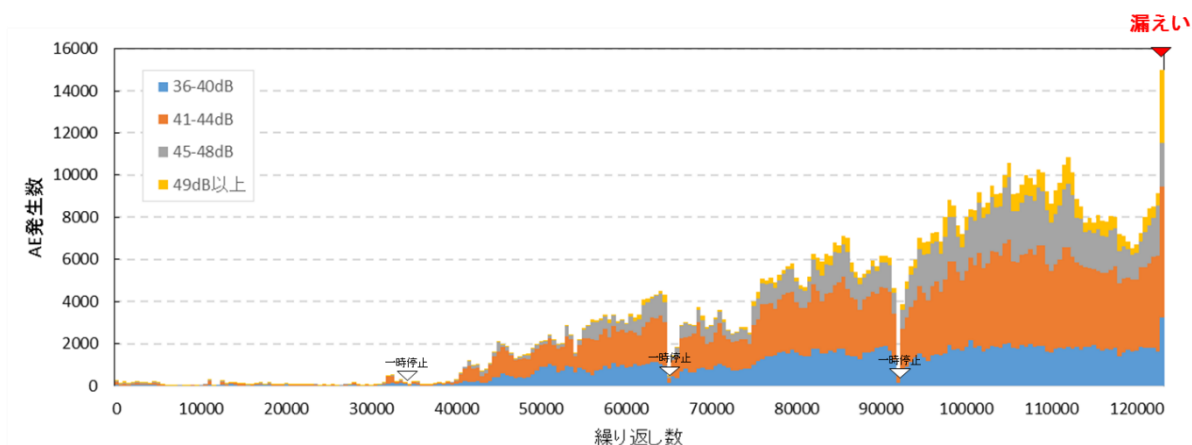


図 14 鋼製小型蓄圧器の水圧疲労試験中に得られた AE 発生数の変化 (容器 2)

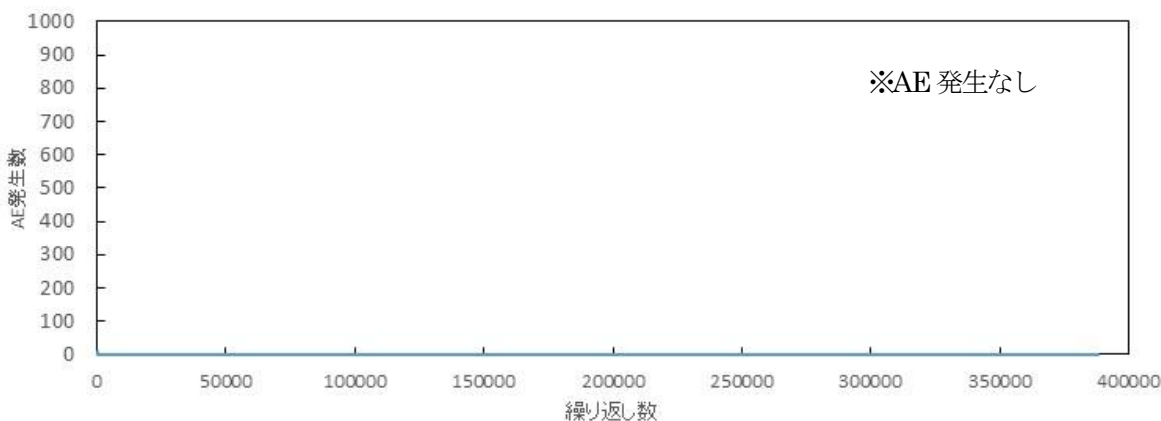


図 15 鋼製小型蓄圧器の水圧疲労試験中に得られた AE 発生数の変化 (容器 6)

・鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展・漏洩時の AE による位置標定

図 14 で AE を計測した鋼製小型蓄圧器における水圧疲労試験の状況を図 16 に示す。圧力サイクル試験中に疲労き裂が進展して、き裂貫通部位から加圧水の漏洩が確認された。AE 法では AE センサを複数設置した場合、それぞれの AE センサへの信号到達時間差により、AE 信号の発生位置を推定する位置標定が可能である。累積 AE 発生数とその AE 信号の位置標定結果を図 17 に示す。容器入り口側のセンサから約 200mm の位置に多数の AE 信号が検出された。その AE 信号が多数検出された位置から、蓄圧器の漏洩が確認された。したがって、き裂進展とき裂貫通に伴う漏洩時に両端の AE センサへの信号到達時間差により、き裂発生及び漏洩位置の標定が可能であることが明らかとなった。

達成度：△



図 16 鋼製小型蓄圧器の疲労き裂進展試験の状況

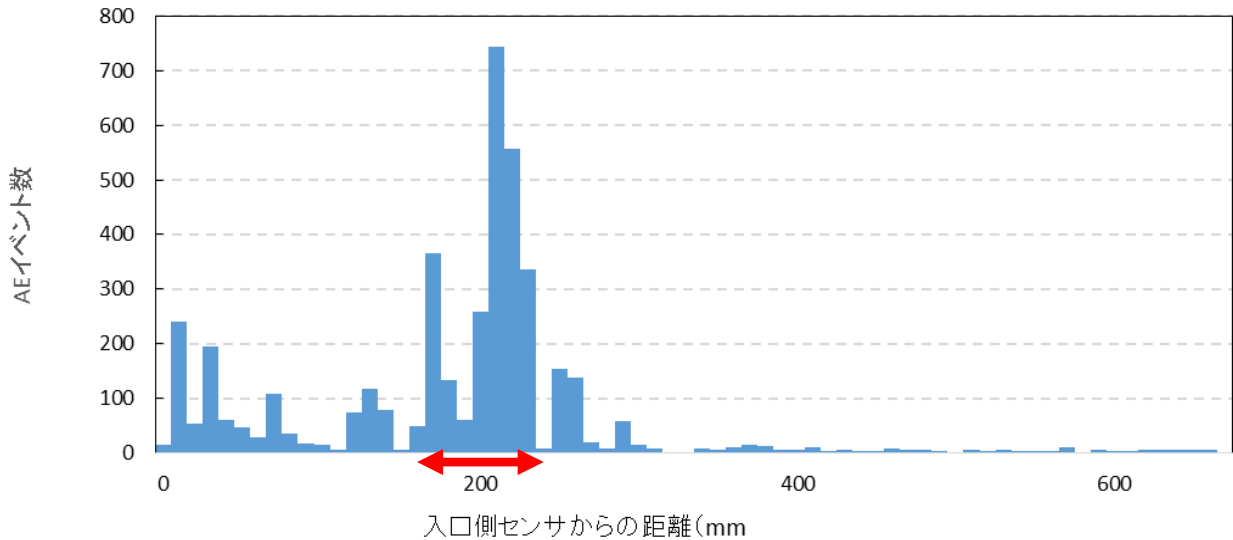


図 17 鋼製小型蓄圧器の複数の AE センサによる位置標定結果

(4) 実機タイプ 2 蓄圧器による高圧水素サイクル条件下で AE 法の構築

実機タイプ 2 蓄圧器の概要を表 2 に示す。図 16 の鋼製小型蓄圧器と同様に蓄圧器の両端に AE センサを設置した。設置された AE センサは、光ファイバ AE センサであり、防爆仕様が要求される蓄圧器の設置場所にての AE 信号計測を可能としている。実機蓄圧器への光ファイバ AE センサの装着状況及び管理事務所にての AE 信号計測状況を、図 18 に示す。各種の充填作業を想定して、充填試験を実施した。実機蓄圧器を低圧バンクとして運用した場合 (A) , 中圧バンクとして運用した場合 (B) 及び高圧バンクとして運用した場合 (C) のそれぞれの運転時の圧力推移、AE 信号の発生状況を図 19 に示す。蓄圧器減圧時にノイズが多数観察される一方で、蓄圧器昇圧時のノイズは少なく高圧になるほどノイズは少ない知見が得られた。

表 2 実機タイプ 2 蓄圧器の概要

(1) 蓄圧器の製造者	JFE コンテナー株式会社
(2) 蓄圧器の種類	タイプ 2
(3) 圧力仕様 :	35~93 MPa
(4) 内容積	200 $\frac{1}{2}$ L
(5) 蓄圧器の設置場所	水素供給利用技術協会水素技術センター (甲府市)



図 18 実機蓄圧器の光ファイバAE センサ装着状況及びAE 信号計測状況

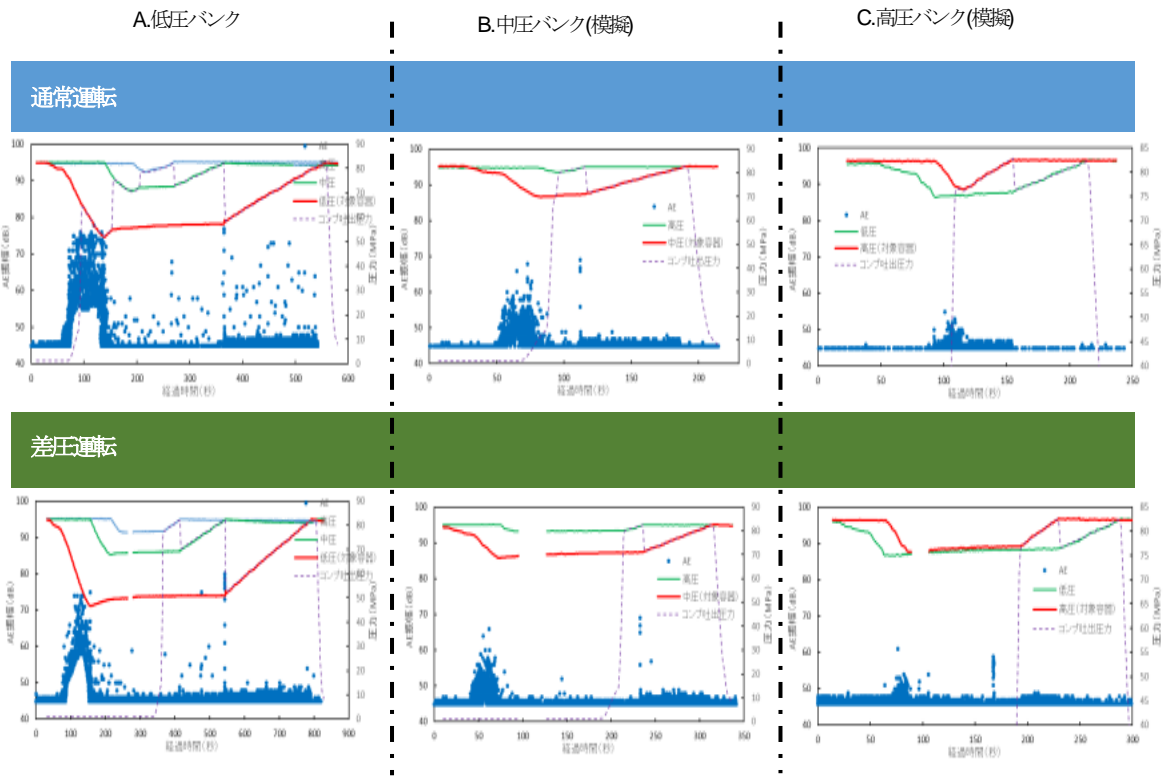


図 19 実機蓄圧器のAE 信号発生状況

低圧バンク・差圧充填時のノイズ発生状況を図 20 に示す。図の点線枠の信号は、蓄圧器の減圧運転時のノイズ発生挙動を示す。

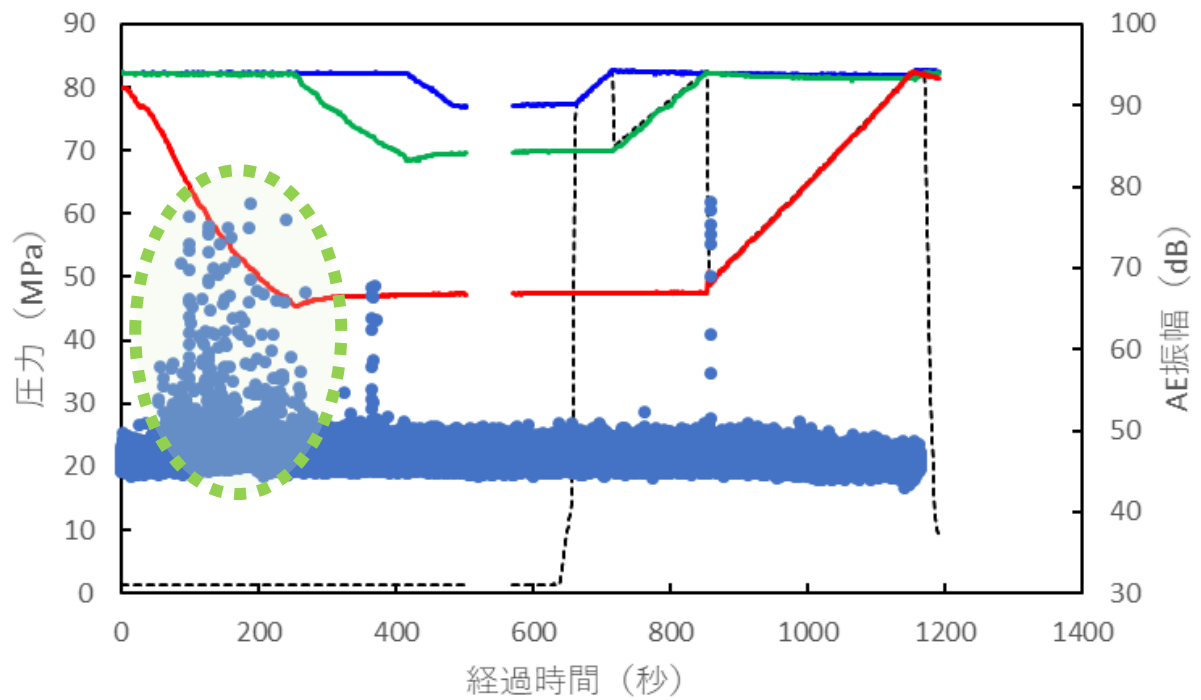


図20 低圧バンク・差圧充填時のノイズ発生状況

ノイズの波形と損傷に伴う AE 波形を比較した結果を図 21 に示す。図の左側が、蓄圧器の減圧時のみ観測された AE 信号（ノイズ）の波形を示す。右側は、試験片及び鋼製小型蓄圧器にて疲労き裂進展試験において観測された AE 信号（損傷に伴う信号）を示す。

ノイズは、立ち上がりが緩やかな波形で、150kHz の低周波数である。一方、損傷に伴う AE 信号は、突発型の波形であり、150 kHz 近傍のピークと 200~500 kHz の周波数から構成されている。

ノイズは、低周波数で、蓄圧器の両端近傍の全周から発生し、加圧時には認められず、減圧時のみ観測される事が明らかとなっている。これらのノイズの挙動から、ノイズ発生は蓄圧器の貯蔵部ではなく、プラグ・グランドナットの近傍から発生していると推定している。これらのノイズの除去方法などの対応は現在検討中である。

達成度：△

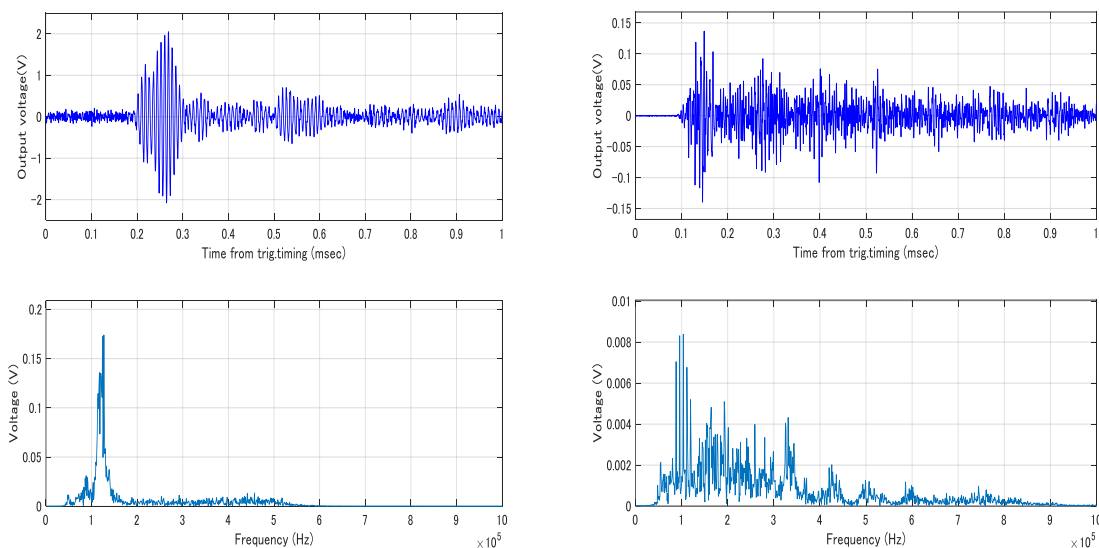


図 21 ノイズ波形と損傷に伴う AE 波形の比較

(5) 基準化への取組 (参考)

本研究開発の目的は、タイプ 2 蓄圧器の供用中検査技術として AE 法適用を技術的に確立する事と併せて、AE 法を定期自主検査指針などの供用中検査基準への導入する事である。

本研究開発項目では、2020 年度までの研究成果を纏めたデータ/資料に基づいて規格原案を作成し、有識者による検討委員会の設置/運営を日本非破壊検査協会(JSNDI)に委託する。そして、当該委員会を通じた本研究開発成果の AE 法に関する協議/審査によって 2022 年度までに日本非破壊検査協会規格(NDIS)の制定を試みる。さらに、制定予定の NDIS を定期自主検査指針から引用する事を試みる事で AE 法を定期自主検査指針などの供用中検査基準への導入する事を目的とした。

高圧ガス製造施設の保安の維持・向上には事業者における自主検査の充実が不可欠であり、高圧ガス保安法ではその詳細が規定されていない定期自主検査の方法について、事業者の参考のために高圧ガス保安協会は定期自主検査指針(圧縮水素スタンド) KHK/JPEC S 1850-9 を制定した。

定期自主検査指針では、保安検査基準(KHK/JPEC S 0850-9)に定めた事項の他、肉厚測定以外の非破壊検査について、先進的な検査技術の検討等を行い、検査方法を採択するよう努めることの明記などを追加しており、本 AE 法による供用中検査手法は先進的な検査技術に該当する事は確認済である。

現在までの取組を示す。

1. 2020 年度までの研究成果を取り纏め中。
2. 日本非破壊検査協会(JSNDI)へ規格委員会設置の依頼済。
3. 規格委員構成の検討を開始。
4. 現在までの研究成果を関係学会誌へ掲載 1 件、関係学会への口頭発表 6 件を実施し、本開発技術の有効性を公知とすることで、規格化に資する活動を実施中。

本研究開発項目は、2021年度からの開始項目のため、現在は準備期間であり、達成度評価は未実施である。
達成度：—

3. 2 成果の意義

AE法と渦流探傷などの併用により、使用寿命の延長と、定期自主検査指針などの供用中検査基準にAE法が導入される事により、運営コスト削減を可能とし、市場の拡大につながる。さらに先行するフェーズドアレイ法と比較して、供用中検査の作業負荷が少ない事は優位性がある。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究は、非破壊検査技術のひとつであるアコースティック・エミッション法（AE法）を適用して、非破壊・非開放で供用中のタイプ2蓄圧器の有害な欠陥の有無を評価する事を目標としている。以下に本成果をまとめる。

(1) 定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築：

- ・容器定期自主検査のタイミングとしてAE法を適用できる指針を提案。

(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出：

- ・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知。
- ・大気中および水素陰極チャージ中でAEの有効性を確認。

(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出：

- ・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されない⇒損傷がない容器ではAEが発生しないことを明確化。
- ・き裂進展時に、その容器のき裂は発生位置を特定可能であることを立証。

(4) 実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築：

- ・水素技術センターで8月に計測実験実施し、実環境におけるAEノイズの原因と除去方法を探求。
- ・商用ステーション（東邦ガス様）での計測実験準備開始（年度内2回予定）

総括：順調に課題を達成し、AE法の規格化に資する知見が収集されている。

4. 1 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

既に概要で述べた通り、タイプ1水素蓄圧器の耐圧性能および強度に関する検査は、目視検査および非破壊検査（肉厚測定）を実施することが定められている。現状では2～3年に一度は蓄圧器を開放し、目視検査を実施している。定期自主検査は水素ステーションを連続10日程度の休業させる必要があり、運営の負担となる課題がある。そのため、保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンド及びピコールド・エバポレーター関係を除く。）KHKS 8501-1(2011)の附属書D(規定)供用中探傷試験では、当該附属書のD.3a) 1)において供用中探傷試験として、超音波探傷試験法（UT法）が定義され、今回の保安検査基準の改訂により、スタンドへの適用が予定されている。非破壊検査協会から新たに発行された蓄圧器に係るUT法を用いて、供用中探傷試験を行う事により、定期自主検査の代替となりえる。

一方、タイプ2蓄圧器は、表面がCFRP層で覆われている事から、UT法の適用が困難。アコースティック・エミッション法（AE法）はタイプ2蓄圧器への適用が可能。AE法が基準化され、供用中検査法として適用される事により、定期自主検査の代替となりえる。結果、保安検査に関わる水素ステーションの運営コストを削減できるため、実用的な保安検査基準となりえる。

4. 2 実用化・事業化に向けた戦略

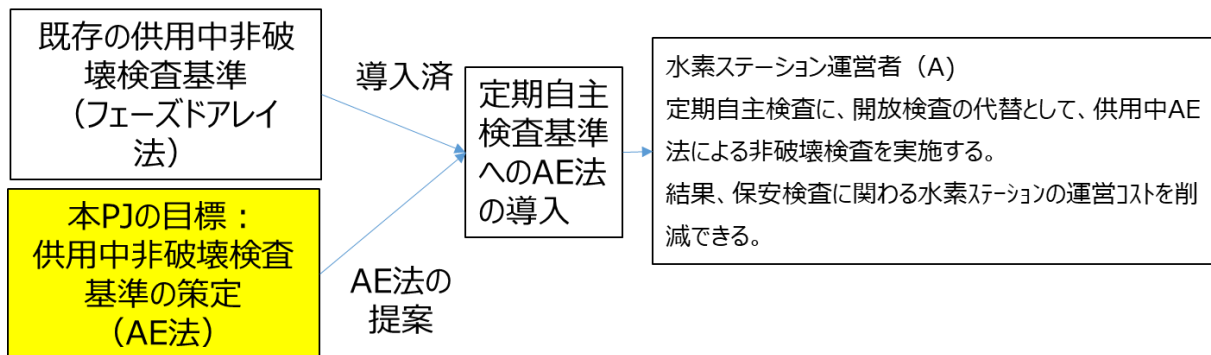
プロジェクト期間終了後のAE法の定期自主検査基準適応へのシナリオ（案）を示す。

①検査会社および水素ステーション運営会社などへの技術PR。

②AE法の実運用のデータの蓄積。

③定期自主検査基準へのAE法の導入。

結果、水素ステーション運営コスト低減に寄与できる。



	2018年度	2019年度	2020年度	2021～2022年度	2023年度以降
(1)定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築 (A,B,C)	→				定期自主検査基準への採用 ↓ 定期自主検査への導入
(2)鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 (A,C)	→				
(3)鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 (B,C)	→				
(4)実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築 (B,C)	→				
(5)基準化への取組 (A,B,C)				供用中のAE法基準の策定 →	

A: JFEスチール、B: JFEコンテナ、C: 千代田化工建設

図 22 プロジェクト期間終了後 5 年間（2023 年度～2028 年度）までの実用化・事業化に関する計画

4. 3 市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

① 市場規模算出の根拠

水素STの整備目標（経済産業省資料）に基づき、タイプ2蓄圧器の設置数（3～5本程度／ST）が段階的に増加する。

② 申請者シェア見通しの根拠：

水素ステーションの普及初期は移動式が多い。移動式には軽量容器が搭載される。タイプ2蓄圧器は重量蓄圧器であることから、定置式STに搭載される。タイプ2蓄圧器の製造者は、弊社を含めて2社と想定。

●実用化・事業化のイメージ：

① AE法と渦流探傷などの併用により、使用寿命の延長と、定期自主検査指針などへの供中検査基準にAE法が導入される事により、運営コスト削減を可能とし、市場の拡大につながる。

② 先行するフェーズドアレイ法と比較して、供中検査の作業負荷が少ない事は優位性がある。

●当該技術を確立する見通し：

① 前半の3か年で実施すべき技術課題は順調に達成されている。

② AE法の基準化に向けての準備作業は既に、日本非破壊検査協会(JNDI)と進められている。

③ 2021年度から、JNDIにて2年間の審議期間を経て、供中AE法の基準が策定される予定。

◆波及効果

本事業の成果として、供中AE検査に係る規格が策定される。この策定と連携して、AE法を実施する非破壊検査者の技量認定制度が整備されることが期待される。結果、日本でも欧米と同じようにAEに特化した技量認定技術者が育成されるシステムが構築される。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019/8/9	日本非破壊検査協会 AE 部門講演会	AE 法による水素ステーション用蓄 圧器の供用中検査手法の開発	前田守彦(千代 田化工建設)
2	2019/8/9	日本非破壊検査協会 AE 部門講演会	水素蓄圧器の保安検査への AE 適用 の期待	高野俊夫 (JFE コンテ イナ—)
3	2020/2/26~28	水素燃料電池展 (展示 会出展)	AE 法による水素ステーション用蓄 圧器の供用中検査手法の開発 (AE 法の模擬出展)	JFE スチー ル・JFE コン テナ—・千 代田化工建設
4	2020/3/24	日本高圧力技術協会 高圧水素技術専門研究 委員会	水素ステーション用タイプ 2 蓄圧器 の供用中検査手法の研究開発	鈴木裕晶(千代 田化工建設)
5	2020/6/4	日本非破壊検査協会 非破壊検査総合シンポ ジウム	水素ステーション用タイプ 2 蓄圧器 の供用中検査手法の研究開発	鈴木裕晶(千代 田化工建設)
6	2020/06	日本非破壊検査協会 機関誌「非破壊検査」 第 69 巻 6 号	AE による水素ステーション用複合 蓄圧器の供用中検査	前田守彦/鈴木 裕晶(千代田化 工建設)
7	2020/11/27	日本非破壊検査協会 保守検査シンポジウム	タイプ 2 蓄圧器の AE 法による定期 自主検査	高野俊夫 (JFE コンテ イナ—)
8	2020/11/27	日本非破壊検査協会 保守検査シンポジウム	水素蓄圧器用低合金鋼の疲労損傷中 の AE 計測	岡野拓史 (JFE スチー ル)

—特許等—

該当なし。

以上

(2)-(2)-②) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 複合圧力容器の

評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」 委託先：(一財)石油エネルギー技術センター、高压ガス保安協会、(国)東京大学、(株)日本製鋼所

- 成果サリ (実施期間 : 2018年度 ~ 2020年度)
 - ・ タイプ3 容器ライナー材の最適疲労曲線を構築した。また、CFRP試験片に関して、樹脂の疲労寿命設計線図に基づき一般性の高い疲労寿命設計線図を作成した。
 - ・ タイプ2 容器の金属層はKHKS 0220の設計疲労曲線を使用した。タイプ3 容器に関して、有限要素解析により圧力サイクル寿命を評価できることを実証した。
 - ・ タイプ3 容器に関して、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式 (累積損傷係式) を構築した。
 - ・ タイプ2 技術文書を作成した。またタイプ3 容器に関する技術基準KHKS 0225の改正方針を作成した。

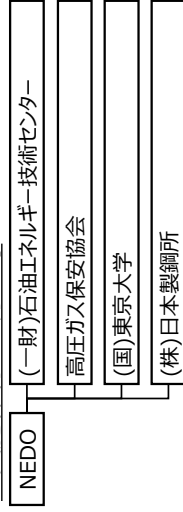
● 背景/研究内容・目的

水素ステーションに設置される複合圧力容器のコスト削減に向け、複合圧力容器評価方法の簡素化及び使用寿命延長に関する技術開発を実施する。具体的にはタイプ3 複合圧力容器の応力解析、疲労解析による容器設計手法を確立し、実容器疲労試験費用、試験時間の削減を図ると共に使用寿命の延長を図る。また、複合圧力容器の技術基準の整備に向け、タイプ2 容器に関する自主基準案の策定、タイプ3 容器の技術基準KHKS 0225の改正方針を検討する。

● 研究目標

実施項目	目標
①-1 ライナー試験片評価法の検討	・アルミニウム合金の最適疲労曲線の作成
①-2 CFRP試験片評価法の検討	・樹脂単体の疲労寿命設計線図の作成 ・CFRP試験片のミクロスケール有限要素シミュレーションを完了
①-3 円筒試験体評価法の検討	・フープラップ容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験結果を最適疲労曲線と照合して結果の妥当性を確認
①-4 疲労寿命設計線図の作成	・タイプ2 容器ライナー材料およびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図を作成
①-5 複合圧力容器設計手法の実証	・タイプ3 実容器試験データにより疲労寿命設計手法の実証
② 技術基準の整備に向けた技術開発	・タイプ2 容器の自主基準案を策定 ・KHKS 0225改正方針検討

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

- ①-1 : アルミニウム合金試験片による疲労試験結果から、最適疲労曲線を構築した。さらに、平均応力の補正方法について検討した。
- ①-2 : 樹脂試験片、CFRP試験片による疲労試験の結果から、CFRP試験片に関して、樹脂の疲労寿命設計線図に基づき一般性の高い疲労寿命設計線図を作成した。
- ①-3 : フープラップ容器対応円筒試験体の圧力サイクル試験結果から、タイプ2 容器の疲労寿命設計線図の妥当性を確認した。タイプ3 容器に関する検討のため、フープラップ対応円筒試験体の圧力サイクル試験を開始した。
- ①-4 : タイプ2 容器の金属層は、KHKS 0220の設計疲労曲線を使用できることを確認した。タイプ3 容器に関して、有限要素解析により圧力サイクル寿命を評価できることを実証した。また、圧力サイクル寿命をライナーのき裂発生寿命と分離して正式化する検討を開始した。
- ①-5 : タイプ3 実容器の漏洩迄のサイクル試験データから、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式 (累積損傷係式) を構築した。

- ② : タイプ2 技術文書を作成させた。タイプ3 容器に関して、KHKS 0225の改正方針を作成した。

● 今後の課題

タイプ2 容器に関しては、制定した技術文書 (JPEC-TD) のKHKS 0220の附属書化を目指す。タイプ3 容器に関しては、2022年度末迄に、応力解析・疲労解析に基づく容器設計手法を確立する。KHKS 0225の改正案を作成し改正提案する。

● 実用化・事業化の見通し

- 技術基準を制定/改正し、広く利用してもらうことで蓄圧器に係るコスト削減に繋げる。
- ・ タイプ2 技術文書をKHKS 0220の附属書とする。
- ・ KHKS 0225を改正する。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①-1	アルミニウム合金の最適疲労曲線を構築	○
①-2	CFRP試験片に関して、樹脂の疲労寿命設計線図に基づき一般性の高い疲労寿命設計線図を作成	○
①-3	フープラップ容器対応円筒試験体の試験結果からタイプ2 容器の疲労寿命設計線図の妥当性を確認	○
①-4	タイプ2 容器の金属層はKHKS 0220の設計疲労曲線を使用できることを確認	○
①-5	累積損傷則に基づいた容器寿命延長式 (累積損傷係式) を構築	○
②	・タイプ2 技術文書 (JPEC-TD)案を作成 ・KHKS 0225改正方針を作成	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	0	17	0

課題番号：2-(2)-②

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）

高压ガス保安協会（KHK）

国立大学法人東京大学（東京大学）

株式会社日本製鋼所（JSW）

1. 研究開発概要

本事業は、水素ステーションに設置される複合圧力容器のコスト削減に向け、複合圧力容器評価方法の簡素化及び使用寿命延長に関する技術開発を実施するものである。

具体的には、現状では実蓄圧器を用いた圧力サイクル試験により寿命を評価している、タイプ2およびタイプ3蓄圧器（複合圧力容器）を構成する材料の材料試験片による疲労寿命評価方法、複合圧力容器の応力解析、疲労解析方法を確立し、疲労寿命設計線図を用いた疲労設計、累積損傷則の適用を可能とし、実容器疲労試験費用、試験時間の削減を図ると共に使用寿命の延長を図る。

また、複合圧力容器の技術基準の整備に向け、タイプ2蓄圧器の技術基準に資する自主基準案を策定するとともに、タイプ3蓄圧器の技術基準である KHKS 0225 の改正に向けた内容検討を実施する。

事業推進に当っては、圧力サイクル試験に替わる蓄圧器の寿命評価手法にあたる以下に示す①の技術開発に関して5テーマにわけ、計6テーマに取り組む。

①応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発

①-1 ライナー試験片評価法の検討（KHK）

①-2 CFRP 試験片評価法の検討（KHK、東京大学）

①-3 円筒試験体評価法の検討（JSW、東京大学）

①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成（東京大学）

①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証（JPEC）

②複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発（JPEC）

2. 研究開発目標

テーマ毎に中間（2020年度）と最終（2022年度）の目標を以下のとおりとする。

①応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発

①-1 ライナー試験片評価法の検討（KHK）

樹脂含浸連続炭素繊維の疲労強度は Al 合金ライナーの疲労強度よりも高いことから、タイプ3蓄圧器の疲労強度を支配するのは、Al 合金ライナーの疲労強度である。タイプ3蓄圧器の圧力サイクル寿命を予測するため、Al 合金製疲労試験片を用いた疲労試験を実施し、最適疲労曲線を構築する。また、従来の平均応力の補正方法では主に引張平均応力を対象とするが、Al 合金ライナーでは自緊処理による圧縮平均応力の場合と充填の圧力変動による引張

平均応力の場合の両方があるため、平均応力が正負の場合に適用できる平均応力の補正方法の検討が必要である。以上の点を踏まえて、以下の目標設定を行った。

中間目標：軸荷重試験片を用いた試験を完了させる。アルミニウム合金の最適疲労曲線を作成する。

最終目標：アルミニウム合金の最適疲労曲線の平均応力補正方法を提案し、実容器試験および円筒試験との比較検証を実施する。

①-2 CFRP 試験片評価法の検討 (KHK、東京大学)

タイプ2蓄圧器およびタイプ3蓄圧器に利用される炭素繊維強化プラスチック (carbon fiber reinforced plastic : CFRP) に関しては、金属材料と異なり疲労設計の方法論が確立していない。その主因は高強度・高剛性の炭素繊維と低強度・低剛性の樹脂を複合させることにより発生するミクロスケールで複雑な応力場を生じることにある。これまで金属材料に対して構築されてきた疲労寿命評価の方法論に倣い、試験片を用いた疲労試験を実施した例は多数あるが、炭素繊維の配向方向や積層構成の違いを勘案した統一的な方法論にて一般性の高い疲労強度評価法を提示するには至っていない。蓄圧器 CFRP 層の疲労寿命予測手法を確立するためには、まず一方向強化 CFRP 試験片を用いた疲労試験に関して、一般性の高い評価法で疲労寿命予測可能とする必要がある。CFRP 試験片の疲労強度は樹脂が支配し、樹脂の応力評価により CFRP 試験片の疲労寿命を予測できるとの仮定の下、以下の目標設定を行った。

中間目標：・樹脂単体軸荷重試験片を用いて行う疲労試験を完了させる。樹脂単体の疲労寿命設計線図を作成する。

・CFRP 試験片のミクロスケール有限要素シミュレーションを完了させる。

最終目標：・CFRP 軸荷重試験片を用いて行う疲労試験を完了させる。CFRP とマトリックス材の疲労強度における相関を整理する。

・エポキシ樹脂の疲労特性と CFRP の疲労特性の相関を明らかにし、タイプ3複合圧力容器の CFRP 層で発生する様々な角度での CFRP 材料の積層に対しても、エポキシ樹脂単体の疲労寿命設計線図を規準として、CFRP 層の詳細な有限要素シミュレーションによる応力評価結果から、疲労寿命設計線図に相当するものが導出できることを実証する。

①-3 円筒試験体評価法の検討 (JSW、東京大学)

タイプ2蓄圧器およびタイプ3蓄圧器の圧力サイクル寿命予測を、試験片を用いた疲労試験の結果から得られた、ライナー金属に関する疲労寿命設計線図を用いて予測することを本プロジェクトの最終目標としている。提案された疲労寿命設計線図を検証するためには、部分充填により使用される実容器の想定寿命 100 万回規模の圧力サイクル試験が必要となる。実蓄圧器を用いた試験では現実的な時間内に試験が終了しない。そのため、実蓄圧器の応力状態を反映させた円筒試験体を作製し、長時間の圧力サイクル試験を実施可能とし、疲労寿命設計線図の信頼性を保証するため、以下の目標設定を行った。

中間目標：フープラップ複合圧力容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験を完了させ、試験結果を最適疲労曲線と照合して結果の妥当性を確認する。

最終目標：タイプ3複合圧力容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験を完了させ、試験結果を最適疲労曲線と照合して結果の妥当性を確認する。

①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成（東京大学）

試験片を用いた疲労試験より得られた疲労寿命設計線図の検証を実蓄圧器および円筒試験体を用いた圧力サイクル試験を通じて行うためにはライナーの正確な応力評価が必要となる。有限要素シミュレーションによる応力評価の信頼性を確認し、解析による設計基準を実効性のあるものとするためにも、解析的定式化による応力評価を可能とする必要がある。また、自緊効果をき裂発生寿命とき裂進展寿命に区分して検討する必要がある。以上の課題を踏まえて、以下の目標設定を行った。

中間目標：タイプ2蓄圧器のライナー材料およびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図を作成する。

最終目標：タイプ3複合圧力容器のライナー材料に関する疲労寿命設計線図を作成する。容器ごとに異なるタイプ3複合圧力容器のCFRP積層構成に対応して個別に設定すべきCFRP材料の疲労寿命設計線図について、樹脂単体の疲労寿命設計線図と当該容器の詳細な有限要素シミュレーションにより得られた応力評価結果から作成する手法を構築し、有効性を実証する。調査及び検討結果をまとめ、保安検査方法の検討案を提示する。

①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証（JPEC）

中間目標：フープラップ複合圧力容器の応力解析及び疲労解析に基づく設計手法の実現に資する実容器疲労試験データ等を蓄積し、疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証する。

最終目標：フルラップ複合圧力容器の応力解析及び疲労解析に基づく設計手法の実現に資する実容器疲労試験データ等を蓄積し、疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証する。

②複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発（JPEC）

中間目標：タイプ2蓄圧器技術基準の整備に必要なデータを蓄積し、自主基準案の策定を図る。

最終目標：応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法を確立し、KHKS 0225やISO TC197 WG15（水素ステーション用蓄圧器）へ改正に向けた提案を行う。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 各テーマごとの成果、達成度

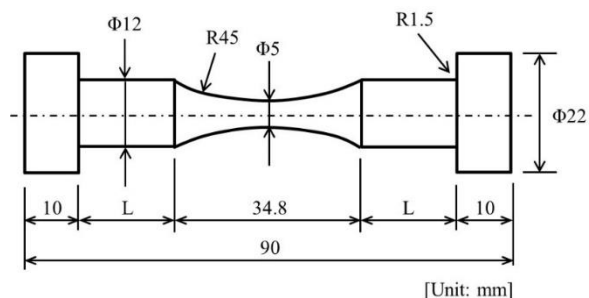
① 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発

①-1 ライナー試験片評価法の検討（KHK）

手法：

A1合金疲労試験片（図1）を用いた疲労試験データ（荷重制御、単軸応力下、室温大気中、

応力比 $R=-1$) を取得し、最適疲労曲線を定式化する。また、平均応力を変えた疲労試験のデータを対象に、平均応力の補正方法を提案し、構築した最適疲労曲線と多軸応力下のサイクル試験データを比較検討することで、自緊処理の影響を検証する。



母材...JIS H 4080 継目無管
 砂時計部分の表面... #2000 仕上げ
 周方向採取... $L=17.6\text{mm}$
 軸方向採取... $L=27.6\text{mm}$

図1 試験片の形状

結果：

応力比 $R=-1$ として、Al 合金を対象に疲労試験を実施した (図2)。データの疲労寿命の範囲は、タイプ3蓄圧器の想定設計寿命 10^5 回を含む $10^4 < N_f < 10^8$ 回である。明瞭な疲労限度は無く、疲労強度は引張強さ依存性を示し、引張強さ σ_u が高いほど疲労強度は高い。これらの結果を反映し、引張強さをパラメータに含む式(1)の最適疲労曲線を構築した (図3)。

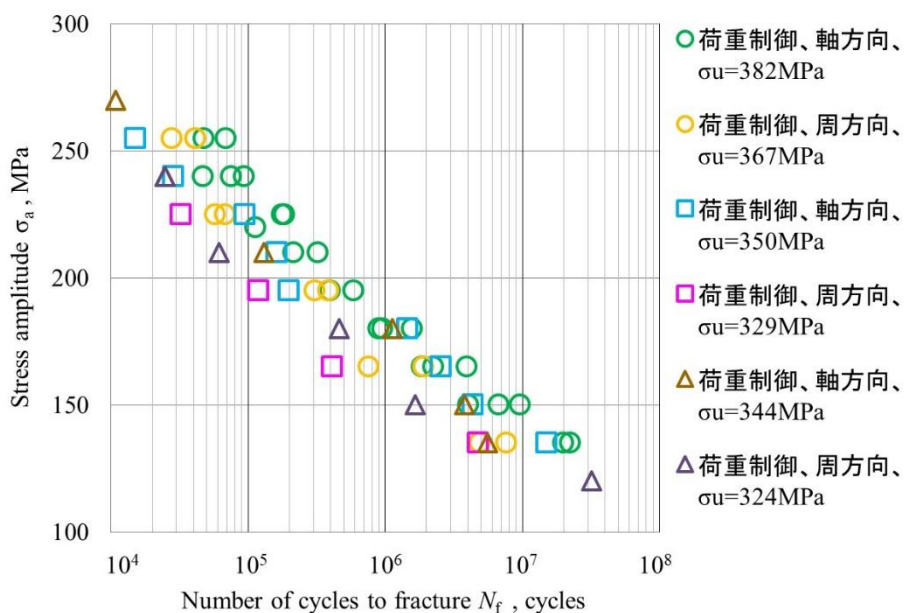


図2 疲労試験結果 ($R=-1$)

$$\sigma_a = 2.0\sigma_u N_f^{-0.10} \quad (1)$$

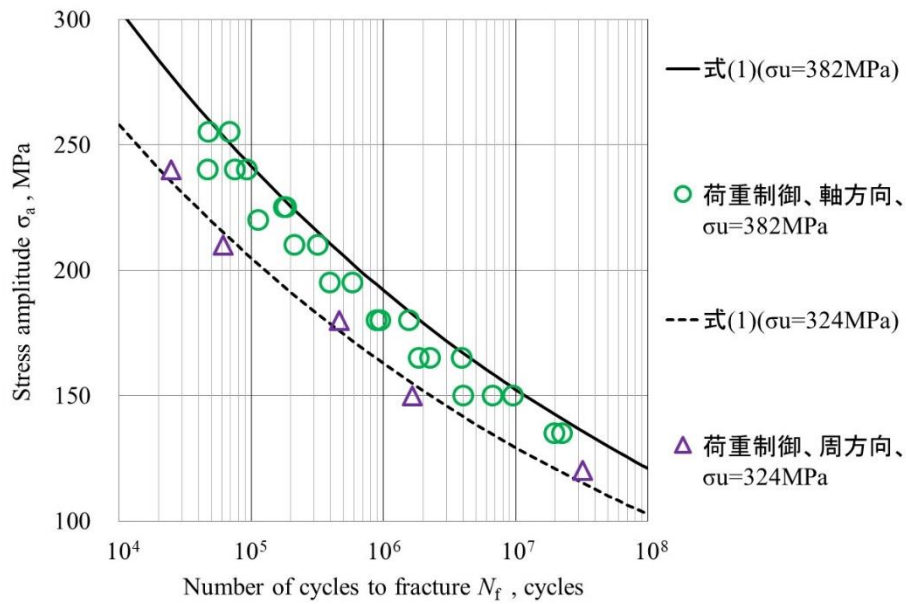


図3 式(1)の最適疲労曲線と疲労試験結果 ($R=-1$)

平均応力の補正方法について調査したところ、補正方法は材料定数を最適化した式(2)の Walker 式 ($\gamma=0.8$) が精度よく補正できる可能性がある (図4)。最適疲労曲線の構築を含むこれらの結果を基に、自緊処理の影響を検討するため、今後は多軸応力下のサイクル試験結果について比較検討を行う予定である。

$$\sigma_{aeq} = \sigma_{max}^{0.2} \sigma_a^{0.8} = \sigma_{max} \left(\frac{1-R}{2} \right)^{0.8} \quad (2)$$

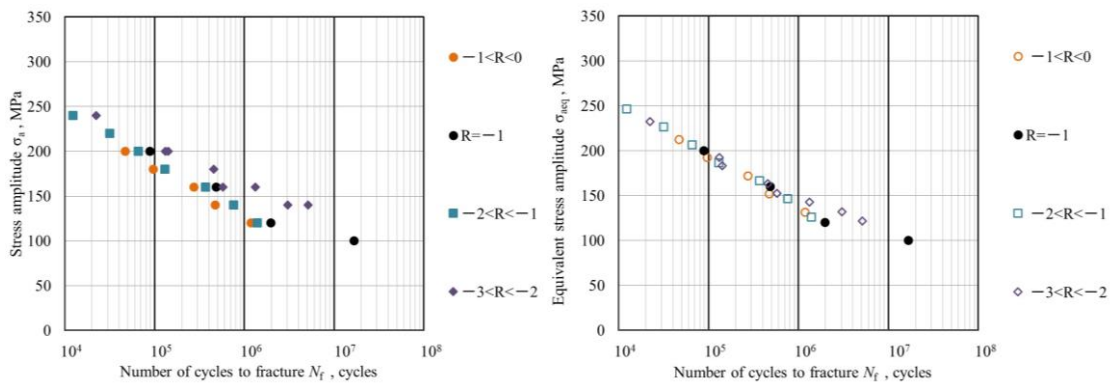


図4 式(2)の平均応力の補正方法の適用結果 (左: 補正前、右: 補正後)

補正前のデータの出展) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 委託業務 (JPNP13002)

「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」(平成 25~29 年度)

達成度: ○

Al 合金疲労試験片を対象に疲労試験を行い、最適疲労曲線を構築した。加えて、平均応力の補正方法については、Walker 式 ($\gamma=0.8$) が精度よく補正できる可能性がある。今後は、サイクル試験結果に対する比較検討を実施し、自緊処理の影響に関する検証を引き続き進める。

①-2 CFRP 試験片評価法の検討 (KHK、東京大学)

手法：

荷重方向と炭素繊維配向方向のなす角度を 0° , 45° , 90° とした CFRP 試験片 (図 5) および樹脂単体試験片 (図 6) を用いて疲労試験を実施した。樹脂の疲労強度が CFRP の疲労強度を支配すると仮定して樹脂単体の疲労試験結果から、CFRP の疲労寿命設計線図を得るための最大公称応力に替わる力学量を検討した。そのために、各試験片に関して、樹脂と炭素繊維を区分するミクروسケール有限要素シミュレーション (図 7) を実施して、その評価結果から適切な力学量を策定した。その力学量の一候補を図 8 に示す、2 本の炭素繊維の中心軸を結ぶ最短線分の垂直二等分面に関する垂直応力として定義される Interfacial Normal Stress (INS) とした。

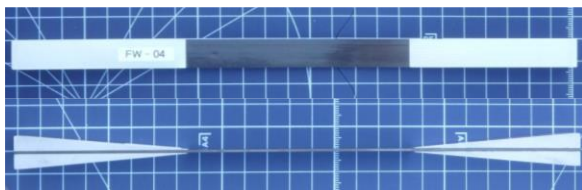


図 5 CFRP 試験片

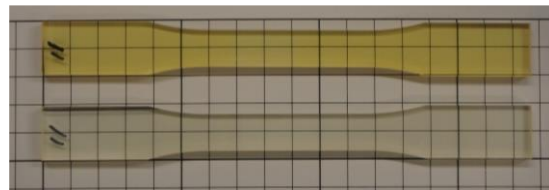


図 6 樹脂単体試験片

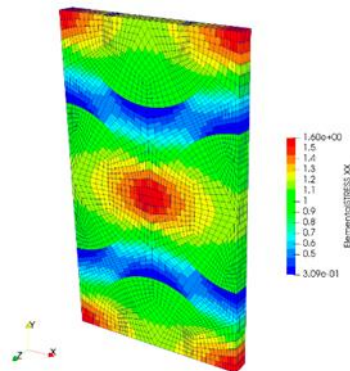


図 7 ミクروسケール有限要素モデル

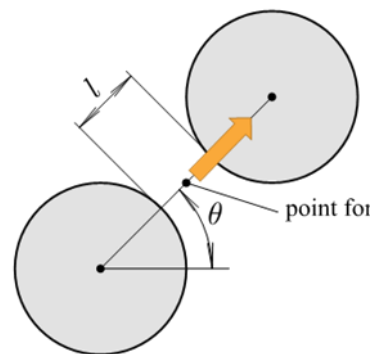


図 8 Interfacial Normal Stress

成果：

炭素繊維方向 0° の試験片に関しては最大公称ひずみで整理することで樹脂単体と同一の疲労寿命設計線図が得られることを確認した (図 9)。最大公称ひずみで整理すれば、樹脂および CFRP 試験片 (0°) の疲労強度は、アルミ合金や低合金鋼のそれよりも十分長寿命側にあり、蓄圧器胴部の主要破損モードである周方向応力による軸方向き裂の貫通に関しては、CFRP 層ではなく金属ライナーの疲労破壊が支配的であることがわかった。炭素繊維方向 45° , 90° の試験片に関しては、INS によることで樹脂単体と同一の疲労寿命設計線図が得られるかを検討している。

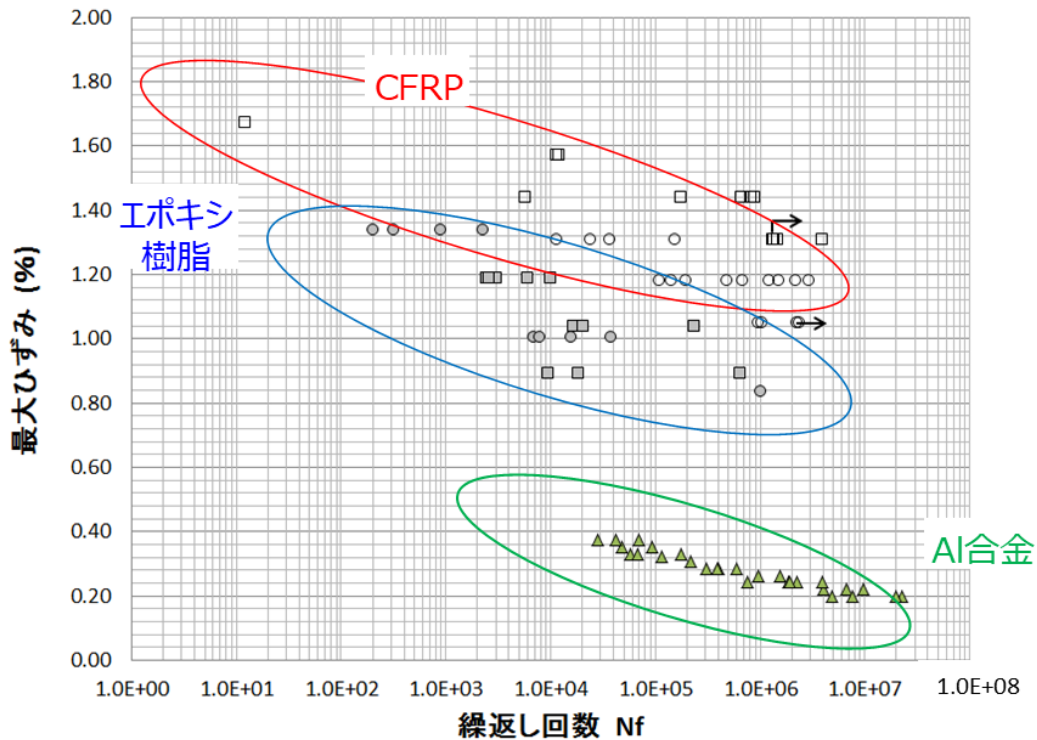


図9 最大公称ひずみで整理した S-N 線図

(CFRP・樹脂：R=0.1、荷重制御、Al 合金ライナー：R=-1、荷重制御)

達成度：○

INS による評価方法を検討し、試験片に関する疲労寿命評価手法が確立できれば、CFRP フープ層およびヘリカル層でのミクロスケール力学場を評価することで、蓄圧器 CFRP 層の疲労寿命評価に展開可能である。

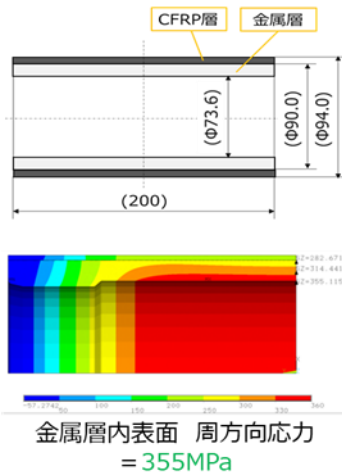
①-3 円筒試験体評価法の検討 (JSW、東京大学)

手法：

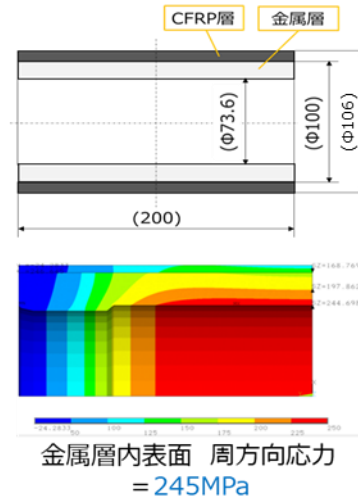
タイプ 2 蓄圧器に関する検討を行うため、フープラップ対応円筒試験体を、2 種類設計した (図 1 0 および図 1 1)。計算と解析から周方向応力を検討し、設計係数 3.5 の試験体は金属層厚さ 13.2mm、CFRP 層厚さ 3mm とした。設計係数 2.4 の試験体は金属層厚さ 8.2mm、CFRP 層厚さ 2mm とした。製作した円筒試験体を用いて、圧力サイクル試験を開始した。

またタイプ 3 蓄圧器に関する検討を行うため、フルラップ対応円筒試験体のアルミ合金ライナーを設計し (図 1 2)、有限要素解析の結果 (図 1 3) からフープ層厚さ 0.9 mm、ヘリカル層厚さ 7.0 mm とした。作製した試験体を用いて圧力サイクル試験を実施した。

試験体 (A)
設計係数=2.4



試験体 (B)
設計係数=3.5



金属層材料：
SCM435

図 1 0 試験体形状と周方向応力分布
(設計係数 3.5)

図 1 1 試験体形状と周方向応力分布
(設計係数 2.4)

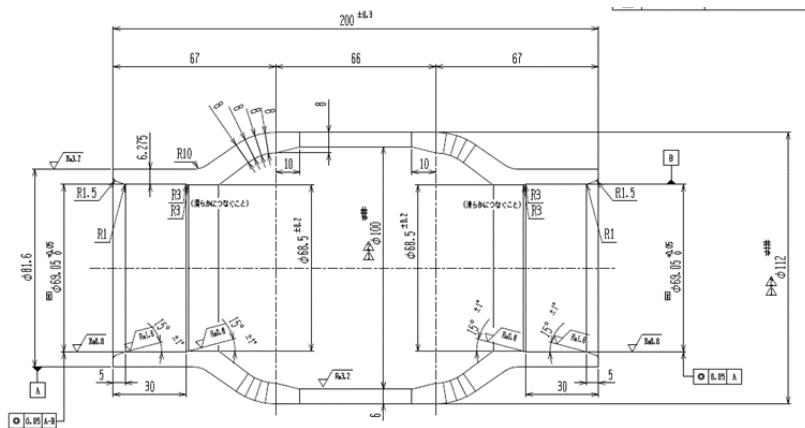
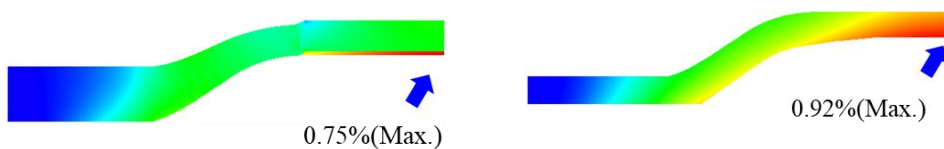


図 1 2 フラップ対応円筒試験体ライナー



(a) CFRP 層の繊維方向ひずみ分布

(b) ライナーの周方向ひずみ分布

図 1 3 フラップ対応円筒試験体の有限要素解析

成果：

フープラップ対応円筒試験体を用いた圧力サイクル試験を圧力範囲 2~82MPa で実施し約 7 万回まで漏洩なしで、試験継続中。フルラップ対応円筒試験体を用いた圧力サイクル試験を圧力範囲 0~30MPa で実施し、561,000 サイクルで漏洩なしであったが、試験を打ち切ってライナー内面のき裂発生状況を観察中。

達成度：○

フルラップ対応円筒試験体を用いた圧力サイクル試験が実行可能であることを確認でき、目標とする長寿命圧力サイクル試験実施のめどが立った。

①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成（東京大学）

手法：

タイプ2およびタイプ3蓄圧器の圧力サイクル寿命は金属ライナーの疲労強度に支配されるとの仮定の下、CFRP積層構成を正確に表す有限要素モデルを用いた応力解析からライナーの応力強さ振幅を評価し圧力サイクル試験の結果と試験片を用いた疲労試験結果を照合する。また評価に先立ち、蓄圧器直胴部に関して、有限要素シミュレーションの結果の妥当性を解析的定式による評価結果と比較しシミュレーションの妥当性を確認した。容器の圧力サイクル寿命をライナーでのき裂発生寿命とき裂進展寿命に分離して検討することとし、自緊処理の効果を取り入れたき裂進展寿命予測手法を検討する。

成果：

タイプ3蓄圧器に関して、CFRP層の構成を忠実に再現した軸対称有限要素モデル(図14)を用いて、ライナーの疲労強度を支配する応力強さ振幅の評価(図15)を行った。種々の圧力範囲で圧力サイクル試験を実施した、内容積111Lおよび76Lの2種類のタイプ3蓄圧器に関して、漏洩箇所のリナーに生じる応力強さ振幅を評価し、漏洩までのサイクル数との関係を求め、ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 3にあるA6061の設計疲労曲線との照合を行った(図16)。その結果、実蓄圧器においては自緊効果により平均応力が圧縮側となる状況で応力が推移するため、ASMEの設計疲労曲線との乖離が大きいことがわかり、本研究開発で実施中のアルミライナー試験片を用いた疲労強度評価方法の必要性を再確認した。

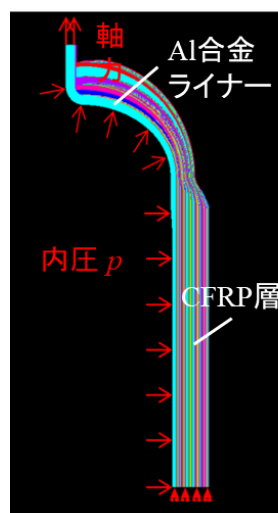


図14 タイプ3蓄圧器(111L)の軸対称有限要素モデル

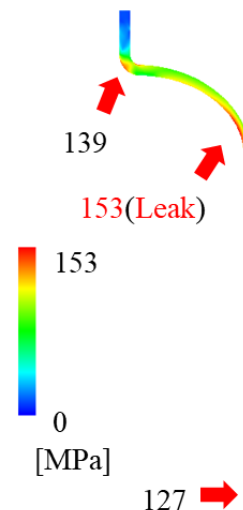


図15 ライナーの応力強さ振幅(サイクル圧力28.5-85.5 MPa)

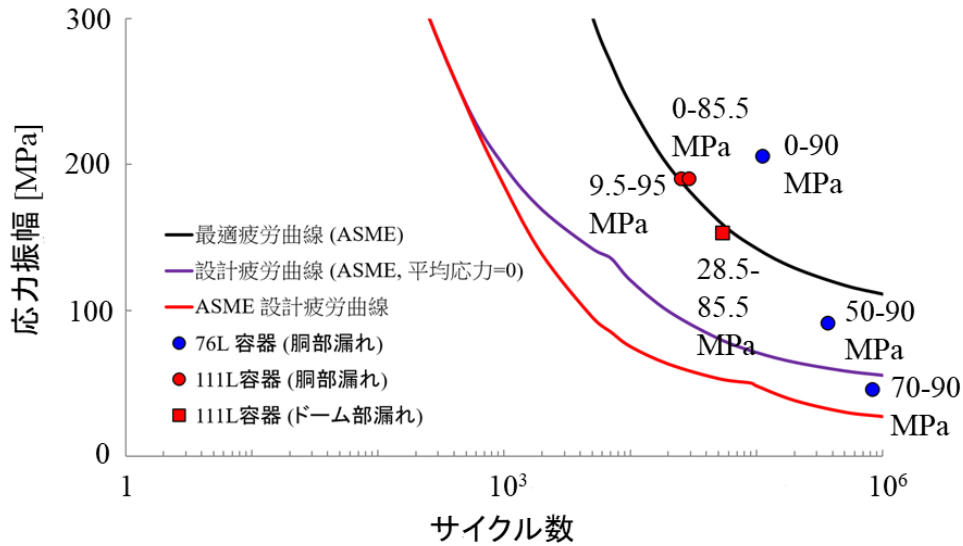


図 1 6 有限要素解析で評価された応力強さ振幅と圧力サイクル寿命の関係

胴部漏洩で圧力サイクル試験を終了した内容積 111 L および 76 L の 2 種類のタイプ 3 蓄圧器に関して、貫通き裂面の破面観察を行いストライエーション間隔を測定した。そのストライエーション間隔から、九州大学が A6061 アルミ合金を用いて行った大気中の疲労き裂進展試験に基づき、き裂を進展させる実効的な応力拡大係数範囲を見積もった。一方、軸方向き裂を有する有限要素モデル (図 1 7) を作製し自緊処理後の圧力サイクルによる応力変動を解析した。その結果から、き裂先端の応力値が正となる圧力サイクル範囲を、き裂を進展させる実効的な圧力範囲と定め、その圧力変動による実効的な応力拡大係数範囲を算出した。その結果、ストライエーション間隔から見積もった実蓄圧器測定値による実効的な応力拡大係数範囲と、有限要素解析によるものが良好に一致することを確認した (図 1 8)。き裂進展寿命に関しては、有限要素解析により自緊処理効果を予測することが可能となった。

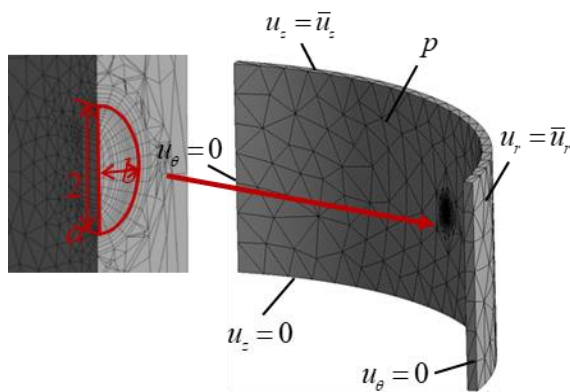


図 1 7 ライナー軸方向き裂の有限要素モデル

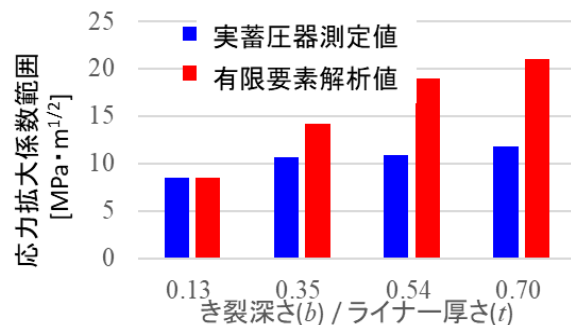


図 1 8 有効応力拡大係数範囲の評価

達成度 : ○

き裂発生寿命に与える自緊処理効果を加えることで疲労寿命設計線図が完成する。

①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証 (JPEC)

手法：

疲労寿命設計線図を用いたタイプ3蓄圧器の設計手法の実現に資するデータ採取のため、タイプ3実容器を用いて、種々の漏洩迄の圧力サイクル試験を実施する。また、蓄圧器の寿命延長によるコストダウンを図るため、試験データを基に、タイプ3蓄圧器への累積損傷則の適用について検討する。

成果：

圧力振幅範囲を種々の条件で行ったタイプ3実容器の漏洩迄のサイクル試験データから、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式(累積損傷関係式)を構築した。X軸、Y軸を圧力振幅比、サイクル増加比(無次元化)とすることで、仕様の異なる容器を指数関数の形で相関良く整理することが可能となった(図19)。この累積損傷関係式を用いることにより、従来FCV10万台に充填可能なタイプ3蓄圧器がFCV224万台まで充填台数を伸ばせることを見出した(図20)。

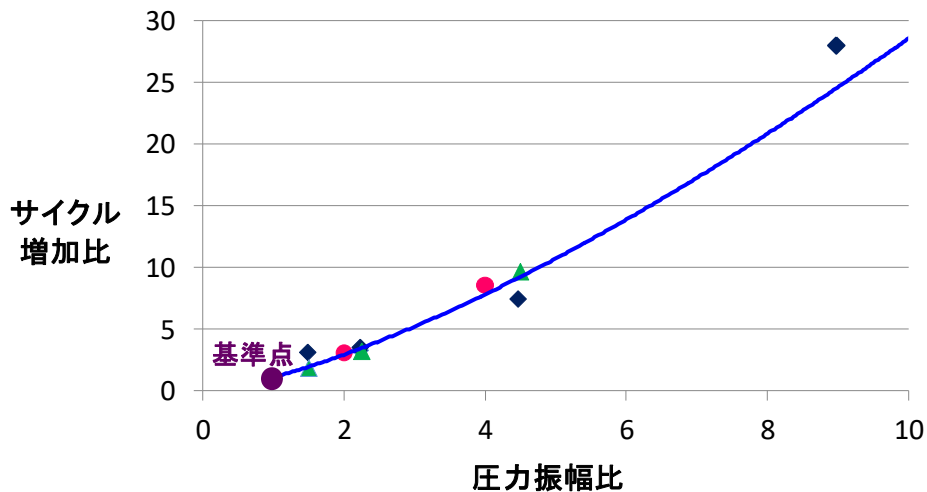


図19 部分充填サイクル試験の圧力振幅比とサイクル増加比の関係

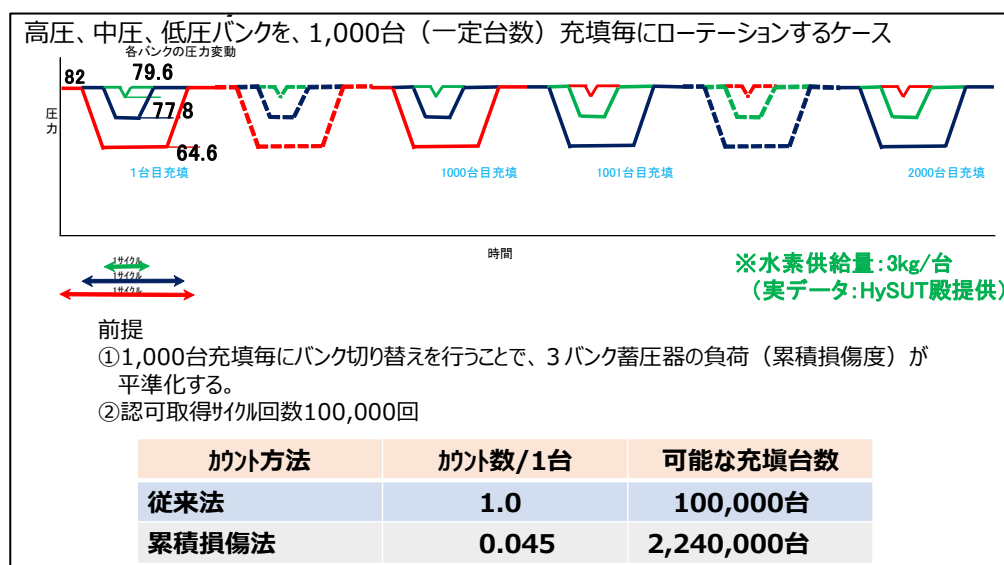


図20 HySUT 充填実証データを用いた寿命延長効果の検証例

達成度：○

今後の展開として、ISO TC197 WG15 で作成中の水素ステーション蓄圧器に関する技術基準に、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式（累積損傷関係式）の導入を目指す。また、X 軸を応力振幅比に変換することで、フルラップ複合圧力容器の応力解析及び疲労解析に基づく設計手法の実現に資する実容器疲労試験データの蓄積とすることを目指す。

② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発（JPEC）

[1] タイプ2 蓄圧器

手法：

タイプ2 蓄圧器の普及を促進し、水素ステーションの整備費、運営費の低減に貢献することを目的として、2020 年度末までに、タイプ2 蓄圧器の製造（材料、公式および解析による設計、工作及び検査等）に関する技術文書（JPEC-TD）案を作成する。

前 NEDO 事業にて実施したタイプ2 蓄圧器の実容器試験結果および既存の圧力容器規格を参考に、実容器試験を行わない公式による設計および解析による設計の考え方を検討する。技術文書案を検討するため、タスクフォースおよび検討分科会を新たに立ち上げ、タイプ2 蓄圧器技術文書の考え方を議論し技術文書案としてまとめる。

成果：

タイプ2 蓄圧器は炭素繊維層が金属層の周方向応力を分担している鋼製圧力容器である。従って、既存の鋼製圧力容器と同様に、実容器試験を課さない設計が可能であるとの結論を得た。既存の鋼製圧力容器規格である超高压ガス設備に関する基準（KHKS 0220）の設計思想をベースに技術文書案を検討した。金属層材料の水素適合性評価、疲労解析方法等は、2020 年 9 月に発行された KHKS 0220（2020）の内容と整合を図った。タスクフォース（8 回）および分科会（8 回）で議論し、タイプ2 技術文書案が完成した。（2020 年 12 月予定）

表1 タイプ2 技術文書案の構成

項目	内容	参考規格
適用範囲	内容積、設計圧力・温度、使用期間	KHKS 0220 ASME BPVC Sec.VIII Div.3
材料	金属層に用いる材料 樹脂含浸炭素繊維層に用いる材料 樹脂含浸炭素繊維層の機械的性質の設定	KHKS 0220 KHKS 0225
設計	金属層材料の許容引張応力 樹脂含浸炭素繊維層の許容ひずみ 式による厚さの設定 詳細応力解析（強度解析、破裂前漏洩解析、疲労解析）	KHKS 0220 ASME BPVC Sec.VIII Div.3
工作及び検査	自緊処理、電位差腐食防止、ワインディング、熱硬化処理、製造状態の確認など	KHKS 0220 KHKS 0225
耐圧試験		KHKS 0220
気密試験		KHKS 0220

達成度：○

今後の展開として、成果の普及のために超高圧ガス設備に関する基準（KHKS 0220）の附属書化および ISO TC197 WG15 で作成中の水素ステーション蓄圧器に関する技術基準への展開を目指す。

[2] タイプ3 蓄圧器




手法：

KHKS 0225 の試験要求内容には、容器保安規則及びその例示基準で規定された移動式容器（車載容器）に係る実容器試験の内容が盛り込まれている。容器メーカーへのヒアリングを実施し、改正要望の挙がった項目を中心に、改正方針を検討する。

成果：

容器メーカーから挙がった負荷のかかる試験項目及び要求内容全12項目について、設定の背景、根拠を調査するとともに項目間の関係性を考慮して、改正方針を策定した。

表2 タイプ3 容器に関する容器試験を課す試験項目の改正方針

項目	現行	改正方針				
				解析	試験&解析無し	
容器試験	5.2.2.1 破裂試験	○ 実容器3個	○ 実容器1個		○ 解析併用	
	5.2.3.1 常温圧力サイクル試験	○			○ 疲労寿命設計線図による解析	
	5.2.3.2 最小厚さ確認試験	○				
	5.2.3.3 環境試験	○				○
	5.2.3.5 温度クリープ試験	○				○
	7.3 製造確認試験	○				○

達成度：○

最終目標は、応力解析・疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法および累積損傷則に基づいた容器寿命延長式（累積損傷関係式）を反映し、KHKS 0225 の改正案を作成し提案することである。また、ISO TC197 WG15（水素ステーション蓄圧器）へ解析に基づく容器設計手法について提案することを目指す。

3. 2 成果の意義

タイプ2 蓄圧器に関する技術文書を制定し、KHKS 0220 への附属書化を目指す。また、タイプ3 蓄圧器に関する技術基準 KHKS 0225 の改正案を作成し改正提案をする（2022 年度末目標）。これらの基準を広く活用してもらうことにより、蓄圧器に係る運営コスト低減に繋げる。

3. 3 開発項目別残課題

当初の研究開発目標については達成見込みであり、残課題はない。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ

水素ステーションに設置される複合圧力容器のコスト削減に向け、容器評価方法の簡素化及び使用寿命延長に関する技術開発として、蓄圧器を構成する材料の最適疲労曲線、疲労寿命設計線図に関する検討、円筒試験体の評価法の検討、き裂進展寿命予測法の検討、タイプ3蓄圧器への累積損傷則の適用検討等を実施した。

また、技術基準を整備するため、タイプ2蓄圧器に関する技術文書を作成するとともに、KHKS 0225に規定する容器試験を課す内容等に関して改訂方針を作成した。

4. 2 課題及び事業化までのシナリオ

タイプ2蓄圧器に関しては、制定した技術文書（JPEC-TD）のKHKS 0220への附属書化を目指す。タイプ3蓄圧器に関しては、2022年度末迄にKHKS 0225の改正案を作成し、提案する。これらのKHK技術基準を広く活用してもらうことにより、蓄圧器に係る運営コスト低減に繋げる。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

・石油エネルギー技術センター（JPEC）

（口頭発表 2018年度：2件、2019年度：4件、2020年度：3件）

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年 11月29日	日タイ技術交流会	Research and Development on Technical Standard of Composite Pressure Vessel for Hydrogen Fueling Station	佐藤
2	2019年 2月12日	FCCJ 燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	小林
3	2019年 5月8日	2019年度JPECフォーラム	複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発	林
4	2019年 9月27日	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第1回セミナー	水素ステーションで使用できる金属材料・蓄圧器	福本
5	2020年 2月3日	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第3回セミナー	水素ステーション用蓄圧器の技術基準	林

6	2020年 2月17日	FCCJ 燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	小林
7	2020年 5月8日	2020年度JPECフォーラム (フォーラムは中止。 HPで資料を公開)	複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発 (タイプ2)	佐藤
8	2020年 5月8日	2020年度JPECフォーラム (フォーラムは中止。 HPで資料を公開)	複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発 (タイプ3)	東條
9	2020年 7月20日	ASME PVP 2020	INTRODUCTION OF THE TECHNICAL DOCUMENT IN JAPAN FOR SAFETY USE OF TYPE2 PRESSURE VESSELS IN HYDROGEN REFUELING STATIONS	JPEC : 佐藤、小林、福本 KHK : 前田 東大 : 吉川 JSW : 荒島

(新聞・雑誌等へ掲載 2018年度：1件、2019年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年 2月	石油学会誌 PETROTECH	水素ステーションで使用する複合圧力容器蓄圧器の技術基準複合容器基準について	小林、藤澤
2	2020年 1月	JPEC NEWS 1月号	NEDO事業紹介「複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」	

※2020年10月9日現在

・高圧ガス保安協会 (KHK)

(口頭発表 2018年度：3件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年 7月18日	ASME PVP 2018	STUDY ON FATIGUE CHARACTERISTICS OF CFRP	KHK : 竹花、山田、佐野、木村、宮下、志賀 東大 : 吉川 JPEC : 小林
2	2018年 7月18日	ASME PVP 2018	STUDY ON STRESS RUPTURE CHARACTERISTICS OF CFRP	KHK : 佐野、山田、竹花、宮下、志賀 東大 : 吉川 JPEC : 小林

3	2018年 11月29日	平成30年度 日本高圧力技術協会 秋季講演会	アルミニウム合金A6061-T6 の最適疲労曲線	KHK：志賀、 山田、佐野 小林
---	-----------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------

(新聞・雑誌等へ掲載 2019年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年 4月	高圧ガス誌	ASME 2018 Pressure Vessels & Piping Conference (PVP会議)の参加報告	佐野

※2020年10月9日現在

・東京大学

(口頭発表 2018年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年 7月17日	ASME PVP 2018	Numerical Fatigue Life Evaluation with Experimental Results for Type III Accumulators	東大：吉川、 キム JPEC：小林、 藤澤 KHK：佐野

※2020年10月9日現在

・株式会社日本製鋼所 (JSW)

(口頭発表 2019年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年 12月2日	KHK水素保安セミナー	タイプ2複合容器蓄圧器の設計	高坂

※2020年10月9日現在

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2020年 4月17日	特願 2020 - 074196	蓄圧器の寿命判定方法	JPEC、東大、 KHK、JSW
2	2020年 4月17日	特願 2020 - 074235	蓄圧器の寿命判定方法を用いた水素ステーションの運転方法	JPEC、東大、 KHK、JSW

※2020年10月9日現在

(2-(3)-①)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」

委託先：一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人 九州大学、一般財団法人化学物質評価研究機構、NOK株式会社、高石工業株式会社、日本ヒュー工業株式会社、株式会社キッツ、株式会社フジキン、株式会社タツノ、トキコンシステムソリューションズ株式会社

●成果ガリ（実施期間：2018年度～2022年度（予定））

- ・商用ST等使用済シール部材および故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。
- ・水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充した。また、高圧水素シール部材標準評価法、劣化シール部材作製法を開発。
- ・機械継手のゆるみとガス漏洩を評価する試験法と試験装置を開発し、シール部材の作用について試験と解析により明らかにした。
- ・シール基盤・改良開発に基づき、新たな機器（バルブ、フィルター等）の設計検討を実施した。

●背景/研究内容・目的

- ・継手部材、シール部材の耐久性を、水素ステーションにおける充満回数15,000回相当とする。
- ・継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を確立する。

●研究目標

実施項目	目標
①セーフティデータ(SDB)の解析知見の整理	SDBデータ解析の継続
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	機器の加速耐久性評価法案設定
③シール基盤・改良開発	HRSにおける充満回数 15,000 回相当のシール部材開発
④継手基盤・機器開発	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスクが低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う
⑤シール成果に基づく機器開発	HRSにおける充満回数 15,000 回相当の機器開発

●実施体制及び分担等

NEDO	
	HySUT (実施項目①②)
	九州大学 (実施項目③④)
	CERI (実施項目③)
	NOK (実施項目③)
	日本ヒュー工業 (実施項目③)
	高石工業 (実施項目③)
	キッツ (実施項目②④⑤)
	フジキン (実施項目②④⑤)
	タツノ (実施項目②)
	トキコンシステムソリューションズ (実施項目②⑤)

●これまでの実施内容／研究成果

- ・シール、継手のトラブル事例解析より、フレクロー二次則での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。
- ・商用ST等使用済シール部材および故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を絞り込んだ。また、劣化度と漏えいの相関性を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。
- ・水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。
- ・高圧水素シール部材標準評価法、劣化シール部材作製法を開発。
- ・HRS使用済シール部材の回収、調査を実施。
- ・継手シール部の接触面に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。
- ・接触面圧低下に至る複数因子の作用について試験と解析を実施した。
- ・シール基盤・改良開発に基づき、新たな機器（バルブ、フィルター等）の設計検討を実施した。

●今後の課題

- ・機器レベルでの加速耐久性評価法を検証し、継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を確立する。
- ・開発した劣化シール部材と実機の劣化状況比較によるシール部材の加速耐久性評価法の検証
- ・継手接触面圧低下条件下ガス漏洩の閾値の整理。理論解析により検証
- ・漏洩リスク低減指針検討新型/改良型継手の開発する。
- ・加速耐久性評価法に基づく目標達成機器を開発する。

●実用化・事業化の見通し

- ・漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、成果として、水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減が実現できる。
- ・具体的成果として
 - 水素ステーションの休業日数の削減：1日/年
 - メンテナンス期間の短縮：2～3日/定修（およそ1回/年）
 - 運営コスト低減：1～2百万円/年
 - 従って、日本全体の水素ステーションでは3.2～6.4億円/年の低減が見込まれる。（2025年度 水素ステーション数：320）

実施項目	成果内容	自己評価
①セーフティデータ(SDB)の解析知見の整理	シール、継手のトラブル事例解析より、フレクロー二次則での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多発していることを確認した。	○
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関性を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	○
③シール基盤・改良開発	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。高圧水素シール部材標準評価法、劣化シール部材作製法を開発。HRS使用済シール部材の回収、調査を実施。	○
④継手基盤・機器開発	継手シール部の接触面に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用について試験と解析により明らかにした。	○
⑤シール成果に基づく機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器（バルブ、フィルター等）の設計検討を実施した。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	11	0

資料番号：2-(3)-①

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／長寿命高压水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」

実施者：一般社団法人水素供給利用技術協会
国立大学法人九州大学
一般財団法人化学物質評価研究機構
NOK株式会社
高石工業株式会社
日本ピラー工業株式会社
株式会社キッツ
株式会社フジキン
株式会社タツノ
トキコシステムソリューションズ株式会社

1. 研究開発概要

1. 1 目的

2017年12月26日に再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議が発表した水素基本戦略では、モビリティにおける水素利用の中核は燃料電池自動車と水素ステーションの普及であると位置づけられており、水素ステーションについては2020年度までに160箇所、2025年度までに320箇所の整備を目標とし、2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指すとの国家方針が示されている。

事実、最近の商用水素ステーション数は100ヶ所に近づき着実に導入が進んでいる。

ところが、高压ガス保安協会から報告された水素ステーションにおける事故は2011～2015年度に28件を数え、その原因は全て水素の漏えいである。更に、漏えい部位の3/4が締結部とシール部である。今後の水素ステーションの増加と、充填頻度と多様化によって、今後更に漏えい事故が増加すると予想されるために漏えい防止の過半を占める締結部とシール部の漏えい防止対策が急務となっている。

継手部やシール部など、水素ステーションで多数存在する漏えいが懸念される部材について、多様な漏えい原因の切り分け、検証と漏えい防止策を策定し、もって漏えいの無い継手や弁・フィルター等の機器を開発して、水素ステーション設備の信頼性向上と運営コストの低減に寄与することを、本事業の目的とする。

1. 2 概要

本事業は、一般社団法人水素供給利用技術協会（以下、HySUT）、国立大学法人九州大学（以下、九大）、一般財団法人化学物質評価研究機構（以下、CERI）、NOK株式会社（以下、NOK）、高石工業株式会社（以下、高石工業）、日本ピラー工業株式会社（以下、日本ピラー）、株式会社キッツ（以下、キッツ）、株式会社フジキン（以下、フジキン）、株式会社タツノ（以下、タツノ）およびトキコシステムソリューションズ株式会社（以下、トキコ）の10社（団体）が実施する。

水素ステーションの設備信頼性向上のためには、継手、シールなど高压水素インフラにおける締結・摺動要素に関する潜在的漏えい箇所について、その漏えい発生メカニズムの検討が必要である。

また、水素ステーションの運営に際して、毎年実施される開放検査もコスト増大の一因となっている。例えば、プレクレーター以降の配管、付属品類（遮断弁、フィルター、緊急離脱カプラー、ノズル等）はヒートサイクル（外気温度 \leftrightarrow 40℃）及び圧力サイクル（0.1MPa \leftrightarrow 82MPa）に曝されることから、ガスケット、継手、グラウンド等で微少リークが発生する可能性があり、信頼性確保のため消耗品であるOリング等シール部材を毎年交換している。

本事業で、継手等の締結部材からの漏えい発生メカニズム、高压水素シール部材の高压水素環境下における劣化、寿命に関する知見を得て、継手、シール、弁の使用期間を延長し、もって開放検査の実施間隔の延長を可能とし、水素ステーションの運営コストの低減や稼働日数の増加を図ることを目的とする。

以下の 5 つのサブテーマにより研究開発を実施する。

- (1) サブテーマ 1：セーフティーデータベースの解析知見の整理
- (2) サブテーマ 2：部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討
- (3) サブテーマ 3：シール基盤・改良開発
- (4) サブテーマ 4：継手基盤・機器開発
- (5) サブテーマ 5：シール成果に基づく機器開発

1. 3 研究体制

サブテーマ 1 では HySUT が前事業で作成しているセーフティーデータベース (SDB) のバルブ、シール等の不具合情報を整理し、発生状況、頻度、原因などを本事業委託先に展開した。

サブテーマ 2 では、セーフティーデータベースの解析知見の整理の結果や、水素ステーション使用済みシール部材の評価の結果を基に、バルブメーカー (キット、フジキン)、ディスペンサーメーカー (タツノ、トキコ) 共同で、商用ステーションの継手、シール、バルブの使用条件を考慮した用途別評価条件を決定し、本項の継手・シールの基盤・改良開発の前提試験条件を検討した。

サブテーマ 3 では、現状のシール部材、シールシステムの現状を把握し、各種モデル材料の高圧水素環境下における挙動の把握、高圧水素環境下における劣化特性、破壊特性を明らかにする。また、ラボ評価と実水素ステーションにおける劣化挙動の相関を調査する。これらの知見に基づいて、シール部材、シールシステムの加速耐久性評価法を確立する。また、改良開発として、基盤研究により得られた知見、加速耐久性評価法を活用し、シール部材メーカーにて長寿命シール部材、シールシステムの開発を実施する。

サブテーマ 4 では、高圧水素ガス漏洩事故の発生部位として最も多い機械継手について、漏洩機構解明を行うとともに、漏洩のない機械継手を開発する。基盤研究においては、継手のゆるみと接触界面の漏れ経路発生に及ぼす、施工時・運転時・メンテナンスにおける配管の組付け精度 (軸の偏心・偏角)、温度変化、圧力変化、振動 (振幅、周波数、モード) などさまざまな因子による応力変動と表面損傷の影響を明らかにするために、事故事例の分析、評価試験、理論解析、および実地検証を行う。機器開発においては、基盤研究の結果にもとづき、改良継手の開発を行って充填実条件試験を行って既存品と比較する。以上にもとづいて、機械継手の漏洩リスクの評価方法とリスク低減策を検討し、漏洩リスク低減の指針を作成する。

サブテーマ 5 では、既存弁・フィルターの繰返し実充填試験を行い、問題発生状況を把握する。加えて、シール基盤・改良開発で開発した改良シールを備えた改良弁・フィルターを、サブテーマ 2 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討で決定した加速試験条件にて試験し評価する。

本事業の実施体制を図 1 に示す。

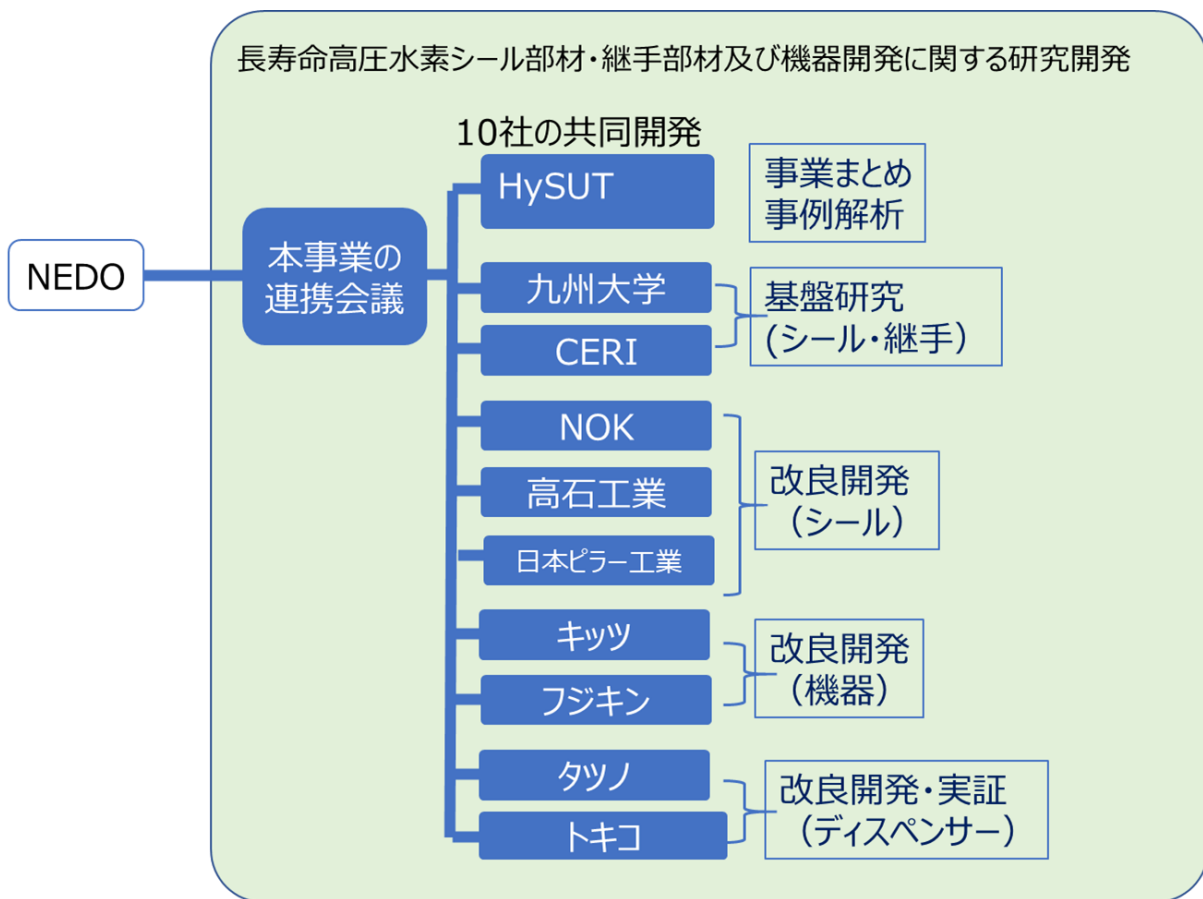


図1 実施体制

また、委員会、チーム会議体制を下図のように構築し、検討・審議を実施した。

シール部材・継手部材検討委員会においては、水素ステーション運営事業者、ディスペンサーメーカー、水素事業関連の業界団体（FCCJ）や研究開発法人などの外部有識者が広く参画し、本事業の審議を行った。

委託先が 10 社と多数であること、また各々の実施内容を共有し連携して効率的な事業推進を図るために、委託先メンバーによって組織される連携会議を設置した。

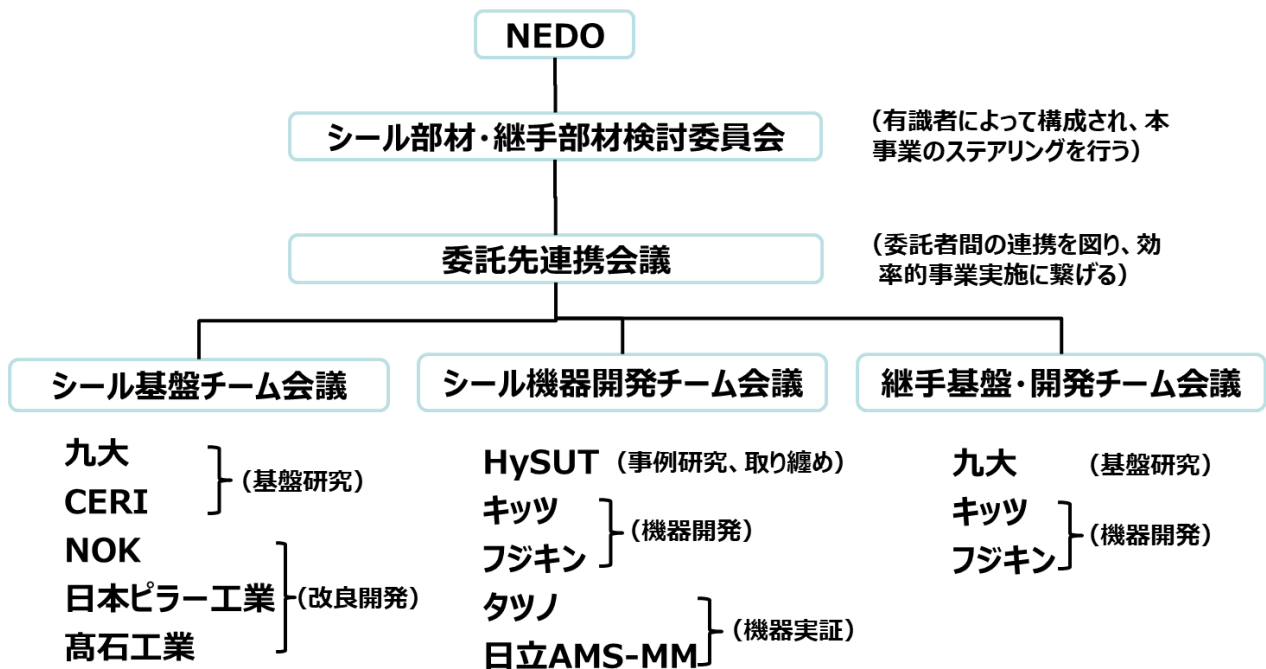


図2 委員会、チーム会議体制

2. 研究開発目標

<全体目標>

- ・ 継手部材，シール部材の耐久性を，水素ステーションにおける充填回数30,000回相当とする。
- ・ 継手部材，シール部材の加速耐久性評価法案を設定する。

<テーマ別目標>

- (1) サブテーマ 1：セーフティーデータベースの解析知見の整理
 - ・ 前事業で作成した SDB 情報の整理、解析
- (2) サブテーマ 2：部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討
 - ・ 加速試験評価方法の確定
 - ・ 実充填方法と加速試験評価方法の相関性の確認、新規シール材機器の評価試験
- (3) サブテーマ 3：シール基盤・改良開発
 - ・ 想定したシール部材劣化因子ごとの試験法確立
 - ・ 加速耐久性評価法案の設定
 - ・ 長寿命シール部材の開発
- (4) サブテーマ 4：継手基盤・機器開発
 - ・ 機械継手の漏洩の評価方法の確立
 - ・ 漏洩リスク低減の指針の作成と、漏洩のない機械継手の開発
- (5) サブテーマ 5：シール成果に基づく機器開発
 - ・ 新規シール材・機器を用いて、加速耐久性評価法による要素試験の実施および評価

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

- (1) サブテーマ 1：セーフティーデータベースの解析知見の整理
 - ・ HySUT が前事業で収集・蓄積した水素ステーションの各種トラブルに関するセーフティーデータベース（SDB）の事例を対象に、シール及び継手に関する事例に絞り込んで解析した。絞り込みは、最近のトラブル事例に関し、事例が多く発生しているディスペンサー、昇圧設備、蓄圧設備の部位に関する重要事例（水素微量漏えい故障、ST 運営に支障を及ぼした故障）を対象とした。
 - ・ シールに起因するトラブルの解析より、部位別のシール故障は、ディスペンサー部分が最も多く、かつプレクール二次側の低温部の遮断弁等のバルブで多くの故障が発生している。シール構造別では、グランドパッキンの不良や緩み、O-リング不良が多いことを確認した。

(表 1)

表 1 漏洩事例の設備内訳（左表）、ディスペンサーシールでの詳細部位内訳（右表）

設備	種別	外部漏えい		内部漏えい		計	
		件数	比率	件数	比率	件数	比率
ディスペンサー	シール	19	73%	25		44	
	継手	7	27%	0		7	
	計	26	100%	25		51	
昇圧設備	シール	4	27%	26		30	
	継手	11	73%	0		11	
	計	15	100%	26		41	
蓄圧設備	シール	5	56%	0		5	
	継手	4	44%	0		4	
	計	9	100%	0		9	
合計	シール	28	56%	51		79	
	継手	22	44%	0		22	
	計	50	100%	51		101	

部位	詳細部位	合計		うちPC二次側	
		件数	比率	件数	比率
遮断弁 その他弁類	グランドパッキン不良	2	11%	2	100%
	グランドナット緩み	7	37%	5	71%
	グランド部 Oリング不良	4	21%	3	75%
	その他	1	5%	0	0%
	計	14	74%	10	71%
バルブ底部	Oリング不良	4	21%	4	100%
	計	18	95%	14	78%
その他	離脱カプラ Oリング破損	1	5%	1	100%
合計		19	100%	15	79%

- ・ 継手に関する解析結果より、昇圧設備（圧縮機）の継手不良件数と、ディスペンサーの継手不良がほぼ同数となっている。ディスペンサー部位の継手不良は全てプレクールの二次側で発生していることを確認した。
- ・ SDB の事例を対象に、トラブルが発生するまでの充填回数を整理した結果、充填回数 0～50 回での漏えい件数が最も多く、各 ST の充填回数の中央値（充填回数 647 回）であるこ

とからも運転初期の段階で漏えいが多く発生していることが明確となった。(図3)

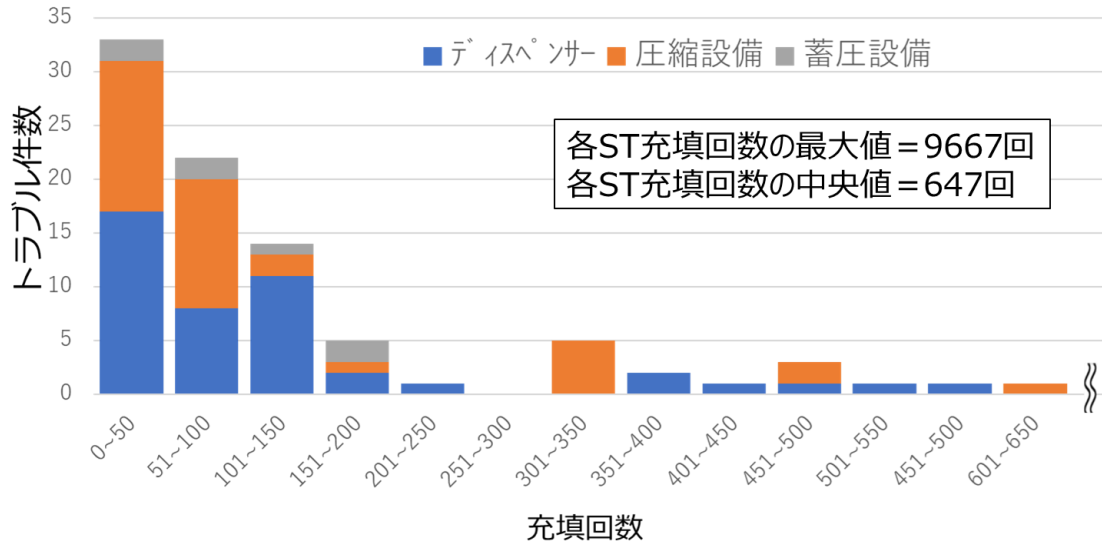


図3. シール部材・継手部材の漏洩事例に係る充填回数ヒストグラム (設備区分別)

(2) サブテーマ2：部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討

- ・ 商用ステーション、HySUT山梨ステーション等のシール、バルブの調査より、シール部材の用途別評価条件策定の一環として、使用履歴とともに使用済みシール材を採取し、劣化要因分析材料としてサブテーマ3メンバーに提供した。シール材分析結果より、未使用品との比較検証を通じて、劣化要因や条件の特定に着手し、変化点を確認した。
- ・ 改良試験設備による加速耐久試験評価方法の準備、バルブ試験体の内部に、液体窒素を冷媒として冷却した低温流体を流通させる設備 (高圧低温流通試験装置) を設置した。
- ・ 不具合事象の抽出、実充填条件の確認の為、商用ステーションの充填ログデータを解析し、水素充填の際の各部のバルブの開閉回数、圧力条件、温度条件を整理した。(図4)

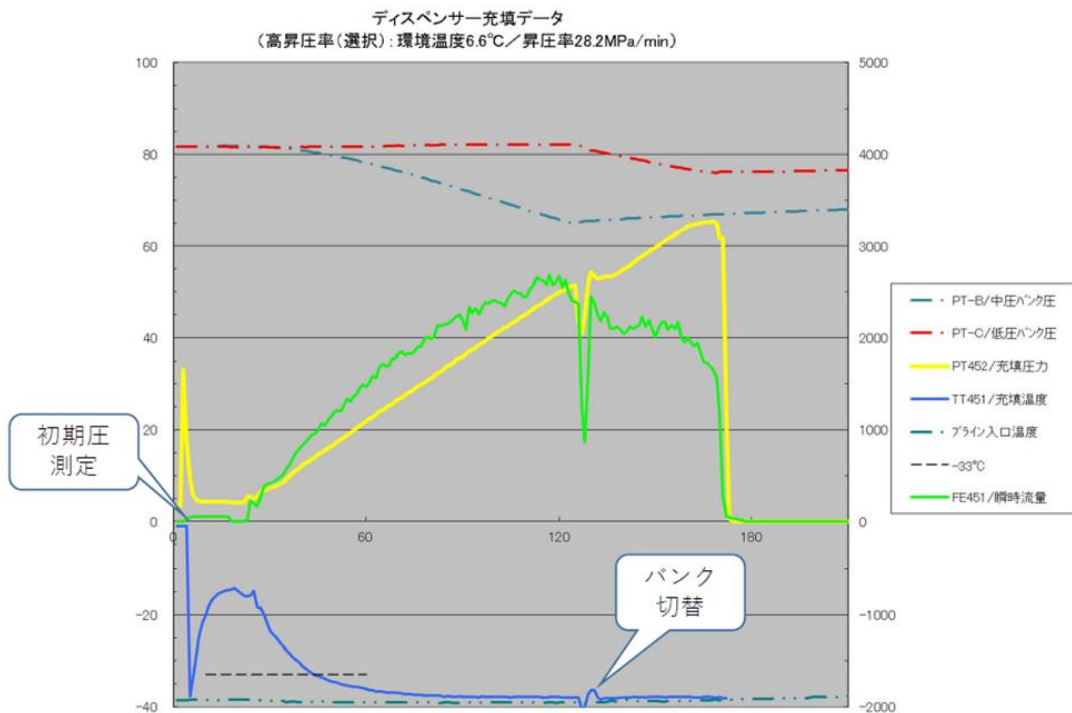


図4. 水素技術センター (HTC) 充填データ

- ・ バルブ機器レベルでの加速評価試験の手順・進め方を検討し、サブテーマ3でのシール部材解析結果を基に、劣化要因を化学的変化ではなく物理的な変化に絞り込んだ。また、シ

ール部材の劣化度の仮想相関図（充填回数15,000回相当）を作成し、漏洩の閾値を検討した。（図5、図6、図7）

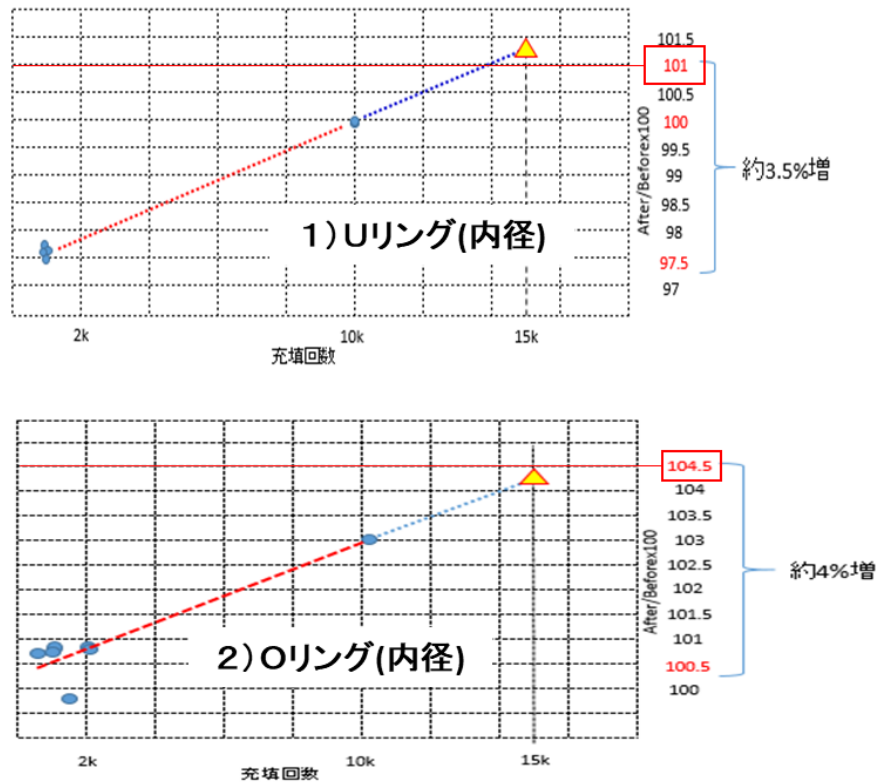


図5. シール部（Uリング、Oリング）に係る仮想相関図（キット製バルブ）

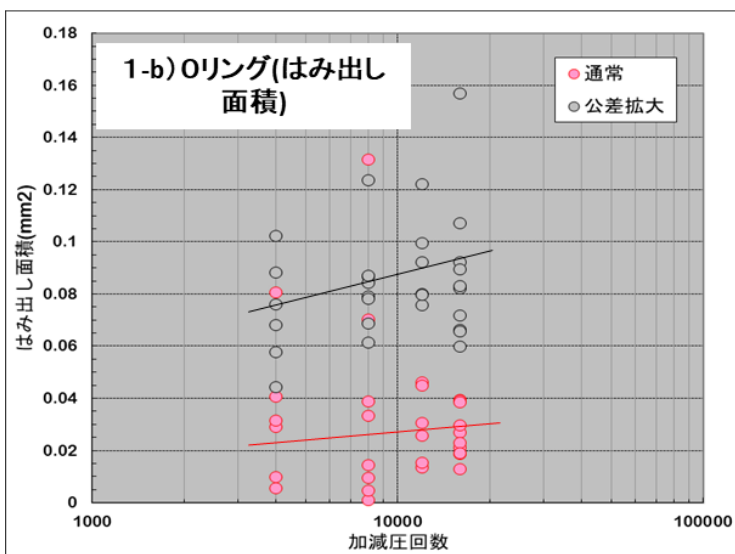
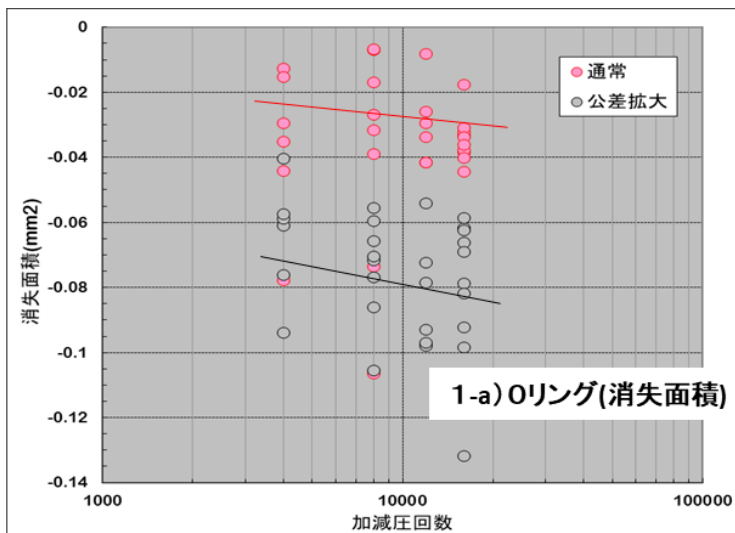


図6. シール部（Oリング）に係る仮想相関図（フジキン製バルブ）

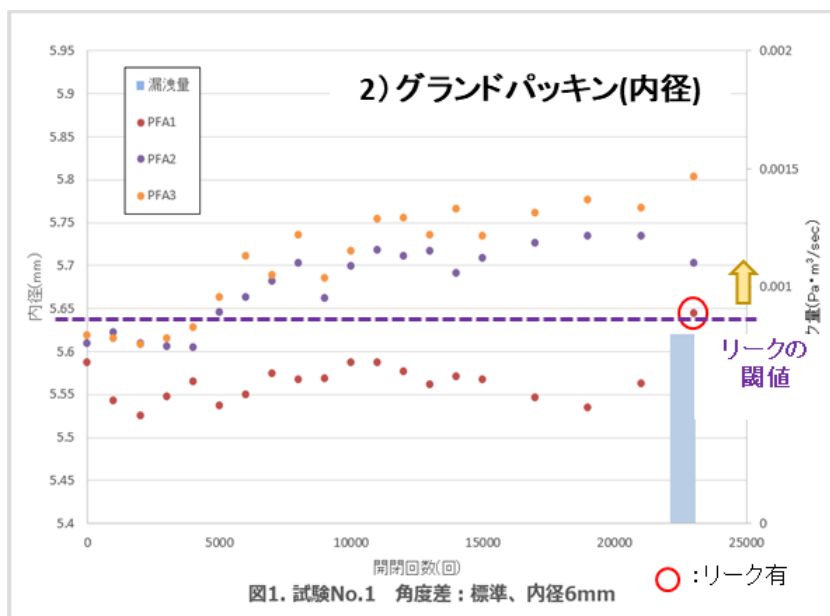


図7. シール部（グランドパッキン）に係る仮想相関図（フジキン製バルブ）

(3) サブテーマ 3：シール基盤・改良開発

- ・ 高圧水素シール用ゴム・樹脂材料劣化特性データベースの収載データを拡充した。Oリン

グ用モデル配合ゴム、バックアップリング材、ガスケット等の樹脂シール部材など水素特性データを計測し、データベースに収載した。2018年～2020年10月までの間、「水素機器用エラストマー材料研究分科会」を10回開催し、データベースに関する議論を行った。

- 高圧水素シール部材加速耐久性試験法の開発を進めた。現行シール部材評価および実機使用品の劣化状況を踏まえ、シール寿命に及ぼす劣化の加速因子を抽出し、加速耐久性評価法開発のための基本的な考え方を設定した。加速耐久性評価法開発の基本概念図として、抽出した加速因子と実機の寿命との相関に関する考え方をまとめて図8に示す。抽出した加速因子をそれぞれ評価するシール単体試験を構築した。

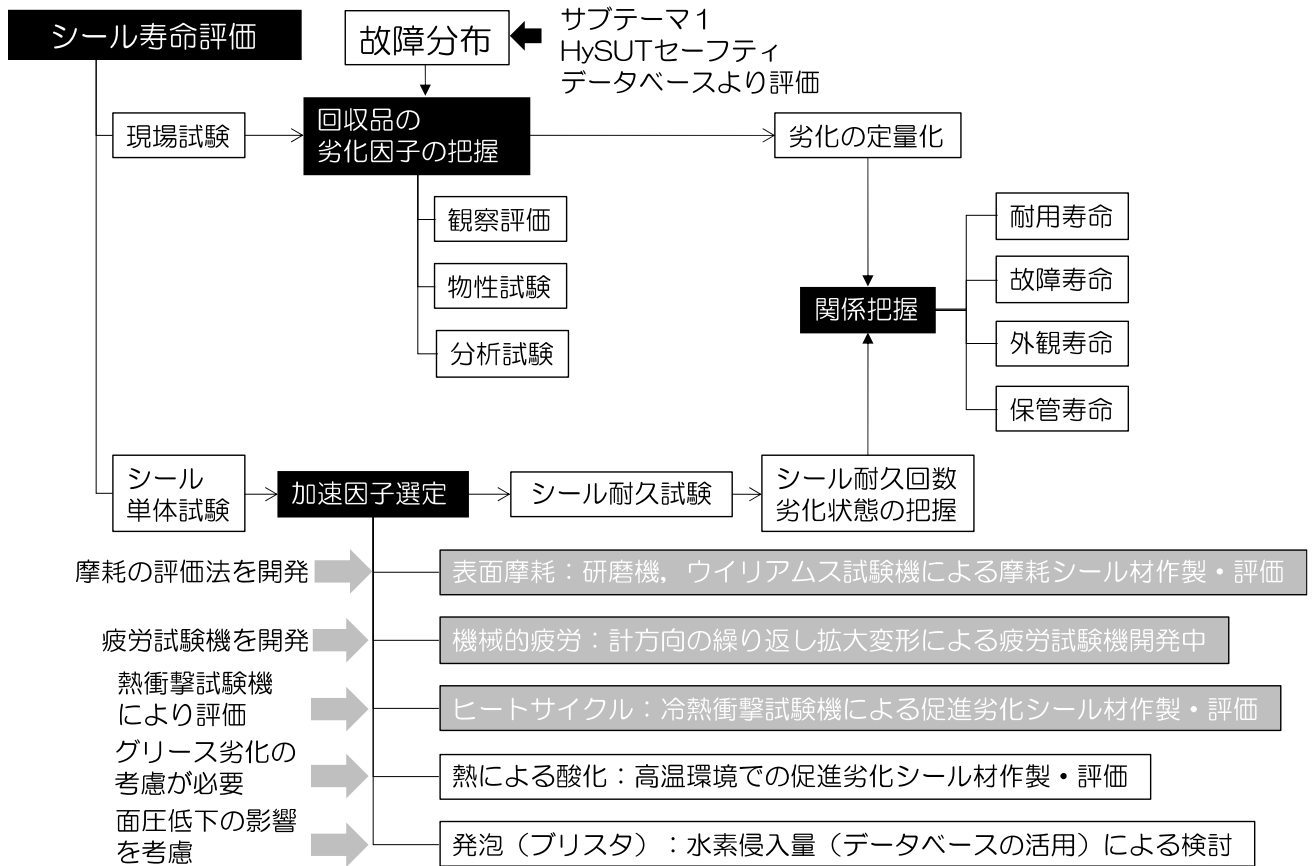


図8 加速耐久性評価法開発の基本概念

図8に示した通り、Oリング耐久性に及ぼす劣化の加速因子として選定した表面摩耗、機械的疲労、ヒートサイクル、熱による酸化、発泡の5因子を選定した。基本的な考え方として、選定した因子ごとにOリング単体に対して加速的に実機で発生しうる負荷を加えることで劣化を模擬したOリングを作製し、高圧水素シール性を確認することで、想定される加速因子による劣化模擬Oリングの寿命を検証することとした。また、劣化模擬Oリングについて、表面粗さ、寸法のなど外形寸法、形状の変化、硬度、弾性率などの物性の変化、化学構造の変化などを計測、調査し、シール性能に及ぼす因子を明確化するとともに、実機の劣化状況との比較を実施した。

① 表面摩耗

Oリングシールを用いた水素機器に加減圧を行うことにより、Oリングは高圧側の圧力に

よりOリング溝内での変形が発生する。このことから、OリングはOリング溝内で加圧に伴い低圧側に押し付けられることが想定され、Oリング変形の際、Oリング溝の金属部材の表面との摺動が発生する。この際の摺動を模擬して発生するOリング表面の摩耗を模擬した劣化模擬Oリングを作製した。Oリングのシール構造として平面シールと軸シールの2種があることから、ウイリアムス試験機、研磨機を用いてOリングの円周上面を摩耗させる方法と、シリンジ構造の摩耗試験機を開発し、ピストン内面の表面粗さを規定し、ピストンに装着したOリングを摺動させることで軸シールを模擬したOリング円周外面の摩耗させる手法を用いて検討した。開発した表面摩耗劣化模擬Oリング作製方法を図9に示す。実機における劣化と表面摩耗試験による劣化模擬状況の相関については、Oリングを装着したバルブ等の水素ステーション機器の充填時の作動状況として水素ステーション1充填に際しての作動回数、1回の作動時の摺動距離を考慮して、目的とする水素ステーションにおける充填回数に対応した摺動距離を設定し、劣化模擬Oリングを作製することが可能である。

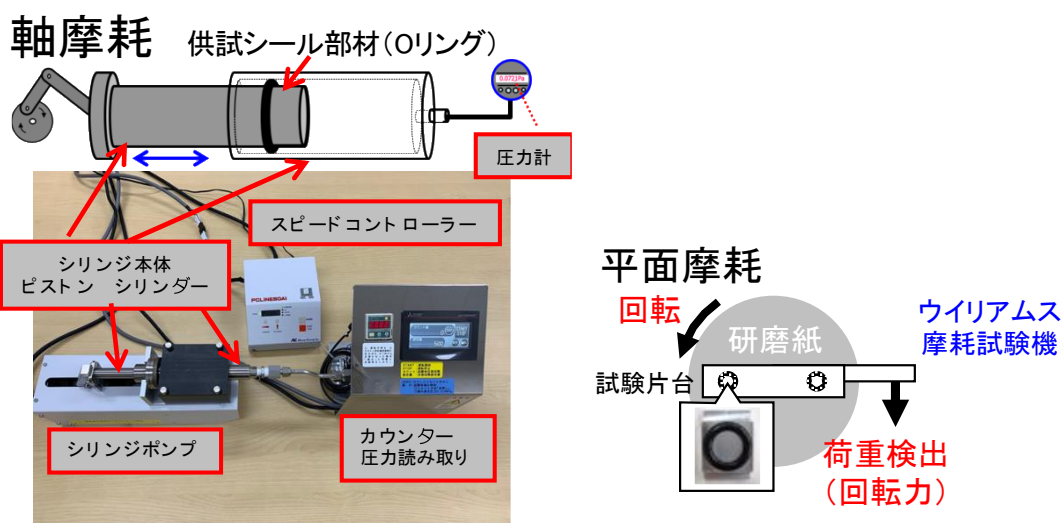


図9 表面摩耗劣化模擬Oリング作製方法

② ヒートサイクル

水素ステーションでは環境温度で保持されているシール部材に -40°C のプレクール水素が流通する際の熱衝撃により劣化が加速することが懸念される。このことを検証するため、冷熱衝撃試験機を用いてOリング単体を 65°C に設定した高温槽と -40°C 、 -60°C に設定した低温槽間を繰り返し移動させることで熱衝撃を繰り返し負荷するヒートサイクル試験を実施した。水素ステーションにおいて1充填につき1回の熱衝撃が付加されると考え、30,000回までのヒートサイクルを実施し、劣化模擬Oリングを作製した。

③ 機械的疲労（拡張）

Oリングシールを用いた水素機器に加減圧を行うことにより、Oリングは高圧側の圧力によりOリング溝内での変形が発生する。このことから、Oリングには加減圧時にOリング溝内で加圧に伴い低圧側に押し出される変形が発生すると想定される。平面シール構造の際に想定される変形は加減圧に伴い拡張・縮径を繰り返すことが考えられ、変形に伴う疲労が懸念される。この状況を模擬して、Oリング径の拡張・縮径を繰り返す疲労試験機を開発した。開発した疲労試験機を図10に示す。縮径時のOリング内径を想定したロッドに拡張時の内径を想定した樽状の大径部を持ったロッドを繰り返しOリング内径部に挿入、移動させることで拡張・縮径の疲労試験を実施した。水素ステーション実機の充填時の加減圧回数に相当する疲労回数を設定し、目的とする充填回数の劣化状況を模擬した劣化Oリングを作製した。

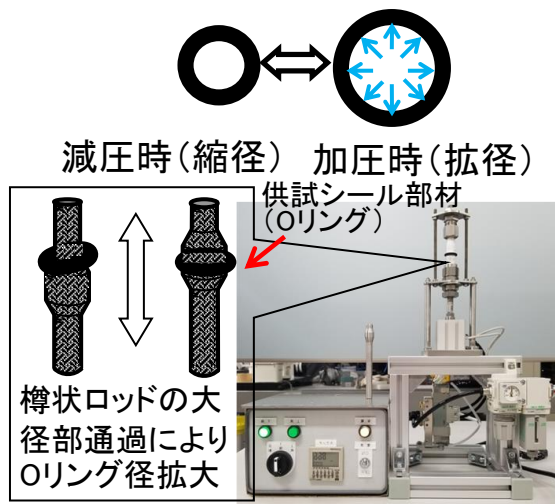


図10 Oリング疲労試験機

④ グリース浸漬

Oリングの酸化劣化等の劣化試験については既に一般的なOリングの規格であるJIS B24 01-1に規定されている。高圧水素シール用については、シールすべき流体が酸素を含まない水素であり、還元性雰囲気で使用されることから、熱劣化、酸化劣化については既存の規格に適合する部材を使用することで問題ないと考えている。使用済みシール部材の調査においても問題となるような酸化劣化は確認されていない。しかしながら、使用済みシール部材の調査の過程で、機器に使用されるグリースの影響でシール部材の劣化が進行することが懸念された。このため、高圧容器中にグリースを充填し、供試Oリングをグリース中に浸漬し、想定されるガス圧力までグリースを加圧した状態で所定の温度で一定時間保持して劣化状況を模擬した劣化模擬Oリング・シール部材を作成した。

上記の4種の劣化因子について、モデルOリングを用いて各因子による劣化模擬Oリングを作製し、Oリングの劣化、摩耗、変形とシール特性の相関を把握した。それぞれの加速因子により摩耗・劣化させた劣化模擬Oリングを試験用高圧水素ガス容器に装着し、水素ガスにより水素ステーションにおける上限と考えられる90 MPaまで加圧し、シールの可否、リークの有無を確認し、シールが担保された場合には水素透過曲線を取得した。透過曲線からOリングの水素透過量を評価し、さらに10回~50回の加減圧を繰り返したのちに同様に透過量を評価することでシール性能の変化を確認した。透過量の変動からOリングのシール性低下、破壊に伴う漏洩を検出する評価法を確立した。



図11 Oリングシール性能評価設備と透過曲線概念図

評価結果を表2にまとめて示す。15,000回相当のモデル劣化Oリングのシール性を評価した結果、ヒートサイクルはシール性が向上し、安全側に変化すること、平面摩耗・軸摩耗による表面粗さ変化、拡張疲労による内径拡大の結果、透過量は変化するがリークには至

らないこと、グリースによるゴム・樹脂の劣化が確認されたことから、材料に対して適切なグリース使用が求められることが判明した。

表2 Oリング劣化加速因子試験法まとめ

試験法	劣化試験機 劣化条件	評価項目	評価結果
表面摩耗 (平面摩耗)	ウィリアムス試験機/研磨機 研磨紙:#240, #400, #1000 摩耗体積:0.4%, 0.8%, 1.2%	Oリングシール性 表面性状:平面, 寸法, 硬度, 粗さ(平面・円周), 重量	ウィリアムス試験後の劣化Oリングは最大表面粗さでリーク. 研磨機摩耗劣化Oリングは表面粗さと水素透過量が相関.
表面摩耗 (軸摩耗)	ピストン型摩耗試験機 Rz:300, Rz6.3, Rz3.2, Rz1.6 摩擦距離50cm, 500cm, 5000cm	Oリングシール性 表面性状:斜め, 寸法, 硬度, 粗さ(平面・円周), 重量	表面粗さが小さいシリンダーによる摩耗が顕著. 劣化Oリングは表面粗さと水素透過量の相関が見られない.
ヒートサイクル	冷熱衝撃試験機 -40℃⇔+65℃, -60℃⇔+65℃ 0, 15, 150, 1,500, 15,000回 (30,000回)	Oリングシール性 寸法, 硬度, 熱分析[DMA・DSC・TG]	ヒートサイクル回数が大きい劣化Oリングはシール時の水素透過量小さくなる.
機械的疲労 (拡張)	O-Ring広がり試験機 100, 1,000, 10,000, 100,000回	Oリングシール性 寸法, 硬度	拡張疲労によりOリング内径が拡大. 水素透過量は疲労回数増加により増大.
グリース	フッ素系グリース 90MPa, +30℃保持, 1, 4週間	Oリングシール性 寸法, 硬度, 重量, 熱分析[DMA・DSC・TG]	グリースとOリングゴム材, バックアップリング樹脂材の組み合わせにより材料の劣化, 破壊が発生する.

- ・ 以上の結果から、加速耐久性試験法（案）として、拡張疲労、表面摩耗、グリース浸漬を加速因子として、評価対象とするバルブ等の水素機器の目標とする充填回数における作動状況から、前述の各劣化因子試験法の条件を設定して所定の充填回数に相当する劣化Oリングを作製し、対象とする水素機器に組み込んで所用のシール性能を確認する試験法を設定した。
- ・ 長寿命シール部材の開発として、NOKでは加減圧時にOリングから発生する摩耗粉によりリークが発生することを見出した。この対策として、摩耗を抑制するハウジングの検討、グリース使用の検討を行い、高温・低温環境ともにグリース塗布による摩耗粉発生抑制に対する有効性を確認し、15,000回の加減圧に対する耐久性を確認した。高石工業では、従来材Oリングの高圧水素評価結果から、損傷を抑制するバックアップリング仕様を決定した。また、Oリングの損傷・劣化の抑制を目的として、動的疲労による内部発熱抑制、引

裂き強さを向上した材料を開発した。日本ピラー工業においては、新規シール部材用材料として、水素透過特性、摩耗特性の評価結果に基づいてベスタールG (POM)を選定し、バルブ用シール部材を設計した。開発したOリング、シール部材バルブ実機での評価を予定しており、サブテーマ5のバルブメーカーと共同で、評価用バルブに適用するOリング、シール部材の設計を進めている。

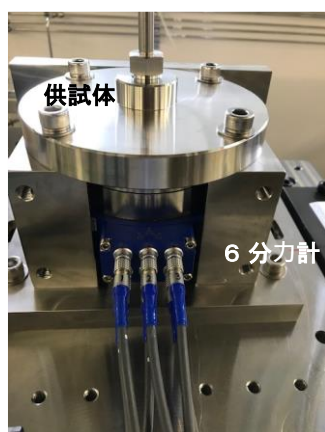
高圧水素ガス圧縮機において、吐出ガスの硫化水素濃度が規定値を超える問題が報告され、ポリフェニレンサルファイド (PPS) を含むピストンリング材が硫化水素の発生源と推定された。また高圧水素ガス圧縮機のピストンリング材は、従来のガス圧縮機と比較しより高圧、高温、高滑り速度条件下においてしゅう動するため、摩耗や破損による早期の機能低下が問題となっている。

高圧水素ガス圧縮機用ピストンリング材について、高純度水素ガス雰囲気における摩擦・摩耗特性を評価するとともに、しゅう動に伴う硫化水素をはじめとするガスエミッションの発生挙動をGC/MSによりリアルタイムに評価する試験システムを構築し、以下の結果を確認した。

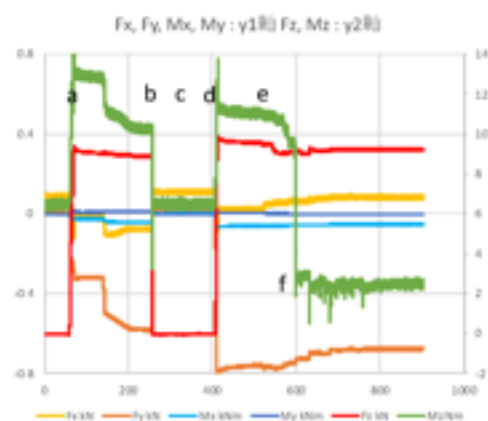
- ・ PPSを含むピストンリング材のしゅう動開始と共に、硫化水素を含む複数のガスエミッションが発生することを確認した。またガスエミッションの発生量は、ピストンリング材の摩耗量に比例することが示された。
- ・ ピストンリング材の摩耗に伴う硫化水素の発生は、摩擦により破断したPPS分子鎖から生じた硫黄ラジカルが周囲の水素と結合するトライボケミカル反応による。
- ・ しゅう動相手面温度がピストンリング材の母材であるPTFEの特性温度を超えると、接触圧と滑り速度の上昇により摩耗量が急増することが確認された。

(4) サブテーマ4：継手基盤・機器開発

- ・ HySUTのセーフティデータベースの調査、及び商用ステーション運営会社のヒアリングを行った結果、機械継手（コーン&スレッド継手）の予期せぬ漏れの主な原因は、配管の初期組付け精度（軸の偏心、偏角）、温度変化、圧力変化、振動など複数因子の作用によって生じる、密封部での押付面圧低下、ないし不均一化であると推定した。
- ・ これらの因子の影響を定量的に調べるための評価方法を検討し、継手要素試験装置と試験供試体を開発した（図12(a)）。試験装置は、継手の配管締結部に一定ないし変動する軸力や曲げを負荷することが可能である。試験供試体は、密封部での押付面圧低下と不均一化を6分力計により測定できるように設計した。



(a)



(b)

図12 (a) 継手要素試験装置の6分力計と供試体と(b)締付け時の6分力の例

右図で軸力Fz(赤)、軸モーメントMz(緑)、横方向力Fx(黄色), Fy(オレンジ)

- また、軸方向力、横方向力の変化なくミスアラインメントを与える機能（横力サポート機構）を開発するとともに、継手シール部の面圧低下と高圧水素ガスのシール性の関係を調べるための超高压継手要素評価試験装置及び供試体を開発した。
- 継手要素試験装置と試験供試体を用いて、種々の条件下での機械継手（コーン&スレッド継手）のシール接触部に働く力の6成分の変化を調べた。継手の締め付け（図12(b)）、軸方向ミスアラインメントの付与、軸方向力の付与、軸方向力の繰返し（温度サイクルを模擬）、横方向ミスアラインメント付与下での軸方向力の繰返し、曲げモーメントの繰返し（振動）、等の条件を与えて試験を行った。
- 継手要素試験を行い、20MPa水の場合の漏洩時の継手軸方向力、グリース塗布の有無により締め付けトルクと軸力（接触面圧）の関係が変わること、初期軸方向ミスアラインメントにより軸力が低下することを確認した。また、継手シール部には必ず偏心があり、締め付け時に軸方向以外の横力（接触と変形）が生じることを明らかにした。
- 配管の温度変化を模擬した軸方向引張圧縮サイクル試験において継手シール部の軸力が低下すること、軸方向引張サイクル試験によりシール部の軸力、横力は低下しないこと、軸方向圧縮サイクル試験により、与える変位が大きいとき（軸方向力が大きいとき）に継手シール部の塑性変形と表面損傷により軸力が低下し継手のナットが緩むこと（図13(a)）、及びその荷重は試験配管長によらないこと、などを確認した。軸方向サイクル試験に関連して、配管の熱変形と圧縮・引張ひずみの関係を導いた。

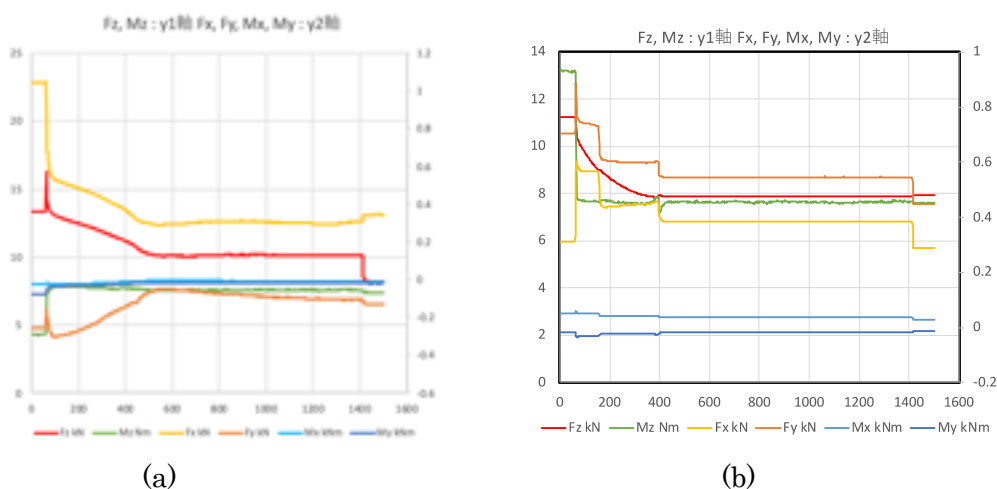


図13 (a)軸方向圧縮サイクル試験による軸力低下、(b) 軸方向圧縮サイクル試験による軸力低下

- 横方向ミスアラインメント付与のもとでの軸方向引張、軸方向圧縮サイクル試験により、与えた条件のもとでは、継手シール部の塑性変形の発生と軸力低下の有無とナットの緩みに及ぼす横方向ミスアラインメントの影響は小さいことがわかった。
- 曲げモーメントの繰返し負荷試験において、曲げモーメントの大きさにより軸力が低下し継手のナットが緩むことを明らかにした(図13(b))。軸力低下と曲げモーメントの関係について調査を継続。
- 継手の締め付けを繰り返し行くと軸力は上昇するが、その関係には個体差がある。また、締め付けトルクと軸力の関係は、継手の各部位におけるグリースの塗布状態によって影響されることがわかった。
- 高圧水素ガスを用いた継手要素評価試験装置により、水素漏洩時の継手シール部の軸力

を測定できることを確認した。また漏洩と軸力の関係を調査するための軸力付与方法を検討し、軸力を低下させて漏洩に至る過程における、継手シール部の接触状態の変化を捉えることができた。

- 継手・配管の空間的配置の一般的表現方法にもとづき、ゆるみに及ぼす諸因子の影響に関する理論解析のスキームを検討し、機械継手の内部応力を計算するためのFEM弾塑性変形非線形解析コードを開発した。FEM解析により、継手の締め付け、軸方向力の付与、曲げモーメントの付与、等の条件における継手のシール部、ネジ部などでの塑性変形発生を確認できた。(図14)

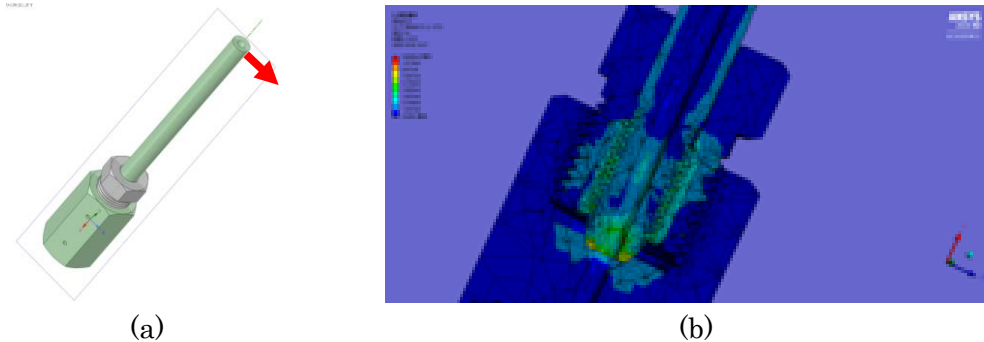


図14 FEM弾塑性変形非線形解析の例：(a)曲げモーメント付与のモデル例、(b) 締結後、曲げモーメント付与時の等価応力分布の例

(5) サブテーマ5：シール成果に基づく機器開発

- 解析知見やバルブメーカー経験を踏まえ、過酷な使用条件に曝されるディスペンサープレックル二次側バルブの試験を行った。2バルブメーカーの現行遮断弁の繰返し充填試験をHySUT山梨ステーションで行い、試験後のシール材を回収した。(2018年11月及び12月～2019年3月)。問題発生状況、部位特定、劣化要因・形態を把握する為、回収シール材をサブテーマ3メンバーに提供し、分析評価を実施した。
- キット、フジキンが各々、現行バルブ等の機器を対象に、水素流体を用いた充填模擬試験、圧力サイクル試験、開閉作動サイクル試験などを行い、シール材の分析結果(サブチーム3が実施)と共に、サブテーマ2の検討に資した。
- キットではサブテーマ3のシール基盤・改良開発チームの分析結果を基に、新型シール材の基礎設計を完了し、各シール部位(運動シール、固定シール)でのシール構造を検討した。(図15)

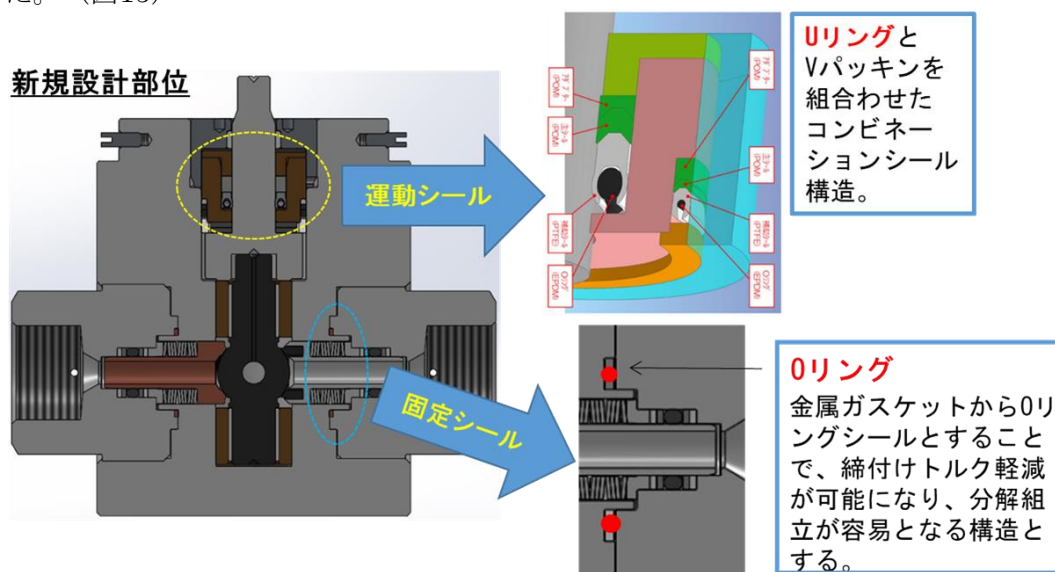


図15 新型シール材の基礎設計

- ・ フジキンでは新型フィルターの設計検討を進め、各シール構造について水素流体を用いた圧力サイクル試験、及び低温ガス流通試験まで実施し、外部リークが発生しないことを確認した。（図16、図17）

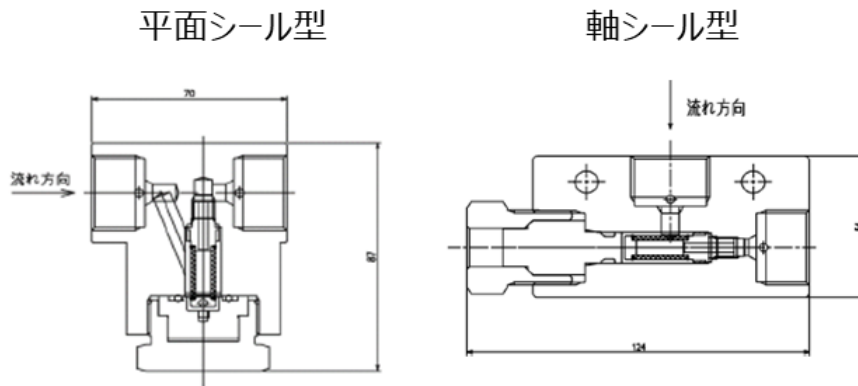


図16 新規フィルター設計

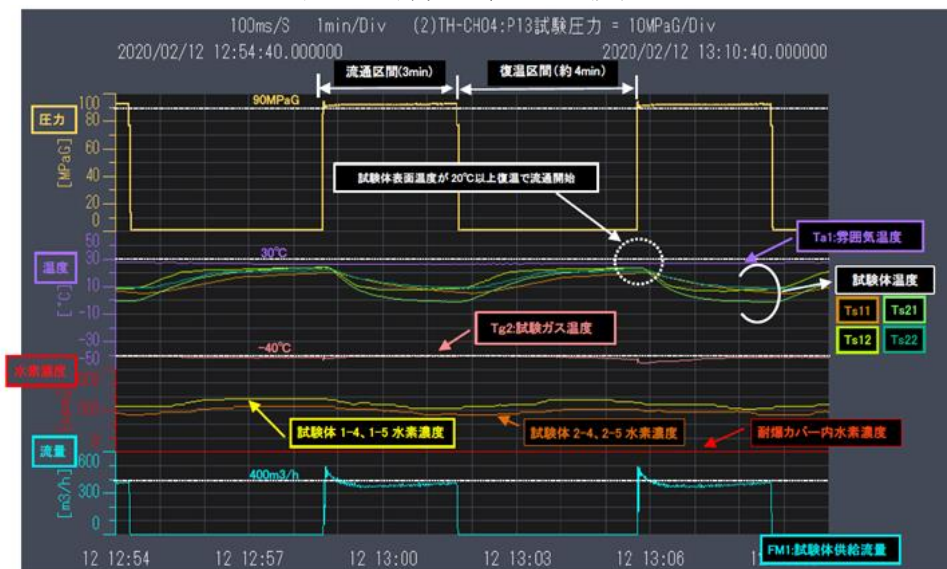


図17 低温水素ガス流通試験波形

3. 2 成果の意義

高圧ガス保安協会から報告された水素ステーションにおける事故は 2011～2015 年度に 28 件を数え、その原因は全て水素の漏えいである。更に、漏えい部位の 3/4 が締結部とシール部である。今後の水素ステーションの増加と、充填頻度と多様化によって、今後更に漏えい事故が増加すると予想されるために漏えい防止の過半を占める締結部とシール部の漏えい防止対策が急務となっている。

漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、本プロジェクトの成果として、「水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減」が実現できる。

具体的な成果として、

- 水素ステーションの休業日数の削減：1 日/年
- メンテ期間の短縮：2～3 日/定修（定修はほぼ 1 回/年）
- 運営コスト低減：1～2 百万円/年

従って、日本全体の水素ステーションでは 3.2～6.4 億円/年の低減が見込まれる。（2025 年度水素ステーション数：320）

3. 3 開発項目別残課題

<テーマ別残課題>

(1) サブテーマ 1：セーフティーデータベースの解析知見の整理

- ・ SDB のデータ解析結果を基に、引き続き、SDB 解析を継続し、水素 ST に使用されるシー

- ル部材・継手部材での潜在的漏洩条件の特定に資する解析・整理を行う。
- (2) サブテーマ 2：部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討
 - ・ 機器加速耐久性評価法案の検証および新規シール材の評価
 - (3) サブテーマ 3：シール基盤・改良開発
 - ・ 提案した加速耐久性評価法（案）の実機による検証。
 - (4) サブテーマ 4：継手基盤・機器開発
 - ・ 要素評価試験により、接触面圧低下とミスアラインメント及び負荷条件の関係の定量的整理
 - ・ 初期ミスアラインメントに関わる加工精度のばらつきと再締結の影響調査
 - ・ 超高圧要素評価試験装置高圧水素ガス漏洩・密封試験を実施し、継手シール部の接触面圧と表面粗さとガス漏洩の関係を解明
 - ・ FEM理論解析と表面トポグラフィモデルによる漏洩解析により試験結果の裏付けと漏洩予測検討。
 - ・ 漏洩リスク低減策の検討と新型/改良型継手の開発。
 - ・ 漏洩リスク低減指針の作成。
 - (5) サブテーマ 5：シール成果に基づく機器開発
 - ・ 新規シール材・機器を用いて、加速耐久性評価法による要素試験の実施および評価

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 サブテーマ 1 のまとめ

- ・ HySUT が前事業で収集・蓄積した水素ステーションの各種トラブルに関する SDB の事例を対象に、シール及び継手に関する事例に絞り込んで解析した。
- ・ シールに関する解析結果より、部位別のシール故障は、ディスペンサー部分が最も多く、かつプレクール二次側の低温部の遮断弁等のバルブで多くの故障が発生しており、シール構造別では、グランドパッキンの不良や緩み、O-リング不良が多いことを確認した。
- ・ 継手に関する解析結果より、昇圧設備（圧縮機）の継手不良件数と、ディスペンサーの継手不良がほぼ同数となっている。ディスペンサー部位の継手不良は全てプレクールの二次側で発生していることを確認した。
- ・ SDB の事例を対象に、トラブルが発生するまでの充填回数を整理し、運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。

4. 2 サブテーマ 2 のまとめ

- ・ 商用ステーションで使用済みのバルブの各種シール材を採取し、劣化要因分析材料としてサブテーマ3メンバーに提供し、未使用品との比較検証を通じて、劣化要因や条件の特定に寄与した。
- ・ 改良試験設備による加速耐久試験評価方法の準備、バルブ試験体の内部に、液体窒素を冷媒として冷却した低温流体を流通させる設備（高圧低温流通試験装置）を設置した。
- ・ 商用ステーションの充填ログデータを解析し、水素充填の際の各部のバルブの開閉回数、圧力条件、温度条件を整理した。
- ・ サブテーマ3メンバーと連携し、シール材の分析結果により劣化要因の絞り込み、劣化度と漏えいの相関性を解析し、加速耐久性評価法の概要を決定した。

4. 3 サブテーマ 3 のまとめ

- ・ 高圧水素環境下で使用されるシール部材劣化要因として想定した劣化因子について、各劣化因子についての評価法を確立した。モデルOリングの評価結果から、シール性能への影響が大きい拡張疲労、表面摩耗、グリース浸漬について、所用の充填回数に対応した実機

の作動状況に基づく劣化条件を設定し、シール部材単体での劣化操作を行った劣化シール部材を適用した機器のシール性能評価実施する加速耐久性評価法案を設定した。

- ・ 高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリング材の摩耗に伴う、硫化水素をはじめとするガスエミッションの発生挙動を明らかにした。

4. 4 サブテーマ4のまとめ

- ・ 事象事例の調査にもとづき、機械継手の漏えい原因は、組付け精度、温度変化、振動など複数因子の作用によるシール部の接触面圧低下であると結論づけ、接触面圧を評価するための継手要素試験装置、及び面圧低下と高圧水素ガスのシール性の関係を調べるための超高圧継手要素評価試験装置を開発した。
- ・ 継手要素試験を実施して種々の条件下での機械継手（コーン&スレッド継手）シール部に働く力の6成分の変化を調べ、継手の締め付け、軸方向ミスアラインメントの付与、軸方向力の付与、軸方向力の繰返し（温度サイクルを模擬）、横方向ミスアラインメント付与下での軸方向力の繰返し、曲げモーメントの繰返し（振動）、等の条件下での接触面圧低下の有無を明らかにした。
- ・ 高圧水素ガスを用いた継手要素評価試験装置により、水素漏洩と継手シール部の軸力の関係を調査した。
- ・ 継手のゆるみに及ぼす諸因子の影響に関する理論解析のスキームを検討し、機械継手の内部応力を計算するためのFEM弾塑性変形非線形解析コードを開発し、継手の締め付け、軸方向力の付与、曲げモーメントの付与、等の条件における継手のシール部、ネジ部などでの塑性変形発生を確認した。

4. 5 サブテーマ5のまとめ

- ・ キッツ、フジキンの現行遮断弁の繰返し充填試験をHySUT山梨ステーションで行い、試験後の回収およびシール材の分析を実施した。HySUT山梨ステーションはバルブ等機器交換が必要なため、試験担当のバルブメーカーと山梨ステーションのディスペンサーメーカーの協力の下、予定通りの試験を実施した。
- ・ キッツ、フジキンの現行遮断弁等の機器を対象に、水素流体を用いた充填模擬試験、圧力サイクル試験、開閉作動サイクル試験などを行い、耐久性の評価方法の検討を行った。
- ・ フジキンでは新型フィルターの設計検討を進め、各シール構造について水素流体を用いた圧力サイクル試験、及び低温流通試験まで実施した。

4. 6 研究成果の実用化

漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、本プロジェクトの成果として、「水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減」が実現できる。継手、機器実用化へ向けた見通しを以下に示す。

項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023～2033
①セーフティーデータベース(SDB)の解析知見の整理	SDBデータ解析継続			同左		最終目標
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	・加速耐久性評価条件案決定			・加速評価条件確立		規格化検討
③シール基盤・改良開発	・使用済みシール部材調査 ・シール部材加速耐久性評価法案確立			・シール部材加速耐久性評価法確立		規格化検討
	・データベース構築・新規シール部材候補材選定			・新規シール部材		各種水素機器への適用検討
④継手基盤・機器開発	・要素評価試験 ・評価方法の確立 ・理論解析モデル構築			漏えいリスク低減指針 ・新型/改良型継手開発		実用化検討 継手実用化機器実用化
⑤シール成果に基づく機器開発	・バルブラボ試験実施 ・15,000回充填相当の検証			・バルブラボ試験 ・HRS実証 ・30,000回充填相当の検証		実用化検討

▲: 基本原理確認 ●: 基本技術確立

4. 7 今後の課題と解決策

本事業において、サブテーマ 2、5 より加速耐久性評価法を検証し、継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を確立する。また、確立した加速耐久性評価法に基づき目標達成機器を開発する。

サブテーマ 3 では開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較によるシール部材加速耐久性評価法の検証を行う。

サブテーマ 4 では継手接触面圧低下条件とガス漏洩の関係を整理し理論解析により検証を行う。また、漏洩リスク低減指針検討新型/改良型継手を開発する。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演・文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年1月30日	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Establishment of evaluating methods aiming to develop long-life sealing rubber -New attempt of HYDROGENIUS Polymer Team-	Hirota Fujiwara, Shin Nishimura
2	2019年1月30日	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Influence of morphology on high-pressure hydrogen property of rubber material	Hirota Fujiwara, Shin Nishimura, Kazumi Nakayama Hiroaki Kondo Atsushi Koga
3	2019年1月30日	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Influence of phase transition on Polytetrafluoroethylen (PTFE) with high pressure hydrogen exposure	Hirota Fujiwara, Masahiro Kasai, Hiroaki Ono, Keiko Ohyama, Shin Nishimura

4	2019年1月30日	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Hydrogen permeation property of polyethylene under high pressure condition	Hirota Fujiwara, Shin Nishimura
5	2019年1月30日	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Influence of the high-pressure hydrogen gas exposure repetition on the internal damage evolution of high-density polyethylene	Hiroaki Ono, Hirota Fujiwara, Shin Nishimura
6	2019年5月24日	日本ゴム協会 2019年年度大会 研究発表会	水素機器用エラストマー材料研究分科会モデル配合WG活動報告(5) 練り条件の違いが高圧水素特性に与える影響 (1)=共通コンパウンド材の高圧水素特性を中心に=	九州大学 ○藤原広匡・西村伸, NOK(株) 古賀敦, 日本スピンドル製造(株) 岡本浩二, (株)マスオカ 竹内孜介, 高石工業(株) 高橋良, 藤倉ゴム工業(株) 堀田透, (株)興国ゴム技術研究所 室井伸也, 一般財団法人化学物質評価研究機構 二口真行・仲山和海・近藤寛朗
7	2019年5月24日	日本ゴム協会 2019年年度大会 研究発表会	水素機器用エラストマー材料研究分科会モデル配合WG活動報告(6) 練り条件の違いが高圧水素特性に与える影響 (2)=共通コンパウンド材の配合剤の分散・常温常圧下の物理的特性 =	一般財団法人化学物質評価研究機構 ○二口真行・仲山和海・近藤寛朗, NOK(株) 古賀敦, 日本スピンドル製造(株) 岡本浩二, (株)マスオカ 竹内孜介, 高石工業(株) 高橋良, 藤倉ゴム工業(株) 堀田透, (株)興国ゴム技術研究所 室井伸也, 九州大学 藤原広匡・西村伸
8	2019年9月26日	第68回高分子討論会	ポリテトラフルオロエチレンの高圧水素特性評価 (1)	藤原広匡
9	2019年9月26日	第68回高分子討論会	高圧水素曝露により高分子材料中に侵入した水素分子の赤外線吸収スペクトル	小野皓章
10	2020年1月22日	日本ゴム協会・東海支部 2019年度アドバンスセミナー	『特殊な環境や性能に対応するゴム・エラストマー』 高圧水素ガス環境下用ゴム材料の評価	藤原広匡

1 1	2019年12月 21日	Chemical physics letters	FT-IR study of state of molecular hydrogen in bisphenol A polycarbonate dissolved by high- pressure hydrogen gas exposure	○小野皓章・藤原 広匡・尾上清明・西 村伸
-----	-----------------	-----------------------------	---	-----------------------------

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2019年12月 3日	特願 2019-218534	フィルタ内蔵継手	株式会社フジキ ン

以上

(2-(3)-②)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」

委託 / 共同研究 / 助成先：国立大学法人九州大学
 一般社団法人日本ゴム工業会

- **成果ガリ (実施期間：2018年度～2022年度予定)**
- ・高圧水素ホース加速耐久性評価法案として、高温ホース揺動水素インパルス試験法を設定。
- ・北米水素ステーションにおける87.5 MPa試作ホースの試用を実施し、3,000回の充損を裏証。

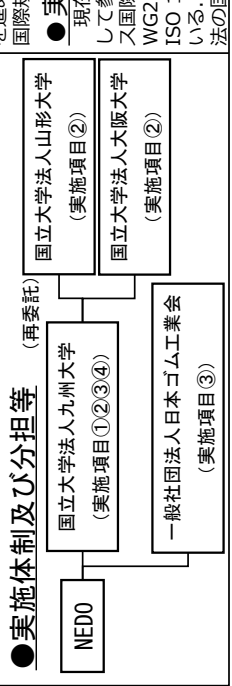
● **背景/研究内容/目的**

2017年度までのNEDO事業において開発された87.5 MPa試作ホースの水素インパルス試験法による評価は数万回の耐久性を示すことが判明している。このため、これらのホースの水素インパルス試験による耐久性評価は長期を要する。この結果、ホース交換サイクルの設定に資する評価結果が十分に得られず、ホース耐久性の実力値に比して限定的なホース交換サイクルを設定せざるを得ない状況となっている。

加速耐久性評価法を確立することにより、短時間での耐久性評価を実施し、ホースメーカーにおけるホース交換サイクルの設定に資するデータを蓄積することが可能となる。これらの加速耐久性評価データは、ホース耐久性の実力値に応じたホース交換サイクルの設定、高耐久性ホースの開発に活用される。

● **研究目標**

実施項目	目標
① 水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充損回数の相関解明	水素インパルス試験法、改良試験法と実水素ステーションにおける充損回数の相関係数設定
② 高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明	ホース耐久性に対する影響が大きい内層樹脂の劣化、破壊に影響する因子を明確化
③ 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定	高圧水素加速耐久性評価法を開発し、高圧水素加速耐久性評価法規格案を作成
④ ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供	加速耐久性評価法を用いてデータを取得し、ホースメーカーにフィードバック。 ホース交換サイクル>30,000回に資するデータ取得



● **これまでの実施内容/研究成果**

(実施項目①) 水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充損回数との相関解明

- ・北米水素ステーションにおいて87.5 MPa試作ホースの試用を実施した。試作ホース (N=3) の耐久回数として3,000回を超える充損回数を実証した。試用は継続中である。
- ・急加圧を含む圧力パターン、内外層温度差、高みずみホース設定、揺動試験後のホース評価など、想定された各種の加速因子を加えた水素インパルス試験を実施した結果、いずれも10,000回以上の耐久性を示し、固定ホースの水素インパルス試験に対する加速効果が見られないことが判明した。このことから、ホースの揺動を行い、ホース伸長状態での水素インパルス圧力パターンでの加減圧を実施した。その結果、85℃におけるホース揺動水素インパルス試験の結果、耐久回数1,800程度となり、実水素ステーションの相関係数1.6を設定した。

(実施項目②) 高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明

水素インパルス試験における加速因子として、水素インパルス試験プロトコルの昇圧速度、高圧保持時間、加圧中の水素温度変動、ホース表面温度、ホースの揺動について、水素インパルス試験のプロトコルに組み込むことで個別に評価した。その結果、ホースの表面温度とホース揺動が水素インパルス試験のホースの耐久性に影響を与えることが判明した。ホース内層樹脂の疲労特性について応力負荷パターンの影響を明確化した。(山形大学再委託)

結晶性高分子材料の高圧水素環境下の赤外分光測定を実施した結果、高圧水素により加減圧した場合、高圧下では結晶化度が大きくなり、減圧時に可逆的に元の状態に戻る。高圧水素曝露後の減圧過程において試験片中に赤外線波長レベルの大きさの気泡が多量に発生することを見出した。(大阪大学再委託)

(実施項目③) 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定

一般社団法人日本ゴム工業会が高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化ワーキングチーム(WT)を設置した。WTは本プロジェクト実施者、ホースメーカー、水素利用技術協会との議論を行った。これまでのプロジェクト実施内容の議論の結果、85℃ホース揺動水素インパルス試験法を規格案として設定した。

(実施項目④) ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供

ホースメーカー2社より提供いただいたホースの評価結果をそれぞれホースメーカーにフィードバックした。

● **研究成果まとめ**

実施項目	成果内容	自己評価
①	85℃ホース揺動水素インパルス試験と実水素ステーションの相関係数1.6を設定	○
②	ホース内層樹脂の疲労特性について応力負荷パターンの影響を明確化	○
③	85℃ホース揺動水素インパルス試験法を規格案として設定	○
④	ホースメーカーより提供いただいたホースの評価結果をフィードバック	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	4	0

課題番号：2-(3)-②

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーション用超高压水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」

実施者：国立大学法人九州大学
一般社団法人日本ゴム工業会

1. 研究開発概要

燃料電池自動車（FCV）及びその水素供給インフラである水素ステーションはエネルギー源のベストミックスやCO₂排出量削減の有効策として、経済産業省資源エネルギー庁にて策定された「エネルギー基本計画（平成26年改訂）」において引き続き重要な技術に位置付けられている。「エネルギー基本計画」に基づいて策定された「水素・燃料電池ロードマップ（平成28年3月改訂）」では、平成26年に燃料電池自動車の市販開始、商用ステーションの開設が実現し、本格的な水素エネルギーシステムの社会実装が具現化したことを踏まえ、水素社会の実現に向けた取組の加速のための様々な施策が提言されている。

九州大学は、NEDO事業「水素先端科学基礎研究事業（2006年度～2012年度）」において、水素機器の水素シール、ホース内層材として使用されるゴム、樹脂材料について、設計指針を提示し、材料選定のための基礎的なデータである「モデル配合ゴム材料データ」を提示した。また、ホースメーカーである横浜ゴム株式会社は水素ステーションの構成要素である超高压水素ホースについても、超高压化とこれに伴う水素冷却に対応した技術開発を推進し、NEDO事業「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」において70MPaまでの圧力については主要機器の1年間の耐久性（ノーメンテナンス性）が確認された。これらにより70MPa水素ステーション先行整備が実現した。引き続き九州大学では、NEDO事業「水素利用技術研究開発事業（2013年度～2017年度）」において、ホースメーカーである横浜ゴム株式会社、水素供給・利用技術研究組合（2016年度より一般社団法人水素供給利用技術協会）、一般財団法人化学物質評価研究機構、NOK株式会社、日本合成化学工業株式会社と共同で「水素ステーションの超高压水素用ホースとシールシステムに関する研究開発（2013～2017年度）」、株式会社ブリヂストンと共同で「超高压水素機器用ホース等システム部材の研究開発（2015年度～2017年度）」を推進し、水素ステーションにおける燃料電池自動車へ水素充填に用いられる超高压水素ホース開発を進めてきた。「水素利用技術研究開発事業」では超高压水素ホースとして82MPaホースの実用化、87.5MPaホースの試作評価を完了した。これらのホースの開発のため必要となる超高压水素ホース評価法として、-40℃環境下において、T40（-33℃～40℃）規格に温度制御した水素により、1サイクル30秒程度の加減圧プロファイルにより最高常用圧力まで繰り返し加減圧を行う水素インパルス試験法を開発した。開発した水素インパルス試験法はISO/TC197において規格化が進められている超高压水素ホース国際規格（ISO 19880-5）に採用され、2020年11月に発行された。

水素インパルス試験法により、82MPaホース、試作87.5MPaホースのサイクル寿命6,600回以上の耐久性を確認した。この結果に基づいて、82MPaホースを使用する国内の水素ステーションにおけるホース交換サイクルを100回充填から650回充填に延長する成果を得た。また、6,600回のサイクル寿命が確認されたこれらの試作87.5MPaホースについて、引き続き水素インパルス試験を継続した結果、ホース仕様により異なるが50,000回～70,000回程度までの耐久性を持つことを確認した。

しかしながら、水素ステーションにおける現在の82 MPa ホース交換サイクルは水素ステーションの自立展開、大量普及のためには未だに高コストであり、ホース交換サイクルの大幅な延長によるホース交換にかかるコストの低減が必要である。水素インパルス法により高圧水素ホースとしての低温環境下における高圧水素による繰り返し加減圧による耐久性が確認されているものの、SAE J2601、JPEC-S 0003 で規定される水素ステーションでの充填プロトコルに基づく充填時の温度・圧力の変動を完全に再現した条件とはなっていない。しかしながら、約3分程度の実ステーションにおける充填プロトコルに一致した条件での耐久性評価は、水素ステーションにおける使用可能期間と同等の試験期間を要するため、試験期間、試験費用の点で実施が困難である。現状では水素ステーションにおける使用回数と水素インパルス試験における耐久回数の相関が明確ではなく、水素インパルス試験により実証された50,000～70,000回の耐久回数の約1/100となる650回が水素ステーションにおいて許容される充填回数として設定されている。水素ステーションにおける高圧水素ホースの充填回数の大幅な延長、ホースメーカーにおいて、さらなる高耐久性ホースの開発のためには、2020年以降に水素ステーションにおいて求められる1年間の所要の充填回数30,000回に相当する負荷を短期間で実現する加速耐久性評価法の確立が不可欠である。さらに、水素ステーションにおける充填と加速耐久性評価法との相関が確立することが求められている。

本事業では、ホースメーカーにおいて、高圧水素ホース交換サイクルの大幅な延長を判断すること、また、さらなる高耐久高圧水素ホース開発に必要な耐久性評価に資する加速耐久性評価法の開発及びその水素ステーションにおける充填との相関を確立することを目的として研究開発を推進している。これらを実現するため、水素ステーションにおける充填に伴う高圧水素ホース劣化データの取得、高圧水素ホースの加速耐久性評価法の開発、高圧水素ホース交換サイクルの延長・高耐久高圧水素ホース開発に資する加速耐久性評価データ取得及びこれらのデータのホースメーカーへの提供を進めている。

現在、ホースメーカー各社はNEDO事業「水素利用技術研究開発事業」において試作した87.5 MPa水素ホースの実用化、事業化を進めるフェーズにあるため、本事業では、ホースメーカー各社がそれぞれの高圧水素ホース実用化、事業化を進める上で、共通の開発課題である高圧水素ホースの耐久性評価法に関する開発を目的とする。高圧水素ホース耐久性評価法及びその評価基準をホースメーカー各社及びディスペンサー等ステーション機器メーカー、ステーション運営事業者と共有することによって、さらなる高耐久性高圧水素ホースの開発及びその水素ステーションへの実装が進展し、高圧水素ホースの使用可能充填回数の延長によりステーション運営コストの低減に寄与できると考えられる。

具体的な研究開発の内容は①「水素利用技術研究開発事業」にて開発した水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充填回数の相関解明、②高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明、③高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定、④ホース交換サイクル設定に資するデータの取得およびホースメーカーへのデータ提供、の4点である。これらの課題に対して、九州大学が主体となり、高圧水素ホースを含むゴム製品製造業者の業界団体である一般社団法人日本ゴム工業会と連携し、一部山形大学、大阪大学に再委託して検討を進めている。③高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定については、一般社団法人日本ゴム工業会に検討ワーキングチーム(WT)を設置し、これまでに8回のWTを開催し、議論を進めている。

2. 研究開発目標

表 1 研究開発目標

実施項目	最終目標	
(1) 水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充填回数の相関説明	水素インパルス試験法、改良試験法と実水素ステーションにおける充填回数の相関係数を設定。 (ホースのラボ試験から実機の耐久性を判断するため必要)	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧水素ホース加速耐久性評価法規格案の作成 ・ホース交換サイクル充填回数 30,000 回以上の耐久性判断に資するデータ取得 (項目①～④)の成果に基づいて、高圧水素ホース加速耐久性評価法の普及、水素ステーションにおいて 1～2 年程度、30,000 回充填まで交換不要な高圧水素ホースの耐久性の確認のため必要)
(2) 高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明	ホース耐久性に対する影響が大きい内層樹脂の劣化、破壊に影響する因子を明確化。 (試験時の加速因子の探索およびラボ試験と実機の劣化、破壊メカニズムの同一性を確認するため必要)	
(3) 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定	高圧水素ホース加速耐久性評価法を開発し、規格案を作成する。 (項目(1)、(2)の結果を評価法としてまとめ、高圧水素ホース加速評価法を普及させるために必要)	
(4) ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供	項目(3)で検討を進める加速耐久性評価法を用いてデータを取得し、ホースメーカーにフィードバック。 (加速耐久性評価法案を用いたデータに基づいて、ホース開発に活用するため必要)	

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充填回数の相関説明

① 実水素ステーションにおける実証

現在の高圧水素ホースの実ステーションにおける耐久性を検証するため、ホースメーカーおよび北米水素ステーションオーナーの協力を得て 2019 年 1 月より水素ステーションにおけるホース実証試験を実施した。現状、国内の水素ステーションでは、現行製品で設定されている耐久回数により充填回数が制限され、ホースからの漏洩等の事象が発生する前に交換している。このため、ホースからの漏洩等の事象が発生するまで使用することが可能な北米の水素ステーションにおいて、ホースの試用を実施した。

米国カリフォルニア州ロサンゼルス近郊の水素ステーションにおいて、ホースメーカーから提供されたホース (N=3) の試用を行なった。試用ホース (N=3) は、漏洩発生まで 3,000 回程度の充填が可能であり、供試ホースの米国カリフォルニア州の水素ステーションにおける耐久回数は 3,000 回と判断された。ホース試用を行なった水素ステーションにおける充填回数は 40～50 回/日程度であった。試用中、水素漏洩により

当該ホースの使用を中止し、使用済みホースを回収した。当該高圧水素ホースは、図1に示す通り内層樹脂のチューブを金属線、あるいは高強度繊維で補強し、外層樹脂で被覆した構造となっているが、いずれのホースもホース内層樹脂チューブに発生した貫通クラックによる水素漏洩であった。現在、回収ホースの詳細な調査を実施中である。

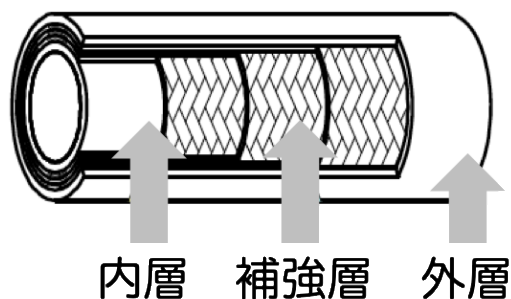


図1 高圧水素ホースの構造

北米水素ステーションにおいては、現在も高圧水素ホースの試用を継続して実施している。

北米水素ステーションにおいて、従来から使用している高圧水素ホースの耐久性、交換頻度などの調査を実施した。2017年の調査段階では水素ステーションにおける高圧水素ホースの充填耐久回数の平均は700回程度で、耐久回数のばらつきが大きいとのことであったが、2019年に再度調査したところ、海外メーカー製の高耐久ホースが開発されており、その試用も進められているとのことであった。

北米水素ステーションにおけるホース試用、当該水素ステーションにおけるホース試用状況の調査を行なった結果、北米水素ステーションでの実使用時の耐久性、同水素ステーションにおける従来ホースの耐久性が明確になった。これにより、後述する高圧水素ホース耐久性加速評価法の耐久回数の比較基準として使用し、加速係数を検討した。

② 水素インパルス試験加速因子検討

北米ステーションにおいて試用した高圧水素ホースについて、既存の試験方法である水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) による評価を実施し、水素インパルス試験法を基準として、ホース設定の高ひずみ化、試験時の水素圧力パターンに急加圧を追加、流通する水素温度と、雰囲気温度の差を拡大する、などの方法で加速を試みた。

a. 水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9)

水素インパルス試験において、供試ホースは最小曲げ半径で逆U字に設定し、図2に示した通り、上限圧力87.5MPa、加圧12～15秒、高圧保持5秒、減圧4秒、低圧保持5秒の約30秒サイクルの加減圧実施を実施する。環境温度、ホース内を流通する水素ガス温度はいずれも-40°Cに制御する。この条件により、北米水素ステーションで試用したホースの評価を行ったところ、10,000回から、最大で50,000回程度漏洩は発生しなかった。

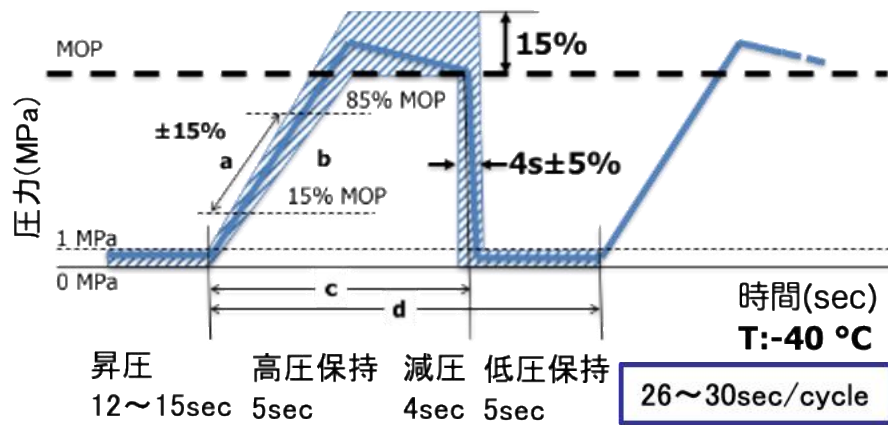


図2 水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) における水素圧力パターン

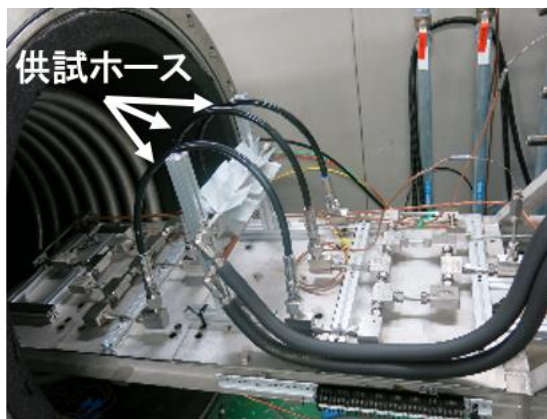


図3 水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) のホース設定状況

b. 環境温度および圧力パターン

水素ステーションにおける充填時の状況を踏まえ、環境温度を高く設定した。さらに水素インパルス試験の圧力パターンを変更し、実充填のプロトコルで発生する均圧時の状況、すなわちディスペンサーから車両に接続した際、車両の水素タンク内の残圧まで急加圧される状況を模擬した圧力パターンを採用した。図4に示した通り、加圧時に水素圧力 40 MPa まで急加圧し、その後所定の上限である 87.5 MPa まで12~13秒で加圧するパターンとした。

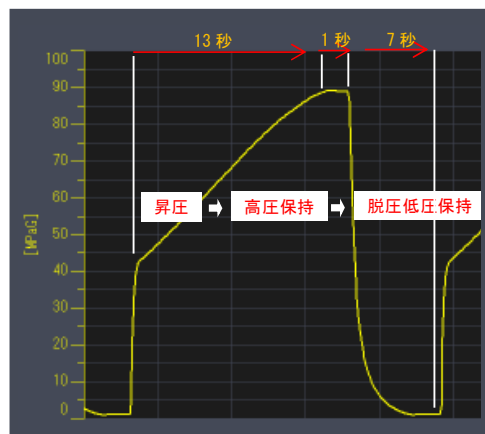


図4 均圧を模擬した水素インパルス試験圧力パターン

また、環境温度として、実水素ステーションで高圧水素ホースは通常外気温に曝されており、夏季は特に高温となるため、ホース内に -40°C の水素が流通するため、内外層に温度差が発生する。これら二つの因子を水素インパルス試験に加えることで加速を試みた。その結果、北米水素ステーション試用ホースは、10,000回以上の耐久性を示し、これらの因子で耐久性評価が加速しないことが判明した。

c. 高ひずみホース設定

現行の水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) では、供試高圧水素ホースを当該ホースの最小曲げ半径 (ホースメーカーが設定) の逆 U 字で設置することとなっている。このため、応力集中が懸念される逆 U 字の頂点部分やフィッティング近傍においても基本的に大きな応力集中がない形に設定して試験を実施している。水素ステーション、特に北米の水素ステーションにおいては、ユーザー自身が充填操作を行うセルフステーションとなっており、ホースの取り回しやディスペンサーと車両の駐車位置の関係からホースにひずみが発生した状態で充填が行われるケースもある。このため、逆 U 字設定のフィッティング間隔を調整し、ホースの逆 U 字の頂点、フィッティング近傍に応力集中が発生する状況での水素インパルス試験を試みた。図 5 に示した通り、最小曲げ半径 200 mm の供試ホースについて、フィッティング間隔として通常 400 mm で設定するが、250 mm および 550 mm としてホースの逆 U 字頂点部、フィッティング近傍に応力集中させるホース設定を行なった。はホース設定以外、環境温度、ガス温度とも -40°C 、圧力パターンは図 2 に示した水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) 条件とした。その結果、北米水素ステーション試用ホースは、10,000 回以上の耐久性を示し、これらの因子で耐久性評価が加速しないことが判明した。



図 5 高ひずみホース設定

d. 高ひずみ・高環境温度

c 項に示した高ひずみホース設定において、ホース外層側にヒーターを設置して 85°C に加熱した状態で水素インパルス試験を実施し、高ひずみホース設定と内層樹脂チューブ内を流通する -40°C の高圧水素ガスと表面の温度の温度差によるホースへの影響を確認した。圧力パターンは常の水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) 条件とした。その結果、高ひずみホース設定による応力集中が起こった状態においても、10,000 回以上の耐久性を示し、応力集中と高い環境温度によるホース内外層の温度差の重畳効果による加速は確認されなかった。

e. 揺動試験後ホースの水素インパルス試験

水素ステーションにおいて、高圧水素ホースは車両への接続、ディスペンサーへの収納が繰り返して発生する。この状況を模擬し、高圧水素ホースの揺動試験を実施したのち、通常の水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) 条件での評価を行なった。揺動試験は ISO 6802 に従って実施した。図 6 にホース揺動試験の概略を示す。図 6 に示した形状 (ハーフ Ω 型) で全長ホースを設定し、フィッティング間隔最小 245 mm、最大 539 mm、ストローク 294 mm の設定で、周波数 0.5 Hz、室温において、揺動回数 0, 3, 5, 10 万回の揺動

試験を実施し、揺動試験終了後のホースの水素インパルス試験を実施した。ホース設定はハーフΩ型とし、加減圧条件、温度条件は水素インパルス試験（ISO 19880-5 Clause 7.9）に従った。その結果、いずれの揺動回数
のホースについても 20,000 回以上の耐久回数を示すことが確認された。水素インパルス試験に先立つ揺動試験は水素インパルス試験の耐久回数に影響を与えないことが判明した。

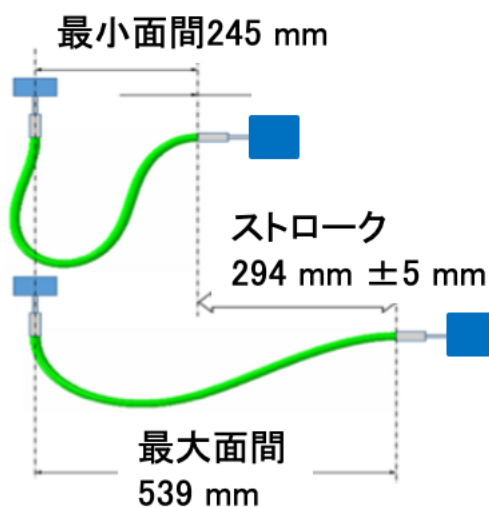


図 6 ホース揺動試験概略

以上、a～e 項で実施した通常の水素インパルス試験（ISO 19880-5 Clause 7.9）条件に温度、ホース設定によるひずみ、事前の揺動を与えた場合においても、加速効果は見出されなかった。前事業において水素ステーションにおける圧力、温度の変動を模擬した加減圧パターンを設定し、類似の仕様のホースを評価した結果、数千回の加減圧によりホース内層樹脂の貫通クラックによる漏洩が確認された。現行の水素ステーションにおける充填プロトコル SAE J2601 を模擬した加減圧プロセスを模擬した圧力パターンに加え、 -40°C の水素の流通が停止している低圧時の保持時間を 250 秒程度設定し、 -40°C の水素流通により冷却された内層樹脂がほぼ常温に復する条件とした。その結果、毎回の加減圧時に熱衝撃が発生する影響が見られたと考えられる。しかしながら、耐久回数は水素ステーションでの試用実績と同等レベルとなるものの、1 サイクルの所要時間が大きく、8 分程度となり、全体の評価時間が長くなる問題がある。3,000 回程度の耐久試験に 2 ヶ月を要し、加速効果が期待できないと判断した。

以上の結果から、ホースを固定した設定での水素インパルス評価において、温度、圧力変動パターン、事前の揺動試験などの因子を与えても加速が困難であると判断した。

③ ホース揺動水素インパルス試験

供試ホースを固定した設定では加速効果が得られなかったことから、水素ステーション実機での試用状況に鑑み、ホースの揺動を加えながら、水素ステーション同様、ホースが伸長した段階で加減圧を実施する設備およびプロトコルを検討した。

図 7 に開発したホース揺動水素インパルス試験の設備の概要、表 2 に評価プロトコルを示す。今回、ホースメーカー 2 社から提供いただいた高圧水素ホースを評価した。図 7 の中央部の橙色で示したステージが左右に揺動し、ステージ上に固定した水素配管に接続している。ステージ両側に 3 本ずつのホースを設定することで、片側が伸長した状態になった際に反対側が屈曲状態となる。表 2 に評価プロトコルを示す。Step 1 で伸長側のホースについて水素インパルス試験（ISO 19880-5 Clause 7.9）条件で加減圧を実施し、屈曲側は休止する。Step 2 でステージが移動し、加減圧が終わった状態のホースが屈曲状態になり、休止ホースが

伸長状態になる。引き続き伸長状態のホースに加減圧を実施し、終了後、Step 4 で再びステージが移動し、Step 1 の状態に戻る。図 8 にそれぞれの系列について、揺動時の伸長状態および屈曲状態のホースの形状を示す。移動時間と反対側のホースの加減圧に要する時間が加わることから、通常の水素インパルス試験より休止時間が 30 秒程度長くなる。また、今回評価したホースの 2 仕様のうち 1 種はホースの曲げ弾性率が大きいいため、当初想定したハーフ Q 設定による揺動が困難であったため、逆 U 字での設定とした。また、評価時の環境温度は室温および 85°C とした。室温の場合、曲げ弾性率が大きい仕様のホースは現在の揺動アクチュエーターの能力では揺動が困難で、85°C のみ試験を実施した。曲げ弾性率が大きい仕様のホース評価のため、アクチュエーターの能力増強を検討中である。

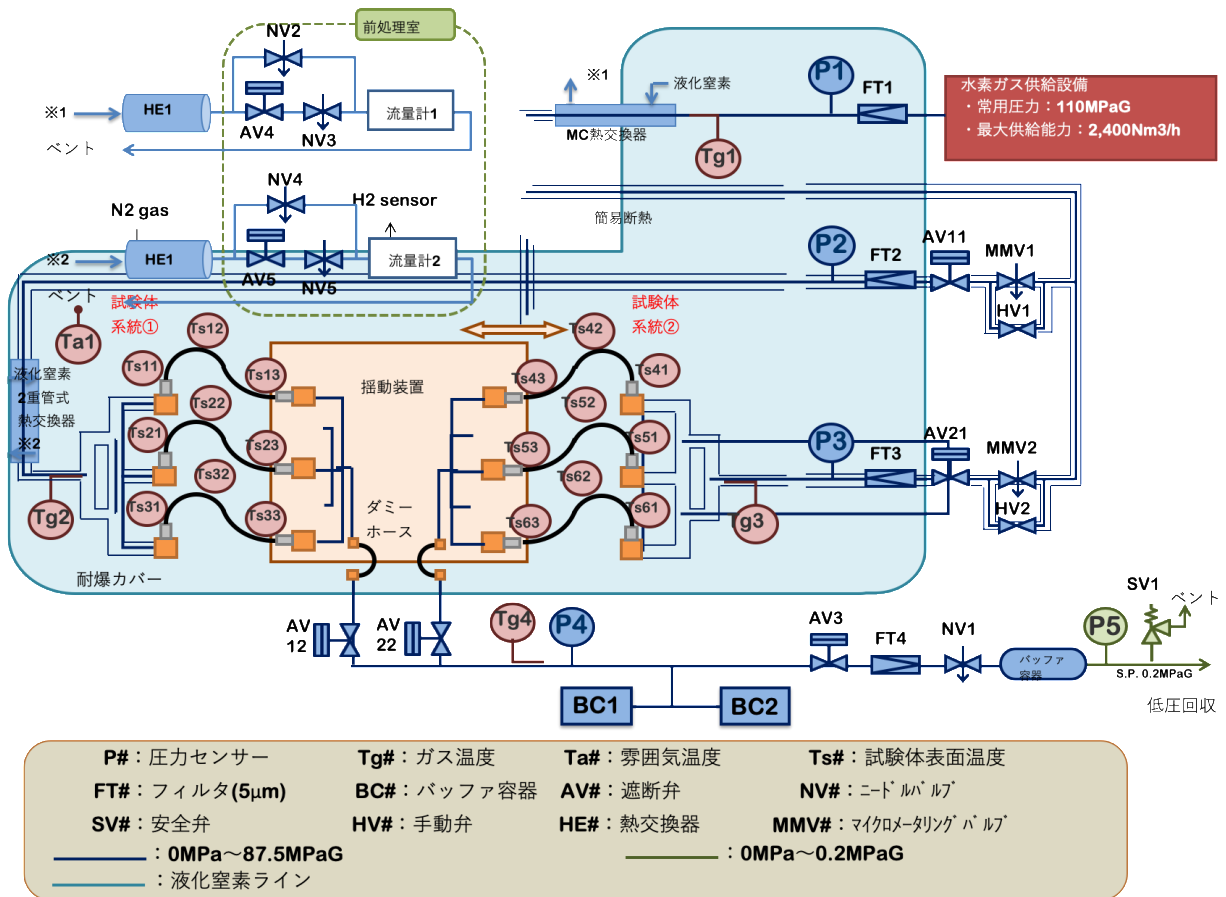


図 7 揺動水素インパルス試験設備

表 2 揺動水素インパルス試験プロトコル

STEP	ホース系列①		ホース系列②		時間
	面間 (mm)	圧力 (MPa)	面間 (mm)	圧力 (MPa)	
1	548	1.0→90→1.0	167	1.0	26 sec
2	548→295	1.0	167→420	1.0	3 sec
3	295	1.0	420	1.0→90→1.0	26 sec
4	295→548	1.0	420→167	1.0	3 sec

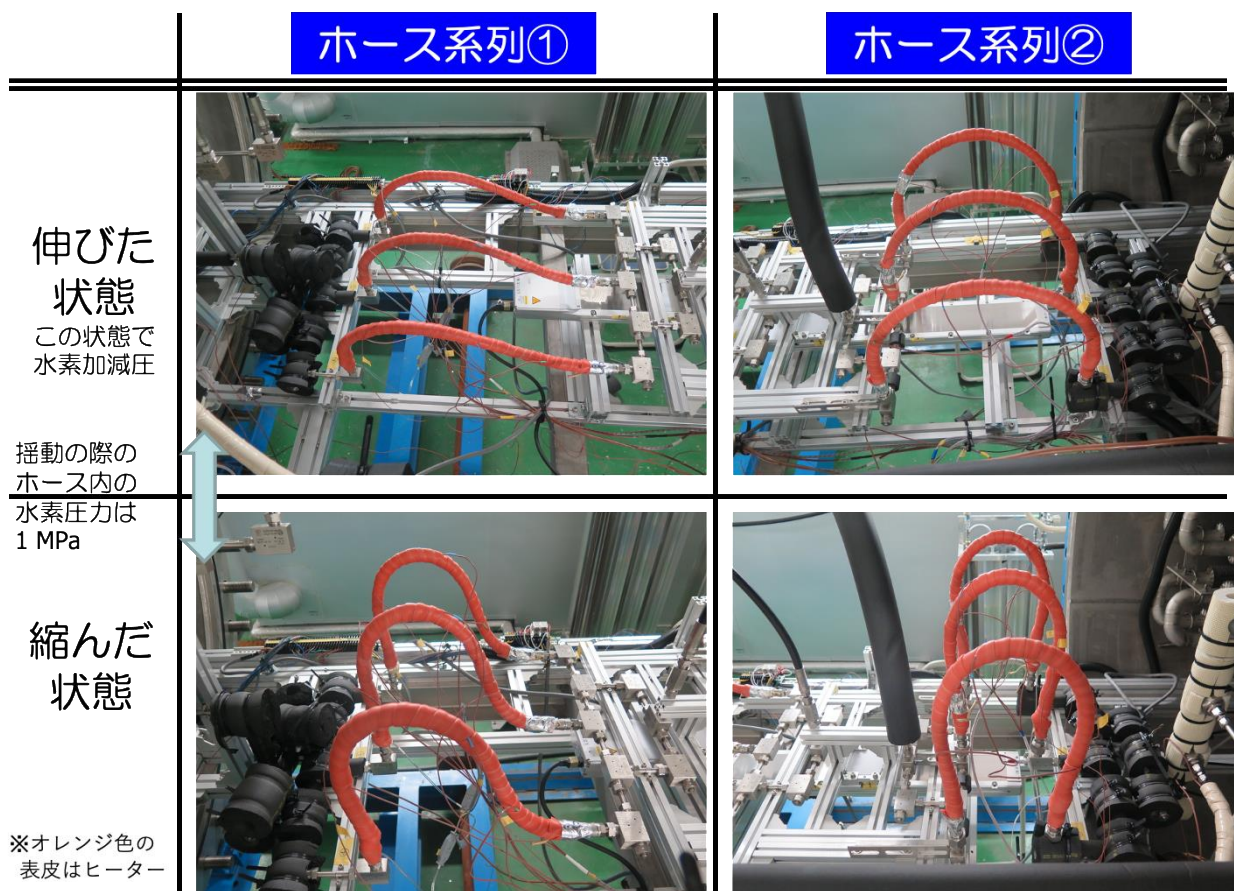


図8 ホース揺動水素インパルス試験時のホースの状況

ホースメーカー2社から提供いただいた2仕様の高圧水素ホースを前述のホース揺動水素インパルス試験プロトコルにより室温および85°Cで評価した結果を図9に示す。Type Aが北米水素ステーションで試用したホース、Type Bが高い曲げ弾性率のホースである。図9に示した通りType Aは環境温度室温・ガス温度40°Cで平均8,495回、環境温度85°Cで平均1,863回、Type Bは環境温度室温・ガス温度40°Cの条件ではホースが屈曲せず試験実施不可であったが、環境温度85°C試験では試験終了(6,500回)まで漏洩は発生しなかった。2020年10月より6,500回まで評価終了後のType Bホースについて、継続的に試験を実施している。

ホース揺動水素インパルス試験の結果から、北米水素ステーションにおいて3,000回の耐久回数と判断されたType Aホースが室温で平均8,495回、85°Cで平均1,863回となったことから、加速係数は約1.6となり、ホース揺動水素インパルス試験は高温で加速される可能性が示唆された。ホース揺動水素インパルス試験の際、Type Aホースはいずれも水素の漏洩が発生したことにより終了した。漏洩箇所の調査を行なった結果、いずれも内層樹脂チューブに貫通クラックが発生していることが確認され、実機における漏洩と同様の事象により漏洩が発生した。図10に漏洩の原因となった貫通クラックの光学顕微鏡写真を示す。実水素ステーションにおける漏洩の際にも同様に内層樹脂チューブの貫通クラックが原因であり、貫通クラックの破断面にはストライエーションが形成されていることが確認された。すなわち、加圧・減圧の繰り返しによる疲労によってクラックが進展し、貫通するに至り、漏洩したと考えられる。また、実機の破断面において、放物線状の構造(パラボラパターン)が発生していることから、クラックの進展により、不安定クラックの進

展も見られることが判明した。これに対して、ホース揺動インパルス試験の場合、ストライエーションも観察されているが、実機より多くのパラボラパターンが観察され、高温での試験の場合、パラボラパターンの形成がより顕著である。このことから、高温におけるホースの揺動と加減圧による疲労が重畳し、不安定クラック形成の加速により内層チューブに形成されたクラックが貫通クラックに至る過程を加速したと考えられる。さらに詳細な破断面の解析を継続して実施している。

上述の通り、本研究開発項目については、達成したと判断した。

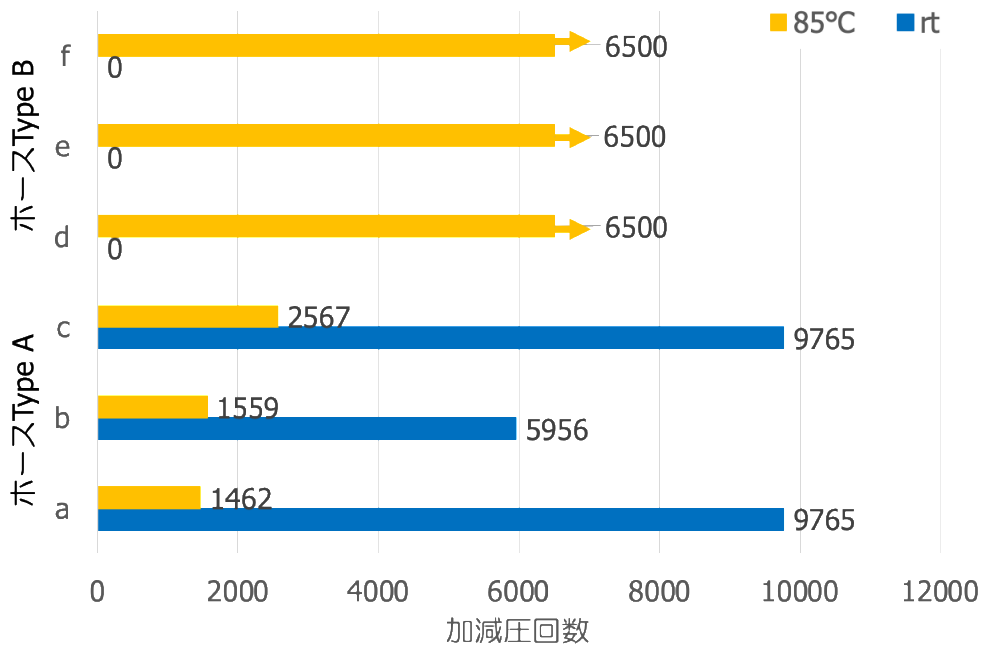
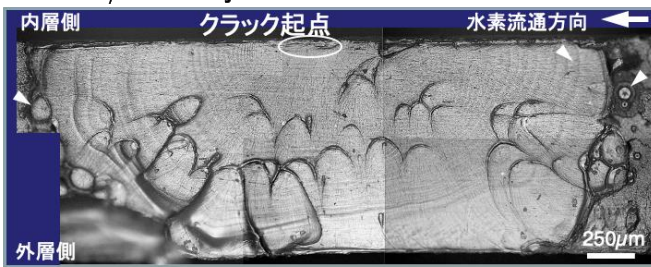
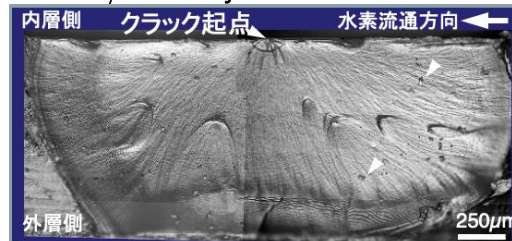


図9 ホース揺動試験結果

85°C $N_f=1559$ cycles



25°C $N_f=5956$ cycles



実機のクラック例

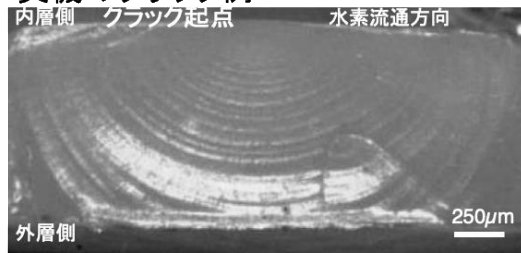


図10 Type A ホースのホース揺動水素インパルス試験ホース漏洩箇所の観察結果

(2) 高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明

水素インパルス試験の加速因子として抽出した温度変動、加減圧パターンにおける加圧速度、高圧保持時間の影響、ホースの表面温度、ホースの屈曲による影響について、それぞれの因子を個別に水素インパルス試験のプロトコルに組み込んで検証した。その結果、ホースの表面温度、ホースの屈曲が水素インパルス試験におけるホースの加減圧耐久回数への影響が大きいことが判明した。試験終了後のホースについて、X線CTによりホース内層樹脂材の破壊状況について調査した。内層樹脂チューブ形状のまま計測が可能であり、クラックの形状について観察することが可能であった。水素インパルス試験と水素ステーションにおけるホース内の水素の流通状況を検証するため、計算流体力学を応用したシミュレーションを試みた。両者で水素流量が大きく異なることが判明した。また、選択された加速係数の議論に基づいて、ホースの水素インパルス試験条件について検討した。水素インパルス試験プロトコルの昇圧速度、高圧保持時間、加圧中の水素温度変動、ホース表面温度、ホースの揺動について、水素インパルス試験のプロトコルに組み込むことで個別に評価した。その結果、ホースの表面温度とホース揺動が水素インパルス試験のホースの耐久性に影響を与えることが判明した。これらの条件による評価済みホースについて、内層材料の劣化と疲労挙動について調査を実施した。

山形大学への再委託の結果、高圧水素ホース内層樹脂材料試験片の大気圧環境での疲労試験において、疲労挙動の負荷応力の波形依存性について検討した。高圧保持時間が短い場合疲労損傷が優勢となり、保持時間が長いとクリープ損傷が優勢となることが判明した。内層樹脂材の疲労挙動は応力の波形パターン、すなわち、ホースの内装樹脂材の場合は圧力の変動パターンの影響により損傷モードが異なることが判明した。また、大阪大学への再委託として、高圧水素環境下での分光測定を実施するためのダイヤモンド窓付き高圧水素容器を設計・開発し、内層樹脂材料のモデルである結晶性高分子試験片の高圧水素環境下での赤外分光測定を実施した。結晶性高分子を高圧水素により加減圧した場合、高圧水素環境下では結晶化度が大きくなり、減圧時に可逆的に元の状態に戻ることが判明した。また、高圧水素に曝露した後の脱圧過程において試験片中に赤外線の波長レベルの大きさの気泡が多量に発生することを見出した。発生する気泡の量は、結晶性高分子の種類や保持時間が著しい影響を与えることが判明した。

以上、高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子として、内層樹脂材の挙動の各種の解析手法が確立し、材料としての評価を進めた。これらの内層樹脂材料の挙動と、(2)項で述べたホース揺動水素インパルス試験時の温度による加速、揺動を重畳した水素インパルス試験時の温度上昇による不安定クラックの増加について、内層樹脂材料の物性、構造の変化の観点から解析を進め、策定した加速評価法の妥当性検証を検証する。これらの解析、検証は策定した加速評価法の妥当性を担保し、規格化を進める上で重要である。

上述の通り、本研究開発項目については、達成したと判断した。

(3) 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定

高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発、およびその規格案策定を目的として、一般社団法人日本ゴム工業会にワーキングチーム(WT)を設置した。WTは本プロジェクトの実施者6名に加え、関係者としてホースメーカー、水素利用技術協会のメンバーを加えて構成し、議論を進めた。WT委員を表3に示す。WT会議は表4に示した通り2018年度3回、2019年度3回、2020年度10月までに2回開催し、ホースの試験結果、試験後のホース解析結果などの議論を行った。

ホースの(1)項で述べた水素インパルス試験、ホース揺動水素インパルス試験の試験条件について、(2)項で実施した各種加速因子の検討結果などを踏まえ、WTにて議論の上策定した。これらの水素インパルス試験、ホース揺動水素インパルス試験の結果、北米水素ステーションにて3,000回充填の耐久性を示

した高圧水素ホースについて、ホース設定を固定した水素インパルス試験においては、ホースのひずみ、評価前のホースの揺動、内外層の温度差、旧加圧を含む加減圧パターンの設定など、想定された種々の加速因子を設定して実施した際にも 10,000 回以上の耐久性を示すことから、加速評価が困難であると判断した。これに対して、ホース内外層の温度差を大きく設定し、ホースの揺動を行い、ホース伸長状態で水素による加減圧を行う評価法により、漏洩に至るまでの加減圧回数は 25°Cにおいて 8,000 回程度、85°Cにおいて 1,800 回程度となり、北米水素ステーションにおける耐久性を下回る加減圧回数で、実機同様内層樹脂チューブの貫通クラック形成により漏洩が発生した。より高温である 85°Cの場合に加速係数約 1.6 倍となった。このことから、ホース揺動水素インパルス試験をホース耐久性加速評価法案として検討することとし、再現性の確認を進め、より詳細な条件設定について検討し、検証をすすめることとした。

また、WT 会議において、学会、米国エネルギー省 Annual Merit Review、ISO 国際会議等への参加、CSA Langley Laboratory (カナダ)、National Renewable Energy Laboratory (米国) など海外の研究機関訪問、海外水素ステーション調査など、海外調査結果について報告し、高圧水素ホースの開発状況、海外ステーションの状況、高圧水素関係の評価試験機関の状況、水素技術、ホースに関する国際規格の状況などに関する情報共有を図った。

上述の通り、本研究開発項目については、達成したと判断した。

表 3 高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化ワーキングチーム委員

氏名	所属・役職
荒木俊二	(一社) 日本ゴム工業会 ISO/TC45 国内審議委員会 委員長
谷村博史	(一社) 日本ゴム工業会 ISO/TC45 国内審議委員会 副委員長
*青木正己	(一社) 日本ゴム工業会 ISO/TC45 国内審議委員会
*碓井俊一	(一社) 日本ゴム工業会 ISO/TC45 国内審議委員会 事務局長
*富川久里子	(一社) 日本ゴム工業会 ISO/TC45 国内審議委員会 事務局員
水村廉	(株) ブリヂストン ホース開発部 第一ユニット 主任部員
松山史昌	(株) ブリヂストン ホース開発部 第二ユニット
鈴木健也	(株) ブリヂストン ホース開発部 第二ユニット ユニットリーダー
柴野宏明	横浜ゴム (株) ホース配管技術部 部長
○畑中進	横浜ゴム (株) 研究先行開発本部 シミュレーション解析研究室 主幹
山口尚志	横浜ゴム (株) ホース配管技術部 開発 1G グループリーダー
眞榮田大介	横浜ゴム (株) ホース配管技術部 開発 1G
富岡秀徳	(一社) 水素供給利用技術協会 技術部長
*西村伸	(国) 九州大学 工学研究院機械工学部門 教授
*栗山卓	(国) 山形大学 工学部 高分子・有機材料工学科 教授
*金子文俊	(国) 大阪大学 大学院理学研究科 准教授

○WT リーダー、*本プロジェクト実施者

表4 高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化 WT 検討状況

回	日時	会場	議題
第1回	2018年6月25日	(一社) 日本ゴム工業会	高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化 WT における検討内容について、「超高压水素インフラ本格普及事業」審査結果について、委託業務実施計画書について
第2回	2019年1月23日	(一社) 日本ゴム工業会	進捗報告(海外出張報告他)、実施計画の確認 本年度成果報告書、次年度計画について
第3回	2019年3月4日	(一社) 日本ゴム工業会	平成30年度最終報告
第4回	2019年5月17日	(一社) 日本ゴム工業会	本年度実行計画、海外出張計画確認 【セーフティデータベース】ホース関連データの抽出作業の進め方、高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告、水素インパルス試験検討、DOE AMR(報告)
第5回	2019年8月29日	(一社) 日本ゴム工業会	高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告と今後の進め方討議
第6回	2020年1月15日	(一社) 日本ゴム工業会	高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告・今後の進め方討議 促進評価法の規格化について ・方向付けと進め方 ・規格内容のアウトライン
第7回	2020年7月17日	Web会議	高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告・今後の進め方討議 促進評価法の規格化について ・方向付けと進め方 ・規格内容のアウトライン

(4) ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供

開発した加速耐久性評価法を用い、WTに参加するホースメーカー2社から提供されたホースの評価を実施した。評価結果を提供各社に報告し、各社における開発にフィードバックした。ホースメーカー各社との議論を実施し、水素ステーションでの高圧水素ホース交換サイクルを設定するために必要となるデータの整理を実施した。

3.2 成果の意義

2017年度までのNEDO事業において、ホースメーカー2社により開発された87.5MPa試作ホースについて、実水素ステーションにおける寿命末期までの使用は困難であること、ホースの耐久性評価法として水素インパルス試験法が開発され、ISO 19880-5に採用されているが、水素インパルス試験による耐久回数と水素ステーションにおいて充填に使用した際の耐久回数との相関が明確ではなく、かつ、上述の2社のホースを水素インパルス試験法により評価した場合、数万回の耐久性を示すことが判明している。このため、これらのホースの水素インパルス試験による耐久性評価は長期間を要する。ホースメーカーにて水素ステーション

開発した高圧水素ホース加速耐久性評価法の「実用化」は、関係するステークホルダー、規制当局により適切なホースの耐久性評価法として認めていただくことと考える。その一環として本プロジェクトで策定した高圧水素加速耐久性評価法規格案の国内規格化、国際規格化を推進する。

水素ステーションの安全性を確保した上での低コスト化は、燃料電池自動車普及のために喫緊の課題であり、十分なニーズが存在する。このことから研究開発成果は速やかに水素ステーションに導入されると考えられる。

ホースメーカーでは「水素利用技術研究開発事業」の成果として、82MPa ホースはすでに上市されており、87.5MPa ホースについても試作が完了している。試作ホースについて、ホース交換サイクル決定のための水素ステーションにおける実証データ、これと相関する加速耐久性評価法がないため国内ステーションにおいては実績をベースにした交換サイクルが設定されている。ホースメーカーから提供されたホースについて加速耐久性評価法の開発とともに国内外の実ステーションにおける実証を進め、これらの相関を明らかにし、加速耐久性評価法を確立することにより、ホース交換サイクルの延長、決定に資するデータを取得することが可能になる。ホースメーカーから提供されたホースの耐久性に関する評価結果を提供することが可能になり、これに基づいて、各ホースメーカーにおいて 30,000 回充填に対応可能な長寿命 87.5 MPa 高圧水素ホースの実用化・事業化が進展し、水素ステーションへの実装が進展すると考えている。

5. 研究発表・特許等

ー研究発表・講演、文献等、その他ー

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019/1/30	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Structure Change Caused by Exposure to High-pressure Hydrogen Gas : Influence of Crystallinity in Polyamide11	大山 恵子
2	2019/5/31	第 68 回高分子学会年次大会 (大阪国際会議場)	高圧水素ガスの結晶性高分子の構造に与える影響に関する赤外分光法による研究	金子 文俊・大山 恵子・藤原 広匡・西村 伸
3	2019/9/5	PDDG 2019 33rd Polymer Degradation Discussion Group Conference (Marta)	Infrared spectroscopic study on the influence of high pressure hydrogen gas on crystalline polymers	Fumitoshi Kaneko, Keiko Ohyama, Hirotada Fujiwara, Shin Nishimura
4	2019/9/16	第 68 回高分子討論会 (福井大学)	FTIR 分光測定による高圧水素ガスの結晶性高分子の構造に与える影響に関する研究	金子 文俊・大山 恵子・藤原 広匡・西村 伸

ー特許等ー

なし

(2-(4)-①)「超高压水素インフラ本格普及技術開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術」

ENEOS(株)、(株)本田技術研究所、トキコシステムソリューションズ(株)、(一社)水素供給利用技術協会

● 成果ガリ (実施期間 : 2018年度 ~ 2022年度 予定)

- ・低コスト対応プロトコルの開発 : 新規プロトコルを開発し、T20相当へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。
- ・低コスト高頻度水素充填システムの開発 : 協調制御システムを開発し、10台/hの技術を完成した。

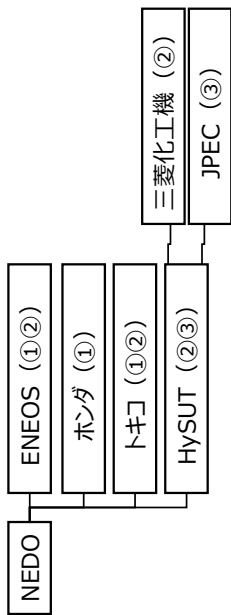
● 背景/研究内容・目的

水素ステーションの低コスト化の鍵は、ステーション構成要素の簡素化と、それを可能とする充填プロトコルを含む低コストな充填システムの開発である。そこで、下記の研究目標達成に向けて、開発を行った。

● 研究目標

実施項目	目標
① 低コスト対応プロトコルの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・Phase1 : 水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコルの制御マップを完成させる。(現行 : -35~-38℃ → 緩和後 : -25~-33℃) ・Phase2 : 車載タンク側の上限温度見直しを含む革新的プロトコルの見直しを得る。
② 低コスト高頻度水素充填システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・1時間10台の充填を可能とする低コスト高頻度充填システムを完成させる。
③ 水素充填技術基準整備に関する研究開発	SAE J2601 改定内容の国内適用における妥当性を検討し、充填技術基準案及び充填技術自主ガイドライン案を作成する。

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

- ① 低コスト対応プロトコルの開発
熱容量等の値を適正化した新規充填制御マップを開発した。本格普及期に想定される連続充填での予冷の効果も加味すれば、夏場の気温でもT20相当 (-26℃以上) へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。
- ② 低コスト高頻度水素充填システムの開発
最小限のバンク構成でダブル充填可能な協調制御システムを開発し、安定的に充填出来ることを実証した。
- ③ 水素充填技術基準整備に関する研究開発
SAE J2601の改正版入手、改正部分を確認、各部分の改正理由を整理した。

● 今後の課題

最終目標達成に向けて、各開発項目について以下の内容を実施する。
 ① 低コスト対応プロトコル
 ・ヒートマス測定法確立、データベース化。
 ・新規充填制御マップ完成。
 ・実証試験による安全性検証。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	T20相当へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。	○
②	協調制御システムを開発し、10台/hの技術を完成した。	○
③	充填技術基準案作成 (2021年2月予定)	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	6	0

資料番号：2-(4)-①

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術」

実施者：ENEOS 株式会社

株式会社本田技術研究所

トキコシステムソリューションズ 株式会社

一般社団法人水素供給利用技術協会

1. 研究開発概要

1. 1 目的

水素社会の実現に向けて最も注力しなくてはならないことの一つは、社会インフラである水素ステーションの低コスト化に関わる技術開発である。2015 年度～2017 年度の水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／実環境下における安全運用技術の研究開発のサブテーマ「低コストステーション技術の安全性検討」（2016 年度～2017 年度）において、普及期（1 時間に 5 台充填）における最適な仕様検討、充填制御の安全性/運用性検証等を実施した。しかしながら、水素ステーションの自立化は、本格普及期（1 時間に 10 台充填）であり、水素社会を実現するためには、高頻度充填を狙った低コストなダブル充填システムを構築することが必須である。水素ステーションの低コスト化の鍵は、ステーション構成要素の簡素化と、それを可能とする充填プロトコルを含む低コストな充填システムの開発である。

低コスト対応の充填プロトコルとして、任意の水素温度に対応して、スムーズに充填速度を変更できるプロトコル（MCフォーミュラー等）が候補だが、日本仕様のステーション（蓄圧器の上限圧力 82MPa）で検証の必要があった。また、現行の米国のプロトコル（SAEJ2601(2016)）では、十分すぎる機器の熱容量を仮定しており、実状に沿っていない。そこで、実ステーションでの検証を行いつつ、それぞれのマージンについての妥当性検証を行い、新たな低コスト対応プロトコル開発に取り組んだ。

高頻度充填を可能にするためには、現行と同じ設備を 2 系列設置することも考えられるが、次のデメリットがある。1) 主要機器（圧縮機、蓄圧器、冷凍機等）が増えるので日常の保守点検作業が増大する。2) 設備コスト、定期メンテナンスコストが増大する。そこで、主要機器をできるだけ共有化し、低コスト化したダブル充填システムによる高頻度充填の研究開発を行う必要がある。ダブル充填システム化は、2 台同時充填を可能とするが、普及期においては、充填する車両 2 台の充填開始タイミングや車両毎の充填量の違いなど、様々な充填条件が想定されることから、充填時の信頼性、利便性を損なわないために必要な圧縮機や蓄圧器等の最適な運転条件を検討する必要がある。

1. 2 概要

本事業では本格普及期に向けた低コストな高頻度充填システムを開発するため、以下を実施した。

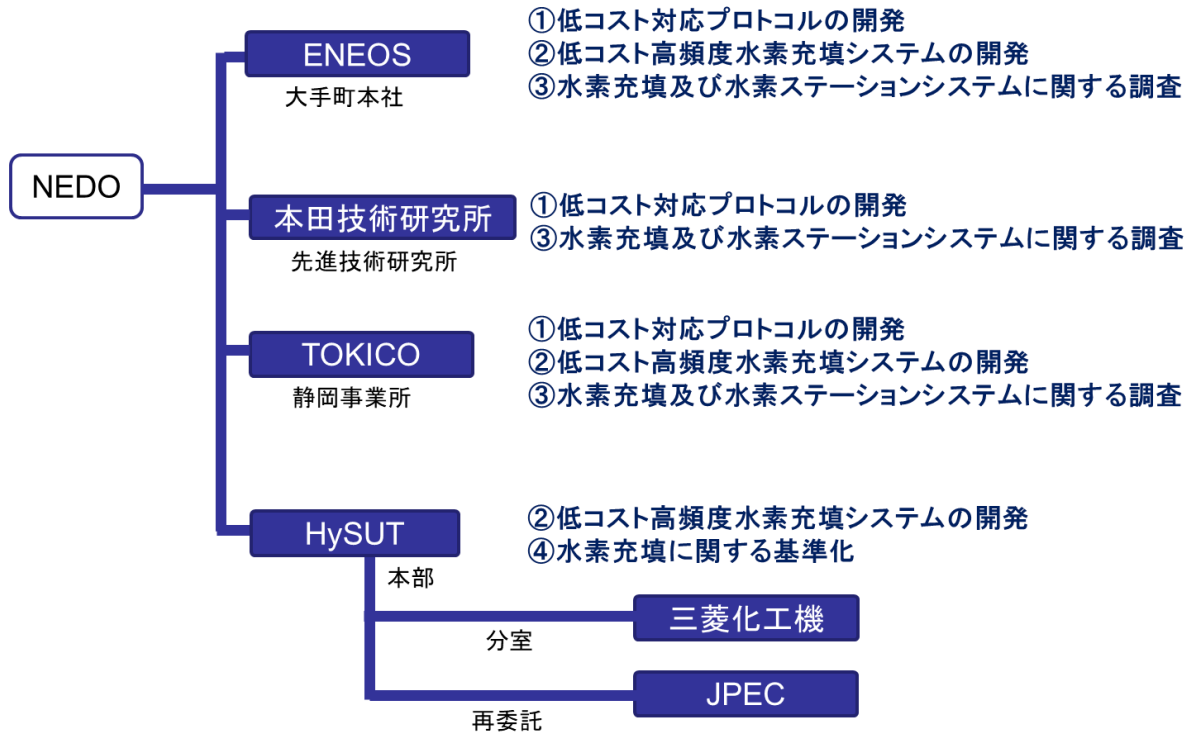
①低コスト対応プロトコルの開発：充填時間を延ばすことなく水素供給温度を緩和（高温化）可能とする革新的プロトコルを開発する。

②低コスト高頻度水素充填システムの開発：整備費及び運営費を低減する、本格普及期に向けた低コスト高頻度充填システム（1 時間に 10 台充填可能）を開発する。

③水素充填及び水素ステーションシステムに関する調査：プロトコルの規格化に向けた調査・検討を行う。

④水素充填技術基準整備に関する研究開発：SAE J2601の改正に対応し、国内の水素ステーションの諸制約に応じた水素充填技術基準の整備や①で開発されるプロトコルに対応した基準の整備に向けた技術検討を行い、基準案を作成する。

1. 3 研究体制



2. 研究開発目標

<2020年度末の目標>

①低コスト対応プロトコルの開発

・水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコル（Phase1）の制御マップを完成させる。目標とする運営費低減の効果は以下の通り。

水素供給温度の緩和（現行：-35～-38℃⇒緩和後：-25～-33℃）

電力代低減：10kw x 15時間 x 310日 x 21円/kw=100万円/年

・車載タンク側の上限度見直しを含む革新的プロトコル（Phase2）の見通しを得る。

②低コスト高頻度水素充填システムの開発

・1時間10台の充填を可能とする低コスト高頻度充填システムを完成させる。目標とする高頻度充填システム（2台同時充填可）の整備費低減効果は以下の通り。

全体システム 4.4億円

圧縮機（340Nm³/hr x 1台）、

蓄圧器（3バンク x 1組）*同時充填制御検証により蓄圧器本数等の最適化

ディスプレイ（1セット）*冷凍設備の共有化、Phase1の温度緩和によるプレクーラ小型化

整備費低減効果：3.4億円=7.8億円-4.4億円

シングルディスペンサー換算で $3.4/2=1.7$ 億円・（1百万円～数百万円）

④水素充填に関する基準化

- ・SAE J2601改定内容の国内適用における妥当性を検討し、充填技術基準案及び充填技術自主ガイドライン案を作成する。

<2022年度末の最終目標>

①低コスト対応プロトコルの開発

- ・革新的新規プロトコルの安全性検証を実施し、規格化の提案を行う。革新的新規プロトコルの効果及び課題を纏める。革新的新規プロトコル採用により、プレクール温度の大幅な緩和（-15～-25℃）が期待できる。

②低コスト高頻度水素充填システムの開発

- ・ダブル充填に対応した低コストプレクールシステムを開発する。
- ・MCフォーミュラに対応した協調制御システムを開発する。

③水素充填技術基準整備に関する研究開発

- ・革新的新規プロトコルの充填技術基準案を作成する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 低コスト対応プロトコルの開発

現在、日本国内で用いられている充填プロトコル（ルックアップテーブル方式）で充填時間を3分程度にするためには、水素供給温度区分をT40(-40～-33℃)に保つ必要がある（表1）。これは水素ステーションで電気代がかかる要因の1つとなっており、例えば冷凍機40kWでフル稼働した場合、年間400万円程度かかる可能性がある（前提：15時間 x 310日 x 21円/kwh）。

また、厳しい運転環境のために充填システムの信頼性や部材の耐久性が低いという課題もある。例えばホースの認可回数は1000回程度となっており、急激なヒートサイクル（常温→40℃）や圧力サイクル（0→Max.82MPa）が寿命低下の一因となっている。

表 1. 水素供給温度と充填時間の例

水素供給温度区分	充填時間
T40 (-40~-33℃)	3'40"
T30 (-33~-26℃)	6'07"
T20 (-26~-17.5℃)	12'13"

そこで、本事業においてプレクール温度緩和に向けた取り組みを行うこととした。現行のロックアップテーブル方式では安全サイドでパラメーターが設定されており、図 1 のような段階的なアプローチで緩和を目指すことにした。Phase0 は米国で先行導入されている MC フォーミュラ方式である。リアルタイムに昇圧率を制御することでプレクール温度の緩和が可能となる。Phase1 はステーション側の前提条件を変更することでマージンを減らし、プレクール温度を T30 相当まで緩和することを目指したものである。さらに Phase2 では車側の前提条件を変更することで T20 相当への緩和を目指す。

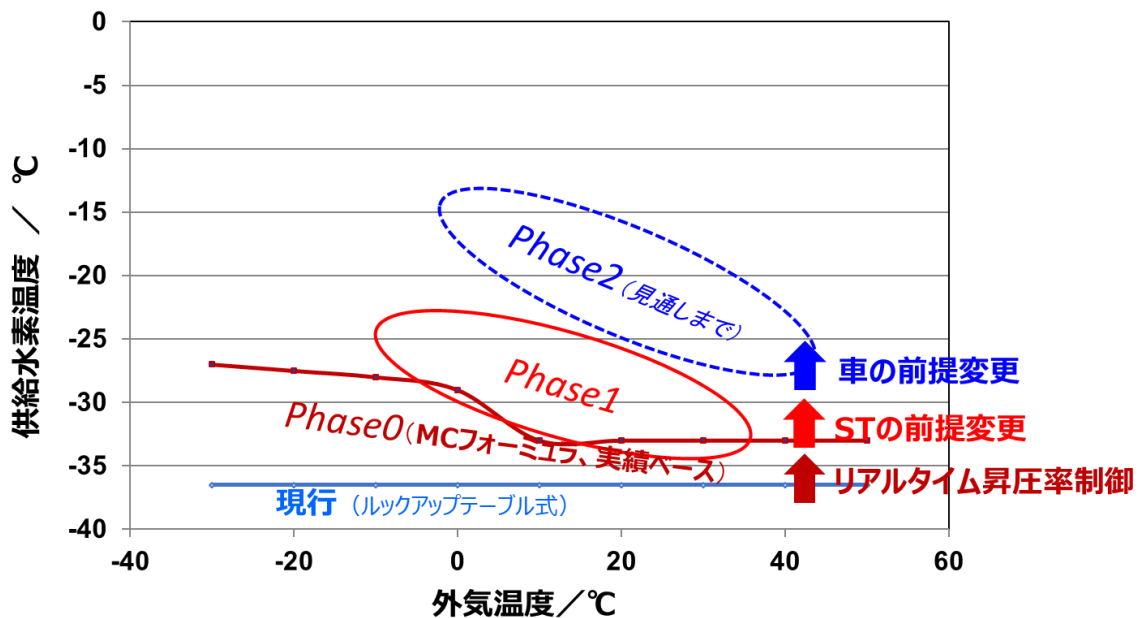


図 1. プレクール温度の緩和に向けたアプローチ

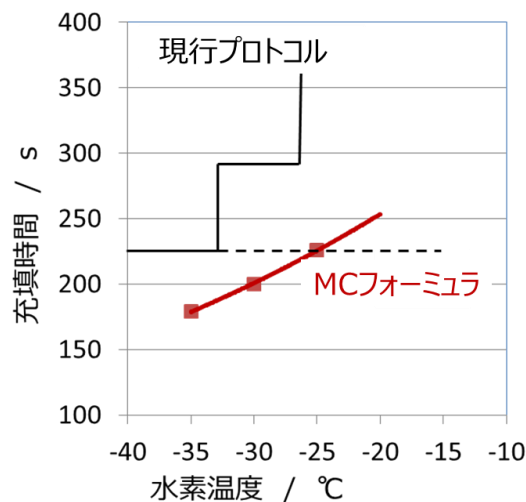


図 2. MC フォーミュラの検証結果 (冬, 初期圧 5MPa) @HySUT 水素技術センター

Phase1 は MC フォーミュラの改良型ということもあり、最初に Phase0 として MC フォーミュラの検証を行った (図 2)。米国では先行導入されており、国内の水素ステーションで性能を検証した位置づけである。HySUT 水素技術センターで試験を行い、現行プロトコル (ロックアップテーブル方式) よりも充填時間が短くなることを確認した。充填時間が同じ場合、プレクール温度を緩和出来ることになる。

次のステップとして、本事業の Phase1 ではステーション側の前提条件を変更することでマージンを減らす取り組みを進めている。現行プロトコルでは、最悪ケースを想定した場合でも FCV タンク温度が 85°C を超えることがないように、安全サイドでパラメーターが設定されている。例えばステーションの各部品で奪われる冷熱は、実際には現行規格の設定 (ワーストケース) よりも小さい。そこで計算の前提を変更し、実態に合わせた新たな充填制御マップを作成すれば、プレクール温度の緩和が可能となる (図 3)。

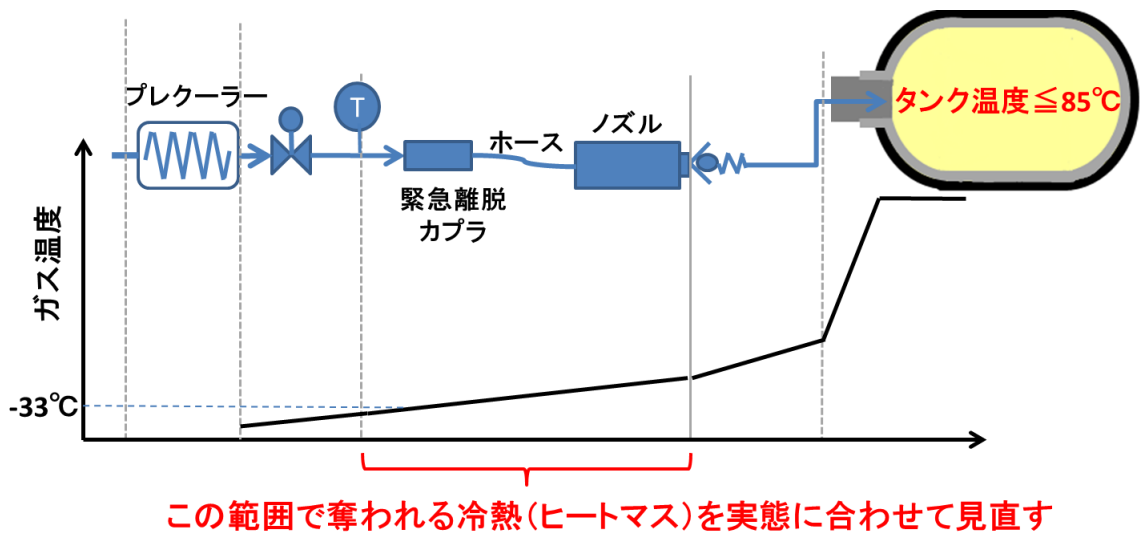


図 3. Phase1 (ステーションの前提変更) の概念

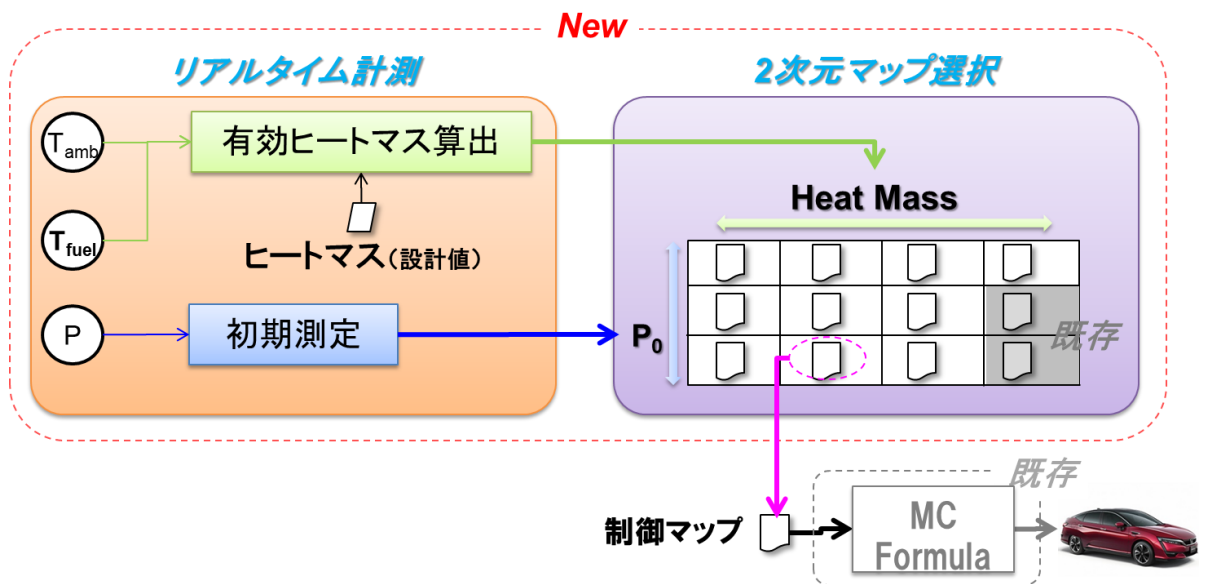


図 4. Phase1 : 充填制御コンセプト

Phase1 で取り組んだ充填制御のコンセプトを図4に示す。SAE J2601 で定められた MC フォーミュラをベースにヒートマスをリアルタイムに取り込む制御を追加した。初期圧とヒートマスの組み合わせごとに、充填制御マップを複数用意し、各条件に応じてマップを選択することとした。これにより、各ステーションのヒートマスの実力値と、配管系の温度状態を取り込むことで無駄なマージンを削減し、プレクール温度の緩和が可能となる。

新たな充填制御マップの開発にあたって、充填シミュレーションが必須のツールとなる。既存のソフトウェアでは計算精度等に課題があったため、国際的な連携を提案し、米国の NREL と共同で新たなソフトウェアを開発した。開発には前 NEDO 事業で九州大学が開発したソースコードや本事業で取得したデータを活用した。開発したソフトウェアは NREL の HP で公開済みである。

<https://www.nrel.gov/hydrogen/h2fills.html>

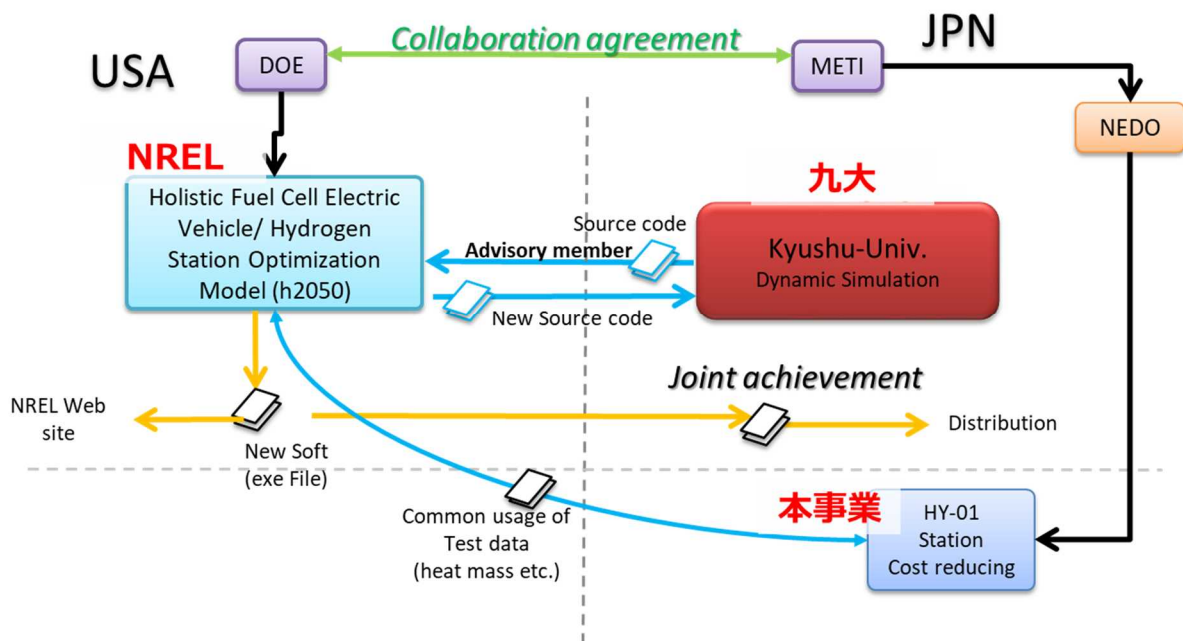


図5. 充填シミュレーション開発に関わる国際連携

図4の開発コンセプトに基づき、2019年秋に最初の充填制御マップを開発し、米国の実証ステーションで検証を行った。試験結果を図6に示す。米国の標準的な水素ステーション仕様で、ルックアップテーブル方式やMCフォーミュラと比べて充填時間を短く出来ることを確認した。プレクール温度をT30相当まで高めても実用的な充填時間となった(@気温25°C)。ディスペンサが予冷された状態(=コールドディスペンサ)では充填時間がさらに短くなり、FCV本格普及期には連続充填によるコールドディスペンサの効果が期待出来る。

その後、充填制御マップに改良を加え、初期圧10MPaのマップを新たに追加した。国内の標準的な水素ステーション仕様での冬季試験という位置づけで、2020年2月にHySUT水素技術センターで試験を行った(図7)。米国での夏季試験と同様に、国内のステーションにおいてもルックアップテーブル方式やMCフォーミュラと比べて充填時間を短く出来ることを確認した。Phase1の充填制御マップではプレクール温度-25°Cで充填時間3分程度、連続充填5台/h相当のコールドディスペンサではプレクール温度-20°Cで充填時間4分程度となった。冬場の気温ではT20相当を見通せる結果が得られた。

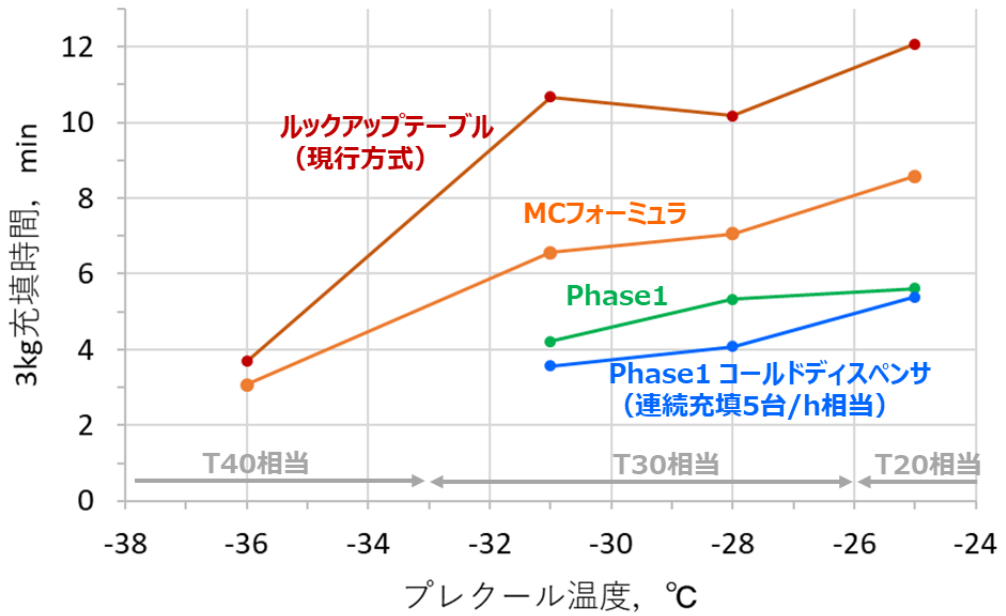


図6. 米国試験の結果 (2019年10月、気温25°C程度)

※3kg 充填時間の計算方法: MIRAI に 3kg 充填する場合を想定し、23→82MPa の昇圧にかかる時間を各プロトコルの昇圧率から求めた。さらにスタートアップ時間 (操作、初期圧チェック等) を一律 0.5 分加えた。

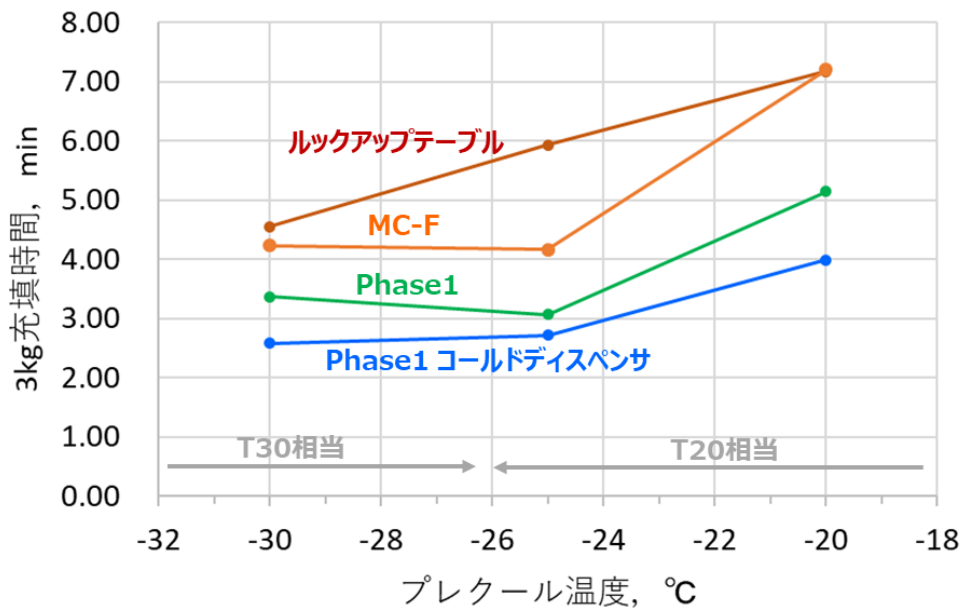


図7. HySUT 水素技術センターでの国内試験の結果 (2020年2月、気温3~17°C)

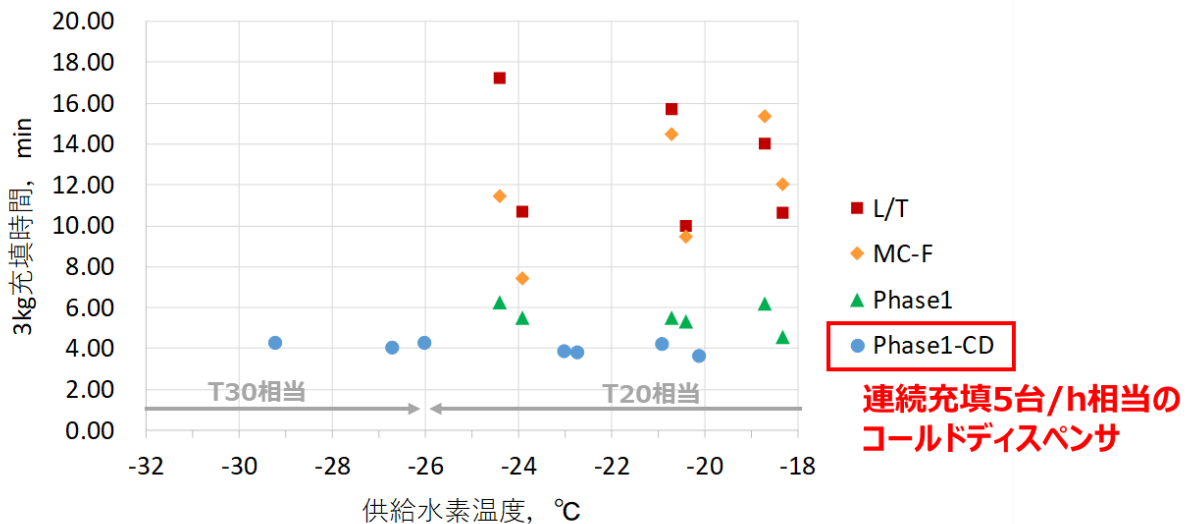


図 8. HySUT 水素技術センターでの国内試験の結果（2020 年 8 月、気温 22～35℃）

その後、充填制御マップに更なる改良を加え、初期圧 15MPa のマップを新たに追加した。国内での夏季試験という位置づけで 2020 年 8 月に HySUT 水素技術センターで試験を行った（図 8）。プレクール温度緩和という観点では冬季試験より厳しい条件となる。連続充填 5 台/h 相当のコールドディスペンサで、気温 33℃以下であれば、T20 相当で 4 分程度の充填が可能であることを確認した。

当初の計画では Phase2 で車の前提条件変更により T20 相当を目指していたが、自動車会社と議論を重ねた結果、FCV タンクの上限温度変更は相当ハードルが高いことが分かってきている。Phase1 で T20 相当の結果が得られたことにより、Phase2 相当を Phase1 で達成したとみなすこととする。

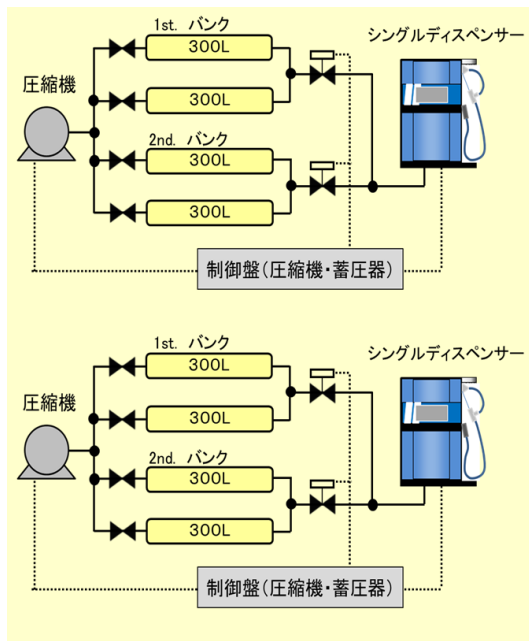
（2）低コスト高頻度水素充填システムの開発

METI ロードマップによると、1 日 70 台以上の充填が 2025 年度頃から必要になる。これは 1 日 14 時間として 1 時間当たり 5 台以上に相当する。水素ステーションの能力は現状 5 台/h であり、10 台/h 程度への能力増強が必要となる。一方、高頻度充填に対応して 2 系列の設備を設けると水素ステーションの建設費が高くなるという課題がある。

そこで、同じ設備を 2 系統設置するのではなく、圧縮機・蓄圧器の共用により、10 台/時間に対応した低コストなシステムを開発することとした。

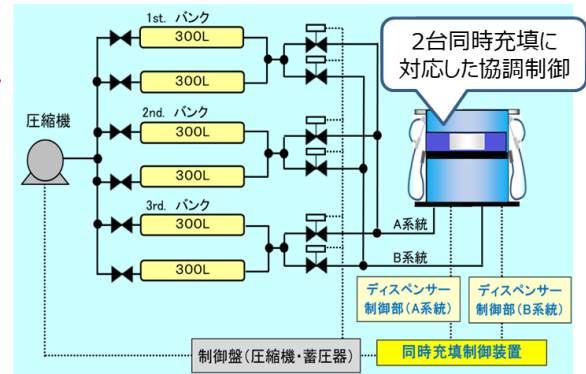
最初に図 10 の手順に従ってシミュレーションを行った。前提条件として、現行ステーションの標準的な圧縮機能力や平均的な FCV 充填量を用いた。バンク構成や充填パターンを変えてシミュレーションを行い、以下のような評価基準で有望な構成を選定した。

- ① 充填時間 直充填時間（圧縮機で直接昇圧する時間）で判定
- ② 充填の安定性 バンク切替前後のバンク圧力差で判定
- ③ 蓄圧器本数 少ないほどコスト的に優位
- ④ バルブ数 少ないほどコスト的に優位



同じ設備を2系統設置した場合
(高コスト)

同じ設備を2系統設置するのではなく、
圧縮機・蓄圧器の共用により、10台/時間
に対応した低コストなシステムを開発する



高頻度水素充填システムの例
(低コスト)

図9. 高頻度水素充填システムの概要

前提条件

- ① 充填頻度は1時間当たり **10台** ⇒ 充填ノズル **2系統**
- ② FCV充填量は1台当たり **3kg**
- ③ 圧縮機は **340 Nm³/h** (30.5kg/h)



バンク構成と充填パターンの設定

- ・バンク構成：**17構成** (蓄圧器の構成・容量・本数等)
- ・充填パターン：**51パターン**
(初期圧 A：3種、B：3種の組合せ)
(充填タイミング：6パターン)



シミュレーション実施

図10. シミュレーションの手順

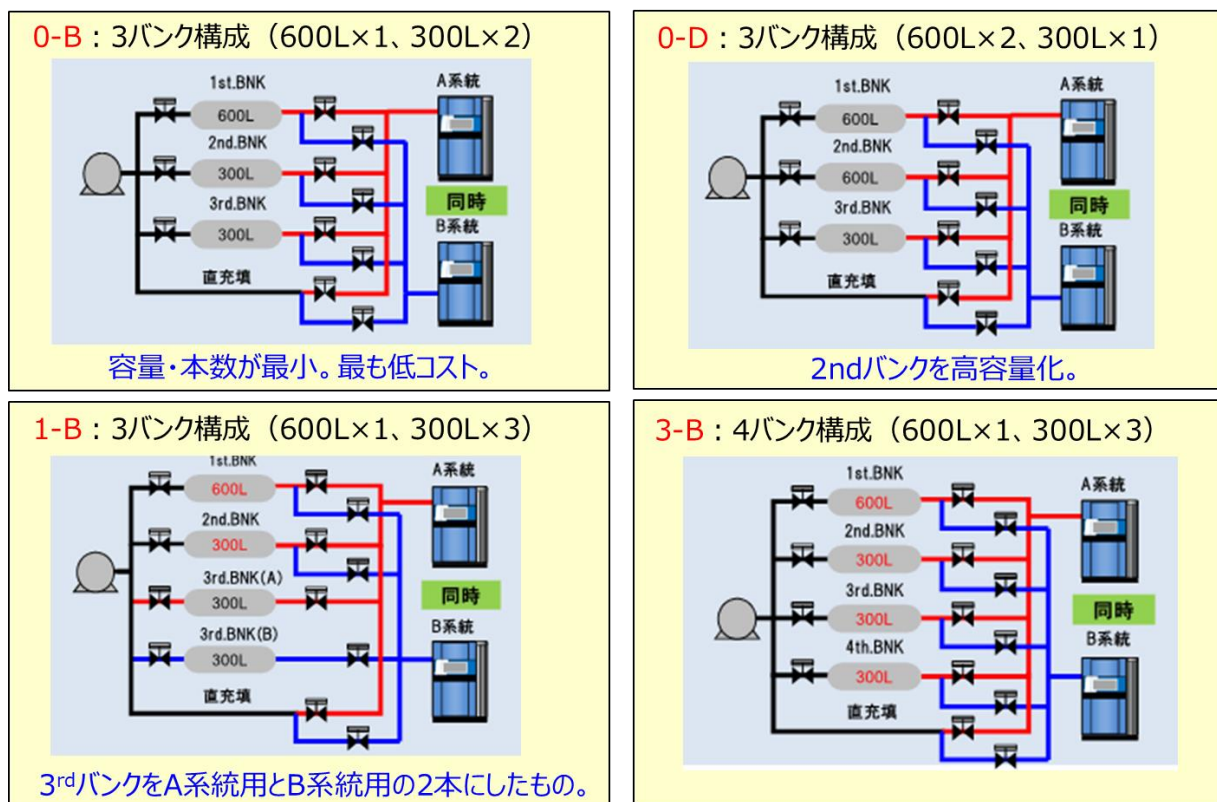


図 11. シミュレーションで選定した 4 構成

シミュレーションで選定した 4 構成を図 11 に示す。0-B は 3 バンク構成で容量と本数が最も小さく、これでダブル充填が成立するようであれば最も良い。0-D、1-B、3-B も現行ステーションの蓄圧器を単純に 2 倍したものより少ない設備で済み、有望な構成である。実証試験を行い、4 構成の比較を行うこととした。

表 2. ダブル充填試験 初期圧 15MPa/15MPa の結果

バンク構成	気温 (°C)	ディスペンサ	FCV 初期圧 (MPa)	充填時間 (s)	直充填時間 (s)	SOC (%)	充填量 (kg)
0-B (600-300-300)	15.9	A	15	183	33	97.9	3.4
	16.6	B	15	180	26	98.1	3.4
0-D (600-600-300)	16.0	A	15	171	18	97.7	3.4
	16.7	B	15	166	12	98.0	3.4
1-B (600-300-300/300)	15.1	A	15	167	7	98.1	3.4
	16.1	B	15	162	7	97.9	3.4
3-B (600-300-300-300)	15.3	A	15	168	5	98.0	3.4
	16.3	B	15	164	0	98.0	3.5

初期圧 15MPa の FCV にダブル充填した結果を表 2 に示す。これは充填量 3.4kg/台に相当し、平均的な充填量 3kg より若干多い。充填時間はいずれも 3 分前後で、いずれも満充填まで安定的に推移した。充填時間、充填の安定性ともに 4 構成のいずれも問題ないという結果が得られた。

一方、4kg/台以上の充填では課題も見られた。初期圧 6MPa の FCV にダブル充填した結果を表 2 に示す。これは充填量 4.3kg/台に相当する。直充填に入った時に圧力の低い FCV 側に流量が偏り、もう一方の FCV が流量低下で途中停止する場面が見られた。それでも SOC 94%以上はあり、許容範囲という見方も出来るが、満充填には至らなかった。

表 3. ダブル充填試験 初期圧 6MPa/6MPa の結果

バンク構成	気温 (°C)	ディスペンサ	FCV 初期圧 (MPa)	充填時間 (s)	直充填時間 (s)	SOC (%)	充填量 (kg)
0-B (600-300-300)	13.2	A	6	175	9	94.1 ¹⁾	4.1
	13.5	B	6	198	32	97.9	4.3
0-D (600-600-300)	17.5	A	6	212	21	97.7	4.3
	15.3	B	6	181	9	95.0 ¹⁾	4.1
1-B (600-300-300/300)	7.8	A	6	188	17	98.1	4.4
	8.5	B	6	170	13	94.2 ¹⁾	4.1
3-B (600-300-300-300)	8.4	A	6	200	32	98.0	4.3
	9.0	B	6	197	29	98.0	4.4

1) 流量低下で途中停止。

そこで協調制御の検討を行った。表 4 に協調制御の設計コンセプトを示す。FCV 2 台同時充填時に、充填圧力や圧力上昇率の値を取得し、同時充填の課題を回避するように一方の圧力上昇率を制御することとした。

表 4. 協調制御の設計コンセプト

課題	FCV2台の圧力差	対策	協調制御
FCV2台の圧力差がある状態で、3rd.バンクもしくは直充填を共用すると、圧力の高いFCV側への充填が停止する	大	3rd.バンク、直充填を共用しない	圧力が低い方の充填を遅らせる
	小	FCV2台を同じ圧力にして、3rd.バンク、直充填を共用する	圧力が高いFCVの充填を遅らせる

協調制御を適用したダブル充填試験の結果を表 5 に示す。新たに開発した協調制御の適用により、最小容量の 3 バンク構成 (0-B) で 4kg/台以上の充填を行った場合でも安定的にダブル充填が出来ることを確認した。

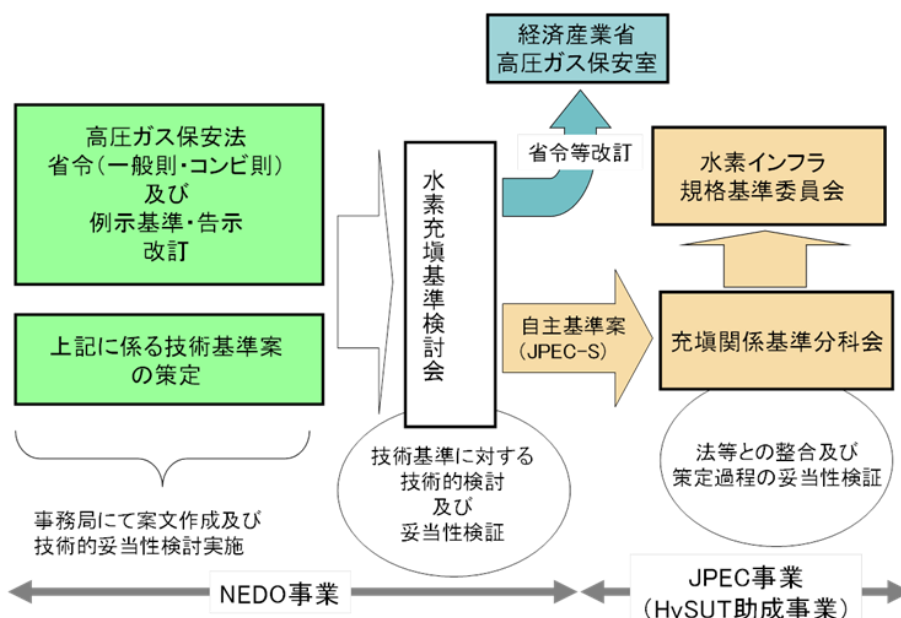
表 5. 協調制御 3バンク構成 0-B (600L×1、300L×2) の試験結果

充填条件	気温 (°C)	ディスペンサ	FCV 初期圧 (MPa)	充填時間 (s)	直充填時間 (s)	SOC (%)	圧力上昇率 (MPa/min)	充填量 (kg)
Bを10s遅延	26.1	A	6	305	68	98.0	17.8 →16.5(×0.93)	4.4
	25.8	B	6	290	68	98.0	18.0	4.3
Aを17s遅延	26.2	A	6	288	59	98.0	17.7	4.3
	26.3	B	6	301	58	97.9	17.7 →15.9(×0.90)	4.3
AB同時	30.4	A	15	243	—	97.9	15.1	3.5
	29.6	B	6	305	3	98.0	15.6 →13.2(×0.85)	4.3
AB同時	31.3	A	15	264	26	97.9	14.6	3.5
	30.2	B	13	255	19	98.0	15.2	3.6

(3) 水素充填技術基準整備に関する研究開発

国内充填技術自主基準 JPEC-S 0003 は、NEDO 事業において技術的検討および妥当性検証を行ない自主基準 (案) を作成の上、この基準(案)について JPEC (HySUT 助成) 事業において充填基準分科会および水素インフラ規格基準委員会で審議して制改正される。

前 NEDO 事業で検討した 10 kg 超容器を持つバス等の大型車向けへの充填プロトコルが付属書 I という形で 2016 年 JPEC-S 0003 (2016) に規定された。また、付属書 I は、SAE J2601 にも採用され、今回の改正の一部として、最新版にも盛り込まれている。一方、業界では、当該国際的充填技術基準 SAE J2601 の最新版との調和と MC フォーマの反映が望まれている。



そこで、最新の SAE J2601 202005(2020 年 5 月改訂版)を入手、その改正内容を確認、各部分の改正理由について整理を実施した。

今後、改正理由の妥当性を検証し、国内法規や既存の JPEC-S 0003 と調和するように、改正項目の採否を熟議し、国内適用に適した基準(案)を作成する。

また、本プロジェクトの成果をふまえ、低コスト対応(Phase1 以降)プロトコルの技術基準策定に繋げていく。

(参考) 最新のSAE J2601 202005(2020年5月改訂版)の主要改正項目のまとめ

1. MC フォーミュラ方式を使用したステーション指定要件の改訂
2. 表方式におけるコンサバAPRRの明確化
3. オプションの「整合性チェック」方法の説明の追加
4. 70MPa の10kg超の容量を有する容器への表方式のプロトコルの提案
5. 70MPa の10kg超の容量を有する容器へのMC フォーミュラ方式プロトコルの提案
6. 表方式とMC フォーミュラ方式で共通のカテゴリを使用可とする容器区分の指定
7. メイン充填圧力許容範囲えEIにおける低圧側許容値の削除/変更
8. 圧力上限側異常に対する対応基準の修正
9. スタートアップフェーズの明確化
10. トップオフ充填時の参照表の行間に関するガイダンスの提供
11. ベンダー固有の安全性に関する懸念事項への注意喚起事項の追加
12. 初期圧カパルスによる最小圧カパルス0.5MPaの実用限界の表示
13. 燃料供給温度 -40℃は、質量平均ではなく瞬間値であることの明確化
14. フォールバック充填中のFPRRの改訂
15. 容器区分境界間のt finalの補間方法の提案
16. コンサバAPRRを用いたトップオフ充填を明確にする言語の追加
17. 本規格 (J2601)における現実に即していない圧力低下の推定の修正
18. フォールバック充填中の通信障害の対応

3. 2 成果の意義

低コスト対応プロトコルの開発により、夏場の気温でも T20 相当 (-26℃以上) へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。低コスト高頻度水素充填システムの開発により、最小限のバンク構成でダブル充填可能な協調制御システムを開発し、安定的に充填出来ることを実証した。さらに、水素充填技術基準整備に関する研究開発により、最先端の充填プロトコルを国内で基準化する道筋をつけた。

3. 3 開発項目別残課題

最終目標達成に向けて、各開発項目について以下の内容を実施する。

①低コスト対応プロトコルの開発

- ・各部品のヒートマス測定法を確立し、評価結果をデータベース化して公開する。
- ・NREL と共に充填シミュレーションの精度を向上し、新規充填制御マップの完成度を高める。
- ・追い充填の対策制御を構築し、検証する。
- ・市場で想定される様々な条件での実証試験を行い、安全性を実証する。

②低コスト高頻度水素充填システムの開発

- ・ダブル充填に適した低コストタイプの熱交換器を開発し、性能を検証する。
- ・冷凍機ブラインポンプの流量制御、温度制御を行い、運転コスト低減を図る。
- ・ルックアップテーブル方式で開発した協調制御を MC フォーミュラ向けに改良し、ダブル充填試験で実証する。MC フォーミュラの改良型である Phase1 への適用可能性も検討する。

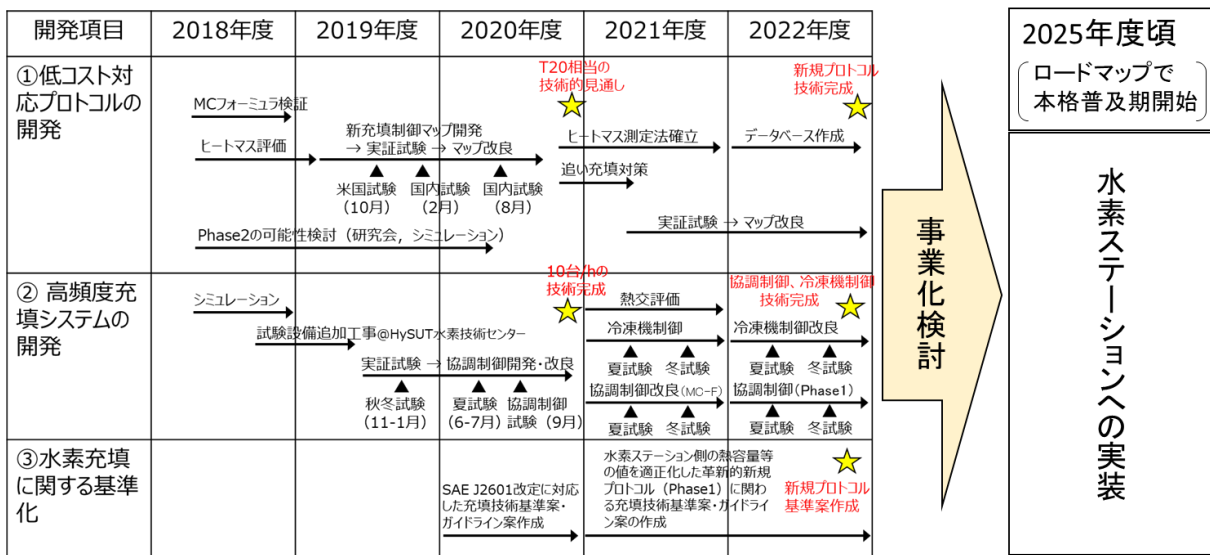
③水素充填技術基準整備に関する研究開発

- ①の Phase1 で作成した革新的新規プロトコルを活用して国内基準案を作成する。
- 上記新規プロトコルを活用して SAE インターフェース TF 等に提案し、SAE J2601 改訂に努める。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

顧客の利便性を損なわず、低コストで高頻度充填に対応したシステムを構築できるため、本格普及期には必須の技術となり得る。「1 時間 10 台充填可能な高頻度充填システム (建設費 低)」と「水素供給温度を緩和しても充填時間が遅くならないプロトコル (運営費 低)」の組み合わせにより、以下の効果が期待される。

- 顧客を待たせない (5 台/時間を超えても待ち時間が発生しない)
- 低コストシステム (建設費の低減)
- 電気代の低減 (運営費の低減)
- 部材、システムの信頼性向上 (運営費の低減)



5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年10月25日	HySUT 充填 TF	MC フォーミュラーの国内実証結果	J X T Gエネルギー、本田技術研究所、日立AMS -MM
2	2018年11月28日	決算説明会	—	三菱化工機
3	2019年2月5日	SAE international Fuel Cell Standards	Study on MC formula fueling test in Japan	J X T Gエネルギー、本田技術研究所、

		Committee Interface Task Force		日立AMS-MM
4	2019年3月14 日	JXTG Technical Review Vol.61 No.1 第 295号 2019.3, p.25	次世代水素ステーション の低コスト化に向けた技 術検討	JXTGエネルギー
5	2020年2月17 日	International Transport Forum Expert Workshop	Efforts toward the Realization of Hydrogen-utilized Society in Japan	JXTGエネルギー
6	2020年2月24 日	国際水素インフラワ ークショップ	Development of Hydrogen Fueling Model through Collaboration between Kyushu University and NREL	本田技術研究所

—特許等—

なし

以上

(2-(4)-②)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

委託：ENEOS総研株式会社

● **成果概要（実施期間：2018年度～2019年度終了）**

95MPa級水素トレーラーと、それに対応した水素St.の概念設計を行い、以下の結論を得た。

- ① 輸送効率：95MPa化することで車両重量が増加するため、水素輸送可能量は、45MPaと同等。
- ② コスト：蓄圧器省略等によりHRS建設コストは低減されるが、トレーラーと出荷設備のコストアップにより、全体では95MPaと45MPaに大きな差はなかった。
- ③ エネルギー効率・CO₂：輸送圧力を無駄なく利用することにより、エネルギー効率、CO₂排出量は、共に従来システムより10%程度改善されると見積もられた。

● **背景/研究内容・目的**

グローバルな課題であるカーボンニュートラルに向けては、水素がエネルギーキャリアとして大きな役割を背負う。水素用途の一つであるFCV普及のためには、供給コスト削減とともに、大量・安定供給が必須である。

我が国では現在、20MPa～45MPaでの高压輸送が主体であるが、本調査研究では、コストダウン並びに供給能力強化策として95MPa級の超高压水素トレーラーに着目し、その可能性、利点、実現にあたっての法的課題、技術課題を明らかにし、具体的な開発に進むにあたっての判断材料を取りまとめることを目的とした。

● **研究目標**

実施項目	目標
94MPa級トレーラー概念設計	技術的可能性を確認し、コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする
対応する水素ステーション概念設計	コストを見積もり、技術・法的課題を明かにする。
システム効率・コスト評価	供給システム全体のコスト、効率を評価し、現行システムと比較評価する。

● **実施体制及び分担等**

NEDO	ENEOS総研株式会社
------	-------------

● **これまでの実施内容／研究成果**

・供給システム全体のコスト、効率評価で以下の結果を得た。

- ① 輸送効率：搭載容器を95MPa化することで重量が増加し、車両重量の運用限界により、95MPaトレーラーでの水素輸送可能量は、45MPaと同等の300kgであった。
- ② コスト：トレーラー容器をクッションタンクとして用い、ステーション蓄圧器を省略すること等で建設コストは低減されるが、トレーラーと出荷設備のコストアップにより、水素供給コスト全体では95MPaシステムと45MPaシステムで大きな差はなかった。
- ③ エネルギー効率・CO₂：ステーションにブースタータイプの圧縮機を配備し、輸送圧力を無駄なく利用することにより、エネルギー効率、CO₂排出量は、共に従来システムより10%程度改善されると見積もられた。

・コストダウンのための技術課題として、ブースター国产化、炭素繊維コストダウン、安全弁差動機能、落下衝撃緩衝材、電磁式安全弁を抽出した。

・法的課題として、圧力上限引き上げの他、火災暴露試験・落下試験等の条件見直し、7条の3ステーションでのトレーラー充填等を抽出した。

● **研究成果まとめ**

実施項目	成果内容	自己評価
トレーラー概念設計	概念設計を通して評価に必要な見積り額、技術・法的課題を得た。	○
ステーション概念設計	同上	○
システム効率・コスト評価	現行システムとの差異、技術的・法的課題を明らかにした。	○

● **今後の課題**

・水素需要動向を見通した上での、評価したシステム(部分導入を含む)の実装に向けた蓋然性の判断と、具体的な開発段階への移行。

● **実用化・事業化の見通し**

・技術的には可能であることを確認。事業化は需要環境に依存。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：2-(4)-②

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

実施者：ENEOS 総研株式会社

1. 研究開発概要

1.1 事業目的

燃料電池自動車の本格普及期に必要なとされる大量かつ効率的輸送方法(軽量容器を搭載した超高压水素トレーラー等)並びに、それに伴う次世代水素ステーションの技術課題と法的課題について調査研究を行う。

1.2 結果概要

- 95MPa 級水素トレーラーと、それに対応した水素ステーションの概念設計を行い、①輸送効率、②コスト、③エネルギー効率・CO₂ 排出量、④技術課題、⑤法的課題について検討、以下の結論を得た。
- ①輸送効率:搭載容器を 95MPa 化することで重量が増加し、車両重量の上限規制により、95MPa トレーラーでの水素輸送可能量は、45MPa と同等の 300kg であった。
 - ②コスト:トレーラー容器をクッションタンクとして用い、ステーション蓄圧器を省略すること等で建設コストは低減されるが、トレーラーと出荷設備のコストアップにより、水素供給コスト全体では 95MPa システムと 45MPa システムで大きな差はなかった。
 - ③エネルギー効率・CO₂:ステーションにブースタータイプの圧縮機を配備し、輸送圧力を無駄なく利用することにより、水素供給に伴うエネルギー効率、CO₂ 排出量は、共に従来システムより 10%程度改善されると見積もられた。
 - ④技術課題:95MPa 級容器・接続部品の開発が 95MPa 導入に必須であるが、いずれも市場の見通しが明らかとなれば、開発は進むと思われる。一方、コストダウン目的としては、ブースターの国産化、容器に関連する高品位炭素繊維の低コスト化、火炎暴露対応安全弁作動機能、複合容器用難燃性・不燃性落下衝撃緩衝材、電磁式自動弁の開発が技術課題として抽出された。
 - ⑤法的課題:95MPa 輸送の導入にあたっては、輸送圧力上限の引き上げ(45→95MPa)、水素ステーションの常用圧力上限の引き上げ(82→95MPa)が必須である。一方、コストダウン目的では、容器の火炎暴露試験、落下試験、水素ガス透過・サイクル試験の試験条件と判定基準の見直しが抽出された。ステーションでは、マザーステーションでの適用を想定した 7 条ステーションでのトレーラー充填が法的課題として抽出された。

超高压での輸送効率の限界が見極められたことから、長期的な大量輸送という観点では、液化水素や有機ハイドライド、更にはパイプライン輸送の検討にシフトすべきと考えられる。その際、液化水素と有機ハイドライドについては、高压輸送より劣位と見られる WtT エネルギー効率、CO₂ 排出関連の取り組みが重要となる。

一方、トレーラー容器をクッションタンクとして用いる充填方法や、そのマザー&ドータステーションへの適用は、エネルギー効率の向上と当面コストダウンに資する可能性があり、実証、実装に取り組む価値があると思われる。

2. 研究開発目標

実施項目	目標
94MPa 級トレーラー 概念設計	技術的可能性を確認し、コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする
対応する水素ステーション 概念設計	コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする。
システム効率・コスト評価	供給システム全体のコスト、効率を評価し、現行システムと比較評価する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 超高圧水素輸送システムの概念設計

- ・超高圧水素トレーラー(95MPa)を用いた水素インフラ案5パターンを作成し、業界関係者ヒアリング等に基づき、最適と思われる超高圧供給システム案を策定した。図 1-1 参照。

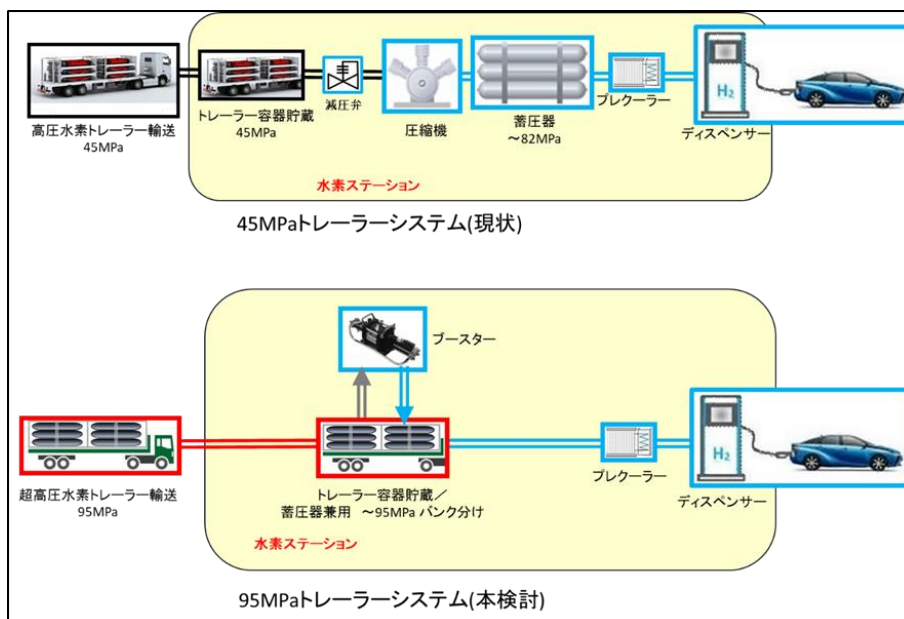


図 1-1 現状→超高圧輸送イメージ図

- ・超高圧 95MPa システムは、現状 45MPa システムに対して、以下のメリットを想定した。
 - ✓45MPa→95MPa 高圧化による輸送効率の向上、
 - ✓トレーラー容器を蓄圧器として使うことによるステーション側の蓄圧器省略、コストダウン
 - ✓ステーション機器として、レシプロ型圧縮機(吸入圧<1MPa)に替えてブースター(吸入圧力が任意に設定可能)を採用して、輸送圧力を無駄なく利用することによる WtT エネルギー効率の向上、CO2 削減、コストダウン。

- また併せて、需要に対して余剰供給能力を持つオンサイトステーションまたは液水型オフサイトステーションからの 95MPa トレーラーによる水素の転送、すなわち“マザー&ドータ”システムへの適用も検討することとした。

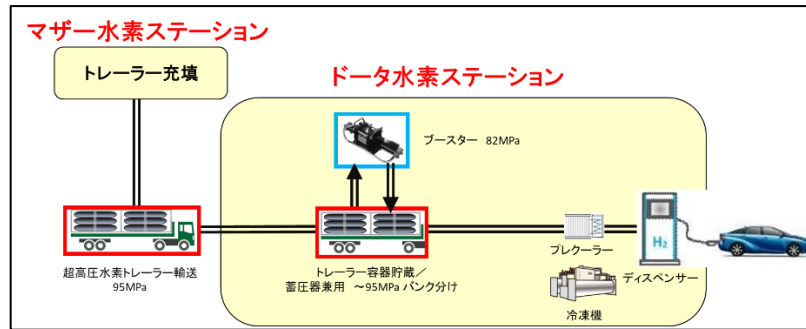


図 1-2 “マザー&ドータ”システム

(2) 超高圧水素トレーラー概念設計

- 超高圧水素(95MPa)水素トレーラーの概念設計を行い、下記の結果を得た。

表 1-1 超高圧水素トレーラー概念設計 基本諸元

		モデル 1	モデル 2	モデル 3	モデル 4	備考
容器モデル		#1	#2	#3	#4	
容器重量(kg/本)		400	418	488	670	
容器積載本数(本)		20	20	16	12	
水素積載量(kg)		292	304	234	175	
トレーラー 連結車	全長 L_b (mm)	13,780	13,780	13,780	13,780	$L_b \leq 14m$
	最遠軸距 d_b (mm)	10,595	10,595	10,595	10,595	
	車両総重量 W_b (kg)	27,940	28,300	27,708	27,300	
	最大軸重 R (kg)	12,737	12,843	12,668	12,554	
	$\alpha = W_b / P$	2.19	2.20	2.19	2.17	$\alpha \leq 3.4$
	安定傾斜角度 θ (°)	35.6	35.5	36.6	37.2	$\theta \geq 35^\circ$
	最小回転半径 R (m)	9.4	9.4	9.4	9.4	$R \leq 10m$
トレーラー	全長 L_a (mm)	9,940	9,940	9,940	9,940	
	最遠軸距 d_a (mm)	8,155	8,155	8,155	8,155	
	車両総重量 W_a (kg)	20,790	21,150	20,558	20,150	
全高 H (mm)		3,366	3,366	3,366	3,166	$H \leq 3.8m$
全幅 B (mm)		2,490	2,490	2,490	2,490	$B \leq 2.5m$
特車申請通行条件		B	B	B	A	

<輸送効率>

- 輸送圧力の引き上げにより、95MPa トレーラーでは 45MPa トレーラー(水素搭載量 300kg)からの搭載量増⇒輸送効率向上⇒本格需要期に対応、が期待されたが、車両の重量規制等により同等の 300kg/台に留まった。
- トレーラー等の特殊車両は、道路法車両制限令により、重量ごとに道路の走行制限がかけられる。走行制限なし、あるいは徐行等の軽微な走行制限で運用するためには、全長 14m のトレーラー連結車で 29t 以下に抑える必要がある。
- 一方、95MPa 級容器の概念設計を行ったところ、耐圧性を確保するために、300L 容量(95MPa 水素充填量 15kg)の Type3 または Type4 容器で、重量 400kg~617kg との結果となった。車両本体重量が 20t である

ことから、29t 制限のもとでの容器搭載本数は、最大 20 本となり(400kg×20 本+20t)、水素搭載量は 20 本×15kg=300kg となった。

- 以上の結果から、95MPa 化による輸送効率向上は見込めない、との結論となった。

<コスト>

- 95Mpa 級トレーラーに搭載する 95MPa-内容積 300L 級の容器コストは、デモ用試作品(16~20 本受注)で 650 万円~750 万円、量産想定品(200 本一括発注)で 450 万円~550 万円との見積もりとなった。
- この、量産品 5 本×4 バンク=20 本を用いた 95MPa トレーラーコストは、付属品を含む容器 1.4~1.5 億円、車両 0.45 億円の 1.9 億円と見積もられた。45MPa トレーラーと比較して 0.7 億円程度のコストアップが見込まれる。
- 95MPa システムで水素販売価格 1,100 円/kg に見合うコストとするためには、出荷~輸送~販売全ての場面でコストを半減させる必要がある(8.1.1 参照)。トレーラー容器の場合は、200 万円/本のレベルが求められることになるが、その実現のためには技術のブレークスルーとともに、市場の確かな見通しが必要である。

表 1-2 超高压水素トレーラー(量産モデル)概念設計結果概要

トレーラーモデル	1	2	3	4
容器タイプ	Type3	Type4	Type4	Type3
容器生産単位(本/ロッド)	200	200	200	200
容器搭載本数(本/台)	20	20	16	12
トレーラ生産単位(台/ロッド)	10	10	12	16
水素積載量(kg/台)	292	304	234	175
I.容器関係(千円/台)	145,882	148,235	118,588	87,529
II.車両関係(千円/台)	46,795	46,795	43,630	42,944
III.トレーラー計(I+II)	192,677	195,030	162,218	130,473
[容器関係費用割合(%)]	75.7	76.0	73.1	67.1
IV.15年間保守管理費(千円/台)	19,210	19,210	18,910	18,610
[カブラ・ホース費用割合(%)]	47.7	47.7	48.4	49.2
V.合計(III+IV)	211,887	214,240	181,128	149,083
[容器関係費用割合(%)]	68.8	69.2	65.5	58.7

(3) 超高压水素トレーラー対応水素ステーション概念設計

- 超高压水素(95MPa)水素トレーラーに対応した供給能力 300Nm³/hr の水素ステーションの概念設計を行い、下記の結果を得た。

<システムフロー>

- トレーラーの容器をクッションタンクとして用いることで蓄圧器を省略し、輸送圧力を充填にも活用するために、トレーラー容器からの直接充填ライン(トレーラー容器内の水素圧力が高い場合)と、ブースター2 基で圧力調整→トレーラー容器→充填のライン(容器内圧力が車両充填に伴い下がってきた場合)の 2 ラインフローとした。

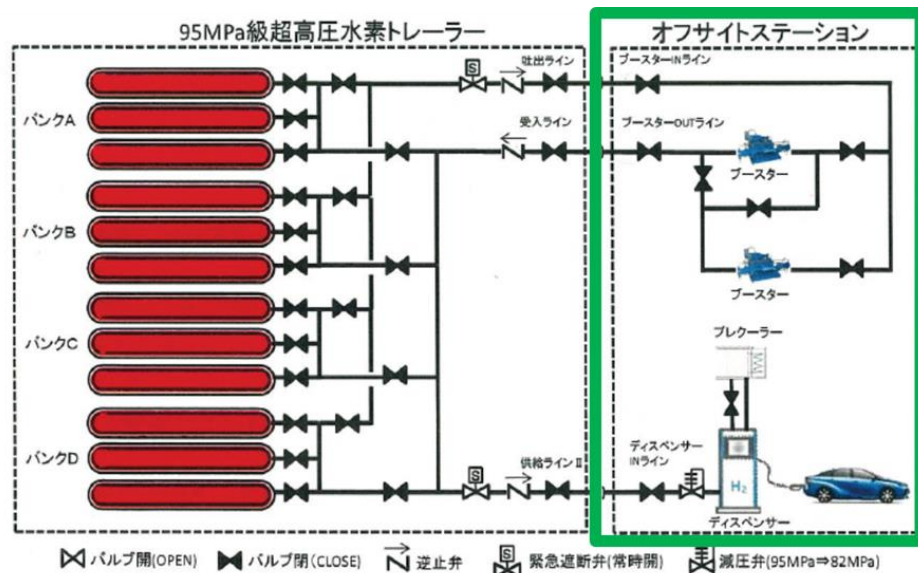


図 1-3 トレーラー～ステーション システムフロー

<建設コスト>

- ・トレーラーの容器を水素充填のクッションタンクとして用いることで、従来のステーションに配備されている蓄圧器(2016年実績5千万円、出典: 燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」平成31年3月)は省略可能となる。
- ・また、従来のシステムではレシプロ型圧縮機(吸込圧力<1MPa、9千万円)を用いていたところを、輸送圧力を生かす目的からブースター型圧縮機(吸込圧力 任意)に替え、機器コストの削減も図った。
- ・結果、95MPa トレーラー対応ステーションの建設コストは、現状の見通しで3.69億円との見積もりとなった。詳細は、7.10 主要機器のコストご参照。
- ・また、ブースターの国産化や関連設備の量産化等によるコストダウンを想定すると、3.22億円との見積もりになった。NEDO 超高压標準化プロジェクトでのベースコスト4.88億円に対して、1~1.5億程度のコストダウンになる。

表 1-3 ステーション建設コスト見積もり結果

出典	単位:千円						
	NEDO超高压標準化PJ	METI 2016ロードマップ	METI 2019ロードマップ			超高压対応ステーション	
対象時期	2015年(実績)	2014年(実績)	導入初期(実績)	2016年(実績)	2025年頃(目標)	概念設計	量産想定
圧縮機	80,000	120,000	140,000	90,000	50,000	78,000	55,000
蓄圧器	55,000	50,000	50,000	50,000	10,000	0	0
ブレーカー	20,000	30,000	30,000	20,000	10,000	15,000	15,000
ディスペンサー	35,000	40,000	60,000	20,000	20,000	34,000	20,000
その他機器類	60,000	30,000				71,500	62,000
設備費小計	250,000	270,000	280,000	180,000	90,000	198,500	152,000
工事費小計	237,500	120,000	180,000	170,000	110,000	170,000	170,000
建設費総計	487,500	390,000	460,000	350,000	200,000	368,500	322,000

- ・更に、ブースターも省略し、トレーラーの容器圧のみで充填する簡易型ステーションの建設コストは、2.65億円と更なるコストダウンが見込まれた。

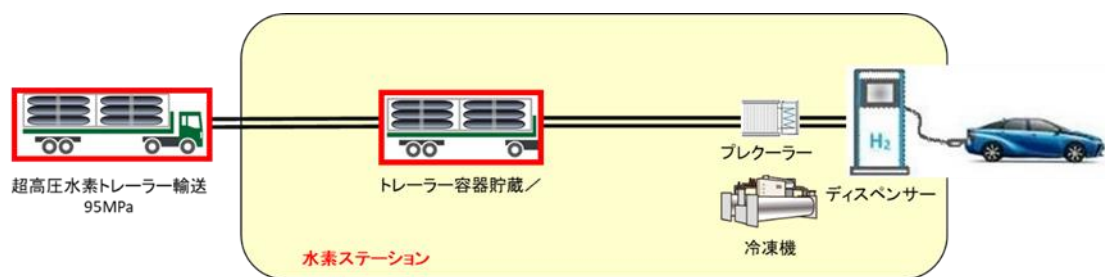


図 1-4 簡易ステーション システムイメージ

(4) 超高压水素輸送システムの評価

<水素供給コスト>

- ・95MPa 超高压水素トレーラーと、それに対応した水素ステーションの概念設計結果に基づき、現状需要(ステーション稼働率 1.5%)と最大需要(ステーション稼働率 70%)のそれぞれについて水素供給コストを試算した。
- ・超高压水素トレーラー用出荷設備(1,500Nm³/hr)の建設も想定し、一つの出荷設備から 8 ヶ所の水素ステーションにトレーラー12 台で配送する(JHFC 第二期報告書での前提)ことを前提とした。また、水素原価は経産省ロードマップの 2030 年プラント引き渡しコスト価格目標 30 円/Nm³=330 円/kg とした。

表 1-4 水素供給コスト見積もり結果

		販売「最大」		販売「現状」		「最大」×設備50%コストダウン		
		45MPa配送	95MPa配送	45MPa配送	95MPa配送	45MPa配送	95MPa配送	
水素販売量	水素kg/年	662,256	662,256	14,121	14,121	662,256	662,256	
水素原料	円/水素kg	333	333	333	333	333	333	
出荷	固定費	円/水素kg	142	213	6,660	10,002	76	112
	変動費	円/水素kg	46	53	46	53	46	53
	小計	円/水素kg	188	266	6,706	10,056	123	165
輸送 12台	固定費	円/水素kg	412	637	19,319	29,866	227	340
	変動費	円/水素kg	22	22	22	22	22	22
	小計	円/水素kg	434	658	19,341	29,887	249	361
小計 (ステーション持ち届けコスト)	円/水素kg	622	925	26,047	39,943	372	526	
販売 8か所	固定費	円/水素kg	1,048	848	49,148	39,772	584	484
	変動費	円/水素kg	111	57	1,679	1,626	111	57
小計 (ステーション)	円/水素kg	1,158	905	50,828	41,398	695	542	
総計	円/水素kg	1,781	1,830	76,875	81,341	1,066	1,068	
総計差異(95MPa型-45MPa型)	円/水素kg	-	50	-	4,466	-	2	

- ・その結果、現在の需要(4.8kg/日販売)では 81,341 円/kg、本格需要期(227kg/日販売)で 1,830 円/kg と見積もられた。45MPa 輸送システムでの同様試算では、現状 76,875 円/kg、本格需要期 1,781 円/kg と、ほぼ同等の結果となった。これは、95MPa システムのステーション部分のコストダウンを、トレーラーと出荷設備(45MPa 5.4 億円⇒95MPa 8.4 億円と見積もり)のコストアップ分が打ち消したことによるものである。
- ・また、45MPa、95MPa システムともに、出荷～輸送～ステーション全てで 50%の設備コストダウンが達成されれば、本格需要期(ステーション稼働率 70%)のコストが 45MPa 1,066 円、95MPa 1,068 円と、ともに現状小売価格 1,000～1,100 円/kg に見合うコストとなることを確認した。ただし、その実現のためには、技術課題、法的課題への取り組みだけでは不十分であり、需要の確かな見通しと共に CO₂ 削減を目指した

不連続な制度設計が必要である。

- ・水素供給能力が需要を大きく水素ステーションの活用策として、改質型オンサイトまたは液水型オフサイトステーションを「マザー」と位置づけ、マザー⇒ドータステーション(高压オフサイト)の転送に 95MPa を用いたシステムの供給コストを評価した。

表 1-5 マザー&ドータステーション評価結果(オンサイト)

			販売「現状」			販売「最大」		
			オンサイト単独	オンサイトマザー	ドータ	オンサイト単独	オンサイトマザー	ドータ
販売量		水素kg/年	1,765	1,765	1,765	82,782	82,782	82,782
輸送 1.5台	固定費	円/水素kg	-	-	29,866	-	-	637
	変動費	円/水素kg	-	-	22	-	-	22
	小計	円/水素kg	0	0	29,887	0	0	658
水素製造	水素製造量	kg/年	1,765	3,530	-	82,782	165,564	-
	固定費	円/水素製造kg	14,447	7,224	0	308	154	0
	変動費	円/水素製造kg	421	421	0	421	421	0
	水素製造コスト計	円/年	26,242,751	26,985,502	0	60,335,162	95,170,325	0
圧縮・充填	固定費	円/水素圧充kg	49,148	25,141	39,772	1,048	536	848
	変動費	円/水素圧充kg	1,679	870	1,626	111	93	57
	圧縮・販売コスト計	円/水素圧充kg	50,828	26,010	41,398	1,158	629	905
総計		円/水素販売kg	65,696	67,309	71,286	1,887	2,409	1,564
マザー&ドータ総計平均		円/水素販売kg	-	69,297	-	-	1,986	-

表 1-6 マザー&ドータステーション評価結果(液水オフサイト)

			販売「現状」			販売「最大」		
			液水単独	液水マザー	ドータ	液水単独	液水マザー	ドータ
水素原料		円/水素kg	333	333	-	333	333	-
水素販売量		水素販売kg/年	1,765	1,765	1,765	82,782	82,782	82,782
ボイルオフ量		水素kg/年	2975	2975	-	2975	2975	-
水素製造・配送量		水素製造kg/年	4,740	6,505	-	85,757	168,539	-
液化・出荷		水素製造kg/年	571	571	-	571	571	-
液水輸送 0.2台	固定費	水素製造kg/年	457	333	-	25	13	-
	変動費	水素製造kg/年	22	22	-	22	22	-
	小計	円/年	2,269,363	2,307,606	0	4,024,730	5,818,340	0
ドータ輸送 1.5台	固定費	円/水素販売kg	-	-	29,866	-	-	637
	変動費	円/水素販売kg	-	-	22	-	-	22
	小計	円/水素販売kg	0	0	29,887	0	0	658
小計 (ステーション持ち届けコスト)		円/水素販売kg	2,819	3,412	29,887	640	1,233	658
圧縮・充填 販売	固定費	円/水素圧充kg	54,247	27,690	39,772	1,157	590	848
	変動費	円/水素圧充kg	442	226	1,626	20	16	57
	圧縮・充填・販売コスト計	円/水素圧充kg	54,689	27,917	41,398	1,177	606	905
		円/水素販売kg	54,689	55,833	41,398	1,177	1,212	905
総計		円/水素販売kg	57,508	59,245	71,286	1,817	2,445	1,564
マザー&ドータ総計平均		円/水素販売kg	-	65,265	-	-	2,004	-

- ・その結果、改質型のマザー&ドータで 1,988 円/kg、液水貯蔵型のマザー&ドータで 2,004 円/kg と見積もられ、それぞれのマザー単独ケースの改質型 1,887 円/kg、液水型 1,817 円/kg と同等～やや高めとの結果になった。
- ・また、簡易ステーション(蓄圧器、圧縮機を省略)適用のケーススタディでは、販売可能な最大量を一般ステーションの半分と仮定して試算した。
- ・その結果、45Mpa 輸送システムより水素供給コスト低減が可能であると見積もられたが、そのレベルは販売最大でも 3,563 円/kg と、販売価格 1,100 円/kg に見合うまでのコストダウンには至らなかった。

<エネルギー効率、CO2 発生>

- ・トレーラー容器を蓄圧器として用い、ステーションにブースタータイプの圧縮機を配備し、輸送圧力を無駄なく利用することにより、水素供給に伴うエネルギー効率、CO2 排出量は、ともに従来システムより 10% 程度改善されると見積もられた。
- ・従来システムは、出荷段階で 2.8kwh/kg のエネルギーをかけて 0→45MPa まで昇圧するが、ステーションで蓄圧器に充填する際に一旦減圧し、改めて、レシプロ型圧縮機(吸入圧<1.0MPa)で 0→82MPa に昇圧、ここでかかるエネルギーは 3.1kwh/kg となり、合計で 5.9kwh/kg を昇圧で消費する。
- ・一方、本システムは出荷段階で 3.2kwh/kg のエネルギーで 0→95MPa に昇圧するが、ステーションでのオペレーションは減圧させることなく、車両充填に伴う減圧分だけをブースター(吸入圧力 任意)で「ブースト」させている。
- ・その結果、本システムでプレクールも含めたエネルギー消費が、従来システムに対して 6.9-4.2=2.7kwh/kg 削減可能と見積もられた。なお、液化水素供給の場合、プレクールは不要であるが、液化→高圧供給に伴うエネルギー消費は 12.7kwh/kg、高圧輸送の 2～3 倍と見積もられた。

表 1-7 消費エネルギー比較

	出荷基地	ステーション		合計	
		0→45MPa	0→82MPa		
45MPaシステム					
エネルギー	kwh/水素kg	2.8	3.1	1	6.9
電力 @16.6円/kwh	円/水素kg	46.5	51.5	16.6	114.5
95MPaシステム					
エネルギー	kwh/水素kg	3.2	0.0	1.0	4.2
電力 @16.6円/kwh	円/水素kg	53.1	0.0	16.6	69.7
液化水素システム					
エネルギー	kwh/水素kg	12.0	0.7	0.0	12.7
電力 @16.6円/kwh	円/水素kg	199.2	11.1	0.0	210.3

CO2 排出
-12.3g/MJ

- ・2.7kwh/kg(0.081MJ/水素 MJ)の電力コストは 69.7 円/kg と大きなインパクトではないが、CO2 排出削減量は 12.3gCO2/MJ となり、これはオフサイト改質型水素供給の Well to Tank CO2 排出量 108～174gCO2/水素 MJ(出典: 総合効率と GHG 排出の分析、日本自動車研究所 平成 23 年 3 月)に対して 10%前後とインパクトを持つ。今後、電源構成の変化に併せて、詳細に検討する価値があると思われる。

(5) 技術課題:

<95MPa 化 導入に解決必須の技術課題>

- ・95MPa システム導入に際して必要となる新たな技術としては、本調査で概念設計を実施した 95MPa 級容器の他、95MPa 対応のカプラー・レセプタクル・コネクター・ホースがあげられる。
- ・本検討において部品の概念設計は実施しなかったが、いずれも技術的ハードルは高いものではなく、「市場の見通しが明らかとなれば開発に取り組む」とのコメントを事業者ヒアリングで得ている。
- ・なお、超高圧対応の接続部品は規制の見直しにより現行品を適用できる可能性もある。法的課題の項で詳述する。

<ブースター 国際競争力確保、コストダウンに向けた技術課題>

- ・95MPa システムの主要設備のうち、ブースターのみ国産品が存在しない。本システムでは 2 基の海外製 (HYDROPAC)ブースターを適用し、コストを 78 百万円と見積もったが、関係者ヒアリングによると国産化により 2~3 割程度のコストダウンは可能との見積もりである。国際競争力の観点並びにコストダウンの観点から国産化を図るべきではないか。
- ・また、本システムではブースター2 基を用いてパラレル/シリーズ制御を切り替えて運用するが、個別に調達して組み上げるのではなく、トレーラー容器との連携・制御システムと合わせた、「パッケージ化」が望ましい。

<容器関連 コストダウンに向けた技術課題>

- ・95MPa 化により、容器のコストアップが生じる。これを可能な限り抑えるために、下記の開発が望まれる。なお、いずれの項目も、現状システムにおいてもコストダウン効果が見込まれるため、95MPa システムの導入可否にかかわらず、検討が望ましい。

✓高品位繊維の低コスト化

軽量かつ耐圧高性能容器のキーとなる技術である。これまでも検討が進められているが、更なるブレークスルーを期待したい。欧米においても、容器コストダウンのための最重要課題として取り組まれている。なお、日本はこの分野において国産技術を持つ優位性がある。

✓火炎暴露試験対応安全弁作動機能の開発

火炎暴露試験の負荷低減のために、後述する法的対応の他に、伝熱トリガー式安全弁を開発・適用することにより、現状で用いている引き回し配管を排除することができる。本技術により、引き回し配管と比較して漏洩リスクも低減されると思われる。

✓複合容器用難燃性・不燃性落下衝撃緩衝材の開発

法的課題で詳述する落下試験対応の技術課題として、難燃性・不燃性落下衝撃緩衝材の開発がある。落下試験対応として用いられる緩衝材はゴムやウレタン等の可燃物である一方、水素トレーラー安全技術ガイドライン JPEC-TD 0002 (2017)では、容器には可燃材を取り付けないことを推奨している。この課題を回避するために、難燃・不燃性の緩衝材が望まれる。

✓電磁式自動弁の開発

流通している自動弁は高価なガス圧駆動弁のみであり、コストを抑えるため手動弁が採用されている。FCV 用同様の安価な超高圧用電磁弁の開発が求められる。

(6) 法的課題:

<95MPa 化 導入に見直しが必要な法的課題>

- ・95MPa 輸送の導入にあたっては、大前提として、輸送圧力上限の引き上げ(45MPa→95MPa)、水素ステーションの常用圧力上限の引き上げ(82MPa→95MPa)が必須である。
- ・圧縮水素運送自動車用容器の技術基準 JPEC-S 0005 (2013)では、最高充填圧力は 45MPa 以下と定められている。また、同附属品の技術基準 JPEC-S 0006 (2016)では、適用範囲が最高充填圧力 45MPa 以下の容器に限定されている。したがって、容器及び附属品を 95MPa で使用するためには、最高充填圧力の上限を引き上げる基準の改定が必須である。

- ・一方、水素ステーションについても高圧ガス保安法一般則第 7 条の 3(圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)において、常用圧力が 82MPa 以下と定められているため、95MPa 水素トレーラーを接続して使用するためには、引き上げが必要である。

<容器関連 コストダウンに向けた法的課題>

- ・容器関連のコストダウンでは、容器は火炎暴露試験、落下試験、水素ガス透過試験、水素ガスサイクル試験の試験条件と判定基準見直し、トレーラー容器の耐圧係数の見直しが抽出された。これらは、いずれも 45MPa 輸送でも、見直すことでコストダウンにつながる。以下参照。

✓火炎暴露試験の試験条件

容器は、JPEC-S 0005 (2013)の火炎暴露試験に対応するために引き回し配管付安全弁が用いられる。漏洩リスク及びコストの観点からも、安全弁は容器に直付けされるのが望ましい。火炎暴露試験では、安全弁間の距離 1.65m 以内が規定されており、この距離を延長することにより引き回し配管が回避できる。

✓落下試験の試験条件と判定基準

落下試験の判定基準が、国内と海外で大きく異なる。JPEC—S005 では、落下試験後に最高充填圧力×125%×11,250 サイクルの耐久性を求めているのに対し、DOT-CFFC では最大充填圧力×1,000 サイクル、ISO11119-2/11119-3 では最高充填圧力×0.67×3,000 サイクルで合格としている。海外の規制は、「落下トラブルがあった場合は交換する」ことを前提にしている。日本においても同様前提での見直しが望まれる。

✓Type4 容器水素ガス透過試験、水素ガスサイクル試験

Type4 容器に限定して JPEC-S 0005 (2013)で定められている。水素ガスによる試験を実施することは、高コスト要因の一つである。透過試験のサブスケールでの実施、サイクル試験での容器内にオイルやグリコーゲン等液体を用いた試験実施などへの見直しが望まれる。

<マザーステーションへの適用に関連する法的課題>

- ・本システムは、需要に対して余剰供給能力を持つオンサイトステーションや液化水素型オフサイトステーション(マザー)からのオフサイトステーション(ドータ)への転送での適用も想定している。
- ・一方、一般則 7 条の 3(圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)において、圧縮水素運送自動車用容器に充填は不可、また 82MPa 以上の充填は不可となっているため、マザーステーションに超高压トレーラーを適用するためには、見直しが必要。

3. 2 成果の意義

本調査研究で検討したシステムを開発し、実装(一部実装も含む)ことにより、FCV 用水素供給に伴うエネルギー効率、CO2 排出量が、現状システムより約 10%改善が可能と見積もられた。

3. 3 開発項目別残課題

調査研究としては完了。今後、需要環境を見極めたうえで、具体的な開発、事業化に進むものと思われる。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

- ・超高压での輸送効率の限界が見極められたことから、長期的な大量輸送という観点では、液化水素や有機ハイドライド技術、さらにはパイプライン輸送の検討にシフトすべきと考えられる。
- ・その際、液化水素と有機ハイドライドについては、高压輸送より劣位と見られる WtT エネルギー効率、CO₂ 排出関連の取り組みが重要となるが、WtT プロセスに適用するエネルギー源についても併せて検討が必要である。ただし、再生可能エネルギーの適用を前提とすれば、CO₂ 排出は課題から外れることになる。
- ・一方、トレーラー容器をクッションタンクとして用いる充填方法と、マザー&ドータステーションへの適用は、エネルギー効率の向上と当面のコストダウンに資する可能性がある。実証、実装、また技術課題、法的課題の解決に取り組む価値があると思われる。
- ・具体的な技術課題、法的課題は前項(5)、(6)ご参照。また、それ以外のテーマとしては下記が考えられる。

<水素大量輸送>

- 国産液水ポンプの開発
- 液化効率向上技術の開発
- ボイルオフガス低減、回収、有効利用技術の開発
- 有機ハイドライド型水素ステーションの開発
- 都市ガスパイプラインへの水素混合、分離システムの開発

<省エネルギー、CO₂削減>

- 国産ブースターの開発
- 45MPa トレーラー容器を蓄圧器として用いるステーション、フォークリフト向け供給設備実証
- マザーステーションでのトレーラーへの夜間充填実証

<海外動向への対応*>

- 電気分解による水素製造、電力貯蔵とのデュアルユーズシステムの開発・実証
- FCV 以外の水素用途(バス・トラック、船舶、鉄道、発電、e-FUEL)の Well to X CO₂ 排出量の調査研究
- FCV 以外の輸送機器向け水素供給の技術課題、法的課題の調査研究

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他—
 - 該当なし
- 特許等—
 - 該当なし

別添 参考:国内外の水素インフラの現状

(1) 国内のFCV用水素インフラの現状

- ・2019年12月の時点で、営業中109か所、合計供給能力22,340kg/日、内訳は下記、図 参-1の通り。

高压輸送オフサイト:35か所、合計供給能力11,340kg/日

液化水素輸送オフサイト:16か所、合計供給能力5,184kg/日

オンサイト:17か所、合計供給能力5,508kg/日

移動式ステーション:41か所、合計供給能力308kg/日

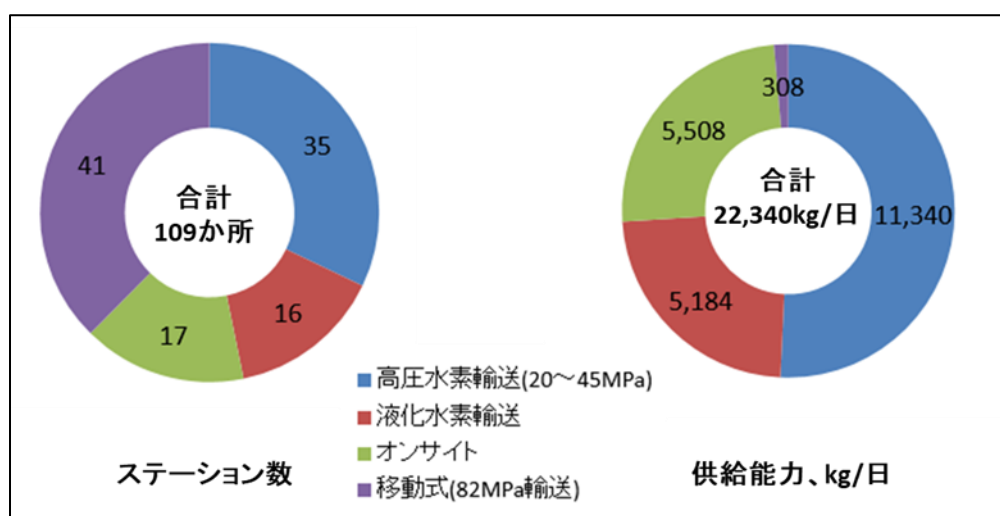


図 参-1 輸送形態別水素ステーション数/供給能力

- ・高压オフサイトへの輸送は、従来より工業用水素の配送に用いられていたカードル(20MPa)、チューブトレーラー(20MPa)、及び、水素ステーション用に開発された高压水素トレーラー(45MPa)が用いられている。
- ・45MPa トレーラー向けの高圧水素出荷設備は横浜市に1か所、600Nm³/hの能力で運用されている。
- ・現在の法規制は、輸送に関しては45MPaを、水素ステーションに関しては82MPaを常用圧力の上限として整備されている。超高压水素トレーラーの導入には、この圧力上限の見直しが大前提となる。
- ・一方、FCVの販売台数は2019年11月時点で約3,600台、1ステーションあたりの台数は32.6台、1ステーションあたりの平均販売量は4.8kg/日、一般的なステーション能力300Nm³/hr(27kg/hr)×12時間=324kg/日に対して稼働率1.5%のレベルにある。

(2) 海外の水素インフラの現状と研究開発動向

<米国>

- ・米国内では、加州が突出してFCV普及が進み、稼働中(2019年12月)ステーション43か所に対し、FCV

は約8,000台、1ステーションあたりの台数180台、平均で70~90kg/日、最高で300kg/日を超える販売に達しており、供給能力の増強が急務とされている。

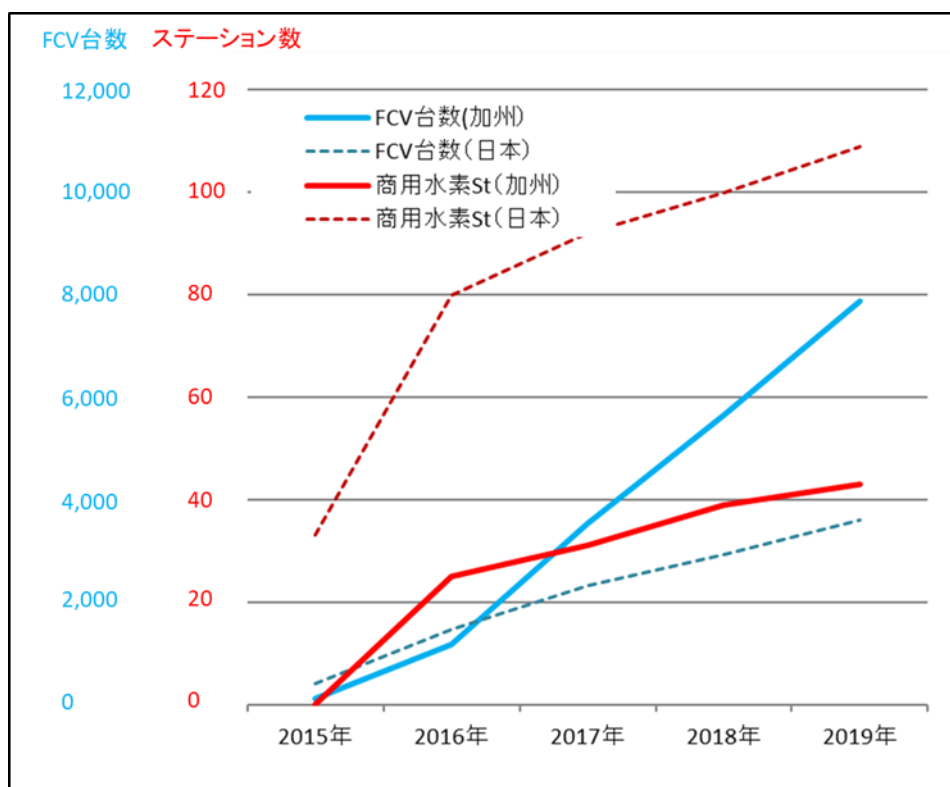


図 参-2 日本と加州のステーション数とFCV台数

- 稼働中43カ所のうち、高圧33、液水6、オンサイト電解3、パイプライン1となっており、高圧輸送はチューブトレーラーである。ステーション能力は180kg/日未満5、180~300kg/日が29、300kg/日以上が9である。
- 供給能力増は液化水素輸送を当面の対策としており、2020年末では、高圧が33→35の増であるのに対し、液水は5→17への増加が見込まれている。ステーション能力も300kg/日以上が9カ所から23カ所に増える見込みである(全体では43カ所から63カ所に増)。
- 超高圧輸送は大型移動式ステーションでの実証が進められているが、輸送のみの検討はなされていない。液化水素出荷設備の建設も発表されており(リンデ、エアリキッド)液化水素へのシフトが進んでいる。
- 水素価格は16\$/kgと日本より高価であるが、実質、自動車会社が負担していることから、消費に影響は与えていない。
- 自動車会社はZEV規制により、一定割合でのゼロエミッション車の販売を義務付けられていることもあり(クレジットの他社売買も可能)、FCVの低価格設定、上記の燃料代負担などの施策を講じている。
- 需要の伸びが著しく、また、自動車会社の経済的バックアップのある加州でもステーション経営の自立は課題となっており、水素価格10\$/kg(日本並み)で自立するためには、水素調達価格8\$/kg以下、ステーション能力500kg/日以上、建設コスト10,000\$/kg以下、運営コスト5\$/kg未満、稼働率70%以上が必要と認識されている。

<欧州>

- ・水素ステーションはドイツを中心に整備が進められている(全欧 128 か所、うち、ドイツ 79、イギリス 11、デンマーク 9、フランス 5、オーストリア 5 等、2019 年 12 月)。
- ・ドイツでは、政府と EU の補助金を受けて「H2Mobility」が建設を進めている。H2Mobility は、導入期の水素インフラの整備と運営を目的に、ダイムラー、リンデ、エアリキッド、OMV、シェル、トータルを中心とした民間の出資により設立された会社で、当面の設置目標は 2018 年 100 か所である。

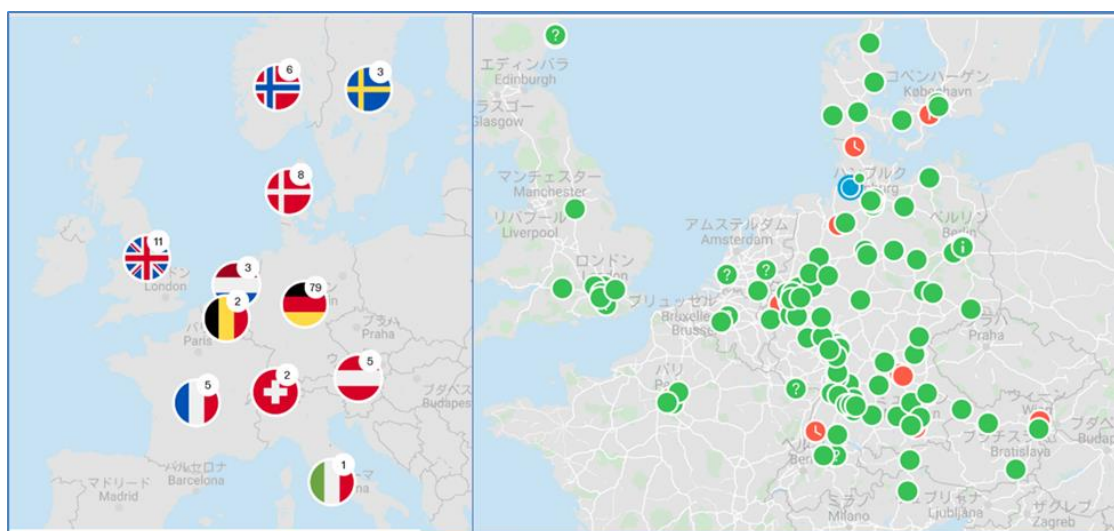


図 参-3 欧州の水素ステーション配置(2019 年 12 月)

- ・FCV は欧州自動車メーカーの取り組みが遅れていることもあり普及しておらず(800 台程度)、当面の目標も 2022 年 1,400 台と、いまだ実証試験レベルにある。これまでの主なメーカーはヒュンダイとルノー、ダイムラーが 2018 年に GLC F-Cell を投入。
- ・バスや重量車については、日本よりは取り組みが進んでおり、VanHool 等のメーカーを中心に、2022 年バス 360 台、中量車 273 台、トラック 31 台の目標を掲げて導入に取り組んでいる。
- ・FCV の普及が遅れていることから、水素の大量輸送は現在のところ課題となっていない。
- ・天然ガスパイプラインへの水素混合による水素輸送、有機ハイドライドによる水素輸送の検討は行われているが、水素貯蔵・輸送への問題意識は薄く、超高压輸送に関する検討も実施されていない。
- ・水素利用は再生可能電力の有効利用の観点での取り組みが中心であるため、水素製造も電気分解の適用検討が主体である。
- ・水素による再生可能電力の貯蔵、と貯蔵した水素の燃料電池による系統電力の供給、電気分解水素の工場、製鉄所、製油所への利用など、自動車以外の分野への大規模利用検討は日本よりも進んでいる。

以上

2-(4)-③ 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／ 新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究」

委託先：日鉄総研株式会社

- 成果ガリ (実施期間：2018年度～2019年度終了)
 - ・既存タイプI蓄圧器で使われている低合金鋼よりも高強度で、耐水素特性が未評価であることが判った ⇒ 材料試験による評価実施が課題。
 - ・Mo-V添加鋼は蓄圧器の薄肉化に寄与する可能性があることが判った ⇒ 未評価JIS材と共に、熱処理条件による強度と耐水素性のバランスの向上が課題。
 - ・高強度低合金鋼の適用により、最大で5割程度の鋼材重量低減の可能性があった ⇒ コスト低減効果の定量的な評価と実機化に向けた加工技術の検討が課題。

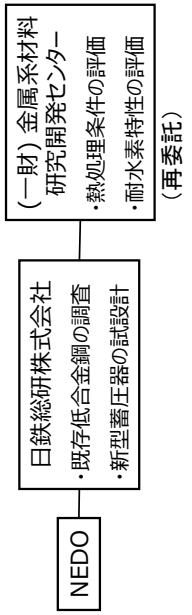
● 背景/研究内容・目的

タイプI 高压水素蓄圧器にはJIS材であるSCCM435やSNCM439といった比較的安価な汎用低合金鋼をベースとした強度低減材が用いられているが、高压による厚肉化はコスト増の要因であると共に大口径化の障壁ともなっている。また、一般論として低合金鋼は強度が大きいほど水素感受性が高まる傾向があるが、すべての鋼種でデータが揃っている訳ではない。本調査研究では、蓄圧器の薄肉化や大口径化によるコスト削減に寄与する可能性のある高強度の鋼材を見出すことを目的として、①既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を探索し、②強度に対する熱処理条件の影響を材料試験によって評価し、③耐水素特性を材料試験によって評価し、④蓄圧器を試設計して薄肉化の可能性を定量的に評価した。

● 研究目標

実施項目	目標
既存低合金鋼の評価	既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を特定する
熱処理条件の評価	熱処理条件が鋼材の引張特性に与える影響を定量的に把握する
耐水素特性の評価	既存低合金鋼およびMo-V添加鋼について、高強度化と耐水素特性のバランスを評価する
新型蓄圧器の試設計	高強度低合金鋼を想定した試設計を行って鋼材使用量低減の可能性を評価する

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

- ① JISの低合金鋼あるいは海外規格による相当材の耐水素特性を測定・評価した文献を調査した。その結果、SCR445、SNCM447、およびSNCM630が、既存蓄圧器の鋼材よりも高強度でありながら耐水素特性が未評価であることが判った。また、開発材であるMo-V添加鋼が耐水素鋼材として有望視されていることが判った。
- ② 低合金鋼の強度に対する熱処理条件の影響を材料試験によって評価した。その結果、以下のことが判った。(a) Mo-V添加鋼は通常の熱処理条件範囲内で1400MPaレベルの引張強さを得られる；(b) 低合金鋼において、硬さと引張強さは鋼種に寄らず強い相関性を有するので硬さ測定で引張強さをかなり正確に推定することができる；(c) Mo-V添加鋼は熱処理により引張強さを1200MPaから1400MPaまで増加させても伸びや絞りの低下が小さく、強度-延性バランスに優れる性質を有している。
- ③ 高压水素環境下で低合金鋼のSSRTを実施した。その結果、Mo-V添加鋼は引張強さを1400MPaまで増加させても延性の低下の程度は引張強さが1200MPaの同鋼種や他鋼種と同等であり、強度-耐水素脆性バランスについて他の鋼種よりも優れている可能性があることが判った。
- ④ 上記材料試験結果に基づいて新型高压水素蓄圧器の試設計を行い、薄肉化、鋼材使用量低減の可能性を評価した。その結果、既存蓄圧器の材料であるSNCM439強度低減材に比べて最大で5割近い鋼材使用量低減の可能性があったことが判った。

● 今後の課題

高強度であるが耐水素特性未評価のSCR445、SNCM447、およびSNCM630について材料試験によって耐水素特性を確認する。
上記鋼材にMo-V添加鋼も加えて、熱処理条件を変化させて強度と耐水素特性のバランスの向上を図る。
更に、SSRTの条件を広げてデータを拡充し、蓄圧器実機への適用の可能性を検討する。

● 実用化・事業化の見通し

2020年度以降の研究開発テーマとして、強度と耐水素特性のバランスの確認と向上を図ると共に、より実施設計に近い水準の試設計によってコスト低減効果を確認することで、実機の製作を可能とすることを目指す。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
既存低合金鋼の評価	高強度でありながら耐水素特性が未評価なJIS材があった	○
熱処理条件の評価	Mo-V添加鋼は1400MPaレベルの引張強さを得られることが判った	○
耐水素特性の評価	Mo-V添加鋼は強度-耐水素脆性バランスに優れている可能性があることが判った	○
新型蓄圧器の試設計	高強度低合金鋼が使えるなら最大で5割近い鋼材使用量低減の可能性があった	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
	0	0	

課題番号：2-(4)-③

研究開発名：「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／新型高圧水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究」

実施者：日鉄総研株式会社

一般財団法人金属系材料研究開発センター（再委託）

1. 調査研究概要

水素インフラの本格普及に向けて、経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2019年3月改訂）は、「2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す。」としており、そのために水素ステーションコストの引き下げ目標を要素技術ごとに設定した。水素蓄圧器については、導入当初～2016年に0.50億円だった蓄圧器コストを2015年頃には0.10億円まで引き下げる目標が示されている。経済産業省の「水素・燃料電池技術開発戦略」（2019年9月）でも同様の蓄圧器コスト低減目標を掲げると共に、具体的な技術開発事項としては「蓄圧器の寿命延長、新たな検査方法の開発」および「大容量、軽量容器の開発」の2点を挙げている。

本調査研究では、上記の「大容量、軽量容器の開発」のための選択肢の一つとしてタイプI蓄圧器用に従来よりも高強度な鋼材を見出すことを目的とした。

このような新型高圧水素蓄圧器用の鋼材候補を選定するに当たっては以下の点を考慮した：

- (a) 高強度であること（既存蓄圧器で使われている鋼材よりも高強度であること）
- (b) 厚肉円筒（継目なし）を前提として製造・加工上の問題が無いこと
- (c) 水素脆化が顕著であることが確認されていないこと
- (d) 高コストでないこと（そのため高価な特殊鋼は除外し、国内既存の低合金鋼を対象とする）

机上検討で選定した候補材について、材料試験で強度や耐水素特性を評価し、蓄圧器の試設計を行って薄肉化の効果を確認した。

2. 調査研究目標

本調査研究の目的は、既存の鉄鋼材料の中からタイプ I の高圧水素蓄圧器の薄肉化・大口径化を可能にして蓄圧器本体やステーション全体のコスト低減に寄与する可能性のある高強度の鋼材を見出すことである。このために、実施項目を 4 段階に分けて調査を実施した。実施項目とそれぞれの最終目標を表 1 に示す。

表 1 調査研究目標

実施項目	最終目標
(1) 既存低合金鋼の調査	新型蓄圧器の材料の候補として調査研究の対象とすべき鋼種を選定する。
(2) 低合金鋼の機械的性質に及ぼす熱処理条件の影響の評価	調査対象鋼種熱処理条件（冷却速度）と強度の関係を調査し、高強度化の範囲を把握する。
(3) 低合金鋼の高圧水素環境適合性評価	高圧水素環境下での SSRT によって、強度と耐水素特性とのバランスに優れた鋼種を選ぶ。
(4) 新型高圧水素蓄圧器の試設計	上記の調査結果を与件として新型蓄圧器の試設計を行い、薄肉化（鋼材使用量減少）の効果を確認する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 既存低合金鋼の調査

既存蓄圧器に使われている SCM435 や SA723 の強度（引張強さ 930MPa）と同水準以上の引張強さを持つ JIS の低合金鋼を表 2. に示す。このうち、930MPa を上回る鋼材は同表中に斜体太字で強調した通り 6 鋼種あることが判った。このうち、SCM440、SCM445、および SNCM439 は同表右端の欄に示したとおり、高強度にすると水素感受性が増すことが先行研究で確認されていることが判った。

SCr445、SNCM447 および SNCM630 については水素感受性を示すデータが無いので、更なる調査が必要である。ただし、この 3 鋼種は水素用途以外でも需要が限られており、調査時点で市中在庫がなかったため、材料試験は今後の課題とした。

表 2 既存蓄圧器用鋼材と同等以上の引張強さの JIS 低合金鋼

JIS 規格番号	表題	記号	標準成分 (%)	材料規格の引張強さ (N/mm ²)	降伏点 (0.2%耐力) (N/mm ²)	水素感受性データ
JIS G 4053	機械構造用合金鋼鋼材	SMnC443	Mn-0.5Cr	930	785	
		SCr440	0.4C-1Cr	930	785	
		SCr445	0.45C-1Cr	980	835	
		SCM435	1.1Cr-0.23Mo	930	785	
		SCM440	1.1Cr-0.23Mo	980	835	NEDOの先行研究、サンディア研DB、NASA
		SCM445	1.1Cr-0.23Mo	1030	885	サンディア研DB
		SNC836	3.25Ni-0.8Cr	930	785	
		SNCM439	1.8Ni-0.8Cr-0.23Mo	980	865	NEDOの先行研究、他
		SNCM447	1.8Ni-0.8Cr-0.23Mo	1030	930	
		SNCM625	3.25Ni-1.25Cr-0.23Mo	930	835	
		SNCM630	3.0Ni-3Cr-0.5Mo	1080	930	

(2) 製造パラメータの影響の評価

①低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響

低合金鋼の硬さ（引張強さと強い相関あり）に対する「溶体化処理後の冷却速度」と「焼戻し温度」の影響について実験的に調査した。

対象とした鋼種は、SNCM439、SA723 および Mo-V 添加鋼である。

熱処理条件は以下のとおりとした：

溶体化処理：870℃×5min→冷却速度(①100, ②10, ③5 °C/s)

焼き戻し処理：550, 600, 650℃ x 1hr

試験結果を図 1 a. 図 1 b. および図 1 c に示す。この結果から以下のことが判った：

- ・ 硬さは焼戻し処理温度に大きく依存する。一方、溶体化処理後の冷却速度の影響は上記調査範囲では小さい。
- ・ Mo-V 添加鋼は他の既存鋼より硬さレベルが一段と高い。

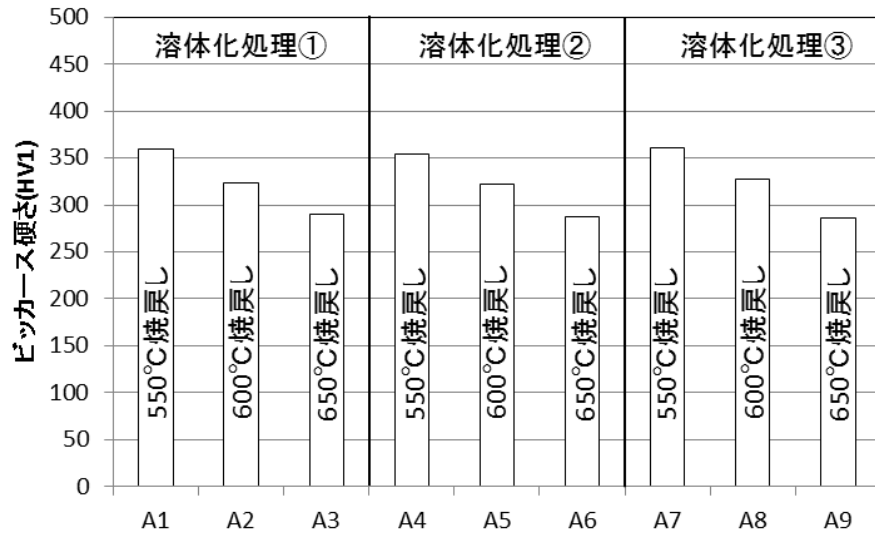


図 1a 低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響 (SNCM439)

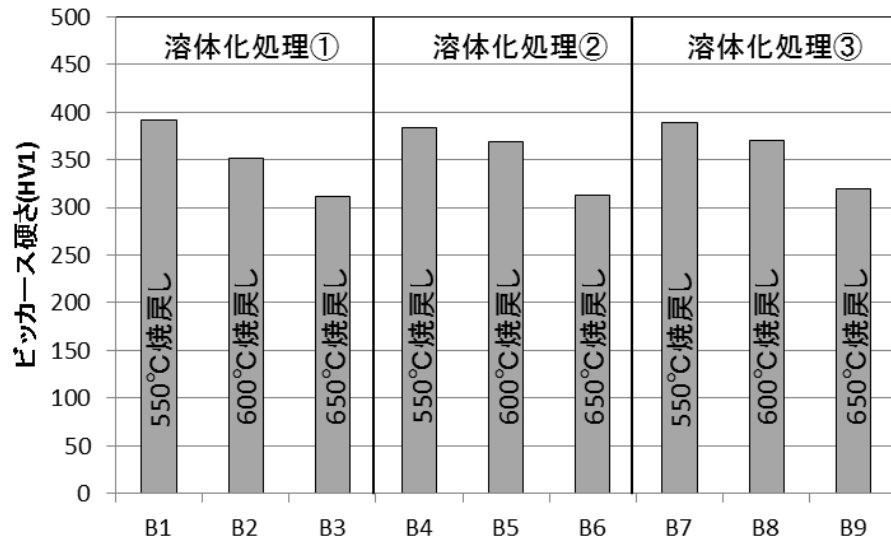


図 1b 低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響 (SA723)

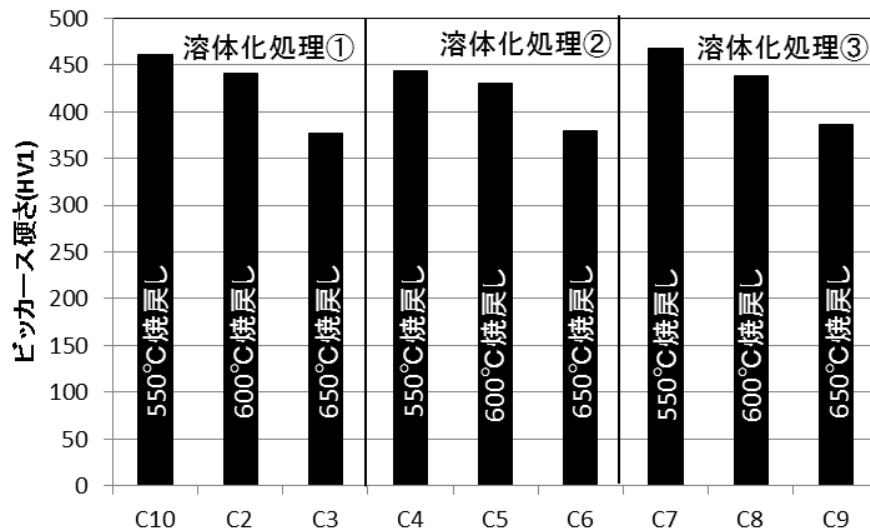


図 1c 低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響 (Mo-V 添加鋼)

②低合金鋼の常温引張性質に及ぼす熱処理条件の影響

低合金鋼の硬さおよび常温引張性質さに及ぼす熱処理条件の影響について実験的に調査した。熱処理条件は前項と同様である。鋼種は前項の3つに加えてSCM435も対象とした。試験結果のうち硬さおよび引張強さを図2 a. および図2 b. に示す。

この結果から以下のことが判った：

- ・ 0.2%耐力・引張強さは硬さと正の相関性、伸び・絞りには負の相関性を有する。
- ・ 引張強さと硬さの相関性は極めて強い。(相関係数はSNM439 : 3.227、 SA723 : 3.208、 Mo-V 添加鋼 : 3.208、 SCM435 : 3.131。平均して 3.2 ± 0.1 の範囲)
→ 低合金鋼の引張強さは硬さの値からある程度の精度で推定することが可能。
- ・ Mo-V 添加鋼の引張強さは他の鋼種より高く、最大の引張強さは 1450MPa を超える値が得られた。

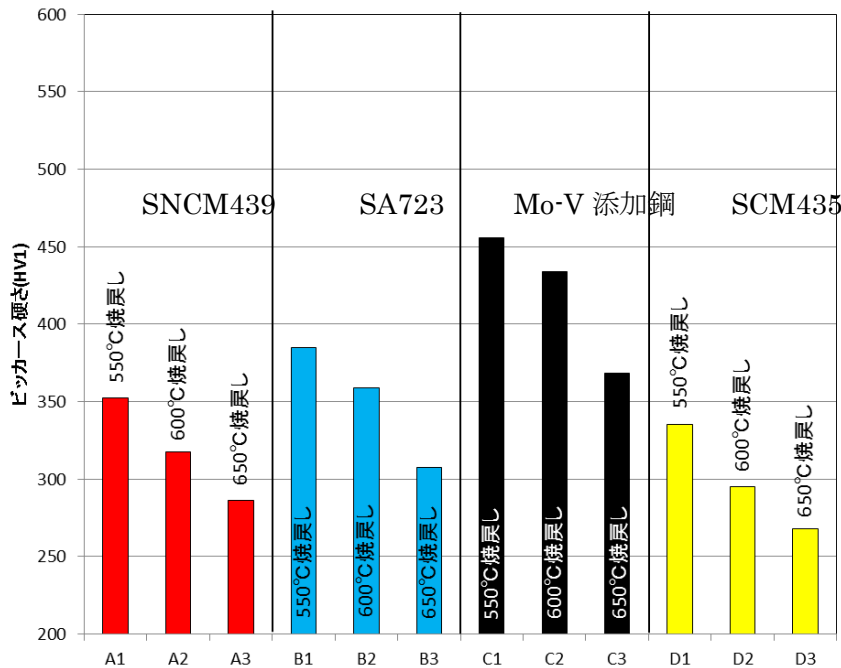


図 2a 低合金鋼のビッカース硬さに及ぼす熱処理条件の影響

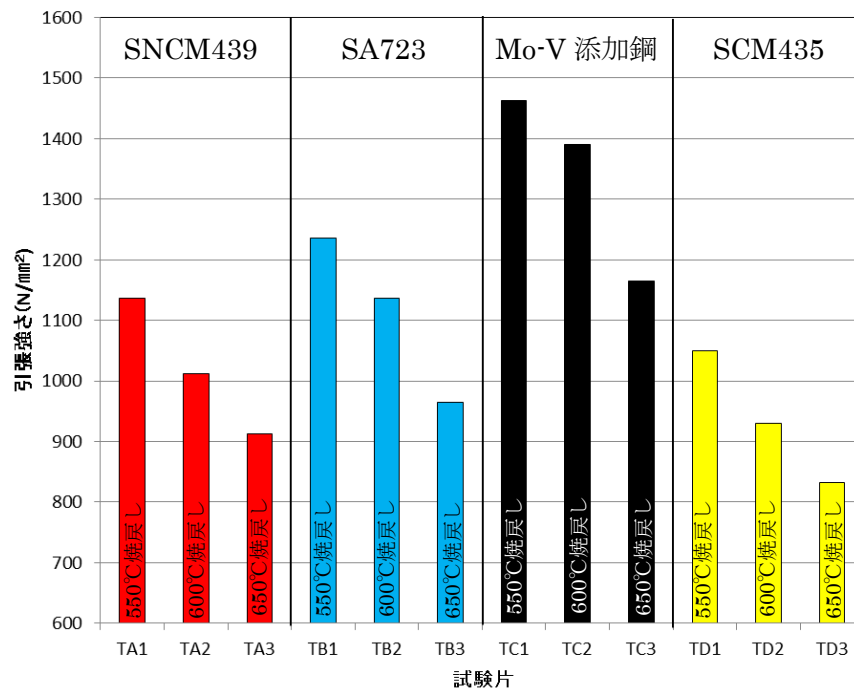


図 2b 低合金鋼の引張強さに及ぼす熱処理条件の影響

(3) 耐水素特性の評価

1200 および 1400MPa の最高レベルの強度を有する低合金鋼 3 種類 (引張強さ 1200MPa の SCM435 鋼、1200MPa の Mo-V 添加鋼、および 1400MPa の Mo-V 添加鋼) について、0.1MPa 窒素中、45MPa 水素中および 70MPa 水素中の各環境中で SSRT を実施した。SSRT の結果を図 3 a、図 3 b、および図 3 c. に示す。この試験結果から以下のことが判った：

- ・ -40°C、水素圧力 45MPa 以上では 3 鋼種とも水素脆化を起し、45MPa と 70MPa の差異は小さかった。
- ・ 引張強さ 1200MPa の場合、延性相対値(両環境の伸びの比率)は Mo-V 添加鋼の方が SCM435 鋼よりも大きかった。
- ・ Mo-V 添加鋼は引張強さ ≥ 1400 MPa でも弾性限内では破断せず、塑性変形後に破断が起こった。

以上より、Mo-V 添加鋼は引張強さ 1000MPa を超える高強度域において既存鋼より水素適合性を改善できる可能性があると考えられる。

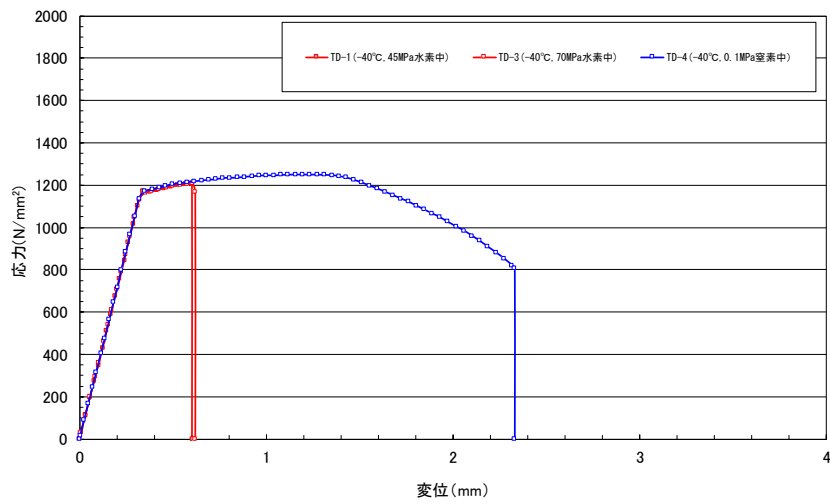


図 3a 引張強さ 1200MPa の SCM435 鋼の SSRT 結果

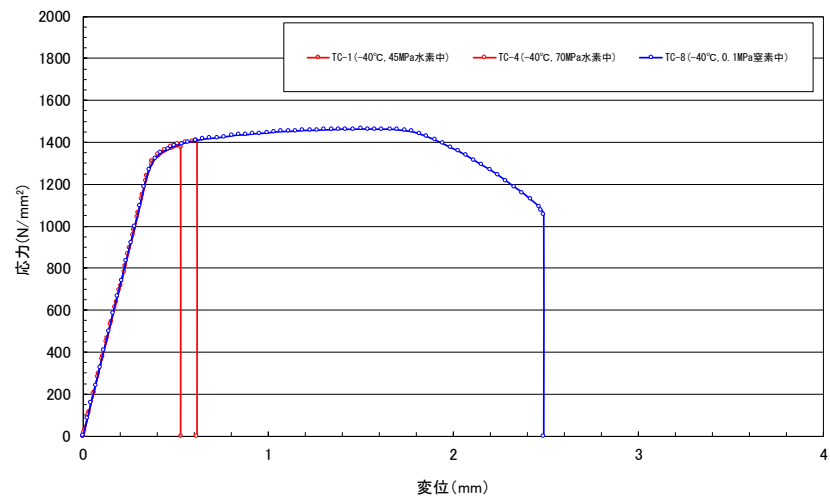


図 3b 引張強さ 1200MPa の Mo-V 添加鋼の SSRT 結果

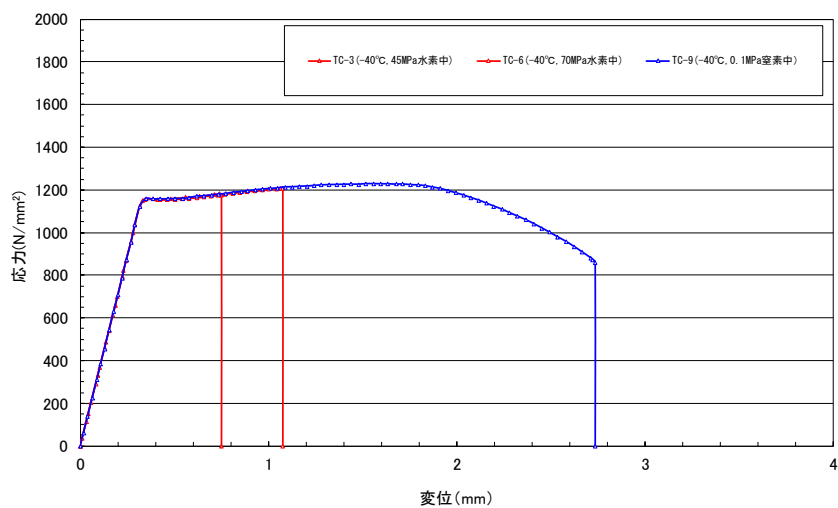


図 3c 引張強さ 1400MPa の Mo-V 添加鋼の SSRT 結果

(4) 新型高圧水素蓄圧器の試設計

強度の異なる以下の4鋼種を想定して蓄圧器を試設計し、結果を比較した。

- ・既存蓄圧器で使われている SNCM439 強度低減材
- ・高強度だが耐水素特性未評価の JIS 材 SNCM630 鋼
- ・Mo-V 添加鋼 (Su として実測値に対して余裕代を考慮した 1200MPa を想定)
- ・Mo-V 添加鋼 (Su として実測値の最高レベルである 1400MPa を想定)

試設計結果の例として、SNCM439 強度低減材による蓄圧器の組立図を図4. に示す。円筒胴部が主要部分であり、両端はネジ構造（既存蓄圧器で実績豊富な形式）となっている。他の鋼種による設計でも全体の形はほぼ同じで、違いは円筒胴部の肉厚である。

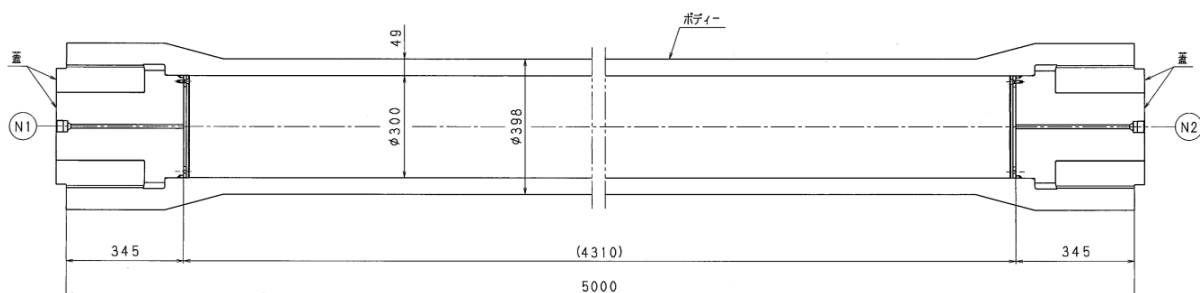


図4 SNCM439 強度低減材による蓄圧器の組立図

試設計結果の総括として、各ケースの円筒胴部寸法と各部鋼材重量の一覧を表3. に示す。また、重量の比較を図5. に視覚化する。図5. では、SNCM439 強度低減材のケールと比べて各ケースがどれだけの重量減になっているかの数値も示している。また、ボディを更に主要部（円筒胴部）と両端のネジ部（補強のために厚肉になっている部分）に分けて示している。

図5. に見られる通り、蓋とネジ部の重量は蓄圧器全体の中で半分前後を占めている一方、その重量は使用鋼材の強度に拠らずほぼ一定である。

表3 試設計結果総括

材料	引張強さ [MPa]	ID(内径) [mm]	T(肉厚) [mm]	OD(外径) [mm]	高圧水素蓄圧器重量 [kg]		
					ボディ	蓋(x2)	合計
SNCM439 強度低減材	880	300	49	398	2,430	570	2,910
SNCM630	1080	300	38	376	1,920	570	2,490
Mo-V 添加 鋼	1200	300	32	364	1,700	570	2,270
Mo-V 添加 高強度鋼	1400	300	27	354	1,524	570	2,094

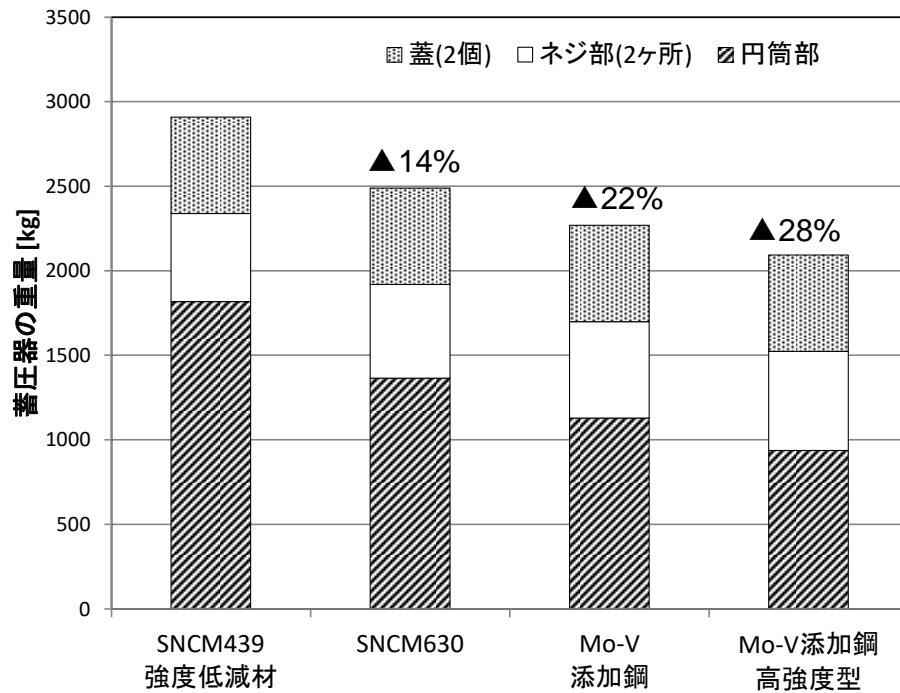


図5 鋼種による蓄圧器重量の比較

一方、蓄圧器の両端を絞り構造とすればネジ部と蓋の重量はかなり小さくなる。そこで、この部分を無視して円筒胴部のみを比較した場合を図6. に示す。引張強さ 1400MPa で両端絞り構造とすると既存の SNCM439 強度低減材に対して半分程度の鋼材重量となる可能性があることが判る。

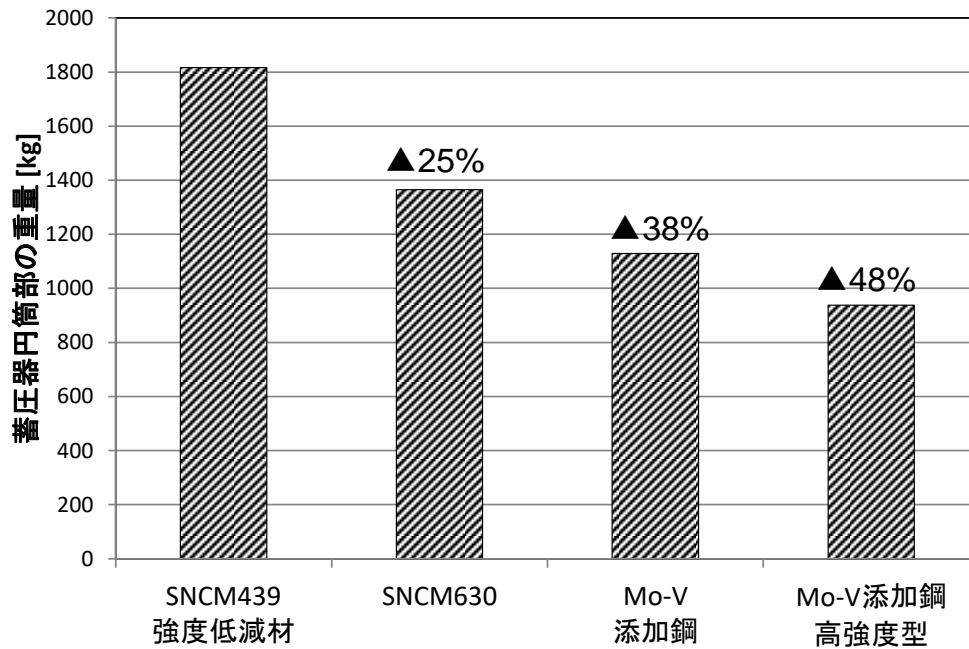


図6 蓄圧器の円筒胴部重量の比較

3. 2 成果の意義

タイプ I 蓄圧器は既に実用化されて水素ステーションで使われているが、コスト低減や大容量化のために、より強度の高い鋼材を利用することを検討した。コスト低減の観点からは、高価な特殊鋼ではなく既存の低合金鋼の中から候補材を探した。また、低合金鋼は強度を上げると水素感受性が上がる鋼種が多いことが判っているが、具体的な試験による評価は未だ受けていない鋼種が JIS 材の中にも残っていることが判った。更に、開発鋼であるが、Mo-V 添加鋼も強度と耐水素特性の優れたバランスを実現できる可能性があることが判った。

タイプ I 蓄圧器のコスト低減の可能性に向けて、本調査研究で見出した候補鋼材の実用化を目指して今後更なる研究開発をすることが推奨される。

3. 3 開発項目別残課題

JIS G 4035 の低合金鋼 SCr445、SNCM447、SNCM630 は高強度であるが耐水素特性のデータは得られていない。本調査研究の一環としてこれらの鋼材の材料試験も検討したが、これらの鋼材は市中の流通量が少なく、本事業の期間内では供試体を手に入できなかったため材料試験は将来の課題として残った。

高強度材料の利点を生かすためには蓄圧器両端部は蓋構造ではなく絞り構造が望ましいことが判ったが、候補材のような高強度鋼について絞り加工の可否などの具体的な検討は未実施である。今後、鋼材自体の開発・改良に加えて加工技術の検討が必要と考えられる。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

既存低合金鋼を使ってタイプ I 蓄圧器の薄肉化（コスト低減）を実現する可能性が示された。今後は、新型高圧水素蓄圧器の実機化に向けて、候補鋼材の耐水素特性の評価、強度と耐水素特性のバランスの向上を図ること、高強度鋼を蓄圧器に仕上げるための加工技術の検討（必要に応じて技術開発）に加えて、市場の要求（需要規模とタイミング、規格・基準による要求など）を把握して技術開発活動に適宜インプットしていくことが必要と考えられる。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

該当なし

－特許等－

該当なし

以上

(2-(4)-④)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 電気化学式水素ポンプの開発・実証」

株式会社加地テック(株)東レ株式会社

- 成果ガリ (実施期間 : 2018年度～2020年度)
- ・5Nm³/h×40MPa水素ポンプのスタック技術を開発し、スタック耐久性3000時間の実証と、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見通しを得た。
- ・2.2Nm³/h×20MPa水素ポンプシステムの技術を開発し、コンパクト性、低振動、低騒音について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。
- ・山梨向けKTC-A号機を高圧ガス保安法(一般則 6条対応)で製作し、実証試験を推進した。

● 背景(研究内容・目的)
 電気化学式水素ポンプシステムは、将来大容量化が可能となると、大幅に水素ステーションのコストを削減できる可能性がある。今回、吐出量5Nm³/hr以上、吐出圧力82MPa仕様のセル・スタック及びシステムの開発を行い、国内初の製品化を見通す。
 開発の仕様で、スタックの耐久性、システムの消費電力、コンパクト性、低振動、低騒音について機械式圧縮機対比で有利なことを実証し、高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応について水素ステーションで使用可能な性能・構造とすることで、将来の大容量化開発に繋げる。

● 研究目標

項目	目標
1	5Nm ³ /h×82MPa水素ポンプのセル・スタック技術開発
2	5Nm ³ /h×82MPa水素ポンプシステムの技術開発
3	水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応

● 実施体制及び分担等

NEDO	株式会社加地テック (実施項目2,3)
	東レ株式会社 (実施項目1)

● これまでの実施内容 / 研究成果

項目	実施内容	成果
1	<ul style="list-style-type: none"> 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する(5Nm³/h×82MPa)。 スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機(システム消費電力0.5kWh/Nm³)対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h×40MPa水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み。 5Nm³/h×40MPaスタック耐久性3000時間を実証し、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見込み。
2	<ul style="list-style-type: none"> 水素ポンプシステムの技術開発を完了する。 コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2.2Nm³/h×20MPa水素ポンプシステムの技術開発は達成見込み。 コンパクト性、低振動、低騒音について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。
3	<ul style="list-style-type: none"> 高圧ガス保安法：水素ステーションで使用可能な性能・構造とする 防爆規格：水素ステーションで使用可能な仕様とする 	<ul style="list-style-type: none"> 山梨向けKTC-A号機を高圧ガス保安法(一般則 6条対応)で製作し、実証試験を推進した。

● 今後の課題

項目	今後の課題	研究成果まとめ	評価
1	82MPa耐久性実証は未達。高温運転可能なスタックを開発できれば、システム消費電力を低減できると考える。	水素ポンプのセル・スタック技術開発	△
2	大型、高圧のシステムは成果の延長線上で可能であるが、スタックの消費電力が課題となっている。	水素ポンプシステムの技術開発	△
3	高圧ガス保安法、一般則7条3項準拠によるシステム製作。	高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応	△

● 実用化・事業化の見通し
 機械式の水素ステーション用圧縮機としての代替機となるためには、様々な課題(コスト、消費電力、法規、圧力、大型化)を解決しなければならぬ。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：2-(4)-④

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／電気化学式水素ポンプの開発・実証」

実施者：株式会社加地テック
東レ株式会社

1. 研究開発概要

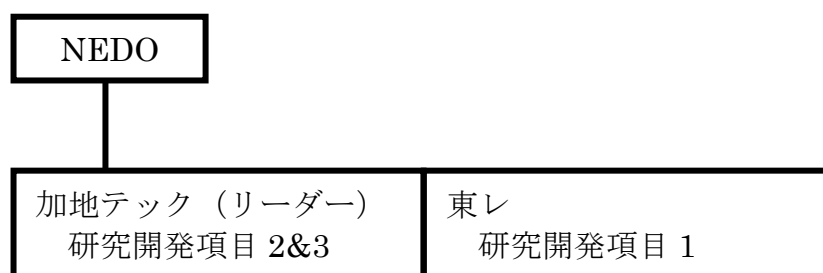
電気化学式水素ポンプシステムは、将来大容量化が可能となると、大幅に水素ステーションのコストを削減できる可能性がある。今回、吐出量 5Nm³/hr 以上、吐出圧力 82MPa 仕様のセル・スタック及びシステムの開発を行い、国内初の製品化を見通す。

開発の仕様で、スタックの耐久性、システムの消費電力、コンパクト性、低振動、低騒音について機械式圧縮機対比で有利なことを実証し、高压ガス保安法および国内防爆規格への対応について水素ステーションで使用可能な性能・構造とすることで、将来の大容量化開発に繋げる。

東レの前 NEDO 事業におけるスタックの開発成果として、独自開発したセル面積 100cm² のスタックで 0.9Nm³/h×40MPa までは達成できたが、製品化するには、更なるスタックの高压化、高容量化、加えて耐久性の確認が課題である。東レは、セル面積 100cm² のスタックをベースに、吐出量を 5Nm³/h 以上（セル数を 100cell 程度に増やす）、82MPa 仕様を目指した開発を目指す。

加地テックは、水素ステーションのコスト低減に関連する技術開発として、電気化学式水素ポンプ（以下水素ポンプと呼ぶ）の可能性を高く評価しており、将来大容量化が可能となると、大幅に水素ステーションのコストを削減できる要素が多数ある圧縮装置と成り得ると考えている。先行する外部ベンダーが開発する水素ポンプのユニットは、0.9Nm³/h×40MPa のスタックを搭載した独自開発品であるが、水素ステーションに求められる設計ではない。加地テックは、既存のユニットを参考にしながら、東レが開発する 5Nm³/h 以上×82MPa まで高压化、高容量化したスタックを搭載した、国内水素ステーションで使用可能（法規対応も含め）な水素ポンプシステムの開発を目指す。

(1) 研究体制



2. 研究開発目標

吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様の水素ポンプ（セル・スタック）及び同システムの技術開発を行い、国内初の製品化を見通す。本助成事業の研究開発項目と 2020 年度の目標を表 1 にまとめた。

研究開発項目 1

東レ株式会社は、吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様水素ポンプのセル・スタックを開発する（株式会社加地テックは同開発の高圧シール、耐圧構造について東レに技術協力する。2020 年度の目標は、スタックの耐久性（3,000hr）、システムの消費電力について機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。

研究開発項目 2

株式会社加地テックは、吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様の水素ポンプシステムを開発する。2020 年度の目標は、コンパクト性、低振動、低騒音について機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。

水素出荷設備で実使用における課題を抽出し、82MPa 仕様の水素ポンプシステムに反映する。

研究開発項目 3

加地テックは水素ポンプ（セル・スタック）及び同システムの国内法規の対応を担当する。水素ポンプ及び同システムを製品化するにあたり、高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応が必須である。水素ポンプは法規に例示がないため、高圧ガス保安協会(KHK)、産業安全技術協会 (TIIS) 等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な性能・構造とする必要がある。

表 1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(1) 5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発	水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了し、スタックの耐久性(3,000hr)、システムの消費電力について機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。
(2) 5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発	システムの技術開発を完了し、コンパクト性、低振動、低騒音について機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 水素出荷設備で実使用における課題を抽出し、82MPa 仕様の水素ポンプシステムに反映する。
(3) 水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応	1) 高圧ガス保安法 水素ポンプは法律に例示がないため、高圧ガス保安協会(KHK)等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な性能・構造とする。 2) 防爆規格 水素ポンプは規格に例示がないため、産業安全技術協会 (TIIS) 等に指導を仰ぎ、水素 ST で使用可能な仕様とする。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

- (1) 研究開発項目 1 : 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発 (担当: 東レ株式会社)

吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様水素ポンプのセル・スタックの技術開発を 2020 年度の最終目標として開発を推進した。得られた成果と達成度を表 2 に示す。

表 2 最終目標と成果・達成度

最終目標 (2020 年度)	成果(2020 年 9 月末時点)
水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する (5Nm ³ /h×82MPa)。	5Nm ³ /h×40MPa 水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み (△)。 【課題】 ・現状スタックによる 5Nm ³ /h×82MPa 耐久性実証を実施し、課題を抽出したうえで、スタック設計に反映させ、5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発を達成する。

◎ : 大幅達成 (特筆すべき成果有り) ○ : 達成 △ : 一部見未達 × : 未達

東レ開発の 5Nm³/h×40MPa 水素ポンプスタックおよび評価設備を図 1 に示す。



図 1 東レ開発の 5Nm³/h×40MPa 水素ポンプスタックおよび評価設備

本事業において、5Nm³/h×40MPa 水素ポンプのスタック技術、スタックの高容量化技術を開発し、図 2 に示すように、セルの大面积化とセルスタック化により、前事業の開発成果（電極面積 10cm² の単セル(水素吐出量 0.005Nm³/h)）対比 1000 倍の 5Nm³/h×40MPa 水素ポンプスタック技術開発を達成できる見通しを得た。

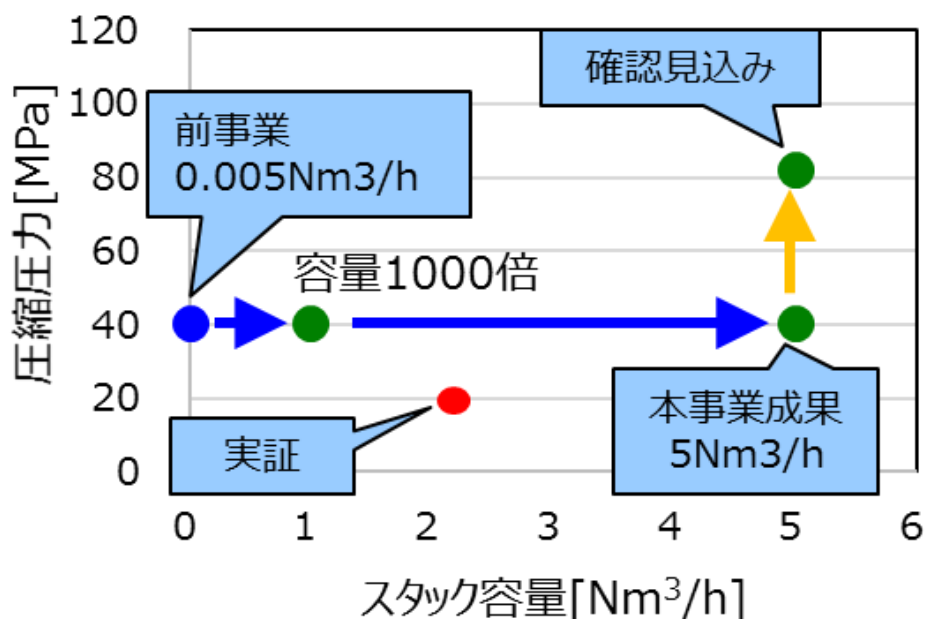


図 2 スタック高容量化

また、吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様水素ポンプのスタック耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機（システム消費電力 0.5kWh/Nm³）対比で有利なことを実証することを、2020 年度の最終目標として開発を推進した。得られた成果と達成度を表 3 に示す。

表 3 最終目標と成果・達成度

最終目標 (2020 年度)	成果(2020 年 9 月末時点)
スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機（システム消費電力 0.5kWh/Nm ³ ）対比で有利なことを実証する。	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h×40MPa スタック耐久性 3000 時間を実証できる見込み（現時点 500 時間）（○）。 60℃以上の高温運転により、スタックの消費電力 0.4kWh/Nm³を確認できる見込み（△）。 82MPa 圧縮は確認できる見込みであるが、耐久性実証は未達（△）。 <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 高温運転可能なスタックを開発できれば、システム消費電力を低減できると考える。

◎：大幅達成（特筆すべき成果有り） ○：達成 △：一部見未達 ×：未達

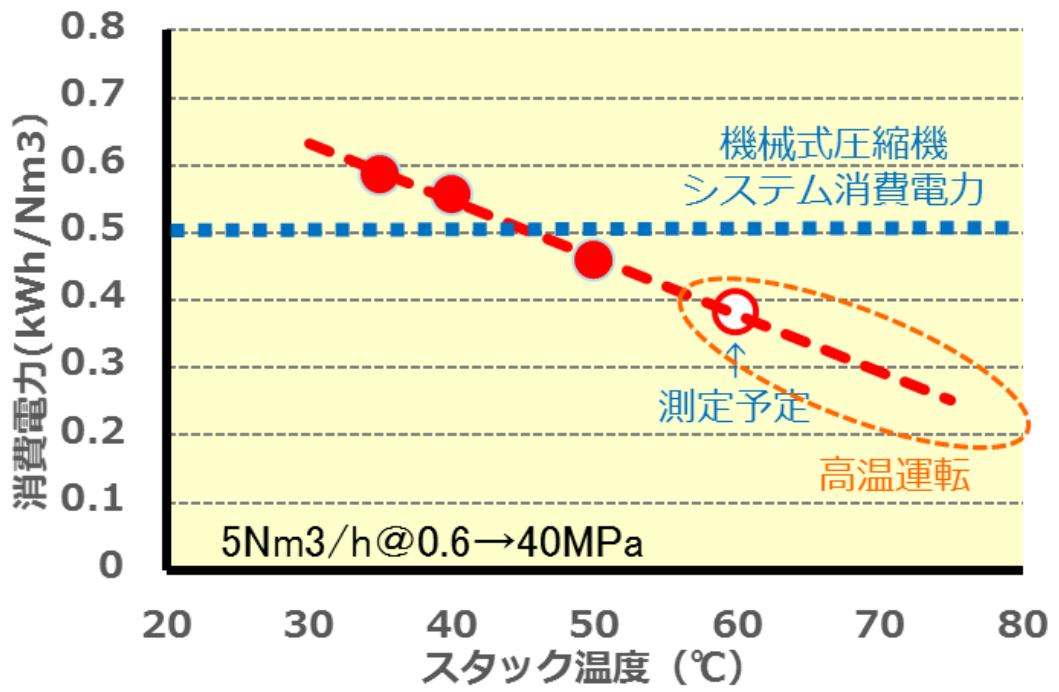


図3 スタック温度と消費電力の関係

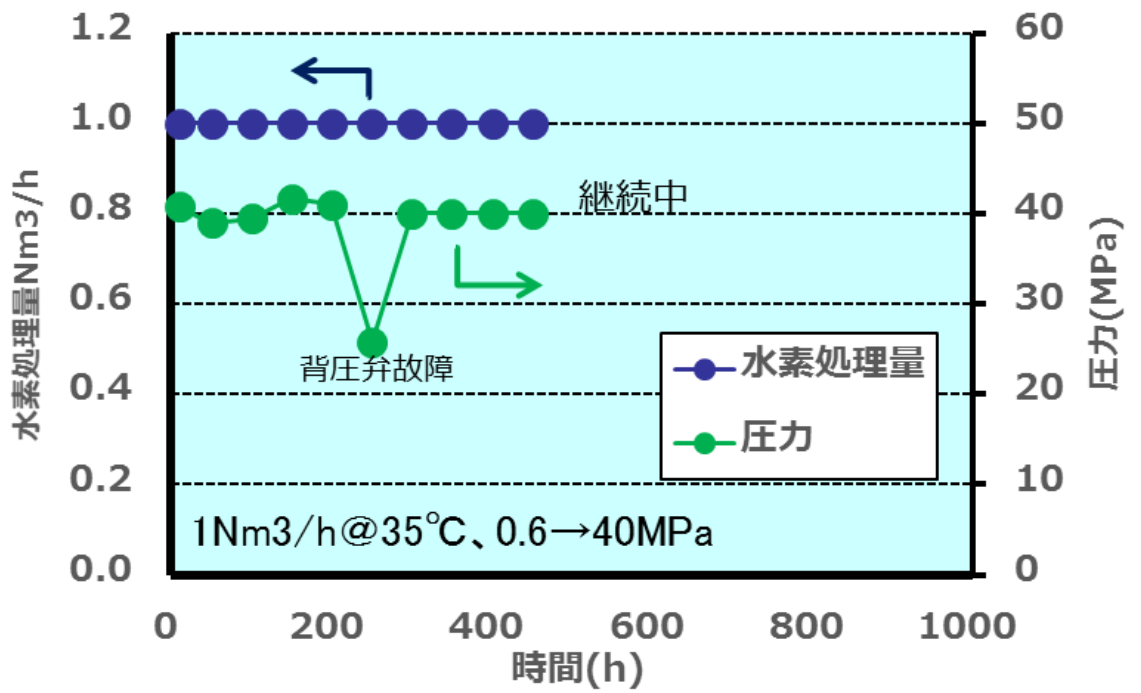


図4 耐久性評価

(2) 研究開発項目 2 : 5Nm³/h×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発

吐出量 5Nm³/h 以上、82MPa 仕様水素ポンプシステムの技術開発を 2020 年度の最終目標として開発を推進した。得られた成果と達成度を表 4 に示す。

表 4. 最終目標と成果・達成度

最終目標 (2020 年度)	成果(2020 年 9 月末時点)
5Nm ³ /h ×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発を完了する。	2.2Nm ³ /h×20MPa 水素ポンプシステムの技術開発は達成見込み (△)。

◎ : 大幅達成 (特筆すべき成果有り) ○ : 達成 △ : 一部見未達 × : 未達

加地テック開発の 2.2Nm³/h×20MPa 水素ポンプユニット (装置 No.KTC-A) を図 5 に示す。



図 5 加地テック開発の 2.2Nm³/h×20MPa 水素ポンプユニット (装置 No.KTC-A)

東レが開発したスタック 0.9 Nm³/h×40MPa および、2.2Nm³/h×20MPa を搭載した、水素ポンプユニットを製作し、水素ポンプの基本システム (加湿・除湿方法、基本運転制御、水分管理、温度制御など) に関して検証および確認をした。将来の大型化を見据えた水素ポンプシステムの基本技術を開発することができた。

また、水素ポンプシステムのコンパクト性、低振動、低騒音が機械式圧縮機対比で有利なことを実証することを、2020年度の最終目標として開発を推進した。得られた成果と達成度を表5に示す。

表5 最終目標と成果・達成度

最終目標 (2020年度)	成果(2020年9月末時点)
コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。	<ul style="list-style-type: none"> ・補器を含めた水素ポンプシステムの消費電力を把握した。(○) ・コンパクト性(対当社比-30%)、低振動(ほぼゼロ)、低騒音(-20db以上)について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。(○) ・山梨県企業局様向け KTC-A 号機 (2.2Nm³/h×20MPa)システムを11月頃に移設し、現地ベンチテストによる実証試験と課題抽出を行う予定。(△)

◎：大幅達成(特筆すべき成果有り) ○：達成 △：一部見未達 ×：未達

(3) 研究開発項目3：水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応

水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応を2020年度最終目標として開発を推進した。得られた成果と達成度を表6に示す。

表6 最終目標と成果・達成度

最終目標 (2020年度)	成果(2020年9月末時点)
<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法・・・水素ステーションで使用可能な性能・構造とする ・防爆規格・・・水素ステーションで使用可能な仕様とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・山梨向け KTC-A 号機を高圧ガス保安法(一般則6条対応)で設計・製作したが、水素ステーション対応である一般則第7条3項に準拠した設計・製作は未達となる(△)。 ・水素ポンプユニットのスタックは、高圧ガス保安法での分類で定めがないため、「圧縮機」と認められず、高圧ガス設備の「その他の圧力容器類」として扱われることとなった。圧縮機として認められた場合、大型化した場合も高圧ガス設備「圧縮機」とできるが、「その他の圧力容器類」で大型化・高圧化した場合、「特定設備」として扱われ、製造コストが高額となる。(○)

◎：大幅達成(特筆すべき成果有り) ○：達成 △：一部見未達 ×：未達

3. 2 成果の意義

本事業で得られた成果、および成果の意義を表7に示す。

表7 成果の意義

研究開発項目	成果	成果の意義
①	<ul style="list-style-type: none"> ・5Nm³/h×40MPa 水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み。 ・5Nm³/h×40MPa スタック耐久性3000時間を実証し、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> ・目標は未達となったが、将来の大型化を見据えた水素ポンプのスタックを開発できた。 ・高圧スタックの課題を抽出し、目標のシステム消費電力達成には更なる高温運転が必要であることを確認した。
②	<ul style="list-style-type: none"> ・2.2Nm³/h×20MPa 水素ポンプシステムの技術開発は達成見込。 ・コンパクト性，低振動，低騒音について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> ・目標は未達となったが、将来の大型化を見据えた水素ポンプの基本システムを開発することができた。 ・補器を含めた水素ポンプシステムの消費電力を把握した。
③	<ul style="list-style-type: none"> ・山梨向け KTC-A 号機を高圧ガス保安法（一般則 6 条対応）で製作 	<ul style="list-style-type: none"> ・水素ポンプが高圧ガス保安法で定義されていないため、現行法規では実用化、事業化が難しいことが明らかになった。

3. 3 開発項目別残課題

開発項目別の残課題と解決方針を表 8 に示す

表 8 残課題と解決方針

研究開発項目	成果	今後の課題と解決方針
①	<ul style="list-style-type: none"> ・5Nm³/h×40MPa 水素ポンプの スタック技術開発は達成見込み。 ・5Nm³/h×40MPa スタック耐久性 3000 時間を実証し、スタックの消費電力 0.4kWh/Nm³ を確認できる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> ・82MPa 圧縮は確認できる見込みであるが、耐久性実証は未達。 ・高温運転可能なスタックを開発できれば、システム消費電力を低減できると考える。
②	<ul style="list-style-type: none"> ・2.2Nm³/h×20MPa 水素ポンプシステムの技術開発は達成見込み。 ・コンパクト性、低振動、低騒音について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大型、高圧のシステムは成果の延長線上で可能であるが、スタックの消費電力が課題となっている。 ・山梨県企業局での KTC-A 号機、ベンチテストによる実証試験と課題抽出が残っている。
③	<ul style="list-style-type: none"> ・山梨向け KTC-A 号機を高圧ガス保安法（一般則 6 条対応）で製作 	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法、一般則 7 条 3 項準拠によるシステム製作が未達。

なお

- ・5Nm³/h×82MPa スタック耐久性実証については、COVID-19 の影響による開発遅延のため、実施期間内に完了することができなかった。
- ・システム消費電力が機械式圧縮機対比で有利なことを実証するためには、高温運転可能なスタックを開発する必要がある事を確認したが、COVID-19 の影響により実施期間内に開発を完了することができなかった。
- ・2.2Nm³/h×20MPa のスタックは、PV（圧力×容積）が 0.004 以下であり「高圧ガス設備」での受検となったが、大型化すると「特定設備」での受検となり、高圧ガス保安法への対応が非常に厳しくなる見込である。
- ・現状の高圧ガス保安法に準拠したスタックの強度設計は、例示基準がないため、加圧試験（4 倍加圧）を併用せざるを得ない。加えて、形状をコンパクトにするためには、設計圧力が 20MPa でも 82MPa 水素ステーションに使用する超高压設備と同等の材料が必要となり、製造コストが非常に高額となる。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

- ✓ 山梨県企業局様に KTC-A 号機 (2.2Nm³/h×20MPa)システムを移設し、ベンチテストによる実証試験を実施し、実用化に向けた課題を抽出する。(NEDO 助成期間終了後も継続使用して頂く予定)
- ✓ 電気化学式水素ポンプシステムは高圧ガス保安法上で圧縮機と分類されず、「その他の圧力容器類」となる。従って、高圧になると現行法規ではコストが非常に高く、商品化は難しい。
- ✓ 20MPa を上限とした場合は、事業化できる市場があると考ええる。
- ✓ スタックの高温点における消費電力の低減に成功しないと、既に機械式が使用されている分野・用途での事業化は厳しいと考える。

機械式の水素ステーション用圧縮機としての代替機となるためには、様々な課題（コスト、消費電力、法規、圧力、大型化）を解決しなければならない。

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
水素ポンプシステム 製品設計	2.2Nm ³ /hr×20MPa 開発・実証			5Nm ³ /hr×20MPa 改善開発	15~30Nm ³ /hr×20MPa 開発・実証		
生産/販売				5Nm ³ /hr×20MPa 販売開始	15~30Nm ³ /hr×20MPa 販売開始		

図 6 事業化に向けた開発スケジュール

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

該当なし

－特許等－

該当なし

(2-(4)-⑤)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発」

委託先：(一財)金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社

- 成果あり (実施期間：2020年度～2022年度予定)
- Mo-V添加鋼を中心に1000MPa以上の引張強さを有し、新型高圧水素蓄圧器に適用可能な高強度低合金鋼の化学成分と熱処理条件の提示。(予定)
- 高圧水素適合性未評価のJIS低合金鋼の中で1000MPa以上の引張強さを有し、新型高圧水素蓄圧器に適用可能な高強度低合金鋼の鋼種と熱処理条件の提示。(予定)
- 水素ステーション用蓄圧器に関する国内外の技術動向およびコスト構造等の調査、上記高強度低合金鋼を用いた新型蓄圧器の試設計を通じたコスト比較の実施。(予定)

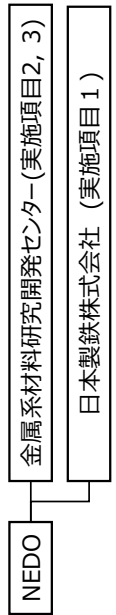
● 背景/研究内容・目的

本事業では、水素ステーションの2025年以降の本格普及および2030年以降の自立化に向けて、蓄圧器の大幅なコスト低減を実現すべく、現状より高強度を有する低合金鋼を適用した新型高圧蓄圧器に関する研究開発を行う。

● 研究目標

実施項目	目標
1. Mo-V添加鋼の高強度化と水素適合性の評価	左記鋼種を中心に引張強さが1000MPa以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を満たす材料についてSSRTによる水素適合性評価を行い、強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。
2. 高強度低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価	過去に水素適合性が未評価のJIS低合金鋼について、引張強さが1000MPa以上となる鋼種および熱処理条件を明らかにし、目標強度を満たす材料についてSSRTによる水素適合性評価を行い、強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。
3. 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査	水素ステーション用蓄圧器の国内外の技術動向およびコスト構造等の調査と上記特性発現鋼材を用いた蓄圧器の試設計を行うと共に現状とのコスト比較を行ってコスト改善効果を検証する。

● 実施体制及び分担



● これまでの実施内容 / 研究成果 (実施計画書に基づいて研究開発実施中)

- Mo-V添加鋼の高強度化と水素適合性の評価
 - ・試験対象鋼種の鑄塊溶製
 - ・熱間鍛造
 - ・熱処理用ブロック機械加工
 - ・熱処理
 - ・引張試験片機械加工
 - ・引張試験
- 高強度低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価
 - 上記1.と同様
- 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査
 - (1)水素ステーション用タイプ1蓄圧器のコスト低減目標値の設定
 - (2)水素ステーション用蓄圧器の最近の技術動向の調査

● 今後の課題

研究開発の実施に伴い、課題を明確にし、解決先を検討する。

● 実用化・事業化の見通し

研究開発の実施と並行して、具体的な実用化・事業化の見通しを検討する。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1. Mo-V添加鋼	強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。	△ (2021年2月達成予定)
2. 高強度低合金鋼規格材	強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。	△ (2021年2月達成予定)
3. 技術動向調査、コスト比較調査	現状とのコスト比較を行ってコスト改善効果を検証する。	△ (2021年2月達成予定)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：2-(4)-⑤

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／高強度低合金鋼を用いた新型高压蓄圧器に関する研究開発」

実施者：一般財団法人金属系材料研究開発センター

日本製鉄株式会社

1. 研究開発概要

本研究開発は水素ステーションでのコスト低減に寄与すべく、水素ステーションにおいて使用されているタイプ I 型の高压水素蓄圧器において、現在使用されている低合金鋼よりも高強度を有する鋼材を適用することにより、使用鋼材量の低減や蓄圧器製造プロセスに関するコスト低減を通じて蓄圧器に関する製造コストの低減を実現させることを目的としている。

実施内容は、前調査研究(課題番号 2-(4)-③)で明らかになった高強度化と水素適合性の両立の可能性を有する Mo-V 添加鋼と過去に水素適合性が未評価である低合金鋼規格材の評価を行うと共にコスト低減効果が期待される鋼材について、採取した実験データを用いて新型タンクの試設計とコスト比較調査を実施する。具体的な実施項目としては、以下の 3 項目に大別される。

(1) Mo-V 添加鋼等の高強度化と水素適合性の評価

本項目は、Mo-V 添加鋼を中心に引張強さ 1000 MPa 以上の高強度と水素適合性を両立する低合金鋼の製造条件範囲および水素蓄圧器への適合可否について検討するものである。

(2) 低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価

本項目は、JIS 規格に掲載されている低合金鋼の中で水素適合性が未評価の鋼種について、現在水素蓄圧器に使用されている鋼材よりも一段と高強度となる引張強さ 1000 MPa 以上を発現し、水素適合性と両立する鋼材の製造条件範囲および水素蓄圧器への適合可否について検討するものである。

(3) 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査

前調査研究では、Mo-V 添加鋼や他の高強度低合金鋼の高压水素タンクへの適用の可能性を鋼材の強度と耐水素特性の面から調査した結果、蓄圧器の薄肉化により最大で 5 割程度の鋼材重量削減の可能性があることが示された。本項目においては、新型高压蓄圧器の実用化を念頭に、実際に水素ステーションで採用されるための条件を整理した上で、研究開発にフィードバックする目的で国内外の水素ステーションの建設実態調査およびタイプ I 蓄圧器の需要予測と海外も含めた材料の技術規格・基準の調査を行う。また、蓄圧器のコストに関する情報を収集して、上記①および②において得られた有望な鋼材を用いた蓄圧器の試設計を実施し、コスト低減効果について明らかにするものである。

以上のように、本研究開発では、水素ステーションの 2025 年以降の本格普及および

2030年以降の自立化に向けて、蓄圧器の大幅なコスト低減を実現すべく、現状より高強度を有する低合金鋼を適用した新型高圧蓄圧器に関する研究開発を行う。

2. 研究開発目標

本研究開発を構成する上記のように3つの主要実施項目に大別されるが、項目(1)ではMo-V添加鋼を中心に、項目(2)ではJIS規格鋼について、各々1000MPa以上の引張強さを発現する化学成分あるいは鋼種とその製造プロセス条件を探索する。項目(3)ではそれらの結果を基に鋼材使用量を削減した新型蓄圧器の試設計を行うと共にコスト試算を行い、コスト低減効果を検証する。

各項目の最終目標を表1に示す。

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(1)Mo-V 添加鋼等の高強度化と水素適合性の評価	左記鋼種を中心に引張強さが 1000 MPa 以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにして SSRT による水素適合性評価を行い、強度と水素適合性が両立する製造プロセス条件を明らかにする。
(2)低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価	過去に水素適合性が未評価の JIS 低合金鋼について、引張強さが 1000 MPa 以上となる鋼種および熱処理条件を明らかにして SSRT による水素適合性評価を行い、強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。
(3)蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査	水素ステーション用蓄圧器の国内外の技術動向およびコスト構造等の調査と上記特性を発現する鋼材の特性データを用いて蓄圧器の試設計を行うと共に現状とのコスト比較を行ってコスト改善効果を検証する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

2020年8月より研究開発を開始し、現在、年度目標の達成のため研究開発を継続実施中。2020年度の達成目標とを表2に示す。

表2 研究開発の達成度

実施項目	中間目標 (2020年度)	達成内容	達成度
(1)Mo-V 添加鋼等の高強度化と水素適合性の評価	評価用素材を作製し、引張強さが1000MPa以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価を開始する。	<ul style="list-style-type: none"> Mo-V添加鋼に関して評価用素材を作製完了し、引張強さが1000MPa以上となる化学成分および熱処理条件を確認中。 目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価の条件を準備中。 	△ (2021年2月予定)
(2)低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価	SCr445、SNCM447、SNCM630等の低合金鋼のJIS規格成分材について評価用素材を作製し、各鋼種の引張強さが1000MPa以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価を開始する。(<ul style="list-style-type: none"> SCr445、SNCM447、SNCM630等の低合金鋼のJIS規格成分材について評価用素材を作製済。 各鋼種の引張強さが1000MPa以上となる化学成分および熱処理条件を確認中。 目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価の条件を準備中。 	△ (2021年2月予定)
(3)蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査	蓄圧器のコストに関するデータの収集・整理 コスト低減目標値と課題の提示	<ul style="list-style-type: none"> 蓄圧器のコストに関するデータの収集・整理中。 コスト低減目標値と課題の抽出中。 	△ (2021年2月予定)

(2-(4)-⑥)「超高压水素インフラ本格普及技術開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発」 委託先：スヴォンテクノロジージャパン（株）

● 成果ガリ（実施期間：2020年度～2022年度予定）
 ・ 研究の実施計画と実施内容を決定。超低消費電力水素検知センサエレメントの開発、高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発、自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発の3つの実施項目で決定。

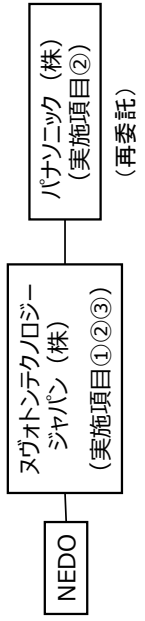
● 背景/研究内容・目的

2025年以降の水素ステーションの本格普及、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向けて、ステーション整備費、運営費のコストを低減する技術開発が重要である。一方で水素漏れを防ぐための「安心・安全」を担保するために費やすコストの課題が顕在化している。
 本事業では、半導体メモリ方式による超低消費電力かつ耐環境性の高い電池駆動型の水素検知センサを開発し、IoT技術を駆使した設置制約が緩くメンテナンス性に優れた低コストの水素検知システムを実現する。

● 研究目標

実施項目	目標@2020年度
①	センサエレメントの製造条件と回路レイアウト仕様の確立
②	完全防水型センサモジュールの開発課題と方策の明確化
③	小型、低消費電力のIoT対応センサモジュール仕様の確立

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

＜実施予定内容＞

- ① 超低消費電力水素検知センサエレメントの開発
 半導体メモリの技術を応用した、ヒーター不要な低消費電力のセンサエレメントの基礎製造条件を確立する。また、従来方式と同程度の水素検知感度を有しつつ1万分の1以下の超低消費電力を備えるセンサエレメントの回路構成を確立する。
- ② 高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発
 高温環境に耐える金属膜の選定と薄膜化・接合条件の検討を行い、「実装技術」、「成膜技術」に関する要素技術を開発して、性能と耐環境性を考慮したセンサモジュールの構造、工法の目途付けを行う。
- ③ 自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発
 センサエレメントに無線方式を組み込んだIoTセンサモジュールの低消費電力化を検討し仕様を確立する。さらに、電池、環境センサ、制御ICを1モジュール化することで小型で多機能なセンサモジュール仕様を確立する。

● 今後の課題

今後、各実施項目を進める中で具体的な課題を抽出する

● 実用化・事業化の見通し

量産時期：2025年度
 事業形態：エレメント販売
 モジュール販売
 システム販売
 サービス事業

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	実施内容、計画の設定	△
②	実施内容、計画の設定	△
③	実施内容、計画の設定	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：2-(4)-⑥

研究開発名：「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発」

実施者：ヌヴォトンテクノロジージャパン（株）

1. 研究開発概要

2025年以降の水素ステーションの本格普及、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向けて、ステーション整備費、運営費のコストを低減する技術開発が重要である。一方で水素漏れを防ぐための「安心・安全」を担保するために費やすコストの課題が顕在化している。

本事業では、半導体メモリ方式による超低消費電力かつ耐環境性の高い電池駆動型の水素検知センサを開発し、IoT技術を駆使した設置制約が緩くメンテナンス性に優れた低コストの水素検知システムを実現する

2. 研究開発目標

表1に各研究開発項目の中間目標(2020年度)と、参考に2022年度末の目標も示す。

表1 研究開発目標

実施項目	中間目標 (2020年度)
(1) 超低消費電力 水素検知センサエレメントの開発	センサエレメントの構造、 回路レイアウト仕様の確立 (水素雰囲気 0.5% 反応速度 ≤ 10sec) ＜参考:2022年度末目標＞ 水素雰囲気 0.1% 反応速度 ≤ 10sec 動作寿命 85°C 10年
(2) 高耐湿/防水対応 水素検知センサモジュールの開発	モジュール構造仕様、工法の課題抽出と対策方針 決定 水素透過膜の検証方法の決定 ＜参考:2022年度末目標＞ 完全防水型センサモジュール仕様 および信頼性評価の仕様確立
(3) 自己補正・故障予測システムを備えた 水素検知センサシステムの開発	小型で低消費電力のIoT対応センサモジュール仕 様の確立 (消費電力 ≤ 10mW) ＜参考：2022年度末目標＞ 開発したシステム技術をベースに警報(漏えい/ 故障)機能を搭載したシステム技術の確立

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 超低消費電力水素検知センサエレメントの開発

本研究開発項目では低消費電力を維持しながら水素検知感度を高めるセンサ製造条件、回路レイアウトの検討、最適化を行っている。

現時点での成果として、委託決定後に超低消費電力水素検知センサエレメントの開発目標を表2. に示すように設定したことを挙げる(△)。

2020 年度中に各種回路構成、及び基礎製造条件を確立し、2021 年度中に確立した回路、及び製造条件を最適化する目標を設定した。また、本センサの限界寿命、及び信頼性に関しては、半導体チップで用いる加速評価や限界値評価の考え方を導入し、信頼性評価に必要なモデルの構築、及び評価手法の確立を 2022 年度中に確立する予定である。

表 2 超消費電力水素検知センサエレメント 開発目標

	年度計画	マイルストーン	目標仕様
2020年度	2020年度はセンサ構造及び、回路レイアウトの検討を通じ、低消費電力を維持しながらセンサ感度を高める。	センサエレメントの構造、回路レイアウト仕様の確立	暫定仕様案 水素雰囲気0.5% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$
2021年度	2021年度はセンサ構造及び、回路レイアウトの最適化を進め、実使用を想定したセンサ感度を実現する。	センサエレメントの構造、回路レイアウトの最適化	暫定仕様案 水素雰囲気0.1% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$
2022年度	2021年度までに開発したセンサエレメントをベースに信頼性評価の仕様を確立する。	センサエレメント用信頼性評価の仕様確立	暫定仕様案 85°C10年動作

目標に対する現状の特性を図 1. に示す。現状は 0.8%水素雰囲気では 10 秒以内での反応が達成できており、また 0.1%でのセンサ電流変化も見られているが、反応速度は目標の 10 秒に対して未達である。

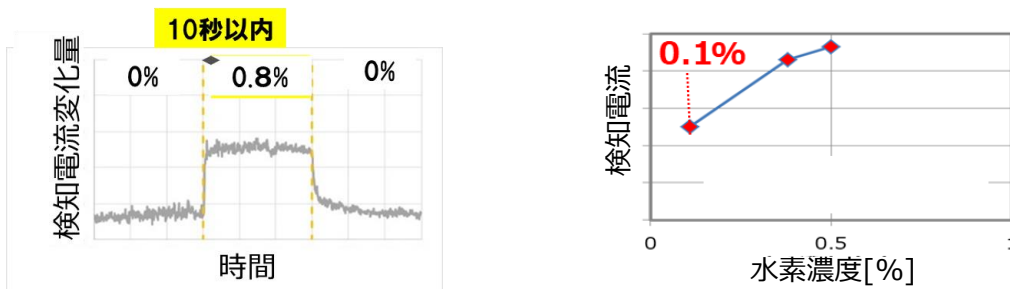


図 1 現状のセンサエレメントの水素反応特性、及び水素濃度に対する検知電流の変化

センサ性能改善には製造条件、及び回路構成の最適化が必要である。そこで、2020 年 10 月に当社はセンサエレメント特性改善用に新規マスクセットを立ち上げた。マスクセットへ搭載したパターン内容代表例を図 2 に示す。製造条件検討パターンには様々なセンサエレメントサイズ及び形状、また開口窓サイズ、形状を持つセンサエレメントを用意し、本マスクセットでセンサエレメントの成膜条件及び膜厚、水素を取り込む開口窓の形成条件とセンサ感度、消費電力の関係

を検証することで、最適なプロセス条件を見出すことが出来る。回路に関しては、センサエレメントの並列化等、高感度化が可能なパターンを搭載しており、本パターンでセンサ動作条件の最適化を実施することで、更なる性能改善が可能と考える。

本マスクセットは 10 月に設計完了しており、マスクセットを適用した実験ロットを試作中である。試作完了後、特性一次確認を 2021 年 3 月末迄に実施し、中間目標の達成可否を確認する。

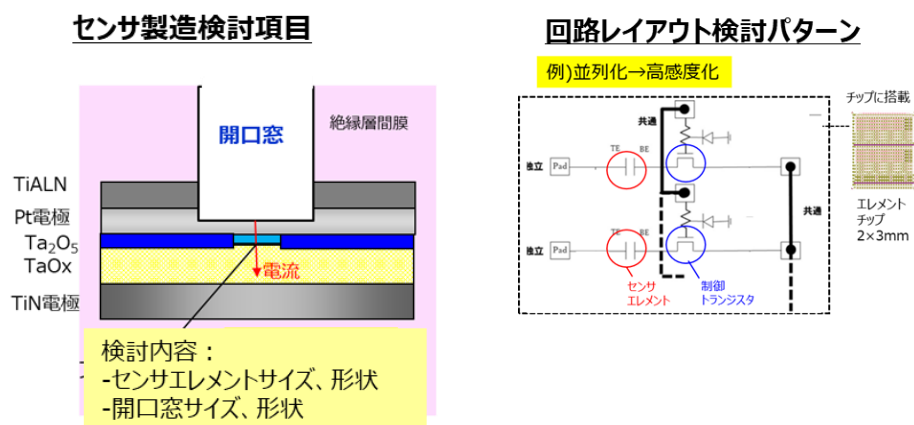


図 2 センサ製造検討項目と回路レイアウトパターンの一例

(2) 高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発

本研究項目では高湿環境に耐える金属膜の選定と薄膜化・接合条件の検討を行い、「実装技術」、「成膜技術」に関する要素技術を開発して、性能と耐環境性を考慮したセンサモジュールの構造、工法の目途付けを行う。

現時点での成果として、表 3.に示す通り、最適な構造と工法を確立するための計画作成と目標設定が完了したことを挙げる (△)。

構造検討の具体案として図 3.に検討中の一例である水素透過膜付きセンサパッケージを示す。具体的にはセラミック基板表面を水素透過膜で蓋をする構造となっている。この膜は水素透過するが水分やその他ガスは透過しない防湿水素透過膜であり、これによりセンサ素子は安定した水素検知することが可能となる。上記の構造案に対して水素透過膜材料の決定と、水素透過膜とセラミック基板の接合プロセスの確立等が主な研究開発課題となる。

表 3 高耐湿/防水水素検知センサモジュール 開発目標

	年度計画	マイルストーン	目標仕様
2020年度	2020年度は高耐湿化に向けたモジュール構造、工法を検討し、耐湿性向上の取組を進める。 水素透過膜の性能検証・実現性検討の方針を策定する。	モジュール構造仕様、工法の課題抽出と対策方針決定 水素透過膜の検証方法の決定	
2021年度	2021年度は2020年度に決定した構造、工法をベースに耐湿、防水筐体の検討を進め、高耐湿/防水センサモジュールを開発する。 水素透過膜との組み合わせを考慮し、実使用を想定したセンサ感度を実現する。	高耐湿/防水センサモジュールの仕様確立	暫定仕様案 1)水素雰囲気90% 湿度100% 反応速度 ≤ 30sec 2)水素雰囲気1% 湿度100% 反応速度 ≤ 30sec
2022年度	2021年度までに開発したセンサモジュールをベースに信頼性評価の仕様を確立する。	センサモジュール用信頼性評価の仕様確立	暫定仕様案 湿度100% 5年動作

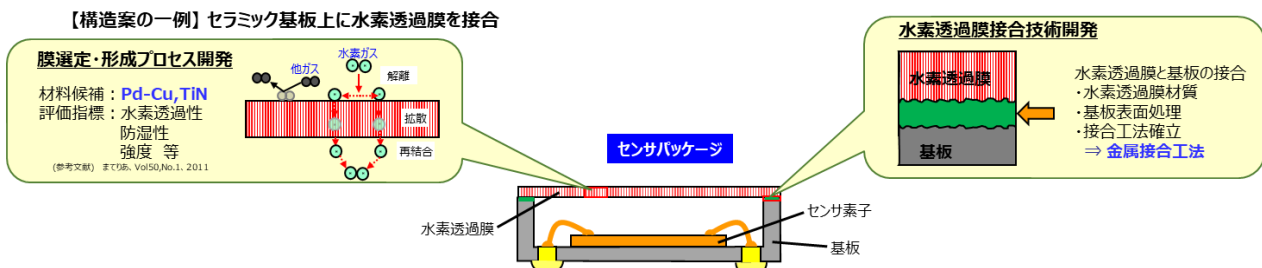


図 3 検討構造の一例（水素透過膜付きセンサパッケージ）

（3）自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発

本研究開発項目では、水素ステーションにおいてあらゆる箇所の水素漏れ検知が可能な電池駆動の IoT(無線)対応センサモジュールと水素検知センサシステムの検討、開発を行っている。

現時点での成果として、委託決定後に自己補正、故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発目標を表 4.に示すように設定したことを挙げる(△)。

2020 年度中に (1) の超低消費電力水素検知センサエレメントの開発と並行して、無線方式/モジュールの低消費電力化の検討を行い、IoT 対応センサモジュールの仕様を確立する目標を設定した。また、図 4.に示すように IoT 対応センサモジュールは、無線、電池、センサエレメント、環境センサ、制御 IC を 1 モジュール化し、多機能化を実現しながら小型化を目指す。

2021 年度は、仕様確立 (2021 年 3 月) した IoT 対応センサモジュールを元に、周辺環境(温度、湿度、気圧、振動等)のデータ取得を行い、その収集したデータと水素濃度との紐付けを行い、自己濃度補正技術を確立する。更に、センサエレメントの水素濃度検知特性の経時劣化(検知ベース電流のドリフト)を、低抵抗化/高抵抗化パルスを適切に印加することで制御し、検知ベース電流を適正範囲に補正する制御アルゴリズムを確立し、濃度/経時劣化を自己補正可能な IoT 対応センサモジュールの開発を 2022 年 3 月迄に行う。

また、IoT 対応センサモジュールの連続動作寿命評価を元に、センサエレメントの寿命予測モデルを構築し、クラウドシステムで故障予測を可能とする。更に、無線を用いたセンサエレメントの駆動/補正条件の遠隔アップデート技術を確立することで、IoT 対応センサモジュールの信頼性を高める。そして、上記技術確立に加え、警報(漏洩/故障)機能を搭載した水素センサネットワークシステムの仕様を 2023 年 3 月迄に確立する予定である。

表4 自己補正、故障予測システムを備えた水素検知センサシステム 開発目標

	年度計画	マイルストーン	目標仕様
2020年度	2020年度は小型で低消費電力化に対応したIoT対応センサモジュールの仕様検討を行う。	低消費電力、IoT対応センサモジュールの仕様確立	IoT方式決定 低電力回路設計完 ($\leq 10\text{mW}$)
2021年度	2021年度は2020年度に仕様検討したIoT対応センサモジュールをもとに、使用環境下での自己補正技術を確立する。	自己補正技術の仕様確立	自己補正アルゴリズムの確立
2022年度	2021年度までに開発したシステム技術をベースに警報(漏洩/故障)機能を搭載したシステム技術を確立する。	故障予測データベース構築、警報機能の仕様確立	故障予測モデル完成

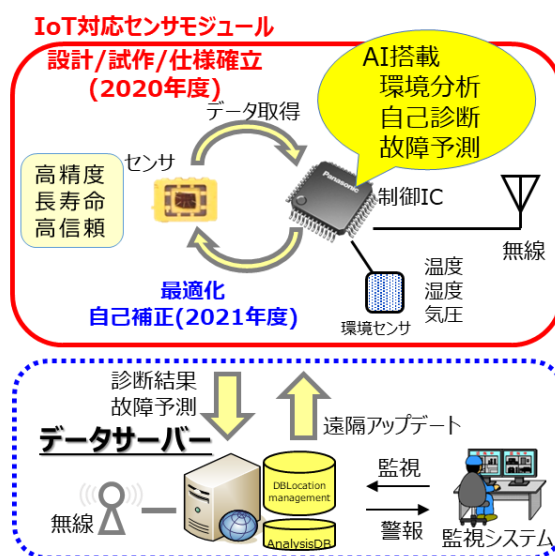


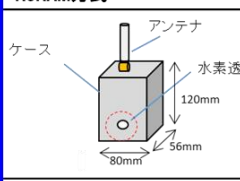


図 4 IoT 対応センサモジュール/システムコンセプト

目標に対する現状のIoT 対応センサモジュールの仕様検討状況を表 5.に示す。現状は、ゲートウェイ（GW）の設置が不要で低コスト、かつ低消費で通信安定性が高い無線通信方式 LTE-Cat.M1 を選定し、（1）超低消費電力水素検知センサエレメントの開発の取り組みと合わせ、電池駆動での長時間連続動作が実現できる見込みであるが、電池寿命の目標 5 年以上は未達である。電池寿命のさらなる向上には、（1）の水素検知センサエレメント、IoT 対応センサモジュール、電池容量の最適化が必要であり、IoT 対応センサモジュール 1 次試作機（12 月完成予定）の実動作評価を通じて、課題の抽出を行い、さらなる低電力化設計を行い、2021 年度に 2 次試作機を製作する予定である。

使用湿度範囲は、現状未評価であるが、(2)の高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発で湿度100%以下での検知技術を確立する予定である。

また、他社に対しては、圧倒的な低消費電力(目標9.4mW)で差別化し、小型で場所を選ばず容易に設置できるIoT対応センサモジュールを実現見込みである。

表5 ターゲット仕様検討状況(超低消費電力化 $\leq 10\text{mW}$)

品名	IoT対応水素センサモジュール(開発中)	無線ガス検知器(KD-100B)	XEN-5320 WIFI version	
研究開発機関	ヌヴォンテクノロジージャパン	新コスモス電機	Sensor Integration	
水素センサー	・ReRAM方式	・接触燃焼方式	・熱伝導式	
モジュール外観				
仕様	無線方式	LTE-Cat. M1(スター型低コスト) ○	ISA100.11a(メッシュ型GW必要) △	WiFi(短距離、消費電力大) ×
	保護等級	IP65 ○	IP65 ○	未対応 ×
	使用温湿度範囲	-20~75℃/未→目標 $\leq 100\%RH$ ○	-10℃~50℃/10~90%RH ○	-20℃~55℃/0~95%RH ○
	電源	リチウム電池(7.7Ah) ○	DC24V(有線) ×	USB / Li-ion電池(0.95Ah) ○
	消費電力	平均9.4mW → 目標 電池寿命5年以上 ○	最大3.5W(ヒータ必須で電力大) ×	241mW ×
	外形寸法	120x80x56mm(アンテナ含まず) ○	H338×W146×D160mm ×	63×51×24mm ○
搭載センサ	水素/温度/湿度/気圧	水素/可燃性ガス	水素/温度/湿度	

3.2 成果の意義

本事業の成果の意義は従来では実現できない、場所を選ばず容易に設置できる水素検知センサシステムを研究開発することにより、安心安全な水素社会を実現することにある。図5に本委託事業で描く水素社会における水素検知センサの在り方を示す。

また水素ステーションでは水素漏れ防止に費やすコスト課題が顕在化している。本事業ではIoT技術を駆使して、設置制約の緩和だけでなくメンテナンスに優れた低コストの水素検知センサシステムを実現可能である。

プロジェクトの達成状況としては、「3.1」項で示すとおり、実施計画書を作成して目標及び計画を設定した段階である。

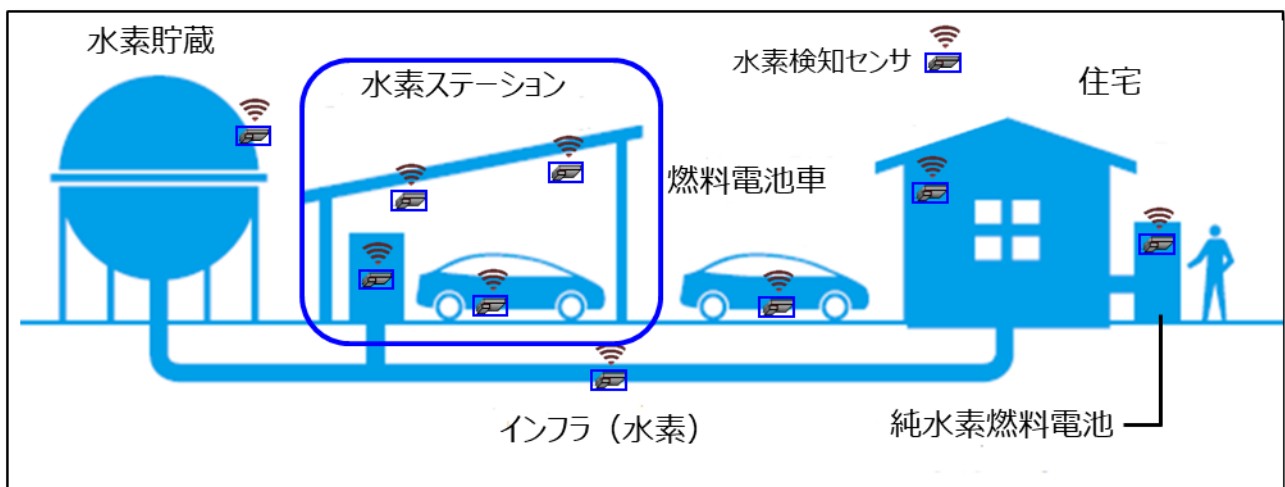


図5. 本委託事業で描く水素社会における水素検知センサの在り方

3. 4 開発項目別残課題

今後、各実施項目を進める中で具体的な課題を抽出する。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 実用化・事業化の考え方

初めに水素検知センサのビジネスレイヤを説明する。図 6.に示すように水素検知センサはセンサエレメント、センサモジュール、センサシステムにビジネスレイヤを分類することができる。

「4.2」項に示す今後成長すると予想される新しい水素検知センサ用途（IoT、多湿環境）への展開をターゲットに各ビジネスレイヤをコンカレントに実用化を進める。



図 6. 水素検知センサのビジネスレイヤ

4. 2 実用化・事業化に向けた戦略

まず、水素検知センサビジネスの市場予測について説明する。図 7.は水素検知センサビジネスについて、横軸を消費電力、縦軸を耐環境性（防水性）で表現したポートフォリオである。

従来の水素検知センサは黄色網掛けに示すとおり、主に定置式の漏れ管理用途であり、水素プラントや半導体工場、燃料電池車（FCV）等に使用されている。一方で、従来の水素検知センサでは展開できない市場の潜在ニーズがあると私たちは推察している。

具体的には、赤色網掛けに示す IoT 化(無線化)が必要な設置制約のある箇所での水素検知センサの市場と青色網掛けに示す 100%に近い高湿度で完全防水性が要求される箇所での水素検知センサの市場である。

IoT 化が必要な市場に関しては、本研究で開発を実施する超低消費電力を活かした IoT/電池駆動センサモジュールの実現により新規参入できると考えている。

また高耐湿/防水のモジュールを本研究開発で実現することにより 100%に近い多湿環境化での水素検知による水素制御や水素漏れ管理が必要な市場に新規参入できると考えている。

本研究で開発する技術をベースに、この2つの新規市場にフォーカスして市場獲得を目論んでいる。

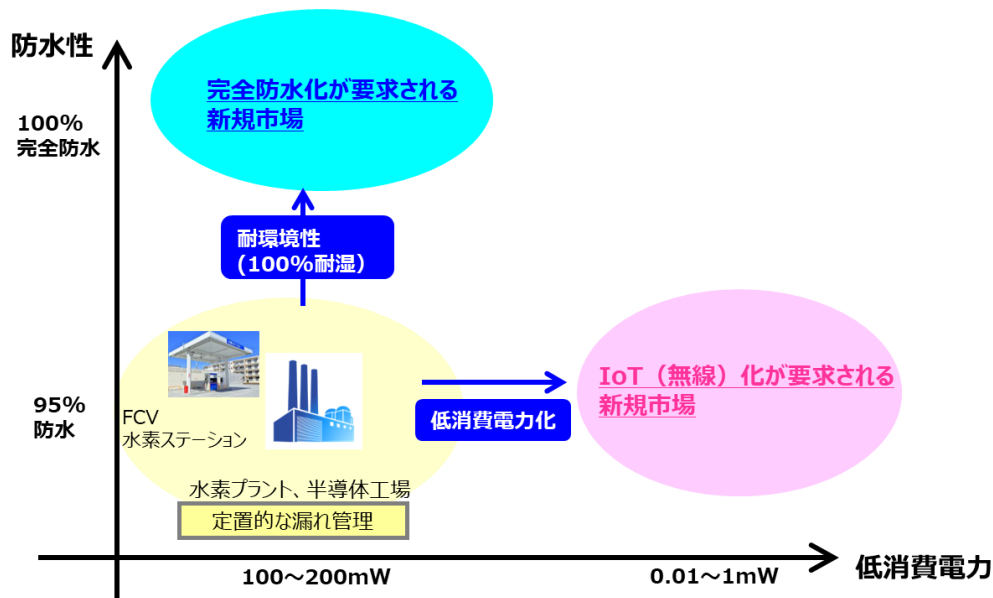


図 7 事業ポートフォリオと市場予測

4. 3 実用化・事業化に向けた取り組み

表 6. に実用化に向けたスケジュールを示す。NEDO プロジェクトによる研究開発終了後、2023 年度より実用化開発を開始する予定である。エレメント/モジュール/システム事業立ち上げをコンカレントに推進し、2025 年度以降に実用化を想定している。

表 6 実用化に向けたスケジュール

研究開発項目		2020~2022年度	2023年度	2024年度	2025年度~
①	超低消費電力水素検知センサエレメントの開発	NEDO プロジェクトによる研究開発	製品用エレメント試作	信頼性確認	実用化へ
②	高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発(再委託)		モジュール設計(耐湿、防塵、防爆)	製品用モジュール試作 信頼性確認	
③	自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発			製品用システム設計	

4. 4 まとめ

本事業は研究開発の実実施計画と実施内容を決定した状況である。具体的には超低消費電力水素検知センサエレメントの開発、高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発、自己補正・故

障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発の 3 つの実施項目を決定し、それぞれ実施計画に沿って研究開発を進めていく。今後研究開発を進める中で具体的な課題抽出を行い、研究開発内容に反映しながら本事業を進めていく。

5. 研究発表・特許等

現時点では無し。

● 成果ガリ (実施期間 : 2020年度~2022年度予定)

- ・ Violet-ECDL(青紫色外部共振器型半導体レーザー)を用い、ガスに含まれる分子種とその濃度を特定する小型目つ低コストなマルチガス分析装置を開発する。
- ・ IR-ECDL(赤外線外部共振器型半導体レーザー)を用い、対象ガスの高感度計測を可能とする小型目つ低コストなガス分析装置を開発する。
- ・ TDLAS(波長可変半導体レーザー吸収分光法)による新たな水素検知技術の実現可能性を明らかにする。

● 背景/研究内容・目的

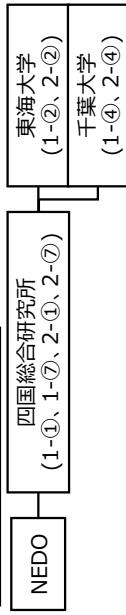
[背景] 水素ステーション事業の自立化に向け、整備費、運営費、水素調達コストなどを低減する技術開発が重要である。水素中の不純物分析には大型、高コストの分析装置が必要、目つ分析実施機が限られているのが現状であり、水素品質管理におけるトータルコストの大幅な削減に資する技術が求められている。

[目的] ISO品質規格の全成分を対象として、より多くの成分が分析可能な小型・軽量・低コスト目つ応答が速い水素純度分析装置の開発を目的とし、1.Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置と、2.IR-LD(半導体レーザー)を用いた赤外吸収式高感度ガス分析装置を開発する。

● 研究目標

実施項目	目標
1-①	PBC(小型共振器)内光強度 1 W以上を持つECDLを開発する。
1-②	ECDL発振の安定化を達成する(横モードがガス分布)。
1-④	受光光学系の概念設計を完了する。
1-⑦	2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否を含めて明示する。
2-①	光路長20m以上を達成する。
2-②	ECDL発振の安定化を達成する(横モードがガス分布)。
2-④	TDLASの適用可能性を水素ガスにて確認する。
2-⑦	2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否を含めて明示する。全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。全硫酸成分について、ISO規格値に対しての計測方法を検討する。

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

1. Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発
 - 1-① 技術調査の結果を踏まえ、Violet-LD、結合レンズ、PBCを組合せ、Violet-ECDLを製作し、発振実験及び機能評価を実施し、PBC内強度1W以上を実現する。
 - 1-② Violet-ECDLの横モード安定化に係る技術調査の結果を反映し、横モードが単峰のガス分布となる光学系配置を理論及び実験により明らかにする。
 - 1-④ 受光系の小型・高感度化に係る技術調査を反映し、PBC内のビームにより発生したラマン散乱光を高効率で集光して高感度に検出する受光系の概念設計を行う。概念設計をまとめ、PBC内定在波を模擬した光源を用いて模擬実験を実施し、概念設計と実際の受光効率を比較する。
 - 1-⑦ ISO規格全成分のうち、全硫酸化合物、全ハロゲン化合物を除く全成分に関するラマン散乱に関する情報を調査すると共に、実ガスを用いたラマンスペクトル計測実験を実施する。1-①②④の成果を基に検出可否(測定方法、濃度等)を含めて明示する。
2. IR-LD(半導体レーザー)を用いた赤外吸収式高感度ガス分析装置の研究開発
 - 2-① 技術調査の結果を踏まえ、IR-LD、結合レンズ、PBCを組合せ、IR-ECDLを製作し、発振実験及び機能評価を実施し、実効光路長20m以上を実現する。
 - 2-② IR-ECDLの横モード安定化に係る技術調査の結果を反映し、横モードが単峰のガス分布となる光学系配置を理論及び実験により明らかにする。
 - 2-④ TDLASを含むIR-LDによるガス分析に関する技術調査を反映し、波長掃引可能なIR-LDと高感度受光検出器によりTDLAS実験装置を製作し、2検波法等の高感度検知手法の適否を検討する。水素を対象とした濃度計測実験により、ガス検知機能を評価する。
 - 2-⑦ ISO規格全成分のうち、メタン、ヘリウム、窒素、アルゴンを除く全成分について調査又はスペクトル計測実験により情報を収集する。2-①②④の成果を基に計測方法を検討すると共に、検出可否(測定方法、濃度等)を含めて明示する。

● 研究成果まとめ(2020年度未予定)

実施項目	成果内容	自己評価
1-①	PBC設計、光学部品調達を実施中。	△
1-②	光学部品調達、技術調査を実施中。	△
1-④	受光系設計、部品調達を実施中。	△
1-⑦	調査、スペクトル計測実験を実施中。	△
2-①	PBC設計、光学部品調達を実施中。	△
2-②	光学部品調達、技術調査を実施中。	△
2-④	実験装置設計、部品調達を実施中。	△
2-⑦	調査、スペクトル計測実験を実施中。	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
	-	-	2件(予定)

● 実用化・事業化の見通し

小型・軽量・低コストな高感度マルチガス分析装置を実現し、水素ステーション関連市場の獲得を推進することにより、水素品質管理をターゲットとした事業化が実現される見通しである。

課題番号：2-(4)-⑦

研究開発名：「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発」

実施者：株式会社四国総合研究所

1. 研究開発概要

1. 1 事業目的

水素・燃料電池戦略ロードマップで示された水素ステーションの2020年160箇所、2025年320箇所程度の設置を実現するためには、水素ステーション事業の自立化に向けたさらなるFCVの導入支援と合わせてステーション整備費、運営費、水素調達コストなどを低減する技術開発が重要である。FCVに供給する水素の品質はISO国際規格(ISO14687)に基づき管理されている。水素中の不純物分析には複数の大型分析装置が必要、且つ微量成分分析には濃縮等の特殊な作業が必要となることから、分析の実施機関が限られているのが現状である。

そこで、ISO品質規格(表1)の全成分を対象として、より多くの成分が分析できる、小型・軽量・低コスト且つ応答が速いマルチガス複合水素分析装置を開発し、分析装置そのもののコストの低減及び、より簡便で短時間のオンサイト分析の導入によって、水素品質管理におけるトータルコストを大幅に削減することを目的とする。

1. 2 事業概要

ISO品質規格(表1)の全成分を対象として、より多くの成分が分析できる、小型・軽量・低コスト且つ応答が速い水素純度分析装置(図1、図2)を開発する。このために、以下2つのサブテーマを設定し研究開発を行う。

[サブテーマ1] Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

レーザーのビームを外部に設けた共振器内で増幅し、強力な定在波を生成する青紫色波長域の外部共振器型半導体レーザー(Violet-ECDL)を用いてガス分子を励起し、発生するラマン散乱光を検知することで、ガスに含まれる分子種とその濃度を特定する小型且つ低コストなマルチガス分析装置を開発する。

外部共振器型半導体レーザー(ECDL)、小型共振器(PBC)および高感度受光系を開発し、それらを最適化した分析装置のプロトタイプを設計・製作する。水素品質管理の対象となる物質のうち、ISO規格値がppmオーダーの物質についてガス濃度計測機能の検証を行い、性能を証明する。また、その結果を踏まえて、製品化に向けた課題の抽出およびコスト試算を行う。

[サブテーマ2] IR-LDを用いた赤外吸収式高感度ガス分析装置の研究開発

赤外波長域の外部共振器型半導体レーザー(IR-ECDL)と物質の赤外波長域における光吸収を利用するキャビティリングダウン分光法(CRDS:Cavity Ring-Down Spectroscopy)を用いて、対象ガスの高感度

計測を可能とする小型且つ低コストなガス分析装置を開発する。

ECDL および PBC を最適化した分析装置のプロトタイプを設計・製作する。水素品質管理の対象となる物質のうち、ISO 規格値がサブ ppm オーダーの物質についてガス濃度計測機能の検証を行い、性能を証明する。また、その結果を踏まえて、製品化に向けた課題の抽出およびコスト試算を行う。

併せて、波長可変半導体レーザー吸収分光法 (TDLAS : Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) など、新たな水素検知技術の実現可能性を明らかにする。

表1 水素品質基準 (ISO国際規格14687Grade-D Table2) 規格値一覧

分析項目		単位	ISO 規格値
水素	H ₂	Vol. %	≥99.97
水	H ₂ O	ppm	≤5
全炭化水素	1 炭素換算	ppm	≤2
メタン	CH ₄	ppm	≤100
酸素	O ₂	ppm	≤5
ヘリウム	He	ppm	≤300
窒素	N ₂	ppm	≤300
アルゴン	Ar	ppm	≤300
二酸化炭素	CO ₂	ppm	≤2
一酸化炭素	CO	ppm	≤0.2
全硫黄化合物	(H ₂ S 換算)	ppm	≤0.004
ホルムアルデヒド	HCHO	ppm	≤0.2
蟻酸	HCOOH	ppm	≤0.2
アンモニア	NH ₃	ppm	≤0.1
全ハロゲン化合物	(ハロゲンイオン換算)	ppm	≤0.05
最大微粒子濃度	固体・オイル・液体	mg/kg	≤1

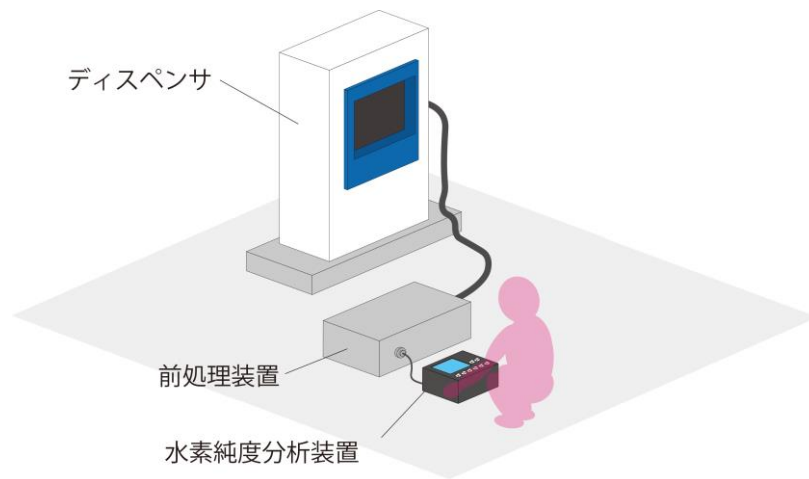


図1 次世代水素純度分析装置のイメージ

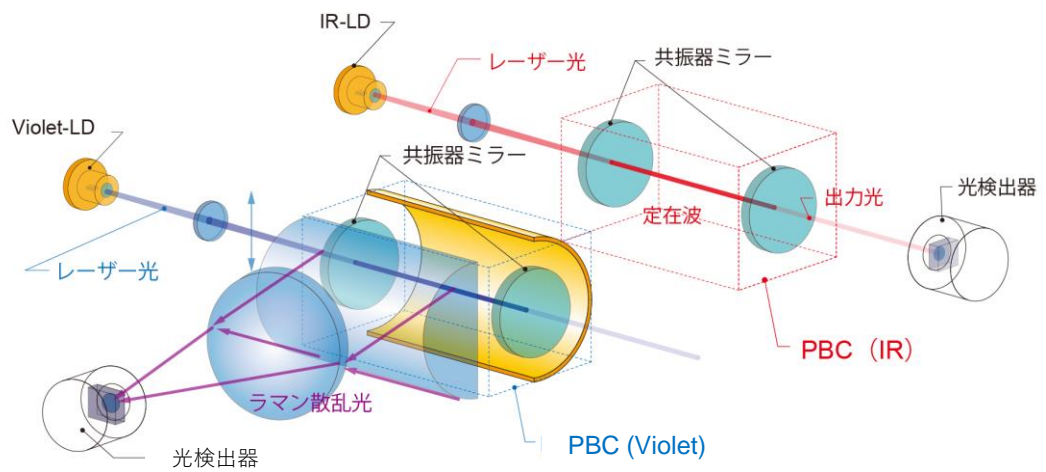
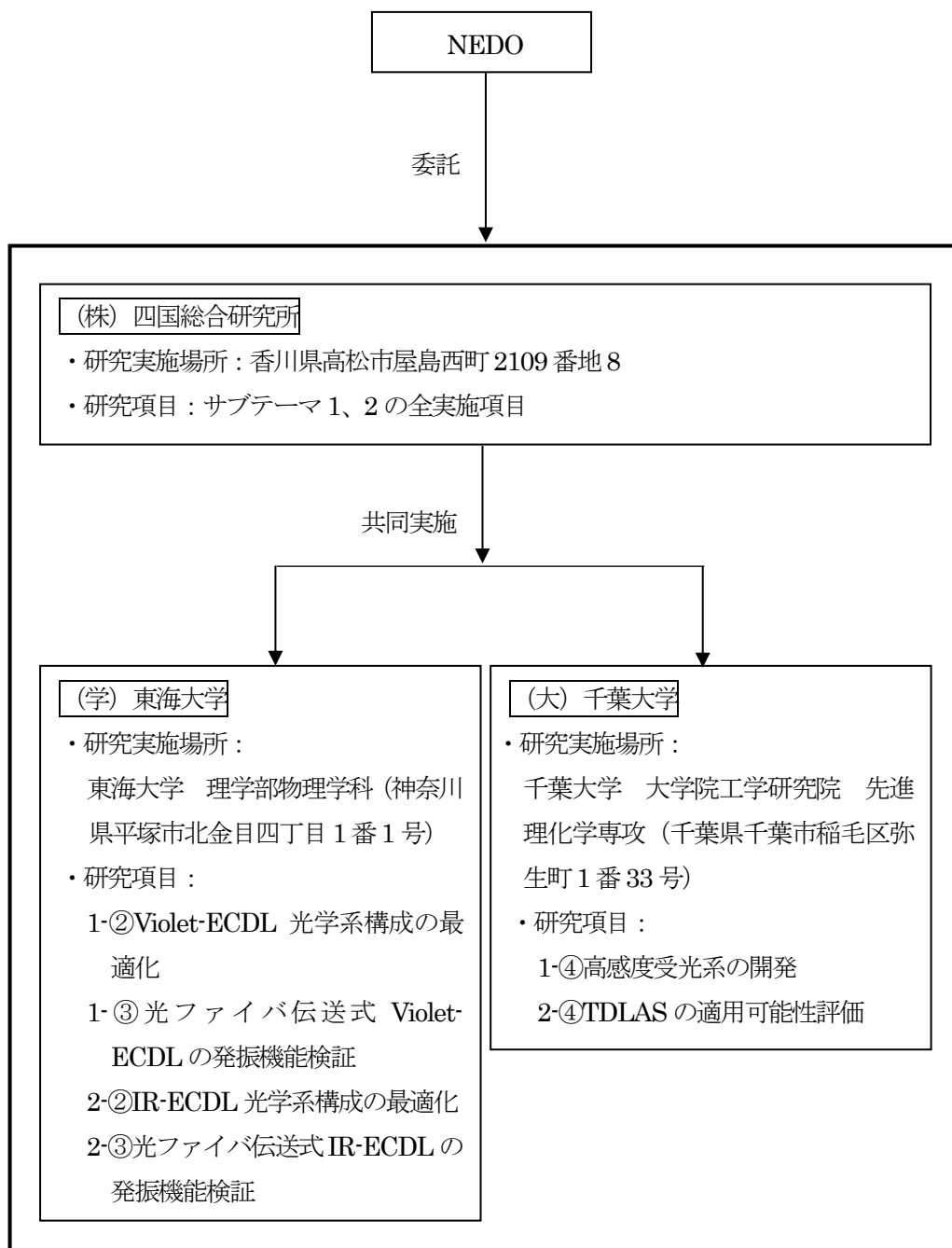


図2 水素純度分析装置内部の光学系構成例

1. 3 実施体制

本研究開発は下図に示す体制及び役割分担にて実施する。



2. 研究開発目標

表 2 研究開発目標

[サブテーマ 1] Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

実施項目	最終目標
1-① Violet-ECDL の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・PBC 内光強度 10W 以上を持つ ECDL を開発する。 ・安定性確認のため、水素を用いてガス濃度計測機能を検証する。 (ppm オーダー以下の不純物分析のための光源として必要な光出力を設定)
1-② Violet-ECDL 光学系構成の最適化	<ul style="list-style-type: none"> ・ECDL の発振線幅 30cm^{-1} 以下を達成する。 (単一の分析装置で複数種の不純物を分析するための光源として必要な発振線幅を設定)
1-③ 光ファイバ伝送式 Violet-ECDL の発振機能検証	<ul style="list-style-type: none"> ・PBC 内光強度 5W 以上を達成する。 (光ファイバ伝送による損失を考慮した上で、不純物分析に必要な光出力を設定)
1-④ 高感度受光系の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・受光系を試作し、酸素を用いて目標感度 ppm オーダー (S/N 比 10 以上) を達成する。 (ppm オーダー以下の不純物を分析するための受光器として必要な S/N 比を設定)
1-⑤ 小型マルチガス分析装置プロトタイプの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法 $40\times 50\times 30\text{cm}$ 以下、重量 10kg 以下を達成する。 (既存技術に対し十分な小型、軽量化を達成するために 5 分の 1 以下の数値を設定)
1-⑥ プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素、窒素及び水素を含む 3 種以上の物質を対象として検出限界 1ppm 以下、応答時間 1 分以下、コスト 150 万円以下 (量産効果含む) を達成する。 (単一の装置で複数の成分分析が可能であること、ppm オーダー以下の分析が可能であること、高速応答による作業の効率化、装置の低コスト化が実現可能であることを示すために設定)
1-⑦ 全成分分析の可能性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度までの研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格全成分を対象として小型マルチガス分析装置の適用可能性を検討し、検出可否 (測定方法、濃度等) を含めて明示する。 (全成分への適用可能性を高精度に明らかにするために設定)

[サブテーマ 2] IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

実施項目	最終目標
2-① IR-ECDL の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光路長 200m 以上を達成する。 ・ 安定性確認のため、アンモニアを用いてガス濃度計測機能を検証する。 ・ 極微量成分検知の実現性評価のため、硫化水素を用いたガス濃度計測実験を行う。 (サブ ppm オーダー以下の不純物分析のための光源として必要な光路長を設定)
2-② IR-ECDL 光学系構成の最適化	<ul style="list-style-type: none"> ・ ECDL の発振線幅 0.3cm^{-1} 以下を達成する。 (極微量成分を分析するための光源として必要な発振線幅を設定)
2-③ 光ファイバ伝送式IR-ECDLの発振機能検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実効光路長 100m以上を達成する。 (光ファイバ伝送による損失を考慮した上で、微量不純物分析に必要な光出力を設定)
2-④ TDLAS の適用可能性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素検出限界 100ppm 以下を達成する。水素分析への適用可能性を評価する。 (現状の水素検知器の検出限界以下の値を設定)
2-⑤ 高感度ガス分析装置プロトタイプの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 寸法 $40\times 50\times 30\text{cm}$ 以下、重量 10kg 以下を達成する。 (既存技術に対し十分な小型、軽量化を達成するために 5 分の 1 以下の数値を設定)
2-⑥ プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンモニアを対象として検出限界サブ ppm オーダー以下、応答時間 1 分以下、コスト 150 万円以下 (量産効果含む) を達成する。 ・ 硫化水素を対象として検出限界 ppb オーダー以下を目指す。 (サブ ppm オーダー以下の分析が可能であること、高速応答による作業の効率化、装置の低コスト化が実現可能であることを示し、極微量分析となる全硫黄化合物への適用可能性を示すために設定)
2-⑦ 全成分分析の可能性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2022 年度までの研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格全成分を対象として高感度ガス分析装置の適用可能性を検討し、検出可否 (測定方法、濃度等) を含めて明示する。 ・ 全硫黄成分について、計測方法を確立する。 (全成分への適用可能性を高精度に明らかにするために設定)

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 研究開発成果

[サブテーマ1] Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

サブテーマ1として、水素純度分析装置の中核となる新技術である、Violet-ECDLを用いたレーザーラマン分光法に基づくマルチガス分析装置の開発を行う。本技術は、青紫色の波長域(約400~480nm)の半導体レーザー(LD:Laser Diode)を用いたECDLを開発することで、微弱なラマン散乱光の高感度検出を実現することができる新たな計測手法である。また、LDと1対の共振器ミラーによって構成されるECDLを光源とすることで、マルチガス分析を可能としながら、従来の分析装置と比較して大幅なコストダウンと小型・軽量化を目指す。

1-① Violet-ECDLの開発(主担当:株式会社四国総合研究所)

[目標] 2020年度:PBC内光強度1W以上を持つECDLを開発する。

現在最も小型で安価なレーザー光源としてLDが広く普及している。したがって、励起光源へのLDの適用が、光学式水素分析装置の小型・低コスト化に向けて極めて有効であることは明らかである。しかしながら、LDの出力は概ね数十~数百mWであるため、ラマン分光における光源としては、励起するためのパワーが大きく不足する。この根本的な課題をクリアするために、本研究開発では、LDとその外部に対向に設置された高反射ミラー2枚から成るPBCによって構成されるECDLを開発する(図3)。

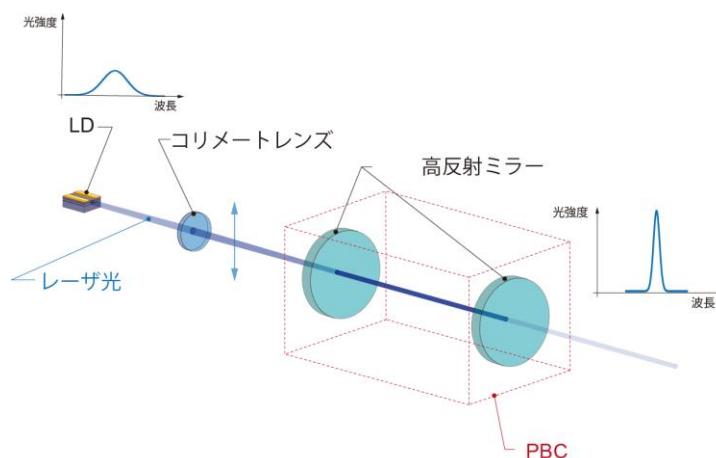


図3 Violet-ECDLの光学系構成例

ECDLはLDとPBC両者を合わせて一つの発振器として駆動する。その結果、PBC内部にLD出力の数百倍~数万倍の出力を有する定在波が生成される。このビルドアップされたレーザー光を用いてラマン散乱を誘起する。ラマン散乱は励起光の波長 λ が短いほど強く発生し、その強度は ν^4 ($=1/\lambda^4$)に比例する(ν :振動数)。近年の半導体技術の発展により、過去には存在しなかった400nm前後の青紫から近紫外波長域において発振するLDが実現されている。また、高反射ミラー製作における成膜技術も近年進化を遂げており、同様に青紫から近紫外波長域に適用可能な素子の製作が可能となっている。技術的背景も踏まえ、本研究開発では新技術となるViolet-ECDLを開発し、光源として用いる。

a. 外部共振器発振に係る技術調査

学会、展示会、文献等を媒体として、青紫色波長域の外部共振器発振及び光学部品に係る最新情報に関する技術調査を実施中であり、得られた情報を ECDL の開発に反映する。

b. Violet-ECDL の製作

青紫色波長域のレーザー素子（反射防止膜コート付き半導体レーザー：AR コート付き LD）と結合レンズ、キャビティミラー2枚で構成される PBC を組合わせた、ECDL を製作中である。

光学設計において、各種光学パラメータを決定する。設計に合わせ、特注光学部品の製作を行い、これらを組合わせることで ECDL を構築する。

c. Violet-ECDL の発振実験・機能評価

光学系の空間的な位置関係等をパラメータとして、ECDL が発振し、PBC 内に定在波が生成される光学系配置を実験的に明らかにする。PBC 内光強度は、PBC からの出力光をレーザーパワーメータで測定することで確認する。また、分光器やビームプロファイラを用いて、発振波長や線幅、空間モードの状態を確認し、発振特性評価を実施中である。

1-② Violet-ECDL 光学系構成の最適化（主担当：学校法人東海大学）

〔目標〕 2020 年度：ECDL 発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。

ECDL を安定的に発振させるためには、縦モード（発振波長、発振線幅）、横モード（空間モード、ビーム断面の光強度プロファイル）に代表されるモードの安定化が必要である。また、ラマン分光法により複数種の物質を特定するためには、励起光の線幅（波長の半値全幅）が狭いほど有利である。したがって、ECDL の横モードが TEM₀₀（基本モード、ガウスモード）で高い光強度、より狭い線幅で発振できる構成を理論及び実験によって明らかにし、最適な構成をプロトタイプ設計に反映させる。

a. 横モード安定化に係る技術調査

学会、展示会、文献等を媒体として、ECDL の横モードの安定化に係る最新情報に関する技術調査を実施中であり、Violet-ECDL 光学系構成の最適化に反映する。

b. TEM₀₀モード発振実験・評価

横モードを安定化する光学系配置を明らかにする。レーザー素子と結合レンズ、キャビティミラー2枚で構成される PBC を組合わせた、ECDL を製作中である。ECDL の発振における横モードの状態は、主に光学系の空間的な位置関係に依存する。これらのパラメータを変更し、生成される定在波の横モードを観測する。横モードの観測は、レーザービームプロファイラ等を用いて行う。観測された横モードが単峰のガウス分布（TEM₀₀）となる光学系配置を明らかにすると共に、実施項目 1-①へ情報連携し、Violet-ECDL の開発に反映させる。

1-④ 高感度受光系の開発（主担当：国立大学法人千葉大学）

〔目標〕 2020 年度：受光光学系の概念設計を完了する。

本手法において得られるラマン散乱光は、PBC 内部の定在波が生じる直線上を起点に、定在波の偏光に対し垂直方向に強く生じる指向性を有する。このようなラマン散乱発生の特性を利用し、より高効率にラマン散乱光を集光し、検出器に導入する光学系の開発を行う。実験と光学シミュレーション解析の両面からアプローチし、最適な集光光学系を構築する。また、回折格子や光学フィルタを用いて、ECDL の発振特性に合わせた最適な分光手法を確立する。検出器については小型且つ高感度な検出器を軸とするが、Si 光検出器の適用も試みる。Si 光検出器の適用は、装置構成の簡素化やコスト低減に大きく寄与する。そのためには、Si 光検出器を用いることで生じる感度の低下を補う必要がある。ここでは、PBC 内の定在波に振幅変調を与え、位相敏感検波を行うなどの最適な微小信号計測手法を

導入する。これらの総合的な開発により高感度受光系を確立する。

a. 受光系の小型・高感度化に係る技術調査

学会、展示会、文献等を媒体として、受光系の小型・高感度化に係る最新情報に関する技術調査を実施中であり、受光系の開発に反映する。

b. 受光系の概念設計

PBC 内のビームにより発生したラマン散乱光を高効率で集光し、高感度に検出する受光系を開発する。そのための光学設計を実施中である。PBC 内の光源を想定しラマン光集光光学系を配置させた設計を行う。概念設計をまとめ、PBC 内定在波を模擬した光源を使って模擬実験を行う。光源から生じる光を集光する基礎試験を行うと共に、光学設計で得られた結果を基に、各種光学系の光学系配置の概念設計と実際の受光効率を比較する。

1-⑦ 全成分分析の可能性評価（主担当：株式会社四国総合研究所）

【目標】 2020 年度：2020 年度研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。

開発を行う小型マルチガス分析装置の ISO 品質規格全成分（表 1）への適用可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。

a. ISO 規格全成分への適用可能性評価

ISO 規格全成分のうち、全硫黄化合物、全ハロゲン化合物を除く全成分について、ラマンシフト、ラマン散乱断面積に関する情報を文献調査、先行技術調査及び、高出力パルスレーザー装置と高感度分光検出器を用いた実ガスのラマンスペクトル計測実験により収集中である。また、2020 年度に得られる実施項目 1-①②④の成果から本研究開発によって実現する PBC 内光強度や、ビーム品質、受光系の性能等を推定する。調査等によって得られた対象物質のラマン散乱に係る諸元と、研究開発成果の推定値を比較考量し、当年度時点における小型マルチガス分析装置の適用可能性を評価することで、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて複数の不純物成分に対し検出限界 ppm オーダー以下の分析が可能であることを明示する。

【サブテーマ 2】 IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

サブテーマ 1 に示した Violet-ECDL を光源とするレーザーラマン分光法によるガス計測手法は、多くのガス種に適用できるメリットがあるが、ppm オーダー以下の極微量成分検知への適用には限界がある。水素品質管理において不純物として指定されている物質には、規格値が 1ppm 以下の物質も複数含まれている。

本研究開発ではサブテーマ 2 として、IR-ECDL を用いた CRDS により極微量成分の検出が可能な分析装置の開発を行う。IR-ECDL による超高感度分析が可能になれば、Violet-ECDL と並列駆動させることでより多くの対象物質をカバーすることができるマルチガス分析装置が実現できる。また、IR-ECDL の基本構成も Violet-ECDL と同様であるため、光学系の集積化が可能であり、一般的な分析計と比較して小型化、低コスト化における優位性は維持される。

また、近年の赤外波長域における LD や光検出器の進化に照らし、TDLAS などの赤外吸収分光法に基づく他の計測手法の応用についても、実験及び先行技術調査等により水素純度分析等への適用可能性を評価する。

2-① IR-ECDL の開発（主担当：株式会社四国総合研究所）

〔目標〕 2020 年度：光路長 20m 以上を達成する。

ECDL と赤外吸収分光法を組み合わせた超高感度計測手法として CRDS が知られている。これは、対象物質の光の吸収線に一致した ECDL を構築し、キャビティ長 10cm 程度の PBC 内定在波によって、実質的に数百 m~1km 以上の吸収作用長を実現し、PBC のアウトプット光の減衰寿命（リングダウンタイム）から対象物質の濃度を求める手法である。CRDS は、原理的に単一の ECDL を用いた複数種の物質の検知は困難であるが、ラマン分光法では実現が困難な極微量成分の検知が可能となる。したがって、水素品質管理における不純物のうち、ppm オーダー以下の対象物質をターゲットとして、CRDS による計測を行うための ECDL を開発する（図 4）。ECDL の開発の概念は近紫外の場合と同様であるが、波長域が大きく異なるため、赤外域に特化した光学系構成を考案する必要がある。

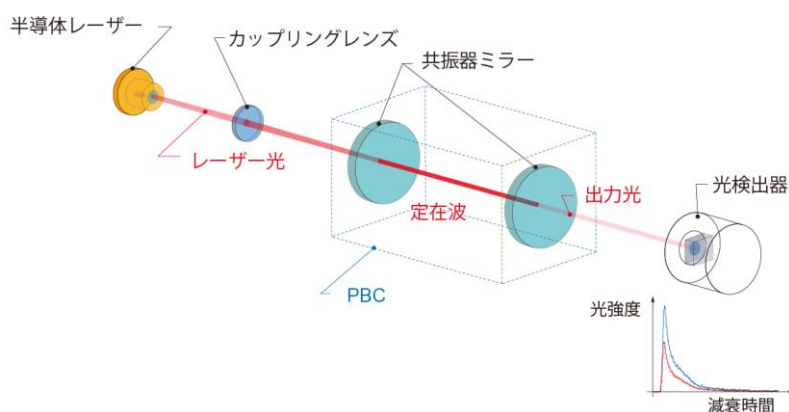


図 4 IR-ECDL を用いた CRDS 光学系構成例

a. 外部共振器発振に係る技術調査

学会、展示会、文献等を媒体として、赤外波長域の外部共振器発振及び光学部品に係る最新情報に関する技術調査を実施中であり、調査結果を ECDL の開発に反映する。

b. IR-ECDL の製作

IR 波長域のレーザー素子（AR コート付き LD）と結合レンズ、キャビティミラー 2 枚で構成される PBC を組合せた、ECDL を製作中である。

光学設計において、各種光学パラメータを決定する。設計に合わせ、特注光学部品の製作を行い、これらを組み合わせることで ECDL を構築する。

c. IR-ECDL の発振実験・機能評価

各光学素子間の空間的な位置関係をパラメータとして、ECDL が発振し、PBC 内に定在波が生成される光学系配置を実験的に明らかにする。PBC 内光強度は、PBC からの出力光をレーザーパワーメータで測定することで確認する。また、スペクトラムアナライザや赤外撮像素子を用いて、発振波長や線幅、空間モードの状態を確認し、発振特性を評価する。

2-② IR-ECDL 光学系構成の最適化（主担当：学校法人東海大学）

〔目標〕 2020 年度：ECDL 発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。

IR-ECDL は、CRDS に適用するため、発振線のチューニング及び狭窄化と安定化が極めて重要となる。したがって、ECDL がより高い光強度、より狭い線幅で発振できる構成を理論及び実験によって明らかにし、最適な構成をプロトタイプ設計に反映させる。

a. 横モード安定化に係る技術調査

学会、展示会、文献等を媒体として、赤外波長域の ECDL の横モード（空間モード、ビーム断面の光強度プロファイル）の安定化に係る最新情報に関する技術調査を実施中であり、IR-ECDL 光学系構成の最適化に反映する。

b. TEM₀₀モード発振実験・評価

横モードを安定化する光学系配置を明らかにする。レーザー素子と結合レンズ、キャビティミラー2枚で構成される PBC を組合わせた、ECDL を製作中である。ECDL の発振における横モードの状態は、光学系の位置関係等に依存する。これらのパラメータを変更し、生成される定在波の横モードを赤外撮像素子等により観測する。横モードが TEM₀₀（基本モード、ガウスモード）となる光学系配置を明らかにすると共に、実施項目 2-①へ情報連携し、IR-ECDL の開発に反映させる。

2-④ TDLAS の適用可能性評価（主担当：国立大学法人千葉大学）

〔目標〕 2020 年度：TDLAS の適用可能性を水素ガスにて確認する。

LD を用いた赤外吸収分光法に基づく計測手法の一つとして、TDLAS など、他の高感度検知手法の適用性についても、実験及び先行技術調査等によって評価する。TDLAS は対象物質の光吸収線幅よりも狭い発振線幅のレーザー光を対象物質に透過させ、電流制御によって照射レーザー光の波長を掃引し透過光を計測することで吸収スペクトルを得て、その濃度を計測するものである。したがって光学系に PBC が不要となり、適用可能となれば更なる装置構成の簡素化、低コスト化が可能となる。

a. IR-LD によるガス分析に係る技術調査

学会、展示会、文献等を媒体として、TDLAS を含む IR-LD によるガス分析に係る最新情報に関する技術調査を実施中であり、IR-ECDL 光学系構成の最適化に反映する。

b. 実験装置の製作

ECDL を用いずに、LD により不純物検知を行う TDLAS の適用可能性を評価するために、LD 光源と、高感度検出を行う受光検出器によって構成される TDLAS 実験装置を製作中である。レーザー素子を選定し、波長掃引機能を付加する。検出器と高感度検知手法の適否を検討し、装置製作を完了する。

c. TDLAS 動作確認実験・機能評価

b.において製作した実験装置を用いて、水素を対象とした濃度計測実験を行い、TDLAS の動作確認を行うと共に、ガス濃度変化と TDLAS 実験装置の応答の相関を解析することで、ガス検知機能を評価する。

2-⑦ 全成分分析の可能性評価（主担当：株式会社四国総合研究所）

〔目標〕 2020 年度：2020 年度研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格) 全成分について、

全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。

全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。

全硫黄成分について、ISO 規格値に対しての計測方法を検討する。

開発を行う高感度ガス分析装置の ISO 品質規格全成分（表 1）への適用可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。

a. ISO 規格全成分への適用可能性評価

ISO 規格全成分のうち、メタン、ヘリウム、窒素、アルゴンを除く全成分（全ハロゲン化合物、全硫黄成分は b.、c.にて実施するため除く）について、吸収線、吸収断面積を文献調査、先行技術調査及び赤外光源とスペクトラムアナライザによる実ガスの吸収スペクトル計測実験によりデー

タ収集を実施中である。また、2020 年度実施項目 2-①②④において得られる成果から、本研究開発において実現できる PBC の実効光路長や、ビーム品質、検波手法等の研究開発成果を推定する。両者を比較考量し、当年度時点における高感度ガス分析装置の適用可能性を評価し、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて複数の不純物に対し、サブ ppm オーダー以下の分析が可能であることを明示する。

b. 全ハロゲン化合物適用可能性評価

全ハロゲン化合物分析について、前処理手法を含めた現行の最新の手法に関する文献及び技術調査を実施中である。併せて、水素純度分析において不純物となり得るハロゲン化合物を調査により明らかにする。各ハロゲン化合物について、光吸収等の光応答に関する諸元を文献調査、先行技術調査により明らかにする。また、2020 年度実施項目 2-①②④において得られる成果から、本研究開発において実現できる PBC の実効光路長や、ビーム品質、検波手法等の研究開発成果を推定する。これらの情報を比較考量し、当年度時点における高感度ガス分析装置による全ハロゲン化合物分析の可否を明らかにする。

c. 全硫黄成分適用可能性評価

全硫黄成分分析について、前処理手法を含めた現行の最新の手法に関する文献及び技術調査を実施中である。併せて、水素純度分析において不純物となり得る全硫黄化合物を調査により明らかにする。各硫黄化合物について、光吸収等の光応答に関する諸元及び光計測を用いた計測手法に関する文献調査、先行技術調査を行う。また、2020 年度実施項目 2-①②④において得られる成果から、本研究開発において実現できる PBC の実効光路長や、ビーム品質、検波手法等の研究開発成果を推定する。これらの情報を比較考量し、当年度時点における高感度ガス分析装置による全硫黄成分分析の可否を明らかにする。

(2) 達成度

表 3 2020 年度研究開発成果と達成度と今後の見通し

[サブテーマ 1] Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

実施項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1-①Violet-ECDL の開発	・PBC 内光強度 1W 以上を持つ ECDL を開発する。	・PBC の設計及び光学部品調達を実施中。	△	<ul style="list-style-type: none"> 最終的には 10W 以上の PBC 内光強度を実現する。 LD の AR コート、PBC のミラーの反射率等の最適化により達成を目指す。
1-②Violet-ECDL 光学系構成の最適化	・ECDL 発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。	・光学部品調達及び技術調査を実施中。	△	<ul style="list-style-type: none"> 最終的には発振線幅 30cm⁻¹ 以下を実現する。 バンドパスフィルタやエタロンの導入により達成を目指す。
1-③光ファイバ伝送式 Violet-ECDL の発振機能検証	(2021 年度より実施)			

1-④高感度受光系の開発	・受光光学系の概念設計を完了する。	・受光系の設計及び部品調達を実施中。	△	・最終的には ppm オーダーの感度を実現する。 ・位相同期検波等の高感度検知手法の導入により達成を目指す。
1-⑤マルチガス分析装置プロトタイプの開発	(2021 年度より実施)			
1-⑥プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	(2022 年度に実施)			
1-⑦全成分分析の可能性評価	・2020 年度研究開発成果等に基づき、ISO 品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否 (測定方法、濃度等) を含めて明示する。	・調査及びスペクトル計測実験を実施中。	△	・研究成果や新に得られた情報を随時反映させ、評価の精度向上を進める。

[サブテーマ 2] IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

実施項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
2-①IR-ECDL の開発	・光路長 20m 以上を達成する。	・PBC の設計及び光学部品調達を実施中。	△	・最終的には 200m 以上の実効光路長を実現する。 ・LD の AR コート、PBC のミラーの反射率等の最適化により達成を目指す。
2-②IR-ECDL 光学系構成の最適化	・ECDL 発振の安定化を達成する (横モードがガウス分布)。	・光学部品調達及び技術調査を実施中。	△	・最終的には発振線幅 0.3cm^{-1} 以下を実現する。 ・DFB-LD やエタロン・フィルタ等の導入により達成を目指す。
2-③光ファイバ伝送式 IR-ECDL の発振機能検証	(2021 年度より実施)			
2-④TDLAS の適用可能性評価	・TDLAS の適用可能性を水素ガスにて確認する。	・実験装置の設計及び部品調達を実施中。	△	・最終的には 100ppm 以下の水素検知を実現する。 ・2f 検波等の高感度検知手法の導入により達成を目指す。
2-⑤高感度ガス分析装置プロトタイプの開発	(2021 年度より実施)			
2-⑥プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	(2022 年度に実施)			

2-⑦全成分分析の可能性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格)全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否(測定方法、濃度等)を含めて明示する。 ・全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。 ・全硫黄成分について、ISO規格値に対しての計測方法を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査及びスペクトル計測実験を実施中。 	△	<ul style="list-style-type: none"> ・研究成果や新に得られた情報を随時反映させ、評価の精度向上を進める。
----------------	--	---	---	--

3. 2 成果の意義

本年度成果は、本テーマにおいて提案する ECDL を用いた水素純度分析技術の構想の実現可能性を高めるものであり、来年度以降に実施する予定である ECDL の高出力化、プロトタイプの開発と実証実験につながるものである。

3. 3 開発項目別残課題

計画どおり研究開発を実施中であり、現在のところ残課題は生じない見通しである。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ

[サブテーマ1] Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

水素純度分析装置の中核となる新技術である、Violet-ECDL を用いたレーザーラマン分光法に基づくマルチガス分析装置の実現を目的として、Violet-ECDL の開発及び光学系構成の最適化、受光系の開発に着手し、所期の目標を達成できる見通しである。

また、ISO 品質規格全成分分析の可能性評価に向け、各種不純物質に関するラマン散乱に係る諸元について調査を進めており、本年度時点におけるそれぞれの不純物検出の可否を明示できる見通しである。

[サブテーマ2] IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

水素純度分析において極微量成分を分析する技術である IR-ECDL を用いた CRDS に基づくガス分析装置の実現を目的として、IR-ECDL の開発及び光学系構成の最適化、受光系の開発に着手し、所期の目標を達成できる見通しである。

PBC を使用しない、より簡易な光学系構成でのガス分析の実現を目的として、TDLAS によるガス検知装置の製作に着手し、所期の目標を達成できる見通しである。

また、ISO 品質規格全成分分析の可能性評価に向け、各種不純物質に関する赤外吸収に係る諸元について調査を進めており、本年度時点におけるそれぞれの不純物検出の可否を明示できる見通しである。全ハロゲン化合物分析については、前処理手法を含めた最新の手法に関する文献及び技術調査等を実施中であり、本年度成果等を勘案し、当年度時点における高感度ガス分析装置による全ハロゲン化合物分析の可否を明らかにする予定である。全硫黄成分分析についても、前処理手法を含めた最新の手法に関する文献及び技術調査等を実施中であり、本年度成果等を勘案し、当年度時点における高感度ガス分析装置による全硫黄成分分析の可否を明らかにする。

4. 2 課題

[サブテーマ1] Violet-ECDL を用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

2020 年度成果を受けて、2021 年度は PBC 内部光強度の高出力化を行うと共に、発振線幅の狭窄化を目指す。また、危険区域内での分析に対応するために、光ファイバ伝送方式の ECDL の開発に着手する。

受光系については、本年度の概念設計に基づき製作、機能評価を進める。

ISO 品質規格全成分分析の可能性評価については、引き続き最新の情報と研究成果を反映させ、より高い精度の評価を行う。

[サブテーマ2] IR-LD を用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

2020 年度成果を受けて、2021 年度は PBC 内部光強度の高出力化を行うと共に、発振線幅の狭窄化を目指す。また、危険区域内での分析に対応するために、光ファイバ伝送方式の ECDL の開発に着手する。

TDLAS については、本年度製作した実験装置を用いて、閉鎖系におけるガス検知機能評価を実施する。

ISO 品質規格全成分分析の可能性評価については、引き続き最新の情報と研究成果を反映させ、より高い精度の評価を行う。

4. 3 事業化までのシナリオ

(1) 実用化・事業化を行う製品・サービス等の概要

① 内容

a. 水素純度分析装置

水素ステーション普及拡大期において、水素品質管理のためのオンサイト水素純度分析に使用する、小型・軽量で高感度不純物計測が可能な分析装置を提供する。

b. マルチガス分析装置

水素ステーションでの利用に加えて、環境分野、医療分野、産業分野、学術分野等における様々なシーンにおいてオンサイト分析が可能な小型・軽量で高感度計測が可能なマルチガス分析装置を提供する。

② 製作・実施等の制約

Violet-ECDL の主要部品となる LD と共振器ミラーは国内での生産・量産が可能である。IR-ECDL の主要部品となる LD は、現時点では海外から調達する必要があるが、安定的な売上が確保できれば、国内生産に応じるメーカーはある。共振器ミラーは国内生産・量産が可能である。その他製作にあたり特殊な部品は使用しないため、制約はない。

③ 用途（販売予定先）

a. 水素純度分析装置

商用水素製造メーカー

b. 小型マルチガス分析装置

- ・ 環境分野：環境分析機器メーカー
- ・ 医療分野：生体物質検出機器メーカー
- ・ 産業分野：各種工場における工程管理、品質管理機器メーカー
- ・ 学術分野：工芸品・遺物等の現地調査等の分析機器メーカー

(2) 実用化・事業化への取組

① 実用化・事業化に向けた計画等

本テーマでは、事業化に向けて必要となる基盤技術の開発を、プロジェクト期間中に全て完了する計画としている。実用化・事業化のために、製品設計や製造プロセスの確立等が必要となるが、大規模な研究開発を伴う事項はない。

プロジェクト終了後2年間を目途に、(株)四国総合研究所が主体となって、製品化に向けた各種フィールドでの実証試験、長期稼働試験及び展示会への出展・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールしていくと共に、プロジェクト終了後3年目より、主に水素ステーションにおける水素品質管理をターゲットとして、サンプル出荷による実績を積み上げつつ商品販売を進める。

(株)四国総合研究所は、これまでに自社開発技術の商品化・事業化実績を多数有し、事業化に必要な体制が確立されている。また、本件シーズ技術開発を含め、これまでに水素エネルギー利用に関連する多数のプロジェクトに参画する過程において、多くのエネルギー関連企業や商社とのコネクションを構築しており、市場ニーズや実証試験フィールドの提供及び、サンプル販売の端緒を得ることができる環境にある。出荷台数が比較的少ない販売開始初期の段階での製造は、当社が指定する光学機器の製作に幅広い知見と実績のあるメーカー（エナジーサポート(株)、(株)ワイイーエス等より検討）が行うが、同社も自社開発技術に基づく商品化・事業化実績を有し、商品の高い品質で安定供給できる製造プロセスに必要な体制が確立されているため、強力な事業推進が見込める。

量産体制に移行した場合は、国内における主要光学機器メーカー（シグマ光機㈱など）に製造・販売を委託する。同社についても、十分な事業実施体制が確立されており、高い事業化能力を有している。

② 実用化・事業化を考えるに至った経緯（動機）

弊社は、将来の水素エネルギー利用社会の到来を見据え、2004年度より、保安技術の向上に向けたガス濃度遠隔計測技術、高感度ガス検知技術等に関する研究開発を進めてきた。近年、FCVの実用化や水素ステーションの本格運用など、水素エネルギー利用に向けた取り組みが一層活発化する中で、課題や市場ニーズがより鮮明に示されつつあることを受け、これまでに得られた技術やノウハウを生かし、本提案による事業化を成功させることで、円滑な水素エネルギーの普及に資することができる考えた。

③ 事業として成功すると考える理由

a. 事業の新規性・独創性

現在、水素品質管理においては、水素ステーションにおいて採取したサンプルを分析施設まで搬送し、十数種に及ぶ各不純物質ごとに異なる分析装置を用いた分析が行われている。これらに使用されるいずれの装置も数百万円～数千万円/台と非常に高価であると共に、これらの分析装置は大型・高重量であるため、分析施設外に持ち出すことは困難である。また、これらの装置を用いた1分析当たりには要するコスト及び時間は2百万円、120時間とされている。そのため、実現場においては、オンサイト分析による低コスト化、分析作業の効率化が試みられており、この場合、分析作業自体に要するコストや時間は低減されているものの、分析装置代一式で約2千万円程度の費用が必要となる上、寸法約40×50×30cm、重量20kg程度の大型装置が複数必要となっている。水素ステーションの普及拡大にあたり、これらの改善が重要な課題になると考えられる。

これに対し、本提案の半導体レーザーを用いた光学的原理（レーザーラマン分光法及び赤外吸収分光法）に基づく分析装置は、小型・軽量でありながら、水素純度分析に必要な高い感度を有し、且つ低コストであるという画期的な分析ツールを提供するものである。従来比1/5以下のサイズ・重量で、容易に複数の不純物の現場分析を可能とし、装置コスト6百万円以下を実現することができる。本提案に用いる光学的水素分析手法は、弊社らが発案した全く新しい独自の計測技術である。

表4 既存技術に対する本事業成果に係る分析装置の優位性

	既存技術	本事業成果に係る分析装置
寸法	約40×50×30cm 5台以上	40×50×30cm以下 1台
重量	約20kg 5台以上	20kg以下 1台
コスト	2千万円以上	6百万円以下

b. 他との競争力

弊社による、これまでの独自の研究開発過程において、ECDLの発振とこれを光源としたガス計測の原理については十分に検証がなされており、これに係る産業財産権も取得済みである。したがって、同様の手法で他社との競争となった場合、弊社が圧倒的に有利である。

また、同業他社に対しても、上述のとおり、仕様・コストの両面において本成果品の優位性が顕著であるため、他との競争力は極めて高いものと考えられる。

c. 想定される課題と解決方法

事業化までに想定される課題は、水素ステーション関連市場の獲得である。

現在の水素純度分析は、大手分析機器メーカーの十分に実績が積み上げられた製品が用いられている。分析機器市場は、大手メーカー数社によってシェアがほぼ独占されている 2 強・3 強型となっており、新規参入が困難であるという見方もある。

一方で、水素エネルギー利用の拡大において、水素品質管理に係るコスト低減は大きな課題の一つであり、装置に要するコストの観点で、現時点において課題解決ができるのは本装置のみである。したがって、本装置の優位性である「小型・軽量」「低コスト」「高感度マルチガス分析」が全て実現できることを強力に PR し、随時本事業における完成度の高い商品と実績を提示することで、市場を切り開くことが十分に可能であると考えられる。

④ 実用化・事業化計画に対する申請者内におけるコミットメントの状況

事業化計画については、弊社関連部署のコミットメントを得ている。販売開始後、受注生産を行う企業も承諾済である。各商品とも、年間販売台数が 20 台程度を超えた段階で量産化に向けた事業スキームを再度見直す方針である。

⑤ 実用化・事業化のスケジュール

a. 製品設計

本事業が終了する 2022 年度までに、事業化に向けて必要となる基盤技術の開発を終える。

2023 年度より 2 年間を目途に、製品モデルの開発、長期稼働試験、フィールド試験等の事業化に向けた研究開発を行う予定である。

b. 設備投資

製造は外部委託とするため、各部品や製品の検査用機器の購入が主な設備投資となる。

- ・ 分光分析装置 5 百万円/台 ×4 台
- ・ 分析機能確認試験用検査装置 6 百万円/台 ×2 台

c. 生産

本事業終了後 2025 年度から生産を開始する（サンプル出荷は 2024 年度中旬から開始）。

生産は、エナジーサポート(株)、(株)ワイイーエス等が担当することを検討している。当初はいずれも受注生産とし、弊社からの委託により製造する。なお、年間生産台数が恒常的に 50 台程度を超える見込みとなった時点で、量産ラインの導入を検討する。

d. 販売

当初は弊社により販路の開拓、拡大を推進する。2027 年度終了時点の売上・シェアを基に、本事業の続行/中断の判断と、製造委託企業への受注・製造・販売業務の移管を検討する。

[事業化のスケジュール]

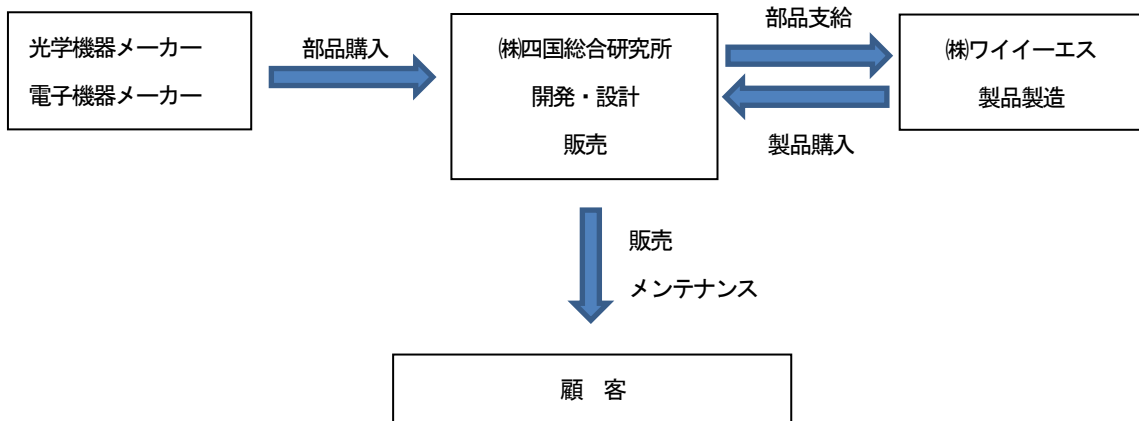
	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度
製品設計						
設備投資			32 百万円			
生産		サンプル出荷開始↓				
販売※				109 台	81 台	83 台
売上発生※				765 百万円	597 百万円	609 百万円
備考	↑プロジェクト終了			続行/中断、業務移管を判断↑		

※2 種類の製品（水素純度分析装置、小型マルチガス分析装置）の合計値を記載

予想される重大な障害：特になし。

- 製品設計段階：特になし。
- 設備投資段階：特になし。
- 生産段階：特になし。
- 販売段階：水素ステーション関連市場の獲得。

[事業化（自社製造販売モデル）のスキーム]



5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2021年1月	レーザー学会学術講演会第41回年次大会	外部共振器型半導体レーザーを用いたラマン分光式ガス分析装置の開発に向けた基礎検討	横井 清人 (四国総研)
2	2021年3月	令和3年電気学会全国大会	検討中	検討中

(2-(4)-⑧)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本重化学工業株式会社

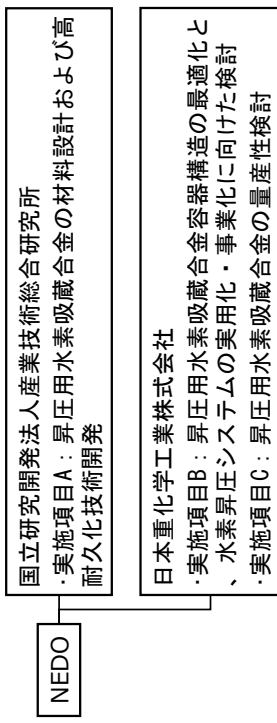
● 成果ガマリ（実施期間：2020年度～2022年度予定）

- これまでの経験からTiリッチ組成の各種AB2型ラーベス相の水素吸蔵合金の試作および40MPaまでの水素吸蔵特性の評価を開始した。
- 小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手するとともに、昇圧システムの省エネルギー効果を検討を開始した。
- Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。

● 背景/研究内容・目的

水素ステーションの整備費、運営費の削減を目指し、水素の貯蔵・昇圧のために活用する排熱(作動温度)を80°C以下に絞った熱化学式昇圧システムの構築を行う。この昇圧システムを商用化・実用化するため、システムに適した材料特性を有する水素吸蔵合金の開発、その水素吸蔵合金の量産性の検討を実施するとともに、昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化に取り組む。

● 実施体制及び分担等



● 研究目標

実施項目	2020年度目標
A	30°Cにおいて20MPa～35MPaの水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、80°Cにおける水素放出圧力を評価する。
B	・1回/2時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計する。 ・昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。
C	Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を行い、適したルツボ材の候補を選定する。

● これまでの実施内容 / 研究成果

これまでの経験からTiリッチ組成の各種AB2型ラーベス相の水素吸蔵合金の試作および40MPaまでの水素吸蔵特性の評価を開始した。試作したいくつかの合金ではAB2型ラーベス相相ではなく多相合金となったため、水素吸蔵特性評価および組成分析結果を踏まえ、新規単相合金の試作・特性評価を実施している。

● 今後の課題

- 現在の実験手順および条件では、いくつかの合金で初期活性化が困難であったため、活性化手順・条件の最適化を検討中である。
- 2022年度の最終目標に向けて、平衡水素圧力のさらなる高圧化とヒステリシスの低減が必要である。低圧合金で見出したヒステリシス低減方法や平衡圧力上昇方法の超高压合金への適用を早い段階で検証し、高圧化・ヒステリシス低減に努める。

● 実用化・事業化の見通し

電気化学式水素ポンプや高圧水電解技術単体と本提案の組み合わせ技術との比較を行い、排熱の効果的な活用による省エネルギー効果の検証を開始している。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	順調に試料試作と特性評価が進行している。	△
B	小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手するとともに、省エネルギー効果の検討を開始した。	△
C	Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：2-(4)-⑧

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」

実施者：国立研究開発法人産業技術総合研究所
日本重化学工業株式会社

1. 研究開発概要

水素をエネルギーとして利用する「水素社会」への移行を牽引する燃料電池自動車、水素ステーションの自律的普及が喫緊の課題である。普及拡大には、水素ステーションの整備費、運営費、さらには水素調達コストの低減にかかる技術開発が必要とされている。現在の水素ステーションでは長く商用化されている機械式圧縮機が使用されているが、圧縮機のコストは全体ステーションコストの約20%を占めるだけでなく、機械式圧縮機の機構上、昇圧のエネルギー効率が低いこと、摺動部の摩耗による定期的なメンテナンスが必要なこと、振動・騒音などの課題が存在する。このような状況は日本国内だけでなく米国でも同様であり、米国DOEではHydrogen Delivery Technical Barriersとして水素圧縮の信頼性およびコストが挙げられ、信頼性向上、低コスト化、圧縮効率の向上が技術開発項目として設定され、次世代水素昇圧システムの研究開発が進められている。

水素吸蔵合金を活用した熱化学式水素圧縮機は、低コストで高効率な次世代水素昇圧システムとして期待されている。この熱化学式水素圧縮機では水素吸蔵合金の冷却・加熱に伴う水素の吸蔵・放出によって水素の昇圧を行う。図1には水素吸蔵合金の水素吸蔵・放出特性の温度依存性の模式図を示す。試料温度の逆数と水素吸蔵・放出圧力には相関があり、試料温度が高くなると水素吸蔵・放出圧力はともに上昇する。そのため、水素吸蔵合金を活用した熱化学式水素圧縮機では、水素吸蔵合金が室温近傍で100MPa相当の高い体積密度で水素を貯蔵でき、加熱温度を変えることにより任意の目的圧力までガス圧力を高められる特長を利用している。この圧縮機の利点として、①排熱を効果的に活用することで昇圧に必要なエネルギーを低減できること、②摺動部がないため水素漏洩のリスク、メンテナンス頻度が低いこと、③振動・騒音が無いことなどがあげられる。本事業では、シンプルで高効率・低コストな水素昇圧システムとして、

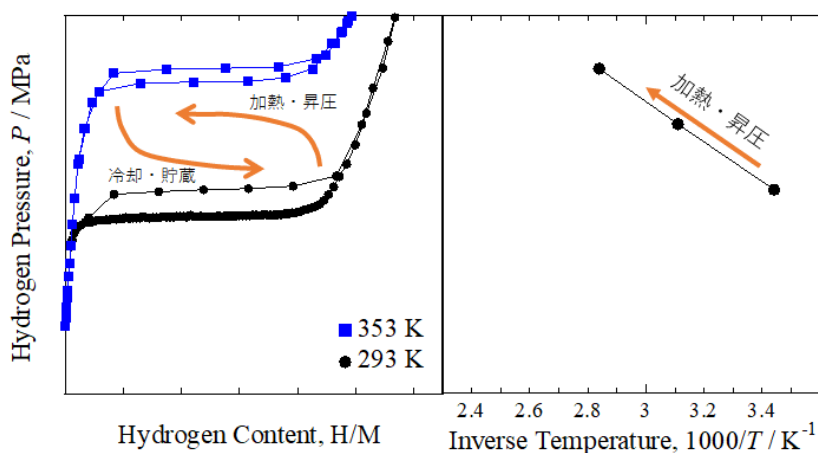


図1 水素吸蔵合金の水素吸蔵・放出特性の温度依存性の模式図

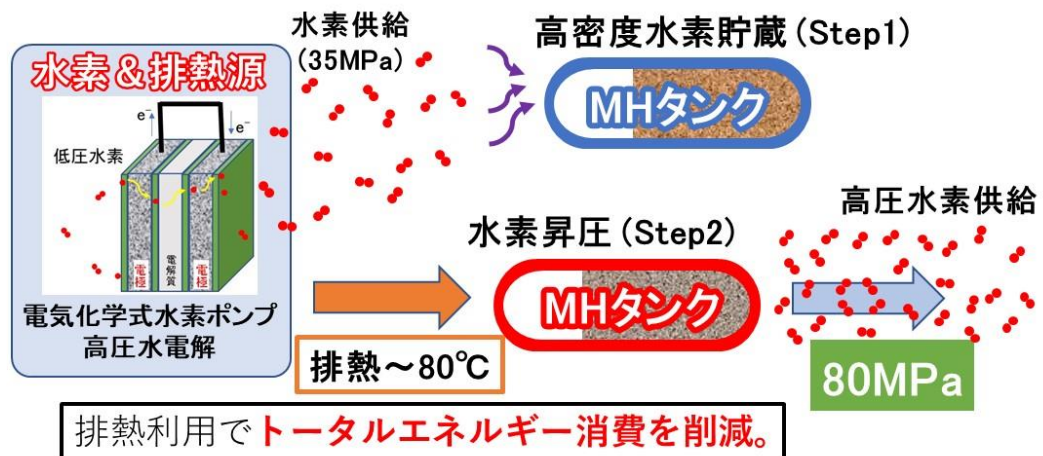


図2 水素吸蔵合金を用いた新規熱化学式水素圧縮機の昇圧イメージ図

35MPaの中圧水素を供給可能な電気化学式水素ポンプや高圧水電解と水素吸蔵合金を活用した熱化学式水素圧縮機を組み合わせたハイブリッドシステムを提案する。図2に水素昇圧プロセスのイメージを示す。このシステムは1次圧力源から製造された中圧水素を本事業で開発する水素吸蔵合金に室温にて貯蔵させた後、作動温度が80°C近傍である電気化学式水素ポンプや高圧水電解の排熱を水素吸蔵合金タンクに供給することで80MPaまで昇圧させ、水素を燃料電池自動車に供給するものである。すなわち、電気化学式水素ポンプや高圧水電解を水素源としてだけでなく、排熱源としても利用するシステムである。本システムの利点は、電気化学式水素ポンプや高圧水電解での水素発生圧力を35MPaまでに抑えることで技術的な困難さを回避するだけでなく、35MPaから80MPaまでの昇圧に対して排熱以外のエネルギー投入を大幅に低減できることである。また、作動温度を100°C以下に限定することで、昇圧に必要なエネルギーに低品位の排熱を有効利用できるだけでなく、熱媒・冷媒に同一の媒体を利用することが可能で、熱交換器の構造が簡便になり、エネルギー効率の向上と低コスト化にもつながると期待できる。

このシステムを構築するためには、本事業では室温で35MPa以下の水素圧力(20~35MPa)で水素を吸蔵し、80°Cの排熱により水素放出圧力が80MPaを超える水素吸蔵合金を開発するとともに、良好な伝熱性能を備え、かつ80MPaに対する耐圧性を有する熱交換器構造の最適化を実施し、新規熱化学式水素圧縮機の要素技術の開発を行う必要がある。材料開発の課題としては、これまでに探索されていない高圧領域で作動する新規水素吸蔵合金の設計・開発、昇圧に必要な温度差を小さくするためのヒステリシス(同一温度での水素吸蔵圧力と水素放出圧力の差)低減や耐久性の向上がある。また、タンクシステムとしての課題として、短時間での昇温、冷却可能な熱交換構造と耐圧を兼ねそろえたタンク設計がある。そこで本事業では、我々が提案する新たな熱化学式水素圧縮機に適した材料特性を有する水素吸蔵合金の開発、その水素吸蔵合金の量産性の検討を実施するとともに、熱伝導解析および構造解析の手法を用いた昇圧用水素吸蔵合金容器の構造の最適化に取り組み、高圧領域において摺動部がない安全で高効率な水素貯蔵・供給システム技術の開発に取り組む。

2. 研究開発目標

本事業では、35MPaの中圧水素を供給可能な電気化学式水素ポンプや高圧水電解と水素吸蔵合金を活用した熱化学式水素圧縮機を組み合わせたハイブリッドシステムの構築に必要な熱化学式水素圧縮機の要素技術の開発および昇圧システムの省エネルギー効果の評価を実施する。

このシステムを構築するためには室温で35MPa以下の水素圧力(20~35MPa)で水素を吸蔵し、かつ、80°Cの排熱により水素放出圧力が80MPaを超える水素吸蔵合金を開発するとともに、良好な伝熱性能を備え、かつ80MPaに対する耐圧性を有する熱交換器構造の最適化を実施し、新規熱化学式水素圧縮機の要素技術を開発する必要がある。

そこで本事業は、(1) 昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発、(2) 昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討、(3) 昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討の3つの実施項目から構成される。それぞれの実施項目の最終目標は表1に示す。

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(1) 昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発	・80℃で80MPaの放出圧力が可能で、外挿から算出される30,000回の吸蔵放出サイクル後に初期容量80%以上容量を維持する水素吸蔵合金を開発する。
(2) 昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討	・良好な伝熱性能を備え、80MPaの水素に対する耐圧性を有する昇圧用水素吸蔵合金容器構造を開発する。 ・昇圧容器に必要な熱交換システムなども含めた設計検討を行い、実用化・事業化を意識した水素昇圧システムを確立する。
(3) 昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討	・ルツボ材の使用可能回数を調査検討し、製造コストについて提示する。量産炉に適用可能なルツボ材、溶解プロセスを確定し、本システムに適用される水素吸蔵合金の大規模製造プロセスを確立する。

(1) 昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発では、最終目標を達成するためさらに3項目に細分化して実施する。①-1 水素吸蔵合金の圧力レンジの最適化、①-2. 低ヒステリシス化技術開発、①-3. 高耐久化技術開発である。①-1 水素吸蔵合金の圧力レンジの最適化では2020年度は既設の40MPaまでの評価装置を活用し、30℃において20MPa～35MPaに水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料の開発を目指す。2021年度以降はこれら合金群の水素吸蔵特性の改良により80℃における水素放出圧力を段階的に80MPaまで上昇させることで、最終目標である80℃で80MPaの放出圧力が可能な合金を開発する。一方で、一般的な水素吸蔵合金の水素吸蔵圧力と水素放出圧力には差が表れる。この圧力差はヒステリシスと呼ばれる。図3に示すように、このヒステリシスの大きさは昇圧できる圧縮比に影響するため、水素吸蔵合金のヒステリシスを小さくすることも、水素昇圧システムにおいて重要である。例えば、ヒステリシスが大きい場合(図3中)、20℃での吸蔵圧力から80℃の放出圧力までの圧力差(=昇圧分)が小さく、極端な場合(図3右)では、80℃の放出圧力の方が20℃での吸蔵圧力より低く昇圧できなくな

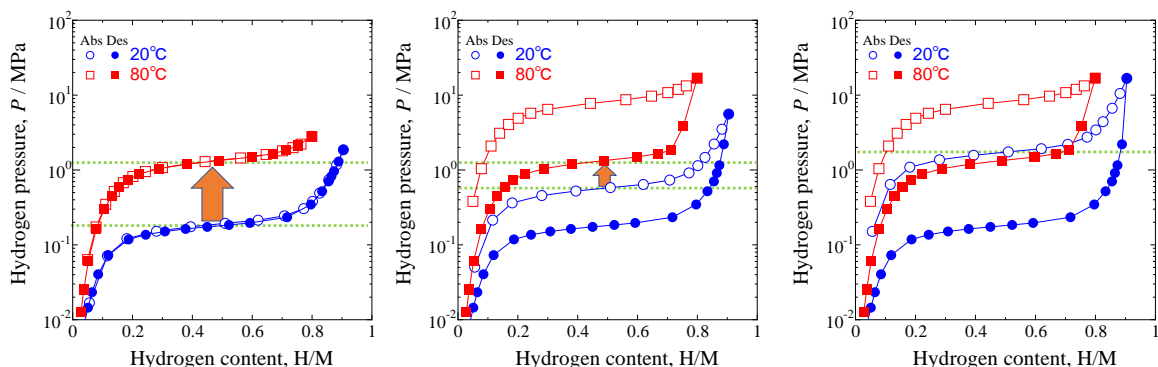


図3 ヒステリシスの大きさが圧縮比に与える影響。ヒステリシスを低減した産総研知財合金の場合(実測)(左)、一般的な合金でみられるヒステリシスが大きい場合(仮想データ)(中、右)。オレンジの矢印は昇圧幅を示す。

る。一方で、ヒステリシスの低減に成功した産総研知財合金では、図3左に示すように同じ温度差であってもより高い圧縮比で水素を昇圧することが可能である。そのため、①-2. 低ヒステリシス化技術開発として、①-1で見出された有力な候補材料に対してヒステリシス低減に効果的な元素置換を実施し、その置換元素の種類・置換量を最適化することで、段階的にヒステリシスを低減し、昇圧に必要な温度差の低減(目標温度差: $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$)を目指す。①-3. 高耐久化技術開発では①-1および①-2で見出された合金に対して温度可変サイクル試験を500サイクル程度実施し、そのデータの外挿から30,000回の吸蔵放出サイクル後に初期容量80%以上容量を維持する合金の開発を行う。

下記の年度ごとの目標をマイルストーンとして、最終目標の達成を目指す。

<2020年度目標>

- 既設の40MPaまでの評価装置を活用し、 30°C において20MPa~35MPaに水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、 80°C における水素放出圧力をファントホッフの関係式から外挿し算出する。

<2021年度目標>

- 30°C において20MPa~35MPaに水素吸蔵圧力を示し、 80°C において70MPa以上の水素放出圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発する。
- ヒステリシスを $\ln(P_{\text{ab}}/P_{\text{des}})<0.2$ まで低減した合金を開発する。
- 100回の吸蔵放出サイクル後においても80%以上容量を維持する合金を開発する。

<最終目標>

- 80°C で80MPaの放出圧力が可能で、外挿から算出される30,000回の吸蔵放出サイクル後に初期容量80%以上容量を維持する水素吸蔵合金を開発する。

(2) 昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討

35MPaの中圧水素を供給可能な電気化学式水素ポンプや高圧水電解と熱化学式水素圧縮機を組み合わせたハイブリッド型水素昇圧システムの構築に必要な熱化学式水素圧縮機の関連技術開発(熱伝導解析および構造解析の手法を用いた昇圧用水素吸蔵合金の構造の最適化、昇圧容器に必要な熱交換システムなども含めた設計、水素吸蔵合金の量産性の検討)を実施する。

水素吸蔵合金による昇圧を効率的に達成するためには、短時間でシステム中の合金層を昇温、冷却可能な熱交換構造が必要となる。熱交換性能の向上には、可能な限り合金層の厚さを薄くすることなどが有効であるが、同時に80MPaの高圧に耐える構造にする必要がある。良好な伝熱性能を備え、かつ80MPaに対する耐圧性を有する熱交換器構造に関する技術開発は、これまでほとんど検討されていない。

80MPaを超える高圧に耐える構造として、シェルアンドチューブタイプのチューブ内部に水素吸蔵合金(MH)および、伝熱促進用のフィンを装填する水素昇圧容器を想定している。耐圧性能を備え、かつ水素昇圧特性を達成に必要な、適切なチューブ外径、肉厚、内部の伝熱フィンの構造等について設計検討が必要になる。

水素昇圧特性を検討する際には、シミュレーション技術を活用して、設計検討を行う。水素吸蔵合金の反応は、通常、熱伝導が律速過程となり反応が進行する。そのため、水素吸蔵合金の充填層(熱交換構造)をモデル化し、非定常熱伝導解析を行なうことによって、水素吸蔵・放出特性を予測することができる。

そこで、熱伝導解析および構造解析の手法を用いて、良好な伝熱性能を備え、かつ80MPaに対する耐圧性を有する熱交換器構造の最適化について研究開発を実施する。

下記の年度ごとの目標をマイルストーンとして、最終目標の達成を目指す。

<2020 年度目標>

- 想定する水素昇圧能力(20Nm³/hour)を達成するために、初期試作検討として、2時間で昇圧・再吸蔵するタンク構造の検討を行い、検討した結果、1/数十スケールの試作容器①を設計する。
- 水素昇圧システムの熱マネージメントについて検討し、昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。

<2021 年度目標>

- 初年度設計した容器の性能評価を行い、さらなる性能向上方策を検討する。得られた成果より、1時間で昇圧・再吸蔵するタンク構造の検討を行い初年度と同規模の試作容器②を設計する。
- 試作容器②の性能を評価(80MPaへの昇圧、昇圧速度の検証)し、20Nm³/hourの昇圧速度を検証可能な試作容器③を設計する。(試作容器③の規模は、①、②の数倍規模)
- 昇圧システムに必要となる熱交換システムなどの付帯設備を設計する。

<最終目標>

- 良好な伝熱性能を備え、80MPaの水素に対する耐圧性を有する昇圧用水素吸蔵合金容器構造を開発する。
- 昇圧容器に必要となる熱交換システムなども含めた設計検討を行い、実用化・事業化を意識した水素昇圧システムを確立する。

(3) 昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討

水素吸蔵合金は、2次電池用の負極材料として用いられており、日本重化学工業では、1990年代より、量産規模(500kg/バッチ)での生産を継続して行っている。本研究開発で昇圧用として検討している水素吸蔵合金はTi系の水素吸蔵合金であり、これまで量産規模での生産は、ほとんど行われていない。課題としては、量産実績のある希土類とニッケルの合金系とは異なり、融点が高いこと、ルツボとの反応性が高いなどがあげられ、量産炉(高周波溶解炉)に適用可能なルツボ材について、1kg溶解炉、10kg溶解炉を用いて検討を行う。

下記の年度ごとの目標をマイルストーンとして、最終目標の達成を目指す。

<2020 年度目標>

- Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を行い、適したルツボ材の候補を選定する。

<2021 年度目標>

- 候補となるルツボ材を用いて溶解試験を行い、Ti系合金の溶解に適したルツボ材を決定する。

<最終目標>

- ルツボ材の使用可能回数を調査検討し、製造コストについて提示する。量産炉に適用可能なルツボ材、溶解プロセスを確定し、本システムに適用される水素吸蔵合金の大規模製造プロセスを確立する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発

(1) 昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発では「①-1. 水素吸蔵合金の圧力

レンジの最適化」に取り組んでいる。TiV_{0.2}Mn_{0.8}Ni_{1.0}合金を初期組成とし、3d遷移元素の置換や組成の最適化等を実施し、30℃における水素吸蔵特性の評価を進めている。試料の試作および特性評価は順調に進展している。

(2) 昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討

昇圧用水素吸蔵合金容器の基本設計を開始した。想定する水素昇圧能力から必要となる水素吸蔵合金量、容器体積を決定し、耐圧性を有する容器の基本構造について検討を進めている。

また、昇圧システムの省エネルギー効果の定量的な評価を実施するため、電気化学式水素ポンプと熱化学式水素圧縮機を組み合わせた類似のハイブリッドシステムを開発している DOE プロジェクト等の情報収集を開始した。

(3) 昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討

Ti系合金の溶解に用いられるルツボ材に関する文献調査を開始した。Ti系合金をルツボ溶解する場合、カルシア坩堝が利用されているが、カルシア坩堝での溶解の課題について調査を継続している。

3. 2 成果の意義

各実施項目ともに順調に進み始めている。

3. 3 開発項目別残課題

プロジェクト開始直後ということもあり、新たな課題等は発生しておらず、順調にプロジェクトは進行している。上記に示した目標を達成するための実施スケジュールに合わせて、3d遷移元素利用による組成の最適化、平衡圧力上昇に効果的な元素の微量添加による平衡水素圧力の増大・調整を図り、30℃において20MPa～35MPaに水素吸蔵圧力を示し、80℃において80MPa以上の水素放出圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発する。また、低圧合金で見出したヒステリシス低減方法の超高压合金への適用を早い段階で検証し、超高压合金でのヒステリシス低減方法を検討する。

省エネルギー効果の検討に関しては、運用温度・圧力条件は本事業とは大きく異なるが、米国の DOE プロジェクトにおいても電気化学式水素ポンプと熱化学式水素圧縮機を組み合わせた類似のハイブリッドシステムの開発が実施されているため、これらの情報収集も行いつつ、省エネルギー効果の検討を進める。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

各実施項目ともに、現時点では課題が発生することなく、順調に進み始めている。

事業化までのシナリオとしては、まずは本プロジェクト期間(~2022 年度)において、新規熱化学式水素圧縮機の構築に必要な室温で 35MPa 以下の水素圧力(20~35MPa)で水素を吸蔵し、80℃の排熱により水素放出圧力が 80MPa を超える水素吸蔵合金を開発するとともに、良好な伝熱性能を備え、かつ 80MPa に対する耐圧性を有する熱交換器構造の最適化を実施する。その後、今回開発する新規熱化学式水素圧縮機を実用化初期段階として水素ステーション未整備地域への

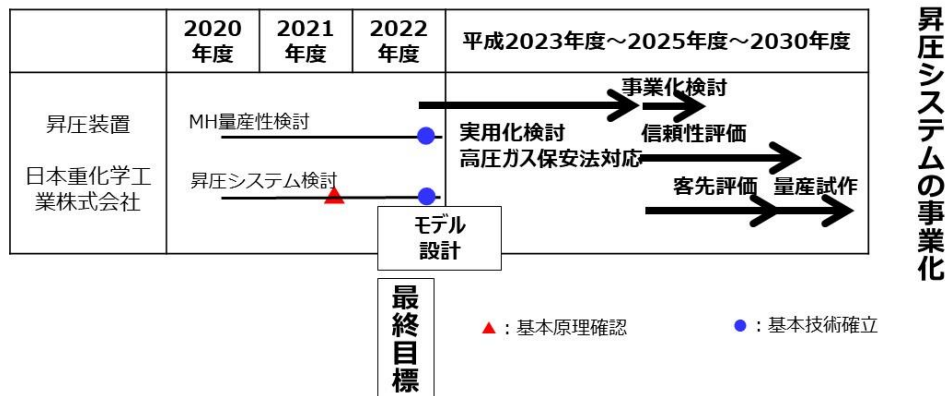


図4 実用化、事業化に向けたスケジュール

小規模水素ステーション向けをターゲットとし、高圧ガス保安法対応などを含めた実用化検討を開始する。また、実証試験を行うことで事業化検討、客先評価を行い、それに基づくシステム改良を実施し事業化へつなげる。実用化、事業化に向けたスケジュールは図4に示す。

5. 研究発表・特許等

成果発表・特許等なし

(2-(4)-⑨)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発」

委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所，岩谷産業株式会社，株式会社タツノ，トキコシステムソリューションズ株式会社，一般社団法人水素供給利用技術協会，一般財団法人日本自動車研究所

- **成果ガリ** (実施期間：2020年度～2022年度 予定)
 - ・マスターメータ法による計量精度検査の信頼性向上を目的にトレーサビリティ体系を再構築の検討を開始した。
 - ・検査運用コストを低減を目標に、HVSUT水素計量タスクフォースにて協力体制を構築し、ガイドライン改定検討に必要な要件整理等を行った。
 - ・水素先進技術研究センター(仮)建設に向け、仕様検討のための委員会・WG設置の準備を開始した。

- **背景/研究内容・目的**

HDV等への大流量充填時における水素計量に関する技術開発と充填技術の開発・標準化に向けた基礎構築を目的とする。また、HDVIに関する各種技術課題を検証するための大型水素ステーションを備えた水素先進技術研究センター(仮)を構築し、我が国が世界を先導して国際基準に資するデータを取得するとともに、国際協調を実施する。

 - 実施項目1)マスターメータ法計量精度検査方法の高度化
 - 実施項目2)新プロトコルに対応する水素計量技術の開発
 - 実施項目3)HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究
 - 実施項目4)HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証
 - 実施項目5)高圧水素計量技術に関する国際協調
- **研究目標**
 - 実施項目1)マスターメータ法計量精度検査方法の高度化
 - 実施項目2)新プロトコルに対応する水素計量技術の開発
 - 実施項目3)HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究
 - 実施項目4)HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証
 - 実施項目5)高圧水素計量技術に関する国際協調

● これまでの実施内容 / 研究成果

実施項目1)マスターメータ法計量精度検査方法の高度化
 マスターメータ法による計量精度検査の信頼性向上を目的にトレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備の整備に向けた仕様の検討を開始した。また、検査運用コストの低減を目標に、水素計量TFの協力を得て、検査周期や充填試験条件を適正化するための量器となるデータ取得を開始した。

実施項目2)新プロトコルに対応する水素計量技術の開発
 これまでに実施した計量検査データを解析し、計量精度に影響を与える要因評価を開始した。また、HDV仕様に対応したマスターメータ法計量精度検査装置の検討を開始した。

実施項目3)HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究
 水素先進技術研究センター(仮)における設備仕様に反映させることを目的に、HDVの充填に関わる詳細ニーズや性能についての調査を開始し、各種HDV用コンポーネントの流量特性等の評価計画を検討した。

実施項目4)HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証
 水素先進技術研究センター(仮)建設に向け、検討委員会・WG設置準備を進め、仕様検討を開始した。

実施項目5)高圧水素計量技術に関する国際協調
 マスターメータ法計量精度検査装置を仲介器としたラウンド・ロビンを実施するため、各国の水素燃料計量用流量計・検査装置の整備状況の調査を開始した。

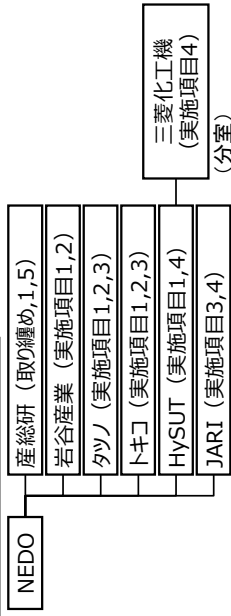
● 今後の課題

HDV対応の計量技術及び充填技術を開発・標準化するために、早急に試験設備・水素先進技術研究センター(仮)仕様を決定し、早急に整備に取りかかる必要がある。また検査運用コスト低減のための量器データを蓄積すると並行して、計量検査技術を高度化し国際基準をクリアしなければならない。

- **実用化・事業化の見通し**
 - ・現在の1/3程度のコストでの水素計量検査運用
 - ・HDV等に対応した充填ハードウェアおよび新プロトコルへの貢献
 - ・開発技術の国際標準化への反映

実施項目	目標
1	低圧大流量水素試験設備の整備仕様の確定
2	HDV対応のマスターメータ法計量精度検査装置の検討
3	HDVシステムハードウェアの調査・仕様検討
4	水素先進技術研究センター(仮)の仕様決定
5	水素燃料計量用流量計・検査装置の調査

● 実施体制及び分担等



実施項目	成果内容	自己評価
1	試験設備仕様検討を開始	△
2	HDV用計量機器調査を開始	△
3	HDV用ハードウェア調査を開始	△
4	センター仕様検討を開始	△
5	流量計・検査装置調査を開始	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：2-(4)-⑨

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発」

実施者：国立研究開発法人産業技術総合研究所

岩谷産業株式会社

株式会社タツノ

トキコシステムソリューションズ株式会社

一般社団法人水素供給利用技術協会

一般財団法人日本自動車研究所

1. 研究開発概要

本事業では、操作性・効率性に優れたマスターメーター法によるFCV実車充填計量検査方法と検査基準及び安全基準の策定に取り組む。加えて、様々な燃料電池モビリティ、特にHDVに対応するための大流量充填計量検査方法の確立およびHDVに関連した新プロトコルに関わる条件出しと諸問題に対する調査・研究を実施し、安全かつ低コスト化に向けた提案および国際標準に資するデータを提供する。さらに、HDVの普及およびHDV用ステーションの実用化を目指し、水素モビリティ全般に関わる部品評価において国際共同研究を推進可能とする実証研究拠点として「水素先進技術研究センター（仮）」の整備に向けた検討を進める。これらの成果は、水素ステーションでの適正な運用に向けて業界団体や工業会の国内外の規格・ガイドライン等への技術基準として提供していく。

実施者らが前事業等で開発してきた水素ディスペンサー計量精度検査技術は世界的に先行しており、本研究開発テーマの成果も含め、国際的な超高压水素インフラ本格普及に貢献するために相互比較による国際整合性の確認、国際技術基準の開発に取り組む。

2. 研究開発目標

本事業における研究開発目標を表1に示す。

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(1) マスターメーター法計量精度検査方法の高度化	<ul style="list-style-type: none">水素ディスペンサー計量検査精度 2.0%、不確かさ 0.4%の達成検査周期延長や充填条件の最適化により計量精度検査コストを現在の 1/3 程度まで削減
(2) 新プロトコルに対応する水素計量技術の開発	<ul style="list-style-type: none">1:500 のワイドレンジにも対応できる流量計測の実現圧力変動、ガス温度の影響評価による器差低減HDV の充填に求められる性能要件を基にヒートマス、圧力損失を評価

(3) HDV 用の水素充填技術等に関する調査・研究	<ul style="list-style-type: none"> ・水素先進技術研究センター（仮）の基盤整備に資する HD 充填システムの概略仕様を提案し、各種ハードウェアの目標性能設定
(4) HDV 等の新プロトコル対応に係る技術検証	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV 用 HRS を実用化するための HDV 用の水素計量や水素充填に関わる技術検証および国際基準調和・国際標準化活動を推進するためのデータの取得
(5) 高圧水素計量技術に関する国際協調	<ul style="list-style-type: none"> ・マスターメーター法計量精度検査装置を仲介器としたラウンド・ロビンをテストを実施し、各国で運用されている水素ディスペンサーの計量精度検査と検査装置のクロスチェックを行い、その成果を国際標準化に反映

各実施項目に設定した目標について以下に述べる。

2. 1 マスターメーター法計量精度検査方法の高度化

国内基準における水素ディスペンサーの計量精度（最大許容誤差¹⁾は測定量の10%まで許容されている。2018年に改定された国際法定計量機関勧告では、国内基準よりも高精度な計量管理が求められており、更なる計量精度検査技術の開発が必要である。本事業では、国際勧告で明記されている目標値である最大許容誤差2.0%、不確かさ0.4%の達成を目標とする。また、現在、国内の水素ステーションにおける水素ディスペンサー計量精度は重量法計量精度検査によって実施されているが、様々な燃料電池モビリティ、特に、将来のHDV対応のためにはマスターメーター法による計量精度検査が最適で、HDV用の容器と秤、それらを搭載する特殊車両が必要となる重量法と比べて装置コストが1/10程度に抑えることができ、検査周期の延長でさらに計量精度検査費用が1/3程度まで削減する。

2. 2 新プロトコルに対応する水素計量技術の開発

HDVの充填過程においては、FCVに比べて、流量の増大、バンク切り替え等による流量の急激な変化、マスターメーター法計量精度検査装置の使用によるヒートマスや圧力損失の増加等が想定され、これらに対応した水素計量技術の開発が必要である。

2. 3 HDV 用の水素充填技術等に関する調査・研究

HDV用燃料システムへの水素充填技術に関わる基礎研究を実施する。HDVに求められる性能を明らかにするため、燃料供給要件（充填時間、流量など）、想定するHDVの要求仕様（航続距離、タンク容量、シングル・ダブルフロー充填、複数容器システムなど）、HDV燃料供給ハードウェア（HFノズル、レセプタクル、ホース、流量計等）などのニーズや性能（圧力損失特性、ヒートマス他、各機器固有の特性）に関する最新技術や海外動向を調査し、将来のHDV用充填プロトコルを作成するためのシミュレーションモデルの境界条件やテーマ4における水素先進技術研究センター（仮）における設備仕様に反映する。

¹ 最大許容誤差（MPE: maximum permissible errors）とは、許容される器差に対する最大値。計量検査時における合否判定基準となる。

2. 4 HDV 等の新プロトコル対応に係る技術検証

HDV 用 HRS を実用化するための HDV 用の水素計量や水素充填に関わる技術検証および国際基準調和・国際標準化活動を推進するためのデータを取得することを目的とし、HDV 用に特化した水素充填設備や計量関連技術等の将来の HDV に関わる各種水素関連製品の試験評価が可能な設備等を備えた水素先進技術研究センター（仮）の整備を実施する。その整備のため将来の技術を見据えた試験項目や研究計画およびセンターの設備・工事の仕様、建設者や事業運営者の決定に関し、審議体制を構築し、関係ステークホルダーとの議論を行いながら整備を進める。具体的には、センターの詳細仕様決定、建設および建設後の技術検証内容の策定等のため、水素ステーション事業者、エンジニアリング会社、装置メーカー、シンクタンクメンバー、自動車会社、業界団体等から構成される「水素先進技術研究センター検討委員会（仮称）」を設置する。また、委員会の下に「水素先進技術研究センター検討 WG（仮称）」を設置し、詳細議論を行うことで検討の効率化を図る。なお、審議体制は検討の進捗に合わせて柔軟に対応し、必要に応じ専門のタスクフォース（TF）等の設置も検討する。

また、GTR（世界統一技術基準）や ISO 等の国際基準・国際規格に資する研究開発および国際審議を推進する別事業（いわゆる GTR 事業や ISO 事業）では将来の HDV 普及を見据えた課題審議が開始されている。本事業ではそこで得られる情報も活用し、センターの詳細仕様および技術検証データの取得計画策定を推進する。将来的にはそれら別事業で推進する国際審議の場に、本センターで取得した研究データを基に HDV の実用化のための技術課題を提供し、日本の国際的イニシアティブ確保への貢献も視野に入れて事業間連携を進め、別事業「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国際展開、国際標準化等に関する研究開発」で実施中の GTR や ISO などの標準化に貢献する。さらに、別事業である「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発」とも連携し、充填技術の効率的技術検証を実施する。

2. 5 高压水素計量技術に関する国際協調

我が国の水素ステーションの設置数は世界で群を抜いている。加えて、水素ディスペンサーの計量精度検査のための技術開発や実証実績においても世界を先導してきている。このような背景のもと、業界ガイドラインや国内工業規格を制定し、法定計量に関する国際勧告である OIML R139 の改定においても co-convener として貢献してきた。米国、EU、中国、韓国などの先進各国でも燃料電池モビリティの普及と水素インフラの整備が進められており、我が国がリーダーシップを発揮し国際協調を行っていくことは重要な役割である。高压水素計量技術に関する国際協調として、国家気体流量標準にトレーサブルな基準流量計を用いて海外製高压水素用流量計の比較試験を行い、国際整合性の評価を実施する。その後、マスターメーター法計量精度検査装置を仲介者としたラウンド・ロビンを実施し、各国で運用されている水素ディスペンサーの計量精度検査と検査装置のクロスチェックを行い、その成果を国際標準化に反映させる。このような国際協調により、我が国の水素計量技術の優位性が確認できれば、国内水素計量器並びに水素ディスペンサーメーカーの国際競争力強化に繋がり、関連業界の活性化に貢献できるものと考えられる。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) マスターメーター法計量精度検査方法の高度化

マスターメーター法による計量精度検査の信頼性向上を目的にトレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備の整備に向けた仕様の検討を開始した。また、検査運用コストの低減を目標に、検査周期や充填試験条件を適正化するための基盤となるデータ取得を開始した。また、HySUT 水素計量タスクフォースにて協力体制を構築し、ガイドライン改定に必要な要件整理等を開始した。

(2) 新プロトコルに対応する水素計量技術の開発

これまでに実施した計量検査データを解析し、計量精度に影響を与える要因評価を開始した。また、HDV 仕様に対応したマスターメーター法計量精度検査装置の検討を開始した。

(3) HDV 用の水素充填技術等に関する調査・研究

水素先進技術研究センター(仮)における設備仕様に反映させることを目的に、HDV の充填に関わる詳細ニーズや性能についての調査を開始し、各種 HDV 用コンポーネントの流量特性等の評価計画を検討した。

(4) HDV 等の新プロトコル対応に係る技術検証

水素先進技術研究センター(仮)建設に向け、検討委員会・WG 設置準備を進め、仕様検討を開始した。

(5) 高圧水素計量技術に関する国際協調

マスターメーター法計量精度検査装置を仲介器としたラウンド・ロビンテストを実施するため、各国の水素燃料計量用流量計・検査装置の整備状況の調査を開始した。

3. 2 成果の意義

様々な燃料電池モビリティ、特に HDV 等の新プロトコルに対応した水素燃料計量システム技術と充填技術の開発に向けた取り組みを開始した。

HDV 対応計量技術においてはマスターメーターを用いた計量方法が優れており、更なる高度化に向けて低圧大流量水素試験設備の整備に向けた仕様検討を開始した。当設備は国際規格における目標値の達成へ向けて、飛躍的に計量性能の向上が期待できる。本事業において、我が国で稼働しているすべての水素燃料システム計量精度検査装置によるデータ取得が開始され、基盤データの集積により、検査周期の延長や充填試験条件の適正化が図られ、水素ステーション運営コスト低減への貢献が期待できる。

HDV 等に関する各種技術課題を検証するための水素先進技術研究センター(仮)の整備へ向けて、調査・研究とともに検討委員会・WG による仕様検討が開始された。このような大型水素評価センターは諸外国でも検討されており、遅れることなく本プロジェクトで整備を完了することにより、世界を先導する技術開発成果をもたらすことが期待できる。そして、低圧大流量水素試験設備や水素先進技術研究センター(仮)は、国際共同研究や国際比較にも活用することを想定してお

り、成果の国際標準への反映や国際協調の拠点となり得るものである。

3. 3 開発項目別残課題

(1) マスターメーター法計量精度検査方法の高度化

国際規格目標値の達成のため、低圧大流量試験設備による校正方法改良と影響要因削減をしなければならない。また、計量精度影響因子の調査が不十分であるため、データ蓄積・分析により誤差要因を顕在化が急務である。

(2) 新プロトコルに対応する水素計量技術の開発

HDVに対応するための大流量化に伴い、圧損や熱損失の増加が予測され、マルチ充填技術やワイドレンジ流量計の開発及び圧損及び熱損影響評価を実施する必要がある。これらの影響評価をHDV模擬試験条件に反映するために実証試験設備での系統的データ取得が必要である。

(3) HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究

HDV充填仕様が未定であるため、マルチフロー充填、長時間充填等の効果検証を行うことも検討しなければならない。

(4) HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証

HDVに関する充填技術や計量技術の評価試験を実施できる大型水素試験評価機関が皆無であるため、HDVの普及のためには、上記調査結果を反映し、水素先進技術研究センター(仮)を早急に整備しなければならない。

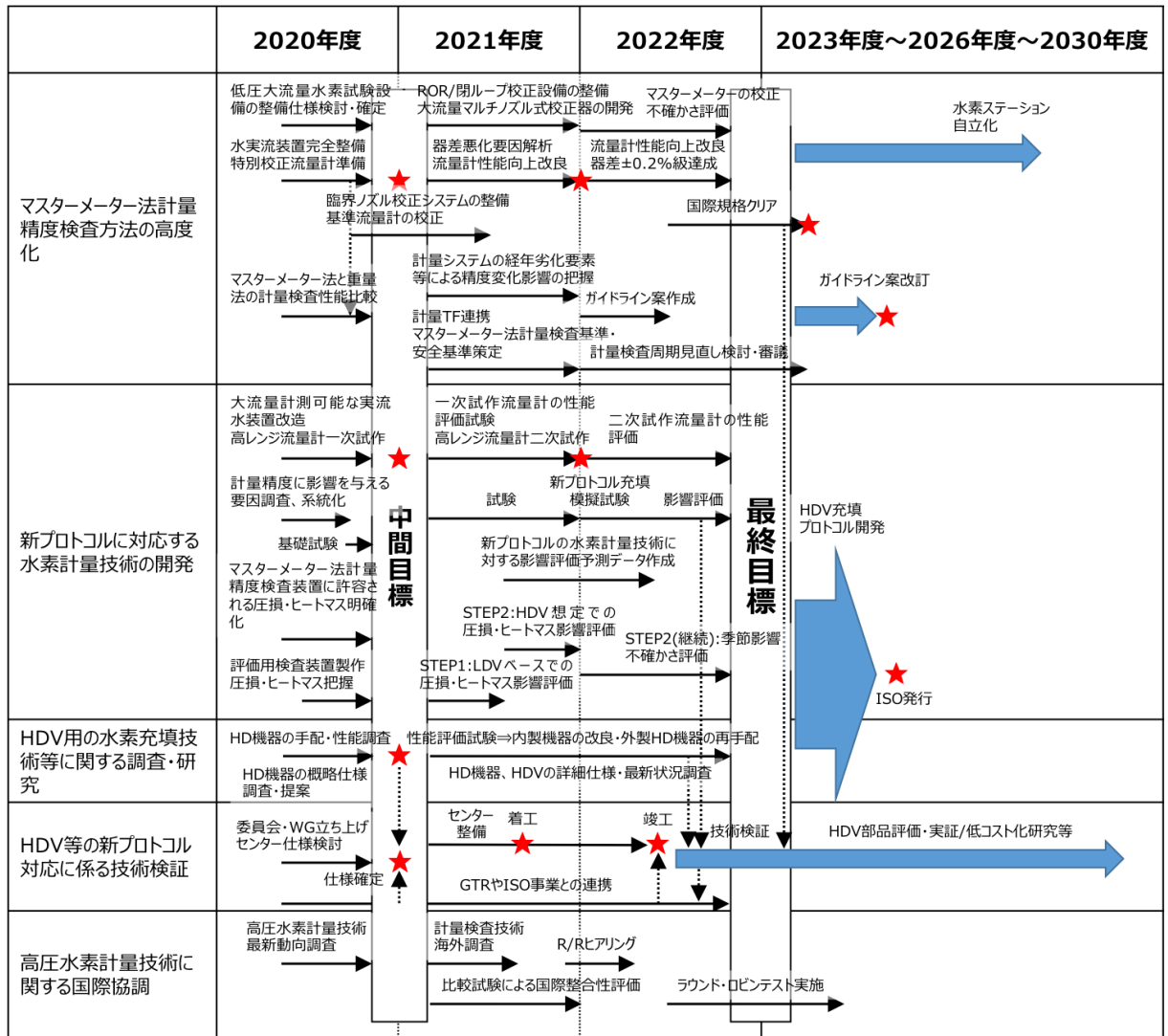
(5) 高圧水素計量技術に関する国際協調

諸外国との間で法規制の相違があるため、相互承認や整合性調査を行い、国際比較スキームを検討する必要がある。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業において開発される水素燃料計量システム技術及び充填技術は、HDVをはじめとする様々な燃料電池モビリティとインフラの普及に資するものであり、国が策定した第五次エネルギー基本計画や水素基本戦略の目標達成に貢献すると期待される。これらの技術は燃料電池モビリティユーザーに適正な水素燃料商取引を提供するとともに、水素インフラ事業者に対して運営コストの低減により2020年代後半に設定されている自立化を支えるものである。

事業の具体的な取組を以下に示す。



5. 研究発表・特許等

なし。

(3-①)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国際展開、国際標準化等に関する研究開発 / 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発」

委託先：（一社）水素供給利用技術協会(HySUT)、（一財）日本自動車研究所(JARI)

●成果ガリ（実施期間：2018年度～2022年度予定）

- ・ISO/TC197国際標準化において日本他各国にとって問題ある規格の否決の後、日本も共同議長として再提案。その他、IS発行とO-ring等の日本の新規提案・国際連携の推進のため種々関連会議等への出席。特にCHS（Center for Hydrogen Safety）へ上位メンバーとして登録・参加した。
- ・次期水素品質規格改定に必要な試験データ等が必要成分について3種まで絞り込み、今後の改定提案に資する情報を取り纏めた。
- ・水素中の硫黄等に関する分析方法・検知限度・コスト等を調査した。水素品質ガイドライン改定案の策定を2回にわたり実施した。

●背景/研究内容・目的

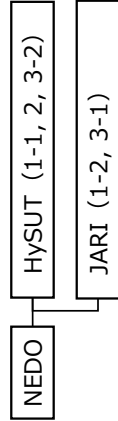
本事業では、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきたISO/TC197（水素技術）が対象とする水素ステーション機器等に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組を実施する。更に標準化活動等に係る国際連携の推進を実施し、もって、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。

また、上記のISO国際審議を日本が主導し、国際規格策定に資するため、水素品質に関する研究開発を行う。

●研究目標

実施項目	目標
1-1	ISO/TC197（水素技術）関連国際規格の発行と日本からの新規提案の具体化
1-2	水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行
2	国際連携推進のため種々関連会議等への参加
3-1	ISO水素燃料仕様で規定される不純物の許容濃度適正化の妥当性を示す。
3-2	適切な管理方法を検討し、水素品質ガイドライン案を作成する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容 / 研究成果

- 1-1 ISO/TC197（水素技術）関連の国際標準化活動を積極的に実施。特にステーション用蓄圧器（WG15）については、日米が共同議長体制で、新規提案が承認された他、HRS用O-ring規格も日本から提案し承認された。これらは当初想定外の全くの新規項目であり、特に顕著な成果である。
- 1-2 ISO国際規格、及び関連するSAE等の規格に対して、的確な対応。水素品質規格、水素コネクタ規格については特にSAEとの整合を留意した。
- 2 HySUTはCHSにメンバーとして参加するとともに、IEA HTCP会議、NOW、DOE等との国際会議等に参加して、海外事業者との意見交換、論議を実施した。特にCHSについては2019年度よりStrategic Partnerとしてメンバー資格を上げてより影響力を行使できる体制を築いた。
- 3-1 次期水素品質国際規格改定に向け、候補成分絞り込みを実施した結果、硫黄、ハロゲン化物、辛酸の3成分を検討成分として選定した。
- 3-2 水素中の硫黄等に関する分析方法・検知限度・コスト等を調査するとともに、簡易分析法として検知管の適用可能性を検討した。水素品質ガイドライン改定案の策定を2回にわたり実施した。

●今後の課題

- 1-1 ステーション用蓄圧器については日米共同議長体制で協力の上、日本の意向が反映されるよう的確に対応する。
 - 1-2 ISO国際規格に対する対応の継続
 - 2 CHS等国際連携活動の継続
 - 3-1 海外と連携しながら次期水素品質規格改定に向けた検討が必要。
 - 3-2 水素品質管理の国際規格改定に合わせたガイドライン改定等の取組み。
- 2年間の事業延長にて上記課題の対応検討

●実用化・事業化の見通し

国際標準化及び国際連携を推進することで、水素・FCVの国際市場での日本の関連産業振興・競争力強化が期待される。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1-1	ISO/TC197（水素技術）関連の国際規格7件の発行と2件の日本の新規提案、承認	○
1-2	水素品質、充填インターフェース関連国際規格5件の発行と改定の対応	○
2	国際連携推進のため種々関連会議等への参加	○
3-1	水素品質の管理対象物質を絞り込み	○
3-2	2件の水素品質ガイドライン案の改定	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	1	1

課題番号：3-①

研究開発名：「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国際展開、国際標準化等に関する研究開発／水素ステーション等機器のISO/TC197 国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発」

実施者：(一社) 水素供給利用技術協会

(一財) 日本自動車研究所

1. 研究開発概要

日本は過去10年余り、米国加州と共に、水素ステーション等機器のISO国際標準化（ISO：International Organization for Standardization、国際標準化機構）において先導的役割を果たしてきた。近年、ドイツを中心とする欧州や、中国などでの水素に関する国際的動向が高まる中、国際標準化の取り組みの重要性が更に増してきている。日本が引き続き水素の取組みにおいて世界をリードして日本の産業振興・競争力強化を図るため、国際的な枠組みを活用しつつ、水素技術に関するISO/TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）標準化への取り組みの主導が重要である。そのためには、グローバルな動向を常に把握し、国内外の関係機関との連携を図ることが重要である。また、そのためには国内の関連する技術開発との連携を図ることが重要である。

更に、上記のISOの国際審議を日本主導でリードし、技術提案を行うために水素品質に関する研究開発を行う。加えて、燃料電池自動車は日米欧をはじめとして世界中で普及させる取り組みが成されており、これら水素及び燃料電池自動車関連の規格の国際調和が非常に重要であることから、ISOやSAE（Society of Automotive Engineers、米国自動車技術会）、CHS（Center for Hydrogen Safety）、NOW（Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie GmbH、独国 水素・燃料電池機構）などと連携することが重要である。

このため、従来日本が世界の先導的役割を果たしてきたISO/TC197（水素技術）が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定につき、引き続き世界をリードするための取組みを実施し、もって、日本の産業振興・競争力強化を図ること、更に、ISO国際審議を日本が主導するため、水素品質に関する研究開発を行うことが本事業の目的である。

本研究開発では、一般社団法人水素供給利用技術協会（以下、HySUT）と一般財団法人日本自動車研究所（以下、JARI）が、下記の(1)(2)及び(3)を行う。

(1) 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進

現在策定審議中の14のISO国際規格、並びに、今後新規提案されるISO国際規格や既制定規格の改訂に関し、グローバル動向を踏まえつつ、日本の技術・知見を活かして制定を主導的に取り進める。

(2) 標準化活動等に係る国際連携の推進

安全に関する国際連携のため、CHS（Center for Hydrogen Safety）関連活動等に取り組む。グローバルな動向の把握のため、IEA HTCP 会議やNOW、DOE（Department of Energy、米国エネルギー省）等との国際インフラワークショップ会議等に参加して、海外事業者との意見交換、論議を行う。

(3) ISO水素品質国際規格のための研究開発

燃料電池に影響を及ぼすハロゲン化物等水素中に含まれる恐れがある不純物の成分を特定し、ISO水素燃料仕様（ISO14687）で規定されているハロゲン化物をはじめとした不純物の許容濃度の妥当性を示すことで水素品質の管理対象物質の絞り込みと許容濃度の適正化を行う。

併せて、ハロゲン、硫黄、微粒子などの適切な品質管理方法を机上検討し、水素品質ガイドライン案の改定を順次行う。

図1に本事業の研究体制を示す。

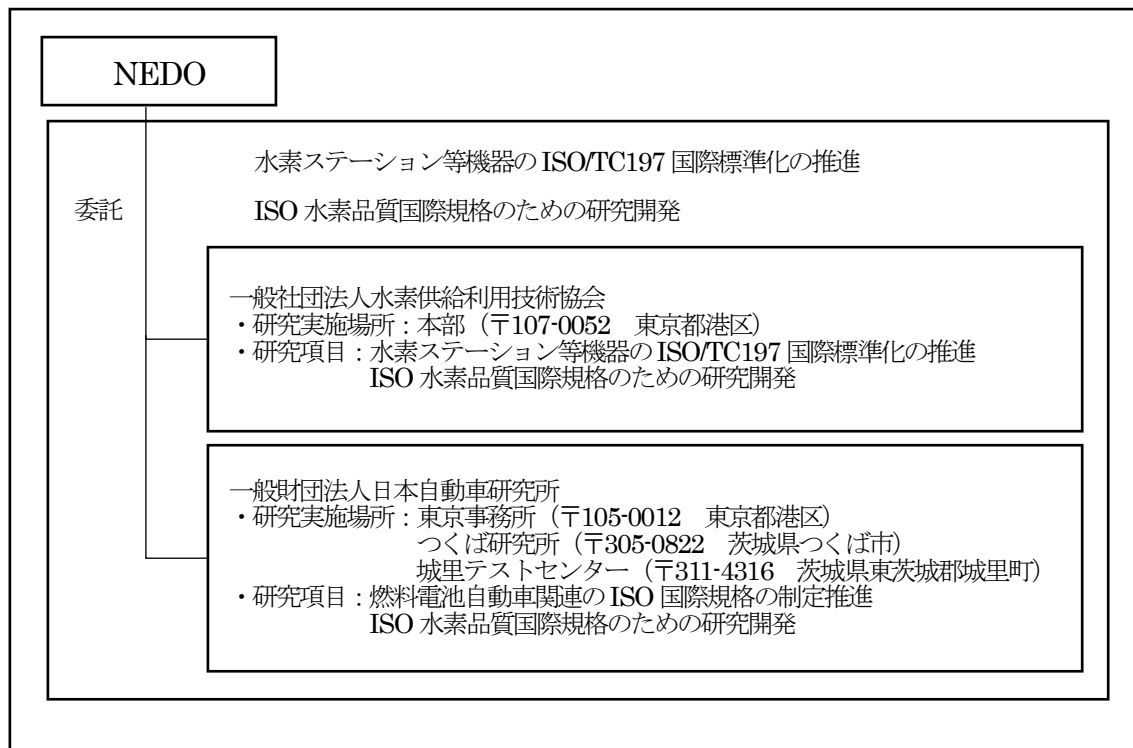


図1 本事業の研究体制

2. 研究開発目標

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
1 水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の推進	
1-1 ISO 等国際規格の主導的な制定の取組みと、ISO 等国際標準化と国内研究開発等との連携強化	策定審議中の ISO 国際規格、並びに、今後新規提案される ISO 国際規格や既制定規格の改訂に関し、日本案を策定して、グローバル動向を踏まえつつ、制定を主導的に取り進める。
1-2 燃料電池自動車関連の ISO 国際規格の制定推進	水素品質、インターフェース関連国際規格改定に関し日本案を策定して、制定を主導的に取り進める。
2 標準化活動等に係る国際連携の推進	国際連携の推進のため種々関連会議等への参加。CHS 等国際連携活動の継続
3 ISO 水素品質国際規格のための研究開発	
3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査	ISO 水素燃料仕様改定に必要なデータを見極め、海外と連携しながら検討結果を取りまとめる
3-2 水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発	水素品質管理の国際規格改定に合わせたガイドライン改定等の取組み

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) ISO 等国际規格の主導的な制定の取組みと、ISO 等国际標準と国内研究開発等との連携強化

① 概要

一般社団法人水素供給利用技術協会（HySUT）はISO/TC197の国内審議団体として一般財団法人日本自動車研究所（JARI）の協力を得て、水素ステーション用機器等水素関連技術に関する国際標準化を進めるISO/TC197の動向調査、国際会議への有識者の派遣、関係団体との連携等を行うとともに国内委員会活動を充実させ日本が主導的な立場で水素関連技術の国際標準化を推進できるよう活動した。

図2にTC197の対象範囲を俯瞰した図を示す。この図が示す通り、水素ステーション、FCVに関する広範な標準化活動が進められていることが分かる。

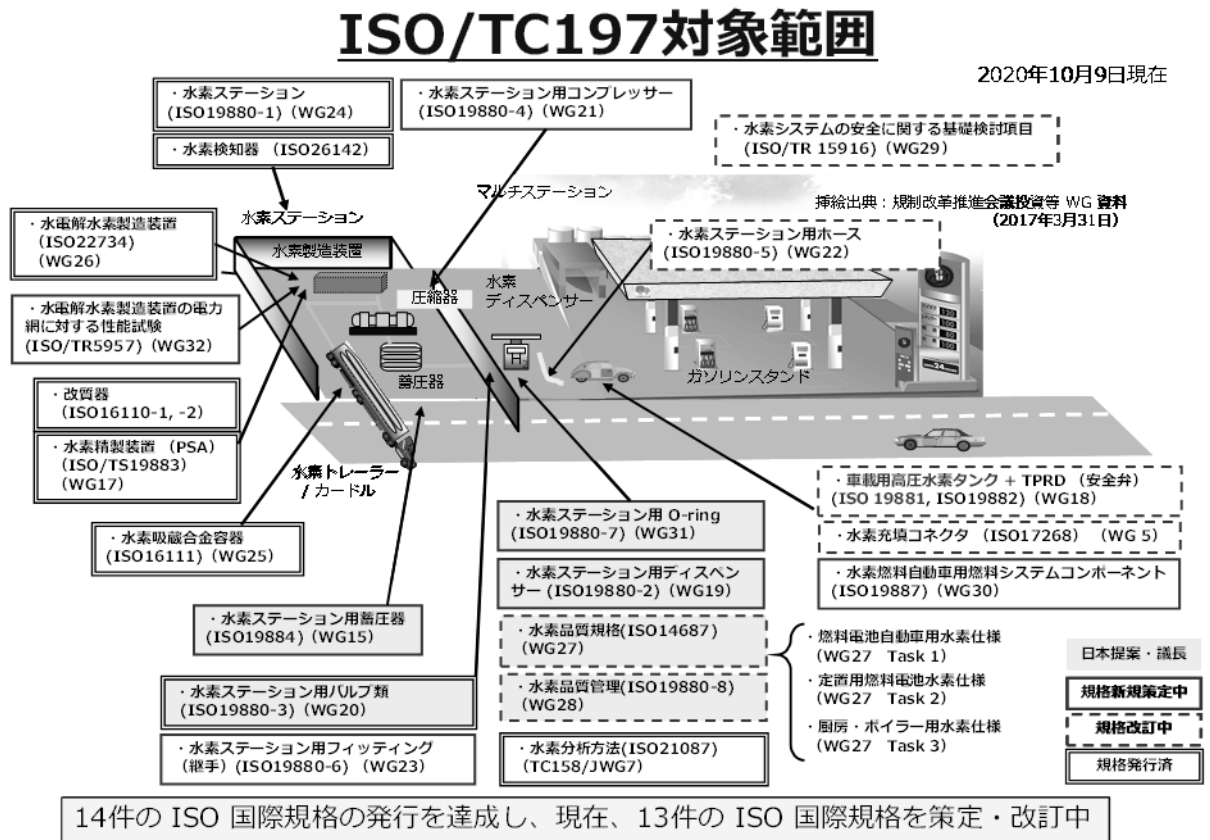


図2 ISO/TC197国際標準化に係る対象範囲

また、図3はISO/TC197の活動に対応する国内体制を示している。TC197の下で活動する各WGに対して、各々国内WG委員会を設置して、対応を進めている。これらのWGの中で、WG5、WG18、WG27、WG28は、その技術内容がFCVと密接に関係することから、JARIがその標準化審議を実施する体制を取っている。

(一社) 水素供給利用技術協会				
ISO/TC197水素技術標準化委員会				
ISO/TC197国内WG委員会				
	内容	ISO	Convener	標準化対応
WG5	水素充填コネクタ	17268	カナダ	JARI
WG15	水素ステーション用蓄圧器	19884	米国+日本	HySUT
WG18	車載用高圧水素タンク TPRD (温度作動式圧力逃し弁)	19881 19882	カナダ	JARI (別事業)
WG19	水素ステーション ディスペンサー (充填機)	19880-2	日本	HySUT
WG20	水素ステーション用バルブ類	19880-3	日本	HySUT
WG21	水素ステーション用コンプレッサー	19880-4	米国	HySUT
WG22	水素ステーション用ホース	19880-5	米国	HySUT
WG23	水素ステーション用フィッティング (継手)	19880-6	米国	HySUT
WG24	水素ステーション	19880-1	米国+フランス	HySUT
WG25	水素吸蔵合金 (MH) 容器	16111	フランス	HySUT
WG26	水電解水素製造装置	22734	米国	HySUT
WG27	水素燃料仕様 (FCV用、定置式PEFC用、その他 用の統合及び改定)	14687	日本	JARI
WG28	水素品質管理	19880-8	日本	JARI
JWG 7 (TC158)	FCV用水素の分析方法	21087	フランス	HySUT
WG29	水素システムの安全に関する基礎検討項目	TR 15916	米国	HySUT/JARI
WG30	水素燃料自動車用燃料システムコンポーネント	19887	米国	JARI (別事業)
WG31	水素ステーション用 O-ring	19880-7	日本	HySUT
WG32	水電解水素製造装置-電力網に対する性能試験法	TR5957	ドイツ	HySUT

図3 ISO/TC197 国内活動体制

② 水素技術標準化委員会 (2019年の委員会にて水素エネルギー技術標準化委員会)

水素技術標準化委員会は ISO/TC197 の国際作業部会に対応する国内委員会を統括する委員会であり、下記の内容にて開催した。

a 2018年11月

各 WG の動向と今後の対応、および2018年12月開催の ISO/TC197 の第27回年次総会への対応の審議、確認。

b 2018年2月

各 WG の動向および ISO/TC197 第27回年次総会の結果に基づく今後の方針の審議、確認。

c 2019年11月

各 WG 国内委員会の動向と今後の対応、および2019年12月開催の ISO/TC197 第28回年次総会への対応の審議、確認。

d 2020年2月

各 WG 国内委員会の動向および ISO/TC197 第28回年次総会の結果に基づく今後の方針の審議、確認。

2020年度については以下の2回開催予定。

e 2020年11月

- 各 WG 国内委員会の動向と今後の対応、および2020年12月開催の ISO/TC197 第29回年次総会への対応の審議、確認。

- f 2021年2月
- 各WG国内委員会の動向およびISO/TC197第29回年次総会の結果に基づく今後の方針の審議、確認。

③ 規格開発の状況 1 (当プロジェクト期間で発行した規格)

2018年度

- a 水素ステーション用バルブ類規格 (ISO19880-3) (議長国：日本)
- 2014年に日本が新規規格開発を提案しコンビナーとして国際作業部会を取りまとめ規格開発を主導してきたもの。
 - 2018年6月ISO国際規格 (ISO19880-3) 発行。
 - ISO/TC197で開発中の水素ステーション関連規格の内最初の規格発行。
 - 国内委員会2回開催。
- b 水素吸蔵合金 (MH) 容器規格 (ISO16111)
- 2018年8月ISO国際規格 (ISO16111) 発行。
 - 国内委員会2回開催。
- c 車載用高圧水素タンク (ISO19881)
- 2018年10月ISO国際規格 (ISO19881) 発行。
 - 国内委員会開催なし。(メール審議対応)
- d 同温度作動式圧力逃し弁 (ISO19882)
- 2018年11月ISO国際規格 (ISO19882) 発行。
 - 国内委員会開催なし。(メール審議対応)

2019年度

- e FCV用水素の分析方法規格 (ISO21087)
- 2019年6月ISO国際規格 (ISO21087 : 2019) 発行。
 - ISO/TC158と共同で開発し、TC158から規格発行。
 - 国内委員会1回開催。
- f 水電解装置規格 (ISO22734)
- 2019年9月ISO国際規格 (ISO22734 : 2019) 発行。
 - 国内委員会1回開催 (メール審議)。
- g 水素品質管理 (ISO19880-8) (議長国：日本)
- 2019年10月ISO国際規格 (ISO19880-8 : 2019) 発行。
 - 国内委員会5回開催。
- h 水素ステーション用ホース (ISO19880-5)
- 2019年11月ISO国際規格 (ISO19880-5 : 2019) 発行。
 - 国内委員会1回開催 (メール審議)。
- i 水素燃料仕様 (ISO14687) (議長国：日本)
- 2019年11月ISO国際規格 (ISO14687 : 2019) 発行。
 - 国内委員会5回開催。
- j 水素充填コネクタ (ISO17268)

- 2020年2月 ISO 国際規格 (ISO17268 : 2020) 発行。
 - 国内委員会 5 回開催 (内 1 回メール審議)。
- k 水素ステーション (ISO19880-1)
- 2020年3月 ISO 国際規格 (ISO17268 : 2020) 発行。
 - 国内委員会 1 回開催 (メール審議)。

④ 規格開発の状況 2 (2020 年度開発中の規格)

2020 年度は 8 件の ISO 国際規格の開発を 8 つの国内委員会が担当して進めた。HySUT が開発担当した規格が 4 件、JARI が開発を担当した規格が 4 件。以下 8 件の規格開発が進行中。

- a. 水素充填コネクタ (Heavy Duty 用含む)
- ISO/TC197/WG5 (コンビナー : カナダ)。日本提案の氷結及び Abuse 試験が採用された規格 (ISO17268) の次期改定に、新たに Heavy Duty を規定する為準備中。
- b. 水素ステーション用蓄圧器規格 (ISO19884) (議長国 : 日本・米国)
- 先のフランスの議長の下での FDIS 投票において、そのままの規格案では危険との判断から、同様に反対する国々と協力し、2019 年に否決した。
 - 一旦プロジェクトとしてはキャンセルになったが、当該規格の必要性を謳い、米国との共同議長体制で、改めて新規提案を行い、2020 年度に承認された。
 - 日本からも積極的なアプローチで得られた成果であり、今後、共同議長国として責務を果たし、国際合意の取れた規格の策定が必須となる。
- c. 車載用高圧水素タンクおよび温度作動式圧力逃し弁 (GTR13 との整合)
- 2018 年 10 月 ISO 国際規格 (ISO19881) 発行。
 - 国内委員会開催なし。(メール審議対応)
 - ISO/TC197/WG18 (コンビナー : カナダ)。GTR Phase2 との整合取りを中心に各国からの指摘事項を反映して改訂準備中。
- d. 水素ステーション用ディスペンサー (充填機) 規格 (ISO19880-2) (議長国 : 日本)
- 2013 年に日本の新規規格開発提案がされ、日本がコンビナーとして国際作業部会を取りまとめ規格開発を主導。
 - 水素ステーションの規格がまとまったのを受け規格案調整を再開。
 - 2021 年の規格発行を目指す。
- e. 水素ステーション用バルブ類規格 (ISO19880-3) (議長国 : 日本)
- 2014 年に日本が新規規格開発を提案しコンビナーとして国際作業部会を取りまとめ規格開発を主導してきたもの。
 - 2018 年 6 月 ISO 国際規格 (ISO19880-3) 発行。
 - ISO/TC197 で開発中の水素ステーション関連規格の内最初の規格発行。
 - 国内委員会 2 回開催。
- f. 水素ステーション用コンプレッサー規格
- 2021 年の規格発行を目指す。
- g. 水素ステーション用ホース
- ISO19880-5:2019 に盛り込めなかった技術的課題の追加。
 - 規格発行は 2022 年以降の見込み。

- h. 水素ステーション用フィッティング (継手) 規格
 - 2021 年の規格発行を目指す。
- i. 水素燃料燃料仕様 (議長国：日本)
 - WG27 での審議再開予定。ISO14687 の改定に着手。
- j. 水素品質管理 (議長国：日本)
 - 今年度 ISO19880-8 の訂正版 (Amendment：補遺 ISO 14687 Amd 1) の DIS 投票承認。
2020 年度中に発行段階到達予定。

⑤ 新規規格

2020 年度は以下 4 件の新規規格開発が承認され始動した。

- a. 定置用蓄圧器規格 (WG15：米国と日本が共同議長) 2023 年の規格発行を計画
- b. 水素ステーション用 O-ring (日本) 2023 年の規格発行を計画
- c. 自動車用燃料システム機器の要件 (カナダ) 2024 年の規格発行を計画
- d. 水電解装置の性能試験方法 (TR：オランダ) 2022 年の規格発行を計画

⑥ 規格の定期見直し

2020 年度は以下 5 件の規格の定期見直しを実施した。

投票結果に基づく各規格の取り扱いについて ISO 事務局の発表待。

- a. ISO19384:1999 車両用液体水素充填機インターフェース
- b. ISO19385:2006 車載用燃料タンク (液体水素用)
- c. ISO16110-2:2010 水素製造装置 (燃料改質) 性能試験方法
- d. ISO26142:2020 水素検出装置 (固定式)
- e. ISO/TS19883:2017 水素製造装置 (PSA) の安全性

以上の項目について、的確に対応し、特に WG15 及び O-ring の国際規格については、日本が議長国を獲得し、当初想定以上の成果を得た。ISO/TC197 (水素技術) 関連の国際標準化活動を積極的に実施する中で、特に日本を議長国とする新規提案が上記のように 2 件承認されたことは、今後の当該分野の日本の立場を優位にする上で意義が大きい。(○)

(2) 標準化活動等に係る国際連携の推進 (HySUT)

- IEA 水素実施協定の下、Task38 会議に日本の専門家を派遣し、議論を進めた。
 - Task38 (Power-to-Hydrogen and Hydrogen-to-X) 会議 (2019 年 9 月、スペイン プエルトラノ)：産総研委員
- グローバルな関連技術動向の把握のため、国際インフラワークショップ (2020 年 2 月、東京) や DOE、NOW、H2 Mobility 等との国際連携を図った。
- 安全に関する国際連携のため、2019 年度より HySUT は CHS (Center for Hydrogen Safety) にメンバーとして参加し、2019 年 10 月に CHS として開催する初の国際会議 (サクラメント) において日本の状況を報告した。また、2020 年 7 月より、Strategic Partner としてメンバー資格を上げ、より影響力を行使できる体制を築き、国際会議の準備委員を務めるなど CHS の活動に貢献し

た。

上記のように国際連携に必要な活動を積極的に実施する中で、日本の当該分野でのプレゼンスを高め、今後の国際協調に必要なプラットフォームへの参画を容易とする基盤を醸成した。(〇)

(3) ISO 水素品質国際規格のための研究開発

①水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査

現在の水素品質に関する国際規格 (ISO14687:2019) は 2015 年から改定審議が開始され、2017 年度に DIS (Draft International Standard) が発行、2019 年 11 月に IS (International Standard) が発行された。ISO14687:2019 の改定審議は、2017 年度までの NEDO 事業「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」において取得したデータを根拠として、日本が自動車会社およびインフラ事業者と一体となって議論を主導しつつ、欧米を中心とした海外の自動車会社およびインフラ事業者と国際協調しながら進められた。そのため ISO14687:2019 は、欧州の水素品質規格 (EN17124)、米国の水素品質規格 (SAE J 2719) とも整合したものとなっている。

ISO14687:2019 は、水素および燃料電池自動車 (FCV) の普及拡大期を想定している。水素および FCV の大量普及に向けては、ISO14687: 2019 をさらに改定する必要があるとの共通認識がこれまでの国際審議で得られている。本事業では、ISO14687: 2019 の次期改定に向けた課題について、日本および海外のインフラ事業者からの要望に対する具体的検討、水素品質規格の緩和による分析コスト低減への効果の検討、燃料電池の影響に関する既存データの調査を行った。

日欧のインフラおよび自動車メーカーからこれまでの国際会議において示された ISO14687 の次期改定要望をまとめたものを表 2 に示す。日本、欧州におけるインフラ事業者からの改定要望に関するポイントは、(1) Total で示される成分の具体化を含む不純物数削減、(2) 不純物の許容濃度の見直し、の 2 点である。Total で規定される成分は、分析対象を定めないと分析が煩雑になるという課題があり、インフラ事業者からの共通課題である。日本のインフラ事業者から提案された硫黄化合物の許容濃度見直しに関する要望は、硫黄の被毒・回復挙動も考慮した最新の知見に基づき、規格値を精査するべきとされている。欧州のインフラ事業者から提案されたギ酸は、分析コスト削減の観点からの要望である。その他欧州からは、FCV 用水素の水素品質管理を他の産業ガスと同等レベルとしたいとの観点や、水電解など新たな水素供給源を考慮した規格緩和の要望がある。日本の自動車会社からは、規格値について現状 Hydrogen fuel Index とした表記を Hydrogen Purity としたいとの要望がある。

水素品質規格は、自動車用燃料電池に対する影響がないようにする前提で検討されてきている。したがって、今後の改定に向けては、緩和した場合の燃料電池スタックや貯蔵容器など、燃料電池システムへの影響も含めてデータに基づき検討していく必要がある。なお ISO14687 改定に向けた課題は、米国および中国、韓国からの改定要望や、欧州のプロジェクトで得られた結果も含めて ISO/TC 197/ WG 27 において議論される予定である。

表2 ISO14687 改定に関する日欧産業界の要望状況

成分	ISO14687 Type I、Grade D	自動車メーカー (日本)	インフラ(日本)	インフラ(欧州)	欧州プロジェクト*1
Hydrogen fuel index (最小モル分率)	99.97%	Purity として規定、99.97%を維持			
水 (H ₂ O)	5 μmol / mol		規格から除外*2		
非メタン全炭化水素 (C1 当量)	2 μmol / mol		ベンゼン 2 ppm (絶対値)*3	"Total"を回避(具体的成分を規定)	●
メタン (CH ₄)	100 μmol / mol				
酸素 (O ₂)	5 μmol / mol			50 μmol / mol に緩和	
ヘリウム (He)	300 μmol / mol				
窒素 (N ₂)	300 μmol / mol			500 μmol / mol に緩和	
アルゴン (Ar)	300 μmol / mol				
二酸化炭素 (CO ₂)	2 μmol / mol			5 μmol / mol に緩和	●
一酸化炭素 (CO)	0.2 μmol / mol		値を下げることに反対		◆, ●
全硫黄化合物 (S1 当量)	0.004 μmol / mol		データに基づく緩和	"Total"を回避(具体的成分を規定)	◆, ●
ホルムアルデヒド (HCHO)	0.2 μmol / mol				
ギ酸 (HCOOH)	0.2 μmol / mol			規格から除外	
アンモニア (NH ₃)	0.1 μmol / mol				●
ハロゲン化物 (ハロゲンイオン当量)	0.05 μmol / mol		対象を塩化物のみに絞込み	"Total"を回避(具体的成分を規定)	◆, ●
粒子	1 mg / kg				
その他		シリコン, オイル, 粒子形状の扱いに関心有			潤滑油、溶剤、洗浄剤

● 検討中(2018年10月WG27で言及)、◆ 検討中(2019年9月のWG27で言及)

*1: 欧州 Project は、FCH JU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking)における HYDRAITE (Hydrogen Delivery Risk Assessment and Impurity Tolerance Evaluation) Project、および EMPIR (The European Metrology Programme for Innovation and Research)における Hydrogen Project

*2: 別途定める水素品質管理(ISO19880-8)において規定したい

*3: 一例。燃料電池に対する影響がある成分を具体化した

表 2 に示した成分について、改定による産業界への効果が大きいと思われる成分を検討した。FCV 用水素品質規格に定める 13 成分のうち、全硫黄化合物、ホルムアルデヒド、ギ酸、アンモニア、ハロゲン化物の 5 種類が全分析コストの約 2/3 を占めることが 2015 年頃の分析試算例からわかっている。このうち、全硫黄化合物の許容濃度は 0.004 ppm であり、分析の際には硫黄を濃縮させる必要がある。もし硫黄の濃縮が不要な濃度まで規格値を緩和可能であれば、分析コストが低減できる可能性がある。また、ギ酸の項目削除や、ハロゲン化物の対象を塩化物のみに絞り込むことができれば、分析項目削減による分析コスト削減が期待できる。一方、ホルムアルデヒドは欧州からの緩和要望を踏まえ、燃料電池の性能に及ぼす影響を考慮し 0.01 ppm から 0.2 ppm に緩和済であること、アンモニアは悪臭防止法において一般地域で 1 ppm 以下と規定されていることから大幅な緩和は望めず、分析コスト低減に寄与することは困難と思われる。これらを踏まえると、硫黄の許容濃度緩和、ギ酸の規定を削除、ハロゲン化物の対象を塩化物のみに絞り込むことが、分析コスト低減に寄与する可能性が高い。さらに、許容濃度を緩和すると、高度な分析技術が不要となることで分析技術に関する障壁が低くなる。これにより、既存の事業者のみならず新規参入者の増加が期待でき、水素分析に対応できる事業者が増加することで将来の水素ステーション増加に伴う水素供給量を確保する体制を整えることができる。

FCV 用水素品質規格は、燃料電池システムに混入することが望ましくない成分と、その許容濃度が規定されている。許容濃度の緩和を議論するためには、燃料電池に対する各成分の影響を把握することが必要となる。このことから、硫黄化合物、ギ酸、ハロゲン化物が燃料電池に及ぼす影響について調査した。

まず硫黄化合物は、白金など燃料電池触媒に強く吸着・蓄積し、燃料電池の発電性能を大きく低下させることが知られている。硫黄化合物の許容濃度は燃料電池性能への影響と、ISO14687-2 を議論した当時の分析技術における定量下限から 0.004 ppm とした経緯がある。その一方で、近年では、硫黄吸着後の触媒を低電位処理することで、電圧が元の水準まで回復するといった報告がある¹⁾。また、電位を高く設定することで硫黄が酸化され、硫酸として脱離することも報告されている^{2,3)}。燃料電池材料の劣化を考慮しつつ、このような被毒回復技術を適用することができれば、許容濃度の緩和を検討することが可能となる。

ギ酸は、白金などの燃料電池触媒に吸着することで燃料電池の発電性能を低下させることが考えられる。ギ酸による影響は一酸化炭素と同様に、濃度に応じて燃料電池への影響度が大きくなると考えられる。水素品質規格における許容濃度は一酸化炭素、ホルムアルデヒド、ギ酸の和が 0.2 ppm とされているが、一酸化炭素に比べてギ酸による影響度は小さい。ギ酸についても、燃料電池システムに混入しても被毒回復技術等によって燃料電池性能が回復あるいは影響を与えないことが明らかになれば、水素品質規格から除外できる可能性がある。

ハロゲン化物のうち無機塩化物については、塩化水素が燃料電池性能を低下させることが報告されている⁴⁾。また有機塩化物については、海外における洗浄剤由来での混入が想定されるジクロロエチレン（化学式： C_2Cl_4 ）⁵⁾やテトラクロロヘキサフルオロブタン（化学式： $C_4Cl_4F_6$ ）⁶⁾が燃料電池性能を低下させることが報告されている。欧米では洗浄剤由来と想定されるハロゲン化物が水素中に混入するケースがあるが^{6,7)}、日本の水素ステーションでは洗浄剤としてハロゲン化物を使用していない。なお、他のハロゲン化物（フッ化物、臭化物、ヨウ化物）の影響については燃料電池への影響に関する報告はない。塩化物以外のハロゲン化物による燃料電池への影響が明らかになれば、水素品質規格から除外可能かどうかを判断することが可能となる。

以上のように、日本および海外のインフラ事業者からの要望に対して絞り込みを行った結果、次期 FCV 用水素品質規格の改定に向けては全硫黄化合物の許容濃度緩和、ギ酸の水素品質規格からの削除、

ハロゲン化物の成分絞り込みが重要な点であることが明らかとなった (○)。

参考文献

- 1) NEDO FCV 課題共有フォーラム資料「FCV 用燃料電池の現状と課題」P.36-37, 2019 年 1 月 22 日.
- 2) Y. Nagahara et al., J. Power Sources, 2008, 182, 422-428.
- 3) W. Shi et al., J. Power Sources, 2007, 164, 272-277.
- 4) I. Profatilova, presentation at ISO/TC 197/WG 27, 2018.
- 5) M. J. Martinez-Rodriguez et al., J. Electrochem. Soc., 2011, 158, B698-B702.
- 6) <https://www.nrel.gov/hydrogen/infrastructure-cdps-retail.html> (2020.10.1)
- 7) http://hycora.eu/workshops/06062017/HyCoRA_WS_201706_Aarhaug_SA_v2.pdf (2020.10.1)

② 水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発

- 硫黄の簡易分析法として H₂S 硫黄検知管による測定法について調査し、検知限度が ppb 等の精密な定量は難しいものの、硫黄の有無の簡易分析法として再現性良く測定可能であることを明らかにした。その内容について図 4 に示す。

【目的】FCV 用の燃料水素中の硫黄分の簡易分析法として硫黄検知管について調査した。(ISO 国際規格 (ISO14687-2) : 全硫黄分 0.004ppm)

【硫黄検知管 : H₂S 検知用】

種類	検知限度	測定範囲
Aメーカー	0.05ppm (試料100mL採取時)	0.1~3ppm
Bメーカー	0.01ppm (試料200mL採取時)	0.05~0.1ppm

上記の2種の検知管は、ISO規格値0.004ppmを検知できない仕様である。ここで、試料量を増加させて測定することで、ISO規格値を検知可能であるかを検討した。

【H₂S濃度の測定結果】

検知管	標準ガス濃度 (ppb)	通ガス総量 (mL)		
		5000	6500	13000
H ₂ S濃度測定値(ppb)				
Aメーカー	4	4~6	5	
Aメーカー	0	X	X	
Bメーカー	4	4~6	5	5
Bメーカー	0	X	X	X

X : 変色せず

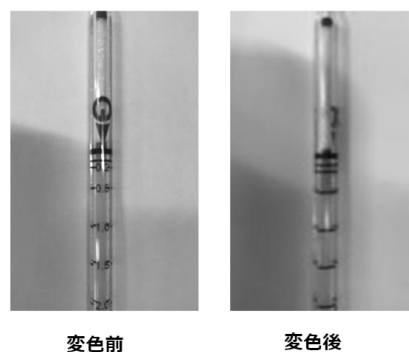
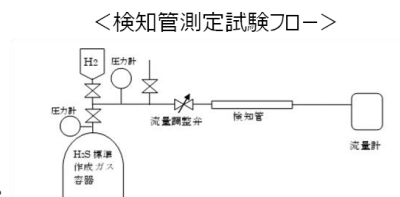


図 4 硫黄の簡易分析法として H₂S 硫黄検知管による測定法の検討

- 水電解法 (アルカリ型、PEFC 型) の製品水素中のハロゲンや酸素の混入について調査した。
- 品質異常発生時の対応、及び水素品質規格 ISO14687 の改訂版発行に伴う品質管理手法の整合のため、2度に亘る水素品質ガイドライン改定を策定した。
 - 品質異常時の対応の追加 (2019 年 9 月改訂)

水素品質ガイドラインは、FCV 用水素の品質仕様である ISO 国際規格を遵守することを規定しているが、現状の水素 ST における品質管理方法は、まだ過渡期であり、100 ヶ所程度と決し

て多くない水素ステーションの営業を可能な限り継続することが重要である。

このため、「水素中の各不純物の影響度 (Severity Class)を勘案して、ISO 規格値を越えても、今回新たに設定する上限値の範囲内であった場合は、水素ステーションを営業しながら、決められた対処期間内に水素品質を改善することができる。」旨の品質異常時の対応を追加した。

▶ 水素品質規格 ISO14687 の発行に伴う改訂 (2020 年 3 月改訂)

当初の水素品質管理ガイドラインは、ISO14687-2 に準拠し、これを遵守することを前提に策定されていた。

ISO14687-2 は 2019 年 11 月に PEM 定置用、その他の ISO と統合すると共に、新たな不純物許容濃度等が ISO14687 Grade D として制定されたので、水素品質管理ガイドライン案を ISO14687 Grade D に準拠・遵守する旨の改定を行った。

上記の品質管理手法の検討、コスト解析、技術動向に合わせたガイドラインの改定により水素供給の発展向上、低コスト化に資することが出来る。(○)

3. 2 成果の意義

(国際標準化・国際連携対応)

本プロジェクトは、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきた ISO/TC197 (水素技術) が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組みを実施するものである。更に標準化活動等に係る国際連携を推進し、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。更に、上記の ISO 国際審議を日本が主導し、国際規格策定に資するため、水素品質に関する研究開発を行うとしている。

このように、ISO/TC197 関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、国際連携における日本のプレゼンスが上がり、水素・FCV 関連の市場における日本の国際競争力を強化することが可能となる。以って水素・FCV の大量普及に資することが出来る。ISO/TC197 (水素技術) 関連の国際標準化活動を積極的に実施する中で、日本の意見を十分に反映して発行できたこと、また、日本も各国と共に問題とする蓄圧器の規格の否決に続き、日本を共同議長とする新規提案承認など、今後の当該分野の日本の立場を優位にする上で意義が大きい。

今後も中心的な位置での活動を継続することにより、水素技術に係る国際標準化におけるプレゼンスがますます高まる。これまでも日本の高い水素関連技術から、各国際標準化案件への積極的な参画により、当該 TC での日本の一定のプレゼンスはあったが、活動を維持することにより、影響力、発言力は、さらに高まる。それにより、日本の持つ高い技術力に対して、国際標準化の側面からそれを裏打ちすることから、国際市場における日本の国際競争力を維持・発展することが出来る。

(ISO 水素品質国際規格のための研究開発)

水素品質関連規格については、FCV 用の水素品質規格は、これまで日本が規格作成・改定議論を主導してきた結果、日本の自動車メーカーおよびインフラ事業者の意見を反映しつつ、かつ国際協調しながら 2019 年に発行された。一方で、発行された ISO14687:2019 は水素および FCV の普及拡大期を想定している。水素および FCV の大量普及に向けては、ISO14687:2019 をさらに改定する必要があるとの共通認識がこれまでの国際審議で得られている。世界において水素および FCV の大量普及に向けた動きが活発化の中で、インフ

ラ・自動車共に水素関連産業の自立的拡大に向けた課題を解決する必要がある。インフラ側から見れば、水素品質管理の負担低減のため、全般的に可能な限り規格値の緩和が求められている。水素品質管理の負担低減により、水素分析コストの低減に加え、高度な分析技術が不要となることで分析技術に関する障壁が小さくなり、既存の事業者のみならず新規参入者の増加が期待でき、水素分析に対応できる事業者が増加することで将来の水素ステーション増加に伴う水素供給量を確保する体制を整えることができる。その一方で、FCV 側から見れば、商用車を含む FCV の大量普及のために燃料電池システムの高性能化、低コスト化に取り組む中で、FCV の性能および耐久性に影響を与えない規格であることが求められる。本研究開発の成果により、次期水素品質規格の改定を日本が主導しつつ海外と協調しながら進めることが、水素および FCV の今後の普及拡大に大きく貢献するものと考えられる。

3. 3 開発項目別残課題

(国際標準化・国際連携対応)

HySUT は ISO/TC197 の中で国際連携としてそのマネジメントに深くかかわっている。HySUT 要員が TC197 の Technical Advisory Board の 4 名の諮問委員の一人として、TC197 の意思決定に加わっている。

今後、日本主導で水素技術の国際標準化を推進するにあたり、このような体制を維持してゆくことが重要な要素となる。2020 年度に日本が議長国として提案、承認、発足した蓄圧器 (ISO 19884)、O-ring (ISO 19880-7) などの規格策定については、特段注意を払い、国際合意を醸成することが必須となる。

また、CHS などの国際連携に係る活動については、国際連携における日本のプレゼンスが上がり、参加する各国より注目されることから、より積極的な取り組みが望まれる。

(ISO 水素品質国際規格のための研究開発)

今後、水素品質規格改定に向けては、改定議論に必要な技術的な根拠を示すデータが必要となる。今回の水素品質規格改定では、多くの成分が改定議論に付される見込みである。今後の改定議論開始に向けては、既存データを最大限に活用すると同時に、海外の研究機関と協調、連携しながら効率の良い新規データ取得計画を作成する必要がある。海外ともに日本も根拠となるデータを提示しながら、引き続き日本が国際審議を主導することで、日本のインフラ事業者及び自動車会社の双方にバランスが取れた規格にすることが可能となり、以って水素および FCV の今後の普及拡大に貢献できる。

4. まとめ

本プロジェクトは、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきた ISO/TC197 (水素技術) が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組みを実施するものである。更に標準化活動等に係る国際連携を推進し、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。更に、上記の ISO 国際審議を日本が主導し、国際規格策定に資するため、水素品質に関する研究開発を行う。

このように、ISO/TC197 関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、国際連携における日本のプレゼンスが上がり、水素・FCV 関連の市場における日本の国際競争力を強化することが可能となる。以って水素・FCV の大量普及に資することが出来る。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
	2019年6月5日	World Hydrogen Technology Convention 2019	Effect of impurities in hydrogen fuel on the performance of polymer electrolyte fuel cells for automotive applications	JARI 松田佳之
	2020年2月17日	Journal of the Electrochemical Society, 2020 167 044509 (査読有り)	Effect of Carbon Monoxide on Polymer Electrolyte Fuel Cell Performance with a Hydrogen Circulation System	JARI 松田佳之
	2019年4月1日	ガスレビュー誌 909号	FCV 用水素国際規格「ISO14687-2」 近日改訂	ガスレビュー誌 取材記事 取材対応: HySUT

—特許等—

該当なし

(3-2)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国際展開、国際標準化等に関する研究開発 / 燃料電池自動車の研究開発」

委託先：一般財団法人日本自動車研究所

- 成果ガリ (実施期間：2018年度～2022年度予定)
 - ・HFCV-GTR Phase2審議に参画し、日本提案の国際合意に向けて、審議を推進中。ドラフトコメントが作成されつつある。
 - ・火炎暴露試験結果およびシミュレーション解析結果等から、再現性向上に向けた火炎暴露試験法案を提案し、一部がドラフト案として採用された。
 - ・国際合意可能な水素適合性試験法案をSAE材料専門家会議で合意し、SAEからHFCV-GTR Phase2に提案された。

● 背景/研究内容・目的

国際的なFCVの普及拡大、さらには水素ステーションの自立化に向けて、国連の水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 (HFCV-GTR) の改定 (Phase2審議) が必要である。

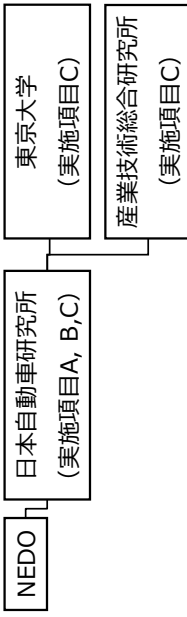
国内法への円滑な反映を前提としたHFCV-GTRの国際合意を得ることを目的とする。そのため、HFCV-GTR Phase2審議に参画し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制し合理的な基準となるよう審議を推進する。

● 研究目標

実施項目	目標
A: FCVに関する国際基準調和・標準化活動 (サブテーマ1)	<ul style="list-style-type: none"> ・各審議課題に対する日本提案 (試験法等) をHFCV-GTR Phase2に提案し、国際合意を得る。 ・国際標準化活動を行い、HFCV-GTRおよび国内基準との整合を図る。
B: 容器火炎暴露試験法見直し (サブテーマ2-1)	<ul style="list-style-type: none"> ・再現性向上に向けた火炎暴露試験法案および根拠データを提案する。
C: 金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大 (サブテーマ2-2)	<ul style="list-style-type: none"> ・国際合意可能な水素適合性試験法案およびその技術的根拠を提案する。 ・自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能な材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。

● 実施体制及び分担等

(再委託)



● これまでの実施内容 / 研究成果

- A: 国連HFCV-GTR Phase2審議に参画し、国際連携体制を構築し、日本の提案項目について試験法案の提案またはドラフト提示まで実施した。
 - ・日本の国際提案に先立ち、国内のHFCV基準検討委員会を開催し、専門家による事前審議・承認を行った。
- B: 火炎暴露試験結果およびシミュレーション解析結果等から、再現性向上のための試験手順を提案した。
 - ・試験結果にバラツキが生じる因子として、①火炎高さ、②火源の幅、③火源の均一性、④風の影響が関与していることを抽出。各影響について調査し、許容される流量や火炎幅、火炎の均一性の確認方法、風をモニタリングする方法について提案し、試験法案に採用された。
- C: 前NEDO事業で作成した水素適合性試験法の日本案をベースに、国際合意可能な修正案として、海外案と日本案を選択可能とする水素適合性試験法案をSAE材料専門家会議で合意し、SAEからHFCV-GTR Phase2に提案された。
 - ・自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能な材料として確定するため、3種類のSUS304市中材の水素中SSRT試験データおよび水素中疲労試験データ取得を完了した。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	HFCV-GTR Phase2審議に参画し、日本提案の国際合意に向けて、審議を推進中。ドラフトコメントが作成されつつある。	△ 2021年2月予定
B	火炎暴露試験結果およびシミュレーション解析結果等から、試験手順およびバラツキ影響を低減するための方策を提案し、一部が試験法案に採用された。	○
C	<ul style="list-style-type: none"> ・海外案と日本案を選択可能とする水素適合性試験法案をSAE材料専門家会議で合意し、SAEからHFCV-GTR Phase2に提案された。 ・自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能な材料として確定するためのSUS304市中材データ取得を完了した。 	○

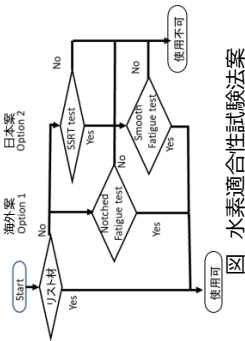


図 水素適合性試験法案

● 今後の課題

- ・HFCV-GTR Phase2の国際合意
- ・HFCV-GTRの中・長期課題の解決
- ・UNR134 (HFCV) の改定審議

● 実用化・事業化の見通し

- ・HFCV-GTRの合理的な改定により、過剰な要求を抑制し、円滑な国際取引を可能とすることで、高圧水素部品およびFCVの低コスト化に繋がる。

課題番号：3-②

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国際展開、国際標準化等に関する研究開発／燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

実施者：一般財団法人日本自動車研究所

1. 研究開発概要

水素ステーションの普及・自立化には、燃料電池自動車（FCV）の普及拡大による水素ステーション需要増加が不可欠である。FCVの市販は開始されたが、普及を加速するためには、高圧水素部品（圧縮水素容器等）の低コスト化が必須となる。グローバルな流通製品である自動車の要件には日本はもとより諸外国の規制がかかり、その制約の中で安全性を確保しつつ安価で高い商品力を持たせることが必要不可欠となる。

このため、本研究開発では、国際的なFCVの基準であるHFCV-GTR（GTR13：水素および燃料電池自動車に関する世界統一技術基準）等の合理的な改定および円滑な国内導入のための審議を推進することにより、安全性を確保しつつ水素ステーションのコスト増加要因にならないよう注意を払い、過剰な要求を抑制し、円滑な国際取引を可能とすることで、高圧水素部品およびFCVの低コスト化を加速することを目的とする。またFCV技術でトップランナーである日本が国際議論をリードすることで、世界に先駆けてFCVの低コスト化を早期に実現することも可能となる。図1に水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版（2016年3月）およびその中で本研究開発の役割を示す。

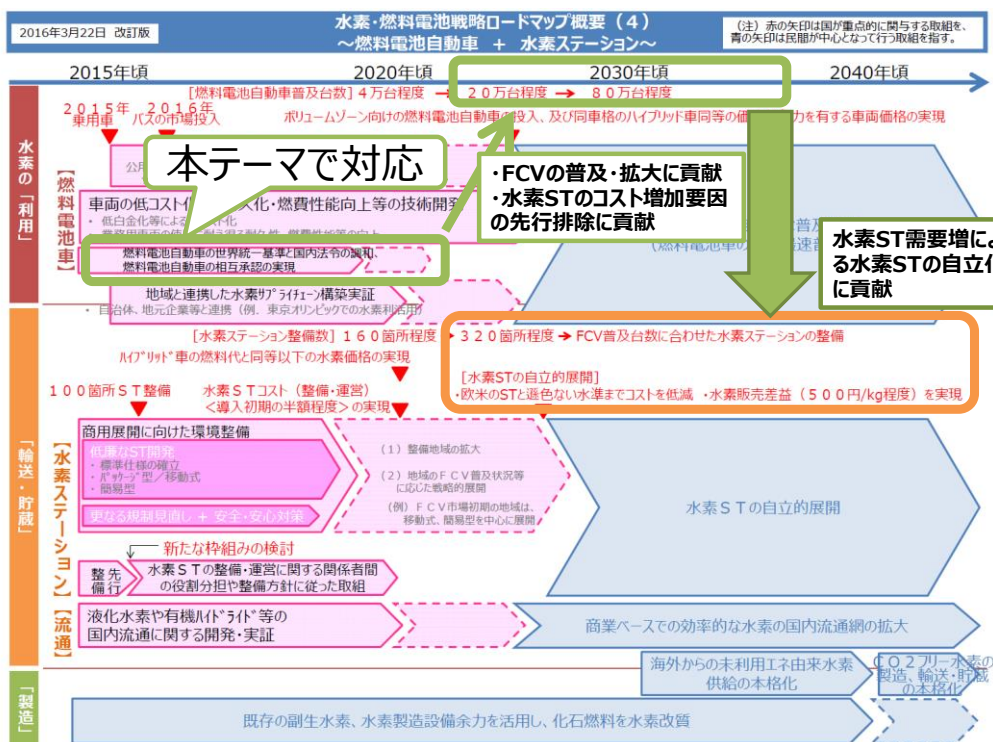


図1 本研究開発の役割

2. 研究開発目標

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
(1) サブテーマ1：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）に関する国際基準調和・標準化活動	2017年10月に開始されたHFCV-GTR Phase2審議に参画し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制した合理的な基準となるよう審議を推進して国際合意を得る。
(2) サブテーマ2：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）策定に資する研究開発	HFCV-GTR Phase2の課題の内、容器の火炎暴露試験法と金属材料の水素適合性試験法に対し、海外との協力体制も踏まえて、必要な技術検討やシミュレーション解析・実証試験等を行い、HFCV-GTR Phase2での日本提案の国際合意に資する。

本研究開発では、以下の2つのサブテーマを実施する。

サブテーマ1：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）に関する国際基準調和・標準化活動

サブテーマ2：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）策定に資する研究開発
実施に当たっては、他のNEDO事業（新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発等）、燃料電池実用化推進協議会、一般社団法人日本自動車工業会および関係省庁などと連携し、インフラ及び自動車業界の要望を、最終的な技術基準化を考慮した上で、研究開発に反映させる。

サブテーマ1：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）に関する国際基準調和・標準化活動

2017年10月にHFCV-GTRのPhase2審議が開始された。各技術課題に対し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制した合理的な基準となるよう審議を推進して国際技術基準として成立させ、その後の円滑な国内導入を行う必要がある。このため、国内審議体による日本案のとりまとめを行ったうえで、国際会議への専門家派遣を行い、審議を推進する。その後、UNR134（HFCVの相互認証基準）のPhase2審議に参画し、国内基準との整合を図る。

また併せて国際標準化活動を行い、ISO/TC197/WG18（容器、TPRDの国際規格）、および米国SAE規格の審議に積極的に参画し、HFCV-GTRおよび国内基準との整合を図る。

サブテーマ2：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）策定に資する研究開発

以下の項目について、FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）への日本提案作成に資する技術検討やシミュレーション解析結果に基づくデータ取得計画を策定し、海外との協力体制も踏まえて必要なデータ取得を実施する。

- ・2-1：容器火炎暴露試験法見直し
- ・2-2：金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大

2-1：容器火炎暴露試験法見直し

火炎暴露試験の再現性向上に向けた適切な試験方法を導くため、試験結果のバラツキの要因と推定される火源の幅と火炎高さの影響について、安全弁の作動時間、容器周囲の熱流束や温度を、数値シミュレーション解析によって調査する。また、その数値シミュレーションモデルに基づいた火炎暴露試験を行い、数値シミュレーション結果の妥当性を検証する。これらの火炎定義に基づく日本提案を基に、OICA（国際自動車工業連合会）で検討方針と必要な実証試験計画を合意した上で、HFCV-GTR Phase2へ検討方針と実証試験計画を提

案する。実証試験計画に基づき、各国試験機関と協力・分担してデータ取得を開始し、HFCV-GTR Phase2 において、再現性向上に向けた火炎暴露試験法の合意を得る。

2-2：金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大

HFCV-GTR Phase1 では、金属材料に関する規定は見送られ、各国の基準を適用することとされた。国際流通を円滑にするため、材料の水素適合性に関する規定が必要である。そこで、前 NEDO 事業で水素適合性試験法の日本案を作成した。本事業では、前 NEDO 事業で作成した水素適合性試験法の日本案をベースに、海外の意見・データを考慮して試験法案を修正し、国際合意を得る。

また、自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材である SUS304 を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) サブテーマ1：FCV の国際技術基準 (HFCV-GTR Phase2 等) に関する国際基準調和・標準化活動

① 国際基準調和活動 (担当：日本自動車研究所)

a. 容器初期破裂圧適正化

FCV に搭載される高圧水素容器は、貯蔵した水素ガスの外部への透過を防止するライナー(金属製または樹脂製)と、内圧に対する強度を保持するためにライナー周囲に巻く CFRP とで構成される。しかしながらこの CFRP は非常に高価なため、容器の大幅なコスト低減のためにはこの CFRP の使用量削減が非常に有効な手段になる。現在各国の容器基準では容器の初期破裂圧が公称使用圧力 (NWP) の 225% で規制されており、この規制値の適正化が期待されている。

一方で容器の経年劣化後の容器破裂圧規制値は、15 年使用相当の負荷を加えた後で NWP の 180% の破裂圧を保持することとなっている。今回容器の初期破裂圧を適正化するために、前 NEDO 事業にて、市場で販売されている容器をサンプルに初期破裂圧と劣化後破裂圧の各バラツキを含めて実力評価を行った。その結果、図 2 に示すように、初期破裂圧 225%NWP 以上を有する容器の劣化後破裂圧は最大バラツキを考慮しても 180%NWP に対して十分な余裕を有することが分かり、劣化後破裂圧基準を満足しつつ、初期破裂圧規制値を 200%NWP に低減できることが判明した。

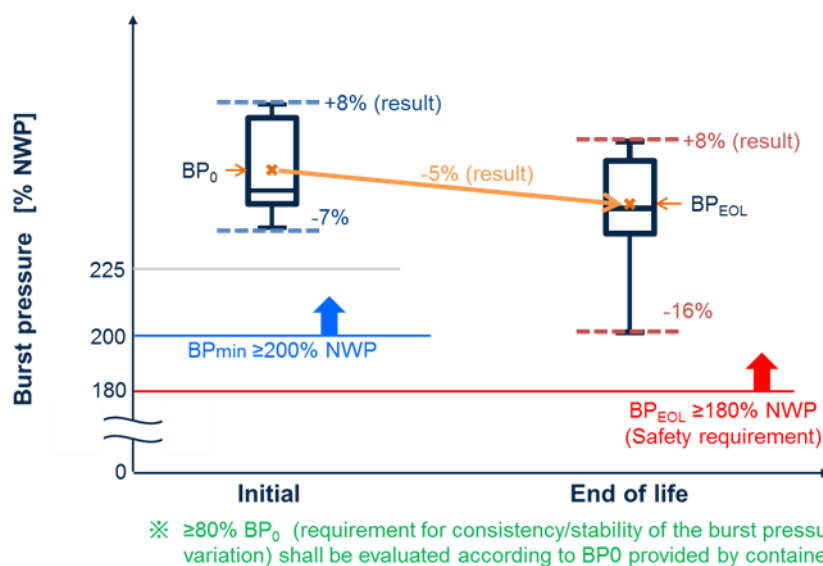


図 2 容器初期破裂圧および劣化後破裂圧の中央値とバラツキの評価結果

本事業では上記前 NEDO 事業で得られたエビデンスを基に国連の HFCV-GTR Phase2 審議に初期破裂圧基準を 200%NWP に低減することを提案した。これまでの国際審議の結果、中国を除く参加国の合意を得て、判定基準の見直し、およびその技術的根拠を示すドラフト文面を作成し、国際審議への提案を完了した。

中国は日本提案に対し、70MPa 容器の基準変更は同意するものの、35MPa 容器については最大充填圧と初期破裂圧基準値の間の数値マージンが少ないという理由で、35MPa 容器の基準変更に対する反対の姿勢を取っている。しかしながら中国の反対理由は論理性が乏しいとして今後国際審議の場で詳細な説明が求められており、日本としても引き続き中国の解釈に意見を述べて国際合意に向けて審議を継続する。

b. 金属材料の水素適合性試験法

高圧水素環境下で自動車用水素貯蔵部品に使用される金属材料は、水素中の材料強度保持（水素適合性）の観点から、国際的にオーステナイト系ステンレス鋼の SUS316L 材、およびアルミニウム合金の A6061-T6 材の 2 種類に限定されている。これに対し水素貯蔵部品のコスト低減のために、材料単価の安い材料への置換、またはより高強度材を採用して全体肉厚を低減することなどが広く自動車産業界から求められている。しかしながら高圧水素中での使用を可能とする材料種を拡大するためには、適切な材料試験法に基づいたデータ検証が必要となるが、現在国際的に水素適合性を適切に評価できる試験法が存在していない。そこで本事業では国際的に合意可能な試験法を策定し、HFCV-GTR Phase2 に織り込み、将来的な FCV の安全な国際流通性の確保に貢献することとした。

本事業では前 NEDO 事業、および連携する他事業から提供された実証データに基づき、米国 SAE 規格の審議組織内に各国専門家で構成される材料専門家会議を構成し、その中で特に深い知見を有する日米独の専門家を中心に協議した結果、性能要件として規定される金属材料の水素適合性試験法案を策定した。試験法案の具体的な内容は、後述のサブテーマ 2-2. a を参照願いたい。

上記により策定した試験法は、現在 HFCV-GTR Phase2 の国際審議の場に提案され、その採用のしかたについて議論を継続している。現時点では将来の FCV の国際相互承認手続きのために本試験法を重視している日本と EU がその導入に積極的な姿勢を示しているが、他国は必ずしも試験法の導入には積極的でない。今後自国での採用をオプション化するなどのドラフト提案も想定されており、日本としても引き続き議論に参画し、国際審議を誘導する。

c. アルミニウム合金の HG-SCC（湿潤ガス応力腐食割れ）試験法

アルミニウム合金は古くから高圧ガス容器に使用されており、現在高圧水素中で使用される A6061-T6 材のほか、スクーバ用酸素ボンベ等では A6351 材なども使用されていた。しかしながら過去の事故事例として A6351 製スクーバ用容器で酸素ガスを充填中の破裂事故が散発し、その原因調査の結果、湿潤環境中の水分から分離した水素原子が金属材料中に侵入して粒界腐食割れを引き起こしたことは広く知られている。

現在高圧水素ガス容器の金属ライナーに使用されている A6061-T6 材は実績としてこの湿潤環境中でも問題なく使用できるが、今後より高強度のアルミニウム合金を使用することなどを想定した場合は、この湿潤ガス中の応力腐食割れ（HG-SCC）を適正に評価できる試験法が必要となる。

前 NEDO 事業ではアルミニウム合金の成分を種々変動させて湿潤ガス環境中の応力腐食割れを評価し、上述の A6351 のような耐性の低い材料を的確に判定できる試験法を策定し、その結果を活用して国内において、図 3 に示す日本高圧力技術協会規格 HPIS E 103:2018（英文版）として発行した。

本事業ではこの前 NEDO 事業の成果および上記 HPIS 規格を基に、HFCV-GTR Phase2 の国際審議の場でその試験法の必要性を説明し、試験法案の提案を行った。しかしながら国際審議の場では短期間でその必要性の合意が得られなかったため、図 4 に示すように通常の電気化学的腐食と今回の湿潤ガス環境中の応力腐食割れのメカニズムの違いを丁寧に説明し、最終的に国際議論の場でその試験法の必要性について参加各国の理解が得られた。

国際審議状況としては、本試験法も材料試験法の一つであることから、上述の b. 金属材料

の水素適合性試験法と同様、各国間で HFCV-GTR への導入方針に違いがあり、その採用に向けて国際審議を継続している。

■ Summary of HG-SCC test method (HPIS E 103:2018)

□ The test conditions

- a) Temperature: 25°C ± 5°C
- b) **Atmosphere and humidity: 85 % or higher in relative humidity in air**
- c) Test period: 90 days (in accordance with **B.6.6 of ISO 7866:2012**)

□ How to judge **SLC(Sustained Load Cracking) test**

Example of specimen (CT)

The crack extension exceeds 0.16 mm or not under applied stress intensity factor value ($K_{IApp}=0.056 \sigma_{0.2}$)

ref) K_{IApp} : equivalent to $\sigma_{0.2}$ at the tip of a crack of 1mm length

図3 日本高圧力技術協会規格 HPIS E 103 : 2018 (抜粋)

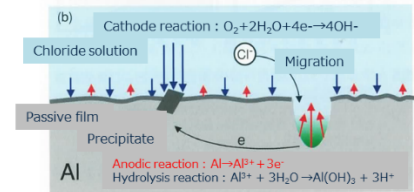
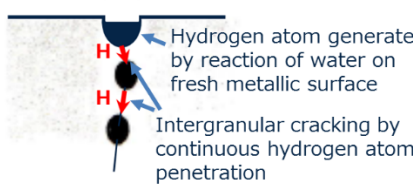


Type	Anodic dissolution	SCC in humid gas environment
Principle	Electrochemical corrosion by salt water 	SCC by the reaction of metallic Al and H ₂ O 
Reaction	Anodic reaction : $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ Cathode reaction : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H$
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Need oxygen and solution • Need Cl⁻ (break passive film) • Not occur in high pressure H₂ (no oxygen and no solution) ⇒ Occur only outside of containers 	<ul style="list-style-type: none"> • Occur under the presence of H₂O • Crack growth by accumulation of hydrogen atoms at the crack tip (on fresh metallic surface), not by dissolution of metal into ion ⇒ Occur both outside and inside of containers 
Evaluation	Current test method applied by each car OEM	※ HG-SCC test method (Improved SLC test) proposed by Japan for GTR13

図4 アルミニウム合金の腐食メカニズムと HG-SCC 試験法の必要性説明

d. 容器火炎暴露試験法見直し

HFCV-GTR Phase2 の国際審議の開始に先立ち、同 Phase1 で規定された容器火炎暴露試験法では試験機関毎に様々な試験のやり方が生じ、評価対象となる火災中の TPRD の作動時間の評価結果にバラツキが生じると欧州から指摘があり、国際的な共通課題として認識されていた。但し本試験法を見直すに際し、適正な検証データに基づく検討がなされないと、判定法として市場実態とかけ離れた厳しい試験法になる恐れがあり、日本としても適切なデータに基づき合理的で正確な試験法を提案することを目標とした。現在 GTR 国際審議に専門タスクフォース (TF) を設置し、本事業で取得したデータおよび解析結果に基づき、米国 SAE 代表者をリーダーとして適切な試験法ドラフトを策定中で、HFCV GTR Phase2 国際審議の場に近く提案される計画となっている。技術的詳細内容は、サブテーマ 2-1 を参照願いたい。

② 国際標準化活動 (担当：日本自動車研究所)

a. ISO/TC197/WG18 (容器、TPRD の国際規格)

対象となる国際規格は、ISO 19881 (容器) および ISO 19882 (TPRD) である。本規格は当初 HFCV-GTR Phase1 との調和を目指し改定作業が進んでおり、日本からも的確なコメントを集約し、2018 年 10 月の ISO 19881 の IS 化、および 2018 年 11 月の ISO 19882

の IS 化に貢献した。今後 HFCV-GTR Phase2 との整合、その他 GTR 非加盟国の意見を取り入れる等を目的に、引き続き改定作業の準備が進んでおり、基準と規格が乖離しないよう継続的に審議に参加する必要がある。

b. SAE 規格（米国水素安全、容器安全）

対象となる米国規格は、SAE J2578（車両水素安全）および SAE J2579（容器安全）である。本 SAE 活動は HFCV-GTR Phase2 提案に向けた前哨戦として実質的な技術審議の場となり、国際的な審議効率化のため積極的に参加して日本の意見出しを行った。特に材料試験法の審議については SAE 活動の中に各国専門家による材料専門家会議が設置され、根拠データとともに日本の材料試験法案を提案し、HFCV-GTR Phase2 国際審議へ提案する試験法案として採用された。引き続き国際審議の効率化のため、SAE 議論の場に参加する必要がある。

（2）サブテーマ 2：FCV の国際技術基準（HFCV-GTR Phase2 等）策定に資する研究開発

① サブテーマ 2-1：③容器火炎暴露試験法見直し（担当：日本自動車研究所）

a. 容器火炎暴露試験法見直しの背景

2013 年 6 月に採択された HFCV-GTR Phase1 では、海外で発生した圧縮天然ガス自動車の火災時の容器破裂事故を受け、当時の日本の技術基準には採用されていなかった自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験が規定された。しかしながら、日本も含む各国が評価経験を積み重ねる中で、この局所火炎暴露試験の再現性が低いことが明らかとなり、効率的に試験を実施する上での制約、ひいては FCV の開発効率低下の原因となっている（図 5）。そこで、2017 年 10 月に開催された HFCV-GTR Phase2 審議において、局所火炎暴露試験法の見直しに関わる審議が開始された。試験の再現性向上策として、欧州などから火源の発熱量を極めて大きくする方法や熱流束計によって火源の熱流束を規定する方法などが提案されている。しかし、いずれの方法も自動車火災の実態とかけ離れた発熱量や熱流束で規定されているため、これらが適用された場合、不必要に過剰な容器性能を要求することになり、容器および車両のコストアップに繋がる可能性がある。さらに、試験法がますます高度化・複雑化し、試験設備の高額化・大型化にも進展する恐れがある。

本来、火炎暴露試験の目的は、容器に装着された熱作動式安全弁（TPRD：Thermal-activated Pressure Relief Device）の作動を確認するための試験であるため、容器の耐火性能ではなく、安全弁の作動時間の観点からバラツキをなくすることが重要である。このため、FCV および容器の火災安全性に関して、多くのデータを持っている日本が先導に立つことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制する試験法となるよう、審議を誘導し、合理的な基準にする必要がある。そこで、これまでの NEDO 事業（水素・リチウムイオン電池関係）で実施された火炎暴露試験関連のデータを整理した結果、火源の幅、火炎高さ、火源の均一性、風速および局所火炎域の長さなどの規定で再現性の向上が可能となる見込みがあることがわかった。本研究では、この火炎定義に基づいた日本提案のとりまとめおよび国際合意に資する技術検討を実施する。



図 5 容器火炎暴露試験法見直しの背景

b. 容器火炎暴露試験法の再現性向上に向けた調査研究

火炎暴露試験の再現性向上に向けた適切な試験方法を導くため、既存データの解析、数値シミュレーション解析および実験検証により、試験手順、試験結果にバラツキが生じる因子の抽出と試験対応を検討した。

試験手順

GTR-Phase1の局所火炎暴露試験法では旧NEDO事業で実施した鋼製ダミー容器を搭載した車両火災試験結果に基づき、最悪時となる容器表面温度のプロファイルと一致するように火源を制御する。Phase2においても火源の基準をPhase1と同様にするため、車両火災試験で用いた同様の鋼製ダミー容器を用い、火源の統一化を図ることとした。

以下、試験手順を示す。まず、火源を統一するための予備試験を設定する。予備試験では、火源のLPG流量計測を新たに追加し、かつ火炎高さを規定する上で図6に示されるダミー容器表面の計12点と容器底部25mm以下の3点の温度がJARI車両火災試験で得られた容器の周囲温度と一致するようにLPG流量 Q_{LPG} を決定する。本試験においては、ダミー容器から試験用容器に置き換えて、流量 Q_{LPG} に設定した火源により試験用容器を晒す。この手順によって火源を統一する。

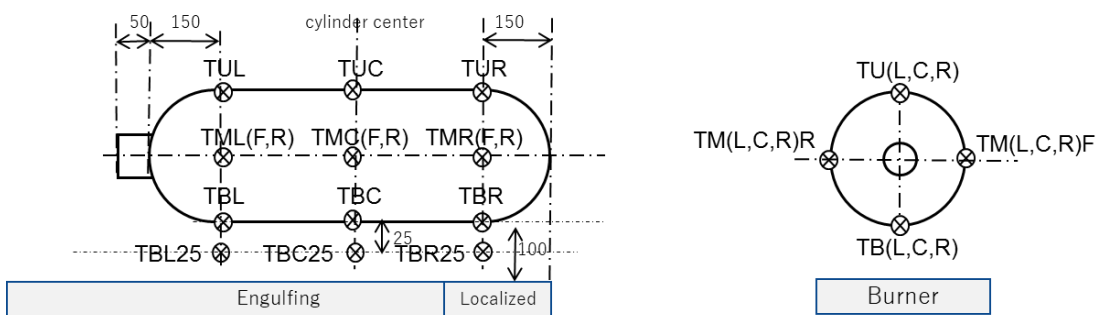


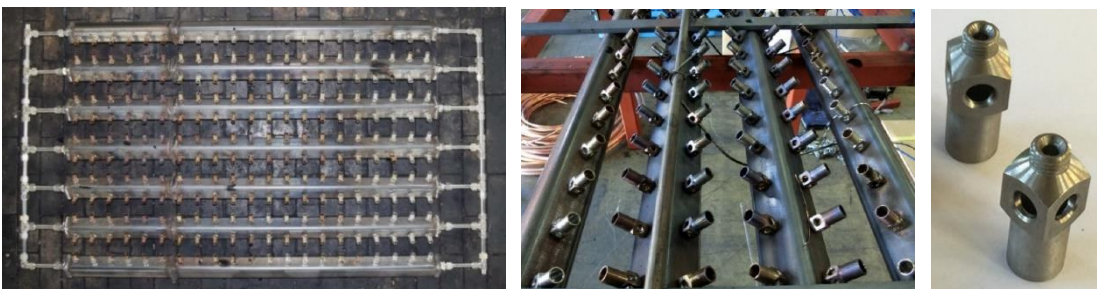
図6 予備試験におけるダミー容器の温度測定箇所

一方、各国間での火源のLPGの発熱量の違いによる影響を排除するため、火源に供給されるLPG流量 Q_{LPG} は、バーナの単位面積(A)当たりの発熱速度(HHR/A)で換算することとした。

この試験手順は、GTRへの試験法に反映するために、大きな影響力があるSAEにおいて、局所火炎暴露法の草案として採用された。

基準バーナ

各試験機関が、新たなバーナを開発しなくても済むように、基準バーナを検討した。本検討には、カナダの試験機関であるCSA(Canadian Standard Association)と協力しながら作業を行った。その結果、図7に示されるブンゼン型バーナを選定した。本基準バーナは風の影響を受けづらく、かつバーナの口金は誰もが入手できる汎用品とし、SAEの局所火炎暴露法の草案に採用された。



(a)バーナの全体

(b)バーナ口金の配置

(c)バーナ口金

図7 基準バーナの選定

バラツキ影響を及ぼす因子と対応

既存データの解析や数値シミュレーション解析により、①火炎高さ、②火源の幅、③火源の均一性、④風の影響が関与していることが想定された。そこで、それぞれの影響や対応のために数値シミュレーションや実証試験によって解析を行い、結果の一部は、試験法草案に採用された。以下に各項目で得られた結果を示す。

① 火炎高さ

規定した基準バーナの火炎高さを HRR/A によって規定し、かつ不必要に過剰な火力を制限するために、ダミー容器の表面温度が規定された温度プロファイルに一致する条件となる HRR/A を調べた。その結果、局所火炎域では $HRR/A=255\sim350\text{kW/m}^2$ 、全面火炎域では $HRR/A=435\sim835\text{kW/m}^2$ の範囲で火源を制御することで、規定したダミー容器の周囲温度と一致することが分かった。現在の試験法の草案には、 HRR/A の許容範囲として本値が採用された。

② 火炎の幅

火炎高さと火炎の幅の関係を調べた。その結果、 HRR/A が 1MW/m^2 未満であれば、同じ HRR/A であっても火炎幅が異なると火炎高さは異なることが分かった (図 8 参照)。また、 HRR/A が同一であっても、火炎の幅が大きくなるほど、酸欠により容器底部の温度は低くなることが数値シミュレーションの結果から分かった (図 9)。そのため、バラツキの低減には、火炎の幅を規定する必要があることが分かった。

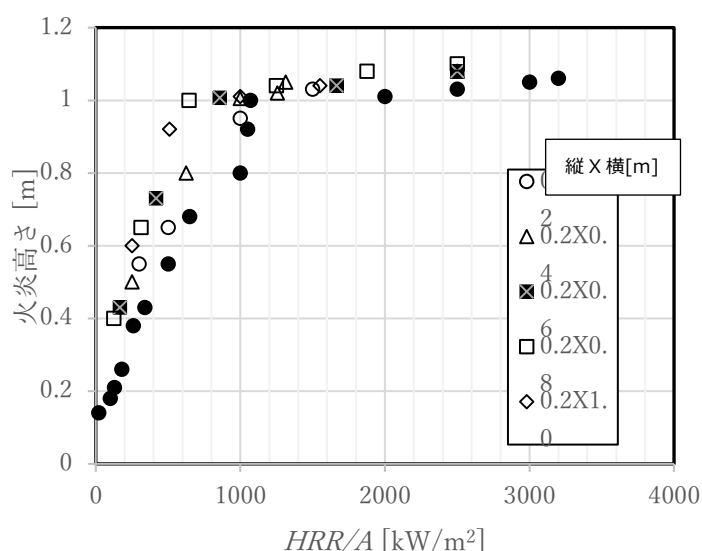


図 8 HRR/A と火炎高さの関係

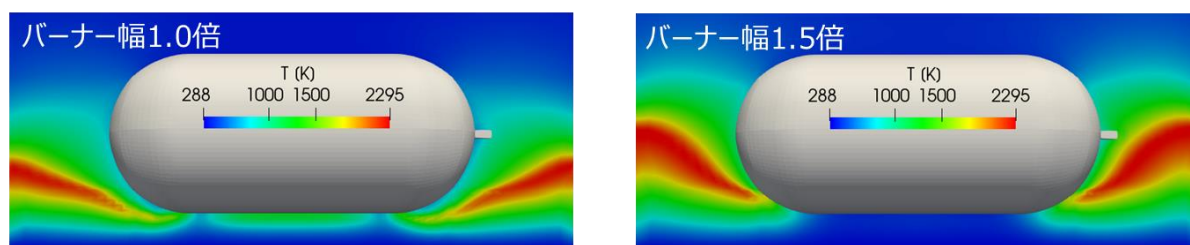


図 9 HRR/A が同一の場合のバーナー幅の容器底部の温度影響

そこで、火炎幅を規定するために、直径 700mm 程度の容器であっても対応できる火炎幅を調査した結果、火炎幅 500mm であればリーズナブルに対応できることが分かった。そのため、試験法草案には火炎幅を 500mm と設定することになった。

③ 火源の均一性

バーナ火源が均一であるかを調べるために、赤外線熱画像装置を用いた方法を提案した。方法としては、火炎を除去するために、一定の流量により数分間、容器を火炎に晒し、火源を瞬時に止めた後に赤外線熱画像を撮影することで、容器表面温度の均一性を確認する。図 10 には、基準バーナによる赤外線熱画像による容器表面温度の結果を示す。この方法は火源の均一性を確認する方法として、試験法草案に採用された。



図 10 基準バーナによる赤外線熱画像による容器温度

④ 風の影響

風の影響を調べるため、無風の屋内火災試験場において、強制的に送風した場合と送風ない場合の各 HRR/A における容器周囲温度を比較した。その結果の一部を図 11 に示す。風速 1m/s 程度で、容器頂部温度が低下することが分かった。また、風があると温度変動が激しくなることが分かった。そのため、風をモニターリングする手段としては、容器頂部温度の温度低下と温度変動によって判定できることが分かった。

数値シミュレーションで再現した火炎暴露試験の速度ベクトルと火炎温度の等値面 (500K, 1000K) を図 12 に示す。これは、無風条件であり、風速の影響の結果を図 13 と図 14 に示す。容器に対して軸方向と横方向からの風が一様に作用した時の風の影響により、図 12 と比較して火炎形状が大きく変化することが分かる。

また、屋外試験場では、風の影響を取り除くために、風防が必要である。しかしながら、安易な風防の設置は、火炎を乱し、試験結果に影響を及ぼすことが知られている。そこで、本研究では適切な、風防の設置条件を調べた。その結果、火源と風防の距離が 1 m 未満であると、風防の影響を受けて火炎が乱れることが分かった。本結果を受けて、試験法草案には火炎と風防の距離を 1 m 以上にすることが規定された。

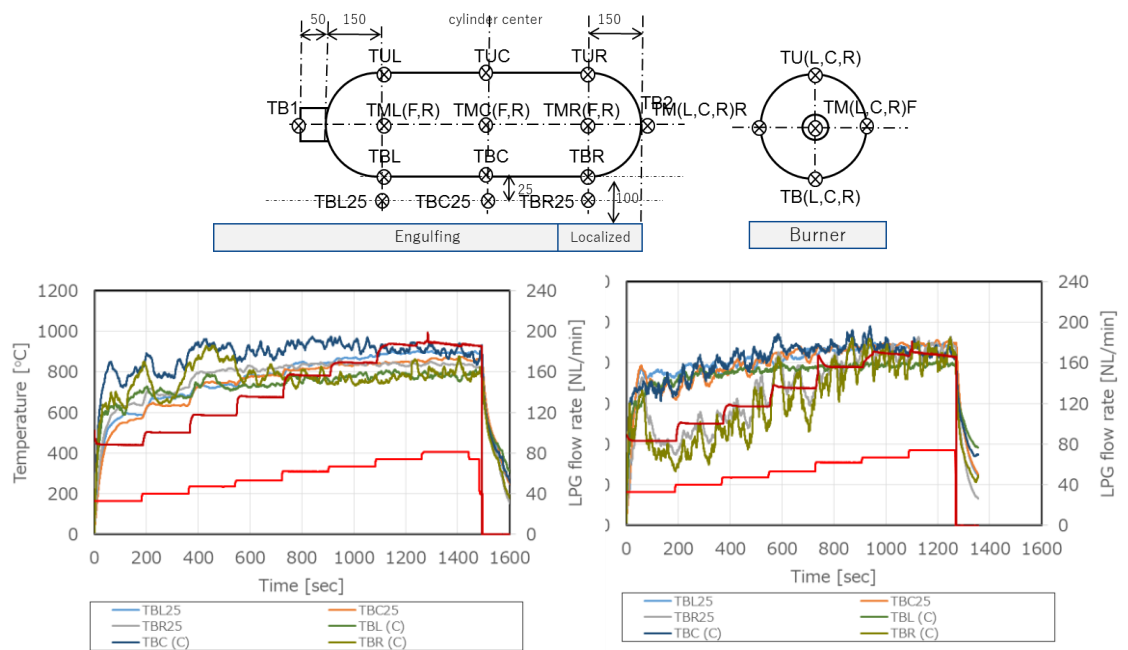


図 11 LPG 流量を段階的に増加させた場合の基準バーナでの容器表面の温度変化

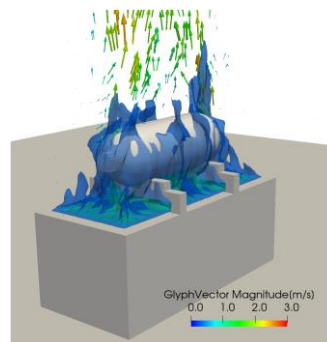


図 12 無風条件の速度ベクトルと温度の等値面 (500K, 1000K)

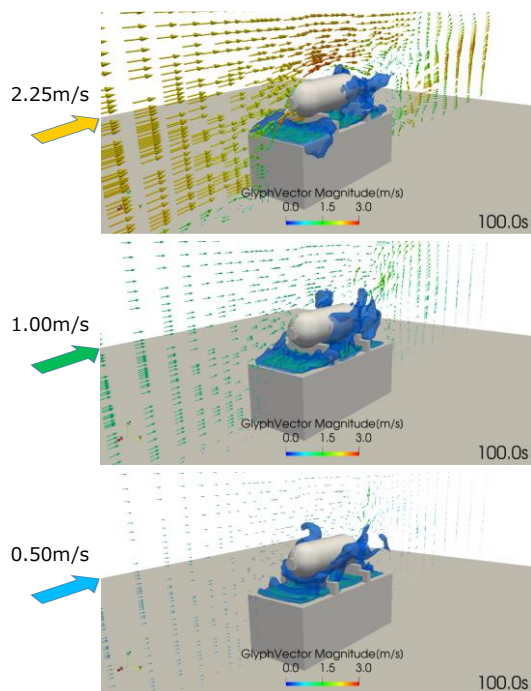


図 13 軸方向の風速の影響

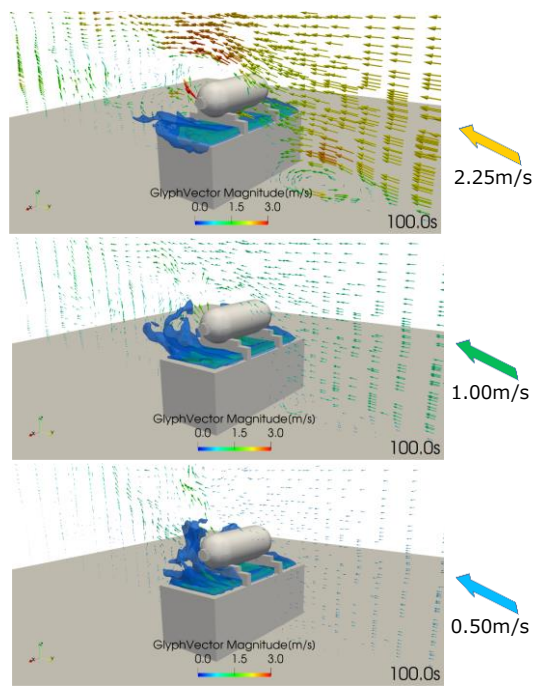


図 14 横方向の風速の影響

ラウンドロビン

CSA との間で、ミニラウンドロビンを実施した結果、相互に差がないことが明らかになった。現在、海外の一部でラウンドロビン試験の計画が検討されており、各国間の LPG 発熱量の違いによる影響等に関して、今後、各試験データの共有化を図る予定で進めている。

② サブテーマ 2-2：金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大

a. 金属材料の水素適合性試験法確立（担当：日本自動車研究所、再委託：東京大学）

自動車用圧縮水素容器の安全性を保持し、コスト削減ならびに量産性向上などもあわせて成立させるためには、容器および周辺機器に使用される鉄鋼材料に関して、高圧水素中の材料特性と使用条件を正確に把握した上で、供用期間中に十分な信頼性が確保できる基準を設定可能な合理的材料試験法の確立と国際基準調和・国際標準化が極めて重要である。そのためには高圧水素中の材料特性検証結果に基づいた合理的でかつ安全性を確保した鋼種を限定しない材料評価方法を提案し、GTR13 Phase 2 の審議を通して国際基準調和を進める必要がある。

2017 年度までの NEDO 事業「水素利用研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」では、オーステナイト系ステンレス鋼の規格下限材料評価データに基づくオーステナイト系ステンレス鋼の水素適合性試験法を作成し、米国 SAE J2579（水素容器）へ提案した。

その後、日本案と海外案を組み合わせた SAE 案が GTR13 Phase 2 へ提案された。元来日本では平滑試験片の引張・圧縮疲労の S-N 曲線を求め、水素適合性の合否を判定している。一方海外では比較的試験の容易な切欠き試験片の引張・引張疲労データによる材料の水素感受性評価に特化して材料適否を判定する手法が主流となっている。よって、日本案は平滑試験片で疲労寿命を確認する評価法だが、海外案では切欠き試験片で疲労寿命を確認する評価法が提案されている。

本事業では、GTR13 Phase 2 での国際合意に向けて、課題整理およびその対応策を作成し、国内合意を得た水素適合性試験法（国内案）を基に、SAE の材料専門家会議および GTR13 Phase 2 インフォーマルワーキング（IWG）で議論を進め、水素適合性評価試験法案、Rationale 案について技術的な面からの再検討を行って修正を進め、提案の採択に繋げ

ることを目的とする。

前事業の成果であるオーステナイト系ステンレス鋼の高圧水素中材料評価試験法案について、SAE 材料専門家会議で従来から議論を続けてきた試験法案との違いを明確にした。その結果に基づき、国際合意を得る目的で SAE 材料専門家会議にて日本から提案する材料評価方法案を作成、HFCV 基準検討委員会で議論して国内合意を得た。さらにその試験法案を基に SAE 材料専門家会議、GTR Phase2 IWG 会議等にて自動車搭載用高圧水素部品の水素適合性評価方法について議論し、各国の意見を集約しながら試験法案の修正を進めてきた。

今までは主としてオーステナイト系ステンレス鋼で得られたデータを基に議論を進めてきたが、GTR13 では対象材料がオーステナイト系ステンレス鋼から全ての金属材料に拡大されるため、評価基準等において細かい点で矛盾が生じるようになった。そこで SSRT 試験の評価基準の見直しを行い、判定基準を水素中において降伏強度の低下しないことに限定した。さらに従来の試験結果で観察された試験片あるいは試験装置等に起因するバラツキを考慮して、水素中の降伏強度が同一温度において大気中にて求められた降伏強度の 80% を超えることとした。

一方で疲労試験については、アメリカなど海外の主張する切欠き疲労試験と、日本が主張する平滑疲労試験の間で意見相違があり、最終的に両者を認めることとした。水素適合性試験の最終的な形として、切欠き疲労試験のみの試験方法 (Option 1) と SSRT 試験と平滑疲労試験の両者を課す試験方法 (Option 2) を並列し、どちらか一方の試験でパスすれば合格とすることで合意した。

Option 1 では SSRT 試験は課さず、切欠き疲労試験のみで評価する。一方 Option 2 ではまず SSRT 試験で評価した後、基準をクリアした材料を平滑疲労試験で評価する。評価基準については引張強度の三分の一の応力にて試験を行い、所定回数 (切欠き試験片： 10^5 回、平滑試験片： 2×10^5 回) で破断しないこととした。試験方法の流れを図 15 に示す。

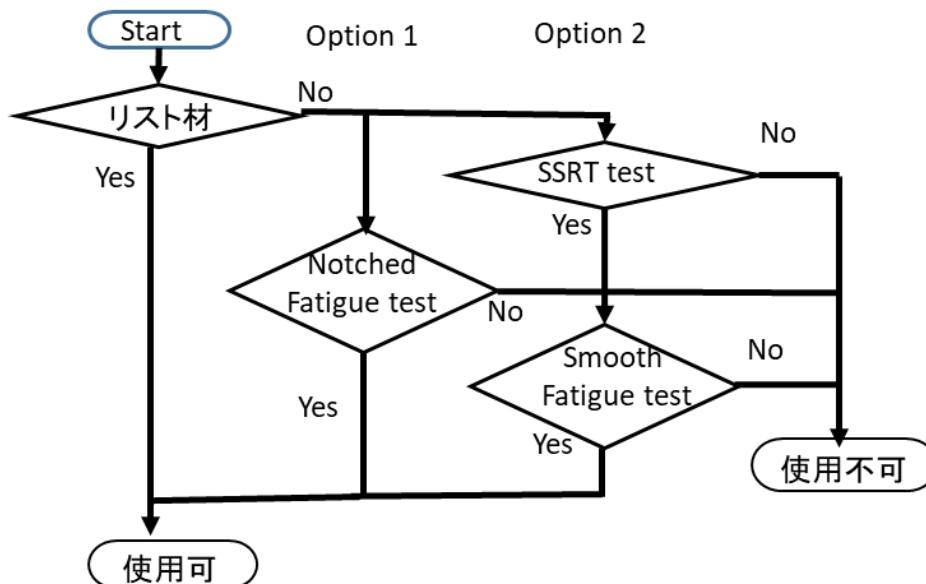


図 15 水素適合性試験のフロー

試験条件に関しては、SSRT 試験、疲労試験ともそれぞれ従来の試験データに基づいた最も厳しい条件のみに限定することとした。疲労試験では実証試験データ、および従来の試験データから、室温試験における疲労限応力が低温試験で得られる値よりも低くなることが確認されたことにより、試験温度条件は切欠き試験片、平滑試験片とも室温 ($293 \pm 5\text{K}$) のみとした。一方 SSRT 試験では、実証試験で得られたオーステナイト系ステンレス鋼の試験データによって、高圧水素中において伸び等の劣化度が低温試験の方が室温試験より大きいことが確認されていることから、試験温度条件は低温 ($228 \pm 5\text{K}$) とした。その他の試験条

件は従来どおりで変更なし。試験条件と評価基準を表 2 に示す。

表 2 試験条件と評価基準

試験条件		切欠き付き疲労 (Option 1)	平滑疲労 (Option 2)
疲労寿命試験	試験条件	水素圧：1.25NWP 以上 温度：293±5K 試験応力：≥ 1/3 TS Frequency：1 Hz	水素圧：1.25NWP 以上 温度：293±5K 試験応力：≥ 1/3 TS Frequency：1 Hz
	試験数	3	3
	要求値	N>10 ⁵	N>2×10 ⁵
SSRT 試験	試験条件	Not Required	水素圧：1.25NWP 以上 温度：228±5K 歪速度：≤ 5×10 ⁵ S ⁻¹
	試験数		3
	要求値		YS(H ₂) > 0.8×YS(Air)

一方で本評価試験方法決定のベースになったのは、オーステナイト系ステンレス鋼を中心とした試験データであるため、今後 GTR の規定に従って全ての材料に評価の対象を拡大した場合、本評価試験方法だけでは評価しきれない材料が出てくることも懸念される。そこで従来に関連試験データ等を参考にして、SAE J2579 Appendix B の中に材料選択のためのガイドライン表を設け、材料選択の助けになるようにした。また、本試験方法に従って行われた試験データが参考できる一覧表を作成し、新たなデータもそのフォーマットに従って追記することができるようにした。

それと並行して、本評価試験方法をオーステナイト系ステンレス鋼以外の材料に適用された場合の具体的な問題点についても検討を進めた。ドイツからは本試験方法をマルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼である SUS630 に適用した際の懸念表明があり、材料の基準に YR（降伏強度と引張強度の比）を入れる方向で検討を進めている。さらに将来的な新材料展開の可能性を考えて、多くの種類の金属材料についても水素適合性試験可否の可能性、および考えられる問題点を検討して整理した。例えばステンレス鋼では高強度材を除いた多くの種類の材料で合格の可能性が考えられ、注意点を Rationale 等に反映させる必要があると考えられる。また、Al 合金も水素適合性には優れている材料が多く、本試験だけでなく、検討中の HG-SCC 試験とセットで考えていく必要がある。

Rationale に関しては、SAE 材料専門家会議での議論も反映し、試験法案だけでは判断できない詳細な説明等を付け加える目的で、以下の内容につきデータおよびその説明文を追記した。

- SSRT 試験結果で合格のデータ(SUS304)および SSRT 試験において降伏応力が明確に見える必要があることを示す模式図
→SSRT 試験は降伏応力を超えた後も延性が求められることを示す。
- SSRT 試験結果で水素中と大気中の降伏応力値の比較データ
→従来の試験データから 20%の範囲で誤差が生じることを示す。
- 平滑疲労データ
→オーステナイト系ステンレス鋼のニーポイントが 2×10⁵ 以下であることを示す。
→低温の疲労限応力が室温より高いことを示す。
→疲労限付近の応力において 0.01Hz～1Hz の間で周波数の影響がないことを示す。

今後改定した Rationale 案を国内材料専門家会議他で議論した後、SAE 材料専門家会議、および GTR13 IWG 会議に提出し、議論を進め、最終提案の形にまとめていく予定である。

b. 水素適合性材料評価データの取得（担当：日本自動車研究所、再委託：産業技術総合研究所）

自動車用水素関連部品での利用が期待されている SUS304 材を使用可能材料として確定するためのデータ取得を目的とする。現在流通している種々の材料に対応するために、3種の国内流通の SUS304 材を用いて、室温と低温の SSRT 試験及び室温と低温の疲労寿命試験を実施した。

1) 試験材料

入手した、国内で流通している 3 種類の SUS304（以後 A 材、B 材、C 材とする）のミルシートから引用した材料組成を表 3 に示す。A 材、B 材、C 材全ての材料組成は JIS 基準を満たしていることが分かる。図 16 に入手した A 材、B 材、C 材に関する圧延ロール当たり面、圧延方向軸平行側面、圧延方向軸垂直面の光学顕微鏡による結晶組織写真を示す。特に C 材の結晶組織は、前 NEDO 事業で用いた SUS304 と比較して粗大となっていた。組織写真より求めた 3 方位を合わせた平均結晶粒径は、前 NEDO 事業材 ($32\pm 1.7\mu\text{m}$)、A 材 ($56\pm 6.1\mu\text{m}$)、B 材 ($34\pm 1.2\mu\text{m}$)、C 材 ($79\pm 10\mu\text{m}$) であり、ミルシートに記載された降伏応力値と結晶粒径には逆相関の関係、すなわち平均結晶粒径が大きくなるに従い降伏応力は減少し、前 NEDO 事業材 > B 材 > A 材 > C 材の関係を示した。

表 3 SUS304 市中材の材料組成

SUS304	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	Mo	Cu	N	Fe
JIS Spec.	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	-	-	-	-	Bal.
A	0.04	0.54	1.24	0.030	0.001	8.21	18.25	0.1	-	-	-	Bal.
B	0.05	0.55	0.92	0.037	0.002	8.05	18.16	0.23	-	-	-	Bal.
C	0.051	0.50	0.96	0.031	0.002	8.04	18.24	0.18	0.12	0.25	0.037	Bal.

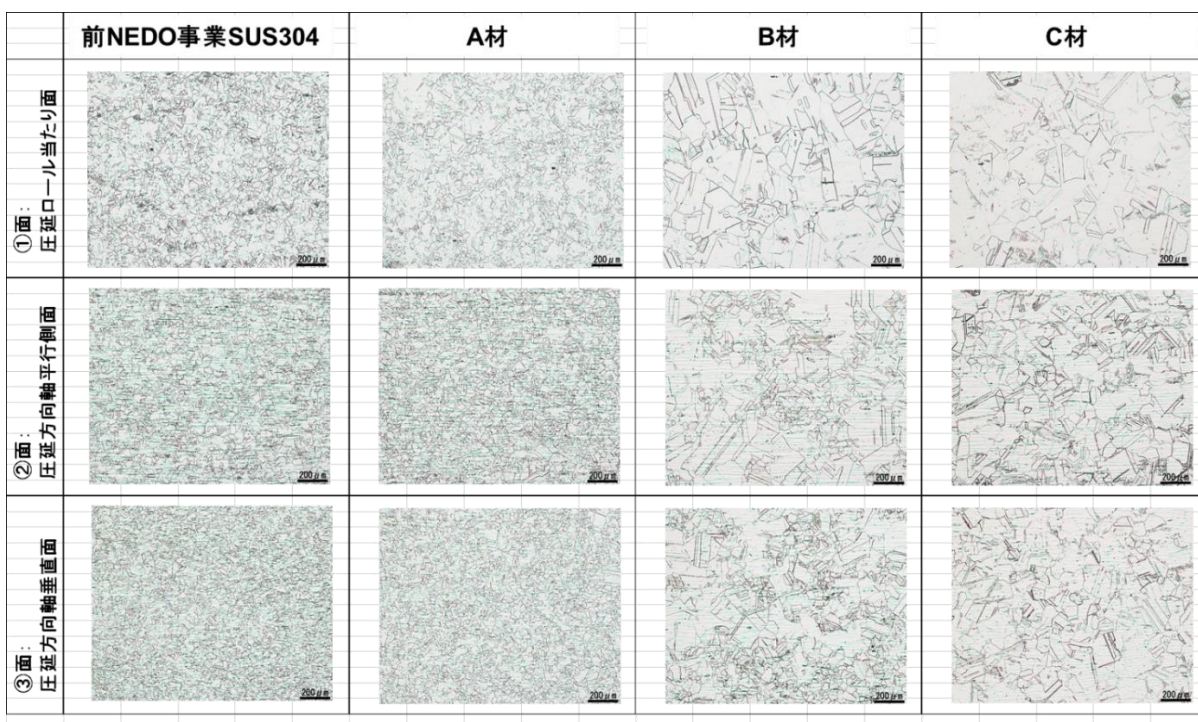


図 16 SUS304 市中材の光学顕微鏡による結晶組織写真

2) 試験片形状及び試験条件

試験片は前 NEDO 事業と同一形状とした。それぞれ図 17、図 18 に示すように、SSRT 試験片は ASTM E8 に準拠した直径 6mm の平滑丸棒試験片、疲労試験片は九州大学の直径 7mm の平滑丸棒試験片を用いた。

試験条件についても、前 NEDO 事業と同じ条件を用いた。高圧水素ガス中 SSRT 試験の試験圧力は 105MPa 以上、試験温度は室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) および低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)、歪み速度は ASTM G142 に準拠した $5\times 10^{-5}/\text{s}$ とした。また参照用のデータを取得するために、高圧水素ガス中と同じ条件で大気中 SSRT 試験を実施した。その際の試験片本数は、大気中、高圧水素ガス中の各試験条件において、ともに 3 本とした。

疲労特性については、先ず参照用のデータを取得するために、大気中室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) で試験周波数 1Hz、引張-圧縮荷重下 ($R = -1$) の条件で最大 1×10^6 回まで疲労試験を実施し、疲労限度を確認した。高圧水素ガス中の疲労特性は、1 本の試験片を 100MPa 水素ガス中、室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) において、試験周波数 1Hz、引張-圧縮荷重下 ($R = -1$) で、大気中の疲労限度に相当する試験応力を用いて 1×10^6 回まで疲労試験を実施した。さらに 3 本の試験片を用いて、ミルシートに記された引張強さ (T_s) の 1/3 に相当する試験応力で 2×10^5 回まで疲労試験を行った。

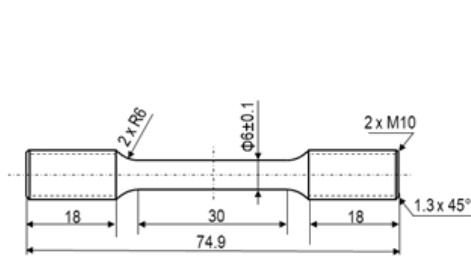


図 17 SSRT 試験片形状

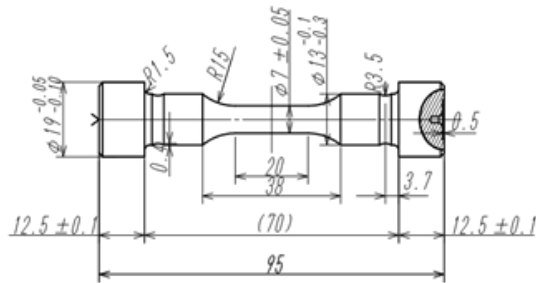


図 18 疲労試験片形状

3) 試験結果

A 材、B 材、C 材の室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) における大気中および高圧水素ガス中での SSRT 試験結果ならびに低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$) における大気中および高圧水素ガス中での SSRT 試験結果をそれぞれ図 19(a)、(b)、図 20(a)、(b)、図 21(a)、(b) に示す。また、SSRT 試験結果より得られた Y_s (0.2%耐力)、 T_s (引張強さ)、伸び、絞りの平均値を表 4、表 5、表 6 にそれぞれ示す。全ての試験条件において Y_s は B 材 > A 材 > C 材の順に低下した。C 材の Y_s は A 材、B 材よりも低い値を示したが、ミルシートに記された A 材、B 材、C 材の Y_s 値の傾向と矛盾していない。また、A 材、B 材、C 材ともに同じ試験温度において高圧水素ガス中で得られた Y_s は大気中で得られた Y_s の 80% 以上の値を示しており、高圧水素ガス中と大気中では異なる試験装置を使用していることを考慮しても、SUS304 市中材の高圧水素ガス中の Y_s は大気中とほぼ同等であると考えられる。

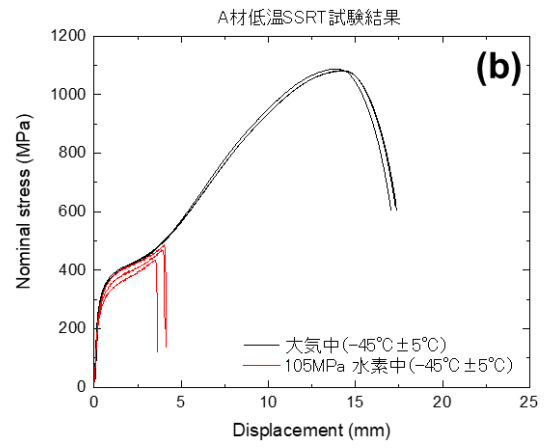
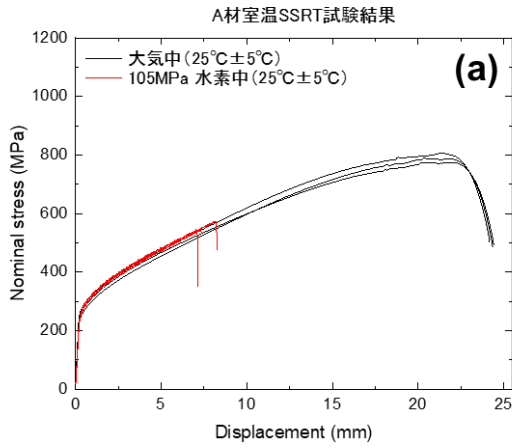


図 19 SUS304 A 材の SSRT 試験結果 (a)室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) (b)低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)

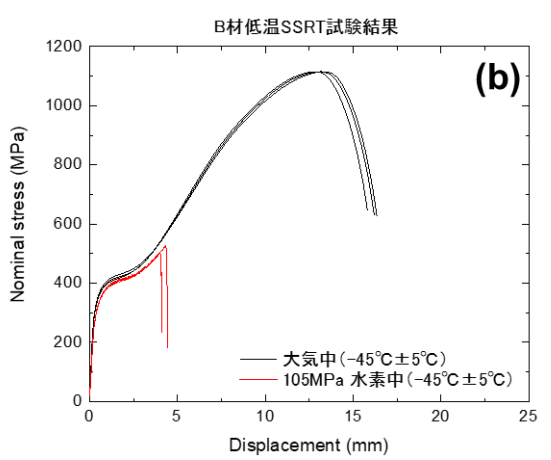
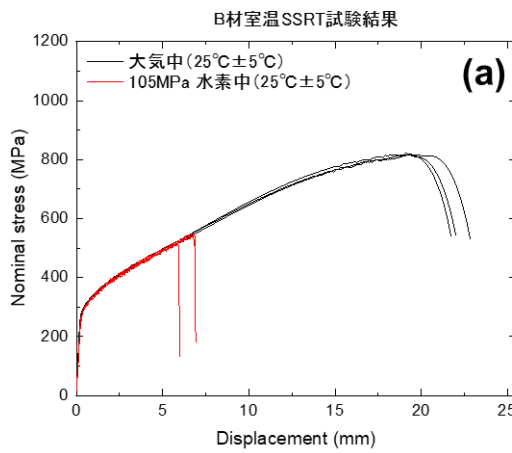


図 20 SUS304 B 材の SSRT 試験結果 (a)室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) (b)低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)

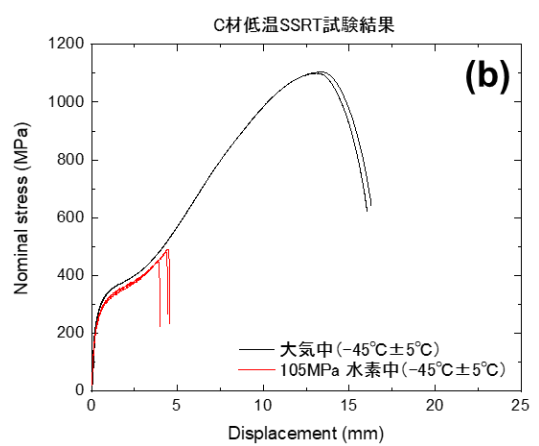
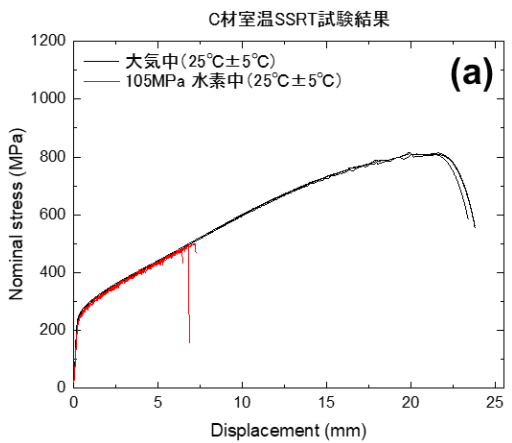


図 21 SUS304 C 材の SSRT 試験結果 (a)室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) (b)低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)

表 4 SUS304 A 材の SSRT 試験結果

SUS304 A材	環境	試験温度	Ys (MPa)	Ts (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
JIS			≥205	≥520	≥40	
ミルシート			264	639	65.0	
Ave	Air	R.T.	246	791	71.7	79.8
Ave	H2	R.T.	254	556	22.5	23.0
Ave	Air	-45°C	272	1084	48.2	78.3
Ave	H2	-45°C	248	465	12.4	12.4

表 5 SUS304 B 材の SSRT 試験結果

SUS304 B材	環境	試験温度	Ys (MPa)	Ts (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
JIS			≥205	≥520	≥40	
ミルシート			269	653	58	
Ave	Air	R.T.	274	818	66.3	78.6
Ave	H2	R.T.	269	536	19.5	17.6
Ave	Air	-45 °C	297	1115	45.7	78.1
Ave	H2	-45°C	283	511	13.2	12.9

表 6 SUS304 C 材の SSRT 試験結果

SUS304 C材	環境	試験温度	Ys (MPa)	Ts (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
JIS			≥205	≥520	≥40	
ミルシート			244.0	653.7	65.8	
Ave	Air	R.T.	237	813	67.5	76.6
Ave	H2	R.T.	231	491	20.5	22.1
Ave	Air	-45 °C	235	1102	44.6	76.5
Ave	H2	-45°C	215	475	13.0	11.2

図 22 に A 材、B 材、C 材の室温 (25±5°C) および低温 (-45±5°C) での疲労試験の結果を、前 NEDO 事業で得られた破壊確率データとともに示す。SSRT 試験結果からも予想されるように、C 材の Ys は A 材、B 材よりも低いため、大気中での疲労試験から想定される疲労限応力は低めとなった。そこで、図 22 のデータを基に、疲労試験の試験応力 (σ_a) をミルシートの降伏応力 (σ_y) で除すことで正規化した S-N 線図を図 23 に示す。A 材、B 材、C 材の疲労限応力は前 NEDO 事業で求めた破壊確率 10%~90%の領域に収まっており、これら全ての SUS304 の疲労特性は同等であると考えられる。併せて図 22、図 23 では、大気中疲労試験で求めた疲労限応力に相当する試験応力(A 材:241MPa、B 材:246MPa、C 材:218MPa) および、ミルシートに記された引張強さの 1/3 に相当する試験応力(A 材:213MPa、B 材:218MPa、C 材:218MPa) で高圧水素ガス中疲労試験を各 3 本実施した結果も赤色で示している。図から分かるように、高圧水素ガス中において 1×10⁶ 回まで破断しないことから、疲労強度は大気中と高圧水素ガス中ではほぼ同等と考えられる。低温 (-45±5°C) 水素中では室温大気中における疲労限直上の応力レベルでも未破断であり、低温の疲労限は、室温よりも高いと考えられる。

また、同じく図 22 のデータを基に、疲労試験の試験応力 (σ_a) をミルシートの引張強さ (σ_b) で除して正規化した S-N 線図を図 24 に示す。図中の緑色の横線は引張強さの 1/3 を示す。高圧水素ガス中において引張強さの 1/3 の試験応力で疲労試験を実施した場合、A 材、B 材、C 材ともに 2×10⁵ 回まで未破断であることが分かる。

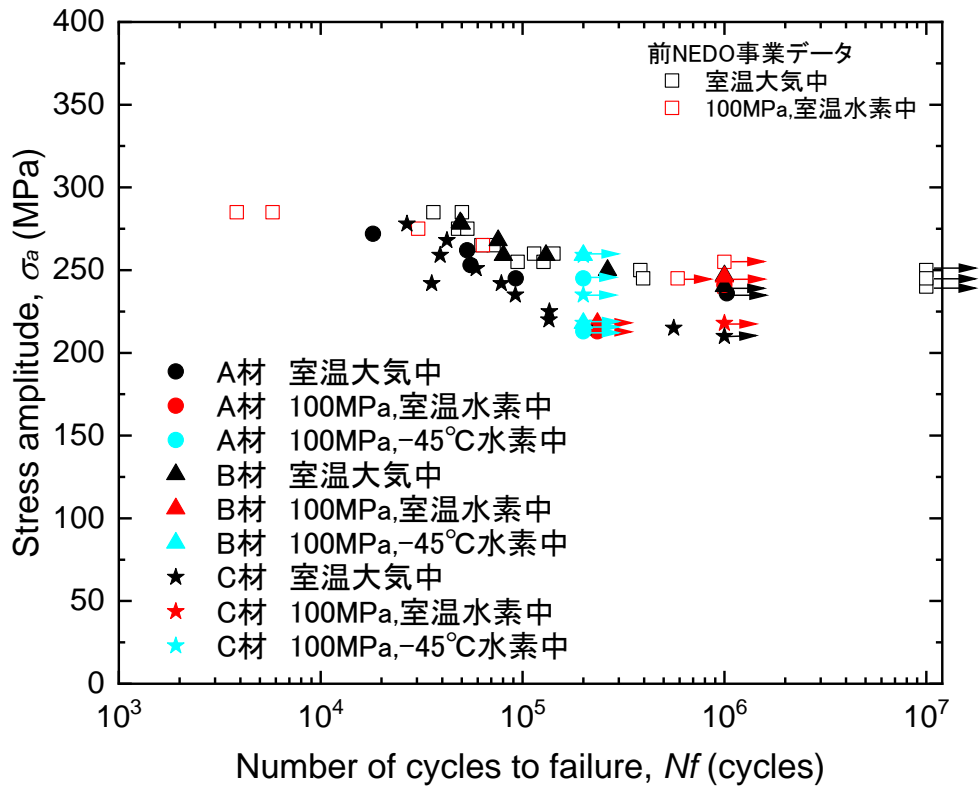


図 22 A 材、B 材、C 材の室温 (25±5°C)、低温 (-45±5°C) 疲労試験結果

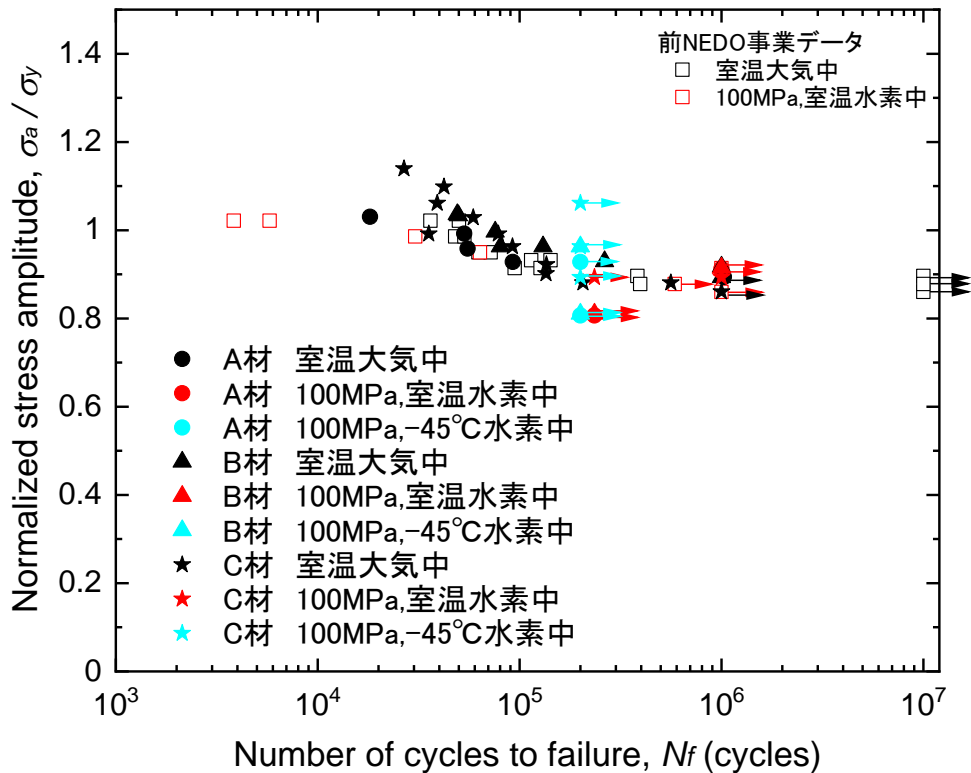


図 23 降伏応力で正規化した A 材、B 材、C 材の室温 (25±5°C)、低温 (-45±5°C) 疲労試験結果

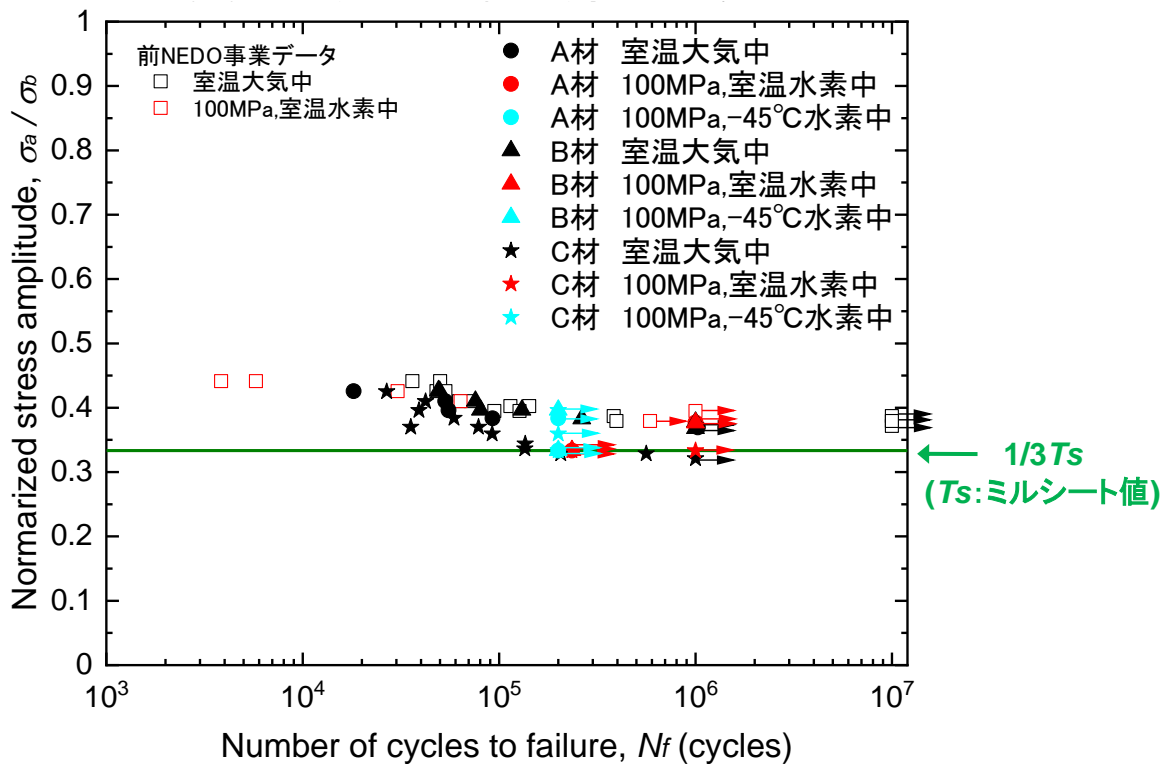


図 24 引張強さで正規化した A 材、B 材、C 材の室温 ($25 \pm 5^\circ\text{C}$)、低温 ($-45 \pm 5^\circ\text{C}$) 疲労試験結果

4) まとめ

3 種類の SUS304 市中材について、大気中および高圧水素ガス中での SSRT 試験を室温ならびに低温で実施するとともに、大気中および高圧水素ガス中での疲労試験を室温ならびに低温で実施した。室温 ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) もしくは低温 ($-45 \pm 5^\circ\text{C}$) で実施した SSRT 試験においては、試験温度が同じ場合、高圧水素ガス中の降伏応力 (Y_s) は大気中とほぼ同等であることが明らかになった。また、室温 ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) で実施した疲労試験においては、大気中と高圧水素ガス中の疲労限応力はほぼ同等で有り、ミルシートに記された引張強さの $1/3$ に相当する試験応力で高圧水素ガス中疲労試験を実施した場合、全ての試験片が 2×10^5 回まで未破断であることを確認した。さらに、低温 ($-45 \pm 5^\circ\text{C}$) 高圧水素ガス中の疲労限応力は、室温よりも高いことを確認した。

以上より、SUS304 市中材は、HFCV-GTR Phase2 に提案した水素適合性試験法案の判定基準を満足することが確認された。

5) 今後の課題

今後は、これらのデータを参考に、SAE J2579 の改定や GTR13 Phase2 における水素適合性試験法に関する議論を進める。また最終的には「HFCV 基準検討委員会」の議論を通じ、SUS304 材を使用可能材料として確定できるか検討する。

3. 2 成果の意義

国際商品である FCV の普及拡大には、水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 HFCV-GTR などの国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献し、HFCV-GTR Phase2 の円滑な国内導入を図ることができる。そのためには、HFCV-GTR Phase2 の審議を日本がリーダーシップを発揮しながら活動する必要がある。本課題の成果は、この活動のために寄与され、国際標準

化に貢献する。

3. 3 開発項目別残課題

(1) 国際基準調和活動

● HFCV-GTR Phase2 提案内容の最終合意に向けて

2021 年末^{*}の国連 GRSP への全体ドラフト提案に向けて国際審議に継続的に参画し、最終合意に向けて議論を誘導する。そのため国内の審議組織である HFCV 基準検討委員会を引き続き開催し、日本提案方針の承認審議を行う。^{*} COVID-19 の影響で最終目標議論中

● 新規課題の議論の必要性

国際議論を通じ、高圧ガス保安法領域に関する新たな技術課題が出されており、必要に応じ国内 HFCV 基準検討委員会に課題提示し、委員会了承のもと日本からの働きかけを継続することが必要。具体的な新規課題の例は、

- ✓ 新構造容器（複数小径容器の接続構造）の試験法案審議
- ✓ 大型車搭載想定の大径容器の試験法案審議
- ✓ 容器使用期限の延長審議（15 年使用 → 25 年使用 への延長） など

● GTR 長期課題および UNR134(相互認証基準)審議への継続対応検討

- ✓ 2021 年の GTR ドラフト提案後に想定される長期課題審議への継続参加が必要。
- ✓ GTR ドラフト策定後の UNR134 の審議への参画と、国内法への落とし込み対応の検討。

(2) 火災暴露試験法

風の影響および発熱量の影響をさらに調査し、審議に必要となるデータ取得は完了する見込みである。ただし、各国でのラウンドロビンの実施がまだ少なく、現在、CSA と JARI 以外に公開されたデータはない。今後、各試験機関からのラウンドロビンの結果によっては新たな課題が生じる可能性があり、それに迅速に対応できる体制を継続する必要がある。

一方、火災に晒された容器が所定の時間内に耐えれば PRD が作動しなくても合格とする試験方法が提案され、現試験法草案に採用されている。課題として、火災試験が制限時間に達した場合の冷却方法・冷却速度の定義、実火災後のセカンドレスポンスに対する脱圧時の安全確保のために、脱圧用の緊急脱圧弁の作動有無や附属品類の耐久性などの検討が必要である。また、HDV 対応のための大径容器やバッテリーパックの形状をした小径容器の火災暴露試験方法が検討され始めている。火源の大きさや延焼速度などの新たな課題に対応するために、本事業を継続する必要がある。

(3) 水素適合性試験法

HFCV-GTR Phase2 に提案された水素適合性試験法に合わせて改定した Rationale 案を国内材料専門家会議他で議論した後、SAE 材料専門家会議、および HFCV-GTR Phase2 IWG 会議に提出し、議論を進め、最終提案の形にまとめていくことで国際合意を得る必要がある。さらに、UNR134(相互認証基準)審議に向けて、材料の認証方法を検討する必要がある。

鋼種拡大に関しては、取得した SUS304 市中材データをベースに、「HFCV 基準検討委員会」の議論を通じ、SUS304 材を使用可能材料として確定できるか検討する必要がある。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

サブテーマ 1：FCV の国際技術基準（HFCV-GTR Phase2 等）に関する国際基準調和・標準化活動

国連 HFCV-GTR Phase2 審議に参画し、国際連携体制を構築し、日本の提案項目について試験法案の提案またはドラフト提示まで実施した。日本の国際提案に先立ち、国内の HFCV 基準検討委員会を開催し、専門家による事前審議・承認を行った。

今後、2021 年末^{*}の国連 GRSP への全体ドラフト提案に向けて国際審議に継続的に参画

し、最終合意に向けて議論を誘導する。さらに、国際議論を通じ、高圧ガス保安法領域に関する新たな技術課題（新構造容器、長尺容器の試験法等）が出されており、引き続きこれらの課題審議への継続参加が必要。

サブテーマ2：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）策定に資する研究開発

2-1. 容器火炎暴露試験の見直し

火炎暴露試験結果およびシミュレーション解析結果等から、再現性向上のための試験手順を提案した。具体的には、試験結果にバラツキが生じる因子として、①火炎高さ、②火源の幅、③火源の均一性、④風の影響が関与していることを抽出。各影響について調査し、許容される流量や火炎幅、火炎の均一性の確認方法、風をモニタリングする方法について提案し、試験法草案に採用された。

今後、各国でのラウンドロビン試験結果から新たな課題が生じる可能性がある。また、新たな試験法として提案されたPRDが作動しなくても合格とする試験法案について検討する必要がある。さらに、新たな課題である、新構造容器や長尺容器の火炎暴露試験法についても検討する必要がある。

2-2. 金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大

前NEDO事業で作成した水素適合性試験法の日本案をベースに、国際合意可能な修正案として、海外案と日本案を選択可能とする水素適合性試験法案をSAE材料専門家会議で合意し、SAEからHFCV-GTR Phase2に提案された。

今後、Rationale案を国内材料専門家会議他で議論した後、SAE材料専門家会議、およびHFCV-GTR Phase2 IWG会議に提出し、議論を進め、最終提案の形にまとめていくことで国際合意を得る必要がある。さらに、UNR134(相互認証基準)審議に向けて、材料の認証方法を検討する必要がある。

自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能材料として確定するため、3種類のSUS304市中材の水素中SSRT試験データおよび水素中疲労試験データ取得を完了した。

今後、取得したSUS304市中材データをベースに、「HFCV基準検討委員会」の議論を通じ、SUS304材を使用可能材料として確定できるか検討する必要がある。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年9月	The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)	The Study on Permissible Value of Hydrogen Gas Concentration in Purge Gas of Fuel Cell Vehicles	山崎 浩嗣
	2019年9月	The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)	Influences of hydraulic sequential tests on the burst strength of type-4 compressed-hydrogen containers	富岡 純一
	2019年9月	The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)	A study of decrease burst strength on compressed-hydrogen Containers by drop test	増田 竣亮
	2019年11月	第33回数値流体力学シンポジウム	高圧水素容器の火炎暴露試験の数値シミュレーション	山田 英助
	2019年12月	(一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー	湿潤ガス応力腐食割れ挙動に基づくアルミニウム合金の適合性評価	小川 武史
	2019年12月	(一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー	燃料電池自動車用高圧水素タンク部品材料の水素適合性評価方法と国際基準化の動き	木村 光男
	2019年12月	オープンCAEシンポジウム 2019	高圧水素容器の火炎暴露試験における燃焼と固体熱伝導の数値シミュレーション	山田 英助

－特許等－

なし

(3-3) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国際展開、国際標準化等に関する研究開発／水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」

株式会社大和総研

- 成果サマリ (実施期間：2018年度～2020年度予定)
 - ・水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を日々ウォッチして収集し、最新情報の隔週報告および四半期ごとに情報精査・傾向分析を実施し、継続中。
 - ・米国、欧州、ドイツ、中国、韓国について水素政策等の全体像の体系的な整理・分析を実施し、継続中。
 - ・各国比較や国際機関の報告書などを分析し、各国の特徴から得られる示唆の検討を開始し、継続中。

● 背景/研究内容・目的

(課題意識)

日本が、世界に先駆けて水素社会を実現し、世界をリードするには、**国内外の水素に関わる広範な情報をタイムリーに収集、把握し、政策・制度、市場対応などを積極的に進めていくことが必要。**

(目的)

本調査研究では、世界各国の水素燃料電池に関する政策、市場、研究開発動向等の最新情報を幅広くタイムリーに**収集、分析し、国内関係者に展開、共有**すること、また、各国の政策や、市場および産業動向を**正確に把握し、評価・分析**することで、今後のわが国への**示唆を得る**ことを目的とする。

● 研究目標

実施項目	目標
(1) 最新動向調査	世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な 最新動向を把握 する。
(2) 国別政策・市場調査	主要国の水素燃料電池に関する 政策・市場動向を正確に把握 ・分析する。
(3) 方向性検討	上記結果を踏まえ、 国内政策への示唆 を得る。

● 実施体制及び分担等

NEDO ————— 株式会社大和総研

● これまでの実施内容 / 研究成果

(1) 最新動向調査

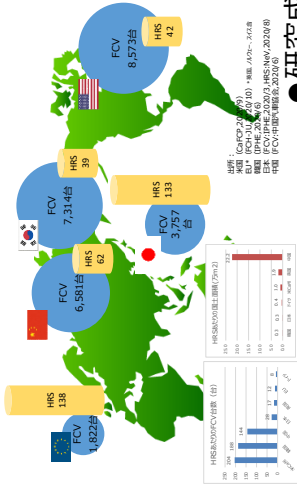
水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を日々ウォッチし、最新情報を隔週報告し、四半期ごとに情報の精査・傾向分析を行った。

成果物：隔週リスト：40本 (vol.1～vol.40)、合計ニュース数：1,621件
 四半期報告書：6本 ('19Q1～'20Q2)、国際会議への参加、報告：6本

(2) 国別政策・市場調査

米国、欧州、ドイツ、中国、韓国の水素政策の全体像を体系的に整理した。HRSの導入状況について整理した。

中国は、全国型補助金でFCV導入が加速。今後は、都市型奨励金によりインフラ・産業一体型の発展を目指す。



● 研究成果まとめ

● 今後の課題

世界の水素燃料電池をめぐる動向が活発化しており、実施期間終了直前まで、継続した情報収集と、分析・検討の更新が必要。

● 実用化・事業化の見通し

該当なし

課題番号：3-③

研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国際展開、国際標準化等に関する研究開発／水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」

実施者：株式会社大和総研

1. 研究開発概要

1. 1 背景

2018年8月に策定された「第5次エネルギー基本計画」では、“水素社会の実現に向けた取り組みの抜本強化”が掲げられ、モビリティにおける水素利用の加速をはじめ、再生可能エネルギー由来水素の利用拡大や2020年東京五輪でのショーケース化など、あらゆる方面での水素活用を強化する姿勢が示された。

また、2017年4月には「再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議」が組成され、同12月に「水素基本戦略」を策定、資源に恵まれないなか、科学技術立国として成長してきたわが国こそが、世界に率先して水素分野でのイノベーションに挑戦し、世界をリードすべきとし、官民挙げて共有すべき方向性・ビジョンが示された。

わが国の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2016年改訂）では、水素ステーションを2020年に160か所程度、2025年に320か所程度設置するとともに、2020年代後半までに水素ステーション事業を自立化するという目標が掲げられている。こうしたなか、本事業（「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」）では、水素ステーション（HRS）に係る超高压水素技術等に関して、普及期を見据えた課題に対応するための研究開発等を進めるため、規制見直しの推進や水素ステーションの整備費・運営費の低減に資する技術開発を担っている。

1. 2 目的

“水素社会”実現に向けた水素サプライチェーンの確立にあたっては、水素の「製造」、「貯蔵・搬送」、「利用」の多岐に亘る課題を一体的に解決していくことが重要となる。したがって、わが国が、世界に先駆けて“水素社会”を実現し、世界をリードしていくためには、国内外の水素に関わる広範な情報をタイムリーに収集、把握し、必要に応じた政策・制度対応、市場対応などを積極的に進めていくことが肝要となる。

本調査研究では、安全・環境に配慮した水素社会の実現に向け、世界各国の水素燃料電池に関する政策、市場、研究開発動向等の最新情報を幅広くタイムリーに収集、分析し、国内関係者に展開、共有していくことを目的とする。また、各国の政策や、市場および産業動向を正確に把握し、評価・分析することで、今後のわが国における水素燃料電池技術の開発戦略への示唆を得ることを目指す。

2. 研究開発目標

本調査研究は、下記3つの目標に基づき遂行する（表1）。

表1 研究開発目標

実施項目	最終目標
（1）最新動向調査	世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な最新動向を把握する。
（2）各国政策・市場調査	主要国の水素燃料電池に関する政策・市場動向を正確に把握・分析する。
（3）方向性検討	上記結果を踏まえ、国内政策への示唆を得る。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 最新動向調査

水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を日々ウォッチし、最新情報を隔週報告し、四半期ごとに情報の精査・傾向分析を行った。(△達成見込み)

① 成果物

下記の成果物を NEDO に提出した。

- ・ 隔週情報リスト：40 本 (vol.1~vol.40、ニュース総数：1,621 件) (図 1)
- ・ 隔週情報リスト概要 PDF (事業者展開用)
- ・ 四半期報告書：6 本 (2019Q1~2020Q2)
- ・ 国際会議への参加記録：6 本 (DOE-AMR、WHTC、FCVC、FCHJU、水素閣僚会議、インフラワークショップ)

No.	年月日	国名	分野1	分野2	Keywords	タイトル(英文)	タイトル(和文)	概要(和文)	ソース	URL
1	2018/12/19	スイス	技術	製造-再エネ水素	Paul Scherrer Institut (PSI)	PSI Researchers: New Paths for Energy with Hydrogen	PSI研究者：水素によるエネルギーへの新たな道	スイス政府の「エネルギー戦略2050」による再生可能エネルギー増大と停電停止の方針を受け、スイスの研究機関Paul Scherrer Institute (PSI) は、水素混入天然ガス網の活用のために、ガスターミナルを研究している。PSIのEnergy System Integration (ESI) は設置した小型タービンで、水素と天然ガス混合ガスの耐久性を検証し、将来的に水素をそのまま使用する可能性も研究する。	PSI (Paul Scherrer Institute)	https://www.psi.ch/media/new-paths-for-energy-with-hydrogen
2	2018/12/19	ドイツ	技術	利用-移動体用FC	NOW	BMW supports the development of pressure tanks for fuel cell vehicles	BMWは燃料電池自動車用高圧タンクの開発を支援	FCVにおける高圧タンクのコスト削減促進に向けたDELFINプロジェクトにおいて、BMWのR&Dが50万ユーロを、NOWが10万ユーロを拠出。株式会社Ford、BMW、NuCellSys、NPROX、Elkamel Kunststofftechnik、Tejin Carbon Europe、ISATEC、BAM、RWTH-AACHENなど。	NOW-GMBH	https://www.now-ghmbh.de/en/news/bmw-supports-the-development-of-pressure-tanks-for-fuel-cell-vehicles
3	2018/12/19	フランス	経済-エネルギー	利用-HRS	Atawey, EU	"Last Mile Project" - Atawey and its Partners will Deploy 33 Hydrogen Refuelling Stations in France	ラストマイルプロジェクト：Ataweyはフランスに33の水素ステーションを展開	Atawey, Akuo Energyは、EUのラストマイルプロジェクトに参画し、パリとその他のフランスの都市の市内・郊外に33の水素ステーションを設置する。同時に400台のFCVによる物流も計画している。	Atawey	http://atawey.com/en/actualites/last-mile-project-atawey-and-its-partners-will-deploy-33-refuelling-stations-in-france-52.html
4	2018/12/19	オーストラリア	政策	その他	Victoria	Victoria launches programme	ビクトリア州がプログラムを発表	豪州ビクトリア州では、水素技術開発に2億ドルの投資を付与と発表した。ビクトリア州では2020年までに50%を再生可能エネルギーに転換し、再生可能エネルギーの輸出機会にも繋がる。	Victorian Government	https://www.premier.vic.gov.au/new-program-to-drive-investment-in-hydrogen-energy/
5	2018/12/19	フランス	経済-エネルギー	利用-HRS	Morbihan Energies	Green Hydrogen: Morbihan Energies Hydrogen Station Awarded at Cop 24	グリーン水素：COP24にてMorbihan Energiesの水素ステーションが受賞	Morbihan Energies (フランスモルビアン県が運営する電力会社) が設置した水素ステーションが、COP24で開催されたGreen Solution Awards 2018 で第2位を獲得した。2017年に導入されたVannes-Luscanenの同社の数地に導入されたステーションでは太陽光発電で製造される水素を供給している。	Fuel Cell Works	https://fuelcellworks.com/news/green-hydrogen-morbihan-energies-hydrogen-station-awarded-at-cop-24/

図 1 情報リスト (例) (出所 大和総研作成)

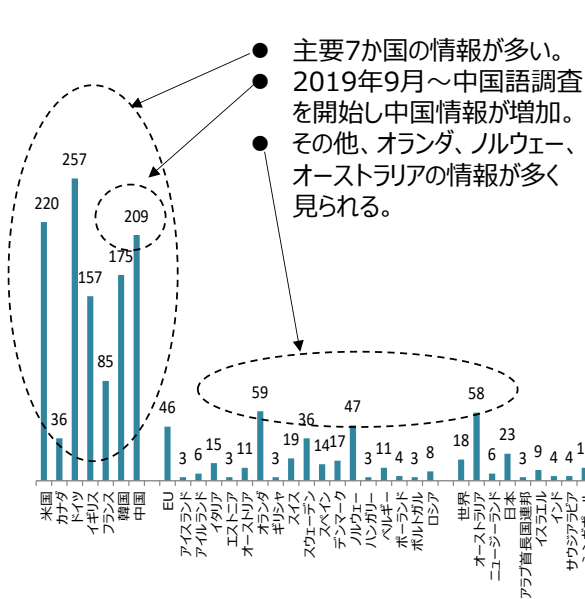
期間中のニュース総数は1,621件となった(図2)。

国別内訳をみると、主要7か国(米国、ドイツ、イギリス、フランス、中国、韓国)の情報が多く、特に2019年9月からは中国語による中国サイトからの情報収集を開始したことから、中国情報が増加した。その他では、オランダ、ノルウェー、オーストラリアの情報が比較的多く得られた。

テーマ別内訳でみると、移動体関連(移動体FCとHRS)に関する情報が最も多いが、2020年以降は若干減少し、水素製造に関する情報が増加した。水素製造に関する情報は、2019年に全体の17%であったが、2020年には23%となった。その他、水素政策・戦略の策定や水素タウン(供給および需要を含む)構想などの水素社会に関連する情報も比較的多く見られた。

最新動向の分析：国別件数

(ニュース数1,621本÷20本/週)



最新動向の分析：テーマ別件数

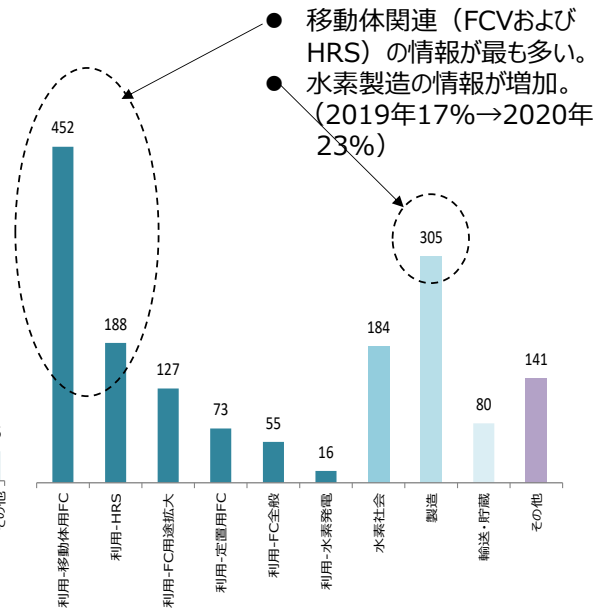


図2 ニュースの内訳 (出所 大和総研作成)

② 2019～2020 年度の重要ニュース

2019～2020 年に水素を取り巻く環境は大きく変化した。

2019 年は (図 3)、年初より韓国による水素ロードマップ “Hydrogen Economy Roadmap 2040” の発表があり、2030 年に FCV180 万台導入という高い目標が注目された。平仄を合わせるように Hyundai が “FCEV Vision 2030” を発表、2030 年までに年間の FC 生産を 70 万台にすることが掲げられた。一方、中国では全人代の「2019 年政府活動報告」に水素が初めて掲載され、各地方政府が「水素計画」を策定する端緒となった。

その後、WEC による報告書 “New Hydrogen Economy”、IEA による報告書 “The Future of Hydrogen”、IRENA による報告書 “Hydrogen: a renewable energy perspective” など国際機関による水素レポートが相次いで発行され、水素エネルギーの意義、必要性などが国際的に認識される契機となった。

2019 年末には、オーストラリアから水素戦略 “Australia’s National Hydrogen Strategy” が発表され、当該国が水素輸出による産業振興を目指す姿勢が明らかとなった。

2020 年 (図 4)、EU は、2019 年末に誕生した新 EC 体制が発表した “A European Green Deal” のもと、2050 年クライメートゼロの法制化に向けて大きく動いた。5 月にコロナからの経済回復を目指す “Next Generation EU” が発表され、グリーン水素加速のための資金が確保された。そして、7 月には、EU の水素戦略 “A Hydrogen Strategy for a climate-neutral Europe” が発表された。

その間、オランダ：“Government Strategy on Hydrogen”、ノルウェー：“government’s hydrogen strategy” ドイツ：“National Hydrogen Strategy” など欧州各国で水素戦略の策定が相次いだ。

	政策	ビジネス・経済	
		FCV	水電解、他
前半 (1~6月)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 韓国：“Hydrogen Economy Roadmap 2040”を発表。2030年FCV180万台に ✓ EU：グリーン水素生産地保証CertifHyスタート ✓ EU：“Hydrogen Roadmap Europe”を発表 ✓ 中国：全人代「2019年政府活動報告」に水素が初めて記載 ✓ WECIによる報告書“New Hydrogen Economy” ✓ IEAによる報告書“The Future of Hydrogen” ✓ 英国：“Climate Change Act 2008”を改定。2050年ネットゼロ目標を法制化。CCSと水素（水電解6-17GW）が重要 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hyundai (韓)：“FCEV Vision 2030”を発表。 ✓ Nikola (米)：アリゾナ州に400台（35,000台/年）のFCトラック製造用地を確保 ✓ Bosch (独)：車両用FC大量生産でPowercellと提携 ✓ Audi (独)：FCV開発計画を加速。2021年に小型シリーズ販売 ✓ Alstom (独)：世界最大規模のFC列車27台を受注 ✓ Cummins (米)：Hydrogenics、Loop Energyの株式取得 ✓ Faurecia、Michelin (仏)：水素事業を統括するJVを設立 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ KOGAS (韓)：2030年までに水素製造施設25か所、パイプライン700kmを新設 ✓ ITM Power (英)：PLP Bessemer Parkに製造用地を確保。世界最大1GW/年の電解槽を製造 ✓ PlugPower (米)：NY州Rochesterの施設拡張を発表 ✓ Northern Gas Networks (英)：HyDeploy；2020年から、既存パイプラインに20%のグリーン水素混合実証開始 ✓ H21；2020年1月から、水素へ100%転換プログラムの第2段階開始
	後半 (7~12月)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ カリフォルニア：FCEBs（バス）のロードマップを公表 ✓ IRENAによる報告書“Hydrogen: a renewable energy perspective” ✓ 中国：国家発展改革委員会が「産業構造調整ガイダンスカタログ（2019）」で水素機器を奨励 ✓ 米国：FCHEAが“Road Map to a US Hydrogen Economy”を発表 ✓ 豪：“Australia’s National Hydrogen Strategy”発表 ✓ EU：2050年クライメートゼロに向けGreenDeal発表 	

図3 2019年の主なニュース (出所 大和総研作成)

	政策	ビジネス・経済	
		FCV	水電解、他
前半 (1~6月)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 米国：DOEがFCトラックに関する技術目標を策定（1/28） ✓ EU：“European Industrial Strategy”でグリーンとデジタルの2大転換を推進。Clean Hydrogen Alliance（3/10） ✓ オランダ：“Government Strategy on Hydrogen”を発表（4/6） ✓ 中国：中国エネルギー法案で水素をエネルギーと定義（4/10） ✓ 中国：再エネ14・5（案）で水素を貯蔵手段と認識（4/14） ✓ 中国：新エネ自動車助成金、全国型から都市集中型（4/23） ✓ EU：“2x40GW Green Hydrogen Initiative”で電解設備の見直しを提示（4/15） ✓ EU：経済回復策“Next Generation EU”で7,500億ユーロを投入。グリーン水素加速を含む（5/27） ✓ ノルウェー：“government's hydrogen strategy”を発表（6/4） ✓ ドイツ：“National Hydrogen Strategy”を承認（6/10） ✓ 韓国：水素経済促進のファンドを設立。340億ウォン超見直し（6/15） ✓ EU：“A Hydrogen Strategy for a climate-neutral Europe”を発表（7/8） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Weichai (中)：2万台のFCエンジン工場を始動（4/2） ✓ Hyzon Motors (米)：FCバス1,000台を受注（4/7） ✓ Loop Energy (カナダ)：南京市公共バスから3年間7,000台の50kWFCレンジエクステンダー受注（4/14） ✓ Volvo、Daimler (独)：大型車両向けFCで新会社立ち上げ（5/11） ✓ 豊田 (日)：中国で6社連合の商用車用のFC研究開発会社設立（6/6） ✓ SFC Energy (独)：adKorと電波塔用非常電源を受注。年内100か所、最終1,500か所配備。（6/8） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ITM Power (英)：Ørstedと洋上風力と電解槽の統合で協力（4/6） ✓ Korea Electric Power Research Institute、Korea Midland Power (韓)：水素製造技術の共同開発を開始（4/27） ✓ 英国のガス産業団体：政府に9億ポンドのグリーン水素インフラ投資を要求（5/28） ✓ Shinopek (中)：天然ガス水素製造10万m³/hを開始（5/30） ✓ Thyssenkrupp (独)：水電解の生産能力をGW規模に拡大（6/8）

図4 2020年（上期）の主なニュース (出所 大和総研作成)

(2) 各国政策・市場調査

米国、欧州、ドイツ、中国、韓国について水素政策の全体像を体系的に整理した。また、HRSの導入状況について整理した。(△達成見込み)

今後の方針：調査期間終了までの最新情報を反映させる。

① 米国

米国のエネルギー需要は世界第2位。シェール革命により近年は天然ガスの需要比率が拡大し、自給率は90%超で安定した。輸送部門におけるエネルギー需要が高い特徴がある(41%)。

米国のエネルギー政策は、各政権の考えと外部環境(原油価格、自給率)の影響を大きく受けてきた。2000年代、環境推進派ではなかったG・W・ブッシュ政権だが、エネルギー危機の影響を受けてエネルギー政策を強化した。“National Energy Policy”において、水素への将来的な期待が盛り込まれたことから、国家エネルギー省(DOE)は“Hydrogen & Fuel Cells Program”等水素に関するビジョン、計画などを整備した。その後、オバマ政権下の2011年に“The Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Plan”が策定され、設定されたサブプログラム(システム分析、システム統合、燃料電池R&D、水素R&D、製造R&D、技術実証、基礎研究、安全・基準、教育・啓発、市場創出、インフラ)ごとに、中期研究開発計画“Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan”(2012-2020)が策定され、適時更新されている。R&Dの予算規模は2020年で1.5億ドル超となっている。

FCV普及ではカリフォルニア州が突出しており、1999年にFCV普及のための官民連携組織として、カリフォルニア州燃料電池パートナーシップ(The California Fuel Cell Partnership : CaFCP)が設立され、組織的に導入がすすめられてきた。CaFCPによる“Fuel Cell Revolution-2030 Vision report-”では、2030年までに州内に100万台のFCVを導入させ、1,000か所以上の水素ステーションを整備することを目標に示している。最近では、Gavin Newsom州知事が2035年までに乗用車のすべてをゼロエミッション化する方針を示した(2020年9月)。同州のZEVへの取り組みは他州にも波及しており、2013年10月にはZero-Emission Vehicle Programを採用する7州との間でZEV市場の拡大に向けた覚書(MOU)が締結されたほか、2020年8月には、15州とワシントンD.C.によりゼロエミッションの中大型車両市場(MHDVs)拡大に向けて、“Multi-State Medium- and Heavy-Duty Zero Emission Vehicle”と題するMOUを交わすなど、今後の拡大が期待されている。

② EU

EU全体のエネルギー需要は世界第3位の規模に相当。暖房負荷が高いことから業務・家庭部門におけるエネルギー需要が高い特徴がある(38%)。近年再生可能エネルギー導入量が増えており、総発電電力の3割を占めている。

EUは気候変動対策に積極的に取り組んできており、2018年に策定された長期ビジョン“Clean Planet for All”では、2050年までにGHG排出量を実質ゼロにすることを発表した。同ビジョンでは、異なる技術ドライバーによる8つのシナリオ分析が行われており、「水素」と「P2X」シナリオも含まれている。2020年3月には、2030年までのGHG削減目標(1990年比50%減)を法的に担保するための“European Climate Law”案が提出されている。

水素に関しては、2008年に水素燃料電池関係の公募・補助金管理・R&D政策を行う官民パートナーシップである欧州燃料電池水素共同実施機構(FCH-JU : Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking)が設立された。後継のFCH 2 JUでは、2019年時点で246件、合計9.1億ユーロ規模の多年度プロジェクトが計画・実行中であり、予算はEnergy(製造、貯蔵、搬送、定置用FCなど)と、Transport(乗用車、バス、電車、船舶など)に2分されている。

2019年12月に発足した新EC(ウルズラ・フォン・デア・ライエン委員長)は、新しい成

長戦略“A European Green Deal”の中で水素を重要なエネルギー源に位置付けた。それを受け、2020年7月、欧州の水素戦略“EU Hydrogen Strategy”が発表された。戦略におけるロードマップでは、水素経済は以下3つのフェーズを経て様々な分野でそれぞれ異なる速度で成長させていく方針である。

- ・ フェーズ1 (2020～24年) : 既存の工業プロセス (石油精製、化学工業) で使用されている化石燃料由来の水素をクリーン水素で脱炭素化するために、少なくとも6GWの電解槽で最大100万トンのクリーン水素が製造される。
- ・ フェーズ2 (2025～30年) : 少なくとも40GWの電解槽で最大1,000万トンのクリーン水素が製造され、製鉄、トラック輸送、鉄道、一部海運を含む分野に展開される。
- ・ フェーズ3 (2030～50年) : さらに大規模に生産されることで、空運および海運、さらに脱炭素化が困難と考えられている一部の産業用途に至るまで水素利用が浸透する。

③ ドイツ

ドイツのエネルギー需要は世界第5位。豊富な石炭により産業発展してきた経緯があるが、近年は天然ガスと再生可能エネルギーの比率が増加している。暖房需要により、業務・家庭部門のエネルギー需要が高い特徴がある (40%)。

ドイツは、2011年の福島原発事故を受け、メルケル政権のもと、再生可能エネルギーを主体とした社会を目指す“Energiewende”政策を推進してきた。2016年にUNFCCCに提出された“Climate Action Plan 2050”では、長期目標を「2050年までにカーボンニュートラル」に引き上げ、中間点である2030年目標 (90年比55%削減) が掲げられた。2019年12月には、2030年目標を法的拘束力のあるものにする“Climate Action Law”が施行された。

水素に関しては、2007年から水素・燃料電池技術革新国家プログラム (NIP) を開始。2008年には、連邦交通デジタルインフラ省 (BMVI) のもとに国家水素・燃料電池技術機関 (NOW GmbH) を設立し、NOWがNIPを一元的、戦略的に管理している。第1フェーズ (2007年～2016年) では、連邦政府が7億ユーロを拠出し、産業界から7億ユーロの研究開発投資を得た。第2フェーズ (2016年～2026年) では、BMVIは当初 (2019年まで) 2.5億ユーロを拠出し、連邦経済エネルギー省 (BMWi) が年間2,500万ユーロを拠出する計画となっている。

前述の“Climate Action Law”の審議では、水素燃料電池技術がドイツの気候変動対策における目標達成の鍵であることが認識され、連邦政府は、4省 (BMWi、BMVI、連邦教育研究省 (BMBF)、連邦経済的協力開発省 (BMZ)) の共同による水素戦略の策定に着手した。結果、2020年6月に“The National Hydrogen Strategy”が発表された。同戦略では、70億ユーロの追加投資を行うこと、グリーン水素にフォーカスすることなどが掲げられた。水素製造については、2030年までに90-110TWhの水素需要を想定し、5GWの電解槽の導入 (2035年には追加の5GWを導入) を目指すとした。そのために、CO2価格などの制度設定、資金、洋上風力区画の割り当てなどの具体的方策が掲げられている。なお、現在導入・計画中の電解槽は55MWとされている。

④ イギリス

英国のエネルギー需要は世界第12位。天然ガスが主要なエネルギー源だが自給率は低下しており、エネルギー安全保障に対する危機感が高い。暖房需要により、業務・家庭部門のエネルギー需要が高い (42%)。

2008年に世界初の気候変動に関する法律である“Climate Change Act 2008” (気候変動法) が制定され、2050年の目標として、GHG排出量を「1990年比80%削減」することが法制化された。実行戦略として策定された“Clean Growth Strategy” (2017年) では、グリーン・ファイナンスの導入、原発の新設、2025年までの石炭火力の撤廃、2040年までにガソリン・ディーゼル車の販売禁止などが盛り込まれた。水素に関しては、暖房用天然ガスの代替利用、輸送部門、低炭素な水素製造方法としてCCUSの活用などで言及されている。また、シナリオ分析では「水素シナリオ」が策定されるなど、当初より水素の活用が意識されてきた。2020年6

月、英国議会は“Climate Change Act”の改正法案を可決し、「2050年ネットゼロ」への目標引き上げが正式に法制化された。気候変動委員会（CCC）は、報告書“Net Zero–The UK’s contribution to stopping global warming”において、ネットゼロ実現のためには、低炭素電力量を現状の4倍にすること、低炭素暖房を全国の建築物に導入すること、また、産業へのCCS導入などが必須になるとしており、2050年までに水電解装置能力6-17GWが必要だとしている。

英国には水素政策を統括する組織はないが、運輸省（DfT）による“Road to ZERO”、ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）によるEnergy Innovation Programme等により、それぞれの分野で水素導入が推進されている。また、水素への機運の高まりを受け、現在、英国政府は水素戦略を策定中である。

DfTによる“Road to ZERO”では、超低排出型自動車（ULEV：電気自動車、燃料電池車、プラグインハイブリッド、ハイブリッド）のために2015～2021年に15億ポンドの投資を行う。燃料電池車については、超低排出バスプロジェクト（4,800万ポンド）や、FCV・HRSプロジェクト（第1ラウンド2,300万ポンド、第2ラウンド1,400万ポンド）などで導入支援が行われている。

BEISによるEnergy Innovation Programmeでは、産業界による低炭素燃料への転換を企図した“Industrial Fuel Switching”（2,000万ポンド）や、低炭素水素の大量供給を企図した“Hydrogen Supply”（3,300万ポンド）などで個別プロジェクトに資金提供が行われている。

⑤ 中国

中国のエネルギー需要は世界第1位。石炭が安定したエネルギー源であり自給率は8割を超える。エネルギー需要の約50%を産業部門が占める消費構造である。

中国での水素燃料電池への関心は、大気汚染対策を主とした低排出自動車の導入という文脈から始まっている。中国の新エネルギー自動車産業発展経緯及び一連の関連政策を時系列にふりかえると、主に3つの階段に分けられる。①戦略準備期（2001年～2008年）；②産業化導入期（2009年～2015年）；③成長期（2016年～）（水素・FCEV産業化加速）である。

国務院が2012年に発布した「省エネルギーと新エネルギー自動車産業発展計画（2012年～2020年）」は、この時期に施行された諸政策の基本政策となってきた。計画のもと、特にEV導入が積極的に推進されてきたが、2019年3月の「政府工作報告」がFCVに言及したこと、また、同月の「新エネルギー自動車に関する財政補助改善通知」により、補助金がEVからFCV重視に移行したことなどから、2019年に急激なFCVの導入拡大が進んだ。

2019年末までにFCV販売台数は6,178台となったが、2020年上半期には導入ペースが急速にスローダウンした。原因としては、①2020年4月に中央政府が打ち出した補助金政策は、一律補助金から指定モデル都市への奨励制度に変わったが、その実施細則の公布が遅れている影響で、地方政府含めた産官業界が、一時静観のスタンスに変わった、②コロナ禍の影響、③水素流通、貯蔵、供給に係る分野の整備遅れに対する不安が払拭できていない、などが考えられている。

⑥ 韓国

韓国のエネルギー需要は世界第8位。エネルギーの海外依存度は9割近くを占める。また、エネルギー需要の約50%を産業部門が占める消費構造である。

韓国は、1992年の気候変動枠組み条約締結時にはOECD非加盟国であったことから、経済成長を優先しながら気候変動政策に取り組んできた。2016年にUNFCCCに提出された中期目標では、GHG排出量を「2030年にBAU比で37%削減」することが設定されている。2040年度を目標年度とする「第3次エネルギー基本計画」（“Third Energy Master Plan”）では、原子力の緩やかな縮小と再生可能エネルギーの積極的導入などが盛り込まれている。

2010年に発表されたグリーン成長戦略に基づき、韓国はPHEV、HEV、FCVの開発と普及に取り組んできた。2013年にHyundaiが世界に先駆けてFCVの量産体制を構築したことから、FCVへの本格的な助成支援が始まった。補助金額は、従来車との価格差が3割程度であることを踏まえ、購入代金の3割程度が目安となっている。2017年には官民連携により、FCEVおよび水素エネルギー産業の発展を目指すH2KOREAが発足。H2KOREAのもと、2018年には、水素ステーション建設を企図するSPCであるHyNetが民間企業13社により設立された。HyNetは、2022年までに100か所の水素ステーションの設置を目指している。

こうした背景を踏まえ、2019年1月、文大統領が、水素経済への移行を正式に表明、「Hydrogen Economy Roadmap 2040」が発表されるに至った。ロードマップでは、2022年までに国内6.7万台のFCVと310か所のHRSを導入し、2040年までに国内290万台のFCVと1,200か所のHRSを導入する目標が掲げられた。具体的政策として公的機関におけるFCVの積極導入やHRSの設置および運営補助金を継続することなどが示された。また、2022年には水素需要量47万トン、水素価格6,000ウォン/kgとし、2040年には水素需要量526万トン、水素価格3,000ウォン/kgとする目標が設定された。そのために、当初は副生水素と天然ガス改質を活用するものの、将来的に再生可能エネルギーによる水電解やグリーン水素の輸入を活用するとした。

技術面では、2019年12月、「水素技術開発ロードマップ」が最終決定された。水素製造では、2025年までは天然ガス改質技術(大規模拠点型1,000Nm³/h以上規模と、オンサイトHRS型300~1,000Nm³/h規模)に注力し、2030年までに高効率・大規模水電解システム(50kWh/kg-H₂、100MW級)の開発および再エネ技術との連携実証に注力するとしている

(3) 方向性検討

(1)、(2)の調査を踏まえ、各国比較や国際機関の報告書などを分析し、各国の特徴を明らかにしたうえで、日本への示唆(案)を検討した。(△達成見込み)

今後の方針:(1)、(2)で追加された最新情報をもとに、各国の特徴について、より詳細に分析し示唆についての検討を深める。

国別比較の一つとして、水素戦略の比較を一例に挙げる(表2)。

注力分野をみていくと、各国とも、交通部門で水素を活用することは共通しているが、EU、ドイツ、英国、中国では、ターゲットを中大型車と明確に位置付けている点で特徴がある。ドイツや英国では、さらに大型の船舶や列車、航空分野など、“非電化分野”での水素利用を目指しており、「選択と集中」が図られている。また、水素の供給面については、韓国、ドイツ(および日本)では、輸入水素の可能性を探っている点で共通している。水素製造では、国情に合わせた水素製造方法がターゲットとなっており、EUはグリーン水素(グリーン、ブルー)、ドイツはグリーン水素、英国はブルー水素の製造を目指している。また、水素社会の実現のためには、水素の需給両面での拡大が求められているが、EU、ドイツでは、現在用いられている工業用水素をグリーン水素に置換することも視野にしている。

表 2 主要国の水素戦略と注力分野

	エネ需要 (Mtoe)	水素戦略等	水素戦略の概要	注力分野						水素製造目標など
				交通	民生	発電	産業	水素輸入	水素製造	
米国	2,155 (第2位)	"Road Map to A US Hydrogen Economy" (2019/11)	業界団体 (FCHEA) により、米国が世界の水素エネルギーにおいてリーダーシップをとる道筋が示された。水素が再生可能エネルギーの展開をサポートするとともに、エネルギーの輸送・貯蔵、燃料、熱源などとして多面的に利用可能であることを強調。	○普通、中大型	○オンサイト					【2030年】水素需要は1,400~1,700万トン (うち、既存需要は1,300万トン)
EU	1,619 (-)	"EU Hydrogen Strategy" (2020/7)	電化が困難なセクターの脱炭素化と同時に、エネルギーキャリアとしての水素の確立を目指す。再生可能水素と短中期的には低炭素水素を活用。官民連携のEuropean Clean Hydrogen Allianceを設立し、投資拡大とグリーン水素需要拡大を図る。共通基準や認証などの導入、最先端の技術への助成など。	○中大型			○化学		○グリーン	【2030年】グリーン水素製造1,000万トン。電解槽は40GW以上
ドイツ	311 (第6位)	"The National Hydrogen Strategy" (2020/6)	水素製造が重要であり、2030年までに5GW、早ければ2035年に追加の5GWの電解槽を導入する。水素利用の主体は、産業分野と交通分野になる。ただちに、関連法規 (EEG, RED II) と整合をとる。これまでのNIPの取り組みを強化・補完する。	○普通、中大型、列車			○	○	○グリーン	【2030年】グリーン水素需要14TWh (=42万トン) = 電解槽5GW
英国	175 (-)	(策定中)	-	○中大型、船舶	○暖房				○ブルー	-
韓国	282 (第9位)	"Hydrogen Economy Roadmap 2040" (2019/1)	世界クラスのFCV・FC技術、石油プラントでの経験、LNGインフラの活用により、水素経済で世界をリードする。FCVと定置用FCの導入を進め、将来的に水電解や水素輸入からの水素供給を目指す。水素経済への移行により、2040年までにGDP2.5%成長に寄与し、42万人の雇用を創出する。	○普通、中大型		○		○		【2030年】水素需要194万トン (うち、既存利用は13万トン)
中国	3,077 (第1位)	"新エネ・省エネ自動車技術ロードマップ" (2016/10) "中国製造2025" (2018/2)	技術面で性能向上、寿命向上、低温稼働、コスト低減を目指し、2030年にFCV100万台、HRS1000か所導入を目指す。	○中大型						【2030年】HRS1,000か所、FCV100万台

(出所 大和総研作成)

各国の特徴から、下記のとおり示唆 (案) を検討した。今後深掘りしていく予定である。

◆野心的な気候変動目標の設定と明確な水素の位置づけ (欧州、ドイツ)

- ・ 欧州、ドイツは、気候変動に対して「2050年ネットゼロ」の野心的な目標を掲げている。
- ・ ドイツの水素戦略では、冒頭に、「水素の利用拡大が気候変動対策に大きく依存する」ことが明文化。EUの水素戦略においても、「気候中立に向けて、まずエネルギー効率化、次に再生可能エネルギーの利用拡大、そして、電化等が困難な分野で水素を適用する」と水素を位置付けている。
- ・ 野心的な目標設定と同時に、水素と気候変動目標との関連性、集中分野を明確にする戦略が図られている。

◆産業化推進にあたって、技術より実用優先の戦略方針 (中国)

- ・ 中国がFCVを本格導入するにあたって、①EVとのすみわけ、②従来水素との調整、③ステーション等供給分布、④コア部品の技術力、等の課題を回避するため、一般乗用車ではなくバス・トラック、専用車への初期戦略構造を構築した。
- ・ 振興産業へのアプローチは、最先端技術ではなく、国情に合う最適ソリューションをとる戦略が図られている。

◆中央政府による明瞭なコンセプトと成功モデルによるビジネス期待の醸成 (米国)

- ・ 米国では、エネルギー省 (DOE) の省エネ・再エネ部 (EERE) の下に、水素・FCを統括する組織として水素燃料電池技術所 (HFTO) が置かれ、全体の動きの統一性を高めている。
- ・ 水素・FCに関連するR&DはH2@Scaleのコンセプトを軸に、他部署や多省、研究機関等との連携、コンソーシアムの形成などを進めながらHFTOが中心となって統合的に展開されている。
- ・ 先行するカリフォルニア州の実績が水素ビジネス拡大の期待を醸成し、その期待が多様なアプリケーション開発や水素供給ビジネスへと広がりつつある。中央政府と地方政府による役割分担による戦略が図られている。

3. 2 成果の意義

(課題意識)

わが国が、世界に先駆けて“水素社会”を実現し、世界をリードしていくためには、国内外の水素に関わる広範な情報をタイムリーに収集、把握し、必要に応じた政策・制度対応、市場対応などを積極的に進めていくことが肝要となる。

(目的)

本調査研究では、世界各国の水素燃料電池に関する政策、市場、研究開発動向等の最新情報を幅広くタイムリーに収集、分析し、国内関係者に展開、共有すること、また、各国の政策や、市場および産業動向を正確に把握し、評価・分析することで、今後のわが国への示唆を得ることを目的とする。

(成果の意義)

本調査では、

- ・ 世界各国の水素燃料電池に関する最新動向を隔週の「情報リスト」としてとりまとめ、NEDO および事業参加企業と共有し、国内関係者による最新動向の収集、把握を支援する。
- ・ 各国の政策・市場動向等を体系的にとりまとめ、市場参加者が基礎情報を把握することを支援する。
- ・ 収集した情報や分析結果から、各国の特徴を明らかにし、国内への示唆となるポイントの抽出を図り、政策決定者およびビジネスの意思決定の一助となることを目指す。

3. 3 開発項目別残課題

2019 年から 2020 年にかけて、各国から活発な情報発信、プレスリリースが行われており、水素燃料電池をめぐる環境は日々刻々と変化している。本調査では、実施期間終了直前（2020 年 12 月を目途）までの情報収集と、分析・検討結果への反映を行う。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

引き続き、情報収集や分析を行い、情報発信を行う。情報発信の手法としては、セミナー講演、雑誌等寄稿、レポート執筆、書籍執筆などを検討する。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
-	2020年1月30日	公益財団法人原総合知的通信システム基金主催特別セミナー「水素・燃料電池技術開発戦略と新展開」	「水素・燃料電池分野における海外最新動向と今後の展開」	平田 裕子
-	2020年12月3日	近畿経済産業局主催「水素エネルギー」セミナー（仮題）	「水素・燃料電池分野における海外最新動向と今後の展開」（仮題）	平田 裕子

(添付-2)

プロジェクト基本計画

「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業」基本計画

次世代電池・水素部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

「第4次エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)では、エネルギー政策の基本的視点として、「3E+S」、安全性(Safety)を前提とした上で、エネルギーの安全保障(Energy Security)、経済効率性の向上(Economic Efficiency)による低コストなエネルギー供給を実現し、合わせて環境への適合(Environment)を図ることが確認されている。また「水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期に差し掛かっている」等の記載が盛り込まれており、多様化する柔軟なエネルギー需要構造の構築に取り組むこととされている。

更に2017年12月には再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議にて「水素基本戦略」が発表され、2050年を視野に目指す目標や官民が共有すべき方向性・ビジョンが示された。

経済産業省資源エネルギー庁にて作成された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2016年改訂)に、フェーズ1として運輸部門においての水素の利活用として水素ステーションの整備、FCVの普及目標値が明記されている。また、未来投資戦略2017では水素ステーションの戦略的整備に向けた官民一体の新たな推進体制の構築、コスト低減等に向けた技術開発・実証、新たな規制改革実施計画に基づく水素ステーションの保安管理等に関する規制改革をパッケージで推進しFCV、FCバス、水素ステーションの普及を加速化すると記載されている。

②我が国の状況

水素・燃料電池戦略ロードマップで示された水素ステーションの2020年160箇所、2025年320箇所程度の設置を実現するためには、水素ステーション事業の自立化に向けたさらなるFCVの導入支援と合わせてステーション整備費、運営費、更には水素調達コストの低減に係る技術開発が重要となる。世界に先駆けて商用水素ステーションの設置を進めてきたが、設置当初とは異なる新たな課題が明確になってきた。水素ステーション、FCVの本格的普及を実現する為に、新たな共通課題を解決することで、水素ステーション事業の自立化に向けた取り組みが求められている。

③世界の取り組み状況

欧・米・中などにおいても、国家レベルで水素ステーション整備およびFCVの導入目標数を設定し、基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みを行い、さらに、我が国

と同様にFCV及び水素ステーションの一般普及を目指している等我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。

④本事業のねらい

2025年以降のFCV及び水素ステーションの本格普及、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

- 2025年の水素ステーションの自立化、2030年以降の水素ステーション事業自立化に向け、水素ステーションの整備費、運営費を低減することを目指し、
- ・国内の規制適正化に向けたデータ取得及び基準案の作成・提案を行う。
 - ・本格普及期を想定した水素ステーションの技術基準案（もしくはガイドライン案）を作成する。（水素ステーションで利用される機器の最適化、次世代水素ステーションの構成の最適化、長寿命化に関する提案など）
 - ・我が国の水素ステーション関連技術の国際競争力強化等の観点から、国際基準調和・国際標準化にかかる提案を行う。

研究開発項目内容は以下の通りとし、具体的な目標は別紙の研究開発計画に示す。

研究開発項目1：「国内規制適正化に関わる技術開発」

新たに規制改革実施計画に挙げられた項目の内、研究開発が必要とされる項目に関する研究開発を行う。

研究開発項目2：「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

平成37年（2025年）以降の水素ステーションの本格普及・自立化を見据え、水素ステーションの整備費・運営費低減に寄与する技術を確立する。

研究開発項目3：「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

ISO関連、IEA（国際エネルギー機関）、HFCEV-GTR（水素及び燃料電池に関する世界統一基準）関連など国際調和、海外施策・市場・研究開発動向の把握を行う。

②アウトカム目標

水素ステーション（固定式オフサイトステーション・ $300\text{Nm}^3/\text{h}$ ）のコスト
2025年以降

- ・整備費を2.0億円以下まで低減させる。
- ・運営費を現行の1/2以下まで低減させる。

上記目標値は、本事業で実施しない部分の規制見直し、民間企業等の取り組みを含めている。

③アウトカム目標達成に向けての取り組み

研究開発項目1、3で得られた規制見直し等の成果を研究開発項目2の技術開発に反映する等積極的に項目間連携を実施することにより、水素ステーションに係るコスト低減等を着実に図る。

更なる規制見直し、運営費低減、装置・構成部品の規格化・標準化、機器設備の長寿命化、高分子材料開発により、低コストステーションの設計が可能となると考えられる。また、入手しやすく、短納期が期待できる汎用材の適用拡大を図ることで、水素ステーション普及につながる裾野拡大に寄与する。更に水素ステーションへの多様化するニーズに対応可能となり、現状の4大首都圏へのステーション整備から地方への展開が可能となり、国が目標とする2025年320箇所（2020年160箇所）の整備に向けた自立的な普及が期待できる。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発を実施する。なお、各研究開発項目の具体的内容は、別紙の研究開発計画に示す通りとする。

研究開発項目1：「国内規制適正化に関わる技術開発」（委託事業）

研究開発項目2：「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」（委託事業、共同研究事業[負担率:1/2]・助成事業[助成率:1/2]）

研究開発項目3：「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」（委託事業）

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下PMという）（候補）にNEDO 次世代電池・水素部 大平英二統括研究員（研究開発項目2のうち「HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発事業」のみ）、横本克巳（研究開発項目2の「HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発事業」以外の事業）、をそれぞれ任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

研究開発項目間連携のため、「全体技術委員会（仮称）」を設置し、それぞれの成果、課題を共有する体制とする。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に

参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に関し国外の団体と連携して実施することができるものとする。

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMは、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、技術検討委員会等を設置し、外部有識者から技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

また、事業運営の形態（委員会の設置方法等）をスリム化し、意思決定のスピードアップを図るため、事業全体の調整、個別事業に反映させる全体技術委員会をPMが定期的を開催する。

② 技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

③ 研究開発テーマの評価

研究開発を効率的に推進するため、研究開発項目（1）～（3）を対象として、ステージゲート方式を適用する。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発事業の期間は2018～2022の5年間とする。

ただし、この期間内において、各テーマの実施期間は研究開発内容によりNEDOが設定する。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を2020年度に、事後評価を2023年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

得られた研究開発の成果は、機構及び実施者ともに普及に努める。

②標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業または国際標準化等との連携を図るため、データベースへのデータ提供、標準技術情報（TR）制度への提案等を戦略的かつ積極的に行う。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

(2) 基本計画の見直し

研究開発の内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号二及び第3号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2018年3月 制定
- (2) 2018年4月 担当部を新エネルギー部から次世代電池・水素部に変更
- (3) 2018年8月 (別紙) 研究開発項目の内容を一部改訂
- (4) 2020年8月 プロジェクトマネージャーの追加、和暦表記を西暦表記に変更。

以上

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目 1 : 「国内規制適正化に関わる技術開発」

1. 研究開発の必要性

前事業において規制適正化のテーマとして挙げられた項目については一定の成果を上げた。その後、規制改革実施計画で挙げられた新たな項目に関し、技術的な裏付けを持った見直しが必要であり、迅速かつ着実に研究開発を進めて行くことが必要である。基礎的・共通的な問題解決を図ることは、企業単独実施に比べ、効率的、かつ公平性をもって推進することが必要である。

また、大学等による学術研究の成果を、実際に製品化するメーカー等と共に活用することで実用的な研究が実施可能である。

2. 研究開発の具体的内容

2. 1 目標

①最終目標（2022年度末）

主に汎用材料の適用範囲拡大に関し、高圧水素下での評価試験結果を基に基準案作成を行う。

②中間目標（2020年度末）

水素ステーションの規制見直し等のために必要となる研究データを取得し、新たな規制見直し検討項目に対する技術基準案、例示基準案を作成する。

2. 2 内容

(1) 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発

①無人運転を実施するための研究開発

将来に向けた水素ステーションに関する課題として、例えば省人・無人運転に関する法的課題の整理、省人・無人に必要な対応技術開発項目および安全性向上に関する検討を行う。

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

水素ステーションに関するリスクアセスメントの実施、最適な解析手法に基づく安全性向上に関する技術開発項目検討や代替措置の検討を行う。この結果を研究開発項目2の「水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」の技術基準見直しに反映する。

国内外の商用ステーションの現状調査、規格に基づく機器構成の比較を行う。

③その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目の実施

家庭・小規模事業所等での水素充填等を可能にするための法的課題の抽出を行う。

(2) 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発

汎用材料の適用性拡大のため、使用圧力・温度を検討し材料の疲労に関するデータ取得、解析を行い、水素特性判断基準を検討する。新たな水素特性判断基準に基づき、汎用材の適用範囲の拡大を目指す。合わせて工事費、メンテナンス費の低減、漏えい

等の安全対策向上を目的として汎用材の溶接特性評価・検討を行う。

また、試験費用の低減及び試験期間短縮のために疲労試験方法に代わる簡易試験方法を確立する。

研究開発項目 2 : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

1. 研究開発の必要性

世界に先駆け商用水素ステーションの設置を進めてきたことで、整備当初とは異なる新たな課題が明確になりつつある。また2025年の自立的展開可能なインフラ実現のためには、更なる整備費低減に加え、運営費低減が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

2. 1 目標

①最終目標

水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。

②中間目標

水素ステーションコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーション運営費・整備費低減のための規格案、技術基準案等を作成する。

2. 2 内容

(1) 水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発

標準的な仕様条件などの規格化、標準化を検討する。構成機器検討から得られる成果を具体的なシステムに落とし込みモジュール化、パッケージ化および規格化の検討を行う。

(2) 運営費低減のための技術開発

運営費低減のために、構成機器の寿命延長の安全性評価方法の確立と業界技術基準案の策定を行う。特に複合容器についてはISO TC197 WG15（複合容器分科会）への容器寿命検討に関する提案が出来るようデータ取得、理論構築を行う。

(3) 高圧対応高分子技術開発

ヒートサイクル・圧力サイクルに対する信頼性向上として、長寿命高圧水素ホースの開発、長寿命高圧水素継手・シール部材の開発を実施する。

(4) 次世代向け水素ステーションに関する研究開発

本格普及期に必要と思われる大量かつ効率的な水素輸送やそれに伴う次世代向け水素ステーションの法的課題の抽出、技術課題の検討を実施する。

さらに普及期を見据えた充填対応技術開発、省エネルギー等に資する機器開発を実施する。

研究開発項目 3 : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

1. 研究開発の必要性

水素ステーション、FCVの世界市場を日本主導で開拓・拡大していくため、以下の取組を実施することが必要である。

水素ステーション関連技術のISO等の標準化に向けて積極的に情報収集と情報発信を行う。

FCVの国際技術基準について、必要なデータを揃え日本主導で議論を進める。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 目標

①最終目標

水素ステーション関連技術の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

IEA等海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。

(2) 内容

ISO関連、HFCEV-GTR関連、国際会議関連の下記活動を行う。

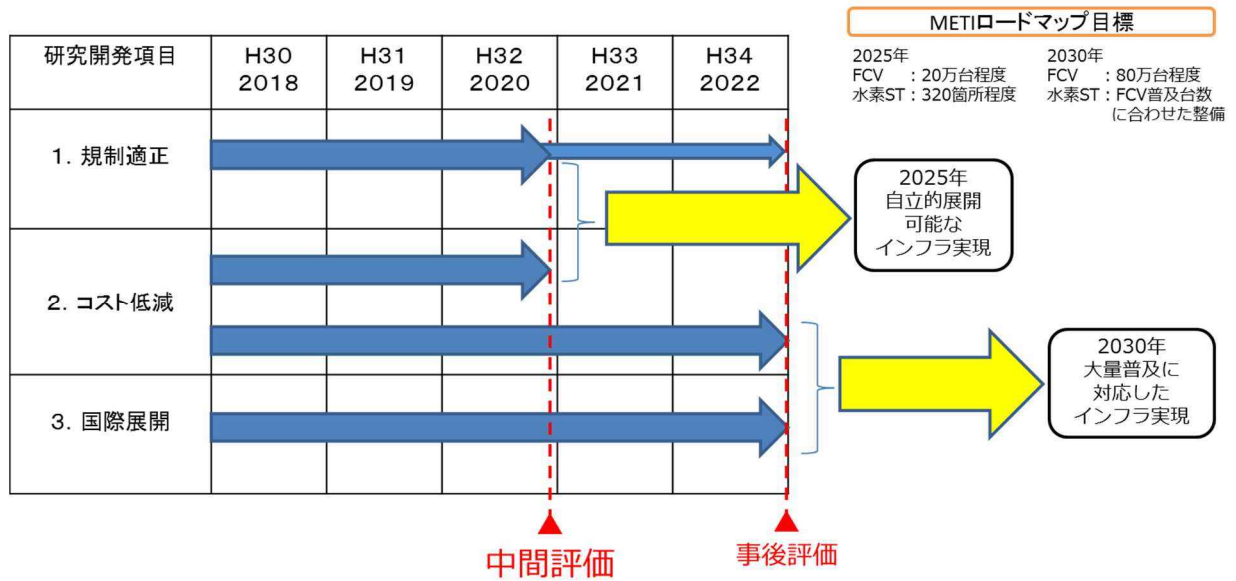
① ISO等の標準化、国際的に調和、連携のための活動を実施する。

② HFCEV-GTR（水素・燃料電池自動車の世界統一基準）のPhase 2の技術課題対し、必要に応じ人的派遣、議論への参加を行い、国内基準との整合を図る検討を実施する。

③ 海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、国内への適切な情報発信、及び日本の政策や技術開発への影響分析等を行う。

(別紙)

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」研究開発スケジュール



(添付-3)

プロジェクト開始時関連資料
(事前評価結果、パブリックコメント募集
の結果)

平成 29 年度事前評価結果

研究評価委員会において平成 30 年度NEDO新規案件の事前評価を実施しました。結果は以下の通りです。

当該評価結果は、今後基本計画等に反映してまいります。

平成 29 年 9 月
平成 29 年 12 月更新

案件名	新産業創出に向けた新技術先導研究プログラム
推進部署	イノベーション推進部
総合コメント	<p>民間の研究開発が短期的な成果重視になりがちなのに対して、画期的な「技術の原石」を探し出し、磨き上げていく本制度は、今こそ必要なものであり、NEDO として実施する意義は高い。ただし、アウトプット目標やアウトカム目標は、先導研究実施件数や国家プロジェクトに繋げた先導研究件数にとどまらず、その効果の内容まで踏み込んだ目標を期待したい。制度の枠組みとして、短期間の先導研究では、人材を含めた研究資源の確保や企業側の事業性評価を取り入れたビジネスプランへのパス検証が困難になるなど、研究組織としてのリスクがあるため、実施期間延長を可能とする柔軟な実施体制が望まれる。また、技術課題の広範な設定、あるいは、設定にとらわれない提案の可能性等を検討すべきである。研究開発推進委員会を設置して研究の進捗状況を管理することは評価できるが、目標達成の成否の議論だけでなく、事業化に向けての研究助言も与えられる委員会になることが望ましい。先導研究の成果が真に有用でかつ収益力のある技術や製品に成長するためには、各テーマの技術開発だけではなく、それらの有効な連携・統合を評価し、加速の判断が出来る仕組みも検討すべきである。また、各テーマ終了後の継続的な投資として、ベンチャーキャピタル等に接続していくための有効な仕組み作りを期待する。</p>

案件名	次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発事業
推進部署	ロボット・AI 部
総合コメント	<p>AI 及びロボットは今後の産業の中核要素技術の一つであるが、特に AI 分野の開発や応用で出遅れている我が国の状況を考えれば、これらの技術の融合を積極的に推進する意義は極めて高い。本提案が、プラットフォーム化のための技術開発と啓蒙教育、及びユーザーや専門家を含めた現場の実証を行う実践的な内容となっていることは評価できる。</p> <p>ただし、国際的な競争が特に激しいこれらの分野での差別化、ポジショニング及び優位性確保のための戦略を明確にすることが求められる。そのためにはベンチマーキングを実施し、強み・弱み分析等から課題設定の妥</p>

	<p>当性を十分に詰めておくべきである。また、目標や実施計画が機動的に変更できる柔軟なマネジメントの方策を、具体的に検討する必要がある。</p> <p>研究開発内容とアウトプット目標に関して、より具体的な記述が求められるが、先行プロジェクト等で実施する AI モジュール開発を考慮して、早急に社会実装のターゲットテーマを具体化すべきである。また、ソフトとハードの開発だけでなく、コンテンツ作成に有効なシステム開発が必要である。加えて、独創的な研究成果を事業化に結びつける橋渡し人材の育成も重要である。さらに、NEDO 内外のプロジェクトとの連携や、民間資金をうまく活用できるコンソーシアム形成の検討を期待したい。</p> <p>アウトカム目標として、CO₂ 排出削減と市場獲得だけでなく、生産性向上や国民生活の利便性と安心・健康について設定することが求められる。また、新市場創出効果は、生産性の向上による既存事業の効率化と、新規サービス市場の創出を区別して検討するとよい。</p> <p>既に AI の社会活用は想定範囲内にあり、非連続ナショナルプロジェクトに選定すべきかは再考を要する。</p>
--	---

<p>案件名</p>	<p>高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発事業 ※</p>
<p>推進部署</p>	<p>IoT 推進部</p>
<p>総合コメント</p>	<p>半導体及びコンピューティング分野で、世界における我が国のプレゼンスが低下している中、それを覆す可能性を持ったプロジェクトであり、着実に推進すべきである。ハードウェア、ソフトウェア、応用を一体で開発することにより、具体的な社会課題解決に繋がることを期待したい。日本の産業の真の復活を目指す戦略的提案に繋げるべく、国内外の先端研究プロジェクトの動向と成果を精査し、研究開発シーズの現状把握と強み・弱みの分析をしっかりと行った上で、研究開発項目のより具体的な選定と、それらの有機的な連携を実現するシナリオを策定する必要がある。</p> <p>このような非連続的イノベーションを目指す研究では、単純な数値目標や年次線表で道筋を示すような進捗管理ではなく、リーダーの権限を強化し、機動性・融通性を重視した、スピード感のあるプロジェクトマネジメントが重要である。また、人材の発掘・育成・活用が成功の鍵であり、産学連携や中小ベンチャー企業支援を通じて、それらを柔軟に行える体制づくりをするべきである。</p>

案件名	AI チップ開発加速のためのイノベーション推進事業 ※
推進部署	IoT 推進部
総合コメント	<p>半導体及びコンピューティング分野で、世界における我が国のプレゼンスが低下している中、それを覆す可能性を持ったプロジェクトであり、着実に推進するべきである。ハードウェア、ソフトウェア、応用を一体で開発することにより、具体的な社会課題解決に繋がることを期待したい。日本の産業の真の復活を目指す戦略的提案に繋げるべく、国内外の先端研究プロジェクトの動向と成果を精査し、研究開発シーズの現状把握と強み・弱みの分析をしっかりと行った上で、研究開発項目のより具体的な選定と、それらの有機的な連携を実現するシナリオを策定する必要がある。</p> <p>このような非連続的イノベーションを目指す研究では、単純な数値目標や年次線表で道筋を示すような進捗管理ではなく、リーダーの権限を強化し、機動性・融通性を重視した、スピード感のあるプロジェクトマネジメントが重要である。また、人材の発掘・育成・活用が成功の鍵であり、産学連携や中小ベンチャー企業支援を通じて、それらを柔軟に行える体制づくりをするべきである。</p>

※「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発事業」及び「AI チップ開発加速のためのイノベーション推進事業」については、事前評価当時は一事業であったため、同一の評価結果を記載しています。

案件名	省エネ製品開発の加速化に向けた複合計測分析システム研究開発事業
推進部署	材料・ナノテクノロジー部
総合コメント	<p>計測分析機器の技術開発及び社会実装は、科学技術に基づく社会の発展及び産業競争力向上に不可欠であり、推進する意義は大きい。幅広い活用シーンを想定した研究開発内容となっているが、日本の高い技術ポテンシャルを活かせる領域に絞り込み、現実にシェアを獲得できる、具体的なアウトプット目標を設定すること。計測機器の改善が産業界全体の高度化に繋がるためには、ユーザ側を広く巻き込み、活用方法や汎用性について検討を進める必要がある。また、他省でも実施されている計測分析機器に関する研究開発と情報・成果を共有し、位置付けを明確化した上で、NEDOは個別のシーズ開発を超えたシステム及びプラットフォーム構築を進めるべきである。</p>

案件名	超高圧水素技術等を活用した低コスト水素供給インフラ構築に向けた研究開発事業
推進部署	新エネルギー部
総合コメント	<p>水素・燃料電池戦略において、水素ステーションの設置にかかわるコスト削減に寄与する研究開発は必須であり、インフラ整備として国が推進すべき開発である。また技術開発とそれによる規制改革を目指すことは妥当である。</p> <p>研究開発内容では、インフラ整備・運営コストの大幅な引き下げを可能とする具体的な要素技術とその構成方法を明示すること。また、FCV 利用者の増加等、水素ステーションの運営を民間主体で持続させられるような水素利用普及の具体的なアウトカム指標を設定することが望ましい。さらに、自動車以外への応用も視野に入れた取組を期待する。</p>

案件名	海洋エネルギー発電技術の早期実用化に向けた研究開発事業
推進部署	新エネルギー部
総合コメント	<p>離島用電源として海洋エネルギー発電の実用化・高効率化を目指すことは、我が国の将来のエネルギー施策において極めて重要である。その目的での開発課題を明確化した上で、これまで実施してきたプロジェクトの成果及び活用法を整理し、本プロジェクトの開発要素をより具体的に示すこと。また、発電方式はプロジェクトの中で適宜適切な選択や複合を図ることが望まれる。さらに、メンテナンス(耐久性や保守性など)の評価方法についても詳細に検討すべきである。プロジェクトのアウトカム達成までに時間を要することは理解できるが、課題解決の道筋をより具体化することで、早期の実用化を期待したい。</p>

案件名	省エネ型電子デバイス材料の評価技術の開発事業
推進部署	スマートコミュニティ部
総合コメント	<p>材料要素技術から評価技術・シミュレーション・標準化までを包含した研究開発であり、実用化に向けて必要な技術開発項目がよく検討されている。アウトカムとして、経済性に加えて様々な産業分野への波及、日本の産業競争力の強化を期待したい。プロジェクトの重要なアウトプットとして、技術側面だけではなく、応用先の拡大を加味した社会実装へのシナリオを描くことが望まれる。</p> <p>なお、リチウムイオン二次電池は産業内で競争的に開発が進んでいる技術であるため、民間による独自のオープンイノベーションを阻害しないプロジェクト管理をすべきである。チーム間の相乗効果、ユーザーとの連携効果が十分発揮できるよう、機動的な体制の構築及び運営が望まれる。研究</p>

	開発内容については、第 1 期の研究成果をきちんとレビューした上で、国際競争力の強化とシェアの拡大を実現していくための本質的課題を明確にし、それを加速する評価技術の確立を行うべきである。
--	---

案件名	省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発
推進部署	環境部
総合コメント	<p>本プロジェクトで取り上げる高効率低 GWP 冷媒は、過去の NEDO の開発成果に基づく優れた技術シーズであり、それを活用した次世代空調機器開発の基盤技術として、評価手法の開発及び標準化は、国が世界をリードして取り組むべき課題である。</p> <p>国際標準獲得のロードマップを実効性あるものにするためには、この材料の高い性能と安全性を広く世界に認知させ、支援国を増やすことが鍵であり、その目的を踏まえてアウトプット目標をより具体的に設定する必要がある。また、気体爆発を含む可燃性冷媒の爆発影響評価はハードルの高い課題であるため、専門家を巻き込んで、通常の屋内環境だけでなく作業場での環境も考慮した安全性の検証を慎重に進めること。</p> <p>さらに、世界市場シェア獲得というアウトカム目標達成に至るまでの道筋を明確にするためには、次世代空調機器の事業戦略にまで踏み込んだ検討をするべきである。</p>

案件名	環境調和型製鉄プロセス技術の開発事業(水素還元活用製鉄プロセス技術の開発事業)
推進部署	環境部
総合コメント	<p>温室効果ガス排出削減および日本の産業競争力強化に貢献するプロジェクトである。開発内容、アウトプット目標は具体的に設定されているが、アウトカム目標については、2030 年以降のビジョンも明示するべき。また、CO₂ 分離・貯留については、すでに行われている研究開発との相違を明確にし、独自性のあるアウトプットを明確にすることが望ましい。開発に実効性を持たせるための具体的な戦略を示し、スピード感をもって進めることを期待する。</p> <p>実施に当たっては、フェロコークス活用プロセスと水素還元活用製鉄プロセスは、一体のプロジェクトとして相互に連携すべきである。そのためには、プロジェクト参加企業のシナジー効果を発揮させるために有効なマネジメント体制のほか、知財戦略や知財ルールへの運用が重要である。ノウハウも含めて技術的成果の共有を NEDO が中心となって図ることが望ましい。</p>



作成：平成30年2月

研究テーマ名 超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業

研究目的

本事業では、2025年以降のFCV及び水素ステーションの本格普及、2030年以降の水素ステーションの事業自立化に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する。

プロジェクトの規模

事業費 約24億円(平成30年度:想定)
研究期間 平成30～平成34年度(5年間)

研究開発の目標

水素ステーション設備費 2億円以下／システム(注1)
水素ステーション運営費 2000万円以下／年(注1)
(注1)平成37年(2025年)以降の固定式オフサイトステーションで300Nm³/h規模の場合(土地取得価格を除く)。また、本事業で実施しない部分の規制見直し、民間企業等の取り組みを含めている。

研究内容概略

本事業は、以下の3項目により構成する。必要に応じて各項目間の連携を積極的に実施することで着実にコスト低減(整備費、運営費)等を図る。

(Ⅰ)国内規制適正化に関わる技術開発

新たに規制改革実施計画に挙げられた項目の内、研究開発が必要とされる項目に関する研究開発を行う。また、無人運転を実施するための研究開発や現行の水素ステーションに関するリスクアセスメント、新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発等も行う。

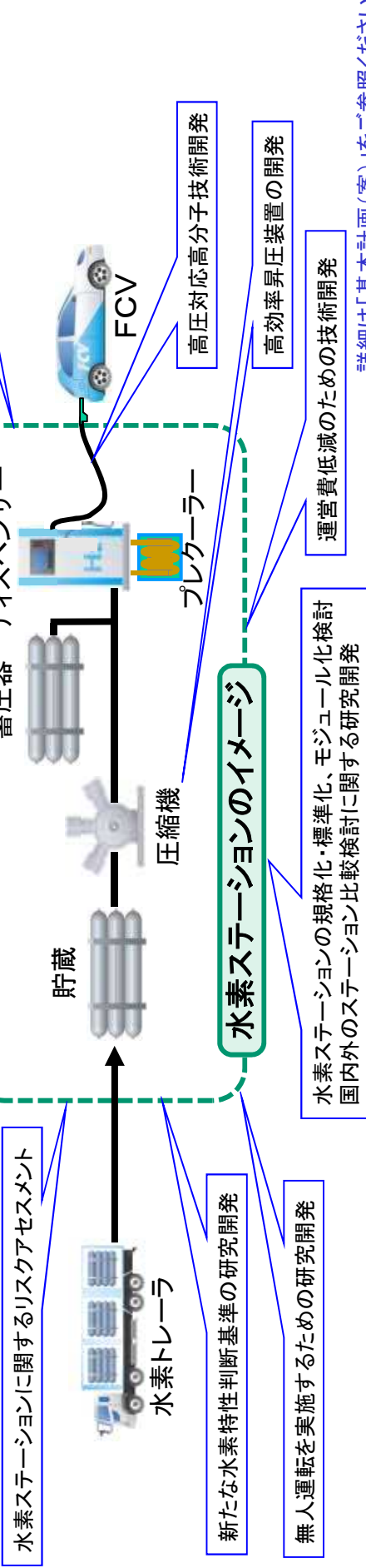
(Ⅱ)水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発

平成37年(2025年)以降の水素ステーションの本格普及・自立化を見据え、水素ステーションの整備費・運営費低減に寄与する技術を確立する。例えば、水素ステーションのモジュール化や構成機器の寿命延長化、高压対応高分子技術開発等を行う。

(Ⅲ)国際展開、国際標準化等に関する研究開発

ISO関連、IEA(国際エネルギー機関)、IPHE(国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ)等、HFCV-GTR(水素及び燃料電池に関する世界統一基準)関連など国際調和、海外施策・市場・研究開発動向の把握を行う。

事業イメージ



詳細は「基本計画(案)」をご参照ください

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成30年3月23日
NEDO
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
平成30年2月19日～平成30年3月5日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>
計0件

以上

(添付-4)
特許論文等リスト

1. 研究開発項目 1 : 「国内規制適正化に関わる技術開発」

1-(1) : 「本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」

(一財)石油エネルギー技術センター

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年5月	JPEC フォーラム (口頭)	無人運転を実施するための 研究開発	(一財)石油エネルギー技 術センター 今岸健郎
2	2019年5月	JPEC フォーラム (口頭)	リスクアセスメントの再実 施に基づく設備構成に関す る研究開発	(一財)石油エネルギー技 術センター 佐藤光一
3	2019年9月	横浜国立大学 第2回メ ディア向け勉強会 (口頭)	横浜国大発「リスク共生 学」から考える未来社会	(大)横浜国立大学 伊里友一朗
4	2019年11月	2019年度 安全工学研 究発表会 (口頭)	本格普及期における水素ス テーションの包括的フィジ カルリスク評価フレームワ ーク	(大)横浜国立大学 伊里友一朗
5	2020年10月 (予定)	ケミカルマテリアル Japan2020-ONLINE- (WEB 口頭)	横浜国立大学先端科学高等 研究院の三宅教授が主任研 究者を務めるエネルギーシ ステムの安全研究ユニット の活動報告	(大)横浜国立大学 三宅研究室
6	2020年12月 (予定)	2020年度 安全工学研 究発表会 (口頭)	水素ステーションモデルの 定量的リスクアセスメント	(大)横浜国立大学 鈴木智也

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
1	2020年9月	International Journal of Hydrogen Energy (論文投稿)	Quantitative risk assessment using a Japanese hydrogen refueling station model	(大)横浜国立大学 鈴木智也

—その他—

No.	年月	発表先	タイトル	発表者
1	2020年5月	JPEC フォーラム (HP 掲載)	(遠隔監視による) 無人運 転を実施するための研究開 発	(一財)石油エネルギー技 術センター 今岸健郎
2	2020年5月	JPEC フォーラム (HP 掲載)	リスクアセスメントの再実 施に基づく設備構成に関す る研究開発	(一財)石油エネルギー技 術センター 小森雅浩
3	2020年5月	JPEC フォーラム (HP 掲載)	保安監督者が複数の水素ス テーションを兼任するた めの研究開発	(一財)石油エネルギー技 術センター 種田憲人
4	2020年9月	JPEC レポート (HP 掲載)	水素スタンドの無人運転を 実施するための研究開発 (NEDO 事業)	(一財)石油エネルギー技 術センター 河島義実

1-(2)-①:「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」

(一財)石油エネルギー技術センター／高圧ガス保安協会／

(大)九州大学／(一財)金属系材料研究開発センター／

日本製鉄(株)／愛知製鋼(株)／(株)日本製鋼所

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2018年12月	溶接接合工学振興会 H30年度セミナー	水素インフラの現状と将来 展望	(一財)石油エネルギー技 術センター 小林
2	2019年2月	第8回次世代ものづくり 基盤技術産業展「TECH Biz EXPO 2019」	水素ステーションで使用す る鋼材の規制と今後の展開	(一財)石油エネルギー技 術センター 小林
3	2019年2月	FCCJ 燃料電池・水素に 係る規制見直し・標準化 等動向説明会	水素ステーション用鋼材・ 複合容器の技術開発動向	(一財)石油エネルギー技 術センター 小林
4	2019年5月	2019年度 JPEC フォー ラム	新たな水素特性判断基準の 導入に関する研究開発	(一財)石油エネルギー技 術センター 鈴木
5	2019年9月	水素貯蔵技術 WG 第1 回セミナー	水素社会を取り巻く環境、 規制、規制緩和	(一財)石油エネルギー技 術センター 小林
6	2019年12月	水素貯蔵技術 WG 第 2回セミナー	水素ステーション用金属 部材の今後の例示基準化 の方向性	(一財)石油エネルギー 技術センター 鈴木
7	2020年1月	九州水素・燃料電池フォ ーラム&水素先端世界フ ォーラム 2020	水素ステーションで使用す る金属材料の規制見直しと 今後の方向性	(一財)石油エネルギー技 術センター 小林
8	2020年5月	2020年度 JPEC フォー ラム	新たな水素特性判断基準の 導入に関する研究開発	(一財)石油エネルギー技 術センター 小林
9	2018年12月	KHK 水素保安セミナー	鋼種拡大に関するこれまで の成果と今後の取組につい て	高圧ガス保安協会 佐野等
10	2019年12月	KHK 水素保安セミナー	水素スタンド設備に使用す るオーステナイト系ステン レス鋼の選定基準	高圧ガス保安協会 山田
11	2018年11月	International workshop on standards and codes for hydrogen infrastructure safety Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)	Recent activities for hydrogen compatibility of materials used in hydrogen station in Japan	(大)九州大学 松永 久生
12	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス環境中におけ る材料強度試験	(大)九州大学 松永 久生
13	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオ ーステナイト系ステンレス 鋼の強度特性	(大)九州大学 高桑 脩
14	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオ ーステナイト系ステンレス 鋼溶接金属317LのSSRT特 性	(大)九州大学 中村 眞実
15	2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	オーステナイト系ステンレ ス鋼突合せ溶接継手の疲労 強度特性に及ぼす内部水素 の影響	(大)九州大学 岡崎 三郎

16	2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	(大)九州大学 高桑 脩
17	2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	(大)九州大学 岡崎 三郎
18	2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	(大)九州大学 松永 久生
19	2019年12月	愛知県主催 2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第2回セミナー	愛知製鋼における高圧水素用ステンレス鋼の開発取り組み	愛知製鋼(株) 渡邊

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
1	2018年11月	エネルギー総合工学研究所「エネルギー総合工学」	水素スタンドで使用される材料の選定について	高圧ガス保安協会 佐野
2	2018年12月	高圧ガス誌	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	高圧ガス保安協会 佐野等
4	2018年7月	Proceedings of ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	Saburo Okazaki, Hisao Matsunaga, Masami Nakamura, Shigeru Hamada, Saburo Matsuoka
5	2018年7月	Proceedings of ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	Hideo Kobayashi, Hiroshi Kobayashi, Takeru Sano, Takashi Maeda, Hiroaki Tamura, Ayumu Ishizuka, Mitsuo Kimura, Nobuhiro Yoshikawa, Takashi Iijima, Junichiro Yamabe, Saburo Matsuoka, Hisao Matsunaga
6	2018年11月	JRCM NEWS No.385	NEDO 事業「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(平成 25～29 年度実施)の成果概要	(一財) 金属系材料研究開発センター 前田 尚志

1-(2)-②:「連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発」

JFEスチール(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年3月	日本鉄鋼協会	Comparison of SSRT between H ₂ gas and concurrent cathodic hydrogen charging environments	JFEスチール(株) ○野崎彩花、長尾彰英、石川信行 東京電機大 齋藤博之、辻裕一
2	2020年11月	日本高圧力技術協会	連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用低合金鋼の耐水素性評価	JFEスチール(株) 西原佳宏、野崎彩花、岡野拓史、高木周作

1-(2)-③:「中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発」

(国研)物質・材料研究機構

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2018年7月	口頭発表/ ASME PVP 2018	Simple Mechanical Testing method to Evaluate Influence of High Pressure Hydrogen Gas	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫
2	2018年7月	口頭発表/ ASME PVP 2018	Influence of 70 MPa Hydrogen Gas on SUS 630 from 77 K to 373 K by Simple Testing Method	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫
3	2019年3月	講演/ 立命館大学 エネルギーイノベーション材料研究センター シンポジウム	水素エネルギーインフラの普及に向けた中空試験片による簡便な高圧水素中材料試験法の標準化と水素脆化の本質の考察	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫
4	2019年3月	口頭発表/ 日本鉄鋼協会春季講演大会	ステンレス鋼の高圧水素環境中破断変形挙動に及ぼす水素の影響	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫
5	2019年7月	ASME PVP 2019	Influence of Roughness of Inner Surface of Simple Mechanical Testing Method to Evaluate Influence of High Pressure Hydrogen Gas	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫、小野嘉則
6	2019年9月	日本鉄鋼協会秋季講演大会	中空試験片による高圧水素環境下材料特性評価法の規格化	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫、小野嘉則、西川嗣彬
7	2020年10月	ISO TC164(金属の機械的試験) SC1(単軸引張試験)	Metallic materials – Tensile testing – Hollow test pieces for internal pressurized tests and slow-strain rate tensile test (SSRT) method in high-pressure hydrogen environment	(国研)物質・材料研究機構 緒形俊夫

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
1	2018年8月	誌上/ 日本鉄鋼協会会報ふえら む8月号	極限環境材料評価法開発と 標準化および強度と脆性の 電子軌道による説明	(国研)物質・材料研究機 構 緒形俊夫
2	2018年12月	誌上/ 水素利用技術集成 Vol. 5～水素ステーション・ 設備の安全性	高圧水素ガス環境中の簡便 な材料評価技術	(国研)物質・材料研究機 構 緒形俊夫

2. 研究開発項目2:「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」

2-(1):「水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」

(一社)水素供給利用技術協会/ENEOS(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年6月	WHTC2019 NEDO Session (東京国際フォー ラム)	Status on Activities of Hydrogen Infrastructure in Japan	(一社)水素供給利用技術 協会 池田哲史
2	2019年6月	FCCJ インフラサブワ ーキング	水素ステーションの規格 化・標準化、モジュール化 等に関する研究開発	(一社)水素供給利用技術 協会 中西功
3	2019年9月	福岡県主催 技術者育成 セミナー	水素ステーションの構成と 規制	(一社)水素供給利用技術 協会 池田哲史
4	2020年2月	FCCJ/燃料電池・水素に 係る規制見直し・標準化 等動向説明会	水素ステーションの能力分 類化・標準化	(一社)水素供給利用技術 協会 中西功
5	2020年2月	International Transport Forum Expert Workshop	Efforts toward the Realization of Hydrogen-utilized Society in Japan	ENEOS エネルギー(株) 前原和巳

2-(2)-①:「水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発」

JFEスチール(株)/JFEコンテナ(株)/千代田化工建設(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年8月	日本非破壊検査協会 AE部門講演会	AE法による水素ステーシ ョン用蓄圧器の供用中検査 手法の開発	千代田化工建設(株) 前田守彦
2	2019年8月	日本非破壊検査協会 AE部門講演会	水素蓄圧器の保安検査への AE適用の期待	JFEコンテナ(株) 高野俊夫
3	2020年3月	日本高圧力技術協会 高 圧水素技術専門研究委員 会	水素ステーション用タイプ 2蓄圧器の供用中検査手法 の研究開発	千代田化工建設(株) 鈴木裕晶
4	2020年6月	日本非破壊検査協会 非 破壊検査総合シンポジウ ム	水素ステーション用タイプ 2蓄圧器の供用中検査手法 の研究開発	千代田化工建設(株) 鈴木裕晶

5	2020年11月	日本非破壊検査協会 保守検査シンポジウム	タイプ2蓄圧器のAE法による定期自主検査	JFEコンテナ(株) 高野俊夫
6	2020年11月	日本非破壊検査協会 保守検査シンポジウム	水素蓄圧器用低合金鋼の疲労損傷中のAE計測	JFEスチール(株) 岡野拓史

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
1	2020年6月	日本非破壊検査協会 機関誌「非破壊検査」第69巻6号	AEによる水素ステーション用複合蓄圧器の供用中検査	千代田化工建設(株) 前田守彦、鈴木裕晶

—その他—

No.	年月	発表先	タイトル	発表者
1	2020年2月	水素燃料電池展（展示会出展）	AE法による水素ステーション用蓄圧器の供用中検査手法の開発（AE法の模擬出展）	JFEスチール(株)、 JFEコンテナ(株)、 千代田化工建設(株)

2-(2)-②：「複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」

(一財)石油エネルギー技術センター／高圧ガス保安協会／
(大)東京大学／(株)日本製鋼所

—特許等—

No.	出願日	出願番号	名称	委託会社名
1	2020年4月	特願2020-074196	蓄圧器の寿命判定方法	(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(大)東京大学、(株)日本製鋼所
2	2020年4月	特願2020-074235	蓄圧器の寿命判定方法を用いた水素ステーションの運転方法	(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(大)東京大学、(株)日本製鋼所

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2018年11月	日タイ技術交流会	Research and Development on Technical Standard of Composite Pressure Vessel for Hydrogen Fueling Station	(一財)石油エネルギー技術センター 佐藤
2	2019年2月	FCCJ燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	(一財)石油エネルギー技術センター 小林
3	2019年5月	2019年度JPECフォーラム	複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発	(一財)石油エネルギー技術センター 林

4	2019年9月	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第1回セミナー	水素ステーションで使用できる金属材料・蓄圧器	(一財)石油エネルギー技術センター 福本
5	2020年2月	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第3回セミナー	水素ステーション用蓄圧器の技術基準	(一財)石油エネルギー技術センター 林
6	2020年2月	FCCJ 燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	(一財)石油エネルギー技術センター 小林
7	2020年5月	2020年度JPECフォーラム (フォーラムは中止。HPで資料を公開)	複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発(タイプ2)	(一財)石油エネルギー技術センター 佐藤
8	2020年5月	2020年度JPECフォーラム (フォーラムは中止。HPで資料を公開)	複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発(タイプ3)	(一財)石油エネルギー技術センター 東條
9	2020年7月	ASME PVP 2020	INTRODUCTION OF THE TECHNICAL DOCUMENT IN JAPAN FOR SAFETY USE OF TYPE2 PRESSURE VESSELS IN HYDROGEN REFUELING STATIONS	(一財)石油エネルギー技術センター 佐藤、小林、福本 高圧ガス保安協会 前田 (大)東京大学 吉川 (株)日本製鋼所 荒島
10	2018年7月	ASME PVP 2018	STUDY ON FATIGUE CHARACTERISTICS OF CFRP	高圧ガス保安協会: 竹花、山田、佐野、木村、宮下、志賀 (大)東京大学 吉川 (一財)石油エネルギー技術センター 小林
11	2018年7月	ASME PVP 2018	STUDY ON STRESS RUPTURE CHARACTERISTICS OF CFRP	高圧ガス保安協会 佐野、山田、竹花、宮下、志賀 (大)東京大学 吉川 (一財)石油エネルギー技術センター 小林
12	2018年11月	平成30年度日本高圧力技術協会秋季講演会	アルミニウム合金A6061-T6の最適疲労曲線	高圧ガス保安協会 志賀、山田、佐野 (一財)石油エネルギー技術センター 小林
13	2018年7月	ASME PVP 2018	Numerical Fatigue Life Evaluation with Experimental Results for Type III Accumulators	(大)東京大学 吉川、キム (一財)石油エネルギー技術センター 小林、藤澤 高圧ガス保安協会 佐野

14	2019年12月	KHK水素保安セミナー	タイプ2複合容器蓄圧器の設計	株式会社日本製鋼所 高坂
----	----------	-------------	----------------	-----------------

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
1	2019年2月	石油学会誌 PETROTECH	水素ステーションで使用する複合圧力容器蓄圧器の技術基準複合容器基準について	(一財)石油エネルギー技術センター 小林、藤澤
2	2020年1月	JPEC NEWS 1月号	NEDO 事業紹介「複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」	(一財)石油エネルギー技術センター
3	2019年4月	高圧ガス誌	ASME 2018 Pressure Vessels & Piping Conference (PVP 会議) の参加報告	高圧ガス保安協会 佐野

2-(3)-①:「長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」

(一社)水素供給利用技術協会/(大)九州大学/
(一財)化学物質評価研究機構/NOK(株)/
高石工業(株)/日本ピラー工業(株)/(株)キッツ/
(株)フジキン/(株)タツノ/
トキコシステムソリューションズ(株)

—特許等—

No.	出願日	出願番号	名称	委託会社名
1	2019年12月	特願 2019-218534	フィルタ内蔵継手	株式会社フジキン

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年1月	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究 シンポジウム 高分子材 料研究部門	Establishment of evaluating methods aiming to develop long-life sealing rubber・New attempt of HYDROGENIUS Polymer Team	Hirotsada Fujiwara, Shin Nishimura
2	2019年1月	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究 シンポジウム 高分子材 料研究部門	Influence of morphology on high-pressure hydrogen property of rubber material	Hirotsada Fujiwara, Shin Nishimura, Kazumi Nakayama Hiroaki Kondo Atsushi Koga
3	2019年1月	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究 シンポジウム 高分子材 料研究部門	Influence of phase transition on Polytetrafluoroethylene (PTFE) with high pressure hydrogen exposure	Hirotsada Fujiwara, Masahiro Kasai, Hiroaki Ono, Keiko Ohyama, Shin Nishimura

4	2019年1月	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究 シンポジウム 高分子材 料研究部門	Hydrogen permeation property of polyethylene under high pressure condition	Hirotada Fujiwara, Shin Nishimura
5	2019年1月	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究 シンポジウム 高分子材 料研究部門	Influence of the high- pressure hydrogen gas exposure repetition on the internal damage evolution of high-density polyethylene	Hiroaki Ono, Hirotada Fujiwara, Shin Nishimura
6	2019年5月	日本ゴム協会 2019年 年次大会 研究発表会	水素機器用エラストマー材 料研究分科会モデル配合 WG 活動報告(5) 練り条件の違いが高压水素 特性に与える影響(1)=共通 コンパウンド材の高压水素 特性を中心に=	(大)九州大学 ○藤原広匡、西村伸 NOK(株) 古賀敦 日本スピンドル製造(株) 岡本浩二 (株)マスオカ 竹内孜介 高石工業(株) 高橋良 藤倉ゴム工業(株) 堀田透 (株)興国ゴム技術研究所 室井伸也 (一財)化学物質評価研究 機構 二口真行、仲山和海、 近藤寛朗
7	2019年5月	日本ゴム協会 2019年 年次大会 研究発表会	水素機器用エラストマー材 料研究分科会モデル配合 WG 活動報告(6) 練り条件の違いが高压水素 特性に与える影響(2)=共通 コンパウンド材の配合剤の 分散・常温常圧下の物理的 特性=	(一財)化学物質評価研究 機構 ○二口真行、仲山和海、 近藤寛朗、 NOK(株) 古賀敦、 日本スピンドル製造(株) 岡本浩二、 (株)マスオカ 竹内孜介 高石工業(株) 高橋良 藤倉ゴム工業(株) 堀田透 (株)興国ゴム技術研究所 室井伸也 (大)九州大学 藤原広匡、西村伸
8	2019年9月	第68回高分子討論会	ポリテトラフルオロエチレ ンの高压水素特性評価 (1)	(大)九州大学 藤原広匡
9	2019年9月	第68回高分子討論会	高压水素曝露により高分子 材料中に侵入した水素分子 の赤外線吸収スペクトル	小野皓章
10	2020年1月	日本ゴム協会・東海支部 2019年度アドバンスト セミナー	『特殊な環境や性能に対応 するゴム・エラストマー』 高压水素ガス環境下用ゴム 材料の評価	(大)九州大学 藤原広匡
11	2019年12月	Chemical physics letters	FT-IR study of state of molecular hydrogen in bisphenol A polycarbonate dissolved by high-pressure hydrogen gas exposure	○小野皓章、藤原広匡、 尾上清明、西村伸

2-(3)- ② : 「水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」

(大)九州大学/(一社)日本ゴム工業会

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年1月	水素先端世界フォーラム 2019 HYDROGENIUS 研究シンポジウム 高分子材料研究部門	Structure Change Caused by Exposure to High- pressure Hydrogen Gas : Influence of Crystallinity in Polyamide11	大山恵子
2	2019年5月	第68回高分子学会年次 大会 (大阪国際会議場)	高圧水素ガスの結晶性高分子の構造に与える影響に関する赤外分光法による研究	金子文俊、大山恵子、 藤原広匡、西村伸
3	2019年9月	PDDG 2019 33rd Polymer Degradation Discussion Group Conference (Marta)	Infrared spectroscopic study on the influence of high pressure hydrogen gas on crystalline polymers	Fumitoshi Kaneko, Keiko Ohyama, Hirotada Fujiwara, Shin Nishimura
4	2019年9月	第68回高分子討論会 (福井大学)	FTIR 分光測定による高圧 水素ガスの結晶性高分子の 構造に与える影響に関する 研究	金子文俊、大山恵子、 藤原広匡、西村伸

2-(4)- ① : 「本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発」

E N E O S (株) / (株) 本田技術研究所 / トキコシステムソリューションズ(株) /
(一社)水素供給利用技術協会

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2018年10月	HySUT 充填 TF	MC フォーマーの国内 実証結果	JXTG エネルギー(株)、 (株) 本田技術研究所、 日立オートモティブシス テムズメジャメント(株)
2	2019年2月	SAE international Fuel Cell Standards Committee Interface Task Force	Study on MC formula fueling test in Japan	JXTG エネルギー(株)、 (株) 本田技術研究所、 日立オートモティブシス テムズメジャメント(株)
3	2020年2月	International Transport Forum Expert Workshop	Efforts toward the Realization of Hydrogen-utilized Society in Japan	JXTG エネルギー(株)
4	2020年2月	国際水素インフラワーク ショップ	Development of Hydrogen Fueling Model through Collaboration between Kyushu University and NREL	(株) 本田技術研究所

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
1	2019年3月	JXTG Technical Review Vol.61 No.1 第295号 2019. 3, p.25	次世代水素ステーションの 低コスト化に向けた技術検 討	JXTG エネルギー(株)

－その他－

No.	年月	発表先	タイトル	発表者
1	2018年11月	決算説明会	－	三菱化工機(株)

2-(4)- ② : 「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

ENEOS総研(株)

該当なし

2-(4)- ③ : 「新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究」

日鉄総研(株)

該当なし

2-(4)- ④ : 「電気化学式水素ポンプの開発・実証」

(株)加地テック／東レ(株)

該当なし

2-(4)- ⑤ : 「高強度低合金鋼を用いた新型高压蓄圧器に関する研究開発」

(一財)金属系材料研究開発センター／日本製鉄(株)

該当なし

2-(4)- ⑥ : 「新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発」

ヌヴォトンテクノロジージャパン(株)

該当なし

2-(4)- ⑦ : 「半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発」

(株)四国総合研究所

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2021年1月	レーザー学会学術講演会 第41回年次大会	外部共振器型半導体レーザーを用いたラマン分光式ガス分析装置の開発に向けた基礎検討	(株)四国総合研究所 横井清人
2	2021年3月	令和3年電気学会全国大会	検討中	検討中

2-(4)- ⑧ : 「水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」

(国研)産業技術総合研究所／日本重化学工業(株)

該当なし

2-(4)- ⑨ : 「HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発」

(国研)産業技術総合研究所／岩谷産業(株)／
(株)タツノ／トキコシステムソリューションズ(株)／
(一社)水素供給利用技術協会／(一財)日本自動車研究所

該当なし

3. 研究開発項目3 : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」

3- ① : 「水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発」

(一社)水素供給利用技術協会／(一財)日本自動車研究所

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年6月	World Hydrogen Technology Convention 2019	Effect of impurities in hydrogen fuel on the performance of polymer electrolyte fuel cells for automotive applications	(一財)日本自動車研究所 松田佳之

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	委託会社名
-----	----	------	------	-------

1	2020年2月	Journal of the Electrochemical Society, 2020 167 044509 (査読有り)	Effect of Carbon Monoxide on Polymer Electrolyte Fuel Cell Performance with a Hydrogen Circulation System	(一財)日本自動車研究所 松田佳之
2	2019年4月	ガスレビュー誌 909号	FCV 用水素国際規格「ISO14687-2」 近日改訂	ガスレビュー誌 取材記事 取材対応: HySUT

3- ②: 「燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

(一財)日本自動車研究所

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年9月	The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)	The Study on Permissible Value of Hydrogen Gas Concentration in Purge Gas of Fuel Cell Vehicles	(一財)日本自動車研究所 山崎浩嗣
2	2019年9月	The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)	Influences of hydraulic sequential tests on the burst strength of type-4 compressed-hydrogen containers	(一財)日本自動車研究所 富岡純一
3	2019年9月	The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)	A study of decrease burst strength on compressed-hydrogen Containers by drop test	(一財)日本自動車研究所 増田竣亮
4	2019年11月	第33回数値流体力学シンポジウム	高圧水素容器の火炎暴露試験の数値シミュレーション	(一財)日本自動車研究所 山田 英助
5	2019年12月	(一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー	湿潤ガス応力腐食割れ挙動に基づくアルミニウム合金の適合性評価	(一財)日本自動車研究所 小川武史
6	2019年12月	(一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー	燃料電池自動車用高圧水素タンク部品材料の水素適合性評価方法と国際基準化の動き	(一財)日本自動車研究所 木村光男
7	2019年12月	オープンCAEシンポジウム2019	高圧水素容器の火炎暴露試験における燃焼と固体熱伝導の数値シミュレーション	(一財)日本自動車研究所 山田英助

3- ③: 「水素社会に係る国際関連機器等研究・政策動向に関する調査研究」

(株)大和総研

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2020年1月	公益財団法人原総合知的通信システム基金主催特別セミナー「水素・燃料電池技術開発戦略と新展開」	「水素・燃料電池分野における海外最新動向と今後の展開」	(株)大和総研 平田裕子
2	2020年12月	近畿経済産業局主催「水素エネルギー」セミナー(仮題)	「水素・燃料電池分野における海外最新動向と今後の展開」(仮題)	(株)大和総研 平田裕子

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「超高压水素インフラ本格普及技術開発事業」 (中間評価)

(2018年度～2022年度 5年間)

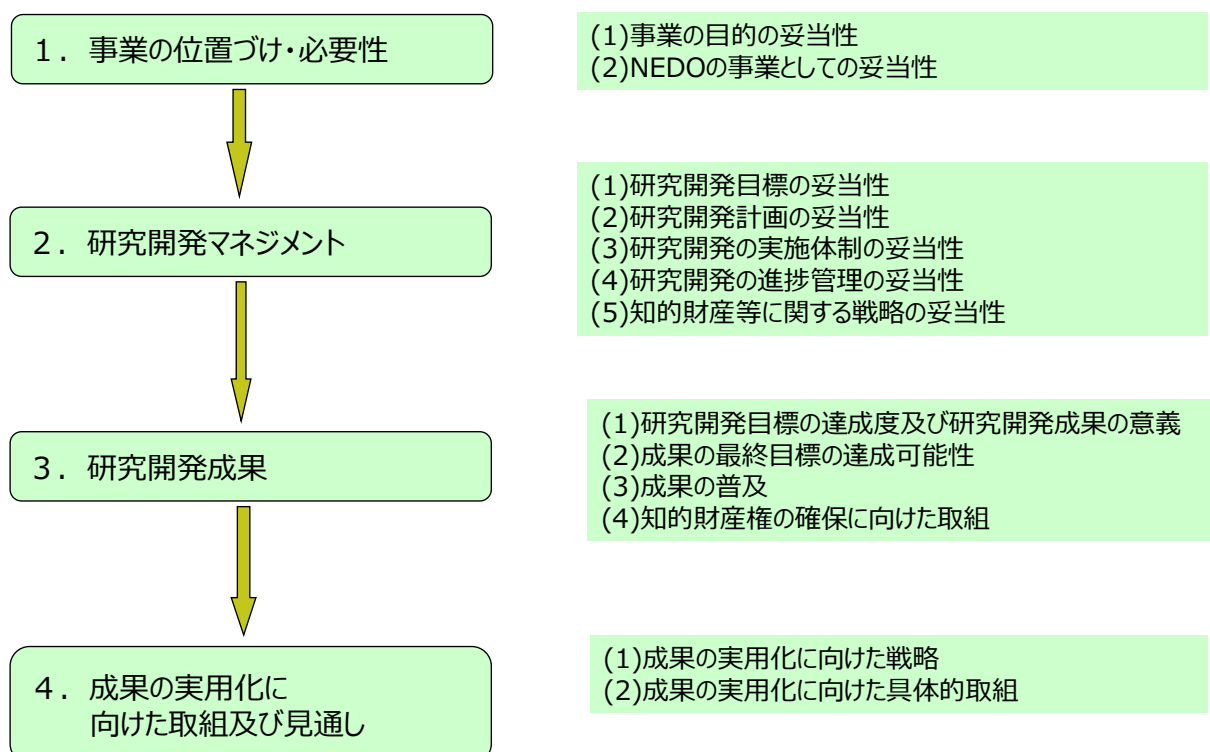
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

次世代電池・水素部

2020年12月17日

発表内容

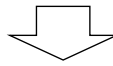


◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギーの抜本的強化、エネルギーセキュリティの向上、環境負荷の低減等が求められている。

燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵技術は、国の政策において重要技術と位置づけられ、早期の普及拡大が期待されている。



事業の目的

燃料電池自動車及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と、燃料電池自動車関連産業の競争力向上を目指す。

このため、水素ステーションの規制見直しや低コスト機器開発等を行い、2020年以降の水素ステーションコスト・性能目標（後述）達成による普及拡大を実現する。

また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

◆政策的位置付け

内閣

- 2050年を見据えたビジョン（水素をエネルギーの選択肢の1つとする）と、2030年までの導入目標値を提示

水素基本戦略

METI

- 技術のスペックやコスト内訳について、様々な目標値を設定するとともに、取り組み内容を記述

水素・燃料電池戦略ロードマップ

NEDO

- 国の目標達成に向けた技術課題を設定
- 技術課題克服へ向けた研究開発、実証プロジェクトを展開

NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ
研究開発、実証プロジェクト

◆政策的位置付け

エネルギー基本計画	2010年6月	水素ステーション等の水素供給インフラの整備コストを大幅に下げる必要がある。このため、高圧ガス保安法に定める圧力容器の設計基準、使用可能鋼材の制約等の規制への対応が課題となる。解決に向けて、国際動向も踏まえながらデータに基づく安全性の検証や技術開発を推進する。また、2015年の燃料電池自動車の導入開始に向け、日米欧や関連地域、民間企業とも協力・連携し、水素供給インフラを含めた実証的取組を強化する。
日本再興戦略	2013年6月	2015年の燃料電池自動車の市場投入に向けて、燃料電池自動車や水素インフラに係る規制を見直すとともに、水素ステーションの整備を支援することにより、世界最速の普及を目指す。
エネルギー基本計画	2014年4月	2015年から商業販売が始まる燃料電池自動車の導入を推進するため、規制見直しや導入支援等の整備支援、部素材の低コスト化に向けた技術開発を行う。官民の適切な役割分担の下、規制見直しなどの低コスト化に向けた対策等を着実に進める。
水素・燃料電池戦略ロードマップ(経済産業省)	2014年6月	水素ステーションの整備費を2020年頃に現在の半額程度の整備費となることを目指す等、水素社会の実現に向けた時間軸を明示した取り組みを示す。
日本再興戦略改訂2014	2014年6月	水素社会の実現に向けたロードマップに基づき、水素の製造から輸送・貯蔵、そして家庭用燃料電池(エネファーム)や燃料電池自動車等の利用に至る必要な措置を着実に進める。

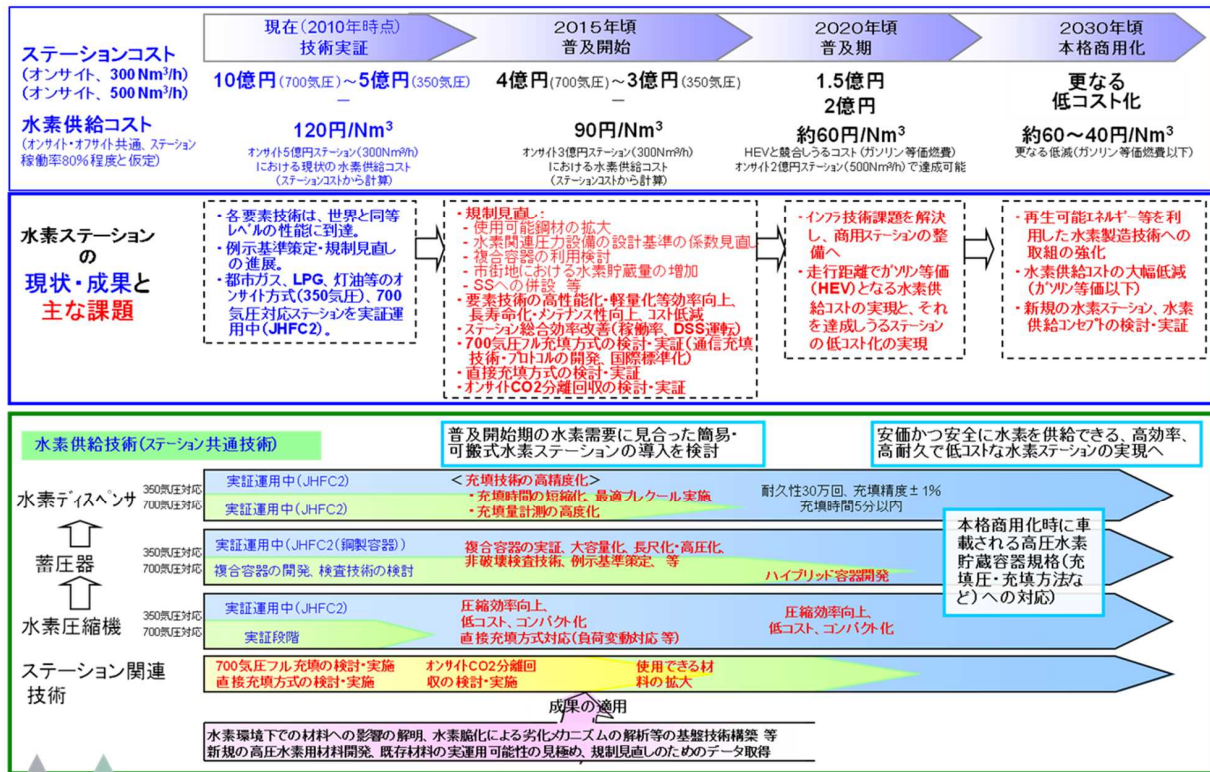
◆政策的位置付け

水素・燃料電池戦略ロードマップ(経済産業省)改訂	2016年3月	新たな目標は具体的な取組を盛り込んだ改訂がなされた。 <ul style="list-style-type: none"> 2020年頃までに160箇所程度、2025年度までに320箇所の整備 2020年度後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す 整備地域の拡大、地域のFCV普及状況等に応じた戦略的展開 など
水素基本戦略	2017年12月	2050年を視野に入れ、将来目指すべき姿や目標として官民が共有する大きな方向性・ビジョンを示す。国内再生由来水素の利用拡大、国際水素サプライチェーン、モビリティ、電力分野での利用拡大を目指す。
エネルギー基本計画	2018年7月	水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、“水素社会”を実現していくためには、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在している。このため、2017年12月に策定した水素基本戦略(再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議決定)等に基づき、水素が、自国技術を活かした中長期的なエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札となるよう、戦略的に制度やインフラ整備を進めるとともに、多様な技術開発や低コスト化を推進し、実現可能性の高い技術から社会に実装していく。
水素・燃料電池技術開発戦略	2019年9月	2019年3月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の改定を受けて、具体的な技術開発事項を定めたもの。

◆技術戦略上の位置付け

水素製造・輸送・供給技術ロードマップ

想定: 原油価格 \$85/バレル(2010)→\$95/バレル(2020)
LNG価格 \$520/トン(2010)→\$805/トン(2020)



水素・燃料電池戦略ロードマップの例

目指すべきターゲット

- 2025年20万台、2030年80万台
- 2025年頃にFCVをHV並の価格競争力へ価格差低減 (FCVとHVの価格差300万円→70万円)
- 2025年頃に主要な要素技術のコスト低減 (燃料電池システム約2万円/kW→0.5万円/kW) (水素貯蔵システム約70万円→30万円)
- 2025年にボリュームゾーン向け車種展開

ターゲット達成に向けた取組

- 関係企業・研究機関等の間での協調領域の技術情報や課題の共有
- 貴金属の使用量低減等に向けた技術開発
- 水素貯蔵システムにおける炭素繊維の使用量低減等に向けた技術開発

水素利用(モビリティ)

水素ST

- 2025年320箇所、2030年900箇所相当
- 2020年代後半の自立化
- 2025年頃までの整備費・運営費の抜本的な削減 (整備費3.5億円→2.0億円、運営費3.4千万円/年→1.5千万円/年)
- 個別機器の2025年頃のコスト目標の設定 (圧縮機0.9億円→0.5億円) (蓄圧器0.5億円→0.1億円)

- 徹底的な規制改革と技術開発の一体的な推進 (2020年初めまでに無人化の実現、低圧鋼材の使用等)
- 全国的な水素ステーションネットワーク構築の検討
- 営業時間・土日営業の拡大
- ガソリンスタンド/コンビニ併設ステーションの拡大

バス

- 2030年1,200台
- 普及地域の全国拡大
- 2020年代前半の車両価格の半減(1億500万円→5,250万円)
- 2030年頃までに自立化

- 燃費・耐久性向上に向けた技術開発
- 路線バス以外への車種展開
- バス対応ステーションの整備促進

マイカー

- 2030年1万台
- 海外市場への展開

- 燃料電池ユニット等の多用途展開
- 簡素で運用が容易な充填設備の整備促進

※上記の他に、トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める

水素・燃料電池技術開発戦略の例

2. 水素サプライチェーン分野 水素ステーション

現状および目標			主な課題	技術開発事項
	2018年(実績)	2025年頃(目標)	整備費の削減 運営費の削減	① 遠隔監視による水素ステーション運転の無人化や設備構成等の見直しに向けたリスクアセスメント ② 汎用金属材料の水素特性等に係るデータ取得 ③ 蓄圧器の寿命延長、新たな検査方法の開発 ④ ホース及びシール材の更なる耐久性向上 ⑤ 新たな充填プロトコルの開発(水素供給温度緩和等) ⑥ 運用データの解析の結果等に基づく、水素ステーションの各機器の仕様や制御方法の標準化・規格化 ⑦ 圧縮機の高効率化・低コスト化(電気化学式圧縮機、熱化学式圧縮機の開発等) ⑧ 液化水素ポンプの開発 ⑨ 燃料電池トラック等、新たなアプリケーションに対応した充填、計量技術の開発 ⑩ 大容量、軽量容器の開発 ⑪ 大容量、高耐久な水素貯蔵材の開発及び生産技術の確立
圧縮機	0.60億円	0.50億円(100台/年・社)		
蓄圧器	0.70億円	0.10億円(500本/年・社)		
プレクーラー	0.20億円	0.10億円(100台/年・社)		
ディスペンサー	0.20億円	0.20億円(100台/年・社)		
その他工事費	1.40億円	1.10億円		
整備費計	3.10億円	2.00億円		
	2017年(実績)			
運営費	3.2千万円	1.5千万円		
※1 実績値は、補助金実績額より試算(固定式 オフサイト・300Nm ³ /h)。なお、補助金支給対象とならない各種費用(キャブपी、障壁設置費用、土地代等)が存在することに留意。 ※2 2025年のコスト目標については、一定の出荷数等を確保するという前提条件あり。				
【参考】水素ステーションイメージ図				

◆国内外の研究開発の動向と比較

国名	日本	米国	ドイツ	中国
研究開発	NEDO ・超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 ・燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業	エネルギー省 Hydrogen and Fuel cell Program H2@port など	NOW Clean Energy Partnership (CEP)	科学技術部 再エネおよび水素技術重要特別プロジェクト など
商用水素ステーション設置目標数(70MPa充填)	160箇所@2020年 320箇所@2025年 設置補助金: 国供出	カリフォルニア州内で100箇所@2023 設置補助金: 州供出 アメリカ全土: 280ヵ所 計画中@2025	100箇所@2019年 400箇所@2023年 設置補助金: 官民折半(50%/50%) H2 Mobility 中心	300箇所@2025年 1,000箇所@2030年
商用水素ステーション@2020(予定含む)	157	カリフォルニア州43 (カリフォルニア州: 建設決定総数: 51)	86	63
FC乗用車台数	約3,800	約8,000	約550台	-
FCバス等台数@2020	約80(70MPa)	約100	約60	約6,500 Bus, Truck (35MPa中心)
FC電動リフター(FCフォークリフト)	約250台 @北九州市、関西国際空港など 実証試験	約30,000台	約200台 実証試験実施中	-

International Hydrogen Infrastructure Workshopを日独米、ECと共同で7回開催(継続)

◆国内外の研究開発の動向と比較

米 国：DOE中心にh2@portなどで開発加速

豪 州：国家水素戦略 2019年11月

フランス：水素戦略 2018年6月

オランダ：グリーン水素戦略 2020年4月

水素発電の計画中

ドイツ：P-to-G推進ロードマップ (DENA) 2017年6月

E U：欧州水素ロードマップ (FCH-JU) 2019年2月

韓国：水素経済活性化ロードマップ 2019年1月

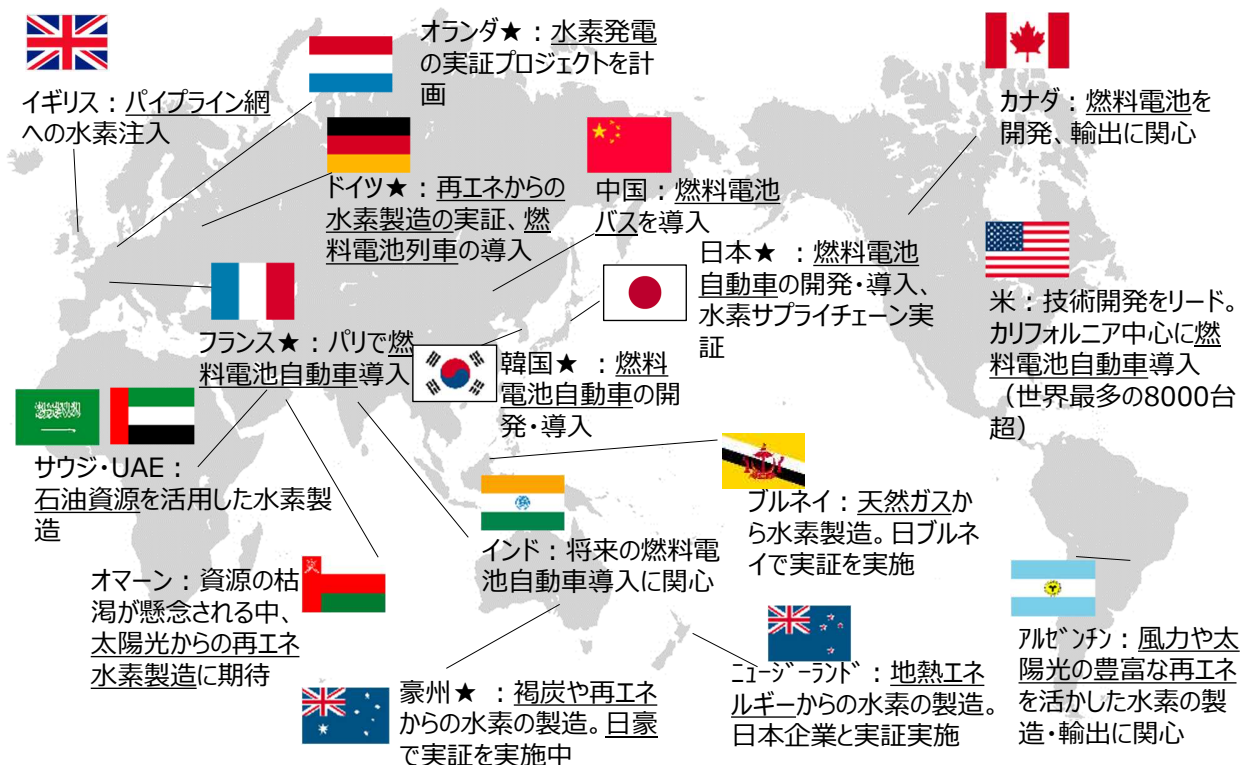
中国：「政府工作報告」および

「新エネルギー自動車に関する補助政策改善通知」

(2019年) からFCVシフトが加速

◆国内外の研究開発の動向と比較

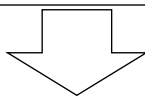
★：戦略・ロードマップ策定国



◆NEDOが関与する意義

FCV・水素ステーションの普及拡大に向けた規制見直し・技術開発は、

- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい
- 水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献
- 規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要
- 水素供給インフラについてはFCV普及初期の市場が限られるため、民間単独では開発リスクが大きい
- 本格的普及、自立化に必要な規格化・標準化は全体として取組が必要



N E D O が も つ こ れ ま で の 知 識 、 実 績 を 活 か し て 推 進 す べ き 事 業

12

◆実施の効果 (費用対効果)

市場規模予測 (出典:富士経済「2020年版水素利用市場の将来展望」)

水素ステーション関連 **89億円** (2020年見込)

339億円 (2030年)

FCV用水素燃料 **9億円** (2020年見込)

433億円 (2030年)

CO2削減効果予想

FCVの普及に伴うCO2削減量の目標値(40万トン/年)を達成する。

13

◆事業の概要

(1) **規制見直し**に関わる技術開発

(設備コスト低減や運営費低減に繋がる技術開発含む)

(2) **コスト低減**等に関連する技術開発～

(**水素ステーション全体**運営費低減等に関する研究開発)

(3) **コスト低減**等に関連する技術開発～

(**機器開発、規格化、次世代ステーション**に向けた設備コストの低減に資する研究開発)

(4) **国際展開**に係る事業

(ISO関連、IEA、IPHE、gtr関連など国際調和、海外施策・市場・研究開発動向の把握)

◆事業の背景

◆水素ステーション数の増加

2025年までに320箇所程度へ。

◆水素ステーションの整備コストの低減

固定式オフサイトステーションの整備コスト

2017年当初想定見込(3.7億円)を

⇒2020年 2.3億円程度

2025年以降 2億円以下

◆CO2の削減

水素ステーションの整備促進、FCVの普及に伴い、

⇒目標最終年度2025年度において

CO2削減量の目標値(40万トン/年)を達成。

◆事業の目標

本格普及期を想定した

- 水素ステーションの技術基準案(もしくはガイドライン案)を作成
- 国内の規制適正化に向けたデータ取得及び基準案の作成・提案

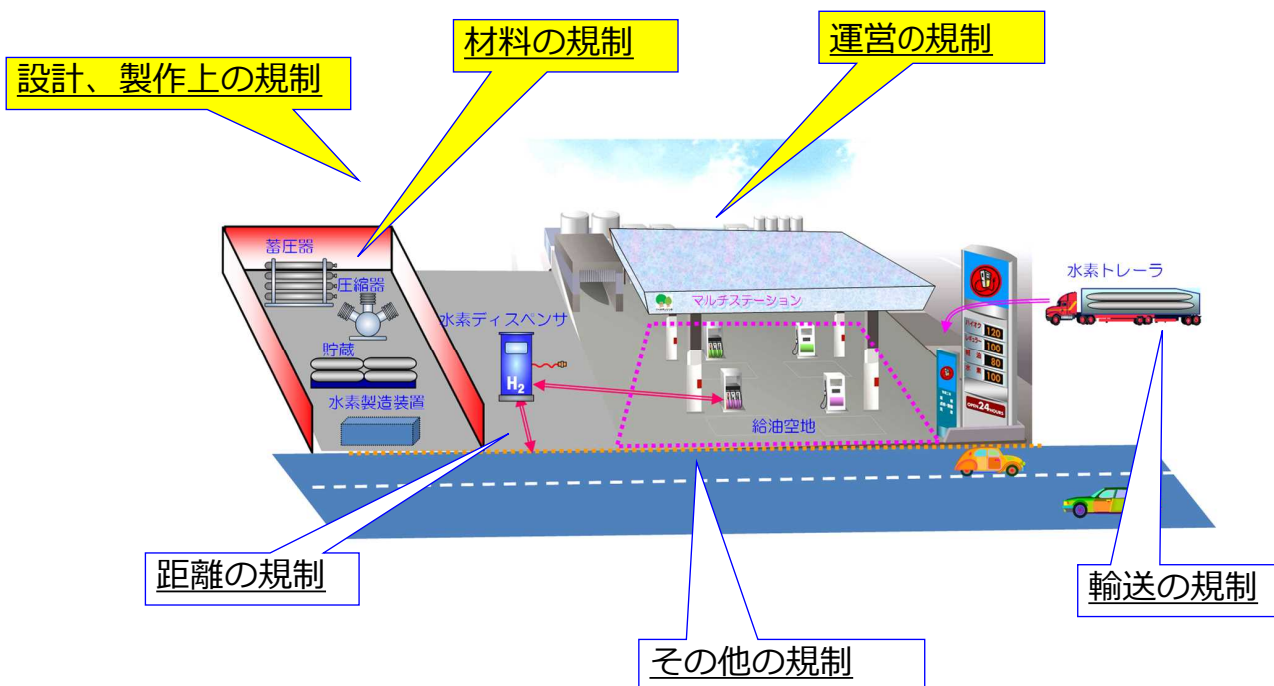
低コストステーションの設計という観点から

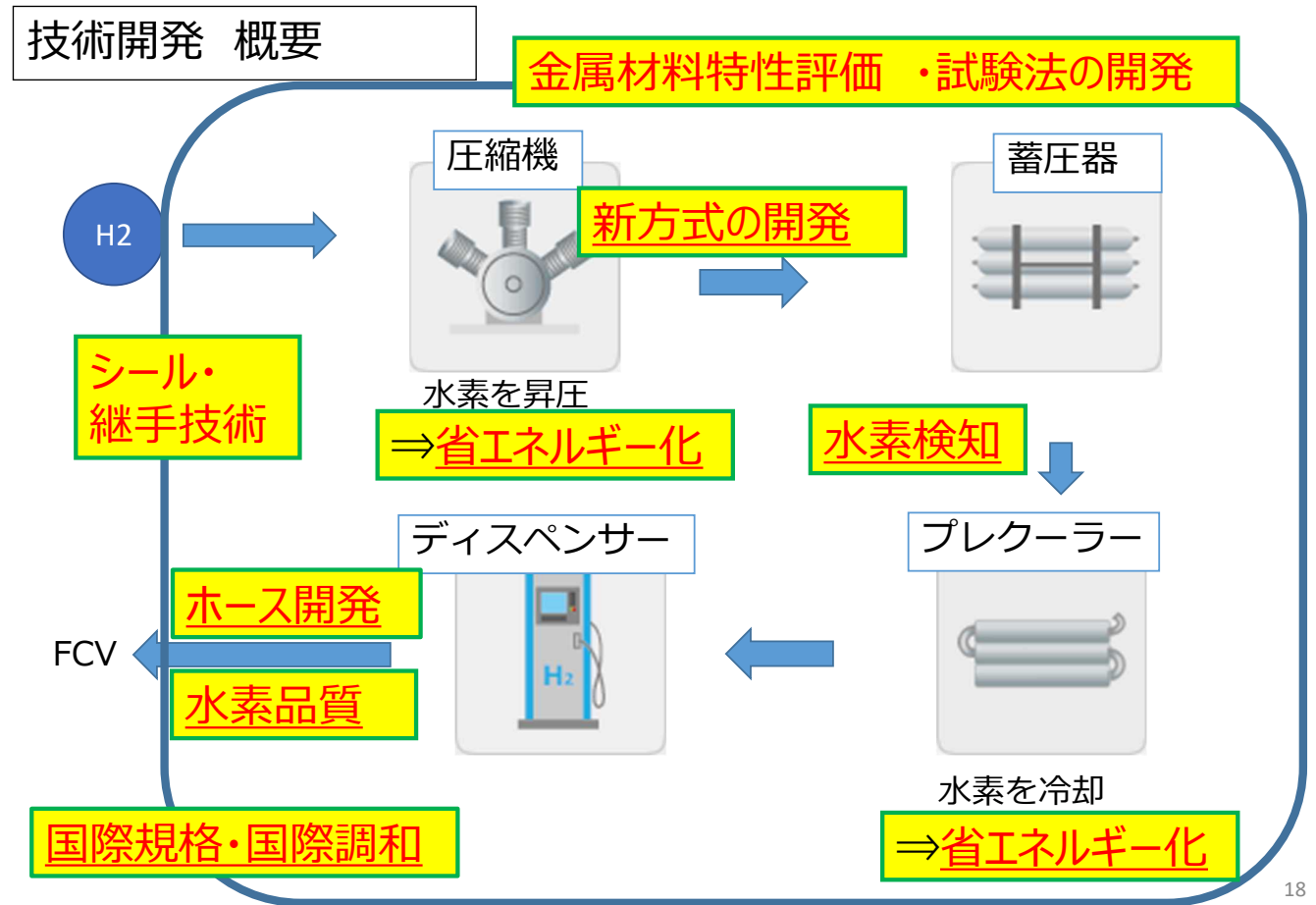
- 水素ステーション設備のコスト低減
- 構成機器の最適化
- 規制の見直し
- 高分子材料開発など
- 機器の省エネ化

水素ステーション関連技術の国際競争力強化等の観点から

- 国際基準調和・国際標準化にかかる研究開発等を実施

規制関連 概要





◆ **事業の目標**

研究開発項目	研究開発目標 (最終目標)	根拠
I : 「国内規制適正化に関わる技術開発」	<ul style="list-style-type: none"> 水素ステーションの技術基準案 (もしくはガイドライン案) を作成 国内の規制適正化に向けたデータ取得及び基準案の作成・提案 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の普及拡大には、「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目、「規制改革実施計画」で挙げられた項目の課題解決が必要になる。
II : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」	<ul style="list-style-type: none"> 水素ステーションの本格普及・自立化を見据え、水素ステーションの整備費・運営費低減に寄与する技術を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の普及拡大には、「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目、「規制改革実施計画」で挙げられた項目の課題解決が必要になる。
III : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> ISO関連、IEA (国際エネルギー機関)、HFCV-GTR (水素及び燃料電池に関する世界統一基準) 関連など国際調和、海外施策・市場・研究開発動向の把握を行い国内に発信する。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内だけでなく、ISOによる基準化、UN/ECE/WP29(HFCV-gtr)の規制など国際的な合意形成が必要になる。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

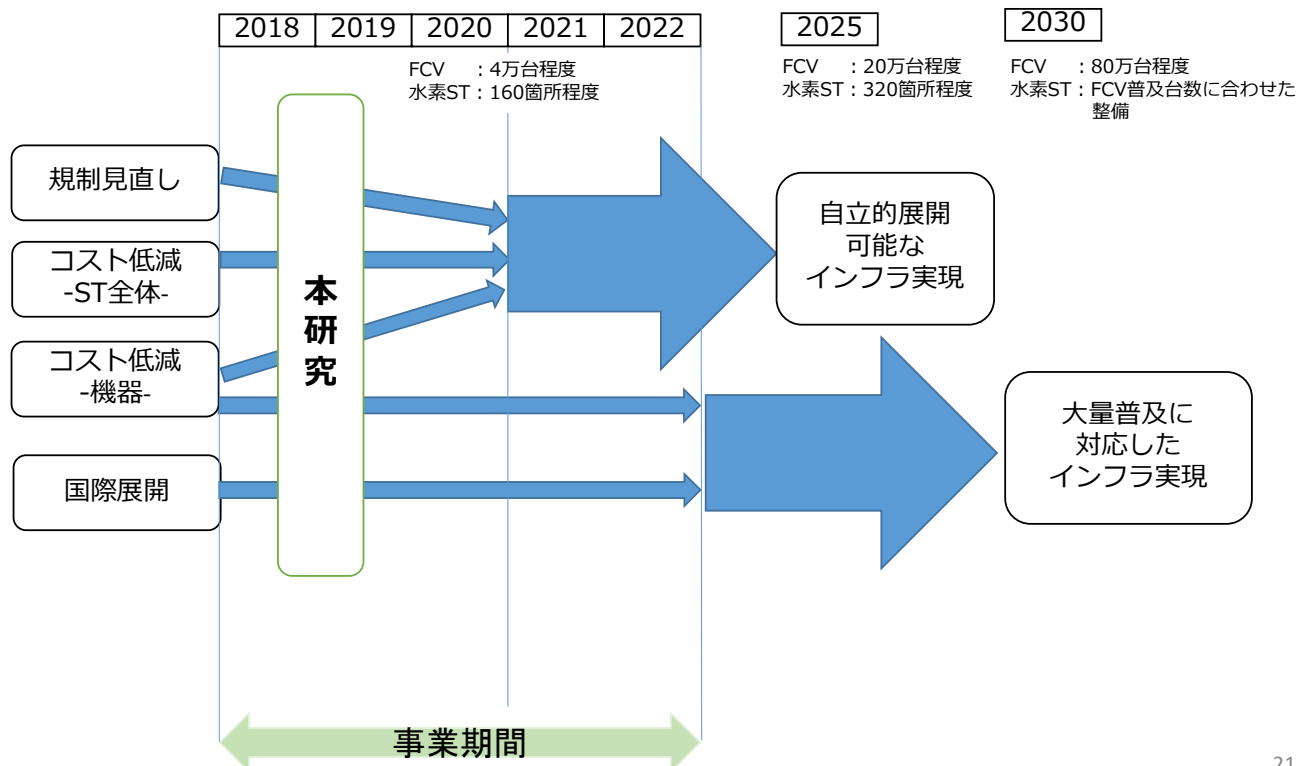
◆事業の目標

研究開発項目	中間目標	根拠
I : 「国内規制適正化に関わる技術開発」	<ul style="list-style-type: none"> 国内について、規制見直し項目を規制改革実施計画で指定されたスケジュールに沿った解決を行う。 無人運転を可能にするための法改正に向け、遠隔監視による無人運転に対する法的課題の抽出、並びに対応する設備に必要な項目（安全対策等）及び導入設備に関する検討を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の普及拡大には、「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目、「規制改革実施計画」で挙げられた項目の課題解決が必要になる。
II : 「水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発」	<ul style="list-style-type: none"> 水素ステーションの本格普及・自立化を見据え、水素ステーションの整備費・運営費低減に寄与する技術を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の普及拡大には、「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目、「規制改革実施計画」で挙げられた項目の課題解決が必要になる。
III : 「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> ISO関連、IEA（国際エネルギー機関）、HFCV-GTR（水素及び燃料電池に関する世界統一基準）関連など国際調和、海外施策・市場・研究開発動向の把握を行い国内に発信する。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内だけでなく、ISOによる基準化、UN/ECE/WP29(HFCV-gtr)の規制など国際的な合意形成が必要になる。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ（時系列）



◆プロジェクト費用

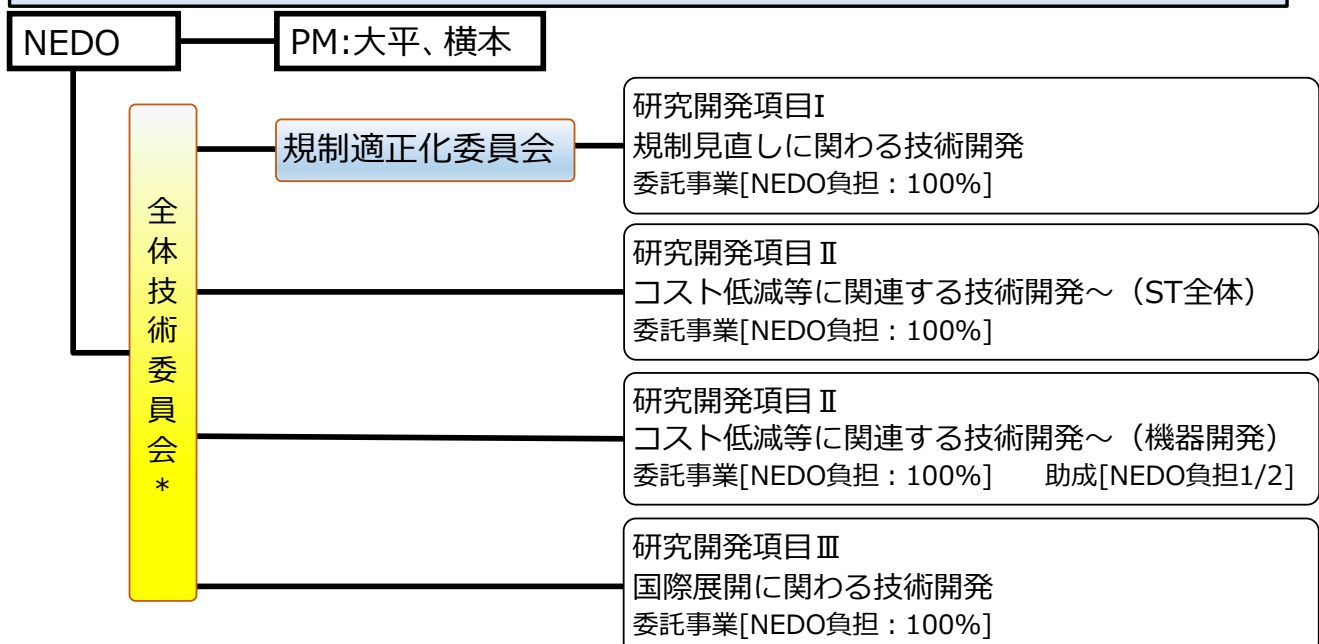
◆費用

(単位：百万円)

研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	合計
国内規制適正化に関わる技術開発	627	1,026	725	-	-	2,378
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発	853	1,332	2,501	-	-	4,686
国際展開、国際標準化等に関する研究開発	131	221	194	-	-	546
合計	1,611	2,579	3,420	-	-	7,610

◆研究開発の実施体制

- 技術開発の結果を早期に社会実装するため、事業運営の形態（委員会の設置方法等）をスリム化。意思決定のスピードアップを図る。



(*) 事業進捗、コスト低減、国際調和に関する事業全体の調整を行い、個別事業に反映させる。半年に一回開催。

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制

研究開発項目I 規制見直しに関わる技術開発

テーマ名	資料番号	事業者名
研究開発項目I 規制見直しに関わる技術開発		
本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発	1-(1)	一般財団法人石油エネルギー技術センター
新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	1-(2)-①	一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人九州大学、一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社、愛知製鋼株式会社、株式会社日本製鋼所
連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発	1-(2)-②	JFEスチール株式会社
中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発	1-(2)-③	国立研究開発法人物質・材料研究機構

赤枠：発表事業

24

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制

研究開発項目II コスト低減等に関連する技術開発

テーマ名	資料番号	事業者名
水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発	2-(1)	一般社団法人水素供給利用技術協会、ENEOS株式会社
水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発	2-(2)-①	JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社、千代田化工建設株式会社
複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発	2-(2)-②	一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人東京大学、株式会社日本製鋼所
長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発	2-(3)-①	一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人九州大学、一般財団法人化学物質評価研究機構、NOK株式会社、高石工業、日本ピラー工業株式会社、株式会社キッツ、株式会社フジキン、株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社
水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発	2-(3)-②	国立大学法人九州大学、一般社団法人日本ゴム工業会

赤枠：発表事業

25

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

研究開発項目Ⅱ コスト低減等に関連する技術開発

本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発	2-(4)-①	E N E O S 株式会社、株式会社本田技術研究所、トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会
超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究	2-(4)-②	E N E O S 総研株式会社 (2019年度終了)
新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究	2-(4)-③	日鉄総研株式会社 (2019年度終了)
電気化学式水素ポンプの開発・実証	2-(4)-④	株式会社加地テック、東レ株式会社
高強度低合金鋼を用いた新型高压蓄圧器に関する研究開発	2-(4)-⑤	一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社
新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発	2-(4)-⑥	ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社
半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発	2-(4)-⑦	株式会社四国総合研究所
水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発	2-(4)-⑧	国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本重化学工業株式会社
HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発	2-(4)-⑨	国立研究開発法人産業技術総合研究所、岩谷産業株式会社、株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所

青枠：2020年8月開始事業

26

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

研究開発項目Ⅲ 国際展開に関わる技術開発

テーマ名	資料番号	事業者名
水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発	3-①	一般社団法人水素供給利用技術協会 一般財団法人日本自動車研究所
燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発	3-②	一般財団法人日本自動車研究所
水素社会に係る国際関連機器等研究・政策動向に関する調査研究	3-③	株式会社大和総研

27

◆研究開発の進捗管理

- 適時事業者と打ち合わせを実施し、開発目標と達成度、進捗確認、計画を見直しを実施。
- 半期毎に全体技術委員会を開催し、事業間の情報共有を図る実績：
 - ・2018年度2回
 - ・2019年度1回（2回目：METIとの共催の公開評価WEEK（成果報告レビュー）にて代替、3回目：コロナの影響で中止）
 - ・2020年度1回
- 追加公募分時には新規参加検討事業者及び既存事業においては進捗に課題ある場合には、PM（プロジェクトマネージャー）が事業の現場を訪問し、問題点のヒアリングと進め方についてのアドバイスを行った。

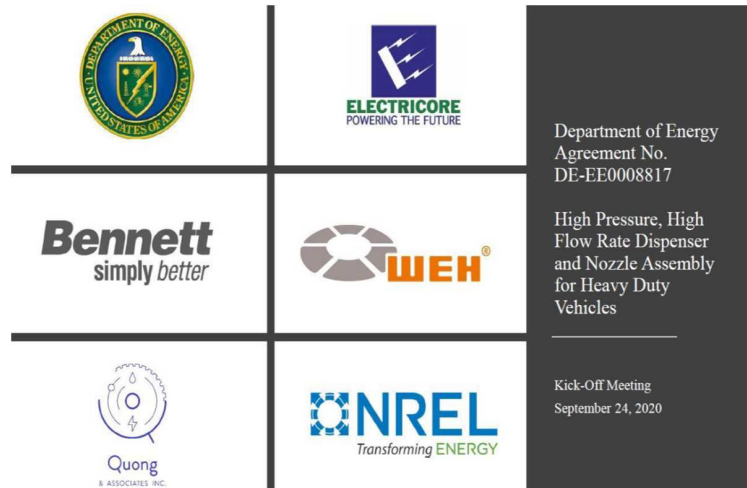
◆動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
大型車輛の開発が国際的に活発化のため FCH-JU：大型車両向け技術開発スタート	追加公募実施

◆ 動向・情勢の把握と対応

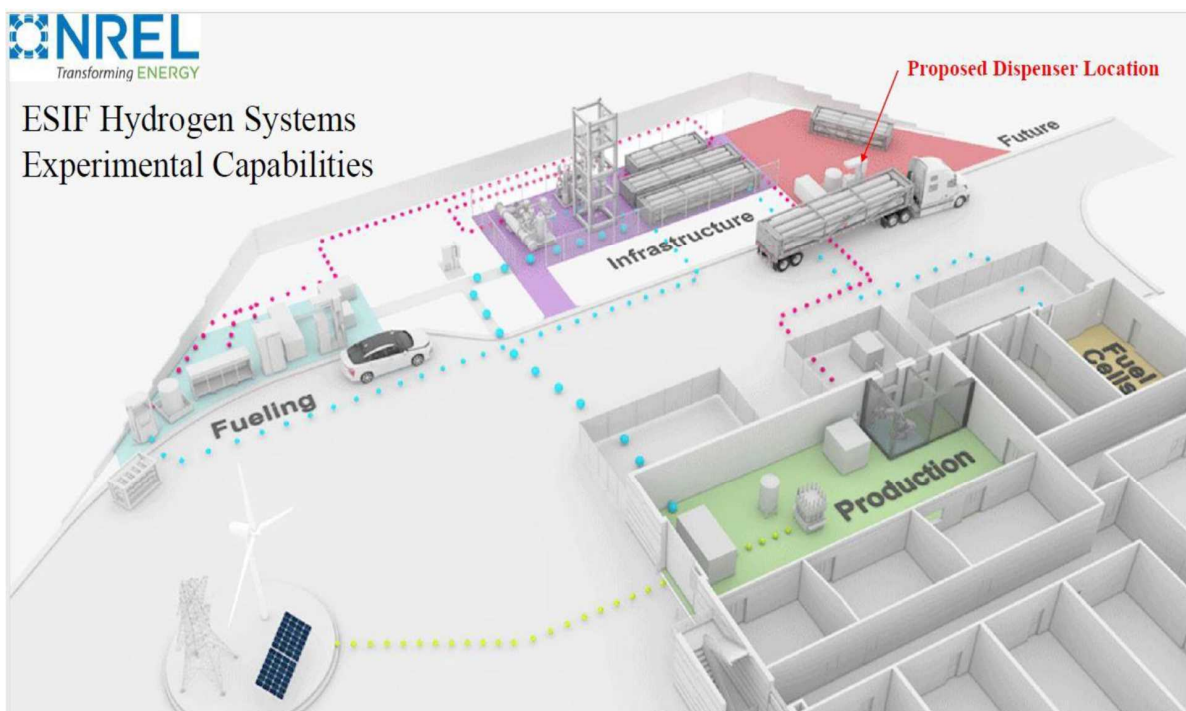
DOE HDVのプログラム

期間：2020年8月～2022年8月



<https://www.energy.gov/nepa/downloads/cx-101809-high-pressure-high-flow-rate-dispenser-and-nozzle-assembly-heavy-duty>

◆ 動向・情勢の把握と対応



◆ 動向・情勢の把握と対応

1st Workshop | Webcon | 24 March 2020

PRHYDE-Protocol for heavy-duty hydrogen refuelling

Call Identifier FCH-04-2-2019:

Refuelling Protocols for Medium and Heavy-Duty Vehicles



Horizon 2020
European Union Funding
for Research & Innovation



www.PRHYDE.eu

32

◆ 動向・情勢の把握と対応

FCH-JU HDVのプログラム

PRHYDE Protocol for heavy-duty Hydrogen refueling

期間：2020年1月～2021年12月

内容：

シミュレーションと実験検証を行い、公称使用圧力が35, 50, 70MPaの大容量タンクシステム用に異なる充填プロトコルを開発する。

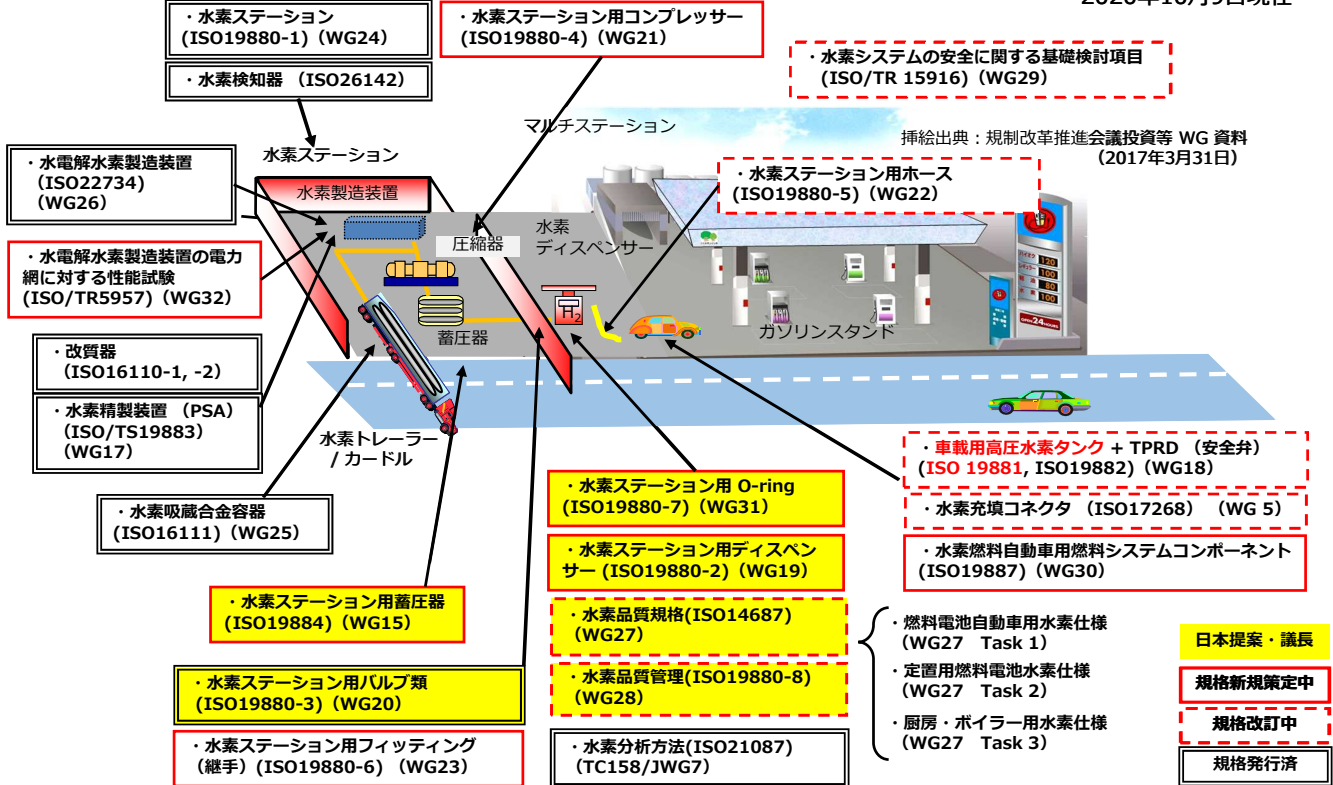
この研究は、道路、鉄道、海上輸送などのHDV用途への水素普及を可能となる。

33

◆ 動向・情勢の把握と対応

ISO/TC197対象範囲

2020年10月9日現在



◆ 動向・情勢の把握と対応

複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発 - タイプ2蓄圧器
タイプ2 技術文書案の構成

項目	内容	参考規格
適用範囲	内容積、設計圧力・温度、使用期間	KHKS 0220 ASME BPVC Sec.VIII Div.3
材料	金属層に用いる材料 樹脂含浸炭素繊維層に用いる材料 樹脂含浸炭素繊維層の機械的性質の設定	KHKS 0220 KHKS 0225
設計	金属層材料の許容引張応力 樹脂含浸炭素繊維層の許容ひずみ 式による厚さの設定 詳細応力解析 (強度解析、破裂前漏洩解析、疲労解析)	KHKS 0220 ASME BPVC Sec.VIII Div.3
工作および検査	自緊処理、電位差腐食防止、ワインディング、熱硬化処理、製造状態の確認など	KHKS 0220 KHKS 0225
耐圧試験		KHKS 0220
気密試験		KHKS 0220

今後の展開： 本成果の普及のため、超高圧ガス設備に関する基準 (KHKS 0220) の附属書化およびISO WG15で作成中の水素ステーション用蓄圧器に関する技術基準へ展開を計画する

水素・燃料電池プロジェクト評価・課題共有ウィーク

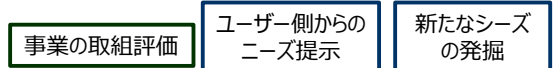
- 世界動向をしっかりと把握しつつ、日本の技術力の更なる向上に向けて、日本の水素関連政策、NEDO事業成果、ユーザー側からのニーズの差分を議論すると共に、新たなシーズを発掘する。
- 産学官の多様なステークホルダーが参加し、今後の水素社会の実現に向けたコミュニティ形成を支援するもの。

プログラム

主催：経済産業省・NEDO 参加者：延べ1,000名程度
発表数：47件（評価対象は22件）

6月17日(月)	6月18日(火)	6月19日(水)	6月20日(木)	6月21日(金)
Plenary 特別講演 IEA Hydrogen Report IEA 60 min. 米田、欧州における水素・燃料電池技術開発動向 NEDO 50 min. 水素・燃料電池戦略RM METI 30 min. NEDOにおける水素・燃料電池技術開発 NEDO 30 min. 水素サプライチェーンプロジェクト評価 HySTRA AHEAD 全体討議 講評	水素発電およびFCGプロジェクト評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. 【水素発電】 バッテンフオール 三菱重工業 川崎重工業 【PtG】 山梨県企業局 東芝エネルギーシステムズ 豊田通商 東北大学 全体討議 講評	水素ステーションプロジェクト評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. JPEC HySUT 九州大学 JXTGエネルギー 加地テック 全体討議 講評	水素・燃料電池プロジェクトの課題提示と評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. トヨタ自動車 本田技研工業 FC-Cubic 同志社大学 山梨大学 千葉大学 東北大学 上智大学 電気通信大学 物質・材料研究機構 全体討議 講評	水素・燃料電池プロジェクトの課題提示と評価 FCCJ 慶応義塾大学 東京工業大学 東京電機大学 首都大学東京 九州大学 産業技術総合研究所 テンソー 東京大学 山梨大学 全体討議 講評 水素・燃料電池技術開発戦略の策定に向けて

評価ウィークのスキーム



産官学全体に渡る活性化



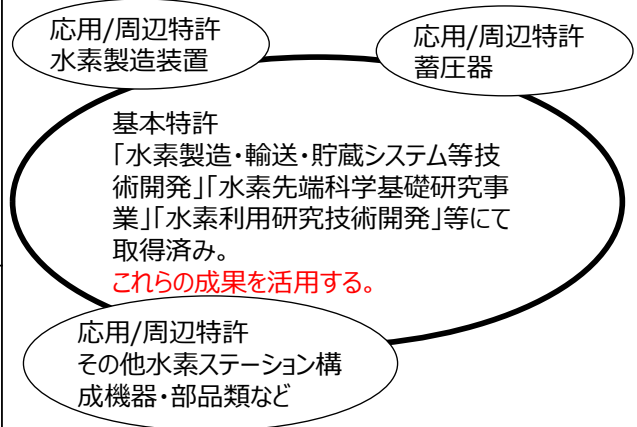
◆知的財産権等に関する戦略

・知財の取扱いについての戦略及びルール

オープン/クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	標準化推進 ・ISO水素ステーション関連 19880-5 充填ホース 19880-7 HRS用リング (新規) 複合容器 WG15 など その他 SAE、HFCV-gtrなど	知財のライセンスなど ・水素製造装置、水素圧縮機、蓄圧器など水素ステーションを構成する装置・部品類に係る特許による各社の優位性の確保 ・水素品質分析サービスなど分析コストの低コスト化競争につながる場合は技術情報を開示
非公開	—	秘匿化 ・高圧・低(高)温水素雰囲気下での鋼材の挙動に関する各種データ。⇒海外への情報流出を防ぐために原則非公開だが、ISO化などで日本が議論をリードする場合は、適宜公開する。

水素ステーションを構成する機器類の特許を取得し、並行して標準化に於ける議論を日本がリードする。将来は輸出につなげられるよう、国際的な優位性の確保を視野に入れる。



基本特許：材料、構成、構造
周辺特許：用途、システム

◆知的財産管理

- 委託事業・共同研究事業については、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき、テーマ毎に「知財の取扱いに関する合意書」を策定。
- 合意書では、知財運営委員会や知財の帰属、秘密の保持等、プロジェクトの出口戦略において重要となる知財ルールを整備。
- 助成事業については、個々の事業者の知財戦略を尊重し、アウトカムの最大化を図る。

個別テーマの成果概要

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(1-(1)) 「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
無人運転を実施するための研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 無人運転を可能とするための法技術的・技術的な課題の整理と対策の立案 省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成 	新規省令制定 (一般則7条の4) に資する技術基準案作成	○
リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 定量性・汎用性の高いリスクアセス手法と多様な設備構成で狭小なステーションモデル構築 安全対策の合理化案と省令等改訂に資する技術基準案の作成 	省令や例示基準改訂に資する技術基準案作成 リスクアセス手法やステーションモデル	△
保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 保安監督者の兼任を可能とする要件の提案 保安監督者兼任ステーションに関する各種技術基準案の作成 	省令解釈に関する基本通達制定に資する技術基準案作成	○
家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出	<ul style="list-style-type: none"> 家庭用水素充填設備のモデルを構築し、そのモデルに基づく法的課題の抽出 	家庭用水素充填設備モデルに基づく法的課題	△

リスクアセスメントの実施などから規制見直しへ展開

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(1-(2)-①) 「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(大)九州大学、(一財)金属系材料研究開発センター、日本製鉄(株)、愛知製鋼(株)、(株)日本製鋼所

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の使用可能範囲の明確化と新たな水素特性判断基準の創出	<ul style="list-style-type: none"> 新たな水素適合性判断基準を確立 低温高圧水素におけるSUS316系ステンレス鋼の使用可能範囲拡大 一般則例示基準の見直しへの寄与 	○
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	水素ステーションにおける冷間加工材の使用条件の明確化	<ul style="list-style-type: none"> 冷間加工材の使用条件を明確化 許容引張応力の設定検討 	○
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	基本的な材料特性、使用条件等の明確化と技術指針作成の必要検討課題の抽出	<ul style="list-style-type: none"> 溶接材の使用条件の明確化 技術指針作成に向けた検討項目 	○
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	高温水素ガス中使用を想定した汎用低合金鋼データの取得と水素圧縮機への適用可否判断	<ul style="list-style-type: none"> 高温使用に関する評価方法の確立 高温使用における安全性の検討 低合金鋼技術文書の改訂 	◎

金属材料評価手法の確立から、材料の使用範囲の拡大を目指す

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(1-(2)-②)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発

委託先：JFEスチール(株)

2020年度
終了予定

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
高压水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化	105MPa高压水素環境下と同等の水素チャージ可能な陰極水素チャージ条件を高温～低温まで確立	室温、高温 (85℃) で条件明確化	△
連続陰極水素チャージ法によるSSRT試験方法の確立	陰極チャージSSRTと高压水素ガスSSRTの差異確認し陰極チャージ法適用範囲を確立	高温(85℃)・室温は同等、低温(-30℃)は確認中	△
連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立	室温で陰極チャージ疲労と高压水素ガス疲労試験の差異明確化し陰極チャージ法適用範囲を確立	陰極チャージ条件確定。大気、陰極チャージ、高压水素でデータ採取中	△
連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証	陰極チャージと高压水素試験で破面等を比較し、妥当性を検証	SSRTで擬へき開破面分布が異なる	○
水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定	ラウンドロビネスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成	SSRTラウンドロビンで3機関でデータ一致。	○

簡易型材料評価手法の開発

SSRT試験で105MPa高压水素中と同等の結果であること、3機関のラウンドロビン試験で変位-荷重曲線が一致することを確認

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(1-(2)-③)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国内規制適正化に関わる技術開発 / 中空試験片高压水素中材料試験法規格化のための研究開発」

委託先：(国研)物質・材料研究機構

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価	
I. 中空 SSRT	A 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究	・試験条件の最適化を行う ・ラウンドロビネストを行う ・中空試験の簡素化を図る	中空試験片について、内面仕上げ条件を確定し、内径/外径寸法の許容範囲、ならびに試験条件を確認	△
	B 中実試験片との相関確認	中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする	中空と中実間のデータの相関関係を明確化	○
	C 規格化に向けた調査研究	規格案を作成する 簡素化附属書案を作成する	中空試験片高压水素中SSRT法の規格案をISOとHPI(予定)に提案	○
II. 中空 疲労	D 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	保持時間や繰り返し速度等の影響評価を行い、中空試験片での疲労試験条件を確定 (2022年度実施)	中空疲労試験法の試験条件を確認	△
	E 中実試験片との相関確認	中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする (2021年度実施)	中空と中実間のデータの相関関係を明確化	△
	F 規格化に向けた調査研究	規格案を作成する (2022年度実施)	中空試験片高压水素中疲労試験法の規格案を作成中	△

簡易型材料評価手法の開発

中空試験片高压水素中SSRT試験法案を作成し、ISO(英文案)に提案済、高圧力技術協会(日本文案)に提案予定。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(1)) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会、ENEOS(株)

2020年度
終了予定

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
①標準化の検討	業界統一規格 (標準化ガイドライン) 案の完成	業界統一規格 (HySUTガイドライン) 案の素案を作成済み。	○
②水素ステーションの能力分類化	適正な充填能力により「能力分類化 (カテゴリー化)」を制定、ガイドライン案への反映	充填能力を指標とする大・中・小規模の3種類のカテゴリーを設定。ガイドライン案に反映した。	○
③標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討	標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討を行う。必要に応じて実証を行い、低コスト化効果と信頼性・耐久性等の技術进行评估する。	次世代パッケージシステムを実現するための技術課題の整理と実証項目を取り纏め。検討の結果、パッケージ水素STは建設せず、机上で検討可能である結論を得た。	○

標準化をすべき項目を抽出し、設計圧力や配管取合口径等、11項目について標準化案を取りまとめ、規格 (標準ガイドライン) 案を作成

44

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(2)-①) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発

委託先：JFEスチール(株)、JFEコンテナ(株)、千代田化工建設(株)

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
A:定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築	AE法の供用中検査基準の策定	日本非破壊検査協会での規格委員会の設置準備中	△
B:鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	鋼材の疲労き裂発生進展とAE波の発生関係の評価	・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず ・疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知 ・大気中および水素チャージ中でAEの有効性が確認	○
C:鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	使用応力場及び疲労限近傍の応力場にてのAE発生挙動を確認	き裂進展時に、発生位置が特定	△
D実機タイプ2蓄圧器による高压水素サイクル条件下でAE法の構築	実機稼働中のAE発生挙動を確認し、ノイズの原因や除去方法を確立	加圧時と減圧時で異なる発生数となるノイズ源が存在するなど実環境でのAEノイズの状況を把握した	△

- ・ 小型容器を用いた試験から、容器内からのき裂進展に起因する漏洩発生時において、その漏洩発生位置をAE信号から特定可能であることを立証。
- ・ 2021年2月頃から水素ステーションで試験を計画

45

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(2)-②) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター、高压ガス保安協会、(大)東京大学、(株)日本製鋼所

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
①-1 ライナー試験片評価法の検討	アルミニウム合金の最適疲労曲線の作成	アルミニウム合金の最適疲労曲線を構築	○
①-2 CFRP試験片評価法の検討	・樹脂単体の疲労寿命設計線図の作成 ・CFRP試験片のミクロスケール有限要素シミュレーションを完了	CFRP試験片に関して、樹脂の疲労寿命設計線図に基づく一般性の高い疲労寿命設計線図を作成	○
①-3 円筒試験体評価法の検討	フープラップ容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験結果を最適疲労曲線と照合して結果の妥当性を検証	フープラップ容器対応円筒試験体の試験結果からタイプ2容器の疲労寿命設計線図の妥当性を確認	○
①-4 疲労寿命設計線図の作成	タイプ2容器ライナー材料およびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図を作成	タイプ2容器の金属層はKHKS 0220の設計疲労曲線を使用できることを確認	○
①-5 複合圧力容器設計手法の実証	タイプ3実容器試験データにより疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証	累積損傷則に基づいた容器寿命延長式(累積損傷関係式)を構築	○
② 技術基準の整備に向けた技術開発	・タイプ2容器の自主基準案を完成 ・KHKS0225改正方針検討	・タイプ2技術文書(JPEC-TD)案を完成 ・KHKS 0225改正方針を作成	○

ISO/TC197 (水素技術) WG15 (蓄圧器規格) との連携を実施

46

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(3)-①) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 長寿命高压水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会、(大)九州大学、(一財)化学物質評価研究機構、NOK(株)高石工業(株)、日本ピラー工業(株)、(株)キッツ、(株)フジキン、(株)タツノ、トキコシステムソリューション(株)

●研究目標

実施項目	目標 (2022年度)	成果内容	自己評価
①セーフティデータベース(SDB)の解析知見の整理	SDBデータ解析の継続	シール、継手のトラブル事例解析より、プレクラー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	○
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	機器の加速耐久性評価法の確立	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	○
③シール基盤・改良開発	HRSにおける充填回数 30,000 回相当のシール部材開発 ・シール部材の加速耐久性評価法の確立	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 高压水素シール部材標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。	○
④継手基盤・機器開発	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用について試験と解析により明らかにした。	○
⑤シール成果に基づく機器開発	HRSにおける充填回数 30,000 回相当の機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器(バルブ、フィルター等)の設計検討を実施した。	○

シール材料のデータベース蓄積からISO/TC197 (水素技術) WG31(O-ring規格) への提案につながった。

47

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(3)-②)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 水素ステーション用高压水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」

委託先：(大)九州大学、(一社)日本ゴム工業会

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
①水素インパルス試験法による高压水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充填回数の相関解明	水素インパルス試験法、改良試験法と実水素ステーションにおける充填回数との相関係数設定	85℃ホース揺動水素インパルス試験と実水素ステーションの相関係数1.6を設定	○
②高压水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明	ホース耐久性に対する影響が大きい内層樹脂の劣化、破壊に影響する因子を明確化	ホース内層樹脂の疲労特性について応力負荷パターンの影響明確化	○
③高压水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定	高压水素加速耐久性評価法を開発し、 高压水素加速耐久性評価法規格案を作成	85℃ホース揺動水素インパルス試験法を規格案として設定	○
④ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供	加速耐久性評価法を用いてデータを取得し、ホースメーカーにフィードバック。 ホース交換サイクル> 30,000回に資するデータ取得	ホースメーカーより提供いただいたホースの評価結果をフィードバック	○

- ・ 耐久性評価法案として、高温ホース揺動水素インパルス試験法を設定
- ・ 北米水素ステーションにおける87.5 MPa試作ホースの試用を実施し、3,000回の充填を実証

48

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-①)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術」

委託先：ENEOS(株)、(株)本田技術研究所、トキコシステムソリューションズ(株)、(一社)水素供給利用技術協会

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
低コスト対応プロトコルの開発	・Phase1：水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコルの制御マップを完成させる。 (現行：-35~-38℃⇒緩和後：-25~-33℃) ・Phase2：車載タンク側の上限温度見直しを含む革新的プロトコルの見直しを得る。	T20相当へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。	○
低コスト高頻度水素充填システムの開発	・1時間10台の充填を可能とする低コスト高頻度充填システムを完成させる。	協調制御システムを開発し、10台/hの技術を完成した。	○
水素充填技術基準整備に関する研究開発	SAE J2601改定内容の国内適用における妥当性を検討し、充填技術基準案及び充填技術自主ガイドライン案を作成する。	充填技術基準案作成 (2021年2月予定)	△

- ・ 低コスト対応プロトコルの開発：新規プロトコルを開発し、T20相当へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。
- ・ **低コスト高頻度水素充填システムの開発：協調制御システムを開発し、10台/hの技術を完成した。**

49

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-②) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

委託先：ENEOS総研(株)

2019年度
終了事業

●研究目標

実施項目	目標 (2019年度)	成果内容	自己評価
94MPa級トレーラー 概念設計	技術的可能性を確認し、コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする	システム評価に必要なデータを得た	○
対応する水素ステーション 概念設計	コストを見積もり、技術・法的課題を明らかにする。	同上	○
システム効率・コスト評価	供給システム全体のコスト、効率を評価し、現行システムと比較評価する。	現行システムとの差異、法的・技術的課題を明らかにした。	○

- コスト:蓄圧器省略等によりHRS建設コストは低減されるが、トレーラーと出荷設備のコストアップにより、全体では95MPaと45MPaに大きな差はなかった。
- エネルギー効率・CO2:輸送圧力を無駄なく利用することにより、エネルギー効率、CO2排出量は、共に従来システムより10%程度改善されると見積もられた。

50

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-③) 「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 新型高压水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究」

委託先：日鉄総研(株)

2019年度
終了事業

●研究目標

実施項目	目標 (2019年度)	成果内容	自己評価
既存低合金鋼の評価	既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を特定する	高強度でありながら耐水素特性が未評価なJIS材があることが判った	○
熱処理条件の評価	熱処理条件が鋼材の引張特性に与える影響を定量的に把握する	Mo-V添加鋼は1400MPaレベルの引張強さを得られることが判った	○
耐水素特性の評価	既存低合金鋼およびMo-V添加鋼について、高強度化と耐水素特性のバランスを評価する	Mo-V添加鋼は強度—耐水素脆性バランスに優れている可能性があることが判った	○
新型蓄圧器の試設計	高強度低合金鋼を想定した試設計を行って鋼材使用量低減の可能性を評価する	高強度低合金鋼が使えるなら最大で5割近い鋼材使用量低減の可能性があると判った	○

- 高強度低合金鋼の適用により、最大で5割程度の鋼材重量低減の可能性があると判った
⇒ コスト低減効果の定量的な評価と実機化に向けた加工技術の検討が課題。

51

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-④)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 電気化学式水素ポンプの開発・実証」

委託先：(株)加地テック、東レ(株)

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
5Nm ³ /h ×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h ×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する。 スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機 (システム消費電力0.5kWh/Nm³) 対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h×40MPa水素ポンプの スタック技術開発は達成見込み。 5Nm³/h×40MPaスタック耐久性3000時間を実証し、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見込み。 	△
5Nm ³ /h ×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h ×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発を完了する。 コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2.2Nm³/h×20MPa水素ポンプシステムの技術開発は達成見込み。 コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比に対する評価できる見込み。 	△
水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応	<ul style="list-style-type: none"> 高圧ガス保安法・・・水素ステーションで使用可能な性能・構造とする 防爆規格・・・水素ステーションで使用可能な仕様とする 	<ul style="list-style-type: none"> 山梨向けKTC-A号機を高圧ガス保安法 (一般則 6条対応) で製作し、実証試験を推進した。 	△

- 5Nm³/h×40MPa水素ポンプのスタック技術を開発し、スタック耐久性3000時間の実証と、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見通しを得た

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-⑤)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発」

委託先：(一財)金属系材料研究開発センター、日本製鉄(株)

2020年8月
開始事業

●研究目標

実施項目	目標 (2022年度)	成果内容	自己評価
Mo-V添加鋼の高強度化と水素適合性の評価	左記鋼種を中心に引張強さが1000 MPa以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を満たす材料についてSSRTによる水素適合性評価を行い、強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> Mo-V添加鋼に関して評価用素材を作製し、引張強さが1000 MPa以上となる化学成分および熱処理条件を確認中。 目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価の条件を準備中。 	△
高強度低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価	過去に水素適合性が未評価のJIS低合金鋼について、引張強さが1000 MPa以上となる鋼種および熱処理条件を明らかにし、目標強度を満たす材料についてSSRTによる水素適合性評価を行い、強度と水素適合性が両立する製造条件を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> SCr445、SNCM447、SNCM630等の低合金鋼のJIS規格成分材について評価用素材を作製済。 各鋼種の引張強さが1000 MPa以上となる化学成分および熱処理条件を確認中。 目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価の条件を準備中。 	△
蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査	水素ステーション用蓄圧器の国内外の技術動向およびコスト構造等の調査と上記特性発現鋼材を用いた蓄圧器の試設計を行うと共に現状とのコスト比較を行ってコスト改善効果を検証する。	<ul style="list-style-type: none"> 蓄圧器のコストに関するデータの収集・整理中。 コスト低減目標値と課題の抽出中。 	△

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-⑥)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発」

委託先：ヌヴォンテクノロジージャパン(株)

2020年8月
開始事業

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
①超低消費電力水素検知センサエレメントの開発	センサエレメントの製造条件と回路レイアウト仕様の確立	実施計画及び内容の設定 - マスク制作 (～第3四半期) - 試作及び評価(～第4四半期)	△
②高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発	完全防水型センサモジュールの開発課題と方策の明確化	実施計画及び内容の設定 - 膜材料、接合工法検討 (～第3四半期) - 膜、工法基礎評価(～第4四半期)	△
③自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発	小型、低消費電力のIoT対応センサモジュール仕様の確立	実施計画及び内容の設定 - IoTセンサモジュール設計 (～第3四半期) - 実機評価及び検証追加制作 (～第4四半期)	△

54

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-⑦)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発」

委託先：(株)四国総合研究所

2020年8月
開始事業

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置			
1-⑦全成分分析の可能性評価	・ 2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否(測定方法、濃度等)を含めて明示する。	・ 調査及びスペクトル計測実験を実施中。	△
IR-LDを用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置にてISO			
2-⑦全成分分析の可能性評価	・ 2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否(測定方法、濃度等)を含めて明示する。 ・ 全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。 ・ 全硫黄成分について、ISO規格値に対しての計測方法を検討する。	・ 調査及びスペクトル計測実験を実施中。	△

Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置、IR-LDを用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置にてISO規格成分計測の可否がポイント。

55

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-⑧)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / 水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」

委託先：(国研)産業技術総合研究所、日本重化学工業(株)

2020年8月
開始事業

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発	30℃において20MPa～35MPaの水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、80℃における水素放出圧力を評価する。	Tiリッチ組成の各種AB2型ラーベス相の水素吸蔵合金の試作および30℃での水素吸蔵特性の評価を開始した。水素吸蔵圧力が約20MPaとなる合金組成を見出した。	△
昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討	<ul style="list-style-type: none"> 1回/2時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計する。 昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手した。 昇圧システムの省エネルギー効果の検討を開始した。 	△
昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討	Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を行い、適したルツボ材の候補を選定する。	・Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。	△

56

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2-(4)-⑨)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発 / HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発」

委託先：(国研)産業技術総合研究所、岩谷産業(株)、(株)タツノ、トキコシステムソリューションズ(株)、(一社)水素供給利用技術協会、(一財)日本自動車研究所

2020年8月
開始事業

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
マスターメーター法計量精度検査方法の高度化	低圧大流量水素試験設備の整備仕様の確定	<ul style="list-style-type: none"> 低圧大流量水素試験設備仕様の検討開始 コリオリ流量計の選定開始 ガイドライン改定に向け、タスクフォースにて協力体制を構築 	△
新プロトコルに対応する水素計量技術の開発	HDV対応のマスターメーター法計量精度検査装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> 高レンジに対応する実流装置の仕様検討 変動充填模擬試験開始 圧力損失及びヒートマス評価開始 	△
HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究	HDVシステムハードウェアの調査・仕様検討	・HDV対応システム機器の調査開始	△
HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証	水素先進技術研究センター(仮)の仕様決定	・検討委員会・WGを設置し、仕様検討を開始	△
高圧水素計量技術に関する国際協調	水素燃料計量用流量計・検査装置の調査	・開発プロジェクトの内容や使用されている流量計・検査装置等の調査開始	△

57

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(3-①)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国際展開、国際標準化等に関する研究開発 / 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会，(一財)日本自動車研究所

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
1-1 ISO等国际規格の主導的な制定の取組みと、ISO等国际標準と国内研究開発等との連携強化	ISO/TC197 (水素技術) 関連国際規格の発行と日本からの新規提案の具体化	WG15：日本他各国にとって問題ある蓄圧器規格の否決の後、日本も共同議長として提案。 その他、7件のIS発行とO-ring規格の日本新規提案	○
1-2 燃料電池自動車関連のISO国際規格の制定推進	水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行	品質関連3規格 (議長国日本他)、充填インターフェース関連2規格を日本の意見を十分に反映し発行	○
2 標準化活動等に係る国際連携の推進	国際連携推進のため種々関連会議等への参加	CHSへの Strategic Partner としての参加。 その他予定通り対応	○
3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査	ISO水素燃料仕様で規定される不純物の許容濃度適正化の妥当性を示す。	規格改定に必要な試験データ等が必要な成分について3種まで絞り込み、今後の改定提案に資する情報を取り纏めた	○
3-2 水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発	適切な管理方法を検討し、水素品質ガイドライン案を作成する。	2度にわたる水素品質ガイドライン改定案の策定の実施。検知管等の可能性を示した。	○

58

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(3-②)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 / 国際展開、国際標準化等に関する研究開発 / 燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

委託先：(一財)日本自動車研究所

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
FCVに関する国際基準調和・標準化活動 (サブテーマ1)	<ul style="list-style-type: none"> 各審議課題に対する日本提案 (試験法等) をHFCV-GTR Phase2に提案し、国際合意を得る。 国際標準化活動を行い、HFCV-GTRおよび国内基準との整合を図る。 	HFCV-GTR Phase2審議に参画し、日本提案の国際合意に向けて、審議を推進中。ドラフトドキュメントが作成されつつある。	○
容器火炎暴露試験法見直し (サブテーマ2-1)	<ul style="list-style-type: none"> 再現性向上に向けた火炎暴露試験法案および根拠データを提案する。 	火炎暴露試験結果およびシミュレーション解析結果等から、試験手順およびバラツキ影響を低減するための方策を提案し、一部が試験法草案に採用された。	○
金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大 (サブテーマ2-2)	<ul style="list-style-type: none"> 国際合意可能な水素適合性試験法案およびその技術的根拠を提案する。 自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 海外案と日本案を選択可能とする水素適合性試験法案をSAE材料専門家会議で合意し、SAEからHFCV-GTR Phase2に提案された。 自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能材料として確定するためのSUS304市中材データ取得を完了した。 	○

59

(3-③)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国際展開、国際標準化等に関する研究開発／水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」

委託先：(株)大和総研

●研究目標

実施項目	目標 (2022年度)	成果内容	自己評価
最新動向調査	世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な 最新動向を把握 する。	水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を日々ウォッチし、最新情報を隔週報告し、四半期ごとに情報の精査・傾向分析を行った。 (情報リスト40本、総ニュース件数1,621件)	△
政策・市場調査	主要国の水素燃料電池に関する 政策・市場動向を正確に把握 ・分析する。	米国、欧州、ドイツ、中国、韓国について水素政策の全体像を体系的に整理した。HRSの導入状況について整理した。	△
方向性検討	上記結果を踏まえ、 国内政策への示唆 を得る。	各国比較や国際機関の報告書などを分析し、各国の特徴から得られる示唆を検討した。	△

隔週にて調査速報を展開中

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

規制見直し：

NEDO技術開発にて対応できる案件については完了予定
⇒水素ステーションの普及拡大に貢献

低コスト化、運営費低減：

HRS共通指針（案）等の作成を完了
⇒水素ステーションの自立化を支援

国際関連：

ISOにて新規WGを主導的に活動（WG31コンビナー獲得）
⇒国際協調、国際連携により、水素産業の活性化を期待

◆成果の普及

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
論文	0	1	2	-	-	3
研究発表・講演	31	46	17	-	-	94
受賞実績	0	1	0	-	-	1
新聞・雑誌等への掲載	10	3	0	-	-	13
展示会への出展	0	1	0	-	-	1

※2020年9月末現在

◆成果の普及

- 製造、輸送、利用の幅広い技術成果を学会等で幅広く成果普及
- セミナー・講演、新聞等で成果発信

- World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019
 - International Transport Forum Expert Workshop
 - Research and Development on Technical Standard of Composite Pressure Vessel for Hydrogen Fueling Station
 - 福岡水素エネルギー人材育成センター主催「水素入門コース」
 - 日タイ技術交流会
 - 愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」
 - ASME PVP 2020, ASME PVP2019
 - The 8th international conference on hydrogen safety (ICHS 2019)
 - 日本ゴム協会 2019年年次大会 研究発表会
 - International Conference on Power Engineering-2019
 - 大阪産業技術研究所 森之宮センター
 - (一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー
- など 多数発表

◆知的財産権の確保に向けた取組

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	2	1	-	-	3

※2020年9月末現在

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

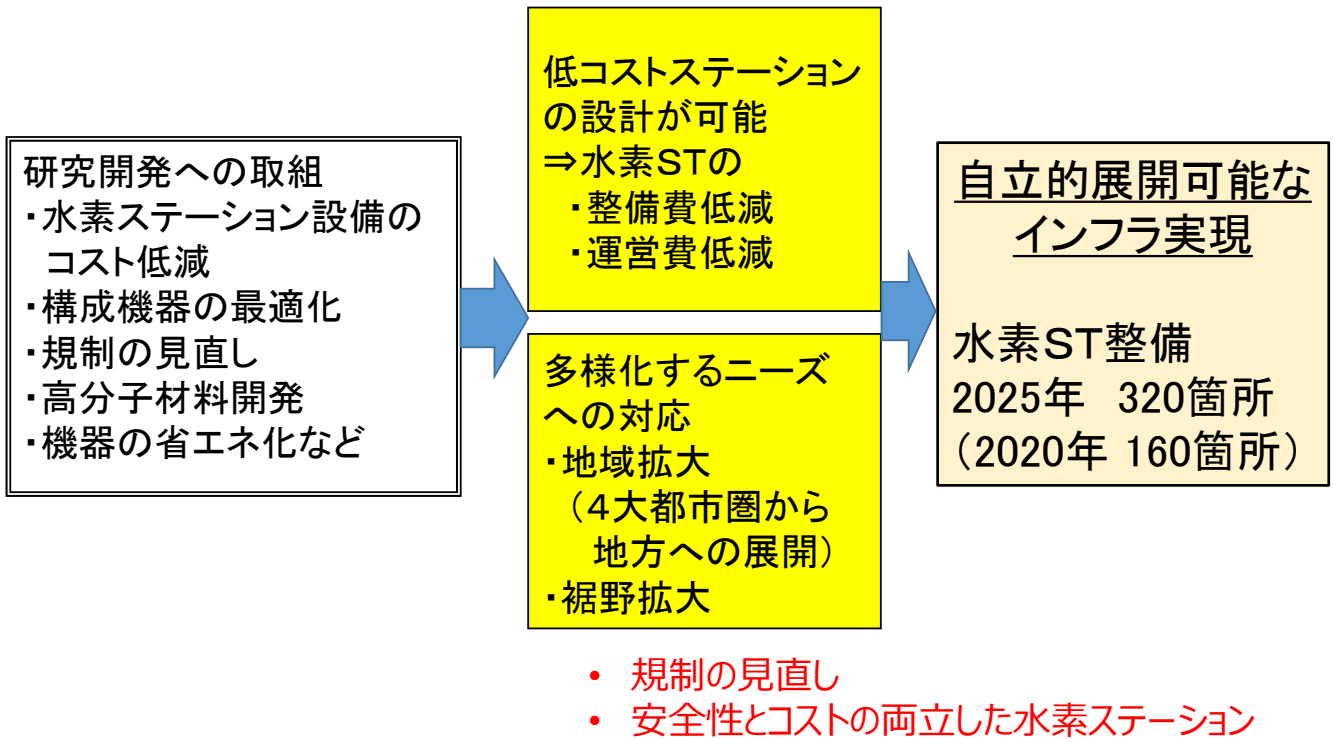
当該事業の実用化とは・・・

- 当該研究開発にて開発された試作品等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること
例えば、リング、充填ホース、バルブなど
- また、当該研究開発に係る規格や業界基準、試験法のドラフトが作成されて、業界団体等において検討が開始されること
例えば、規制の見直し、ISO、金属材料適用範囲拡大、材料(素材)開発など

を言う。

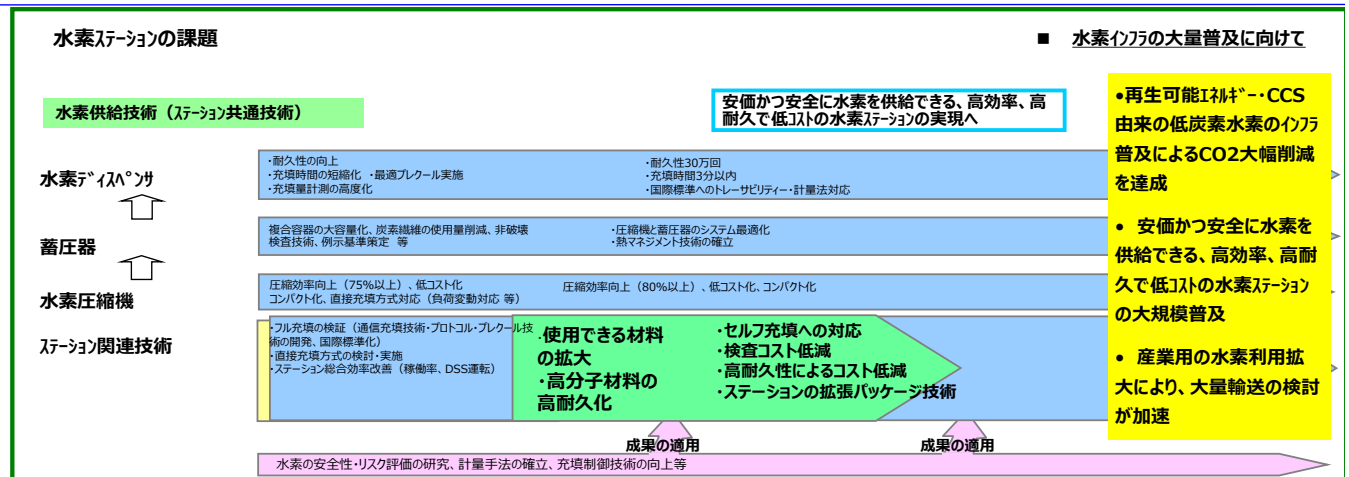
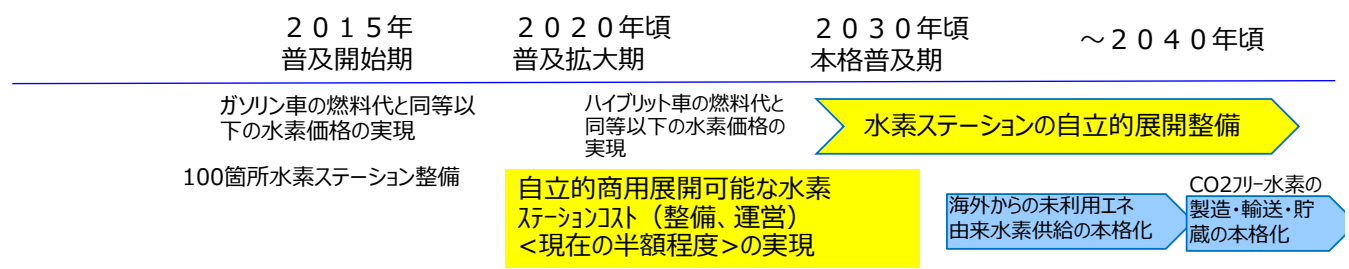
4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

- 国内規制内での開発と 規制見直し後を視野に入れる
- 海外規制・標準化も視野にいた研究・開発



4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略 (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

「水素インフラ技術開発」において、水素ステーションにかかるコスト（設備費、運営費）低減等に向けた開発



3. 研究開発成果 添付資料番号一覧

テーマ名	資料番号	事業者名
本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発	1-(1)	一般財団法人石油エネルギー技術センター
新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	1-(2)-①	一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人九州大学、一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社、愛知製鋼株式会社、株式会社日本製鋼所
連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発	1-(2)-②	JFEスチール株式会社
中空試験片高圧水素中材料試験法規格化のための研究開発	1-(2)-③	国立研究開発法人物質・材料研究機構
水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発	2-(1)	一般社団法人水素供給利用技術協会、ENEOS株式会社
水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発	2-(2)-①	JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社、千代田化工建設株式会社
複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発	2-(2)-②	一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人東京大学、株式会社日本製鋼所
長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発	2-(3)-①	一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人九州大学、一般財団法人化学物質評価研究機構、NOK株式会社、高石工業株式会社、日本ピラー工業株式会社、株式会社キッツ、株式会社フジキン、株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社
水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発	2-(3)-②	国立大学法人九州大学、一般社団法人日本ゴム工業会

3. 研究開発成果 添付資料番号一覧

テーマ名	資料番号	事業者名
本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発	2-(4)-①	ENEOS株式会社、株式会社本田技術研究所、トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会
超高圧水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究	2-(4)-②	ENEOS総研株式会社
新型高圧水素タンク用鋼材の可能性に関する調査研究	2-(4)-③	日鉄総研株式会社
電気化学式水素ポンプの開発・実証	2-(4)-④	株式会社加地テック、東レ株式会社
高強度低合金鋼を用いた新型高圧蓄圧器に関する研究開発	2-(4)-⑤	一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄株式会社
新型半導体メモリ方式による超低消費電力水素検知センサシステムの研究開発	2-(4)-⑥	ヌヴォンテクノロジージャパン株式会社
半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発	2-(4)-⑦	株式会社四国総合研究所
水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発	2-(4)-⑧	国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本重化学工業株式会社
HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム技術と充填技術に関する研究開発	2-(4)-⑨	国立研究開発法人産業技術総合研究所、岩谷産業株式会社、株式会社タツノ、トキコシステムソリューションズ株式会社、一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所
水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進と水素品質規格のための研究開発	3-①	一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人日本自動車研究所
燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発	3-②	一般財団法人日本自動車研究所
水素社会に係る国際関連機器等研究・政策動向に関する調査研究	3-③	株式会社大和総研

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／
国内規制適正化に関わる技術開発/
本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発」
(中間評価)

(2018年度～2020年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

一般財団法人石油エネルギー技術センター

2020年12月17日

0

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発テーマ毎の目標と達成状況

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	国内外法規制の整理と課題抽出、課題に対する対策と進め方の明確化	<ul style="list-style-type: none"> 法技術的な課題の抽出と整理 理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成 	○	
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	技術課題の整理、安全対策案の検討・立案	<ul style="list-style-type: none"> 従来RAでの人による安全対策の抽出 従業者等の平常時、緊急時の作業に関する課題整理 遠隔監視のための安全対策の立案 緊急時の対応策の立案 	○	
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成	<ul style="list-style-type: none"> 省令に資する技術基準案及び省令(一般則7条の4、製造細目告示、基本通達)制定に向けた対応 例示基準案 安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案 運営のガイドライン案 	△ (2020年末)	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	リスクアセスメント手法の構築	<ul style="list-style-type: none"> 検討方針策定 リスクシナリオ抽出結果 リスクアセスメントのガイドライン 	△ (2020年度末)	
b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーするSTモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> 二次元モデル (PFD、P&ID等) 三次元モデル 	○	
c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	安全対策の合理化案の提案	<ul style="list-style-type: none"> リスクアセスメント結果 合理的な安全対策 シビアアクシデント対応策 	△ (2020年度末)	
d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準 (省令・例示基準) の見直し案作成	<ul style="list-style-type: none"> 技術基準 (省令・例示基準) の見直し案 	△ (2020年度末)	
e) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	技術基準の見直し案作成	<ul style="list-style-type: none"> 検査・点検方法の見直し項目は無いとの結論 	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発テーマ毎の目標と達成状況

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容・役割の明確化	<ul style="list-style-type: none"> 専任ステーションの事業者、保安監督者、従業員の職務と保安体制を整理 	○	
b) 兼任した場合の保安体制等のモデル構築と課題抽出	兼任するための要件検討及びリスクアセスメントのためのモデル作成	<ul style="list-style-type: none"> 兼任スタンドモデル構築・課題抽出 	○	
c) 兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターを考慮した兼任要件に繋がるリスクアセスメントの実施	<ul style="list-style-type: none"> m-SHEL分析によるヒューマンファクターの検討や同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメントを実施 	○	
d) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案 (必要要件) の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	<ul style="list-style-type: none"> 兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業員の必要要件を抽出・整理 	○	
e) 保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	<ul style="list-style-type: none"> 危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案 基本通達制定に向けた対応 	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発テーマ毎の目標と達成状況

③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築	・検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築	○	
b) 充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化	・高圧ガス保安法での実施 ⇒保安距離確保が困難 ・ガス事業法での可能性を提案	△ (2020年度末)	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

(1) 達成状況

- a) 無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討
 - ・法技術的な課題の抽出と整理
 - ・理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成
- b) 無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案
 - ・従来RAでの人による安全対策の抽出と対応策の検討
 - ・従業者等の平常時、緊急時の作業に関する課題を整理
 - ・遠隔監視のための安全対策、緊急時の対応策の検討
- c) 無人運転実施のための技術基準案の策定
 - ・**省令に資する技術基準案作成**
及び省令(一般則7条の4、製造細目告示、基本通達)制定に向けた対応
 - ・例示基準案作成
 - ・**安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、・運営のガイドライン案作成**

(2) 成果の意義

- 顧客の利便性向上：有人と無人セルフの選択肢の拡大
- 事業者の運営コスト・建設コスト低減：遠隔監視所による複数のステーション管理の項か
⇒水素ステーションの普及、FCV市場拡大、水素社会の実現に寄与する

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発研究開発

(1) 達成状況

- a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築
 - ・適切な手法選択等の検討方針を策定
 - ・リスクシナリオを抽出
 - ・本研究のリスクアセス手法のガイドラインを作成
- b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築
 - ・多様な設備構成をカバーする水素ステーションモデル（二次元、三次元）を構築
- c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案
 - ・リスクアセスメント結果と合理的な安全対策
 - ・現行技術基準に追加すべき安全対策が無いことを確認
 - ・シビアアクシデント対応策
- d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し
 - ・技術基準（省令・例示基準）の見直し案
- e) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し
 - ※ リスクアセス結果から、検査・点検方法に関わる見直し項目は導出されず

(2) 成果の意義

- ステーション運営コスト・建設コストの低減に寄与
- 本研究のリスクアセスメント手法の他分野への適用

6

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

(1) 達成状況

- a) 現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出
 - ・専任ステーションの事業者、保安監督者、従業員の職務と保安体制の整理
- b) 兼任した場合の保安体制等のモデル構築と課題抽出
 - ・兼任スタンドの保安体制等のモデル構築・課題抽出
- c) 兼任した場合のリスクアセスメントの実施
 - ・m-SHEL分析によるヒューマンファクターの検討や
 - 同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメントの実施
- d) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討
 - ・兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業員の必要要件の抽出・整理
- e) 保安監督者の兼任のための技術基準案の作成
 - ・危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案の作成
 - ・基本通達制定に向けた対応

(2) 成果の意義

- 事業者の運営コスト低減：有資格者である保安監督者の人数を兼任により低減可能
 - ステーション普及の可能性拡大：人材確保が困難な有資格者である保安監督者の人数の抑制により、新規事業者の参入が容易に
- ⇒FCV市場拡大、水素社会の実現に寄与

7

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

(1) 達成状況

- a) 家庭用小規模充填設備のモデル構築
 - ・検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築
- b) 充填設備モデルに基づく法的課題抽出
 - ・高圧ガス保安法での実施⇒保安距離確保が困難
 - ・**ガス事業法での可能性を提案**

(2) 成果の意義

- FCV市場拡大：近隣に水素ステーションが無い場合も、FCV購入を可能に
 - ステーション建設拡大：これまでFCV台数が少ない地域でのFCV購入拡大によりステーション建設可能エリアが拡大
- ⇒水素社会の実現に寄与

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

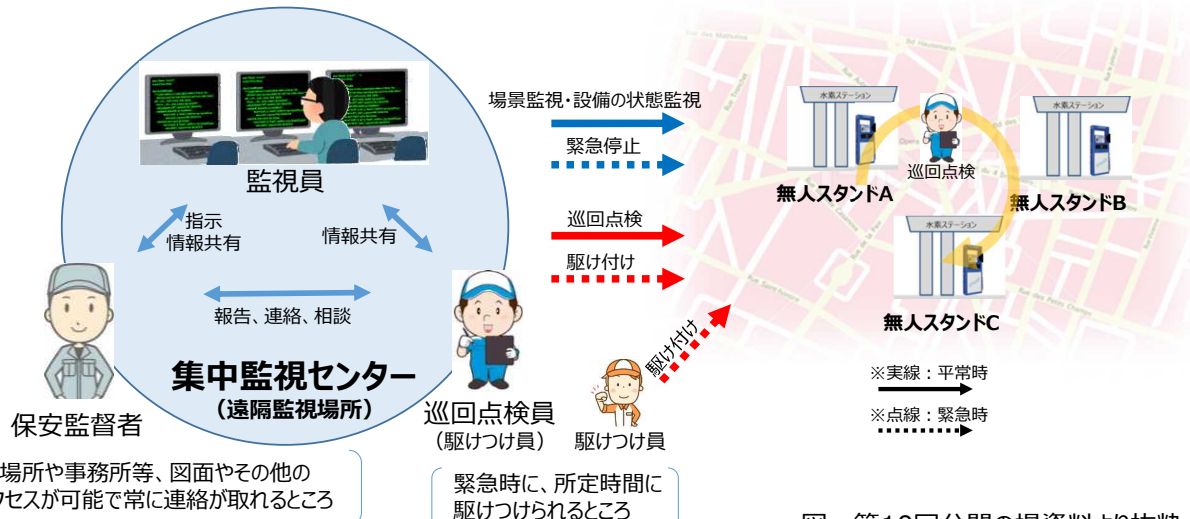
◆各個別テーマの成果と意義

①無人運転を実施するための研究開発

背景・検討の進め方

- ・水素ステーションの製造設備：現状でも無人運転可能
 - ・FCVへの水素充填等の高圧ガス製造：高圧ガス保安法のもとでは、保安監督者や従業員の常駐が必須
- ⇒無人運転ステーションの実現をめざし、水素ステーション保安と顧客の安全なセルフ充填の観点から「法技術的な検討」と「安全対策に係る検討」を行い、技術基準案を策定

遠隔監視による無人運転水素スタンドのイメージ



図：第10回公開の場資料より抜粋

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

①無人運転を実施するための研究開発

検討スキーム

遠隔監視型水素ステーション実現に向けて

法技術的な課題の抽出・整理

- ・法技術的な課題の抽出
- ・関連法規制の整理

技術的な課題の抽出・整理

- ・無人になること等で発生するリスクの抽出
- ・他分野法基準の無人運転対策の調査
- ・海外無人水素ステーションの事例調査など

遠隔監視型水素ステーション実現の為の法技術的な課題、技術的な課題の検討

技術基準案、自主基準案 等の策定

- ・技術基準案: 省令案(第7条の4)の作成検討
- ・自主基準案: 安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、遠隔監視水素スタンドのガイドライン案の策定

10

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

①無人運転を実施するための研究開発

海外の水素ステーションの事例調査 (米国カリフォルニア州)

水素スタンド運営事業者であるFirst Element Fuel、Shell、ITM Powerの3社にヒアリングを行うとともに、実際に11箇所の水素スタンドを視察

【視察した水素スタンド】

スタンド名	UC Irvine	Long Beach	Hollywood	Riverside
外観				
立地	街中	街中	街中	郊外
形態	単独型	コンビニ、GS併設	GS併設	GS、CNG・LPGスタンド併設

【調査結果の概要】

- ✓ カリフォルニア州においては、遠隔監視による無人運転の水素スタンドが一般的
- ✓ 巡回点検や緊急時対応の方法等、法規制に無人運転に係る規定は無く、保安確保についての具体策は事業者自らが定め、自主的に実施
 例：巡回点検や駆け付けを行う者への教育・研修を定期的を実施
 近隣消防と、緊急時対応の取り決めを行うとともに、スタンドの情報を事前に共有
- ✓ 遠隔監視による集中監視システムは水素インフラ全体の運営費低減に寄与

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

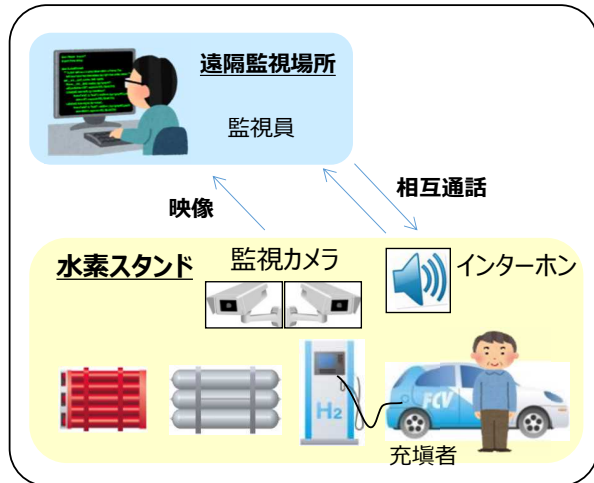
①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための必要要件の検討

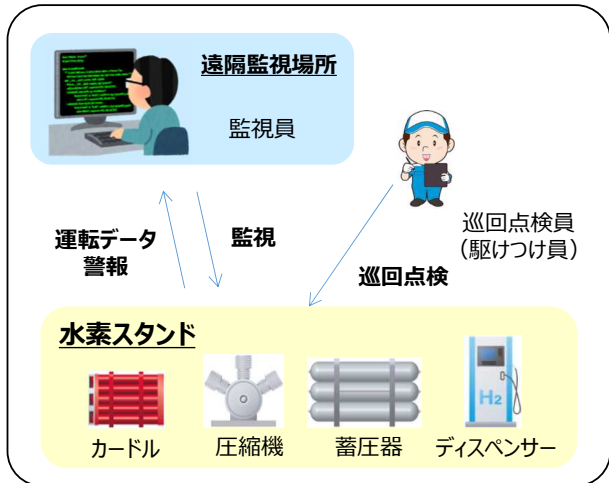
必要要件 1) 従業者不在でも十分な監視体制の確保等により保安を維持する対策

	ハード対策	ソフト対策
平常時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所でのスタンドの場景監視措置 設備の運転状況監視措置 	<ul style="list-style-type: none"> 保安監督者、遠隔監視員、巡回点検員、駆けつけ員による保安体制の確立
緊急時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所での警報、緊急停止措置 インターロック、停電・サイバー対策 	<ul style="list-style-type: none"> 同時発災も含めた、緊急時の保安体制、駆けつけ体制の確立

◇監視カメラによる場景監視



◇集中監視等による設備状態の把握



図：第10回公開の場資料より抜粋 12

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための必要要件の検討

必要要件 2) セルフ充填を可能にする追加的安全対策 ※赤字は、遠隔監視スタンド特有の安全対策



図：第10回公開の場資料より抜粋 13

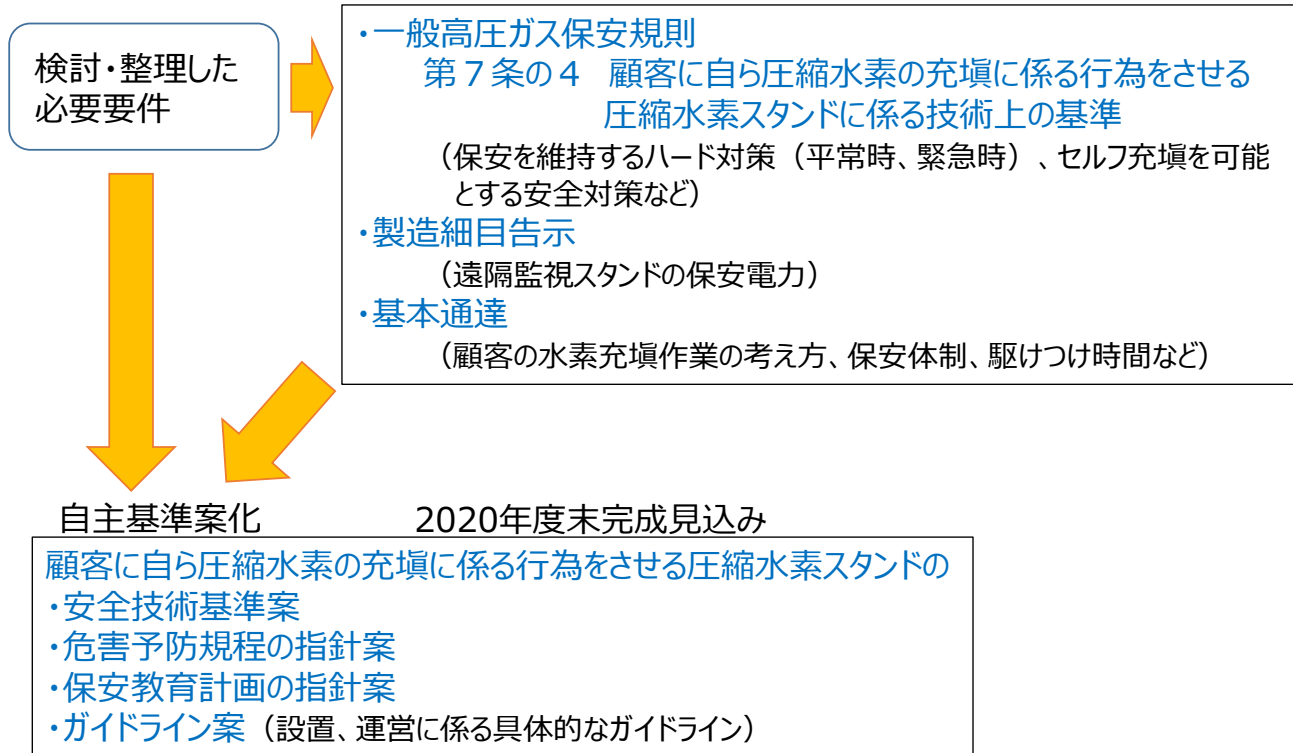
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための技術基準案の策定

省令に反映 2020年8月6日公布、8月7日施行



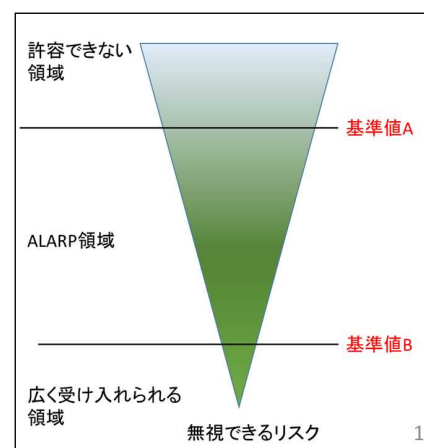
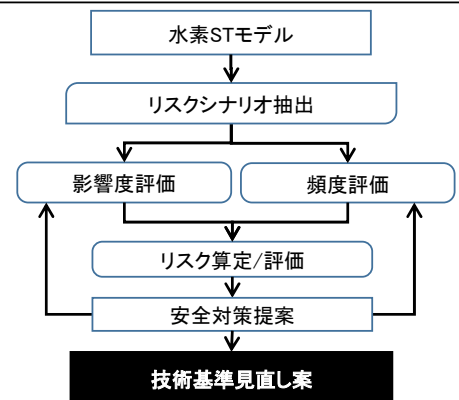
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築

- リスクシナリオの特性に応じたふたつの定量的リスクアセスメント手法の採用
 - ・ QRA(種々の事故原因のリスクの総括的評価)
 - ・ シナリオベース評価(個々の事故原因のリスクの個別評価)
- リスクシナリオ抽出
 - ・ HAZOP、FMEA、手順HAZOP
- 日本学術会議が推奨する工学システム安全目標(A基準)をリスククライテリアに設定
 - ・ 敷地外の人の死亡率 : $10^{-6}/\text{yr}$
 - * 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会, 工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 2017
- 本研究の手法を取りまとめたガイドラインの作成



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

本研究のリスクアセスメントのフレームワーク

	事故のトリガーによる リスクシナリオの分類	リスク分析手法			評価精度			対象となるリスクシナリオ
		リスクシナリオ 特定	頻度分析	影響度分析	頻度評価	影響度評価	リスク評価	
I 内的要因	内的要因に起因する事故 ・機器故障 ・機器故障の連鎖 ・設計不良、施工不良 ・ヒューマンエラー ・その他	HAZOP 作業HAZOP FMEA	漏洩頻度DB パーツカウン (狭義のQRA(TNO式))	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	漏洩頻度データにより頻度の定量化が可能であり、定量的な評価が可能ナリスク
	I a 機器故障の連鎖 ・遮断弁誤作動→圧力上昇→漏洩	FMEA	機器故障率DB ETA	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	故障率データによりリスクの定量化が精度よく可能であり、定量的な評価が可能ナリスク
	I b ヒューマンエラー ・誤操作 ・その他	作業HAZOP	ヒューマンエラー頻度DB ETA	数値解析	△ (精度 低)	○ (可能)	△ (精度 低)	頻度データの不確かさが大きい、リスクを相対評価可能ナリスク
II 外的要因	外的要因に起因する事故 ・近隣火災 ・内部火災 ・地震(外力の作用) ・車両誤発進 ・車両飛び込み 等	HAZOP What-if	類似事象の頻度データ ETA	数値解析	△ (精度 低)	○ (可能)	△ (精度 低)	頻度データの不確かさが大きい、リスクを相対評価可能ナリスク

[赤背景部分] QRAを適用 (種々の事故原因のリスクの総括的評価)

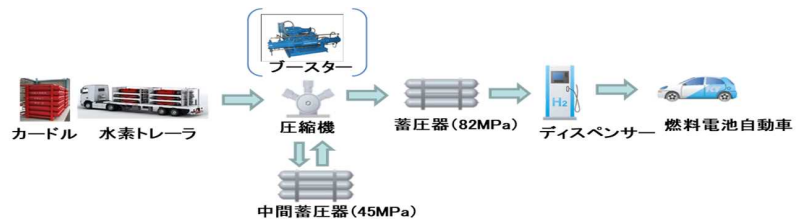
[青背景部分] シナリオベース評価を適用 (個々の事故原因のリスクの個別評価)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築

7条の3第2項による
都市型STの狭小モデル

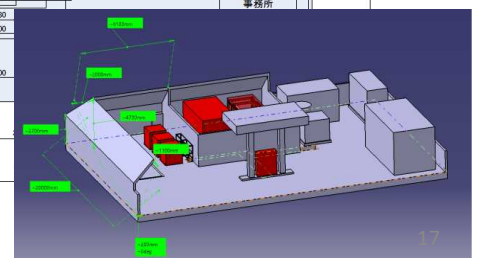
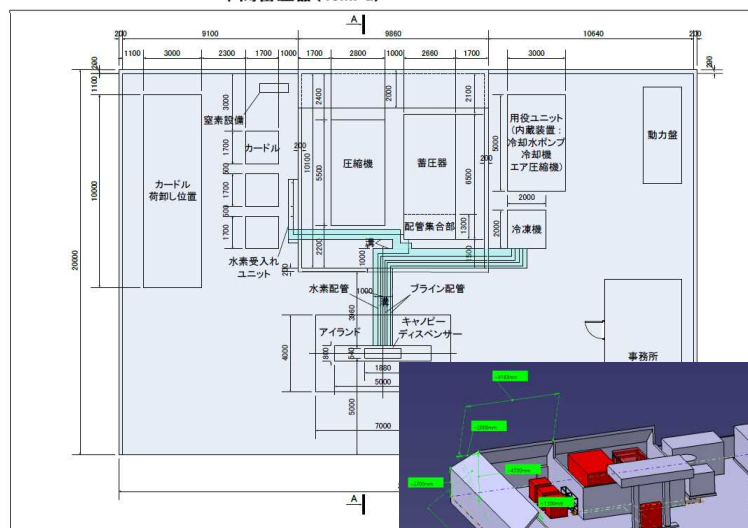


□ 図面類

- ・ PFD(プロセスフローダイアグラム)
- ・ P&ID
- ・ 平面配置図
- ・ 立面図
- ・ 三次元モデル

□ 資料

- ・ 設備構成の概要説明
- ・ 運転モードと機器動作シーケンス
- ・ 異常時の機器動作シーケンス
- ・ オペレーションマニュアル(水素カードル/水素トレーラの脱着作業)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

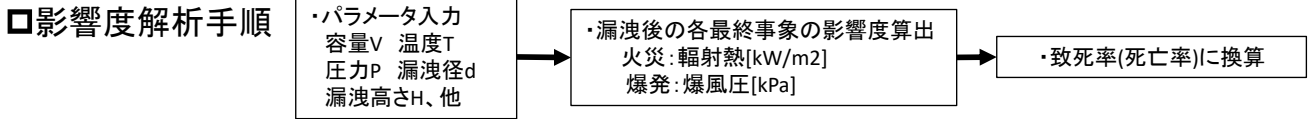
◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案

QRAによるリスク算定方法

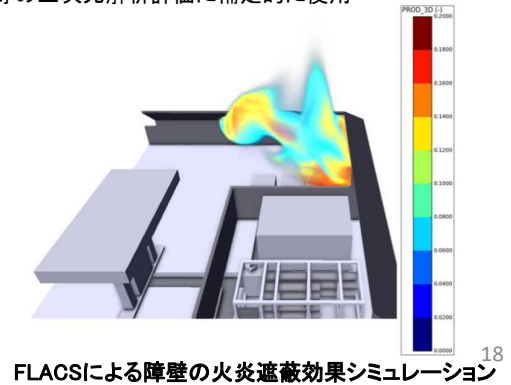
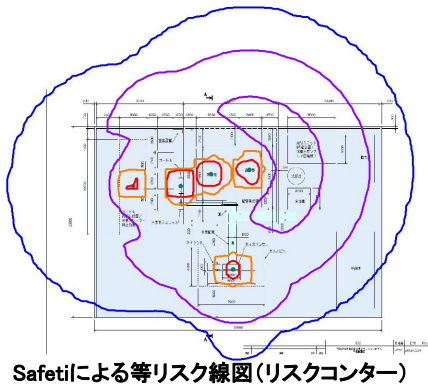
QRA: プラントシステム等に対する一連のシステムティックなリスク定量化方法。
構成機器毎の漏洩頻度データベースを元に、種々の事故原因のリスクを総括的に評価。

□漏洩頻度データ : 米国Sandia report(2017)の水素ST設備の漏洩頻度DBに準拠



□解析ソフトウェア(二次元): DNV社 PHAST-Safeti ver 8.11 ※二次元解析のため、障壁効果は評価できない

(三次元): GexCon社 FLACS ※障壁効果等の三次元解析評価に補足的に使用



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

シナリオベース評価によるリスク算定方法

QRAでは、

- 種々の事故原因のリスクを総括的に評価可能
- 一方で、個別の事故原因に着目したリスクや安全対策効果の評価は困難

そこで、水素ステーション特有の事故原因については、リスクシナリオ単位で個別に評価実施

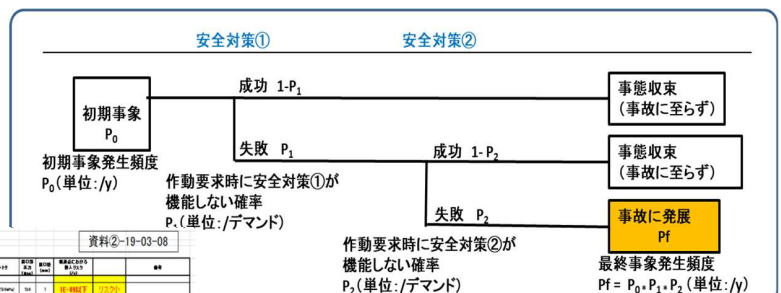
□評価対象の事故原因 : 機器故障、ヒューマンファクター(操作ミス等)、外乱(火災)、天災(地震等)

□リスクシナリオ毎のイベントツリー分析を実施し、漏洩頻度を算出

元データ : 国内原発の機器故障率DB(JANSI-CFR-02)、北海油田プラットフォームの機器故障率DB(OREDA2015)、国内原発のヒューマンファクターDB、その他

ETA(イベントツリー分析)

- 影響度評価とリスク算定
- 上記漏洩頻度算出結果を用い、PHAST-Safetiで影響度とリスクを算定
 - 結果を一覧表に整理(全64シナリオ)



ヒューマンファクター、外乱・地震シナリオ評価一覧表

資料②-19-03-08

シナリオID	シナリオ名	初期事象発生頻度 P_0	安全対策①機能しない確率 P_1	安全対策②機能しない確率 P_2	最終事象発生頻度 P_f	リスク
01	ヒューマンファクター(操作ミス)	1.0E-02	0.0000	0.0000	1.0E-02	1.0E-02
02	外乱(火災)	1.0E-03	0.0000	0.0000	1.0E-03	1.0E-03
03	外乱(地震)	1.0E-04	0.0000	0.0000	1.0E-04	1.0E-04
04	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
05	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
06	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
07	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
08	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
09	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
10	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
11	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
12	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
13	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
14	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
15	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
16	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
17	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
18	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
19	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
20	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
21	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
22	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
23	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
24	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
25	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
26	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
27	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
28	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
29	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
30	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
31	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
32	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
33	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
34	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
35	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
36	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
37	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
38	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
39	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
40	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
41	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
42	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
43	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
44	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
45	機器故障(流量制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
46	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
47	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
48	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
49	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
50	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
51	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
52	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
53	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
54	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
55	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
56	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
57	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
58	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
59	機器故障(温度センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
60	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
61	機器故障(圧力制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
62	機器故障(温度制御)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
63	機器故障(流量センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05
64	機器故障(圧力センサー)	1.0E-05	0.0000	0.0000	1.0E-05	1.0E-05

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

QRA & シナリオベース評価 によるリスク評価結果

- [QRA] 敷地境界上の水素ステーションのリスクは、 10^{-6} /year以下であることを確認
 - ディスペンサー側の公道境界上(ディスペンサーから5m地点)のリスクは、 10^{-6} /year以下と算出された。
 - 設備側敷地境界上のリスクは、二次元評価(PHAST-Safeti)では 10^{-6} /yearを上回るが、境界線上の障壁により敷地外への影響は十分低減されることが三次元評価(FLACS)で確認された。
- [シナリオベース] 全リスクシナリオのリスク(敷地境界上の死亡リスク)が 10^{-6} /year以下であることを確認



- 現行技術基準(省令・例示基準)に対し、新たに追加すべき安全対策は無し
- 現行技術基準に規定される安全対策のリスク低減効果を評価
 - ⇒ 以下の4項目について、リスクを増大させることなく簡素化が可能
 - 蓄圧器出口遮断弁二重化 → 配置の合理化
 - 過流防止弁の配置 → 配置の合理化
 - 過流防止弁の代替安全対策 → オリフィスで代替
 - 圧カリリース弁設置条件の見直し → 圧カリリース弁を省略できる条件提示

20

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し

項目	対象基準	要点	見直し提案内容
遮断弁二重化に関する配置の合理化	例示基準 19の2	緊急遮断装置のうち一つは蓄圧器から圧縮水素を送り出す集合配管に設置することが可能	例示基準に当該配置図を追加記載
過流防止弁の配置の合理化	例示基準 59の5	ディスペンサーに供給する配管に過流防止弁を設置することが可能(蓄圧器フレーム内)	左記を例示基準に追記
過流防止弁代替安全対策(オリフィス)	例示基準 59の5	過流防止弁の代替としてディスペンサー出口の最大流量(ホース破断時)を60g/sec以下となる措置(オリフィス等)を可能	左記を例示基準に追記
圧カリリース弁設置条件の見直し	一般則 7条の3 2項10号	蓄圧器配管の安全装置が揚程式パネ式安全弁で吹き出し量が一定以下の場合、圧カリリース弁は不要とする	安全弁に仕様条件を提示し、安全弁の放出口が上向きの場合とする



省令・例示基準の改正の実現により、水素ステーション建設コスト・運営コストの低減に寄与することができる

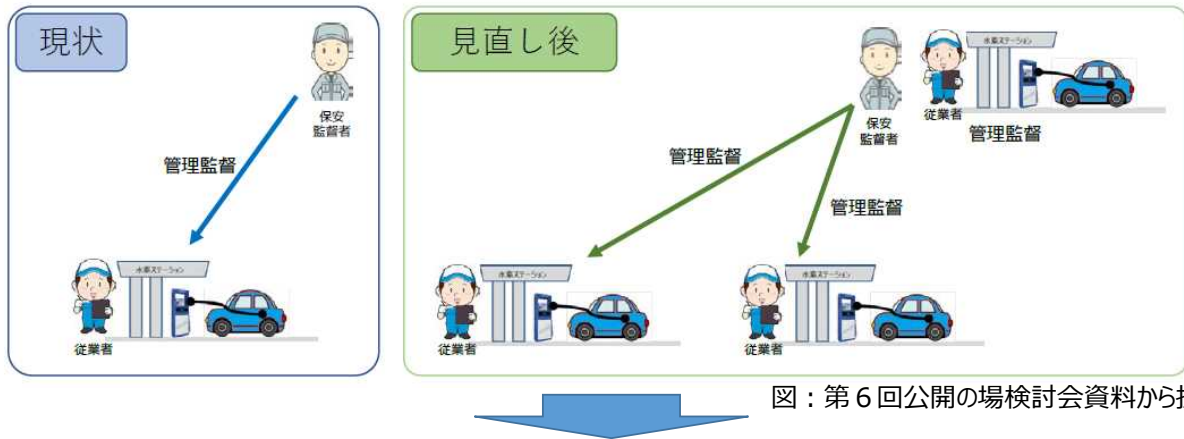
21

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

背景・検討の進め方

「平常時・緊急時に保安監督者が職務を全うできるか」
 「仮に複数の水素スタンドが同時に発災した場合、従業者を含め適切な対応が取れるか」
 に関し、現状において十分に検証されていないことから、実態として兼任が実施されていない。
 (METI第11回公開の場検討会 高圧ガス保安室提示)



図：第6回公開の場検討会資料から抜粋

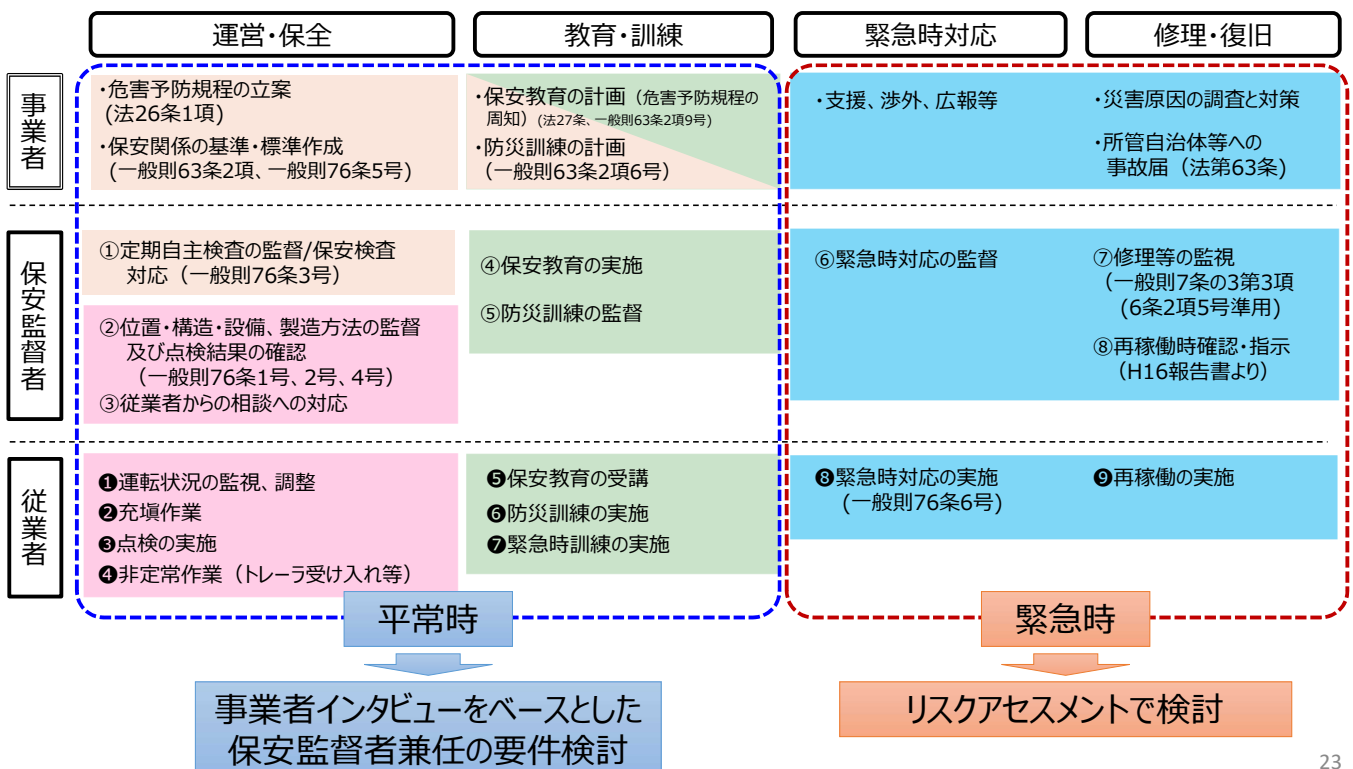
平常時、緊急時の事業者、保安監督者、従業者の職務を整理し、兼任の要件を検討

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

現状スタンドにおける職務整理

■ : 建設時に行うこと ■ : 定期的に行うこと ■ : 日常的に行うこと ■ : 緊急時対応以降に行うこと



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

保安監督者が複数スタンドを兼任するための必要要件

インタビューの結果から得られた要件

リスクアセスメント検討結果から得られた要件

事業者がやるべきこと(必要要件)を明確化

現状の保安体制の要件

兼任後の保安体制の要件

兼任のための必要要件

同時発災訓練の実施+立地条件

「事業者のサポート体制・バックアップ体制」の強化

準保安監督者(資格不要)の配置(常駐)
要件: 圧縮水素製造経験1年以上又はそれと同等の能力。ST設備構成・運転熟知。要領に従い適切に職務を遂行(平常時、緊急時)。(経験の浅い従業者と区別)

兼任のための追加要件: 監督経験6ヶ月以上。設備構成把握。従業者を指揮できる能力。週1回以上の巡視、異常時は24時間以内にスタンドへ駆けつけ。

凡例:

- 全体
- 事業者
- 従業者
- 保安監督者
- 設備

保安監督者(免状保持+製造経験)

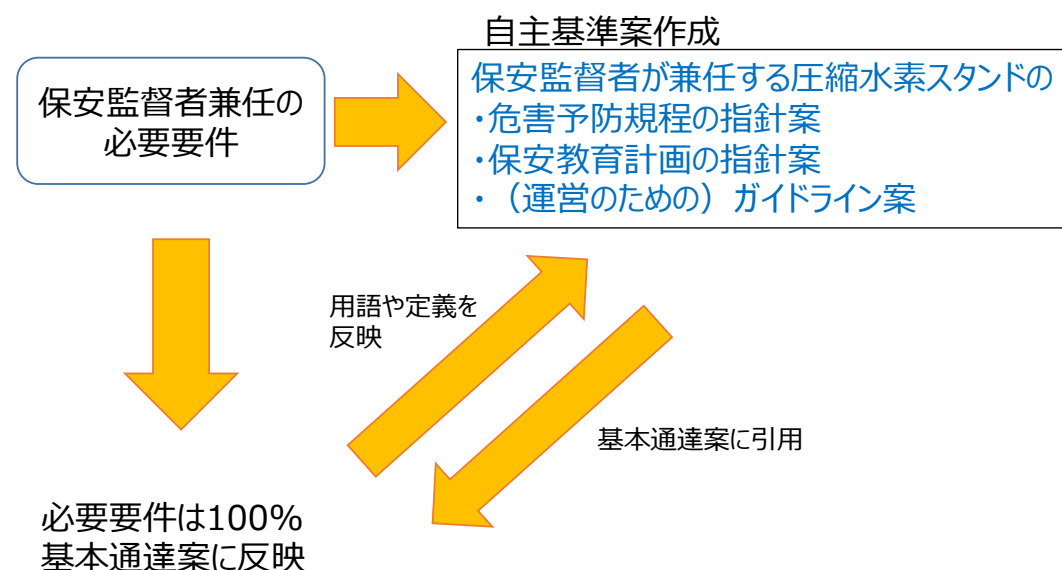
ヒューマンファクタを排除した安全な設備

⇒上記の兼任後の保安体制を各事業者が確実に満たすため、保安監督者が兼任する圧縮水素スタンドの**危害予防規程の指針、保安教育計画の指針、(運営のための)ガイドライン**を業界が作成

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

保安監督者が複数スタンドを兼任するための技術基準案



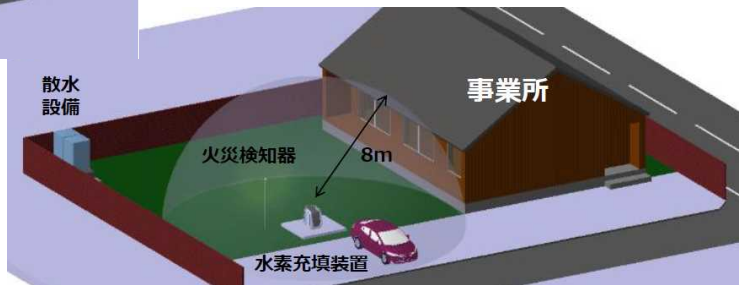
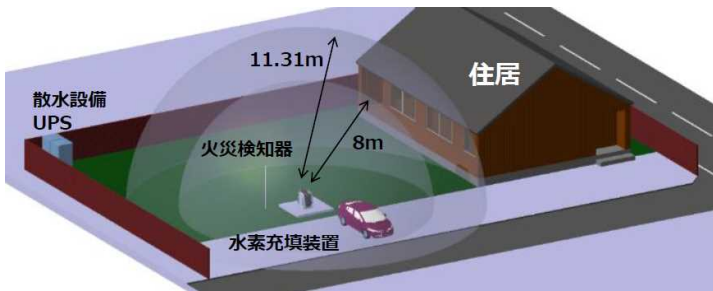
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

背景・検討の進め方

- ・一般則において、一般家庭等におけるFCVへの水素充填を想定した基準は十分に整備されておらず、一般家庭のように事業者が存在しない運用形態における法技術的課題を明確にする必要がある。
- ・家庭用水素充填設備に関するモデルの調査を実施し、一般家庭等における水素充填に関する法的課題を抽出、明確化する。

高圧ガス保安法のもとでの検討



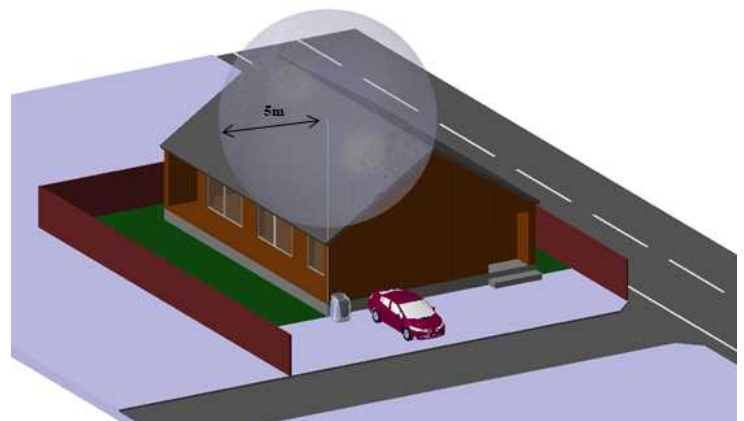
- ・高圧ガス保安法に基づくと、保安距離を大きく確保する必要があり、現実的ではない

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

ガス事業法のもとでの検討

CNG小型充填装置



- ・場所：東京ガス株式会社浜松町本社1F
- ・吐出圧：19.6MPa
- ・吸込み圧：1.96kPa
(都市ガスパイプラインより供給)
- ・流量：8m³/h(50Hz)
- ・電源：3相200V
- ・適用法規：ガス事業法（昇圧供給装置）

- ・ガス事業法に基づいた場合は、一般家庭に設置できる可能性あり

◆成果の普及

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文			1	1
研究発表・講演		2	2	4
JPECフォーラム、JPECレポート		2	4	6
計		4	7	11

※2020年10月9日現在

- 本テーマの成果は、規制当局により、省令、例示基準、基本通達等の
かたちで規程化され、事業者は、そのビジネスモデルを実行することが可能
- 本テーマの成果は、JPECが自主基準化し、規程の内容を解説することで、
事業者にとって、使い易いものとしていく
- これらの自主基準はJPECのホームページから閲覧可能

◆知的財産権の確保に向けた取組

知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本テーマの成果は、省令化や例示基準化、自主基準化に繋げ、
広く事業者にも使用してもらいものなので、特許出願等を行わない

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトの目的は、各テーマのミッションに対応した技術基準案を作成し、それらが省令等に反映されることで、水素スタンドの普及につなげることを踏まえ、「実用化」の考えは以下

- 本テーマの成果をもとに、規制当局が、新たな省令制定、省令や例示基準の改訂および基本通達を制定
⇒ 事業者は、そのビジネスモデルを実行可能に（普及の第一歩）
- 本テーマの成果を、JPECが自主基準化（省令等を分かり易く具体的に解説）
⇒ 実行を考える事業者の一助として活用可能（普及の加速）
- JPECは研究開発や自主基準化の経験
⇒ 事業者の実行時に事業者をサポート・バックアップ可能（普及の加速）

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し （2）成果の実用化に向けた具体的取組

◆実用化に向けた具体的取組

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	平成2023年度～2025年度～2030年度	
水素・燃料電池戦略ロードマップ	ST:160か所 FCV:4万台					ST:320か所 FCV:20万台	ST:900か所 FCV:80万台
①無人運転を実施するための研究開発	7条の4制定に資する技術基準案（省令案）策定		中間評価	7条の4第1項STの設備構成の見直し 保安監督者兼任の遠隔監視STの法整備対応		◇水素ステーションの多様化 ・遠隔監視水素ST ・保安監督者兼任水素ST ・保安監督者が兼任する遠隔監視ST ・保安監督者による出荷設備併設水素ST ・家庭・小規模水素充填設備 …… ◇設備の簡素化 ・建設費・運営費（保安検査等）低減 ・充填バンク数低減ST …… ⇒水素ステーションの普及と自立化、FCV市場拡大、水素社会の実現	
②リスクアセスメント（RA）の再実施に基づく設備構成に関する研究開発	7条の3第2項の安全設備に関する技術基準見直し案（省令案・例示基準案）策定						
③(1)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	【基本通達】制定に資する技術基準案策定						
③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出	高圧ガス保安法とガス事業法における法的課題抽出						
③その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目	-----			・出荷設備に係る保安統括者等の専任の緩和 ・常用圧上限緩和			最終目標

以上

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／ 国内規制適正化に関わる技術開発／ 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発

(2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

- 一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)
- 高压ガス保安協会 (KHK)
- 国立大学法人九州大学
- 一般財団法人金属系材料研究開発センター (JRCM)
- 日本製鉄株式会社
- (共同実施) 日鉄ステンレス株式会社
- (再委託) 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)
- 愛知製鋼株式会社
- 株式会社日本製鋼所 (JSW)

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> ・伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立 ・低温水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の範囲を拡大 ・一般則例示基準の規制内容の見直しに寄与 	○	
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	<ul style="list-style-type: none"> ・例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方を確立 ・上記の考え方に基づき使用条件を明確化 ・許容引張応力の設定に向けたデータ取得 	○	

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	・高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件の明確化 ・水素適合性の判断基準として必要な検討項目を明確化	○	
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータ取得により水素圧縮機への適用可否を判断する。	・高温での使用を想定した実験手法の確立 ・各種評価試験完了 ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了見込み	◎ (2022年度分前倒し達成)	

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

個別研究開発項目の達成状況

①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発
新たな水素適合性の判断基準を確立し、低温高圧水素環境で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の材料範囲を拡大できることを示した。上記の結果は一般則例示基準9.2の規制見直しに寄与するものとなった。一般申請で使用できる材料の範囲が拡大されることで、水素インフラ事業者での低コスト材料の使用の選択肢を提供できることとなった。

②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発
ステンレス鋼の冷間加工による水素適合性への影響について検討し、水素ステーションで使用できる条件が明確化された。許容引張応力等について引き続き検討していくことにより基準化に資する資料化を進め、高圧水素用途における冷間加工材の使用の簡便化を図る。

③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発
技術指針作成に必要な検討項目を明確化した。水素適合性等の更なる検討を行い技術指針化を進め、高圧水素用途における汎用ステンレス鋼の溶接材の信頼性向上を図る。

④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発
圧縮機の動作状況を模擬した高温・高圧での水素ガスチャージを行う評価手法を確立し、材料評価を実施した。高温使用に対する適切な判断基準を盛り込んだ技術文書改訂が完了の見込みであり、コスト・加工性に優れた汎用低合金鋼の使用範囲を拡大させる。

◆各個別テーマの成果と意義

開発項目①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

成果：伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立した。

新たな水素適合性判断基準案に基づく使用可能な汎用ステンレス鋼の拡大範囲を提案した。

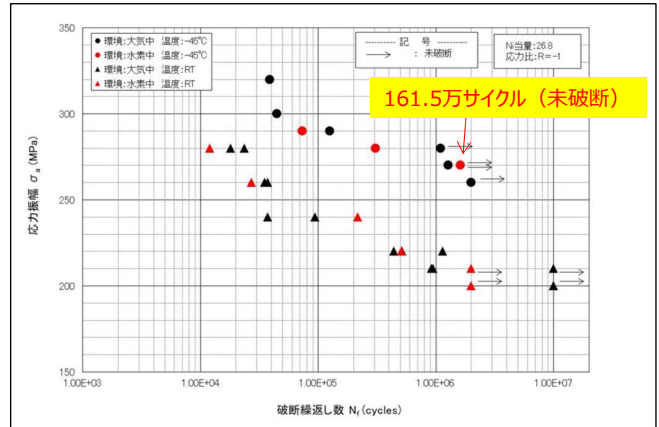
意義：市中材のステンレス鋼が水素ステーションに使用可能になれば建設コストの低減につながる。

◎新たな水素適合性についての基本的な考え方

要件：高圧水素ガス環境下における「延性」と「強度」の確保

1. 強度の確保
 - SSRTの応力-ひずみ線図において最大荷重点を超過 (RTS=1)
2. 延性の確保
 - 伸びの実測値×REL (相対伸び比) ≥ 伸びの規格値
3. 疲労特性の確保
 - 大気中と比較して、水中で疲労限度が低下しない (右図参照)

◎範囲拡大した汎用ステンレス鋼の低温高圧水素ガス環境下における疲労の確認



SUS316L (Ni当量26.8%) の疲労試験結果

「絞り」に代わり「伸び」を指標とすべく、安全性やデータの検証を行い、「伸び」を指標とする新たな水素特性判断基準を作成した。

この検討結果に基づき、使用可能な汎用ステンレス鋼の拡大範囲を提案し、一般則例示基準の改正に向けた手続が開始された。

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 (60%) に対し 75%以上	材料規格の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

現行の一般則例示基準における材料使用可能範囲

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格の通り	材料規格の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

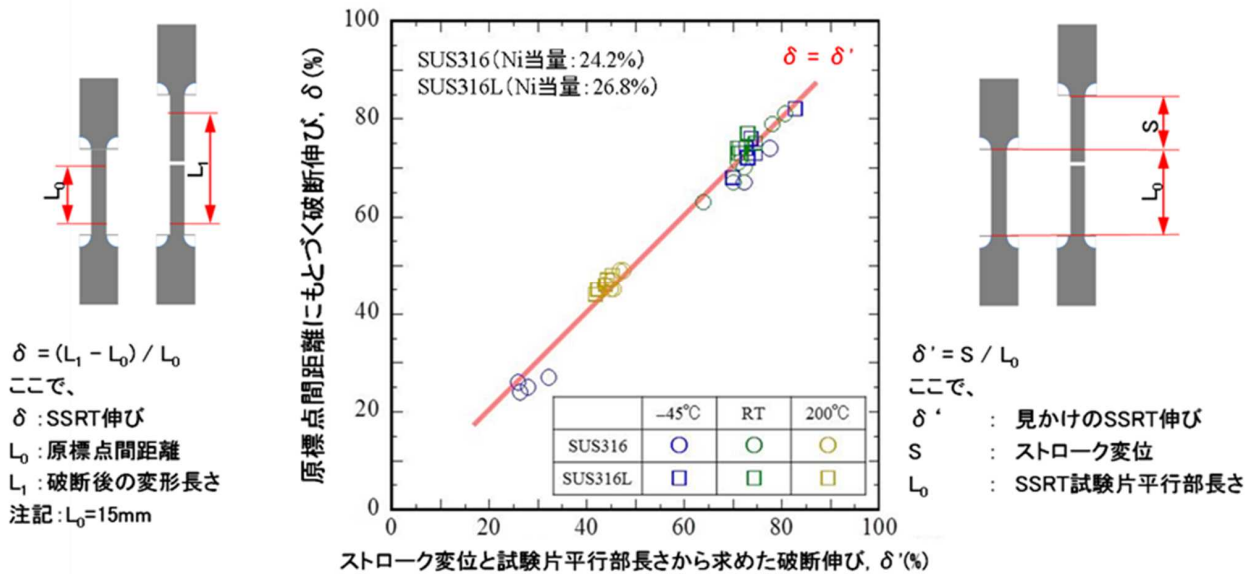
温度範囲	材料形状	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	棒	57%以上	26.9%以上
	管	50%以上	
	鍛鋼	42%以上	

新たな水素特性判断基準に基づく材料使用可能範囲

注：Ni当量 (質量%)

$$= 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$

九州大学における高圧水素環境での試験例



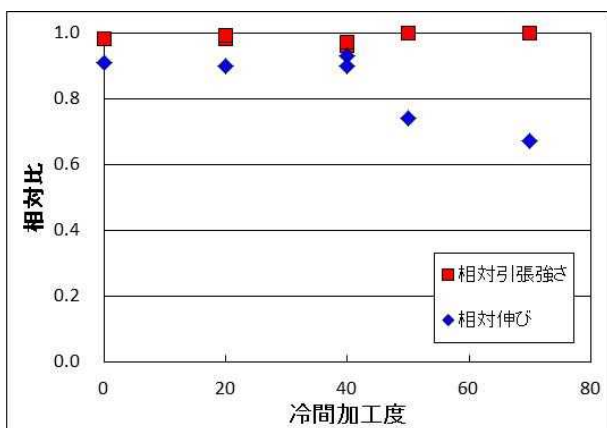
原標点間距離にもとづく破断伸びとストローク変位と試験片平行部長さから求めた破断伸びの間には、良い一致が認められた。

破断伸びの測定手法などの実験パラメータに関する測定結果への影響を精査することによって、新たな水素特性判断基準の検討において過去の文献等、幅広いデータの活用を図れることとなった。

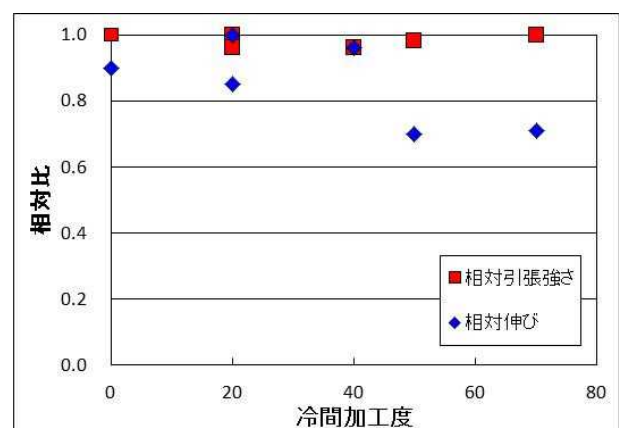
開発項目②SUS316/SUS316Lステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

成果：室温・低温のいずれの高圧水素ガス中においても、Ni当量が26.6%と28.6%のSUS316/SUS316Lステンレス鋼のSSRT特性の低下量は限定的であった。また、室温において、Ni当量および冷間加工度によらず、水素の影響による疲労限度の低下は認められなかった。これらの結果から、同鋼の冷間加工材を高圧ガス中で安全に使用できる可能性が示された。

意義：市中材のステンレス鋼の冷間加工材が水素ステーションに使用できれば建設コストの低減につながる。



SUS316L冷間加工材 (Ni当量28.6%) の低温SSRT結果



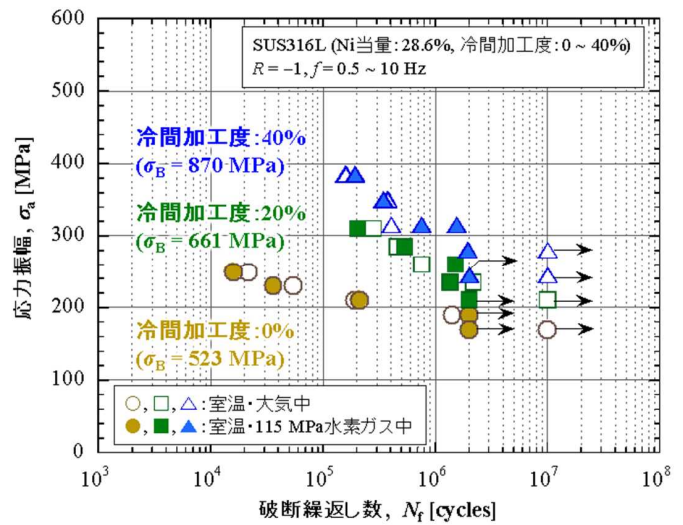
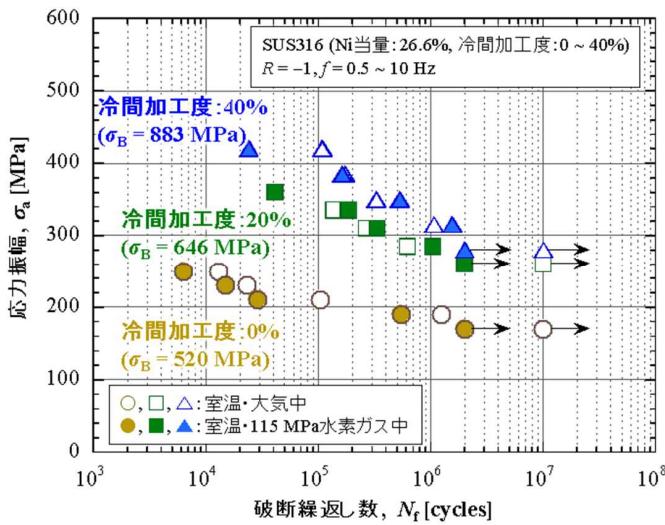
SUS316冷間加工材 (Ni当量26.6%) の低温SSRT結果

冷間加工度が相対比に与える影響について検討。

伸び、強度に関する相対比は冷間加工度40%までは加工前と同等の数値を示した。

例示基準化されたSUS316系ステンレス鋼の加工については冷間加工度40%までは十分な水素適合性を保つと判断される。

室温・高圧水素ガス中での疲労寿命特性に及ぼす冷間加工度の影響



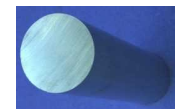
SUS316/SUS316Lステンレス鋼冷間加工材の疲労寿命特性では、0~40%の冷間加工度によらず、大気中と水素ガス中の疲労限度は同等であった。

開発項目②SUS305ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

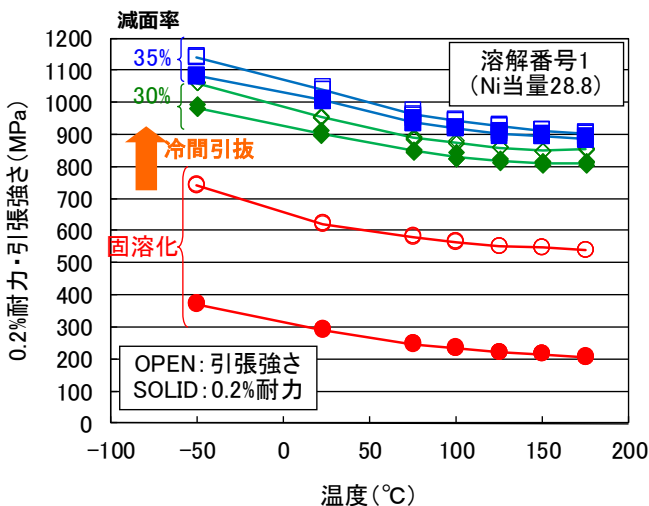
成果：SUS305 (Ni当量：26.0~28.8の4水準) の冷間引抜材 (減面率：30%, 35%の2水準) および固溶化熱処理材において、許容引張応力設定に関する材料特性評価として、-50℃~175℃における機械的性質データを取得した。また、高圧水素中SSRTを順次実施し、水素適合性の検証を進めている。

意義：現行のSUH660に匹敵する高強度を有し、SUH660よりNi, Mo等のレアメタル含有量が少なく省資源であり、切削性にも優れたSUS305引抜材に代替することにより、水素ステーション機器において低コスト化を図る。

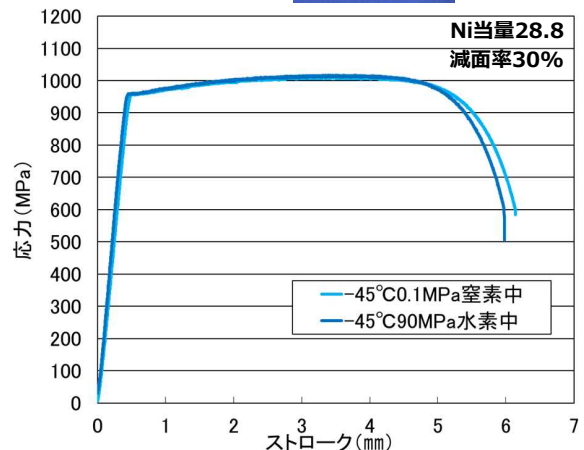
安価な素材への置き換えにより建設コストの低減につながる。



丸棒鋼



許容引張応力設定に関する材料特性評価結果の例



水素適合性検証結果の例

開発項目③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

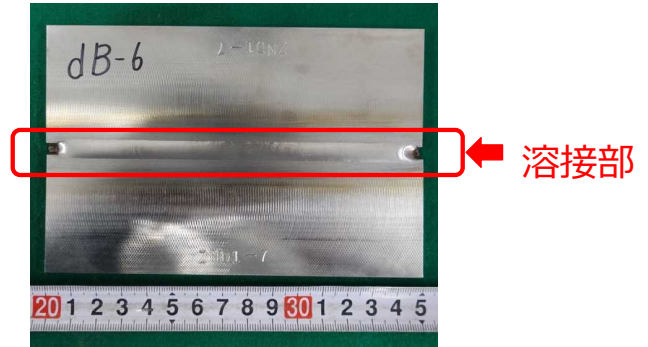
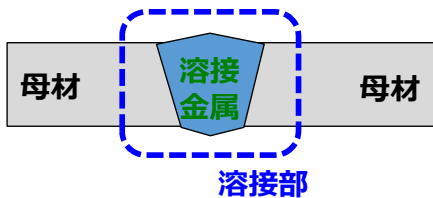
成果：Ni当量を制御したSUS316L等の汎用ステンレス素材(母材)を製造し、水素適合性を評価した。

上記素材を溶接する際に使用する汎用ステンレス溶接材料を選定し、バタリング溶接によって溶接金属を製造した。各溶接材料に対応する溶接金属の水素適合性を評価した。

上記素材と溶接材料を組み合わせた溶接継手(溶接部)を作製し、機械特性を評価した。

意義：溶接施工者は、溶接継手の水素適合性を評価し、社内データとして保有しているが、As Weld(溶接まま)では水素適合性要件を満足しない懸念があるため、溶接後に高温での固溶化熱処理を実施している。

→ As Weldにおける水素適合性が検証されれば、溶接後の熱処理工程を省略することが可能となる。



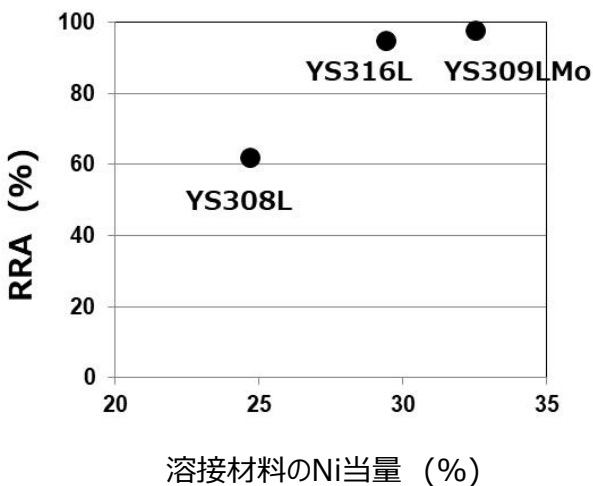
溶接継手試験片の外観写真

- 溶接継手は、①母材，②溶接金属，③溶接部からなり、これら全ての水素適合性を検証する必要がある。
- 母材と最適な溶接金属の組合せにより溶接継手を製作し、水素適合性を評価する。

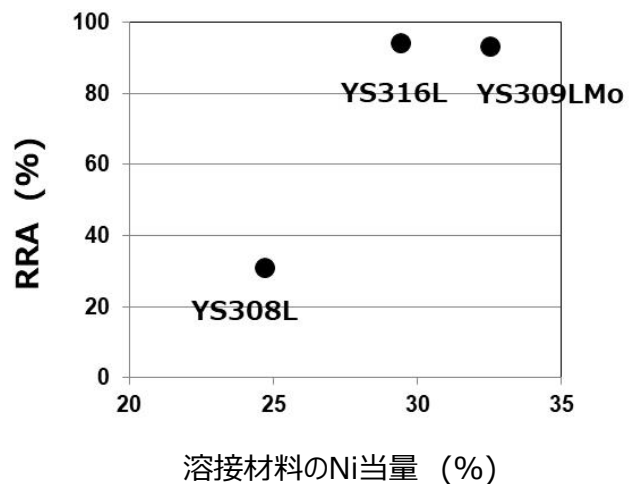
成果：母材及び溶接金属の水素適合性評価

- ・ 汎用ステンレス溶接材料を用いた溶接金属の水素適合性はNi当量と相関があった。
- ・ $-40^{\circ}\text{C} \times 70\text{MPa}$ 水素環境下では、少なくともNi当量 $\geq 28.5\%$ を有する溶接材料が望ましい。

(a) RT \times 90MPa水素



(b) $-40^{\circ}\text{C} \times 70\text{MPa}$ 水素



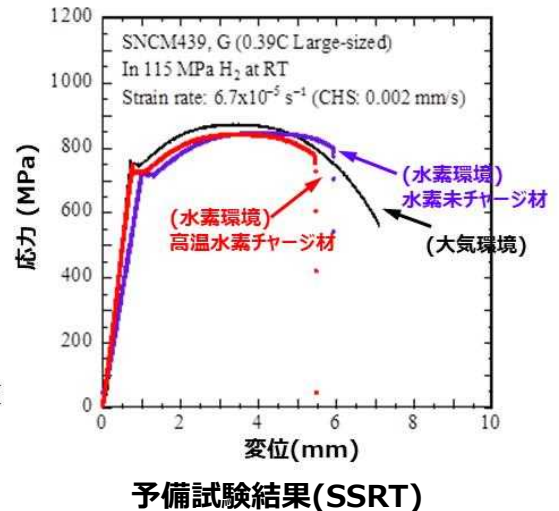
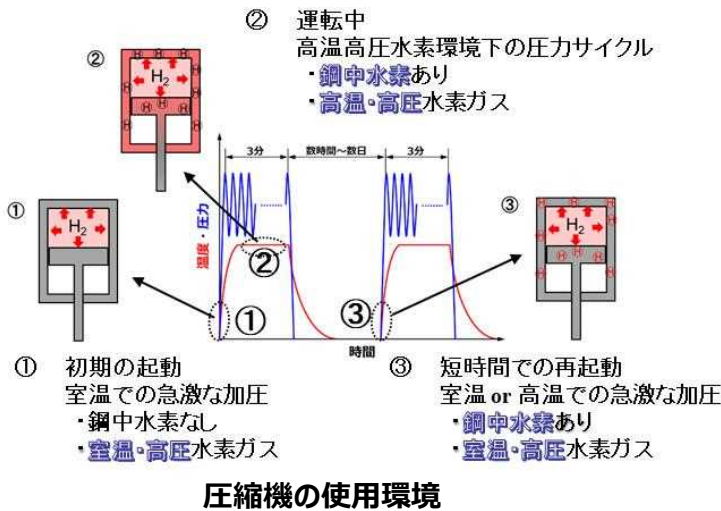
溶接金属の水素適合性評価

◆各個別テーマの成果と意義

開発項目④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

成果：圧縮機の稼働中には200℃程度の高温となるため鋼中に水素が侵入し、特性に悪影響を及ぼす懸念があることから、200℃の高圧水素ガス中や低合金鋼中に水素がチャージされた状態での高圧水素ガス中SSRTを実施し、顕著な劣化が認められないことを確認した。

意義：水素圧縮機のために多用されているSUH660は加工が困難であり材料価格も高価であることから、高強度低合金鋼を活用することにより加工費や素材費で低コスト化が期待される。また、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)に、高温使用に対する適切な判断基準を盛り込み、安全使用に必要な要件を明示する。



◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	新たな水素特性判断基準の確立により汎用ステンレス鋼の使用可能範囲を拡大	新たな水素特性判断基準及びそれを満たす汎用ステンレス鋼を提示し、基準化に資する資料を作成	適材適所の利用を含めたさらなる使用可能範囲の拡大に向けた基準化に資する資料を作成
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	冷間加工材の使用可能な条件を明確化 許容引張応力の設定検討中	評価結果に基づく許容引張応力を検討し、基準化に資する資料を作成	許容引張応力、大型化、疲労限度への影響等を検討し基準化に資する資料を作成
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件を明確化 技術指針作成に必要な検討項目を明確化	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性の測定結果に基づき技術指針を作成	水素適合性試験を継続し、検討項目について見極めることにより技術指針を作成
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	低合金鋼技術文書を年度内に改訂見込み	検討結果に基づき低合金鋼技術文書を改訂	2020年度に実施完了見込み

◆成果の普及

対外発表件数は以下のとおり。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	12	6	1	19
新聞・雑誌等への掲載	6			6

※2020年9月30日現在

◆成果の普及

紙面等への発表：6件

年月	発表先	題目	発表者
2018年 11月	エネルギー総合工学研究所「エネルギー総合工学」	水素スタンドで使用される材料の選定について	KHK
2018年 12月	高圧ガス誌	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	KHK
2018年 7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	九州大学
2018年 7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	九州大学
2018年 7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	九州大学
2018年 11月	JRCM NEWS No.385	NEDO事業「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(平成25～29年度実施)の成果概要	JRCM

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

口頭発表：19件

年月	発表先	題目	発表者
2018年12月	溶接接合工学振興会H30年度セミナー	水素インフラの現状と将来展望	JPEC
2019年2月	第8回次世代ものづくり基盤技術産業展「TECH Biz EXPO 2019」	水素ステーションで使用する鋼材の規制と今後の展開	JPEC
2019年2月	FCCJ燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	JPEC
2019年5月	JPECフォーラム	新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	JPEC
2019年9月	水素貯蔵技術WG第1回セミナー		JPEC
2019年12月	水素貯蔵技術WG第2回セミナー		JPEC
2020年1月	九州水素・燃料電池フォーラム&水素先端世界フォーラム2020	水素ステーションで使用する金属材料の規制見直しと今後の方向性	JPEC
2020年5月	JPECフォーラム	新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	JPEC
2018年12月	KHK水素保安セミナー	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	KHK
2019年12月	KHK水素保安セミナー	水素スタンド設備に使用するオーステナイト系ステンレス鋼の選定基準	KHK
2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	九州大学

16

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

口頭発表（続き）

年月	発表先	題目	発表者
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス環境中における材料強度試験	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼の強度特性	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼溶接金属317LのSSRT特性	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	オーステナイト系ステンレス鋼突合せ溶接継手の疲労強度特性に及ぼす内部水素の影響	九州大学
2018年11月	International workshop on standards and codes for hydrogen infrastructure safety Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)	Recent activities for hydrogen compatibility of materials used in hydrogen station in Japan	九州大学
2019年12月	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第2回セミナー	愛知製鋼における高圧水素用ステンレス鋼の開発取り組み	愛知製鋼

17

◆知的財産権の確保に向けた取組

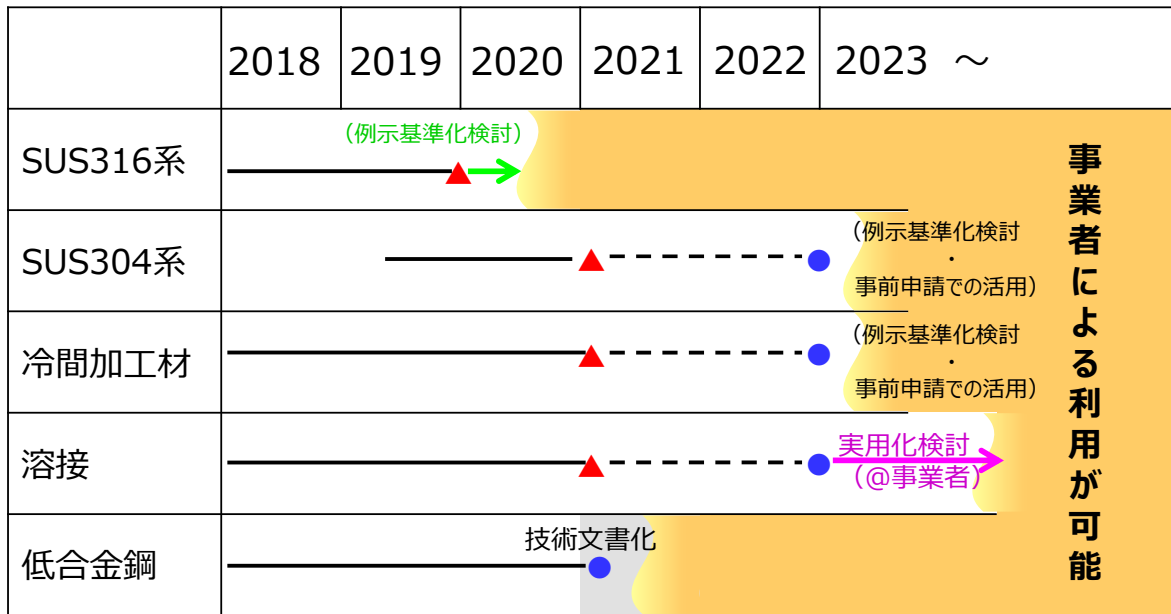
当該プロジェクトは活動内容の性格上、広く事業者を利用してもらうものであるので、得られた成果物を特許化することは考慮していない。

対外発表等については、知財運営委員会、NEDOの許可を得て実施する。

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に基づく結果が例示基準化あるいは技術文書化されることであり、水素ステーション事業に関わる企業が活用し企業活動(コスト、利便性等)に貢献することを指す。

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組



▲ : 判定基準・使用可能範囲 ● : 基準化に資する資料・ガイドライン

◆ 成果の実用化・事業化の見通し

項目	今後の見通し
① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大	本研究で得られた材料範囲の拡大案は一般則例示基準9.2の改正に盛り込まれ、パブリックコメントの募集が開始された。正式認可ののち、水素インフラ事業者での利用を期待する。境界条件を考慮した適材適所の基準化については今後の課題である。
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材	許容引張応力の設定、大型の冷間加工材、高強度化に伴う疲労限度への影響、冷間加工材の基準化に資する文書化等について検討し、冷間加工材の利用環境を整えていく。
③ 汎用ステンレス鋼溶接材	汎用ステンレス鋼を用い、適正な母材・溶接金属の組合せによる溶接継手の水素適合性を検証し、良好な水素適合性を示す溶接継手の事例があることを実証するとともに水素適合性を低下させる要因を整理し、技術指針に記載することにより注意喚起を図る。
④ 汎用低合金鋼	低合金鋼技術文書JPEC-TD0003の改訂が年度内に完了する見込みである。使用可能温度の上限が200℃に引き上げられ、圧縮機の出口部分にも使用可能となる。改訂完了次第、関係団体等への周知を図り、利用を促していく。

◆波及効果

当該研究開発に基づく結果により、一般則例示基準9.2の規制見直しが図られた。

入手が容易な低コスト材料が簡便に使用できることで、水素ステーション事業への将来の新規参入を促す効果がある。

実使用条件での水素適合性を系統立てて明らかにしていくことで、日本のデータが国際標準化においても重要な意味をなし、水素分野における技術力の誇示と水素エネルギーの普及に貢献する。

「連続陰極水素チャージ法による水素インフラ用鋼材の水素特性判断の簡易評価手法の開発」 (中間評価)

(2018年度～2020年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

JFEスチール株式会社

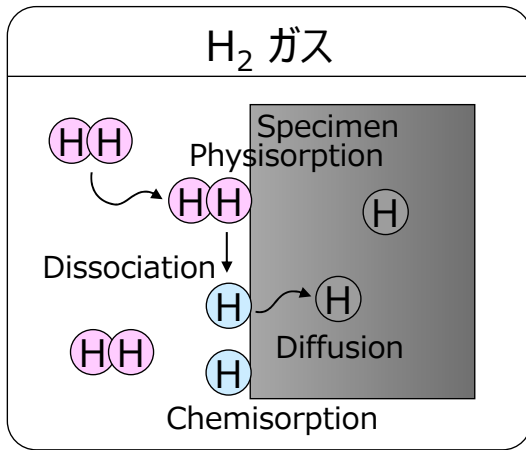
2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

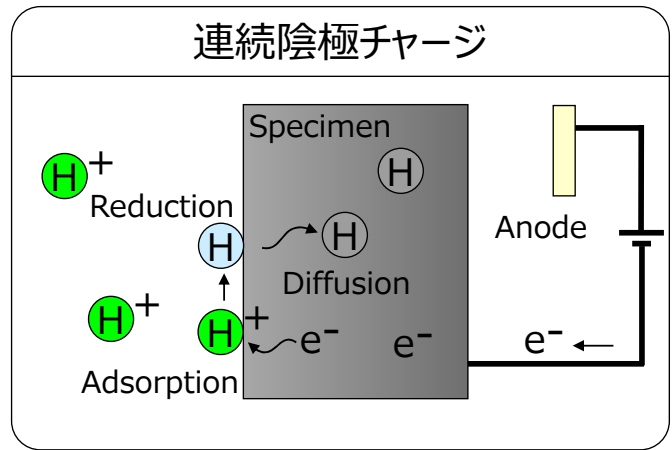
研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①高圧水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化	105MPa高圧水素環と同等の水素チャージ可能な連続陰極水素チャージ条件を高温～低温まで確立	室温および高温(85℃)で条件明確化済み	△	低温での水素チャージ条件確立中。低温高圧水素暴露試験での試験片の温度履歴の確認及び再現により達成見込み。
②連続陰極水素チャージ法によるSSRT試験方法の確立	陰極チャージSSRTと高圧水素ガスSSRTの差異確認し陰極チャージ法適用範囲を確立	高温(85℃)・室温は同等、低温(-30℃)は確認中	△	①で低温での水素チャージ条件確立完了により、試験実施可能。
③連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立	室温で陰極チャージ疲労と高圧水素ガス疲労試験の差異明確化し陰極チャージ法適用範囲を確立	陰極チャージ条件確定済。大気、陰極チャージ、高圧水素でデータ採取中	△	データ拡充し再現性確認。
④連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証	陰極チャージと高圧水素試験で破面等を比較し、妥当性を検証	SSRTで擬へき開破面分布がやや異なる。	○	低温試験の破面を解析し、これまでの結果を合わせて結論付ける。
⑤水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定	ラウンドロビンテスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成	SSRTラウンドロビンで3機関でデータ一致。	○	SSRT,疲労は新規性なく、基準化案はチャージ条件について策定。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

高圧ガス中評価



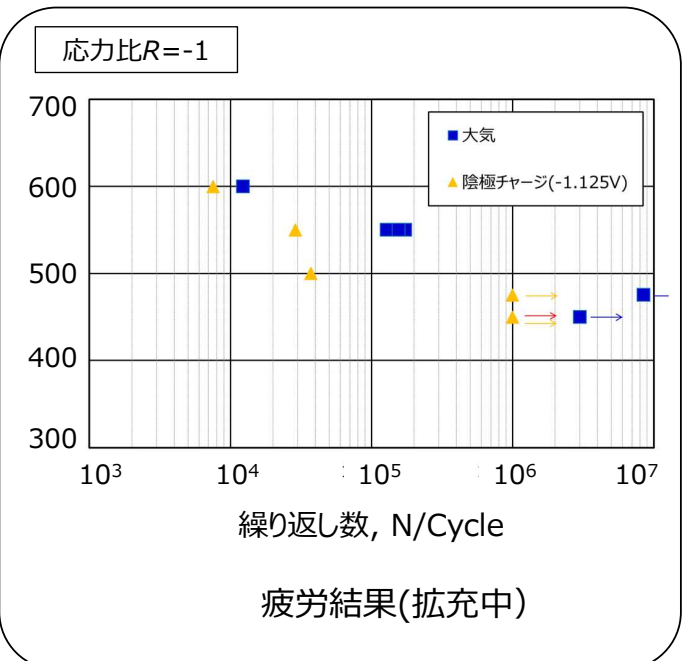
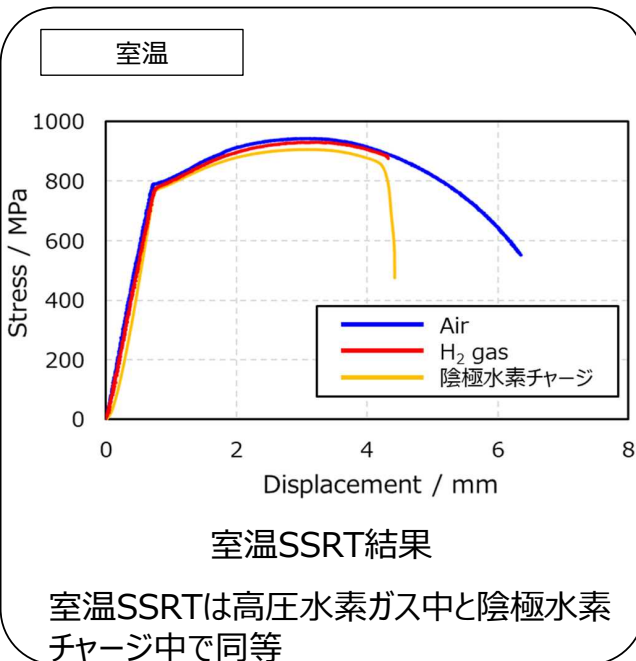
本研究開発法



- ・高圧水素ガス環境下試験装置は世界的に限定かつ極めて高額
- ・データ採取には長時間の試験要 ⇒ 水素インフラ用材料の開発長期間化、開発費用上昇要因

- ・連続陰極チャージ ⇒ 高圧水素ガス中試験を模擬できる可能性あり、代替試験方法を検討
- ・基準化に資するデータを採取

材料開発期間短縮 (評価タイミング チャンスフリー)
 開発費低減 (材料評価コスト 1/10)
 ⇒ 水素インフラの整備費低減に貢献

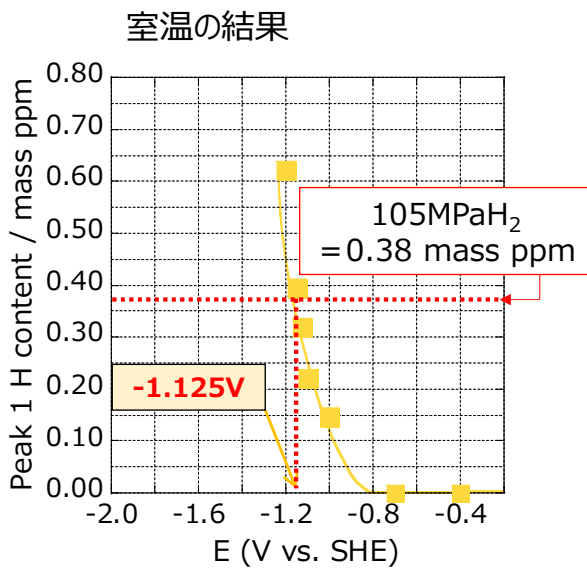


水素インフラへの適用可否判断に必要な特性と判断基準

SSRT : 水素環境でも大気中と同等の最高荷重を示して破断
 疲労寿命 : 水素環境での高サイクル域での疲労特性が大気環境と同レベル

陰極チャージ試験で高圧水素試験と同等の判定可能

項目① 高圧水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化



	105MPa水素ガス中の水素チャージ量* (ppm)	陰極チャージでの水素チャージ量* (ppm)	105MPa水素ガス中と同等の水素をチャージできる電位
85℃	0.32	0.31	-1.125V
室温	0.38	0.38	-1.125V
-30℃	0.31	確認中	確認中

105MPa水素ガス中の水素チャージ量*
 : 高圧水素ガス中チャージ完了後、チャンバからサンプル取り出しに時間を要した際の値。
 陰極チャージでの水素チャージ量*
 : 高圧水素ガスチャンバから取り出しまでの温度変化と同様の温度変化を陰極チャージサンプルに与えて測定

室温、高温で高圧水素中と同水素量をチャージ可能な条件を確定。

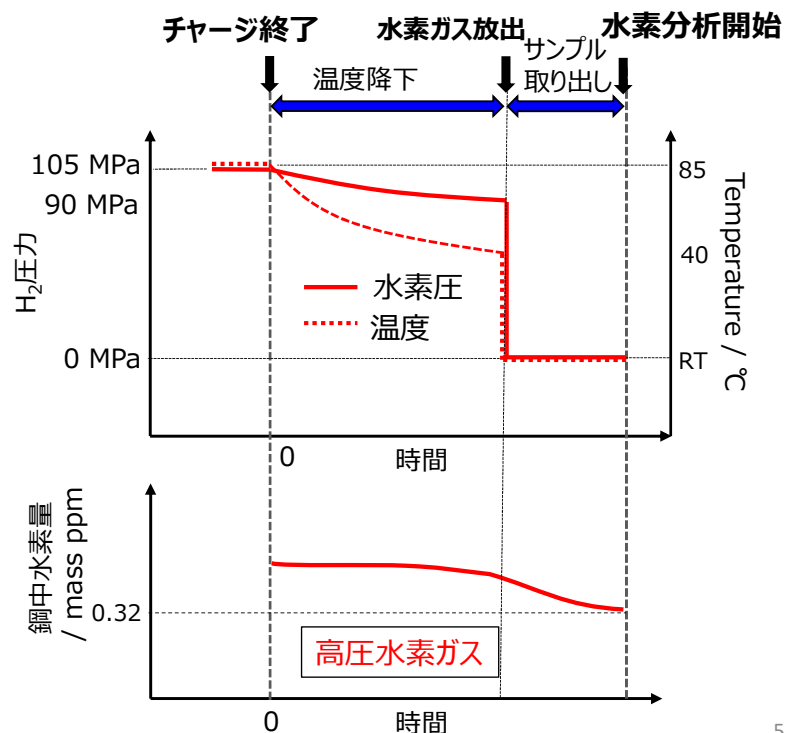
項目① 高圧水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化

試験温度：85℃

・高温高圧水素環境下での温度変化が水素量におよぼす影響の調査

水素チャージ後から水素分析までの過程

- ・温度を40℃まで低下させ水素放出 (圧力は温度低下に伴って90MPaまで低下)
- ・降圧後、サンプル取り出しのため室温で滞留



水素チャージ後、水素分析開始までに水素が試験片から逃散するため、水素分析で得られる水素量は、水素チャージ直後と比較して、低い値となる。

項目① 高圧水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化

試験温度：85℃

・陰極チャージ後サンプルに高温高圧水素環境を模擬した温度履歴を経験させた

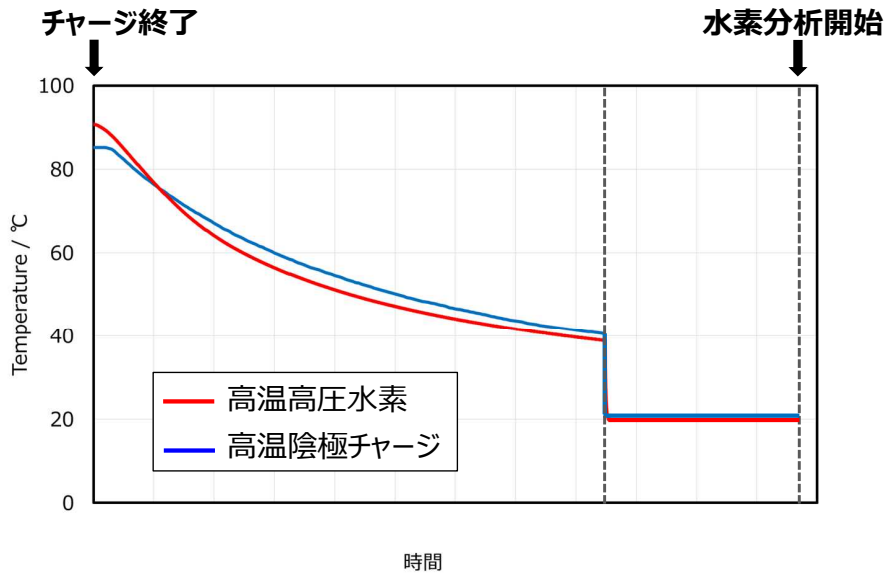
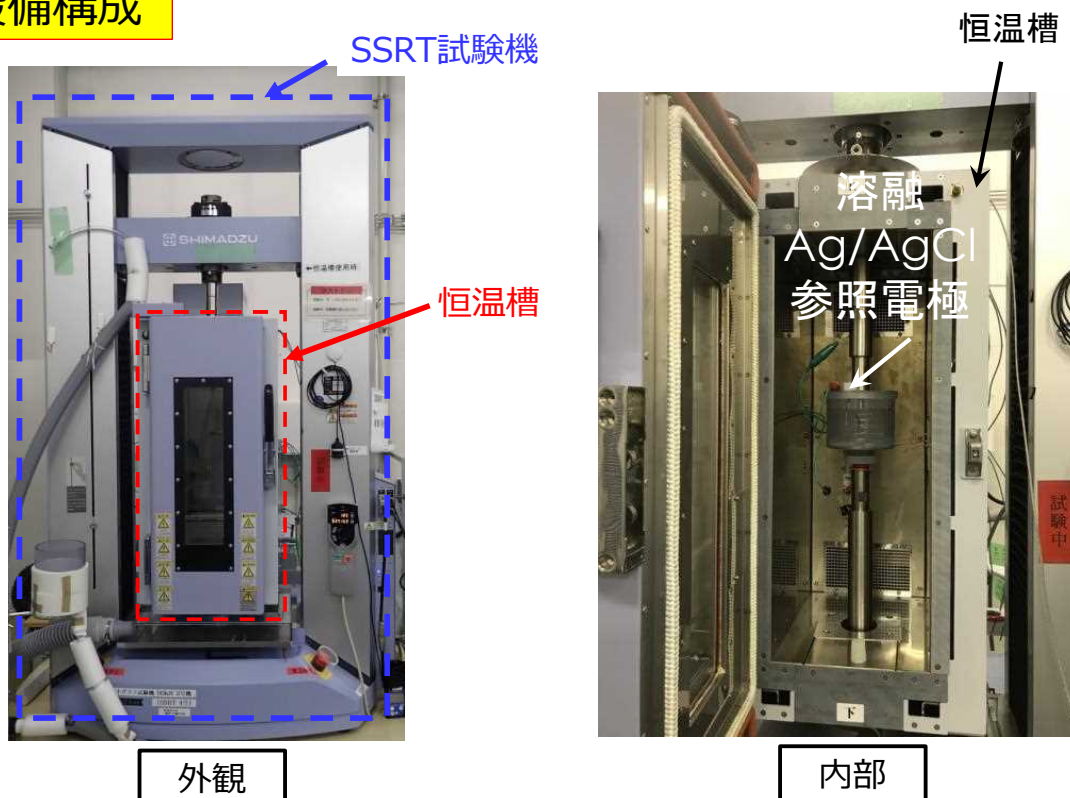


図 水素分析サンプルの水素チャージ後から水素分析開始までの温度履歴

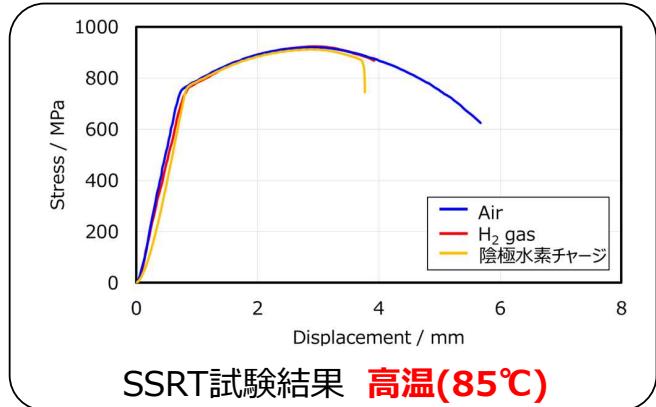
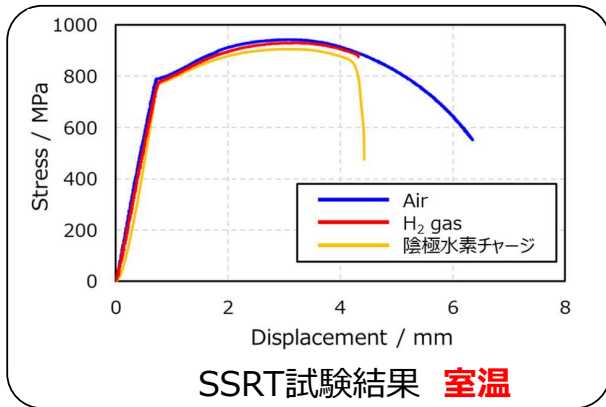
・上図の温度変化を陰極チャージサンプルにも与えて水素分析実施。
⇒高温陰極水素チャージ：0.31 ppm

項目② 連続陰極水素チャージ法によるSSRT試験方法の確立

設備構成



項目② 連続陰極水素チャージ法によるSSRT試験方法の確立



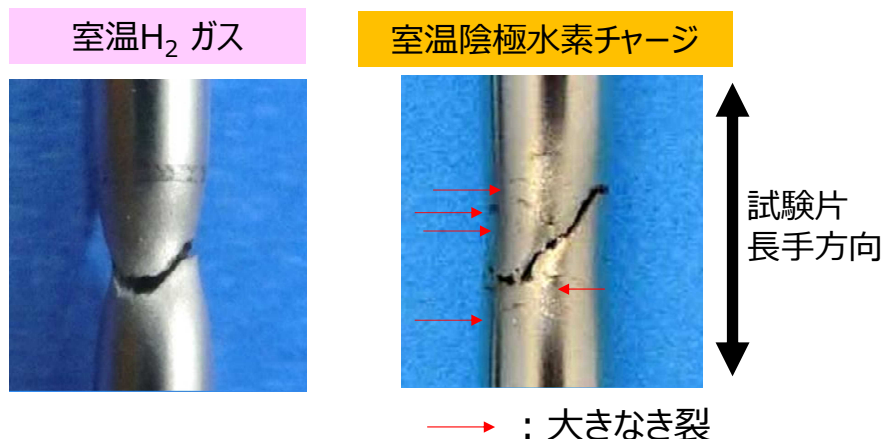
水素チャージ条件確定後実施

SSRT試験結果 低温(-30°C)

- ・室温および高温の高圧水素ガス，連続陰極チャージSSRT試験は同等の破断変位を示した。
- ・連続陰極水素チャージSSRT試験は室温～高温の高圧水素ガス中の引張強さの確保(最大荷重点に達した後の破断)を評価可能。
- ・低温は水素チャージ条件確定後実施。

項目② 連続陰極水素チャージ法によるSSRT試験方法の確立

項目④ 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証



- ・破面近傍における側面
 - H₂ガス : 破断部以外に大きなき裂は存在しない
 - 陰極水素チャージ : 破断部近傍の試験片長手方向に大きなき裂が分布
- き裂進展～破断プロセスが異なる可能性あり

陰極チャージのき裂成長過程の推測

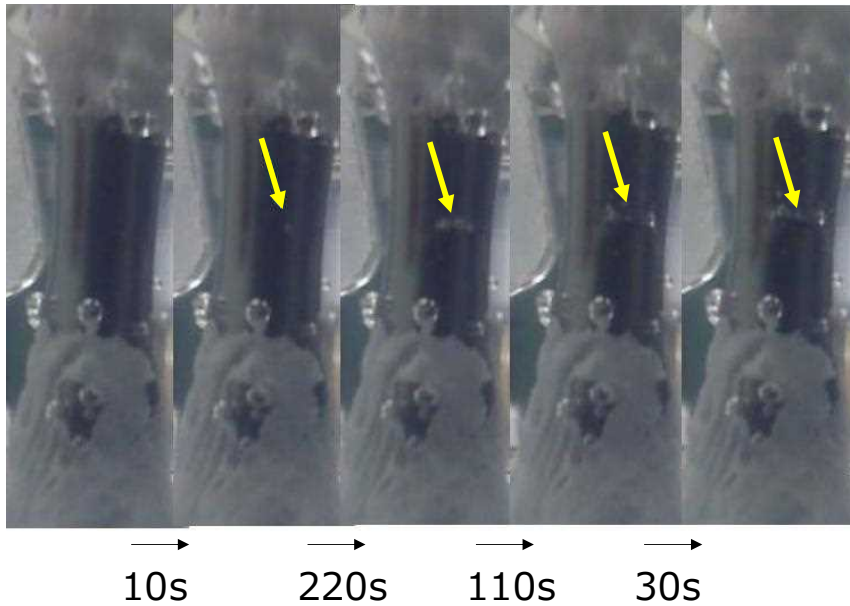
：き裂が長くなると、水素チャージ時に発生する水素ガスがき裂先端に滞留し、水素チャージ反応が抑制され、き裂先端への水素の供給が遅延。そのため、き裂はある深さまで成長すると成長速度が低下し、他の部位でき裂が発生し、大きな亀裂が増加。

項目④ 連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証

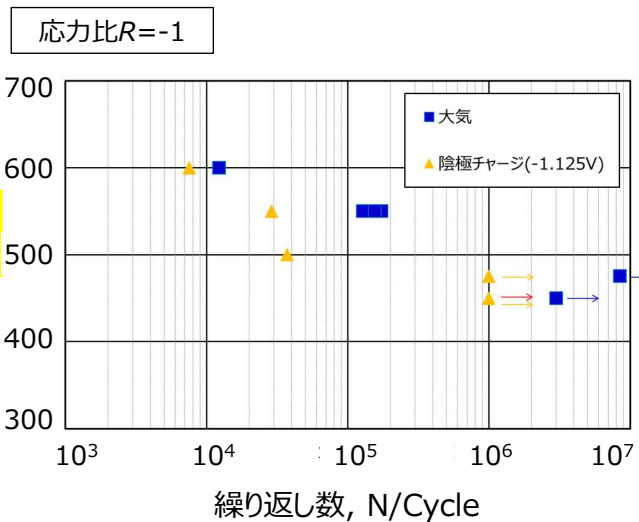
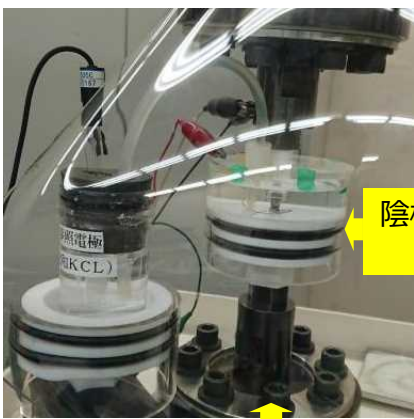
水素ガス中と陰極チャージ中での破壊過程の差異

東京電機大学

変形中のき裂発生部から泡 (H₂) が発生する (黄色矢印) ことを確認



項目③ 連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立

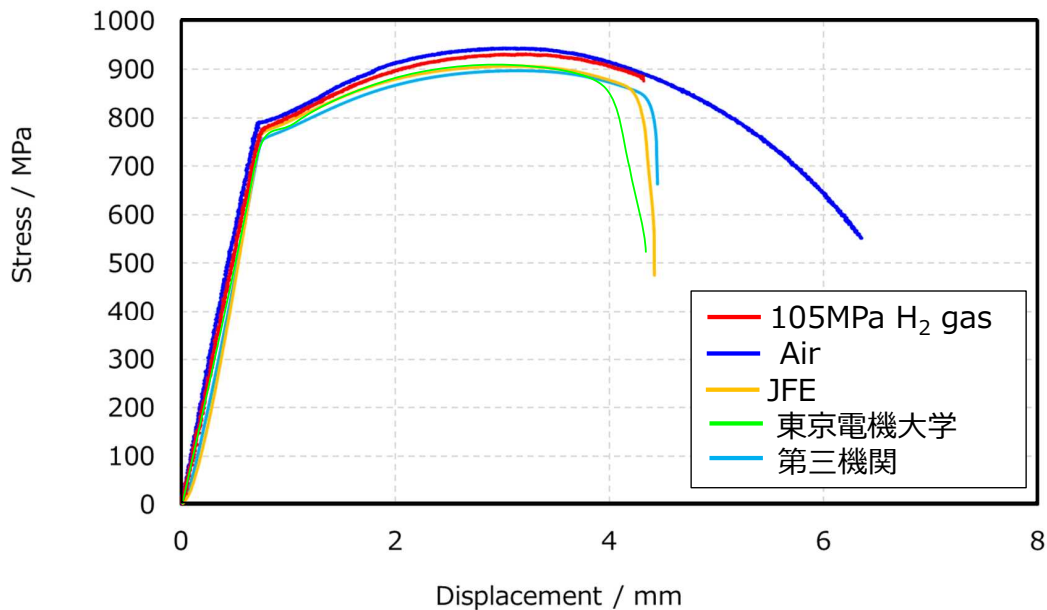


連続陰極水素チャージ疲労試験装置

疲労結果(拡充中)

・応力比R=-1で大気、高圧水素ガス中、陰極チャージ環境下疲労試験データを拡充中。

項目⑤ 水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定



室温SSRTラウンドロビンテスト

- JFE, 東京電機大, 第三機関のラウンドロビン試験でほぼ同等の試験結果を得た。

12

項目⑤ 水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定

SSRT、疲労試験とも、機械試験としては大気中試験の規格に基づいて実施。

陰極チャージの条件に関する規準化案を策定する。

内容 使用溶液、電位設定方法と低合金鋼での値、試験片のマスキング、水素量の測定・算出方法

13

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2020年度末)	達成見通し
①高圧水素環境下での水素侵入を再現する連続陰極水素チャージ試験条件の明確化	室温および高温(85℃)で条件明確化済み	高温、室温、低温で条件明確化	達成見込み
②連続陰極水素チャージ法によるSSRT試験方法の確立	高温(85℃)・室温は同等、低温(-30℃)は確認中	高温、室温、低温で陰極チャージSSRTと高圧水素ガスSSRTの差異確認し陰極チャージ法適用可能範囲を確立	達成見込み
③連続陰極水素チャージ法による疲労試験方法の確立	陰極チャージ条件確定済。大気、陰極チャージ、高圧水素でデータ採取中	室温で陰極チャージ疲労と高圧水素ガス疲労試験の差異明確化し陰極チャージ法適用範囲を確立	達成見込み
④連続陰極水素チャージ法による水素特性判断の妥当性検証	SSRTで擬へき開破面分布がやや異なる。	陰極チャージと高圧水素試験で破面等を比較し、妥当性を検証	達成見込み
⑤水素特性簡易評価手法としての規準化案の策定	SSRTラウンドロビンで3機関でデータ一致。	ラウンドロビンテスト実施し再現性確認。手法の基準化案作成	達成見込み

14

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及、 4) 知的財産権等の確保に向けた取組

◆成果の普及

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	1	0	1	2
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0

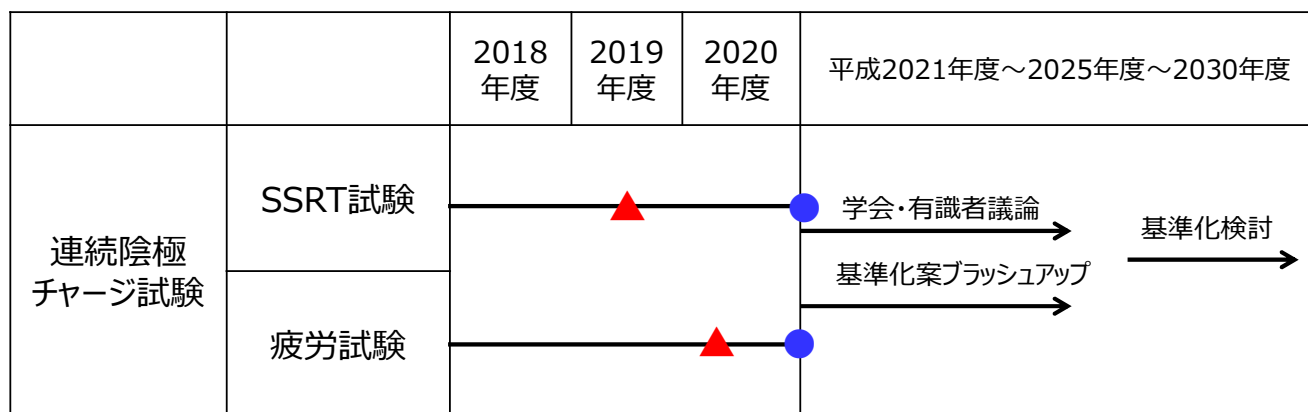
※2021年1月7日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

・広く一般にご使用いただくため、特許取得は行わない。

15

- ・本プロジェクト内で、基準化案を策定。
- ・本プロジェクトで得られた結果に基づいた考え方について、学会・論文等を通じて広く関係者と議論し、手法の認知拡大する。
- ・併せて、議論により基準化案をブラッシュアップし、将来の規準化検討につなげる。



▲ : 基本原理確認

● : 基本技術確立

◆波及効果

- ・大学・企業で高圧水素ガス環境下での評価設備を有さない機関でも研究開発が行われるやすくなるため、材料開発等が活性化する可能性がある。
- ・多くの機関で研究開発が行われることで、研究分野の人材育成が促進されるとともに、分野に関わる人材が広範囲化し、研究開発が活性化される。
- ・高圧ガス中と溶液中の現象を比較することで、水素脆化に関する理解が深まり、研究開発のレベルが向上する。

「中空試験片高圧水素中材料試験法規格化 のための研究開発」 (中間評価) (2018年度～2022年度 5年間 (予定))

プロジェクトの概要 (公開)

国立研究開発法人物質・材料研究機構

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針	
(I) 中空SSRT	試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 試験条件の最適化を行う (FY2020) ラウンドロビンテストを行う (FY2020) 中空試験の簡素化を図る (参考: FY2022) 	中空試験片について、内面仕上げ条件を確定し、内径/外径寸法の許容範囲、ならびに試験条件を確認	△	ラウンドロビンテストを行う事業者と、テスト時のマニュアルと記録内容について合意し、試験を実施 マニュアルと記録内容の検討は既に開始済
	中実試験片高圧水素中材料試験との相関に関する研究開発	中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする (FY2020)	中空と中実間のデータの相関関係を明確化	○	ラウンドロビンテストで得られたデータも評価に加える
	規格化に向けた調査研究	<ul style="list-style-type: none"> 規格案を作成する (FY2020) 簡素化附属書案を作成する (参考: FY2022) 	中空試験片高圧水素中SSRT法の規格案をISOとHPI(予定)に提案	○	

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、× 未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目		目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(II) 中空疲労	試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	保持時間や繰り返し速度等の影響評価を行い、中空試験片での疲労試験条件を確定 (FY2022)	中空疲労試験法の試験条件を確認	△	得られたデータも評価に加える
	中実試験片高圧水素中疲労試験との相関に関する研究開発	中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする (参考：FY2021)	中空と中実間のデータの相関関係を明確化	△	得られたデータも評価に加える
	規格化に向けた調査研究	規格案を作成する (参考：FY2022)	中空試験片高圧水素中疲労試験法の規格案を作成中	△	中空試験片での疲労試験条件を確定させたものを反映させる

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、× 未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 中空SSRTについては、今年度ラウンドロビンテストを実施し、その結果をもとに規格案をHPI(予定)に提案する。新型コロナウイルスと再委託契約解除 (予定) の影響で遅れはあるが、ほぼ順調に進行。なお、中空SSRT法は既にISOに提案しているが、制定までに時間を要する。そのため、HPI (予定)への提案ならびに制定に向けた検討・議論の過程で得られる知見は、ISOでの検討過程にも反映させることが可能となるという意味でも意義のあるものとなる。
- 中空疲労試験法については、新型コロナウイルスと再委託解除 (予定) の影響で遅れている。しかし、試験費用の低減及び試験期間の短縮に最も貢献するものと位置づけられるため、その規格化の意義は大きい。協力者とともに重要な試験データの取得、評価、規格案作成について引き続き注力する。

◆各個別テーマの成果と意義

(I) 中空SSRT

① 中空内表面仕上げ状態の異なる中空試験片でSSRTを実施し、中実試験片データと比較した結果、中空内表面は原則として研磨仕上げとすることを確定した(図1および図2参照)。

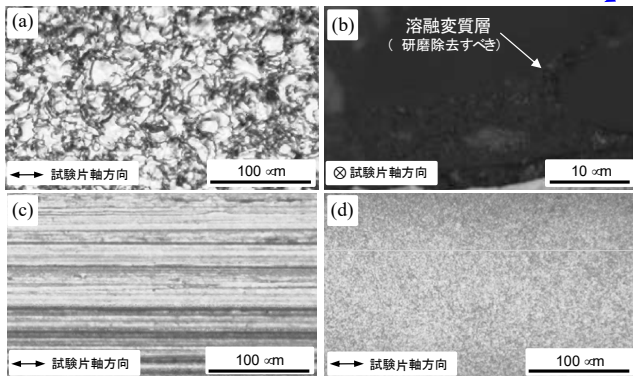
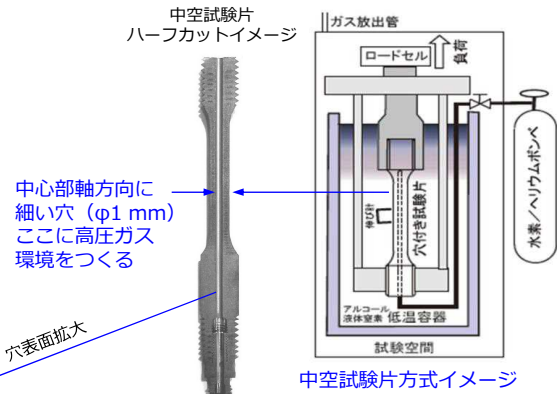


図1 SNCM439の中空洞内表面様相(a), (b)ワイヤカット (c) 電着ダイヤモンド研磨後 (d) 流動研磨後
ワイヤカット後の表層には熔融変質層が確認され、研磨除去の必要性が確認された。

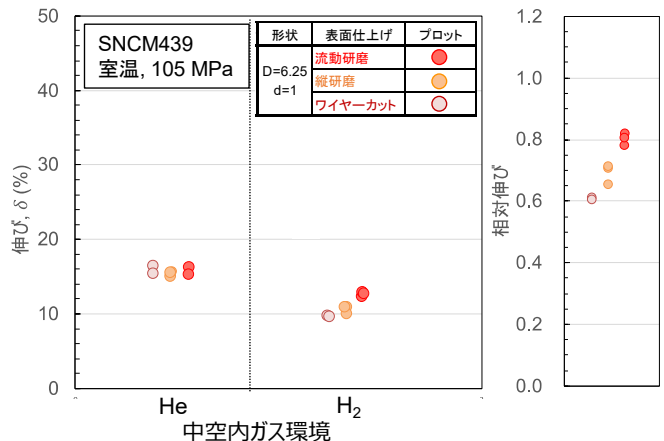


図2 SNCM439のSSRT結果 伸びと相対伸び
水素中では中空内表面の仕上げの影響が確認された。

◆各個別テーマの成果と意義

(I) 中空SSRT

② 内径/外径寸法の異なる中空試験片でSSRTを実施し、中実試験データと比較した結果、中空試験片平行部の外径は原則として4~8mmの範囲、内径は1mm~2mmの範囲とする目処があった(図3参照)。ただし、中空試験片形状の許容範囲は、低温データに基づいた検証も行った上で決定する必要がある。

③ 中空試験片高圧水素中低ひずみ速度引張試験(SSRT)法の原案と解説案を作成。

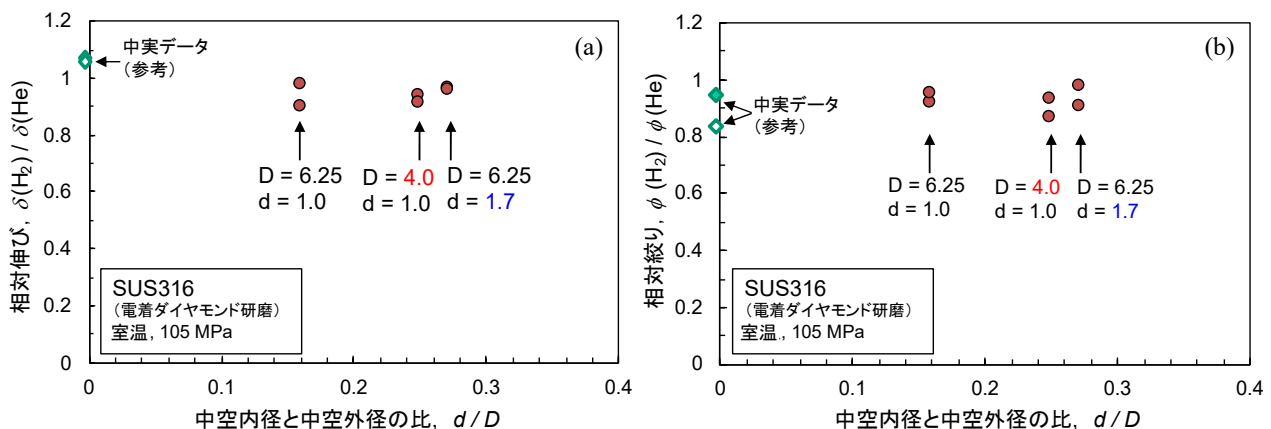


図3 中実試験片データとの比較 (SUS316, 室温) (a) 相対伸び (b) 相対絞り
※中実データは「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で取得されたデータである

◆各個別テーマの成果と意義

(I) 中空SSRT

- ④ 中空/中実引張試験の大変形弾塑性FEM解析を行い、実験結果との対応を確認した。
 - ・中空内表面の静水応力は外表面のそれに比べ、絞り開始後に急激に大きくなるため、中空試験片の方が高圧中の中実試験片より厳しい結果（安全側）になる（図4参照）。
 - ・中空試験片では中実試験片に比べて伸びは小さめに出る（図5参照）
⇒ 試験結果と対応確認

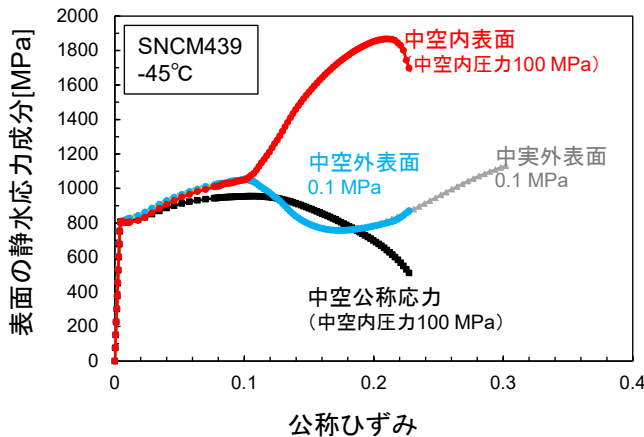


図4 SNCM439の中空/中実試験片表面の静水応力成分の変化
中空内外表面の静水応力差（赤と青のデータの差）は絞り開始から急激に大きくなる。一方で中空、中実試験片の外表面の静水応力分布は同等。

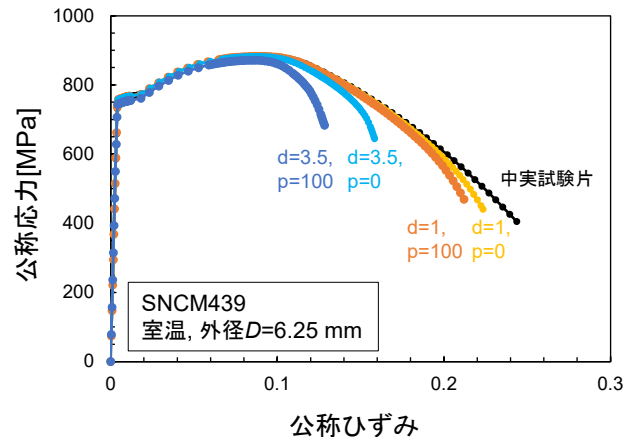


図5 SNCM439の中空/中実試験片表面の公称応力-公称ひずみ線図
中空内径(d), 内圧(p)の影響で引張強さ以降の塑性変形挙動が変化する（ポイド形成、破壊は考慮されていない）。中空試験片では、中実試験片に比べて伸びは小さめに出る。

◆各個別テーマの成果と意義

(I) 中空SSRT

- ⑤ 中空SSRTデータをもとにラウンドロビンテストのマニュアル、記録すべきデータを事前検討中。データ取得までに得られた情報は全て規格案に反映できるものとなる。

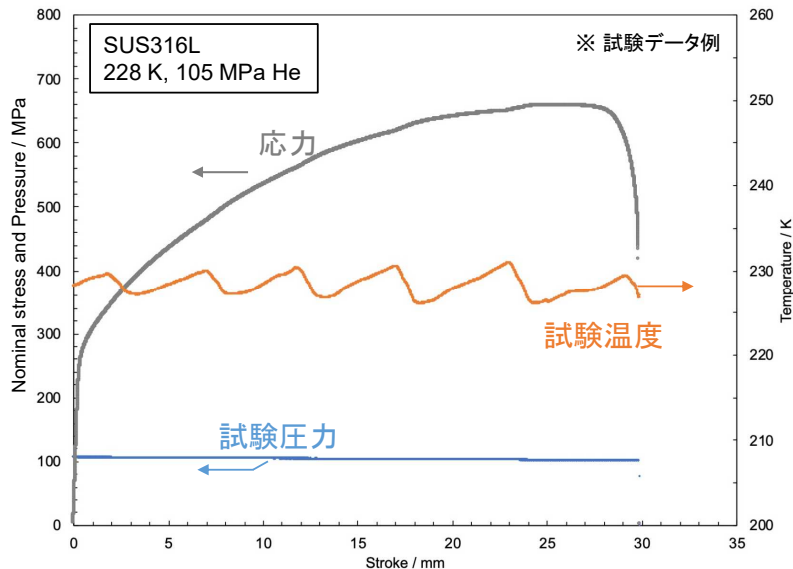


図6 SUS316Lの応力-ストローク線図およびSSRT時の試験温度と試験圧力の変化
規格案において、試験時の温度範囲、圧力範囲などを決定する上で試験時のデータが重要となる。

◆ 各個別テーマの成果と意義

(II) 中空疲労

中空試験片内に105 MPaの水素ガスを封入した上で、室温、10 Hzで引張-圧縮疲労試験を実施し、中空試験片による疲労試験への適用可能性を確認した。

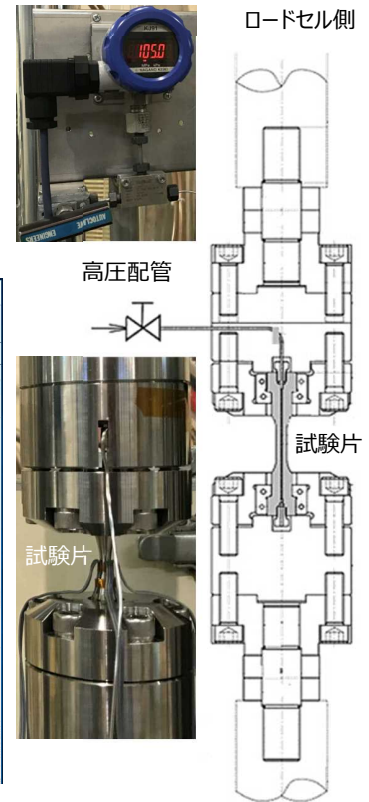
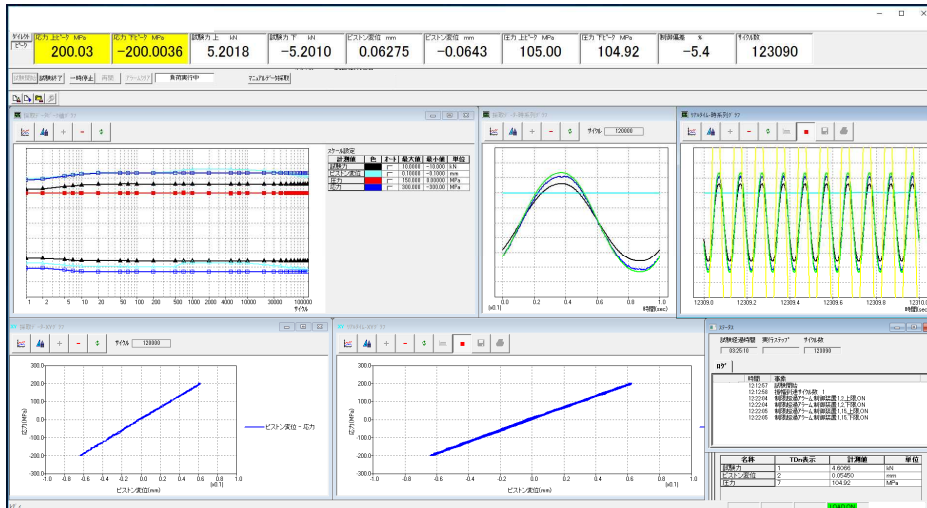


図7 中空疲労試験片を用いて室温、105 MPa、10 Hzで引張-圧縮疲労試験を実施した時のモニター画面(左)と試験片装着時図面および圧力計、試験片外観写真(右)

◆ 各個別テーマの成果と意義

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(I) 中空SSRT	試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 試験条件の最適化を行う (FY2020) ラウンドロビンテストを行う (FY2020) 中空試験の簡素化を図る (FY2022) 	ラウンドロビンテストは2020年末あるいは翌年早々までに実施見込み
	中実試験片高圧水素中材料試験との相関に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 確認済み 	既に実施済み 今後はラウンドロビンテストデータも含めた確認を進める
	規格化に向けた調査研究	<ul style="list-style-type: none"> HPIに提案予定の規格案を作成中 (FY2020) ISOに提案済み (FY2020) 	<ul style="list-style-type: none"> 規格案を作成する (FY2020) 簡素化附属書案を作成する (FY2022)

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し	
(II) 中空疲労	試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発	・遂行中 但し、コロナ並びに再委託契約解除(予定)の影響で遅れあり	保持時間や繰返し速度等の影響評価を行い、中空試験片での疲労試験条件を確定 (FY2022)	中空疲労試験の加速化のため試験機を改造中であり、達成の見込み
	中実試験片高圧水素中疲労試験との相関に関する研究開発	・遂行中 但し、コロナ並びに再委託契約解除(予定)の影響で遅れあり	中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする (FY2021)	中空疲労試験データ取得の加速に伴い達成の見込み (中実データは有り)
	規格化に向けた調査研究	・規格案を作成中	規格案を作成する (FY2022)	FY2020に基礎的なデータの取得を加速する FY2021にラウンドロビンテストを開始し、データ取得と併せて規格案のブラッシュアップを進める FY2022内にラウンドロビンテストのまとめを規格案に反映させた上でHPI(予定)に提出し、達成の見込み

◆成果の普及

※2020年10月9日現在

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
研究発表・講演	6	2	1	-	-	9

○2020年度

- ・ ISO TC164(金属の機械的試験) SC1(単軸引張試験)に中空SSRT法の新規提案(10月)
Metallic materials – Tensile testing – Hollow-type test pieces for severe environment tests and slow-strain rate tensile test (SSRT) method in high-pressure hydrogen environment

○2019年度

- ・ ASME PVP2019, "Influence of Roughness of Inner Surface of Simple Mechanical Testing Method to Evaluate Influence of High Pressure Hydrogen Gas", 口頭発表, 緒形・小野 (7月)
- ・ 日本鉄鋼協会秋季講演大会, 中空試験片による高圧水素環境下材料特性評価法の規格化, 口頭発表, 緒形・小野・西川 (9月)

○2018年度

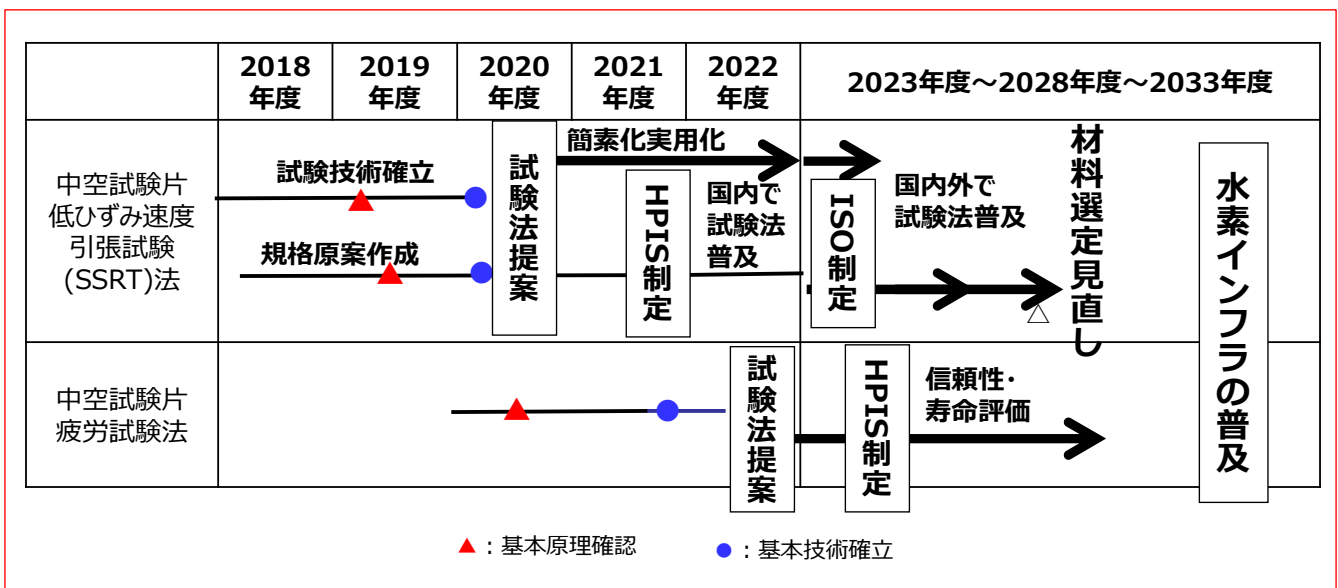
- ・ ASME PVP2018, "Simple Mechanical Testing method to Evaluate Influence of High Pressure Hydrogen Gas", 口頭発表, 緒形 (7月)
- ・ ASME PVP2018, "Influence of 70 MPa Hydrogen Gas on SUS 630 from 77 K to 373 K by Simple Testing Method", 口頭発表, 緒形 (7月)
- ・ 水素利用技術集成Vol.5, 高圧水素ガス環境中の簡便な材料評価技術, 誌上発表, 緒形 (12月)

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

- 中空試験片法の標準化に対して、特許取得は障害となるおそれがあるため行わない
- 日本高圧力技術協会基準(HPIS) とISOとに、確立した試験技術の規格案を提案する

◆ 本プロジェクトにおける「実用化」の考え方


本プロジェクトにおける実用化は、中空SSRT法、中空疲労試験法の規格化と考える。



◆波及効果（技術的・経済的・社会的効果）

ISO TC164(金属の機械的試験) SC1(単軸引張試験)に
中空SSRTを新規提案

提出した提案様式Form 4とドラフト案の表紙の一部

 International Organization for Standardization Organisation internationale de normalisation Международная организация по стандартизации		© ISO #### - All rights reserved	
FORM 4: NEW WORK ITEM PROPOSAL (NP)		ISO 6892-#:####(X) ISO TC 164/SC 1/WG # Secretariat: XXXX	
Circulation date Click here to enter a date.	Reference number: Enter Number (to be given by ISO Central Secretariat)	Metallic materials — Tensile testing — Part #: Hollow test pieces for internal pressurized tests and slow-strain rate tensile test (SSRT) method in high-pressure hydrogen environment	
Closing date for voting Click here to enter a date.	ISO/TC 164 /SC 1 <input type="checkbox"/> Proposal for a new PC N Click here to enter text.		
Proposer <input checked="" type="checkbox"/> ISO member body: JISC <input type="checkbox"/> Committee, liaison or other*: Click here to enter text.		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> WD/CD/DIS/FDIS stage </div>	
Secretariat AFNOR			

「超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／
水素ステーションの規格化・標準化、モジュール化等に関する
研究開発」

(2018年度～2020年度 3年間)

一般社団法人 水素供給利用技術協会

ENEOS株式会社

2020年12月17日

1/26

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①標準化ガイドライン案の検討	標準化ガイドライン案の完成	標準化項目を抽出し、設備間取り合いの11項目について標準化ガイドライン案に取りまとめた。	○	標準化ガイドライン案の完成
② 水素ステーション(ST)の能力分類化	適正な充填能力により「能力分類」を制定、ガイドライン案への反映	商用水素STの実需要データやシミュレーション結果に基づき、充填能力を指標とする水素ST分類を設定し、標準化ガイドライン案に取りまとめた。	○	標準化ガイドライン案の完成
③標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討	次世代パッケージシステム実証の検討を行い、必要に応じ実証を行って、低コスト化効果と信頼性・耐久性等の技術を検討する	次世代パッケージシステムを実現するための技術課題の整理と実証項目を取り纏め。検討の結果、パッケージ水素STは建設せず、机上で検討可能であるとの結論を得た。	○	机上検討結果の取り纏め

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2/26

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

＜プロジェクトとしての達成状況＞

2020年2月までにプロジェクトすべての目標について達成可能

＜成果の意義＞

本研究で策定する標準化ガイドライン案に基づき、水素供給利用技術協会にて業界統一規格（標準化ガイドライン）を制定する。国内の水素ST事業者は当該ガイドライン及び技術的成果を用い、業界統一仕様に対応した低コストな水素STの整備を開始する。

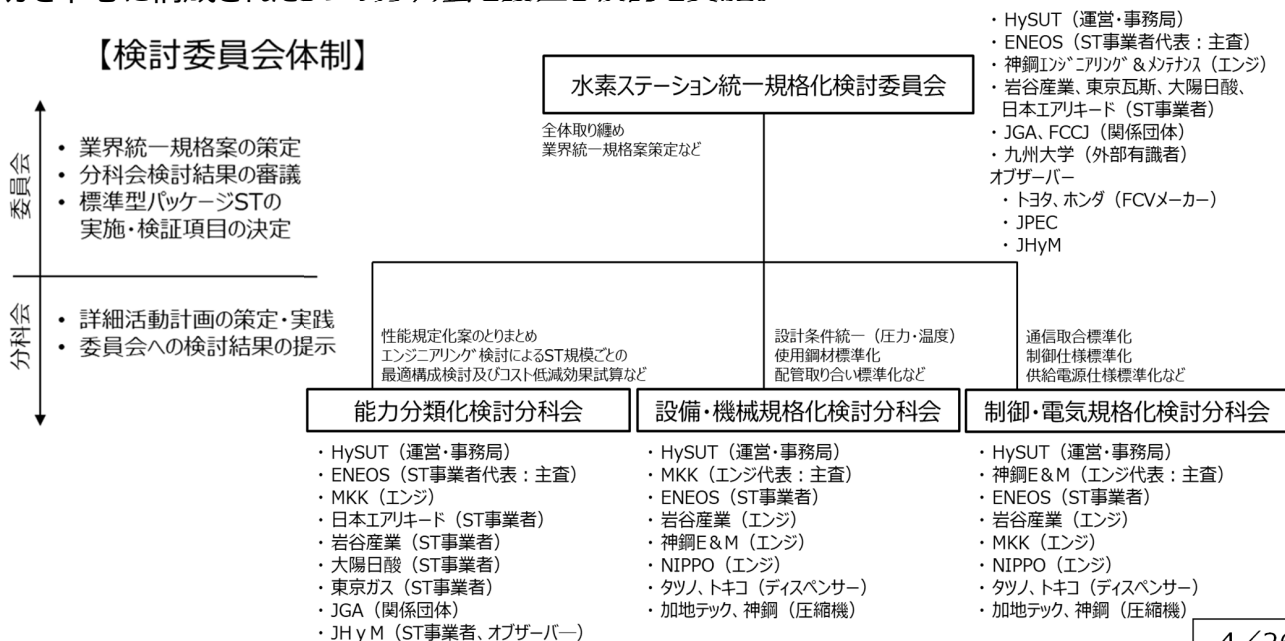
本研究で新たに充填能力に応じた水素ST分類を規定することにより水素STの建設費の低減がはかられ、かつ、効率的な水素ST整備を可能とし、2020年代後半までの水素ST事業の自立化に貢献できる。

◆各個別テーマの成果と意義

＜研究開発体制＞

水素ST運営事業者、コントラクター（エンジニアリング会社）および水素事業関連の業界団体（FCCJ、JGA）や大学などの外部有識者にて構成された委員会の下にエンジニアリング会社やメーカーを中心に構成された3つの分科会を設置し検討を実施。

【検討委員会体制】



① 標準化ガイドライン案の検討

【目的】

水素STの構成設備・機器設計、制御・電気設計を標準化するとともに、業界全体で統一可能な標準化ガイドライン案を策定する。

【主要活動内容】

0) FS調査結果に基づく標準化項目の検討、実態調査と標準化の検討

平成29年度のFS調査結果※の内容を踏まえ、標準化項目を抽出。また、水素STの実態調査を行い、ニーズにあった標準化事項について項目追加・検討を実施。

※ 平成29年度「燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ST整備事業補助金に係る基礎調査（水素STにおける設備・機器設計の標準化・モジュール化と統一規格化のコスト低減効果に関するフィージビリティ調査（FS調査）」

1) 標準化ガイドライン案の策定

標準化項目において標準化ガイドライン案を検討。

2) 標準化案項目によるコスト低減効果の確認

標準化、規制緩和による水素STのコスト低減効果を確認。

①-1) 標準化ガイドライン案の策定

平成29年度の実態調査結果に基づき、インフラ事業者、メーカーそれぞれの視点で標準化検討に向けた方向性を協議し、標準化ガイドライン案を取りまとめた。以下に要旨を示す。

表1. 設備設計項目に関わる標準化ガイドライン案（要旨抜粋）

項目	必須要件	望ましい要件
設計圧力	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所は、圧縮機の設計圧力以上かつ94MPa以上	個社が設計圧力を統一化せず、配管肉厚の削減を進めていく場合のコスト低減効果よりも標準化によるコスト低減効果が大きいと認められた場合、設計圧力を99MPaとするなど1点を標準とすることが望ましい。
設計温度	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所は、圧縮機の設計温度以上かつ50℃以上	—
常用圧力	82MPa以下（一般高圧ガス保安規則第7条の3で規定）	水素保有量増加や蓄圧器の本数削減の可能性がある為、ディスベンサー内熱交換器前流までは、82MPaを超える常用圧力への引き上げが望ましい。
最高充填圧力	82MPa以下（一般高圧ガス保安規則第7条の3で規定）	現状でSOC98%を満足した充填ができており、当該箇所の圧力の引き上げはトラブル増加の要因になりかねないため、最高充填圧力の引き上げは、常用圧力の引き上げと切り分けて検討することが望ましい。
充填プロトコル	圧縮水素充填技術基準（圧縮水素スタンド関係）JPEC-S0003に従う（一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定）	設備・運営コスト低減や機器のトラブル低減に寄与できる、現行水素STの充填時間と同等で水素温度緩和可能な充填制御の導入が望ましい。
使用鋼材	定められた鋼材を使用（一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定）	安価且つ加工が容易な汎用材や設計係数が抑えられる材料を導入することが望ましい。
配管取合形状	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所のモジュールと配管の取合いはコーン&スレッドとする。	—
配管取合口径	圧縮機出口以降で常用圧力が82MPaとなる箇所のモジュールと配管の取合いの口径は14.29 mm（9/16インチ）とする。	—

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

①-1) 標準化ガイドライン案の策定

表2. 制御電気、その他項目に関わる標準化ガイドライン案 (要旨抜粋)

項目C	必須要件	望ましい要件
制御盤	制御盤数は可能な限り削減する。	充填制御機能 (充填制御板) はディスペンサー内に収納し、その他制御機能は統合制御盤として一体化することが望ましい。
制御信号	統合制御盤と各主要機器および水素供給設備等間の取り合い制御を設計する。なお、どのような制御盤構成をとったとしても、各モジュールとの信号は表 (5. 3 (2) 制御信号) の項目を共通で保有するものとする。	—
ディスペンサー配管取り出し位置	ディスペンサーに接続する配管 (水素配管、冷媒配管、放散配管) は、ディスペンサー下部から接続するものとする。	—

表3. 将来的に望ましい水素STの標準化項目

項目	必須要件	望ましい要件
主要設備のパッケージ化	—	建設コスト低減 (機器費・現地工事費) 及び敷地面積削減の観点から、水素STの主要構成設備をパッケージ化することが望ましい。
複数車両への充填制御	—	複数車両への充填を行う場合は、同時充填可能な制御を保有することが望ましい。
車両通信システム構成	—	車両からの受信信号を直接ディスペンサーに取り込むことが望ましい。
ディスペンサー表示	商用水素STのディスペンサー表示器表示内容は車両に供給される水素ガス充填量 (kg) を表示するものとする。	顧客利便性の観点から金額についても表示することが望ましい。
遠隔監視	将来的に遠隔監視型セルフスタンド検討会等で検討される業界自主ガイドライン案等に従い、遠隔監視システムを構築する必要がある。	—

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

①-2) 標準化項目によるコスト低減効果の確認

本事業で検討した標準化ガイドライン案を基に標準化と規制緩和によるコスト低減効果を試算した。

導入初期のST (2014年度) と現行ST (2019年度) の建設費※との比較を以下に示す。

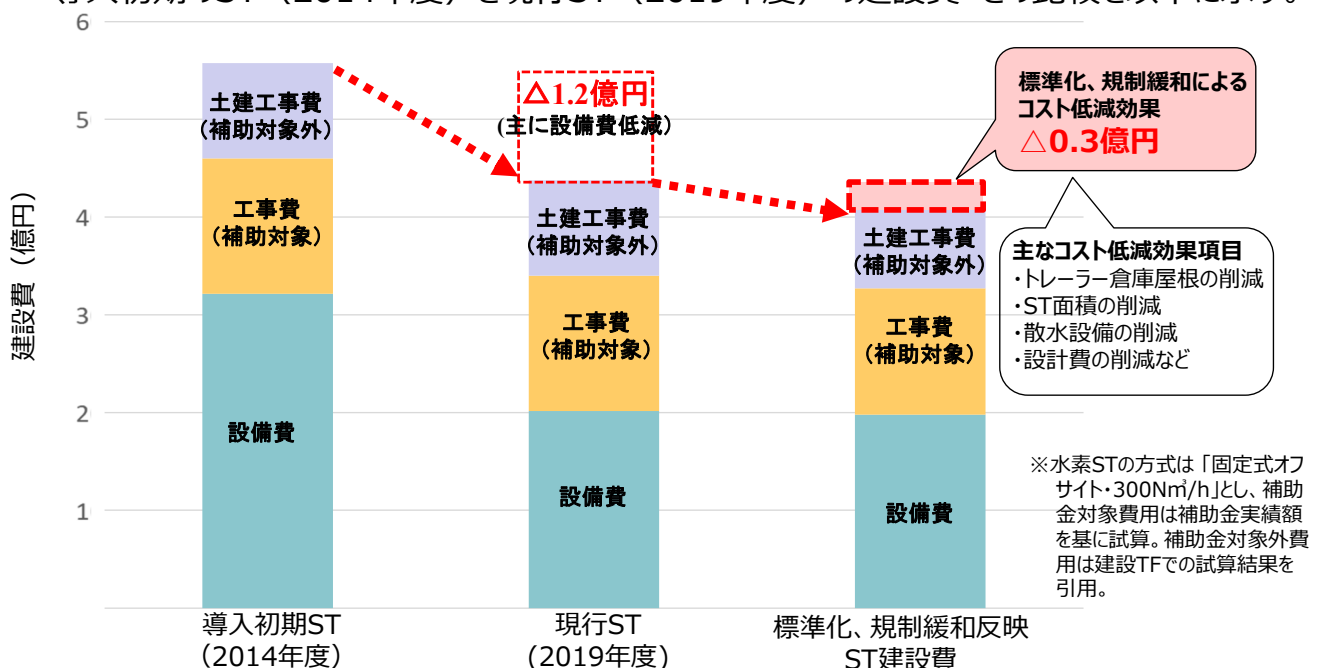


図1. 水素STにおける標準化と規制緩和によるコスト低減効果の試算結果

② 水素STの能力分類化

【目的】

商用水素STの運用実績データ等に基づき適正規模となる充填能力分類を定め、充填能力を指標とする新たな水素ST分類を提案する。

【主要活動内容】

1) 水素ST運用実態調査

HySUT及び各インフラ事業者の保有する運用実績データを基に運用実態を調査。

2) 水素ST分類策定

運用実態調査結果及び今後の需要見通し並びに事業者ニーズを踏まえた水素ST分類を検討。

3) 各分類での水素STコストの試算

各分類の水素ST標準構成を検討、コスト試算を実施し、新たな水素ST分類によるコストメリットを確認。

9/26

②-1) 水素ST運用実態調査

(1) 運用実態

HySUT及び各インフラ事業者の保有する運用実績データを基に現行の運用実態について調査し、表1の結果を得た。

表4. 商用水素ST実需要調査結果 (2017年度)

区分	項目		単位	実績値
水素ST	営業日数		日/年	237
	営業時間		時間/日	7.8
	1台当たり充填量	平均	Kg/台	2.9
	1か月当たり充填台数	平均	台/月	48.1
	1日当たり充填台数	平均	台/日	2.9
	1時間当たり充填台数	平均	台/時間	0.4

※営業日数、時間は定置式STの57箇所、1台当たり平均充填量は82MPa対応STの76箇所を対象

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(2) 時間帯別充填台数

2017年度新規需要創出報告書より、時間帯ごとの充填台数を解析した。※

※年間充填回数が1000回以上かつ四大都市圏で運営されているSTを対象

現状の水素STの時間別販売割合は、以下の事由から日中のピークが高くなっていると想定。

- 現状の水素STは営業時間が短い。
- 現時点ではFCVは社用車が多い。

⇒ FCV本格普及時、水素ST営業時間や保有層の拡大により来車分布は現行よりブロードになると想定。

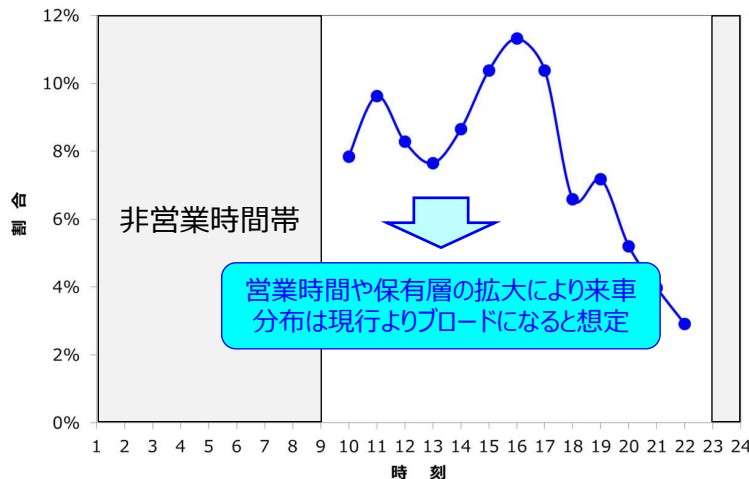


図2. 水素STの時間帯別販売割合

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

(3) 将来需要想定

水素ST充填実績、事業者等からのヒアリング、ロードマップの将来予測等から各種データを算出した。

表5. 将来需要想定、各種データ

区分	項目	単位	2020年	2025年	2030年
水素ST	水素ST数	基	160	320	900
	営業日数	日/年	250~300	350	
	営業時間	時間/日	8~12	14~24	
FCV	1台当り平均充填量	Kg/台		2.9	
	普及台数	台	40,000	200,000	800,000
	1ST当りのFCV台数	台/ST	250	625	889
	1ST当りの日間充填回数	回/日	30	53	75
	1時間当たり最大充填台数	台/h	4.5	5.2	7.3

- ✓ 1台当りの平均充填量は約**3kg/台**で推移すると想定
- ✓ 2030年度での1時間当たり最大充填台数は約**8台**と推定される
 - 1回の充填にかかる時間（入場から出場まで）は概ね10分程度
 - ∴ 1ディスペンサー（ノズル）で充填できる台数は最大5~6台/h程度

⇒ 2025~2030年には**2系統で充填できる設備が必要**

- ✓ 2030年度での1時間当たり最大充填量は8台/h×3kg/台≒24kg/h < 30kg/h(≒340Nm³/h)

⇒ **圧縮機は既存の主流である340Nm³/h 1台でも2030年対応可能**

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

②- 2) 水素ST分類策定

現行水素STの運用実態と将来想定に基づき、充填能力を指標とする「能力分類」を設定。

【前提条件】

表6. 前提条件

項目	実績	規格検討値
1台当りの平均充填量	2.9kg/台	3kg/台
1レーンあたりの充填可能台数	5~6台/時間・レーン	5台/時間・レーン

【水素ST分類：当初設定】

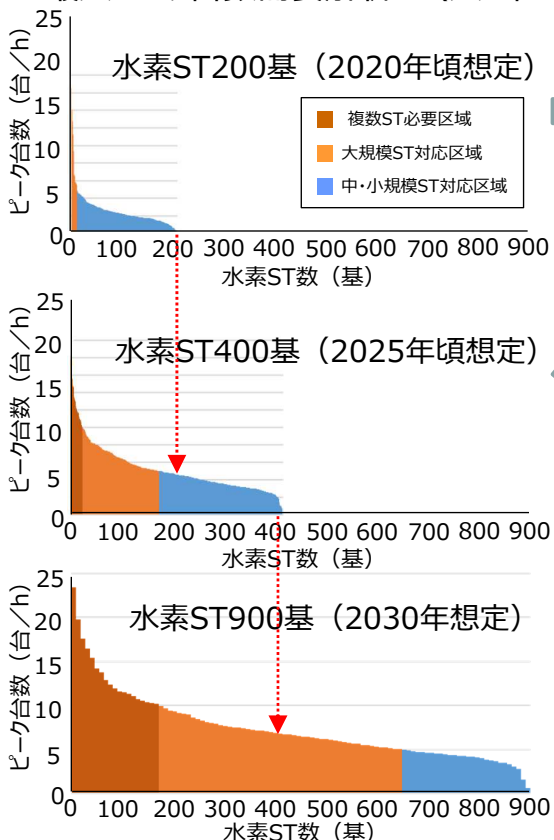
表7. 水素ST分類

水素ST分類	充填能力要件	レーン数
1 大規模ST	3kg/台×10台/時間以上	2
2 中規模ST	3kg/台×5台/時間以上	1
3 小規模ST	3kg/台×5台/時間未満	1

大規模ST (2レーン) と中・小規模ST (1レーン) の将来需要について解析

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

✓ 最大ピーク台数需要解析※ (大・中・小規模ST需要の推移想定)



※九州大学「水素供給設備整備事業に係る基礎調査」を基に検討
2020~2025年は経産省ロードマップと水素ST数・FCV台数は若干異なる

〔水素ST200基・5万台@2020年頃想定〕

- 95% (189基) は中・小規模STで対応が可能。

〔水素ST400基・FCV25万台@2025年頃想定〕

- 59% (234基) は中・小規模STで対応が可能。
- 大規模ST対応が必要な水素ST数は166基 (41%) 。
⇒ 2020年頃までに整備した水素STも、**大規模ST (2レーン) に拡張や近隣地区でSTの複数設置が必要**となる。

〔水素ST900基・FCV80万台@2030年想定〕

- 28% (252基) が中・小規模STで対応が可能。
- 大規模ST対応が必要な水素ST数は648基 (72%) 。
⇒ 2025年頃までに整備した水素STも、水素STの**拡張や近隣地区でSTの複数設置が必要**となる。

⇒ **ST建設時には、将来需要を見込み、拡張性や大規模化を考慮する必要あり**

図3. ピーク需要解析

【実態調査・将来想定まとめ】

- 平均充填量は**3kg/回**
- 2030年の1 STあたりの充填回数は**75回/日**
- 2030年の1 時間あたりの最大充填回数は**8回/h**
- 2025年以降、多くのSTにおいて**ディスペンサー（ノズル）は2基（2レーン）**が必要
- 圧縮機は340Nm³/h タイプであれば**1台でも2030年の需要に対応可能**
- 建設時点で中・小規模（1レーン）程度の需要でも将来**大規模（2レーン）に拡張**が必要



➤ 本検討を行った分科会メンバー（インフラ事業者及びJHyM）の総意として、**中規模水素STの拡張必要性を確認。中規模ST（拡張性あり）を新規設定。**

表8. 充填性能を指標とした新たな水素ST分類

新たな水素ST分類		充填能力要件	レーン数
1	大規模ST	3kg/台×10台/時間程度	2
2.1	中規模ST	大規模STへの拡張性あり	1
2.2		大規模STへの拡張性なし	
3	小規模ST	3kg/台×5台/時間未満	1

②-3) 各分類での水素STコストの試算

新たに設定した充填能力を指標とする新たな水素ST分類ごとに水素ST構成例を設定し、各分類（大・中規模ST）における建設費を試算した。

以下に水素ST構成例〔中規模ST：拡張性あり〕を示す。

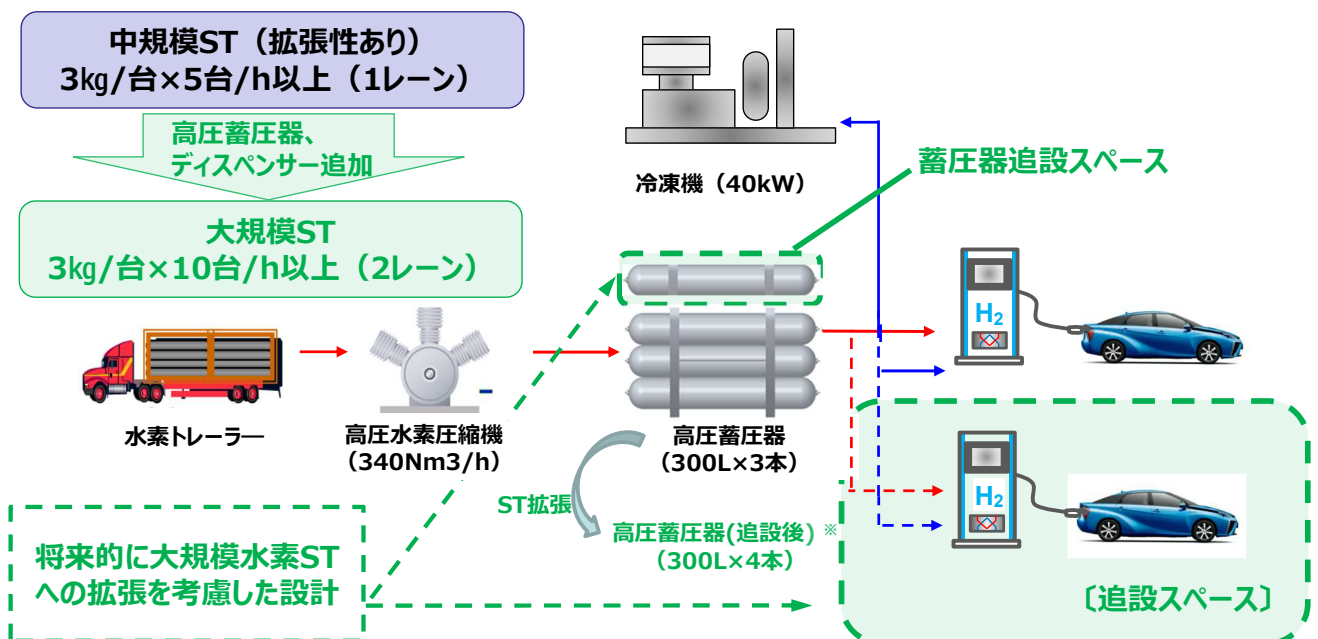


図4. 中規模ST（拡張性あり）の機器構成概要

※ 他事業における蓄圧器本数削減に係る成果を反映

【各分類（充填可能台数：10台/h以上）におけるコスト比較※】

※ 本事業で検討した標準化項目によるコスト低減効果含む

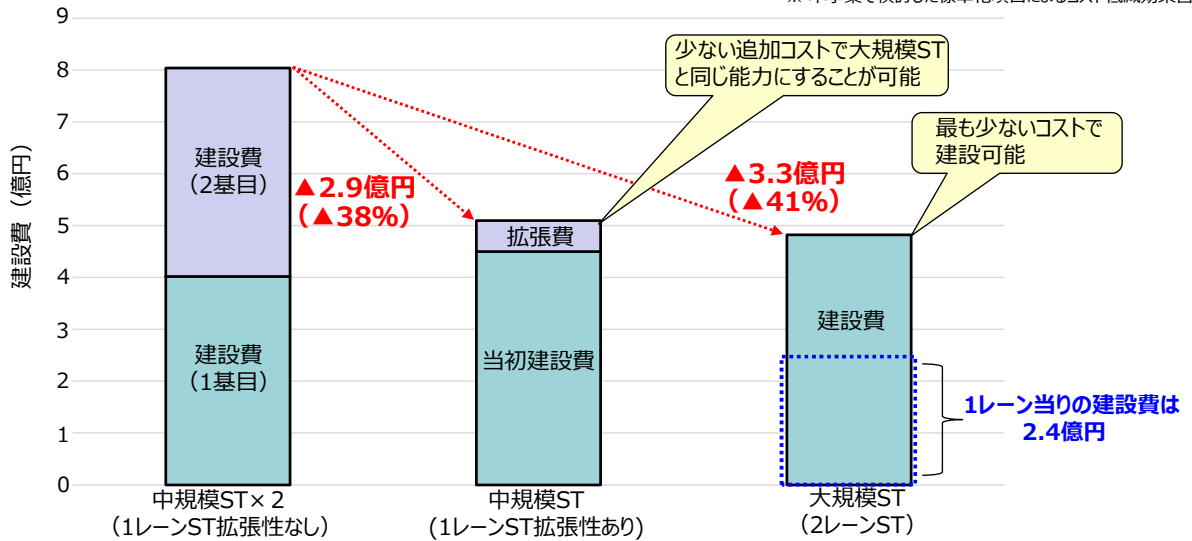


図5. 各分類（充填可能台数：10台/h以上）におけるコスト比較

- 現時点（近い将来）で2レーンの需要がある地域では、大規模ST（2レーン）が最適。
- 中長期的に2レーンの需要が見込める地域では、FCV普及台数に応じて容易に**大規模STへの拡張（2レーン化）が可能**な中規模ST（拡張性あり）で建設することが、**経済的に優位**（初期投資、メンテ費低減等）である。
- 大規模ST（2レーン）の**1レーン当り（現行と同等能力）の建設費は2.4億円**

【新たな水素ST分類によるコスト低減効果の試算】

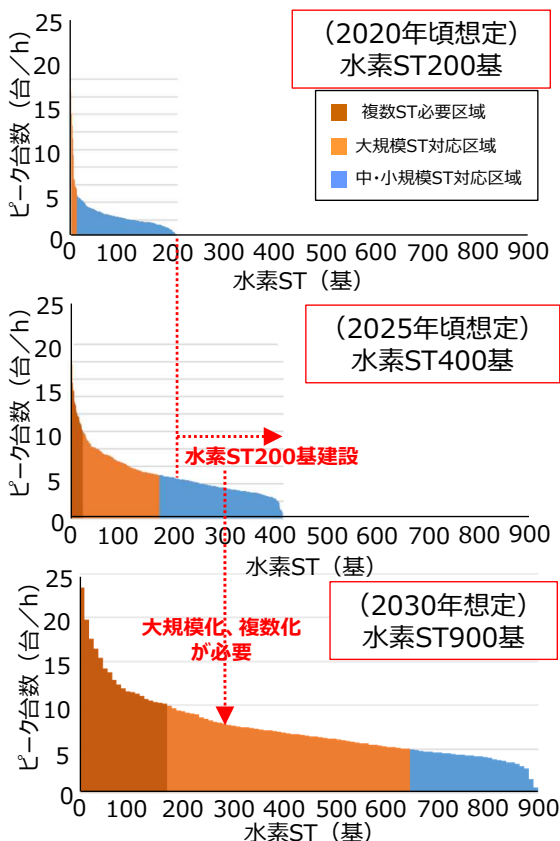


図6. ピーク需要解析

最大ピーク台数需要解析より、2030年には、水素STの7割以上が大規模ST（2レーン）もしくはSTの複数化が必要となる。

2025年頃までの建設ケース
(200基相当)

現時点から2025年頃までに整備する水素ST200基を以下のケースで建設した場合のコスト低減効果を試算。

- ケース①：中規模ST（拡張性なし）×200か所
- ケース②：中規模ST（拡張性あり）×200か所
- ケース③：大規模ST × 100か所（200基相当）

2030年までの建設費比較
(200か所相当追加)

- ケース①で2025年頃までに200か所建設し、さらに2030年までに、追加で200か所建設する費用に対し、ケース②で建設したST（200か所）を2030年までに拡張した場合の建設費総計との比較では**約580億円**の低減効果が見込まれる。
- また、ケース③で2025年頃までに100か所建設し、さらに2030年までに追加で100か所建設した場合の比較では**約660億円**の低減効果が見込まれる。

③ 標準化対応次世代パッケージシステムの実証検討

【目的】

水素STの標準化対応次世代パッケージシステム実証の検討を行い、必要に応じ実証を行って、低コスト化効果と信頼性・耐久性等の技術を検討する。

【主要活動内容】

1) パッケージシステム実証課題の整理

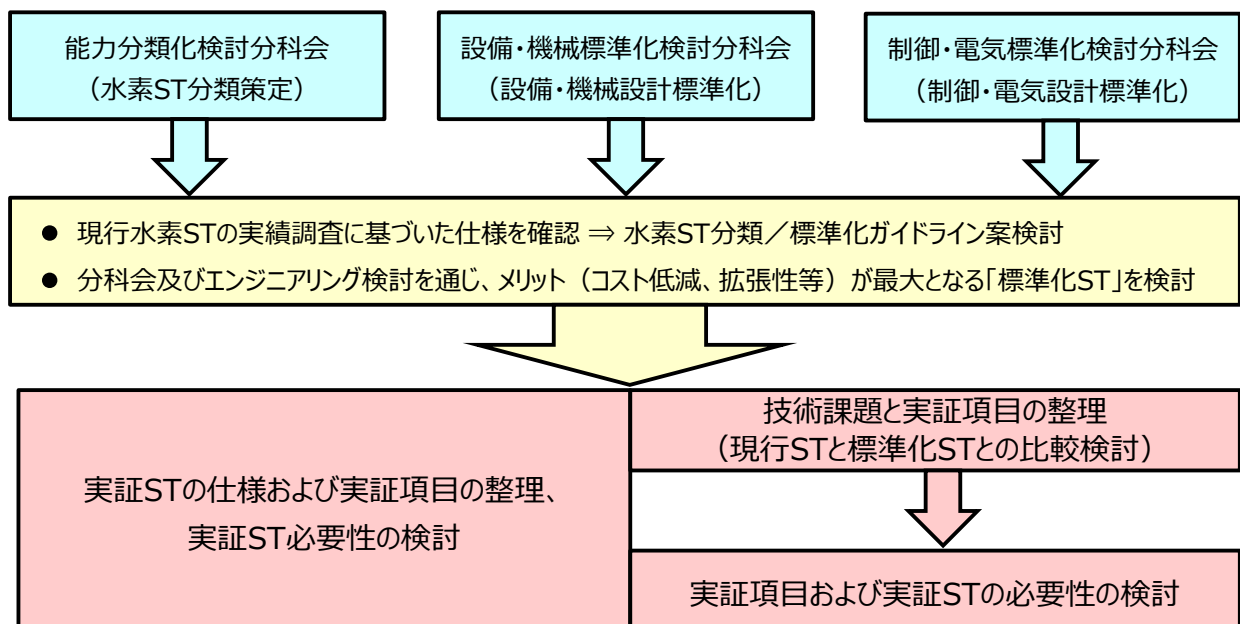
標準化対応次世代パッケージシステムでの課題を抽出し、実証項目を整理。

2) パッケージシステム実証の必要性の検討

標準化対応次世代パッケージシステムでの実証の必要性を検討。

③-1) パッケージシステム実証課題の整理

【実証の必要性に係る検討フロー】



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

③-2) パッケージシステム実証の必要性の検討

- 標準化対応次世代パッケージシステムでの実証項目を整理検討。**机上検討により、ST標準仕様（実績ベース）を策定することとし、本事業での標準化対応次世代パッケージシステムの建設・実証評価は実施しないこととした。**
- 検討した**検証設備（リサイクルライン）を既存水素技術センターに適用し利便性向上をはかり、他事業との連携で有効利用する。**

表9. パッケージST実証項目および検討結果・対応方針

No.	実証項目	検討結果・対応方針
①	標準化項目仕様の実証	<ul style="list-style-type: none"> 実績に基づく標準仕様化のため基本的に実証不要
①	低コスト/小型化標準パッケージ + 屋外設置型一体統合制御盤	<ul style="list-style-type: none"> 標準パッケージ及び一体統合制御盤の概念設計 ⇒ コスト低減効果を試算し、エンジニアリング検討に活用
②	オン・オフサイト共通で活用可能 + 充填能力が容易に拡張可能	<ul style="list-style-type: none"> オン・オフサイト共通/拡張可能な標準パッケージ検討 ⇒ 拡張工事のコスト試算 = 中規模ST（拡張性あり）の優位性の確認
③	標準遠隔監視・故障発報システム + 制御信号の無線通信化	<ul style="list-style-type: none"> 第7条の4（遠隔監視型水素ST）の検討内容に基づき制御・電気分科会で継続検討
④	標準化パッケージの安全性、信頼性等の技術検証	<ul style="list-style-type: none"> 実績に基づく標準仕様化のため基本的に実証不要 パッケージ内の個別技術検証は個社での対応が必要
⑤	標準化パッケージの消耗品類の耐久性検証等による信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> リサイクルラインを採用した検証設備の仕様検討 ⇒ 検討結果を他事業へ移管し、既存の水素技術センターにリサイクルラインを追設し、他事業と連携し有効活用
⑥	検証設備（リサイクルライン）追設	

21/26

3. 研究開発成果について (3) 成果の普及

○成果の普及

	2018	2019	2020	計
論文（査読付き）	0	0	-	
研究発表・講演	1	4	-	5件
受賞実績	0	0	-	
新聞・雑誌等への掲載	0	0	-	
展示会への出展	0	0	-	

※2020年10月1日現在

3. 研究開発成果について (3) 成果の普及

○成果の普及

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年6月3日	WHTC2019 NEDO Session (東京国際フォーラム)	Status on Activities of Hydrogen Infrastructure in Japan	池田 哲史 (HySUT)
2	2019年6月13日	FCCJ インフラサブワーキング	水素STの規格化・標準化、モジュール化等に関する研究開発	中西 功 (HySUT)
3	2019年9月10日	福岡県主催 技術者育成セミナー	水素STの構成と規制	池田 哲史 (HySUT)
4	2020年2月17日	FCCJ/燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素STの能力分類化・標準化	中西 功 (HySUT)
5	2020年2月17日	International Transport Forum Expert Workshop	Efforts toward the Realization of Hydrogen-utilized Society in Japan	前原 和巳 (ENEOSエネルギー(株))

※2020年10月1日現在

24/26

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトで策定する標準化ガイドライン案に基づき、水素供給利用技術協会にて2020年度までに業界統一規格（HySUTガイドライン）を制定する。国内の水素ST事業者は当該ガイドライン及び技術的成果を用い、業界統一仕様に対応した低コストな水素STの整備を開始する。

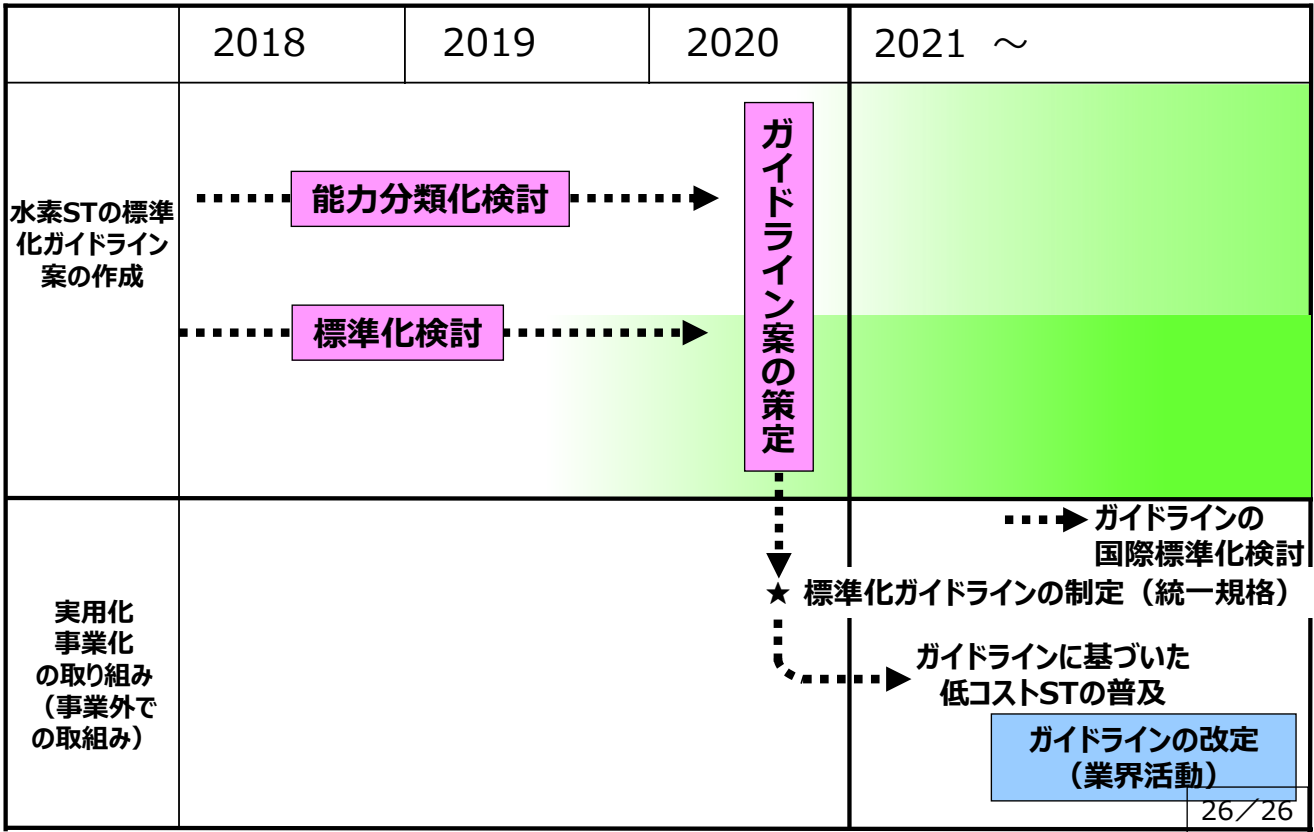
本研究で新たに充填能力に応じた水素ST分類を規定することにより水素STの建設費の低減がはかられ、かつ、効率的な水素ST整備を可能とし、2020年代後半までの水素ST事業の自立化に貢献できる。

また、策定したガイドラインのうち、海外との協調が可能な部分については、ISO等において国際標準化を目指すことで、日本のメーカーの国際展開にも貢献することが可能となる。

25/26

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組み



「水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査 手法の研究開発」 (中間評価) (2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

JFEスチール(株)

JFEコンテナ(株)

千代田化工建設(株)

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況1/2

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築	・定期自主検査へのAE法導入障壁への対応策	日本非破壊検査協会での規格委員会の設置準備中	△	委員の選定中。 各有識者との面談
鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	・疲労き裂進展に及ぼす水素劣化の影響が、AE法によっても確認される。 ・AE法の定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得。	・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知。 ・大気中および連続陰極水素チャージ中でAEの有効性が確認。	○	N増し試験を継続
鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	・AE法の定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得。	・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知。 ・き裂進展時に、発生位置が特定。	△	Type2小型容器での疲労試験が未完了。 現在実験中。
実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築	・外部環境（振動等）、実操業条件下での昇圧・減圧条件下でのAE監視の妥当性が確認される。 ・保安検査へのAE法導入障壁への対応策の構築	・加圧時と減圧時で異なる発生数となるノイズ源が存在するなど実環境でのAEノイズの状況を把握した。	△	環境ノイズ対策。 実環境におけるAEノイズの原因と除去方法を探求。 (2021年2月から実HRSにてデータ取得予定)

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

●本研究は、非破壊検査技術のひとつであるアコースティックエミッション法（AE法）を適用して、非破壊・非開放で供用中のタイプ2蓄圧器の有害な欠陥の有無を評価する事を目標としている。

(1) 定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築：

・容器開放検査のタイミングとしてAE法を適用できる指針を提案。

(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出：

・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知。
・大気中および水素陰極チャージ中でAEの有効性が確認。

(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出：

・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されない⇒損傷がない容器ではAEが発生しないことを明確化。
・き裂進展時に、その容器のき裂は発生位置を特定可能であることを立証。

(4) 実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築：

・水素技術センタにて実機AE計測を実施し、実環境でのAEノイズの状況を把握した。実環境におけるAEノイズの原因と除去方法を探求。

●順調に課題を達成し、AE法の規格化に資する知見が収集されている。

●AE法と渦流探傷などの併用により、使用寿命の延長と、定期自主検査指針などの供用中検査基準にAE法が導入される事により、運営コスト削減を可能とし、市場の拡大につながる。先行するフェーズドアレイ法と比較して、供用中検査の作業負荷が少ない事は優位性がある。

2

◆各個別テーマの成果と意義

(1)定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築：

高圧ガス製造施設の保安の維持・向上には事業者における自主検査の充実が不可欠であり、高圧ガス保安法ではその詳細が規定されていない定期自主検査の方法について、事業者の参考のために高圧ガス保安協会は**定期自主検査指針(圧縮水素スタンド) KHK/JPEC S 1850-9**を制定した。

定期自主検査指針では、保安検査基準(KHK/JPEC S 0850-9)に定めた事項の他、肉厚測定以外の非破壊検査について、**先進的な検査技術の検討等を行い、検査方法を採択するよう努める**ことの明記などを追加しており、本AE法による供用中検査手法は先進的な検査技術に該当する事は確認済。

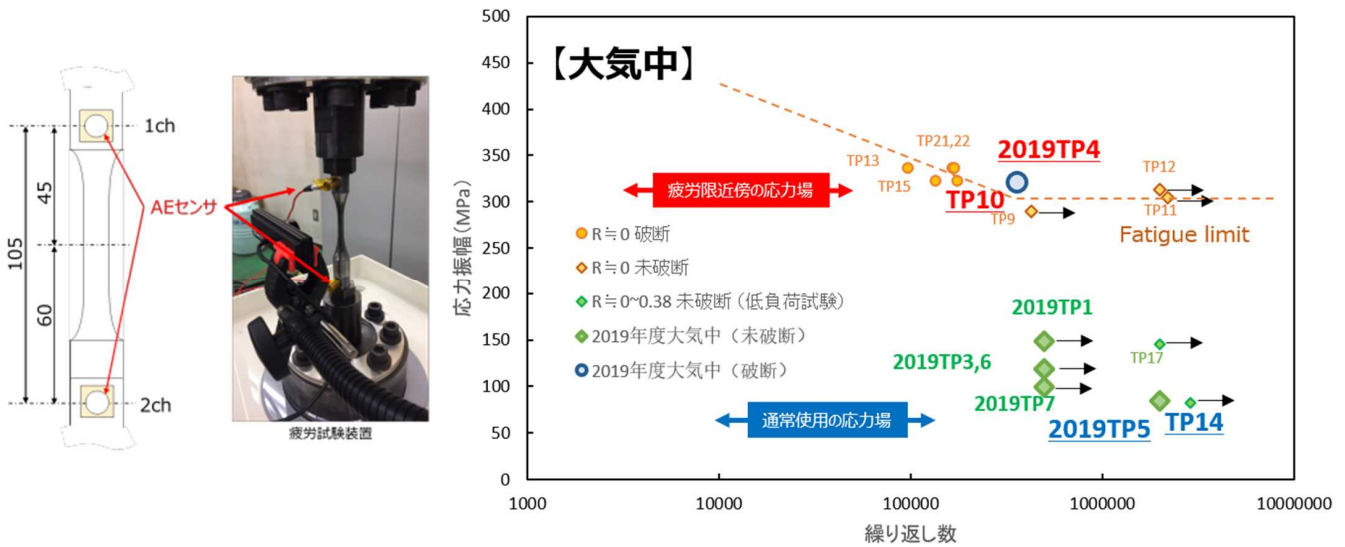
「基準化への取組」においては、2018年度から2020年度までの研究成果を纏めたデータ/資料に基づいて規格原案を作成し、有識者による検討委員会の設置/運営を日本非破壊検査協会(JSNDI)に委託する。

当該委員会を通じた本研究開発成果のAE法に関する協議/審査によって2022年度までに**日本非破壊検査協会規格(NDIS)の制定**を試みる。さらに、制定予定のNDISを定期自主検査指針から引用する事を試みる事でAE法を定期自主検査指針などの供用中検査基準への導入する。

3

◆ 各個別テーマの成果と意義

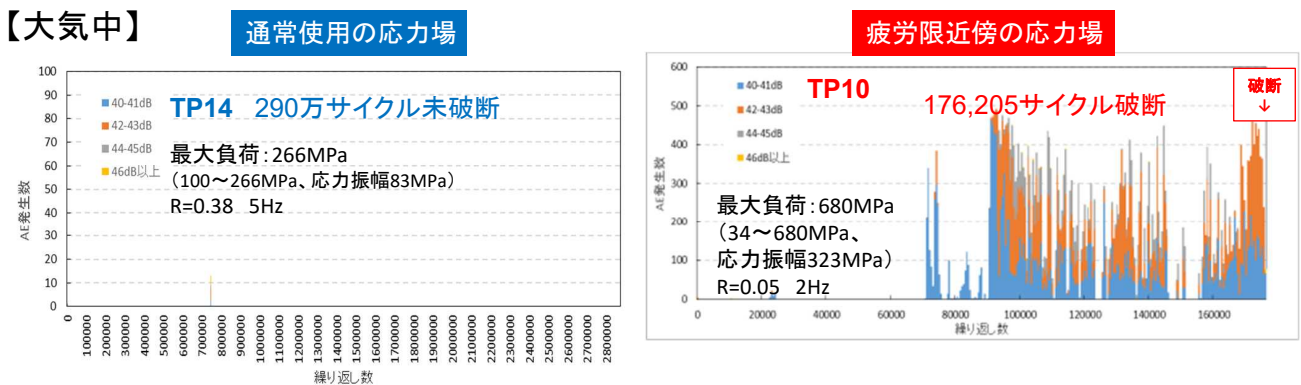
(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出:



種々の応力水準における疲労試験中におけるAEを計測。

◆ 各個別テーマの成果と意義

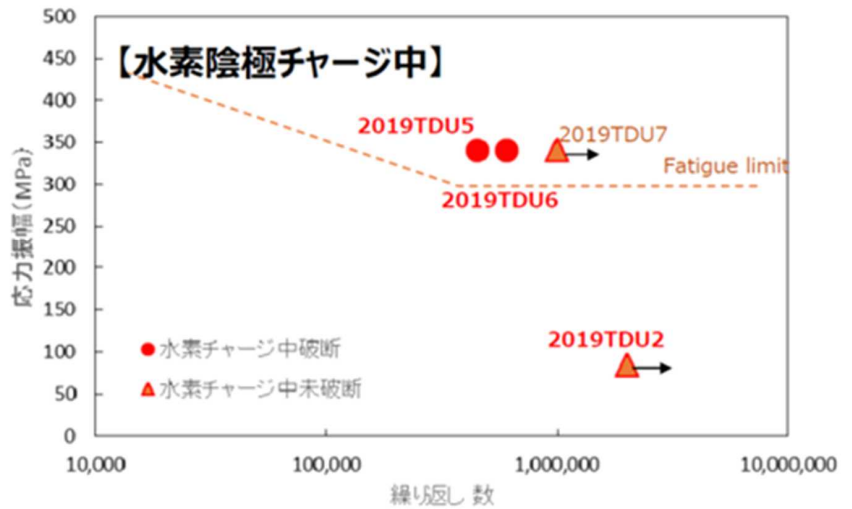
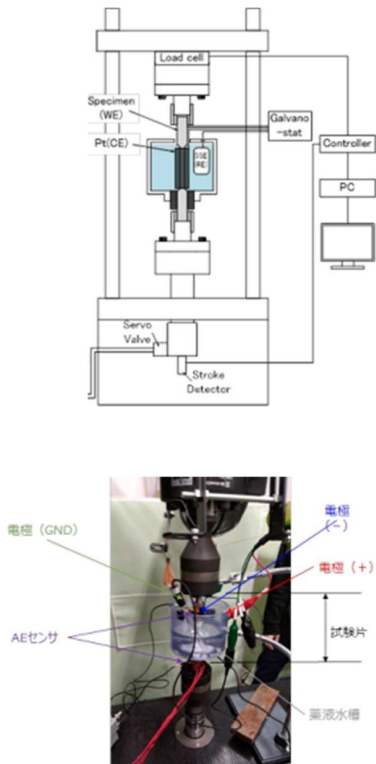
(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出:



- 蓄圧器使用応力場ではAEが検出されない事を確認した。
- 疲労限近傍の応力場において、損傷が発生すればAEは検知された。

◆ 各個別テーマの成果と意義

(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 (再委託) :



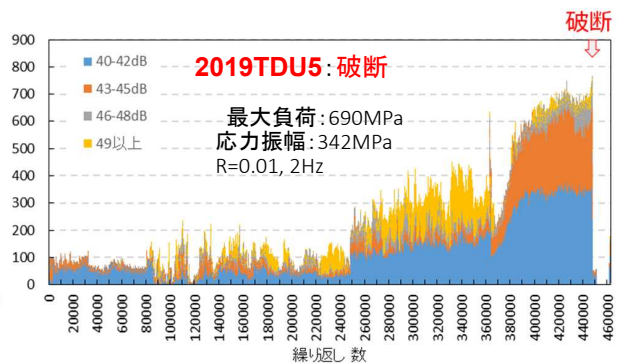
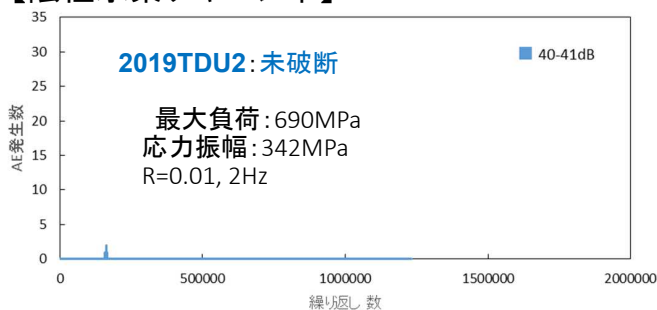
- ・連続陰極水素充電中疲労試験中のAE計測法の開発
- ・種々の応力水準における連続陰極水素充電中の疲労試験におけるAEを計測。

6

◆ 各個別テーマの成果と意義

(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 (再委託) :

【陰極水素充電中】



- ・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されない事を確認した。
- ・疲労限近傍の応力場において、損傷が発生すればAEは検知された。
- ・大気中および水素陰極充電中でAEの有効性が確認された。

7

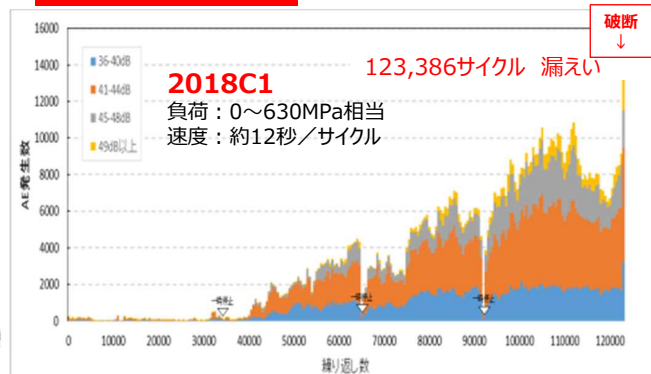
◆ 各個別テーマの成果と意義

(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出：

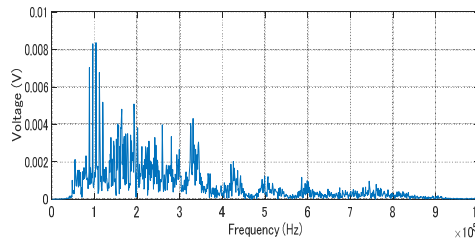
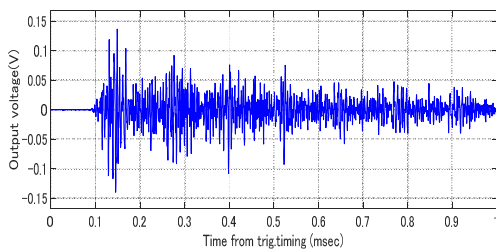
通常使用の応力場



疲労限近傍の応力場



- ・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されない事を確認した。
- ・疲労限近傍の応力場において、損傷が発生すればAEは検知された。



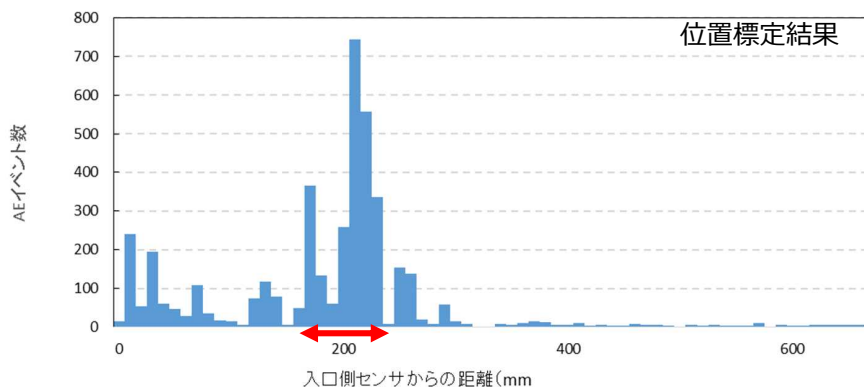
- ・突発型AE波
- ・150kHz近傍のピーク
- ・+200kHz～500kHzの周波数スペクトラムの傾向
- ➡試験片を用いた実験と類似のAE特徴

◆ 各個別テーマの成果と意義

(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出：



試験停止後 漏えい確認時

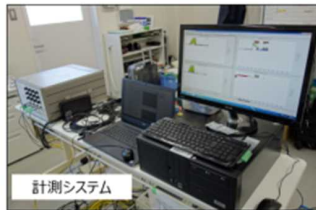
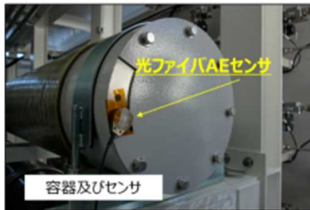


- ・き裂進展とその漏洩時にAEが検出され、複数のAEセンサへの信号到達時間差によりき裂発生位置が特定可能

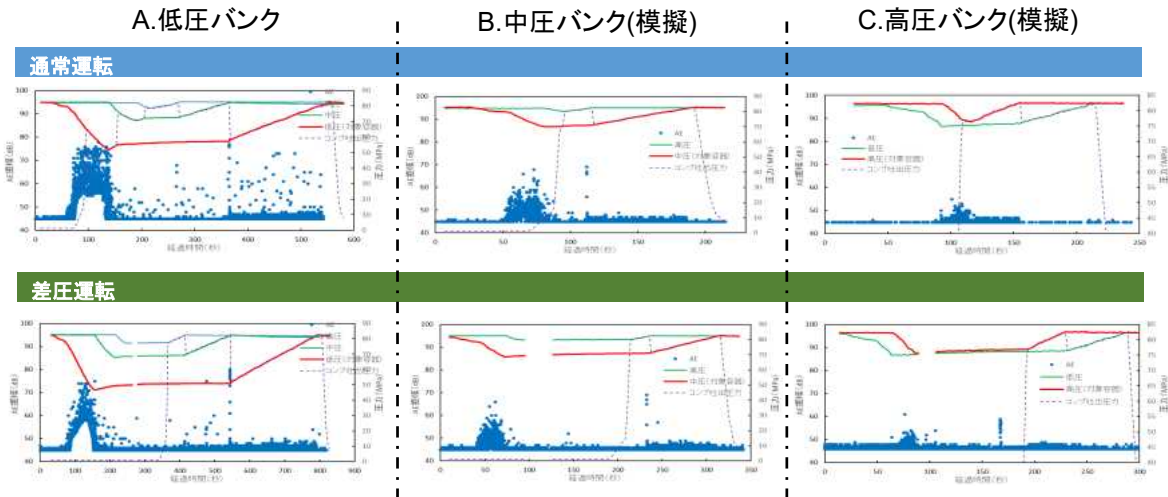
◆各個別テーマの成果と意義

2021年2月から実HRSにてデータ取得開始！

(4)実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築：



- ・水素技術センタにおいて、ノイズの収集を実施。
- ・3バンク充填プロトコル中の各バンク稼働中のAE計測を実施。
- ・ノイズの原因や除去方法について検討中
- ・蓄圧器減圧時にノイズが多数観察される。
- ・蓄圧器昇圧時のノイズは少ない。
- ・高圧になるほどノイズは少ない。

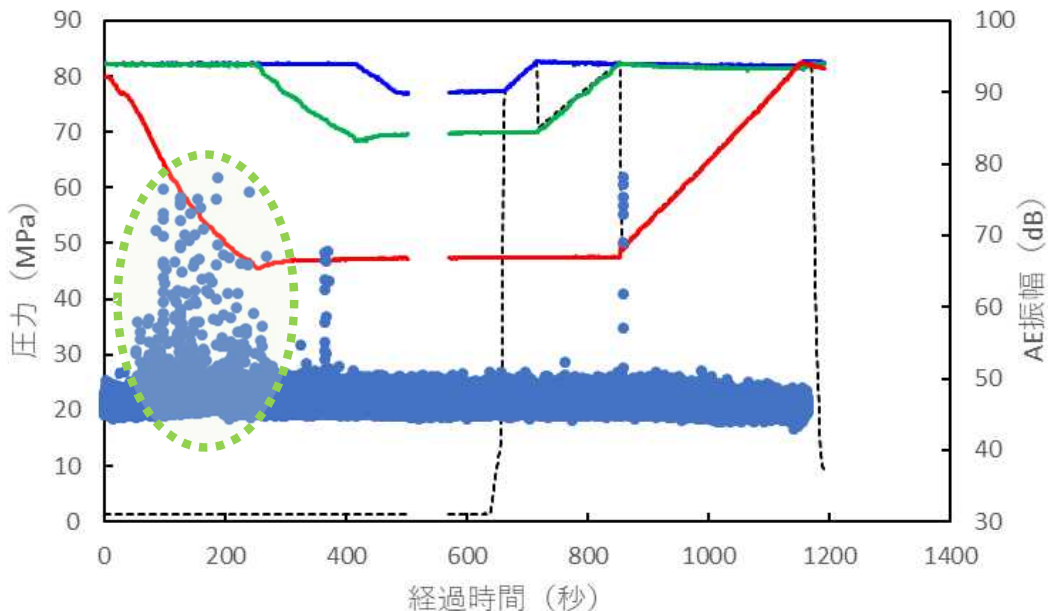


10

◆各個別テーマの成果と意義

(4)実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築：

- 低圧バンク・差圧運転のノイズ発生挙動

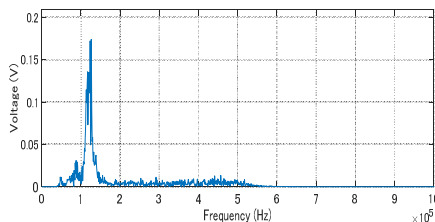
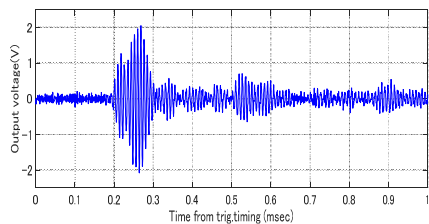


11

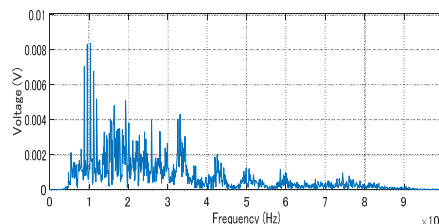
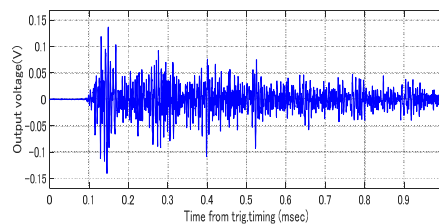
◆各個別テーマの成果と意義

(4)実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築：

■ノイズ波形と損傷に伴うAE波形の比較(マイクロ解析)



- ・立上りが緩やかな波形
- ・150kHz以下の低周波数



- ・突発型AE波
- ・150kHz近傍のピーク+200kHz~500kHz
(試験片/小型容器も同じ傾向)

ノイズ源の推定

低周波数で、蓄圧器両端近傍の全周から、加圧時と減圧時で異なる発生数となるノイズ源
 →蓄圧器の貯蔵部ではなく、プラグ、グランドナットなどから発生していると推定。

12

◆各個別テーマの成果と意義

(5)基準化への取組：(参考)

現状

2020年度までの研究成果を取り纏め中。日本非破壊検査協会(JSNDI)へ規格委員会設置の依頼済。規格委員構成の検討を開始。現在までの研究成果を関係学会誌へ掲載1件、関係学会への口頭発表6件を実施し、本開発技術の有効性を公知とすることで、規格化に資する活動を実施中。

最終目標

JSNDIの規格委員会において本研究開発成果のAE法に関する協議/審査し、2022年度までに日本非破壊検査協会規格(NDIS)を制定する。

達成見通し

当初の予定通り(2021年度から取り組み)に遂行中

13

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2020年度末、 ⑤は2022年度末)	達成見通し
①定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築	・日本非破壊検査協会での規格委員会の設置準備中	AE法の供用中検査基準の策定	○
②鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されず、疲労限近傍の応力場で損傷が発生すればAEは検知。 ・疲労き裂進展に及ぼす水素劣化の影響が、AE法によっても確認され、水素環境でもAE法による疲労損傷評価が可能であることを確認。	鋼材の疲労き裂発生進展とAE波の発生関係を明らかにし、定期自主検査への導入、保安検査基準策定に資するデータの取得	○
③鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出	・蓄圧器使用応力場ではAEが検出されない事を確認。 ・疲労限近傍の応力場において、損傷が発生すればAEは検知。 ・き裂進展時は、発生位置が特定された。	使用応力場及び疲労限近傍の応力場にてのAE発生挙動を確認	○
④実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築	・ノイズは、き裂進展時の周波数と比較して低周波数で、蓄圧器両端近傍の全周から、加圧時と減圧時で異なる発生数となるノイズ源 ・蓄圧器の貯蔵部ではなく、プラグ、グランドナットなどから発生していると推定。	実機稼働中のAE発生挙動を確認し、ノイズの原因や除去方法を確立する。	○
⑤基準化への取組	・規格委員構成の検討を開始。現在までの研究成果を関係学会誌へ掲載1件、関係学会への口頭発表6件を実施。	JSNDIの規格委員会において協議/審査し、2022年度までに日本非破壊検査協会規格を制定	○

◆成果の普及

事業開始
→

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	0	0	0	0	1	1
研究発表・講演	0	0	0	3	4	7
展示会への出展	0	0	0	1*1	0	1

*1 FCエキスポにAE法を展示



2020/2/26~28 FCEXPOにて、Type2模擬蓄圧器およびAE計測のデモを実施。

◆成果の普及

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019/8/9	日本非破壊検査協会 AE部門講演会	AE法による水素ステーション用蓄圧器の供用中検査手法の開発	前田守彦 (千代田化工建設)
2	2019/8/9	日本非破壊検査協会 AE部門講演会	水素蓄圧器の保安検査へのAE適用の期待	高野俊夫 (JFEコンテイナー)
3	2020/2/26~28	水素燃料電池展 (展示会出展)	AE法による水素ステーション用蓄圧器の供用中検査手法の開発 (AE法の模擬出展)	JFEスチール・JFEコンテイナー・千代田化工建設
4	2020/3/24	日本高圧力技術協会 高圧水素技術専門研究委員会	水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発	鈴木裕晶 (千代田化工建設)
5	2020/6/4	日本非破壊検査協会 非破壊検査総合シンポジウム	水素ステーション用タイプ2蓄圧器の供用中検査手法の研究開発	鈴木裕晶 (千代田化工建設)
6	2020/06	日本非破壊検査協会 機関誌「非破壊検査」第69巻6号	AEによる水素ステーション用複合蓄圧器の供用中検査	前田守彦/鈴木裕晶 (千代田化工建設)
7	2020/11/27	日本非破壊検査協会 保守検査シンポジウム	タイプ2蓄圧器のAE法による定期自主検査	高野俊夫 JFEコンテイナー)
8	2020/11/27	日本非破壊検査協会 保守検査シンポジウム	水素蓄圧器用低合金鋼の疲労損傷中のAE計測	岡野拓史 JFEスチール)

◆知的財産権の確保に向けた取組

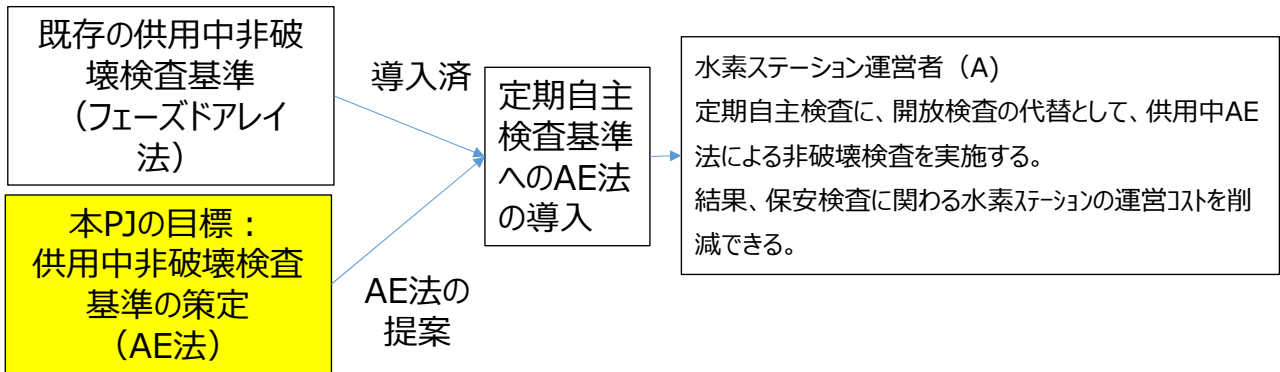
- ・広く一般にご使用いただくため、特許取得は行わない。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- ①タイプ1水素蓄圧器の耐圧性能および強度に関する検査は、目視検査および非破壊検査（肉厚測定）を実施することが定められている。現状では2～3年に一度は蓄圧器を開放し、目視検査を実施している。
- ②開放検査は水素ステーションを連続10日程度の休業させる必要があり、運営の負担となる。
- ③保安検査基準（一般高圧ガス保安規則関係（スタンド及びコールド・エバポレーター関係を除く。）KHKS 8501-1(2011)の附属書D(規定)供用中探傷試験では、当該附属書のD.3 a) 1) において**供用中探傷試験として、超音波探傷試験法（UT法）が定義**されている。
- ④今回の保安検査基準の改訂により、スタンドへの適用が予定されている。非破壊検査協会から新たに発行された蓄圧器に係るUT法を用いて、供用中探傷試験を行う事により、開放検査の代替となりえる。
- ⑤**タイプ2蓄圧器は、表面がCFRP層で覆われている事から、UT法の適用が困難。アコースティック・ミッション法（AE法）はタイプ2蓄圧器への適用が可能。**
- ⑥**AE法が基準化され、供用中検査法として適用される事により、開放検査の代替となりえる。結果、保安検査に関わる水素ステーションの運営コストを削減できる。**

◆ 実用化・事業化に向けた戦略



プロジェクト期間終了後のAE法の定期自主検査基準適応へのシナリオ（案）を示す。

- ① 検査会社および水素ステーション運営会社などへの技術PR。
 - ② AE法の実運用のデータの蓄積。
 - ③ 定期自主検査基準へのAE法の導入。
- 結果、水素ステーション運営コスト低減に寄与できる。

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

	2018年度	2019年度	2020年度	2021～2022年度	2023年度以降
(1) 定期自主検査へのAE法導入シナリオの構築 (A,B,C)	→				定期自主検査基準への採用 ↓ 定期自主検査への導入
(2) 鋼製試験片の疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 (A,C)	→				
(3) 鋼製小型蓄圧器による疲労き裂発生進展挙動のAEによる検出 (B,C)	→				
(4) 実機タイプ2蓄圧器による高圧水素サイクル条件下でAE法の構築 (B,C)	→				
(5) 基準化への取組 (A,B,C)				供用中のAE法基準の策定 →	

◆成果の実用化・事業化の見通し

●実用化・事業化のイメージ：

①AE法と渦流探傷などの併用により、使用寿命の延長と、定期自主検査指針などへの供中検査基準にAE法が導入される事により、運営コスト削減を可能とし、市場の拡大につながる。

②先行するフェーズドアレイ法と比較して、供用中検査の作業負荷が少ない事は優位性がある。

●当該技術を確立する見通し：

①前半の3か年で実施すべき技術課題は順調に達成されている。

②AE法の基準化に向けての準備作業は既に、日本非破壊検査協会(JNDI)と進められている。

③2021年度から、JNDIにて2年間の審議期間を経て、供用中AE法の基準が策定される予定。

20

◆波及効果

- 本事業の成果として、供用中AE検査に係る規格が策定される。この策定と連携して、AE法を実施する非破壊検査者の技量認定制度が整備されることが期待される。

結果、日本でも欧米と同じようにAEに特化した技量認定技術者が育成されるシステムが構築される。

21

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／ 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／ 複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に 関する技術開発」（中間評価）

（2018年度～2022年度 5年間）

プロジェクトの概要 （公開）

一般財団法人石油エネルギー技術センター
高圧ガス保安協会
国立大学法人東京大学
株式会社日本製鋼所

2020年12月17日

3. 研究開発成果 （1）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況		◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達		
研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 ライナー試験片評価法の検討	・アルミニウム合金の最適疲労曲線の作成	・引張強さをパラメータに含む最適疲労曲線を構築した	○	—
①-2 CFRP試験片評価法の検討	・樹脂単体の疲労寿命設計線図の作成 ・CFRP試験片のミクロスケール有限要素シミュレーションを完了	・CFRP試験片に関して樹脂の疲労寿命設計線図に基づく一般性の高い疲労寿命設計線図を得た	○	—
①-3 円筒試験体評価法の検討	・フープラップ容器対応円筒試験体による圧力サイクル試験結果を用いて疲労寿命設計線図の妥当性を確認	・フープラップ容器対応円筒試験体の試験結果からタイプ2容器の疲労寿命設計線図の妥当性を確認した	○	—
①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成	・タイプ2容器ライナー材料およびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図を作成	・タイプ2容器の金属層はKHKS 0220の設計疲労曲線を使用できることを確認した	○	—
①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証	・タイプ3実容器試験データにより疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証	・実容器試験データから、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式（累積損傷関係式）を構築した	○	—
② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発	・タイプ2容器の自主基準案を策定 ・KHKS 0225改正方針検討	・公式および解析による設計をまとめたタイプ2技術文書（JPEC-TD）案が完成した ・KHKS 0225の改正方針を作成した	○	—

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- ・タイプ3容器に係る技術基準としてKHKS 0225があるが、実容器試験を課す内容となっている
- ・タイプ2容器については、国内に技術基準がない

⇒ 応力解析、疲労解析による容器設計手法を確立し、技術基準を制・改定する
 またタイプ3容器に関しては累積損傷則の考え方を適用することで、蓄圧器に係るコスト削減に繋げる

表 蓄圧器の現状と今後の展開

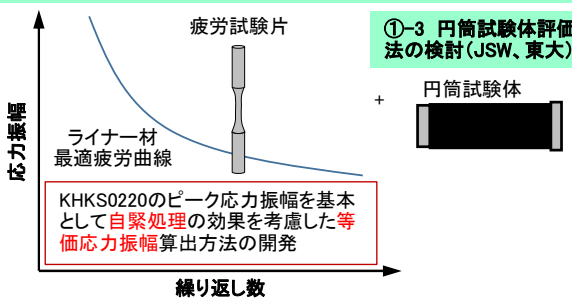
種類	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4
構造	低合金鋼 	低合金鋼/CFRP(フルラップ) 	アルミライナー/CFRP(フルラップ) 	プラスチックライナー/CFRP(フルラップ) 
現状	<ul style="list-style-type: none"> ・低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003が完成 ・Design by Analysisが確立している(実容器試験が不要) 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内に技術基準が無い ASMEには技術基準がある ・前NEDO事業にて、タイプ2技術文書の構成案を作成した ・ASME規格では設計確認試験(実容器試験)が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術基準整備が進められている ・JPECガイドライン →KHKTD 5202 →KHKS 0225 ・設計確認試験(実容器試験)が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術基準整備が進められている ・JPECガイドライン →KHKTD 5202 →KHKS 0225 ・設計確認試験(実容器試験)が必要
今後の展開	<ul style="list-style-type: none"> ・JPEC-TD 0003の KHKS 0220附属書を目指す ・圧縮機への適用拡大へ 	<ul style="list-style-type: none"> ・本NEDO事業 ・Design by Analysisの確立 ・タイプ2技術文書(案)を策定する ・KHKS 0220附属書を目指す 	<ul style="list-style-type: none"> ・本NEDO事業 ・Design by Rule及びDesign by Analysisの確立 ・累積損傷則適用による長寿命化 ・KHKS 0225改正を目指す 	<ul style="list-style-type: none"> ・Design by Analysisの確立へ向けた検討

2

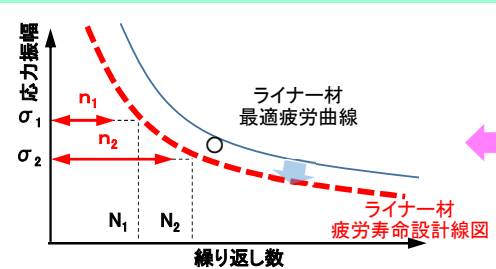
研究開発全体イメージ (プロジェクト俯瞰)

① 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発

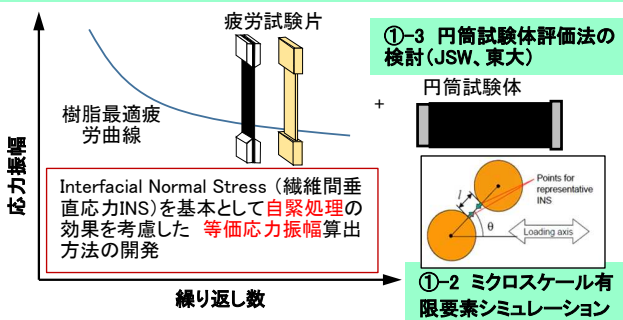
①-1 ライナー材最適疲労曲線の作成(KHK)



①-4 ライナー材・CFRP材樹脂疲労寿命設計線図作成(東大)

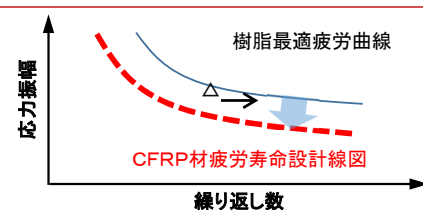


①-2 CFRP材の疲労強度評価のための樹脂最適疲労曲線の作成(KHK, 東大)



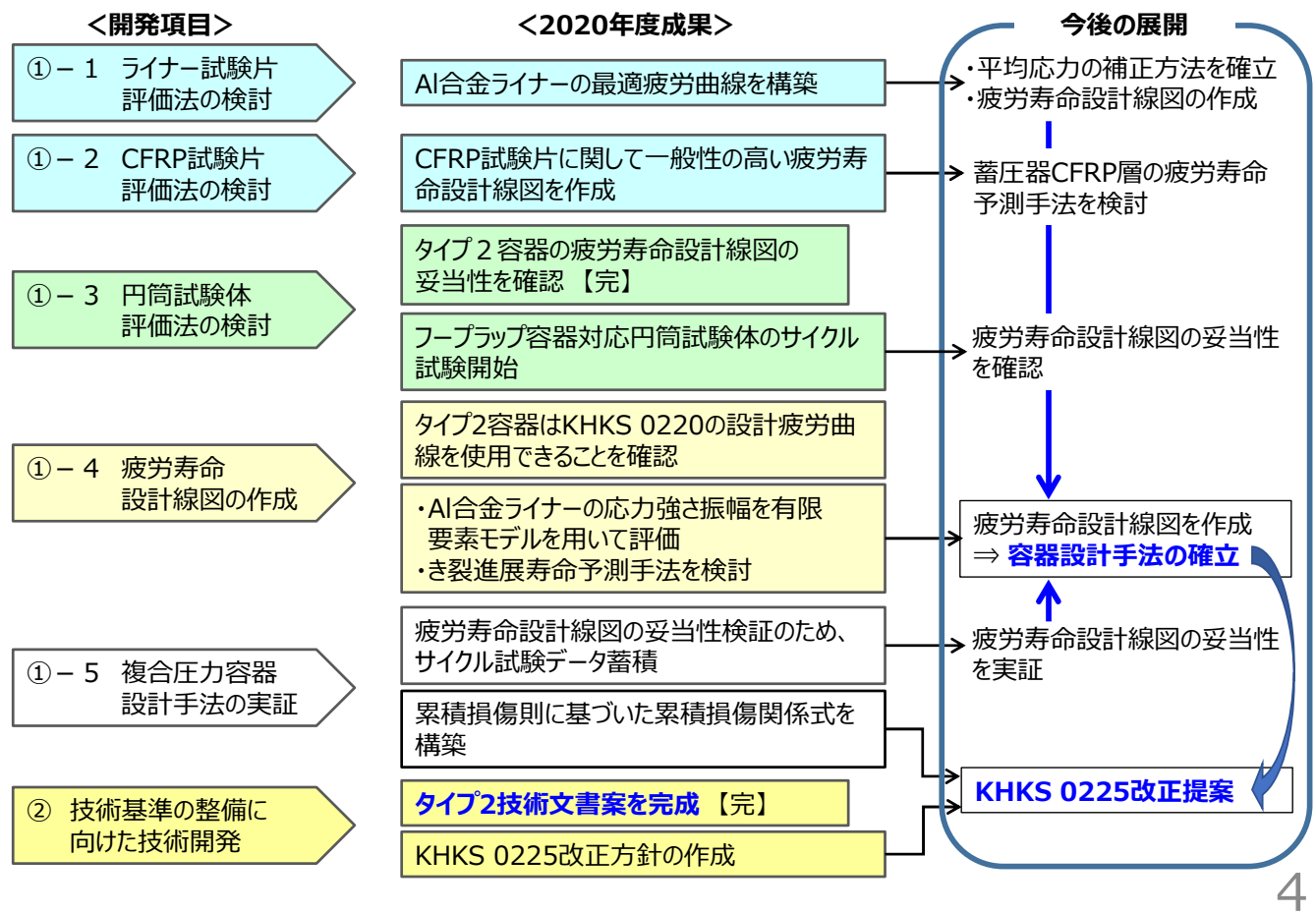
①-5 実容器により疲労寿命設計線図の妥当性を検証(JPEC)

実容器試験結果から疲労寿命設計線図に基づき漏洩の予測が可能であることを実証
 → 累積損傷則: $n_1/N_1 + n_2/N_2 + \dots = 1$ を適用可能に



② 技術基準の整備(JPEC) KHKS 0225改正+タイプ2技術文書(案)制定

3



①-1 ライナー試験片評価法の検討

目標：アルミニウム合金の最適疲労曲線の構築

手法：

- Al合金疲労試験片を用いて、単軸応力下の疲労試験データ（応力比 $R = -1$ ）を取得
- 疲労強度の引張強さ依存性などを確認後、疲労試験データを定式化し最適疲労曲線を構築
- 平均応力を変えた単軸応力下の疲労試験データを対象に、平均応力の補正方法を検討
- 検討した最適疲労曲線と平均応力の補正方法を用いて、多軸応力下のサイクル試験データを比較検討し、自緊処理の影響を検証

結果：

- 単軸応力下でのAl合金疲労試験片は明瞭な疲労限度を示さず、疲労強度は引張強さに依存する
- 引張強さをパラメータに含むAl合金の最適疲労曲線を構築
- 単軸応力下での平均応力の補正方法について、Walker式 ($\gamma = 0.8$) の有効性を検証中

今後の展開： 単軸応力下の条件で得られた結果を基に、自緊処理の影響を検証するため、多軸応力下のサイクル試験結果について引き続き検討を実施

①-1 ライナー試験片評価法の検討

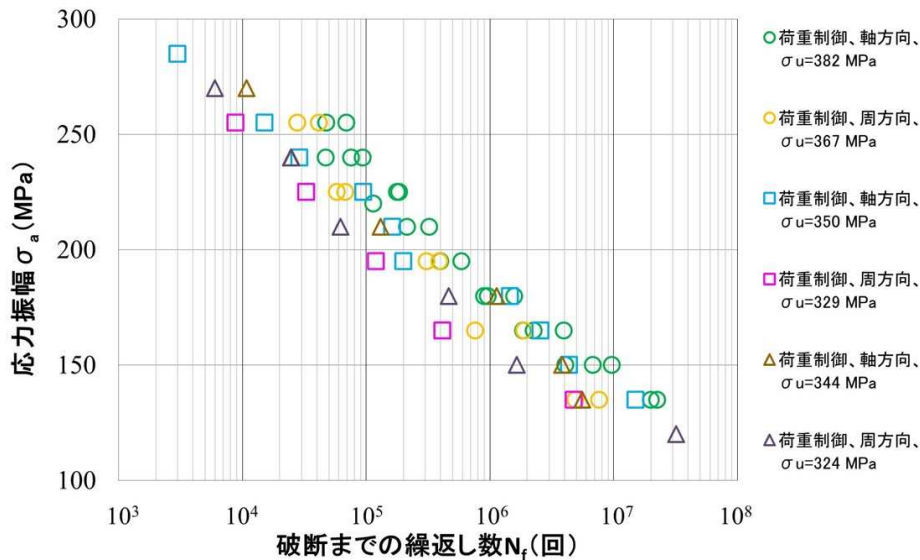


図 Al合金疲労試験片のS-N線図 (JIS H 4080、R=-1、荷重制御)

■ S-N線図より、「疲労強度 \propto 引張強さ」の傾向を確認 定式化すると $\sigma_a = 2.0\sigma_u N_f^{-0.10}$

今後の展開： Al合金疲労試験片を対象に単軸応力下の疲労試験を行い、最適疲労曲線を構築
 今後は、多軸応力下でのサイクル試験結果に対する比較検討を実施する

①-1 ライナー試験片評価法の検討

- 自緊処理に加え、充填の圧力変動を考慮するため平均応力が正負の場合に適用できる平均応力の補正方法を検討
- 様々な補正方法を比較検討したところ、Walker式 ($\gamma=0.8$) の適用が良好

Walker式 ($\gamma=0.8$)

$$\sigma_{aeq} = \sigma_{max}^{0.2} \sigma_a^{0.8} = \sigma_{max} \left(\frac{1-R}{2} \right)^{0.8}$$

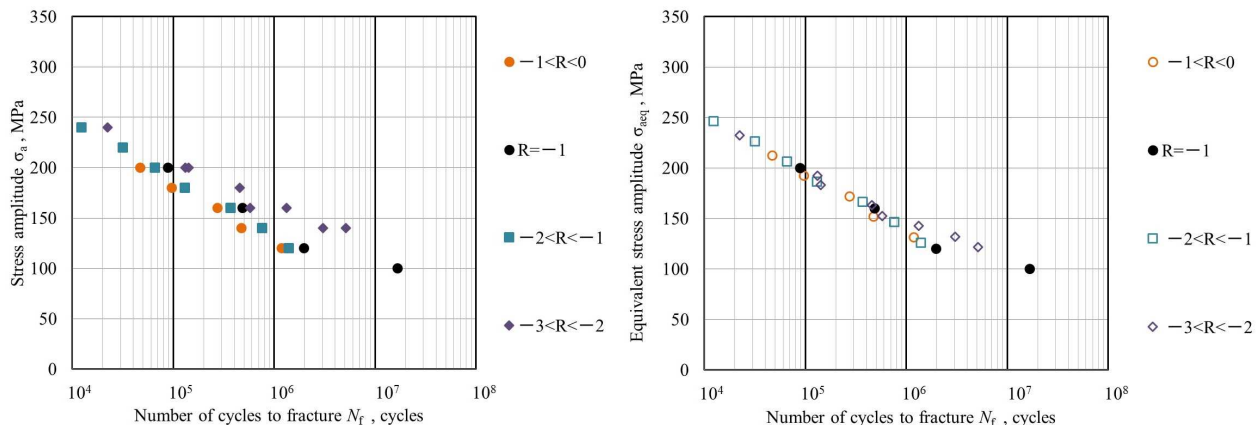


図 参照データにおける平均応力の補正結果(左:補正前、右:補正後)

今後の展開： Al合金疲労試験片を対象にWalker式 ($\gamma=0.8$) を適用することで、精度よく補正できる傾向を確認
 引き続き、平均応力の補正方法について検証を実施する

①-2 CFRP試験片評価法の検討

目標：蓄圧器CFRP層の疲労寿命評価手法の確立

手法：

- ・炭素繊維配向方向を変えた試験片（荷重方向と炭素繊維配位方向のなす角度 0° 、 45° 、 90° ）を用いた疲労試験と樹脂単体の疲労試験を実施
- ・樹脂の疲労強度がCFRPの疲労強度を支配すると仮定して樹脂単体の疲労試験結果からCFRPの疲労寿命設計線図を得るための最大公称応力に替わる力学量を検討
- ・各試験片に関するミクロスケール有限要素シミュレーションを実施して適切な力学量を検討
- ・CFRPフープ層およびヘリカル層でのミクロスケール力学場を評価して蓄圧器CFRP層の疲労寿命評価に展開

結果：

- ・CFRPフープ層に対応する荷重方向と炭素繊維配位方向のなす角度 0° の試験片に関しては最大公称ひずみで樹脂単体の疲労寿命設計線図からCFRP試験片の疲労寿命設計線図を取得
- ・荷重方向と炭素繊維配位方向のなす角度が 45° 、 90° の試験片に関して Interfacial Normal Stress (INS) によることで繊維配向方向に依らない一般性の高いCFRPの疲労寿命設計線図を得ることができるか検討中

今後の展開：プラスチックライナーにフープ巻きを施した円筒試験体を用いて圧力サイクル試験を実施しCFRPの疲労寿命設計線図のフィラメントワインディング容器への適用性を確認する

①-2 CFRP試験片評価法の検討

炭素繊維配位方向のなす角度 0° の試験片に関しては最大公称ひずみで整理することで樹脂単体と同一の疲労寿命設計線図が得られることを確認

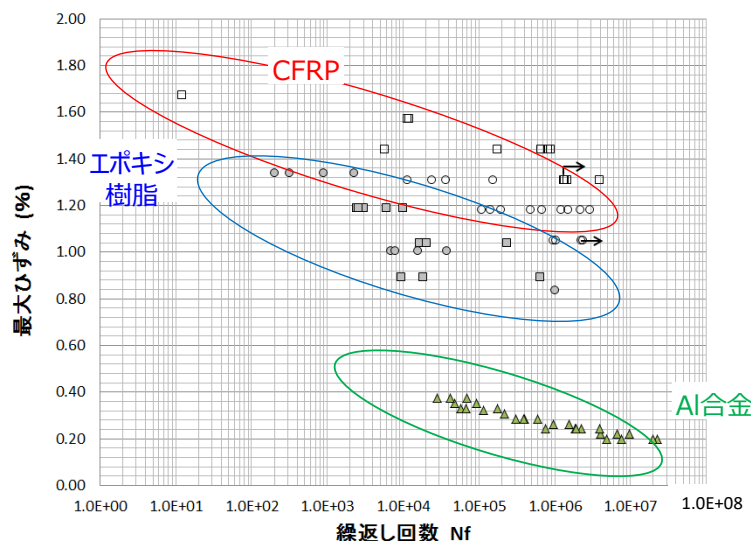


図 最大公称ひずみで整理したS-N線図

(CFRP・樹脂: $R=0.1$ 、荷重制御、Al合金ライナー: $R=-1$ 、荷重制御)

今後の展開：CFRPフープ層は低合金鋼およびアルミニウム合金と比して十分長い疲労寿命を有するとの結論をフープラップ複合圧力容器対応円筒試験体の圧力サイクル試験により検証する

①-2 CFRP試験片評価法の検討

※ INS : Interfacial Normal Stress

炭素繊維配位方向のなす角度45°, 90°の試験片に関してINSによることで樹脂単体と同一の疲労寿命設計線図が得られるかを検討

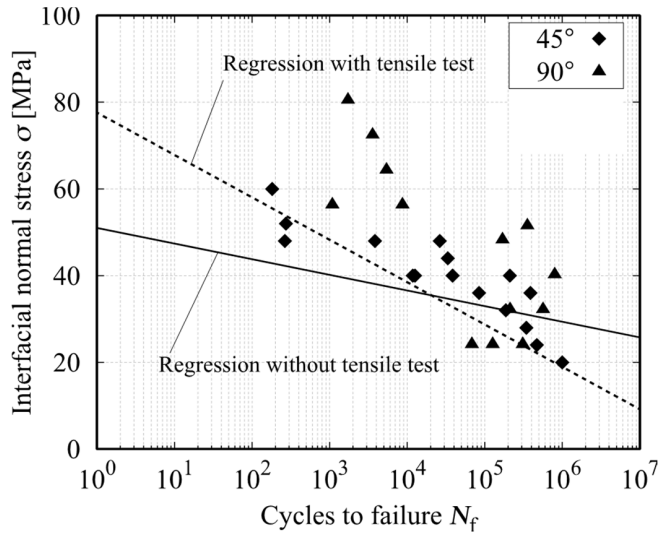
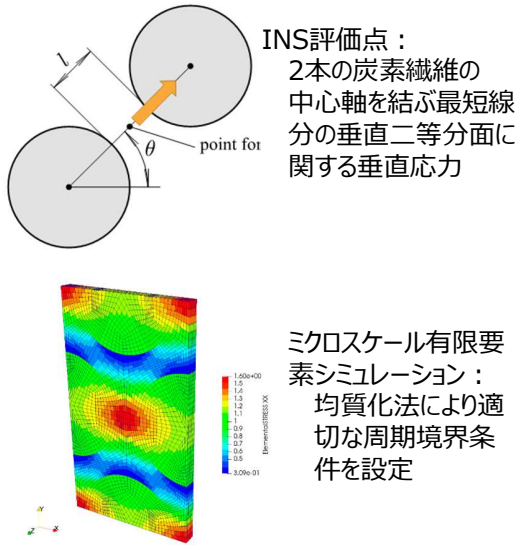
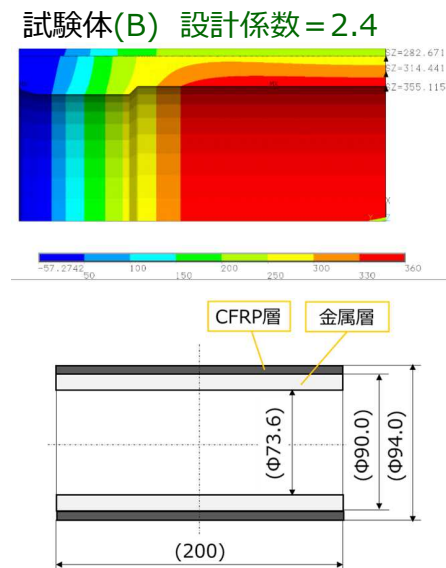
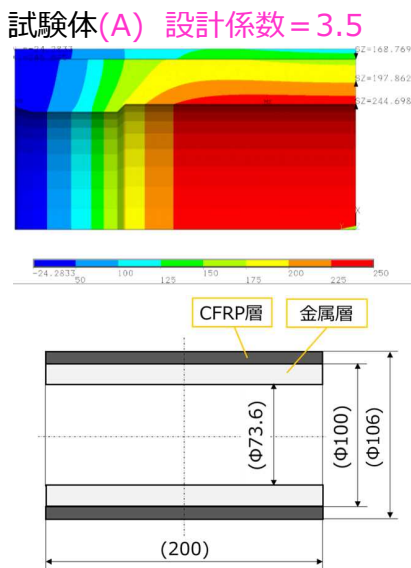


図 最大INSで整理したS-N線図

今後の展開： 炭素繊維配向方向の異なる試験片の結果を加えてINSによる評価の有効性を確認しCFRPヘリカル層の疲労寿命評価に展開する

①-3 円筒試験体評価法の検討

タイプ2技術文書(案)と解析に準拠し製作した、設計係数3.5、2.4の円筒試験体の圧力サイクル試験を実施



金属層材料：
SCM435

図 設計係数(A) 3.5、(B) 2.4の円筒試験体の解析による周方向応力分布

今後の展開： 圧力サイクル試験の結果から、タイプ2技術文書(案)に示す設計手法で安全に容器が設計できることを実証する

①-3 円筒試験体評価法の検討

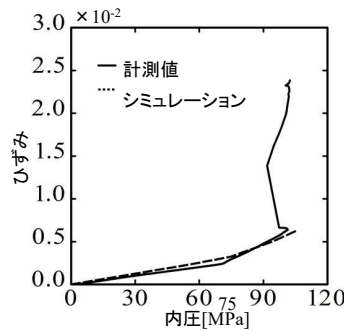
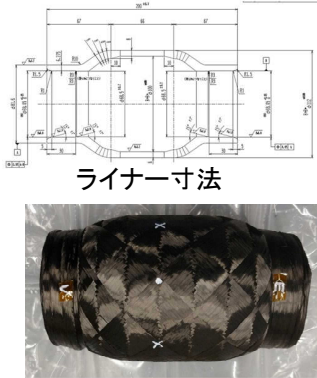
目標：フルラップ容器対応円筒試験体を用いて疲労寿命設計線図の妥当性を検証

手法：

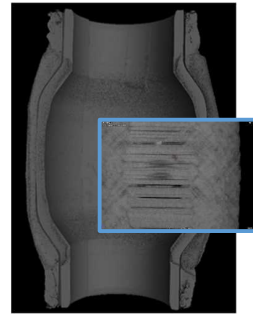
- ・ 試験体のライナーおよびCFRP層を実蓄圧器の応力状態に合わせて設計
- ・ 40万回の部分充填圧力サイクルを想定して試験条件を設定

結果：

- ・ 破裂試験で試験体の設計と製造の妥当性を確認し圧力サイクル試験を実施中



試験体胴部の加圧による周方向ひずみの変化



今後の展開： き裂発生とき裂進展を分離して自緊処理効果を考慮すると的前提条件の妥当性を確認し、自緊処理効果を含めた疲労寿命設計線図を完成させる

①-4 自緊処理を考慮した疲労寿命設計線図の作成

目標：タイプ3 容器ライナーの疲労寿命設計線図を作成

手法：

- ・ CFRP積層構成を正確に表す有限要素モデルを用いた応力解析からライナーの応力強さ振幅を評価し圧力サイクル試験の結果と、試験片を用いた疲労試験結果を照合
- ・ 容器の圧力サイクル寿命をライナーでのき裂発生寿命とき裂進展寿命に分離して検討することとし、自緊処理の効果を取り入れたき裂進展寿命予測手法を検討

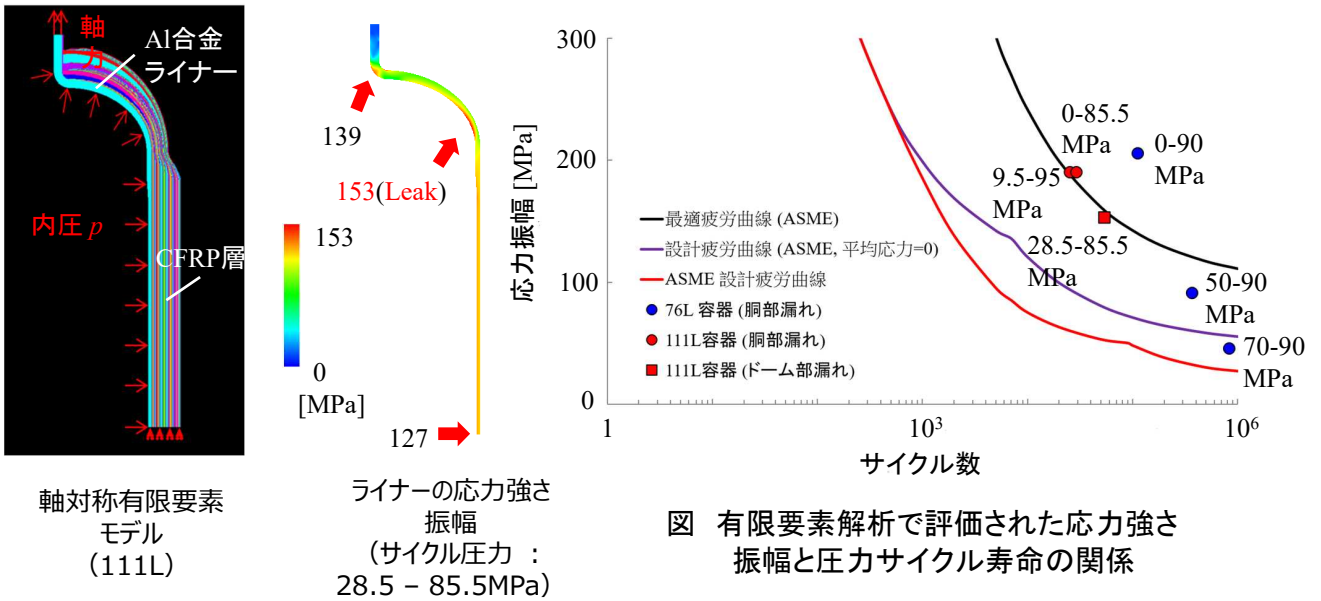
結果：

- ・ 自緊処理の効果でライナーの平均応力が大きく圧縮側となる状況でも応力強さ振幅を有限要素解析により正確に評価できれば試験片から得られたS-N線図より圧力サイクル寿命を予測できることを確認
- ・ 自緊処理によるき裂先端の応力場の変化を有限要素解析により正確に評価し有効応力拡大係数を算出すればき裂進展速度を予測できることを確認

今後の展開： Al合金ライナー試験片を用いた疲労試験結果とフルラップ容器対応円筒試験体を用いた圧力サイクル試験結果および実容器を用いた圧力サイクル試験結果を勘案してタイプ3 容器ライナーの疲労寿命設計線図を完成させる

①-4 自緊処理を考慮した疲労寿命設計線図の作成

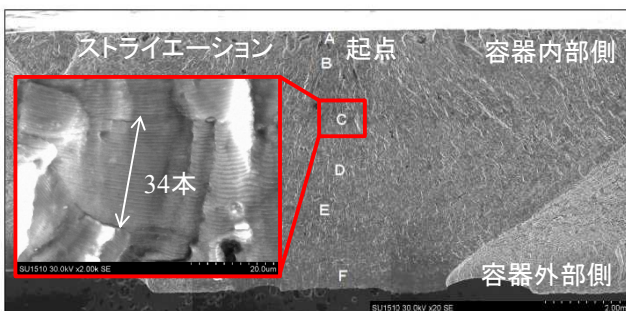
有限要素解析に基づき応力強さ振幅を評価しASME設計疲労曲線とは明らかに異なることを確認



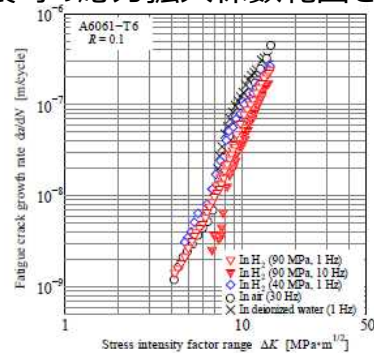
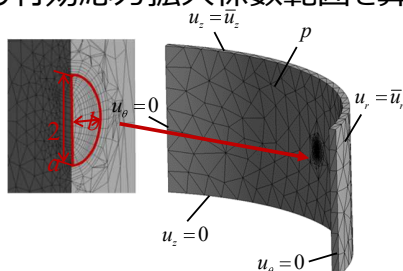
今後の展開： 試験片を用いた疲労試験結果とフルラップ容器対応円筒試験体を用いた圧力サイクル試験結果から、圧縮平均応力の影響を定式化し、タイプ3容器ライナーの疲労寿命設計線図の精度向上につなげる

①-4 自緊処理を考慮した疲労寿命設計線図の作成

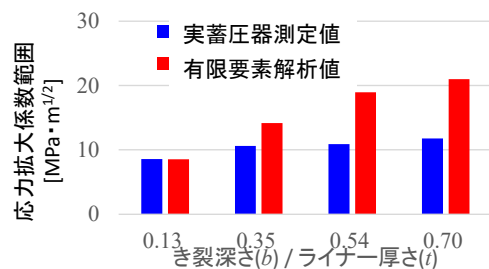
圧力サイクル試験により漏洩した蓄圧器ライナーの破面観察と試験片を用いた疲労き裂進展試験の結果から実蓄圧器ライナー中での疲労き裂進展時の応力拡大係数範囲を評価



有限要素解析によりき裂先端の応力場を評価し有効応力拡大係数範囲を算出



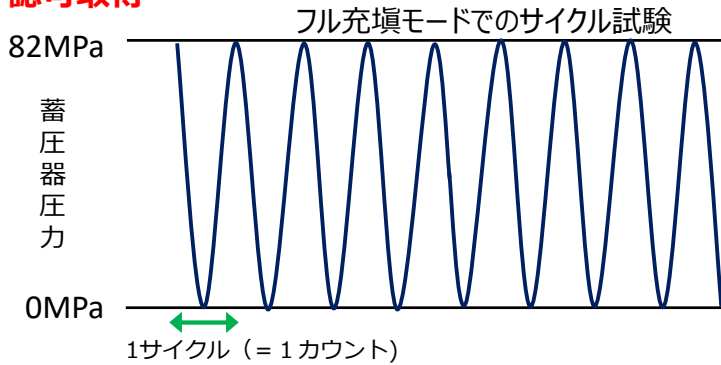
測定値と解析値の良好な一致を確認



今後の展開： き裂進展寿命に与える自緊処理効果を定式化し、タイプ3容器ライナーの疲労寿命設計線図の精度向上につなげる

①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証
タイプ3 容器に係る課題及び解決策

認可取得

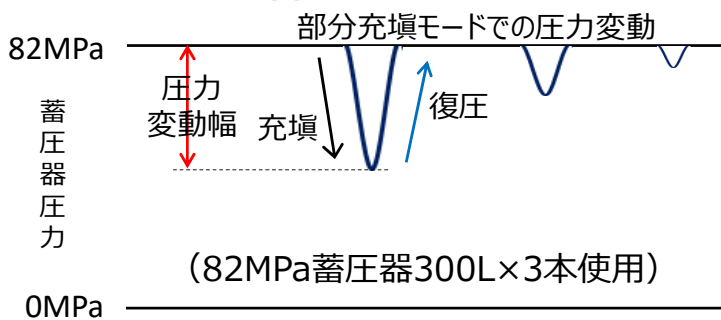


$$\text{認可サイクル数} = \frac{\text{試験サイクル数}(N)}{\text{安全係数}^*}$$

認可取得費用：1～2億円

*) 安全係数：2.6～4.0

水素ステーション用蓄圧器の圧力変動

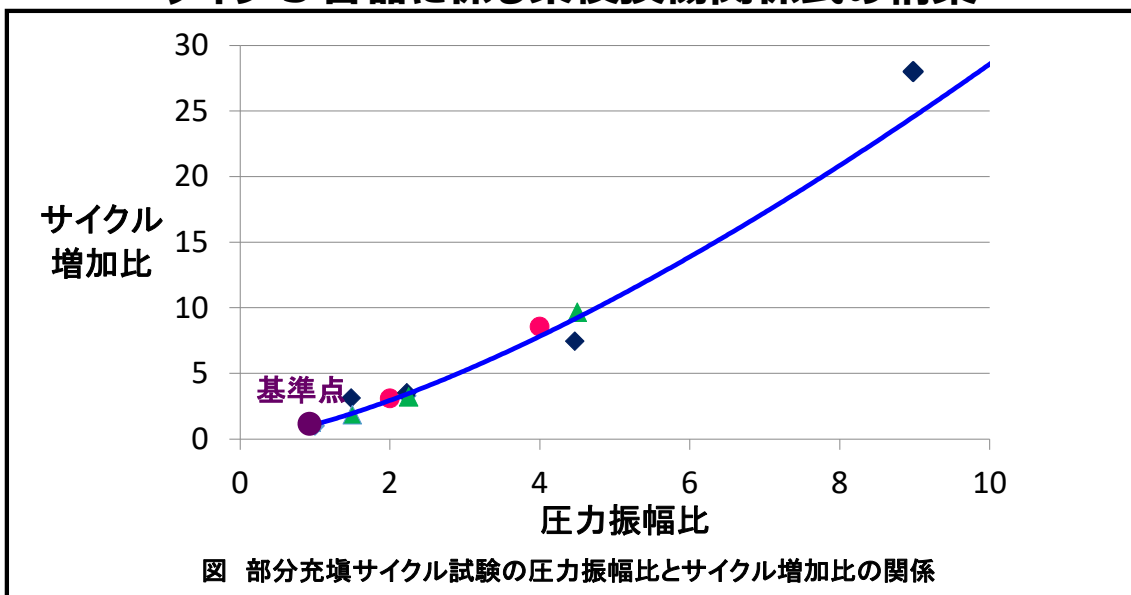


1回の復圧：1カウント

課題：復圧の圧力振幅に抛らず
1回のカウントが課されてしまう

解決策：圧力変動幅に応じた累積
損傷則に基づく、カウント数
とすることで寿命が伸びる

①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証
タイプ3 容器に係る累積損傷関係式の構築



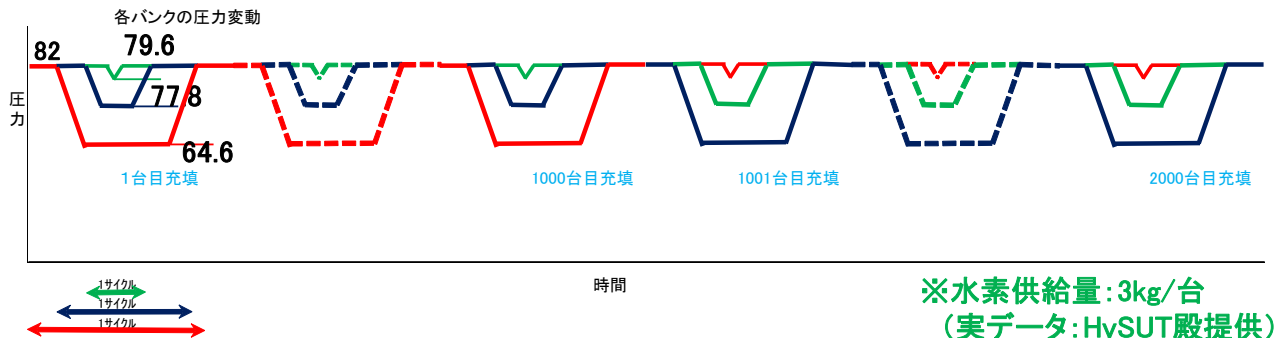
- 種々の漏洩迄の圧力サイクル試験結果から、累積損傷関係式〔圧力振幅比が大きい、すなわち復圧の変動幅が小さいと、指数関数的にサイクルが増加（寿命が延長）する〕を構築
- 基準点となるフル充填条件での1回の容器試験を実施することで、部分充填条件での容器サイクル寿命を試算可能 ⇒蓄圧器寿命の延長化

①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証

累積損傷関係式を水素ST運営に適用することで、蓄圧器に係るコスト削減につなげる

HySUT充填実証データを用いた寿命延長効果の検証例

高圧、中圧、低圧バンクを、1,000台（一定台数）充填毎にローテーションするケース



前提

- ① 1,000台充填毎のバンク切り替えによる蓄圧器の負荷（累積損傷度）を平準化
- ② 認可取得サイクル回数100,000回

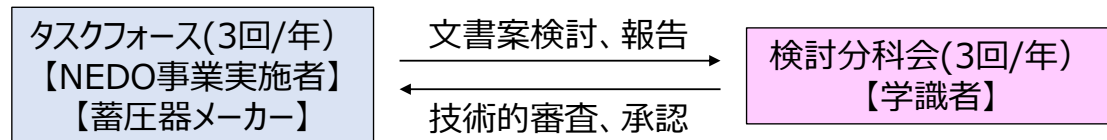
加圧方法	加圧数/1台	可能な充填台数
従来法	1.0	100,000台
累積損傷法	0.045	2,240,000台

② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発 - タイプ2蓄圧器

目標： 2020年度末までに、タイプ2蓄圧器の製造（材料、公式および解析による設計、工作及び検査等）に関する技術文書（JPEC-Technical Document）案を作成

手法：

- ・ 前NEDO事業にて実施したタイプ2蓄圧器の実容器試験結果および既存の圧力容器規格を参考に、実容器試験を行わない公式および解析による設計の考え方を検討
- ・ タスクフォースおよび分科会にて議論し、タイプ2蓄圧器技術文書案にまとめる



結果：

- ・ タイプ2蓄圧器は炭素繊維層が金属層の周方向応力を分担している鋼製圧力容器である。従って、既存の鋼製圧力容器と同様に、実容器試験を課さない設計が可能
- ・ 既存の鋼製圧力容器規格である超高压ガス設備に関する基準（KHKS 0220）の設計思想をベースに技術文書案を検討
- ・ 金属層材料の水素適合性評価、疲労解析方法等は、2020年9月に発行されたKHKS 0220（2020）の内容と整合
- ・ タスクフォース(8回)および分科会(8回)で議論し、タイプ2技術文書案が完成（2020年12月予定）

② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発 - タイプ2蓄圧器

タイプ2 技術文書案の構成

項目	内容	参考規格
適用範囲	内容積、設計圧力・温度、使用期間	KHKS 0220 ASME BPVC Sec.VIII Div.3
材料	金属層に用いる材料 樹脂含浸炭素繊維層に用いる材料 樹脂含浸炭素繊維層の機械的性質の設定	KHKS 0220 KHKS 0225
設計	金属層材料の許容引張応力 樹脂含浸炭素繊維層の許容ひずみ 式による厚さの設定 詳細応力解析（強度解析、破裂前漏洩解析、疲労解析）	KHKS 0220 ASME BPVC Sec.VIII Div.3
工作および検査	自緊処理、電位差腐食防止、ワインディング、熱硬化処理、製造状態の確認など	KHKS 0220 KHKS 0225
耐圧試験		KHKS 0220
気密試験		KHKS 0220

今後の展開： 本成果の普及のため、超高压ガス設備に関する基準（KHKS 0220）の附属書化およびISO WG15で作成中の水素ステーション用蓄圧器に関する技術基準へ展開を計画する

② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発 - タイプ3蓄圧器




目標： 2020年度末までに、タイプ3蓄圧器に関する KHKS 0225の改正案を作成し、改正を提案

手法：

- ・応力解析・疲労解析に基づく容器設計手法を確立し、KHKS 0225に導入
- ・現行の容器試験を課す試験項目等の必要性を検討し取捨選択

結果：

- ・容器試験を課す内容を中心に、負荷のかかる試験項目について改正方針を作成

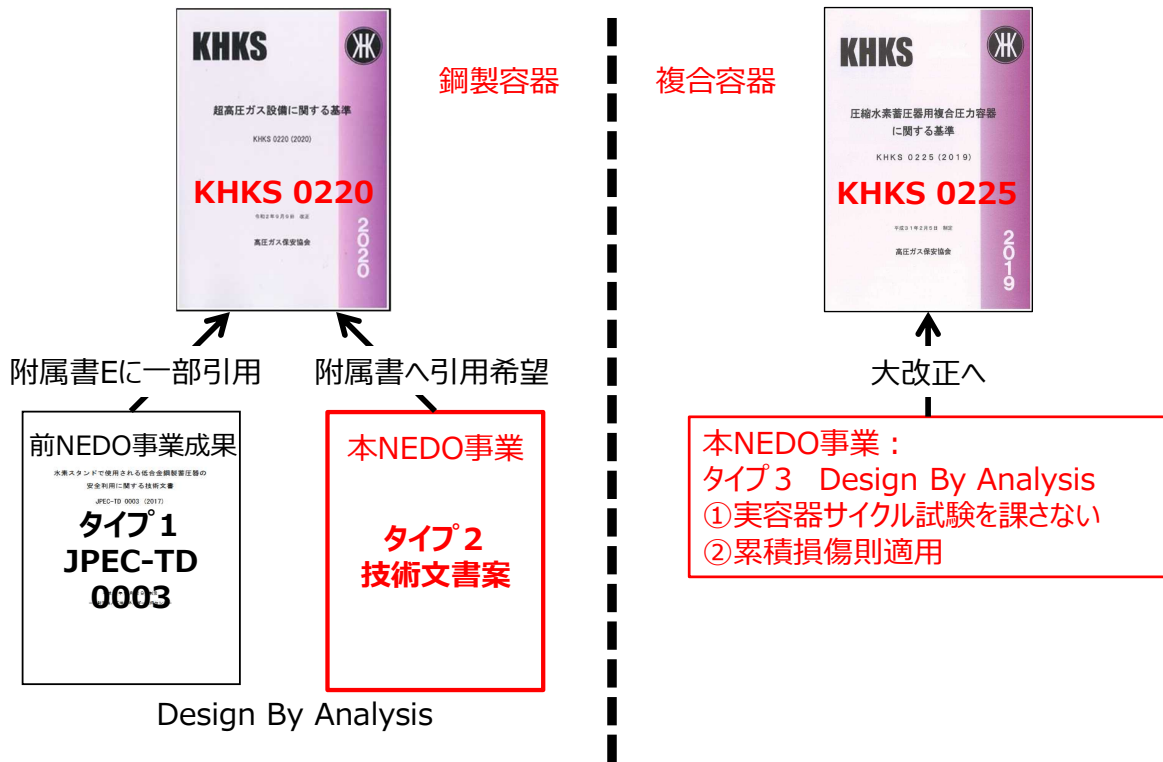
項目	現行	改正方針			
				解析	試験&解析無し
容器試験	5.2.2.1 破裂試験 実容器3個	○ 実容器1個		○ 解析併用	
	5.2.3.1 常温圧力サイクル試験	○		○ 疲労寿命設計線図による解析	
	5.2.3.2 最小厚さ確認試験	○			
	5.2.3.3 環境試験	○			○
	5.2.3.5 温度クリープ試験	○			○
	7.3 製造確認試験	○			○

今後の展開： 応力解析・疲労解析に基づく容器設計手法を確立し改正案に反映し、KHKS 0225改正を提案する

② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発

成果の意義

技術基準が整備されることにより、水素ステーションの整備費、運営費の低減につながる



◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①-1 ライナー試験片評価法の検討	・平均応力の補正方法の候補を絞り検討中 ・構築した最適疲労曲線と多軸応力下のサイクル試験結果を比較検討中	・平均応力の補正方法について提案を行い、実容器試験および円筒試験との比較検証を実施	・Al合金の単軸応力下の最適疲労曲線を構築 ・自緊処理の影響を定量化した平均応力の補正方法を検証
①-2 CFRP試験片評価法の検討	・CFRPフープ層に関する疲労寿命設計線図を炭素繊維配位方向のなす角度0°の試験片の結果を取得 ・CFRPヘリカル層に関しては繊維配向角度を変えた試験片を用いて疲労試験を実施しInterfacial Normal Stress (INS)による評価の妥当性を検討中	・タイプ2 容器およびタイプ3 容器のCFRP層に関する疲労寿命設計線図を作成	・円筒試験体を用いたCFRP層圧力サイクル疲労試験を実施し疲労寿命設計線図の有効性を実証 ・平均応力を変えたCFRPと樹脂の疲労試験を実施し、樹脂の疲労寿命設計線図の作成が可能となる見通し
①-3 円筒試験体評価法の検討	・タイプ2 容器対応フープラップ円筒試験体を作製し圧力サイクル試験を実施中 ・タイプ3容器対応のフルラップ円筒試験体を試作し圧力サイクル試験を実施中	・タイプ2 容器ライナーおよびタイプ3 容器ライナーに対する疲労寿命設計線図の妥当性を検証	・実蓄圧器では実施困難な100万回圧力サイクルまでの疲労寿命設計線図の妥当性を検証
①-4 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成	・タイプ3 容器の圧力サイクル寿命をライナーのき裂発生寿命とき裂進展寿命に分けて定式化を検討中	・タイプ3容器のライナー材料に関する疲労寿命設計線図を作成	・疲労寿命設計線図の妥当性を実蓄圧器の圧力サイクル試験結果を用いて検証
①-5 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証	・タイプ3実容器の疲労試験データから累積損傷関係式を構築。自緊処理の疲労寿命に及ぼす効果を調査中	・タイプ3実容器の疲労試験データ等から、疲労寿命設計線図を用いた設計手法を実証	・自緊処理と累積損傷関係式の指数の相関を把握することにより、疲労寿命設計線図を用いた設計手法の実証が可能と推定
② 複合圧力容器の技術基準の整備に向けた技術開発	・累積損傷則に基づいた、累積損傷関係式を構築 ・容器試験を課す試験項目等を見直しKHKS 0225改正方針を作成	・応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法を確立し、KHKS 0225改正やISO TC195 WG15(水素ステーション用蓄圧器)に提案	・KHKS0225改正案を作成し提案する。また、ISO TC195 WG15(水素ステーション用蓄圧器)に、累積損傷関係式について提案する見込み

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及

※2020年10月9日現在

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
論文	0	0	0	-	-	0
研究発表・講演	6	5	3	-	-	14
受賞実績	0	0	0	-	-	0
新聞・雑誌等への掲載	1	2	0	-	-	3
展示会への出展	0	0	0	-	-	0

- タイプ2 技術文書の内容については、ASME PVP2020で報告した
- その他、研究開発の内容については、学会、JPEC成果発表会など外部発表等にて広く公開し、事業者へ情報提供をしていく予定である

3. 研究開発成果 (4) 知的財産権等の確保に向けた取組

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

- 出願目的：
 - ・累積損傷関係式に係る内容は、ISO TC197 WG15（水素ステーション用蓄圧器）に情報提供する計画である。他国の特許出願により日本国内で累積損傷関係式が利用不可にならないよう防衛のため出願した
 - ・今後、水素ステーション運営団体への譲渡を検討する
- <出願2件>
- ①特願2020-074196 「蓄圧器の寿命判定方法」
 - ②特願2020-074235 「蓄圧器の寿命判定方法を用いた水素ステーションの運転方法」

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	2	-	-	2件

※2020年10月9日現在

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

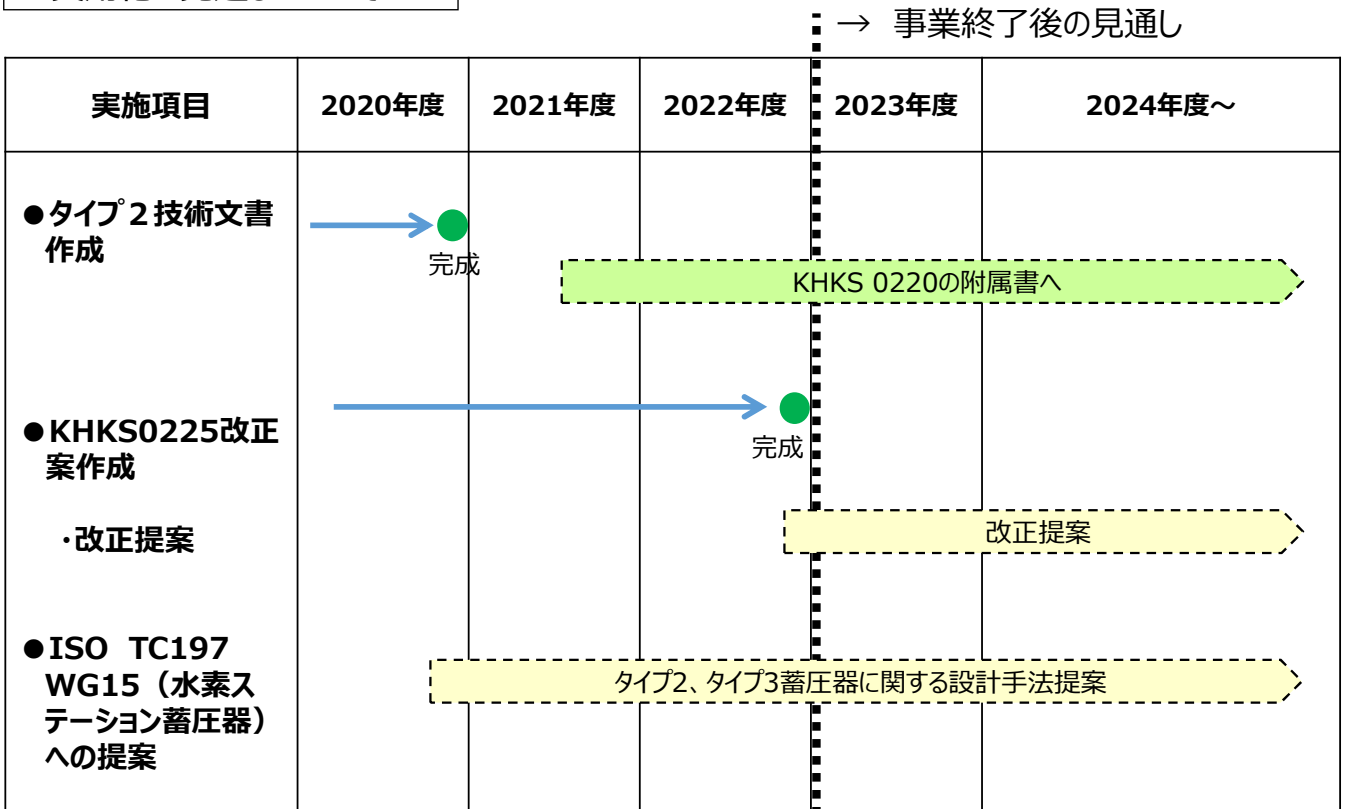
◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

技術基準を制定/改正し、広く利用してもらうことで蓄圧器に係るコスト削減に繋げる

- ・タイプ2 技術文書を制定し、KHKS 0220の附属書とする
- ・ KHKS 0225を改正する

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

◆実用化の見通しについて



「長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」(中間評価)

(2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

一般社団法人水素供給利用技術協会
 国立大学法人 九州大学
 一般財団法人 化学物質評価研究機構
 NOK株式会社
 高石工業株式会社
 日本ピラー工業株式会社
 株式会社キッツ
 株式会社フジキン
 株式会社タツノ
 トキコシステムソリューションズ株式会社

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況				
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① セーフティーデータベース (SDB) の解析知見の整理	SDBデータ解析の継続	シール、継手のトラブル事例解析より、プレクレー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	○	引き続き、SDBデータ解析を継続し、研究開発方向の絞り込みを行う。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	機器の加速耐久性評価法案設定	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	○	機器レベルでの加速耐久性評価法を検証し、継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を確立する。
③ シール基盤・改良開発	HRSにおける充填回数15,000回相当のシール部材開発 シール部材の加速耐久性評価法案設定	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 高圧水素シール部材標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。 高圧水素圧縮機ピストンリング材の摩耗に伴うトライボケミカル反応により、硫化水素が発生する事を確認した。	○	開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較によるシール部材加速耐久性評価法の検証 高圧水素ガス圧縮機シール部材の寿命制限因子の特定と対策
④ 継手基盤・機器開発	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用を試験と解析により確認した。	○	接触面圧低下条件と水素漏洩の関係の定量的整理。漏洩リスク低減指針の検討。新型/改良型継手の開発。理論解析による検証。
⑤ シール成果に基づく機器開発	HRSにおける充填回数15,000回相当の機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器(バルブ、フィルター等)の設計検討を実施した。	○	加速耐久性評価法に基づく目標達成機器の開発

◎ : 大幅達成、○ : 達成、△ : 達成見込、× : 未達

サブテーマ①セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理 (HySUT)

○セーフティデータベース (SDB) 概要、漏えい事例の精査

期間：2003年～2018年1月 (約15年間)

データ件数：シール継手事業に係る465件

SDBより事例の更なる精査・検討のため、水素の漏えい事例につき、部位、原因などが詳述されている101件を抽出した。

・ディスペンサーの漏えいは、シール部位が多い (51件中の44件)。シール部での外部漏えいは19件であり、内18件が遮断弁・その他の弁となった。また、内14件がプレクレー二次側の遮断弁のトラブルであり、3/4がグランド部分で発生し、残りは弁の底部のOリングで発生している。

○ディスペンサーの継手部位が原因の漏えい

外部漏えいは7件であり、全てプレクレー二次側が漏えい発生部位である。

プレクレーの二次側 (出口側) のシール、継手、機器の漏えい防止が重要

設備	種別	外部漏えい		内部漏えい	計
		件数	比率	件数	件数
ディスペンサー	シール	19	73%	25	44
	継手	7	27%	0	7
	計	26	100%	25	51
昇圧設備	シール	4	27%	26	30
	継手	11	73%	0	11
	計	15	100%	26	41
蓄圧設備	シール	5	56%	0	5
	継手	4	44%	0	4
	計	9	100%	0	9
合計	シール	28	56%	51	79
	継手	22	44%	0	22
	計	50	100%	51	101

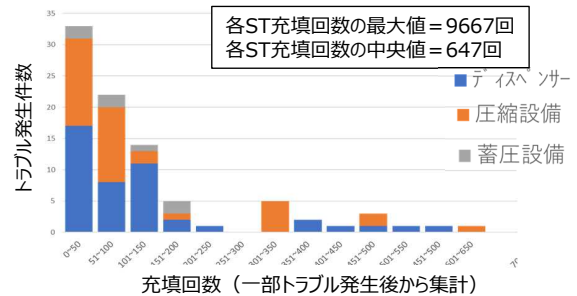
○充填回数とトラブル発生頻度の相関性解析検討

上記の漏えい事例を対象にトラブルが発生するまでの充填回数を集計し、充填回数とトラブル発生頻度の相関性を解析した。

・運営開始、トラブル発生後からの運営再開に関わらず運転初期段階での充填で漏えいが多い。

・充填回数 0～50回での漏えい件数が最も多く、初期の段階でシール部・継手部から漏えいが発生していることを確認した。

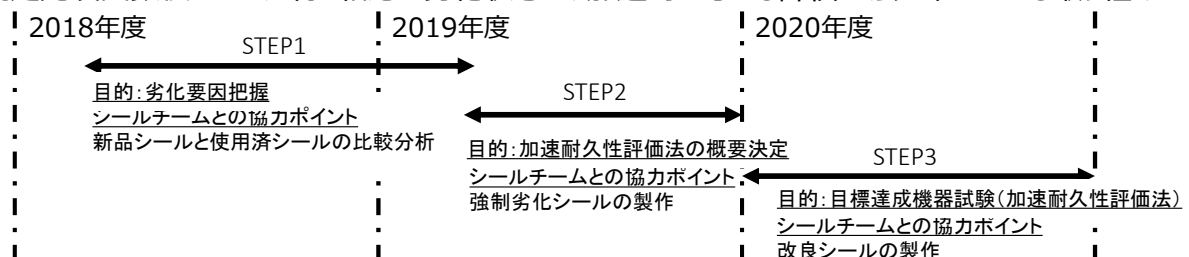
・各STの充填回数の中央値 (充填回数647回) であることから運転初期の段階で漏えいが多く発生していることが明確となった。



サブテーマ②機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 (HySUT, キッツ, フジキン, タツノ, トキコシステムソリューションズ)

加速耐久性評価法 (シール部材と機器試験の連携)

規定充填回数後のシール材と相応の劣化状態を、加速的に与える評価方法を確立させる取り組み



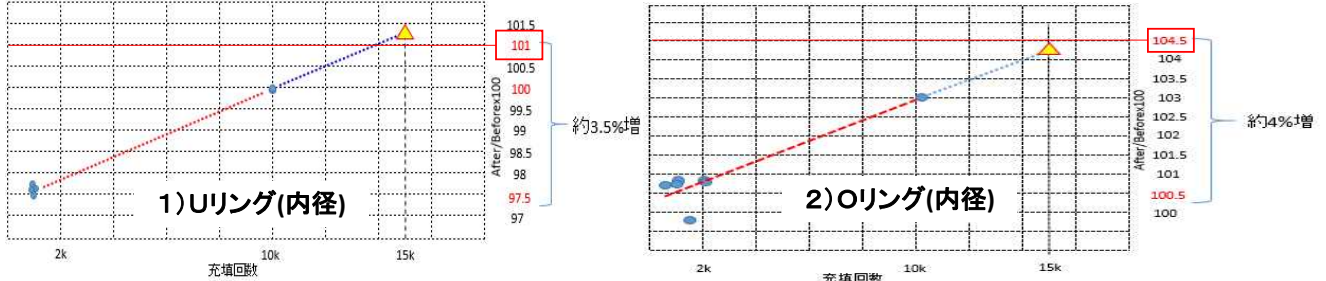
No.	目的	シール供試体	取り組み方法	次STEPへ進む為の判定基準
STEP1	商用STで使用したシール材の劣化要因を把握	新品シール 使用済シール	新品シールと使用済シールを比較分析し、劣化因子を調査する	劣化因子が絞り込めること
STEP2	加速耐久性評価法案の概要決定	強制劣化シール	STEP1で絞り込んだ劣化因子を、強制的に付与した強制劣化シール材を製作・使用し、加速耐久性評価法案を決定する	リークが発生すること
STEP3	加速耐久性評価法による充填回数15,000回相当の達成	改良シール	STEP2で決定した加速耐久性評価法案を用いて、目標充填回数相当に耐える機器を開発する	15,000回相当の試験に合格すること

キッツ製遮断弁のUリングとOリングの分析と加速耐久性評価法

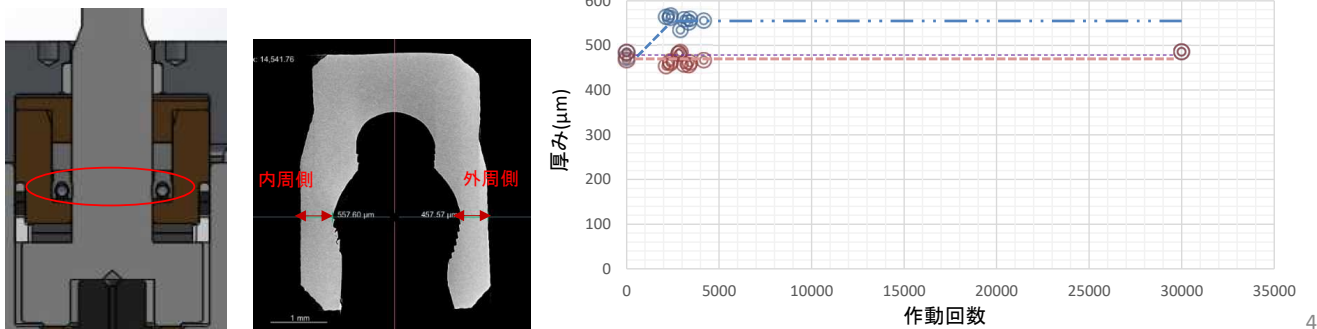
・目的

2018年度に充填試験、2019年度に充填模擬、圧力サイクル、定圧連続作動試験、2020年度の実機回収品を分析し、その結果からシール材の内径の拡大及びUリングの変形に注目し、充填15,000回相当の仮想相関図を作成し、漏洩の限界値を想定し強制劣化シール材の作成と加速耐久性評価法を立案し、検証する。

①仮想相関図とシール材の漏洩閾値(充填15,000回相当)

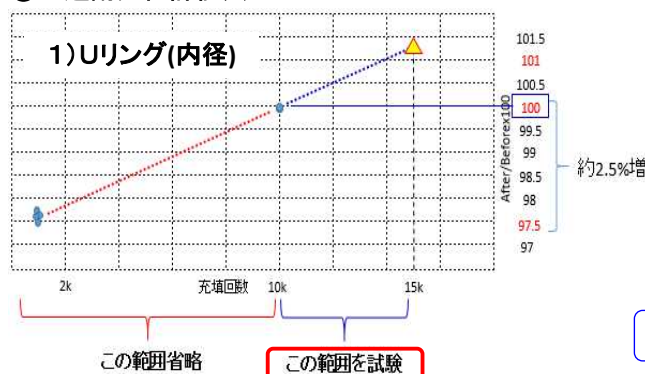


②UリングのCT分析(シール部厚み確認)



キッツ製遮断弁のUリングとOリングの分析と加速耐久性評価法

③加速耐久性評価法



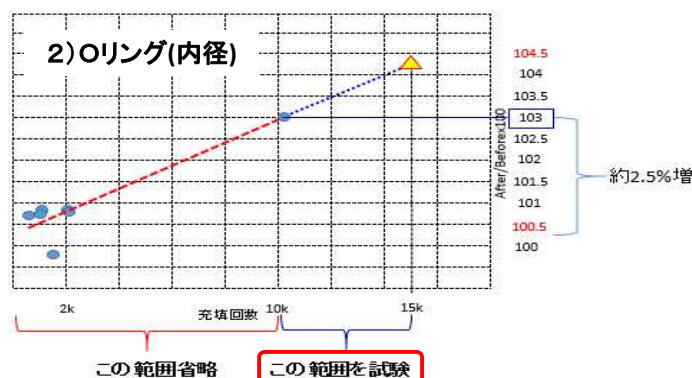
強制劣化シール材製作方法

- 1) Uリング: 治具にて内径を拡大させる。
- 2) Oリング: 樽型ロッドで内径を拡大させる

加速耐久性評価試験方法

- 1) Uリング: 圧力サイクル2,000回を加えた後に定圧連続作動15,000回(充填5,000回分)とする。
- 2) Oリング: 圧力サイクル5,000回(充填5,000回分)

期待する効果



	試験キャパ	日数
充填模擬試験(15K)	150回/日	100日
加速耐久性試験 (Uリング)	圧力サイクル 4,800回/日 定圧作動 6,000回/日	4日
加速耐久性試験 (Oリング)	圧力サイクル 4,800回/日	2日

※ 1日 = 8時間稼働として計算 (準備・撤収日は除外)

商用STのバルブ不具合内容等の把握

商用ST・HTCでの使用済シール部品を回収・調査し、新品シール材からの変化点を確認した。調査シール部品の対象は、底プラグオリング、グランドパッキンの2箇所。

新品対比で以下変化点を確認された。

- ・底プラグオリング：隙間へのはみ出し変形
- ・グランドパッキン：内径側(軸摺動側)摩擦

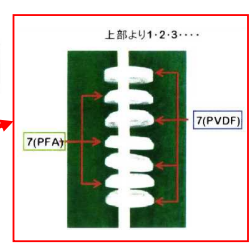
※化学的変化より物理的な変化が主であった



底プラグオリング(固定シール)

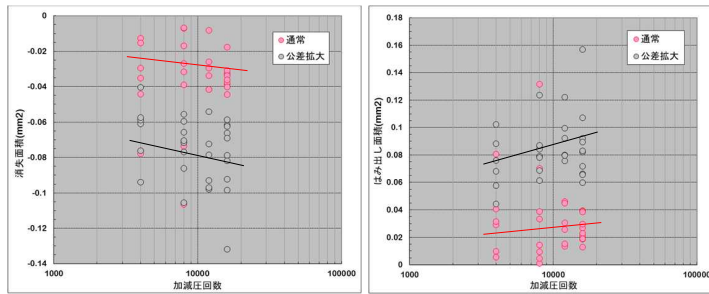


グランドパッキン(運動シール)



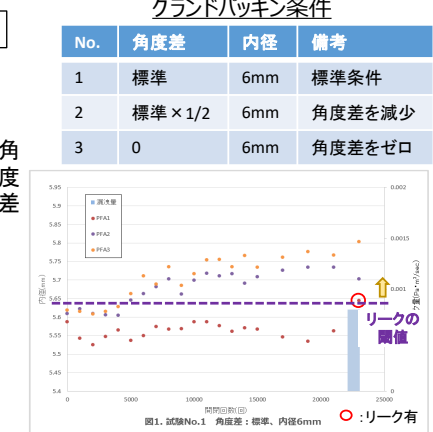
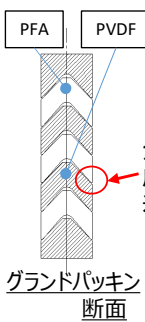
加速耐久性評価法試験の検討

底プラグオリングについて、バックアップリング寸法を変更し、オリングがはみ出す隙間を変化させ、繰り返し加減圧回数とはみ出し量に対するデータを取得した。充填回数によるはみ出し量を外挿する。※はみ出し量測定方法は九州大学様にて考案頂いた。



充填回数15,000回でのオリングはみ出し量、グランドパッキン内径を外挿できる相関図を作成し、リークする閾値と共に示せるデータ整備を行う。

グランドパッキンについて、内径側摩擦が変化するようにグランドパッキンの角度を変更し、軸との接触量を変化させ、内径変化とリークする関係のデータを取得した。



■ディスペンサ動作による遮断弁の加速耐久試験法 トキコシステムソリューションズ(株)

目的： 充填制御における遮断弁動作から、加速耐久試験方法を提案する。

意義： 効果的な加速試験法を提案し、短時間で耐久性評価を可能とする。劣化の少ないシール継手の開発に役立てる。

【充填制御概要】

No.	充填内容	開時間目安	充填制御	備考
1	初期圧測定	2~10秒	パルス充填	温度が急激に低下
2	容積計測	10~30秒	定流量または定昇圧率	1-2で200g以下
3	本充填	0~600秒	定昇圧率(プロトコル)	バンク切替あり

【充填による負荷】

- ・1充填当りの遮断弁開閉回数: 3回(*)
- ・遮断弁開閉時の1次側/2次側圧力を右表に示す
(P_{max} : 充填終了圧、 P_0 : 初期圧、 P_1 : 容積計測後圧、 $P_0 \approx P_1$)
- ・脱圧弁開による圧力変動: 1回 ・ガス温度: ブライン設定温度まで低下

遮断弁	初期圧測定時(*)		容積計測時(*)		本充填時(*)		脱圧	脱圧時遮断弁	
	1次	2次	1次	2次	1次	2次		1次	2次
開時	P_{max}	0	P_0	P_0	P_1	P_1	前	P_{max}	P_{max}
閉時	P_0	P_0	P_1	P_1	P_{max}	P_{max}	後	P_{max}	0

【試験方法】

- ・右表の圧力条件で、遮断弁を 3回開閉(開閉時間: 各3秒)、脱圧: 1回、を1セット(1充填)とする(プレクール: あり/なし)
- ⇒24秒~30秒で1充填分(10hで1200回充填相当)

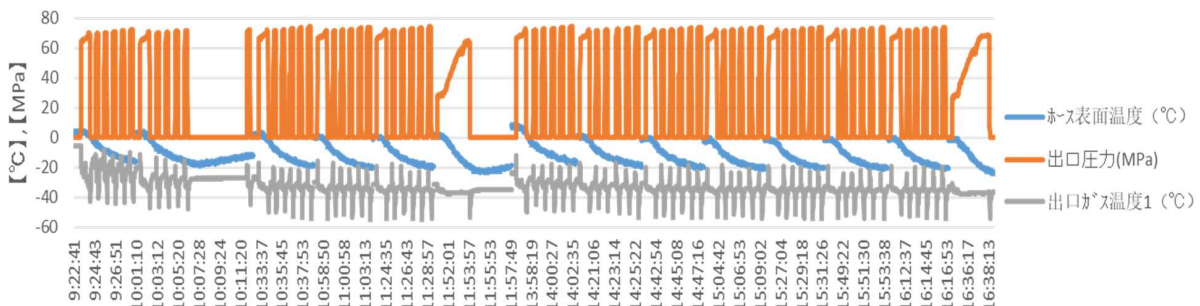
■実ステーション、実環境での耐久サイクル試験 (株)タツノ

目的： 試験室ではなく、実ステーションにて、人間の手で充填操作を行い、リアル環境を実現する。

意義： 効果的な加速試験を提案し、劣化の少ないシール継手の開発に役立てる。

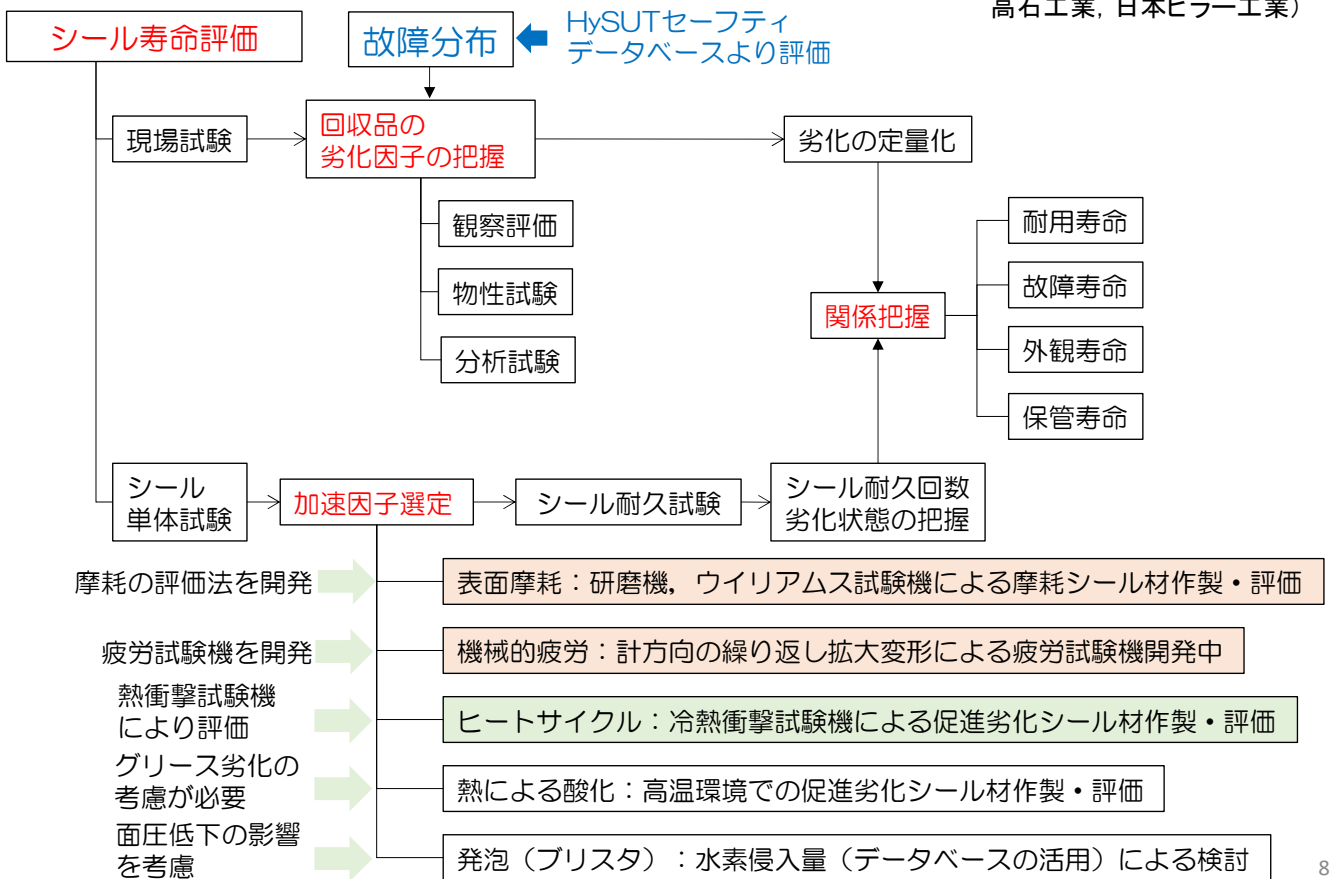
パターン 【300g充填 × 1、50g充填 × 5】の少量充填繰り返しと、3kg程度の通常充填の繰返し

⇒フスハンの圧力変動、小幅・大幅な温度変動、手動充填での条件ゆらぎ 最大100回/日充填



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 加速耐久性試験法基本概念図 (九州大学, CERI, NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 劣化模擬シール部材作製・シール性評価法 (九州大学, CERI)

表面摩耗

軸摩耗 供試シール部材(リング)

シリンジ本体, ピストン, シリンダー, シリンジポンプ, カウンター, 圧力読み取り

スピードコントローラー, 圧力計

平面摩耗

回転 研磨紙, ウィリアムス摩耗試験機

試験片台, 荷重検出(回転力)

機械的疲労

減圧時 加圧時

リングの繰り返し加減圧に伴い、リング径が拡大・縮小を繰り返す。

樺状ロッドの大径部通過によりリング径拡大

供試シール部材(リング)

ヒートサイクル

冷熱衝撃試験機 高温槽・低温槽間を供試材が繰り返し移動

高温槽, 低温槽

供試シール部材(リング)

劣化リング

各劣化因子加速劣化法により作製した劣化モデルリングを作製し、物性、形状、表面粗さ変化などを計測

リング表面粗さ計測 三次元解析装置

グリース浸漬

シール部材をグリース中に浸漬、加圧し所定の期間高温保持

リングシール性評価法

加速因子により摩耗・劣化させたリングを試験用高圧水素ガス容器に装着し、高圧水素ガスを繰り返し印加し、透過曲線を取得。リーク量の変動からリングのシール性低下、破壊に伴う漏洩を検出する評価法を確立。

試験用高圧水素ガス容器, リーク検出, 劣化模擬リング

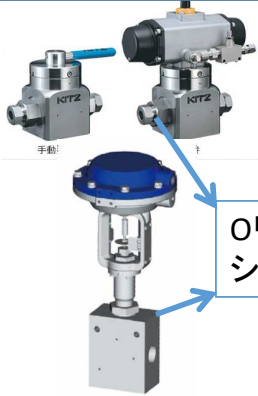
リング耐久性の加速因子として選定した表面摩耗、機械的疲労、ヒートサイクル、グリース浸漬による劣化模擬リング・シール部材作製法およびリングシール性評価法を確立。各因子によるリングの劣化とシール特性の相関把握。

サブテーマ③シール基盤・応用開発 劣化模擬シール部材作製・シール性評価法

(九州大学, CERi)

加速耐久性試験法(案)

シール部材加速劣化



Oリング
シール部材

拡張疲労

実機溝寸法より拡張率設定

表面摩耗

実機溝材料・表面粗さによる
摩耗

グリース浸漬

使用予定グリースによる評価
使用材料の劣化が抑制される
グリース選定

30,000回充填耐久性

シール特性低下が
所定の範囲内

劣化Oリング・シール
部材を実機に装着し、
実機の耐久評価
劣化シール部材と初
期品の性能差を検証

シール特性
低下大
30,000回以下でリーク
の可能性

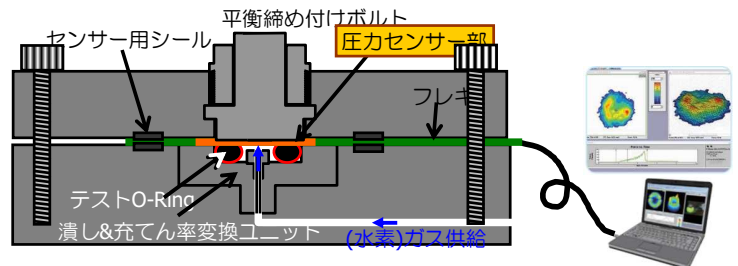
今後の予定

・実機による検証(HyTReC)

サブテーマ⑤機器開発と連携し、新規シールシステムを搭載した機器評価に加速耐久性評価法(案)を適用し、検証を進める。

・リーク挙動の検証

これまでの検討から、リークの発生は、面圧低下によるシール部材と相手材界面からのリークであると想定される。シール部材の摩耗、疲労による形状変化、物性変化による面圧の影響を実測し、面圧変化の解析モデルの策定を検討する。



面圧時間分割計測システム

サブテーマ③シール基盤・応用開発 水素ステーション使用済みシール部材の評価

(九州大学, CERi)

・底プラグシール用Oリング(フジキン)

実機回収品の調査から底プラグシール用Oリングの体積膨張に伴う破損が確認された。

Oリングゴム材料への水素侵入の結果発生するゴム材料の体積膨張を考慮していないOリングメーカー推奨値を用いた溝設計を行なった結果、破損が発生したと考えられる。

Oリングの体積膨張は、溝設計(つぶし率、充填率)により異なる。異なる設計のOリング溝を用いて高圧水素シール後の体積膨張を評価した。その結果、体積膨張率で充填率を補正した場合、推奨値内では破損が発生しないことが確認された。

Oリングの体積膨張を考慮した溝設計が必要

機器開発にフィードバック

・グランドシールUリング(キット)

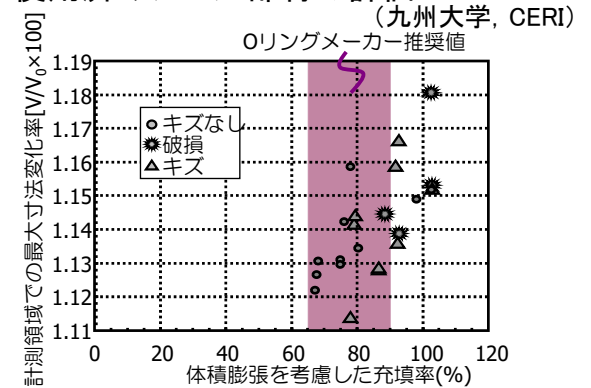
実機回収品およびHyTReC試験品からの回収シール部材を調査した。

Uリングのリップ部(シール面)の部材の厚さの変化、接触面積(シール部接触面長さ)の変化が確認された。

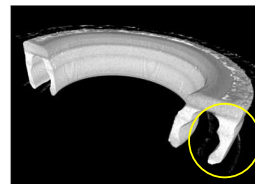
摺動部材から発生した摩耗粉のシール部材への付着が確認され、摩耗粉の付着量に関する評価方法を確立した。

加圧下・非加圧下での開閉操作、水素環境下の作動など、条件を切り分けて変形の要因を明確化するとともに、シール成立のクライテリアを明確にする。

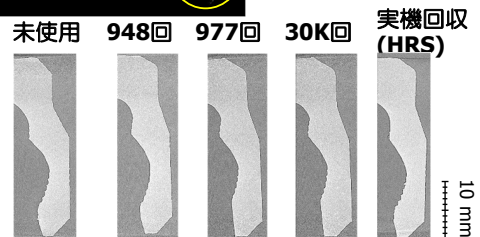
変形要因の明確化によりシール部材の変形に至る作動条件と実機HRS充填時の作動条件の相関を検討し、加速劣化法を策定し、モデル劣化シール部材作製条件を決定する。



Oリング破損に対する寸法変化率・充填率の影響



Uリングの使用によるシール面の変形状況をX線CTにより調査




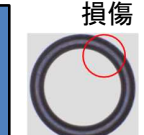

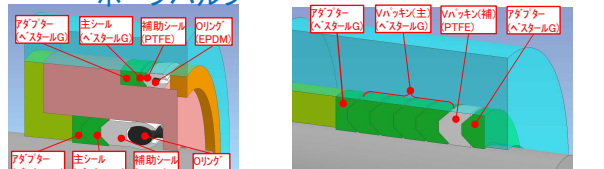


UリングX線CT画像

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 長寿命シール部材の開発 (NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)

設定した加速耐久性評価方法により高圧水素機器に実装しうる長寿命シール部材開発に向け、既存材料、現行材料の実力値把握、シール部材評価手法の確立が重要である。各社において、評価法を検討し、既存材料、現行材料評価を実施。また、開発の基盤データとして水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充、276検体のデータを追加(九州大学)。

<p>NOK</p> 	<p>高温・低温環境ともにグリース塗布による摩耗粉発生抑制に対する有効性を確認、15,000回の耐久確認。</p> <p>グリース塗布なし (25000回)  摩耗粉</p> <p>グリースA塗布 (30000回) </p> <p>図 耐久試験後Oリングホルダー外観</p>	<p>高温試験後、表面の粗さが増大したOリングの低温シール性確認中。</p> <p>摩耗粉抑制のためのシール材・グリースの組み合わせ、溝設計変更によるフレッチング摩耗の抑制可否検討中。</p>
<p>高石工業</p> <p>高石工業株式会社</p>	<p>Oリング損傷を抑制するバックアップリング仕様を決定。材料改良により動的疲労おりによる内部発熱抑制、引裂き強さを向上。</p> <p>バックアップリング仕様</p> <p>PEEK  損傷なし</p> <p>PTFE  損傷</p>	<p>10,000回程度で不具合が発生した試験治具を改良し、加速耐久劣化試験法に基づいた耐久試験により15,000回(最終30,000回)まで継続。</p> <p>サブテーマ⑤のバルブメーカーと評価用バルブに適用するOリングの設計を進めている。バルブ評価実施予定。</p>
<p>日本ピラー工業</p> 	<p>水素透過特性、摩耗特性から、ベスタールG(POM)を選定、バルブ用シール部材を設計。</p> <p>ニードルバルブ</p> <p>ボーフバルブ</p> 	<p>サブテーマ⑤のバルブメーカーと評価用バルブに適用するシール部材の設計を進めている。</p> <p>今年度試作シールを搭載したバルブの評価を実施予定。</p>

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 ピストンリング材の摩擦摩耗とガスエミッション

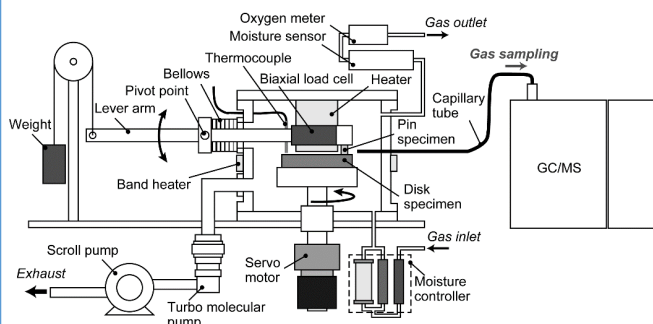
目的 100MPa級高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリングは、高いガス圧と高温にされながら高速でしゅう動するため、一般的な圧縮機のピストンリングと比較し寿命が短くなってしまふ。加えて、ピストンリングに含まれるポリフェニレンサルファイド (PPS) から、硫化水素の発生が疑われている。このテーマでは、高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリング材の摩擦摩耗特性を評価すると共に、しゅう動に伴う硫化水素の発生を実験的に確認し、その発生メカニズムの解明を進める。

【しゅう動試験】

ピン・オン・ディスク型高度雰囲気制御型摩擦試験機を用い、高純度水素ガス雰囲気においてピストンリング材のしゅう動試験を行い、雰囲気ガス中に放出される微量成分 (ガスエミッション、GE) をガスクロマトグラフ質量分析計により分析する。

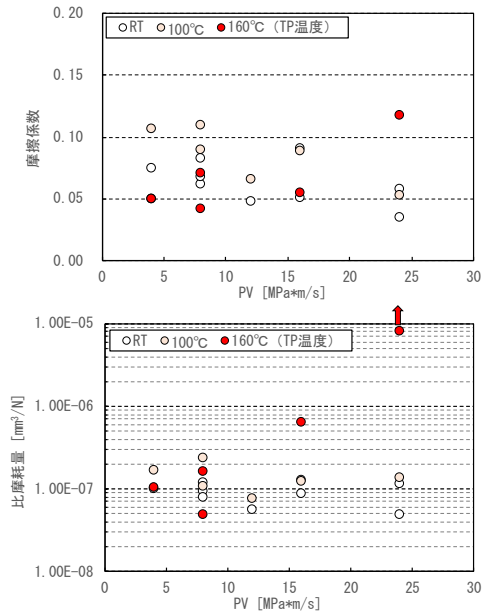
【試験条件】

- ピン試験片： ピストンリング材 (表面旋削仕上げ)
- ディスク試験片： SUS440C (表面研磨, Ra = 0.05)
- 雰囲気： 水素ガス (水分量 5 ppm 以下)
- 雰囲気温度： 室温, 100 °C, 160 °C (試験片温度)
- 接触面圧： 2, 4, 6 MPa
- 滑り速度： 2, 4 m/s
- 滑り距離： 50 km



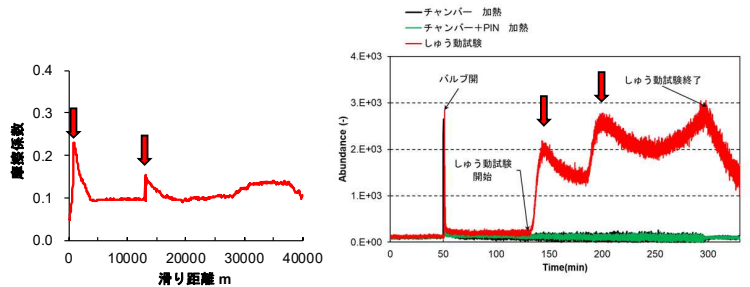
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

【ピストンリング材の摩擦・摩耗】



- 室温から100℃では比摩耗量が 3×10^{-7} mm³/Nm 以下となり、しゅう動部材として適切な範囲にある。高PV値での著しい摩耗量増加も見られない
- 試験片温度が150℃を超えるとPV値の上昇とともに比摩耗量が指数関数的に上昇した
- 高温下での高速しゅう動はピストンリング材に対し非常に過酷であり、耐摩耗性が著しく低下する

【リング材摺動によるGE発生挙動】



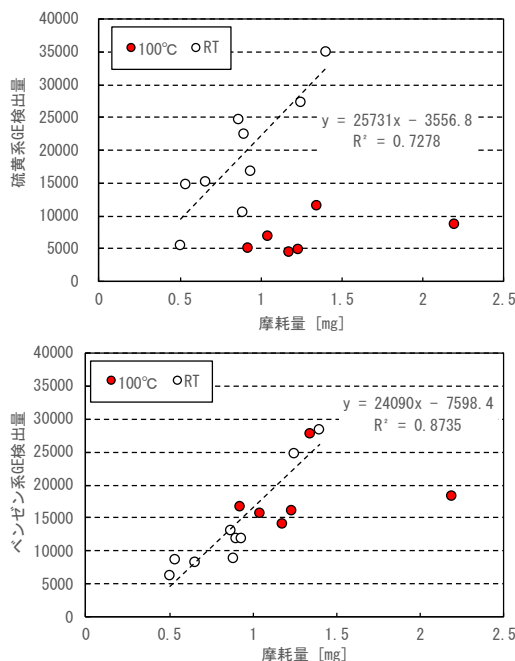
- リング材のしゅう動開始とともにGC/MSによる硫化水素検出量が上昇
- 摩擦係数の上昇にリンクして硫化水素検出量が上昇

【リング材由来のGE検出数】

No.	化合物	カウント数															
		20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	20Pa 2h/s	40Pa 2h/s	60Pa 2h/s	20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	20Pa 2h/s	40Pa 2h/s	60Pa 2h/s	20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	
18	H ₂ O	922851	829220	373181	494952	473002	456667	46724	111060	88929	19727	27804	25927	24193	24781	22008	
19	F	143470	138886	58974	75781	67170	63952	9157	20986	16711	3457	4899	4428	4767	4777	4510	
32	O ₂	382428	30393	24786	147865	97115	97851	13128	19051	16859	13426	18094	16353	14268	13086	11488	
34	H ₂ S	4171	7532	3537	1843	1795	1934	2159	16279	14837	4900	9067	8021	8955	6858	2900	
44	CO ₂	471414	628907	384225	238817	225614	320197	62861	336282	198212	106677	154272	140886	91602	109127	102845	
60	SCO	2358	3418	4837	2802	2372	2457	3127	17742	11791	9105	14109	15355	7651	9026	7019	
69	CF ₃ ⁺	20300	25804	18069	17515	11997	12794	5760	28652	22551	7816	13751	11534	7752	11561	5945	
70	CF ₃ H ⁺	2632	3008	2239	1527	1203	1265	481	1912	1626	467	809	779	622	884	715	
76	CS ₂	890	1035	902	689	764	819	536	1670	1289	345	726	407	295	467	361	
78	Benzene (C ₆ H ₆)	6578	14727	9403	5886	7110	8795	745	8136	8443	544	1987	3539	1090	3233	3950	
79	1,3-Cyclohexadiene	1392	3060	2146	1744	1494	1497	426	2168	2409	525	812	831	983	959	760	
82	Cyclohexene	6588	8227	5320	8166	4877	4916	4769	16259	12219	7277	9801	6898	6076	6849	3110	
84	Cyclohexane	1221	1683	1412	902	744	865	402	1873	1689	412	586	734	461	826	1118	
110	Thiophenol	324	527	435	273	248	222	177	323	365	217	184	194	168	183	180	

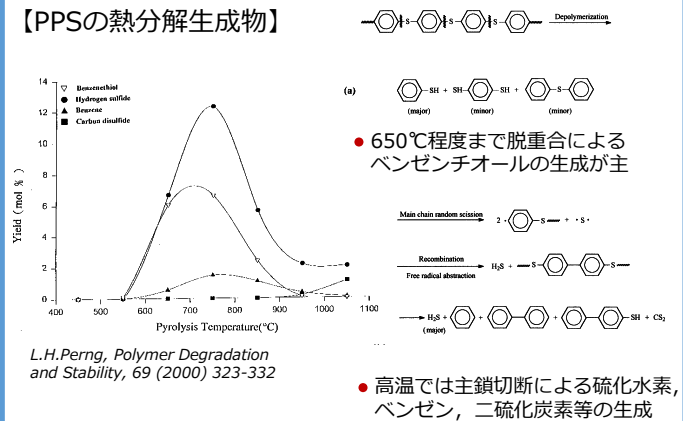
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

【ピストンリング材の摩耗量とGE検出量】



- 室温条件で硫黄系GEの検出量とリング材摩耗量の間に明確な線形の相関
- 雰囲気温度が100℃に上昇することにより硫黄系GEの検出量が減少
- 雰囲気温度にかかわらずベンゼン系GE検出量とリング材摩耗量の間に明確な線形の相関

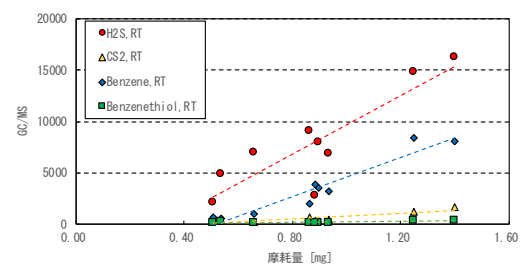
【PPSの熱分解生成物】



L.H. Perng, Polymer Degradation and Stability, 69 (2000) 323-332

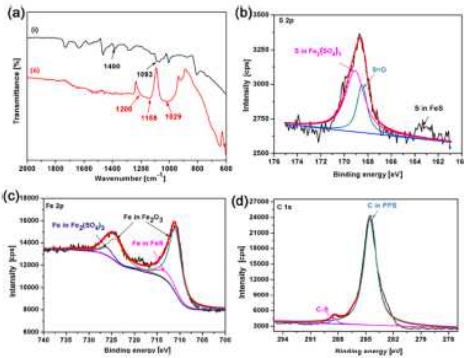
- 650℃程度まで脱重合によるベンゼンチオール生成が主
- 高温では主鎖切断による硫化水素、ベンゼン、二硫化炭素等の生成

【リング材のしゅう動によるGE成分組成】



- リング材のしゅう動によるGE成分組成はPPSの熱分解による分解生成物の組成と大きく異なる
- しゅう動によるGE発生メカニズムは単純な熱分解ではなく機械的せん断による分子鎖の破断を含むトライボケミカル反応

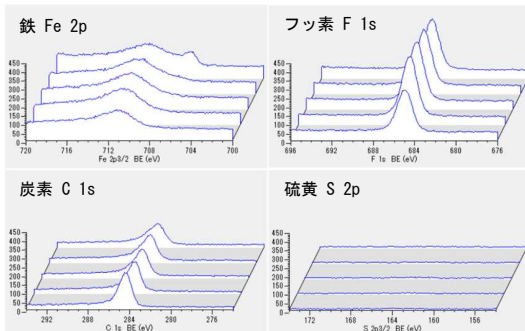
【大気中でのPPSのトライボケミカル反応】



- ・しゅう動による機械的せん断により硫黄とベンゼン環の結合が破断
- ・発生した硫黄ラジカルはしゅう動相手面の金属と反応し硫化金属を形成
- ・雰囲気中の酸素がPPSから硫黄を引き抜き二酸化硫黄を形成、しゅう動相手面の金属と硫酸塩を形成

H. Qi et al., J. Colloid and Interface Science, 514 (2018) 615-624

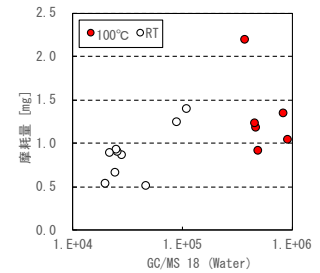
【しゅう動試験後のディスク表面分析】



N-GC-07
100°C, H₂, 4MPa, 2m/s, 摩耗量: 1.18 mg, H₂S+: 4549

- ・しゅう動試験後のディスク表面のXPS分析では、硫化鉄、硫酸化鉄ともに検出されない
- ・発生した硫黄ラジカルの一部は周囲の水素と反応し硫化水素を形成、一部は炭素ラジカルと反応し二硫化炭素を形成
- ・酸素、水分が十分に存在せず、二酸化硫黄の形成が困難
- ・硫黄ラジカルが金属ディスクと反応できずGEとしてガス中に発散
- ・リング材摩耗による硫黄系GE発生は高純度水素ガス雰囲気特有の現象

【水分の影響】



- ・雰囲気温度の上昇により水分増加
- ・増加した水分と硫黄ラジカルの反応による硫黄系GEの減少?

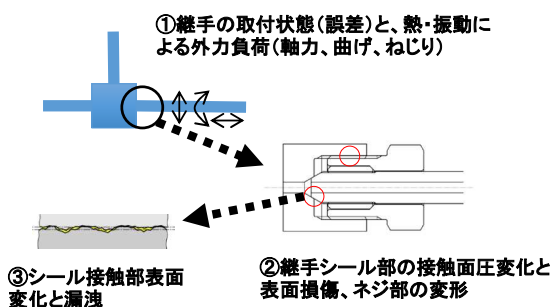
サブテーマ④継手基盤・機器開発

(九州大学、フジキン、キッツ)

目的 継手のゆるみと接触界面での漏れ発生に及ぼす、施工時・運転時・メンテナンスにおける配管の組付け精度、温度変化、圧力変化、振動などの因子による影響を明らかにして、新型あるいは改良継手の開発を行い、機械継手の漏洩リスクの評価方法と漏洩リスク低減の指針を作成する。

継手ゆるみの基本的考え方

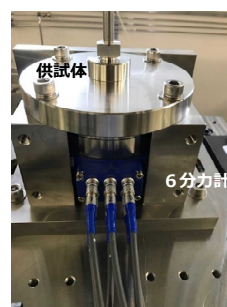
漏えい事故事例の調査から、漏えいに到るプロセスは、(1) 組付け誤差、施工に起因して締結時に初期歪が生じ、(2) 温度変動、振動などの繰返し外力荷荷により継手シール部の接触面圧が低下・不均一化して漏洩に至る、と考えられる。



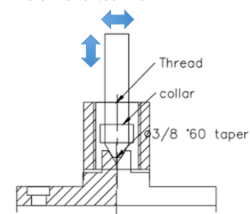
評価法開発の方針

- ① 種々の外力・取付け誤差等の影響因子を個別に又は複合させて付加し、② 影響因子と継手シール部の接触面圧の変化の関係を定量的に明らかにし、③ 接触部表面状態と漏洩の関係を定量的に明らかにする。

継手要素試験装置の開発

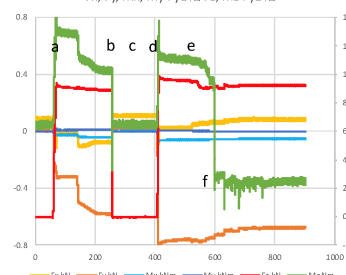


形状、寸法材料、仕上げなどを制御し、かつシール部の6分力を測定可能とするために、市販の継手ではなく、独自の供試体を開発した



締付け時の6分力

Fx, Fy, Mx, My : y1軸 Fz, Mz : y2軸



2回の締め付け(a, d)で軸力Fz(赤)、軸モーメントMz(緑)、横方向力Fx(黄色)、Fy(オレンジ)などから、接触の不均一さを個体ごとに捉えられた

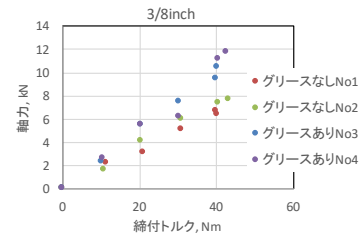
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

継手要素試験の計画

初期ミスアライメント(取付誤差)	なし	軸方向	横方向	ねじり	加工精度、表面粗さ、グリース、テーパ角など
軸力試験	○	○	○	-	一部○
軸力サイクル試験	○	○	○	予定	予定
横力サイクル試験	○	実施中	-	-	予定

おもに3/8in配管、必要に応じて9/16in, 1/4in

締付けトルクと軸力(接触面圧)



締付けトルクと軸力Fxの関係は、テーパ部のグリース塗布や、締付け回数によって変わる

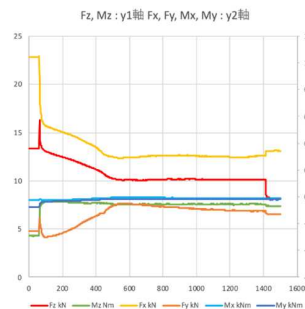
軸力サイクル試験

温度変化による配管の膨張収縮を模擬

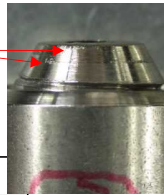


圧縮サイクル試験(片振り、0~-0.3mm, 2 Hz)での6分力の例:
横力Fx、Fy変化大、軸力Fzが大きく低下し(下)、ナットの締付けトルクが減少した(右下)

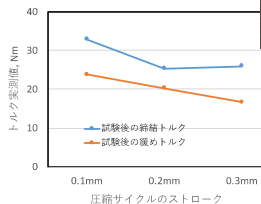
※引張サイクル試験では軸力、横力の低下はみられなかった



配管テーパ部先端に滑りが生じるとともに、表面にかじり発生



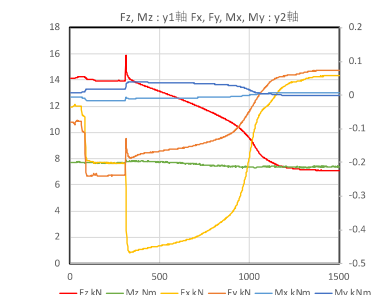
継手テーパ部も塑性変形



横押し+圧縮サイクル



曲げモーメントを加えながら圧縮軸力サイクル試験(下の例は横変位1mm, 圧縮サイクル0~-0.3mm, 2 Hz)。軸力Fzが大きく低下するが、曲げモーメントによる作用は小さい

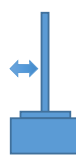


18

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

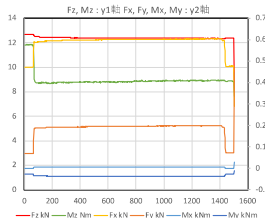
曲げサイクル試験

曲げ振動による継手のゆるみを模擬

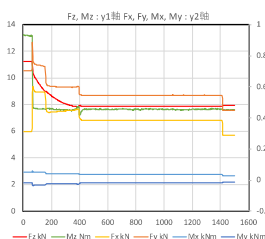


曲げモーメント小(下の①)では継手ナットの緩みはなかった。曲げモーメント大(②)で軸力は3割程度低下して安定し、ナットの緩めトルクも低下した

① 負荷位置
継手から
57mm



② 負荷位置
継手から
35mm

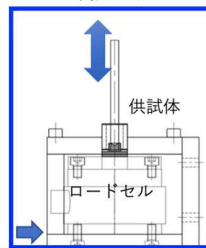


超高压要素試験装置

高压水素ガス(90MPa)を封入した状態で、外力負荷によるガス漏洩を計測する装置を新たに開発した

6分力計を備え、所定の接触面圧を与えたときの密封・漏洩状態を評価する

高压チャンバー



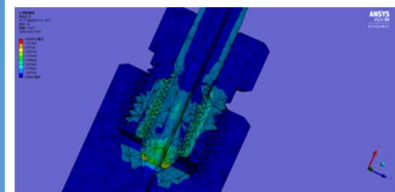
3/8in, 9/16in
継手で軸力を変化させ漏洩時の軸力を計測中

継手ゆるみの理論解析

ANSYS Academic Research Mechanical R1によるFEM弾塑性非線形解析を開始し、継手締めつけから外力付与下の弾塑性変形計算が可能になり、継手シール部、ネジ部の塑性変形発生を確認した



計算モデル例: ナットを時計回りに60°回転させて締付けたのち、チューブ150mmの位置で横に2mm変位



締付け後、曲げモーメント下のMises等価応力の分布例

(成果のまとめ)

- 継手漏洩評価のための新しい評価手法(実験と解析)を確立した。
- 締付け時の潤滑状態によって締付けトルクと接触圧力の関係がかわる。
- 軸力サイクル: 繰り返し圧縮により表面損傷発生、接触面圧低下。
- 軸力サイクル+横力: 横を付加しない場合とかわらない。
- 曲げサイクル: 曲げモーメントが高い場合、接触面圧低下。
- FEM解析により継手シール部、ネジ部の塑性変形を確認した。

(今後の課題)

- 接触面圧低下を生じる条件を定量的に整理し、実際に照らして漏洩低減指針を検討する。加工精度のばらつきと再締結の影響を調査する。
- 超高压要素評価試験装置により、シール部接触面圧、表面粗さ、高压水素ガス漏洩の関係性を解明し、漏洩リスク低減指針を検討する。
- 諸因子を系統的に与えてFEM理論解析を続行し、試験結果の裏付けと理論による予測を検討する。

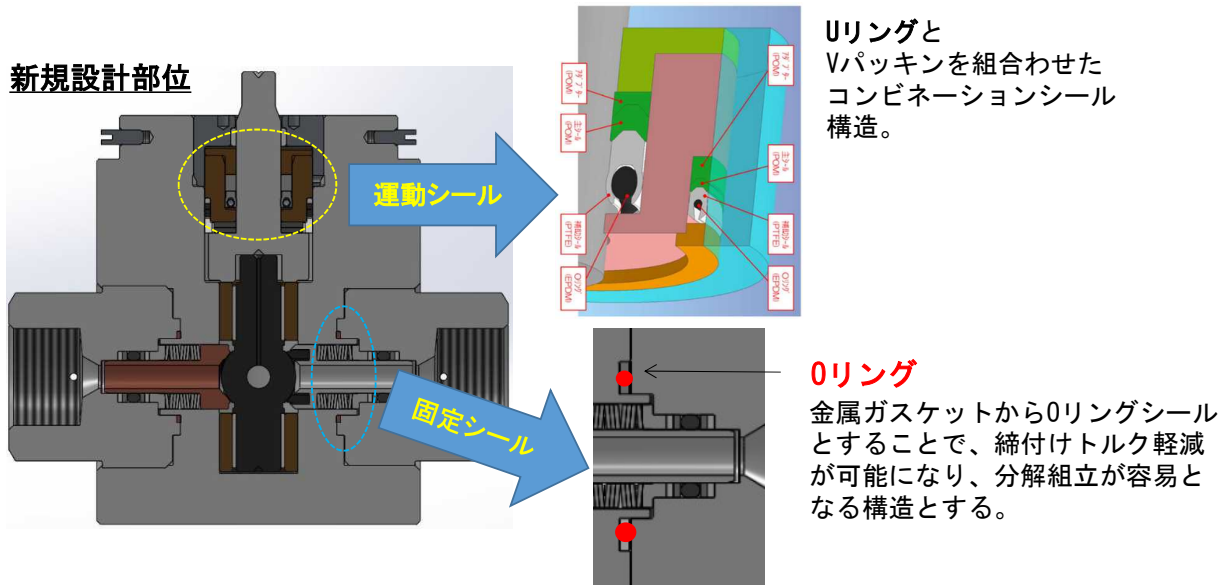
19

サブテーマ⑤シール成果に基づく機器開発 (キット、フジキン、トキシステムソリューションズ)

・目的

2018年度に充填試験、2019年度に充填模擬、圧力サイクル、定圧連続作動試験、2020年度の実機回収品をシール基盤・改良開発チームにて分析し、その結果から長寿命シール材の開発を基にバルブに組み込み、社内試験合格後、高圧ガス水素ガスにて加速耐久性評価法で現行品との比較評価を実施する。

- ・サブテーマ3のシール基盤・改良開発チームによる新型シール材の基礎設計が完了。
- ・バルブの組立、分解を簡略化するためのシール構造に着手することとした。



サブテーマ5:フジキン

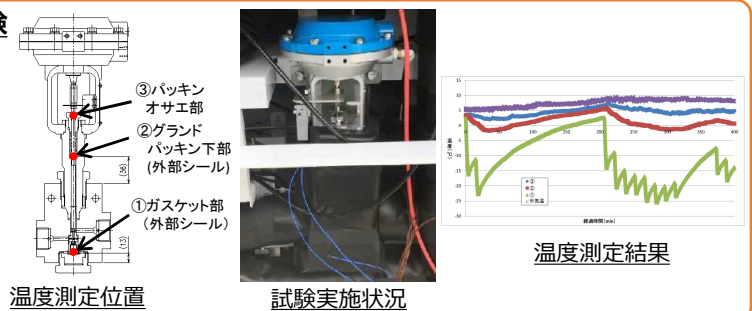
水素ステーション(HySUT山梨HTC)での充填試験

FCVへの連続充填試験を行い、プレクールラインに設置した遮断弁に与える影響を確認した。

【評価条件】

- 充填圧力：82MPa
- 冷凍機設定温度：-36℃
- 充填回数：合計 32回

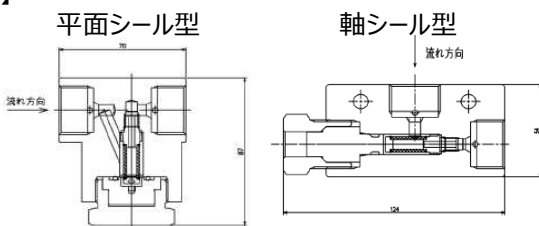
【評価結果】：外部リーク、内部リーク共に発生せず



新型フィルター設計検討、試作品評価

メンテナンス性に優れた構造のフィルターを新規設計検討し、試作品評価を行い、性能を満足しているか確認した。

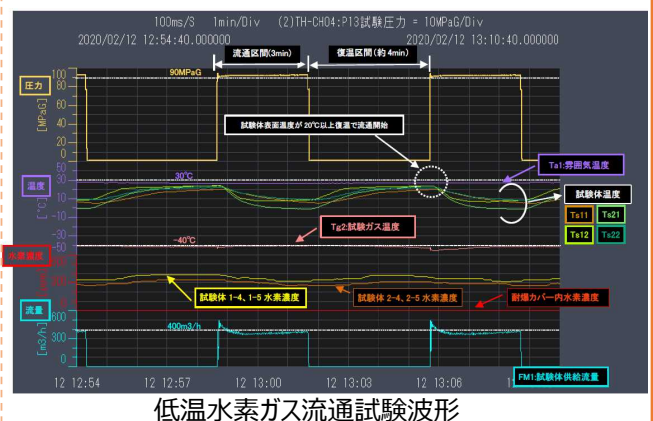
【構造】



【評価項目及び条件】

- 圧力サイクル試験(10,000サイクル)
圧力：1~95MPa、ガス温度：室温
- 低温水素ガス流通試験(100サイクル)
圧力：1~90MPa、ガス温度：-40℃以下

【評価結果】：外部リーク発生せず



加速耐久性評価にて、新型構造の信頼性を継続確認し、各構造の優位性を評価する。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
① セーフティーデータベース (SDB) の解析知見の整理	シール、継手のトラブル事例解析より、ブローラー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	SDBデータ解析の継続	SDBのデータ解析結果を基に、引き続き、SDB解析を継続し、水素STに使用されるシール部材・継手部材での潜在的漏洩条件の特定に資する解析・整理を行う。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	機器の加速耐久性評価法の確立	劣化度と漏えいの相関性検討より、劣化シール材を作成し、機器レベルでの加速耐久性評価法を検証する。検証での分析結果 (シール材劣化状況等) を基に加速耐久性評価法案を設定する。継手基盤・機器開発及びシール成果に基づく機器開発で得られた評価試験結果を基に加速耐久性評価法の検討へフィードバックし、確立する。
③ シール基盤・改良開発	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 高圧水素シール部材標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。 高圧水素圧縮機ピストンリング材の摩擦に伴うトライボケミカル反応により、硫化水素が発生する事を確認した。	HRSにおける充填回数 30,000 回相当のシール部材開発 ・シール部材の加速耐久性評価法の確立	2020年度末までに開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較を実施し、シール部材加速耐久性評価法案の詳細条件を設定する。引き続き、詳細条件を設定した加速耐久性評価法案を用いて実機との比較による検証を実施し、2022年度末までに評価法の確立、実機における30,000回充填相当のシール部材寿命を実証する。 ガスエミッションに係る解析検討を基に高圧水素ガス圧縮機シール部材の寿命制限因子の特定と対策を行う。
④ 継手基盤・機器開発	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用について試験と解析により明らかにした。	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。	2020年度までに得た成果と評価方法に基づき、2021年度末までに新型/改良型継手を開発し、加速耐久性評価法検討する。2022年度末までに漏洩の評価試験方法を完成させ、漏洩リスク低減の指針を作成する。
⑤ シール成果に基づく機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器 (バルブ、フィルター等) の設計検討を実施した。	HRSにおける充填回数 30,000 回相当の機器開発	加速耐久性評価法に基づく試験を、新たに設計検討した機器 (バルブ、フィルター等) で実施し、目標達成機器 (2020年度: 充填回数15,000回相当、2022年度: 充填回数30,000回相当) を開発する。

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及

	2018	2019	2020	計
論文 (査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演	5	6	0	11件
受賞実績	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件

※2020年10月現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

知財戦略に沿った具体的取り組み

- 委託先10社を契約者とする「知財合意書」を締結（契約日：2018年10月19日）
- 知財運営委員会の開催実績
 - 2019年1月25日 成果発表（5件）に関する審議
 - 2019年4月 9日 成果発表（1件）に関する審議

	2018年度	2019年度	2020年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1	0	0件

※2020年10月現在

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、本プロジェクトの成果として、「水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減」が実現できる。

具体的な成果として、

- 水素ステーションの休業日数の削減：1日/年
 - メンテ期間の短縮：2～3日/定修（定修はほぼ1回/年）
 - 運営コスト低減：1～2百万円/年
- 従って、日本全体の水素ステーションでは3.2～6.4億円/年の低減が見込まれる。（2025年度 水素ステーション数：320）

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

◆実用化に向けた具体的取組

項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023～2033
①セーフティーデータベース(SDB)の解析知見の整理	SDBデータ解析継続			同左		最終目標
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	・加速耐久性評価条件案決定			・加速評価条件確立		規格化検討
③シール基盤・改良開発	・使用済みシール部材調査 ・シール部材加速耐久性評価法案確立			・シール部材加速耐久性評価法確立		規格化検討
	・データベース構築 ・新規シール部材候補材選定			・新規シール部材		各種水素機器への適用検討
④継手基盤・機器開発	・要素評価試験 ・評価方法の確立 ・理論解析モデル構築			漏えいリスク低減指針 ・新型/改良型継手開発		実用化検討
⑤シール成果に基づく機器開発	・バルブラボ試験実施 ・15,000回充填相当の検証			・バルブラボ試験 ・HRS実証 ・30,000回充填相当の検証		実用化検討

▲:基本原理確認 ●:基本技術確立

水素ステーション機器
以外への用途展開
国内メーカーの国際競争力に寄与
水素ステーションでの利用拡大

「水素ステーション用高圧水素ホース加速耐久性評価法開発及び耐久性向上に関する研究開発」 (中間評価)

(2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

国立大学法人九州大学

一般社団法人日本ゴム工業会

2020年12月17日

1

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 水素インパルス試験法による高圧水素ホース評価結果と水素ステーションにおける充填回数の相関解明	水素インパルス試験法、改良試験法と実水素ステーションにおける充填回数の相関係数設定	85℃ホース揺動水素インパルス試験と実水素ステーションの相関係数1.6を設定	○	
② 高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明	ホース耐久性に対する影響が大きい内層樹脂の劣化、破壊に影響する因子を明確化	ホース内層樹脂の疲労特性について応力負荷パターンの影響明確化	○	
③ 高圧水素ホース加速耐久性評価法の開発及び加速耐久性評価法規格案の策定	高圧水素加速耐久性評価法を開発し、規格案を作成	85℃ホース揺動水素インパルス試験法を規格案として設定	○	
④ ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供	加速耐久性評価法を用いてデータを取得し、ホースメーカーにフィードバック	ホースメーカーより提供いただいたホースの評価結果をフィードバック	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達 2

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

以下の通り2020年度中間目標は達成したと判断している。

2020年度中間目標	達成状況	達成度
高圧水素ホース加速耐久性評価法の確立	85℃ホース揺動水素インパルス試験を評価法案として設定	○
ホース交換サイクル 充填回数 2,200回以上の耐久性判断に資するデータ取得	北米水素ステーションにおいて試用し、3,000回の耐久性を実証	○

成果の意義

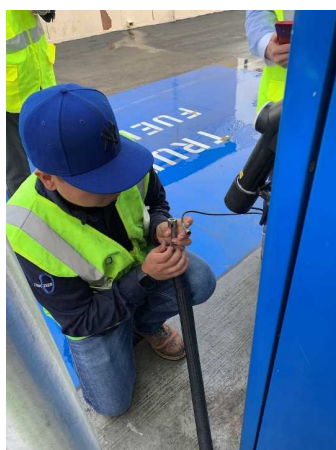
2017年度までのNEDO事業において開発された87.5 MPa試作ホースの水素インパルス試験法による評価は数万回の耐久性を示すことが判明している。このため、これらのホースの水素インパルス試験による耐久性評価は長期間を要する。この結果、ホース交換サイクルの設定に資する評価結果が十分に得られず、ホース交換サイクルについて、ホース耐久性の実力値に比して限定的な回数を設定せざるを得ない状況となっている。

加速耐久性評価法を確立することにより、短時間での耐久性評価を実施し、ホースメーカーにおけるホース交換サイクルの設定に資するデータを蓄積することが可能となる。これらの加速耐久性評価データは、ホース耐久性の実力値に応じたホース交換サイクルの設定、高耐久性ホースの開発に活用される。

3

実施項目① 実水素ステーションにおける実証(九州大学)

- ・ホースメーカーおよび北米水素ステーションオーナーの協力を得て2019年1月より水素ステーションにおけるホース実証試験を実施。
- ・米国カリフォルニア州ロサンゼルス近郊の水素ステーションにおいてホースの試用による実証継続中。
- ・試用ホース(N=3)は3,000回を超える充填回数を実証。
- ・当該ステーションにおける充填回数は40~50回/日程度。
- ・水素漏洩により使用中止した使用済みホースを回収。回収ホースの調査を実施中。



ホース取り付け作業



FCV充填状況

・北米ステーションにおいて、現行ホースの耐久性、交換頻度などの調査を実施。水素ステーションにおける充填耐久回数の平均は700回程度で、耐久回数のばらつきが大きい。

北米水素ステーションにおいて、前事業で開発した87.5MPaホースの実証を継続中。

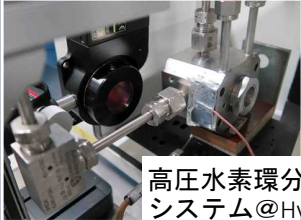
4

実施項目②

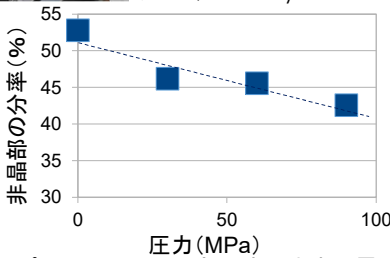
高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明

(九州大学, 大阪大学, 山形大学)

結晶性高分子試験片の高圧水素環境下での分光測定を実施。高圧水素環境下では結晶化度が大きくなり、非晶部が増加する。減圧時に可逆的に元の状態に戻ることが判明した。(大阪大学再委託)

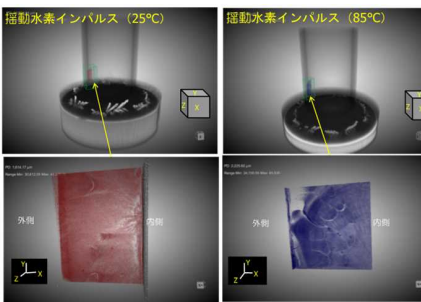


高圧水素環分光測定システム@HyTReC



高圧水素環境下での使用によるホース内層材への影響の評価法を検討。

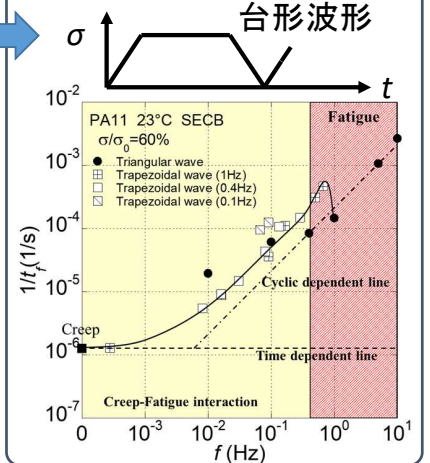
- ・分子量変化 (GPC)
 - ・高次構造変化 (DSC, TMA, DMA)
 - ・破壊定量 (可視光透過, 3D形状測定, X線CT)
 - ・高圧水素による環境応力割れ
- GPC:ゲル浸透クロマトグラフィ, DSC:示差走査熱量分析, TMA:熱機械特性測定, DMA:動的粘弾性測定



水素ステーション使用后、加速耐久性評価後のホース内層材について、X線CTによる破壊状況調査を実施。

加速評価においても実機同様、内層樹脂に内側→外側に進展した貫通クラックを確認

高圧水素ホース内層樹脂材料試験片の大気圧環境での疲労試験において、疲労挙動の負荷応力の波形依存性について検討した。台形波形において、高圧保持時間が短いと疲労損傷が優勢となり、保持時間が長いとクリープ損傷が優勢となることが判明した。(山形大学再委託)



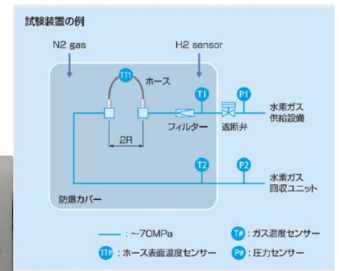
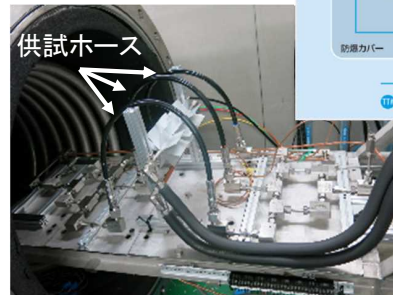
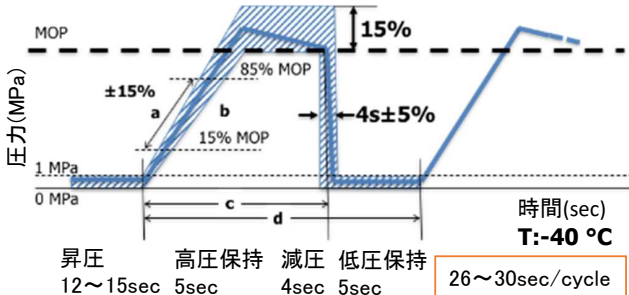
高圧水素加減圧条件下での試験片の劣化状況、強度特性、疲労特性、高次構造変化など測定法を開発。内層樹脂劣化・破壊状況を把握。設定した加速耐久性評価法案と実機の劣化・破壊現象を調査し、加速メカニズムを解明する。

実施項目③

水素インパルス試験加速因子検討(九州大学)

・ISO 19880-5 Clause 7.9 水素インパルス試験

ホースは最小曲げ半径で逆U字に設定し、上限圧力87.5MPa, 加圧12~15秒, 高圧保持5秒, 減圧4秒, 低圧保持5秒の30秒/サイクルの加減圧実施。従来ホースで1万回~数万回漏洩なし



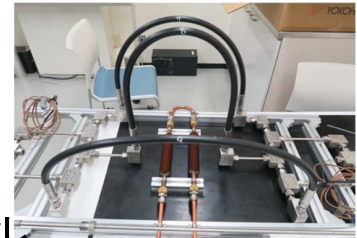
@HyTReC

・最小曲げ半径にて逆U字設定、水素ガス温度-40°C、環境温度55°CとしてHRSでの均圧を模擬した圧力パターンによる水素インパルス試験



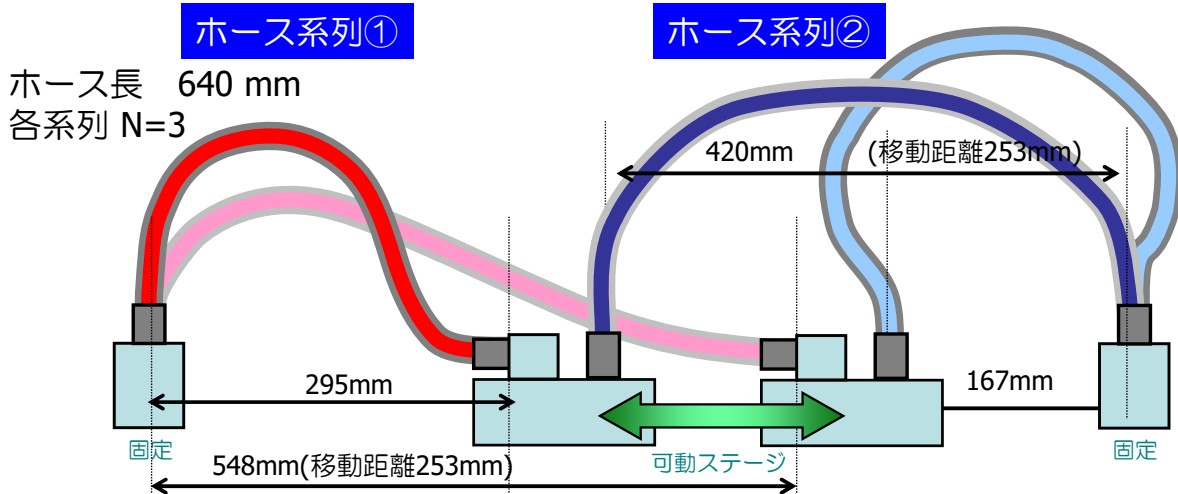
>10,000回漏洩なし

・フィッティング間隔を変更して高ひずみ状態で逆U字設定、水素ガス温度-40°C、環境温度-40°Cとして標準圧力パターンによる水素インパルス試験



>10,000回漏洩なし

実施項目③ ホース揺動水素インパルス試験(九州大学)



STEP	ホース系列①		ホース系列②		時間
	面間 (mm)	圧力 (MPa)	面間 (mm)	圧力 (MPa)	
1	548	1.0→90→1.0	167	1.0	26 sec
2	548→295	1.0	167→420	1.0	3 sec
3	295	1.0	420	1.0→90→1.0	26 sec
4	295→548	1.0	420→167	1.0	3 sec

実施項目③ ホース揺動水素インパルス試験(九州大学)

ホース系列①

ホース系列②

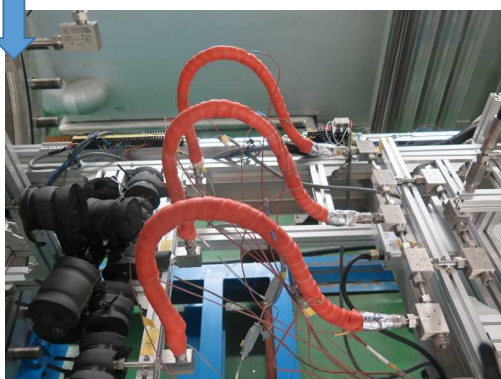
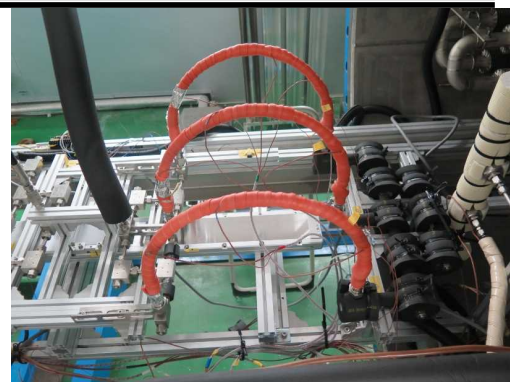
伸びた
状態

この状態で
水素加減圧

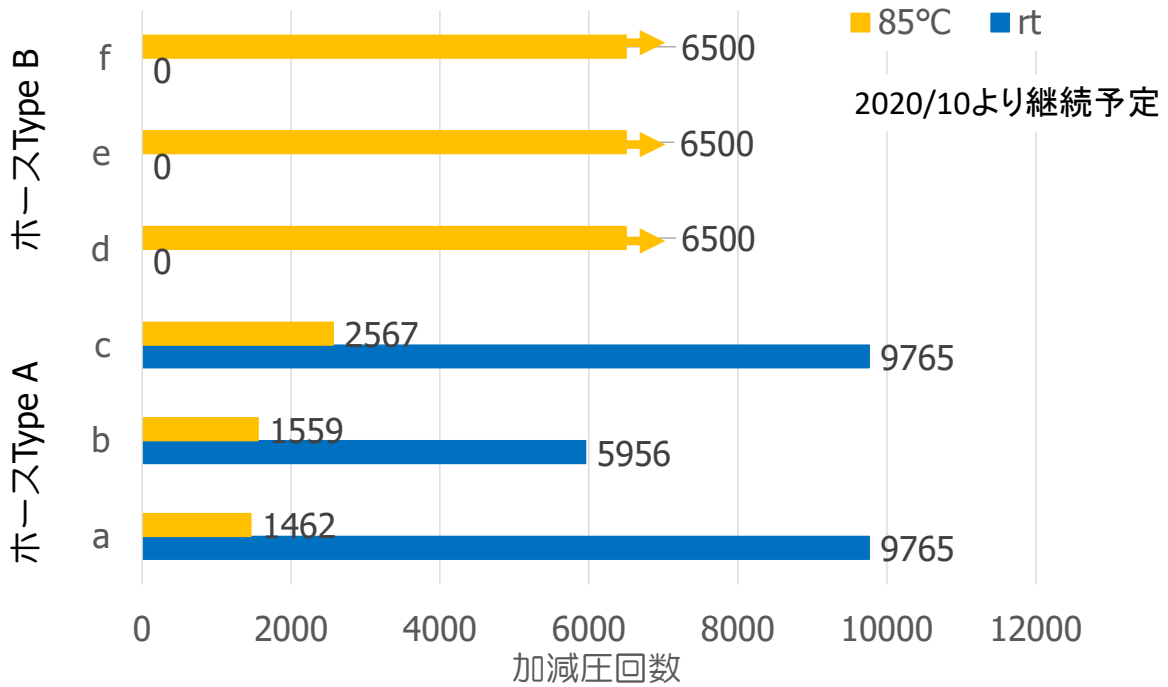
揺動の際
のホース
内の水素
圧力は1
MPa

縮んだ
状態

※オレンジ色の
表皮はヒーター



実施項目③ ホース揺動水素インパルス試験結果(九州大学)

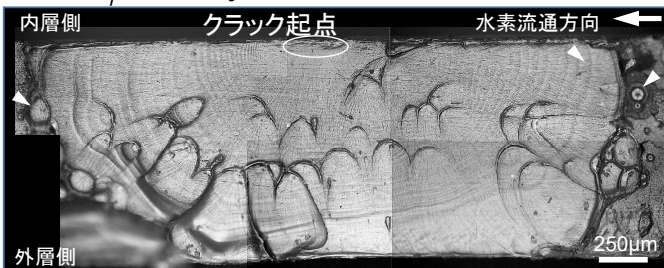


Type Aは環境温度室温・ガス温度-40°Cで平均8,495回、環境温度85°Cで平均1,863回
 Type Bは環境温度室温・ガス温度-40°Cの条件ではホースが屈曲せず試験実施不可、
 環境温度85°C試験では試験終了(6,500回)まで漏洩発生せず。

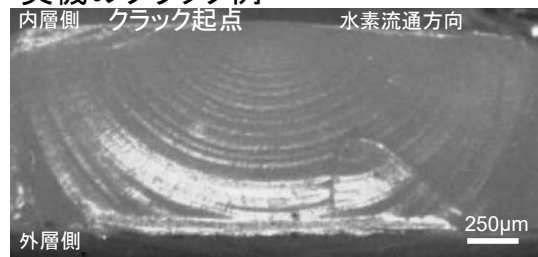
実施項目③ ホース揺動水素インパルス試験結果(九州大学)

試験終了時のホースからの漏洩箇所の調査: 貫通クラック光学顕微鏡観察結果

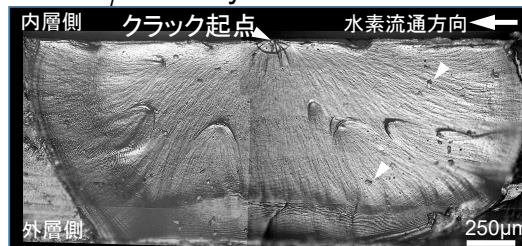
85°C $N_f=1559$ cycles



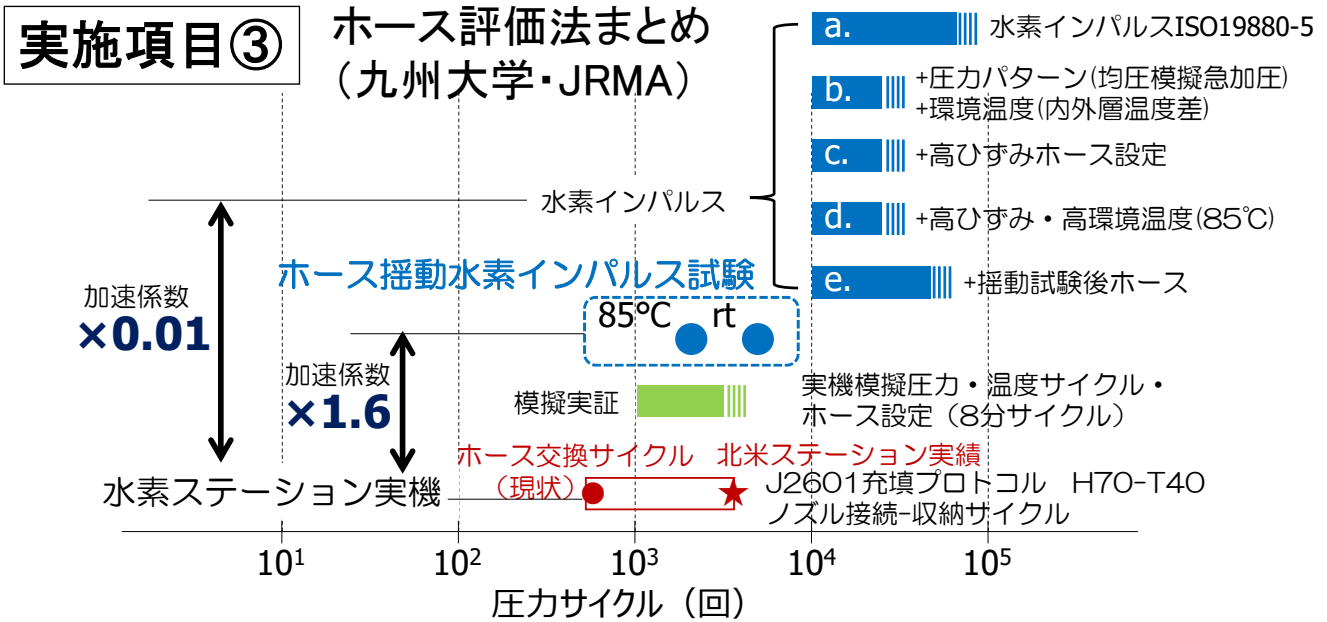
実機のクラック例



25°C $N_f=5956$ cycles



実水素ステーション，加速評価における漏洩はともに内層樹脂チューブの貫通クラックが原因であり、貫通クラックの破断面にはストライエーションが形成されていることが確認された。加圧・減圧の繰り返しによる疲労によってクラックが進展し、貫通するに至り、漏洩したと考えられる。



ホースを揺動させながら加減圧するホース揺動水素インパルス試験により北米水素ステーション実績値と同レベルの加減圧耐久回数を確認。ホース温度を85°Cとすることで、水素ステーション実機以下の加減圧耐久回数となった(加速係数1.6程度)。→揺動水素インパルス試験により加速的に耐久性評価が実施できる可能性を確認。加速耐久性評価法案として、揺動水素インパルス試験条件を仮決定、詳細条件設定のため、評価継続。

13

実施項目④ ホース交換サイクル設定に資するデータの取得及びホースメーカーへの提供(九州大学)

開発した加速耐久性評価法を用い、WTに参加するホースメーカー2社から提供されたホースの評価を実施した。評価結果を提供各社に報告し、各社における開発にフィードバックした。

ホースメーカー各社との議論を実施し、水素ステーションでの高圧水素ホース交換サイクルを設定するために必要となるデータの整理を実施した。

2018年度～2020年10月までに各ホースメーカーと合計18回の協議を実施した。

14

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆成果の最終目標の達成可能性			
研究開発項目 (目標)	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
高圧水素ホース加速耐久性評価法規格案の作成	加速耐久性評価法案として高温ホース揺動水素インパルス試験を確立	高圧水素ホース加速耐久性評価法規格案の作成	2020年度末までに加速耐久性評価法の詳細条件を決定する。 引き続き決定した評価法案によるホース評価を行い、実機との比較、試験後ホースの分析を行い、評価法確定し規格案を作成できる見通しである。
ホース交換サイクル充填回数 30,000回以上の耐久性判断に資するデータ取得	北米水素ステーションによる試用で3,000回の充填を実施。 策定した加速耐久性評価法案により評価継続中。	充填回数 30,000回以上の耐久性判断に資するデータ取得	2020年度末までに加速耐久性評価法の詳細を決定する。決定した評価法により国内各社製ホース、比較のために海外製ホースの評価を進め、2022年度までに30,000回相当のデータ取得見通しである。

15

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及				
	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	1	3	0	4
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0

※2020年10月14日現在

16

◆成果の普及

加速耐久性評価法の策定およびプロジェクト進捗報告を行う高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化ワーキングチームにユーザーであるホースメーカーからも参加いただき、7回の会議を開催した。プロジェクト推進により得られた知見を共有するとともに、成果普及に向けた議論を進めた。

回	日時	会場	議題
第1回	2018年6月25日	(一社) 日本ゴム工業会	高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化WTにおける検討内容について、「超高圧水素インフラ本格普及事業」審査結果について、委託業務実施計画書について
第2回	2019年1月23日	(一社) 日本ゴム工業会	進捗報告(海外出張報告他)、実施計画の確認 本年度成果報告書、次年度計画について
第3回	2019年3月4日	(一社) 日本ゴム工業会	平成30年度最終報告
第4回	2019年5月17日	(一社) 日本ゴム工業会	本年度実行計画、海外出張計画確認 【セイフティデータベース】ホース関連データの抽出作業の進め方、高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告、水素インパルス試験検討、DOE AMR(報告)
第5回	2019年8月29日	(一社) 日本ゴム工業会	高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告と今後の進め方討議
第6回	2020年1月15日	(一社) 日本ゴム工業会	高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告今後の進め方討議 促進評価法の規格化について ・方向付けと進め方 ・規格内容のアウトライン
第7回	2020年7月17日	Web会議	高圧水素ホースの劣化・破壊加速因子の解明に関する進捗報告・今後の進め方討議 促進評価法の規格化について ・方向付けと進め方 ・規格内容のアウトライン

17

◆知的財産権の確保に向けた取組

当プロジェクトにより高圧水素ホースの加速耐久性評価法を確立し、事業最終年度までに加速耐久性評価法案を策定する計画である。策定した加速耐久性評価法案については、JIS、ISOなどを想定した国内・国際規格化を進める予定である。

ホースの耐久性評価法として、2019年11月に発行されたISO 19880-5 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 5:Dispenser hoses and hose assemblies のClause 7.9 に水素インパルス試験が記載されている。本法は加速試験となっておらず、水素ステーションにおける充填回数との相関も明確ではない。

現在、ディスペンサー用高圧水素ホース国際規格化検討のワーキンググループ(ISO TC197 WG22)において、ISO 19880-5の改定に向けた議論が進められている。WG22には当プロジェクト参加者がエキスパートとして参加しており、国内審議委員会の議論を踏まえ、当プロジェクト成果である高圧水素ホース加速耐久性評価法の国際規格化について検討する。

18

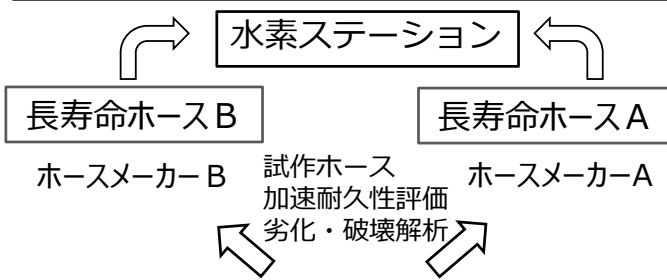
◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトにおける成果として期待される高圧水素ホース加速耐久性評価法は、高圧水素ホースメーカー、高圧水素ホースのユーザーであるディスペンサーメーカー、水素ステーションコンストラクター、水素ステーションオーナーなどステークホルダーが高圧水素ホースの耐久性を評価する指標として、開発した高圧水素ホース加速耐久性評価法を活用し、新たな長寿命ホースの開発、ホース交換サイクルの延長による水素ステーション運営の低コスト化に資することを目的としている。

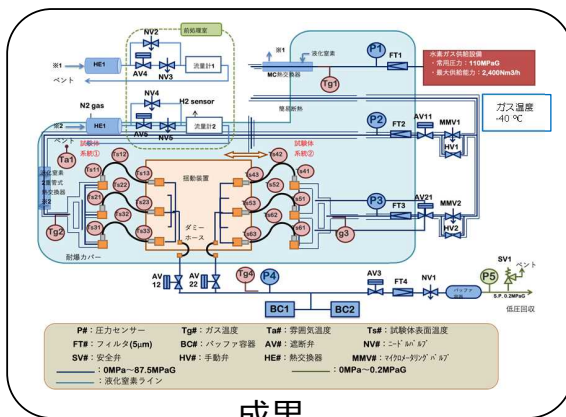
開発した高圧水素ホース加速耐久性評価法の「実用化」は、関係するステークホルダー、規制当局により適切なホースの耐久性評価法として認めていただくことと考える。その一環として本プロジェクトで策定した高圧水素加速耐久性評価法規格案の国内規格化、国際規格化を推進する。

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

◆実用化に向けた戦略



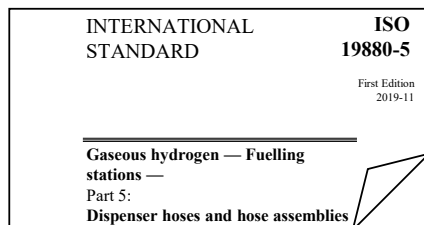
・長寿命ホース開発（ホースメーカーA, B）
87.5 MPa試作ホースについて、ISO 19880-5に適合することが確認されている。今後、開発した加速耐久性評価法を活用し、試作ホースの水素ステーションにおけるホース交換サイクル延長、新規長寿命ホースの開発に資するデータを取得する。



・高圧水素ホース加速耐久性評価法規格化
開発した高圧水素ホース加速耐久性評価法をホース交換サイクル設定の基準として使用するためには、関係するステークホルダーの理解が必要である。このことから、開発した評価法の実用化のため、国内・国際規格化を推進する。

高圧水素ホース加速耐久性評価技術
高圧水素ホース加速耐久性評価法規格案
(JIS・ISO19880-5改定等)

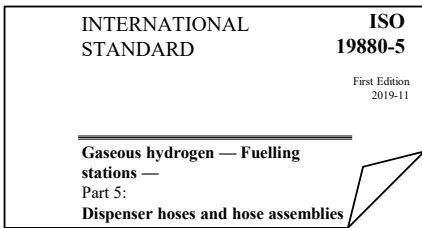
国際規格化



◆波及効果

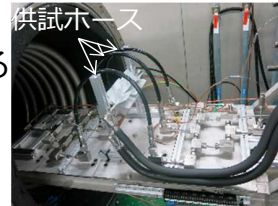
2019年11月、水素ステーションで使用する高圧水素ホースについて、国際規格 ISO 19880-5 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 5:Dispenser hoses and hose assemblies が発行された。

当プロジェクト参加者がディスペンサー用高圧水素ホース国際規格化検討のワーキンググループ (ISO TC197 WG22) のエキスパートとして参加した。引き続き、WG22では改定に向けた議論が進められており、国内審議委員会の議論を踏まえ、当プロジェクト成果である高圧水素ホース加速耐久性評価法の国際規格化について検討する。

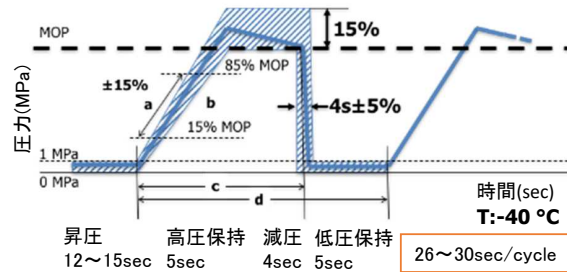


Clause 7.9
Hydrogen Impulse Test
(水素インパルス試験)

ホース設定
最小曲げ半径による
逆U字設定 (固定)



圧カプロトコル



「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／
本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術」
(中間評価)

(2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

ENEOS(株)
(株)本田技術研究所
トキコシステムソリューションズ(株)
(一社)水素供給利用技術協会

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

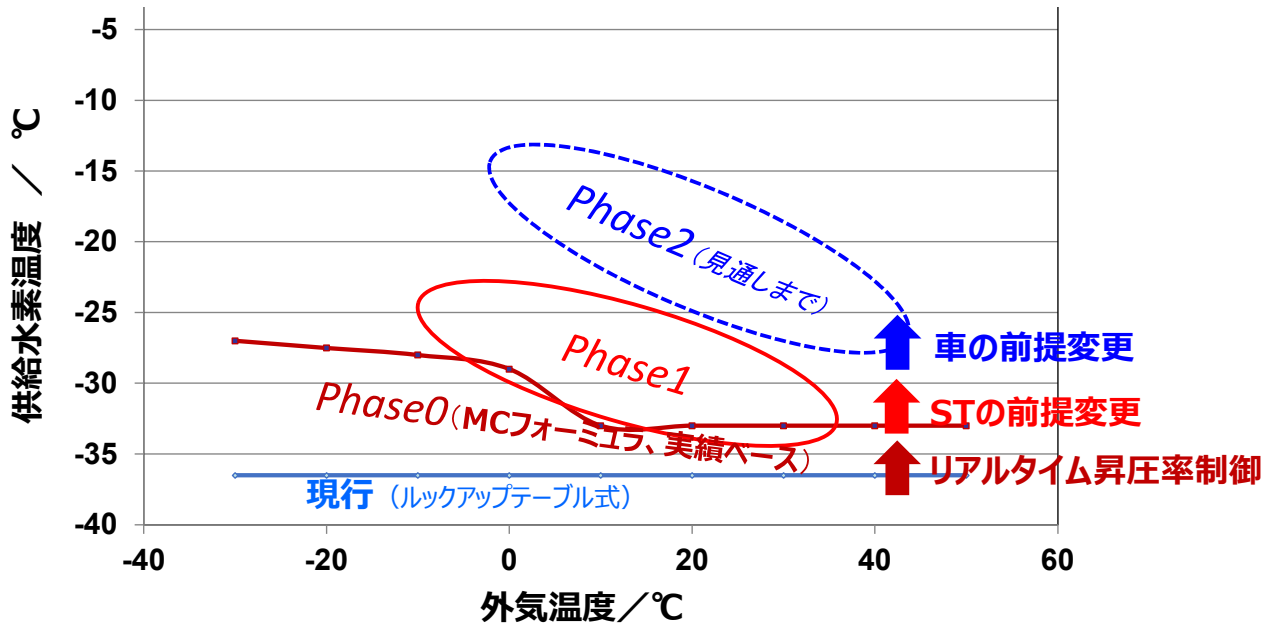
研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①低コスト対応プロトコルの開発	<ul style="list-style-type: none"> Phase1: 水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコルの制御マップを完成させる。(現行: -35~-38℃ ⇒緩和後: -25~-33℃) Phase2: 車載タンク側の上限温度見直しを含む革新的プロトコルの見直しを得る。 	熱容量等の値を適正化した新規充填制御マップを開発した。本格普及期に想定される連続充填での予冷の効果も加味すれば、夏場の気温でもT20相当(-26℃以上)へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。	○	新規充填制御マップの完成度を高め、実証試験により安全性を検証する
②低コスト高頻度水素充填システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 1時間10台の充填を可能とする低コスト高頻度充填システムを完成させる。 	最小限のバンク構成でダブル充填可能な協調制御システムを開発し、安定的に充填出来ることを実証した。	○	プレクールの最適化、MCフォーミュラへの対応により、システムの高高度化を図る
③水素充填技術基準整備に関する研究開発	SAE J2601改定内容の国内適用における妥当性を検討し、充填技術基準案及び充填技術自主ガイドライン案を作成する。	SAE J2601の改訂版入手、改正部分を確認、各部分の改正理由について整理を実施した。	△ (2021年2月達成予定)	MCフォーミュラの技術基準をベースに①の成果を反映する

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

① 低コスト対応プロトコルの開発

プレクール温度の緩和に向けたアプローチ

Phase毎の段階的な取り組みで緩和を進める



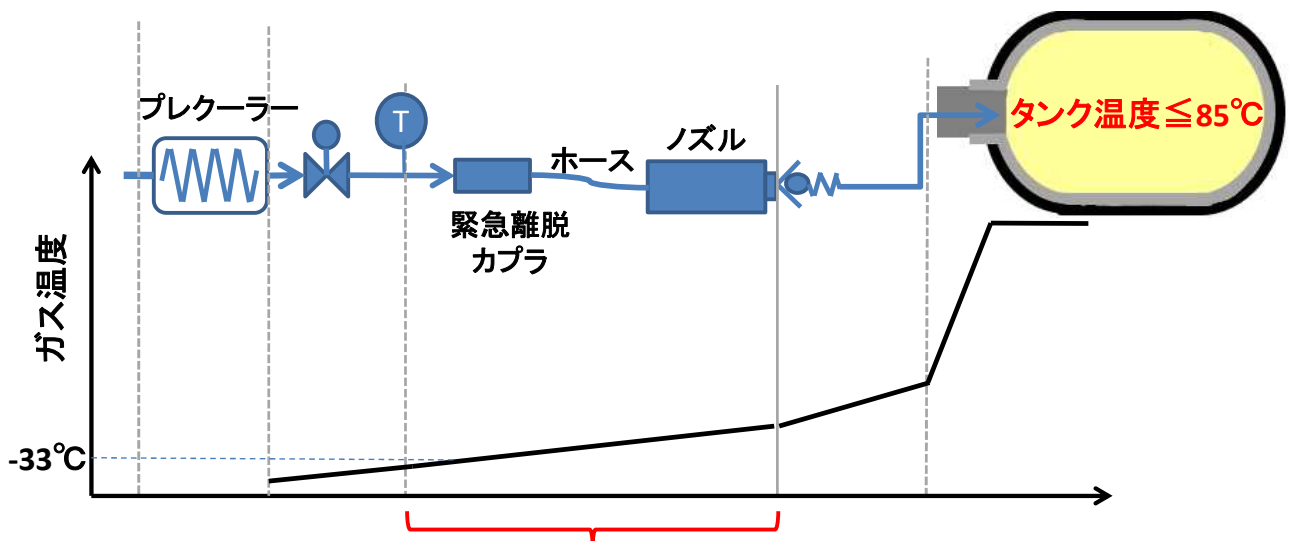
充填時間を揃えた時の水素温度と外気温度の関係

2

Phase1の開発方針

ステーションの各部品で奪われる冷熱は、実際には現行規格の設定(ワーストケース)よりも小さい。

⇒計算の前提を変更し、実態に合わせた新たな充填制御マップを作成すれば、プレクール温度の緩和が可能。

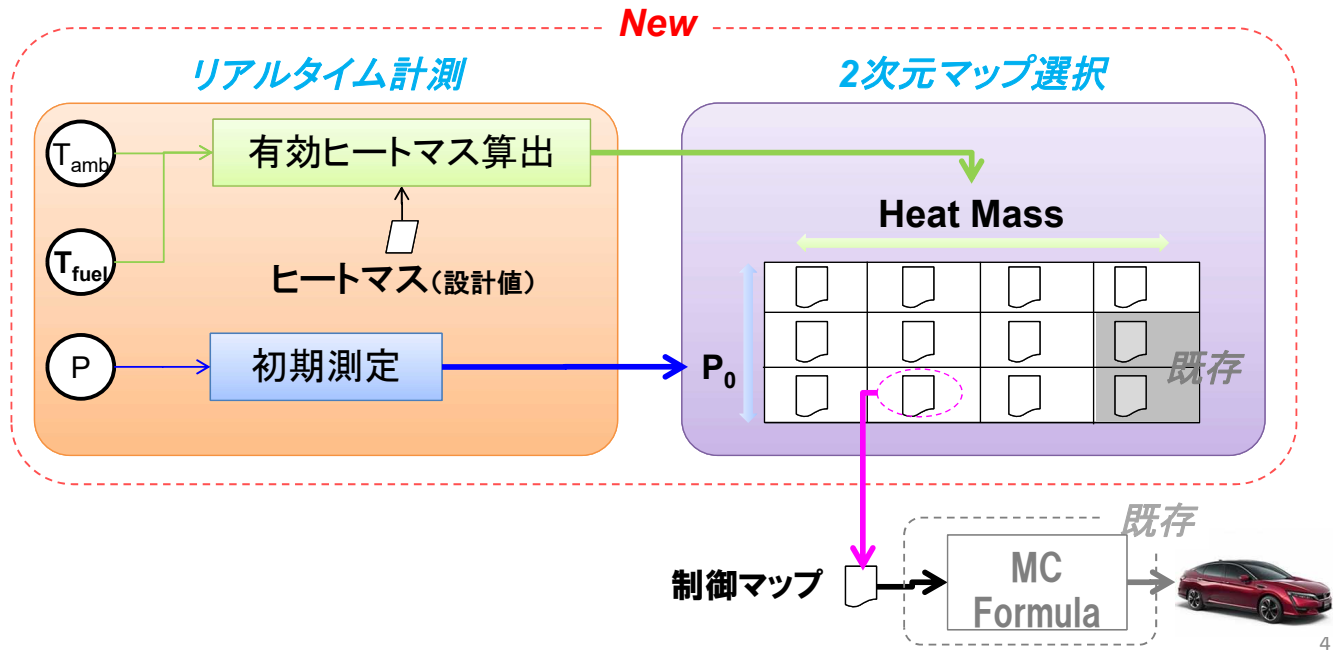


この範囲で奪われる冷熱(ヒートマス)を実態に合わせて見直す

3

充填制御コンセプト

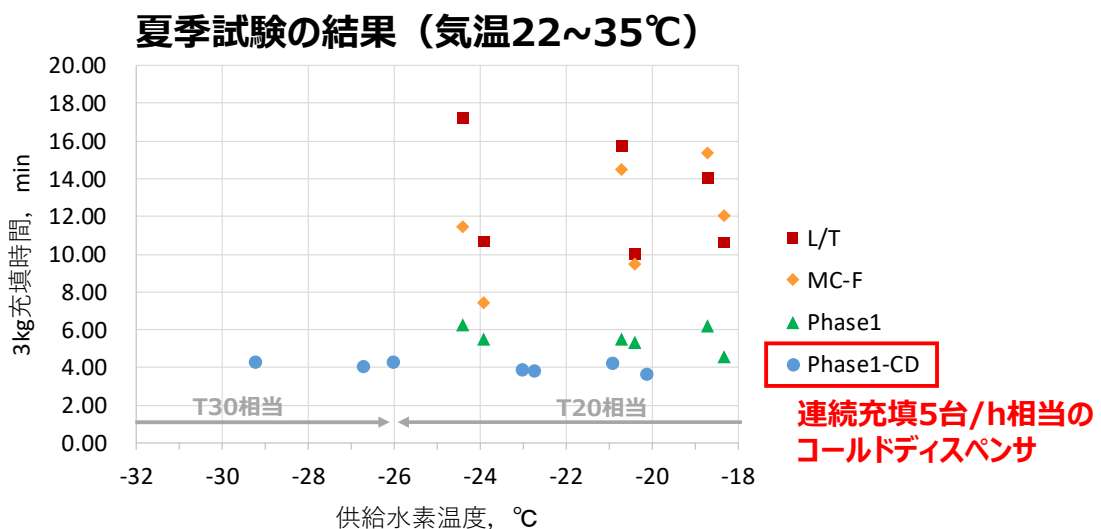
MCフォーミュラをベースに、有効ヒートマスをリアルタイムに取り込む制御を追加した。安全サイドで設定されたマージンをできる限り排除してプレクール温度を緩和する。



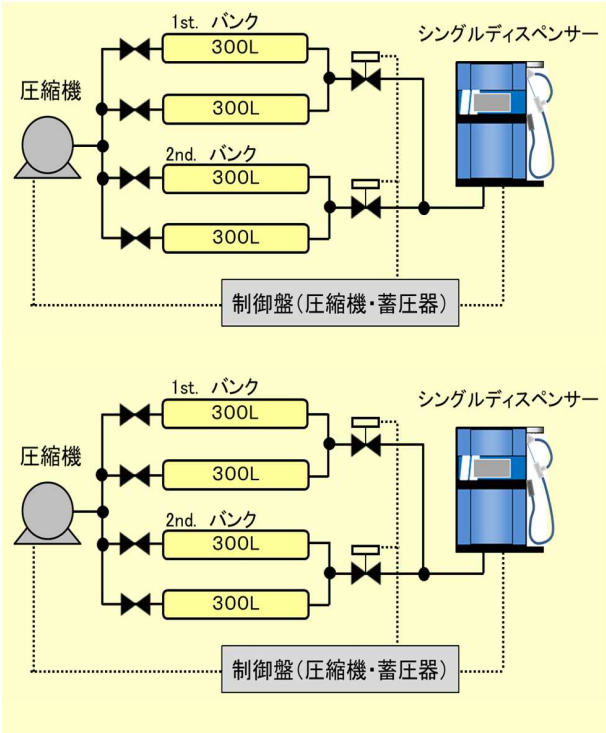
【HySUT水素技術センターでの国内試験の結果（2020年8月）】

連続充填5台/h相当のコールドディスベンサで、気温33℃以下であれば、T20相当で4分程度の充填が可能なことを確認した。(⇒Phase2相当の結果)

※タンク温度が気温より高いホットソークではタンク温度が85℃を超える場合があり、少し余裕度を持った設計に改良予定。

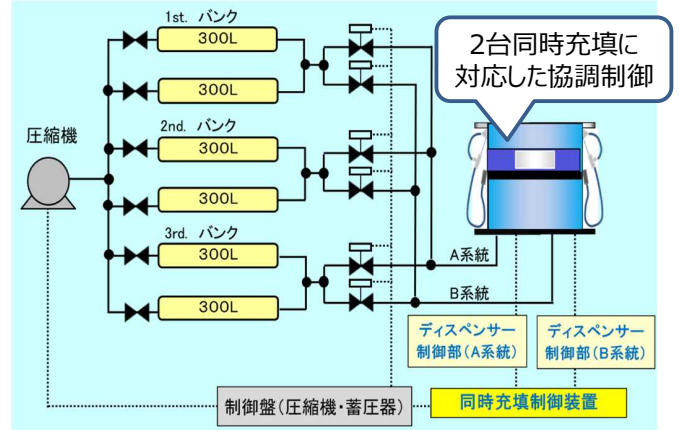


②低コスト高頻度水素充填システムの開発



同じ設備を2系統設置した場合
(高コスト)

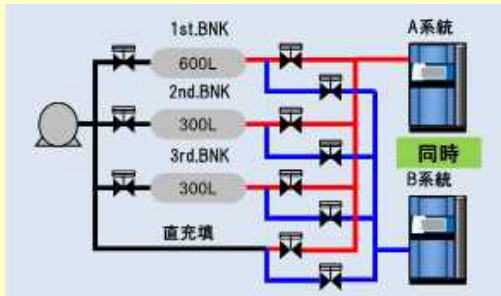
同じ設備を2系統設置するのではなく、
圧縮機・蓄圧器の共用により、10台/時間
に対応した低コストなシステムを開発する



高頻度水素充填システムの例
(低コスト)

シミュレーションで選定した4構成

0-B : 3バンク構成 (600L×1、300L×2)



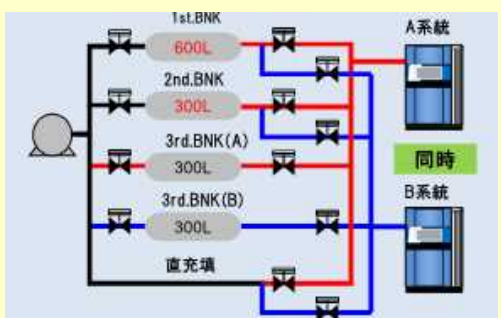
容量・本数が最小。最も低コスト。

0-D : 3バンク構成 (600L×2、300L×1)



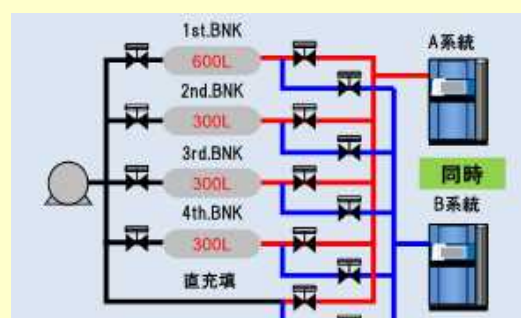
2ndバンクを高容量化。

1-B : 3バンク構成 (600L×1、300L×3)



3rdバンクをAシステム用とBシステム用の2本にしたもの。

3-B : 4バンク構成 (600L×1、300L×3)



協調制御を適用したダブル充填試験の結果

新たに開発した協調制御の適用により、最小容量の3バンク構成（0-B）で4kg/台以上の充填を行った場合でも安定的にダブル充填が出来ることを確認した。

3バンク構成0-B（600L×1、300L×2）の試験結果

充填条件	気温 (°C)	ディスベンサ	FCV 初期圧 (MPa)	充填時間 (s)	直充填時間 (s)	SOC (%)	圧力上昇率 (MPa/min)	充填量 (kg)
Bを10s遅延	26.1	A	6	305	68	98.0	17.8 →16.5(×0.93)	4.4
	25.8	B	6	290	68	98.0	18.0	4.3
Aを17s遅延	26.2	A	6	288	59	98.0	17.7	4.3
	26.3	B	6	301	58	97.9	17.7 →15.9(×0.90)	4.3
AB同時	30.4	A	15	243	—	97.9	15.1	3.5
	29.6	B	6	305	3	98.0	15.6 →13.2(×0.85)	4.3
AB同時	31.3	A	15	264	26	97.9	14.6	3.5
	30.2	B	13	255	19	98.0	15.2	3.6

※協調制御方法

差圧が5MPa以上：2台の終了時間を60sずらすように低圧側の圧力上昇率を抑制
 差圧が5MPa以内：高圧側の圧力上昇率を少し抑制して終了時間を合わせる

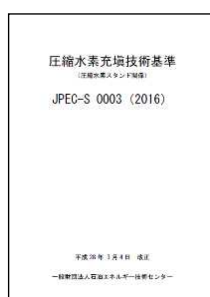
③水素充填技術基準整備に関する研究開発

国内充填技術自主基準 JPEC-S 0003（2016）の制定経緯について

- 水素充填基準検討会 H27.9.24
 修正案配信 H27.10.8

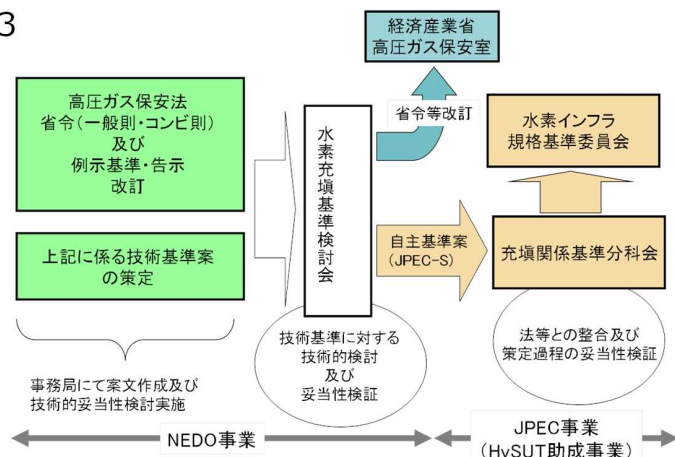
- 充填関係基準分科会 H27.11.26
- 水素インフラ規格基準委員会 H28.1.28
 書面審議 H28.2.3
- ✓ 意見募集 H28.2.18.～3.3
 コメントなし

□ JPEC ホームページで公開中



充填技術自主基準は、NEDO事業において技術的検討および妥当性検証を行ない自主基準（案）を作成の上、この基準(案)についてJPEC（HySUT助成）事業において充填基準分科会および水素インフラ規格基準委員会で審議して制改正される。

JPEC-S 0003（2016）には10kg超容器を持つバス等の大型車向けへの充填プロトコルが付属書Iで制定されている。一方、業界では、国際的充填技術基準SAE J2601の最新版との調和とMCフォーミュラの反映が望まれている。



最新のSAE J2601 202005(2020年5月改訂版)の改正内容の確認

- ・SAE J2601の改正版入手、改正部分を確認、各部分の改正理由について整理を実施した。
- ・今後、改正理由の妥当性を検証し、国内法規や既存のJPEC-S 0003と調和するように、改正項目の採否を熟議し、国内適用に適した基準(案)を作成する。
- ・また、本プロジェクトの成果をふまえ、低コスト対応(Phase1以降)プロトコルの技術基準策定に繋げていく。

(参考) 最新のSAE J2601 202005(2020年5月改訂版)の主要改正項目のまとめ

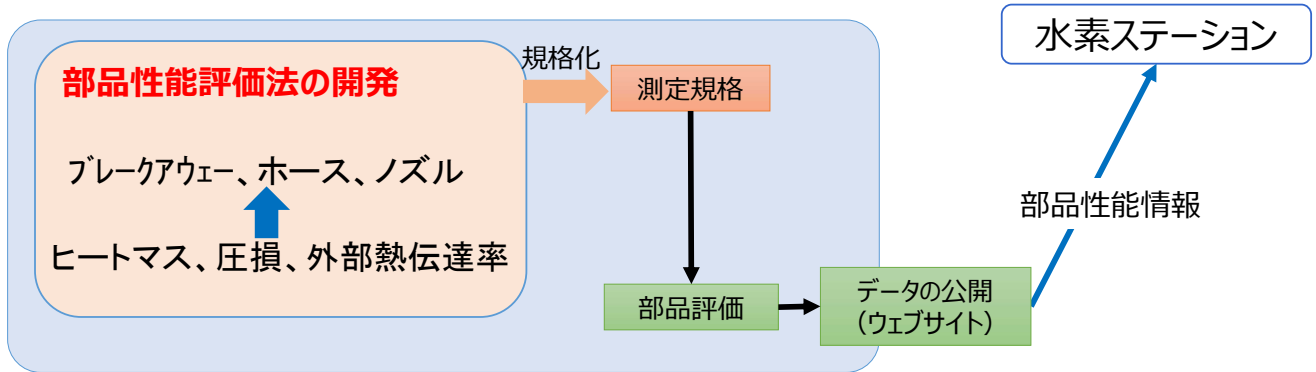
1. MC フォーミュラ方式を使用したステーション指定要件の改訂
2. 表方式におけるコンサバAPRRの明確化
3. オプションの「整合性チェック」方法の説明の追加
4. 70MPa の10kg超の容量を有する容器への表方式のプロトコルの提案
5. 70MPa の10kg超の容量を有する容器へのMC フォーミュラ方式プロトコルの提案
6. 表方式とMC フォーミュラ方式で共通のカテゴリを使用可とする容器区分の指定
7. メイン充填圧力許容範囲E1における低圧側許容値の削除/変更
8. 圧力上限側異常に対する対応基準の修正
9. スタートアップフェーズの明確化
10. トップオフ充填時の参照表の行間に関するガイダンスの提供
11. ベンダー固有の安全性に関する懸念事項への注意喚起事項の追加
12. 初期圧カパルスによる最小圧カパルス0.5MPaの実用限界の表示
13. 燃料供給温度-40℃は、質量平均ではなく瞬間値であることの明確化
14. フォールバック充填中のFPRRの改訂
15. 容器区分境界間のt finalの補間方法の提案
16. コンサバAPRRを用いたトップオフ充填を明確にする言語の追加
17. 本規格 (J2601)における現実に即していない圧力低下の推定の修正
18. フォールバック充填中の通信障害の対応

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①低コスト対応プロトコルの開発	夏場の気温でもT20相当 (-26℃以上) へのプレクール温度緩和が見通せる結果が得られた。	革新的新規プロトコルの安全性検証を実施し、規格化の提案を行う。革新的新規プロトコルの効果及び課題を纏める。革新的新規プロトコル採用により、プレクール温度の大幅な緩和 (-15~-25℃) が期待できる。 [実施計画書に記載済み]	新規充填制御マップの完成度を高め、実証試験により安全性を検証することで達成可能
②低コスト高頻度水素充填システムの開発	最小限のバンク構成でダブル充填可能な協調制御システムを開発し、安定的に充填出来ることを実証した。	・ダブル充填に対応した低コストプレクールシステムを開発する。 ・MCフォーミュラに対応した協調制御システムを開発する。 [実施計画書に未記載]	プレクールに関わる追加検討と協調制御の改良で達成可能
③水素充填技術基準整備に関する研究開発	SAE J2601改定内容の国内適用に向けて基準化の準備を進めた。	革新的新規プロトコルの充填技術基準案を作成する。 [実施計画書に未記載]	MCフォーミュラの技術基準をベースに①の成果を反映すれば達成可能

最終目標達成に向けた具体的アクション

① 低コスト対応プロトコルの開発

- ・各部品のヒートマス測定法を確立し、評価結果をデータベース化して公開する。



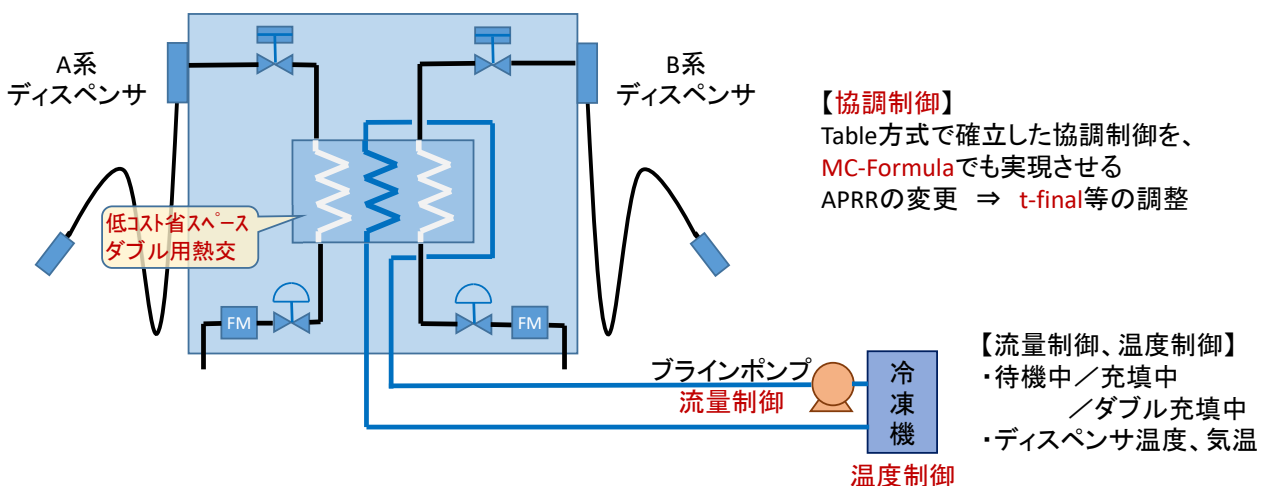
- ・NRELと充填シミュレーション精度を向上し、充填制御マップの完成度を高める。
- ・市場で想定される様々な条件での実証試験を行い、安全性を実証する。
- ・追い充填の対策制御を構築し検証する。

12

最終目標達成に向けた具体的アクション

② 低コスト高頻度水素充填システムの開発

- ・ダブル充填に適した低コストタイプの熱交換器を開発し、性能を検証する。
- ・冷凍機ブラインポンプの流量制御、温度制御を行い、運転コスト低減を図る。
- ・ルックアップテーブル方式で開発した協調制御をMCフォーミュラ向けに改良し、ダブル充填試験で実証する。MCフォーミュラの改良型であるPhase1への適用可能性も検討する。



13

最終目標達成に向けた具体的アクション

③水素充填技術基準整備に関する研究開発

・ ①のPhase1で作成した革新的新規プロトコルを活用して国内基準案を作成する。
SAE J2601の2020年版の改訂においてもT40のプレクール温度区分は改訂されており、本区分の採用による安全性検証を実施し、効果及び課題を纏め、規格化を行う。

(2020年度までに達成予定の内容)

これと革新的新規プロトコルの手法を比較検討し、効果及び課題を纏める。プレクール温度の大幅な緩和(-15~-25℃)が期待できる革新的新規プロトコルの採用により、革新的新規プロトコル(Phase1)の基準化に取り組む。

・ 上記新規プロトコルを活用してSAEインターフェースTF等に提案し、SAE J2601改訂に努める。

革新的新規プロトコルの手法とSAE J2601の2020年版の手法を比較検討し、効果及び課題を纏め、革新的新規プロトコル(Phase1)の基準化内容をSAEインターフェースTF等に提案し、①の事業と連携してSAE J2601改訂に努める。

開発スケジュール

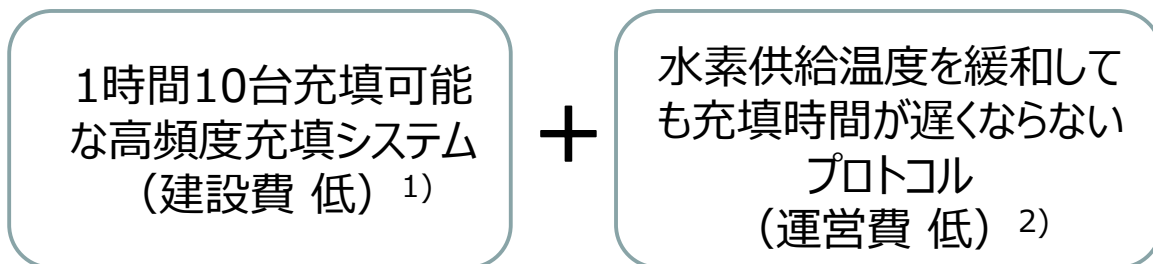
開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
①低コスト対応プロトコルの開発	MCフォーミュラ検証 ヒートマス評価	新充填制御マップ開発 → 実証試験 → マップ改良 ▲ 米国試験 (10月) ▲ 国内試験 (2月) ▲ 国内試験 (8月)	追いつき対策 Phase2の可能性検討(研究会, シミュレーション)	T20相当の技術的見通し ★ ヒートマス測定法確立 実証試験 → マップ改良	データベース作成 ★
② 高頻度充填システムの開発	シミュレーション	試験設備追加加工@HySUT水素技術センター 実証試験 → 協調制御開発・改良 ▲ 秋冬試験 (11-1月) ▲ 夏試験 (6-7月) ▲ 協調制御試験 (9月)	10台/hの技術完成 ★ 熱交評価 冷凍制御 ▲ 夏試験 ▲ 冬試験 協調制御改良(MC-F) ▲ 夏試験 ▲ 冬試験	熱交評価 冷凍制御 ▲ 夏試験 ▲ 冬試験 協調制御改良(MC-F) ▲ 夏試験 ▲ 冬試験	協調制御、冷凍制御技術完成 ★ 冷凍制御改良 ▲ 夏試験 ▲ 冬試験 協調制御(Phase1) ▲ 夏試験 ▲ 冬試験
③水素充填に関する基準化			SAE J2601改定に対応した充填技術基準案・ガイドライン案作成	水素ステーション側の熱容量等の値を適正化した革新的新規プロトコル(Phase1)に関する充填技術基準案・ガイドライン案の作成	★ 新規プロトコル基準案作成

対外発表・特許出願

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	3	2	0	5
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	1	0	0	1
展示会への出展	0	0	0	0
特許出願 (うち外国出願)	0	0	0	0

※2020年9月30日現在

顧客の利便性を損なわず、低コストで高頻度充填に対応したシステムを構築できるため、本格普及期には必須の技術となり得る。



期待される効果

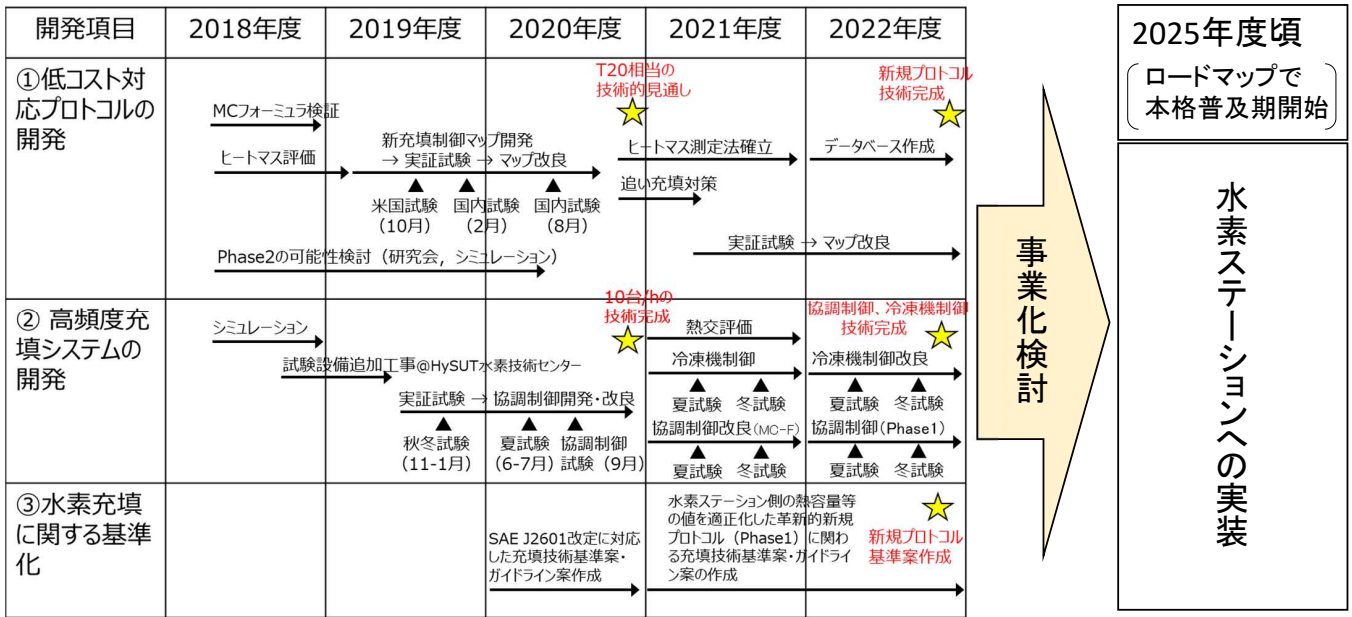
- ・顧客を待たせない (5台/時間を超えても待ち時間が発生しない)
- ・低コストシステム (建設費の低減)
- ・電気代の低減 (運営費の低減)
- ・部材、システムの信頼性向上 (運営費の低減)

1) 削減効果：1.7億円 (シングルディスペンサー換算)

2)・Phase1達成時の削減効果：100万円/年

・Phase2達成時の削減効果：300万円/年 (本事業は見通しまで)

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組



「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、 法的課題に関する調査研究」

(2018年度～2019年度 2年間)

プロジェクトの概要 (公開)

E N E O S 総研株式会社

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

「超高压水素トレーラー輸送の可能性、
技術課題、法的課題に関する調査研究」

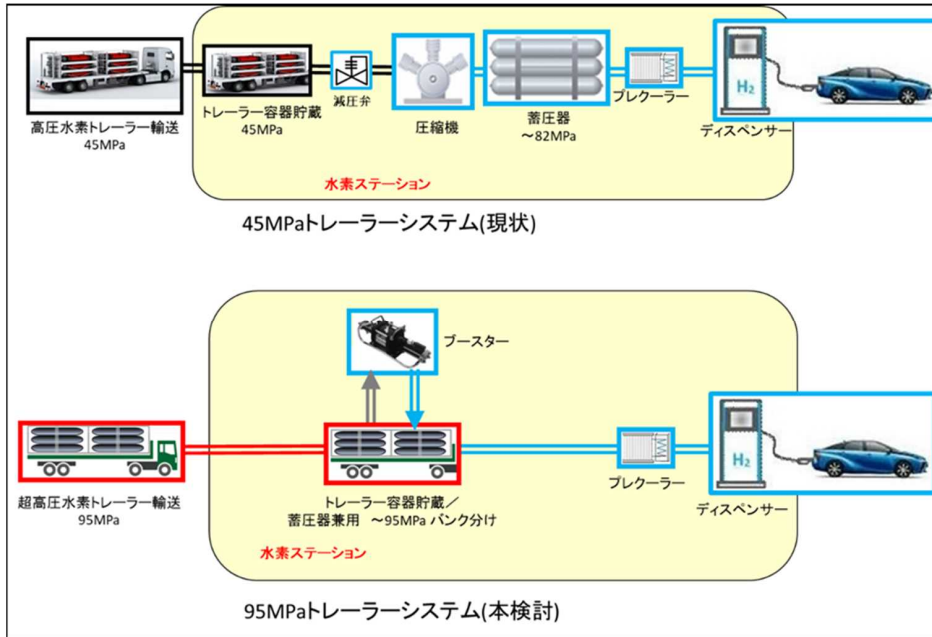
<事業概要>

1. 期間: 2018年11月～2020年3月
2. 目的: 燃料電池自動車の本格普及期に必要とされる大量かつ効率的輸送方法(軽量容器を搭載した超高压水素トレーラー等)並びに、それに伴う次世代水素ステーションの技術課題と法的課題について調査研究を行う。
3. 結果概要: **95MPa級水素トレーラー**と、それに対応した水素St.の概念設計を行い、以下の結論を得た。
 - ①輸送効率: 搭載容器を95MPa化することで重量が増加し、車両重量の運用限界により、95MPaトレーラーでの**水素輸送可能量**は、**45MPaと同等の300kg**であった。
 - ②コスト: トレーラー容器をクッションタンクとして用い、ステーション蓄圧器を省略すること等で建設コストは低減されるが、トレーラーと出荷設備のコストアップにより、**水素供給コスト**全体では**95MPaシステムと45MPaシステムで大きな差はなかった**。
 - ③エネルギー効率・CO₂: ステーションにブースタータイプの圧縮機を配備し、輸送圧力を無駄なく利用することにより、水素供給に伴う**エネルギー効率**、**CO₂排出量**は、共に**従来システムより10%程度改善**されると見積もられた。

◆ 各個別テーマの成果と意義

「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

<検討前提:比較した供給システム>



メリット仮説

- ・輸送効率向上
- ・蓄圧器省略
- ・圧縮機→ブースター
コストダウン
- 吸入圧の引き上げ
= 高压の有効利用

◆ 各個別テーマの成果と意義

「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

<検討結果:水素供給コスト>

		「需要最大」		「需要現状」		「需要最大」×50%コストダウン	
		45MPa配送	95MPa配送	45MPa配送	95MPa配送	45MPa配送	95MPa配送
水素原料		円/水素kg ①	333	333	333	333	333
水素販売量		水素kg/年 ②	662,256	662,256	14,121	14,121	662,256
出荷	固定費	減価償却費 円/年 ③	54,400,000	83,900,000	54,400,000	83,900,000	27,200,000
		人件費 円/年 ④	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000
		保守、保険、税等 円/年 ⑤	32,640,000	50,340,000	32,640,000	50,340,000	16,320,000
		小計 円/年 ⑥	94,040,000	141,240,000	94,040,000	141,240,000	50,520,000
	変動費	電力 円/水素kg ⑦	142	213	6,660	10,002	76
小計	円/水素kg ⑧	46	53	46	53	46	
小計		円/水素kg ⑨	188	266	6,706	10,056	123
輸送 12台	固定費	減価償却費 円/年 ⑩	144,000,000	231,600,000	144,000,000	231,600,000	72,000,000
		人件費 円/年 ⑪	28,000,000	28,000,000	28,000,000	28,000,000	28,000,000
		保守、保険、税等 円/年 ⑫	100,800,000	162,120,000	100,800,000	162,120,000	50,400,000
		小計 円/年 ⑬	272,800,000	421,720,000	272,800,000	421,720,000	150,400,000
	変動費	燃料代 円/水素kg ⑭	412	637	19,319	29,866	227
小計	円/水素kg ⑮	434	658	19,341	29,887	249	
小計 (ステーション持ち届けコスト)		円/水素kg ⑯	622	925	26,047	39,943	372
販売 8か所	固定費	減価償却費 円/年 ⑰	390,000,000	257,600,000	390,000,000	257,600,000	195,000,000
		人件費 円/年 ⑱	80,000,000	80,000,000	80,000,000	80,000,000	80,000,000
		保守点検費 円/年 ⑲	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	80,000,000
		その他税等 円/年 ⑲	64,000,000	64,000,000	64,000,000	64,000,000	32,000,000
	小計 円/年 ㉑	694,000,000	561,600,000	694,000,000	561,600,000	387,000,000	
変動費	電力代* 円/水素kg ㉒	1,048	848	49,148	39,772	584	
小計 (ステーション)	円/水素kg ㉓	111	57	1,679	1,626	111	
小計 (ステーション)		円/水素kg ㉔	1,158	905	50,828	41,398	695
総計		円/水素kg ㉕	1,781	1,830	76,875	81,341	1,068

前提

- ・「需要最大」ステーション能力の70%稼働、227kg/日販売
- ・「需要現状」ステーションあたりFCV33台(ステーション109、FCV3600 @2019.11)、4.8kg/日販売
- ・「50%コストダウン」全ての設備(出荷、トレーラー含む)コストを半減

45MPaシステムと、大きな差無し

共に、設備コスト半減、かつ70%以上稼働で、販売価格現状(1,100円/kg)に見合うコスト

*45MPa対応型では蓄圧器への充填(0→80MPa)と車両充填→減圧に伴う増圧(40→80MPa)を、95MPa対応型は増圧(40→80MPa)分のみを想定した。

◆各個別テーマの成果と意義

「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

<検討結果:エネルギー効率/CO2排出量>

		出荷基地	ステーション		合計
45MPaシステム		0→45MPa	0→82MPa	ブレイク	
エネルギー ¹⁾	kwh/水素kg	2.8	3.1	1	6.9
電力 @16.6円/kwh ²⁾	円/水素kg	46.5	51.5	16.6	114.5
95MPaシステム		0→95MPa	-	ブレイク	
エネルギー ¹⁾	kwh/水素kg	3.2	0.0	1.0	4.2
電力 @16.6円/kwh ²⁾	円/水素kg	53.1	0.0	16.6	69.7
液化水素システム		液化	0→82MPa	-	
エネルギー ³⁾	kwh/水素kg	12.0	0.7	0.0	12.7
電力 @16.6円/kwh ²⁾	円/水素kg	199.2	11.1	0.0	210.3

1) 第二期JHFCプロジェクト報告書 商用水素ステーションランニングコストの想定値「将来」より推定
 2) 資源エネルギー庁「日本のエネルギー2018」より、2017年度産業向け料金
 3) リンデ講演資料、NEDO水素キャリアに応じたFS H21等より推定

45MPaシステムとの比較で、95MPaシステムは、2.7kWh/水素kgのエネルギー削減(2/3以下)トレーラー圧の有効利用によるもの

削減される電力			削減原単位		現状		FCV80万台分							
			kwh/水素kg	MJ/水素MJ	水素販売量 kg/年	削減量 kwh/年	水素販売量 kg/年	削減量 kwh						
			-2.7	-0.081	192,392	-519,459	43,076,923	-116,307,692						
CO2削減量	電源種別	CO2排出原単位 gCO2/kwh*	削減原単位		削減量 t/年	削減量 t/年	削減量 t/年	削減量 t/年						
			gCO2/水素kg	gCO2/水素MJ										
			日本MIX発電	547					-1,476	-12.3	-	-284	-	-63,593
			LNG火力	492					-1,328	-11.1	-	-255	-	-57,192
石炭火力	1,078	-2,912	-24.3	-	-560	-	-125,428							

*いずれも「総合効率とGHG排出の分析」日本自動車研究所 平成23年3月での検討数値を用いた。

45MPaシステムとの比較で、CO2としては、284t/年(FCV台数現状)、63,593t/年(FCV80万台想定)の削減効果

◆各個別テーマの成果と意義

「超高压水素トレーラー輸送の可能性、技術課題、法的課題に関する調査研究」

<検討結果:技術・法的課題>

①技術課題

- ・95MPa級容器・接続部品の開発が95MPa導入に必須であるが、いずれも市場の見通しが明らかとなれば、開発は進むと思われる。
- ・一方、コストダウン目的としては、「ブースターの国産化」「容器に関連する高品位炭素繊維の低コスト化」「火炎暴露対応安全弁作動機能」「複合容器用難燃性・不燃性落下衝撃緩衝材」「電磁式自動弁の開発」が技術課題として抽出された。

②法的課題

- ・95MPa輸送の導入にあたっては、「輸送圧力上限の引き上げ(45→95MPa)」「水素ステーション常用圧力上限の引き上げ(82→95MPa)」が必須である。
- ・コストダウン目的では、「容器の火炎暴露試験、落下試験、水素ガス透過・サイクル試験」の試験条件と判定基準の見直しが抽出された。
- ・ステーションでは、マザーステーションでの適用を想定した7条の3ステーションでのトレーラー充填が法的課題として抽出された。

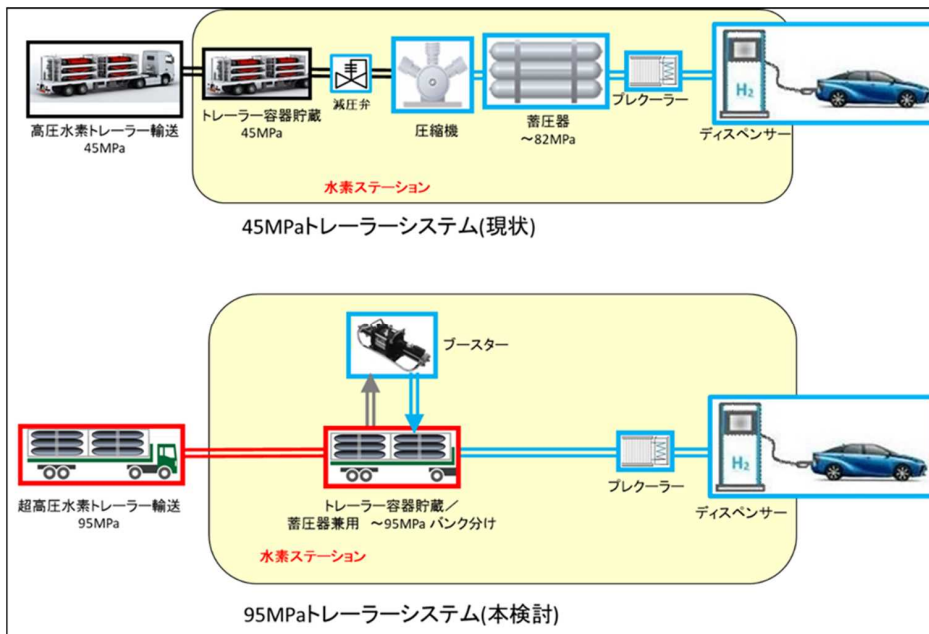
◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	目標	成果	達成度
94MPa級トレーラー 概念設計	技術的可能性を確認し、 コストを見積もり、技術・ 法的課題を明らかにする	システム評価に必 要なデータを得た	○ 完了
対応する水素ステーション 概念設計	コストを見積もり、技術・ 法的課題を明かにする。	同上	○ 完了
システム効率・コスト評価	供給システム全体のコス ト、効率を評価し、現行 システムと比較評価する。	現行システムとの差 異、法的・技術的 課題を明らかにした。	○ 完了

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

将来において 構築する水素供給システムを、現行の45MPaシステムから95MPaに置き換えることにより、①輸送効率向上、②蓄圧器省略、プースター活用によるコストダウン、③トレーラー圧力活用によるエネルギー効率の向上を狙う



◆成果の実用化の見通し

<今後の方向性(考察)>

超高圧での輸送効率の限界が見極められたことから、長期的な大量輸送という観点では、液化水素や有機ハイドライド、更にはパイプライン輸送の検討にシフトすべきと考えられる。

その際、液化水素と有機ハイドライドについては、高圧輸送より劣位と見られるWtTエネルギー効率、CO2排出関連の取り組みが重要となる。

一方、トレーラー容器をクッションタンクとして用い、ステーションでの減圧を回避する充填方法と、マザー&ドーターステーションへの適用、更にフォークリフトなど35MPa機器への直充填(St圧縮機不要)は、エネルギー効率の向上とコストダウンに資する可能性がある。実証、実装、また技術課題、法的課題の解決に取り組む価値があると思われる。

他、国際競争力の観点では液水ポンプやブースターの国産化、海外動向への対応として、電気分解による水素製造-電力貯蔵システム、FCV以外の水素用途(バス・トラック、船舶、鉄道、発電、e-Fuel)等が、今後注力すべき取組として考えられる

「新型高圧水素タンク用鋼材の可能性に関する 調査研究」（中間評価）

（2018年度～2019年度 2年間）

プロジェクトの概要 （公開）

日鉄総研株式会社

2020年12月17日

3. 研究開発成果 （1）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
既存低合金鋼の 評価	既存蓄圧器の鋼材よりも高強度で水素感受性が未確認である低合金鋼を特定する	高強度でありながら耐水素特性が未評価なJIS材があることが判った	○	高強度であるが耐水素特性未評価のSCr445、SNCM447、SNCM630について材料試験によって耐水素特性を確認する。
熱処理条件の 評価	熱処理条件が鋼材の引張特性に与える影響を定量的に把握する	Mo-V添加鋼は1400MPaレベルの引張強さを得られることが判った	○	
耐水素特性の 評価	既存低合金鋼およびMo-V添加鋼について、高強度化と耐水素特性のバランスを評価する	Mo-V添加鋼は強度ー耐水素脆性バランスに優れている可能性があることが判った	○	熱処理条件を変化させて強度と耐水素特性のバランスの向上を図る。 更に、SSRTの条件を広げてデータを拡充する。
新型蓄圧器の 試設計	高強度低合金鋼を想定した試設計を行って鋼材使用量低減の可能性を評価する	高強度低合金鋼が使えるなら最大で5割近い鋼材使用量低減の可能性があると判った	○	実機化に向けて、実施設計寄りの試設計によってコスト低減効果を確認するとともに、加工技術などその他の技術課題を整理する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

本調査研究では、タイプ I 高圧水素蓄圧器の材料として、現在使用されている鋼材よりも高強度でコスト低減に資する可能性のある代替鋼材の可能性を探った。その結果、JIS材の中にも、高強度であるが水素脆化特性が未評価の低合金鋼があることが判った。また、開発鋼であるMo-V添加鋼も強度と耐水素特性のバランスに優れている可能性が示された。

よって、今後の低価格な新型高圧水素蓄圧器の開発に向けて、本調査研究で挙げられた候補鋼材のより詳しい特性試験(データの蓄積)や改良を試みる事が推奨される。

また、新型高圧水素蓄圧器の実現のためには鋼材の調査・開発だけでなく、容器の加工技術の検討や見込まれる需要の把握なども必要と考えられる。

◆各個別テーマの成果と意義

1. 既存低合金鋼の調査

JIS規格番号	表題	記号	標準成分(%)	材料規格の引張強さ(N/mm ²)	降伏点(0.2%耐力)(N/mm ²)	水素感受性データ
JIS G 4053	機械構造用合金鋼鋼材	SMnC443	Mn-0.5Cr	930	785	
		SCr440	0.4C-1Cr	930	785	
		SCr445	0.45C-1Cr	980	835	
		SCM435	1.1Cr-0.23Mo	930	785	
		SCM440	1.1Cr-0.23Mo	980	835	NEDOの先行研究、サンディア研DB、NASA
		SCM445	1.1Cr-0.23Mo	1030	885	サンディア研DB
		SNC836	3.25Ni-0.8Cr	930	785	
		SNCM439	1.8Ni-0.8Cr-0.23Mo	980	865	NEDOの先行研究、他
		SNCM447	1.8Ni-0.8Cr-0.23Mo	1030	930	
		SNCM625	3.25Ni-1.25Cr-0.23Mo	930	835	
		SNCM630	3.0Ni-3Cr-0.5Mo	1080	930	

既存蓄圧器に使われているSCM435やSA723の強度(引張強さ930MPa)を超える既存鋼材は6鋼種。このうち、高強度にすると水素感受性が増すことが先行研究で確認されている鋼種は調査対象外とした。

SCr445、SNCM447およびSNCM630については水素感受性を示すデータが無いので、更なる調査が必要。

ただし、この3鋼種は水素用途以外でも需要が限られており、調査時点で市中在庫がなかったため、材料試験は今後の課題とした。

◆ 各個別テーマの成果と意義

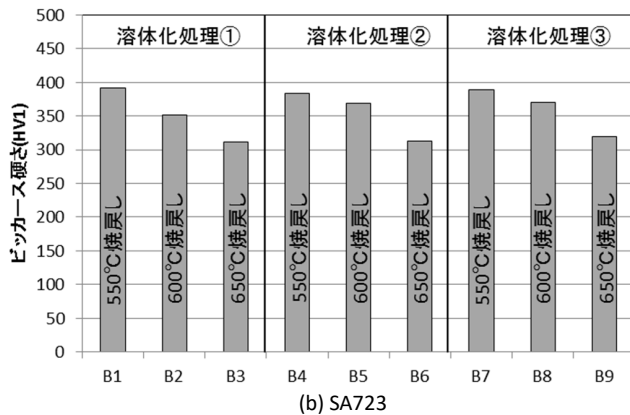
硬さ (引張強さと強い相関あり) に及ぼす**熱処理条件** (「溶体化処理後の冷却速度」と「焼戻し温度」) の**影響** について実験的に調査。

[熱処理条件]

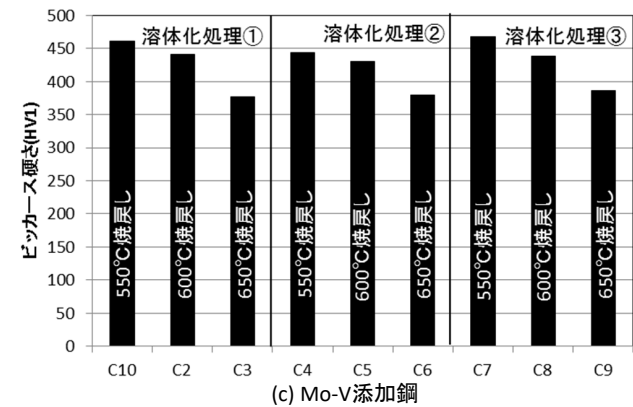
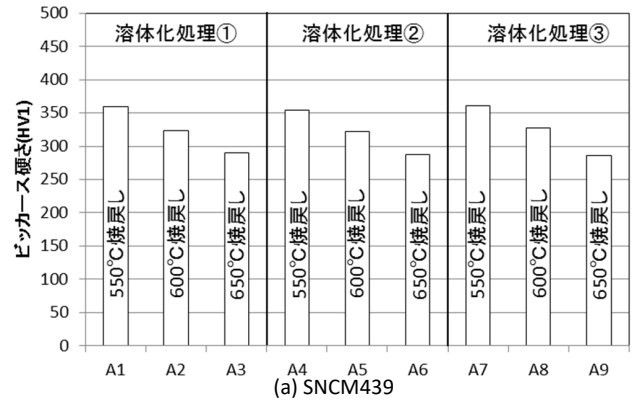
溶体化処理 : 870℃×5min→冷却速度(①100, ②10, ③5 °C/s)
 焼戻し処理 : 550, 600, 650℃ x 1hr

[結果]

1. 硬さは焼戻し処理温度に大きく依存。溶体化処理後の冷却速度の影響は上記調査範囲では小さかった。
2. Mo-V添加鋼は他の既存鋼より硬さレベルが一段と高かった。



2. 低合金鋼の機械的性質に及ぼす熱処理条件の影響 (1)

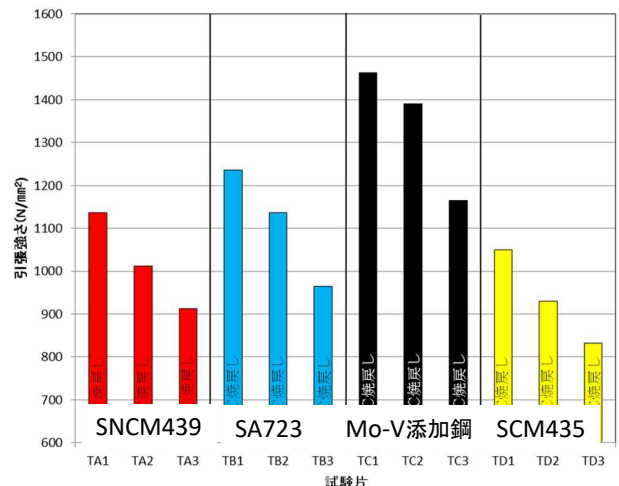
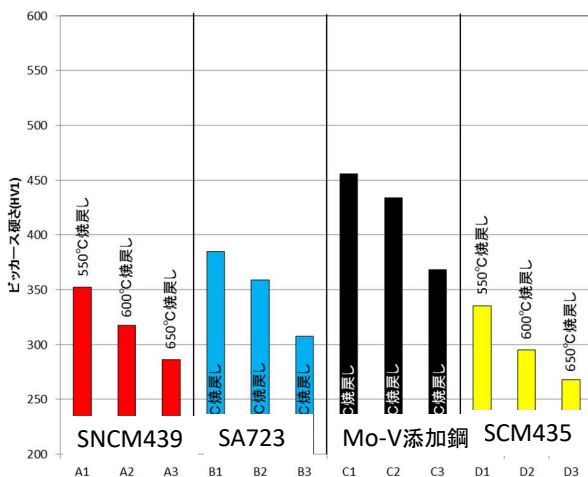


◆ 各個別テーマの成果と意義

各鋼種の常温引張性質と硬さに及ぼす熱処理条件の影響について実験的に調査を実施し、常温引張性質と硬さとの関係について検討した。(熱処理条件は前頁と同様)

[結果]

1. 0.2%耐力・引張強さは硬さと正の相関性、伸び・絞りには負の相関性を有することが確認された。
2. 引張強さと硬さの相関性は極めて強く、両者の相関係数は下記のとおり平均して3.2±0.1の範囲であった。
 (SNCM439 : 3.227, SA723 : 3.208, Mo-V添加鋼 : 3.208, SCM435 : 3.131)
 → これより低合金鋼の引張強さは硬さの値からある程度の精度で推定することが可能。
3. Mo-V添加鋼の引張強さは他の鋼種より高く、最大の引張強さは1450MPaを超える値が得られた。



◆ 各個別テーマの成果と意義

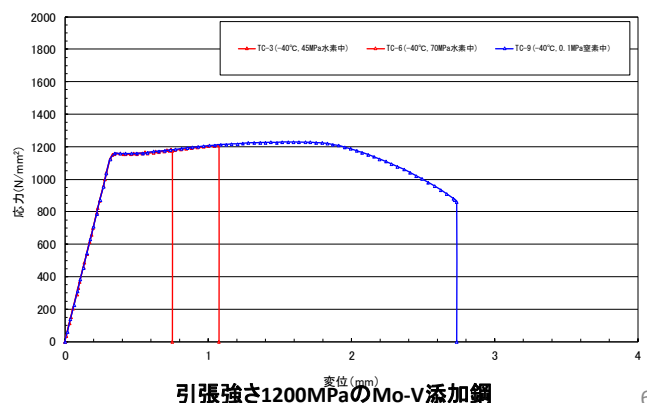
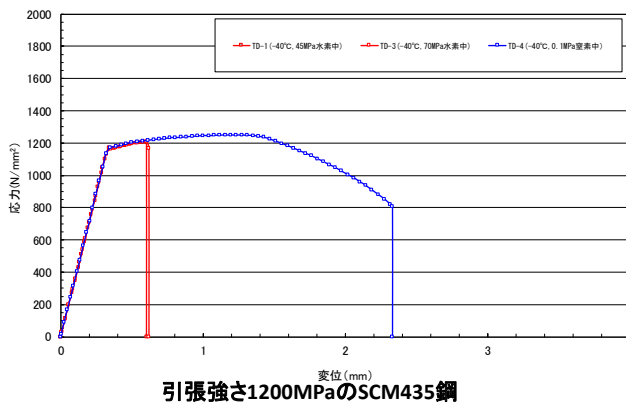
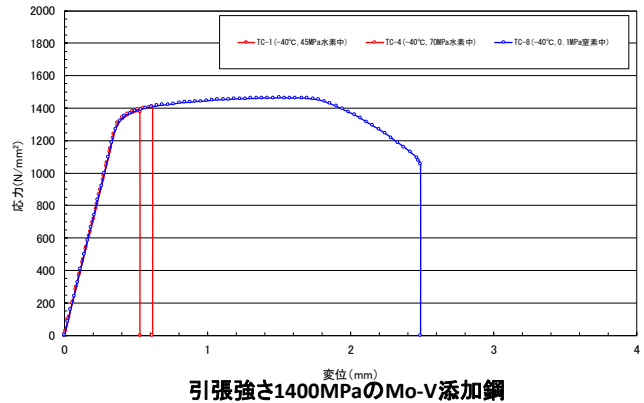
1200および1400MPaの最高レベルの強度を有する低合金鋼3種類について、0.1MPa窒素中、45MPa水素中および70MPa水素中の各環境中でSSRTを実施。

[結果]

1. -40℃、水素圧力45MPa以上では3鋼種とも水素脆化を起こし、45MPaと70MPaの差異は小さかった。
2. 引張強さ1200MPaの場合、延性相対値(両環境の伸びの比率)はMo-V添加鋼の方がSCM435鋼よりも大きかった。
3. Mo-V添加鋼は引張強さ \geq 1400MPaでも弾性限内では破断せず、塑性変形後に破断が起こった。

以上より、Mo-V添加鋼は引張強さ1000MPaを超える高強度域において既存鋼より水素適合性を改善できる可能性がある。

3. 低合金鋼の高圧水素環境適合性評価



◆ 各個別テーマの成果と意義

4. 新型高圧水素蓄圧器の試設計

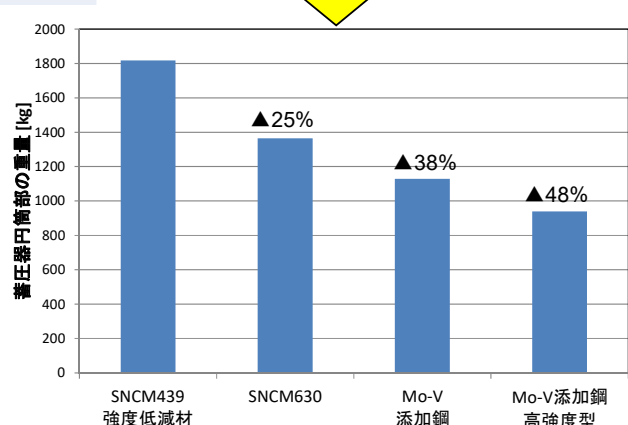
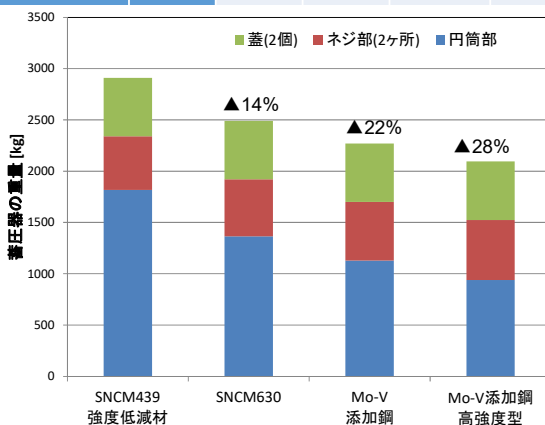
(コスト低減の可能性)

既存蓄圧器のSNCM439強度低減材、高強度だが耐水素特性未評価のJIS材SNCM630、Mo-V添加鋼 (S_y として実測値に対して余裕度を考慮した1200MPaおよび最高レベル1400MPa、の2ケースを想定) の4鋼種を想定して蓄圧器を試設計し、結果を比較。さらに、両端絞り構造を想定して、蓋部の重量を無視できると仮定した場合を比較。 $S_y \sim 1400$ MPaで両端絞り構造でとすると既存のSNCM439強度低減材に対して半分程度の鋼材重量となる可能性がある。

材料		肉厚 [mm]	外径 [mm]	高圧水素蓄圧器重量 [kg]		
種別	引張強さ			ボディ	蓋(x2)	合計
SNCM439 強度低減材	880 (MPa)	49	398	2,430	570	2,910
SNCM630	1080	38	376	1,920	570	2,490
Mo-V添加鋼	1200	32	364	1,700	570	2,270
Mo-V添加 高強度材	1400	27	354	1,524	570	2,094



(出典: 0434 HyST300 model R 低コスト高耐久鋼製蓄圧器(JSWチラーシ))



◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

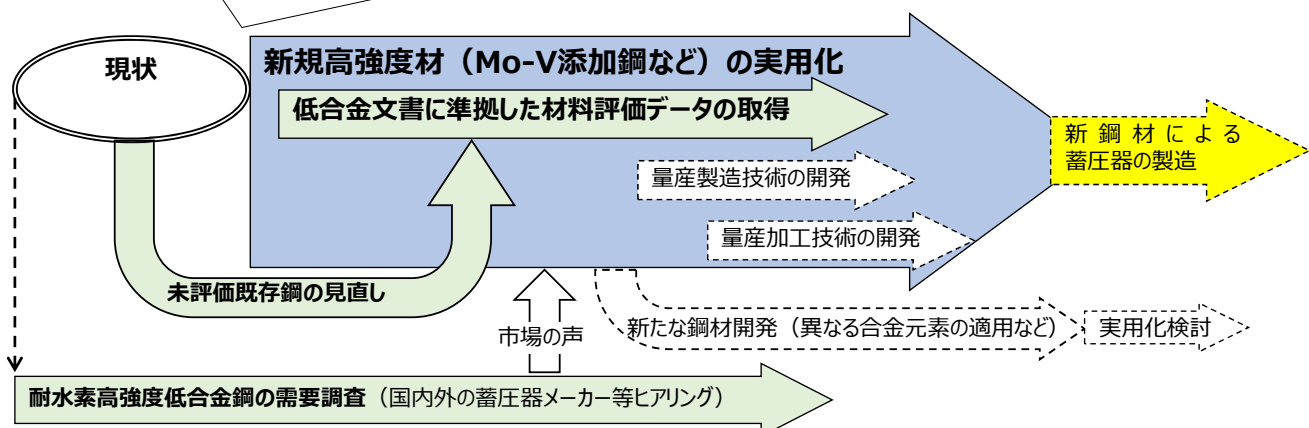
本調査研究で新型高圧水素蓄圧器の材料候補として挙げられた高強度低合金鋼につき、耐水素脆化特性が確認されて蓄圧器の薄肉化によるコスト低減が可能となれば、水素ステーションのコスト低減による普及促進の一助となり、それによって蓄圧器およびその材料である低合金鋼の売り上げが伸びると期待される。

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

◆実用化に向けた戦略

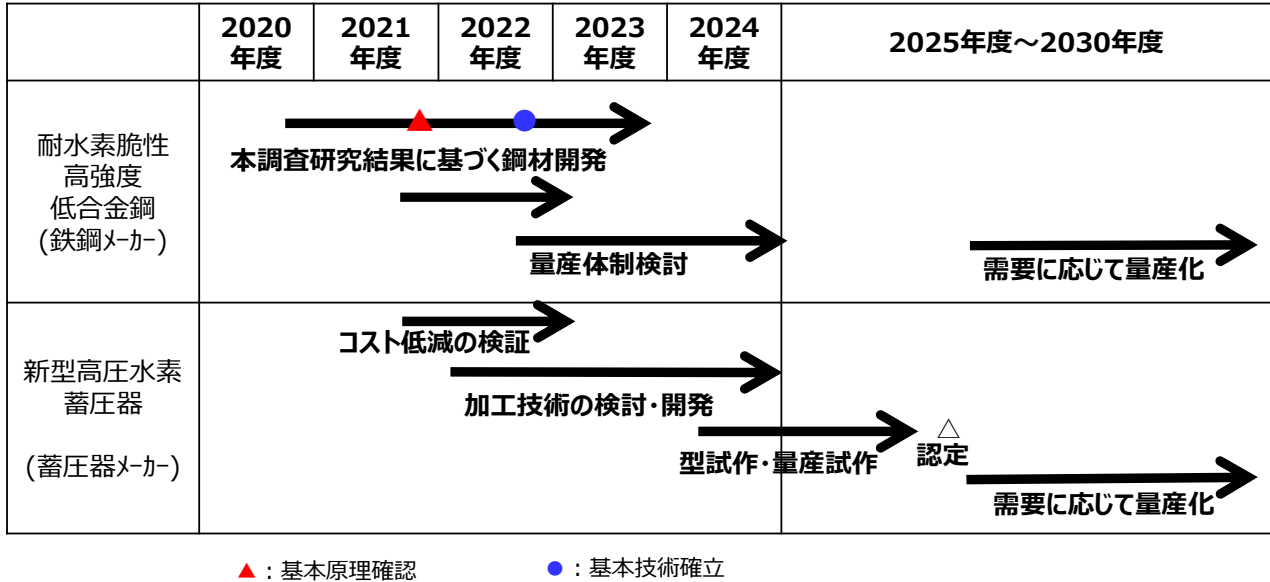
本調査研究で分かったこと

- (1) 一般論として以下が認識されている：
 - ・低合金鋼は高圧水素の影響を受ける
 - ・強度の大きい鋼ほどその傾向が強い
- (2) 高圧水素の影響を受けにくい高強度低合金鋼を開発できる可能性は高い。
Mo-V添加鋼はその有力候補。また、未評価のJIS材もある。
- (3) 容器製造のための加工技術についても検討が必要
- (4) 鋼材単価低減のためにはまとまった需要も必要



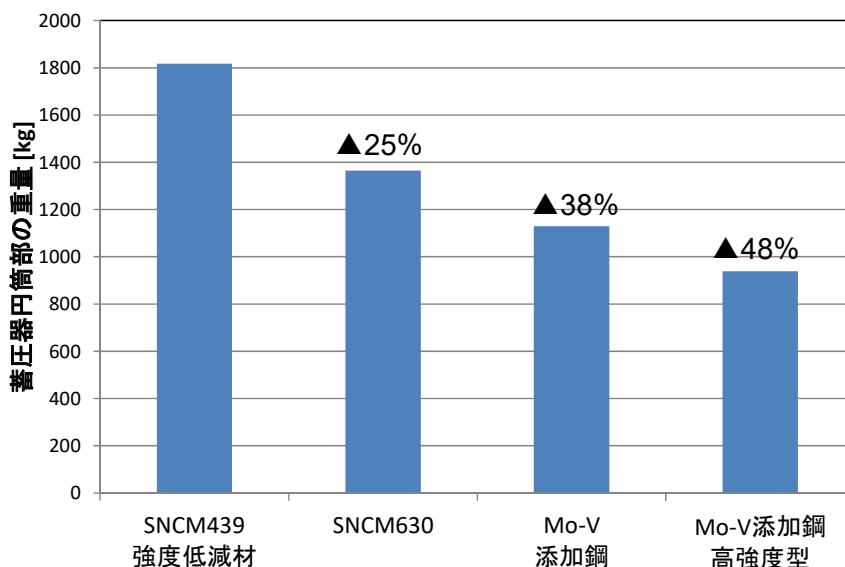
◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

日鉄総研（本調査研究の受託業者）は事業会社ではないため、具体的な事業化計画を述べることはできないが、2020年台後半までに水素ステーション事業の自立化（そのための低価格蓄圧器の発売）のためには、以下のような取組が想定される。



◆ 成果の実用化の見通し

本調査研究で候補に挙げた低合金鋼が新型高圧水素蓄圧器に適用できれば、既存蓄圧器に使われているSNCM439強度低減材に比べて最大で5割近くの鋼材使用量を削減できる可能性があり、それに伴う蓄圧器のコスト低減が期待される。



「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発
電気化学式水素ポンプの開発・実証」(中間評価)

(2018年度～2020年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社加地テック

東レ株式会社

2020年12月17日

1 / 10

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

- ① 5Nm³/h × 82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術の開発
② 5Nm³/h × 82MPa 水素ポンプシステムの技術開発
③ 水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応

研究開発項目	最終目標 (2020年度)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h × 82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する。 スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機 (システム消費電力0.5kWh/Nm³) 対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h×40MPa水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み。 5Nm³/h×40MPaスタック耐久性3000時間を実証し、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見込み。 	△	<ul style="list-style-type: none"> 82MPa圧縮は確認できる見込みであるが、耐久性実証は未達。 高温運転可能なスタックを開発できれば、システム消費電力を低減できると考える。
②	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h × 82MPa 水素ポンプシステムの技術開発を完了する。 コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2.2Nm³/h×20MPa水素ポンプシステムの技術開発は達成見込み。 コンパクト性(対当社比-30%)、低振動(ほぼゼロ)、低騒音(-20db以上)について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。 	△	<ul style="list-style-type: none"> 大型、高圧のシステムは成果の延長線上で可能であるが、スタックの消費電力が課題となっている。 山梨県企業局でのKTC-A号機、ベンチテストによる実証試験と課題抽出が残っている。
③	<ul style="list-style-type: none"> 高圧ガス保安法・・・水素ステーションで使用可能な性能・構造とする 防爆規格・・・水素ステーションで使用可能な仕様とする 	<ul style="list-style-type: none"> 山梨向けKTC-A号機を高圧ガス保安法 (一般則 6条対応) で製作。 	△	<ul style="list-style-type: none"> 高圧ガス保安法、一般則 7条3項準拠によるシステム製作が未達。 2 / 10

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

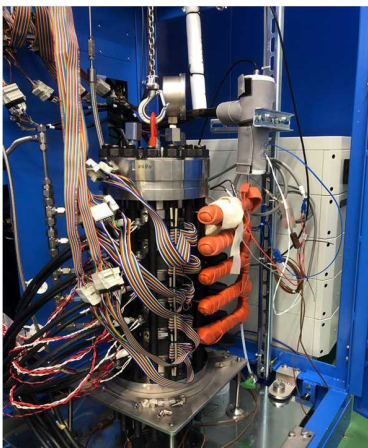
- ① 5Nm³/h ×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術の開発
- ② 5Nm³/h ×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発
- ③ 水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応

研究開発項目	最終目標 (2020年度)	成果	成果の意義
①	<ul style="list-style-type: none"> • 5Nm³/h ×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する。 • スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機 (システム消費電力0.5kWh/Nm³) 対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 5Nm³/h×40MPa水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み。 • 5Nm³/h×40MPaスタック耐久性3000時間を実証し、スタックの消費電力0.4kWh/Nm³を確認できる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> • 目標は未達となったが、将来の大型化を見据えた水素ポンプのスタックを開発できた。 • 高圧スタックの課題を抽出し、目標のシステム消費電力達成には更なる高温運転が必要であることを確認できた。
②	<ul style="list-style-type: none"> • 5Nm³/h ×82MPa 水素ポンプシステムの技術開発を完了する。 • コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 2.2Nm³/h×20MPa水素ポンプシステムの技術開発は達成見込。 • コンパクト性(対当社比-30%),低振動(ほぼゼロ),低騒音(-20db以上)について、機械式圧縮機対比による評価ができる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> • 目標は未達となったが、将来の大型化を見据えた水素ポンプの基本システムを開発することができた。 • コンパクト性、低振動、低騒音を実証評価できた。
③	<ul style="list-style-type: none"> • 高圧ガス保安法・・・水素ステーションで使用可能な性能・構造とする • 防爆規格・・・水素ステーションで使用可能な仕様とする 	<ul style="list-style-type: none"> • 山梨向けKTC-A号機を高圧ガス保安法 (一般則 6条対応) で製作 	<ul style="list-style-type: none"> • 水素ポンプが高圧ガス保安法で定義されていないため、現行法規では実用化、事業化が難しいことが明らかになった。

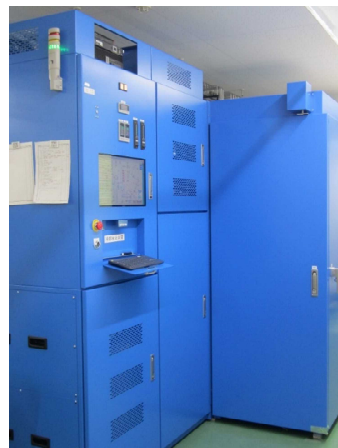
3 / 10

3. 研究開発成果概要 (研究開発項目 1)

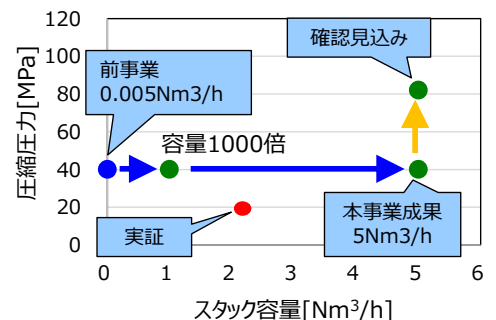
実施項目	最終目標 (2020年度)	成果 (2020年9月末時点)
① 5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術開発	<ul style="list-style-type: none"> • 水素ポンプのセル・スタック技術開発を完了する (5Nm³/h ×82MPa)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 5Nm³/h×40MPa水素ポンプのスタック技術開発は達成見込み。 <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 現状スタックによる5Nm³/h×82MPa耐久性実証を実施し、課題を抽出をしたうえで、スタック設計に反映させ、5Nm³/h×82MPa水素ポンプのセル・スタック技術開発を達成する。



5Nm³/hスタック



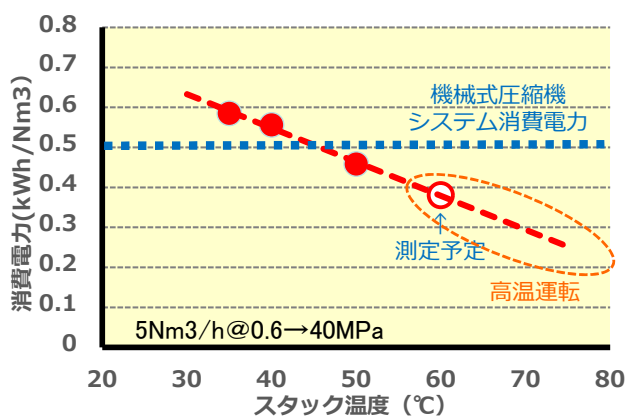
5Nm³/h×82MPa水素圧縮評価設備



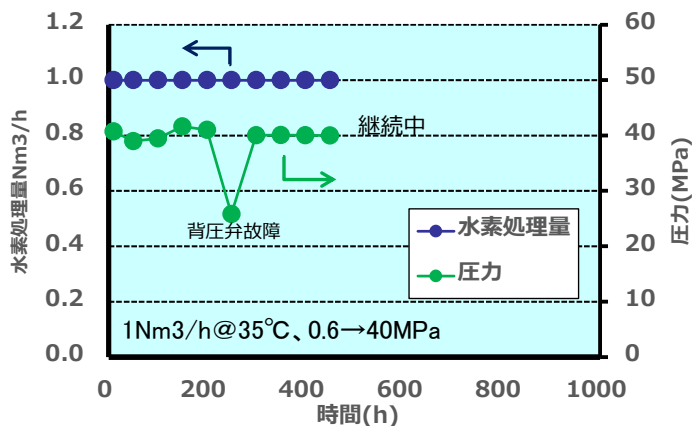
開発ターゲット

3. 研究開発成果概要（研究開発項目1）

実施項目	最終目標 (2020年度)	成果 (2020年9月末時点)
① 5Nm ³ /h×82MPa 水素ポンプのセル・スタック技術 開発	<ul style="list-style-type: none"> スタックの耐久性、およびシステムの消費電力が機械式圧縮機（システム消費電力0.5kWh/Nm³）対比で有利なことを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 5Nm³/h×40MPaスタック耐久性3000時間を実証できる見込み。（現時点500時間） 60℃以上の高温運転により、機械式圧縮機対比で有利な消費電力0.4kWh/Nm³をスタックとして確認できる見込み。 82MPa圧縮は確認できる見込みであるが、耐久性実証は未達。 <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 高温運転可能なスタックを開発できれば、システム消費電力を低減できると考える。




スタック温度と消費電力の関係



耐久性評価

3. 研究開発成果概要（研究開発項目2,3）

実施項目	最終目標 (2020年度)	成果 (2020年9月末時点)
② 5Nm ³ /h×82MPa水素ポンプ システムの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 水素ポンプシステムの技術開発を完了する 	<ul style="list-style-type: none"> 水素ポンプユニット（装置No.KTC-A）を製作し、0.9 Nm³/h×40MPaおよび、2.2Nm³/h×20MPaのスタックにおいて、水素ポンプシステムを検証・確認した。 将来の大型化を見据えた水素ポンプの基本システム（加湿・除湿方法、基本運転制御、水分管理、温度制御など）を開発した。 5Nm³/h×82MPaシステム開発は、スタック開発の遅れにより未達となる。
 <p>水素ポンプユニット（装置 No.KTC-A）外観</p>	<ul style="list-style-type: none"> コンパクト性、低振動、低騒音が、機械式圧縮機対比で有利なことを実証する 	<ul style="list-style-type: none"> 補器を含めた水素ポンプシステムの消費電力を把握した。 山梨県企業局様向けKTC-A号機（2.2Nm³/h×20MPa）システムを11月頃に移設し、現地ベンチテストによる実証試験と課題抽出を行う予定。 <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> システム全体の消費電力が約1.5kWh/(Nm³/hr)（スタック単体効率のおよそ2倍）となり、機械式の0.5kWh/(Nm³/hr)に比べかなり大きい。大型、高圧のシステムは成果の延長線上で可能であるが、スタックの消費電力の改善および補器の消費電力を低減する必要がある。 山梨県企業局でのKTC-A号機、ベンチテストによる実証試験と課題抽出が残っている。

3. 研究開発成果概要（研究開発項目 2, 3）

実施項目	最終目標 (2020年度)	成果 (2020年9月時点)
③ 水素ポンプ及び同システムの高圧ガス保安法および国内防爆規格への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法・・・水素ステーションで使用可能な性能・構造とする ・防爆規格・・・水素ステーションで使用可能な仕様とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・山梨向けKTC-A号機を高圧ガス保安法（一般則 6条対応）で設計・製作したが、水素ステーション対応である一般則第7条3項に準拠した設計・製作は未達となる。 ・水素ポンプユニットのスタックは、高圧ガス保安法での分類で定めがないため、「圧縮機」と認められず、高圧ガス設備の「その他の圧力容器類」として扱われることとなった。圧縮機として認められた場合、大型化した場合も高圧ガス設備「圧縮機」とできるが、「その他の圧力容器類」で大型化・高圧化した場合、「特定設備」として扱われ、製造コストが高額となる。 <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2.2Nm³/h×20MPaのスタックは、PV（圧力×容積）が0.004以下であり「高圧ガス設備」での受検となったが、大型化すると「特定設備」での受検となり、高圧ガス保安法への対応が非常に厳しくなる。 ・現状の高圧ガス保安法に準拠したスタックの強度設計は、例示基準がないため、加圧試験（4倍加圧）を併用せざるを得ない。加えて、形状をコンパクトにするためには、設計圧力が20MPaでも82MPa水素ステーションに使用する超高压設備と同等の材料が必要となり、製造コストが非常に高額となる。

7 / 10

3. 研究開発成果 （3） 成果の普及

◆ 成果の普及

2019年度6月19日 加地テックHP（ニュースリリース）

「水素・燃料電池プロジェクト評価・課題共有ウィーク」

水素ステーション分野

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業

「電気化学式水素ポンプの開発・実証（Ⅲ-6）」 発表資料 公開

8 / 10

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

◆実用化に向けた戦略

- ✓ 山梨県企業局様にKTC-A号機 (2.2Nm³/h×20MPa)システムを移設し、ベンチテストによる実証試験を実施し、実用化に向けた課題を抽出する。
(NEDO助成期間終了後も継続使用して頂く予定)
- ✓ 電気化学式水素ポンプシステムは高圧ガス保安法上で圧縮機と分類されず、「その他の圧力容器類」となる。従って、高圧になると現行法規ではコストが非常に高く、商品化は難しい。
- ✓ 20MPaを上限とした場合は、事業化できる市場があると考えます。
- ✓ スタックの高温点における消費電力の低減に成功しないと、既に機械式が使用されている分野・用途での事業化は厳しいと考える。



機械式の水素ステーション用圧縮機としての代替機となるためには、様々な課題(コスト、消費電力、法規、圧力、大型化)を解決しなければならない。

◆実用化に向けた具体的取組

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
水素ポンプシステム 製品設計	2.2Nm ³ /hr×20MPa 開発・実証			5Nm ³ /hr×20MPa 改善開発	15~30Nm ³ /hr×20MPa 開発・実証		
生産/販売				5Nm ³ /hr×20MPa 販売開始	15~30Nm ³ /hr×20MPa 販売開始		

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／高強度低合金鋼を用いた新型高压蓄圧器に関する研究開発」（中間評価）

（2020年度～2022年度 3年間予定）
プロジェクトの概要 （公開）

一般財団法人金属系材料研究開発センター

日本製鉄株式会社

2020年12月17日

3. 研究開発成果 （1）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標(中間)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. Mo-V添加鋼の高強度化と水素適合性の評価	評価用素材を作製し、引張強さが1000 MPa以上となる化学成分と熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価を開始する。	2020年8月より研究開発推進中	—	—
2. 高強度低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価	JIS規格材について評価用素材を作製し、引張強さが1000 MPa以上となる化学成分および熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価を開始する。	2020年8月より研究開発推進中	—	—
3. 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査	蓄圧器の製造コストに関する情報収集と整理を行い、本研究開発におけるコスト低減目標ターゲットを明確にする。	2020年8月より研究開発推進中	—	—

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み（中間）／一部達成（事後）、× 未達

◆各個別テーマの成果と意義

3つの研究開発項目の想定成果と意義を以下に示す。

1. Mo-V添加鋼の高強度化と水素適合性の評価

前調査事業で効果が明らかになった、Mo-V添加鋼で具体的に評価用素材を作製し、引張強さが1000 MPa以上となる化学成分と熱処理条件を明らかにし、目標強度を達成する試験材に対してSSRTによる水素適合性評価を基に、蓄圧器に適用を図る。その結果、肉厚を減少させ鋼材使用量の低減による蓄圧器の低コスト化に寄与できると考える。

2. 高強度低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価

JISに登録されている低合金鋼の中に高強度を有しながら水素適合性について未評価の鋼材が存在する。それらの水素適合性を評価し、蓄圧器への適用の可能性を見極める。上記1と同様に、蓄圧器に適用し肉厚を減少させ鋼材使用量の低減による蓄圧器の低コスト化に寄与できると考える。

3. 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査

実際に水素ステーションで採用されるための条件を整理し、上記1. 2. の有望な鋼材を用いた蓄圧器の試設計の実施を通して、コスト低減効果を明らかにする。低コスト化の蓄圧器の需要を伸ばすことに寄与できると考える。

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
1. Mo-V添加鋼の高強度化と水素適合性の評価	2020年8月より研究開発推進中	1000MPa以上の引張強さと水素適合性の両立が可能な化学成分と製造プロセス条件を提示する。	△
2. 高強度低合金鋼規格材の高強度化と水素適合性の評価	2020年8月より研究開発推進中	1000MPa以上の引張強さと水素適合性の両立が可能なJIS規格鋼種と製造プロセス条件を提示する。	△
3. 蓄圧器に関する技術動向調査、新型水素蓄圧器の試設計と製造コスト比較調査	2020年8月より研究開発推進中	上記結果に基づいて新型高圧水素蓄圧器の試設計を行うと共に製造コスト試算を行い、コスト低減効果を検証する。	△

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

●本研究開発の成果に基づく「実用化」の考え方

【目的】現状のタイプ I 蓄圧器の製造コストの削減を図る。

【方法】素材である低合金鋼の高強度化と高圧水素適合性の両立を実現し、蓄圧器の軽薄短小化を可能とする。

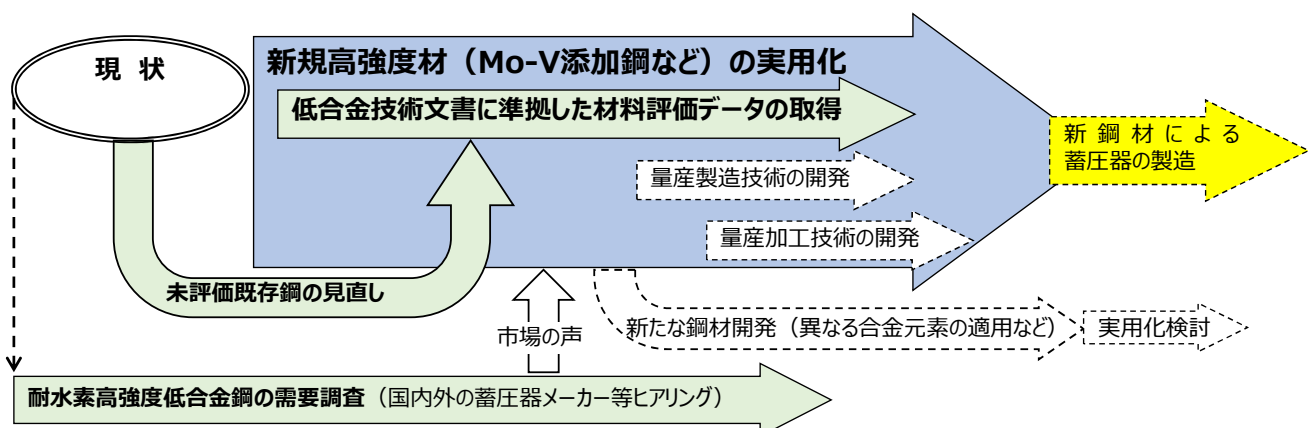
【効果】蓄圧器のコンパクト化による使用鋼材量の削減および軽薄短小化による製造プロセスコストの低減も併せて蓄圧器に関する総合的なコスト低減により実用化を推進させる。

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

◆実用化に向けた戦略

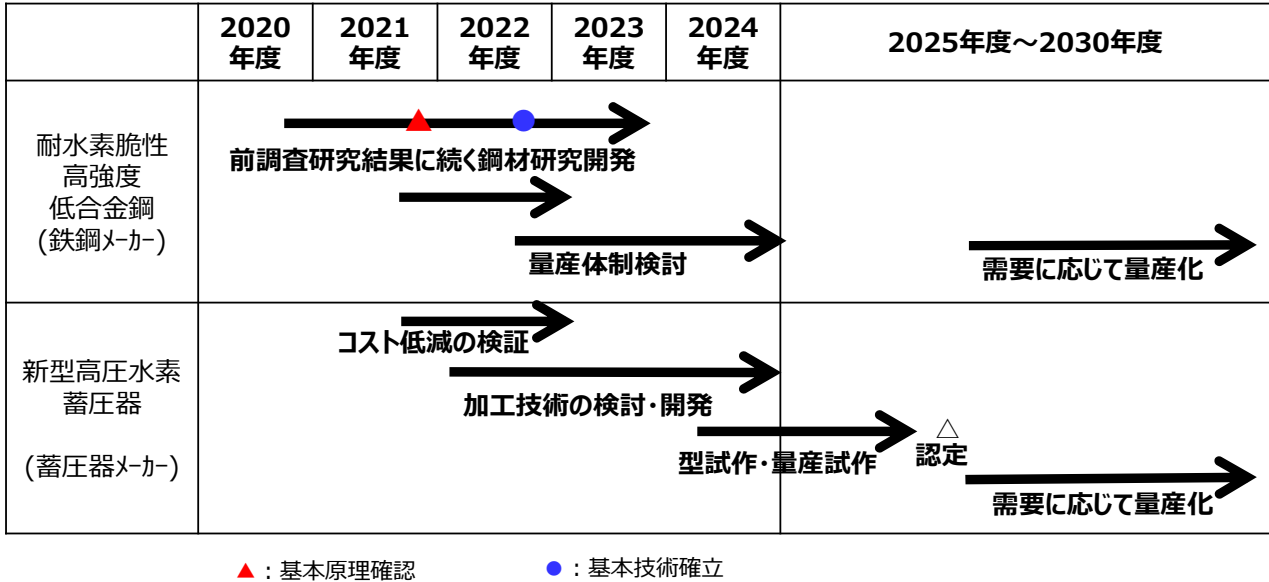
現 状

- (1)低合金鋼は高圧水素の影響を受けやすく、強度の大きい鋼ほどその傾向が強いため、意図的に強度を低減させた鋼材を使用→厚肉な鋼材を使用し、大量使用。
- (2)高圧水素の影響を受けにくい高強度低合金鋼の開発要素あり。
対象候補材：①Mo-V添加鋼、②高圧水素適合性未評価のJIS規格鋼
- (3)蓄圧器製造加工プロセス技術について素材高強度化によるコスト低減の可能性あり。
- (4)鋼材単価低減のためにはまとまった需要も重要因子。



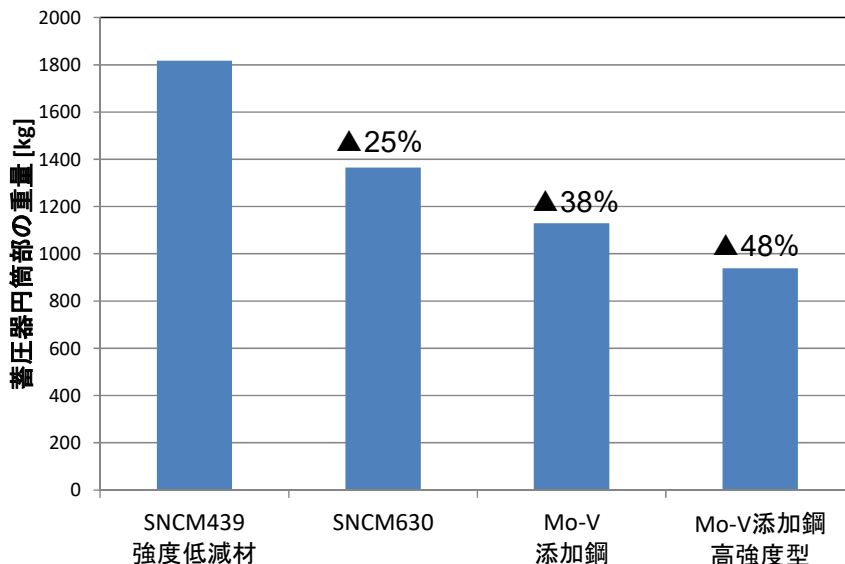
◆ 実用化に向けた具体的取組

2020年台後半までの水素ステーション事業の自立化に向けた低価格蓄圧器発売には、鉄鋼メーカーおよび蓄圧器メーカーにおいて以下のような取組が想定される。



◆ 成果の実用化の見通し

1000～1400MPa以上の高強度低合金鋼を新型高圧水素蓄圧器に適用できれば、現状の既存SNCM439鋼強度低減材に比べて最大で5割近くの鋼材使用量を削減する可能性があり、これに加えて蓄圧器の軽薄短小化は製造プロセスコスト低減等にも寄与することから、蓄圧器の総合的なコスト低減に繋がると考えられる。



「新型半導体メモリ方式による超低消費電力 水素検知センサシステムの研究開発」

(中間評価)

(2020年度～2022年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

ヌヴォンテクノロジージャパン株式会社

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

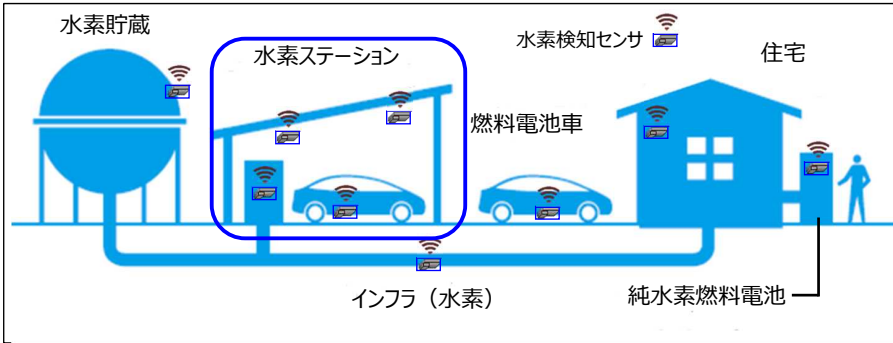
研究開発項目	目標(2020年度)	成果	達成度
①超低消費電力水素検知センサエレメントの開発	センサエレメントの製造条件と回路レイアウト仕様の確立	実施計画及び内容の設定 - マスク制作 (～第3四半期) - 試作及び評価(～第4四半期)	△
②高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発	完全防水型センサモジュールの開発課題と方策の明確化	実施計画及び内容の設定 - 膜材料、接合工法検討 (～第3四半期) - 膜、工法基礎評価(～第4四半期)	△
③自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発	小型、低消費電力のIoT対応センサモジュール仕様の確立	実施計画及び内容の設定 - IoTセンサモジュール設計 (～第3四半期) - 実機評価及び検証追加制作 (～第4四半期)	△

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 達成状況 : 実施計画書を作成し、目標及び計画を設定。
- 本研究の意義 : 従来技術では実現できない、場所を選ばず容易に設置できる水素検知センサシステムを研究開発し、安心安全な水素社会実現に貢献

当社のイメージする水素社会



場所を選ばず容易に設置できる水素検知センサを多点設置し、安心安全な水素社会へ

要求事項と実現手段

新しい水素検知センサへの要求事項

- IoT/電池駆動
- 耐環境性(防水)
- メンテナンス性
- システムコスト低減(配線削減、防爆簡素化)

実現手段

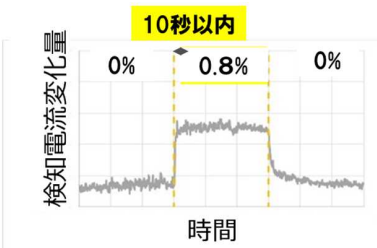
本研究開発テーマ
 新型半導体メモリ方式による
 超低消費電力
 水素検知センサシステム

◆①超低消費電力水素検知センサエレメントの開発の成果と意義

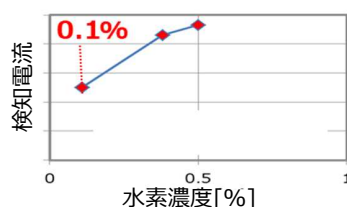
- 現状 : 0.8%水素で10秒以内の反応速度、低濃度側限界値として0.1%迄の水素検知を確認
- 成果 : 2022年迄の開発目標、及び目標達成に向けた実施計画を策定
 性能向上検討用マスクの設計完了(10月)、検討ウエハ試作をスタート('21/3一次評価完)
- 意義 : 従来比1/10000以下の低消費電力センサエレメントの実現

■ 現状の特性

水素センシング特性(代表例)



検知電流vs水素濃度

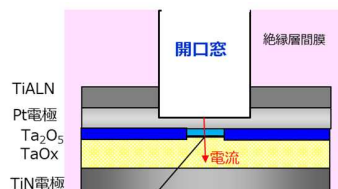


■ 成果(実施計画内容決定)

年度計画	マイルストーン	目標仕様	
2020年度	2020年度はセンサ構造及び、回路レイアウトの検討を通じ、低消費電力を維持しながらセンサ感度を高める。	センサエレメントの構造、回路レイアウト仕様の確立	暫定仕様案 水素雰囲気0.5% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$
2021年度(参考)	2021年度はセンサ構造及び、回路レイアウトの最適化を進め、実使用を想定したセンサ感度を実現する。	センサエレメントの構造、回路レイアウトの最適化	暫定仕様案 水素雰囲気0.1% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$
2022年度(参考)	2021年度迄に開発したセンサエレメントをベースに信頼性評価の仕様を確立する。	センサエレメント用信頼性評価の使用確立	暫定仕様案 85°C10年動作

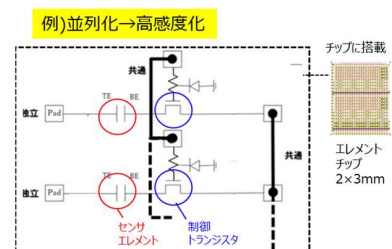
条件検討内容: 代表例

センサ製造検討項目



検討内容:
 -センサエレメントサイズ、形状
 -開口窓サイズ、形状

回路レイアウト検討パターン



②高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発の成果と意義

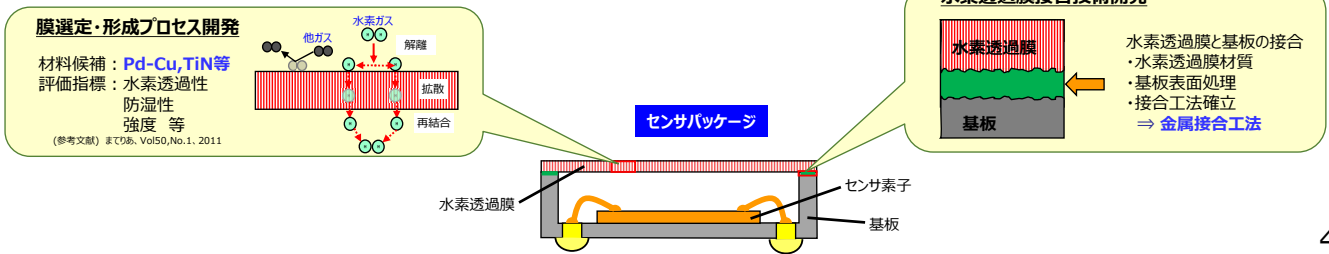
- 現状 : 水素透過膜材料および成膜・透過膜接合工法の候補抽出
- 成果 : 2022年迄の開発目標、及び目標達成に向けた実施計画を策定
膜材料、接合工法検討(～12月) 膜、工法基礎評価(～3月)
- 意義 : 水素検知センサ性能と耐環境性を両立したセンサモジュールが実現可能

■ 成果 (実施計画内容決定)

	年度計画	マイルストーン	目標仕様
2020年度	2020年度は高耐湿化に向けたモジュール構造、工法を検討し、耐湿性向上の取組を進める。 水素透過膜の性能検証・実現性検討の方針を策定する。	モジュール構造仕様、工法の課題抽出と対策方針決定 水素透過膜の検証方法の決定	
2021年度 (参考)	2021年度は2020年度に決定した構造、工法をベースに耐湿、防水筐体の検討を進め、高耐湿/防水センサモジュールを開発する。水素透過膜との組み合わせを考慮し、実使用を想定したセンサ感度を実現する。	高耐湿/防水センサモジュールの仕様確立	暫定仕様案 1)水素透過率90% 湿度100% 反応速度≤30sec 2)水素透過率1% 湿度100% 反応速度≤30sec
2022年度 (参考)	2021年度までに開発したセンサモジュールをベースに信頼性評価の仕様を確立する。	センサモジュール用信頼性評価の仕様確立	暫定仕様案 湿度100% 5年動作

検討状況

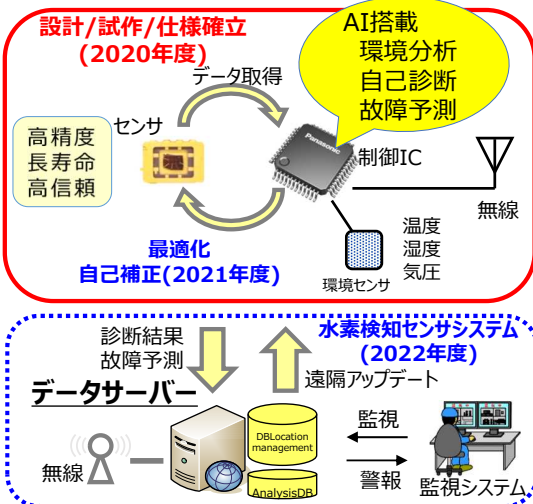
【構造案の一例】セラミック基板上に水素透過膜を接合



◆③自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発の成果と意義

- 現状 : 小型で低消費電力のIoT対応(無線)センサモジュール仕様及びデモ機制作に着手
- 成果 : 2022年迄の開発目標、及び目標達成に向けた実施計画を策定
IoTセンサモジュール設計完(12月),実機評価及び検証・追加制作 (1月～)
- 意義 : 場所を選ばず容易に設置できるIoT/電池駆動水素検知センサモジュール/システムの確立

■ システムコンセプト



■ 成果 (実施計画内容決定)

	年度計画	マイルストーン	目標仕様
2020年度	2020年度は小型で低消費電力化に対応したIoT対応センサモジュールの仕様検討を行う。	低消費電力、IoT対応センサモジュールの仕様確立	IoT方式決定 低電力回路設計完 (≤10mW)
2021年度 (参考)	2021年度は2020年度仕様検討したIoT対応センサモジュールをもとに、使用環境下での自己補正技術を確認する。	自己補正技術の仕様確立	自己補正アルゴリズムの確立
2022年度 (参考)	2021年度までに開発したシステム技術をベースに警報(漏えい/故障)機能を搭載したシステム技術を確認する。	故障予測データベース構築、警報機能の仕様確立	故障予測モデル完成

ターゲット仕様検討状況 (超低消費電力化 ≤10mW)

品名	IoT対応水素センサモジュール (開発中)	無線ガス検知器 (KD-100B)	XEN-5320 WIFI version	
研究開発機関	スヴォンテック/ロジージャパン	新コスモス電機	Sensor Integration	
水素センサー	・ReRAM方式	・接触燃焼方式	・熱伝導式	
モジュール外観				
仕様	無線方式	LTE-Cat. M1 (スター型(低コスト))	ISA100.11a (メッシュ型GW必要) △ WiFi (短距離、消費電力大)	
	保護等級	IP65	IP65	未対応
	使用温湿度範囲	-20~75℃ / 未→目標≤100%RH	-10℃~50℃ / 10~90%RH	-20℃~55℃ / 0~95%RH
	電源	リチウム電池 (7.7Ah)	DC24V(有線)	USB / Li-ion電池 (0.95Ah)
	消費電力	平均9.4mW → 目標 電池寿命5年以上	最大3.5W(ヒータ必須で電力大)	241mW
外形寸法	120x80x56mm (アンテナ含まず)	H338xW146xD160mm	63x51x24mm	
搭載センサ	水素/温度/湿度/気圧	水素/可燃性ガス	水素/温度/湿度	

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2020年度末)	達成見通し
①超低消費電力水素検知 センサエレメントの開発	水素雰囲気0.8% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$	センサエレメントの構造、 回路レイアウト仕様の確立 (水素雰囲気0.5% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$) <参考:2022年度末目標> 水素0.1% 反応速度 $\leq 10\text{sec}$. 寿命 85°C10年)	○ 0.1%水素までの反応を確認。 性能改善用マスクセット搭載の パターンで性能達成見込み。
②高耐湿/防水対応水素 検知センサモジュールの開発	水素透過膜材料および成 膜・透過膜接合工法の抽 出	モジュール構造仕様、工法の課題 抽出と対策方針決定 水素透過膜の検証方法の決定 <参考:2022年度末目標> 完全防水型センサモジュール仕様 および信頼性評価の仕様確立	○ 各透過膜の水素透過性は確認でき ており、接合・成膜工法最適化により 達成可能な見通し
③自己補正・故障予測シス テムを備えた水素検知センサ システムの開発	開発計画策定し、低電力 I o T 対応(無線)センサ モジュール仕様を策定、 デモ機試作中 (ターゲット仕様 消費電力9.4mW)	小型で低消費電力の I o T 対応 センサモジュール仕様の確立 (消費電力 $\leq 10\text{mW}$) <参考:2022年度末目標> 開発したシステム技術をベースに 警報(漏えい/故障)機能を搭載 したシステム技術の確立	○ 水素検知センサエレメント、IoT対応 センサモジュールの低消費電力適正 化により、達成の見込み

6

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

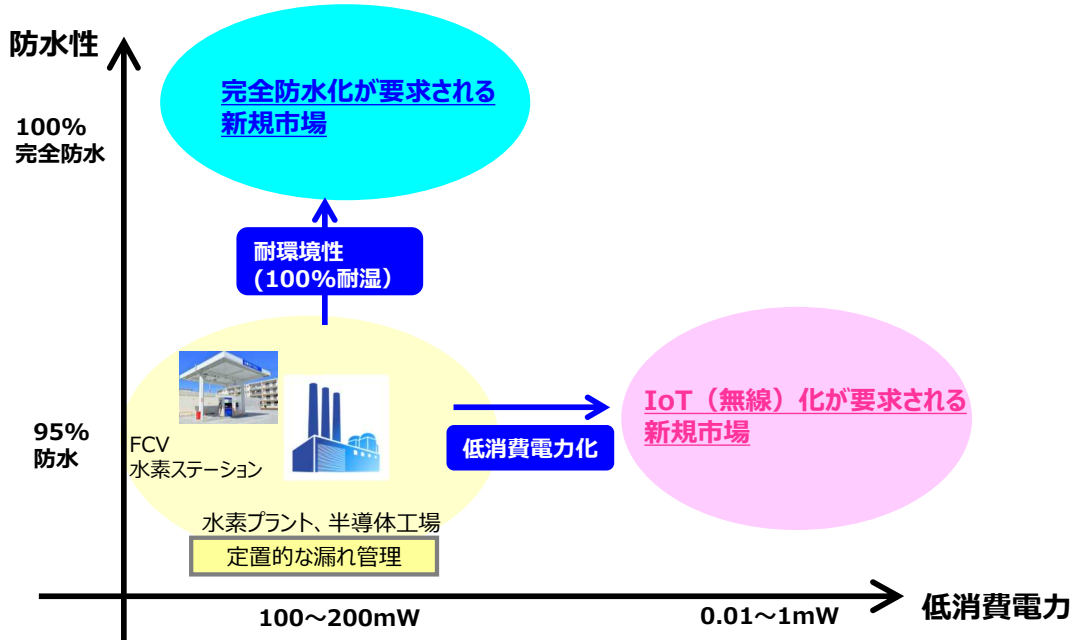
- 今後成長すると予想される新しい水素検知センサ用途 (IoT、多湿環境) への展開をターゲットに実用化を進める
- エレメント/モジュール/システム、それぞれのビジネスレイヤでの実用化を検討する



7

◆ 実用化に向けた戦略

- 将来、水素検知センサの低消費電力化、耐環境性の向上が進み、新しい用途（IoT(無線)化、多湿環境下用途）への展開が拡大と予測
- 本研究で開発する水素検知センサシステムで上記新規市場を獲得する



◆ 実用化に向けた具体的取組

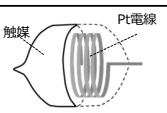
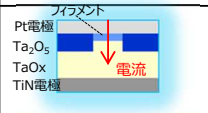
- NEDOプロジェクトによる研究開発終了後、2023年度より実用化開発を開始
エレメント/モジュール/システム事業立ち上げをコンカレントに推進予定

研究開発項目		2020~2022年度	2023年度	2024年度	2025年度~
①	超低消費電力水素検知センサエレメントの開発	NEDOプロジェクトによる研究開発	製品用エレメント試作	信頼性確認	実用化へ
②	高耐湿/防水対応水素検知センサモジュールの開発(再委託)		モジュール設計(耐湿、防塵、防爆)	製品用モジュール試作 信頼性確認	
③	自己補正・故障予測システムを備えた水素検知センサシステムの開発			製品用システム設計	

◆ 成果の実用化の見通し

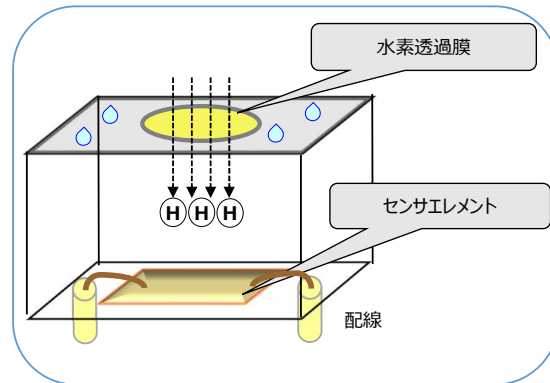
■ 本研究開発で実現する超低消費電力・高耐湿/防水センサで市場優位性を確保
シェア拡大を目指す

超低消費電力水素検知センサエレメントの優位性

	接触燃焼方式 (従来)	新型半導体メモリ方式 (本研究)
消費電力	200mW	0.01mW
ヒーター	必要 (300~450℃)	不要
検知感度	0.1% @ ≤10秒	0.1% @ ≤10秒
構造 原理		

従来に比べ1/10000の超低消費電力
を実現する新方式

高耐湿/防水対応
水素検知センサモジュールのコンセプト



水素のみをモジュール内部のセンサエレメントに到達させ、
防水性を実現する新しい構造で優位性を確保

「半導体レーザーを用いた次世代水素分析装置の研究開発」

(中間評価)

(2020年度～2022年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社四国総合研究所

2020年12月17日

0

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

[サブテーマ1] Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

実施項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1-①Violet-ECDLの開発	・ PBC内光強度 1 W以上を持つECDLを開発する。	・ PBCの設計及び光学部品調達を実施中。	△	・ 最終的には10W以上のPBC内光強度を実現する。 ・ LDのARコート、PBCのミラーの反射率等の最適化により達成を目指す。
1-②Violet-ECDL光学系構成の最適化	・ ECDL発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。	・ 光学部品調達及び技術調査を実施中。	△	・ 最終的には発振線幅 30cm^{-1} 以下を実現する。 ・ バンドパスフィルタやエタロンの導入により達成を目指す。
1-③光ファイバ伝送式Violet-ECDLの発振機能検証	(2021年度より実施)			
1-④高感受光系の開発	・ 受光光学系の概念設計を完了する。	・ 受光系の設計及び部品調達を実施中。	△	・ 最終的にはppmオーダーの感度を実現する。 ・ 位相同期検波等の高感度検知手法の導入により達成を目指す。
1-⑤マルチガス分析装置プロトタイプの開発	(2021年度より実施)			
1-⑥プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	(2022年度に実施)			
1-⑦全成分分析の可能性評価	・ 2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。	・ 調査及びスペクトル計測実験を実施中。	△	・ 研究成果や新たに得られた情報を随時反映させ、評価の精度向上を進める。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

1

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

[サブテーマ2] IR-LDを用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

実施項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
2-①IR-ECDLの開発	・ 光路長20m以上を達成する。	・ PBCの設計及び光学部品調達を実施中。	△	・ 最終的には200m以上の実効光路長を実現する。 ・ LDのARコート、PBCのミラーの反射率等の最適化により達成を目指す。
2-②IR-ECDL光学系構成の最適化	・ ECDL発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。	・ 光学部品調達及び技術調査を実施中。	△	・ 最終的には発振線幅0.3cm ⁻¹ 以下を実現する。 ・ DFB-LDやエタロン・フィルタ等の導入により達成を目指す。
2-③光ファイバ伝送式IR-ECDLの発振機能検証	(2021年度より実施)			
2-④TDLASの適用可能性評価	・ TDLASの適用可能性を水素ガスにて確認する。	・ 実験装置の設計及び部品調達を実施中。	△	・ 最終的には100ppm以下の水素検知を実現する。 ・ 2f検波等の高感度検知手法の導入により達成を目指す。
2-⑤高感度ガス分析装置プロトタイプの開発	(2021年度より実施)			
2-⑥プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	(2022年度に実施)			
2-⑦全成分分析の可能性評価	・ 2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 ・ 全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。 ・ 全硫黄成分について、ISO規格値に対しての計測方法を検討する。	・ 調査及びスペクトル計測実験を実施中。	△	・ 研究成果や新たに得られた情報を随時反映させ、評価の精度向上を進める。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- スケジュール通りに進捗している。
- 今後、PBC内光強度の増強、受光系の高感度化等の基礎実験を進め、プロトタイプを開発する予定としている。
- 最終的にはプロトタイプによる実ガスを用いた分析実験を行い、性能を評価する。
- 分析装置開発の成果と、各種調査結果に基づき、ISO品質規格全成分分析への適用可能性を明らかにする。
- 本事業で開発するViolet-ECDLを用いたラマン分光法によるガス分析技術は従来にない新技術であり、水素品質管理の低コスト化のみならず、ガス検知・分析分野における極めて大きい波及効果が期待できる。

◆各個別テーマの成果と意義

[サブテーマ1] Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

小型・低コストな分析装置を開発するため、ECDL（外部共振器型半導体レーザー）、PBC（小型共振器）および高感度受光系を開発し、それらを最適化したレーザーラマン分光法による分析装置のプロトタイプを設計・製作する。水素品質管理の対象となる物質のうち、ISO規格値がppmオーダーの物質についてガス濃度計測機能の検証を行い、性能を証明する。また、その結果を踏まえて、製品化に向けた課題の抽出およびコスト試算を行う。

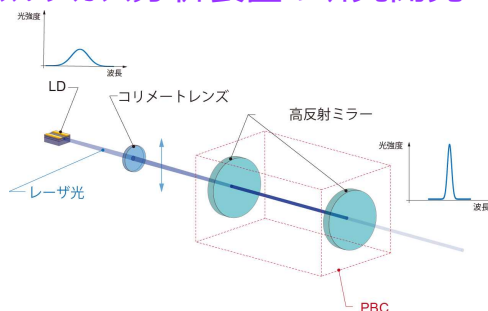


図1 Violet-ECDL光学系構成例

実施項目1-① Violet-ECDLの開発

2020年度目標：PBC内光強度1W以上を持つECDLを開発する。

- 外部共振器発振に係る技術調査
Violet波長域の外部共振器発振及び光学部品に係る最新情報に関する技術調査を行い、ECDLの開発に反映する。
- Violet-ECDLの製作
青紫色波長域のレーザー素子と結合レンズ、キャビティミラー2枚で構成されるPBCを組合せた、ECDLを製作する。光学設計により各種パラメータを決定し、特注光学部品の製作を行い、これらを組み合わせることでECDLを構築する（図1）。
- Violet-ECDLの発振実験・機能評価
ECDLが発振し、PBC内に定在波が生成される光学系配置を実験的に明らかにする。光強度、発振波長や線幅、空間モードの状態を確認し、発振特性を評価する。

実施項目1-② Violet-ECDL光学系構成の最適化

2020年度目標：ECDL発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。

- 横モード安定化に係る技術調査
ECDLの横モードの安定化に係る最新情報に関する技術調査を行い、Violet-ECDL光学系構成の最適化に反映する。
- TEM₀₀モード発振実験・評価
観測されたECDL内部の横モードが単峰のガウス分布（TEM₀₀）となる光学系配置を明らかにし、Violet-ECDLの開発に反映させる。

4

◆各個別テーマの成果と意義

[サブテーマ1] Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

実施項目1-④ 高感度受光系の開発

2020年度目標：受光光学系の概念設計を完了する。

- 受光系の小型・高感度化に係る技術調査
学会、展示会、文献等を媒体として、受光系の小型・高感度化に係る最新情報に関する技術調査を行い、受光系の開発に反映する。
- 受光系の概念設計
PBC内のビームにより発生したラマン散乱光を高効率で集光し、高感度検出する受光系を開発する。概念設計をまとめ、PBC内定在波を模した光源を使って模擬実験を行う。光源から生じる光を集光する基礎試験を行うと共に、光学設計で得られた結果を基に、光学系配置の概念設計と実際の受光効率を比較する。

実施項目1-⑦ 全成分分析の可能性評価

2020年度目標：2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。

- ISO規格全成分への適用可能性評価
ISO規格全成分のうち、全硫黄化合物、全ハロゲン化合物を除く全成分について、ラマン散乱の諸元に関する情報を文献調査、先行技術調査及び、高出力バルスレーザー装置と高感度分光検出器を用いた実ガスのラマンスペクトル計測実験により明らかにする。
また、本年度に得られる実施項目1-①②④の成果から本研究開発によって実現するPBC内光強度や、ビーム品質、受光系の性能等を推定する。調査等によって得られた対象物質のラマン散乱に係る諸元と、研究開発成果の推定値を比較考量し、本年度時点における小型マルチガス分析装置の適用可能性を評価することで、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて複数の不純物成分に対し検出限界ppmオーダー以下の分析が可能であることを明示する。

5

◆各個別テーマの成果と意義

[サブテーマ2] IR-LDを用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

水素品質管理における極微量成分を検知するため、ECDLおよびPBCを最適化した赤外吸収分光法による分析装置のプロトタイプを設計・製作する。水素品質管理の対象となる物質のうち、ISO規格値がサブppmオーダーの物質についてガス濃度計測機能の検証を行い、性能を証明する。また、その結果を踏まえて、製品化に向けた課題の抽出およびコスト試算を行う。

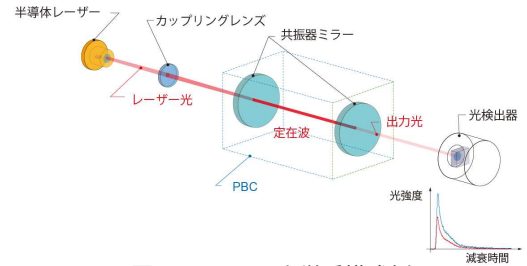


図2 IR-ECDL光学系構成例

実施項目2-① IR-ECDLの開発

2020年度目標：光路長20m以上を達成する。

- 1) 外部共振器発振に係る技術調査
IR波長域の外部共振器発振及び光学部品に係る最新情報に関する技術調査を行い、ECDLの開発に反映する。
- 2) IR-ECDLの製作
IR波長域のレーザー素子と結合レンズ、キャビティミラー2枚で構成されるPBCを組合わせた、ECDLを製作する。光学設計により各種パラメータを決定し、特注光学部品の製作を行い、これらを組合わせることでECDLを構築する（図2）。
- 3) IR-ECDLの発振実験・機能評価
ECDLが発振し、PBC内に定在波が生成される光学系配置を実験的に明らかにする。光強度、発振波長や線幅、空間モードの状態を確認し、発振特性を評価する。

実施項目2-② IR-ECDL光学系構成の最適化

2020年度目標：ECDL発振の安定化を達成する（横モードがガウス分布）。

- 1) 横モード安定化に係る技術調査
ECDLの横モードの安定化に係る最新情報に関する技術調査を行い、IR-ECDL光学系構成の最適化に反映する。
- 2) TEM₀₀モード発振実験・評価
観測されたECDL内部の横モードが単峰のガウス分布（TEM₀₀）となる光学系配置を明らかにし、IR-ECDLの開発に反映させる。

◆各個別テーマの成果と意義

[サブテーマ2] IR-LDを用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

実施項目2-④ TDLASの適用可能性評価

2020年度目標：TDLASの適用可能性を水素ガスにて確認する。

- 1) IR-LDによるガス分析に係る技術調査
TDLASを含むIR-LDによるガス分析に係る最新情報に関する技術調査を行い、光学系構成の最適化に反映する。
- 2) 実験装置の製作
ECDLを用いずに、LDにより不純物検知を行うTDLASの適用可能性を評価するために、LD光源と、光電変換を行い、高感度光検出を行う受光検出器によって構成されるTDLAS実験装置を製作する。
- 3) TDLAS動作確認実験・機能評価
製作した実験装置を用いて、水素を対象とした濃度計測実験を行い、TDLASの動作確認を行うと共に、ガス濃度変化とTDLAS実験装置の応答の相関を解析することで、ガス検知機能を評価する。

実施項目2-⑦ 全成分分析の可能性評価

2020年度目標：2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格）全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。全硫黄成分について、ISO規格値に対する計測方法を検討する。

- 1) ISO規格全成分への適用可能性評価
ISO規格全成分のうち、メタン、ヘリウム、窒素、アルゴンを除く成分について、光吸収に係る諸元を調査及び実験により明らかにし、研究成果に基づき、現時点における高感度ガス分析装置の適用性を評価すると共に、サブppmオーダー以下の分析が可能であることを明示する。
- 2) 全ハロゲン化合物適用可能性評価
全ハロゲン化合物分析に関する最新の手法及び、各ハロゲン化合物に関する光吸収等の光応答に関する諸元を文献調査、先行技術調査により明らかにし、現時点における高感度ガス分析装置による全ハロゲン化合物分析の可否を明らかにする。
- 3) 全硫黄成分適用可能性評価
全硫黄成分分析に関する最新の手法、各硫黄化合物に関する光吸収等の光応答に関する諸元、及び光計測を用いた計測手法に関する文献調査、先行技術調査を行い、現時点における高感度ガス分析装置による全硫黄成分分析の可否を明らかにする。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 成果の最終目標の達成可能性

[サブテーマ1] Violet-ECDLを用いたラマン分光式マルチガス分析装置の研究開発

実施項目	現 状	最終目標	達成見通し
1-①Violet-ECDLの開発	・ PBC内光強度 1 W以上を持つECDLの開発を実施中。	(2021年度末) ・ PBC内光強度 10W以上を持つECDLを開発する。	・ LDのARコート、PBCのミラーの反射率等の最適化により達成の見込み。
1-②Violet-ECDL光学系構成の最適化	・ ECDL発振の安定化（横モードがガウス分布）を実施中。	(2021年度末) ・ ECDLの発振線幅 30cm^{-1} 以下を達成する。	・ バンドパスフィルタやエタロンの導入により達成の見込み。
1-③光ファイバ伝送式Violet-ECDLの発振機能検証	(2021年度より実施)	(2022年度末) ・ PBC内光強度5W以上を達成する。	・ アナモルフィックプリズムや光ファイバへのARコート処理の導入等により達成の見込み。
1-④高感受光系の開発	・ 受光光学系の概念設計を実施中。	(2021年度末) ・ 受光系を試作し、酸素を用いて目標感度 ppmオーダー（S/N比10以上）を達成する。	・ PMT等の高感受光検出器や位相同期検波等の高感受検知手法の導入により達成の見込み。
1-⑤マルチガス分析装置プロトタイプの開発	(2021年度より実施)	(2022年度末) ・ 寸法 $40\times 50\times 30\text{cm}$ 以下、重量10kg以下を達成する。	・ ECDLによる分析装置の実現により達成の見込み。
1-⑥プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	(2022年度に実施)	(2022年度末) ・ 1ppm以下、応答時間1分以下、コスト150万円以下（量産効果含む）を達成する。	・ 実施項目1-①～④の成果により達成の見込み。
1-⑦全成分分析の可能性評価	・ 2020年度研究開発成果等に基づきISO品質規格全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）の評価を実施中。	(2022年度末) ・ 2022年度までの研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分を対象として小型マルチガス分析装置の適用可能性を検討し、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。	・ 実施項目1-①～⑥の成果により達成の見込み。

8

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 成果の最終目標の達成可能性

[サブテーマ2] IR-LDを用いた赤外吸収分光式高感度ガス分析装置の研究開発

実施項目	現 状	最終目標	達成見通し
2-①IR-ECDLの開発	・ 光路長20m以上のPBCの開発を実施中。	(2021年度末) ・ 光路長200m以上を達成する。	・ LDのARコート、PBCのミラーの反射率等の最適化により達成の見込み。
2-②IR-ECDL光学系構成の最適化	・ ECDL発振の安定化（横モードがガウス分布）を実施中。	(2021年度末) ・ ECDLの発振線幅 0.3cm^{-1} 以下を達成する。	・ DFB-LDやエタロンの導入により達成の見込み。
2-③光ファイバ伝送式IR-ECDLの発振機能検証	(2021年度より実施)	(2022年度末) ・ 実効光路長100m以上を達成する。	・ アナモルフィックプリズムや光ファイバへのARコート処理の導入等により達成の見込み。
2-④TDLASの適用可能性評価	・ TDLASの適用可能性を水素ガスにて確認中。	(2022年度末) ・ 水素検出限界100ppm以下を達成する。水素分析への適用可能性を評価する。	・ LDの波長変調や2検波法の導入により達成の見込み。
2-⑤高感度ガス分析装置プロトタイプの開発	(2021年度より実施)	(2022年度末) ・ 寸法 $40\times 50\times 30\text{cm}$ 以下、重量10kg以下を達成する。	・ ECDLによる分析装置の実現により達成の見込み。
2-⑥プロトタイプによるガス濃度計測機能検証	(2022年度に実施)	(2022年度末) ・ アンモニアを対象として検出限界サブppmオーダー以下、応答時間1分以下、コスト150万円以下（量産効果含む）を達成する。 ・ 硫化水素を対象として検出限界ppbオーダー以下を目指す。	・ 実施項目2-①～④の成果により達成の見込み。
2-⑦全成分分析の可能性評価	・ 2020年度研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分について、全成分分析の可能性の検討、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 ・ 全ハロゲン化合物について、成分計測の可否を明らかにする。 ・ 全硫黄成分について、ISO規格値に対しての計測方法を検討する。	(2022年度末) ・ 2022年度までの研究開発成果等に基づき、ISO品質規格全成分を対象として高感度ガス分析装置の適用可能性を検討し、検出可否（測定方法、濃度等）を含めて明示する。 ・ 全硫黄成分について、計測方法を確立する。	・ 実施項目2-①～⑥の成果により達成の見込み。

9

◆成果の普及

	2020	2021	2022	計
論文（査読付き）		(1)	(2)	(3)件
研究発表・講演	(2)	(4)	(6)	(12)件
受賞実績				0件
新聞・雑誌等への掲載				0件
展示会への出展	(1)	(2)	(2)	(5)件

※2020年10月9日現在、()内は見込値

■ 研究発表・講演（2020年度）

レーザー学会学術講演会第41回年次大会(2021年1月18日～20日、オンライン開催) 他1件を予定

■ 展示会等への出展（2020年度）

FC EXPO 2021 第17回[国際]水素・燃料電池展（2021年3月3日～3月5日、東京ビッグサイト）を予定

◆知的財産権の確保に向けた取組

	2020	2021	2022	計
特許出願		(1)	(2)	(3)件

※2020年10月9日現在、()内は見込値

■ 既に取得済の特許

- ・ ガス濃度測定装置（特許第5537174号/2014年5月9日）株式会社四国総合研究所 他

■ 実用化・事業化戦略に沿った具体的取り組み

- ① 研究開発を生業とする本事業者は、事業の成果を知財という形態で権利化することを基本としており、本事業に於いてもこの基本路線を踏襲する。
- ② また、本事業者自らが製品製造を行う組織上の機能を有していないため、事業成果の具現化は、ライセンス・ビジネスを志向している。
- ③ 本事業においては、研究開発の段階から、分析計メーカーとして実績を有するエナジーサポート社にアドバイザーとしての参画をいただき、随時、製品化、マーケティング等の観点から指導・助言を受ける体制としている。
- ④ 本研究開発が成功すれば、速やかに事業化フェーズへと移行できる見通しである。
- ⑤ また、事業成果と関連のある企業に向けた情報発信や情報提供・情報共有などを積極的に推進する。

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

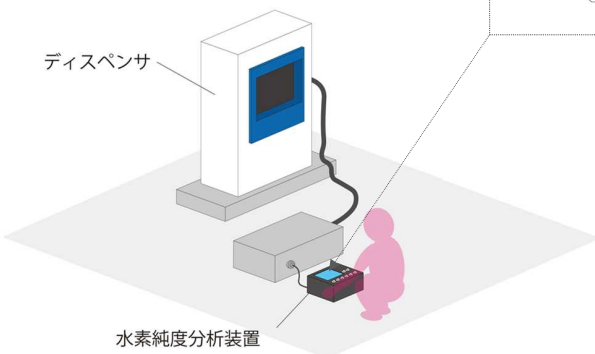
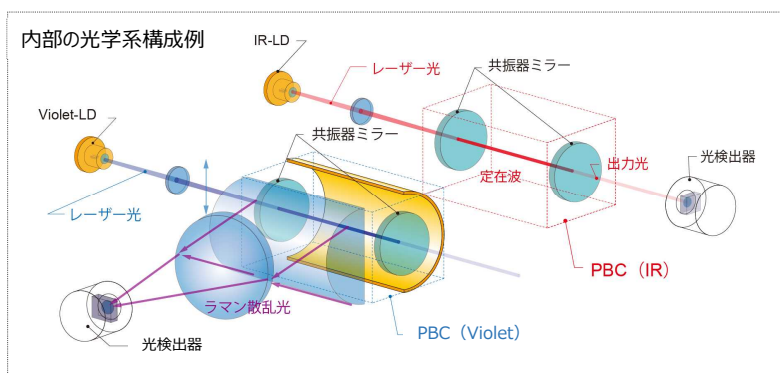
- プロジェクト終了後の2～3年間を目途に、実サイトでの実証運用や展示会への出展、研究・論文発表などによる市場認知度の向上に努めると共に、サンプル出荷によって市場の声(反響)を製品改良に反映させる。
- 本事業者は、これまでに自社開発技術を商品化・事業化した実績を有しており、事業化に必要な体制は整備されている。
- 本事業者は、エネルギー供給事業者や水素インフラ関連事業者との間に広範なネットワークを有しており、当該ネットワークを活かすことによって、実証サイトやサンプル出荷先などを容易に選定できる環境にある。
- 本事業者の提供する対象製品の活用が、確実に水素品質管理の質的レベルを向上させ得ることや、現在、同等の機能を有する製品が存在しないこと等に鑑みて、本事業者は市場獲得が可能と考えている。

◆実用化に向けた戦略

■ 製品イメージ

製品①：水素純度分析装置
(商用水素製造メカ向け)

製品②：マルチガス分析装置
(環境・医療・産業・学術等
幅広い分野へ展開)



■ 本事業成果の優位性：小型・軽量・低コスト

	既存技術	本事業成果による 分析装置
寸法	40×50×30cm 5台以上	40×50×30cm 1台 1/5
重量	20kg 5台以上	20kg以下 1台 1/5
装置コスト	2千万円以上	6百万円以下 1/3

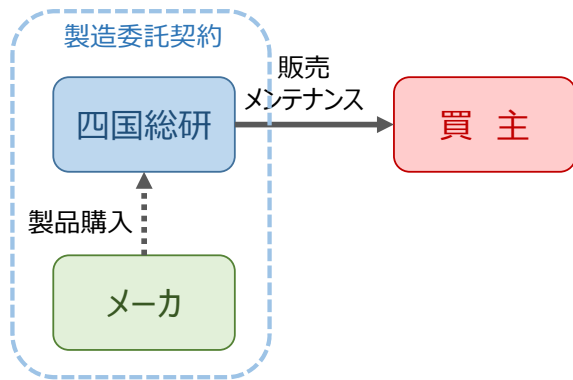
※7種類の不純物をオンサイト分析した場合を想定

◆ 実用化に向けた戦略

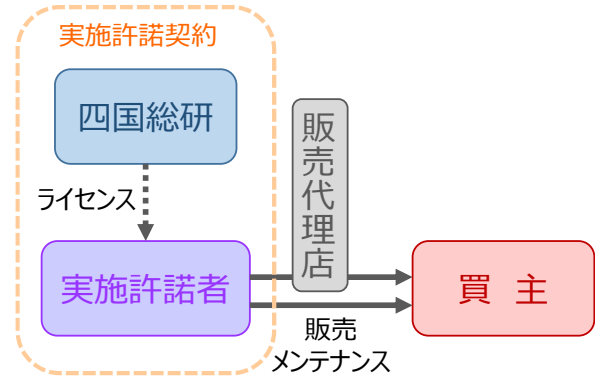
■ 事業モデル

- ・ 販売開始当初、出荷台数が少ない期間は受注生産を想定し、製品を外注により製造し、弊社が顧客に販売する自社製造販売モデルでの事業を行う。
- ・ 出荷台数が年間20台程度を超える見込みとなった時点で、量産段階と判断し、弊社がライセンスした実施許諾者が顧客に販売するライセンスモデルでの事業を行う。

【自社製造販売モデル（受注生産段階）】



【ライセンスモデル（量産段階）】



◆ 実用化に向けた戦略

■ 売上見込み

[製品①：水素分析装置]

年度	2022	2025	2026	2027	2030
	終了年度	販売開始		終了から5年後	
全国計(累計) [台]	26	35	42	51	94
全国計(期間別) [台]	-	35	7	9	43
売上(累計) [百万円]	-	210	252	306	564
売上(期間別) [百万円]	-	210	42	54	258

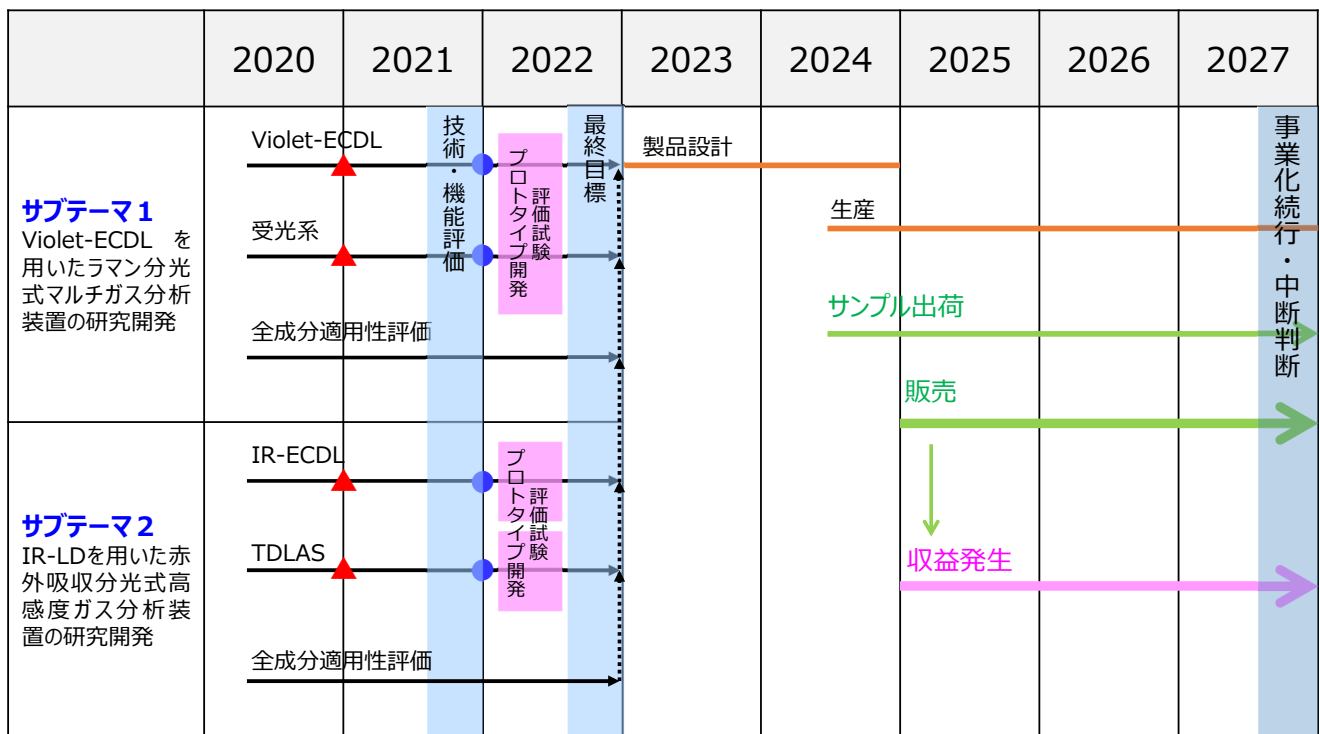
- ・ 経済産業省より示されている水素基本戦略における各年度の目標値等より、地方別水素ステーション設置件数の推移を求めた。
 - ・ 水素分析装置を、地方ごとに、10基に対し1台をシェアするものと仮定し、出荷台数を求めた。
 - ・ 分析装置は8種の不純物を1台で分析する装置を想定し、コストは6百万円/台として売り上げを求めた。
- (参考) 水素燃料電池戦略協議会：水素燃料電池戦略ロードマップ（平成31年3月12日）、資源エネルギー庁：都道府県別給油所の推移 他

[製品②：マルチガス分析装置]

年度	2022	2025	2027	2030
	事業終了年度	販売開始	終了から5年後	
市場規模 [百万円]	18,485	18,485	18,485	18,485
シェア(目標) [%]	-	3.0	3.0	7.0
出荷 [台]	-	74	74	172
売上 [百万円]	-	555	555	1,294

- ・ 昨年度までの分析機器の国内市場の推移から市場規模を求めた。
 - ・ 現在大手計測器メーカー数社が高いシェアを占有し、市場弱者企業によって10%程度のシェア内で競争が起こっている構図であることから、10年程度で10%のシェアを目標として設定した。
 - ・ 分析装置は7.5百万円/台として売り上げを求めた。
- (参考) (株)アルアンドディ：科学機器年鑑2019年度版 No.1市場分析編、2019年9月、(一社)日本産業機械工業会：海外情報（産業機械業界をとりまく動向）、2019年6月号 他

◆実用化に向けた具体的取組



▲ : 基本原理確認 ● : 基本技術確立

◆成果の実用化の見通し

製品① : 水素純度分析装置

- 販売開始初年度は、既設の水素ステーション向けの出荷により売上が比較的高くなる。その後2030年度までは、水素ステーションの普及拡大は比較的緩やかに進行する見通しであるため、売上の増加もこれに連動し、その後、新設件数の増加に伴い、出荷台数が大幅に増加し本格的な事業拡大に移行する。
- コストの優位性に加え、サイズ・重量共に本事業成果の優位性が顕著であることから、次世代水素ステーションにおける水素純度分析の市場については独占できるものと見積もっている。

製品② : マルチガス分析装置

- 市場参入当初は、開始10年程度を目途に、分析装置市場における10%のシェアの占有を目指す。将来的には海外マーケットへの展開を目指す。
- 販売拡大は、本事業成果の「高感度」「小型・軽量」「低コスト」が同時に実現できる強力な優位性を軸に、展示会やWebによるPR活動、コンサルティングサービスの活用、飛び込み営業等により加速度的に進める。国内と並行して海外マーケットへのPRを行い、シェアの獲得を目指す。
- ターゲットとしては、特にオンサイト分析が求められる環境分析や、医療分野における生体物質検出、産業分野における各種工場における工程管理、品質管理、学術分野における工芸品・遺物等の現地調査など幅広い分野への進出を目指す。

◆波及効果

■ 新規産業の創出、活性化

本事業では、研究開発段階からアドバイザーとしてメーカーの参画させるなど、事業終了後の速やかな製品化・実用化が期待できる。これにより、水素関連事業のみならず、様々な物質の分析に係る市場において新規産業の創出やその活性化が期待できる。

■ 人材育成効果

本事業は、LDやECDLを用いたラマン分光法、CRDS、TDLASなどの最新の光計測手法に関する研究開発であり、事業化の過程において多くの研究者や技術者が関わることになるため、将来企業等において中心となって活躍できる高度な研究者、技術者の育成が期待できる。

■ 研究開発体制の強化

本事業では、大学、企業による産学連携が実現しており、これにより、先端分野の研究開発ネットワークが強化・充実される。

■ 技術的波及効果

本事業は、LDやECDLを光源とする新たな光センシング技術に関するものであり、従来不可能であった高感度マルチ成分分析を実現するものであるため、本事業が端緒となって、これに類する新たな企画や研究開発の促進が見込まれる。

「水素昇圧機能を有する高効率水素貯蔵・供給システム技術開発」(中間評価)

(2020年度～2022年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

国立研究開発法人産業技術総合研究所

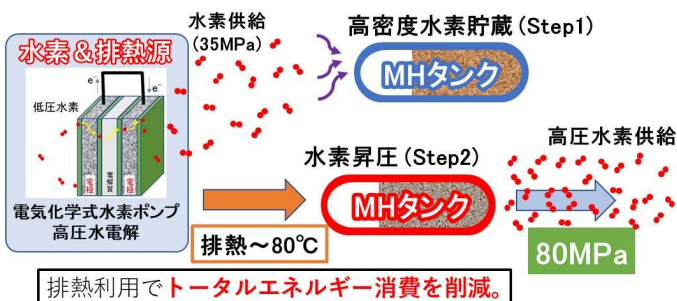
日本重化学工業株式会社

2020年12月17日

個別テーマの概要

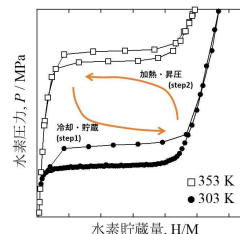
水素ステーションの整備費、運営費の削減を目指し、80℃以下の排熱で作動可能な熱化学式昇圧システムを構築するため、システムに適した昇圧特性を有する水素吸蔵合金の開発とその量産性の検討を実施するとともに、昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化を実施する。

事業システムイメージ

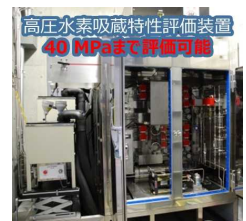


①システムに適した水素吸蔵合金の開発

課題①: 80℃で水素放出圧力が80MPa以上の材料開発
課題②: 低ヒステリシスおよび高耐久性の材料開発



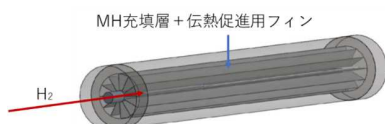
水素貯蔵・昇圧サイクルのイメージ



水素吸蔵特性評価装置

②昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化

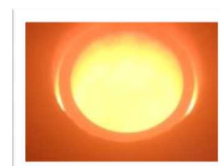
課題①: 80MPaの耐圧性と熱交換性能の両立
課題②: システムコスト、昇圧効率



シェルアンドチューブタイプ型熱交換器を活用した吸蔵合金タンクイメージ

③合金材料の量産性の検討

課題: Ti系合金の量産技術



溶解中の溶湯の様子



テスト溶解炉

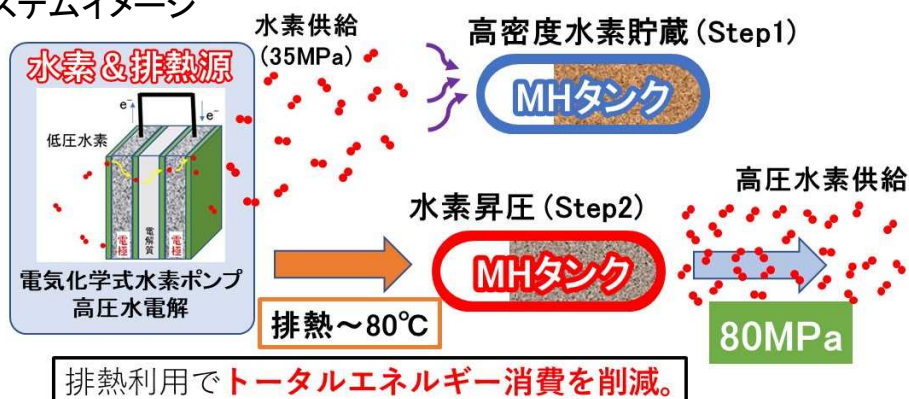
◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発	・30°Cにおいて20MPa～35MPaの水素吸蔵圧力を示す水素吸蔵合金の候補材料を開発し、80°Cにおける水素放出圧力を評価する。	・Tiリッチ組成の各種AB2型ラーベス相の水素吸蔵合金の試作および30°Cでの水素吸蔵特性の評価を開始した。水素吸蔵圧力が約20MPaとなる合金組成を見出した。	△	・いくつかの合金で初期活性化が困難であったため、活性化手順・条件の最適化を検討中。 ・最終目標に向けて、平衡水素圧力のさらなる高圧化とヒステリシスの低減が必要。
昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討	・1回/2時間の吸蔵・放出サイクルが可能な小型スケールの水素吸蔵合金容器を設計する。 ・昇圧システムの省エネルギー効果を定量的に示す。	・小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手した。 ・昇圧システムの省エネルギー効果の検討を開始した。	△	・耐圧性を有し、伝熱性に優れる容器構造 ・省エネルギー効果の定量的な評価および既存技術との比較
昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討	・Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を行い、適したルツボ材の候補を選定する。	・Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。	△	・ルツボ材の耐久性

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

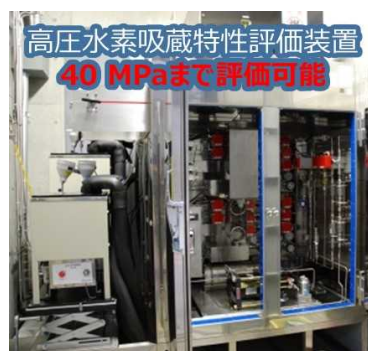
●水素ステーションの整備費、運営費の削減を目指し、80°C以下の排熱で作動可能な熱化学式昇圧システムを構築し実用化・商用化するため、システムに適した昇圧特性を有する水素吸蔵合金の開発と合金材料の量産性の検討を実施するとともに、昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化に対する取り組みを開始した。

事業システムイメージ



◆各個別テーマの成果と意義

- ・これまでの経験からTiリッチ組成の各種AB2型ラーベス相に着目し、水素吸蔵合金の試作および下図に示す40MPaまでの水素吸蔵特性の評価装置を用いた特性評価を開始した。
- ・熱伝導解析による水素吸蔵シミュレーションを活用した小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手するとともに、昇圧システムの省エネルギー効果を検討を開始した。
- ・Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。



4

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
昇圧用水素吸蔵合金の材料設計および高耐久化技術開発	・Tiリッチ組成の各種AB2型ラーベス相に着目し、水素吸蔵合金の試作および40MPaまでの水素吸蔵特性の評価装置を用いた特性評価を開始した。	・80°Cで80MPaでの水素放出が可能で、30,000回の吸蔵放出サイクル後(外挿により算出)に初期容量の80%以上を維持する水素吸蔵合金を開発する。	・高圧化に効果的な元素置換による平衡圧の上昇、低圧合金で見出したヒステリシス低減・高耐久化方法を活用して目標特性を達成する見込み。
昇圧用水素吸蔵合金容器構造の最適化と、水素昇圧システムの実用化・事業化に向けた検討	・小型スケールの水素吸蔵合金容器の設計に着手するとともに、昇圧システムの省エネルギー効果を検討を開始した。	・良好な伝熱性能を備え、80MPaの水素に対する耐圧性を有する昇圧用水素吸蔵合金容器構造を開発する。 ・昇圧容器に必要な熱交換システムなども含めた設計検討を行い、実用化・事業化を意識した水素昇圧システムを確立する。	・2022年度末には、最終目標を達成する見込みである。
昇圧用水素吸蔵合金の量産性検討	・Ti系合金の溶解に使用されるルツボ材に関する調査を開始した。	・ルツボ材の使用可能回数を調査検討し、製造コストについて提示する。量産炉に適用可能なルツボ材、溶解プロセスを選定し、本システムに適用される水素吸蔵合金の大規模製造プロセスを確立する。	・2022年度末には、最終目標を達成する見込みである。

5

◆成果の普及

プロジェクト開始直後のため、論文、成果発表等の実績は現時点では無い。

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
論文	0	-	-	0
研究発表・講演	0	-	-	0
受賞実績	0	-	-	0
新聞・雑誌等への掲載	0	-	-	0
展示会への出展	0	-	-	0

※2020年10月9日現在

6

◆知的財産権の確保に向けた取組

●想定システムに適した合金開発に成功した際は特許出願し、実用化・事業化のための権利確保を目指す予定である。

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	-	-	0件

※2020年10月9日現在

7

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

実用化は、当該研究開発によって得られた各要素技術を組み合わせた試作品等の社会的利用・実証(顧客への提供等)が開始されることであり、事業化は当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用が開始されている事とする。

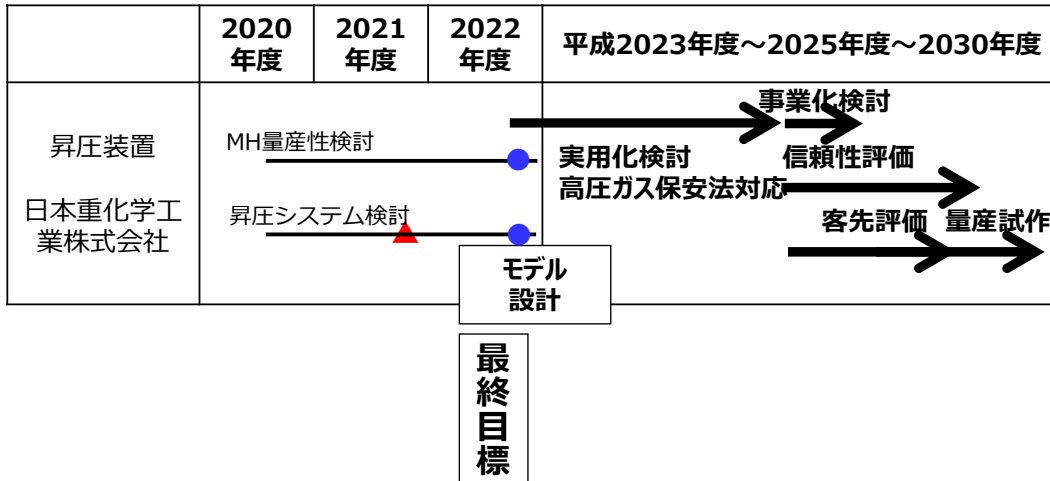
◆実用化に向けた戦略

- 実用化初期段階では、水素ステーション未整備地域への小規模水素ステーション向けをターゲットとし、高圧ガス保安法対応など、実用化検討を進める。
- 実証試験により、事業化検討、客先評価などを行い、事業化へつなげる。
- 既存水素ステーションと同規模の昇圧システムの実用化・事業化の検討を行う。



将来の水素ステーションの開設目標、FCV普及拡大に貢献

◆実用化に向けた具体的取組



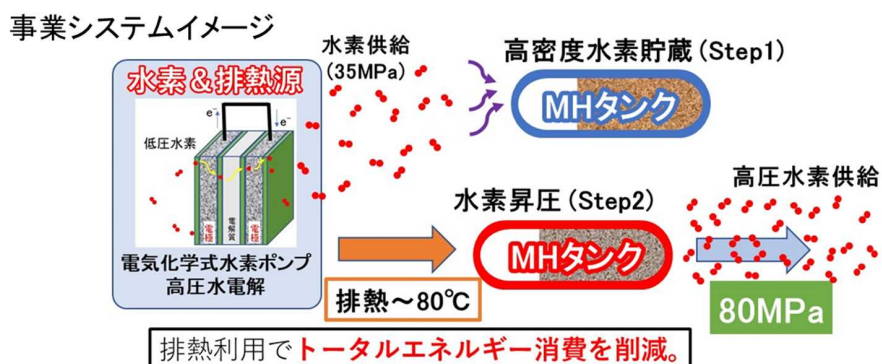
昇圧システムの事業化

▲ : 基本原理確認

● : 基本技術確立

◆成果の実用化の見通し

- 性能面に関しては、排熱を有効活用することにより、昇圧に係るエネルギー消費削減を達成する。
- コスト面に関しては、既存の昇圧機器と同等コストの達成を目指す。



◆波及効果

水素ステーションの整備費、運営費の削減は水素ステーションの普及拡大にとって重要な課題である。電気化学式水素ポンプと熱化学式水素圧縮機を組み合わせた類似のハイブリッドシステム開発は、運用温度・圧力条件が本事業とは異なるが、米国のDOEプロジェクトにおいても実施されている。今回の技術はより低温の80℃以下の排熱での作動を可能とし、より効率的なシステムの構築が期待できるため、日本だけでなく米国でも事業化できる可能性がある。

「HDV等の新プロトコル対応の水素燃料計量システム 技術と充填技術に関する研究開発」(中間評価)

(2020年度～2022年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

国立研究開発法人産業技術総合研究所

岩谷産業株式会社

株式会社タツノ

トキコシステムソリューションズ株式会社

一般社団法人水素供給利用技術協会

一般財団法人日本自動車研究所

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
マスターメーター法計量精度検査方法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備の整備仕様の確定 ・実流装置改善による高精度コリオリ流量計の準備 ・実証データ蓄積による精度影響要因の分析・抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・低圧大流量水素試験設備仕様の検討開始 ・コリオリ流量計の選定開始 ・ガイドライン改定に向け、タスクフォースにて協力体制を構築 	△ (2021年2月達成予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・国際規格目標値の達成→低圧大流量試験設備による校正方法改良と影響要因削減 ・精度影響因子の調査が不十分→データ蓄積・分析により誤差要因を顕在化
新プロトコルに対応する水素計量技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・高レンジに対応する実流装置の仕様検討 ・変動充填模擬試験開始 ・圧力損失及びヒートマス評価開始 	△ (2021年2月達成予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・大流量化→マルチ充填技術やワイドレンジ流量計の開発及び圧損及び熱損影響評価 ・模擬試験条件→実証試験設備での系統的データ取得
HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応システムハードウェアの仕様検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応システム機器の調査開始 	△ (2021年2月達成予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV充填仕様が未定→マルチフロー充填、長時間充填等の効果検証
HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証	<ul style="list-style-type: none"> ・水素先進技術研究センター(仮)の仕様決定 	<ul style="list-style-type: none"> ・検討委員会・WGを設置し、仕様検討を開始 	△ (2021年2月達成予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・大型水素試験評価機関が皆無→上記調査結果を反映
高圧水素計量技術に関する国際協調	<ul style="list-style-type: none"> ・水素燃料計量用流量計・検査装置の調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発プロジェクトの内容や使用されている流量計・検査装置等の調査開始 	△ (2021年2月達成予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・法規制の相違→相互承認や整合性調査を行い、国際比較スキームを検討

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

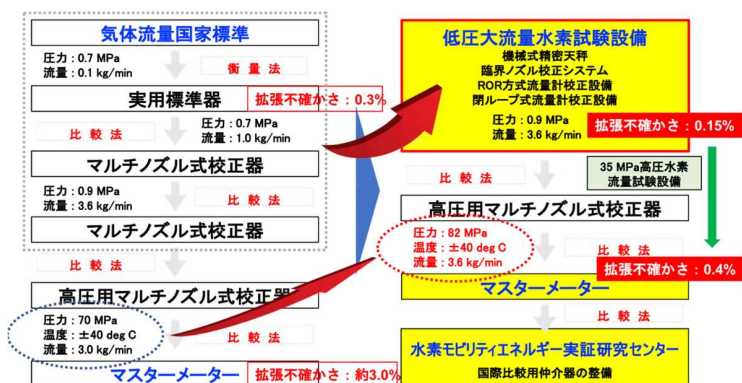
様々な燃料電池モビリティ、特にHDV等の新プロトコルに対応した水素燃料計量システム技術と充填技術の開発に向けた取り組みを開始した。

- HDV対応計量技術においてはマスターメーターを用いた計量方法が優れており、更なる高度化に向けて低圧大流量水素試験設備の整備に向けた仕様検討を開始した。当設備は国際規格における目標値の達成へ向けて、飛躍的に計量性能の向上が期待できる。
- 本プロジェクトにおいて、我が国で稼働しているすべての水素燃料システム計量精度検査装置によるデータ取得が開始され、基盤データの集積により、検査周期の延長や充填試験条件の適正化が図られ、水素ステーション運営コスト低減への貢献が期待できる。
- HDV等に関する各種技術課題を検証するための水素先進技術研究センター(仮)の整備へ向けて、調査・研究とともに検討委員会・WGによる仕様検討が開始された。このような大型水素評価センターは諸外国でも検討されており、遅れることなく本プロジェクトで整備を完了することにより、世界を先導する技術開発成果をもたらすことが期待できる。
- 低圧大流量水素試験設備や水素先進技術研究センター(仮)は、国際共同研究や国際比較にも活用することを想定しており、成果の国際標準への反映や国際協調の拠点となり得るものである。

◆各個別テーマの成果と意義

実施項目1：マスターメーター法計量精度検査方法の高度化

- マスターメーター法による計量精度検査の信頼性向上を目的にトレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備の整備に向けた仕様の検討を開始した。また、検査運用コストの低減を目標に、検査周期や充填試験条件を適正化するための基盤となるデータ取得を開始し、ガイドライン改定に向け、タスクフォースの協力体制を構築し、必要な要件整理等を始めた。



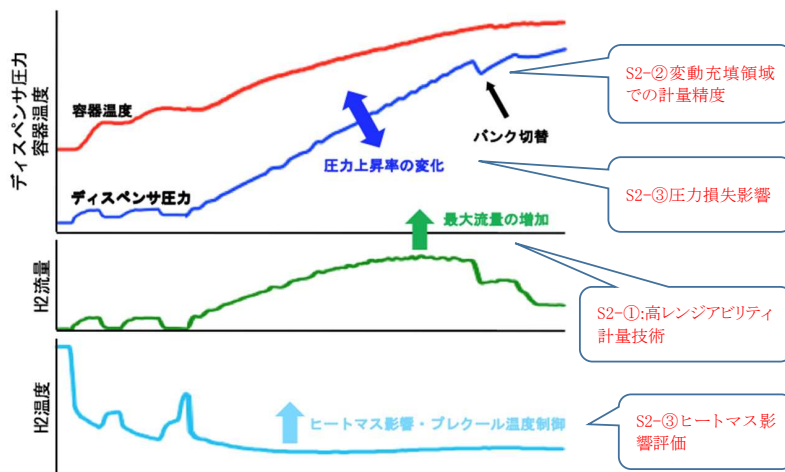
マスターメータートレーサビリティ体系の再構築

水素燃料システム計量精度検査の実施

◆各個別テーマの成果と意義

実施項目2：新プロトコルに対応する水素計量技術の開発

- これまでに実施した計量検査データを解析し、計量精度に影響を与える要因評価を開始した。また、HDV仕様に対応したマスターメータ法計量精度検査装置の検討を開始した。



新プロトコルでの様々な解決課題

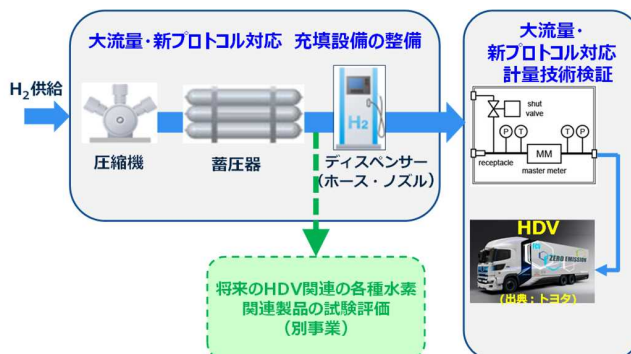
◆各個別テーマの成果と意義

実施項目3：HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究

- 水素先進技術研究センター(仮)における設備仕様に反映させることを目的に、HDVの充填に関わる詳細ニーズや性能についての調査を開始し、各種HDV用コンポーネントの流量特性等の評価計画を検討した。

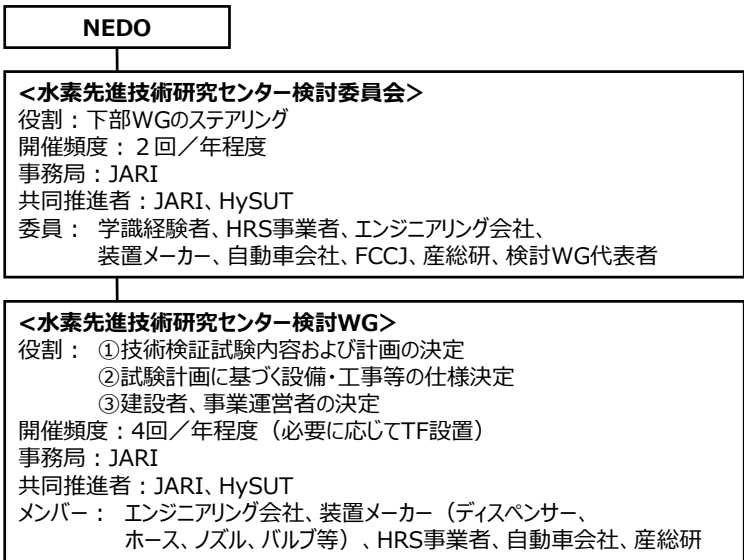
実施項目4：HDV用の新プロトコル対応に係る技術検証

- 水素先進技術研究センター(仮)建設に向け、検討委員会・WG設置準備を進め、仕様検討を開始した。



水素先進技術研究センター(仮)のイメージ

◆各個別テーマの成果と意義



水素先進技術研究センター(仮)審議会体制

実施項目5：高圧水素計量技術に関する国際協調

- マスターメーター法計量精度検査装置を仲介器としたラウンド・ロビンを実施するため、各国の水素燃料計量用流量計・検査装置の整備状況の調査を開始した。

◆成果の最終目標の達成可能性			
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
マスターメーター法計量精度検査方法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・ROR/閉ループ構成設備・大流量マルチノズル式校正器の仕様検討 ・計量システムの経年変化要素等による精度変化影響の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・流量計性能向上改良 ・器差±2.0%級、不確かさ0.4%の達成 ・計量検査周期見直しによる検査コストを1/3に低減 ・マスターメーター法計量検査基準・安全基準策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・国際規格目標値の達成（器差）は十分可能であるが、不確かさ0.4%達成には革新的な技術進展が必至 ・インフラ業界の協力によるデータ蓄積・分析によりコスト低減可能
新プロトコルに対応する水素計量技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の性能評価設備の充実 ・各要素の影響度合いの明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV用プロトコルの水素計量技術に対する影響評価及び不確かさ評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・LDVによる評価を基盤として、HDVの場合に想定される影響度合いを予測し、実証試験設備での模擬試験で系統的データ取得することによって可能
HDV用の水素充填技術等に関する調査・研究	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応機器の手配・性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・HDV対応システム機器の詳細仕様を決定し、水素先進技術研究センター(仮)の試験条件にフィードバックし、技術検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・外製とともに内製HDV対応機器の性能を調査し、最適化することにより達成可能
HDV等の新プロトコル対応に係る技術検証	<ul style="list-style-type: none"> ・水素先進技術研究センター(仮)委員会・WGの立ち上げ 	<ul style="list-style-type: none"> ・2022年度下半期に各開発項目の成果を技術検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・上記調査研究のフィードバック、国際展開、国際標準化等に関する研究開発との連携が重要
高圧水素計量技術に関する国際協調	<ul style="list-style-type: none"> ・水素燃料計量用流量計の性能評価準備 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外製流量計との比較試験による国際整合性評価 ・ラウンド・ロビンの実施による優位性の立証 	<ul style="list-style-type: none"> ・マスターメーター法計量精度検査方法の高度化度合いがカギ

◆成果の普及

	2020年度	計
論文	0	0
研究発表・講演	0	0
受賞実績	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0
展示会への出展	0	0

※2020年12月17日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 検査運用コストの低減を目標に、検査周期や充填試験条件を適正化するための基盤となるデータ取得を開始し、ガイドライン改定に向け、HySUT水素計量タスクフォースに協力を依頼した。
- 大流量化・変動充填・圧力及び熱損失等の影響度合いの明確化とHDV対応機器の調査・手配・性能評価を開始した。

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトにおいて開発される水素燃料計量システム技術及び充填技術は、HDVをはじめとする様々な燃料電池モビリティとインフラの普及に資するものであり、国が策定した第五次エネルギー基本計画や水素基本戦略の目標達成に貢献すると期待される。これらの技術は燃料モビリティユーザーに適正な水素燃料商取引を提供するとともに、水素インフラ事業者に対して運営コストの低減により2020年代後半に設定されている自立化を支えるものである。

◆実用化に向けた戦略



消費者保護の観点から水素ステーションにおける適正な水素燃料商取引のための水素ディスペンサー計量精度検査が必要



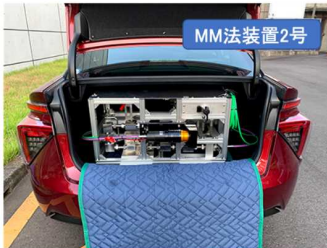
Heavy Duty Truck
fueling 80 kg for 10 min



HDV等、様々なFCモビリティに対応することにより、普及に貢献

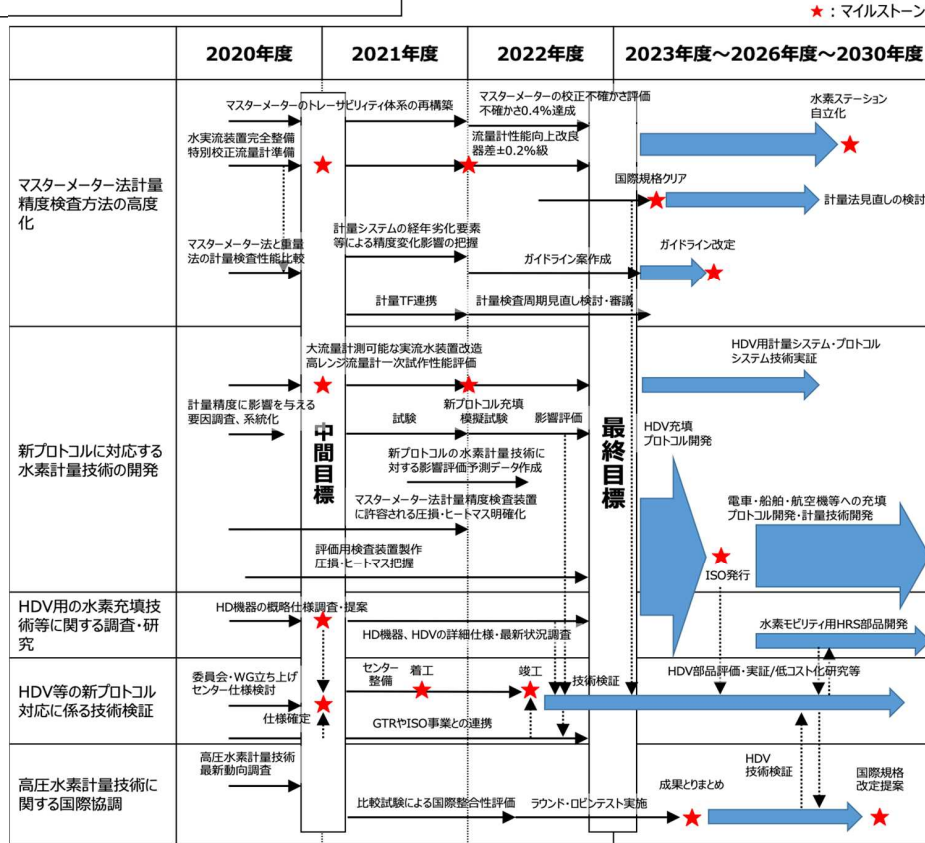


操作性に優れ、コンパクトで効率的・低コストな計量検査の実用化



HDV等の新プロトコルに対応した計測技術と充填技術の開発

◆ 実用化に向けた具体的取組



◆ 成果の実用化の見通し

- マスターメーター法計量精度検査装置による検査精度（最大許容誤差）±2.0%級、不確かさ0.4% ⇒ 国際標準
- 計量精度検査コストの低減 ⇒ 2020年度比で1/3程度
- 水素先進技術研究センターの運用
- HDV新プロトコル開発
- 国際標準化審議での活用（GTR、ISO、SAE、OIML等）

◆波及効果

- マスターメーターの計量性能向上を目標として、トレーサビリティ体系を再構築するため、低圧大流量水素試験設備を整備し、国際法定計量機関勧告OIML R139での計量精度と不確かさをクリアし、国際調和へ向けた活動を推進する予定である。
- 水素先進技術研究センター（仮）での充填技術の効率的技術検証を行い、別事業「国際展開、国際標準化等に関する研究開発」及び「本格普及期に向けた次世代ステーション・充填技術の研究開発」と連携しながら、GTRやISOなどの標準化活動を推進する予定である。

「水素ステーション等機器の ISO/TC197 国際標準化の 推進と水素品質規格のための研究開発」

(中間評価)

(2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

一般社団法人水素供給利用技術協会
一般財団法人日本自動車研究所

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
1 水素ステーション等機器の ISO/TC197国際標準化の推進				
1-1 ISO等国际規格の主導的な制定の取組みと、ISO等国际標準化と国内研究開発等との連携強化	国際議論の進捗に合わせた関連国際規格の発行と日本からの新規提案の具体化	日本他各国にとって問題ある蓄圧器規格の否決の後、日本も共同議長として提案。その他、7件のIS発行とO-ring規格の日本新規提案	○ (新規項目の日本提案2件の承認)	ステーション用蓄圧器については日米共同議長体制で協力の上、日本の意向が反映されるよう確に対応する。
1-2 燃料電池自動車関連のISO国際規格の制定推進	水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行	品質関連3規格（議長国日本他）、充填インターフェース関連2規格を日本の意見を十分に反映し発行	○	ISO国際規格に対する対応の継続
2 標準化活動等に係る国際連携の推進	国際連携の推進のため種々関連会議等への参加	CHSへの Strategic Partner としての参加。その他予定通り対応	○	CHS等国际連携活動の継続
3 ISO水素品質国際規格のための研究開発				
3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査	ISO水素燃料仕様で規定される不純物許容濃度の適正化指針策定	規格改定に必要な試験データ等が必要な成分について3種まで絞り込み、今後の改定提案に資する情報を取り纏めた	○	次期水素品質国際規格改定に向けたデータ取得が必要。
3-2 水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発	適切な管理方法を検討し、水素品質ガイドライン案を作成する。	2度にわたる水素品質ガイドライン改定案の策定の実施。検知管等の可能性を示した。	○	水素品質管理の国際規格改定に合わせたガイドライン改定等の取組み。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

○ 達成状況

プロジェクト全体としては、下記のように事業目的に対して十分な成果を収めている。

- 1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進
 - 1-1. ISO/TC197関連の国際標準化活動を積極的に実施。特に蓄圧器については、日米共同議長体制、O-ring規格等の日本提案が承認され、活動を開始した。ISO/TC197（水素技術）関連の国際標準化活動を積極的に実施。これらは当初想定外の全くの新規項目であり、特に顕著な成果である。
 - 1-2. 水素品質規格、及び水素インターフェースに係るISO国際規格については、SAEとの整合にも留意しながら的確に対応した。
- 2 標準化活動等に係る国際連携の推進：CHSにStrategic Partner として参加するとともに、NOW、DOE等との連携・意見交換を実施した。
- 3 ISO水素品質国際規格のための研究開発
 - 3-1. 次期水素品質規格改定に向け、候補成分絞り込みを実施した。
 - 3-2. 水素中の硫黄等に関する分析方法・検知限度・コスト等を調査した。水素品質ガイドライン改定案の策定を2回にわたり実施した。

○ 成果の意義

ISO/TC197（水素技術）関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、日本の水素・FCV関連の市場での国際競争力強化を図る上で意義が大きい。

2/17

◆各個別テーマの成果と意義 ①

- 1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進
 - 1-1 ISO等国際規格の主導的な制定の取組みと、ISO等国際標準化と国内研究開発等との連携強化

○ 達成状況

全般として、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきたISO/TC197 に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組を実施すると目的を達成し、更に下記の点において当初想定していなかった特筆すべき成果を得た。

- 水素ステーション用蓄圧器 ISO19884 (WG15) については、日米が共同議長体制で協力の上、新規提案を実施し承認された。
- その他、水素ステーション用O-ring規格 ISO19880-7 (WG31) についても日本から提案し承認され、活動を開始している。

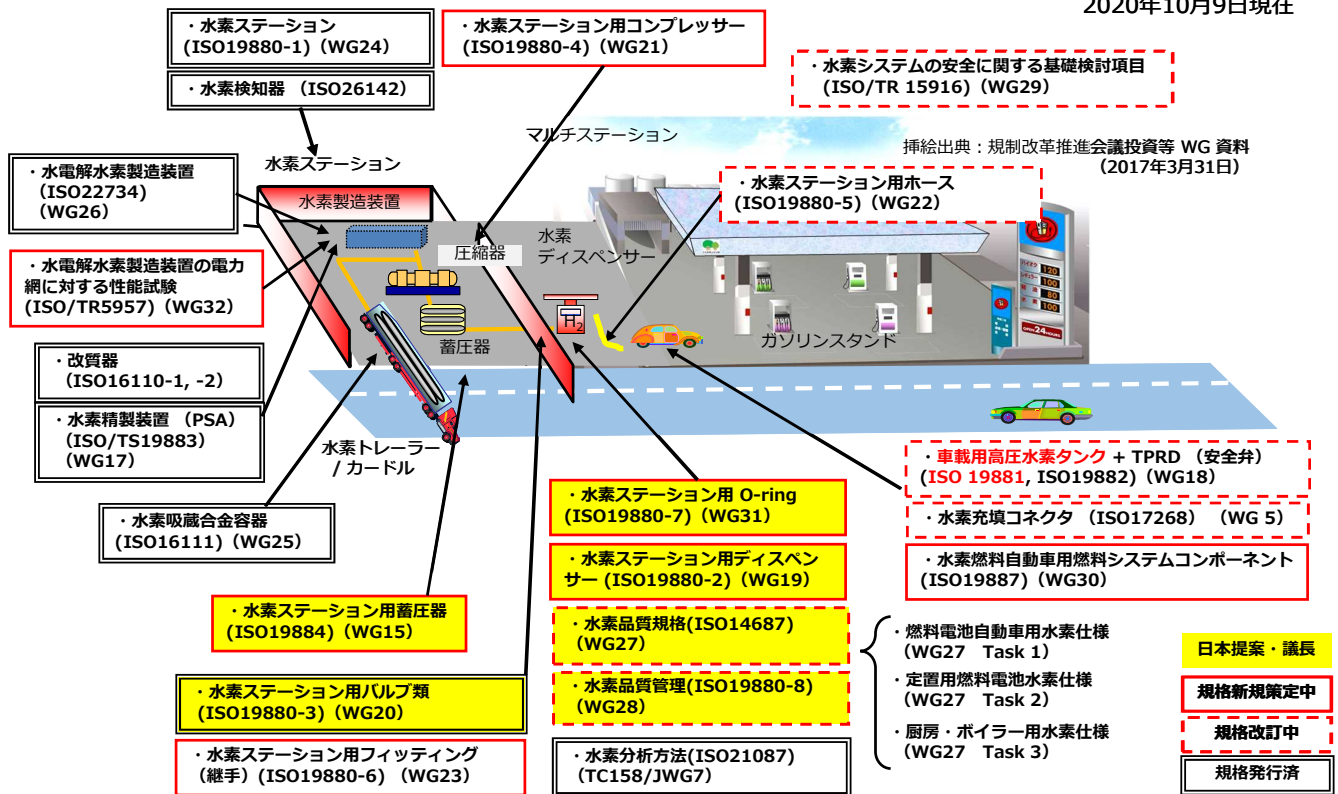
○ 成果の意義

ISO/TC197（水素技術）関連の国際標準化活動を積極的実施する中で、特に日本を議長国とする全くの新規項目の提案が上記のように2件承認されたことは、今後の当該分野の日本の立場を優位にする上で意義が大きい。

3/17

ISO/TC197対象範囲

2020年10月9日現在



14件の ISO 国際規格の発行を達成し、現在、13件の ISO 国際規格を策定・改訂中

4/17

◆各個別テーマの成果と意義 ②

1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進

1-2 燃料電池自動車関連のISO国際規格の制定推進

○ 達成状況

水素品質、充填インターフェース関連国際規格の発行と改定の対応。

- 日本が議長国である水素品質規格ISO 14687(WG 27)および水素品質管理 ISO 19880-8 (WG 28)は、2019年11月および10月にそれぞれ発行された。水素品質管理は、2012年の旧水素品質規格を参照しているため、補遺による改定手続き中。また、次期改定に向けた議論を海外機関と共に進めている。
- 水素充填コネクタ ISO 17268 (WG 5) は2020年2月に発行。重量車用の大流量対応コネクタを考慮した改定議論が計画されており、国内外の関係者との議論を加速する。

○ 成果の意義

ISO/TC197 (水素技術) 関連の国際標準化活動を積極的に実施する中で、日本の意見を十分に反映して発行できたことは、今後の当該分野の日本の立場を優位にする上で意義が大きい。

5/17

◆各個別テーマの成果と意義 ③

2 標準化活動等に係る国際連携の推進

○ 達成状況

- 安全に関する国際連携のため、2019年度より HySUTはCHS (Center for Hydrogen Safety) にメンバーとして参加し、2019年10月にCHSとして開催する初の国際会議 (サクラメント) において日本の状況を報告した。また、2020年7月より、Strategic Partner としてメンバー資格を上げ、より影響力を行使できる体制を築き、国際会議の準備委員を務めるなどCHSの活動に貢献した。
- グローバルな関連技術動向の把握のため、IEA HTCP会議、NOW、DOE等との国際インフラワークショップ会議等に参加して、海外事業者との意見交換、論議を行い、国際連携の推進に積極的に取り組んだ。

○ 成果の意義

上記のように国際連携に必要な活動を積極的に実施する中で、日本の当該分野でのプレゼンスを高め、今後の国際協調に必要なプラットフォームへの参画を容易とする基盤を醸成した。

◆各個別テーマの成果と意義 ④

3 ISO水素品質国際規格のための研究開発

3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査

○ 達成状況

規格改定に必要な試験データ等が必要な成分について3種 (全硫黄化合物の許容濃度緩和、ギ酸の水素品質規格からの削除、ハロゲン化物の絞り込み) まで絞り込み、今後の改定提案に資する情報を取り纏めた。

○ 成果の意義

水素供給事業者および自動車メーカーのバランスをとりつつ次期水素品質規格の改定提案を行い、水素品質管理の負担を低減させることで、分析コストの低減と、水素品質管理に係る新規参入者の増加が期待でき、水素およびFCVの普及拡大に貢献できる。

改定項目の候補	緩和効果	改定に向け必要な検討項目
非メタン炭化水素の絞り込み	-	具体的成分をインフラ側と検討する
ハロゲン絞り込み(Clのみ)	○	Cl以外の成分について、絞り込みを行う場合に根拠となるデータが必要
硫黄化合物の許容濃度緩和	○	燃料電池における硫黄の被毒回復技術に関する検討が課題
ギ酸の規格からの削除	○	規格から除外する場合の根拠となるデータが必要
アンモニアの規格からの削除	×	※アンモニアは悪臭防止法において1ppmの規定があり、この濃度まで緩和しても分析コスト削減効果が見込めない

今後の検討成分

◆各個別テーマの成果と意義 ⑤

3 ISO水素品質国際規格のための研究開発

3-2 水素品質の管理方法適正化による運営費コストダウンの開発

○ 達成状況

- 硫黄等の分析方法について、分析方法・検知限度・コスト等を調査した。特に水素中の硫黄等に関する、検知管等による低コストの品質管理手法の可能性を示した。
- 品質異常発生時の対応、及び水素品質規格 ISO14687の改訂版発行に伴う品質管理手法の整合のため、2度にわたる水素品質ガイドライン改定案を策定した。

○ 成果の意義

上記の品質管理手法の検討、コスト解析、技術動向に合わせたガイドラインの改定により水素供給の発展向上、低コスト化に資することが出来る。

燃料電池自動車用水素中の硫黄分簡易分析調査 (HySUT)

【目的】FCV用の燃料水素中の硫黄分の簡易分析法として硫黄検知管について調査した。(ISO国際規格 (ISO14687) : 全硫黄分0.004ppm)

【硫黄検知管 : H₂S検知用】

種類	検知限度	測定範囲
Aメーカー	0.05ppm (試料100mL採取時)	0.1~3ppm
Bメーカー	0.01ppm (試料200mL採取時)	0.05~0.1ppm

上記の2種の検知管は、ISO規格値0.004ppmを検知できない仕様である。

ここで、試料量を増加させて測定することで、ISO規格値を検知可能であるかを検討した。

【H₂S濃度の測定結果】

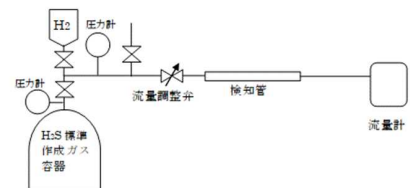
検知管	標準ガス濃度 (ppb)	通ガス総量 (mL)		
		5000	6500	13000
H ₂ S濃度測定値(ppb)				
Aメーカー	4	4~6	5	
Aメーカー	0	×	×	
Bメーカー	4	4~6	5	5
Bメーカー	0	×	×	×

× : 変色せず

【考察】

今回の試験結果より、A,B両メーカーの検知管を用いることによって、H₂ガス中の4ppb程度のH₂S濃度の概略測定を行うことは可能と思われる。再現性もある。

＜検知管測定試験フロー＞



変色前



変色後

水素品質管理ガイドラインの改定について(HySUT)

○ 品質異常時の対応の追加 (2019年9月改訂)

- 水素品質ガイドラインは、FCV用水素の品質仕様であるISO国際規格を遵守することを規定しているが、現状の水素STにおける品質管理方法は、まだ過渡期であり、100ヶ所程度と決して多くない水素ステーションの営業を可能な限り継続することが重要である。
- このため、「水素中の各不純物の影響度 (Severity Class)を勘案して、ISO規格値を越えても、今回新たに設定する上限値の範囲内であった場合は、水素ステーションを営業しながら、決められた対処期間内に水素品質を改善することができる。」旨の品質異常時の対応を追加した。

○ 水素品質規格 ISO14687の発行に伴う改訂 (2020年3月改訂)

- 当初の水素品質管理ガイドラインは、ISO14687-2に準拠し、これを遵守することを前提に策定されていた。
- ISO14687-2は2019年11月にPEM定置用、その他のISOと統合すると共に、新たな不純物許容濃度等がISO14687 Grade Dとして制定されたので、水素品質管理ガイドライン案をISO14687 Grade Dに準拠・遵守する旨の改定を行った。

10/17

◆ 成果の最終目標の達成可能性			
研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
1 水素ステーション等機器のISO/TC197国際標準化の推進			
1-1 ISO等国際標準の制定の主導的取り組みと、ISO等国際標準化と国内研究開発等との連携強化	問題ある規格の否決の後、日本も共同議長として再提案。その他、7件のIS発行とO-ring等の日本の新規提案が承認された。	策定審議中のISO国際規格、並びに、今後新規提案されるISO国際規格や既制定規格の改訂に関しグローバル動向を踏まえつつ、日本案を策定して、制定を主導的に取り進める。	ステーション用蓄圧器、O-ring他の国際標準化活動に積極的に対応し、2022年度までに予定通りの進捗を得る予定
1-2 燃料電池自動車関連のISO国際規格の制定推進	品質関連3規格(議長国日本)充填インターフェース関連2規格を発行した。	水素品質、インターフェース関連国際規格改定に関し日本案を策定して、制定を主導的に取り進める。	2022年度までに予定通りの進捗を得る予定
2 標準化活動等に係る国際連携の推進	CHSへのStrategic Partnerとしての参加。その他計画通り対応している。	CHS等国際連携活動の継続	CHS等に積極的に参加し、2022年度までに予定通りの進捗を得る予定
3 ISO水素品質国際規格のための研究開発			
3-1 水素品質管理方法の適正化のための不純物影響調査	分析コスト削減の視点から、規格改定に必要な試験データ等が必要な成分について3種まで絞り込み、今後の改定提案に資する情報を取り纏めた。	改定に必要なデータを見極め、海外と連携しながら必要な検討結果を取りまとめる	水素品質規格の改定計画に合せ、2022年度までに予定通りの進捗を得る予定
3-2 水素品質の管理方法適正化による運営コストダウンの開発	2度に亘る水素品質ガイドライン改定案の策定、検知管等の可能性を示した。	水素品質管理の国際規格改定に合わせたガイドライン改定等の取組み	水素品質管理等の検討を進め、2022年度までに予定通りの進捗を得る予定

◆成果の普及

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	1 (査読有)	0	1
研究発表・講演	0	1	0	1
受賞実績	0	1	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0	1
展示会への出展	0	0	0	0

※2020年10月9日現在

12/17

◆成果の普及

○ ガスレビュー誌 909号 (2019年度4月1日発行) 掲載

題目：FCV用水素国際規格「ISO14687-2」近日改訂

2012年に発行されたFCV用水素国際規格ISO14687-2の改訂作業が進み、2019年に発行された新版ISO14687 (Grade D) に関する取材記事。

この国際規格の意義、今回の改訂ポイント等について概説している。

13/17

◆知的財産権の確保に向けた取組

- 本プロジェクトにおける現状の国際標準化活動の中で、知的財産権を発生する状況を想定していないが、試験法、資料採取法等に係る技術が発明された際は、それらの技術情報について知的財産権を確保し、NEDO事業共同実施者には基本特許の無償実施について基本合意している。(国内標準または国際規格となる部分については普及を妨げないオープン特許戦略)

	2018年度	2019年度	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	0	0件

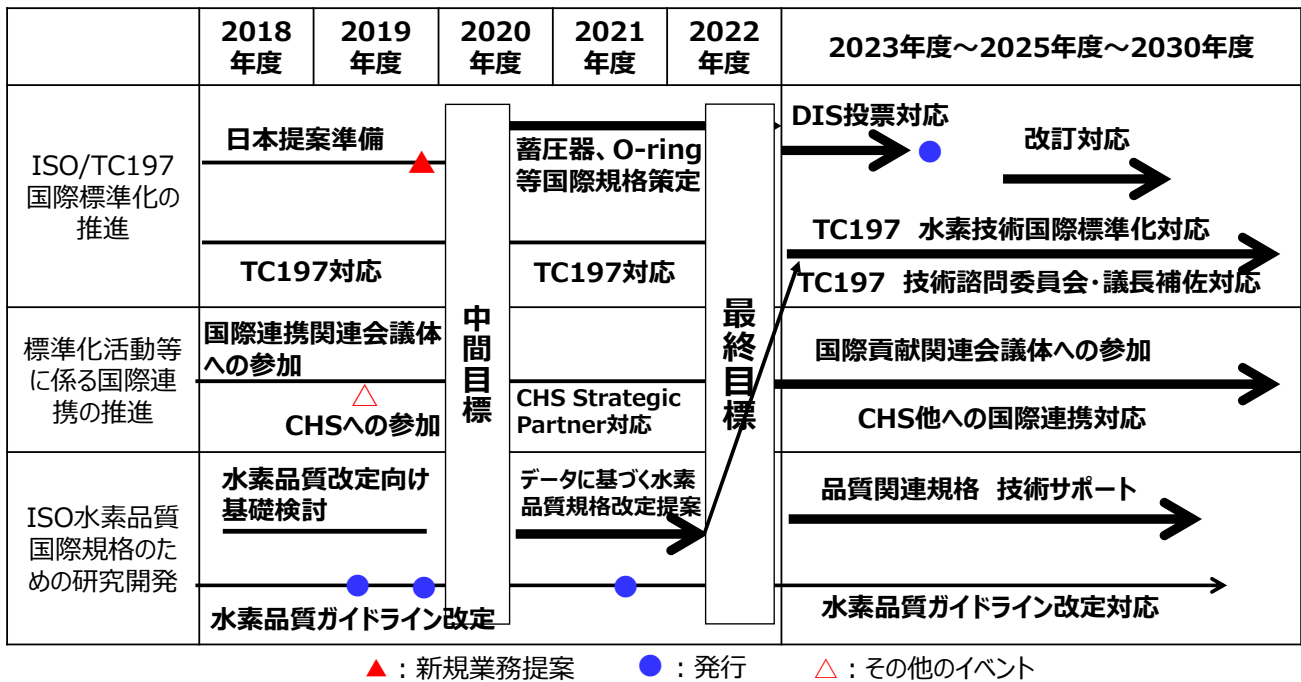
※2020年10月9日現在

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトは、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきたISO/TC197 (水素技術) が対象とする水素ステーション等機器に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組みを実施するものである。更に標準化活動等に係る国際連携を推進し、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。また、上記のISO国際審議を日本が主導し、国際規格策定に資するため、水素品質に関する研究開発を行う。

このように、ISO/TC197関連の国際標準化活動、国際連携及び関連する研究開発を積極的に実施することにより、国際連携における日本のプレゼンスが上がり、水素・FCV関連の市場における日本の国際競争力を強化することが可能となる。以って水素・FCVの大量普及に資することが出来る。

◆ 国際連携・国際標準化に向けた具体的取組



◆ ISO/TC197 国際標準化活動推進による波及効果

日本にとってのメリット：

- 今後も中心的な位置での活動を継続することにより、水素技術に係る国際標準化における**日本のプレゼンスがますます高まる**。
 - ・ これまでも日本の高い水素関連技術から、各国際標準化案件への積極的な参画により、当該TCでの日本の一定のプレゼンスはあったが、活動を維持することにより、影響力、発言力は、さらに高まる。
 - ・ TCの決定事項に対して、不利を避けられる。
 - ・ 今後の大型車（Heavy Duty Vehicle; HDV）の展開など、先端技術に関する情報をいち早く収集できる。

その他の波及効果：

- 日本の水素・FCV関連の国際競争力の強化
 - ・ 日本の持つ高い技術力に対して、国際標準化の側面からそれを裏打ちすることにより、国際市場における日本の国際競争力を維持・発展することが出来る。
- 人材育成
 - ・ 日本からの議長、エキスパートおよび事務局の国際標準化対応等により国際標準化対応に優れた人材の育成につながる。

「燃料電池自動車の国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」(中間評価)

(2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

一般財団法人日本自動車研究所

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
サブテーマ1： FCVの国際技術基準 (HFCV-GTR Phase2等)に関する 国際基準調和・標準 化活動	各審議課題に対する日 本提案(試験法等)を HFCV-GTR Phase2に 提案し、国際合意を得 る。	・日本の提案項目について、 試験法案の提案またはドラフ ト提示まで進捗中。	○	最終ドラフトの国際 合意に向け、継続的 に国際審議に参画す る。
サブテーマ2-1： 容器火炎暴露試験法 見直し	HFCV-GTR Phase2に おいて、再現性向上に 向けた火炎暴露試験法 案を提案する。	火炎暴露試験法の再現性 向上に向けたデータ取得を 実施し、試験法案を提案し、 試験法草案に採用された。	○	新規課題として、長 時間火炎暴露や長 尺容器および小径容 器の火炎暴露試験 法の検討が必要。
サブテーマ2-2： 金属材料の水素適合 性試験法確立と鋼種 拡大	・国際合意可能な水素 適合性試験法案および その技術的根拠を提案 する。 ・SUS304を使用可能 材料として確定するた めの材料データ取得およ びデータ解析を完了す る。	・海外案と日本案を選択可 能とする水素適合性試験法 案をSAE材料専門家会議 で合意し、SAEからHFCV- GTR Phase2に提案された。 ・SUS304市中材を用いた 材料データ取得を完了した。	○	新規課題として、 UNR134(HFCV)で の材料認証方法の 検討が必要。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達 1/23

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- (1) 達成状況：HFCV-GTR Phase2審議に参画し、日本の提案項目について、試験法案の提案またはドラフト提示まで進捗中。特に材料試験法および容器火炎暴露試験法の策定については、日本からの働きかけにより専門家による国際連携体制が構築でき、専門家によるデータに基づく効率的な議論を実施した。
- (2) 成果の意義：国際基準（HFCV-GTR Phase2）に日本案を提案し反映させることで、国際基準を国内規制へ適用可能となる。国際基準（HFCV-GTR Phase2）を国内導入することにより、燃料電池自動車の国際取引（相互認証）が可能となり、燃料電池自動車の低コスト化に繋がる。

2/23

サブテーマ1：FCVの国際技術基準（HFCV-GTR Phase2等）に関する国際基準調和・標準化活動

活動の背景

- ◆ **背景**：水素ステーションの普及・自立化のためにFCVの普及拡大は不可欠である。このグローバルな流通製品であるFCVに安価で高い商品力を持たせるには、合理的な国際基準調和・国際標準化が重要な要素となる。本事業ではこれら国際審議を日本主導で進めるべく、必要なデータを基に各国際会議に参画する。
- ◆ **国内審議体制**：専門家によるHFCV基準検討委員会を構成し、日本提案の取りまとめを行った。

国際審議状況（総括）

- ◆ **国連GTR**：2018年度以降5回の国際会議に参加。進度に合わせて日本提案を計画通り織込み審議継続中。
- ◆ **ISO/TC197 WG18**：2018年に発行された車載用容器およびTPRDのISに日本意見を反映した。GTR Phase2との調和を目指し、改訂準備中。
- ◆ **米国SAE**：実質的なGTRの前哨戦の位置づけとなり、進度に合わせて日本提案を基に審議を誘導した。GTRと連動して審議継続中。

3/23

GTR Phase2における日本提案の目標と達成状況

- ◆ 日本の提案項目について、試験法案の提案またはドラフト提示まで進捗中。
- ◆ 特に材料試験法および容器火炎暴露試験法の策定については、日本からの働きかけにより専門家による国際連携体制が構築でき、効率的な議論が可能となった。

提案項目	目標	達成状況	今後の展望
容器初期破裂圧適正化	初期破裂圧規定 現) 225%NWP ⇒ 新) 200%NWP	<ul style="list-style-type: none"> • 根拠とともに提案し、基準改定ドラフトを提出済 • 中国以外の参加国の合意を得た 	中国の反対論拠に基づく議論の継続、および必要に応じた日本意見の提示
金属材料の水素適合性試験法	使用可能材料拡大に資する、適切な材料試験法の策定	<ul style="list-style-type: none"> • 日米独連携による性能要件試験法案を提案済 • 日, EU賛成、韓：保留、他：反対 で審議中 	最終ドラフトの提示と、各国オプション規定を踏まえたGTR本文への記述方針の審議継続
アルミニウム合金のHG-SCC（湿潤ガス応力腐食割れ）試験法	湿潤環境中の安全性を適切に評価する材料試験法の策定	<ul style="list-style-type: none"> • 試験法の必要性を合意し、試験法案を提案済 • 上記水素適合性試験法と一蓮托生で審議中 	最終ドラフトの提示と、各国オプション規定を踏まえたGTR本文への記述方針の審議継続
容器火炎暴露試験法見直し	試験機関ごとの結果ばらつき低減を可能とする、再現性向上試験法の策定	<ul style="list-style-type: none"> • JARI検証試験結果に基づく試験法案ドラフトがほぼ完成（取りまとめ：SAE） • GTRへのドラフト提案準備中 	最終ドラフトの提示による継続審議 加えて、大型車搭載を想定した長尺容器や、新構造容器(小径容器)の試験法議論の継続

4/23

今後の課題

◆ HFCV-GTR Phase2提案内容の最終合意に向けて

- ✓ 2021年末※の国連GRSPへの全体ドラフト提案に向けて国際審議に継続的に参画し、最終合意に向けて議論を誘導する。そのため国内の審議組織であるHFCV基準検討委員会を引き続き開催し、日本提案方針の承認審議を行う。※ **COVID-19の影響で最終目標議論中**

◆ 新規課題の議論の必要性

- ✓ 国際議論を通じ、高圧ガス保安法領域に関する新たな技術課題が出されており、必要に応じ国内HFCV基準検討委員会に課題提示し、委員会了承のもと日本からの働きかけを継続することが必要。具体的な新規課題の例は、
 - 新構造容器（複数小径容器の接続構造）の試験法案審議
 - 大型車搭載想定の大径容器の試験法案審議
 - 容器使用期限の延長審議（15年使用 ⇒ 25年使用 への延長） など

◆ GTR長期課題およびUNR134(相互認証基準)審議への継続対応検討

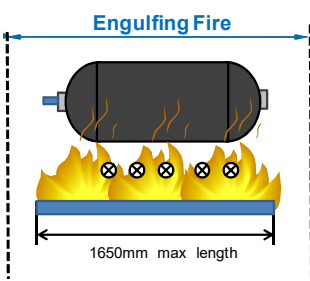
- ✓ 2021年のGTRドラフト提案後に想定される長期課題審議への継続参加が必要。
- ✓ GTRドラフト策定後のUNR134の審議への参画と、国内法への落とし込み対応の検討。

5/23

2-1：容器火炎暴露試験法見直し

容器火炎暴露試験法見直しの背景

- ◆現在の火炎暴露試験（HFCV-GTR Phase1）の再現性が低いことが問題となっている。
- ◆安全性を確保しつつ、不必要に過剰な容器性能の要求や、試験コストの上昇等を抑えるため、最小限の試験法見直しで再現性を向上させる必要がある。



現在の規定
 火源：LPG
 温度：容器底部のみ規定


A試験機関



B試験機関



C試験機関



D試験機関



試験結果（TPRD※作動時間、内圧上昇率など）が各試験機関によって異なる問題が発生している。

※TPRD：Thermal-activated Pressure Relief Device（熱作動式安全弁）

容器火炎暴露試験法の再現性向上のための調査

- ◆既存データの解析やこれまでの数値シミュレーション解析により、火炎暴露試験の再現性向上には、①火炎高さ、②火炎の幅、③火源の均一性、④風の影響が重要であることが分かった。このため、それぞれの影響を実験と数値シミュレーションで調査した。



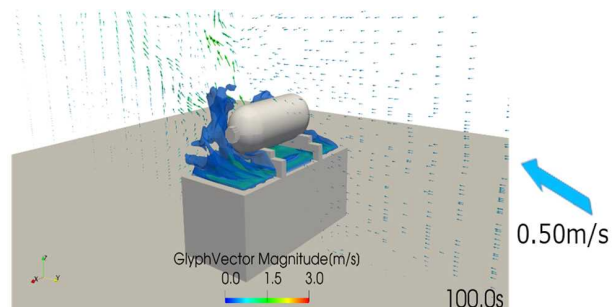
350-429kW/m²

1020kW/m²

火炎高さの影響



火源の均一性



風の影響

容器火炎暴露試験法の再現性向上のための調査

- ◆ 容器火炎暴露試験の再現性向上に向けた試験手順
 - ✓ 火源を統一化するために、ダミー容器によるプレ試験により火源(LPG)の燃料量を定める方法を規定⇒試験手順としてドラフトへ反映
 - ✓ 各国間の火源の発熱量の違いによる影響を除去するため、火源のLPGガス流量はバーナの単位面積(A)当たりの発熱速度(HHR/A)で換算⇒ドラフトへ反映
- ◆ 基準バーナの選定
 - ✓ 各試験機関が入手できる基準バーナをCSAと協力しながら調査。⇒火源の均一性や風の影響が少ないブンゼン型バーナを選定。⇒バーナー仕様としてドラフトへ反映。



(a)バーナの全体



(b)バーナ口金の配置



(c)バーナ口金

基準バーナの選定

8/23

容器火炎暴露試験法の再現性向上のための調査

- ◆ バラツキ影響を及ぼす因子とその対応
 - ① 火炎高さ
 - ✓ 火炎高さを規定するための許容されるHRR/A範囲を導いた。⇒試験法ドラフトに採用。
 - ② 火炎の幅
 - ✓ 火炎高さと火炎の幅の関係や火炎幅の違いによる容器底部温度を調べ、火源の統一化には火炎の幅の規定が必要。さらに、容器の直径に影響しない火炎幅を調べ、火炎幅500mmで規定。⇒試験法ドラフトに採用。
 - ③ 火源の均一性
 - ✓ 使用したバーナ火源が均一であるかを調べるために、赤外線熱画像装置を用いた方法を提案。本方法は試験法ドラフトに採用。
 - ④ 風の影響
 - ✓ 風速1m/sで、容器頂部温度の低下と温度変動が生じる。そのため、試験中の火源近傍で風をモニターリングする手段として、容器頂部温度のモニターリングで判断可能。⇒試験法に提案するため、さらにデータ構築中。
 - ✓ 火源と風防の距離を1m以上離す必要がある。⇒風防設置要件として試験法ドラフトに採用。
 - ⑤ 各国試験機関とのRound Robin試験の実施
 - ✓ CSAと小規模のRound Robin試験の実施し、再現性があることが分かった。⇒現在、他機関での実施および結果待ち状態

9/23

今後の課題

◆ ラウンドロビンについて

- ✓ 各国でのラウンドロビンの実施がまだ少なく、現在、CSAとJARI以外に公開されたデータはない。今後、ラウンドロビンの結果によっては新たな課題が生じる可能性があり、それに迅速に対応できる体制を継続する必要がある。

◆ 容器が所定の時間内に耐えればPRDが作動しなくても合格とする試験法について

- ✓ 火災試験が制限時間に達した場合の冷却方法・冷却速度の定義、実火災後のセカンドレスポンドーに対する脱圧時の安全確保のために、脱圧用の緊急脱圧弁の作動有無や附属品類の耐久性などの検討が今後必要になる。

◆ HDV対応のための長尺容器や小径容器の火災暴露試験方法

- ✓ 1.65mを超える長尺容器やバッテリー形状をした小径容器の火災暴露試験の議論が始まっている。火源の大きさや延焼速度などの課題があり、これらの新たな課題に対応するために、本事業を継続する必要がある。

10/23

2-2：金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大

◆ 水素適合性試験法確立

- ✓ **背景：** HFCV-GTR Phase1では、金属材料に関する規定は見送られ、各国の基準を適用することとされた。国際流通を円滑にするため、材料の水素適合性に関する規定が必要である。そこで、前NEDO事業で水素適合性試験法の日本案を作成した。
- ✓ **目的：** 前NEDO事業で作成した水素適合性試験法の日本案を国際提案する。海外の意見・データを考慮して試験法案を修正し、国際合意を得る。

◆ 鋼種拡大

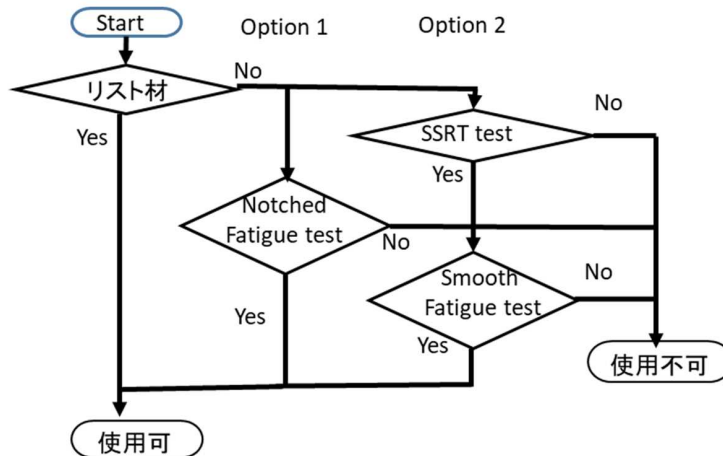
- ✓ **背景：** 国内基準で、容器および附属品で使用可能材料はアルミニウム合金6061T6とステンレス鋼SUS316L（ニッケル当量規制あり）のみ。
- ✓ **目的：** 自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能材料として確定するための材料データを取得する。

11/23

金属材料の水素適合性試験法 審議状況

◆ 水素適合性試験案 :

- ◆ Option 1 : 切欠き疲労試験 (米国案)
- ◆ Option 2 : SSRT試験 + 平滑疲労試験 (日本案)
(Option 1 と Option 2 の選択制)



◆ 今後の課題 : 技術的根拠(Rationale)の作成を行い、国際合意を得る。

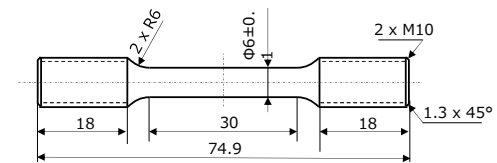
12/23

鋼種拡大 : SUS304の実証試験計画

◆ 現在GTRに提案中の水素適合性試験法 (日本案) に基づき、以下の試験を行う。

SSRT test

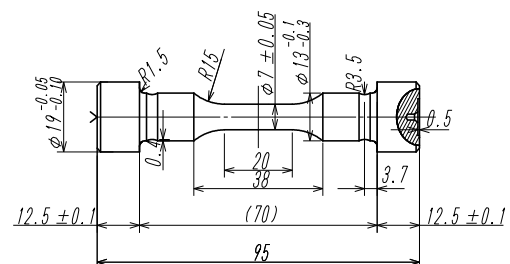
- Specimen : Smooth round bar
- Strain rate : 5×10^{-5} /s
- Environment : 105MPa H₂ gas, air
- Temperature : R.T.(25±5°C), -45±5°C



SSRT specimen geometry
Based on ASTM E3 Specimen 3

Fatigue life test

- Specimen type : Smooth round bar
- Test type : Tension-compression test (R= -1)
- Test frequency : 1 Hz
- Environment : 90MPa H₂ gas, air
- Temperature : R.T.(25±5°C), -45±5°C



Fatigue life test specimen geometry

13/23

SUS304市中材の材料組成および強度特性

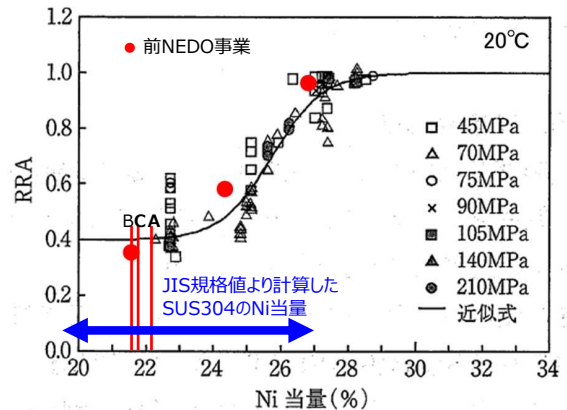
◆ 材料組成 (ミルシート値 : mass%)

SUS304	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	Mo	Cu	N	Fe	Ni当量※
JIS Spec.	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00 ~10.50	18.00 ~20.00	-	-	-	-	Bal.	
A	0.04	0.54	1.24	0.030	0.001	8.21	18.25	0.1	-	-	-	Bal.	22.1
B	0.05	0.55	0.92	0.037	0.002	8.05	18.16	0.23	-	-	-	Bal.	21.6
C	0.051	0.50	0.96	0.031	0.002	8.04	18.24	0.18	0.12	0.25	0.037	Bal.	21.8

※Hirayamaの式より算出
 $Ni当量 = 12.6[\%C] + 0.35[\%Si] + 1.05[\%Mn] + [\%Ni] + 0.65[\%Cr] + 0.98[\%Mo]$

◆ 強度特性 (ミルシート値)

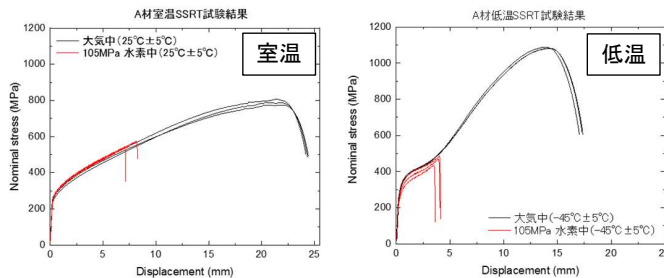
SUS304	Ys (MPa)	Ts (MPa)	El (%)
JIS spec.	≥ 205	≥ 520	≥ 40
A	264	639	65
B	283	602	63
C	244.0	653.7	65.8



Ni当量とRRAの関係
 (出展：山田ら, 高圧ガス 49(10), 885-893, 2012-10) 14/23

SUS304市中材の水素中SSRT試験結果

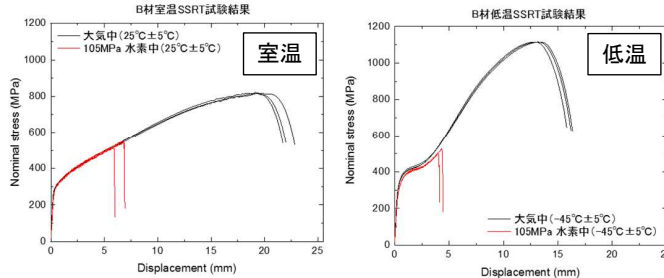
【A材】



A, B, C材ともGTR試験法案の判定基準を満足する

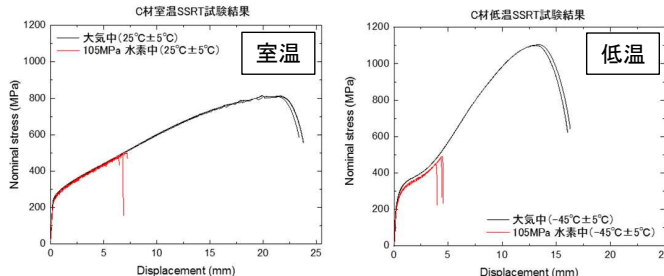
➡ 高圧水素ガス中でのYs (0.2%耐力) は大気中とほぼ同等

【B材】



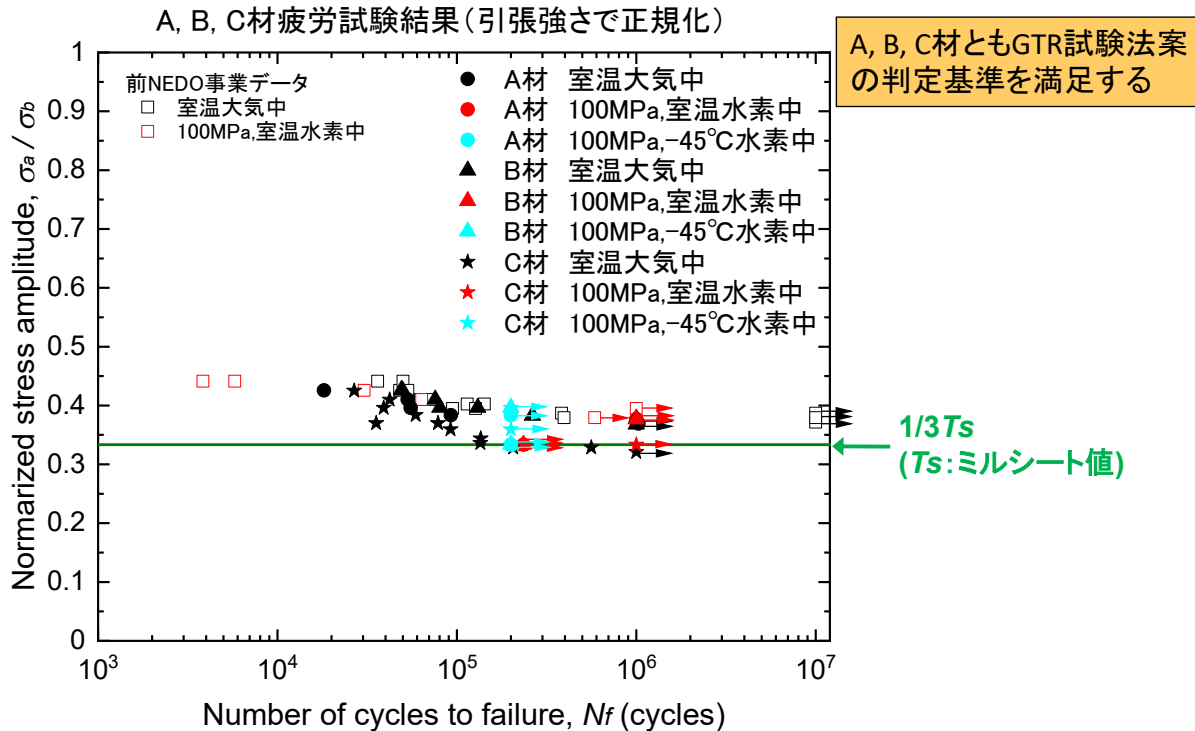
➡ 高圧水素ガス中でのYs (0.2%耐力) は大気中とほぼ同等

【C材】



➡ A, B材に比べYsが若干低いが、高圧水素ガス中でのYs (0.2%耐力) は大気中とほぼ同等

SUS304市中材の水素中疲労試験結果



- ◆ 100MPa、室温 (25±5℃)、-45℃±5℃水素ガス中において、1/3Tsの試験応力で $N_f > 2 \times 10^5$ 回まで破断しないことを確認

◆ 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
サブテーマ1 : FCVの国際技術基準 (HFCV-GTR Phase2等) に関する国際基準調和・標準化活動	HFCV-GTR Phase2審議に参画し、日本提案の国際合意に向けて、審議を推進中。ドラフトドキュメントが作成されつつある。	HFCV-GTR Phase2審議に参画し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制した合理的な基準となるよう審議を推進して国際合意を得る。	国際連携体制も整っており、各国専門家との審議に基づき、技術基準の国際合意を得られる予定。
サブテーマ2-1 : 容器火炎暴露試験法見直し	火炎暴露試験結果およびシミュレーション解析結果等から、試験手順およびバラツキ影響を低減するための方策を提案し、一部が試験法草案として採用された。	HFCV-GTR Phase2において、再現性向上に向けた火炎暴露試験法案を提案する。	・既存の容器に関わる再現性向上に資するデータ取得は完了する見込み。
サブテーマ2-2 : 金属材料の水素適合性試験法確立と鋼種拡大	・海外案と日本案を選択可能とする水素適合性試験法案をまとめた。 ・自動車用水素部品の低コスト化に向け、廉価材であるSUS304を使用可能材料として確定するための材料データ取得を完了した。	・国際合意可能な水素適合性試験法案およびその技術的根拠を提案する。 ・SUS304を使用可能材料として確定するための材料データ取得およびデータ解析を完了する。	・技術的根拠の作成を完了することで達成見込み。 ・破面解析等のデータ解析を完了することで達成見込み。

◆成果の普及

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	0	7	0	7

※2020年10月9日現在

18/23

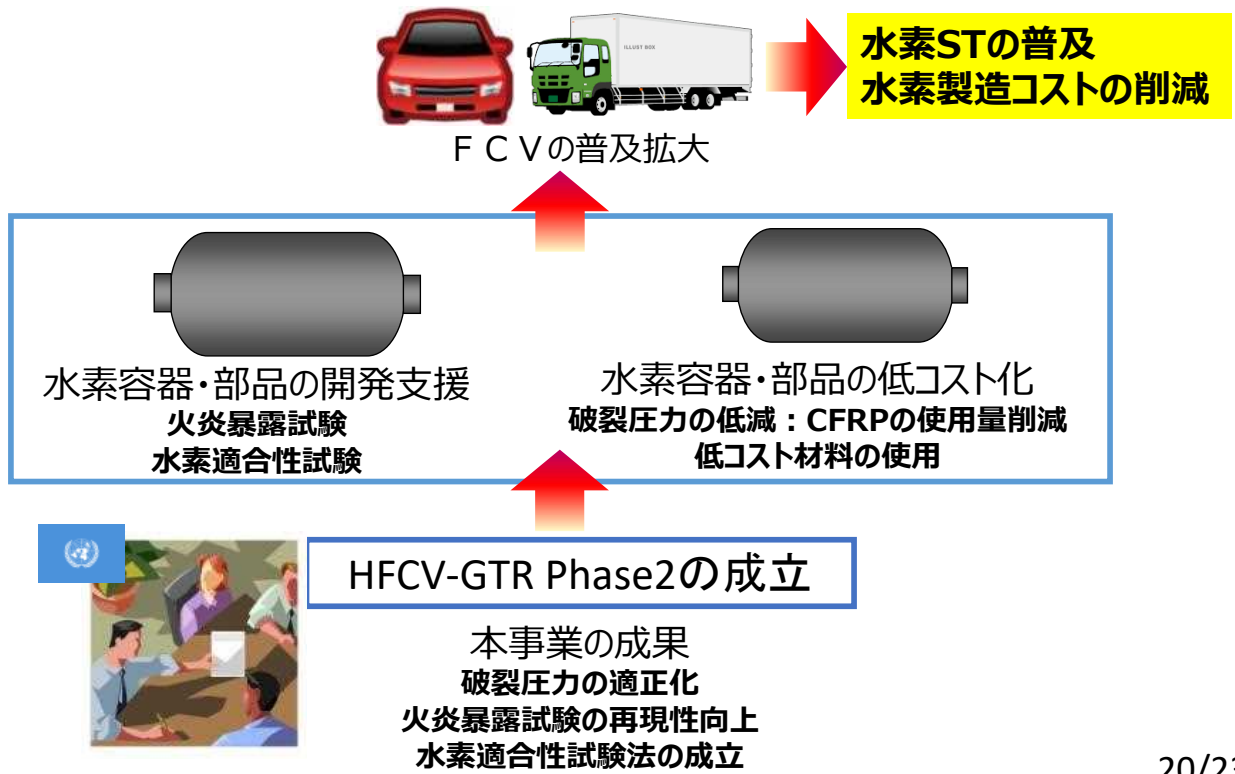
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

当該研究開発に係る技術基準・国際標準等の社会的利用 (HFCV事業者の部品開発・認証取得等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る技術基準等の試験実施 (委託試験等) により、企業活動(開発支援等)に貢献することを言う。

19/23

◆ 実用化に向けた戦略

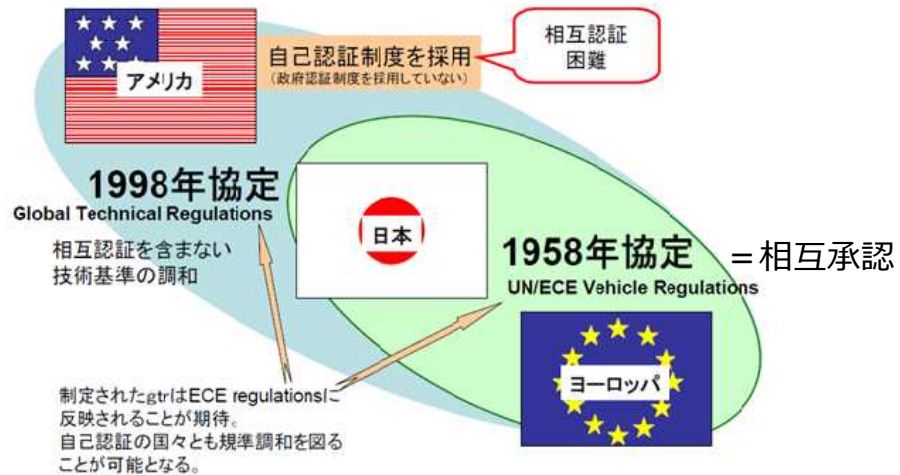


◆ 実用化に向けた具体的取組

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度～2028年度～2032年度	
本研究開発	→					燃料電池自動車の普及拡大	
HFCV-GTR	試験法提案		IWG=技術審議	提案	GRSP WP29 (最終審議・発効)		※ COVID-19の影響で 最終目標日程議論中
UN-R				ドラフト合意	提案		GRSP WP29 (最終審議) 発効
国内導入		試験法確立		基準調和 GTR Phase2	発効		相互承認開始 発効
			運営, 制度確立	基準調和 UN-R Phase2	発効		

◆成果の実用化の見通し

- (1)HFCV-GTR Phase2に、容器破裂圧の適正化および使用可能材料の拡大につながる日本の提案が反映され、合理的に改定されることで、容器の軽量化・コスト削減が可能となる。
- (2)HFCV-GTR Phase2発行後、UNR134(HFCV) Phase2が審議され、発行される予定。UNR134 Phase2により、燃料電池自動車の国際取引において、使用材料も含めた相互認証が可能となり、燃料電池自動車の認証効率化、低コスト化に繋がる。



(独)交通安全環境研究所ホームページより

22/23

◆波及効果

- ✓ 本事業で得た技術により、日本が遅延なく、かつ再現性が高い試験が実施可能となり、認証期間を早め、かつ試験費用の低減に繋がる。

「水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」（中間評価）

（2018年度～2020年度）

プロジェクトの概要（公開）

株式会社大和総研

2020年12月17日

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
【1】最新動向調査	世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な 最新動向を把握 する。	水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を日々ウォッチし、最新情報を隔週報告し、四半期ごとに情報の精査・傾向分析を行った。（情報リスト40本、総ニュース件数1,621件）	△達成見込み（2021年2月）	調査期間終了まで、継続して情報収集・分析を行う。
【2】国別政策・市場調査	主要国の水素燃料電池に関する 政策・市場動向を正確に把握 ・分析する。	米国、欧州、ドイツ、中国、韓国について水素政策の全体像を体系的に整理した。HRSの導入状況について整理した。	△達成見込み（2021年2月）	調査期間終了までの最新情報、詳細情報を追加する。
【3】方向性検討	上記結果を踏まえ、 国内政策への示唆 を得る。	各国比較や国際機関の報告書などを分析し、各国の特徴から得られる示唆を検討した。	△達成見込み（2021年2月）	【1】、【2】の追加情報をもとに、各国の特徴や示唆について検討を深める。

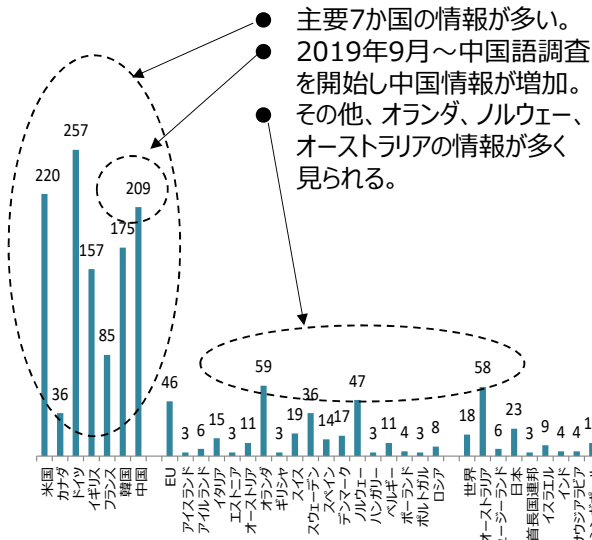
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

【1】最新動向調査：調査開始（2018年12月）から現在（2020年6月）までの集計結果

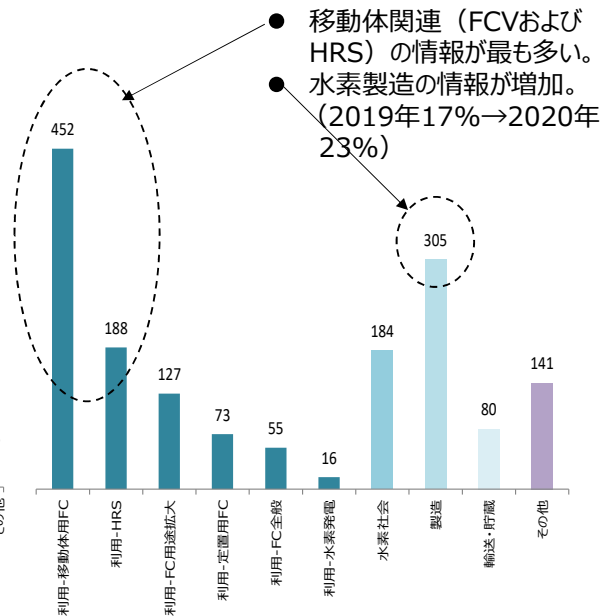
最新動向の分析：国別件数

(ニュース数1,621本÷20本/週)



- 主要7か国の情報が多い。
- 2019年9月～中国語調査を開始し中国情報が増加。
- その他、オランダ、ノルウェー、オーストラリアの情報が多く見られる。

最新動向の分析：テーマ別件数



出所：大和総研作成

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

【1】最新動向調査：2019年（通年）の注目トピック

	政策	ビジネス・経済	
		FCV	水電解、他
前半（1～6月）	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 韓国：“Hydrogen Economy Roadmap 2040”を発表。2030年FCV180万台に ✓ EU：グリーン水素生産地保証CertifHyスタート ✓ EU：“Hydrogen Roadmap Europe”を発表 ✓ 中国：全人代「2019年政府活動報告」に水素が初めて記載 ✓ WECによる報告書“New Hydrogen Economy” ✓ IEAによる報告書“The Future of Hydrogen” ✓ 英国：“Climate Change Act 2008”を改定。2050年ネットゼロ目標を法制化。CCSと水素（水電解6-17GW）が重要 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hyundai (韓)：“FCEV Vision 2030”を発表。 ✓ Nikola (米)：アリゾナ州に400社（35,000台/年）のFCトラック製造用地を確保 ✓ Bosch (独)：車両用FC大量生産でPowercellと提携 ✓ Audi (独)：FCV開発計画を加速。2021年に小型シリーズ販売 ✓ Alstom (独)：世界最大規模のFC列車27台を受注 ✓ Cummins (米)：Hydrogenics、Loop Energyの株式取得 ✓ Faurecia、Michelin (仏)：水素事業を統括するJVを設立 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ KOGAS (韓)：2030年までに水素製造施設25か所、パイプライン700kmを新設 ✓ ITM Power (英)：PLP Bessemer Parkに製造用地を確保。世界最大1GW/年の電解槽を製造 ✓ PlugPower (米)：NY州Rochesterの施設拡張を発表 ✓ Northern Gas Networks (英)：HyDeploy；2020年から、既存パイプラインに20%のグリーン水素混合実証開始 ✓ H21；2020年1月から、水素へ100%転換プログラムの第2段階開始
	後半（7～12月）	<ul style="list-style-type: none"> ✓ カリフォルニア：FCEBs（バス）のロードマップを公表 ✓ IRENAによる報告書“Hydrogen: a renewable energy perspective” ✓ 中国：国家発展改革委員会が「産業構造調整ガイダンスカタログ（2019）」で水素機器を奨励 ✓ 米国：FCHEAが“Road Map to a US Hydrogen Economy”を発表 ✓ 豪：“Australia’s National Hydrogen Strategy”発表 ✓ EU：2050年クライメートゼロに向けGreenDeal発表 	

出所：政府機関、各社プレスリリース等を基に大和総研作成

◆各個別テーマの成果と意義

【1】最新動向調査：2020年（上半期）の注目トピック

	政策	ビジネス・経済	
		FCV	水電解、他
前半（1～6月）	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 米国：DOEがFCトラックに関する技術目標を策定（1/28） ✓ EU：“European Industrial Strategy”でグリーンとデジタルの2大転換を推進。Clean Hydrogen Alliance（3/10） ✓ オランダ：“Government Strategy on Hydrogen”を発表（4/6） ✓ 中国：中国エネルギー法案で水素をエネルギーと定義（4/10） ✓ 中国：再エネ14・5（案）で水素を貯蔵手段と認識（4/14） ✓ 中国：新エネ自動車助成金、全国型から都市集中型（4/23） ✓ EU：“2x40GW Green Hydrogen Initiative”で電解設備の見直しを提示（4/15） ✓ EU：経済回復策“Next Generation EU”で7,500億ユーロを投入。グリーン水素加速を含む（5/27） ✓ ノルウェー：“government's hydrogen strategy”を発表（6/4） ✓ ドイツ：“National Hydrogen Strategy”を承認（6/10） ✓ 韓国：水素経済促進のファンドを設立。340億ウォン超見直し（6/15） ✓ EU：“A Hydrogen Strategy for a climate-neutral Europe”を発表（7/8） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Weichai（中）：2万台のFCエンジン工場を始動（4/2） ✓ Hyzon Motors（米）：FCバス1,000台を受注（4/7） ✓ Loop Energy（カナダ）：南京市公共バスから3年間7,000台の50kWFCレンジクスター受注（4/14） ✓ Volvo, Daimler（独）：大型車両向けFCで新会社立ち上げ（5/11） ✓ 豊田（日）：中国で6社連合の商用車用のFC研究開発会社設立（6/6） ✓ SFC Energy（独）：adKorと電波塔用非常電源を受注。年内100か所、最終1,500か所配備。（6/8） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ITM Power（英）：Ørstedと洋上風力と電解槽の統合で協力（4/6） ✓ Korea Electric Power Research Institute, Korea Midland Power（韓）：水素製造技術の共同開発を開始（4/27） ✓ 英国のガス産業団体：政府に9億ポンドのグリーン水素インフラ投資を要求（5/28） ✓ Shinopac（中）：天然ガス水素製造10万m³/hを開始（5/30） ✓ Thyssenkrupp（独）：水電解の生産能力をGW規模に拡大（6/8）

出所：政府機関、各社プレスリリース等を基に大和総研作成

◆各個別テーマの成果と意義

【2】国別政策・市場調査：各国の水素政策①

		
<p>(気候変動・エネルギー政策)</p> <ul style="list-style-type: none"> • シェール革命により自給率90%超の資源大国に • エネルギー需要に占める輸送部門の割合が高い(41%) • パリ協定離脱。一方で、州政府同盟により州内でのGHG削減に取り組む動き • カリフォルニアを中心としたZEV規制が11州に拡大 <p>(水素政策)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2005年「エネルギー政策法（EPA 2005）」で水素関連技術開発が位置付けられる • 現在は、“DOE Hydrogen and Fuel Cell Program”（2011年）に基づきDOE FCTOがR&Dを推進 	<p>(気候変動・エネルギー政策)</p> <ul style="list-style-type: none"> • エネルギー需要に占める、業務・家庭部門（暖房需要）の割合(38%)が高い • GHG排出量の中長期目標として、2030年までに1990年比40%減、2050年までに実質ゼロを設定 • 発電電力量に占める再エネの割合(33%)が高い <p>(水素政策)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2008年に水素R&Dを担う官民パートナーシップFCH-JUを設立。現在、FCH-JU第2期を実施中 • 地球温暖化への中長期計画である“Clean Planet for All”（2018）では、水素とP2Xのシナリオを設定 • 2020年7月に“EU Hydrogen Strategy”を発表。グリーン水素の製造目標と必要なコスト等を提示 	<p>(気候変動・エネルギー政策)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 石炭資源が工業化に寄与した歴史 • メルケル政権のもと、2011年より脱原子力、再エネを主体とする“Energiewende”を推進。再エネ電源比率は35%に • 2020年目標達成が厳しいなか、2050年に排出ゼロ目標を設定。2019年“Climate Action Law”にて2030年に55%削減目標を法制化 <p>(水素政策)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2006年に水素革新プログラム（NIP）がスタート。BMVIのもとにNOWが設立され管理。現在第2フェーズ • 2020年6月“National Hydrogen Strategy”策定。水素製造と、工業・運輸利用を推進

◆各個別テーマの成果と意義

【2】国別政策・市場調査：各国の水素政策②



(気候変動・エネルギー政策)

- 北海油田枯渇により徐々に資源輸入国へ
- 燃料転換によるGHG削減は一段落、次の対策として2017年“Clean Growth Strategy”を制定。**2035年までにガソリン・ディーゼル新車販売を禁止**など
- 2019年改正“Climate Change Act”で**2050年ネットゼロ**を法制化

(水素政策)

- 2018年のDfTによる“Road to ZERO”のもと、EV・FCEV、鉄道の電化・FC化を推進
- BEISによるEnergy Innovation Programmeのもと、産業部門の水素転換、低炭素水素製造プロジェクトを推進
- **水素戦略を策定中**。(注力分野は産業と輸送(海運)、暖房)



(気候変動・エネルギー政策)

- 急激な経済成長が一段落。**深刻な大気汚染問題**
- エネルギー供給の60%以上を石炭が占める
- 発電電力量に占める再エネの割合が比較的高い(31%)。出力抑制率は風力12%、太陽光6%と高い

(水素政策)

- 2012年「省エネ・新エネ自動車産業発展計画」を機にEV導入が加速
- 2016年「省エネ・新エネ自動車ロードマップ」でFCVの導入目標が設定
- 2019年の「政府工作報告」、「新エネルギー自動車に関する補助政策改善通知」等からFCVシフトが加速



(気候変動・エネルギー政策)

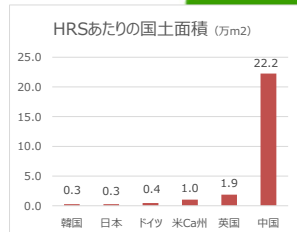
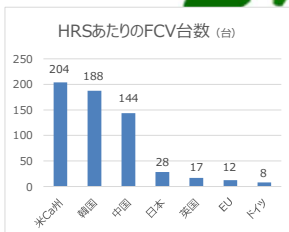
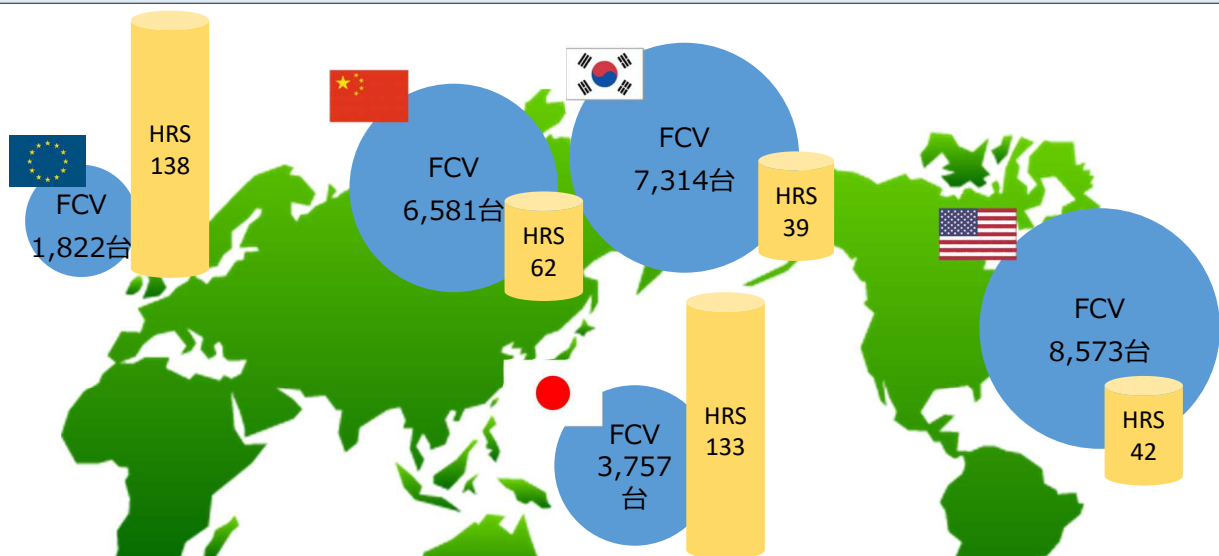
- エネルギー消費量は増加中にあり世界第8位に浮上
- エネルギーの**海外依存度は85%以上**
- 発電電力量に占める**再エネの割合(3%)は低い**

(水素政策)

- 2019年1月に“**Hydrogen Economy Roadmap 2040**”を発表。3月にHyNet設立。12月に技術ロードマップ発表。FCVと定置用FCで高い目標
- 水素に関する国家間協定(ノルウェー、サウジアラビア、イスラエル、オーストラリア)に積極的

◆各個別テーマの成果と意義

【2】国別政策・市場調査：各国のFCV・HRSの導入状況



出所：米国 (CaFCP,2020/9)
 EU* (FCH-JU,2020/10) *英国、ノルウェー、スイス含
 韓国 (IPHE,2020/6)
 日本 (FCV:IPHE,2020/3,HRS:NeV,2020/8)
 中国 (FCV:中国汽協会,2020/6,HRS:前瞻産業研究院,2020/3)

◆各個別テーマの成果と意義

【2】国別政策・市場調査：ドイツのHRS導入状況

図1：HRSの分布



図2：運営主体

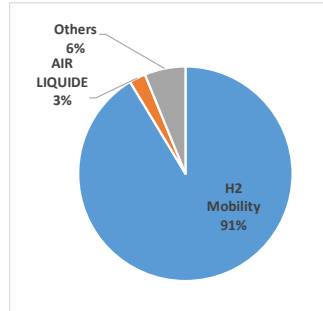


図3：技術提供者

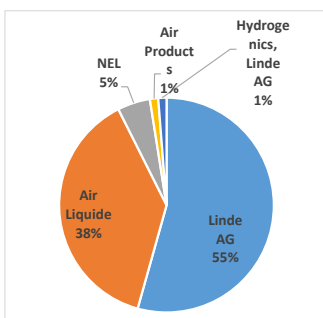
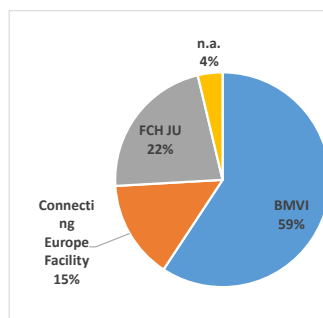


図4：資金支援者



- 2020年9月現在、**81か所**のHRSが開所 (図1)
- HRSの9割は2015年に設立された合弁会社**H2 Mobility***が**計画・建設・運営**している (図2)
*H2 Mobilityへの出資者はAir Liquide(仏), Daimler(独), Linde(独), OMV(奥), Shell(蘭), TOTAL(仏)の6社。アソシエイトパートナーとしてBMW(独), HONDA(日), TOYOTA(日), VW(独), HYUNDAI(韓), NOW(独国家水素・燃料電池機構)が就任
- 設置されているHRSの技術提供者は**Linde (独) とAir Liquide (仏)**でシェアを2分している (図3)
- 全てのHRSで**700bar**の供給が可能。350bar併設、バス用350bar併設がそれぞれ5か所ある
- NOW (BMVI) によるNIP、FCH2JUによるH2ME、TEN-T CEFによるCOHRS等から**最大50%の支援**がある。HRSの資金提供者は、NIPが約6割、H2MEが約2割、COHRSが約1.5割を占める (図4)

出所：FCH-JUウェブサイトを基に大和総研作成

◆各個別テーマの成果と意義

【2】国別政策・市場調査：カリフォルニアのHRS導入状況

図1：HRSの分布

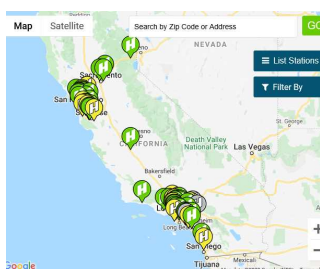


図2：運営主体

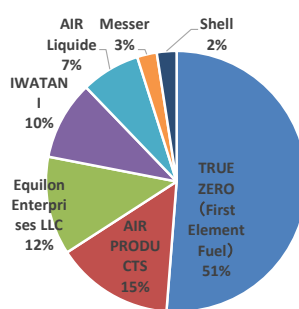


図3：水素供給形態

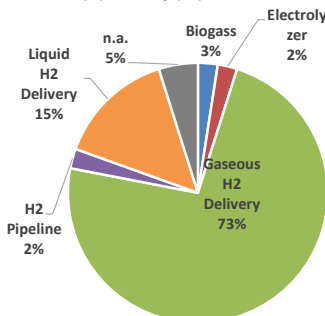
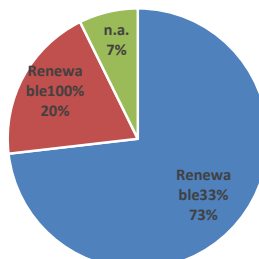


図4：再生可能水素比率



- 2020年9月現在、**41か所**のHRSが開所 (図1)
- HRSの5割は**First Element Fuel (TRUE ZERO) ***が**建設・運営**している (図2)
* 2013年設立。Ca州エネルギー委員会、AQMDのほか、トヨタ、本田技研から資金支援を受けHRS網の拡大を図ってきた。2019年には三井グループ、Air Liquide から追加の資金提供を受ける。2020年9月、Ca州エネルギー委員会は、同社を含む3社に追加の36か所に3,910万ドルの資金提供を発表 (108万ドル/か所)
- 設置されているHRSへの水素ガス供給は、気体水素が73%を占め、液化は15%程度 (図3)

供給量の3分の1を再生可能水素にすることが求められている (SB1505)。100%を達成しているHRSも2割程度見られる (図4)

HRSは350bar/**700bar**の併設が主流 (一部で700barのみ)。これまでの**平均供給金額は、\$16.51/kg***

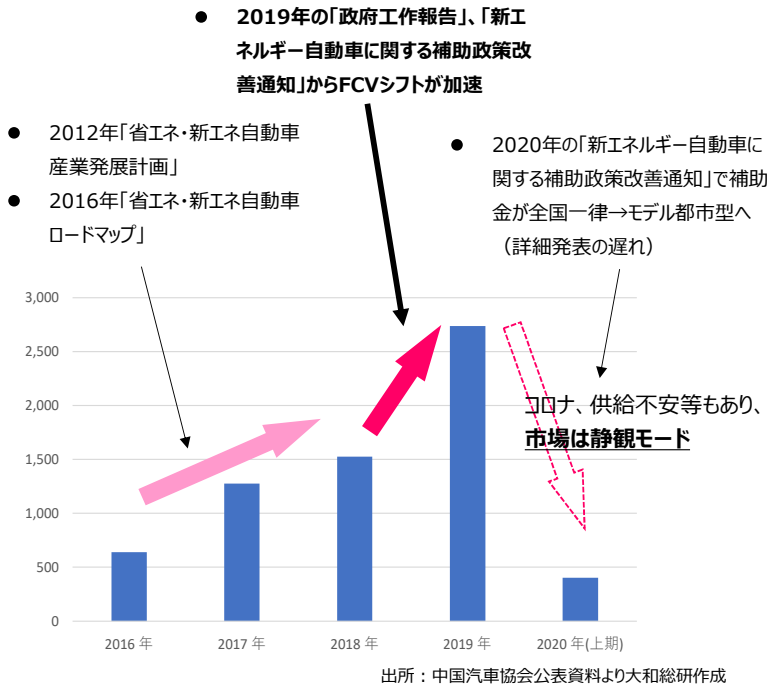
* 2019 Joint Agency Report

出所：CaFCPウェブサイトを基に大和総研作成

◆各個別テーマの成果と意義

【2】国別政策・市場調査：中国のFCV・HRS導入状況

FCV販売台数の推移（中国）



地方都市の概況

- 2019年末までに、26省・都市で水素発展計画が策定される。高いFCV導入目標と、産業チェーンの確立を目指す。

山東省（例）：済南、青島、煙台の3市で企業誘致（104km²）を開始。2025年にFC5万台、FCV2万台、HRS100か所、生産額1,000億円を目標とする。現在、HRS6か所、7路線のFCバスを運行し、FCV導入は242台。3月にイ柴グループが2万台規模のFC工場を稼働。

今後注目 補助金の対象となるモデル都市の選定

HRSの整備

- 2019年末までに52か所設置。2020年度上期に11か所新設し、30か所建設中（過去最高の見込み）
- 中国石化、中国石油など大企業によるHRS建設参入の発表
- 導入目標は、2025年に300か所、2030年に1,000か所

今後注目 「省エネ・新エネ自動車産業発展計画」と「省エネ・新エネ自動車ロードマップ」の改訂

◆各個別テーマの成果と意義

【3】方向性検討：各国の政策・戦略

	エネ需要 (Mtoe)	水素戦略等	水素戦略の概要	注力分野						水素製造目標など
				交通	民生	発電	産業	水素輸入	水素製造	
米国	2,155 (第2位)	"Road Map to A US Hydrogen Economy" (2019/11)	業界団体（FCHEA）により、米国が世界の水素エネルギーにおいてリーダーシップをとる道筋が示された。水素が再生可能エネルギーの展開をサポートするとともに、エネルギーの輸送・貯蔵、燃料、熱源などとして多面的に利用可能であることを強調。	○普通、中大型	○オンサイト					[2030年]水素需要は1,400~1,700万トン（うち、既存需要は1,300万トン）
EU	1,619 (-)	"EU Hydrogen Strategy" (2020/7)	電化が困難なセクターの脱炭素化と同時に、エネルギーキャリアとしての水素の確立を目指す。再生可能水素と短中期的には低炭素水素を活用。官民連携のEuropean Clean Hydrogen Allianceを設立し、投資拡大とグリーン水素需要拡大を図る。共通基準や認証などの導入、最先端の技術への助成など。	○中大型			○化学			[2030年]グリーン水素製造1,000万トン。電解槽は40GW以上
ドイツ	311 (第6位)	"The National Hydrogen Strategy" (2020/6)	水素製造が重要であり、2030年までに5GW、早ければ2035年に追加の5GWの電解槽を導入する。水素利用の主体は、産業分野と交通分野になる。ただし、関連法規（EEG、RED II）と整合をとる。これまでのNIPの取り組みを強化・補完する。	○普通、中大型、列車				○	○グリーン	[2030年]グリーン水素需要14TWh（≒42万トン）=電解槽5GW
英国	175 (-)	(策定中)	-	○中大型、船舶	○暖房				○ブルー	-
韓国	282 (第9位)	"Hydrogen Economy Roadmap 2040" (2019/1)	世界クラスのFCV・FC技術、石油プラントでの経験、LNGインフラの活用により、水素経済で世界をリードする。FCVと定置用FCの導入を進め、将来的に水電解や水素輸入からの水素供給を目指す。水素経済への移行により、2040年までにGDP2.5%成長に寄与し、42万人の雇用を創出する。	○普通、中大型			○		○	[2030年]水素需要194万トン（うち、既エネ利用は13万トン）
中国	3,077 (第1位)	"新エネ・省エネ自動車技術ロードマップ" (2016/10) "中国製造2025" (2018/2)	技術面で性能向上、寿命向上、低温稼働、コスト低減を目指し、2030年にFCV100万台、HRS1000か所導入を目指す。	○中大型						[2030年] HRS1,000か所、FCV100万台

◆各個別テーマの成果と意義

【3】方向性検討：各国戦略の特徴と示唆（案）

◆野心的な気候変動目標の設定と明確な水素の位置づけ（欧州、ドイツ）

- 欧州、ドイツは、気候変動に対して「2050年ネットゼロ」の野心的な目標を掲げている。
- ドイツの水素戦略では、冒頭に、「水素の利用拡大が気候変動対策に大きく依存する」ことが明文化。EUの水素戦略においても、「気候中立に向けて、まずエネルギー効率化、次に再生可能エネルギーの利用拡大、そして、電化等が困難な分野で水素を適用する」と水素を位置付けている。
- 野心的な目標設定と同時に、水素と気候変動目標との関連性、集中分野を明確にする戦略。

◆産業化推進にあたって、技術より実用優先の戦略方針（中国）

- 中国がFCVを本格導入するにあたって、①EVとのすみわけ、②従来水素との調整、③ステーション等供給分布、④コア部品の技術力、等の課題を回避するため、一般乗用車ではなくバス・トラック、専用車への初期戦略構造を構築した。
- 振興産業へのアプローチは、最先端技術ではなく、国情に合う最適ソリューションをとる戦略。

◆中央政府による明瞭なコンセプトと成功モデルによるビジネス期待の醸成（米国）

- 米国では、エネルギー省（DOE）の省エネ・再エネ部（EERE）の下に、水素・FCを統括する組織として水素燃料電池技術所（HFTO）が置かれ、全体の動きの統一性を高めている。
- 水素・FCに関連するR&DはH2@Scaleというコンセプトを軸に、他部署や多省、研究機関等との連携、コンソーシアムの形成などを進めながらHFTOが中心となって統合的に展開されている。
- 先行するカリフォルニア州の実績が水素ビジネス拡大の期待を醸成し、その期待が多様なアプリケーション開発や水素供給ビジネスへと広がりつつある。中央政府と地方政府による役割分担による戦略。

14/16

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標（2020年度末）	達成見通し
【1】最新動向調査	水素・燃料電池に関する主要機関の公開情報を継続的に収集している。	世界各国の最新情報を継続的に収集し、水素燃料電池に関する世界的な 最新動向を把握 する。	調査期間終了まで、継続して情報収集・分析を行うことで達成する。
【2】国別政策・市場調査	米国、欧州、ドイツ、中国、韓国について水素政策・市場等の全体像を体系的に整理している。	主要国の水素燃料電池に関する 政策・市場動向を正確に把握 ・分析する。	調査期間終了までの最新情報、詳細情報を追加することで達成する。
【3】方向性検討	各国の特徴から得られる示唆について検討している。	上記結果を踏まえ、 国内政策への示唆 を得る。	【1】、【2】の追加情報をもとに、各国の特徴について、より詳細に分析し検討を深めることで達成する。

15/16

◆成果の普及

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	0	1	1	2

※2020年10月9日現在

～研究発表・講演～

■2020年1月30日 公益財団法人原総合知的通信システム基金主催特別セミナー
「水素・燃料電池技術開発戦略と新展開」

■2020年12月3日 近畿経済産業局主催
「水素エネルギー」セミナー（仮題）

～（参考）大和レポート～

- ・2019年2月22日「走り始めた燃料電池自動車（FCV）～「長期戦略」における水素の役割～」
- ・2019年11月8日「ゼロエミッションに向けた取り組み～水素の利活用から考える～」

**超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業/
国内規制適正化に関わる技術開発/
本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる
研究開発
(中間評価)
(2018年度～2020年度 3年間)
プロジェクトの概要 (公開)**

一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)

2020年12月17日

1/64

事業概要 (1)

1. 期間

開始 : 2018年6月

終了 (予定) : 2021年2月

技術基準案 :

一般高圧ガス保安規則等の改正に資する資料
例示基準への引用に資する資料

2. 最終目標

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	最終目標 (2020年度)
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出、その課題に対する対策とその進め方の明確化
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	無人運転を可能とする技術課題の整理、それを可能とする安全対策案の検討・立案
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	最終目標
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準 (省令や例示基準) の改訂に資する技術基準案の作成
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成

2/64

事業概要（2）

2. 最終目標

③（1） 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	最終目標
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容や役割の明確化
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成

③（2） 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	最終目標
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化

3/64

事業概要（3）

3.成果・進捗概要

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	成果内容	自己評価
a)無人運転の実施に伴う法的課題の検討	・法的な課題の抽出と整理 ・理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成	○
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	・従来のリスクアセスメントでの人による安全対策の抽出 ・従業員等の平常時、緊急時の作業に関する課題整理 ・遠隔監視のための安全対策の立案 ・緊急時の対応策の立案	○
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	・省令に資する技術基準案及び省令（一般則7条の4、製造細目告示、基本通達）制定に向けた対応 ・例示基準案 ・安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案 ・運営のガイドライン案	△ 2020年度未達成見込

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	成果内容	自己評価
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	・検討方針策定 ・リスクシナリオ抽出結果 ・リスクアセスメントのガイドライン	△ 2020年度未達成見込
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	・二次元モデル（PFD、P&ID等も含めて） ・三次元モデル	○
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	・リスクアセスメント結果 ・合理的な安全対策 ・シビアアクシデント対応策	△ 2020年度未達成見込
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	・技術基準（省令・例示基準）の見直し案	△ 2020年度未達成見込
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	・検査・点検方法の見直し項目は無いとの結論	○

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

4/64

事業概要（4）

3.成果・進捗概要

③（1） 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	成果内容	自己評価
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	・専任ステーションの事業者、保安監督者、従業者の職務と保安体制を整理	○
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	・兼任スタンドモデル構築・課題抽出	○
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	・m-SHEL分析によるヒューマンファクターの検討や同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメント結果	○
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討	・兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業者の必要要件抽出・整理	○
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	・ 危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案 ・ 基本通達制定に向けた対応	○

③（2） 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	成果内容	自己評価
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	・検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築	○
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	・高圧ガス保安法での実施→保安距離確保が困難 ・ガス事業法での可能性を提案	△ 2020年度未達成見込

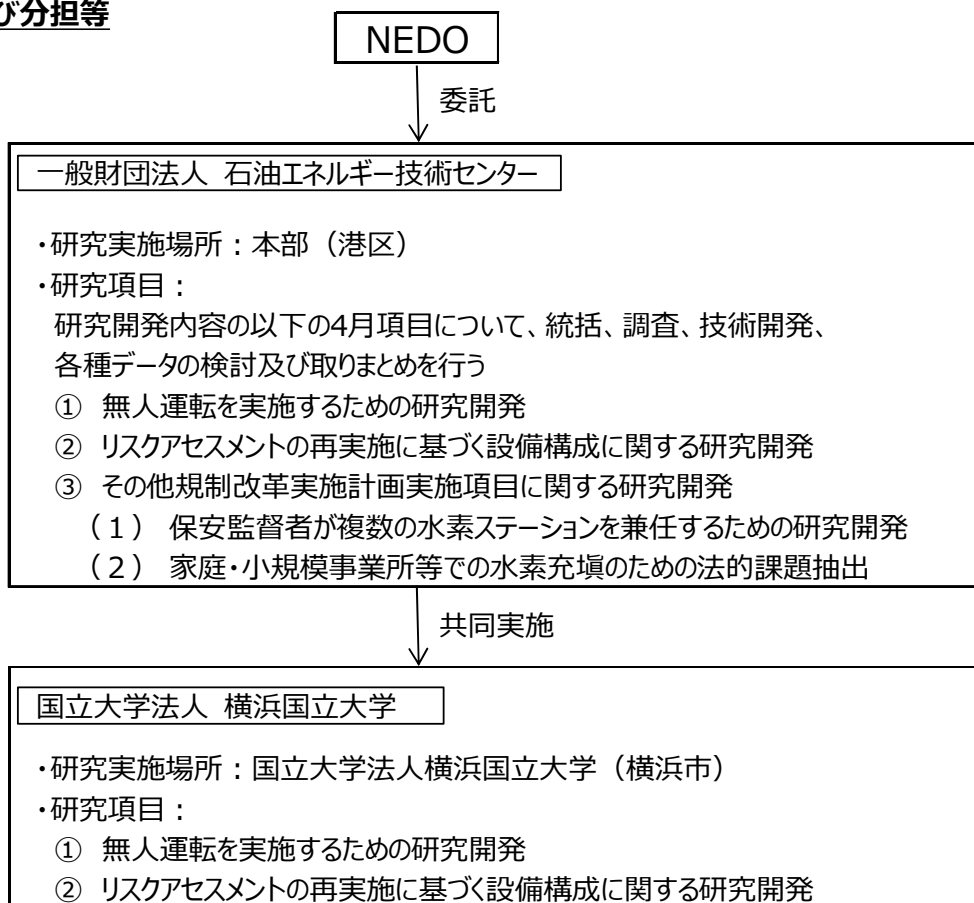
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

5/64

事業概要（5）

●実施体制および分担等

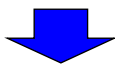
体制図



6/64

社会的背景

- ・2014年閣議決定の「第4次エネルギー基本計画」で、エネルギーの3E+Sのため、水素社会の包括的な検討を進めるべき
- ・2016年改訂の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で水素ステーションとFCVの目標数が示された
- ・2017年閣議決定の「規制改革実施計画」では水素ステーションやFCVに係る37項目
 - No.29a：保安監督者の複数スタンド兼任の許容
 - No.30：水素スタンド設備の遠隔監視による無人運転の許容
 - No.32：一般家庭等における水素充填の可能化
 - No.38：水素スタンド設備に係る技術基準の見直し
- ・2017年の「水素基本戦略」で2030年の水素価格やステーション目標数提示達成には上記規制改革案件の早期実行が求められる
- ・2018年閣議決定の「第5次エネルギー基本計画」もこれらの目標数を踏襲
- ・2019年3月の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」で個別テーマのスケジュール提示



事業の目的

- ・ロードマップで示された2020年160か所、2025年320か所の実現には、事業自立化に向けたステーション整備費・運営費・水素調達コストの低減が不可欠で、それに向けた技術開発が重要

⇒2018年度からのNEDO事業『超高压水素インフラ本格普及技術研究開発』

(上記事業のNEDO公募要領)

2025年以降の水素ステーション本格普及、

2030年以降の水素ステーション事業自立化、に向け、

国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化の研究開発

水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発

NEDOの研究開発の目標

- ・国内規制適正化に向けた省令等の制定・改訂に資する技術的裏付けデータ取得及び技術基準案の作成
- ・本格普及期を想定した水素ステーションのガイドライン案作成

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性③

水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～ (全体)

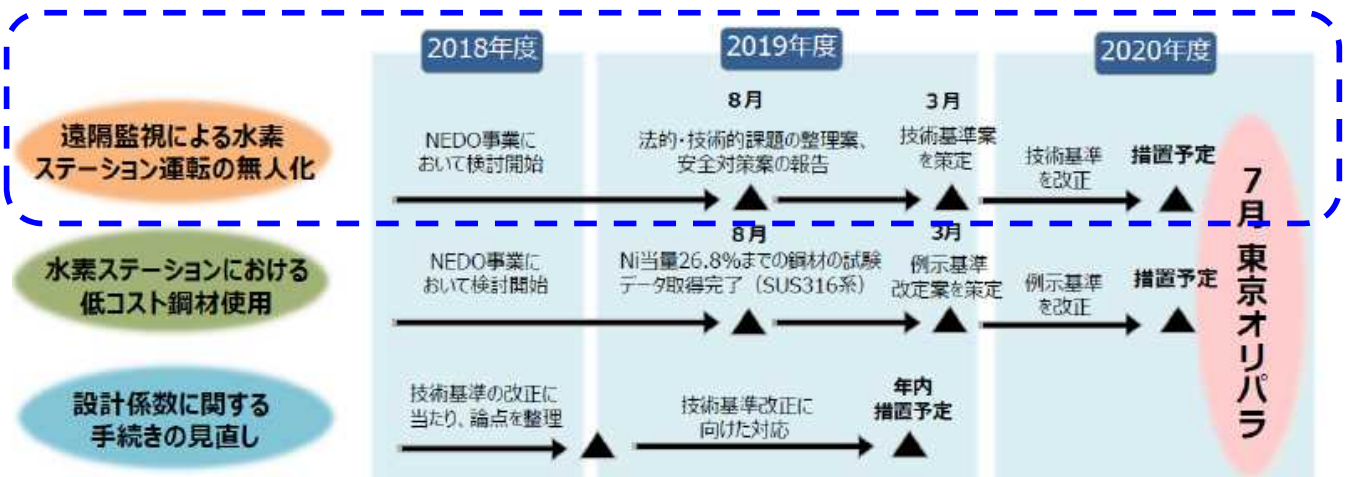
- 基本戦略等で掲げた目標を確実に実現するため、
- ① 目指すべきターゲットを新たに設定(基盤技術のスペック・コスト内訳の目標)、達成に向けて必要な取組を規定
- ② 有識者による評価WGを設置し、分野ごとのフォローアップを実施

	基本戦略での目標	目指すべきターゲットの設定	ターゲット達成に向けた取組
利用	FCV 20万台@2025 80万台@2030	2025年 ● FCVとHVの価格差 (300万円→70万円) ● FCV主要システムのコスト (燃料電池 約2万円/kW→0.5万円/kW 水素貯蔵 約70万円→30万円)	● 徹底的な規制改革と技術開発
	ST 320か所@2025 900か所@2030	2025年 ● 整備・運営費 (整備費 3.5億円→2億円 運営費 3.4千万円→1.5千万円) ● ST構成機器のコスト (圧縮機 0.9億円→0.5億円 番圧器 0.5億円→0.1億円)	● 全国的なSTネットワーク、土日営業の拡大 ● ガルガスタ/コボニ併設STの拡大
	バス 1200台@2030	20年代前半 ● FCバス車両価格 (1億500万円→5250万円) ※トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める	● バス対応STの拡大
発電	商用化@2030	2020年 ● 水素専焼発電での発電効率 (26%→27%) ※1MW級ガスタービン	● 高効率な燃焼器等の開発
	グリッドパリティの早期実現	2025年 ● 業務・産業用燃料電池のグリッドパリティの実現	● セルスタックの技術開発
供給	水素コスト 30円/Nm ³ @2030 20円/Nm ³ @将来	20年代前半 ● 製造：褐炭ガス化による製造コスト (数百円/Nm ³ →12円/Nm ³) ● 貯蔵・輸送：液化水素タンクの規模 (数千m ³ →5万m ³) 水素液化効率 (13.6kWh/kg→6kWh/kg)	● 褐炭ガス化炉の大型化・高効率化 ● 液化水素タンの断熱性向上・大型化
	水電解システムコスト 5万円/kW@将来	2030年 ● 水電解装置のコスト (20万円/kW→5万円/kW) ● 水電解効率 (5kWh/Nm ³ →4.3kWh/Nm ³)	● 浪江実証成果を活かしたモデル地域実証 ● 水電解装置の高効率化・耐久性向上 ● 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性④

水素・燃料電池戦略ロードマップからの抜粋

- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画(2017年6月9日閣議決定)で掲げられている37項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要3項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



青破線：「規制改革実施計画」のNo.30：水素スタンド設備の遠隔監視による無人運転の許容
本事業の①無人運転を実施するための研究開発 に該当

本研究開発
 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発 を
 国が支援する多くの理由として、NEDO提示の選択肢からは、

- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい
- 水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献
- 規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要

が該当

2. 研究開発マネジメントについて (1) 研究開発目標の妥当性①

◆研究開発目標と根拠

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	研究開発目標	根拠
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	無人運転を可能とするための国内外法規制の整理と課題抽出 その課題に対する対策とその進め方の明確化	無人運転実現には一般則に新規条項制定が不可欠 国内法規と無人運転が先行している海外法規から課題を抽出、解決策や進め方検討が必要
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	無人運転を可能とする技術課題の整理 それを可能とする安全対策案の検討・立案	無人運転実現に必要な技術課題を挙げ、遠隔監視などの設備面やソフトウェアの安全対策の検討と立案が不可欠
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成 省令案以外の各種技術基準案の作成	省令制定には、それに資する技術的裏付けとそれを記載した技術基準案が不可欠、省令以外の例示基準改訂などにも技術基準案は不可欠

一般則：一般高圧ガス保安規則

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	研究開発目標	根拠
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	定量性・汎用性の高いリスクアセスメント実施には最新の知見を活かした水素ステーションに最適なリスクアセスメント手法の構築が不可欠
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーする狭小ステーションモデルの構築	リスクアセスメントの対象となる水素ステーションモデルは多様な設備構成をカバーでき、リスク影響が敷地外に及び易い狭小なモデルが必要
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	リスク算定結果に基づき定量的に説明可能な安全対策の合理化案の提案	定量的なリスクアセスメント結果を技術的な裏付けとするベースに安全対策の合理化案の提案が不可欠
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準（省令や例示基準）の改訂に資する技術基準案の作成	省令や例示基準の改訂には、それに資する技術的裏付けとそれを記載した技術基準案が不可欠
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	検査・点検方法に関する技術基準の見直し案の作成	安全対策の合理化により設備の検査・点検方法に変更が生じる際には検査・点検に関する技術基準の見直し案が必要

2. 研究開発マネジメントについて（1）研究開発目標の妥当性②

◆研究開発目標と根拠

③（1）保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	研究開発目標	根拠
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	保安監督者専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業者の業務内容や役割の明確化	保安監督者兼任の要件を考えるためには、現状の専任されている保安監督者の業務だけでなく、事業者や従業者の役割の把握も不可欠
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出	保安監督者が複数ステーションを兼任するための要件検討やリスクアセスメントのためのモデル作成	保安監督者兼任の要件検討には、特に緊急時のリスクアセスメントが必要であるが、特に人に関わるモデルを作成することが必要
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターも考慮した兼任の要件につながるリスクアセスメントの実施	保安監督者兼任ステーションの緊急時対応の要件抽出のためにはヒューマンファクターを考慮した緊急時を想定したリスクアセスメントが不可欠
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	保安監督者兼任のための保安監督者、事業者、従業者、立地等の要件の設定が規制の見直しには不可欠
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	省令解釈変更の裏付けとなる、上記要件を反映した各種技術文書は省令解釈変更に不可欠

③（2）家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	研究開発目標	根拠
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築	家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出のためにはベースとなるモデルが必要
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化	そのモデルの家庭への設置における法的課題の抽出は本テーマに不可欠

13/64

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性①

◆研究開発のスケジュール

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	→				
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	→	→	→	一般則7条の4第1項対応 ・遠隔ステーションの保安監督者兼任の法整備過程対応	
c)無人運転実施のための技術基準案の策定			→	-----	-----→

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	→		→		
b)既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	→				
c)リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案		→			
d)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し			→	-----	-----→
e)リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し			→		

実施計画書： → 参考： -----→

14/64

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性②

◆研究開発のスケジュール

③（1）保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出		→			
b)水素ステーションを兼任した場合の保安体制等のモデルの構築と課題の抽出		→			
c)水素ステーションを兼任した場合のリスクアセスメントの実施		→			
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案（必要要件）の検討		→			
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成			→→		

保安監督者兼任の法整備過程対応

③（2）家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 参考	2022年度 参考
a)家庭用小規模充填設備のモデル構築	→	→			
b)充填設備モデルに基づく法的課題抽出		→	→		

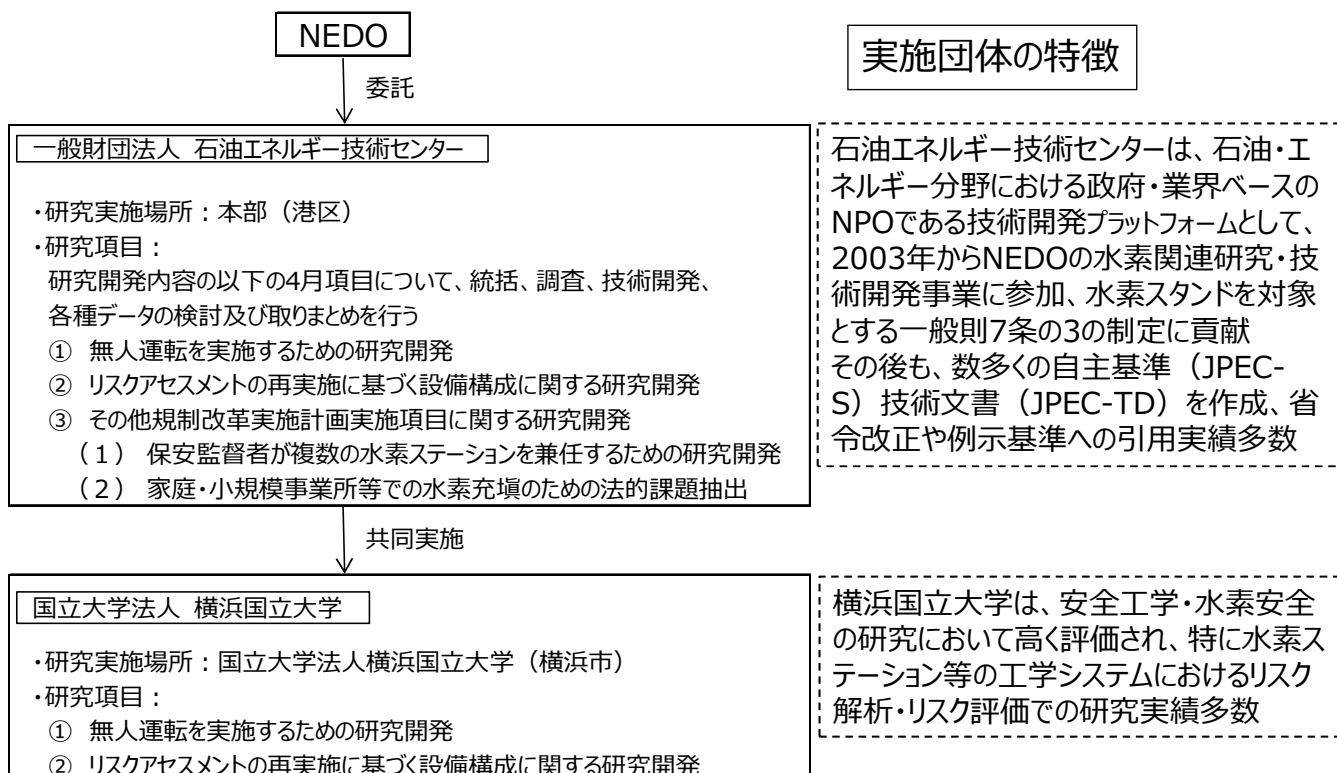
実施計画書： → 参考： ……→

15/64

2. 研究開発マネジメントについて（3）研究開発の実施体制の妥当性①

◆研究開発の実施体制

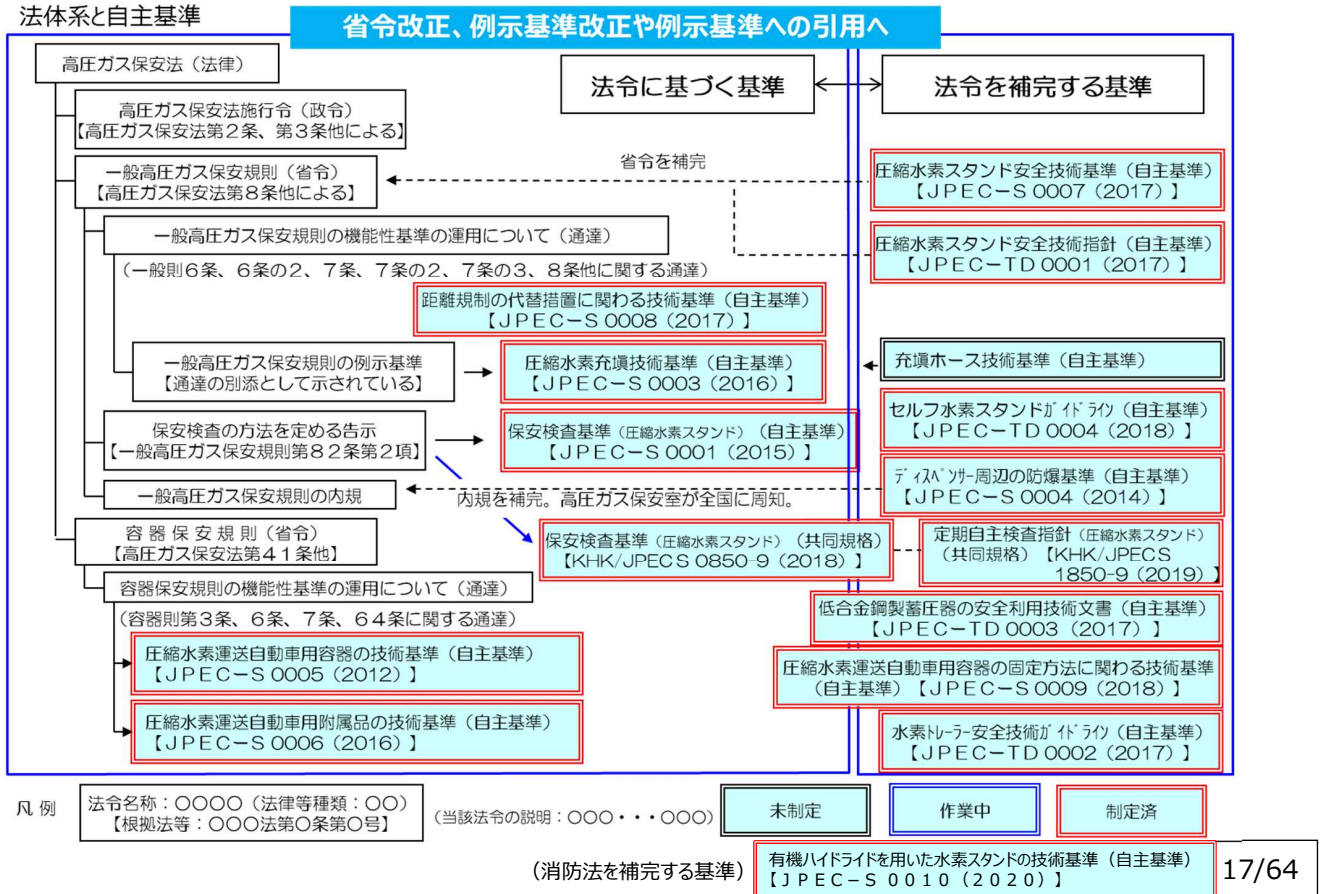
左図は再掲



16/64

2. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発の実施体制の妥当性②

JPECが制定した自主基準 (JPEC-S) や技術文書 (JPEC-TD) と法体系の相関関係



2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性①

◆研究開発の進捗管理

本事業の委員会・検討会体制

国内規制適正化検討委員会 (事務局：JPEC、開催頻度：3-4回/年程度)

役割：本事業全体の方針や方向性を検討会等の状況を踏まえ決定すると共に、進捗状況の管理、事業の成果 (技術基準、指針の検討案及び関係資料等) を検証し審議する

委員会構成：外部の学識経験者、関連する団体の有識者を委員として選任し、関係省庁、NEDO、関係団体等から適宜オブザーバー参加を要請する

遠隔監視型セルフ水素スタンド検討会 (略称：遠隔監視スタンド検討会) (事務局：JPEC)

検討項目：①無人運転を実施するための研究開発

③ (1) 保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発

リスクアセスメント検討会 (事務局：JPEC)

検討項目：②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

③ (2) 家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

2. 研究開発マネジメントについて（4）研究開発の進捗管理の妥当性②

◆研究開発の進捗管理

委員会・検討会開催実績と内容・研究の進捗管理

国内規制適正化検討委員会

2018年度：11/8, 3/22 計2回開催

2019年度：7/9, 1/10, 3/30 計3回開催

2020年度：6/24, 10/6, 12/9 現時点までに3回開催、今年度全4回開催予定

遠隔監視スタンド検討会

2018年度：10/12, 12/21, 2/20 計3回開催

2019年度：4/22, 6/25, 9/24, 10/30, 12/5, 2/6, 3/17 計7回開催

2020年度：5/18, 9/16, 11/20 現時点までに3回開催、今年度全4回開催予定

リスクアセスメント検討会

2018年度：10/15, 1/15, 3/12 計3回開催

2019年度：6/26, 10/4, 12/10, 3/19 計4回開催

2020年度：6/16, 9/9, 11/27 現時点までに3回開催、今年度全4回開催予定

19/64

2. 研究開発マネジメントについて（5）知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆知的財産権等に関する戦略

本研究開発で実施する4テーマについては、秘匿情報も含んでいるので、委員会・検討会等では、秘密保持を周知・徹底

本研究開発のアウトプット（技術基準案等）は、省令化や例示基準化、自主基準化に繋げ、広く事業者にも使用してもらうものなので、特許出願等を行わない

20/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

①無人運転を実施するための研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)無人運転の実施に伴う法技術的な課題の検討	国内外法規制の整理と課題抽出、課題に対する対策と進め方の明確化	<ul style="list-style-type: none"> 法技術的な課題の抽出と整理 理想の遠隔監視型水素ステーションまでのロードマップ作成 	○	
b)無人運転実施に伴う技術的課題の検討と安全対策の立案	技術課題の整理、安全対策案の検討・立案	<ul style="list-style-type: none"> 従来RAでの人による安全対策の抽出 従業者等の平常時、緊急時の作業に関する課題整理 遠隔監視のための安全対策の立案 緊急時の対応策の立案 	○	
c)無人運転実施のための技術基準案の策定	省令制定に資する技術基準案の作成、省令案以外の各種技術基準案の作成	<ul style="list-style-type: none"> 省令に資する技術基準案及び省令（一般則7条の4、製造細目告示、基本通達）制定に向けた対応 例示基準案 安全技術基準案、危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案 運営のガイドライン案 	△ (2020年末)	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

21/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

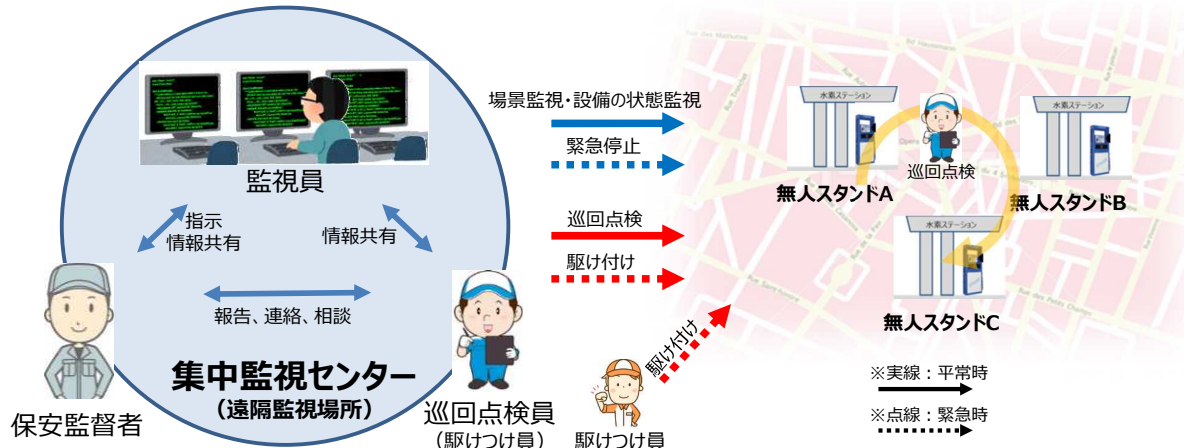
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

背景・検討の進め方

- 水素ステーションの製造設備：現状でも無人運転可能
- FCVへの水素充填等の高圧ガス製造：高圧ガス保安法のもとでは、保安監督者や従業員の常駐が必須
⇒無人運転ステーションの実現をめざし、水素ステーション保安と顧客の安全なセルフ充填の観点から「法技術的な検討」と「安全対策に係る検討」を行い、技術基準案を策定

遠隔監視による無人運転水素スタンドのイメージ



遠隔監視場所や事務所等、図面やその他の情報にアクセスが可能で常に連絡が取れるところ

緊急時に、所定時間に駆けつけられるところ

図：第10回公開の場資料より抜粋

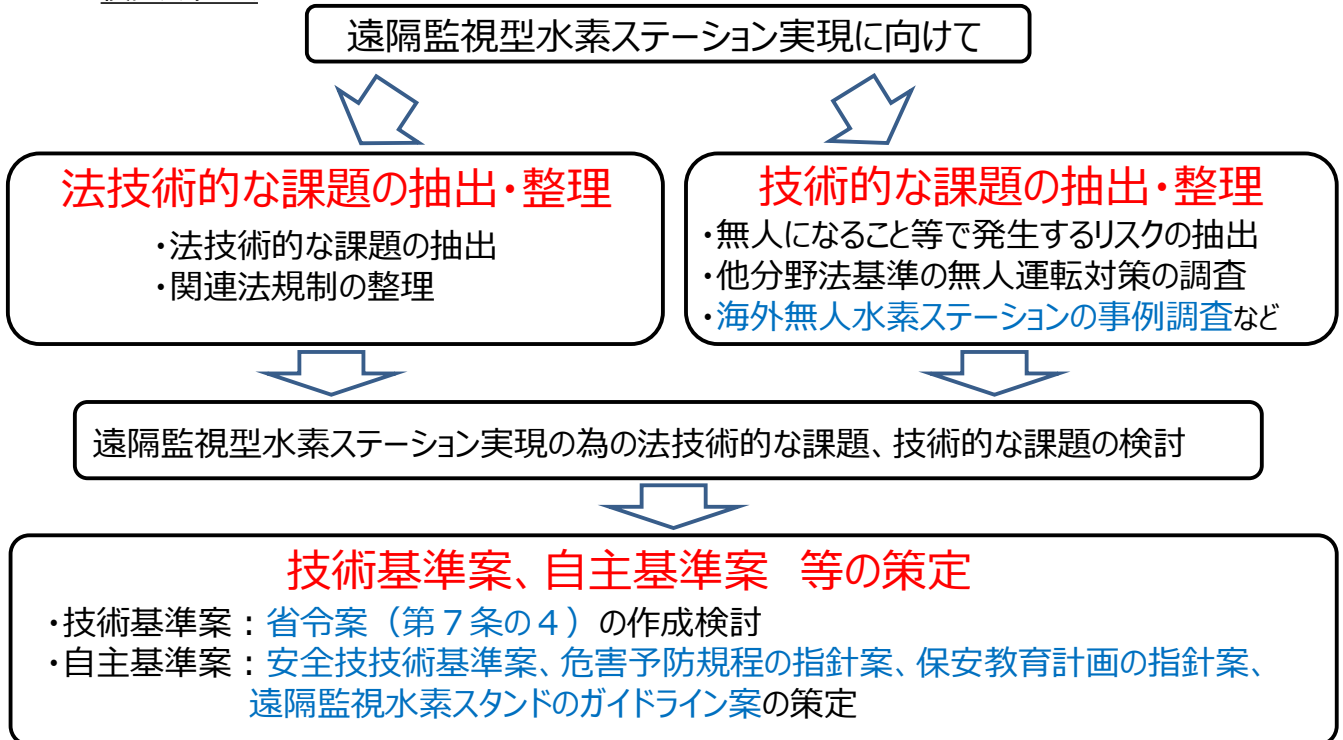
22/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

検討スキーム



23/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

国内法規制の整理

国内法規の整理 → 遠隔監視による水素スタンドの無人運転の実現のためには

・高圧ガス保安法
・一般則
・例示基準

■ 脱圧したノズルの着脱は高圧ガス製造ではないとする

法：第5条第1号、第8条第2号等 一般則：第7条の3第3項第2号
例示基準：59の9. 車両の誤発進防止

■ スタンドでの充填前のFCV容器期限確認を不要とする

法：第46条、第48条第1項第1号、第5号
一般則：第7条の3第3項第1号

規制改革要望⑳

■ 複数スタンドでの保安監督者兼任を可能とする

法：第26条、第27条の2第1項
一般則：第63条第2項第2号、第64条第2項第5号、内規（64条関係）

規制改革要望㉑-a

■ 遠隔監視、巡回点検、緊急時対応で従業者の常駐を不要とする

法：第36条 一般則：第84条
一般則：第7条の3第3項第1号

規制改革要望㉒

例示基準：49. 設備の点検・異常確認時の措置

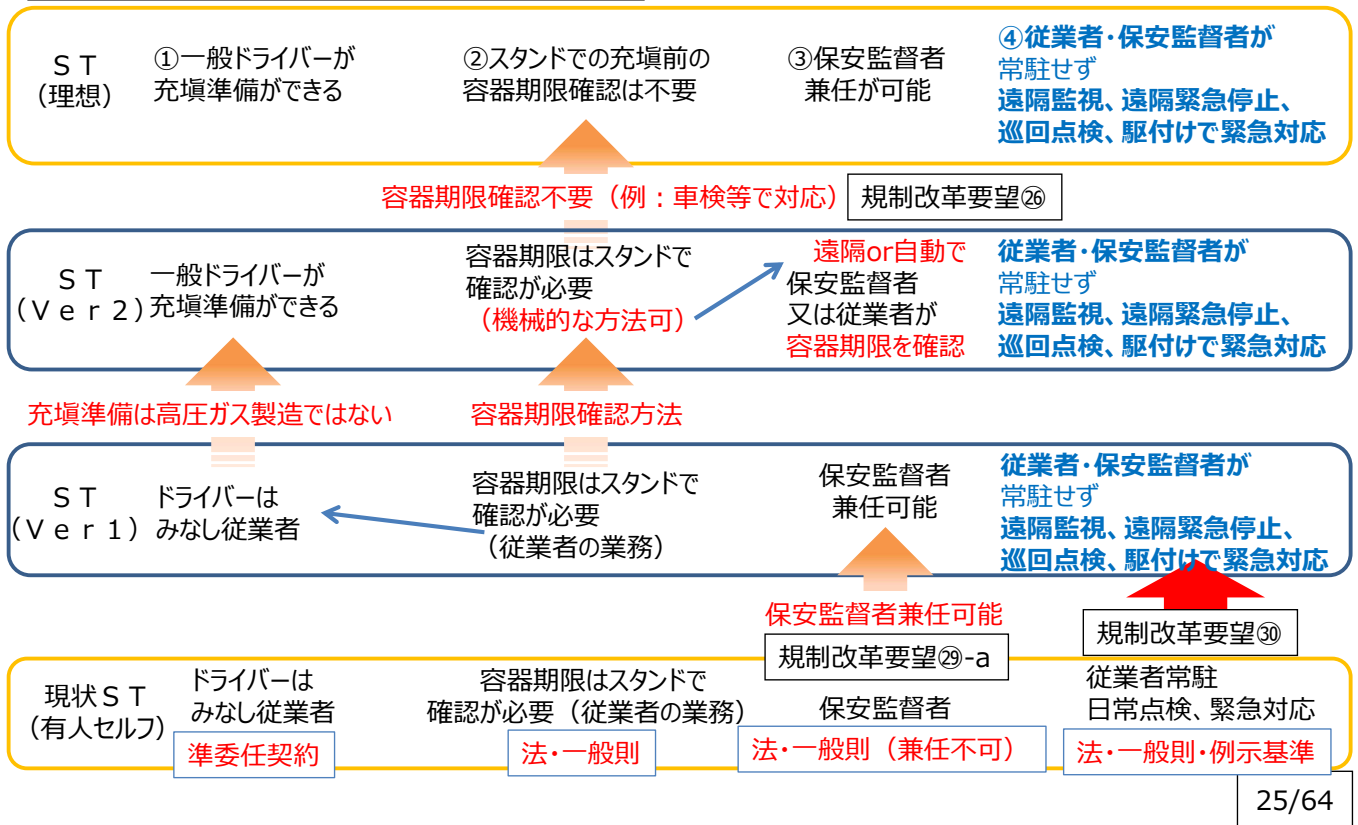
24/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

理想の遠隔監視型水素スタンドに向けたロードマップ

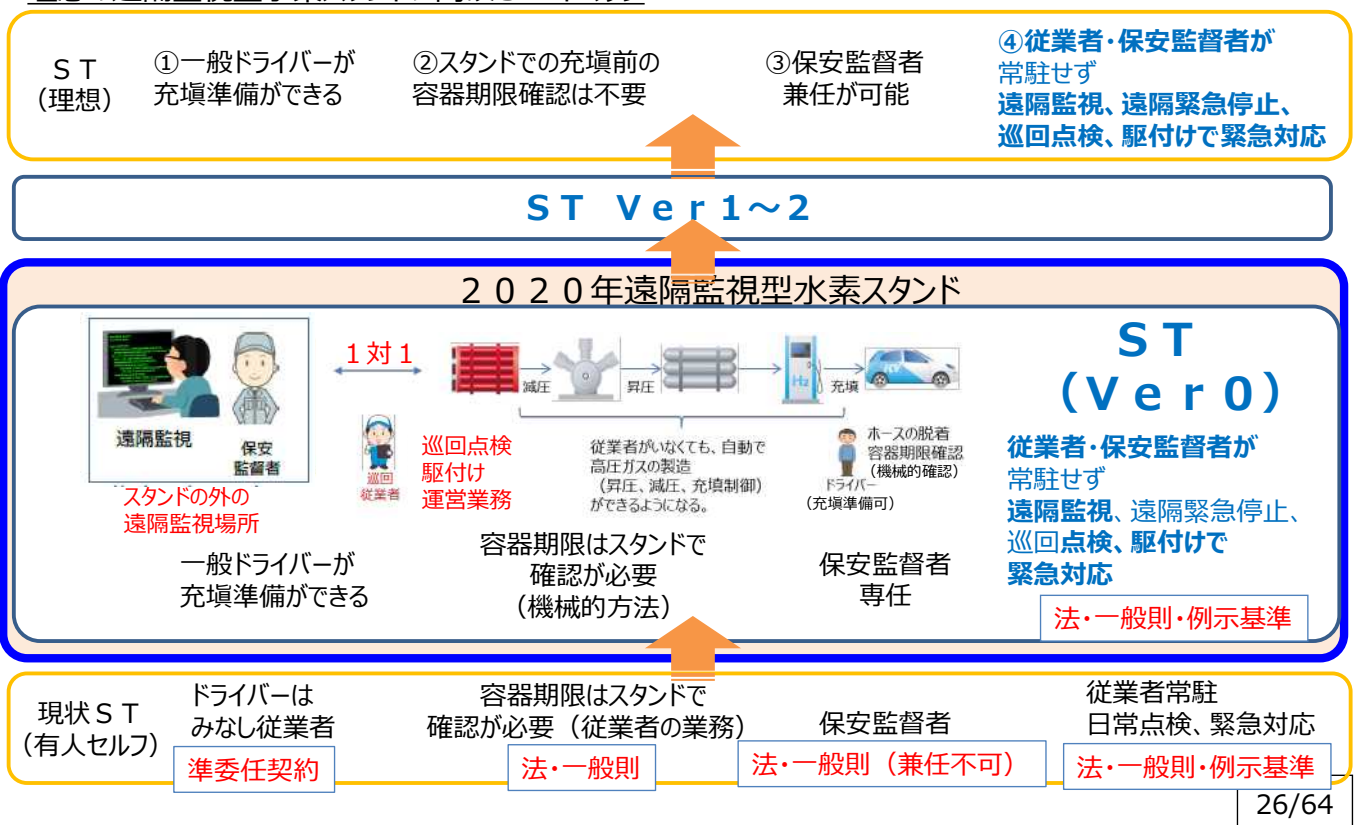


3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

理想の遠隔監視型水素スタンドに向けたロードマップ

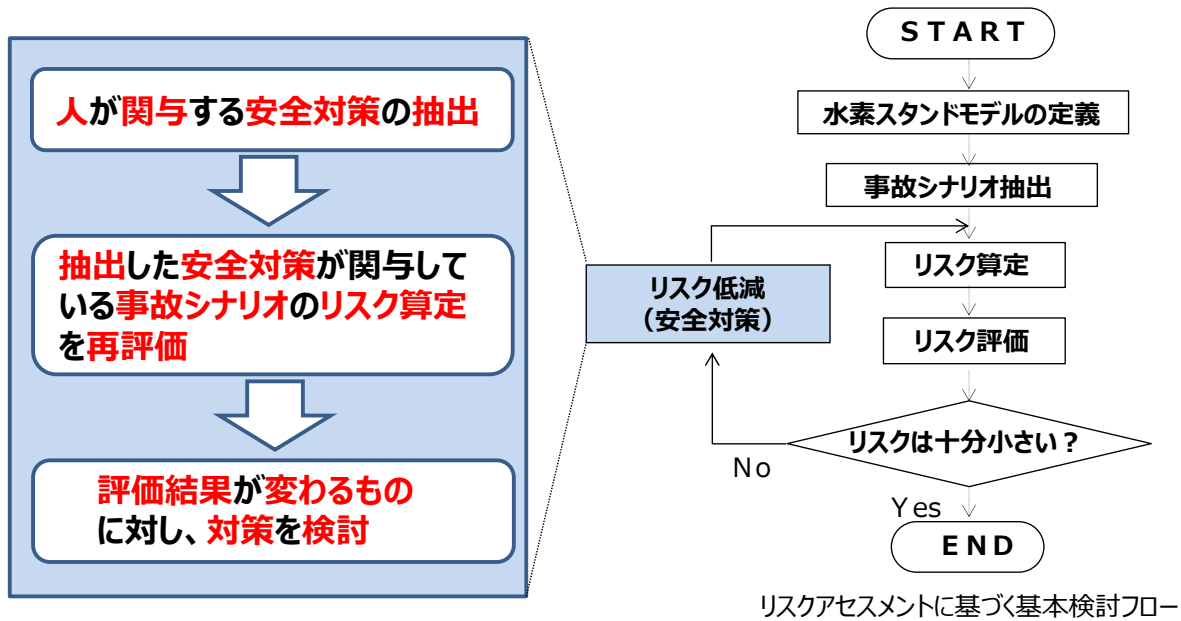


3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

現行水素スタンドに用いた従来リスクアセスメントでの人による安全対策の抽出と対応検討



リスクアセスメントに基づく基本検討フロー

日常点検（発生頻度低減）、従業者が押す充填停止ボタン（発災後の拡散抑制）
→巡回点検、遠隔緊急停止、一般人が押せる緊急停止ボタンの設置で対応可能

27/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

緊急時の従業者の作業の整理と対応検討

「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」

(平成25年度～平成26年度 NEDO事業 水素利用技術研究開発事業にてJPECが作成)

における初期事象から発災に至る過程で、現場の従業者が行う安全対策を分類・整理

・「遠隔監視」「遠隔緊急停止」「駆けつけ」により対応可能（6項目）

- ① インターロックによる設備の運転の停止を確認
- ② 手動で設備の運転を停止、遮断弁を閉止
- ③ 製造設備の運転状況や事業所付近の状況を確認
- ④ 水噴霧装置又は散水設備が自動で起動していることを確認
- ⑤ 必要に応じ、水噴霧装置又は散水設備を手動で起動
- ⑥ 蓄圧器を脱圧する

・「関係機関への連絡体制の構築」、「火気不使用の徹底」、「構内放送等の設置」により対応可能（3項目）

- ⑦ 関係各署に連絡
- ⑧ 事業所内の火気を直ちに消す
- ⑨ 顧客、車両等の避難誘導

・要検討項目：以下の3項目に関しては、消防や警備会社等の協力会社との連携などの仕組みづくりが重要

- ⑩ 構内火災が発生した場合の初期消火について
- ⑪ 蓄圧器元弁の閉止操作について
- ⑫ 周辺住民への周知、避難誘導の方法について

28/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

海外の水素ステーションの事例調査 (米国カリフォルニア州)

水素スタンド運営事業者であるFirst Element Fuel、Shell、ITM Powerの3社にヒアリングを行うとともに、実際に11箇所の水素スタンドを視察

【視察した水素スタンド】

スタンド名	UC Irvine	Long Beach	Hollywood	Riverside
外観				
立地	街中	街中	街中	郊外
形態	単独型	コンビニ、GS併設	GS併設	GS、CNG・LPGスタンド併設

【調査結果の概要】

- ✓ カリフォルニア州においては、**遠隔監視による無人運転の水素スタンドが一般的**
- ✓ 巡回点検や緊急時対応の方法等、**法規制に無人運転に係る規定は無く、保安確保についての具体策は事業者自らが定め、自主的に実施**
 例：巡回点検や駆け付けを行う者への教育・研修を定期的を実施
 近隣消防と、緊急時対応の取り決めを行うとともに、スタンドの情報を事前に共有
- ✓ **遠隔監視による集中監視システム**は水素インフラ全体の運営費低減に寄与

図：第9回公開の場資料より抜粋

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

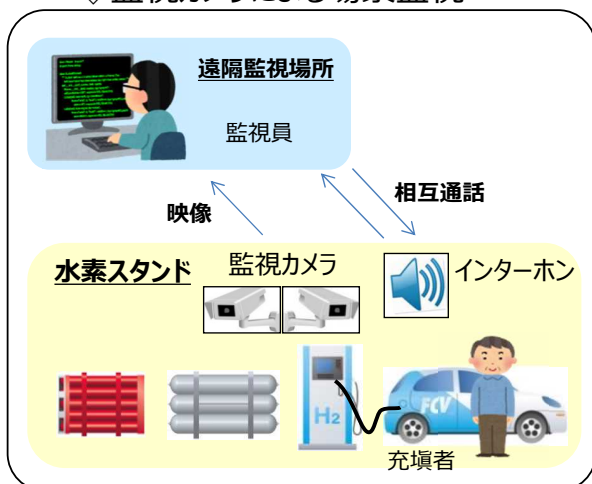
①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための必要要件の検討

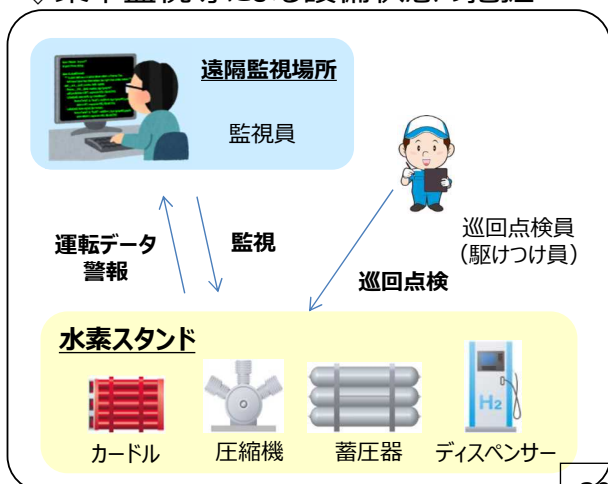
必要要件 1) 従業者不在でも十分な監視体制の確保等により保安を維持する対策

	ハード対策	ソフト対策
平常時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所でのスタンドの場景監視措置 設備の運転状況監視措置 	<ul style="list-style-type: none"> 保安監督者、遠隔監視員、巡回点検員、駆けつけ員による保安体制の確立
緊急時	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視場所での警報、緊急停止措置 インターロック、停電・サイバー対策 	<ul style="list-style-type: none"> 同時発災も含めた、緊急時の保安体制、駆けつけ体制の確立

◇監視カメラによる場景監視



◇集中監視等による設備状態の把握



図：第10回公開の場資料より抜粋

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための必要要件の検討

必要要件 2) セルフ充填を可能にする追加的安全対策

※赤字は、遠隔監視スタンド特有の安全対策



図：第10回公開の場資料より抜粋

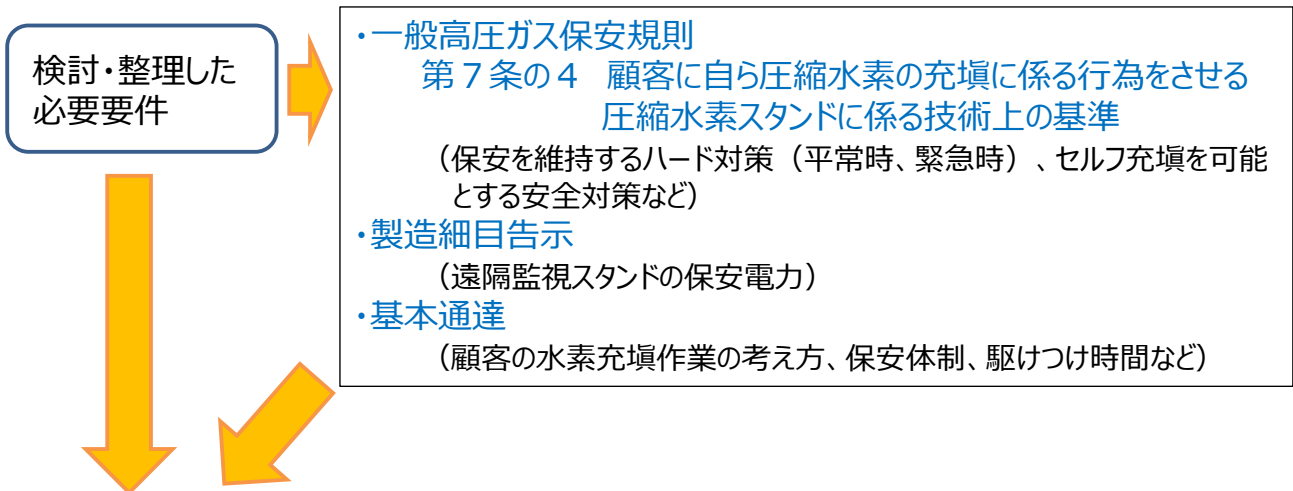
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

無人運転実施のための技術基準案の策定

省令に反映：2020年8月6日公布、8月7日施行



自主基準案化：2020年度末完成見込み

- 顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせる圧縮水素スタンドの
- ・安全技術基準案
 - ・危害予防規程の指針案
 - ・保安教育計画の指針案
 - ・ガイドライン案 (設置、運営に係る具体的なガイドライン)

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①無人運転を実施するための研究開発

省令等への反映後の残課題（プロジェクトの進捗に従い、新たに見出された開発項目別残課題）

①一般高圧ガス保安規則7条の4第1項の記載内容の検討

本則第1項は、郊外型ステーションとの位置付けであり保安距離により安全を確保するもの（しかしながら）ステーションが遠隔監視下で無人となるため、都市型ステーションに必要としている安全設備（一般則7条の3第2項）の大部分を要求

過剰の安全対策である可能性があり、事業者にとって建設費や運営費増加

追加された安全設備の1項ステーションにおける必要性を、1件ごとの効果の定量化による必要性確認が必要

②遠隔監視ステーションにおける保安監督者兼任の法制化の検討

遠隔監視ステーションにおける保安監督者の兼任の要件の検討は本事業で実施済

（規制当局）法制化検討は、新しい2件の概念導入であり、それぞれの運用実績をベースとした法技術的・技術的な課題の検証、それらの要件への反映が必要

遠隔監視による無人ステーションと（有人での）保安監督者兼任のステーションの運用実績をベースとした法技術的・技術的な課題を必要要件に反映 ⇒ 法制化に資する技術基準案へ

33/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築	リスクアセスメント手法の構築	<ul style="list-style-type: none"> 検討方針策定 リスクシナリオ抽出結果 リスクアセスメントのガイドライン 	△ (2020年度末)	
b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築	多様な設備構成をカバーするSTモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> 二次元モデル（PFD、P&ID等） 三次元モデル 	○	
c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案	安全対策の合理化案の提案	<ul style="list-style-type: none"> リスクアセスメント結果 合理的な安全対策 シビアアクシデント対応策 	△ (2020年度末)	
d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し	技術基準（省令・例示基準）の見直し案作成	<ul style="list-style-type: none"> 技術基準（省令・例示基準）の見直し案 	△ (2020年度末)	
e) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく検査・点検方法の見直し	技術基準の見直し案作成	<ul style="list-style-type: none"> 検査・点検方法の見直し項目は無いとの結論 	○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、X未達

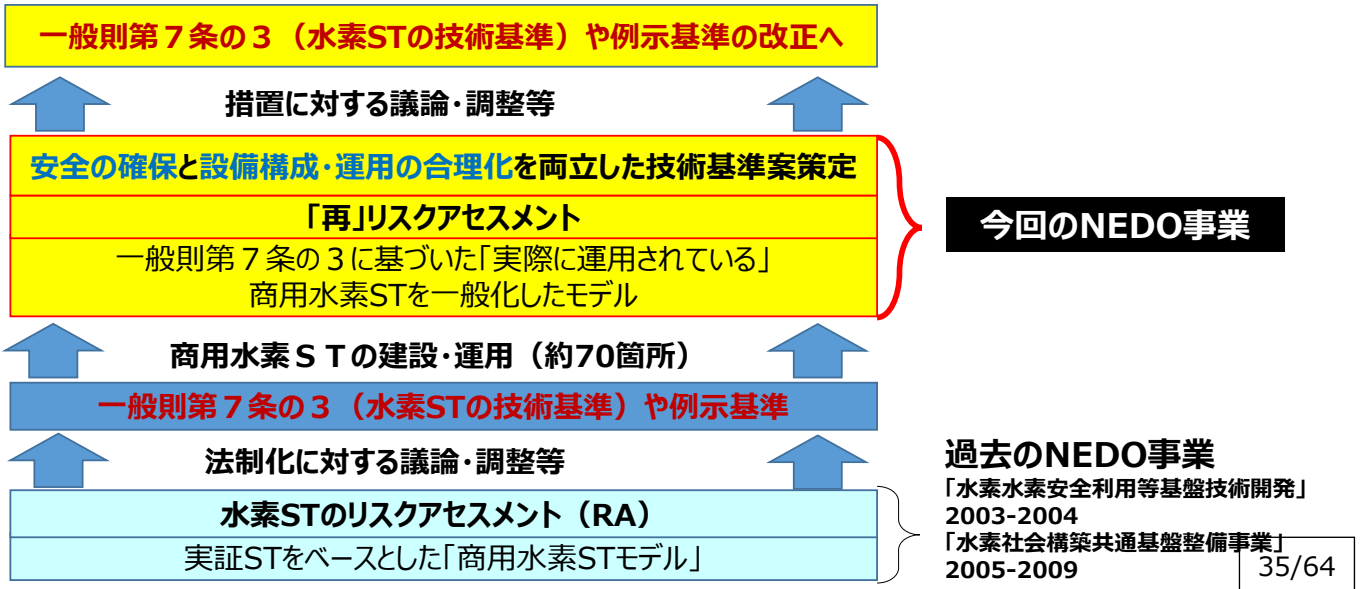
34/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

背景・検討の進め方

- 水素ステーションに関する技術基準は一般則第7条の3で規定、これは産業界が実施のリスクアセスメントの結果に基づき規制当局が検討の上で制定されたもの
- これまでの運用経験を踏まえ事業者が行う再リスクアセスメントの結果により得られる科学的根拠に基づき技術基準の見直しを実施、なお、再リスクアセスメントにおいては、技術の進歩、重大事象への対応、社会情勢の変化等の様々な要件を踏まえた実施が不可欠 (METI第5回公開の場検討会 高圧ガス保安室提示)



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

a) 定量性、汎用性の高いリスクアセスメント手法の構築

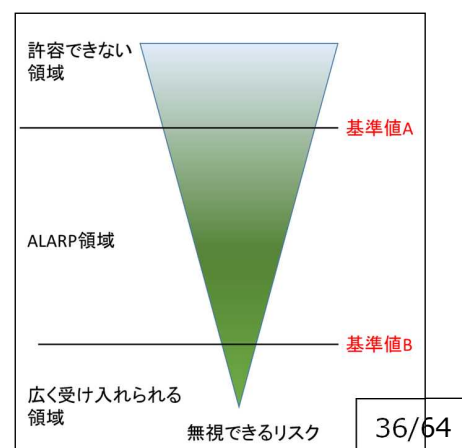
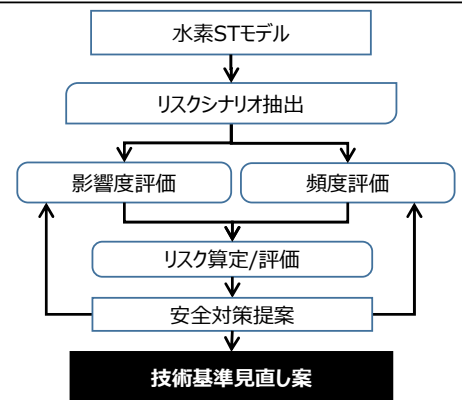
- リスクシナリオの特性に応じたふたつの定量的リスクアセスメント手法の採用
 - QRA (種々の事故原因のリスクの総括的評価)
 - シナリオベース評価 (個々の事故原因のリスクの個別評価)

- リスクシナリオ抽出
 - HAZOP、FMEA、手順HAZOP

- 日本学術会議が推奨する工学システム安全目標 (A基準) をリスククライテリアに設定

- 敷地外の人々の死亡率 : $10^{-6}/\text{yr}$
 - * 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 2017

- 本研究の手法を取りまとめたガイドラインの作成



3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

本研究のリスクアセスメントのフレームワーク

	事故のトリガーによる リスクシナリオの分類	リスク分析手法			評価精度			対象となるリスクシナリオ
		リスクシナリオ 特定	頻度分析	影響度分析	頻度評価	影響度評価	リスク評価	
I 内的要因に起因する事故 ・機器故障 ・機器故障の連鎖 ・設計不良、施工不良 ・ヒューマンエラー ・その他		HAZOP 作業HAZOP FMEA	漏洩頻度DB パーツカウン (狭義のQRA(TNO式))	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	漏洩頻度データにより頻度の定量化が可能であり、定量的な評価が可能なリスク
	I a 機器故障の連鎖 ・遮断弁誤作動→圧力上昇→漏洩	FMEA	機器故障率DB ETA	数値解析	○ (可能)	○ (可能)	○ (可能)	故障率データによりリスクの定量化が精度よく可能であり、定量的な評価が可能なリスク
	I b ヒューマンエラー ・誤操作 ・その他	作業HAZOP	ヒューマンエラー頻度DB ETA	数値解析	△ (精度 低)	○ (可能)	△ (精度 低)	頻度データの不確かさが大きい、リスクを相対評価可能なリスク
II 外的要因に起因する事故 ・近隣火災 ・内部火災 ・地震(外力の作用) ・車両誤発進 ・車両飛込み 等		HAZOP What-if	類似事象の頻度データ ETA	数値解析	△ (精度 低)	○ (可能)	△ (精度 低)	頻度データの不確かさが大きい、リスクを相対評価可能なリスク

[赤背景部分] QRAを適用 (種々の事故原因のリスクの総括的評価)

[青背景部分] シナリオベース評価を適用 (個々の事故原因のリスクの個別評価)

※ 上表の他に、リスク評価が困難なシビアアクシデントに対して、別途対応検討を実施し、リスクアセスメントとしての網羅性を高めた

3. 研究開発成果について

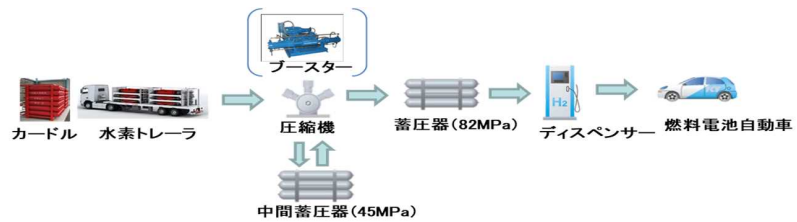
(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

b) 既設ステーションの設備仕様を基にした水素ステーションモデルの構築

7条の3第2項による
都市型STの狭小モデル

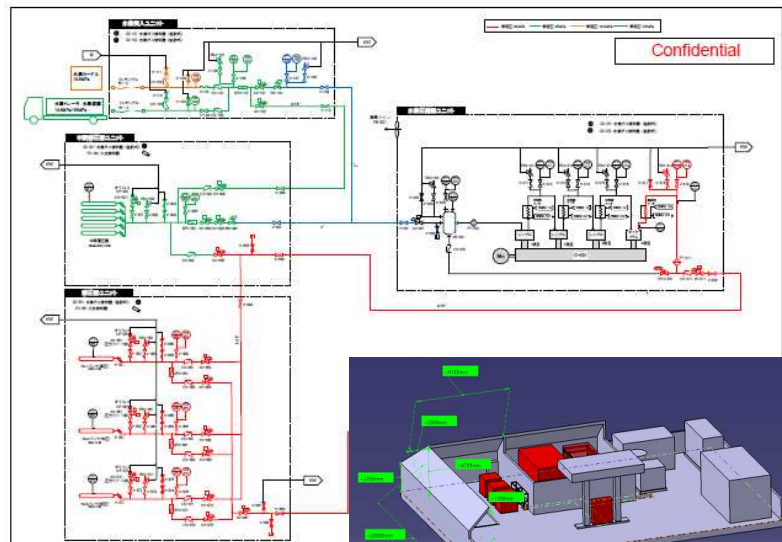


□ 図面類

- ・ PFD (プロセスフローダイアグラム)
- ・ P&ID
- ・ 平面配置図
- ・ 立面図
- ・ 三次元モデル

□ 資料

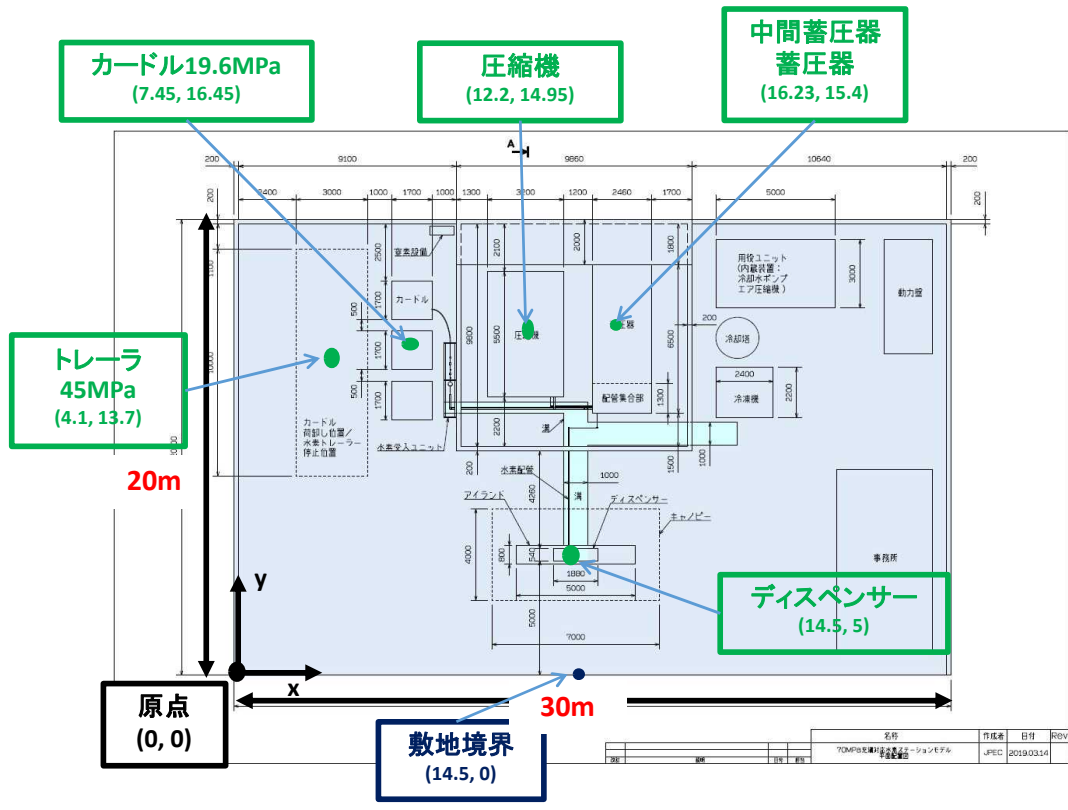
- ・ 設備構成の概要説明
- ・ 運転モードと機器動作シーケンス
- ・ 異常時の機器動作シーケンス
- ・ オペレーションマニュアル (水素カードル/水素トレーラの脱着作業)



◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ 水素ST平面上的の各機器の配置とリスク観測点



◆各個別テーマの成果と意義

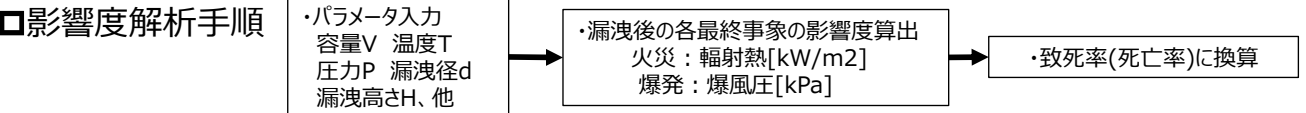
②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

c) リスク算定の実施とその結果に基づく合理的な安全対策の提案

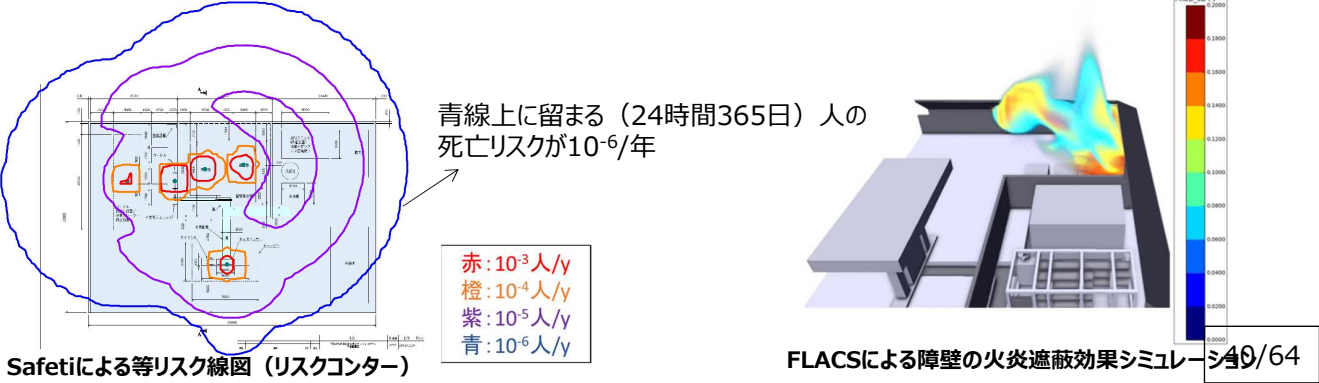
QRAによるリスク算定方法

QRA：プラントシステム等に対する一連のシステマティックなリスク定量化方法。
構成機器毎の漏洩頻度データベースを元に、種々の事故原因のリスクを総括的に評価。

□漏洩頻度データ：米国Sandia Lab Report(2017)の水素ST設備の漏洩頻度DBに準拠



□解析ソフトウェア (二次元)：DNV社 PHAST-Safeti ver 8.11 ※二次元解析のため、障壁効果は評価できない
(三次元)：GexCon社 FLACS ※障壁効果等の三次元解析評価に補足的に使用



◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■QRAで使用した漏洩頻度データ

米国Sandia国立研究所による水素ステーション機器の漏洩頻度DBを採用

- 水素STを含む高圧水素ガス設備の漏洩頻度のデータベースであり、QRAの基礎データとする目的で作成された
- 一般設備（LPガス、産業ガス、石油・化学プラント等）の漏洩頻度データに対し、高圧水素ガス設備の漏洩頻度データを用いてベイズ推定という統計手法にて補正したもの
- 我々が入手可能な最良のデータ

水素ST構成機器の開口サイズ別漏洩頻度[1/y]

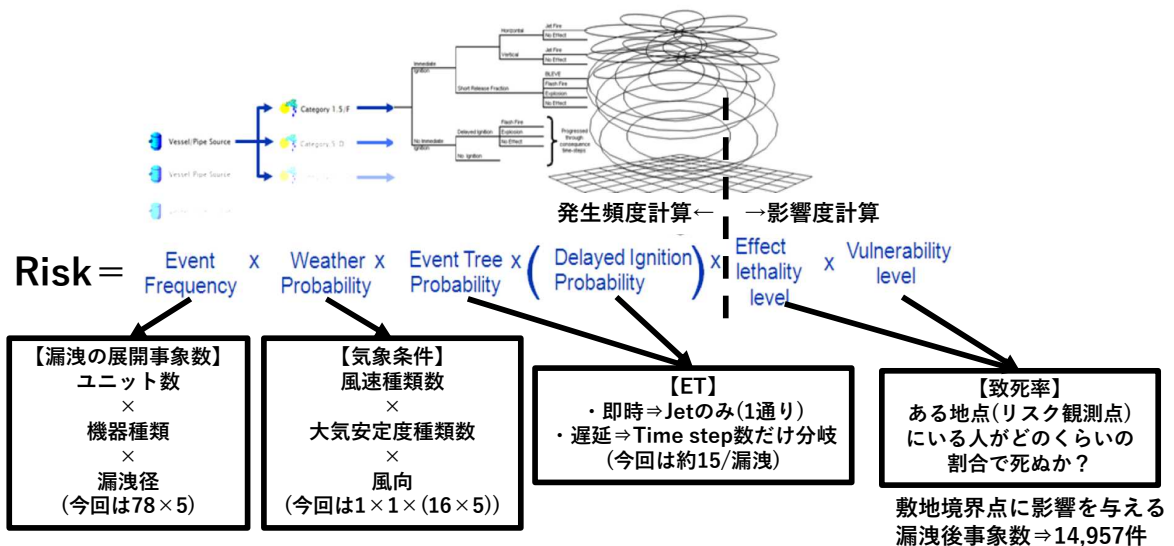
分類番号	損傷機器	サイズ	頻度	分類番号	損傷機器	サイズ	頻度
1	圧縮機 Compressors	Very Small	1.83E-01	26	継ぎ手 Joints	Very Small	7.05E-05
2		Minor	2.23E-02	27		Minor	3.56E-06
3		Mideum	8.01E-03	28		Mideum	7.80E-06
4		Major	2.06E-04	29		Major	6.96E-06
5		Rapture	3.04E-05	30		Rapture	6.21E-06
6	蓄圧器 Cylinders	Very Small	1.18E-06	31	配管 Pipes	Very Small	8.78E-06
7		Minor	9.98E-07	32		Minor	4.57E-06
8		Mideum	6.80E-07	33		Mideum	1.80E-06
9		Major	3.90E-07	34		Major	9.12E-07
10	Rapture	2.09E-07	35	Rapture	6.43E-07		
11	フィルター Filters	Very Small	3.77E-02	36	バルブ Valves	Very Small	5.71E-03
12		Minor	1.60E-02	37		Minor	7.50E-04
13		Mideum	1.44E-02	38		Mideum	9.92E-05
14		Major	6.87E-03	39		Major	4.13E-05
15	Rapture	6.94E-03	40	Rapture	1.49E-05		
16	フランジ Flanges	Very Small	7.86E-02	41	計器類 Instruments	Very Small	8.31E-04
17		Minor	4.82E-03	42		Minor	2.78E-04
18		Mideum	2.72E-03	43		Mideum	1.73E-04
19		Major	3.74E-05	44		Major	1.84E-04
20	Rapture	1.55E-05	45	Rapture	1.11E-04		
21	ホース Hoses	Very Small	1.15E-03				
22		Minor	2.06E-04				
23		Mideum	1.79E-04				
24		Major	1.60E-04				
25		Rapture	7.47E-05				

出典：Groth, Katrina M. et al., Int. J. Hydrogen Energy, 42, 7485-7493(2017)

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■QRAのリスク算定における事象展開（漏洩後）



それぞれの展開事象に初期の発生頻度が与えられる

水素ST機器漏洩頻度DB

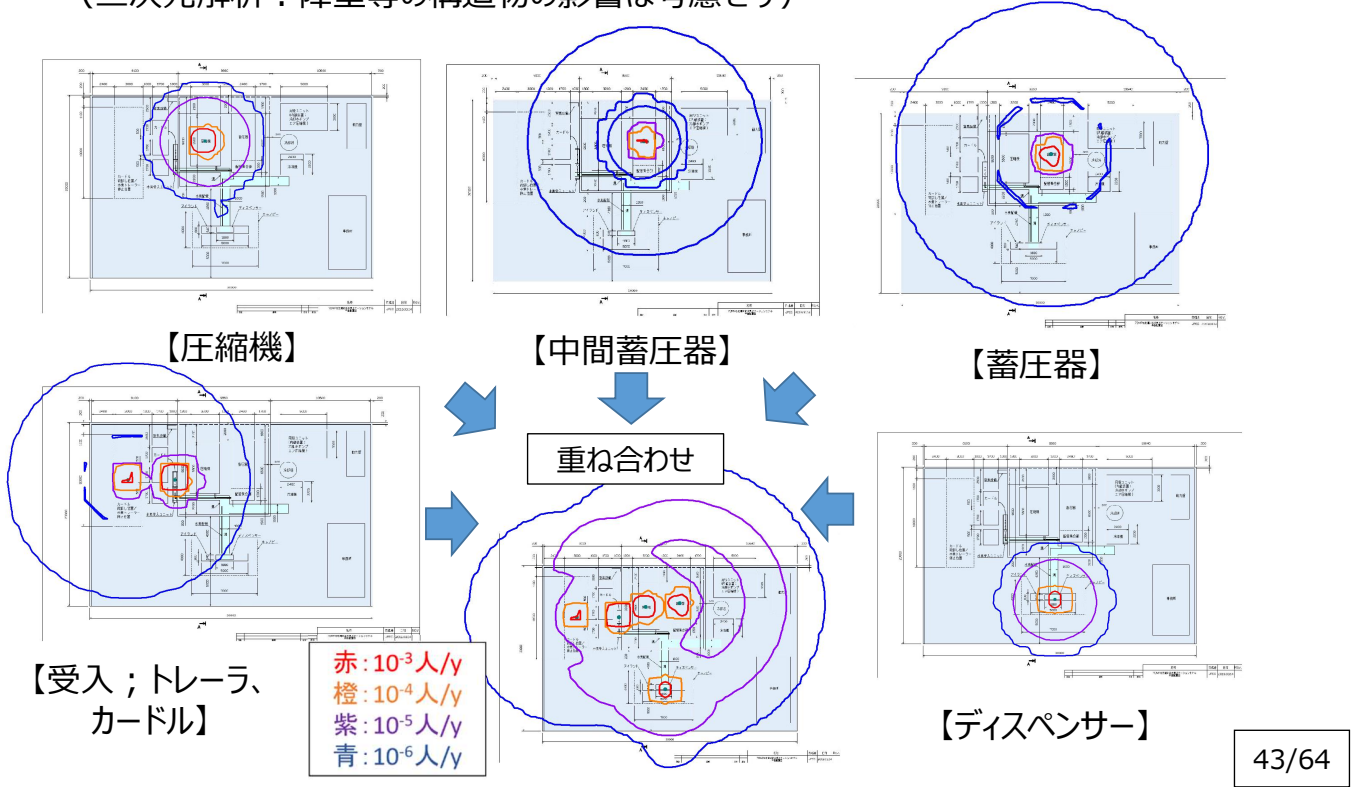
検討した漏洩後の展開事象件数
 = (78×5) × (1×1×16×5) × 15
 = 約468,000件

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ QRAのリスク算出結果 (等リスク線図)

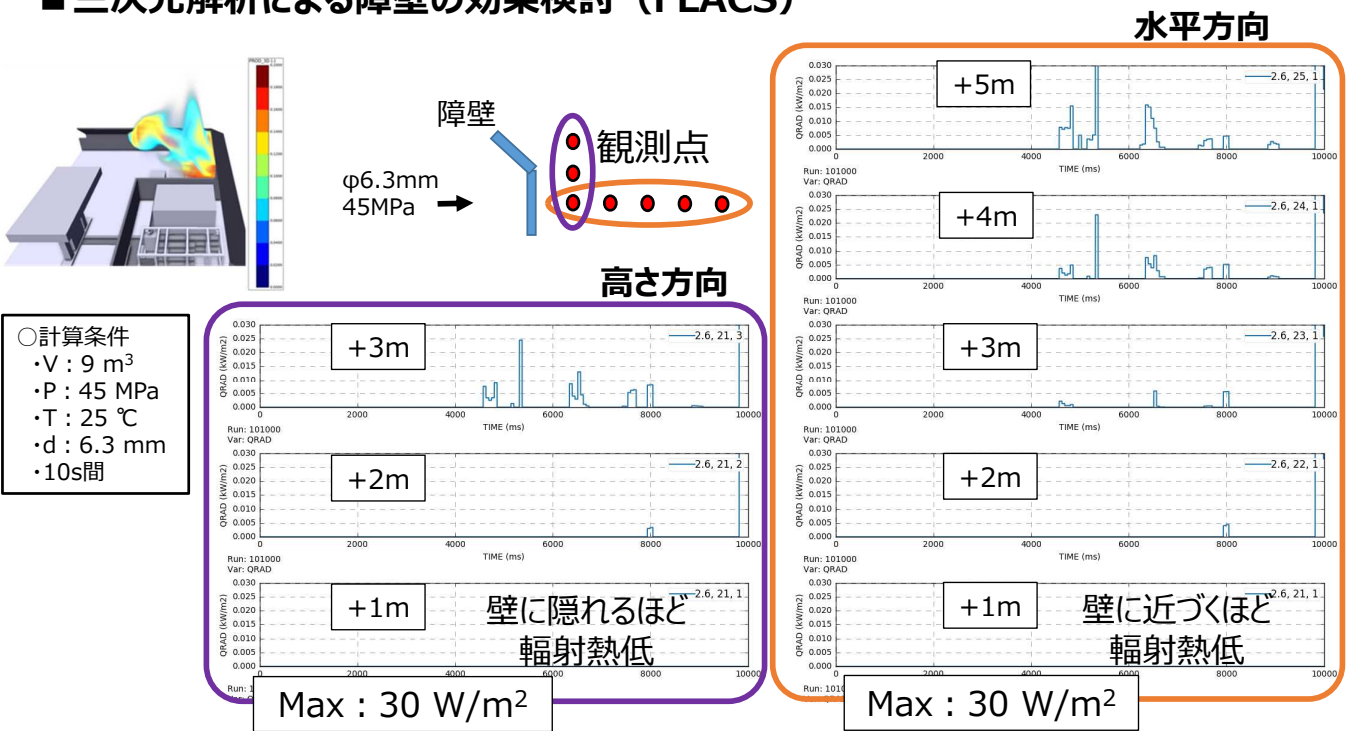
(二次元解析：障壁等の構造物の影響は考慮せず)



◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ 三次元解析による障壁の効果検討 (FLACS)



※ 0.9kW/m² : 太陽 (真夏) 放射熱強度 ← 上のグラフのフルスケールはこれの1/30
 1.3kW/m² : 人が長時間曝されても安全な強度
 (石油コンビナートの防災アセスメント指針 (2013))

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

シナリオベース評価によるリスク算定方法

QRAでは、

- 種々の事故原因のリスクを総括的に評価可能
- 一方で、個別の事故原因に着目したリスクや安全対策効果の評価は困難

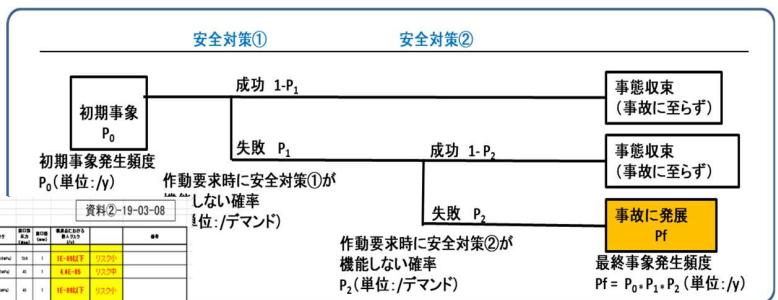
そこで、水素ステーション特有の事故原因については、リスクシナリオ単位で個別に評価実施

□ 評価対象の事故原因：機器故障、ヒューマンファクター（操作ミス等）、外乱（火災）、天災（地震等）

□ リスクシナリオ毎のETA（イベントツリー分析）を実施し、漏洩頻度を算出
 元データ：国内原発の機器故障率DB（JANSI-CFR-02）、北海油田プラットフォームの機器故障率DB（OREDA2015）、国内原発のヒューマンファクターDB、その他

- 影響度評価とリスク算定
- 上記漏洩頻度算出結果を用い、PHASt-Safetiで影響度とリスクを算定
 - 結果を一覧表に整理（全64シナリオ）

ETA(イベントツリー分析)



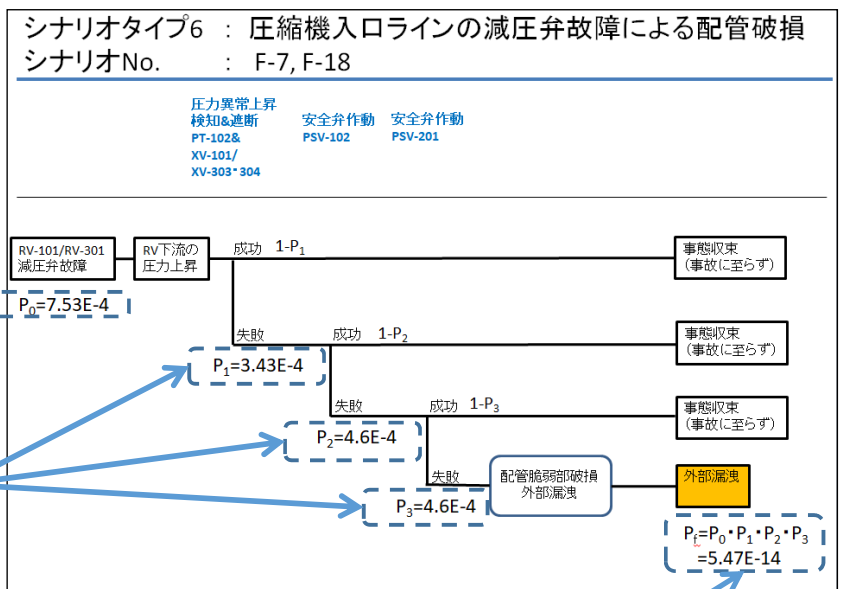
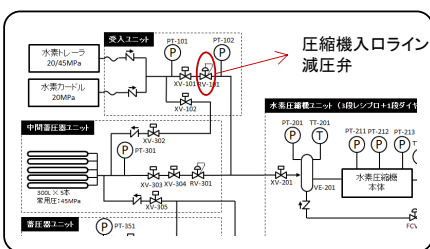
ヒューマンファクター、外乱・地震シナリオ評価一覧表

シナリオNo.	シナリオ名	初期事象発生頻度 P ₀ (単位:/y)	安全対策①の不作動確率 P ₁ (単位:/デマンド)	安全対策②の不作動確率 P ₂ (単位:/デマンド)	最終事象発生頻度 Pf (単位:/y)
1
...
64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

ETA (イベントツリー分析) と外部漏洩頻度の算出 (例)



トリガー事象の発生頻度 P₀ [単位:/y]

安全対策の不作動確率 P₁, P₂, P₃ [単位:/デマンド]

- 【元データ】
- 国内原発の機器故障率DB（JANSI-CFR-02）
 - 北海油田プラットフォームの機器故障率DB（OREDA2015）
 - 国内原発のヒューマンファクターDB
 - 消防庁危険物施設事故DB、他

外部漏洩事象の発生頻度 P_f [単位:/y]
 P_f = P₀・P₁・P₂・P₃

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

QRA & シナリオベース評価 によるリスク評価結果

- [QRA] 敷地境界上の水素ステーションのリスクは、 10^{-6} /year以下であることを確認
 - ディスペンサー側の公道境界上（ディスペンサーから5m地点）のリスクは、 10^{-6} /year以下と算出された。
 - 設備側敷地境界上のリスクは、二次元評価（PHAST-Safeti）では 10^{-6} /yearを上回るが、境界線上の障壁により敷地外への影響は十分低減されることが三次元評価（FLACS）で確認された。
- [シナリオベース] 全リスクシナリオのリスク（敷地境界上の死亡リスク）が 10^{-6} /year以下であることを確認

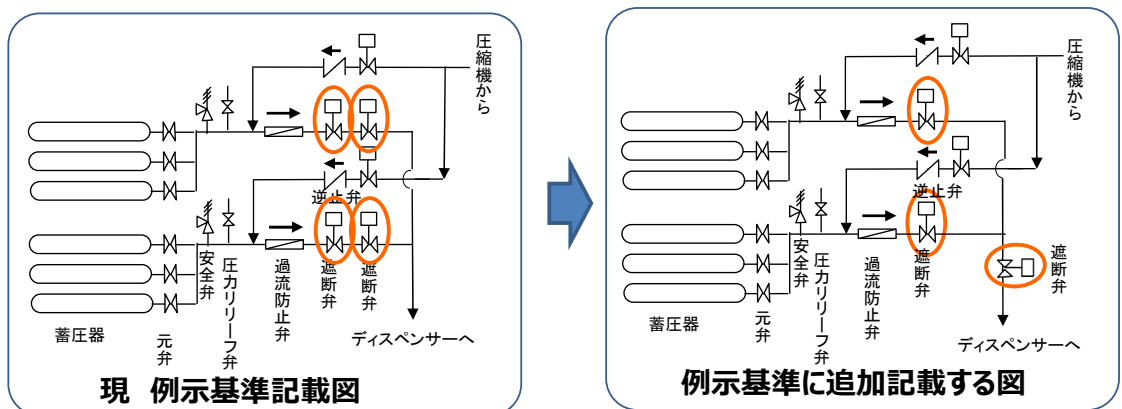


- 現行技術基準（省令・例示基準）に対し、新たに追加すべき安全対策は無し
- 現行技術基準に規定される安全対策のリスク低減効果を評価
 - ⇒ 以下の4項目について、リスクを増大させること無く簡素化が可能
 - 蓄圧器出口遮断弁二重化 → 配置の合理化
 - 過流防止弁の配置 → 配置の合理化
 - 過流防止弁の代替安全対策 → オリフィスで代替
 - 圧カリーフ弁設置条件の見直し → 圧カリーフ弁を省略できる条件提示

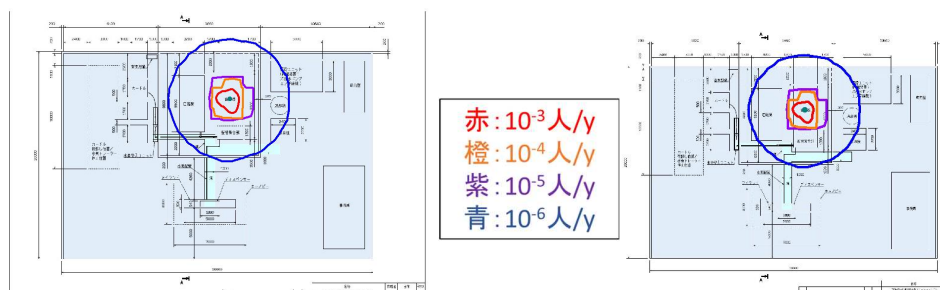
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 ②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■ 検討事例：遮断弁の二重化（蓄圧器出口配管）について配置の合理化



機器数が減るため漏洩頻度は減少、遮断弁のPFD<<検知器のPFDなので不動作率変化なく、リスクコンターもほとんど変化なし



3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

■シビアアクシデントへの対応検討

●リスクアセスメントをさらに網羅的にするため、シビアアクシデントへの対応策を検討

●2013-2014年度NEDO事業「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」等を参考に、最新知見を活かし、右表の6つのシビアアクシデントの進展シナリオを整理

●6つのシナリオに対し、詳細な事象進展、保安監督者や従業員の取るべき行動、事業者や行政との連携などにも踏み込んだ対応策を明確化

外力による蓄圧器遮断弁下流の配管破断	過大な外力が配管に負荷 ⇒ 蓄圧器遮断弁下流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
外力による蓄圧器の損傷、蓄圧器遮断弁上流の配管破断	過大な外力が蓄圧器に負荷 ⇒ 蓄圧器の損傷、蓄圧器遮断弁上流の配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
熱による蓄圧器遮断弁下流のシール部損傷、配管破断	火災 (熱) による配管の過熱 ⇒ 蓄圧器遮断弁下流のシール部損傷、配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
熱による蓄圧器、蓄圧器遮断弁上流のシール部損傷、配管破断	火災 (熱) による蓄圧器の過熱 ⇒ 蓄圧器、蓄圧器遮断弁上流のシール部損傷、配管破断 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
蓄圧器の流出	冠水 ⇒ 蓄圧器の流出 ⇒ 蓄圧器、弁弁、蓄圧器遮断弁上流の配管の破損 ⇒ 水素の連続漏洩 (大量)
圧縮機の異常運転による圧力上昇	サイバー攻撃 ⇒ 制御系異常 ⇒ 圧縮機異常運転による圧力上昇 ⇒ 水素の漏洩

事象進展 (イベントツリー)

水素ST従業員の判断・行動

事業者との連携、行政組織 (消防・警察等) との連携

顧客・近隣住民の対応

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

②リスクアセスメントの再実施に基づく設備構成に関する研究開発

d) リスクアセスメントの再実施の結果等に基づく技術基準の見直し

項目	対象基準	要点	見直し提案内容
遮断弁二重化に関する配置の合理化	例示基準 1 9 の 2	緊急遮断装置のうち一つは蓄圧器から圧縮水素を送り出す集合配管に設置することが可能	例示基準に当該配置図を追加記載
過流防止弁の配置の合理化	例示基準 5 9 の 5	ディスペンサーに供給する配管に過流防止弁を設置することが可能 (蓄圧器フレーム内)	左記を例示基準に追記
過流防止弁代替安全対策 (オフィス)	例示基準 5 9 の 5	過流防止弁の代替としてディスペンサー出口の最大流量 (ホース破断時) を 60 g/sec以下となる措置 (オフィス等) を可能	左記を例示基準に追記
圧カリーフ弁設置条件の見直し	一般則 7 条の 3 2 項 1 0 号	蓄圧器配管の安全装置が揚程式バネ式安全弁で吹き出し量が一定以下の場合、圧カリーフ弁は不要とする	安全弁に仕様条件を提示し、安全弁の放出口が上向きの場合とする



省令・例示基準の改正の実現により、水素ステーション建設コスト・運営コストの低減に寄与することができる

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)現状の保安監督者の役割・作業内容の抽出	専任ステーションにおける事業者、保安監督者、従業員の業務内容・役割の明確化	・専任ステーションの事業者、保安監督者、従業員の職務と保安体制を整理	○	
b)兼任した場合の保安体制等のモデル構築と課題抽出	兼任するための要件検討及びリスクアセスメントのためのモデル作成	・兼任スタンドモデル構築・課題抽出	○	
c)兼任した場合のリスクアセスメントの実施	同時発災やヒューマンファクターを考慮した兼任要件に繋がるリスクアセスメントの実施	・m-SHEL分析によるヒューマンファクターの検討や同時発災を想定した緊急時におけるリスクアセスメントを実施	○	
d)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための技術基準案(必要要件)の検討	保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための要件の提案	・兼任する水素スタンドにおける事業者、保安監督者、従業員の必要要件を抽出・整理	○	
e)保安監督者の兼任のための技術基準案の作成	危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、ガイドライン案の作成	・危害予防規程の指針案、保安教育計画の指針案、運営のガイドライン案 ・基本通達制定に向けた対応	○	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

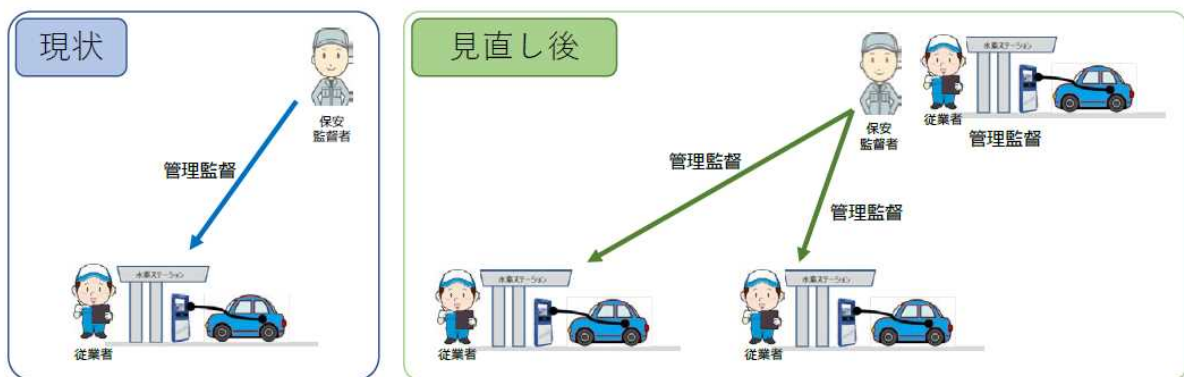
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

背景・検討の進め方

「平常時・緊急時に保安監督者が職務を全うできるか」
 「仮に複数の水素スタンドが同時に発災した場合、従業員を含め適切な対応が取れるか」
 に関し、現状において十分に検証されていないことから、実態として兼任が実施されていない(METI第11回公開の場検討会 高圧ガス保安室提示)



図：第6回公開の場検討会資料から抜粋

平常時、緊急時の事業者、保安監督者、従業員の職務を整理し、兼任の要件を検討

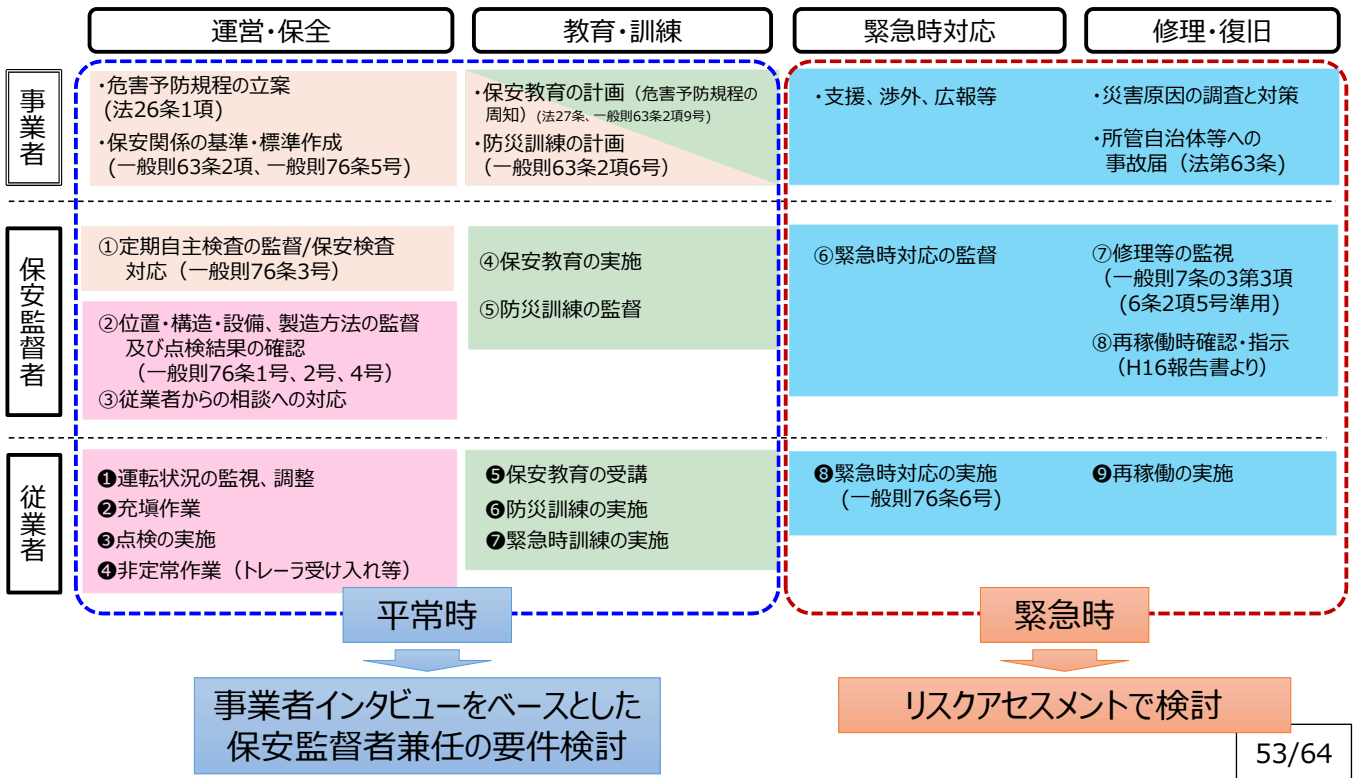
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

現状スタンドにおける職務整理

■: 建設時に行うこと ■: 定期的に行うこと ■: 日常的に行うこと ■: 緊急時対応以降に行うこと



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

保安監督者が複数スタンドを兼任するための必要要件

インタビューの結果から得られた要件

リスクアセスメント検討結果から得られた要件

事業者がやるべきこと(必要要件)を明確化

現状の保安体制の要件

兼任後の保安体制の要件

兼任のための必要要件

同時防災訓練の実施 + 立地条件

「事業者のサポート体制・バックアップ体制」の強化

準保安監督者 (資格不要) の配置 (常駐)
要件: 圧縮水素製造経験1年以上又はそれと同等の能力。ST設備構成・運転熟知。要領に従い適切に職務を遂行 (平常時、緊急時)。(経験の浅い従業者と区別)

兼任のための追加要件: 監督経験6ヶ月以上。設備構成把握。従業者を指揮できる能力。週1回以上の巡視、異常時は24時間以内にスタンドへ駆けつけ。

凡例:

- 全体
- 事業者
- 従業者
- 保安監督者
- 設備

保安監督者 (免状保持 + 製造経験)

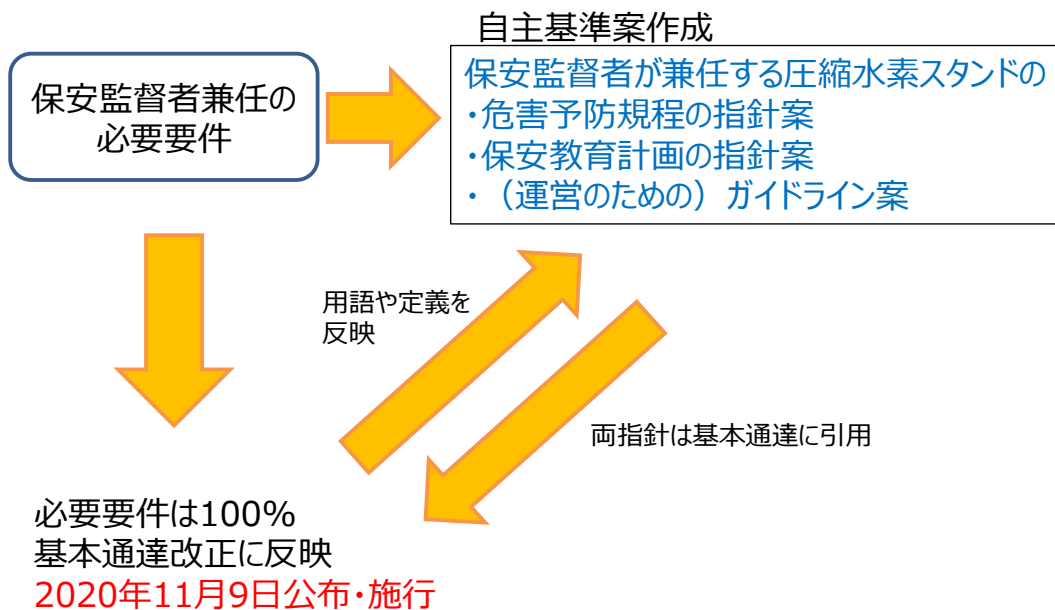
ヒューマンファクタを排除した安全な設備

⇒上記の兼任後の保安体制を各事業者が確実に満たすため、保安監督者が兼任する圧縮水素スタンドの **危害予防規程の指針、保安教育計画の指針、(運営のための) ガイドライン**を業界が作成

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(1)保安監督者が複数ステーションを兼任するための研究開発

保安監督者が複数スタンドを兼任するための技術基準案



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

実施項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
a) 家庭用小規模充填設備のモデル構築	既存の水素充填設備の調査や自動車会社のヒアリングから家庭用小規模充填設備のモデルを構築	・検討のベースとなる家庭用小規模充填設備モデル構築	○	
b) 充填設備モデルに基づく法的課題抽出	充填設備モデルを家庭に設置する際の法的課題の抽出、明確化	・高圧ガス保安法での実施 ⇒保安距離確保が困難 ・ガス事業法での可能性を提案	△ (2020年度末)	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、×未達

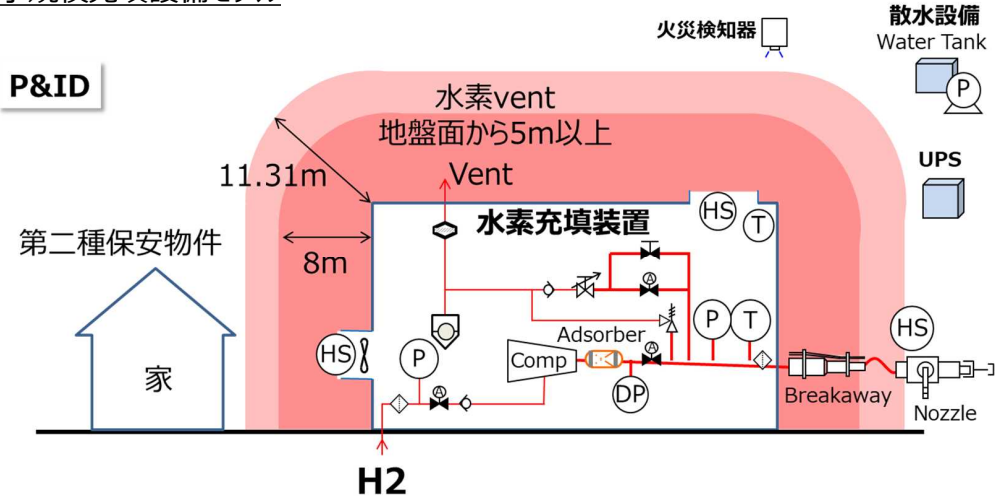
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

背景・検討の進め方

- ・一般則において、一般家庭等におけるFCVへの水素充填を想定した基準は十分に整備されておらず、一般家庭のように事業者が存在しない運用形態における法技術的課題を明確にする必要性
- ・家庭用水素充填設備に関するモデルの調査を実施し、一般家庭等における水素充填に関する法的課題を抽出、明確化

家庭用小規模充填設備モデル

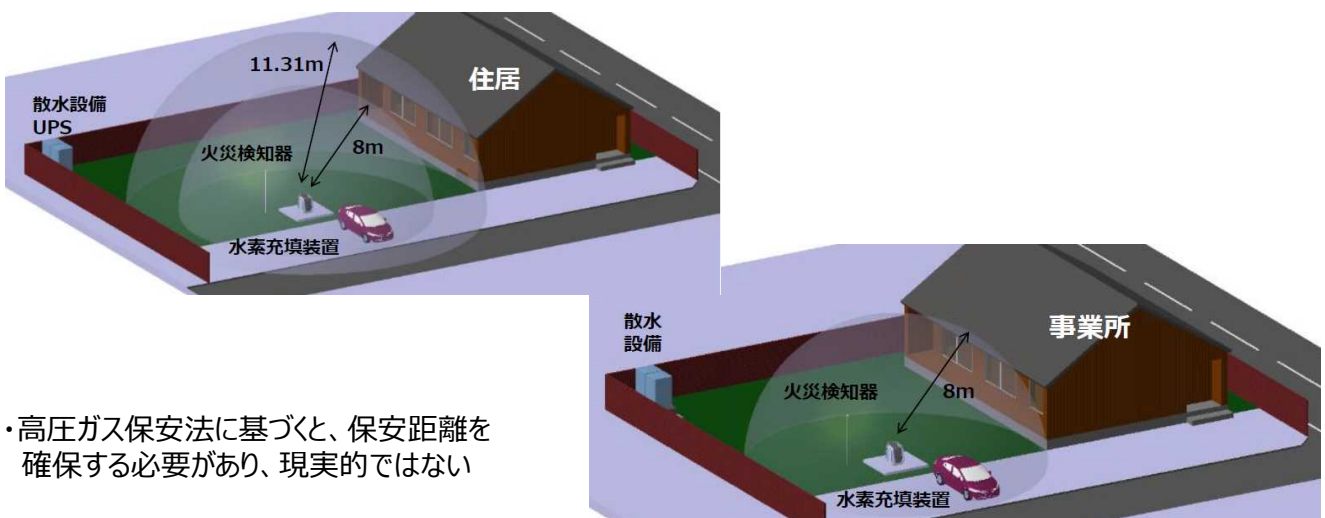


57/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

高圧ガス保安法のもとでの検討



- ・高圧ガス保安法に基づくと、保安距離を確保する必要があり、現実的ではない

58/64

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

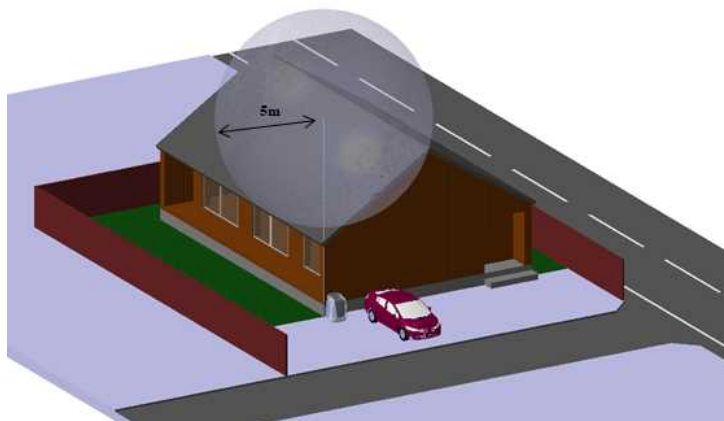
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 ③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出

ガス事業法のもとでの検討

CNG小型充填装置



- ・場所：東京ガス株式会社浜松町本社1F
- ・吐出圧：19.6MPa
- ・吸込み圧：1.96kPa
(都市ガスパイプラインより供給)
- ・流量：8m³/h(50Hz)
- ・電源：3相200V
- ・適用法規：ガス事業法（昇圧供給装置）



- ・ガス事業法
- ・ガス工作物の技術上の基準を定める省令
- ・ガス工作物技術基準の解釈例
(天然ガス自動車用昇圧供給装置技術指針)
を検討
⇒コンパクトな設置の可能性

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆成果の普及

	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文			1	1
研究発表・講演		2	2	4
JPECフォーラム、JPECレポート		2	4	6
計		4	7	11

※2020年10月9日現在

- 本テーマの成果は、規制当局により、省令、例示基準、基本通達等のかたちで規程化され、事業者は、そのビジネスモデルを実行することが可能
- 本テーマの成果は、JPECが自主基準化し、規程の内容を解説することで、事業者にとって、使い易いものとしていく
- これらの自主基準はJPECのホームページから閲覧可能

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本テーマの成果は、省令化や例示基準化、自主基準化に繋げ、広く事業者使用起来してもらうものなので、特許出願等を行わない

61/64

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトの目的は、各テーマのミッションに対応した技術基準案を作成し、それらが省令等に反映されることで、水素スタンドの普及につなげることを踏まえ、「実用化・事業化」の考えは以下

- 本テーマの成果をもとに、規制当局が、新たな省令制定、省令や例示基準の改訂および基本通達を制定
⇒ 事業者は、そのビジネスモデルを実行可能に（普及の第一歩）
- 本テーマの成果を、JPECが自主基準化（省令等を分かり易く具体的に解説）
⇒ 実行を考える事業者の一助として活用可能（普及の加速）
- JPECは研究開発や自主基準化の経験
⇒ 事業者の実行時に事業者をサポート・バックアップ可能（普及の加速）

62/64

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	平成2023年度～2025年度～2030年度	
水素・燃料電池戦略ロードマップ	ST:160か所 FCV:4万台					ST:320か所 FCV:20万台	ST:900か所 FCV:80万台
①無人運転を実施するための研究開発	7条の4制定に資する技術基準案（省令案）策定		中間評価	<ul style="list-style-type: none"> ・7条の4第1項STの設備構成の見直し ・保安監督者兼任の遠隔監視STの法整備対応 		<ul style="list-style-type: none"> ◇水素ステーションの多様化 <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視水素ST ・保安監督者兼任水素ST ・保安監督者が兼任する遠隔監視ST ・保安監督者による出荷設備併設水素ST ・家庭・小規模水素充填設備 ◇設備の簡素化 <ul style="list-style-type: none"> ・建設費・運営費（保安検査等）低減 ・充填バンク数低減ST <p>⇒水素ステーションの普及と自立化、FCV市場拡大、水素社会の実現</p>	
②リスクアセスメント（RA）の再実施に基づく設備構成に関する研究開発	7条の3第2項の安全設備に関する技術基準見直し案（省令案・例示基準案）策定						
③(1)保安監督者が複数の水素ステーションを兼任するための研究開発	【基本通達】制定に資する技術基準案（通達案）策定						
③(2)家庭・小規模事業所等での水素充填のための法的課題抽出	高圧ガス保安法とガス事業法における法的課題抽出						
③その他規制改革実施計画実施項目の内、研究開発が必要とされる項目	-----		<ul style="list-style-type: none"> ・出荷設備に係る保安統括者等の専任の緩和 ・常用圧上限緩和 		最終目標		63/64

ご清聴、ありがとうございました

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／ 国内規制適正化に関わる技術開発／ 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発 (2018年度～2022年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

- 一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)
- 高压ガス保安協会 (KHK)
- 国立大学法人九州大学
- 一般財団法人金属系材料研究開発センター (JRCM)
- 日本製鉄株式会社
- (共同実施) 日鉄ステンレス株式会社
- (再委託) 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)
- 愛知製鋼株式会社
- 株式会社日本製鋼所 (JSW)

2020年12月17日

1/50

事業概要

1. 期間

開始 : 2018年6月

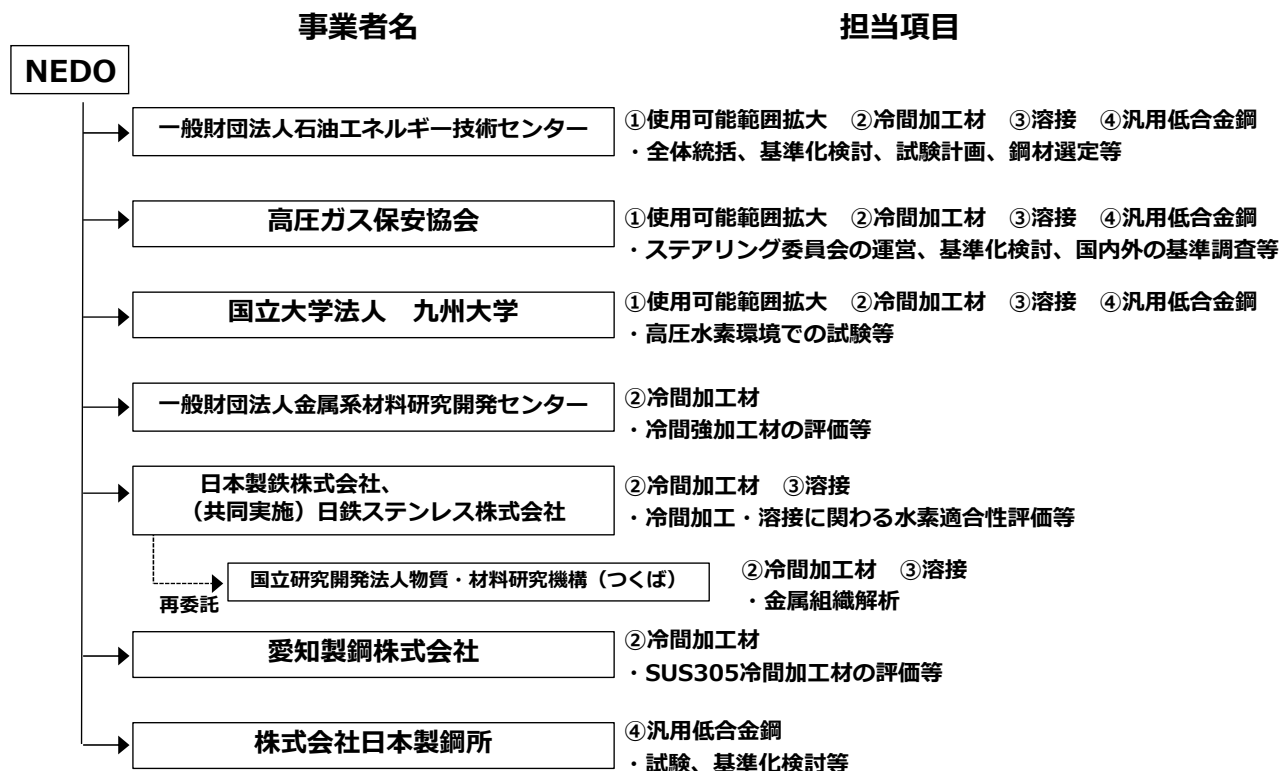
終了 : 2021年2月

2. 中間目標

実施項目	中間目標 (2020年度)
① 汎用ステンレス鋼の 使用可能範囲拡大に関する 研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材 に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に 関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。
④ 汎用低合金鋼の高温適用に 関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータ取得により水素圧縮機への適用可否を判断し、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)へ反映を検討する。

2/50

●実施体制および分担等



3.進捗概要

実施項目	成果内容	自己評価 (2020.10末時点)
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・新指標の判定基準を構築するため、水素適合性評価試験を実施した。Ni当量下限値を見極めるため、既存データを補完するデータを取得 (Ni当量24.2%, 25.1%, 26.6%, 26.8%) した。 ・SSRTにより、引張強さ・伸び・絞りのNi当量依存性、温度依存性、水素圧依存性を確認した。 ・疲労試験：低温・高圧水素中で疲労限度が低下しないことを確認した。 ・例示基準改正に資するデータをまとめた。 	○
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方を確立した。 ・上記の考え方にに基づき使用条件を明確化した。 ・許容引張応力の設定に向けたデータを取得した。 	○
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件を明確化した。 ・水素適合性の判断基準として必要な検討項目を明確化した。 	○
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮機の高温での作動状況を模擬した実験手法確立した。 ・各水素適合性評価試験を実施した。 ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)の改訂の目途を得た。 	◎

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

②水素ステーション

(出典) 2019.3.12 METI
水素・燃料電池戦略ロードマップ

<ロードマップ>

- 水素ステーションについて、官民一体となって2020年度までに160箇所、2025年度までに320箇所を整備し、2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す。
- 水素調達コストについて、2020年代後半には水素販売差益(粗利⁵⁾で500円/kg程度を目指す。
- 水素ステーションの整備費・運営費について、2020年頃までに導入初期との比較で半減(整備費:2.3億円、運営費:2.3千万円)し、2025年頃までに導入初期との比較で大幅削減(整備費:2.0億円、運営費:1.5千万円)することを目指し、要素技術毎に下表のとおりコスト目標を定める。
- 標準化・規格化については、水素ステーションの各機器の仕様や制御方法を統一するため、2020年度までに各機器についての業界統一規格を策定することを目指す。

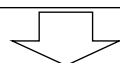
	導入初期	2016年	2025年頃
圧縮機	1.40億円	0.90億円	0.50億円 (100台/年・社)
蓄圧器	0.50億円	0.50億円	0.10億円 (500本/年・社)
フレクター	0.30億円	0.20億円	0.10億円 (100台/年・社)
ディスペンサー	0.60億円	0.20億円	0.20億円 (100台/年・社)
その他工事費	1.80億円	1.70億円	1.10億円
整備費計	4.60億円	3.50億円	2.00億円
運営費	4~5千万円	3.4千万円	1.5千万円

5/50

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

社会的背景

水素ステーションの普及目標として、2020年に160か所、2025年に320か所の整備が掲げられている。これを実現するためには水素ステーション事業の自立化に向け、コスト低減のためのさらなる取り組みが必要である。



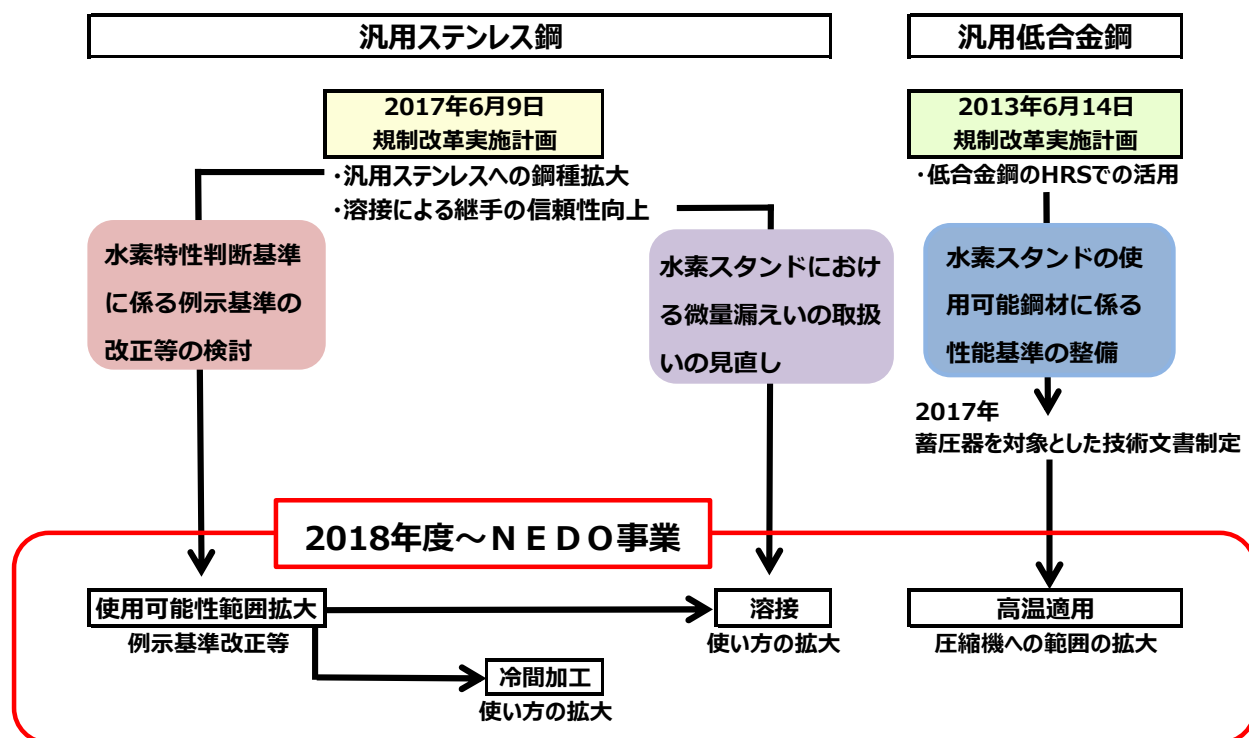
事業の目的

前NEDO事業において水素ステーションで用いられる鋼材の鋼種拡大に取り組んできたが、今後は市中に流通する汎用材を使用可能にしていくことが重要である。

そこで、本事業では新たな水素特性判断基準の導入に関する研究に取り組み、水素ステーションの建設コスト低減に向けた例示基準の見直しに資する成果を生みだすことを目的としている。

6/50

規制改革実施計画に沿った研究開発を実施している。



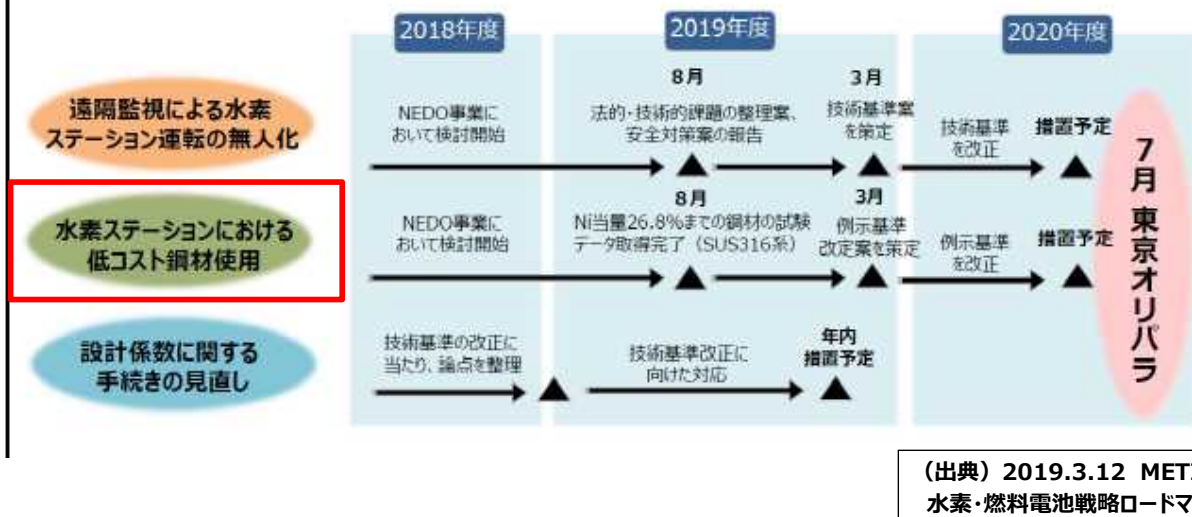
新たな水素特性判断基準の導入に関する研究は第5期規制改革実施計画「No.39 水素特性判断基準に関わる例示基準の改正等の検討」に沿ったものである。

水素ステーションの高圧水素部に使用できる材料の使用範囲を拡大し水素ステーション事業者が簡便に利用できるようにするためには、検証結果の例示基準化・技術文書化が、最も有効な方策である。

これらの研究を行うには、水素ステーションの現状の事業内容、市場規模を勘案すると民間単独での対応は困難であり、国による研究支援が求められる。

1. 事業の位置付け・必要性 (2) 国が支援する妥当性

- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画(2017年6月9日閣議決定)で掲げられている37項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要3項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



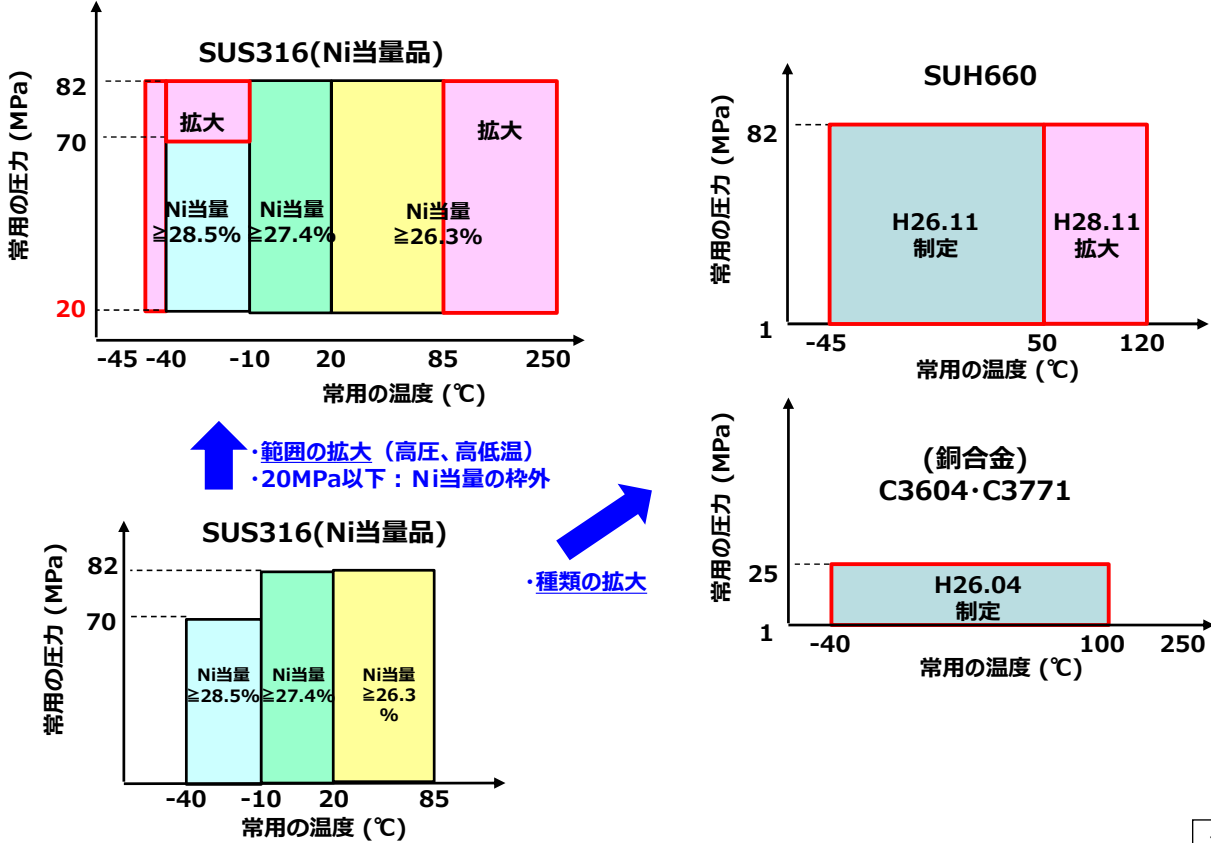
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。 また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	現在の例示基準の根拠となっている絞り特性から新たな水素特性判断基準に置き換え、その結果としてNi当量を緩和させるには、低温、高圧の水素中での様々な挙動を評価し、安全性を立証することが必要である。
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	部材の薄肉化や部品の小型化を可能とし低コスト化に寄与する。将来の例示基準化を視野に入れた、当該材料の水素適合性や許容引張応力の検討が必要である。
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。 汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	配管接続に汎用ステンレスの溶接が使用可能になれば部品点数の削減や漏えいリスクの低減に効果的であると考えられる。 実使用に耐える溶接を実現するための検討と実施に向けた技術指針の作成が必要である。
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータを取得し、汎用低合金鋼の水素圧縮機への適用可否を判断する。	汎用低合金鋼は素材コストや加工性に優れるものの、水素圧縮機の温度範囲での水素適合性が未知のため現状では使用できない。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発 前事業の成果 (例示基準化実績)

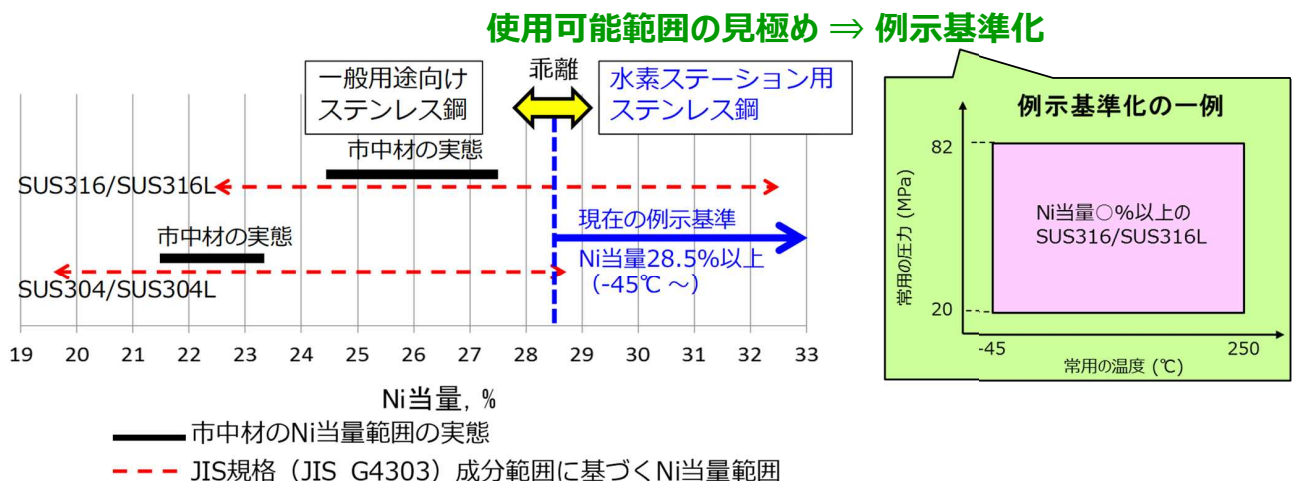


11/50

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

- ・市中に流通する汎用材 (SUS316系) の使用を念頭に、例示基準におけるNi当量範囲の拡大を目指す。
- ・SUS304域までNi当量低減し適材適所の使用拡大を目指す。

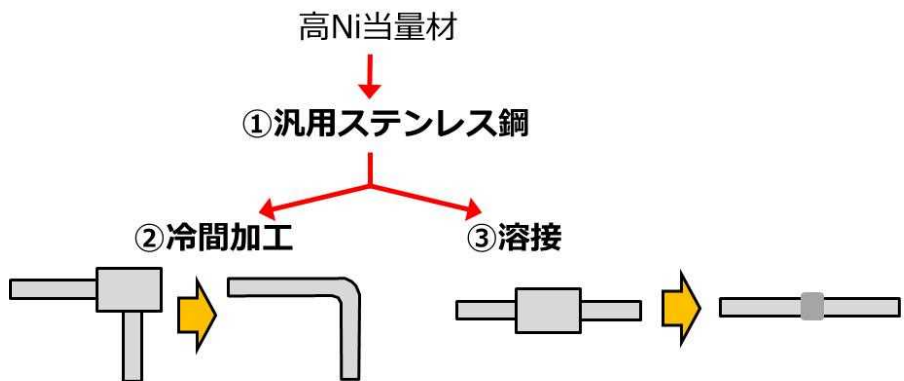


12/50

2. 研究開発マネジメント（1）研究開発目標の妥当性

②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発



曲げ加工、溶接による機械継手削減 ⇒ 水素漏洩リスク低減

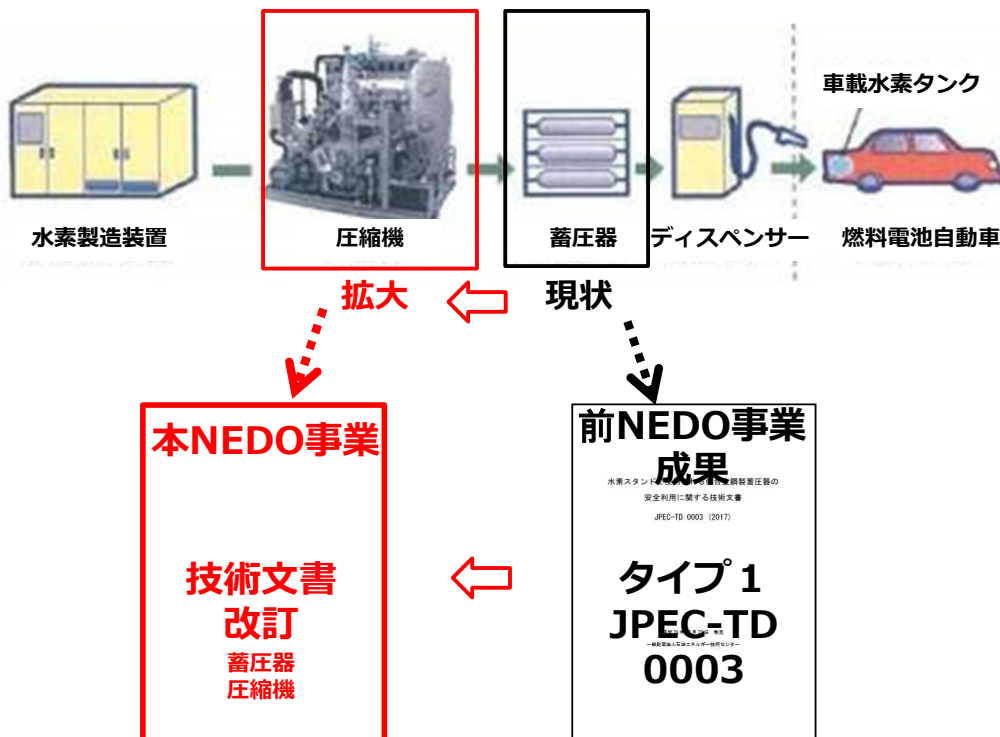
	①汎用ステンレス鋼	②冷間加工	③溶接
建設コスト	低減	機械継手代替	機械継手代替
維持コスト	—	大幅低減	大幅低減
備考 (理由)	安価な量産流通材の使用により、調達期間の短縮・価格低減効果を期待	信頼性向上 機械継手等の接合が不要となり、漏洩等の不具合減少	信頼性向上 機械継手に代替することで漏洩等の不具合減少

13/50

2. 研究開発マネジメント（1）研究開発目標の妥当性

④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

汎用低合金鋼の使用温度域の拡大による圧縮機への適用



14/50

2. 研究開発マネジメント（2）研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

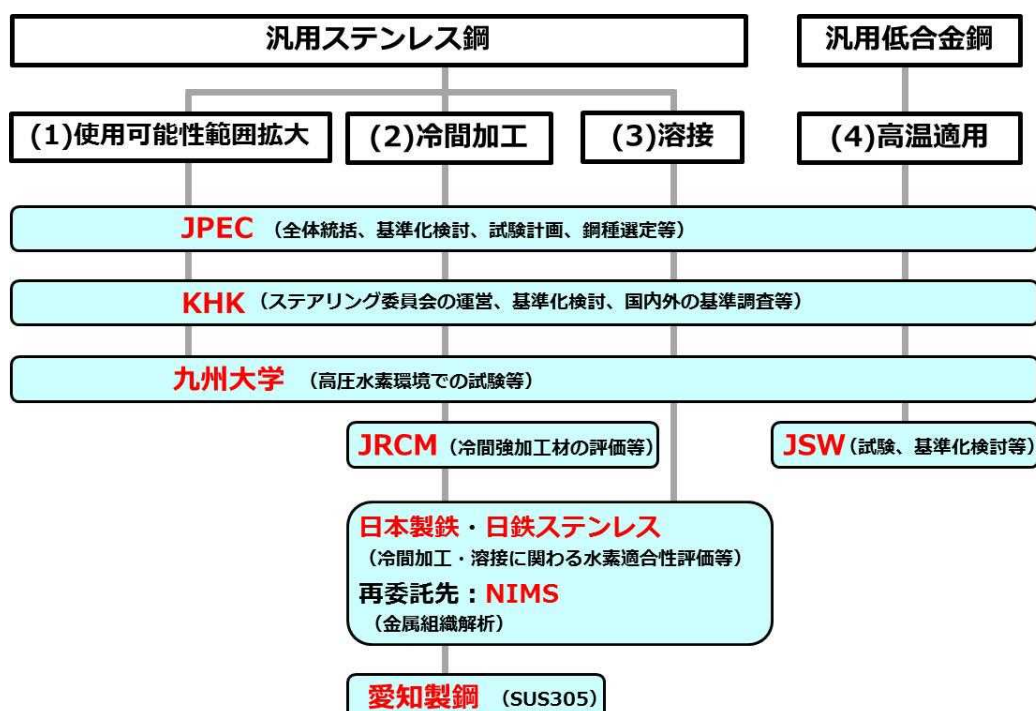
研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (参考)	2022年度 (参考)
①汎用ステンレス鋼の 使用可能範囲拡大 に関する研究開発	SUS316系の水素適合性検討 ▽新指標の判定基準作成 ▽基準化に資する資料作成 SUS316系の基準化検討 SUS304系の水素適合性検討 境界条件を考慮した適材適所の基準化検討 基準化に資する資料作成▽				
②汎用ステンレス鋼 冷間加工材に関する研究開発	SUS316系冷間加工材の水素適合性検討 ▽使用条件明確化 SUS304系冷間加工材の水素適合性検討 ▽使用条件明確化 SUS305系冷間加工材の許容引張応力、水素適合性検討 基準化に資する資料作成▽ 基準化検討				
③汎用ステンレス鋼 溶接材に関する研究開発	溶接部の水素適合性検討 技術指針検討 ▽検討課題明確化 技術指針提案▽				
④汎用低合金鋼の 高温適用に関する研究開発	▽圧縮機への適用可否判断 低合金鋼の水素適合性検討 技術文書化検討・TF&分科会開催 ▽技術文書改訂				

15/50

2. 研究開発マネジメント（3）研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制

事業ニーズ、法規制、学術知識、材料製造の様々な分野を得意とする機関が集結し、一体となってプロジェクトを推進している。



16/50

◆研究開発の進捗管理

研究開発の進捗管理として、各会議体を開催した。

①ステアリング委員会（有識者、全事業者＋METI、NEDO）を実施した。

2018年度：3回

2019年度：3回

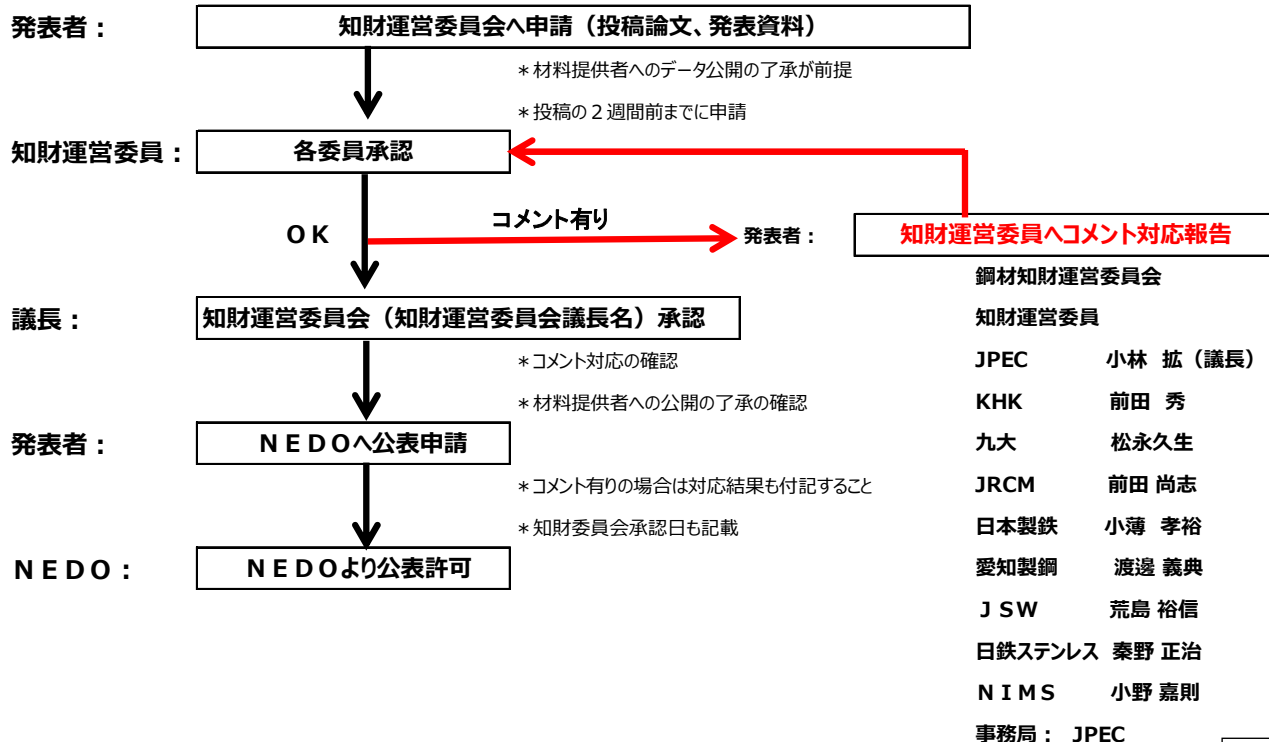
2020年度：2回（年度内3回実施の予定）

②個別進捗確認会議

必要に応じて各テーマ事業者間の個別進捗確認会議を実施した。

◆知的財産権等に関する戦略

知財運営委員会を設置し、対外発表等に際して申請、認可を得る。



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	水素ステーションで使用可能な汎用ステンレス鋼の候補から優先度の高いSUS316系のデータ取得を行い、使用可能範囲を明らかにする。また、取得したデータを基に新たな水素特性判断基準を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> 伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立 低温水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の範囲を拡大 一般則例示基準の規制内容の見直しに寄与 	○	
②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼冷間加工材について、水素ステーションにおける使用条件を明確化する。	<ul style="list-style-type: none"> 例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工に関する水素適合性判断基準の考え方を確立 上記の考え方に基づき使用条件を明確化 許容引張応力の設定に向けたデータ取得 	○	

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性を測定し、基本的な材料特性、使用条件等を明らかとする。汎用ステンレス鋼の溶接に関する水素適合性検討結果に基づき、技術指針作成に向け必要な検討課題を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> 高圧水素で使用可能な溶接材料の使用条件の明確化 水素適合性の判断基準として必要な検討項目の明確化 	○	
④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	汎用低合金鋼の高温水素ガス中使用を想定したデータ取得により水素圧縮機への適用可否を判断する。	<ul style="list-style-type: none"> 高温での使用を想定した実験手法の確立 各種評価試験完了 低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了見込み 	◎ (2022年度分前倒し達成)	

◆ 各個別テーマの成果と意義

開発項目①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

成果：伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立した。

新たな水素適合性判断基準案に基づく使用可能な汎用ステンレス鋼の拡大範囲を提案した。

意義：市中材のステンレス鋼が水素ステーションに使用可能になれば建設コストの低減につながる。

◎ 新たな水素適合性についての基本的な考え方

要件：高圧水素ガス環境下における「延性」と「強度」の確保

1. 強度の確保

- SSRTの応力-ひずみ線図において最大荷重点を超過 (RTS=1)

2. 延性の確保

- 伸びの実測値 × REL (相対伸び比) ≥ 伸びの規格値

3. 疲労特性の確保

- 大気中と比較して、水素中で疲労限度が低下しない (右図参照)

◎ 範囲拡大した汎用ステンレス鋼の

低温高圧水素ガス環境下における疲労特性の確認

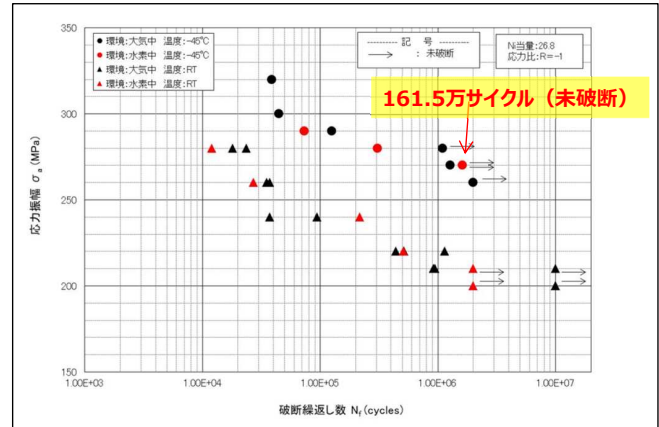


図1 SUS316L (Ni当量26.8%) の疲労試験結果

参考1

ステンレス鋼及び金属の機械的特性について

- ・ステンレス鋼は、ニッケル等が含まれる量によって、水素から受ける影響の度合が変化する特性（機械的特性）を持っている。
- ・ステンレス鋼の水素特性は、「ニッケル等含有量」及び「機械的特性」をパラメーターとする判断基準で検証できる。
- ・金属の機械的特性には、「絞り」、「伸び」、「引張強さ」といった指標が存在。

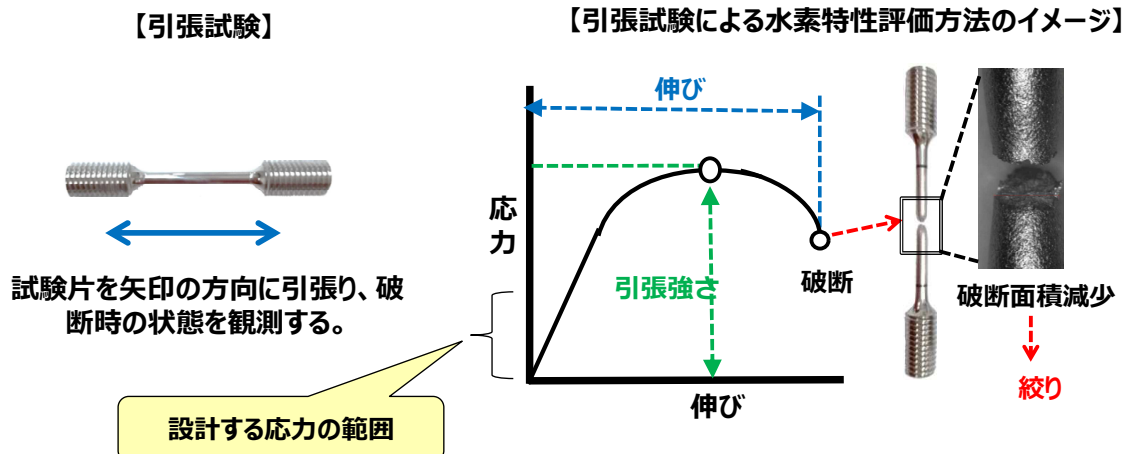


図2 金属の機械的特性について

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

・平成24年の例示基準策定に向けた検討を行った時点では、「伸び」のデータの蓄積が十分でなかったことから、精度が確認されており、かつ最も保守的な指標であった「絞り」を判断基準として例示基準化を図った。
 ・本NEDO事業で「伸び」のデータの補完を進めてきたが、「伸び」を水素特性の判断に係る指標とすることが可能なが確認できた。

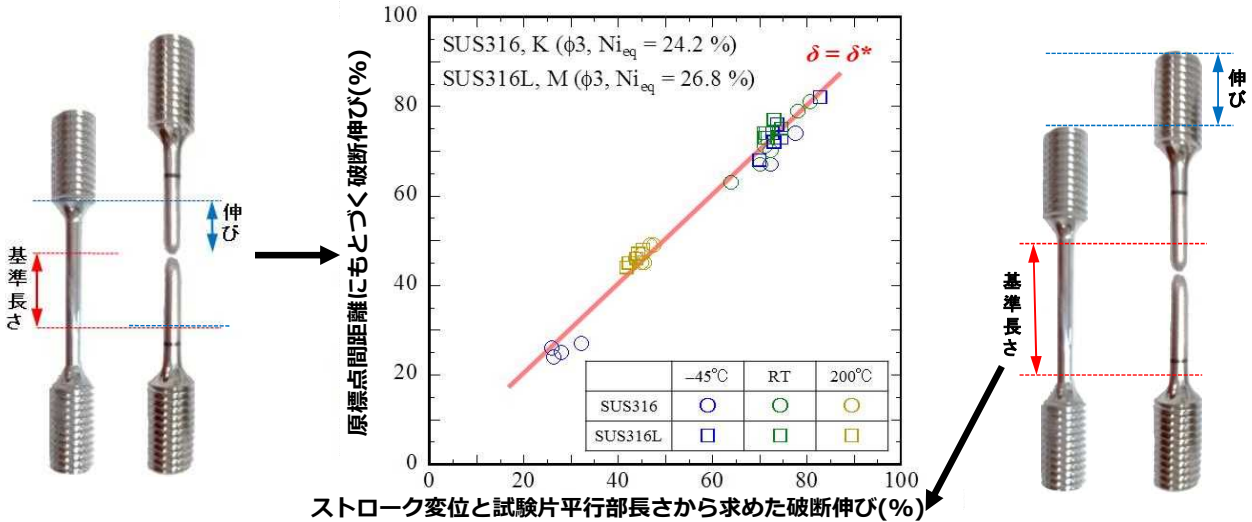


図3 伸びの評価試験方法の違いによる相関の検討

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

Ni当量24.2%のSUS316に比べて、Ni当量26.8%のSUS316Lは-45°C@高圧水素中においても窒素中との水素適合性の差は認められなかった。

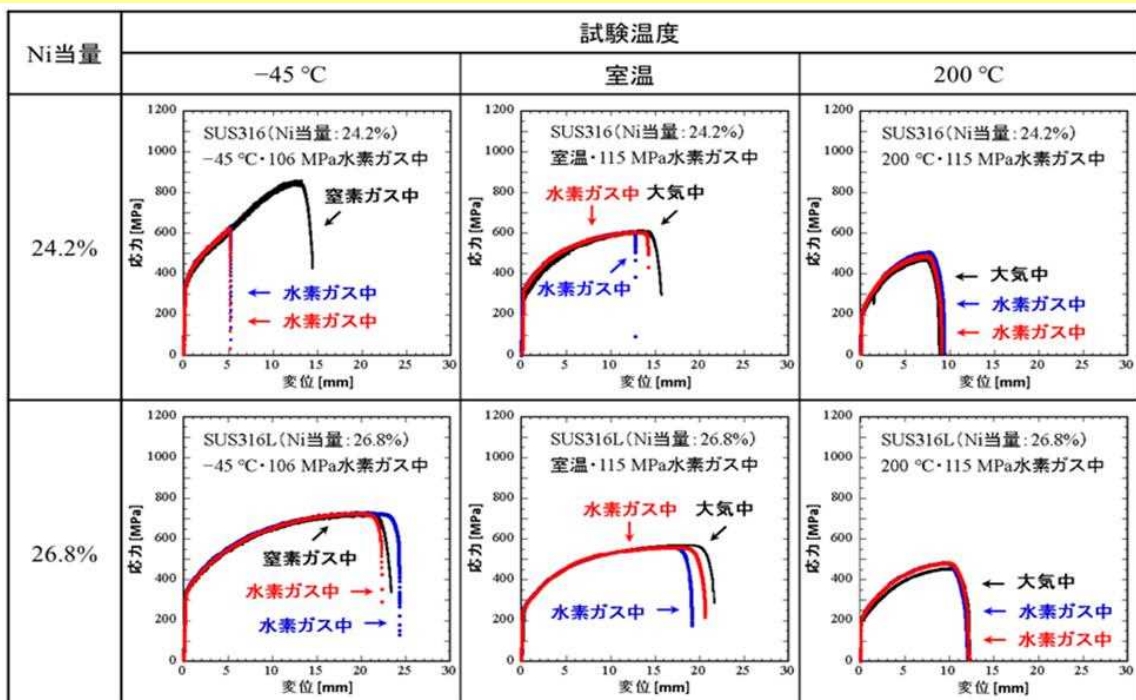


図4 SUS316L (Ni当量24.2%、26.8%) のSSRT結果の例

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

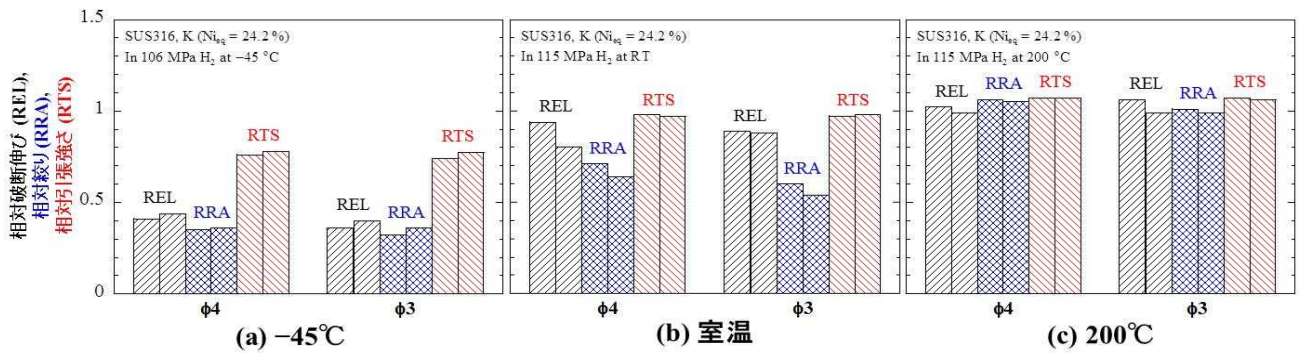


図5 SUS316 (Ni当量24.2%) のSSRT結果の解析

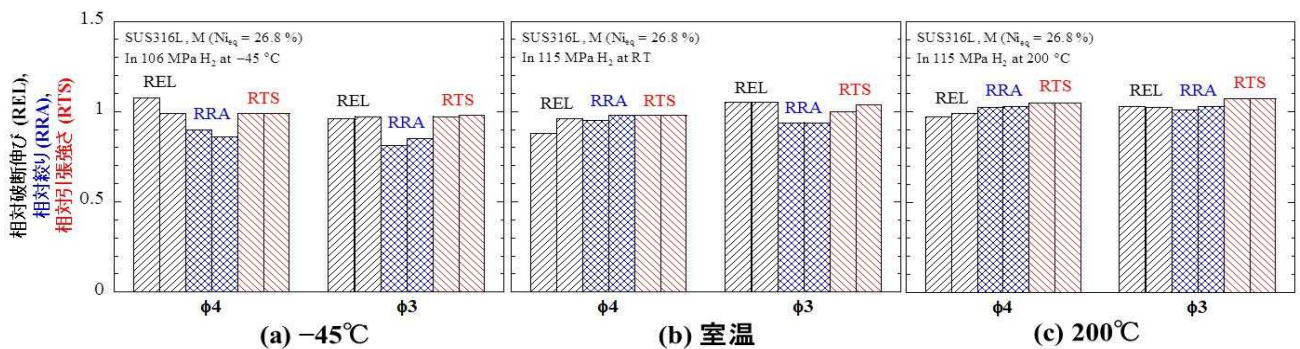


図6 SUS316L (Ni当量26.8%) のSSRT結果の解析

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

大気中と比較して、高圧水素中でも室温と同様に低温において疲労限度が低下しないことを確認した。

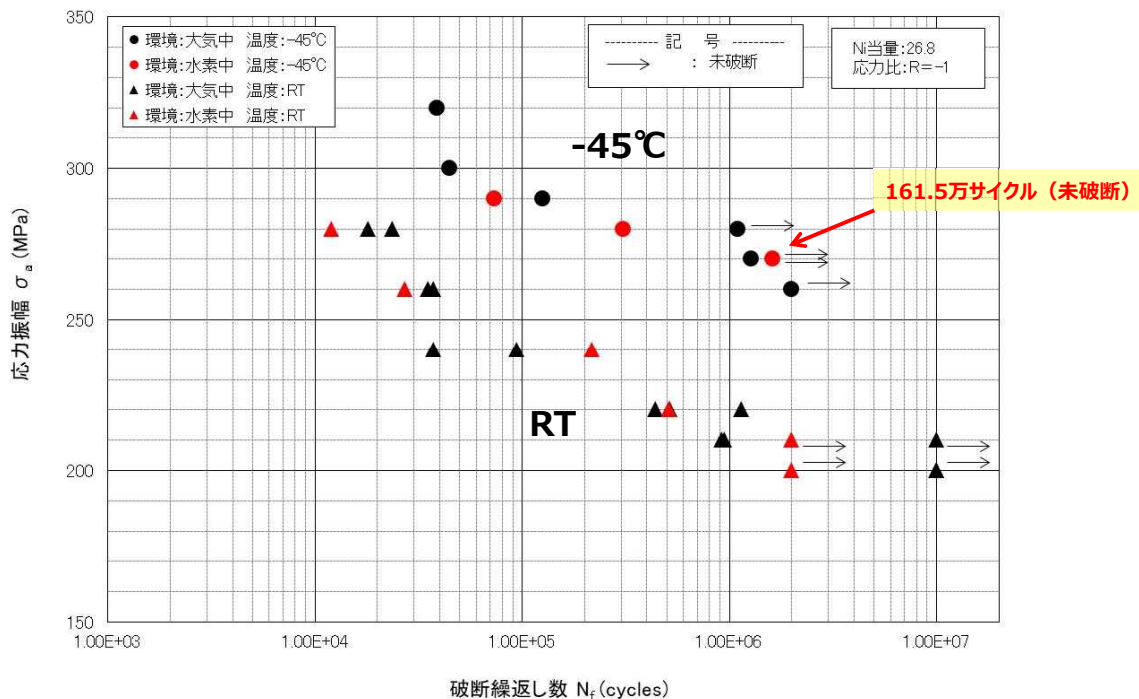


図7 SUS316L (Ni当量26.8%) の疲労試験結果

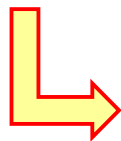
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

「絞り」に代わり「伸び」を指標とすべく、安全性やデータの検証を行い、「伸び」を指標とする新たな水素特性判断基準を作成した。

この検討結果に基づき、使用可能な汎用ステンレス鋼の拡大範囲を提案し、一般則例示基準の改正に向けた手続が開始された。

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 (60%) に対し 75%以上	材料規格 の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

現行の一般則例示基準における
材料使用可能範囲



注：Ni当量（質量%）

$$= 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$

温度範囲	絞り	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	材料規格 の通り	材料規格 の通り	28.5%以上
-10℃～250℃			27.4%以上
20℃～250℃			26.3%以上

温度範囲	材料形状	伸び	Ni当量
-45℃～250℃	棒	57%以上	26.9% 以上
	管	50%以上	
	鍛鋼	42%以上	

新たな水素特性判断基準に基づく
材料使用可能範囲

参考 2

一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について等の一部を改正する規程
パブリックコメント実施期間：9月30～10月29日 ⇒11月4日 公布・施行

改正後

方法及び試験採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1～2.5 [略]

表(三)

材料の種類	常用の圧力 (82MPa 以下) における常用の温度	ニッケル当量 (注1)
JIS G 3214(2009) 圧力容器用ステンレス鋼 鍛鋼品 (SUSF316、SUSF316L に限る。)	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 42%以上にあつては、26.9 以上)
	-10℃以上 250℃以下	27.4 以上 (伸びが 42%以上にあつては、26.9 以上)
	20℃以上 250℃以下	26.3 以上
JIS G 3459(2016) 配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP、SUS316LP に限る。)	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)
	-10℃以上 250℃以下	27.4 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)
	20℃以上 250℃以下	26.3 以上
JIS G 4303(2012) ステンレス鋼棒 (SUS316、SUS316L に限る。 (注2))	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)
	-10℃以上 250℃以下	27.4 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)
	20℃以上 250℃以下	26.3 以上

(注1) ニッケル当量は次式によって求めること。

$$\text{ニッケル当量 (質量\%)} = 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$

ここで、Cは炭素、Siはケイ素、Mnはマンガン、Niはニッケル、Crはクロム及びMoはモリブデンの各質量分率の値 (%) を示す。

また、「伸び」とは、規格材料の引張試験又はミルシートにおける伸びを示す。

(注2) ただし、熱間加工済みの状態を除く。

表(四)～表(七) [略]

改正前

方法及び試験採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1～2.5 [略]

表(三)

材料の種類	規格材料の引張試験又はミルシートにおける絞り	圧力・温度の条件	常用の温度におけるニッケル当量 (注1)
JIS G 3214(2009) 圧力容器用ステンレス鋼 鍛鋼品 (SUSF316、SUSF316L に限る。)	75%以上	常用の圧力：82MPa 以下 常用の温度：-45℃以上 250℃以下	-45℃以上 -10℃未満である場合にあっては 28.5 以上
			-10℃以上 20℃未満である場合にあっては 27.4 以上
			20℃以上 250℃以下である場合にあっては 26.3 以上 (下図参照。)
JIS G 3459(2004) 配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP、SUS316LP に限る。)	75%以上	常用の圧力：82MPa 以下 常用の温度：-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)
27.4 以上 (伸びが 50%以上にあつては、26.9 以上)			
26.3 以上			
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒 (SUS316、SUS316L に限る。)	75%以上	常用の圧力：82MPa 以下 常用の温度：-45℃以上 250℃以下	28.5 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)
27.4 以上 (伸びが 57%以上にあつては、26.9 以上)			
26.3 以上			

(注1) ニッケル当量は次式によって求めること。

$$\text{ニッケル当量 (質量\%)} = 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$

ここで、Cは炭素、Siはケイ素、Mnはマンガン、Niはニッケル、Crはクロム及びMoはモリブデンの各質量分率の値 (%) を示す。



図 常用の圧力及び常用の温度と必要とされるニッケル当量の関係

表(四)～表(七) [略]

◆ 各個別テーマの成果と意義

開発項目② SUS316/SUS316L ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

成果：室温・低温のいずれの高圧水素ガス中においても、Ni当量が26.6%と28.6%のSUS316/SUS316Lステンレス鋼のSSRT特性の低下量は限定的であった。また、室温において、Ni当量および冷間加工度によらず、水素の影響による疲労限度の低下は認められなかった。これらの結果から、同鋼の冷間加工材を高圧ガス中で安全に使用できる可能性が示された。

意義：市中材のステンレス鋼の冷間加工材が水素ステーションに使用できれば建設コストの低減につながる。

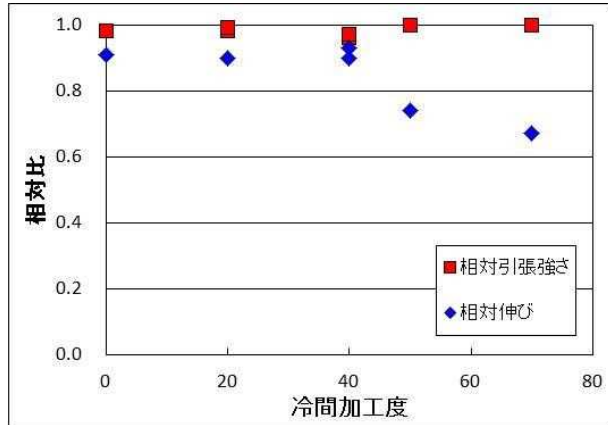


図8 SUS316L冷間加工材 (Ni当量28.6%) の低温SSRT結果

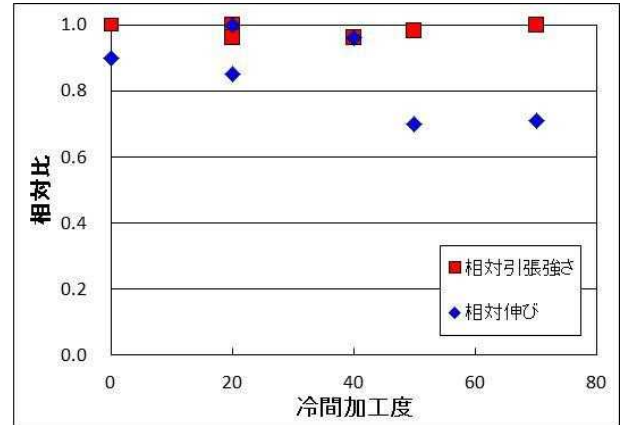


図9 SUS316冷間加工材 (Ni当量26.6%) の低温SSRT結果

室温・高圧水素ガス中での疲労寿命特性に及ぼす冷間加工度の影響

SUS316/SUS316L ステンレス鋼冷間加工材の疲労寿命特性では、0~40%の冷間加工度によらず、大気中と水素ガス中の疲労限度は同等であった。

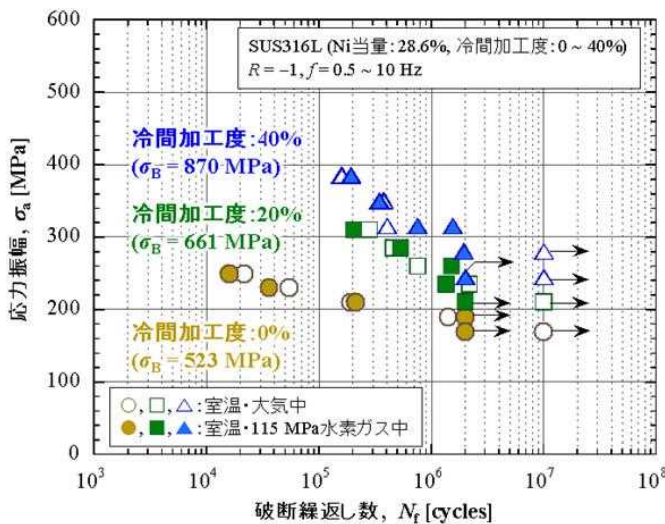


図10 SUS316L冷間加工材 (Ni当量28.6%) の疲労試験結果

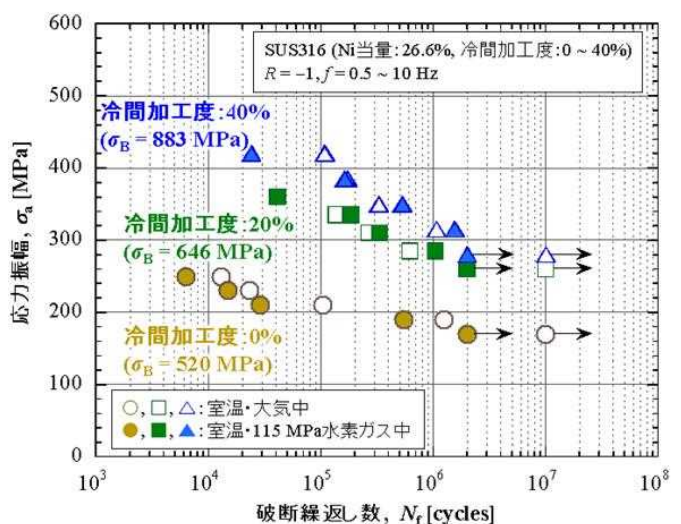


図11 SUS316冷間加工材 (Ni当量26.6%) の疲労試験結果

開発項目② SUS305ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

成果：SUS305 (Ni当量：26.0～28.8の4水準) の冷間引抜材 (減面率：30%、35%の2水準) および固溶化熱処理材において、許容引張応力設定に関する材料特性評価として、-50℃～175℃における機械的性質データを取得した。また、高圧水素中SSRTを順次実施し、水素適合性の検証を進めている。

意義：現行のSUH660に匹敵する高強度を有し、SUH660よりNi, Mo等のレアメタル含有量が少なく省資源であり、切削性にも優れるSUS305引抜材に代替することにより、水素ステーション機器において低コスト化を図る。安価な素材への置き換えにより建設コストの低減につながる。

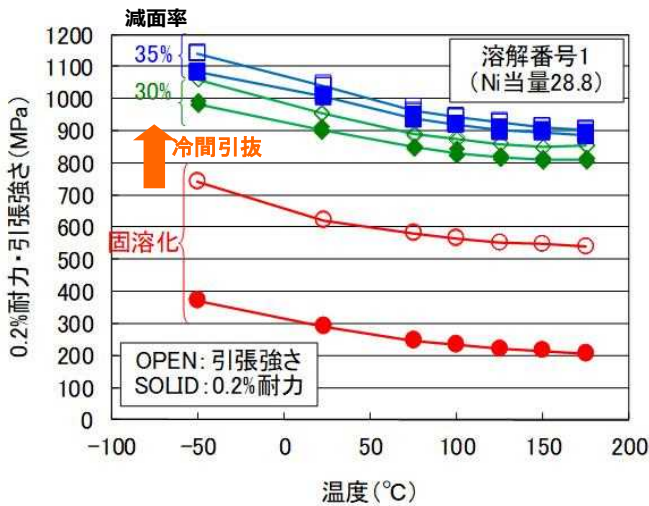


図12 許容引張応力設定に関する材料特性評価結果の例

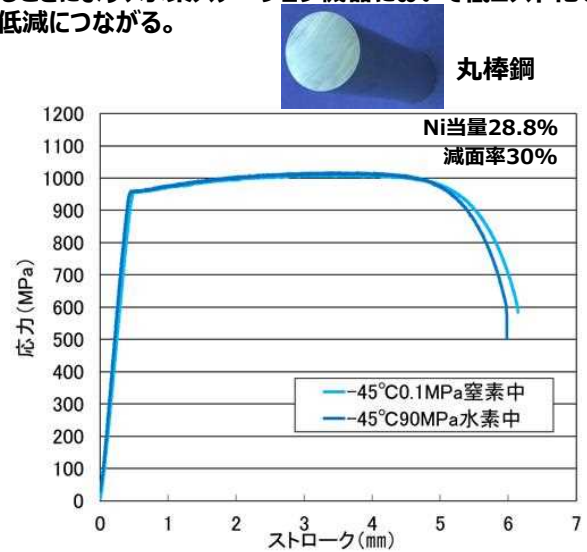


図13 SUS305のSSRT結果の例

◆ 各個別テーマの成果と意義

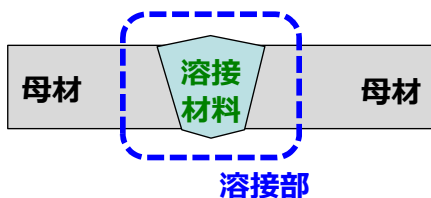
開発項目③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

成果：Ni当量を制御した素材を製造し、圧延加工により溶接試験用板材を製造した。

バタリング溶接により、溶接金属を製作して評価を実施中。

意義：溶接施工者は、溶接継手の水素適合性を評価し、社内データとして保有しているが、As Weld (溶接まま) では水素適合性要件を満足しない懸念があるため、固溶化熱処理を実施して出荷している。

→ As Weldにおける水素適合性が検証できれば、無用な工程を省略出来望ましい。



- 溶接継手は、①母材，②溶接金属，③溶接部からなり、これら全ての水素適合性を検証する必要がある。
- 母材と最適な溶接金属の組合せにより溶接継手を製作し、水素適合性を評価する。

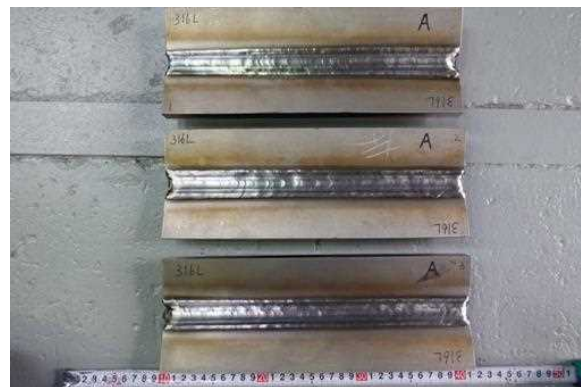


図14 バタリング溶接試験体の例

- ・ 汎用ステンレス溶接材料を用いた溶接金属の水素適合性はNi当量と相関があった。
- ・ $-40^{\circ}\text{C} \times 70\text{MPa}$ 水素環境下では、少なくともNi当量 $\geq 28.5\%$ を有する溶接材料が望ましい。

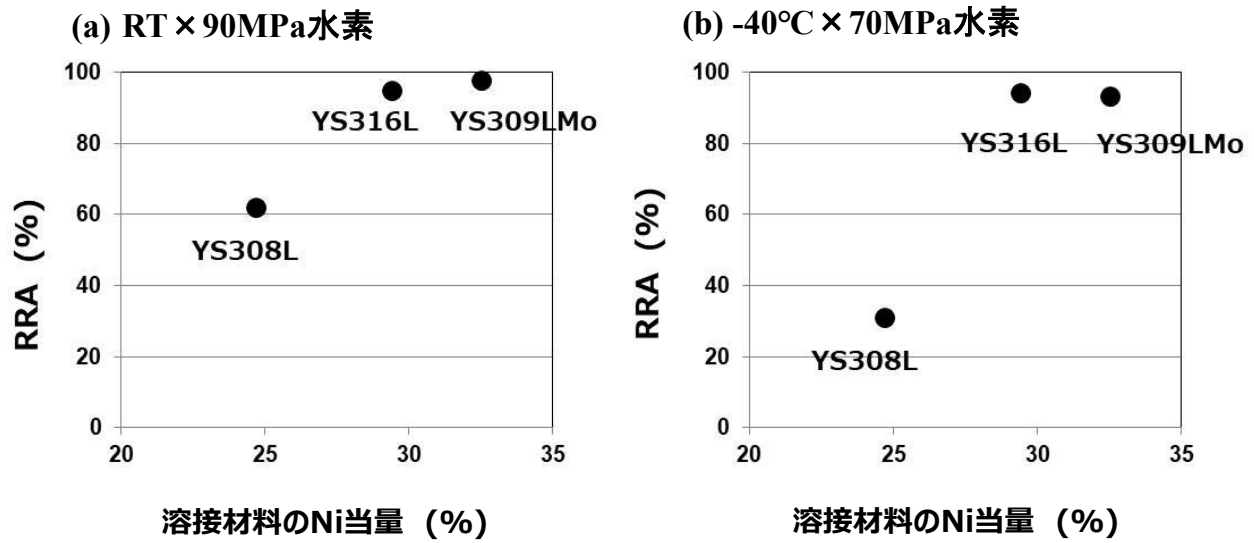


図 1 5 溶接材料のSSRT結果

◆ 各個別テーマの成果と意義

開発項目④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

成果：圧縮機の稼働中には 200°C 程度の高温となるため鋼中に水素が侵入し、次回稼働時の特性に悪影響を及ぼす懸念があることから、予備検討として低合金鋼中に水素がチャージされた状態でSSRTを実施し、顕著な劣化が認められないことを確認した。

意義：水素圧縮機材料として多用されているSUH660は加工が困難であり材料価格も高価であることから、高強度低合金鋼を活用することにより加工費や素材費で低コスト化が期待される。また、低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)に、高温使用に対する適切な判断基準を盛り込み、安全使用に必要な要件を明示する。

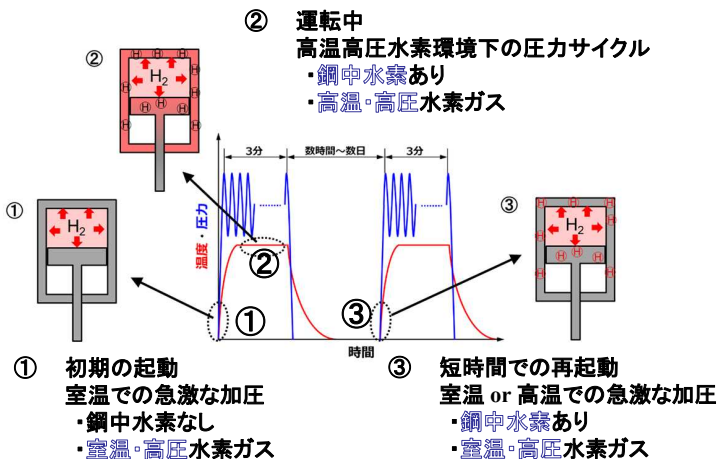


図 1 6 圧縮機の使用環境

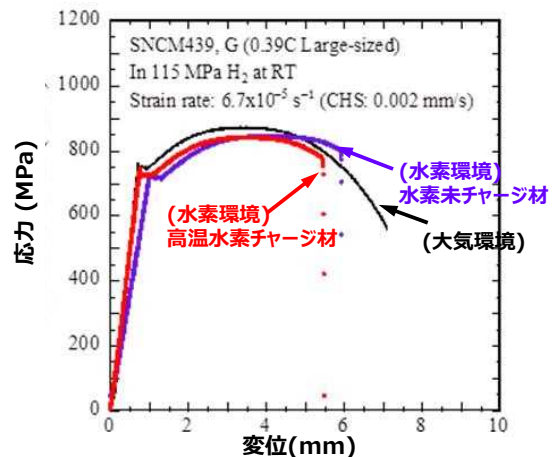


図 1 7 SNCM439のSSRT結果

圧縮機メーカーヒアリング

目的：圧縮機部材の水素適合性の認可取得のために、どのようなデータが必要かヒアリングし、効率的な試験計画を策定する。

1. 水素圧縮機的设计

- (1) 適用法規
- (2) 設計圧力
- (3) シリンダ、シリンダヘッド材料
- (4) シリンダ胴部厚さ計算方法
- (5) 圧縮機の使用回数

2. 事前評価申請の概要

- (1) 使用材料の水素適合性
- (2) シリンダ内周面の疲労解析

認可取得に必要な試験計画を策定

35/50

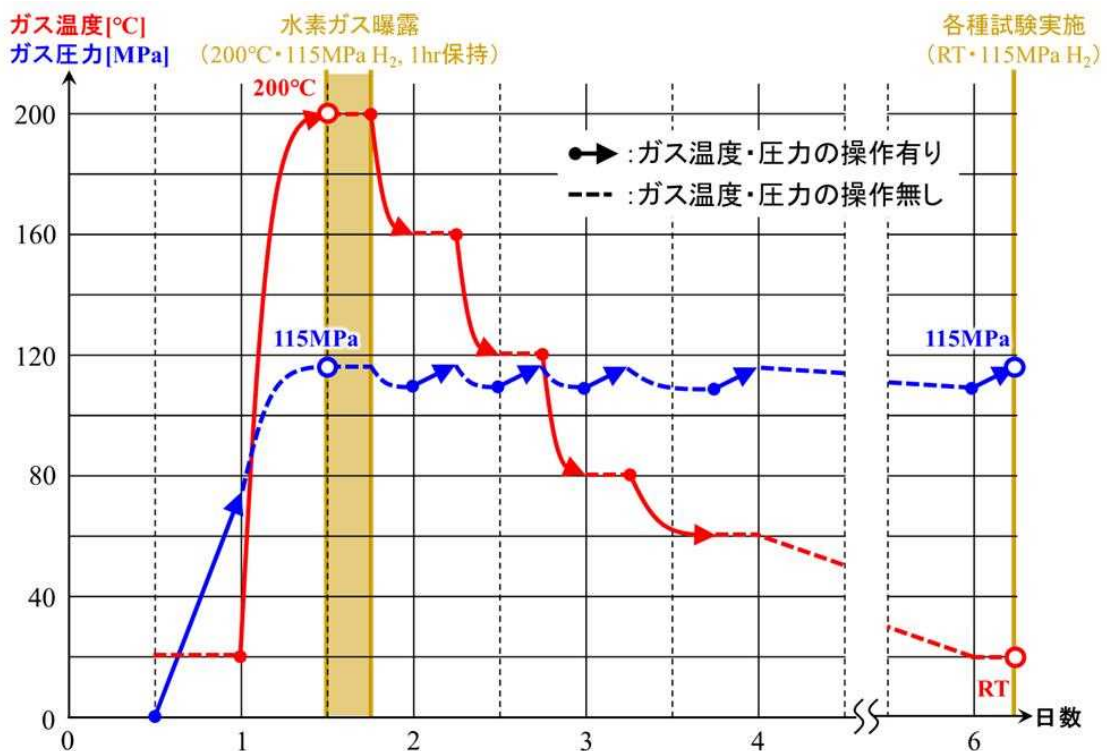
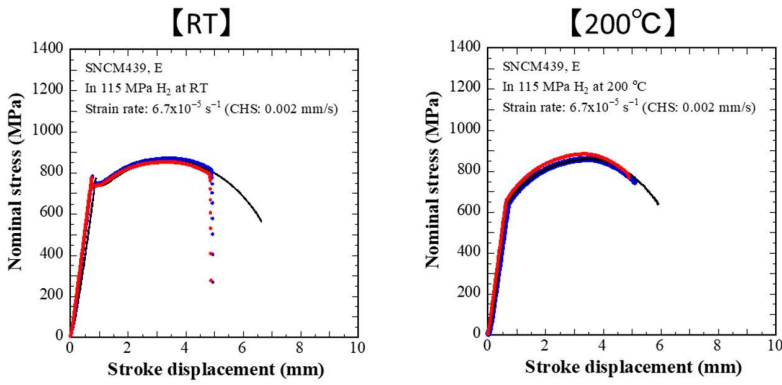


図 18 高温・高圧水素チャージ法の水素ガス温度・圧力のプロフィール

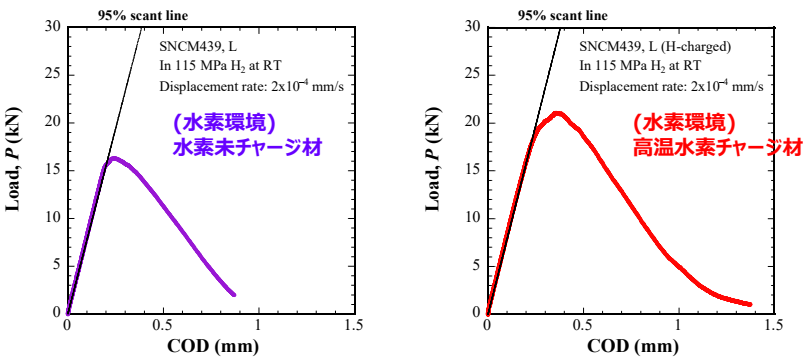
36/50

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義



Test condition		σ_B [MPa]	RTS	δ [%]	REL	ϕ [%]	RRA
RT	Air	856	—	23	—	65	—
	115 MPa H ₂	870	1.02	16	0.70	35	0.54
		855	1.00	18	0.78	37	0.57
200°C	Air	861	—	21	—	60	—
	115 MPa H ₂	861	1.00	17	0.82	40	0.67
		884	1.03	17	0.80	39	0.65

図 19 SNCM439のSSRT@室温、@200°C結果

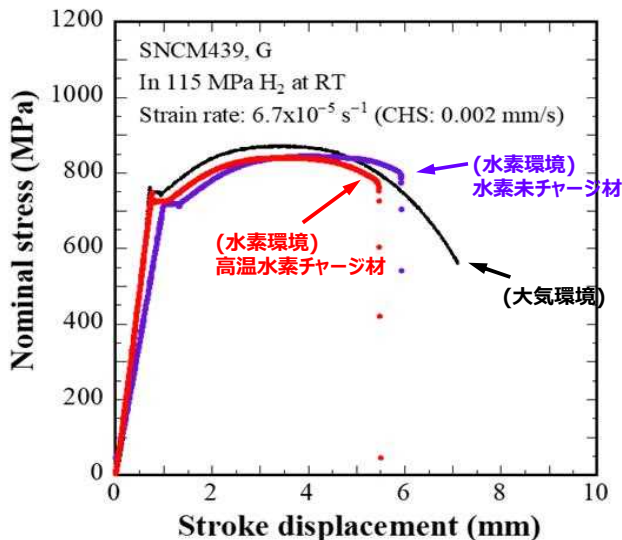


Test condition		P_Q [kN]	K_{I_H} [MPa $\cdot\sqrt{m}$]
RT	115 MPa H ₂	15.6	50.5
	115 MPa H ₂ (After H-charging)	17.3	56.4

図 20 SNCM439の水素助長割れ下限界応力拡大係数 K_{I_H} 試験結果

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

- ・圧縮機の使用環境を想定した内部水素の影響評価試験で、SSRT試験結果、 K_{I_H} 試験結果に対し、水素チャージの影響が無いことを確認した。
- ・水素の影響は、高温(200°C)の方が室温に比べて小さいことを確認した。
- ・水素中室温疲労試験で大気中と水素中の疲労限度は変わらないことは確認されており、水素圧縮機の評価に必要なデータは一通り揃うことを確認した。



Test condition		σ_B [MPa]	RTS	δ [%]	REL	ϕ [%]	RRA
RT	Air	873	—	26	—	67	—
	115 MPa H ₂	845	0.97	21	0.81	35	0.52
	115 MPa H ₂ (After H-charging)	841	0.96	21	0.81	34	0.51

図 21 SNCM439の高温水素チャージ材のSSRT結果

低合金鋼技術文書改正案の構成(圧縮機追加)案

目次

1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語の意味	2
4 材料	3
4.1 水素適合性の判定	3
4.2 硬さ試験	4
4.3 衝撃試験	5
4.4 製品と同等の材料の定義	5
4.4.1 鍛鋼品における「製品と同等の材料」の定義	5
4.4.2 継目無鋼管における「製品と同等の材料」の定義	6
5 設計	6
5.1 許容引張応力の設定	6
5.2 最小厚さ	7
5.3 疲労解析	7
附属書 A 蓄圧器に適用する場合の追加事項	
A.1 適用範囲	8
A.2 破裂前漏洩条件の検証	8
A.3 疲労解析	8
A.3.1 疲労解析における応力振幅の設定方法	8
A.3.2 蓄圧器の使切り繰返し数の設定	8
附属書 B 圧縮機に適用する場合の追加事項	
B.1 適用範囲	10
B.2 圧縮機シリンダ円筒部の疲労解析	10
附属書 C 水素適合性検証の事例	11
解説	

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

個別研究開発項目の達成状況

①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発

- ・伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準を確立
- ・低温高圧水素中で使用可能なSUS316系ステンレス鋼の範囲を拡大
- ・一般則例示基準の規制内容の見直しに寄与

②汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発

- ・SUS316系、SUS305の冷間加工材の水素適合性の評価を開始した。
- ・例示基準化された汎用ステンレス鋼の冷間加工材の水素適合性判断基準の考え方を確立
- ・許容引張応力の設定に向けたデータの取得

③汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発

- ・高圧水素で使用可能な溶接材料の使用条件の明確化
- ・水素適合性の判断基準として必要な検討項目の明確化
 今後は母材・溶接金属・溶接部の水素適合性評価を行い、技術指針化を進めていく。

④汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発

- ・高温での使用を想定した実験手法の確立し各種評価試験完了
- ・低合金鋼技術文書(JPEC-TD 0003)改訂完了見込み

以上、水素ステーションへの低コスト材料の適用をより簡便に行える環境作りを進める。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
① 汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大に関する研究開発	新たな水素特性判断基準の確立により汎用ステンレス鋼の使用可能範囲を拡大	新たな水素特性判断基準及びそれを満たす汎用ステンレス鋼を提示し、基準化に資する資料を作成	適材適所の利用を含めたさらなる使用可能範囲の拡大に向けた基準化に資する資料を作成
② 汎用ステンレス鋼冷間加工材に関する研究開発	冷間加工材の使用可能な条件を明確化 許容引張応力の設定検討中	評価結果に基づく許容引張応力を検討し、基準化に資する資料を作成	許容引張応力、大型化、疲労限度への影響等を検討し基準化に資する資料を作成
③ 汎用ステンレス鋼溶接材に関する研究開発	高圧水素で使用可能な溶接材の使用条件を明確化 技術指針作成に必要な検討項目を明確化	汎用ステンレス鋼の溶接について、その材料特性、水素適合性の測定結果に基づき技術指針を作成	水素適合性試験を継続し、検討項目について見極めることにより技術指針を作成
④ 汎用低合金鋼の高温適用に関する研究開発	低合金鋼技術文書を年度内に改訂見込み	検討結果に基づき低合金鋼技術文書を改訂	2020年度に実施完了見込み

41/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及

対外発表件数は以下のとおり。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	12	6	1	19
新聞・雑誌等への掲載	6			6

※2020年9月30日現在

42/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及

紙面等への発表：6件

年月	発表先	題目	発表者
2018年11月	エネルギー総合工学研究所「エネルギー総合工学」	水素スタンドで使用される材料の選定について	KHK
2018年12月	高圧ガス誌	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	KHK
2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	九州大学
2018年11月	JRCM NEWS No.385	NEDO事業「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(平成25～29年度実施)の成果概要	JRCM

43/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

口頭発表：19件

年月	発表先	題目	発表者
2018年12月	溶接接合工学振興会H30年度セミナー	水素インフラの現状と将来展望	JPEC
2019年2月	第8回次世代ものづくり基盤技術産業展「TECH Biz EXPO 2019」	水素ステーションで使用する鋼材の規制と今後の展開	JPEC
2019年2月	FCCJ燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等動向説明会	水素ステーション用鋼材・複合容器の技術開発動向	JPEC
2019年5月	JPECフォーラム	新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	JPEC
2019年9月	水素貯蔵技術WG第1回セミナー	水素社会を取り巻く環境、規制、規制緩和 水素ステーションで利用できる金属材料・蓄圧器	JPEC
2019年12月	水素貯蔵技術WG第2回セミナー	水素ステーション用金属部材の今後の例示基準化の方向性	JPEC
2020年1月	九州水素・燃料電池フォーラム&水素先端世界フォーラム2020	水素ステーションで使用する金属材料の規制見直しと今後の方向性	JPEC
2020年5月	JPECフォーラム	新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発	JPEC
2018年12月	KHK水素保安セミナー	鋼種拡大に関するこれまでの成果と今後の取組について	KHK
2019年12月	KHK水素保安セミナー	水素スタンド設備に使用するオーステナイト系ステンレス鋼の選定基準	KHK
2018年7月	ASME PVP2018	Temperature dependence of fatigue crack growth in low-alloy steel under gaseous hydrogen	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Influence of hydrogen on tensile and fatigue properties of 304/308 austenitic stainless steel butt welded joints	九州大学
2018年7月	ASME PVP2018	Methods of material testing in High-pressure hydrogen environment and evaluation of hydrogen compatibility of metallic materials: current status in Japan	九州大学

44/50

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

口頭発表 (続き)

年月	発表先	題目	発表者
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス環境中における材料強度試験	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼の強度特性	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	高圧水素ガス中におけるオーステナイト系ステンレス鋼溶接金属317LのSSRT特性	九州大学
2018年9月	溶接学会 平成30年度 秋季全国大会	オーステナイト系ステンレス鋼突合せ溶接継手の疲労強度特性に及ぼす内部水素の影響	九州大学
2018年11月	International workshop on standards and codes for hydrogen infrastructure safety Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)	Recent activities for hydrogen compatibility of materials used in hydrogen station in Japan	九州大学
2019年12月	愛知県主催2019年度「水素貯蔵技術ワーキンググループ」第2回セミナー	愛知製鋼における高圧水素用ステンレス鋼の開発取り組み	愛知製鋼

45/50

3. 研究開発成果 (4) 知的財産権等の確保に向けた取組

◆知的財産権の確保に向けた取組

当該プロジェクトは活動内容の性格上、広く事業者に利用してもらうものであるので、得られた成果物を特許化することは考慮していない。

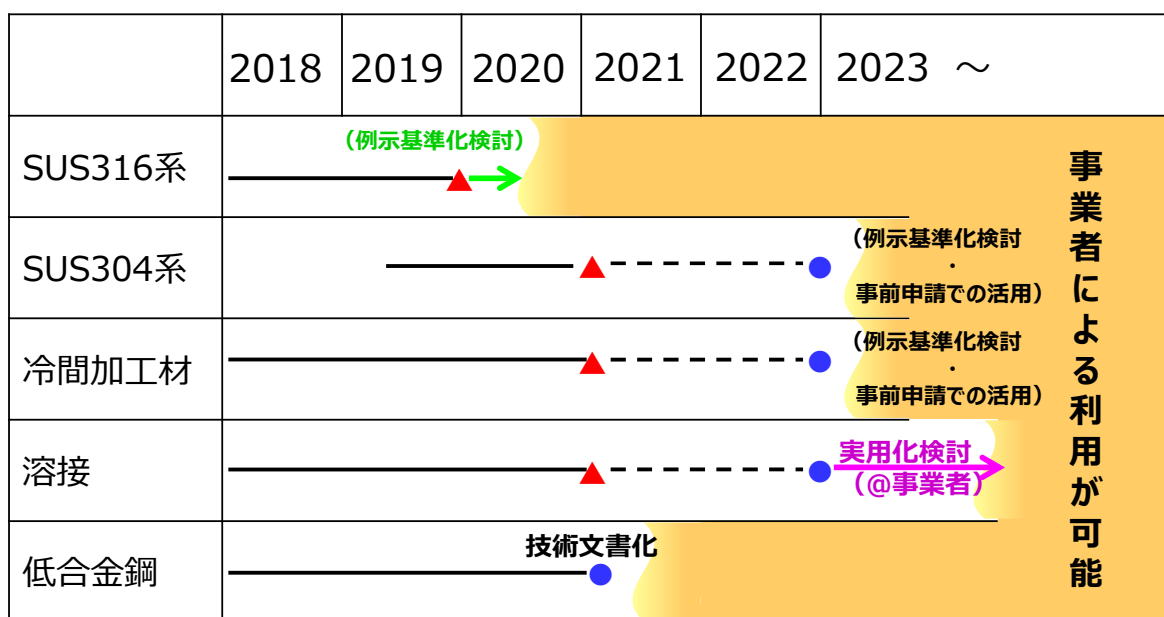
対外発表等については、知財運営委員会、NEDOの許可を得て実施する。

46/50

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に基づく結果が例示基準化あるいは技術文書化されることであり、水素ステーション事業に関わる企業が活用し企業活動(コスト、利便性等)に貢献することを指す。

◆実用化・事業化に向けた具体的取組



▲ : 判定基準・使用可能範囲 ● : 基準化に資する資料・ガイドライン

◆成果の実用化・事業化の見通し

項目	今後の見通し
①汎用ステンレス鋼の使用可能範囲拡大	本研究で得られた材料範囲の拡大案は一般則例示基準9.2の改正に盛り込まれ、パブリックコメントの募集が開始された。正式認可ののち、水素インフラ事業者での利用を期待する。境界条件を考慮した適材適所の基準化については今後の課題である。
②汎用ステンレス鋼冷間加工材	許容引張応力の設定、大型の冷間加工材、高強度化に伴う疲労限度への影響、冷間加工材の基準化に資する文書化等について検討し、冷間加工材の利用環境を整えていく。
③汎用ステンレス鋼溶接材	汎用ステンレス鋼を用い、適正な母材・溶接金属の組合せによる溶接継手の水素適合性を検証し、良好な水素適合性を示す溶接継手の事例があることを実証するとともに水素適合性を低下させる要因を整理し、技術指針に記載することにより注意喚起を図る。
④汎用低合金鋼	低合金鋼技術文書JPEC-TD0003の改訂が年度内に完了する見込みである。使用可能温度の上限が200℃に引き上げられ、圧縮機の出口部分にも使用可能となる。改訂完了次第、関係団体等への周知を図り、利用を促していく。

◆波及効果

当該研究開発に基づく結果により、一般則例示基準9.2の規制見直しが図られた。

入手が容易な低コスト材料が簡便に使用できることで、水素ステーション事業への将来の新規参入を促す効果がある。

実使用条件での水素適合性を系統立てて明らかにしていくことで、日本のデータが国際標準化においても重要な意味をなし、水素分野における技術力の誇示と水素エネルギーの普及に貢献する。

「長寿命高圧水素シール部材・継手部材及び機器開発に関する研究開発」（中間評価）

（2018年度～2022年度 5年間）

プロジェクトの概要（公開）

一般社団法人水素供給利用技術協会
 国立大学法人 九州大学
 一般財団法人 化学物質評価研究機構
 NOK株式会社
 高石工業株式会社
 日本ピラー工業株式会社
 株式会社キッツ
 株式会社フジキン
 株式会社タツノ
 トキコシステムソリューションズ株式会社

2020年12月17日

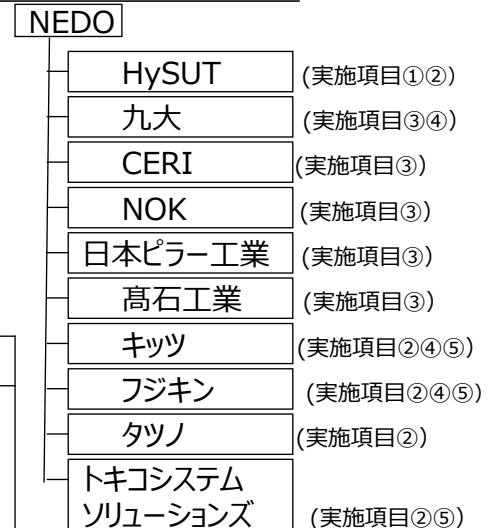
事業概要

1. 期間 開始：2018年6月
 終了：2023年2月（予定）

2. 最終目標

実施項目	最終目標（2022年度）
事業全体	○継手部材，シール部材の耐久性を，水素ステーションにおける 充填回数30,000回相当 とする。 ○継手部材，シール部材の加速耐久性評価法を確立する。
実施項目	そのために、以下を実施する。 ①セーフティデータベースの解析知見の整理 ②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 ③シール基盤・改良開発 ④継手基盤・機器開発 ⑤シール成果に基づく機器開発

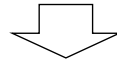
●実施体制および分担等



社会的背景

水素基本戦略（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議が 2017年12月26日発表）では、モビリティにおける水素利用の中核は 燃料電池自動車と水素ステーションの普及と位置づけられており、水素ステーションについては 2020 年度までに 160 箇所、2025 年度までに 320 箇所の整備を目標とし、2020 年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指すとの国家方針が示されている。

事実、2019年度末の商用水素ステーション数は120ヶ所を超え、着実に導入が進んでいる。



事業の目的

高圧ガス保安協会から報告された水素ステーションにおける事故は2011～2019年度に43件を数え、その原因は全て水素の漏えいである。漏えい部位多くは締結部とシール部。

今後の水素ステーションの増加と、充填頻度と多様化によって、今後更に漏えい事故が増加すると予想されるために漏えい防止の過半を占める締結部とシール部の漏えい防止対策が急務となっている。

FCV・水素ステーションの普及拡大に向けた規制見直し・技術開発は、

- **エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい**
- **水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献**
- **水素供給インフラについてはFCV普及初期の市場が限られるため、民間単独では開発リスクが大きい**
- **水素ステーションの技術開発等、他の事業と連携することで効果的に開発を進めることが可能**

2. 研究開発マネジメントについて（1）研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標（2020年度）	根拠
長寿命・高信頼性のシール、継手、機器の開発	<ul style="list-style-type: none"> 継手部材，シール部材の耐久性を，水素ステーションにおける充填回数15,000回相当とする。 継手部材，シール部材の加速耐久性評価法案を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 事業開始前のシール、継手の耐久性は充填回数2,200回相当であり、使用期間は1年間に満たない。 このため、使用期間約2年間に相当する充填回数15,000回相当を事業目標とする。 （2020年：水素ステーション160ヶ所、FCV 4万台前提） 事業期間3年間で、使用期間2年間の機器開発を行うために、短期間で耐久性評価を可能とする加速耐久性評価法が不可欠である。

4/34

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性

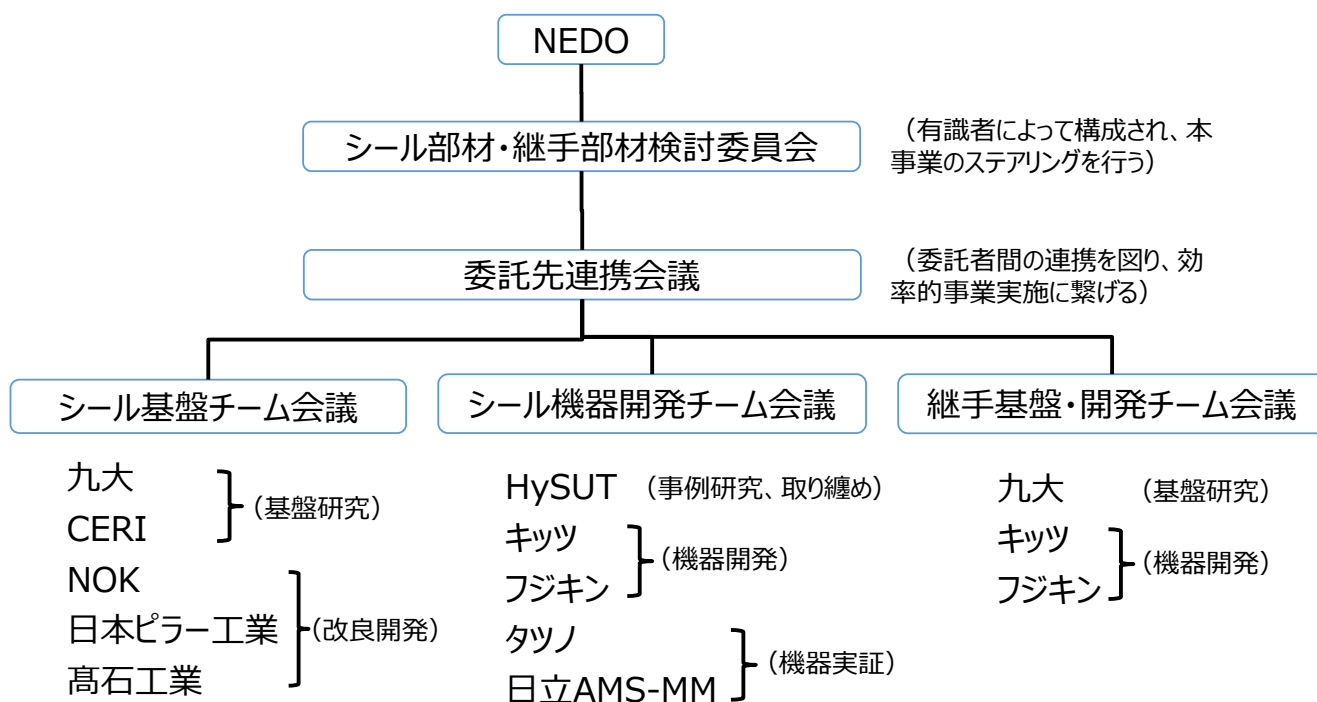
◆研究開発のスケジュール

研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (参考)	2022年度 (参考)
	充填相当回数2200回 ▽		充填相当回数15,000回 ▽		充填相当回数30,000回 ▽
①セーフティデータベース（SDB）の解析知見の整理	SDB情報の整理・展開			同左	
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討		加速試験評価方法の検討 (現状品分析等) (実条件と加速条件の相関)	加速試験評価方法の検討 (評価方法の検討) (改良シールの試験)	加速試験評価方法の妥当性検証	
③シール基盤・改良開発		水素機器用高分子材料水素特性DBの拡充		同左	
		シール加速試験評価方法の検討		シール加速試験評価方法の確立	
		改良シール材の開発		改良シールシステム提案	
⑤シール成果に基づく機器開発	現行機器の劣化等 状況把握	新規機器（バルブ、フィルタ）の開発 (設計) (試験：He等) (試験：H2) (試験：H2耐久試験)			(加速試験評価法を適用)
④継手基盤・機器開発	漏洩発生条件の整理 要素評価試験装置による諸因子の影響評価、評価にもとづき新型／改良型継手開発				
	要素評価試験装置及び 供試体の開発	要素評価試験装置の確立 (装置・供試体開発と評価方法の確立)		要素評価試験装置の確立 (新型/改良型継手の開発と評価試験)	
	FEM解析スキーム検討	継手ゆるみ理論解析（ねじのゆるみとシール面での漏洩） (諸因子の影響評価) (トポグラフィモデル検討と組込)			継手ゆるみ理論解析（ねじのゆるみとシール面での漏洩） (新型/改良型継手の検証)

5/34

2. 研究開発マネジメントについて（3）研究開発の実施体制の妥当性

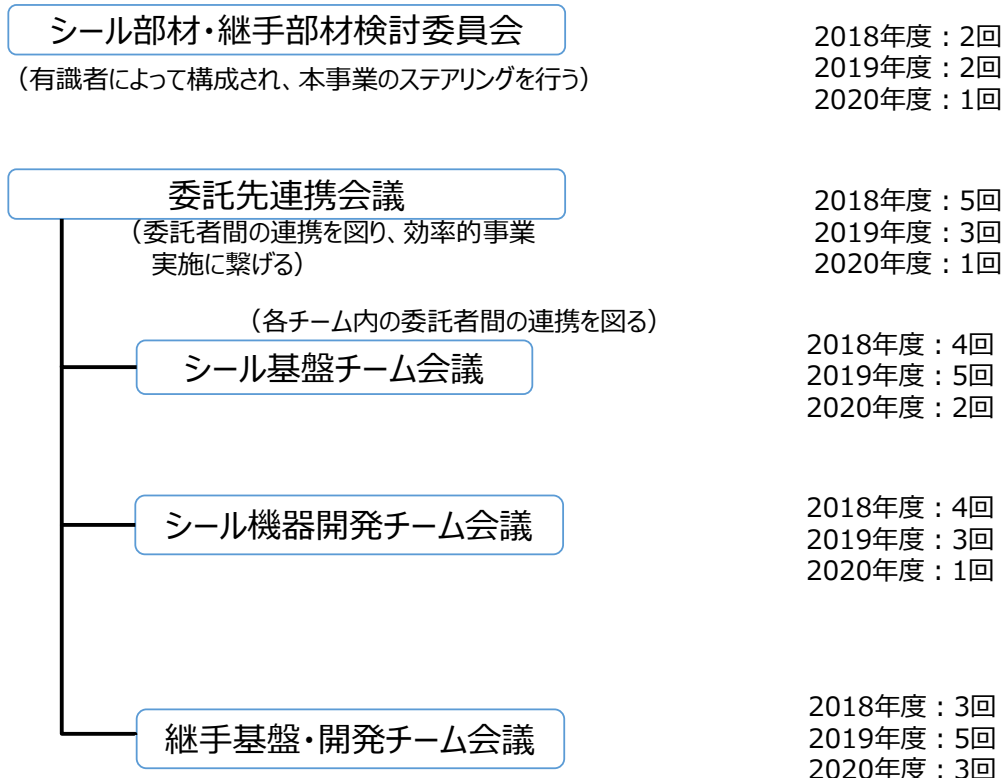
◆研究開発の実施体制



6/34

2. 研究開発マネジメントについて（4）研究開発の進捗管理の妥当性

◆研究開発の進捗管理



7/34

◆知的財産権等に関する戦略

- 本事業の実施により得られた知的財産権は、発明者等が属する参加者の職務発明規程等に基づき当該参加者に承継させる。
- 本事業共同実施者には基本特許の無償実施について基本合意（国内標準となる部分については普及を妨げないオープン特許戦略）

3. 研究開発成果 （１）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① セーフティーデータベース（SDB）の解析知見の整理	SDBデータ解析の継続	シール、継手のトラブル事例解析より、プレクーラー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	○	引き続き、SDBデータ解析を継続し、研究開発方向の絞り込みを行う。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	機器の加速耐久性評価法案設定	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	○	機器レベルでの加速耐久性評価法を検証し、継手部材、シール部材の加速耐久性評価法を確立する。
③ シール基盤・改良開発	HRSにおける充填回数15,000回相当のシール部材開発 シール部材の加速耐久性評価法案設定	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 高圧水素シール部材標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。 高圧水素圧縮機ピストリング材の摩耗に伴うトライボケミカル反応により、硫化水素が発生する事を確認した。	○	開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較によるシール部材加速耐久性評価法の検証 高圧水素ガス圧縮機シール部材の寿命制限因子の特定と対策
④ 継手基盤・機器開発	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用を試験と解析により確認した。	○	接触面圧低下条件と水素漏洩の関係の定量的整理。漏洩リスク低減指針の検討。新型/改良型継手の開発。理論解析による検証。
⑤ シール成果に基づく機器開発	HRSにおける充填回数15,000回相当の機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器（バルブ、フィルター等）の設計検討を実施した。	○	加速耐久性評価法に基づく目標達成機器の開発

サブテーマ①セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理 (HySUT)

○セーフティデータベース (SDB) 概要、漏えい事例の精査

期間：2003年～2018年1月 (約15年間)

データ件数：シール継手事業に係る465件

SDBより事例の更なる精査・検討のため、水素の漏えい事例につき、部位、原因などが詳述されている101件を抽出した。

・ディスペンサーの漏えいは、シール部位が多い (51件中の44件)。シール部での外部漏えいは19件であり、内18件が遮断弁・その他の弁となった。また、内14件がプレクレー二次側の遮断弁のトラブルであり、3/4がグランド部分で発生し、残りは弁の底部のOリングで発生している。

○ディスペンサーの継手部位が原因の漏えい

外部漏えいは7件であり、全てプレクレー二次側が漏えい発生部位である。

プレクレーの二次側 (出口側) のシール、継手、機器の漏えい防止が重要

設備	種別	外部漏えい		内部漏えい	計
		件数	比率	件数	件数
ディスペンサー	シール	19	73%	25	44
	継手	7	27%	0	7
	計	26	100%	25	51
昇圧設備	シール	4	27%	26	30
	継手	11	73%	0	11
	計	15	100%	26	41
蓄圧設備	シール	5	56%	0	5
	継手	4	44%	0	4
	計	9	100%	0	9
合計	シール	28	56%	51	79
	継手	22	44%	0	22
	計	50	100%	51	101

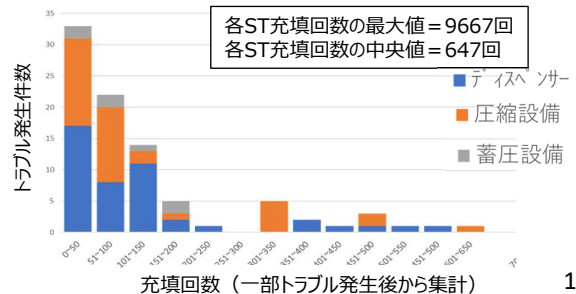
○充填回数とトラブル発生頻度の相関性解析検討

上記の漏えい事例を対象にトラブルが発生するまでの充填回数を集計し、充填回数とトラブル発生頻度の相関性を解析した。

・運営開始、トラブル発生後からの運営再開に関わらず運転初期段階での充填で漏えいが多い。

・充填回数 0～50回での漏えい件数が最も多く、初期の段階でシール部・継手部から漏えいが発生していることを確認した。

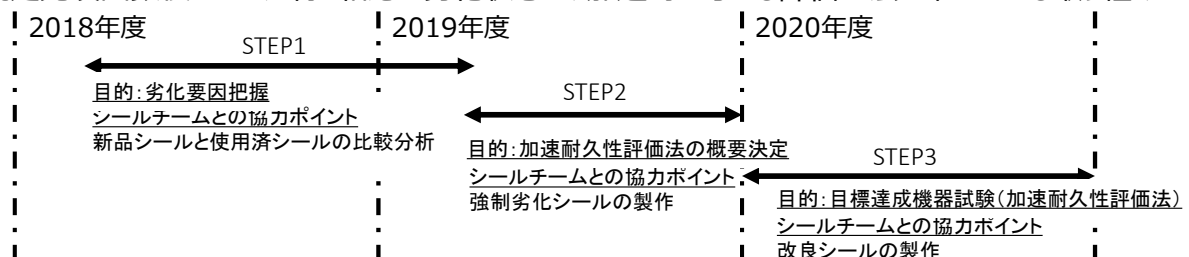
・各STの充填回数の中央値 (充填回数647回) であることから運転初期の段階で漏えいが多く発生していることが明確となった。



サブテーマ②機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討 (HySUT, キッツ, フジキン, タツノ, トキコシステムソリューションズ)

加速耐久性評価法 (シール部材と機器試験の連携)

規定充填回数後のシール材と相応の劣化状態を、加速的に与える評価方法を確立させる取り組み



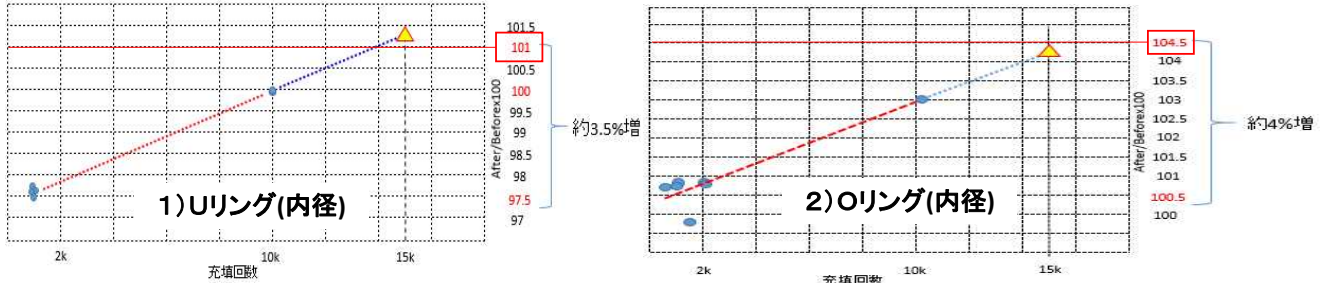
No.	目的	シール供試体	取り組み方法	次STEPへ進む為の判定基準
STEP1	商用STで使用したシール材の劣化要因を把握	新品シール 使用済シール	新品シールと使用済シールを比較分析し、劣化因子を調査する	劣化因子が絞り込めること
STEP2	加速耐久性評価法案の概要決定	強制劣化シール	STEP1で絞り込んだ劣化因子を、強制的に付与した強制劣化シール材を製作・使用し、加速耐久性評価法案を決定する	リークが発生すること
STEP3	加速耐久性評価法による充填回数15,000回相当の達成	改良シール	STEP2で決定した加速耐久性評価法案を用いて、目標充填回数相当に耐える機器を開発する	15,000回相当の試験に合格すること

キッツ製遮断弁のUリングとOリングの分析と加速耐久性評価法

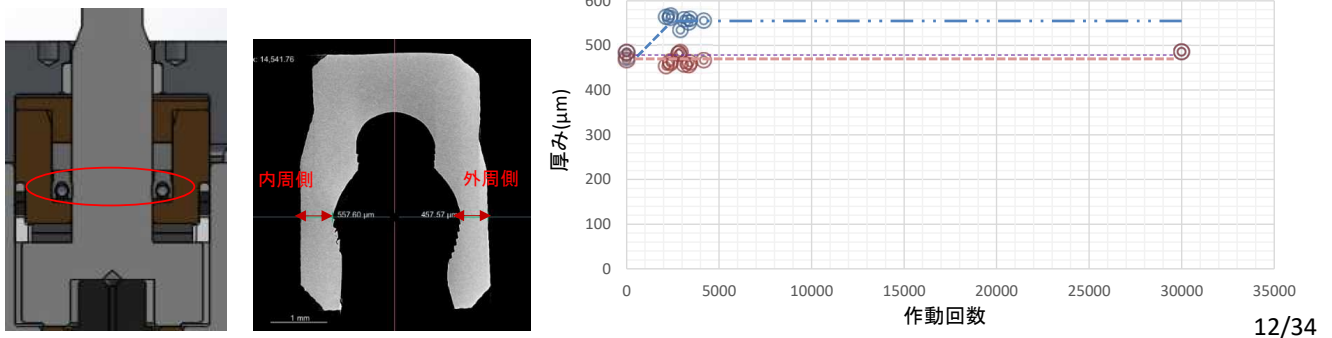
・目的

2018年度に充填試験、2019年度に充填模擬、圧力サイクル、定圧連続作動試験、2020年度の実機回収品を分析し、その結果からシール材の内径の拡大及びUリングの変形に注目し、充填15,000回相当の仮想相関図を作成し、漏洩の限界値を想定し強制劣化シール材の作成と加速耐久性評価法を立案し、検証する。

①仮想相関図とシール材の漏洩閾値(充填15,000回相当)

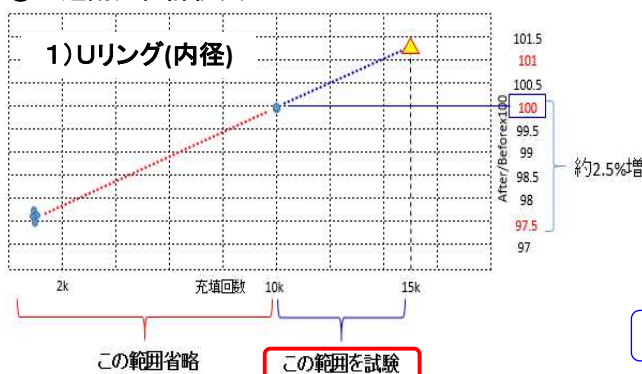


②UリングのCT分析(シール部厚み確認)



キッツ製遮断弁のUリングとOリングの分析と加速耐久性評価法

③加速耐久性評価法



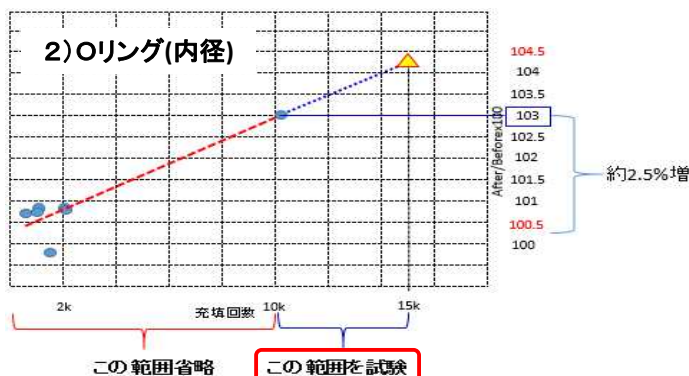
強制劣化シール材製作方法

- 1) Uリング: 治具にて内径を拡大させる。
- 2) Oリング: 樽型ロッドで内径を拡大させる

加速耐久性評価試験方法

- 1) Uリング: 圧力サイクル2,000回を加えた後に定圧連続作動15,000回(充填5,000回分)とする。
- 2) Oリング: 圧力サイクル5,000回(充填5,000回分)

期待する効果



	試験キャパ	日数
充填模擬試験(15K)	150回/日	100日
加速耐久性試験 (Uリング)	圧力サイクル 4,800回/日 定圧作動 6,000回/日	4日
加速耐久性試験 (Oリング)	圧力サイクル 4,800回/日	2日

※ 1日 = 8時間稼働として計算 (準備・撤収日は除外)

商用STのバルブ不具合内容等の把握

商用ST・HTCでの使用済シール部品を回収・調査し、新品シール材からの変化点を確認した。調査シール部品の対象は、底プラグオリング、グランドパッキンの2箇所。

新品対比で以下変化点を確認された。

- ・底プラグオリング：隙間へのはみ出し変形
- ・グランドパッキン：内径側(軸摺動側)摩擦

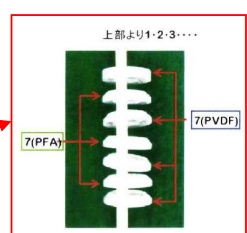
※化学的変化より物理的な変化が主であった



底プラグオリング(固定シール)

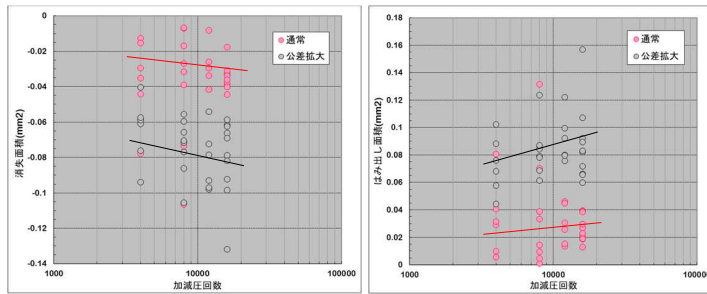


グランドパッキン(運動シール)



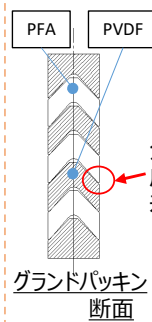
加速耐久性評価法試験の検討

底プラグオリングについて、バックアップリング寸法を変更し、オリングがはみ出す隙間を変化させ、繰り返し加減圧回数とはみ出し量に対するデータを取得した。充填回数によるはみ出し量を外挿する。※はみ出し量測定方法は九州大学様にて考案頂いた。



充填回数15,000回でのオリングはみ出し量、グランドパッキン内径を外挿できる相関図を作成し、リークする閾値と共に示せるデータ整備を行う。

グランドパッキンについて、内径側摩擦が変化するようにグランドパッキンの角度を変更し、軸との接触量を変化させ、内径変化とリークする関係のデータを取得した。



角度差

グランドパッキン条件

No.	角度差	内径	備考
1	標準	6mm	標準条件
2	標準 × 1/2	6mm	角度差を減少
3	0	6mm	角度差をゼロ

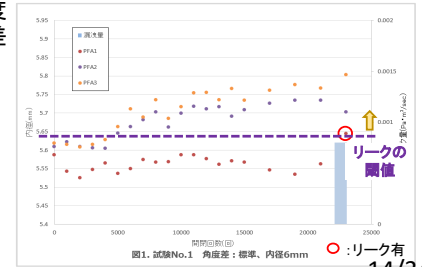


図1. 試験No.1 角度差：標準、内径6mm ○：リーク有

■ディスペンサ動作による遮断弁の加速耐久試験法 トキコシステムソリューションズ(株)

目的： 充填制御における遮断弁動作から、加速耐久試験方法を提案する。

意義： 効果的な加速試験法を提案し、短時間で耐久性評価を可能とする。劣化の少ないシール継手の開発に役立つ。

【充填制御概要】

No.	充填内容	開時間目安	充填制御	備考
1	初期圧測定	2~10秒	パルス充填	温度が急激に低下
2	容積計測	10~30秒	定流量または定昇圧率	1-2で200g以下
3	本充填	0~600秒	定昇圧率(プロトコル)	バンク切替あり

【充填による負荷】

- ・1充填当りの遮断弁開閉回数: 3回(*)
- ・遮断弁開閉時の1次側/2次側圧力を右表に示す
(P_{max} : 充填終了圧、 P_0 : 初期圧、 P_1 : 容積計測後圧、 $P_0 \approx P_1$)
- ・脱圧弁開による圧力変動: 1回 ・ガス温度: ブライン設定温度まで低下

遮断弁	初期圧測定時(*)		容積計測時(*)		本充填時(*)		脱圧	脱圧時遮断弁	
	1次	2次	1次	2次	1次	2次		1次	2次
開時	P_{max}	0	P_0	P_0	P_1	P_1	前	P_{max}	P_{max}
閉時	P_0	P_0	P_1	P_1	P_{max}	P_{max}	後	P_{max}	0

【試験方法】

・右表の圧力条件で、遮断弁を3回開閉(開閉時間: 各3秒)、脱圧: 1回、を1セット(1充填)とする(プレクール: あり/なし)

⇒24秒~30秒で1充填分(10hで1200回充填相当)

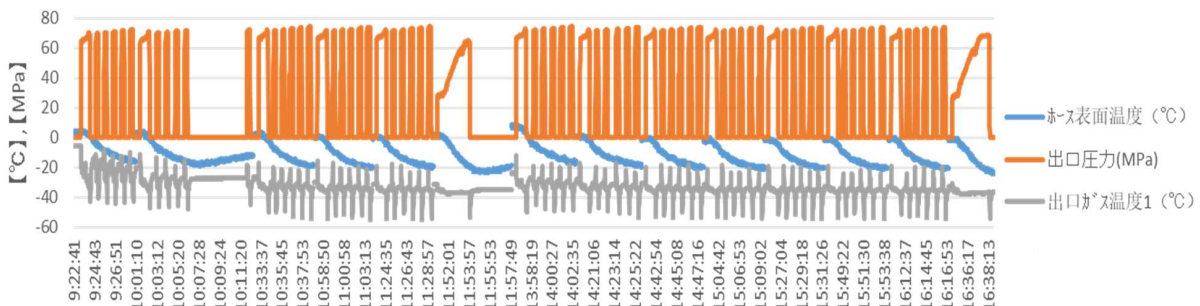
■実ステーション、実環境での耐久サイクル試験 (株)タツノ

目的： 試験室ではなく、実ステーションにて、人間の手で充填操作を行い、リアル環境を実現する。

意義： 効果的な加速試験を提案し、劣化の少ないシール継手の開発に役立つ。

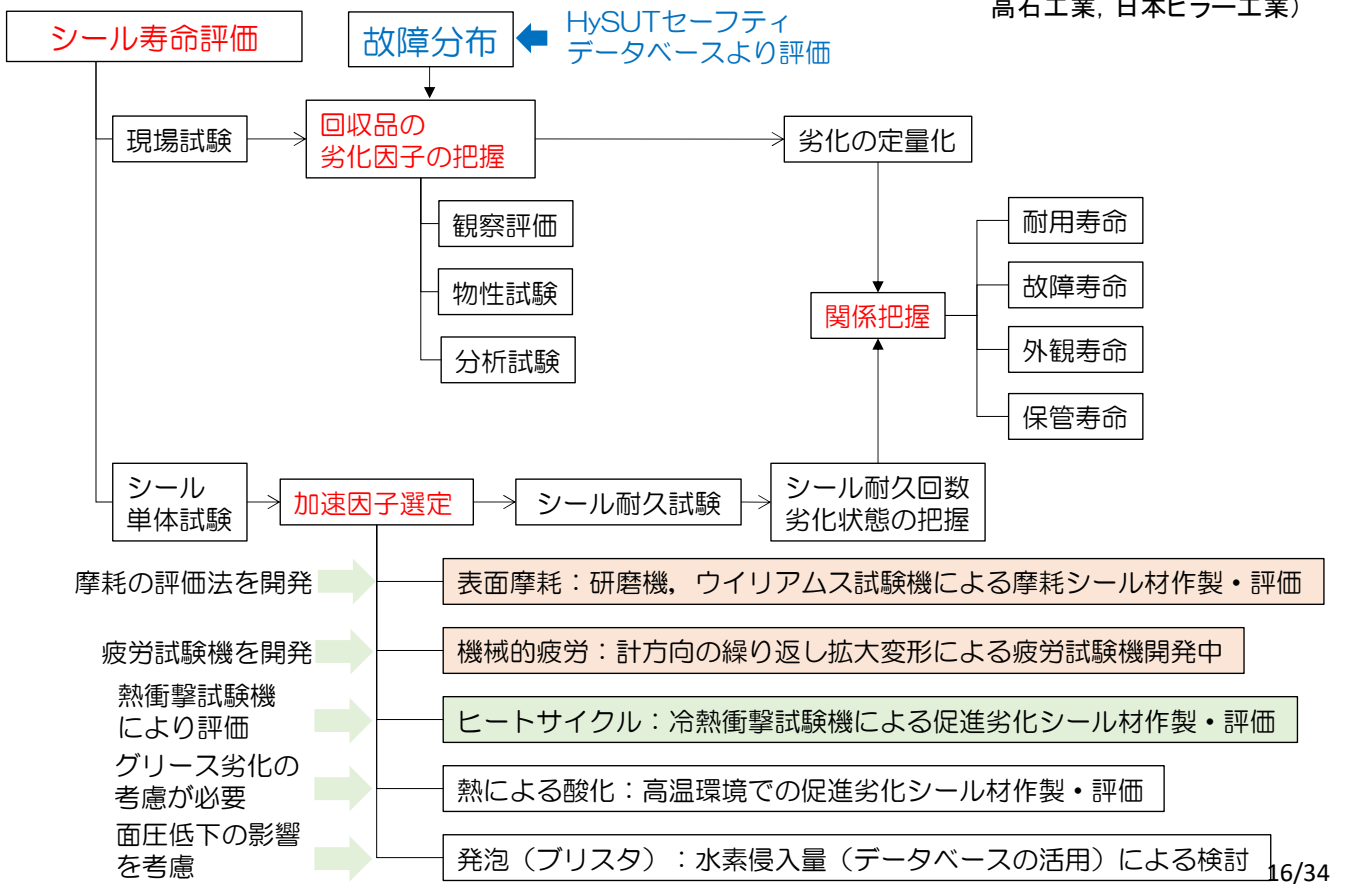
パターン 【300g充填 × 1、50g充填 × 5】の少量充填繰り返しと、3kg程度の通常充填の繰返し

⇒フスハンの圧力変動、小幅・大幅な温度変動、手動充填での条件ゆらぎ 最大100回/日充填



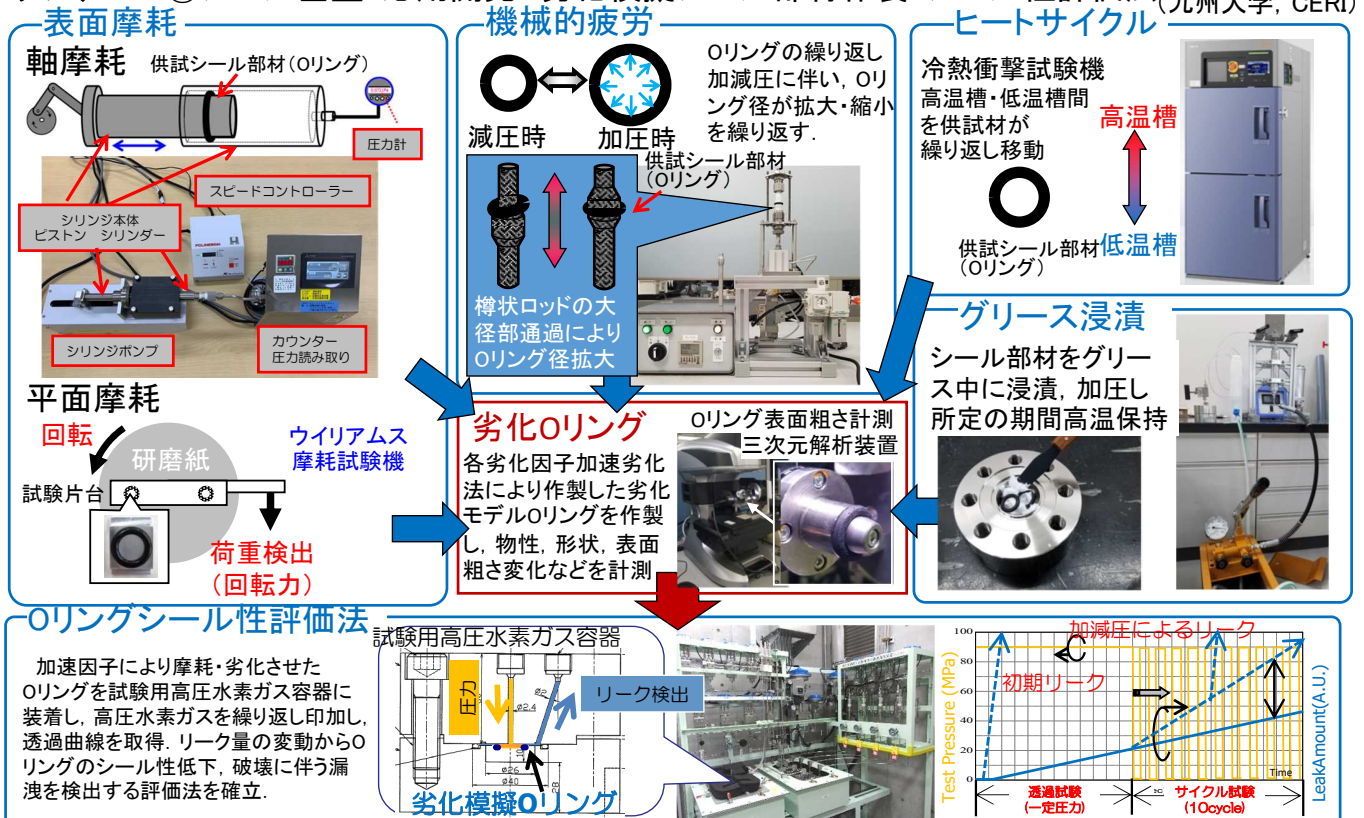
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 加速耐久性試験法基本概念図 (九州大学, CERI, NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 劣化模擬シール部材作製・シール性評価法 (九州大学, CERI)



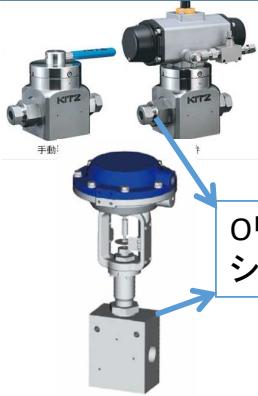
リング耐久性の加速因子として選定した表面摩耗，機械的疲労，ヒートサイクル，グリース浸漬による劣化模擬リング・シール部材作製法およびリングシール性評価法を確立。各因子によるリングの劣化とシール特性の相関把握 17/34

サブテーマ③シール基盤・応用開発 劣化模擬シール部材作製・シール性評価法

(九州大学, GERI)

加速耐久性試験法(案)

シール部材加速劣化



Oリング
シール部材

拡張疲労

実機溝寸法より拡張率設定

表面摩耗

実機溝材料・表面粗さによる
摩耗

グリース浸漬

使用予定グリースによる評価
使用材料の劣化が抑制される
グリース選定

30,000回充填耐久性

シール特性低下が
所定の範囲内

劣化Oリング・シール
部材を実機に装着し、
実機の耐久評価
劣化シール部材と初
期品の性能差を検証

シール特性
低下大
30,000回以下でリーク
の可能性

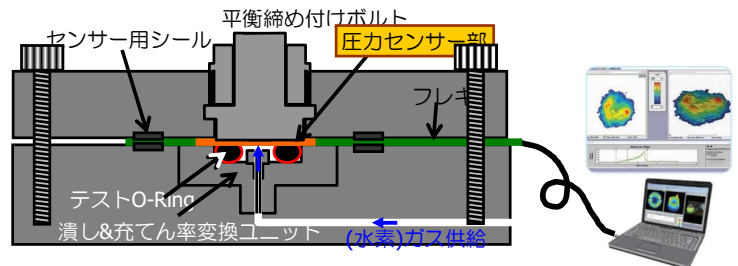
今後の予定

・実機による検証(HyTReC)

サブテーマ⑤機器開発と連携し、新規シールシステムを搭載した機器評価に加速耐久性評価法(案)を適用し、検証を進める。

・リーク挙動の検証

これまでの検討から、リークの発生は、面圧低下によるシール部材と相手材界面からのリークであると想定される。シール部材の摩耗、疲労による形状変化、物性変化による面圧の影響を実測し、面圧変化の解析モデルの策定を検討する。



面圧時間分割計測システム

18/34

サブテーマ③シール基盤・応用開発 水素ステーション使用済みシール部材の評価

(九州大学, GERI)

・底プラグシール用Oリング(フジキン)

実機回収品の調査から底プラグシール用Oリングの体積膨張に伴う破損が確認された。

Oリングゴム材料への水素侵入の結果発生するゴム材料の体積膨張を考慮していないOリングメーカー推奨値を用いた溝設計を行なった結果、破損が発生したと考えられる。

Oリングの体積膨張は、溝設計(つぶし率、充填率)により異なる。異なる設計のOリング溝を用いて高圧水素シール後の体積膨張を評価した。その結果、体積膨張率で充填率を補正した場合、推奨値内では破損が発生しないことが確認された。

Oリングの体積膨張を考慮した溝設計が必要

機器開発にフィードバック

・グランドシールOリング(キッツ)

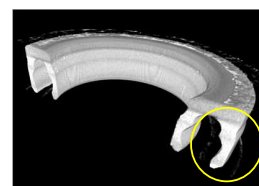
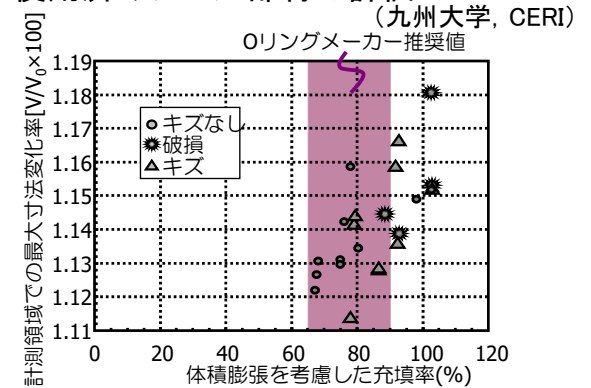
実機回収品およびHyTReC試験品からの回収シール部材を調査した。

Oリングのリップ部(シール面)の部材の厚さの変化、接触面積(シール部接触面長さ)の変化が確認された。

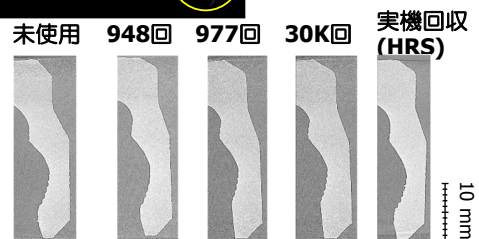
摺動部材から発生した摩耗粉のシール部材への付着が確認され、摩耗粉の付着量に関する評価方法を確立した。

加圧下・非加圧下での開閉操作、水素環境下の作動など、条件を切り分けて変形の要因を明確化するとともに、シール成立のクライテリアを明確にする。

変形要因の明確化によりシール部材の変形に至る作動条件と実機HRS充填時の作動条件の相関を検討し、加速劣化法を策定し、モデル劣化シール部材作製条件を決定する。



Oリングの使用によるシール面の変形状況をX線CTにより調査



未使用 948回 977回 30K回 実機回収 (HRS)

OリングX線CT画像

10 mm 19/34

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 長寿命シール部材の開発 (NOK, 高石工業, 日本ピラー工業)

設定した加速耐久性評価方法により高圧水素機器に実装しうる長寿命シール部材開発に向け、既存材料、現行材料の実力値把握、シール部材評価手法の確立が重要である。各社において、評価法を検討し、既存材料、現行材料評価を実施。また、開発の基盤データとして水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充、276検体のデータを追加(九州大学)。

<p>NOK</p> 	<p>高温・低温環境ともにグリース塗布による摩耗粉発生抑制に対する有効性を確認、15,000回の耐久確認。</p> <p>グリース塗布なし (25000回)  グリースA塗布 (30000回) </p> <p>摩耗粉</p> <p>図 耐久試験後Oリングホルダー外観</p>	<p>高温試験後、表面の粗さが増大したOリングの低温シール性確認中。</p> <p>摩耗粉抑制のためのシール材・グリースの組み合わせ、溝設計変更によるフレッチング摩耗の抑制可否検討中。</p>
<p>高石工業</p> <p>高石工業株式会社</p>	<p>Oリング損傷を抑制するバックアップリング仕様を決定。材料改良により動的疲労おりによる内部発熱抑制、引裂き強さを向上。</p> <p>バックアップリング仕様</p> <p>PEEK  損傷なし  PEEK  損傷</p> <p>PTFE</p>	<p>10,000回程度で不具合が発生した試験治具を改良し、加速耐久劣化試験法に基づいた耐久試験により15,000回(最終30,000回)まで継続。</p> <p>サブテーマ⑤のバルブメーカーと評価用バルブに適用するOリングの設計を進めている。バルブ評価実施予定。</p>
<p>日本ピラー工業</p> 	<p>水素透過特性、摩耗特性から、ベスタールG(POM)を選定、バルブ用シール部材を設計。</p> <p>ニードルバルブ</p> 	<p>サブテーマ⑤のバルブメーカーと評価用バルブに適用するシール部材の設計を進めている。</p> <p>今年度試作シールを搭載したバルブの評価を実施予定。</p>

20/34

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

サブテーマ③シール基盤・応用開発 ピストンリング材の摩擦摩耗とガスエミッション

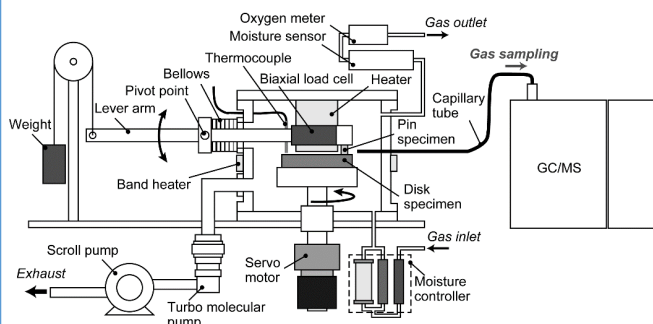
目的 100MPa級高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリングは、高いガス圧と高温にされながら高速でしゅう動するため、一般的な圧縮機のピストンリングと比較し寿命が短くなってしまふ。加えて、ピストンリングに含まれるポリフェニレンサルファイド (PPS) から、硫化水素の発生が疑われている。このテーマでは、高圧水素ガス圧縮機に用いられるピストンリング材の摩擦摩耗特性を評価すると共に、しゅう動に伴う硫化水素の発生を実験的に確認し、その発生メカニズムの解明を進める。

【しゅう動試験】

ピン・オン・ディスク型高度雰囲気制御型摩擦試験機を用い、高純度水素ガス雰囲気においてピストンリング材のしゅう動試験を行い、雰囲気ガス中に放出される微量成分 (ガスエミッション、GE) をガスクロマトグラフ質量分析計により分析する。

【試験条件】

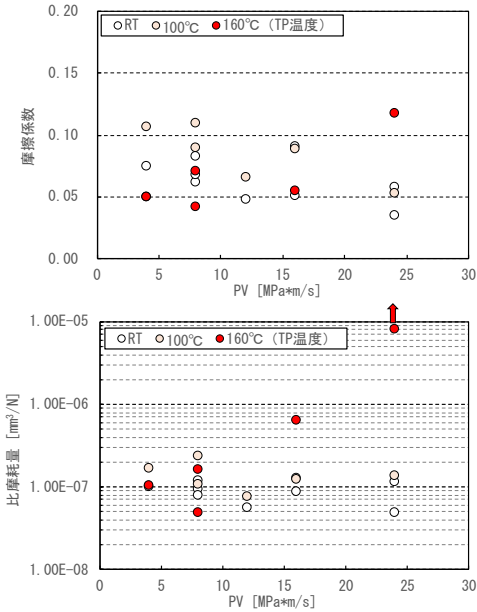
- ピン試験片： ピストンリング材 (表面旋削仕上げ)
- ディスク試験片： SUS440C (表面研磨, Ra = 0.05)
- 雰囲気： 水素ガス (水分量 5 ppm 以下)
- 雰囲気温度： 室温, 100 °C, 160 °C (試験片温度)
- 接触面圧： 2, 4, 6 MPa
- 滑り速度： 2, 4 m/s
- 滑り距離： 50 km



21/34

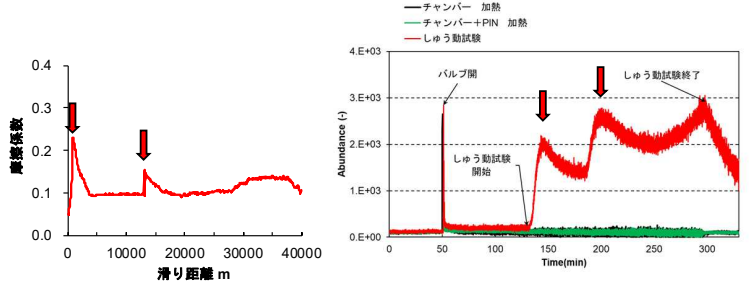
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

【ピストンリング材の摩擦・摩耗】



- 室温から100℃では比摩耗量が 3×10^{-7} mm³/Nm 以下となり、しゅう動部材として適切な範囲にある。高PV値での著しい摩耗量増加も見られない
- 試験片温度が150℃を超えるとPV値の上昇とともに比摩耗量が指数関数的に上昇した
- 高温下での高速しゅう動はピストンリング材に対し非常に過酷であり、耐摩耗性が著しく低下する

【リング材摺動によるGE発生挙動】



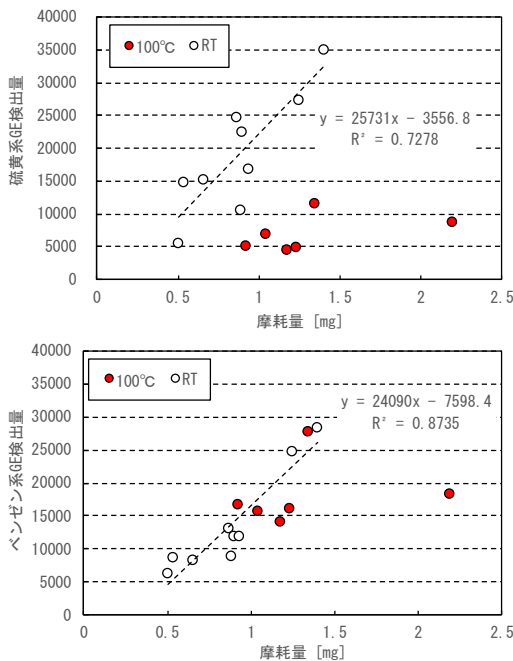
- リング材のしゅう動開始とともにGC/MSによる硫化水素検出量が上昇
- 摩擦係数の上昇にリンクして硫化水素検出量が上昇

【リング材由来のGE検出数】

No.	化合物	カウント数															
		20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	20Pa 2h/s	40Pa 2h/s	60Pa 2h/s	20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	20Pa 2h/s	40Pa 2h/s	60Pa 2h/s	20Pa 4h/s	40Pa 4h/s	60Pa 4h/s	
18	H ₂ O	922851	829220	373181	494952	473002	456667	46724	111060	88929	19727	27804	25927	24193	24781	22008	
19	F	143470	138886	58974	75781	67170	63952	9157	20986	16711	3457	4899	4428	4767	4777	4510	
32	O ₂	382428	30393	24786	147865	97115	97851	13128	19051	16859	13426	18094	16353	14268	13086	11488	
34	H ₂ S	4171	7532	3537	1843	1795	1934	2159	16279	14837	4900	9067	8021	8955	6858	2900	
44	CO ₂	471414	628907	384225	238817	225614	320197	62861	336282	198212	106677	154272	140886	91602	109127	102845	
60	SCO	2358	3418	4837	2802	2372	2457	3127	17742	11791	9105	14109	15355	7651	9026	7019	
69	CF ₃ ⁺	20300	25804	18069	17515	11997	12794	5760	28652	22551	7816	13751	11534	7752	11561	5945	
70	CF ₃ H ⁺	2632	3008	2239	1527	1203	1265	481	1912	1626	467	809	779	622	884	715	
76	CS ₂	890	1035	902	689	764	819	536	1670	1289	345	726	407	295	467	361	
78	Benzene (C ₆ H ₆)	6578	14727	9403	5886	7110	8795	745	8136	8443	544	1987	3539	1090	3233	3950	
79	1,3-Cyclohexadiene	1392	3060	2146	1744	1494	1497	426	2168	2409	525	812	831	583	959	760	
82	Cyclohexane	6588	8227	5320	8166	4877	4916	4769	16259	12219	7277	9801	6888	6076	6849	3110	
84	Cyclohexane	1221	1683	1412	902	744	865	402	1873	1689	412	586	734	461	826	1118	
110	Thiophenol	324	527	435	273	248	222	177	323	365	217	184	194	188	183	183	

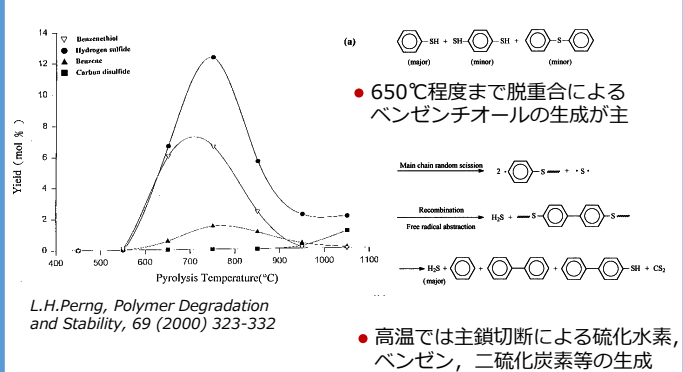
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

【ピストンリング材の摩耗量とGE検出量】



- 室温条件で硫黄系GEの検出量とリング材摩耗量の間には明確な線形の相関
- 雰囲気温度が100℃に上昇することにより硫黄系GEの検出量が減少
- 雰囲気温度にかかわらずベンゼン系GE検出量とリング材摩耗量の間には明確な線形の相関

【PPSの熱分解生成物】

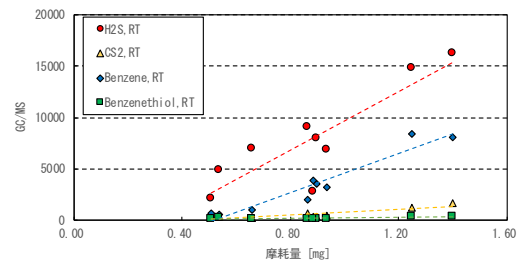


L.H. Perng, Polymer Degradation and Stability, 69 (2000) 323-332

- 650℃程度まで脱重合によるベンゼンチオール生成が主

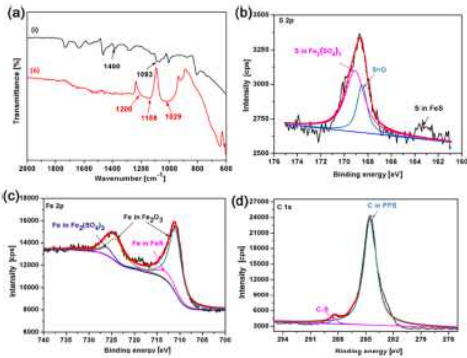
- 高温では主鎖切断による硫化水素、ベンゼン、二硫化炭素等の生成

【リング材のしゅう動によるGE成分組成】



- リング材のしゅう動によるGE成分組成はPPSの熱分解による分解生成物の組成と大きく異なる
- しゅう動によるGE発生メカニズムは単純な熱分解ではなく機械的せん断による分子鎖の破断を含むトライボケミカル反応

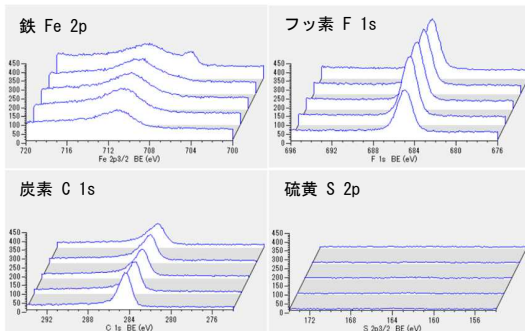
【大気中でのPPSのトライボケミカル反応】



- ・しゅう動による機械的せん断により硫黄とベンゼン環の結合が破断
- ・発生した硫黄ラジカルはしゅう動相手面の金属と反応し硫化金属を形成
- ・雰囲気中の酸素がPPSから硫黄を引き抜き二酸化硫黄を形成、しゅう動相手面の金属と硫酸塩を形成

H. Qi et al., J. Colloid and Interface Science, 514 (2018) 615-624

【しゅう動試験後のディスク表面分析】

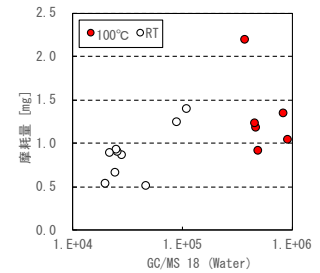


N-GC-07

100°C, H₂, 4MPa, 2m/s, 摩耗量: 1.18 mg, H₂S+: 4549

- ・しゅう動試験後のディスク表面のXPS分析では、硫化鉄、硫酸化鉄ともに検出されない
- ・発生した硫黄ラジカルの一部は周囲の水素と反応し硫化水素を形成、一部は炭素ラジカルと反応し二硫化炭素を形成
- ・酸素、水分が十分に存在せず、二酸化硫黄の形成が困難
- ・硫黄ラジカルが金属ディスクと反応できずGEとしてガス中に発散
- ・リング材摩耗による硫黄系GE発生は高純度水素ガス雰囲気特有の現象

【水分の影響】



- ・雰囲気温度の上昇により水分増加
- ・増加した水分と硫黄ラジカルとの反応による硫黄系GEの減少?

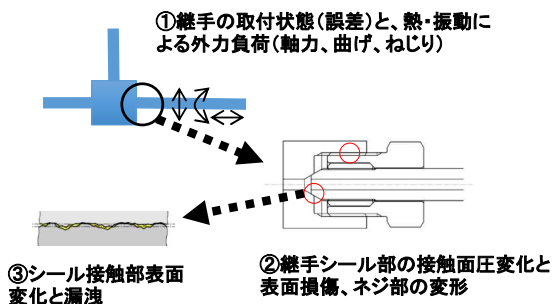
サブテーマ④継手基盤・機器開発

(九州大学、フジキン、キッツ)

目的 継手のゆるみと接触界面での漏れ発生に及ぼす、施工時・運転時・メンテナンスにおける配管の組付け精度、温度変化、圧力変化、振動などの因子による影響を明らかにして、新型あるいは改良継手の開発を行い、機械継手の漏洩リスクの評価方法と漏洩リスク低減の指針を作成する。

継手ゆるみの基本的考え方

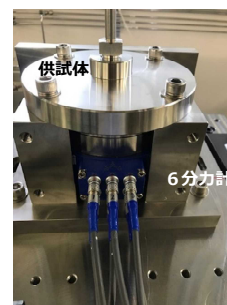
漏えい事故事例の調査から、漏えいに到るプロセスは、(1) 組付け誤差、施工に起因して締結時に初期歪が生じ、(2) 温度変動、振動などの繰返し外力荷荷により継手シール部の接触面圧が低下・不均一化して漏洩に至る、と考えられる。



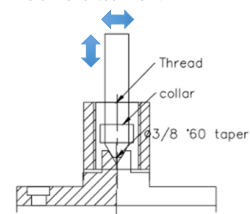
評価法開発の方針

- ① 種々の外力・取付け誤差等の影響因子を個別に又は複合させて付加し、② 影響因子と継手シール部の接触面圧の変化の関係を定量的に明らかにし、③ 接触部表面状態と漏洩の関係を定量的に明らかにする。

継手要素試験装置の開発

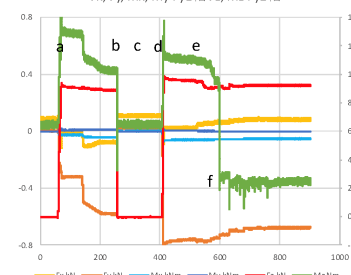


形状、寸法材料、仕上げなどを制御し、かつシール部の6分力を測定可能とするために、市販の継手ではなく、独自の供試体を開発した



締付け時の6分力

Fx, Fy, Mx, My : y1軸 Fz, Mz : y2軸



2回の締め付け(a, d)で軸力Fz(赤)、軸モーメントMz(緑)、横方向力Fx(黄色)、Fy(オレンジ)などから、接触の不均一さを個体ごとに捉えられた

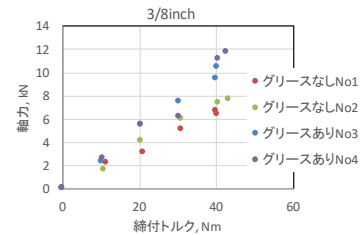
3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

継手要素試験の計画

初期ミスアライメント(取付誤差)	なし	軸方向	横方向	ねじり	加工精度、表面粗さ、グリース、テーパ角など
軸力試験	○	○	○	-	一部○
軸力サイクル試験	○	○	○	予定	予定
横力サイクル試験	○	実施中	-	-	予定

おもに3/8in配管、必要に応じて9/16in, 1/4in

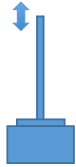
締付けトルクと軸力(接触面圧)



締付けトルクと軸力Fxの関係は、テーパ部のグリース塗布や、締付け回数によって変わる

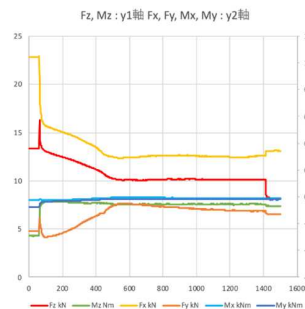
軸力サイクル試験

温度変化による配管の膨張収縮を模擬

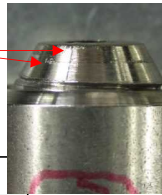


圧縮サイクル試験(片振り、0~-0.3mm, 2 Hz)での6分力の例:
横力Fx、Fy変化大、軸力Fzが大きく低下し(下)、ナットの締付けトルクが減少した(右下)

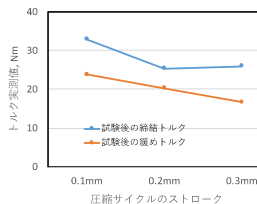
※引張サイクル試験では軸力、横力の低下はみられなかった



配管テーパ部先端に滑りが生じるとともに、表面にかじり発生



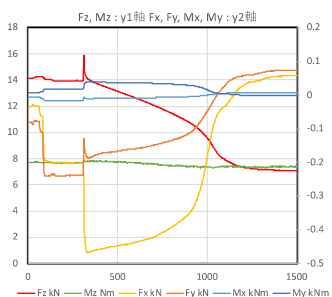
継手テーパ部も塑性変形



横押し+圧縮サイクル



曲げモーメントを加えながら圧縮軸力サイクル試験(下の例は横変位1mm, 圧縮サイクル0~-0.3mm, 2 Hz)。軸力Fzが大きく低下するが、曲げモーメントによる作用は小さい



26/34

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

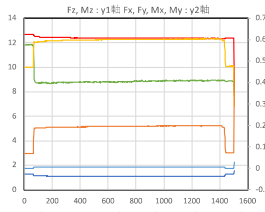
曲げサイクル試験

曲げ振動による継手のゆるみを模擬

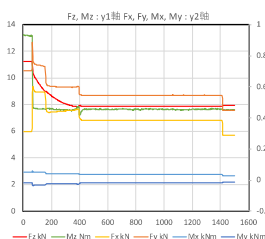


曲げモーメント小(下の①)では継手ナットの緩みはなかった。曲げモーメント大(②)で軸力は3割程度低下して安定し、ナットの緩めトルクも低下した

① 負荷位置
継手から
57mm



② 負荷位置
継手から
35mm

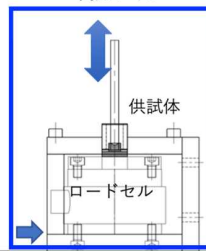


超高压要素試験装置

高压水素ガス(90MPa)を封入した状態で、外力負荷によるガス漏洩を計測する装置を新たに開発した

6分力計を備え、所定の接触面圧を与えたときの密封・漏洩状態を評価する

高压チャンバー



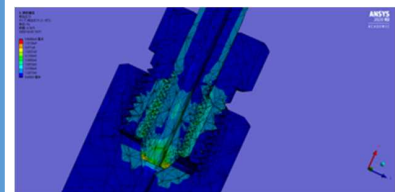
3/8in, 9/16in
継手で軸力を変化させ漏洩時の軸力を計測中

継手ゆるみの理論解析

ANSYS Academic Research Mechanical R1によるFEM弾塑性非線形解析を開始し、継手締めつけから外力付与下の弾塑性変形計算が可能になり、継手シール部、ネジ部の塑性変形発生を確認した



計算モデル例: ナットを時計回りに60°回転させて締付けたのち、チューブ150mmの位置で横に2mm変位



締付け後、曲げモーメント下のMises等価応力の分布例

(成果のまとめ)

- 継手漏洩評価のための新しい評価手法(実験と解析)を確立した。
- 締付け時の潤滑状態によって締付けトルクと接触圧力の関係がかわる。
- 軸力サイクル: 繰り返し圧縮により表面損傷発生、接触面圧低下。
- 軸力サイクル+横力: 横を付加しない場合とかわらない。
- 曲げサイクル: 曲げモーメントが高い場合、接触面圧低下。
- FEM解析により継手シール部、ネジ部の塑性変形を確認した。

(今後の課題)

- 接触面圧低下を生じる条件を定量的に整理し、実際に照らして漏洩低減指針を検討する。加工精度のばらつきと再締結の影響を調査する。
- 超高压要素評価試験装置により、シール部接触面圧、表面粗さ、高压水素ガス漏洩の関係性を解明し、漏洩リスク低減指針を検討する。
- 諸因子を系統的に与えてFEM理論解析を続行し、試験結果の裏付けと理論による予測を検討する。

27/34

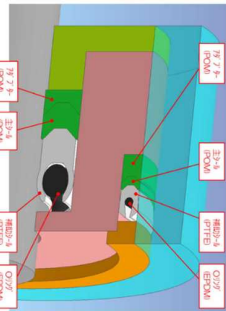
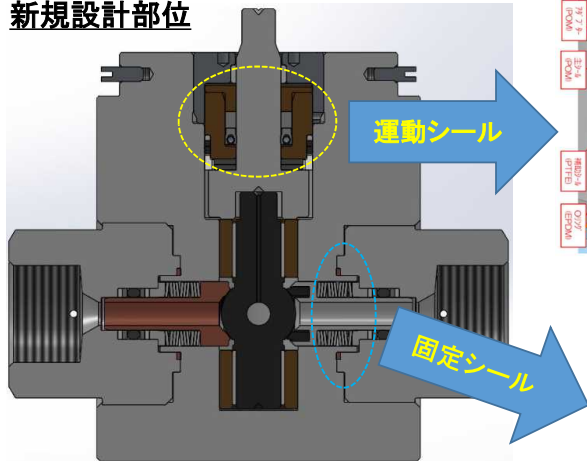
サブテーマ⑤シール成果に基づく機器開発 (キット、フジキン、トキシステムソリューションズ)

・ 目的

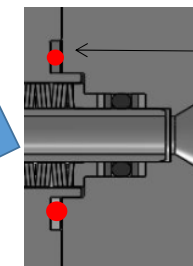
2018年度に充填試験、2019年度に充填模擬、圧力サイクル、定圧連続作動試験、2020年度の実機回収品をシール基盤・改良開発チームにて分析し、その結果から長寿命シール材の開発を基にバルブに組み込み、社内試験合格後、高圧ガス水素ガスにて加速耐久性評価法で現行品との比較評価を実施する。

- ・ サブテーマ3のシール基盤・改良開発チームによる新型シール材の基礎設計が完了。
- ・ バルブの組立、分解を簡略化するためのシール構造に着手することとした。

新規設計部位



UリングとVパッキンを組合わせたコンビネーションシール構造。



Oリング
金属ガスケットからOリングシールとすることで、締付けトルク軽減が可能になり、分解組立が容易となる構造とする。

サブテーマ5:フジキン

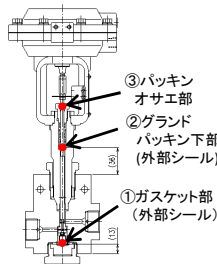
水素ステーション(HySUT山梨HTC)での充填試験

FCVへの連続充填試験を行い、プレクールラインに設置した遮断弁に与える影響を確認した。

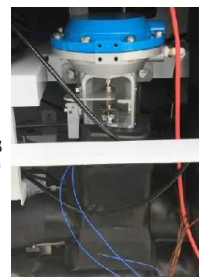
【評価条件】

- 充填圧力：82MPa
- 冷凍機設定温度：-36℃
- 充填回数：合計 32回

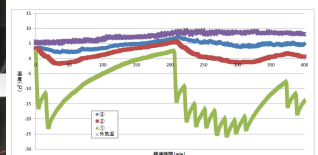
【評価結果】：外部リーク、内部リーク共に発生せず



温度測定位置



試験実施状況

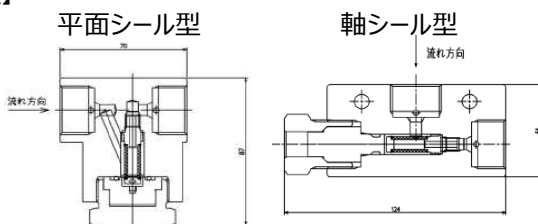


温度測定結果

新型フィルター設計検討、試作品評価

メンテナンス性に優れた構造のフィルターを新規設計検討し、試作品評価を行い、性能を満足しているか確認した。

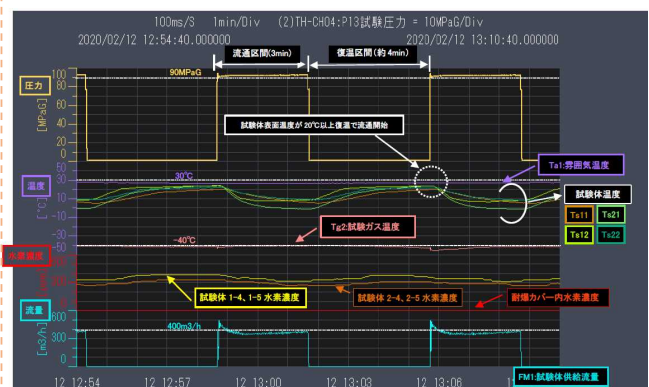
【構造】



【評価項目及び条件】

- 圧力サイクル試験(10,000サイクル)
圧力：1~95MPa、ガス温度：室温
- 低温水素ガス流通試験(100サイクル)
圧力：1~90MPa、ガス温度：-40℃以下

【評価結果】：外部リーク発生せず



低温水素ガス流通試験波形

加速耐久性評価にて、新型構造の信頼性を継続確認し、各構造の優位性を評価する。

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆成果の最終目標の達成可能性			
開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
① セーフティーデータベース (SDB) の解析知見の整理	シール、継手のトラブル事例解析より、ブレイクラー二次側での漏えいトラブル発生が重要であることが判明した。運転初期の段階で漏えいが多く発生していることを確認した。	SDBデータ解析の継続	SDBのデータ解析結果を基に、引き続き、SDB解析を継続し、水素STに使用されるシール部材・継手部材での潜在的漏洩条件の特定に資する解析・整理を行う。
② 部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	故意的に劣化因子を与えた従来シール部材の評価を行い、劣化要因を検討した。劣化度と漏えいの相関を確認し、加速耐久性評価法の概要を検討した。	機器の加速耐久性評価法の確立	劣化度と漏えいの相関性検討より、劣化シール材を作成し、機器レベルでの加速耐久性評価法を検証する。検証での分析結果 (シール材劣化状況等) を基に加速耐久性評価法を設定する。継手基盤・機器開発及びシール成果に基づく機器開発で得られた評価試験結果を基に加速耐久性評価法の検討へフィードバックし、確立する。
③ シール基盤・改良開発	水素機器用高分子材料水素特性データベースを拡充。 高圧水素シール部材標準評価法、劣化モデルシール部材作製法を開発。 HRS使用済みシール部材の回収、調査を実施。 高圧水素圧縮機ピストンリング材の摩擦に伴うトライボケミカル反応により、硫化水素が発生する事を確認した。	HRSにおける充填回数 30,000 回相当のシール部材開発 ・シール部材の加速耐久性評価法の確立	2020年度末までに開発した劣化モデルシール部材と実機の劣化状況比較を実施し、シール部材加速耐久性評価法の詳細条件を設定する。引き続き、詳細条件を設定した加速耐久性評価法を用いて実機との比較による検証を実施し、2022年度末までに評価法の確立、実機における30,000回充填相当のシール部材寿命を実証する。 ガスエミッションに係る解析検討を基に高圧水素ガス圧縮機シール部材の寿命制限因子の特定と対策を行う。
④ 継手基盤・機器開発	継手シール部の接触面圧に着目した新たな評価方法と試験装置を開発した。接触面圧低下に至る複数因子の作用について試験と解析により明らかにした。	機械継手の漏洩の評価方法を確立し、漏洩リスク低減の指針を作成し、漏洩のない機械継手の開発を行う。	2020年度までに得た成果と評価方法に基づき、2021年度末までに新型/改良型継手を開発し、加速耐久性評価法を検討する。2022年度末までに漏洩の評価試験方法を完成させ、漏洩リスク低減の指針を作成する。
⑤ シール成果に基づく機器開発	基盤・改良開発に基づき、新たな機器 (バルブ、フィルター等) の設計検討を実施した。	HRSにおける充填回数 30,000 回相当の機器開発	加速耐久性評価法に基づく試験を、新たに設計検討した機器 (バルブ、フィルター等) で実施し、目標達成機器 (2020年度: 充填回数15,000回相当、2022年度: 充填回数30,000回相当) を開発する。

30/34

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆成果の普及

	2018	2019	2020	計
論文 (査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演	5	6	0	11件
受賞実績	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件

※2020年10月現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

知財戦略に沿った具体的取り組み

- 委託先10社を契約者とする「知財合意書」を締結（契約日：2018年10月19日）
- 知財運営委員会の開催実績
 - 2019年1月25日 成果発表（5件）に関する審議
 - 2019年4月 9日 成果発表（1件）に関する審議

	2018年度	2019年度	2020年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1	0	0件

※2020年10月現在

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

漏えいの無い長寿命・高信頼性のシール、継手の開発により、本プロジェクトの成果として、「水素ステーションの安全性向上、信頼性向上、水素ステーション運営コスト低減」が実現できる。

具体的な成果として、

- 水素ステーションの休業日数の削減：1日/年
 - メンテ期間の短縮：2～3日/定修（定修はほぼ1回/年）
 - 運営コスト低減：1～2百万円/年
- 従って、日本全体の水素ステーションでは3.2～6.4億円/年の低減が見込まれる。（2025年度 水素ステーション数：320）

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

◆ 実用化に向けた具体的取組

項目	2018	2019	2020	2021	2022	2023~2033
①セーフティデータベース (SDB) の解析知見の整理	SDBデータ解析継続			同左		最終目標
②部材・機器の用途別評価条件の選定、試験方法の検討	・加速耐久性評価条件案決定			・加速評価条件確立		規格化検討
③シール基盤・改良開発	・使用済みシール部材調査 ・シール部材加速耐久性評価法案確立			・シール部材加速耐久性評価法確立		規格化検討
	・データベース構築	・新規シール部材候補材選定		・新規シール部材		各種水素機器への適用検討
④継手基盤・機器開発	・要素評価試験 ・評価方法の確立 ・理論解析モデル構築			漏えいリスク低減指針 ・新型/改良型継手開発		実用化検討
⑤シール成果に基づく機器開発	・バルブラボ試験実施 ・15,000回充填相当の検証			・バルブラボ試験 ・HRS実証 ・30,000回充填相当の検証		実用化検討

▲ : 基本原理確認 ● : 基本技術確立

水素ステーション機器
 以外への用途展開
 国内メーカーの国際競争力に寄与
 水素ステーションでの利用拡大
 継手実用化
 機器実用化

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」（中間評価）分科会
議事録及び書面による質疑応答

日時：2020年12月17日（木）10：30～16：30

場所：NEDO川崎 2301～2303会議室（オンラインあり）

出席者（敬称略、順不同）

＜分科会委員＞

分科会長	飯山 明裕	山梨大学 特任教授 燃料電池ナノ材料研究センター センター長
分科会長代理	緒方 雄二	国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 研究部門長
委員	尾方 成信	大阪大学 大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 教授
委員	桜井 輝浩	燃料電池実用化推進協議会 企画部 部長
委員	原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 ストラクチャードファイナンス部長
委員	松岡 美治	日本水素ステーションネットワーク合同会社 担当部長
委員	丸田 昭輝	株式会社テクノバ エネルギー研究部 エネルギー技術調査 グループ グループマネージャー

＜推進部署＞

推進部	古川 善規	NEDO 次世代電池・水素部 部長
推進部【PM】	横本 克巳	NEDO 次世代電池・水素部 主任研究員
推進部	宇佐美 孝忠	NEDO 次世代電池・水素部 主査
推進部	湯浅 実	NEDO 次世代電池・水素部 主査
推進部	渡辺 龍哉	NEDO 次世代電池・水素部 主任
推進部	鈴木 敦之	NEDO 次世代電池・水素部 主任
実施者	二宮 貴之	一般財団法人石油エネルギー技術センター 水素エネルギー部 部長
実施者	小林 拡	一般財団法人石油エネルギー技術センター 水素エネルギー部 水素利用推進室 室長
実施者	加藤 明	高压ガス保安協会
実施者	志賀 優多	高压ガス保安協会
実施者	松永 久生	国立大学法人九州大学
実施者	西村 伸	国立大学法人九州大学 大学院工学研究院 教授

実施者	小簿 孝裕	日本製鉄株式会社
実施者	荒島 裕信	株式会社日本製鋼所
実施者	高坂 浩平	株式会社日本製鋼所
実施者	渡邊 義典	愛知製鋼株式会社
実施者	小野 嘉則	国立研究開発法人物質・材料研究機構
実施者	高木 周作	J F E スチール株式会社
実施者	中西 功	一般社団法人水素供給利用技術協会
実施者	池田 哲史	一般社団法人水素供給利用技術協会
実施者	若山 和貴	一般社団法人水素供給利用技術協会
実施者	富岡 秀徳	一般社団法人水素供給利用技術協会
実施者	高野 俊夫	J F E コンテナ株式会社
実施者	吉川 暢宏	国立大学法人東京大学
実施者	仲山 和海	一般財団法人化学物質評価研究機構
実施者	本田 重信	N O K 株式会社
実施者	加門 祐介	日本ピラー工業株式会社
実施者	渡辺 統	株式会社キッツ
実施者	薬師神 忠幸	株式会社フジキン
実施者	名取 直明	株式会社タツノ
実施者	蓮仏 達也	トキコシステムソリューションズ株式会社
実施者	櫻井 茂	トキコシステムソリューションズ株式会社
実施者	碓井 俊一	日本ゴム工業会
実施者	大島 伸司	E N E O S 株式会社
実施者	前原 和巳	E N E O S 株式会社
実施者	判田 圭	株式会社本田技術研究所
実施者	田村 浩明	一般財団法人日本自動車研究所
実施者	田村 陽介	一般財団法人日本自動車研究所
実施者	富岡 純一	一般財団法人日本自動車研究所
実施者	山田 英助	一般財団法人日本自動車研究所
実施者	斎藤 健一郎	E N E O S 総研株式会社
実施者	平田 裕子	株式会社大和総研
実施者	青木 信一	日鉄総研株式会社
実施者	中谷 泰貴	株式会社加地テック
実施者	橋本 勝	東レ株式会社
実施者	米田 慎一	ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社
実施者	片岡 茂	ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社
実施者	濱田 正紀	ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社

実施者	山村 実早保	日本製鉄株式会社
実施者	小紫 正樹	一般財団法人金属系材料研究開発センター
実施者	榊 浩司	国立研究開発法人産業技術総合研究所
実施者	森岡 敏博	国立研究開発法人産業技術総合研究所
実施者	布浦 達也	日本重化学工業株式会社
実施者	松浦 芳彦	株式会社四国総合研究所
実施者	牧平 尚久	岩谷産業株式会社
実施者	宮代 俊生	岩谷産業株式会社

オブザーバー	宇賀山 在	経済産業省
オブザーバー	泉田 大輔	経済産業省
オブザーバー	佐伯 祐志	NEDO TSC 研究員

<評価事務局>

事務局	森嶋 誠治	NEDO 評価部 部長
事務局	塩入 さやか	NEDO 評価部 主査

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言・配布資料1～8の確認会議運営状の注意事項の説明
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明
 - ・出席者の紹介(分科会委員、推進部署、PL、評価事務局)
3. 分科会の公開について
 - ・評価事務局より、資料3及び4は事前の入る資料の通りで、公開の議事録については、公開、非公開の議事録については非公開とした。
4. 評価の実施方法について
 - ・評価事務局より、議題3及び議題4については事前配布資料の通りとし、評価の手順を説明
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答
 - ・推進部署からの5.1および5.2の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【飯山分科会長】 委員の皆様から今のご説明につきましてご意見、ご質問等がありましたらお願いいたします。事前にいろいろ質問をされておられると思いますし、その答えもあったと思いますが、それについてのコメントでもよろしいですので、またどなたかからお願いしたいと思います。いかがでしょう。では、尾方先生。

【尾方委員】 ご説明ありがとうございました。一点確認させていただきたいのですが、特に低コスト化というところで、これから苦しいところへ、というふうなお話がありましたけれども、その2億1,500万円というコストを2025年に実現したいということですが、それに向けて、だいたい見えている部分とチャレンジングな部分というのがあると思う。

だいたい見えてる部分と、この部分についてはこれから挑戦していかないといけない部分というのを具体的に教えていただければと思います。

【横本 PM】 はい、ありがとうございます。資料8ページでございます。この辺りが現状です。圧縮機につきましては、技術開発が進んでおりますし、コスト目標に少しずつ近づきつつあると思っております。一方、全体的な生産本数がなかなかまだ増えないためなんとも言えませんが、現状、単品の蓄圧器いわゆる金属容器につきましては、コスト目標にほぼ近づいてきているところにあると思っております。ただ蓄圧器につきましても、1本だけをポンと置いて使うわけにはいきませんので、バルブを使う、ユニットを組む、といったところの費用がまだ多少高くなっております。そこについては開発の余地があるのではないかなと思います。具体的には、バルブの低コスト化、シール関連含めてでございます。プレクーラーにつきましては、前の事業で開発したものではありませんが、上手く取り込んでおり、熱交換器もいいものがございますので、何とかいけるだろうという見込みをしております。

その他工事費が苦しい点です。地盤のきちんとした土木ですとか、障壁とかそういうところがまだまだ残っておりますので、今その障壁につきましては何とかならないかなという気持ちはありますけれども、ステーションとの安全性ということもありますので、その取り組みはまだ必要じゃないかなという風に考えています。

運営費については、桜井委員からもご指摘ありました通り、この事業は、運営費が目標にはほど遠いということでのスタートだったと思います。たぶん今、手を付けていて、将来少し手間がかかりそうなのはやはり高分子材料だと思います。特に水素の透過、水素によるいたずらということが高分子には機能的に非常に厳しい状況です。そのために、今回、ホースをきちんとやりましょう、高分子をきちんとやりましょう、と切り出し、それについてメーカーさんも入ってもらって取り組みをしている、というところで、私どものイメージとしては、ここが最終的、技術的にも、国際的にみても厳しいところになるのではないかと考えております。

【尾方委員】 ありがとうございます。よくわかりました。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。原田先生、よろしくお願いします。

【原田委員】 どうもご説明ありがとうございました。そもそも水素の基本戦略自体を 22 年度までに見直すと、そもそも定めたときにそのような想定をしておりますし、今後もいろいろご説明があったように、世界情勢、それから国際情勢的に水素への取り組みがどんどん深まる中で、基本戦略自体がこれから大きく見直されるということも十分に考えられます。それにともなって、この事業が念頭に置いているロードマップ自体も改訂されるという可能性もあるかもしれないということなのですが、今後、そのような事態が起きた場合に、この事業、どういう形でそれに対応していついかれるというようなご想定でいらっしゃいますでしょうか。

【横本 PM】 おそらく水素戦略は、2020 年 10 月末の総理や大臣の発言から、見直される方向に行くだろうなという想像はしております。今、この事業につきましては、大きく変わったとしてもこのままで、まず技術開発を進めていくのが基本だと思っております。その上で、必要があれば、その先にどういう数値を目標に置いていくかということによって、また次期プロジェクトをどういうふうに作っていくかということになるのではないかと思います。まず、私どもとしては、この事業に関しては、きちんとこの事業の目標値に向けた道筋を立てていくということを念頭に、残り 2 年はやっていきたいと考えております。もちろん情勢が変われば、目標値を変更、ハードルを上げていくことになると考えております。

【原田委員】 ありがとうございます。

【飯山分科会長】 原田先生、他にもいろいろとご質問されていたと思いますが、それに対する横本さんからの今の説明、プレゼンも含めて、何かご意見やご感想があれば、いかがでしょうか？

【原田委員】 私はもともと、今回の発表事業と進捗の考え方について、今回の発表事業者の選定根拠を質問させていただいておりました。これについては、先ほど、明快にご回答いただきましたのでそれでよろしいかと思います。あとはいくつか個別テーマについて質問させていただいておりましたけれども、それについては、今後個別テーマのご発表の中で触れていただくというところもあるかと思いますので、基本的には回答書でご回答いただいておりますので、それを拝見しながら、あとはご説明を伺えれば、というふうに思っております。ありがとうございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。丸田先生どうぞ。

【丸田委員】 ご説明ありがとうございました。2 点だけ。

まず追加のスライドでご説明いただいたところで、日本がリードしていたけども海外に追いつかれてきてる、というようなところを非常に懸念するところです。特に液化水素ですね。heavy duty も含めてこの分野、やっぱり重要だなということで、引き続き懸念は持って進めていかれることをお願いしたいというところです。

もう一つ、32 頁のスライドですが、この 32 頁の表の中にある、ここの文言で、下か

ら5行目ぐらいの2行です。これがやはり非常に今重要なことではないかなと思って
おります。NEDOとしては、バランスを取りながらやっていかないといけないことだ
と思っております。やはり、我々もそうでしたけど、国産化とかいうところで言うと、
多分100%というようなところを狙ってるころだと思えます。今半分以下ですけど、
今100%狙ったようなところがありますので、バランスを考えて、こういう公開情報
をうまく出していただきたい。特に今回、午後の休憩以降からのテーマで、非常に慎重
に取り扱うべき情報があるのではないかなと思えますので、ここの部分はうまく何と
かNEDOの中で調整して、出すものとうまくやっていただくものと考えていただきた
いと思えます。

もう一つ合わせまして言いますと、今お話しさせていただいている観点で、今回質
問させていただきました。ご回答、全くそのとおりでありますけれども、今の時期、簡
単にAIも進化して、言語も簡単に変換できるということもございますので、それは
我々も簡単ですし、向こうも簡単だということなので、英語にとらわれず、ぜひ引き
続き、情報の管理についてはよく注意していただければなと思っております。以上で
す。

【横本 PM】 ご指摘とご懸念ありがとうございます。特に heavy duty とされるものにつ
きましてはご存知のように、ようやく各国がスタートしたところがございますので、液
化水素を含めて取り組みと一緒にやっていきたいというふうに、頑張っていかなけれ
ばならない部分だと思えます。

また、ご懸念の海外へのデータ流出につきましては、非常に留意をしながら進めてお
るところでございます。ただ残念ながら、ISOにデータを出さなければならない部分がご
ざいますので、主導するためには、データがやはりどうしても流れていってしまうこと
も。一般財団法人石油エネルギー技術センターの小林さんも懸念していることと思
いますが、もしコメントがあればお願いします。

【実施者 小林氏】 はい。私は別の事業で複合容器の研究開発を実施しておりまして、国
際的には日本の複合容器の製造、それから解析技術が非常に抜きん出ていると思っ
ておりますが、そういった中で、並行して今ISOで、定置式蓄圧器の基準を作ろうとし
てると、そういうときにどうしても基準が世界基準になってしまい、日本が良かれと思
って出したデータを、海外が勝手に出願して、日本が制約を受ける、というようなこと
が多々あると聞きました。そういった意味で、防衛特許を複合容器で出願してありますが、
そういったところを、今後いろいろ幅広く、国際展開をする上では必要だと言う意識
を持ってやっていきたいというふうに考えています。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。特許でそういうふうに堂々とやってくれると
ころはよろしいですけども、やらないようなところがあるところがあるので、そこはやは
り懸念してます。そういうところを引き続きうまく調整していただければと思えます。
他にご意見とかございますか。桜井委員。

【桜井委員】 桜井です。今、丸田さんが触れてくれたところに関連してるんですけど、横本 PM から追加ということで今日資料いただいたのですが、NREL の heavy duty のプログラムっていうのをちょっとご紹介いただきたい。やはり heavy duty ということを見ると、圧縮水素そのまま使っていていいのか、走行距離を伸ばすために液体水素をそのまま使うということが非常に有利じゃないかなというふうに思います。一部海外から液水を持ってくるとか、現行の水素ステーションの中で液水から圧縮水素を作るといようなところもあります。ぜひその直接寄与するということについても、NEDO で今後どういうプログラムを考えてるのかということについて、ご紹介いただきたい。また、あとアメリカの方のプログラムというのはどういうものが入ってるのか、というのも少しご説明いただきたいと思います。

特に、アメリカでは、液化天然ガスの容器に関して、非常に技術を持っています。そちらはステーションの容器や車載の容器に、非常に技術を持っているというのがありますので、ぜひ長距離と大型ということを目指すならば、そういうところについても少し深く NEDO で調査をしていただきたいなと考えています。

【横本 PM】 ありがとうございます。現状 Heavy Duty に向けて、ヨーロッパが当面は圧縮ガスだろうということで、現行動いてるプロジェクトは圧縮ガスで動いています。この事業につきましては、この2年間はガスをターゲットに行くということで進めさせていただいております。ただ将来的には、ガスではなくて液化水素というのはないのか、ということはいつも言われており、それはあると思います。採択審査委員会の場でもお話をさせていただきました。これにつきましては、今国内で、個社の方々と一部検討をさせていただいております。国にどう上げていくのかということにつきましては、またこれからの議論になってくるものと思っております。

特に言われた低温のタンクやそれに使う機器に関しましては、これからまた調査が進むものでございますし、過去に JHFC1 の中で、有明のステーションに液化水素の供給するものにつきましては、ある程度データも取れておりますので、そこをどう進化させていくのかということについては、まだまだこれから議論していきたいと思っています。もちろん車メーカーさん、インフラメーカー含めてございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。そういった heavy duty 用のステーションに、今ガスがいいのか、液化がいいのか、といったことがあると思いますけども、松岡委員から何かご発言ありますでしょうか？

【松岡委員】 たまたま昨日あたりのニュースにメルセデスとリンデが協同して heavy duty の開発をするということも出ていました。リンデンが出てくるっていうことは、液化水素のタンクを積むということなんでしょうけれど、やはり水素は原子番号 1 なだけあって、なかなかの手ごわいものでして、あの高圧水素にも液化水素にも他の状態の水素にも、それぞれ特質がありますので、時間なり、労力なりがかかるのだと思いますが、それぞれ独立を正しく見定めて目標を設定するというじゃないかと思えます。

【横本 PM】 ありがとうございます。おそらくそういうことでございます。液化天然ガスにつきましては、天然ガスのトラックによろやく昨年度ぐらいから使えるようになったような状況です。このような状況になるのに、10年ぐらい年月がかけられておりますので、やはり液化水素のいわゆる heavy duty 向けにつきましても、松岡さんが言われたように、それくらい時間がかかるのではないかと思います。桜井さんの答えにもなってるかもしれませんが。

【飯山分科会長】 はい。ありがとうございます。少し長期的な観点でという。はい、わかりました。他に委員の皆様からございますでしょうか？はい。

【緒方分科会長代理】 少し教えていただきたいのですが、NEDO のやってる事業で、水素の供給については、シナリオ通り進めるとは思いますが、まだ需要側、燃料電池車の方は、あまり進んでないような気がします。特に現在自動車には電動化がどちらかというに進んでいるような気がするのですけれども、将来これはどういう見通しなのか、何か情報があれば教えていただきたいと思います。よろしくお願いします。

【横本 PM】 すいません、私自動車サプライヤーではございませんが、もともとこの目標値を立てるときに、自動車メーカーさんと話をして立てたものでございます。逆に我々としましては、お約束してる水素ステーション数を作っていくので、車は加速して出してくださいという言い方をいつもお願いしてるところになります。ただ飯山先生もご存知のように、やっぱりなかなか燃料電池の製造は、大量生産はなかなかまだ確立できるものではないので、これから増えていってくれば良いと期待をしてるところでございます。

1週間ぐらい前ですが、トヨタ自動車とコンビニチェーンと連携をして、配送トラックで燃料電池車を使っていこうといったお話があったかと思っております。そういうところから燃料電池を使った自動車が少しでも増えていけばいいと思っています。電動化でEVという話もありますけれど、やはり得手不得手があると思っておりますので、長距離であれば燃料電池の自動車もしくはトラックというところ、近距離であれば、使い方としては、バッテリーEVの方がいいのでは、と考えています。

【古川部長】 すいません、NEDO の古川ですが、2点補足します。燃料電池車だけなのか電気自動車だけなのかということではなく、やはり適材適所、それぞれ適切な車両が使われていくのだろうと思っております。

例えば充電ということを考えても、都心部であれば、例えばマンション住まいの立体駐車場で充電設備を全部つけていくことはなかなか難しいでしょうし、逆に地方に行くと、今でも、ガソリンスタンド自身がどんどん撤退していった中で、どちらかというところと電気の方が安全かつ信頼性高いインフラということになっておりますので、逆にそう考えていくと、都市部の方では、短距離であっても燃料電池自動車が見える可能性もありますし、むしろ田舎の方であれば、水素ステーションを作っていくよりも、もしかしたら電気自動車の方が、利便性が高いということがあるかもしれません。どちらかの技術ではなく、適切な技術が適切な場所に入ってくるだろうというふうに考えております。その中でも、

heavy duty というものは今世界でも注目されておりますし、水素の特徴が一番活かせる分野だと思っておりますので、重点プロトコル含め、またご指摘のありました新しい燃料形態というところも、長期的な視点に立って進めていきたいと思っております。以上でございます。

【緒方分科会長代理】 どうもありがとうございます。水素の取り扱いに関して、適切にその仕様というのは当然必要だと思いますが、今後水素ステーションの設置場所等についても、いろいろシナリオ等が変わってくるような気がしますので、その辺については今後検討していただければいいかと思っております。よろしくお願ひします。

【横本 PM】 ありがとうございます。今は4大首都圏を中心にと手を伸ばしておりますけど、目標として、全国にしており、その辺りまた JHyM 含めて国の方とも設置のエリアを含めてご相談させていただこうと思っております。ありがとうございます。

【飯山分科会長】 はい、ありがとうございます。他に何かございますですか。松岡委員。

【松岡委員】 松岡です。私自身が大変な勘違いをしてたようなので、基本的なところを確認させていただきたいのですが、この分科会の評価の範囲を、今日ご説明いただくあの三つのテーマが入って、その他のテーマについては他の場でやられるのだろうと勝手に解釈してたんですが、どうもそうではないようでして、そうなると、今度は評価の仕方ですが、この評価の仕方自体、この事業全体としての評価ということになるだろうと思っておりますが、個別テーマの評価はどういうふうにやられるような形になるのでしょうか？

【事務局】 はい。事務局から説明させていただきます。今回の評価の範囲は発表のみではなく、プロジェクト全体になります。プロジェクト一つを一体として見ていただいて、ご評価をいただくというものになります。各テーマの評価というのは、推進部のマネジメントのもとで、技術推進委員会等々で行われてるという認識で、その評価を含めてマネジメントという評価項目でプロジェクト全体としてご評価いただきたいと思います。ご回答になりましたでしょうか？

【松岡委員】 理解はいたしましたけど、なかなかやり方が難しいなと思っております。ありがとうございます。

【飯山分科会長】 はい。そういうところもあるかもしれません。少しそれに関連するかもしれませんが39ページに、ステーションの仕様の標準化という事業が今年度終了ということでご紹介されたのですが、例えば、これをやったら、結局今のステーションのコストの低減にどのぐらい寄与するんだろうか、というようなコスト低減の指標に換算すると、どの程度のものが見込まれるかというのはいかがでしょうか？

【横本 PM】 今日実施者様が会議に出席されていますので、HySUT の中西さん、もしよろしければコメントいただければと思います。

【中西氏】 はいありがとうございます。標準化に関わるところでどのぐらいコスト削減が進んでいくかということのご質問だったと思います。今、標準化に関わるところは、規制緩和の効果も含めてなんですけど、今のところ1ステーションあたり3000万円ぐらいの

コスト削減が見込めるというふうに思っております。

これは、標準化のガイドラインを決めて、標準化されたステーションが将来的にはどんどん建っていくことによって、設備のコストも工事費も安くなっていくというふうに、進んでいくというふうに思っております。今の段階では3000万円ですが、標準化が決まったことによって、将来的にはさらに削減が進んでいくというふうに見込んでおります。以上でございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。ぜひこの成果を業界の皆さんでできるだけ実施できたらというふうに思いましたのでよろしくお願ひしたいと思ひます。

【中西氏】 ありがとうございます。はい。よろしくお願ひいたします。

【飯山分科会長】 他には委員の皆様からございますでしょうか？ よろしければ、私から一点あるんですけど、先ほど公開非公開のことができました。非公開側、秘匿側の観点に立ったご懸念があったと思うんですが、逆に、公開をどんどんして、ある意味その開発成果を、国際連携とか、あるいは低コストの材料をどんどん民間が活用するとか、そういった方向に積極的に活用すべきじゃないか、ということもあろうかと思うんですけども、そのあたりの考え方、秘匿と公開、それについて何かご意見をお聞かせいただければと思ひます。

【横本 PM】 例えば金属というお話でさせていただきますと、過去に NEDO の事業で取得してきた、例えば SNCM439、SCM435 という材料でございますが、そういうものにつきましては、すでに世界中で使われておりますので、公開しても問題はないと思ひます。ただ、新しい材料につきましては、今、JPEC、九州大学、参画企業さんを含め、情報の公開・非公開については検討をしているところです。例えば、ステンレス系の材料のデータにつきましては、まだまだ使い方も含めて、もう少し秘匿をしていた方が良いのではないかなというようなイメージを持っております。あくまでイメージでございます。もし小林さん、コメントあればお願ひします

【小林氏】 私どもがプレゼンの資料を作る際に、これは公開ベースを前提に、と私どもは聞いておりますので、この内容につきましては事業者全員から構成される知財委員会の承認をいただき、提出しております。午後ご説明しますけれども、一部例示標準化など達成したものがございます。それは大々的に公開していただきたいというふうに思っております。もしその公開・非公開ということで考える余地があるということであれば、最終的にはまた共同実施者とも相談して決めなければいけないんですけれども、基本的には公開というレベルで今日のプレゼンに臨んでおります。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。そうしますと、関連されている実施者の方々の意見が公開でもいいんじゃないかと言えば公開になっていくということによろしいでしょうか？

【横本 PM】 そういうことです。今日のデータはもう全て公開ですけど、今、今取得している成果については、その状況を見ながら公開をしていくという形になると思ひます。

【実施者 小林氏】 一点補足させてください。私共やっている鋼材開発の成果に関して、対外的に公表するかしないかは、ステアリング委員会できちっと認められたかどうかというところが非常にポイントになります。ですから今やってるものを公開に、というのはすぐにはできません。やはり直近ですと2月にステアリング委員会がございますから、その委員会で承認を受けたものは、それ以降の、例えば講演会を頼まれたら発表していくとか、そういうような形で、鋼材開発の成果に関しては積極的に公開はしていってつもりでございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。やはりステアリング委員会のご承認というのが一つ大きなポイントということで理解いたしました。ありがとうございます。

【古川部長】 すいません。電水部の古川ですけれども、たぶん飯山分科会長のご指摘はもう少し大きな指摘だと思うんですけども、公開をしていくということは、足場として例えば特許等できちんと押さえられていて、それが模倣されず、その商品が国際的に出ていくというなかで、標準化が重要あり、まさしくどの段階で技術を開始し、それがコピーされない形で、日本の産業競争力に繋がっていくのか、ということだと思っております。国内だけでなく海外とも連携しながら、日本の市場だけじゃないところに設定していくためには、ご指摘の公開と非公開のバランス、そのタイミングが非常に重要だと思っておりますので、この事業の中でもそういった視点から、製品について考えていきたいと思っております。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。ぜひそういう、時々刻々状況が変わってくると思いますので、ご判断を適切にお願いしたいと思います。他にも、御意見とかご質問とかございますか。はい、原田委員。

【原田委員】 先ほど、松岡様のご指摘、どう評価していくかというところを、私も確認をしたいのですが、このスライドで研究目標のところ、実施項目・目標・成果内容・自己評価とあり、自己評価という欄がありますけれども、この自己評価というのは、事業者さんが評価されてるのか、推進チーム全体がバランスを見て、他のいろんな小さい項目、その達成を総体的に見ての評価ということなのか、少し確認させていただきたいと思えます。と申しますのは、基本的にはその自己評価では三角もパラパラとございます。基本的には達成されているという評価で、それがこちらの原簿と比較して、妥当かどうかというのをを見せていただくために質問をさせていただいております。この自己評価のやり方というのをご確認させていただければと。

【横本 PM】 はい、ありがとうございます。自己評価につきましては、まずは事業者様につけていただいてから、基本的に事業原簿等の資料、あと我々が事業進捗を確認しながら、これは二重マルじゃなくてマルじゃないの、とか三角じゃなくてマルじゃないかとかは、私どもと事業者様の方で進捗と確認をしながらさせていただいております。ベースはまずは今実施されてる事業者様がつけられたものをベースに確認をして、少し手を入れたものがございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他にございますでしょうか？

それではありがとうございました。まだ、まだ、はい。ご質問とご意見があるだろうと思えますけれども予定の時間が参りましたので、議事次第通りに昼食をとりたいというふうに思いますので事務局からご説明お願いいたします。

【事務局】 はい。ご出席の委員の皆様、会議室で委員の先生の皆様と事務局で、この場所のままで昼食をとらせていただきたいと思います。推進部署の方々、実施者の皆様、申し訳ないですけれども、一旦ご退出いただけますようお願いいたします。次のセッションは 13 時から開始となりますのでオンラインの方は、12 時 55 分ぐらいには戻ってきておいていただければと思います。よろしくようお願いいたします。休憩となります。

休憩（昼食） 12:05～13:00（55 分）（公開セッション）

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 国内規制適正化に関わる技術開発/ 本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発（JPEC）

- ・ 推進部署からの 6.1 の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。ただ今のご説明に対しまして、委員の方からご意見やご質問等がありましたら、よろしくお願いいたします。

【尾方委員】 QRA のリスク算定の部分について、少し分からないので質問させていただきたいのですが、いくつかモデルを作られて、それに対するシミュレーションによってさまざまなリスクを検討されているんですけれども、それを根拠に、今回リスクがこのような形で進めるということでお話がありましたが、モデルに基づく評価ですので、あくまでもモデルに基づくので、実際のものからの乖離もいくつかあるのではないかと想像されます。つまり実際のステーションの要件をきちんとこのモデルで反映されているのかどうか、というところが少し気になります。

【二宮氏】 まずリスクアセスメントをぶつけるステーションのモデルというのは、ここに平面図で示したものでございます。これは商用ステーションの多くのものから情報を集め、それを極端に小さくしたものです。これはルールを満足しておりますし、このまま商用ステーションにしても問題ないモデルというのを対象にしています。それから、リスクアセスメントが本当に現実と比べてどうか、ということですが、今回、QRA とシナリオベースでやっていますけれども、この QRA の漏洩頻度データというのがサンディアラボで作ったもので、もう既にある水素ステーションも含めた水素製造設備等の水素に関わるプラントにおける、例えばコンプレッサーの漏洩頻度、それからこういったバルブの漏洩頻度、それも漏洩のサイズごとにどういう頻度で起こるかというのは、実データをベースに作った漏洩頻度データですので、実データベースの漏洩頻度データを起点に

した影響度の評価ということをやっております。それから、これは水素ステーションだけではなく、広く水素ガス設備全体での漏洩頻度のデータベースですので、水素ステーションの水素はそのまま物理変化をするだけ、冷やしたり圧縮したりと、その物理変化だけのものですので、さらに水素ステーションであれば、この漏洩頻度データよりもさらに低いと思われませんが、この漏洩頻度データベースを用いても、敷地境界で基準とした $10^{-6}/\text{year}$ を超えないということであれば、水素ステーションにおいては、さらに大丈夫じゃないかというふうに言えると思います。

【尾方委員】 よくわかりました。ありがとうございます。途中で二次元解析、三次元解析という解析ですね。二次元というのはかなりのモデル化がされていて、三次元というのはもう少し現実に近いものになっているかと思うので、そのあたりを聞いたかったんですけども。

【二宮氏】 それにつきましては、最後にいろいろ積算をしたリスク線図ですけども、これが二次元解析であり、これが若干、ここの部分とかに敷地境界を出ています。この敷地境界を出てしまった要因が何かを調べてみると、大部分がジェット火炎による輻射熱がこのみ出し分となっています。ですので、今度はジェット火炎をどう封じ込めるかというのを3Dモデルで行いますと、このように壁が立ってさえいれば封じ込めることができる。ですので、この敷地の外にはみ出ている部分というのは封じ込められる。それは壁面が立っているのは左側上側右側です。で、下側は公道側なんですけれども、これもディスプレイという最後に車に繋ぎ込む、ガソリンスタンドで言えばポンプのようなもの所ですけども、これもそれを覆っている筐体というのを全然これは見込んでいなくて、配管、バルブ、接手、全部裸になっている状態でのリスクの等リスク線図ですので、これもジェット火炎というものに対しては、ディスプレイも筐体という金属製の箱に入っていますので、それがジェット火炎を防ぎますので、公道側にはみ出ている部分も全部塞ぎ込むことができるというのが説明になります。

【尾方委員】 わかりました。そうすると二次元というのは、どちらかというと安全側の評価になっていて、そこでちょっと危険だと思われたことについては、もっとより詳細な三次元モデルで検討なされたということで合っておりますでしょうか。

【二宮氏】 はい。先生のご理解の通りでございます。どうもありがとうございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他に。

【桜井委員】 2つ質問があるんですけど、1つは無人のところですが。今回そういう規程ができた、というところだと思うのですが、現状、水素ステーションを見ると、ガソリンスタンドに併設されている場合が多いです。そうすると、セルフまでやっておけば、水素ステーション作るのにあたって、当面十分じゃないかという形にも考えられるんですけど、急というか、一歩進んで無人までやった背景みたいなものを教えていただきたいなと思います。

【二宮氏】 セルフというか、ガソリンスタンドと併設しているというお話が今ありました

が、ガソリンスタンドのほうは消防法のコントロール、水素ステーションのほうは高圧ガス保安法によるコントロールということで、置かないといけない人の要件等が全然違っておまして、その高圧ガスの製造の資格を持っている人間を保安監督者に置き、水素ステーション用の教育を受けた従業者を置かなければいけないという形になっているということで、少しその部分で、併設だからといって一足飛びにいろんなことが解決するというわけではないということがあります。とりあえず法が違うということと、申請官庁等も違うというようなこともありますので、特に水素ステーションのほうは、遠隔監視で完全にクローズドのシステムになっておりますが、ガソリンスタンドは絶対に無人はあり得ないので、そういったところの違いというものがございます。

遠隔監視のステーションにおいては先ほども必要な保安体制ということで、保安監督者は当然無人なので、常駐せずどこか別の所にいます。遠隔監視員という人は遠隔監視場所ですとステーションを見えています。それから巡回点検員というのがクルクル複数の所を遠隔監視しているとしたら、何かあった時の用に、緊急駆け付け員というのを置かないといけない。その時にガソリンスタンドが併設されていたりして、そのガソリンスタンドの従業員さんに、その水素ステーションの緊急時の初期対応というトレーニングがちゃんとできていれば、ポンと駆け付けられる、というようなことで、併設では遠隔監視の中ででもすぐ駆け付けられる、といったメリットを享受できるのかなというふうに考えております。

【桜井委員】 ありがとうございます。もう1つは、54ページの所なんですけれど、家庭用の小型の充填機ですね。高圧ガス保安法に基づくと、要するに離隔距離が非現実的であるため、ガス事業法であれば、距離が短くなるよという話なんですけど、もともと水素ステーションを作る時に保安距離というのを随分縮めていったという経緯があると思います。今回、その家庭用のものについて離隔距離を縮めていくということではなく、ガス事業法という方に提案するという理由について、詳しく説明いただけたらと思います。

【実施者 二宮氏】 ガス事業法もガス事業法で実現できるということではなくて、ガス事業法だと距離はこんな感じ、フットプリントは小さくなります、という一つの考え方ということで、検討の中の一例ということでございます。まず高圧ガス保安法の方でございますが、先ほど先生がおっしゃられたのは、もともと一項という郊外型というか広い所でやるような場合には、第一種設備距離とかの17mぐらいと、それから家とかアパートを対象にした第二種設備距離11.31m、こういうことになっております。距離を縮めていったというのは、その第二項ステーションという都市型のステーションを作るにあたっては、それを一項のステーションとは違って多くの安全設備を入れるとか、そういうことによって高圧ガス設備と敷地境界距離の8m、それからディスプレイと公道との間の公道ディスプレイ距離8m、さらにそこに代替策を組み入れると5mまで短縮できるといったような形でやってきたものですが、第二項の都市型のステーションというのは、非常にたくさん安全設備が入っていて、こんな過剰な安全設備をこの家庭小規模のものに組み

入れるというのは非常に現実的でない。ですので、できるだけ安全設備が少ない一項ステーションの設備というのをベースにすると、第一種とか第二種の設備距離が必要になってしまうということでございます。

【桜井委員】 ありがとうございます。このガス事業法で作っている天然ガスの方の昇圧供給装置ですが、そういう意味において大きさの上限というのが確か決まっていると思いますが、今回の水素用についても上限というのは設定されているんですか。

【二宮氏】 水素用のというのは、まだ全然ありません。天然ガス都市ガスを導管で持ってきて、ガス工作物である昇圧供給装置であれば、こういう設置距離でできますよということで、これが水素で、ということになると、非常にハードルは高くなります。水素の昇圧供給装置がちゃんとガス工作物に当たるのかどうかといったところからやっていかなければなりません。これは課題の抽出というテーマ名でございますので、どうアプローチの仕方があるかという、例えば、高压ガス保安法の方も先ほどの距離、敷地の大きさの話だけではなくて、ボンベで供給した場合はどうかとか、小型の水電解をやったりとか、いろんなことを考えたりしましたが、いずれも結局、水素をそのまま昇圧するという時点で高压ガスになってしまいますので、そうするとやはり制約が出てきます。このガス事業法で今、CNGが小型のものでガス工作物としてできるというのは、すべてガス事業者さんが保安とか設備の面倒をみるという前提で、事業者が既に入り込んでいるという形の中で成り立っているので、そういう姿が水素でもあり得るかもしれないなど、課題を整理するというのが、今年度末までのやるべき事と考えております。

【飯山分科会長】 原田委員、よろしいでしょうか。

【原田委員】 詳細なご説明をありがとうございます。私、これも書面でも質問させていただいて、少し理解が足りなかった所だったので、ありがとうございます。

もう1つ私の質問で、一部書面でも質問させていただいていたんですけども、保安監督者の兼任4カ所という根拠について、いくつかの箇所を、毎週、週一回巡回するとか、いろいろ業務、それからイベントごとで何か業務があるといったことは理解したつもりですが、こちらの資料で14のリスクというようなことで抽出されているかと思うんですけども、駆け付けについて、これはどのような頻度で駆け付けが生じるようなイベントが年間どれくらいを想定してこの4カ所の兼務ということをやられたのかということをお教えいただければと思います。

【二宮氏】 4カ所の兼務と駆け付けというのは、ちょっと切り離すべきと考えております。まずその上限4カ所というのは、水素ステーションというのは、日常業務として必ず毎年保安検査があり、それから年に1回以上の定期自主検査があり、それを両方合わせると2回以上。それと、通常年に2回程度の防災訓練をやったり、いろんな従業員の教育等もあり、かなり保安監督者というのは定例のイベントというのを抱えております。そういうのを年間のカレンダーに割り振っていってみると、4カ所くらいでかなり日常業務は一杯いっぱいだろうというところがございます。こういったところを事業者様等、ま

た規制当局の方々とも相談し、上限 4 カ所ということを決めました。ただ、いきなり一人の人が 4 カ所ということは当然あり得なくて、ステップワイズに、まず 2 カ所目になるためには 1 カ所の保安監督者というのを最低 6 カ月やった者がなり、その中でマネジメント能力が高い人に兼任させる計画とし、その 2 カ所目の設備のことをしっかり勉強してきたら、2 カ所の兼任をします。2 カ所やってみて、さらにマネジメント能力がまだ十分あるとわかったところで、次は 3 カ所目の設備の勉強をしてきて、3 カ所目の兼務をやる。そういった形で、ステップワイズに一応上限を 4 カ所までは、兼務をやるようにしましょうというふうに決めたのが上限に対する考え方です。

緊急時の対応につきましては、原則、保安監督者というのはその設備の保安上の唯一の責任者でございますので、当然速やかに駆け付けるというのが必要なことです。ただ、いろんな制約もあり、その速やかにというのをどうするかということでございますが、まずはこれもいろんな通達を出していただくにあたって、いろんな議論等を事業者さん、それから規制当局さんで行ってきたんですけれども、例えば、夜の 22 時に起こったらどうするのか、とういうことで、24 時間ということが一応通達には書かかれていますのですが、それを解説する私共のガイドラインの中には、「速やかに」その言葉の背景はどういうもので、やはり保安監督を司るものとして、速やかに駆け付けるべきであるということ、文書にして、きちんと規制当局の方々にもご確認いただき、JPEC-TD という形ですでにリリースさせていただいております。

【原田委員】ありがとうございます。私の質問の趣旨は、速やかに駆け付けるというのが、どのくらいの頻度で起こると想定されたということでしょうか。

【二宮氏】 駆け付けなければいけないというのは、異常事象には程度の軽い不調とか故障みたいなものから始まって、本当に事故、それから災害という大きなものまであります。この事故、災害というのを一応緊急時というふうに定義しまして、この場合はもう駆け付け必須ということになります。私共ではないんですけれども、事業者の団体の方で水素ステーションの事故の統計等を取っていますが、数は非常に少ないです。ですので、これをやったところで頻繁に駆け付けなければいけない事態というのは、まずないというふうに考えていただいて結構です。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。丸田委員、お願いします。

【丸田委員】 ご説明ありがとうございます。45 ページくらいのところに書いてある所ですけれども、まずはリスクを徹底的に見た上で、できるだけここに書かれている 4 項目についてはリスクを増大させることなく、簡素化は可能という。方法論としては全くその通りだなと思いました。リスクを見た上でこの部分は緩和できると。これに関して言うならば、この 4 項目は決め打ち的なものか、それとも結果だけをお見せしてるので、この 4 項目だったら、リスクの増大なくできるということなのか。考えてみると、この他にたくさんまだまだリスクを増大させずに低コスト化は可能というような視点がたぶん出てくるような気がいたします、というのが 1 つ。あと、散水設備関係とかで知見が得られた

んでしょうか。

【実施者 二宮氏】 まず、その前段階で追加するものはないということになったので、今度は減らすほうということです。当然、何かを減らせば、当然コストとか点検等、なくなりますので、運営費も下がっていくわけですが、まずは我々の研究テーマには、事業者様のタスクフォースさんみたいなのがカウンターパートになっていろいろ議論とかするんですけど、いろいろリストアップしていただいたものを、全部評価しております。リスクが上がってしまうものは、当然、却下になります。例えば火炎検知器が要らないんじゃないとか、具体的な例としてそういうのも挙がりましたが、火炎検知器と連動した遮断弁の動作というのは、明らかにリスクが大きくなっているということで、それは1例ですけれども、いくつか挙がったものは、できませんねということ。

そういう中でこの4つに関しては、これをやっても、1例として遮断弁の合理化やリスクコンターがちょっと小さくなりますよという話をしましたが、過流防止弁を合理化するとか、過流防止弁に変えてオリフィスにしてしまうともう最初から流路を絞ってしまってますので、そういうのは、かなりリスクコンターが小さくなるということで、それなんかも保守もしなくていいよね、というような感じになります。

で、たくさん挙がってきたものからいろいろこういう評価をやった上で、この4つは自信をもって無くせますというか、合理化できますという提案に繋がるものがこの4つということです。

それから散水のところは、もうこれは、内部火災、外部火災が起こってしまった時にできることって散水なんですね。これをやめるというのは非常にハードルが高い。それで蓄圧機が損傷したという時は、確率が低いんですけども、影響度が非常に大きいということで、リスクの差なく合理化できるという価値判断からは外れてしまいます。

【飯山分科会長】 他にございますでしょうか。産総研の緒方先生、よろしく願いいたします。

【緒方分科会長代理】 ご説明ありがとうございます。2点ほど質問があるんですけど、リスク評価ですけれども、これ過剰に高すぎる気もするんですけど、三次元のデータを使われたということなんですけど、実際に国内でもう、かなり水素ステーションの今年度160ですか、普及していて、さらに10年近く古いやつもあるような気がするんですけど、そのへんのデータも入っていると考えるとよろしいでしょうか。

【実施者 二宮氏】 これはサンディアラボの出したデータを敢えてそのまま使っています。これをベイズ推定とかで国内の水素ステーションの事例というのを入れながら、モデルファイした研究例等もありますが、やはり恣意的というわけではないんですけども、何か数字を触るという操作をするということへの説明というのが絶対に必要になりますので、これは非常に世界的にもいろんな論文で引用されているスタンダードかなと思っておりますので、敢えてこれを使っている。

先ほど阪大の尾方先生からもありましたけれども、これはステーションだけじゃなく

て、いろんな水素設備のことも入れていますので、逆に漏洩頻度はたぶん水素ステーション単独よりは高くなっていますので、産総研の緒方先生がおっしゃられるように、たぶんリスク 10^{-6} とかいう数字が出てくるのは、たぶんステーションで起きるであろうものよりも、若干高く出る方向になっているかと思います。ただそれは、安全サイドの見積もりだという考え方で、それで大丈夫であれば心配ないよねという考え方でございます。

それとあと、日本国内のということになっておりますが、一応国内の方でもデータベースは作られてるんですけども、ただあまり定量的な漏洩のデータベースにはなっていないということですので、今後ステーションが増えて、出てくるデータをより定量的に整理されてくれば、こういうのに対して、日本の水素ステーションという観点でベイズ推定をかけてこれを修正するというようなことは、今後の大きな課題かなというふうに思いますが、まだちょっとそこまでにはいろんなデータベースがちゃんと定量化されて、それなりの数が揃ってくるということが前提になるかと思います。

【緒方分科会長代理】 ありがとうございます。ただやっぱり、今後水素ステーションがたぶん普及していくとなると、そこに住んでいる方が、どう安全かというのを担保にしたいとなると、かなりやっぱり正確な安全というのが必要で、もちろん過剰評価されていてこれ以下になりますよという話よりも、ちゃんとここはこれくらい低いんですよというのをアピールされた方がいいのかなという気がいたしますが、いかがでしょうか。

【実施者 二宮氏】 今時点では、何を解析する時のデータベースに用いるのかというところで、より信頼性をもって世の中に認められる、そういうデータベースにこれをリバイスできるとしたならば、それを使うということがたぶんベターなので、現状では難しいのかなということです。

【緒方分科会長代理】 わかりました。できれば、今水素ステーションができてますので、このデータをいろいろ使っていただいて、普及のほうを速めていただければと思います。よろしく願いいたします。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。それでは、予定の時間がまいりましたので、次の議題に移りたいと思います。

6.2 国内規制適正化に関わる技術開発/ 新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発 (JPEC)

・推進部署からの 6.2 の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。それでは、各委員の方からご質問ご意見があればよろしく願いいたします。では原田委員、よろしく願いします。

【原田委員】 政策都市銀行の原田でございます。たぶん私が一番技術的なことを理解していないと思うので先にご質問させていただきます。これそもそもこの結果の捉え方なんですけれども、まずは汎用品の例えば SUS316 系とか、さらに安価とおっしゃってました

けれども SUS304 系といったものが、主機に使えるかということを実験されていて、その低合金鋼さらに何て言いますかその合金の比率が低い低合金鋼は、SS316、304 っていうようなものより、更にそれを代替していくようなイメージなんではないでしょうか。それとも全く違うところの部材に使っていくということなんではないでしょうか？

【実施者 小林氏】 低合金鋼等、それからステンレス鋼というのは非常に機械強度が違うのと、あと価格が全然違うんですね。ですから、できるだけ強度が高いものはその特性を生かしたところに使う。で、できればステンレス鋼のようなものであれば、かなり特殊なところとかですね、軽く小さくしたいとかっていうところで使えるんだろうと思います。

【原田委員】 そうしますと、今後低合金鋼の方いろんな実験を経て、全てがこれに置き換えるっていうことはまずなくて、やはり算用としての今使ってるものより安価なものに関して全てをそれに置き換えるってことではないという理解でよろしいですか。

【実施者 小林氏】 ステンレスはステンレスの使い方がありまして、低合金鋼は低合金鋼の使い方があるというふうに考えています。

【原田委員】 はい、その上でなんですけれども、こういったことをできる限り安価なものにその部位というか、要素を見極めながら置き換えていくことで、ロードマップの目標と示されている 9000 万円から 5000 万円というものをどの程度達成できると考えればよろしいでしょうか？

【実施者 小林氏】 それは確か圧縮機の価格だと思うんですけれども、圧縮機は今 9000 万円だとします。ただその中に使用されている低合金鋼というのは、そのピストンシリンダーのごく一部の話なので、その 9000 万円が 5000 万円ていくような話とは少し違います。ただし、作るメーカーさんからすると、今使ってる部材というのは、納期だとか価格が非常に長かったり、あと成形するのも非常に難しいとなると、実はそこにもコストがかかります。その納期も早くて成形も早くなると、それは非常に圧縮機メーカーさんとしては非常に大きなメリットとなる。ただその 9000 万円がどれだけ下がるかと言うとちょっとそこはなかなか難しいところがあるかなと思います。

【原田委員】 もちろん量産効果とか、いろんな調達も大量になればなるほど規模の桁が働くかはよくわかるんですけれども。

【実施者 小林氏】 ただし、例えば白物家電のようなものがあれば量産効果で例えば 0.6 乗則だとか、それだけやって安くなるってあるんですけども、今の水素ステーションの毎年の建設からすると、もうほとんどオーダーメイド的に制作しているので、なかなか量産効果というのは、当分は難しいんだろうなというふうに思います。

【原田委員】 そういたしますと、研究チームは、今回はコンソーシアムの方々で、もちろん必ずしもいくらがいくらになると難しいと思うんですが、こういったものにする、例えばその何%ぐらい。原価率は下がり加工におけるコスト下がりって言ったらその目安のようなものっていうのは想定されているのでしょうか。

【実施者 小林氏】 私もよくいろんなところでこういうお話をすると必ずそういう質問

が出てくるんですけれども、なかなかその例えば調達コストですとか製造コストっていうのはなかなか入手しづらい話で、正確なところがなかなかつかめない。ただし、私どもは塵も積もればではないですけれども低合金鋼であればそうしていく。それから、高いキロ何万円もするようなステンレスをその半分以下の金物にする。それから機械継ぎ手、弁当箱のような塊なんですけれども、それを冷間加工で、配管を曲げて使うことによってそれを積み上げていくと、かなりの金額のコストダウンに繋がるんじゃないのかなっていう程度です。本当はずばり数値で言えれば良いのですが、私どもそこをつかみきれないところがありまして、ちょっといつもその質問にはちょっと四苦八苦してしまうところがあるところがございます。

【横本 PM】 横本から少し補足をさせていただきます。先ほどお金コストの面で、2025年圧縮機が5000万程度を目指すということでありました。先ほど言われたように、材料を適材適所で使うようにするというので、材料をまず少し下げていきたいということはもちろんあります。これまだ法制面で、いわゆる4倍則とか結構圧力が高いので、肉厚の非常に大きな材料を使うならそれを少しでも薄くできるかという規制の面も含めてやはりやっていかなくちゃいけないところで、技術開発と規定の取り組みっていう方を一緒にやっていくところをやった場合に、これくらいでいけそうだとすることが機械メーカーさんとのご相談の数字でございます。全て材料だけに請け負わせるわけにはいかないの、そういうことを今取り組んでるところでございます。

【原田委員】 どうもありがとうございました。

【飯山分科会長】 はい他に、尾方先生。

【尾方委員】 私は機械材料、もともとの専門でございますので質問しないといけないかなと、させていただくんですが。まず様々なシステムティックな実験、それから評価方法を構築されて、今まで市中材が、これがもう、このような形で使えるということがわかったことはもう素晴らしいというふうに思っております。そのシステムティックにという観点からしますと溶接部のですね、話がございましたけれども、この部分につきましてもやはり疲労強度というのが非常に重要になってくるかと思われるんですけれども、後のその成果発表のリストにはその溶接部の疲労に関する何か発表があるようなふうに拝見したんですけれども、その辺りはどのような今の状況になってございますでしょうか？

【実施者 小林氏】 最終的には溶接したものの疲労試験も必要だろうと考えております。ただし、今一番大事なのが、その水素特性の判断をどういう指標で見たらいいのかというところが一番ございまして、この図にもありますように、こういうように溶接をさせているんですけれども、例えば今回のステンレス鋼は伸びという指標で判断できたんですけれども、こういうような母材と溶接部があったときに伸びで正しく見れるのかというような疑問があります。やっぱり今まで同様に絞り見なきゃいけないのかといったところその辺をしっかりと見極めて、材料としてきちんとしたものができているかといったところは調べる必要がまずあると思います。で、その後私どももいろいろなかなか情報

として入手しづらいんですけれども事業者様が事前評価を行った情報なんか聞きますとやっぱり疲労のところはデータを示してっていうような情報もございますので、やはりそういったものも今後とっていく必要があるのかなと。そのためにはやっぱりきちんとした水素耐性のある材料をちゃんと作っているのかといったところが、今は一番大きな山だと、目指す山だと考えております。

【尾方委員】 ありがとうございます。もう一点だけ簡単な質問なんですけれども、基本的に今の戦略としては既存の材料に広がって使えるようにするということだと思うんですけれども、海外ではですね既存材料ですね、海外も当然同じ材料を用いてる用いることは可能だと思うんですけれども、海外でのその何ですかね、こういった材料への適用範囲の拡大というのはどのようになっているんでしょうか。

【小林委員】 その質問もよく出る質問なんですけれども、海外の場合はですね、そのメーカーさんが自己責任を持ってその材料を使っているといったところがございます。日本も当然メーカーさんが使いたい材料を事前評価申請でこういうデータがあるから、こういう使い方するから使えるのか、使わせてくれるっていうような道は残してるんですけれども、高压ガス保安法の中で使える材料を安全使える材料、こういう材料こういう条件なら使えるっていうものを、決めてほしいというのが今のインフラメーカー要望でございます。当然、法体制に組み込むので、非常に安全サイドになっているっていうのは、しょうがないことなのかなと思います。ただし、平成 24 年度にはやっぱり 70 メガ水素ステーションを作らなければいけないっていうので、かなり厳しめに作ったので今徐々にあと、幸いなことに材料での事故っていうのは実際起きていませんので、それを見直すって今回はかなり大きな見直しにつながってるんじゃないかなと。逆に海外のレベルまで落とせるのか。それは私どもが海外のこんな材料がこんなふうに使って何年使っても大丈夫だっていうようなデータがあれば、そういったところについて考えながら、徐々に条件を見直ししていくこともできると思います。ですから、こういった材料開発は止めたいいけないのかなというふうに考えています。

【尾方委員】 はい、ありがとうございます。よくわかりました。

【横本 PM】 すみません材料開発につきまして一つ補足でございます。日本は小林さん言われたように結構高価でいいものっていう形で良いものを使っていたと。逆にアメリカ、ヨーロッパは比較的到低コストで、少し弱い材料を使っており、アメリカやヨーロッパ少しずつ上がってきてる方向。日本は小林さん言われたように下げている方向。どっかで多分交わる点はあると思っております。

【実施者 小林氏】 材料だけじゃなくて溶接施工法に関しても、アメリカなんかは日本から見るとこんなんでもいいの、というようなところに大分気がついてきたみたいで、材料とか溶接施工法についても少しずつ基準が上がっているような感じがします。日本は下げていくと、どこかで多分世界共通になるのかなと。それはもう少し時間がかかるかもしれないですけどやはり事故を起こさないようにした状況を維持しつつ見直ししていくって

というのがベストなのかなと思います。

【飯山分科会長】 よろしいでしょうか？ありがとうございます。そういう意味で、先ほども午前中も議論ありましたが公開非公開とかですね、そういう観点でも今回のいろいろな貴重なデータについて、今後は有効活用ですね、されると思うんですけども、そういう観点から今回のデータベースを有効活用してという考えなんですか？

【実施者 小林氏】 前 NEDO 事業におきましては、九州大学の中に、データベース検討会というのをうまいして九大がデータベースを管理してございました。それを日本のメーカーさんが水素ステーションで機器を設置する場合にはデータベースをもとに、高圧ガス保安法にのっとり事前申請を行うなど行なっておりましたので、ただこの事業が始まってからそのデータベース化のところがちょっと対応が遅れてここは NEDO 横本さんとも相談してるんですけども、年明けぐらいからこういったものデータベース化も図っていいですね、広く周知して使えるようにしていきたい。ただ、国外に向けてはどうするかというのがありますけれども、この貴重なデータを十分活用していただくように。九大データベースもこれまでにデータ利用申請が 3000~4000 件とか、そういうような引き合いがきて数年でありますので、その貴重な積み上げたデータは、やはり使ってもらって初めて役に立つと思いますので、あのデータベース化して広く活用できると思います。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。ぜひご判断は国際連携的に、欧米の方も国内と合うような、実績になっていくのがいいんじゃないかなと思いますので、そういう国際連携についても、要望があった場合は、お考えいただいて、データベースの構築とか改定とか運用とか、そういうのがある意味せつかくのデータなので、有効に日本のためになるような活用していただければなというふうに感じました。

【実施者 小林氏】 私どもも、いろんな要望があればいろんなところで発表させていただいて、今こんな状況になってますが、今回ご紹介させていただいた、水素適合性のデータなんかも、できれば公開すればそのデータが使っていただければ非常にありがたいと思っています。

【飯山分科会長】 よろしくお願ひします。他に皆様から各委員の皆様からございますでしょうか。では桜井委員お願ひします。

【桜井委員】 単純な質問で申し訳ないんですけど、13 ページのところ、その溶接の良いところ悪いところ、出てると思うんですけど、確かに維持コストが非常に低いのはよくわかるんですけど、建設コストのときにその現場で溶接すると、健全性を調べるために、溶接の現場検査をやらなきゃいけないと思うんですけど、それも含めても建設のときは溶接が有利と考えたらいいんですか。それともそこまで含めちゃうとどちらか比較の現場によって変わっちゃうというのもあるんですか。これについてコメントいただきたいんですけど。

【実施者 小林氏】 実はそこまではまだ細かくコストの積み上げはしてないんですけども、大きく言って継ぎ手がかなりの高額になっているのは機械式継ぎ手ですね、それを

なくすってということが非常に大きなことなんだろうと言ったところで、そこにつきましてはやはり今度インフラのステーション設計機器メーカーさんなどとかですね、あと溶接メーカーさんなどとも少し情報を収集しながら、そこは煮詰めていかないといけないかなというふうには思います。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他にございますでしょうか。

【実施者 小林氏】 少し補足をさせていただきますと、例えばニッケル当量が 30%とか高いものであればかなり溶接って、あの溶接してもその溶接部分にニッケル成分がいっぱいあるんで、結構強いですよ。ただ、今回 26.9%まで下げますから、非常に製品化といたしますか、水素の適合性が非常にちょっとまだ心配なところがあって、まずそれはしっかりとそれも溶接のまままでできるかというところが一つハードルなので、それをまず超えていきたい。その次にやはりコストも意味を含めてあと試験項目を、増やしていきたいなど。それは私の今の考えでは残りの 2 年間でそれをやっていけたらというふうに思います。

【飯山分科会長】 はい、ありがとうございます。他に委員の方からございますでしょうか？緒方先生よろしくお願いします。

【緒方分科会長代理】 すいません。先ほどからデータベースの共用という話が出てるんですけど、これ標準化するというお考えはあるんでしょうか？例えば ISO で国際的に使っていくとかですね、そういうお考えはないということでしょうか？

【実施者 小林氏】 データベースについては当面は今ないです。材料としては日本で言えば JIS の規格がありますし ASME の規格っていうかそういうのがありますので、そこについては私どもとしては、今はないかなと思っています。あくまで使われる材料のその特性でしょうか、疲労源とか、応力とかその特性はデータベース化してるということでございますのでそれを見ていただくことは分科会長が言われたようにやっていきたいと思っています。

【緒方分科会長代理】 そうすると、これが水素の材料としていいという標準化までは追って行かないということでしょうか。

【実施者 小林氏】 難しいところですね。すいませんありがとうございます。

【飯山分科会長】 はい、ありがとうございます。他に何かございますでしょうか？

私からよろしいでしょうか？今回のポイントが今までの絞りから、伸びと粘性というふうにもう引張強度ですね、変わったっていうことは非常に大きなポイントだと思うんですけども、それができたのでニッケル当量が下がりましたということなんですけども、冷間加工材とかその他についてはどういうふうと考えてよろしいでしょうか。その絞りであったらなかなか難しいですけども今回の引張強度と、そういう伸びでやったから冷感加工剤も議論できるようになったとかそういう理解でよろしいでしょうか？

【実施者 小林氏】 例えば、ニッケル当量が 28.5%もあるものは冷間加工をしても十分なものがございましたので、ニッケル当量が比較的低いものにつきましてはちょっと私

の記憶の中ではあまり冷間加工までやったデータの記憶がないんですけれども、今回改めてきちっと伸びという指標で見ると非常に使えそうだなということ認識であったら、絞りという観点で見ると、やっぱり 26.9 は冷間加工してもちょっと厳しそうだなというところなので、この辺については新しい知見になってるのかなというふうに思います。

【飯山分科会長】 そうですね。そういう根本的に世界が変わったような、今までは絞りだけ見てきたのとは適合する材料はガラッと増えるっていうか、そういうふうになってきたので、大変素晴らしい成果だなというふうには感じました。

【実施者 小林氏】 ありがとうございます。そういう意味で使用可能性鋼材の拡大と言ったところを目指してる結果になりつつあるかなというふうに思っています。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。

他に何かございますですか。ございませんか。またちょっと私から少しあれですけど、なぜ 24 年度、その頃は絞りで議論されてたと思うんですけれども、そのときに、こういった引張強度とか、伸びというので、設計的には妥当ではないか、というようなご議論でそのときからこの引張強度とか伸びをやろうじゃないかっていうふうに、最終的にその当時ならなかったのはなぜなんでしょうか。

【実施者 小林氏】 やはりそのときから、その伸びというのはあの公開されているデータの測定の方法が結構まちまちだったので信憑性というものになかなかなかったと。だから、本来伸びでよかったんだけど、その時にかき集めたデータで調べると伸びというのは信用ならんと。そういったところで特にあとは、やっぱり最初の 70 メガステーションなので、やっぱり材料で事故を起こしちゃいけないっていうそういった両面からですね、安全サイドが絞りにしたというような経緯だということふうに聞いてございます。

【飯山分科会長】 わかりました。はい。ありがとうございます。他に何かございますでしょうか？

【緒方分科会長代理】 すいません単純な質問なんですけど、23 ページで伸びの測りを使えてますよね。これって結局測ってる場所で伸びが、例えば切れた場所に合力が集中してるで、そこで伸びているので、測りの場所を変えても同じだということよろしいでしょうか？

【実施者 小林氏】 結果として、このページはそういうことだと思います。ただその辺は、ちゃんと確かめた方が実はいらっしやらなかったんです。

【緒方分科会長代理】 なるほど。

【実施者 小林氏】 この事業が始まったときに、ちょっと調べてこれは九大さんが共有のデータを集めて表にしてもらったんですけど、見事な直線関係にあるんで、比例関係にあるんで、あつということになったわけです。

【緒方分科会長代理】 わかりました。やっぱり切れたところが伸びてて、その影響を見ればいいってことですね。はい、ありがとうございます。

【実施者 小林氏】 言ってみればそうなんですけれども、やっぱり確認をしないと進めないってところが一つのポイントだろうと。逆にこの結果で言うと、当たり前と言われるかもしれないですけど、それを確認するのが重要であったということだと思います。

【緒方分科会長代理】 はい。ありがとうございました。

【飯山分科会長】 はいありがとうございます。他にございますか。はい、丸田委員、よろしくをお願いします。

【丸田委員】 確認的なあれですけど、11 ページにあるようにもちろん広大な拡大をしてきた当初使用圧力 70MPa くらいから 82MPa までということですけども、データをとれていると思いますけども、この上に上がっていくためには、さらに何をして行けばよろしいのでしょうか。

【実施者 小林氏】 データとしてはですね、水素圧力は 106MPa とか 115Mpa でデータをとってございます。ただし、今の高压ガス保安法は 82MPa が上限なので、基準としては 82 MPa 以上掛けないと。データとしては 100 MPa 以上ございます。

【丸田委員】 了解です。

【実施者 小林氏】 ですから、先ほど少し圧力を上げたというような議論があると思いますが、材料的にはそれも見越した上で作っておりますので、新たにデータを取ることは一応ないと思います。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他によろしいでしょうか？

それでは以上でこの 6-2 は終了したいと思います。ありがとうございました。

6.3 水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／ 高压対応高分子技術開発（九州大学）

・ 推進部署のからの 6.3 の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。

それではただいまの説明、ご説明に関しまして、ご意見ご質問等がありましたらよろしくお願いたします。松岡委員、よろしくをお願いします。

【松岡委員】 目標設定あたりからのコメントをちょっとさせていただきたいと存じますが、先ほどのご説明で 22 年の想定で 3 万回というような回数で、一方で、私どもでステーション自立化しますねというような姿で描いておりますのが、だいたい 27 年あたりで、900 台の車が来てというような状態で、充填回数としては 2 万 6250 回なんですけどだいたい 3 万回弱というような数字になります。それでいくと例えば 2 年間メンテフリーと勝手に考えると、その倍になっちゃいますし、水素ステーションの能力は 300Mn3/h で規模は本当に小さいものですので、もうちょっと大きなところで考えると、またその何倍とかになっちゃうんですけど、一方で、実力値というのもありまして、高压の低温水素ってやっぱりハードルはすごく高いので、現状の実力、目的と目標設定っていうのも重要なの

で、私は、3万回は妥当だと思っております。先にはそういう数字があるというご理解を賜ればというのが一点ございます。

あとコスト的な面から見て、それこそ目標値でまた年間1500万とか、2千何百万という設定ありますけど、ステーションってこのシール材が使われる機器いっぱいありまして、それこそ現状の実力値で交換、例えば充填カプラーを交換していきますと、その一品だけで、1000万ぐらいすぐいっちゃうようなものになりますんで、かけるステーションの中にはそんなのゴロゴロありますんで、それだけで何千万というような世界になってしまいますんで、このシール材の長寿命化というのは非常に重要な研究だと思っておりますんで、ハードルの高い中でございますけど、頑張ってくださいたいと存じます。以上です。

【実施者 西村氏】 コメントありがとうございます。始めたころ、3万回、3万回なんて本当に来るんですかっていうことを言われた時期もあったんですが、とにかく3万回設定をしてやっていこうということです。いずれにしましても評価方法ですね、3万回の評価があと1年かかるとか2年かかるというのでは、これはあの開発に使えませんので、なんとか短期間でその評価できる方法をまずはここで確立するということがすごい重要だと思っていて、その結果・過程で出てくるそういういろいろなトラブル事象ですね、そういったものを、盛り込んで長寿命化して繋げていただいているというのが今の状況でございます。何とかご期待に添えますように、やっていきたいというふうに思っています。それからもう一つ大容量の方ですけども、100キロ積まなければいけないとかですね、そういった状況になるとですね、その加減圧の回数で今これ整理をしておりますけども、そこに流通する水素量が増えたときにどうなるのかっていう視点を設けなければいけないというふうに考えておまして、この影響を本当に流通させるとわからないのかどうかっていうちょっと調査をしながら、その大容量化あるいは大流用化に備えていきたいというふうに思っているところでございます。ありがとうございます。

【横本 PM】 午前中の議論で先生方から何が大変なのかということで私はシールとホースでと言い切ってしましまして、まずは先生言われる通り、その通りだと思いますので我々もちょっと頑張っていきたいと思っております。ありがとうございます。

【飯山分科会長】 はい。ぜひよろしくお願ひしたいと思ひます。他にござひますでしょうか？

はい原田委員よろしくお願ひします。

【原田委員】 的外れな質問だったら恐縮なんですけれども、いくつかのサブテーマの中で山梨のステーションで実際に装着してやられたというあのケースと、あといろんな解析の上限を設定しながら、研究して得られたものっていう、残りのものはそうだと思うんですけども、やっぱり実機で、おっしゃったような2年の耐久性で、2年かけたら何やってるかっていうようなお話あったんですけど、どのあたりがギャップとしての可能性として考えておけばよろしいんでしょうか？それともこれも全て再現されているっていう

理解でよろしいのでしょうか？

【実施者 西村氏】 そうですね、加速評価法というと普通その実機を使って、例えばその温度を変えるとか、あるいはその応力ですね、この場合はたぶん圧力なのかもしれませんが、そういったものを所定の方のより高くするとか、そういうことで同じ故障モードで早く壊れるということが起こってくれるといいんですが、なかなか今そういった状況を作って評価するということが困難だということと、それから、そのモデルの評価セルを作ってそれでやったとしても同様なことが起こりますので、実際に起こってることが何かということ調べて、それをラボで模擬して、加速的に千回まではこういう変化、1万回でこういう変化とわかったら3万回だとそれがもうちょっと表面がなくなるよねとかですね、あるいは径が大きくなるよねっていうことが示せたのではないかというふうに思っています。それを我々としては模擬劣化、まあ強制模擬劣化シールデバイスというふうに考えまして、それを当デバイス組み込んで、シール性が担保されていくことで評価をしていこうということになってます。ですからこの継承をあと2年間かけてやらせていただけますとすると、この継承が進みましたら、例えばそれを10万回にしたいというあれば10万回相当っていうのが、本当に妥当なところに行くのかどうかということで、評価法として使えるようになる、あるいはそれを使えるようにしなきゃいけないというふうに思っています。

【原田委員】 そうすると例えば実際に装着したものと、今回のモデルの中で考慮してない何か要素みたいなものはないっていうふうに考えればよろしいのでしょうか？例えばすいません、これが影響するかわかりませんが、外気温とかの変化とか。そういうものは全く関係ありませんってことなのかもしれませんが。

【実施者 西村氏】 外気温の変化はですね、外気温の変化というところとちょっとあれなんですけど、ヒートサイクルがほとんど影響なかったということですね。もう一つですね、このシール性評価っていうのは、これは温度可変でできますので、例えば低い温度でシール性を担保しているのか、高い温度でしているのかっていうことも含めて検証しておりますので、多分そういったところはデータとして知見が得られるというふうに思ってます。

それから考慮しない点としては、すごく単純化して、目に見えて起こる変化をとりあえず5種類に、それだけでも相当大変なんですけど、それをやってるわけですけども、これデバイス全体が振動してる時に何が起こってるかとかですね、いろんなことを考慮しなきゃいけないことは、今後、実機と合わないところは当然出てくるかと思しますので、そういったところで何が要因だったかということ整理していかなくちゃいけないなというふうに思ってますし、個別の因子についての相乗効果ですね。重ね合わせる、要するにグリースがある中で動かしたらどうなるかとかですね、そういったところまで広げていくとかなり大変な試験数になりますが、まず必要に応じてそれやってかなければいけないというふうに思ってるところでございます。

【原田委員】 どうもありがとうございました。

【飯山分科会長】 丸田委員、よろしくお願いします。

【丸田委員】 はい。ご説明ありがとうございました。やられてることは全くもうその通りで、これはもう素晴らしいことだと思っております。またこの展開という点で説明がありましたけど、例えばホースなんかアメリカの方で実際に持ち込んで、日本でできないことを実機でやられてるということをして、多分そういうようなことをアメリカとの連携の中にはありうるのかなと思いつつ、また我々よりも多分先行するであろう大容量のところもあるのではないかと、思っていますので、そういう出口は、お考えであろうかなということで、それが質問の一つ。

もう一つ、やはりテストプロトコルに、いま原田委員の方からもありましたけど、やはりテストプロトコルみたいなものの標準化はやっぱり我々の知財といいますか、技術覇権を得るうえで重要ですので、これから多分コンビナーの役目になるのかなとは思っていますので、その辺もぜひお願いしたいと思っています。

【実施者 西村氏】 まずホースの事業を担当させていただいておりますので、ホースを米国のステーションに持ち込んで、実際に米国だと折れて使えなくなるまで使っていただけますんで、どういう死に際なのかっていうのを見るということができています。実際の耐久回数等も得られている状況になっているわけですが、シールにつきましても、全てということはありませんが、ここに参加されています OEM メーカーさんが、やはり米国のステーションで汎用的な O リングを使っていると、2 ヶ月に 1 回ぐらいメンテナンス事象が発生します。2 ヶ月に 1 回メンテナンスしての方が 1 年半ぐらい使えたというような実績もあります。メンテナンスで部品を回収させていただいて、かなりボロボロになるまで使ってるんだなということがよくわかったのですが、そういったものも参考にしながらやっておりますので、この事業としてはやはり国内の産業ということで注力しなければならないとは当然思うんですが、外国特に米国のステーション等で活用も、我々の実力を見る意味でも、必要になってくるかと思っておりますので、それを考えているところでございます。

それから、特に大容量になりますと、多分米国の方が先行して設置されてくることになると思っていますので、そういったところにも対応していく必要があるというふうに思っております。どういったところにするかについては、ちょっと検討が必要ですが、必要なことだろうというふうには思っています。これからの液水になりますと、これは本当に樹脂・ゴムの世界なのかどうかというのはちょっとまだわからないところがありますし、使うとしてもかなりですね、液体水素が流れているところから、軸を長くしシールのところでは温度がかからないとか、何かそういう工夫をどうもしているようですので、そういったことを踏まえながら、どこまで本当にゴムや樹脂をそこに使わなきゃいけないのか、そういったところからちょっと検討を進める必要があるのかなというふうに思っています。お答えになっているかどうかわかりませんが、以上でございます。

【飯山分科会長】 丸田委員、よろしいでしょうか？はい。他に何かございますでしょうか？

か？

桜井委員、よろしくお願いします。

【桜井委員】 今のところの話にちょっと関連している午前中のところですが、横本 PM の方から説明があった部分で、午前中のところの資料の 42 と 43、この 42 ページのところは今、西村先生がおっしゃったところの事業になると思うんですけど、その下のところにホースの話が出てると思うんですけど、要するにこのホース単体っていうか、よくあの後ホースの部分とあとアッセンブリーって言ったところですね。ホースアッセンブリーですか。これを考えたときにこの二つの事業が要するに関連し合っている。この部分について、要するにホースアッセンブリーの技術課題も解決してくために、このところで補完し合ってるっていうふうに考えてよろしいでしょうか？

【実施者 西村氏】 今のホースアッセンブリーというところの中に、ご趣旨のホースの継手といいますか、フィッティングの部分があり、そこについて、継手の開発等で得られた成果と連携できる部分についてはもちろんしていくということになるんですが、ホースを製造しているメーカーさんからしますと、アッセンブリーから一回出すわけですけども、それでフィッティングがついた形で許されるということになるわけで、それはあくまでも納入先で、どういうディスペンサーを使って、どういう継手が使われるのかで決まってくる状況になりますので、今実機を作られるメーカーさん、あるいは継手を作られるメーカーさん、あるいはホースメーカーさんが連携して行って、より耐久性が高いといいますか、ゆるみが少ないといいますか、漏洩事象につながらないものを連携しながら考えていくということになるかと思えます。

【桜井委員】 どうもありがとうございます。ホースメーカーさんが入られてないんで、非常に気になっているんですけど、そういう意味で入られていないけれども、NEDO さんのマネジメントの中で共同して進んでるっていうふうに理解してよろしいんでしょうか。

【実施者 西村氏】 ホース事業の話ですが、なぜ入っていないかという、それぞれのメーカーさんがもうすでにビジネスとして製品として売られています。同じものを標準化して作ろうというムーブメントがおこれば、その可能性はあるのかもしれませんが、やはりそれぞれの社で特徴ある製品を作ることになってます。そういうところで、ホース事業の方も、加速耐久性評価法ということで進めさせていただいているんですが、その加速耐久性評価をする、加速耐久性評価法を議論する場として日本ゴム工業会、業界団体があります。そこで ISO-TC45 の MMC をやっています、要するにホースだとかですね、そういった製品の企画なんかを担当してる組織です。そこの中の会員としてホースメーカーさんがいらっしゃいますので、そのホースメーカーさんにその会合には参加していただくということと、それから個別のホースの評価はしないと加速耐久性評価はできませんので、ホースの提供ということをお願いして、それでその結果についてはフィードバックしながらそれぞれの開発をサポートできる部分をサポートするというところで進めているところでございます。

【桜井委員】 どうもありがとうございます。見えない部分でしたので、はい大変参考になりました。ありがとうございます。

【実施者 西村氏】 どうもありがとうございます。

【推進部 横本氏】 よろしいでしょうか。私が資料5でお話した後の方に、シールの中間評価という形で2-3の②って付けており、これには日本ゴム工業会で、これは我々のプラットフォームという形で、さっき西村先生がおっしゃったように、企業は技術開発、独自の技術化されますので、そのバックアップをこの事業でやりながら、ホースのISO化という形でも一緒に取り組んでるという考え方でございます。

【実施者 西村氏】 ちなみにホースのISO化は昨年11月に発行して、その中にこの事業を通じて開発されました評価法っていうのは、前の事業にベースがありますけども、それが採用されて書かれている状況になってます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他にございますか。

それでは私の方から。OリングについてのISO化ということに進むということでしたけれども、その体制っていうんでしょうかね、そういう活動をサポートする体制について、この事業でおやりになれるか、それとも例えばゴム協会さんとか、何かそういった業界さんがサポートするのか、どういった体制でNEDO事業のそういう成果をISO化されていくんでしょうか？

【実施者 西村氏】 水素ステーション用のOリングということになりますので、TCでいいますと19番ですね。水素技術の中でありまして、番号も決まっております。水素ステーションの19880ファミリーの中でありまして、19880-7というところまで決まっています。コンビナーは私がやるというところまで決まっています、今国内の体制を作っているんですが、基本的にはISOTC197-MMCがHySUTになりますので、HySUTが事務局を担当されて、その中に国内の審議委員会を作るという形で進めているところでございます。

【飯山分科会長】 わかりました。ぜひ、コンビナーとしてよろしくお願ひしたいと思ひます。

【実施者 西村氏】 ありがとうございます。

【飯山分科会長】 他に何かございますでしょうか？では産総研 緒方先生、お願ひします。

【緒方分科会長代理】 どうもご説明ありがとうございます。ちょっと教えていただきたいんですけど、シール材の開発は継手漏洩防止には非常に重要ですので、今後もよろしくお願ひしたいと思ひます。それで先ほどのご説明ですと初期に漏洩が多いという話をお伺ひしたんですけど、これ初期漏洩というのはなかなか防止が難しいと思ひますけれども、何かこれを防ぐ方法というのはあるんでしょうか？

【実施者 西村氏】 本当に初期不良だと数回で例えば組み付けが悪かったりすると、たぶん本当に初期にいくだろうとか、そういう分類で50回の仕切りでそういう解析を、いまHySUTの方でやられているというふうに認識をしていて、そういうところを調査した上で、どういう対応が必要かと考える必要があるというふうに思っています。

【横本 PM】 HySUT 池田さん、そのデータベースの方、もしよろしければ、ご発言あればお願いいたします。

【実施者 池田氏】 HySUT 池田です。先ほどのご説明にありました通り、今回の検討に使っているデータベースはですね、2017年度までのデータを使っております。それをもとに解析した結果ですので、関係者の要望を受けまして、2018年度以降も、この事業でハンドリングできるように今の事業者と交渉中でございます。間もなくデータを活用できるようになりますので、今後、もう少し細かいデータ等も集めて、今のニーズに対応していきたいというふうに考えております。以上です。

【飯山分科会長】 どうもありがとうございます。今後よろしくをお願いいたします。

【飯山分科会長】 他に何かございますでしょうか？はい、大阪大の尾方先生。

【尾方委員】 はい。すいません。簡単な質問です。加速試験というのは一つのキーだと思わうんですけども、根本的なメカニズムがなかなか明確になってないところで加速試験というのはなかなかその知見自体が本当に実機での劣化を模擬するのかどうかというのが非常に慎重にやらないといけない部分かと思うんですけども、その辺り何かこれからやるべきことというのはございますでしょうか？

【実施者 西村氏】 全くおっしゃる通りでございまして、そういうこともございます。Oリングで言いますと、実際に一番初期に発生する界面漏れがあります。ゴム材料とそれからハウジング材料との界面のシール性が担保されないから漏れると、そういうところが重要なキーになると思っています。ですからそこを、基本的にはシールすべきはすべきなんです。87.5MPa という、それ以上の面圧が発生しなきゃいけないというセルフシール機構になってますので、その面圧の変化が、例えば劣化や疲労とか、そういったことが起こっていくことによって、その面圧低下が起こって、結果的に界面漏れしているということを実証していこうということで、その面圧を測りながら、圧をかけるそのデバイス、Oリングを、例えば強制劣化品でやった場合どうなのかとか、そういったことを実証した上で、最終的には何かシミュレーションできるよう、世界を作っていきたいと思っています。それを実機での結果との比較をしていくということで検証していこうというふうに考えてございます。

【尾方委員】 ありがとうございます。よくわかりました。

【飯山分科会長】 はい、ありがとうございます。他にございますでしょうか？よろしいでしょうか？それでは西村先生、どうもありがとうございました。これで終わりたいと思います。どうもありがとうございました。

【実施者 西村氏】 どうもありがとうございます。ありがとうございました。

7. 全体を通しての質疑（公開セッション）

- ・全体を通して、以下の質疑応答が行われた。

【飯山分科会長】 今日、午前午後、すべてを通じて何かございましたらお願いいたします。では私からよろしいでしょうか。無人運転、二宮さんかな、要は期中に発生したテーマがあって、それに対して対応されましたというご説明が、確かどこかであったと思うんですけども、この期中に発生したテーマにご対応いただいたというのは大変素晴らしいというふうに思いまして、その経緯というんですか、最初の設定にはなくて、どういう要望が出てきて、それに対して NEDO さんと一緒に対応されたのかというところを、ちょっと簡潔にご紹介いただければと思いました。

【実施者 二宮氏】 わかりました。当初から規制改革実施計画のうち、研究開発を伴うようなものという受け皿的な設定はあったところに、事業者様の方でこういう、これは保安監督者の兼任に関する部分ですが、こういうことをやりたいという強い要望があり、そういうことへの、これはリスクアセスメントを伴うものですので、JPEC の中でやるのがよろしかろうということで、経済産業省のこういう水素事業の推進部隊である FC 室と NEDO で JPEC のほうでいかがかということで、我々の方でもマンパワーの調達等もそのタイミングでできましたので、そういったところからの意見合意の上で、2019 年下期から受け皿のテーマのところ個別の名前を付けたテーマを組み入れまして、着手することになったということでございます。

【横本 PM】 横本からも少し。今回の保安監督者の複数兼任ということでございますけれども、もともと経済産業省もしくは規制改革会議の中で、リスクアセスメント、設備のことも含めてきちんとやるべきだというご意見がありました。JPEC では、既にリスクアセスメント再実施するというので、70MPa ステーションでの実績もありますので、その一部も使えるだろうということで、リスクアセスメントを踏まえた保安監督者複数のステーションの兼任ということでさせていただきました。で、私共としましては受け皿として、テーマとして、規制改革会議で挙げたものについては、すぐ受け取れるような実施計画、実施方針にはしておりますので、そういう形で速やかに JPEC にて対応いただけたということでございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。そういう期中に、期初には想定されてなかったようなものが出てきた時に、迅速に対応していただいたというのは、大変良い事例なのかなと思われましたので、今後もそういうものももし出てきた場合は、ぜひ速やかにご対応していただければなと思った次第です。ありがとうございます。

【横本 PM】 実はもうすでに出ておまして、今日、二宮部長の方からご紹介ありましたが、まさにこの 11 月、12 月でスタートしますけれども、水素ステーションの圧力上限の引き上げも、後から出てきたものでございますし、もう 1 件、水素ステーションをマザーステーションとして、出荷基地にしようという方向もございます。運営をより速やかにするために。それもございまして、それもリスクアセスメントが伴うものでございます。これもまさに 12 月から JPEC さんに追加としてお願いをしているところでござい

す。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。そういう取り組みの状況がありまして非常に心強く思います。

【原田委員】 今回のご発表の中になかったんですけども、水素ポンプのセルスタックの事業のところで、コロナの影響で機材が届かなかったみたいな記載があったんですけども、全体を通して、何かこれまでコロナの状況で影響が出た分野、また今後長引くことを想定した場合に影響が出そうな分野というのはございますでしょうか。

【横本 PM】 現状、コロナ禍の影響ということで、大きくトラブルが起こってずれるものは今のところないと考えています。ただ、加地テック、東レに実施いただきました PEM ポンプにつきましては、向こうからのスーパーバイザーとかなかなか日本に入れないところがございまして、現状最終目標は5N m³の82MPaですけども、現状1N m³で82 MPaでなんとか動かして、目途を立てていこうという方針で動いております。ですから、加地テック、東レにやっていただくものについては、目標数値は少し下がりますけれども、目途は立つのではないかなと考えております。加地テック中谷課長コメントあればお願いいたします。

【実施者 中谷氏】 今、横本さんが仰る通りで、コロナの影響はスタックを使つての開発というところであったんですが、目標を見直して対応という方向性です。

【横本 PM】 ありがとうございます。以上でございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他にございますか。

では私から一つよろしいでしょうか。特許の出願についてなんですけれども、やっぱり標準化とか、広く使っていただくために出願をされないという方々と、もう一方、海外で知財化された場合に制限を受けるのが怖いから、防衛的に出願をするという両方のお立場の報告というのが 中にあるんですけども、今回出願をされないという方々の、いわゆる講評される成果は、ある意味、知財の専門家から見て、特許性のある内容は確かにないというようなことのご確認というのは、どうされてたのかなというところなんですけれども。

【横本 PM】 知財のマネジメントについては、私の方から午前中に報告した通りでございまして、やっぱり委託研究の部分については、出たものは事業者にお持ちいただけるということになっておりますので、そこは大変申し訳ないのですが事業者の判断で、これは特許化した方がいいだろうというものは、どんどんしていただければと思っています。かつ JPEC 等々にやっていただいております広く外に出さなくてはいけないものについては、JPEC は一部海外特許にされるのは嫌だから、防衛特許するという、それお考え方でありまして。そこについてはご相談を受けておりますけれども、私共でこれは特許にしないとかダメですよとかなかなか言えないので、事業者にお任せしてる段階でございます。で、特許化というのはすればいいというものではなくて、ご存じのように、それをしたら結局さらけ出さなきゃいけないので、そのへんがちょっと特許の難しいところかなと、私は考

えております。それは事業者にお伝えしておりますので、したければどんどん出してください、ただ出ると晒されますよというのは事業者の判断にしております。

【飯山分科会長】 わかりました。それはやはり実施社の方のご判断ということが基本にあるということですね。

【横本 PM】 そこはもう仕方ないというか、我々としてなかなか言いづらい部分ではあります。だから特許の数で評価をされるというのは、我々としては、基礎研究の場合、非常に難しい部分じゃないかなと考えております。

【飯山分科会長】 わかりました。ありがとうございます。他に委員の皆様からありますでしょうか。では大阪大の尾方さん。

【尾方委員】 今のことに少し関係するかもしれませんが、成果の普及のところ、論文とか研究発表がリストになっているんですけれども、今回のこのようなプロジェクトの場合、この指標というのが妥当かどうかというのが、ちょっと私も疑問なんですけれども、そのあたり何か、つまりこれを出しますと数がどうしても少なくなると思うんです。このような実践的なテーマの場合ですね。で、もっと別の評価軸はないのかなというふうに思ったんですけど。すみません、変な質問で恐縮ですが。

【横本 PM】 私の方からの回答だと思うんですけれども。もちろん、成果の公表という形で口外できるものは極力公開をして、ただ知財委員会等を通して大丈夫だよねということとさせていただいております。それは成果をいかに広く使っていただくか、国のお金を使っておりますので、きちんと皆さんにお伝えすることが義務だと思っています。そこについては、やっていきたいと思っています。ですから、今日の資料につきましても、再度公開する前に私の資料も含めて、各皆さんが作り出した資料については、再度確認をした上で外に出すということをやりたいと思っております。

【尾方委員】 先ほど言わせていただいたのは、論文とかの数で普及の度合いというのを測るとというのが、数を出しますとやはり少ないなというふうになってしまうんですけれども、実際プロジェクトは順調に進んでいて、という一方でそういうふうに思いますので、何か表を出すと数値が00とかになってしまうんですけど、そういうのをやっぱり出さなければならぬんでしょうか、これは。

【横本 PM】 非常に苦しいところでございます。今回は実装ということなのでやっぱり企業を中心というお話を、朝させていただきました。もちろん基礎研究は大学を中心ということで、論文等々作っていただくのは、それは公知の事実にするということとと思っています。数につきましてはたぶん評価部のほうから回答があると思います。

【事務局】 事務局の方からご説明させていただきます。こちらの数を提示するというのは、すべからくすべてのプロジェクトで掲載するようにとフォーマットがなっております。もちろん先生方のご意見にありますように、数がすべてではないということであれば、すべてでないのということ、問題ないということでご評価をしていただければ結構かと思っております。よろしく願いいたします。

【丸田委員】 それにちょっと触発されたようなコメントになってしまいますけれども、今朝ほどPMの方が言われましたように、本プロジェクトにおける実用化の考え、朝の資料でいうと60ページくらいですが、基本的にこれを言いますと、本当に世の中の、それがお客さんに届くことと、それによって何らかのドキュメントが出てISOになるということなわけですが、究極はやっぱり技術が世の中に出ていき、さらにできればこれはもう海外に出ていく、技術が世の中に出ていくということが日本のためにもなることではないかなと思います。

なので、実用化の考えが、これNEDOさん全体の考えなのか、それともこの部分の考えなのかですけれども、実用化の考えはやっぱり広く取って、やっぱり技術を世に出す、できれば世界に出していくということまで踏み込んで考えていただければ。特許の数とかではないだろうという気は、今いたしました。

そういうことを言いますと、やはり海外との連携ですね。最後のゴムの部分とかホースの部分で、外国と連携してるというのは、確かに素晴らしいことで、日本の技術が世に出るというのは素晴らしいことだと思いますが、世を見ればまだまだちょっと広いフィールドはありそうだな、まだまだ日本の現行でも中国とは言いませんし、またこれから水素が伸びていくようなアジアの国というようなところも、我々技術で協力していく芽はいろいろあるはずだと。そういう仲立ちの部分でNEDOさんがこれからも引き続きやられるのか、そういうような広い視点でも、国際戦略という視点でも、一回見ていただければと思います。日本はそういう意味では、閣僚会議含めて世界をリードしているんですが、それ全体が一つ、最終的にはこういう技術の輸出とか、製品プロダクトがアウトすることに貢献してるように、何かうまく流れているようなまい仕組みを構築いただければというのが思います。大変なことだと理解しておりますが。

【横本PM】 ありがとうございます。今、ご指摘、ご支援、お尻を叩かれたものにつきましては、NEDO そのものの在り方についてもなってます。国内産業育成、もしくは強化ということになりますので、そこにつきましては、引き続ききちんとやっていきたいと思えます。で、言われたように、例えばたまたま0リングとホースにつきましては九州大の西村先生を中心に海外との手が伸びておりますし、金属材料につきましても九州大の松永先生、JPEC小林さんも含めて海外とのやり取りも進んでおります。あとNEDOとしては、米国DOE、ドイツNOW、欧州のFCHJU等々との繋がりで、少しずつ触手は伸ばしていく方向で動いておりますので、引き続き、今これをやった方がいいんじゃないかということに関しては、きちんとやっていきたいと考えています。ありがとうございます。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。他にございますでしょうか。それではよろしいでしょうか。

【事務局 塩入主査】 すみません、本事業ですが、実用化の定義のところでご説明させていただいたと思いますが、事業化までは見据えていないプロジェクトです。あくまでも実用化までを見据えたプロジェクトでございます。知財の数字を資料に記載していただい

ていますけれども、繰り返しになります、NEDO の一つの指標として提示するようにということで資料のフォーマットに入れているものでして、それに対して数字が小さいから悪い、多いから良いということではなく、良し悪しは、先生方の考え方のもとでご評価いただければというところでございます。

【事務局 森嶋部長】 事務局の立場なので、少し難しい回答になってしまいますが、事業化までは範囲ではないと申し上げたものの、今、実施者様、そして推進部様の事業の進捗を見ていますと、その先、事業化、実用化も見据えた形での取り組みが十分に図られているというところでございます。つまり様式の範囲では基礎研究、基盤研究となっているものの、その先まで見据えたというところになっています。少し複雑なんですけど、そこも適正なご判断をしていただければと思っております。どうぞよろしく願いいたします。

【飯山分科会長】 ありがとうございます。そのような意味で評価委員の方も御認識いただければというふうに思います。それでは議題7を終了いたしまして、最後、議題8の講評に移らせていただきます。

8. まとめ・講評（公開セッション）

【飯山分科会長】 これまとめということで各委員からご講評をいただきたいと思います。順番としては、丸田委員から始めまして、松岡委員、原田委員という順番でご講評をいただいて、最後が私ということにしたいと思いますので、よろしく願いします。それでは丸田委員の方からよろしく願いいたします。

【丸田委員】 最後に今全部言ってしまったような気がしないでもないですが、まずは本当にありがとうございます。本当に進捗していることが分かりまして、この機会を与えていただきありがとうございます。

それで、やはり今後のことも考えると、大型化とか液体水素というのがやはり出てくるなという感じはもちろん受けておりますので、そういうものを、出口を今の事業の最後からまた次の事業を構築する時も置いていただいて、世界に先立った理論とかを、プロジェクトの進め方をしていただければと思います。

それから、ゴムもそうですし、Oリング、金属もそうでしたけど、やはりデータが日本はしっかりしてるなど。これで国際貢献をしているんだということが非常によく分かりましたし、この部分で日本の安全は担保されているんだなというところ。ですのでこれが、なかなか日本のプロジェクトは世界的に見えないところといいますか、地味な感じは受けるんですけど、やはりその部分はちゃんとやっているんだというところを、データベースなのか、あるいはもっと別の形なのか、日本はこれだけ水素社会に貢献しているんだというのを、プロジェクトの数とか欧州のごとく聞こえのいい略語みたいなのはないわけなんですけど、地道にやっているんだという発信の方法を、やはり一つ考えていただければ、さらにいいんじゃないかなと思います。

【松岡委員】 今日是一日ありがとうございました。私としては、目標設定の妥当性とかです、成果自体ということに関心を持って聞かせていただきました。

今日ご報告のありました3つのテーマというのは本当に大変でして、1、2、3番にしましても、事業者の要望に沿ったような形でスケジュール管理しながら、成果を表すということで、大変な事業かと思えます。

一方で、成果があったというんだけど、じゃあ建設コストだったり運営費がどう下がったのと言われて、その打ち返しというのが業界全体としてなかなかうまくできてないというようなところがあるかと思えます。そこのところは実施者の方にやっていただくのは所詮無理な範囲。まあできることはやっていただけるんですけど、やはり NEDO がゴリ押しされるんだか、それとも要望を出している側がまとめるんだかということで、少し見える化して、世に出していくということが必要なかと思っております。私の所感としては以上です。

【原田委員】 本日は大変勉強になりました。ありがとうございました。非常に水素をめぐる環境というのは一変しておりますので、このような研究開発事業の重要性、戦略性というのは、始められた時よりもさらに高まっていると感じております。

今回ご説明いただいたもの、それから報告書等々拝見いたしまして、各事業については概ね順調に進んでいるという印象を受けております。ただ、ちょっと午前中にも申させていただきましたけれども、今年度、水素戦略の見直しが予定されておりますし、場合によってはロードマップの方にも改訂が及ぶ可能性が高いと思っております。本事業につきまして、当然、着実に今後も進めていくと。計画通りということが原則ではあるとは思いますが、やはりロードマップは改訂して、さらに高いゴールが設定されると、やはりそれに対しても何らかの対応をしていくという臨機応変さは必要なかなというふうに思っております。

あと、先ほど松岡委員のコメントにもございましたけれども、この一つ一つの要素の研究が、達成度 100%ですとなっても、じゃあそれをまとめたところでステーションって本当に、たとえば 1.5 億円とか 2 億円とかターゲットがありますけど、そうなるんですかと言われた時に、そこばかりコーディネートするのは NEDO さんのお力でしょうし、また関係各団体だったり、関係省庁だったり、規制の緩和なんかも含めて、総合的にエコシステムとしてやっていかないと、これからの実際の意味で生きていくということではないと思っておりますので、まあ言うのは易い、やるのは本当に大変だと思いますけれども、引き続きよろしく願いいたします。

【桜井委員】 本日はいろいろと勉強させていただきました。ありがとうございます。今日午前中のところで本事業、資料 5 のところですか、事業の概要というところで示してもらったんですけど、この事業って要するに、低コスト化、コストの低減にすべてが通じる方向を向いているといったところで、ある意味難しい面もあると思うんですが、ある意味分かりやすいといったところを向いていると思えます。

低コストというのは新エネルギーとかを導入していく時に、非常に大事なファクターになってくると思います。そういう意味で 2050 年目標に対して、で 2030 年のところ、何していくかといったところについて、この社会実装といったところを考えると、非常に重要な事業というふうに思っております。

途中ちょっと質問させていただいたんですけど、NEDO 事業を表から見ると見えない部分、要するに事業になっていない部分でも、相当マネジメントを苦勞なさって、また努力なさっていると。さっき一つだけホースの例がありましたけど、非常にきめ細かく全体を見ながらやったださっているといったところが分かって非常に良かったなと思っております。

そういう意味ではやはりホースも非常に高いもので、一回当たりのコストというのが、今のステーションをやってる人から見ると、非常に事業の律速になるんじゃないかなと。苦勞する部分だと思うんですけど、そういうところに焦点を当ててコストダウンして下さっているというところで、非常に力強く思いました。2020 年後半、水素ステーション自立化というところで目標を定めているといったところですけども、ぜひともコストの律速をつぶすというところで、ぜひとも目標の価格ですね、ステーションが自立化できても燃料費が上がってしまったら、車を買った人が「なんだ？」という話になってしまいますので、そうならないように、ぜひこの大事なプロジェクトを進めていっていただきたいなと思っております。本日はありがとうございました。

【尾方委員】 本日は大変にありがとうございました。私は何回も申し上げておりますが、基礎的な研究をずっと続けている中で、このように実用に向けての取り組みをお伺いして、勉強になったとともに感動しているところでございます。

本当にこのコストダウンという一つ大きな目標だということで、それに向けて着実にさまざまなテーマで進展が見られて、中間としては申し分のない進展度になっているのではないかという感想を持ってございます。

こういう水素の技術の社会実装という面からしますと、一番大事なのは安全性ということだと思いますが、それに加えてやはり早く開発しないといけないという、二つの相反するトレードオフのファクターを抱えながら、このように実装に向けた進展をされているということで、本当にそれはこのトレードオフの関係を非常に高い次元で満たしながら進めておられるということで、この事業に関与している皆様方に、本当に改めて敬意を表する次第でございます。

昨今、世界をリードする技術ってなかなか日本にないんですけども、本当にこの水素、インフラ技術というので日本が世界をリードする、そういう形をぜひとも今後の研究開発でもたらしていただきたいというのが、私の希望でございます。

基礎研究をしている立場から最後に一つだけ申し上げますと、数年後の技術としては、今のこの進め方で世界をリードするという形にもっていったらというふうに思いますが、5 年後、10 年後、20 年後を見据えますと、やはり基礎研究からのブレイクスルーという

のも、いずれ必要になってくると思いますので、このプロジェクトのその後かもしれないかもしれませんが、また再び、本当に基礎研究も含めた形のそういった事業を、ぜひ考えていただけたらと思います。以上でございます。

【緒方分科会長代理】 本日はいろいろご説明ありがとうございました。非常に勉強になりました。本事業の性質上、論文とか特許が少ないのは仕方がないと思いますけど、ただ特許につきましてはどうしても技術情報の流出もありますので、海外についてはいろいろ気をつけていただければと思います。

あと、事業につきましては、それぞれ数値目標を定められておまして、それを着実に実施しておられますので、十分進展があったものだと思います。

あと、将来、水素の供給というのも問題になってくると思いますし、特にCO₂フリーの水素を作るというのも一つの課題ですし、たぶん海外も含めてそのへんは連携していただいて、事業を進めていただければと思います。

あと安全性の評価というのも当然重要だと思っているんですけど、先ほどあったようにホースについても米国ですと、漏れるまで使えるとか、国内ではちょっと考えられないような評価もありますので、ぜひ安全性評価については当然必要なんですけど、過剰になってしまいますと、どうしてもコストもかかってきて、この事業で実用化できても、その後、事業化というのができなくなると社会実装というのができなくなりますので、そのへんも含めて、社会で十分に普及するような事業として成り立てばいいと思いますので、ぜひよろしくお願ひしたいと思います。以上です。

【飯山分科会長】 今日皆様お疲れ様でした。ありがとうございます。私から3点コメントさせていただきたいと思います。

まず1番目ですけれども、本日のご説明されたものは、すべてコスト低減というようなものについては、非常に多くの進展があったと思います。水素ステーションの無人運転化とか、鋼材の拡大とかいったものについては、非常にいい成果が早く出たなというように思います。鋼材の拡大についても、その絞りというものから伸びという安全に関わる根本的な指標を変えたというところは、それをきちっとやられたということについては、敬意を表したいと思います。

あと、今回のご発表にはなかったんですけど、たとえば資料の中にありましたような、たとえばタンクの開放検査とか、現在10日間もステーションを止めなければいけないというようなことが回避できるようなAE法とか、そういった取り組みもされておられますので、ぜひ稼働しながら、そういう安全上必要な点検というんでしょうか、検査ができるような技術というものの開発も、ぜひ継続的にしっかりと進めていただければなと思います。

2番目は、これだけのデータ、成果が出てきておりますので、そういったデータをやはり活用していくということも、きちっとやっていただければなというふうに感じました。特にISOとか、いろいろなものに今回のデータベースとかですね、いろんなものを活用

していく、ISOの前に、まず国内の方々に活用していただくのが先かもしれませんけれども、そういう国の、日本と海外とのギャップがあるところもあると思います。使用制限とかですね。そういうもののギャップをなくしていくというのも、結局は、日本の企業さん、産業界にとっても非常に活動しやすくなる。で、全体的には市場が拡大するという方向にいくと思いますので、ぜひ国際連携のために、データベースを有効活用するような努力というものを、しっかりお願いできればと思いました。

あと最後ですけれども、やはりいろんな、原田委員からもありましたように、今後、内外の状況がますます大きく変化するというような、この5年間とか残り3年の中にもどうしても必ず来るというふうに考えられます。もちろん横本さんのおっしゃるように、今やっている事業が必要だということで、進めていただくということが基本なんですけれども、先ほどありました期中においても、新しいテーマを追加したりするという柔軟なマネジメントを今までもやられておりますので、ぜひへ Heavy Duty か鉄道とか船舶とか、あるいはその他いろいろなものが出るかと思うんですけど、それについての対応も、やはり超高压水素のインフラという観点から、必要なものについては、ぜひ時間を置かずに、NEDOとして、業界とご相談いただきながらお進めいただけるというようなことを、お願いしたいと思います。以上です。

【古川部長】 本日は終日、長時間、ご評価賜りましてありがとうございます。さまざまなご指摘をいただきまして、ありがとうございます。このプロジェクトでできることと、このプロジェクト以外でも、さまざま NEDO では水素関係の事業を実施しておりますので、そちらのプロジェクトに反映していくものも、ご意見として賜ったと思っております。貴重な意見、さまざまなプロジェクトに適切に反映させていきたいというふうに考えております。

あと、いくつかご指摘のありました、変化に対しての臨機応変な対応。これはその通りですので、このプロジェクトで既に実施しておりますし、他のプロジェクトでも、変化に対する対応のほうは着実に進めながら、追加公募等々、もしくは体制の組み換えも進めておりますので、きっちりとフォローしていきたいと考えております。特に、カーボンニュートラルに向けて2030年、ここへの布石というのが非常に今、大きくクローズアップされておりますので、その中から、進めているさまざまな事業に必ず大きな変化があると思っておりますので、適切に取り組んでまいりたいと思っております。

それから、過剰な設備といった話もありましたが、これこそ国民性的なところもあると思いますので、そこは日本の中で全部やるのではなく、そういった実験ができる場所とタグを組みながらやっていくということが、一番早いというふうに思っております。なので、国々の違いというのも認識しながら国際連携をうまくタグを組みながら、やっていきたいと思っております。特に、まだ水素をエネルギー技術の選択肢の一つとしていくためには、まだまだ長い時間がかかると思っております。そのためにも、今のところは国際協調しながら、水素の利用をさまざまな面へ広げていくということが、まずは

って重要だというふうに考えております。一方で、その中で将来の産業の芽をつぶさないという意味でも、相反することではありますが、両面ケアしながら、適切に進めてまいりたいと思っております。

本日は長い間、まことにありがとうございました。多面的なご指摘をいただきまして、適切に反映していくことをお約束して、本日の挨拶とさせていただきますと思います。

【飯山分科会長】 ありがとうございました。以上で議題8を終了いたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」（中間評価）プロジェクト評価分科会

質問票

参考資料1-42

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答	委員氏名
資料5 ・19ページ	研究開発項目IIの根拠が空欄ですが、中間目標の根拠と同じでよろしいでしょうか？	20ページの中間目標の根拠と同じです。 “水素ステーションの本格普及・自立化をするために、整備費・運営費の低減が必要になる。”	飯山分科 会長
資料5 ・38ページ 事業原簿成果詳細67ページ	1-(2)-③の中空疲労試験法をISOに提案済とありますが、規格原案を作成した『中空試験片高压水素中材料試験法規格化検討委員会』（タスクフォース）は、どのようなメンバーでしょうか？他の超高压水素インフラに関連するNEDO事業にも参画している、金属系材料研究開発センター、鉄鋼会社、大学（九大等）、高压ガス保安協会などのメンバーも含まれているのでしょうか？	本中空事業は、水素環境で使用できる鋼材拡大のための「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」と連携しながら進めさせて頂いており、そちらの事業から金属系材料研究開発センター、高压ガス保安協会、石油エネルギー技術センターより委員を務めて頂いております。 また、今後は日本高压力技術協会（HPI）規格にも提案する予定ですので、同協会からも委員会に参画して頂けないか打診する予定です。	飯山分科 会長
資料5 ・39ページ 資料2-(1) ・25, 26ページ	規格（標準ガイドライン）案を作成とあります。資料2-(1)の25, 26ページにはその後の取り組みが記載されています。2021年度から整備される水素ステーションは、この規格（標準ガイドライン）を活用	本規格（標準ガイドライン）案は、NEDO事業内においてインフラ事業者/JHyMで検討し共有しております。さらに業界団体であるFCCJに活動内容を報告し共有しております。	飯山分科 会長

	<p>した仕様として整備されるために、水素ステーション事業者とどのような合意、同意、そのための説明、など実施を確実にするための活動がされているのでしょうか？</p>		
<p>資料5 ・15, 16ページ 資料2-(2) -① ・2, 3, 17, 20ページ</p>	<p>水素ステーションの蓄圧器では2-3年に一度は蓄圧器を開放し、目視検査を実施しているとありますが、海外での検査はどのように行われているのでしょうか？また、なぜ開放検査をすると10日程度の休業が必要となるのでしょうか？本事業の成果はこの開放検査の代替を可能とすることからその意義は大変重要と思いますのが、資料等には明確には書かれていないようですので改めてご説明をお願いします。</p>	<p>【海外での蓄圧器検査】 海外における容器の具体的な点検方法（UT、MT および開放検査の実施状況）は知見がございません。一方で、海外の FIBA 社においては FIBA 製の容器に対して AE を用いた診断を実施しています。</p> <p>【開放検査における休業期間】 国内では、高圧ガス保安法により、開放検査が定期自主検査項目として義務づけられています。至近の規制緩和にて、開放検査の周期は緩和されていますが、開放検査不要には至っていません。</p> <p>燃料電池自動車用に供給される水素は高純度が求められています。弊社が蓄圧器を納入するに際して、露点を-60℃以下まで容器内部を清浄にする必要があります。</p> <p>蓄圧器の組付けは大気中で行います。結果、内部は大気中と同じ湿度となります。内部の湿分の除去の為に、乾燥した窒素を何度も蓄圧器に出し入れを行います。この露点を-60℃以下まで清浄にするには、弊社の場合 数日を要します。</p> <p>開放検査も、同じ状況となります。作業手順としては、下記の通りです。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①水素圧の低下 ②窒素を充填して、窒素置換を行う。 ③蓄圧器内部に水素が排除された事を確認して、バルブ或いは閉止栓を外す。 ④閉止栓を外して、ファイバースコープにて内部を観察する。或い 	<p>飯山分科 会長</p>

		<p>は、文字通り、内部の目視検査が要求された場合には、蓄圧器の蓋を外す必要があります。いずれを選択するかは、水素ステーションが設置された地区の自治体の所轄の判断によります。</p> <p>後者の場合、目視検査の為に蓋の取り外し、再設置が必要となります。この作業には数日を要します。</p> <p>⑤開放検査により、内部は大気により汚染されます。内部の湿分等を排除して露点を-60℃以下とするために、窒素置換を複数回行います。</p> <p>⑦水素ステーションには、窒素は常備されていません。結果、高圧窒素カードルを配備して窒素置換に対応する必要があります。この置換作業は、大気の湿度に依存しますが、数日を要します。</p> <p>⑧①～⑦の作業は、複数の容器を同時に行うには、複数台の高圧窒素カードルが必要となります。結果、複数の容器を順番に作業を行います。結果、10日程度の検査日程が必要となります。</p>	
<p>資料5 ・40ページ 資料2-(2) -① ・10, 11, 12ページ</p>	<p>実機タイプ2蓄圧器の稼働中のAE発生挙動から、ノイズと損傷に起因する2つの波形を得ています。さらに加圧時と、一定圧力時と、減圧時でそれぞれ異なる発生挙動を見せています。このノイズ除去の見直しをご教示ください。メカニズムについても、実タンクの構造(端部のプラグ、グラウンドナットなどから発生と推定している)していることや、より低圧まで速度が速く減圧するほどノイズが発生していることが示されていることから、取付け位置その他の要因の分析の状況と対策の見直しについて教えてください。</p>	<p>実機タイプ2蓄圧器の稼働中の計測からはノイズ波形のみが検出されており、損傷に起因する波形は検出されておりません。プレゼン資料P12の説明不足だったと予想されますが、P12の左側の「立上りが緩やかな波形」が稼働中計測より得られた波形であり、右側の「突発型AE波形」は別途に実施した試験片実験で得られた損傷に起因したAE波形となります。P12では左側の波形は損傷と無関係なノイズであり、右側のような損傷に起因した波形とは異なる事を述べたかった資料となります。誤解を招いてしまったようであれば、申し訳ございません。</p> <p>一方、メカニズムについては、現在も調査中ですが、蓄圧器両端に設置したセンサへのノイズ信号の到達タイミングの特徴からノイズは蓄圧器両端部の全周から発生していることが推定されました。さらに、蓄圧器が減圧中には検出され、加圧中には検出されない傾向</p>	<p>飯山分科 会長</p>

		にあることから、プラグ周辺のシール構造部品の擦れに起因したノイズではないかと推定しております。ノイズの原因およびノイズ除去方法等の対応は現在検討中となります。	
資料2-(2) -① ・16ページ	AE法を用いた実ステーションの稼働中のモニター手法として定期開放検査を省略できるメリットは大きいことから、この手法を特許として確立、保護して、しかるのちに、無償実施をさせることが望ましいのではないのでしょうか？他国に同様な特許を取得されて、実施に制限がかかるような懸念はないのでしょうか？	基本技術についてはJFEスチール、JFEコンテナおよび千代田化工建設で特許申請済みであり、一部は外国出願済みの状況です。直近のNEDO事業での成果の知財化については検討中です。	飯山分科 会長
資料5 ・47ページ 資料2-(4) -④ ・2, 6ページ	40MPaの水素ポンプのスタック技術開発は達成したものの、82MPaのスタック開発が遅れた理由をお示し下さい。現在の規制、入手できる材料・技術などの観点から、目標のコストや性能、などを達成することが設計段階で難しいと推測されるということでしょうか？	40MPaスタックの技術開発は達成したものの、エネルギー効率が目標に対して大幅に未達であったため改良に取り組む予定であったが、Covid-19の影響によりスタック製作自体が大幅に遅れたことや、高圧ガス保安法対応に想定より時間を要したため、82MPaスタックの開発が遅れた。山梨県企業局様向けKTC-A号機(2.2Nm ³ /h×20MPa)システムのスタックを現行の高圧ガス保安法に従って製作したが、適合させるためには一般則で求められる材料を使用せざるを得ず、耐圧部材は強度評価を満たすために超高压で使用する材料でも、想定以上に大きなサイズで製作する必要があった。82MPaスタックとなると製造コストが非常に高額となることが予想される。	飯山分科 会長
資料5 ・47ページ 資料2-(4) -④ ・7, 9ページ	現状は20MPaまでであれば事業化の可能性があるとのことですが、将来82MPaまで事業化できるようにするための、規制緩和項目(圧縮機の認定、仕様鋼材の汎用化)や、技術的な課題と見通し(システム消	【事業者回答】 水素ポンプユニットのスタックは、高圧ガス保安法の分類で定めがないため、「圧縮機」と認められず、高圧ガス設備の「その他の圧力容器類」として扱われた。まず、スタックが高圧ガス設備の「圧縮機」として認められる必要がある。また、スタックの薄膜プレー	飯山分科 会長

	<p>費電力削減等の可能性)を整理してお示しください。また、材料(電解質膜)などの望ましい要求仕様(作動温度やガス透過率など)があればお示しください。</p> <p>水素ポンプは将来的にも実用化が望まれると思われま。今回の取り組みから得られた様々な課題を、個々の企業ではなく国として解決すべきレベルの課題ではないかと考えますが、NEDO 推進部署、実施企業の見解を伺いたいと思います。</p>	<p>トといった構成部材は電気設備の一部として使用しなければならない部材であり、高い強度を求められるため JIS 相当材であったとしてもハードロールといった特殊な材料を使用する必要がある。薄膜部の耐圧部において、このような特殊材料が使えるような規制緩和が必要であるとする。高温運転可能なスタックを開発できれば、電解質膜の抵抗を低減でき、システム消費電力を低減できると考える。60~80℃あたりが、システム効率を最も高くできると考えており、スタックの自己発熱と外気温とのバランスがとれる外部冷却(運転初期は加温)に必要なエネルギーを最適化することが重要である。たとえば、水電解の様に最初はヒータで加温するが、運転後はスタック自らの発熱により高温状態を維持することができれば理想的である。ただし、水電解とは異なり、高温・高圧下ではシール性能の低下が大きな課題となることが予想される。</p> <p>【NEDO 推進部】</p> <p>本事業は課題設定型助成事業であり、基本的に前事業で一定の成果が出たものを採択しています。基礎性能はクリアしており、またノウハウとして企業が保有しています。NEDO として推進すべき重要課題は、圧縮容量の大型化、システム全体の省エネ化と考えています。</p>	
<p>資料5 ・53ページ 資料3-① ・1, 7, 11 ページ</p>	<p>ISO 水素燃料仕様で規定されている不純物の許容濃度適正化に関して、3種の不純物の試験データが必要としています。今後2年間の事業のなかで、だれがどのように取得しようとしているのでしょうか?自動車メーカーなども連携が必要と思われまがその体制はどのようなもののでしょうか?</p>	<p>今回お示した3種の不純物成分については、日本のインフラおよび自動車会社とともに議論した結果になります。①ハロゲン化合物の絞り込み、②ギ酸の削除が可能かを判断するためのデータは、海外の最新データも含めて現状の知見をフルに活用しつつ、不足したデータを JARI で取得させていただきたいと考えております。また、③硫黄化合物については、本年度より開始した別の NEDO 事業「硫黄化合物等の吸着脱離メカニズム解明と被毒予防・回復技術開発」</p>	<p>飯山分科 会長</p>

	<p>海外と連携しながら、とありますが、具体的には誰とどのように連携するのでしょうか？</p>	<p>の中で解析およびデータを取得することになっており、本 ISO 事業と連携することで、水素品質に関連するデータを一部活用する予定としています。</p> <p>海外との連携については、具体的には米国ロスアラモス国立研究所 (LANL) *1 とノルウェー産業科学技術研究所 (SINTEF) *2 と、FCV 用水素品質規格に係る国際連携の相談を開始しました。ISO/TC197/WG27 (水素燃料仕様) で改定が要望される成分について、ロジック等の検討方針を共有して連携・分担しながら効率的なデータ取得を行う予定です。</p> <p>自動車メーカーとの連携については、本事業で組織する燃料標準化 WG において、自動車側の委員 (トヨタ/自工会、ホンダ、日産) にも参加いただきながら ISO 改定に関する議論を行っております。今後データ取得に関する条件や、得られた結果等の詳細な項目については、燃料標準化 WG の自動車側委員との間で別途議論しながら、各社の製品に与える影響を判断して頂きます。そのうえで水素品質規格に係る最終判断を燃料標準化 WG で行う予定としています。</p> <p>*1: USDOE において水素品質に関わる研究を実施。 *2: FCH JU で Metrology for Hydrogen Vehicles 2 (MetroHyVe2) プロジェクトの取りまとめを実施 (燃料電池における不純物評価については、フィンランド VTT、仏 CEA や英 NPL、独 ZBT の機関も参画)</p>	
<p>資料 1- (1) ・ 6、15 から 20 ページ</p>	<p>リスクアセスメントを実施し、合理的な安全対策を提案していますが、そのプロセスや結果、結論について、だれがどのように検証されたのでしょうか、お示しください。横</p>	<p>本検討は横浜国立大学と共同実施しているものであり、検討結果は同大学が担当したシミュレーション等による検証を実施しています。結論に至るプロセスや検討結果について、有識者からなるリスクアセスメント検討会及び本事業の成果を検証する国内規制適正化</p>	<p>飯山分科 会長</p>

	<p>浜国立大学による指導、妥当性の検証を実施しているという理解でよろしいでしょうか？</p>	<p>検討委員会で審議されています。</p>	
<p>資料1－(1) ・8、26、27ページ 事業原簿 ・成果詳細17ページ</p>	<p>家庭・小規模事業所等の水素充填のための法的課題抽出の結果、高圧ガス保安法ではなく、ガス事業法での可能性が提案されています。このガス事業法に基づいてCNG充填設備が管理されている理由（高圧ガス保安法で管理されていない理由）をお示しください。また水素に関してガス事業法で管理されるための要件として、『圧縮水素に関する技術指針の制定』が挙げられています。この実現可能性や課題、今後事業として実施提案するのかなどについても見解をお願いします。</p>	<p>一般高圧ガス保安法の運用及び解釈（内規）に、ガス工作物である昇圧供給装置に天然ガス自動車やカードル等を直接接続して天然ガスを充填する行為は、ガス事業法に該当し、高圧ガス保安法は適用されないと記されております。</p> <p>ガス事業法では、ガス事業者が消費者に代わり保安業務をしっかりと行っているため、高圧ガス保安法から除外されたのではないかと考えています。</p> <p>実現の可能性としては、水素導管でのパイプライン供給が前提になりますので、ガス事業者による事業化判断が必要になります。</p> <p>直近の事業化は難しいとは思いますが、将来的なCO2削減に向けた社会的要請に応えるタイミングでの実現になると思います。</p>	<p>飯山分科 会長</p>
<p>資料1－(2) －② ・8から11ページ 事業原簿 ・成果詳細51、52ページ</p>	<p>連続陰極水素チャージ法によれば、き裂が進展する領域では水素チャージ反応が抑制されき裂先端への水素供給が遅延するという、高圧水素チャージとは異なるき裂進展～破断のプロセスになっていると推定されています。データからもき裂発生のない、もしくは小さな停留き裂しか存在しない領域では、高圧水素チャージと同じ挙動をするという理解ができることから、SSRT試験では、応力が最大となった後の破断挙動から引張強さの確保を評価可能であり、疲労試験では、疲労限については、高圧水素チャ</p>	<p>ご理解のとおりです。</p>	<p>飯山分科 会長</p>

	ージと同等な結果がえられると期待できる、という理解でよろしいでしょうか？		
資料1-(2) -② ・16ページ	学会・有識者議論とありますが、これまでの3年間の知見や見解については、どのように学会・有識者と議論してきているのでしょうか？異なった見解あるいは、本事業で補強すべき試験データなどのフィードバックはなかったのでしょうか？	<p>陰極チャージ中にき裂発生が複数個所発生するのであれば、評価領域を狭くすれば、き裂発生個所を限定でき、高圧水素ガス中と同様の挙動が再現できるのでは？とのアドバイスをいただきました。東京電機大で評価領域を変化(1mm幅、5mm幅、10mm幅(現状))させて水素拡散をシミュレーションしましたが、幅を狭くすると、水素侵入面積も狭くなり、うまく実験できない結果となりました。また、き裂先端の反応抑制は、陰極チャージ時に発生する水素ガスの泡によるので、泡の発生が少なくなる条件を見いだせば、高圧水素ガス中に近くなるのではないかとコメントもいただきました。現在トライ中です。</p> <p>他鋼種への適用可能性を検討したらどうかというコメントもいただきました。本検討は低合金鋼を対象としています。具体的にはSCM435もしくはSNCM439のCr-Moで、成分がさほど変わりません。そのため、今回検討しているSNCM439のTS800~900MPa程度の焼き戻しマルテンサイト鋼のデータを採取すればよいと考えています。しかし、技術をより発展させることも考えて、鋼種によらず適用できる条件の検討も別途進めております。</p>	飯山分科 会長
資料1-(2) -③ ・3ページ	中空疲労試験の再委託解除(予定)とありますが、事業の進展に影響が大きいかと思えます。その理由や対策について、可能な範囲でお示してください。	<p>○ 再委託解除の理由 再委託契約を締結していた学校法人立命館の業務管理者および登録研究員であった上野 明教授が2020年7月末にご逝去されました。その後、立命館で研究内容を引き続き実施可能かどうか検討して頂きましたが、超高圧環境での試験は対応不可との回答だったため、再委託契約を解除せざるを得ませんでした。</p> <p>○ 今後の対策 中空試験片を用いた超高圧環境試験に対応できる組織は他に無い</p>	飯山分科 会長

		め、立命館の研究内容は NIMS で実施としました。試験機改造や研究補助員の増員、および超高压環境での中空 SSRT、中空疲労に対応可能な民間企業に外注を行い、実施体制・環境の維持・増強に努めています。	
資料 1 - (2) -③ ・ 4 ページ	中空試験片の中空内表面は、『原則として研磨仕上げすることを確定した』とありますが、研磨の種類(電着ダイヤモンド研磨、流動研磨)により、水素ガスの場合、伸びや相対伸びの値が異なるようです。研磨の手法、具体的研磨方法(条件等)についての規定の必要性はどう考えておられるのでしょうか？	<p>現状の中空試験法の規格案および解説案では、変質層や加工層の除去と表面粗さの管理を念頭において下記の内容を記述しております。</p> <p>① 中空部内表面は、適切な研磨方法により、ワイヤカットプロセスで形成されるような熔融変質層やドリル加工で導入される加工層を確実に除去する。</p> <p>② 試験片中空穴部内表面の研磨方法としては、電着ダイヤモンドワイヤを用いた研磨または砥粒流動研磨がある。砥粒流動研磨仕上げの場合、表面を滑らかに仕上げることができ、表面粗さの影響を抑えることができる。電着ダイヤモンド研磨の場合は、表面粗さ Rz が 3 μm 以下になるよう配慮する必要がある。</p> <p>③ ①および②が確実に達成されているかについては、試験片を切断して破壊検査によって確認する。</p> <p>今後、ラウンドロビンテストの結果を含め、現在の記述や数値が適切かどうか規格案の議論の中で検証する予定です。</p>	飯山分科 会長
資料 1 - (2) -③ ・ 6 ページ	伸びは中実試験片に比べて中空試験片は小さめに出るとのことです。今後、伸びを指標とする新たな水素適合性判断基準がステンレス鋼の使用可能範囲拡大で検討されておりますが、その判断基準に対する中空試験片法の適合、対応について見解を教えてください。	本事業では、Ni 当量が 26.6%、26.8%のオーステナイト(γ)系ステンレス鋼の評価を行い、同じ素材の中実試験片データとの比較をしました(プレゼン資料 5 ページ)。相対伸びで評価した結果、水素適合性が高い場合には、中実試験片と同等の評価ができています。ただし、同じγ系ステンレス鋼でも水素適合性が低い場合には、中空試験片では水素環境中で伸びがより出なくなることが推察されます。その結果、中実試験片の相対伸びもより低い、厳しめの結果が得られるのではないかと考えています。この点は、	飯山分科 会長

		水素適合性が低いγ系ステンレス鋼（例えば SUS304 あるいは Ni 当量が低い SUS316）で検証を行う予定です。	
資料 1 - (2) -③ ・ 11 ページ	中空試験片法について特許取得は行わないとのことですが、海外などにおいて特許取得がなされて本手法の標準化や実施に制限が加わる懸念についてはどうお考えでしょうか？特許を取得して無償実施させるという手法も考えられます。	開発した中空試験片法は、以前の管状中空試験片より内径を小さくすることで、中実試験片に近い伸び、絞りが測定でき、水素脆性を簡便に評価できるという特徴をもつ新しい試験法として 2005 年に特許申請をしました。しかし、既特許の管状中空試験片に腐食液を流す腐食材料試験装置で、試験片内管路の両端の弁を閉じた封じ込め腐食試験が記載された発明と類似という理由で拒絶されています。海外でも管状中空試験片による材料試験の報告は 50 年前からあります。NIMS の中空試験法の報告は 2007 年から続けているので、今後特許になることや実施に制限が加わることは無いと考えています。	飯山分科 会長
資料 2 - (2) -② ・ 17 ページ	図の X 軸の圧力振幅比の定義をご説明ください。圧力振幅比が大きい、すなわち復圧の変動幅が小さい、とありますが、どのような圧力が基準点として用いられているのでしょうか？	圧力振幅比 = (蓄圧器の最大使用圧力) / (部分充填時の充填前後の圧力差) と定義しています。 つまり、蓄圧器の最大圧力振幅 (82MPa) を基準とし、実際の水素ステーションで使用する際 (部分充填時) の蓄圧器の圧力振幅がどれだけ小さいかを表す指標を X 軸としています。 例えば、圧力振幅比が 2 であることは、部分充填時の圧力振幅が 1/2 であることを意味します。	飯山分科 会長
資料 2 - (2) -② ・ 25 ページ	累積損傷関係式に係わる特許を防衛のために出願したとありますが、妥当なことと思います。他の事業においても、同様な取り組みが必要と思われるが、NEDO 推進部署のご見解を伺いたいと思います。	本事業における知財の囲い込みは、日本の水素業界が将来的に世界をリードしていくために必要なアクションであると認識しております。現時点では数字上、十分な特許等が出願されておりませんが、事業後半に差し掛かり、様々な事業で多くの研究開発のアウトプットが出つつあります。それらの結果の総合的な知財化を目指し、事業推進を継続していきたいと考えています。	飯山分科 会長
資料 2 - (3)	環境温度 85℃とされていますが、その設	これまでの評価の結果から、環境温度、または環境温度と試験時に	飯山分科

<p>一② ・ 11 ページ</p>	<p>定根拠はどのようなものでしょうか？一 45℃、室温、55℃も実施されていますが、85℃を選定した理由、また、材料面などからの85℃の妥当性についてご見解を伺いたいと思います。</p>	<p>流通する水素の温度 (-40℃) との温度差により加速される可能性が示唆されたことから、可能な限り高い環境温度の設定を試みましたが、実際のホースの使用環境において 85℃になることは考えられませんが、85℃は車載用高圧水素容器の使用上限温度として設定されていますので、この温度に合わせて上限温度として設定いたしました。これに加え、加速係数がアレニウス型の温度依存を示すか否かの確認のため、室温、55℃についても評価しています。現状、結果のばらつきが大きいため、N増しを行い確認を進めていますが、基本的には85℃が最も加速係数が大きい結果となっています。</p> <p>85℃の妥当性については、破壊モードの確認、仕様の異なるホースの確認による検証を行なっています。12 ページに示した通り、試験時の繰り返し加減圧を伴う低温高圧水素の流通により漏洩が発生し、いずれも内層樹脂に発生した貫通クラックが原因であることが判明しています。現在破面解析などを進めており、加減圧に伴う疲労によるクラックの進展に対する環境温度の影響を調査し、加速評価としての妥当性を確認する予定です。</p> <p>また、同様な条件で海外製の仕様の異なるホースについても評価を進める予定です。</p>	<p>会長</p>
<p>資料2-(3) 一② ・ 13 ページ</p>	<p>図が分かりにくいいため質問します。加速係数1.6というのは、85℃の青丸の圧力サイクル回数(1863回、11 ページ)が、赤い星印の北米ステーション実績(3000回、3 ページ表中)とくらべて、水素ステーション実績以下のか減圧耐久回数となった(3000/1863=1.61)ということでしょうか？</p>	<p>お考えの通りです。北米水素ステーションにおける NEDO 前事業により開発した 87.5 MPa ホースを北米の商用水素ステーションにおいて実証を行い、N=3 の耐久充填回数を 3,000 回 (13 ページの赤い星印のプロット) と判断しました。これに対して、現在の加速評価条件 (環境温度 85℃の揺動水素インパルス試験) において N=3 の平均として 1,863 回の結果が得られておりますため、加速係数 3000/1863=1.6 と判断しました。</p>	<p>飯山分科 会長</p>
<p>資料3-③</p>	<p>各国の政策・戦略が一覧となっており俯瞰</p>	<p>事業期間と予算規模について一覧表に追加したいと思います。</p>	<p>飯山分科</p>

<p>・ 13 ページ</p>	<p>するのに極めて有用と思います。同様な俯瞰で、各国の具体的な事業の期間と予算規模の全体像をしめすと、本 NEDO 事業の国際的な位置づけがよくわかると思いますがいかがでしょうか？</p>	<p>国によって前提条件など異なりますが、できるだけ一覧化できる項目を増やしていきたいと考えています（例：水素価格目標など）。</p>	<p>会長</p>
<p>資料 6-1 ・ 39 ページ</p>	<p>QRA にて漏えい頻度データが米国 Sandia 国立研究所によるデータベースを活用しています。水素ステーションの稼働実績やその漏えいデータなどは日本の事例もきちんと報告されて整理されていると思いますが、国内での同様なデータベースを活用しなかった理由は何でしょうか？ また、貴重な水素ステーションの漏えいなど安全に関する国内事例が綿密に収集されていると思いますが、その活用促進に対するコメントがあれば、NEDO 推進部署からお願いします。</p>	<p>【JPEC からの回答】 Sandia の水素ステーション漏洩頻度データは、水素ステーションの他、水素関連プロセスの漏洩データも参考にして統計学的な検討を経て公表され、世界的に活用されている唯一のデータベースと認識しています。国内の水素ステーションのトラブル事例については、事業者の特別な協力を得て、データベース化されていますが、公開できないことや定量的な漏洩データになっていないため、活用が困難と考えました。 今後、定量的な事例が積み上がり、国内の実態にあったデータベースが整備されることを期待します。</p> <p>【NEDO からのコメント】 前述の JPEC からの回答同様に国内の DB は統計的、科学的に集計が十分でないため、定量的な積み上げが必要と考えます。</p>	<p>飯山分科 会長</p>
<p>資料 6-2 ・ 40 ページ</p>	<p>本事業において 4 項目の研究開発を行い、高圧水素で使用可能な材料の拡大を図っていますが、海外の規制・規格とくらべてどうなるのでしょうか？海外の規制・規格と同等レベルまで使用範囲が拡大するという基本的な理解でよろしいのでしょうか？あるいは、まだ海外では使用できるものの国内では使用できない材料が今後の課題として残っているのでしょうか？</p>	<p>国内のインフラメーカーは、通常水素ステーションで使用する鋼材は事前評価などの審査・認可を経ないようにするため、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則の例示基準で規定された材料を選定している。例示基準によって材料を規定する場合、必然的に、安全性に関する裕度が高い材料基準となり、結果的に材料のグレードは高くなる。 海外には日本の高圧ガス保安法の材料規制にあたる決まりはなく機器メーカーの責任で材料選定しているため一概に比較できないが、海外では一般的なレベルの SUS316L やその冷間加工材が既に利用</p>	<p>飯山分科 会長</p>

		<p>されており、本事業の結果改正された例示基準の材料によってこれに近づいたことは確かである。国内の水素ステーションでは、水素の充填の際に-40℃にプレクールを行うので Ni 当量 28.5%以上の SUS316 系材料を使用しなければならなかったが、本事業によって、一般的な SUS316L レベルの Ni 当量 26.9%が使用できるようになった。</p> <p>本事業を継続していけば、当該材料の冷間加工材や溶接材も利用できるようになる見込みである。</p>	
資料 5・1 - (1) P11	「カリフォルニアにはでは、・・・一般的」とあるが、周辺の環境が日本とは違うには？	カリフォルニア州においても、住宅街や市街地に設置されたステーションはいくつもあります。また、コンビニやガソリンスタンドに併設されたものもあり、ステーションの周辺の環境においては日本と変わらないと考えています。（国民性の観点（文化的な観点）からは、水素ステーションに限らず、ガソリンスタンドも含め、アメリカの方が、燃料供給に関し無人施設を許容する下地があります。）	緒方委員
資料 5・1 - (1) P13	充填（製造行為）とあるが、これで問題はないか？単に「充填」で良いのでは？	<p>高圧ガス保安法では、充填は製造行為と位置付けられ、許可を受けた事業者が行うよう定められています。今回、一般則 7 条の 4 の水素ステーションにおいては、事業者の管理下で、顧客に、従業員と同様に充填（製造行為）をさせてもよいことが、基本通達に示されましたので、あえて製造行為と記載させて頂いています。</p> <p>ちなみに、一般則 7 条の 3 の有人セルフ水素ステーションでは、顧客は充填作業の前後の充填準備作業しか行うことができません。（製造行為に当たる充填作業は事業者が実施ということ）</p>	緒方委員
資料 5・1 - (1) P18	致死率が高い様な気がします。これには、漏洩・着火・爆発のリスク（確率）も勘案しているのでしょうか？それとも事象が、発生した場合の致死率でしょうか？	この致死率は、漏洩頻度データに基づきステーション設備各ユニットからの漏洩確率とその漏洩流量と、着火確率データによるジェット火炎発生確率と遅れ着火による爆発の確率、輻射熱や爆風圧の規模による人への影響度を積算したものです。	緒方委員
資料 5・1 -	SUS316 系以外では、事業者により利用が	最終のスライドにも記しましたが、オンサイト型ステーション（ス	緒方委員

<p>(2) -①P20</p>	<p>遅れる理由は？溶接はさらに実用化検討が必要？</p>	<p>ステーション内で改質により水素を製造)からの水素出荷に関する保安体制の緩和、現在の常用圧(82MPa)からの上限圧の緩和などの業界要望があり、こういったことにも取り組み、より多様な水素ステーション設置を可能とすることで低コスト化に寄与し、水素ステーション整備拡大につなげたいと考えています。</p> <p>JPEC 鈴木様 回答 SUS316系に関して、2020東京オリンピック・パラリンピックの開催に間に合わせるよう要請があつて当初3年計画で例示基準改正に資する検討を終える計画であつたが、2年で結果を示すように前倒し実施した。他は計画通りに進められており、遅れているわけではない。延長含む5年の事業期間で基準化に資する新たな案、溶接の場合では技術指針を策定する計画である。 本事業の基準案の法制化については本事業の終了後に検討頂けるものと考えている。 溶接については技術指針に沿った溶接が自社で可能かを事業者自身で判断頂くことになる。社内での技術開発を経て実施に至る場合も想定されるため、提示したようなスケジュール感となると考えられる。</p>	
<p>資料5・1 - (2) -②P12</p>	<p>ラウンドロビン試験の誤差は、想定範囲とみて良いか？</p>	<p>強度の差は素材の強度ばらつきも考慮すると想定内ですが、試験機間の差が何らかの要因で生じていないか、について再度確認中です。</p>	<p>緒方委員</p>
<p>資料5・2 - (1) -②P8</p>	<p>標準化後に、設備費のコストが削減しないのは何故か？想定通り、水素STが増加すれば、削減できるのでは？</p>	<p>本NEDO事業において、規制適正化も踏まえた標準化の効果として△0.3億円のコスト低減効果があることを確認しております。 今後も、さらなる規制適正化や技術開発の成果を標準仕様として規格(ガイドライン)に反映していき、継続的なコスト削減につなげていきます。</p>	<p>緒方委員</p>
<p>資料5・2 -</p>	<p>AE発生表の色の違いは何を示すのでしょうか？</p>	<p>AE信号の振幅値の違いを示してあります。例えば、プレゼン資料</p>	<p>緒方委員</p>

(2) -①P5	うか？	P5では振幅が40～41dBのAEを水色、42～43dBをオレンジ、44～45dBを灰色、46dB以上を黄色で示してあります。	
資料5・2 - (2) -②P2	累積損傷則で、コストが削減できるのは、何故か？実試験の必要がなくなるの理解で良いか？	現状の蓄圧器の使用回数は、復圧の圧力変動幅に関係なく1回の復圧で1回のカウントがなされてきました。実際の水素ステーションでのFCVへの水素充填は3バンクシステムによる差圧で行っているため、各蓄圧器の復圧変動幅は小さいものとなっています。累積損傷則が適用されると大幅に寿命が延長されるので蓄圧器の交換頻度が少なくなること、および仕様変更が可能になるので、インシヤルコストや運営費コストが削減できます。更に、認可に必要な実容器サイクル試験を大幅に削減できるようになると考えています。	緒方委員
資料5・2 - (2) -②P5及び6	今後の検討で、多軸応力下での試験を検討されているようですが、実施の見通しは如何でしょうか？	多軸応力下での試験としては、①-5項でタイプ3容器サブスケール品を用いて圧力サイクル試験を実施しています。これら容器試験データを対象に、例として、S-N線図上で単軸の場合の結果と比較を行うなどして、検討を進める予定です。	緒方委員
資料5・2 - (3) -①P25	運営費コストが1～2百万削減とありますが、運営費コストの何%の削減になったのでしょうか？	現行(2019年)の運営費コストは約3100万円(METIロードマップ参照)となりますので、約5%の削減と考えております。	緒方委員
資料5・2 - (3) -②P11	TypeBは、-40度で屈曲しないが、問題はない？	環境温度室温、水素ガス温度-40℃の揺動水素インパルス試験のため開発した耐爆カバー内に収納可能な揺動ステージの能力がType Bホース3本を設置したステージを揺動させるために十分ではなかったという結果です。現在、揺動のためのアクチュエーターの能力増強など対応を進めています。 11ページで報告しましたType Bホースは現状の設備では室温での揺動試験が実施できませんでしたが、Type Bホースは商用水素ステーションでの使用実績もあり、水素ステーションでの実用のため要求される屈曲性は満たしています。	緒方委員

		<p>(以下参考) ホースの内層樹脂の貫通クラックが加減圧に伴う疲労により発生することから加減圧時のホースの変形を小さくすることで長寿命化が可能です。海外メーカーが開発した長寿命ホース(入手済み, 今後評価予定)は加減圧時のホースの変形を抑制する補強構造設計を行なっていると考えられ, 水素ステーションでの充填の耐久回数はかなり大きいものの, Type B ホースよりさらに屈曲性が劣っており, 北米ステーションでの試用時に顧客からホースがハンドリングできないとのクレームがあったとの情報があります。当該ホースを同様な条件で評価するため, アクチュエーターの増強を行なっているところです。</p>	
資料5・2-(4)-④P10	<p>実用化に向けて, 20MPa は示されているが, 現状では 84MPa は見通しが立たない?</p>	<p>セルを積層する構造での 82MPa の高圧化は, 技術的に課題が多く, コスト的にも厳しいため, 現時点では実用化の見通しが立たないと考えている。</p>	緒方委員
資料5・3-(3)	<p>米国の政権が交代する予定ですので, 今後の調査の進展を期待します。</p>	<p>米国は, 政策面(連邦政府)の動きが停滞しておりましたが, 今後は前提となる気候変動政策やエネルギー政策も大きく変わり, 同時に水素政策も見直されると予想されます。NEDOとも情報を共有しながら引き続き, 米国の動向を注視していきたいと思えます。</p>	緒方委員
資料6-1	<p>水素社会の実現に向けて重要な研究開発かと思いますが, 社会実装(普及)に向けては今後は何かあるでしょうか?</p>	<p>オンサイト型ステーション(ステーション内で改質により水素を製造)からの水素出荷に関する保安体制の緩和, 現在の常用圧(82MPa)からの上限圧の緩和などの業界要望があり, こういったことにも取り組み, より多様な水素ステーション設置を可能とすることで低コスト化に寄与し, 水素ステーション整備拡大につなげたいと考えています。</p>	緒方委員
資料5 個別テーマの成果概要	<p>全体的な国内外の研究開発の動向の比較が示されていますが, それぞれの個別テーマの成果の国際的な位置づけについてお教えいただけませんか。</p>	<p>充填プロトコル:FCVに水素を充填する際の安全に供給する国際的なルールであり, 本研究の成果は将来の水素供給温度緩和に繋がると考えています。 シール事業: これまで国際協調が少なかった分野ですが, 日本の高</p>	尾方委員

		<p>分子評価技術手法の提案から始まり、海外の研究機関との情報交換、ISO への提案に進み、今後さらなる協調が期待できると考えています。</p> <p>その他ホース事業、ISO 事業なども技術開発が進んでおり、国際協調を確実に成果につなげることが求められています。</p>	
資料5 研究開発の進捗 管理	<p>コロナ禍は、これまで、さらには今後の進捗に影響はないのでしょうか。もしあるとすれば、特に最悪の場合どの程度の影響が見込まれるのでしょうか。また、海外諸国の進捗にも影響があるのでしょうか。</p>	<p>現行の NEDO 事業については、現時点では、一部の事業以外はほぼ順調に進んでいます。大きな遅れになっていないと考えています。遅れている事業についても、これまでの試験研究の結果から目標に対して目処はつくものと見込んでいます。</p> <p>海外の同様な事業においても設備導入などは少し遅れ気味ではあるが、予定通りと聞いています。</p>	尾方委員
資料5・8頁	<p>整備費低減の内訳はあるが、運営費低減について示されていない。例えば、①、③、④、⑤等があるので、これらの内訳で示すことはできないか。</p>	<p>運営費に関しては、</p> <p>① 遠隔監視等 人員の削減が可能と考えます。</p> <p>③ 蓄圧容器の寿命延長、検査手法などの確立によって例えば容器の検査周期が単純に2倍に延長できれば費用は1/2とすることができるなど期待できます。</p> <p>④ ホースの寿命延長、シール部・接続部からの漏洩低減により、メンテナンス費用の低減につながります。ホースについては現状1000回程度の使用回数を10倍以上にする開発しています。水素ステーションの休業日数の削減(1日/年)、メンテ期間短縮(2~3日/定修)、運営コスト低減(1~2百万円/年)</p> <p>⑤ 充填温度緩和による電力消費量削減効果は第一段階として約1百万円/年を見込んでいます。</p> <p>将来の更なる温度緩和によりシール・ホース部材への温度差の影響が少なくなると予想され、交換部品費用低減も期待しています。</p>	櫻井委員
資料5・53頁	<p>表に日本他各国にとって問題ある蓄圧器規格の否決とあるが、水素ステーションに係</p>	<p>最初のご指摘については、ステーション用の蓄圧器に係る国際規格(ISO19884)に関するものありますが、本件は規格策定時の合意形</p>	櫻井委員

	<p>る規格について、日本の規格と国際規格を比較して、国際規格を変更するもの、日本の規格を適正化するもの整理はされているのか。国内外とも同じ水素ステーションの機器を使えるようにすることが、国内整備のコスト低減や将来の輸出での価格競争力につながると思うので、お聞きしたい。</p>	<p>成の過程に大きな問題があり、規格として安全上強い懸念もあったため、主要国と協議の上、否決するとの手段に訴えざるを得なかったという状況でした。これについては、規格の彼我比較という形ではなく、安全に係る技術上の問題ととらえています。問題点を共有化した各国の反対により、発行を阻止した形です。ご案内のように、当該規格については日本と米国の共同議長体制で新たに再発足し、現在文書案作成に取り掛かっているところです。</p> <p>水素技術、水素ステーションに関する国際標準化については、技術的にも新しい分野であり、規格そのものについては、まず各国協力の上、国際規格を策定し、必要に応じて各国規格に落とし込むという進め方が主になっております。日本においては、通常規格そのものは国際規格を直接利用し、その運用について必要となるガイドライン、例示基準等を作り対応している状況です。従って、規格として日本と各国の間で問題となる差異があるという事態には至らないと理解しております。</p> <p>一方、高圧ガス等の安全上の観点から、各国法規があり、必ずしもそれらが世界で一致をしているわけではございません。そのような対象については、国際規格の対応として各国法規の妨げにならないよう規格を策定するのが通例となります。</p> <p>以上申し上げたことから、ご指摘の点についてはむしろ法規に係る課題となるかと存じますが、これらについても、運用による対応も含めて整合を得るため、日本内外での取り組みがなされていると理解しております。</p>	
<p>資料5・(1-1) 5頁</p>	<p>無人運転を実施するための研究開発の成果の意義に、顧客利便性向上:有人と無人セル</p>	<p>顧客による故意の機器破損等以外は、有人・無人に限らず事業者の責任です。顧客の充填作業に関する部分は無人特有ですが、これも</p>	<p>櫻井委員</p>

	<p>フの選択肢の拡大があるが、有人と無人のそれぞれについて事故や機器の破損時の責任や補償などはどのように整理されているのか、また顧客への周知はどのように行われる予定なのか。</p>	<p>事業者の管理下で行うことが基本通達に明記されているので、顧客の起こした事故などは事業者の責任となります。顧客への周知は、スタンドに掲示したり、容器期限確認カード発行時に説明したり等、事業者の工夫の余地を残したものにしています。</p>	
<p>資料5・(1-1) 8頁 資料6-1 57頁</p>	<p>ガス事業法での可能性を提案とあるが、どのような提案か、詳しい説明がほしい。</p>	<p>高圧ガス保安法に基づく場合は、保安距離を確保する必要があり、設置時の面積や距離の観点で現実的ではないと判断しています。一方、ガス事業法に基づく場合は、コンパクトに設置できる可能性があります。また、ガス事業法においては、ガス導管によるガスの供給やガス工作物の保安をガス事業者が確保してくれるので、ユーザーにとっては安心です。</p>	<p>櫻井委員</p>
<p>資料5・(2-3)-② 15頁</p>	<p>長寿命ホースの目標を3万回として、その実用化に資するデータ取得を目標にしているとあるが、長寿命ホースの開発メーカーの開発スケジュールを把握しているのか。また、その価格は現状と同程度なのか。充填ホースは1回当たりのコストが重要なので教えてほしい。</p>	<p>現状のホースの実力把握と内層樹脂破壊メカニズムの解明に関する検討状況をホースメーカーとシェアし、ホースメーカーにおける耐久回数設定、ホースの改良、新規開発に活用していただいています。現状、Type B ホースは設定した加速係数1.6を考慮すればステーションでの充填回数30,000回をクリアする結果が得られています。Type A については、屈曲性を保持したまま加減圧による内層樹脂の変形を抑制する補強方法、あるいは疲労耐久性に優れた内層樹脂の開発を進めており、一部はホース評価を行うレベルになっています。早急に加速耐久性試験法を確立し、引き続きホースメーカーと連携の上、高耐久性ホース開発に協力する予定です。コストについて、詳細は把握していませんが、同等レベルのコストとした場合、耐久回数を現状の30倍以上にすることを想定しており、1充填のコストは30分の1以下になるものと想定しています。</p>	<p>櫻井委員</p>
<p>資料5・(2-4)-④ 3頁</p>	<p>電気化学式水素ポンプについて、現行法ではコストが課題で、20MPaを上限にする</p>	<p>一企業で規制緩和の法改正を推し進めることは困難である。水電解でのJIMGA技術・保安部会 水素スタンドプロジェクトの例の様に</p>	<p>櫻井委員</p>

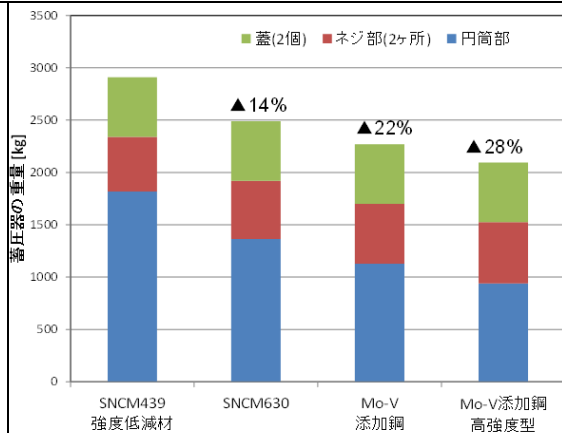
	<p>ならば商品化の可能性があるとあるが、現行法を緩和することを選択できない理由を教えてください。また、事業開始時の商品性のチェックはどのように行われたのかも示してほしい。</p>	<p>関連団体が各メーカーの意見を取りまとめ、規制緩和案を作成して頂くことが必要であると考えます。</p> <p>商品性のチェックについて、電気化学式水素ポンプシステムユニットは想像できたが、スタックについては、東レが実施した前事業の1Nm³/h×40MPaのスタック製作コストから大型化及び高圧ガス保安法対応を想定した。開発要素がなく製作できる様になると十分に商品化できる見込みがあると考えた。</p>	
資料5・(2-4)-② 1頁	<p>水素輸送可能量は45、95MPaとも300kgとあるが、需要最大時のトレーラー輸送代だけで1台当たり、それぞれ622、925円/kgとなっており、高価である。50%コストダウンによって、FCV用水素燃料価格を達成できるように表は作成されているが、この50%コストダウンの実現性について、説明が必要である。</p>	<p>50%という数値は、現状のステーションのコスト削減目標にあわせて、試算の前提として設定したものです。試算の結果、ステーションとともにトレーラーも50%の削減が必要、との結論となり、実現のための課題として抽出されました。この結果を、つぎの具体的な削減策検討につなげていただけるものと考えております。</p>	櫻井委員
資料5・(2-4)-② 3頁	<p>前提としてステーション能力の70%稼働とあるが、70%稼働するための充填スケジュール、つまり24hで何時に何台をいくつのレーンで充填を行うのかを示し、70%稼働が可能であることを具体的に示してほしい。</p>	<p>70%は、経産省殿の研究会等で稼働率の最大値として従来から認識されている(100%はあり得ないという意味で)とのことから、前提として設定させていただきました。それが現実にFeasibleなのか、稼働率の具体的な検討は、別のPJで扱われていると伺っています。</p>	櫻井委員
資料5・(2-4)-③ 3頁	<p>高圧水素蓄圧器への鋼材適用の可能性を、水素環境下で評価しているが、これ以外の評価項目にはどのようなものがあるのか。それらの項目試験はどのように実施する予</p>	<p>焼入れ性評価を目的とした硬さ試験に加えて、低合金鋼製蓄圧器の技術文書¹⁾に準拠して、疲労特性評価を目的とした疲労試験、水素環境下の疲労き裂進展特性評価を行う予定です。また、高圧水素ガス環境下における遅れ破壊評価は、水素助長割れ下限界応力拡大係</p>	櫻井委員

	<p>定か。特に、 006_06_00.pdf (meti.go.jp)の P6 にある遅れ破壊の評価について、将来の東南アジアへの輸出の観点から教えてほしい。</p>	<p>数 K_{IH} の測定により行う予定です。K_{IH} の測定方法はいくつか提案されていますが、過去 NEDO 事業²⁾で水素蓄圧器の評価方法として検討されたライジングロード試験の実施を検討しています。ライジングロード試験は遅れ破壊評価方法として一般的であるものの 1000h 以上要する定変位遅れ割れ試験と同等の K_{IH} が得られる可能性が示されており、定変位遅れ割れ試験の簡便法としての有効性が確かめられています。ご質問の遅れ破壊評価では、高温多湿環境での水素侵入を想定されていると思いますが、吸蔵水素濃度を大気中と高圧水素ガス環境下(引用文献の場合は 98MPa, 本事業では 85MPa 以上を想定)とで比較した場合、後者の方が圧倒的に高い水素濃度となり³⁾、より厳しい評価であると推察されます。よって、高圧水素ガス環境下での評価を満足するならば、高温多湿環境での水素侵入により遅れ破壊が起こる可能性は低いと考えております。</p> <p>参考文献</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 一般財団法人石油エネルギー技術センター：水素スタンドで使用される低合金鋼製蓄圧器の安全利用に関する技術文書, JPEC-TD 0003, (2017). 2) NEDO：平成 25 年度～平成 29 年度成果報告書 水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発, (2018)p.38-57. <p>大村朋彦ら：大気および高圧水素ガス環境を模擬した低合金鋼の水素チャージ法, 鉄と鋼, Vol.100, (2014) No.10.</p>	
<p>全般</p>	<p>整備費、運営費について、事業スタート時、2020年中間評価時、2022年事業終了時の見込みを、2025年の目標に関し</p>	<p>今後の効率的な事業推進のため、今年度末までの進捗値を示し、全事業者と共有をしながら、事業を継続していきたいと思ひます。</p>	<p>櫻井委員</p>

	て、項目ごとにコスト低減の効果を棒グラフ等でわかりやすく示すべき。これから、目標に近い項目、注力すべき項目、相当努力が必要な項目等の整理に使えると考える。		
事務局への質問	全ての実施事業のうち、今回の発表される事業はどのように選定されたのでしょうか？口頭説明の必要性、重要度や達成度等基準があればご教示下さい。	現時点での重要と考えているテーマを選定しました。規制の見直しの2テーマに関しては、3年で結果を出す設定としたテーマであり、成果報告の観点から選定しました。研究開発のシール事業に関しては、国際協調のスピードが早いため、トピックスとして公開にて報告したほうが良いとの点から選定しました。	原田委員
資料7 成果詳細(15)	保安監督者兼任追加要件「週1回以上の巡視、24時間以内の駆け付け」につき、24時間以内が妥当とした根拠を教えてください。また、兼任上限数の4箇所は同一または同系列の会社等の制限はありますか？例えば電気主任技術者の兼任要件は同一または同系列の会社の上限6箇所、また、駆け付けは2時間以内となっています。	常駐している準保安監督者として認められた従業員が異常に対して対応し、その上で（保安監督者が兼任先にいる場合などは）保安監督者が速やかに駆けつけることが原則です。しかし、保安監督者が離れた場所に外出している場合などを想定した場合、保安監督者の駆け付けに関しては、異常の連絡を受け、離れていても速やかに赴くことが望ましく、当初『その日のうちに』と考えましたが、夜間の異常覚知のことを勘案し、『24時間以内』としました。兼任数に関する事業者の質問に関しては、製造許可を受けた事業者が管理する複数の水素ステーションの中での兼任となります。保安監督者はその事業者の従業員です。	原田委員
資料7 成果詳細(17)	ガス事業法のCNG充填設備のルールを適用するにあたり制定される技術指針において、現状想定している主たる課題をご教示下さい。	現在、検討を実施中ですが、下記事項が課題として想定されます。CNG充填設備のルールを適用するに当たっての課題は、水素の昇圧供給装置をガス工作物に認可していただくこと、CNGと同様に水素に対応した「昇圧供給装置技術指針」を策定することと考えています。この技術指針制定の課題としては、低コストでコンパクトな設備仕様と保安の確保を両立させることではないかと考えています。	原田委員

<p>資料7 成果詳細(41～42)</p>	<p>(1)～(4)の各項目につき、ロードマップ目標圧縮機コスト0.9億円→0.5億円への低減に対し、どの程度の効果が見込めるのかをご教示下さい。</p>	<p>ロードマップの目標コストは詳細試算の積み上げで算出されたものではなく、また今回の成果による機器コスト低減に関しては開示頂けないため効果の算定は難しい。本事業の取り組みによって新たに使用できるようになる材料は従来規定されたものよりも本質的に低コストであるが、効果が発現するには一定数量の利用など利用状況にも左右される面がある。また、従来規定された材料は水素ステーションに特化された特殊仕様となっていることから入手、納期の面でも問題が一部存在するが、これに対しても改善効果が期待できる。更に、本事業の取り組みにより、今まで事前審査不可であったものが可能になる、事前審査が必要であったものが一般申請で通るようになる可能性がある、など材料費以外の効果も期待できる。</p>	<p>原田委員</p>
<p>資料7 成果詳細(82)</p>	<p>ガイドラインのうち今後実際に国際標準化され、ISO等に反映できる可能な項目はどのようなものが想定されますか？</p>	<p>現状で国際標準化が想定できる項目は以下のようなものが一例として挙げられます。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 配管取合形状・口径 • 制御信号（取合形状、通信規格） <p>ディスペンサー及びコンポーネント、充填コネクタ、充填プロトコル等について、既に国際標準化が進められており、上記のような標準化項目もこれらと整合しながら進めていく必要があります。</p>	<p>原田委員</p>
<p>資料7 成果詳細(120)</p>	<p>タイプ2蓄圧器の検査方法としてAE法の適用が可能になった場合、検査は例えば営業時間内、または夜間等非営業時間内で可能となり、休業日は一切必要なくなる、という理解でよろしいでしょうか？</p>	<p>AE法による定期自主検査は営業時間内に実施するので、検査による休業は不要です。</p>	<p>原田委員</p>
<p>資料7 成果詳細(126)</p>	<p>CFRPの疲労設計の方法論は確立していないということですが、当研究の成果は水素蓄圧器以外の機械設備等の評価、使用寿命長期化にも応用可能ということでしょうか？</p>	<p>CFRPの炭素繊維と樹脂を区分するマイクロモデルが適切に設定できる部材であれば本研究の成果を適用して寿命予測できると考えています。</p> <p>代表的なCFRP構造としては、航空機機体やジェットエンジンファ</p>	<p>原田委員</p>

	その場合、どのような製品が想定されますか？	ンブレードなどがあります。 これらは CFRP 積層構造となりますが、各層ごとには繊維配向が同一で炭素繊維がほぼ均等に配置されておりますので容易にマイクロモデルの設定が可能で、それに基づき各層の疲労寿命を予測し、それらを統合して部材全体の寿命予測が可能と考えております。	
資料7 成果詳細(159)	選定された新規シール部材は具体的にはどのようなものですか？ 汎用品でしょうか？	高圧水素バルブグランドシール用樹脂部材について「選定された新規シール部材」は高圧水素環境下での水素侵入特性、水素透過特性、摩擦・摩耗試験を実施し、入手可能な候補となる樹脂材料の中から選定した素材です。選定した材料の特性に基づいて新規シール部材の設計を進めております。 0 リングに関しては、耐高圧水素用に開発された実用材とゴム配合が明示可能なモデル配合材を選定して評価を進め、本事業に参画するシール部材メーカーおよびシール部材ユーザーであるバルブメーカーと結果を共有しています。	原田委員
資料7 成果詳細(180-187)	充填方式を現行のテーブル式から MC-F、Phase 1、Phase 2 と改善する場合、制御ソフトの変更や機材等どのような投資が必要でしょうか？そのためのコストはどのくらい生じるのでしょうか？	MC-F 対応には、制御ソフトの変更に加え、水素温度を測るセンサの二重化が必要です。新設ステーションの場合、温度センサ 1 個追加に 10 万円程度追加費用がかかります。既設ステーションの改造では、センサ、配管機器、配線、変更申請、ソフト改造等で 100 万円程度かかる可能性があります（設備構成によって大きく変動する可能性あり）。 Phase1 対応は、MC-F からのソフト変更がメインですが、温度センサを 1 個追加する必要が生じる可能性があります（10 万円程度）。なお、Phase1 で Phase2 相当のプレクール温度を達成見込みです。	原田委員
資料7 成果詳細(219)	タイプ I 蓄圧器に各々の候補鋼を適用した場合、ロードマップ目標蓄圧器コスト 0.1 億円への低減に対し、それぞれどの程度の効果が見込めるのかをご教示下さい。	ロードマップ記載の 2016 年の蓄圧器コスト 0.5 億円は、一般的な 300L×3 本にラックや弁・配管といった付属品を含む蓄圧器ユニットのコストと理解しております。 試設計の結果から、SNM630、Mo-V 添加鋼および Mo-V 添加鋼高強度	原田委員



材料		肉厚 [mm]	外径 [mm]	高圧水素蓄圧器重量 [kg]		
種別	引張強さ [MPa]			ボディ	蓋(x2)	合計
SNCM439 強度低減材	880	49	398	2,430	570	2,910
SNCM630	1080	38	376	1,920	570	2,490
Mo-V 添加鋼	1200	32	364	1,700	570	2,270
Mo-V 添加鋼 高強度材	1400	27	354	1,524	570	2,094

型で蓄圧器一本あたりでそれぞれ約 0.4、0.6、0.8 トンの重量減と予想されますので鋼材コストだけを見ればたかだか十数万円～数十万円の削減です。

しかし、薄肉化による設計・製造の自由度の増大も考慮すると蓄圧器本体で 3 割程度はコスト低減できると期待して、現在 2020 年度から始まった研究開発で JRCM が調査検討しております。ロードマップの 0.1 億円を実現するためには鋼材開発とそれに対応した加工技術の検討に加えて、さらなる規制緩和が必要と考えられますので、この点も併せて JRCM が調査検討を進めています。

補足

- ① 現在の Type1 蓄圧器の相場は 300Ltr.@82MPa で 600～750 万円と言われております（富士経済『2020 年版 水素利用市場の将来展望』）。よって 3 本で 0.18～0.22 億円。残りはラックや付属品と推定します。
- ② 鋼材使用量は左図および表から読み取れます（プレゼン資料に掲載。事業原簿には白黒で貼付けて居ます）。
- ③ 鋼材の単価は、例えば鉄鋼新聞のウェブサイトに掲載の情報によると、機械構造用炭素鋼鋼管でトン 12 万円程度、冷延ステンレス鋼板が 36～37 万円なので、低合金鋼はその間（どちらかという炭素鋼に近いはず）でトン十数万～20 万円程度と推定しました。
 ということで、 $0.4 \text{ トン} \times 3 \text{ 本} \times 20 \text{ 万円} / \text{トン} = 24 \text{ 万円}$ ～ $0.8 \text{ トン} \times 3 \text{ 本} \times 20 \text{ 万円} / \text{トン} = 48 \text{ 万円}$
 ただし、これは鋼材重量の増減に掛け算する単価です。実際の鋼材コストは引き渡しの形態（鋼塊なのか接手無鋼管なのか、など）によっても変わると思われます。

資料 7

Covid-19 の影響による開発遅延とは具体的

スタック製作を海外メーカーに外注していたが、C0.8 トン×3 本×20

原田委員

<p>成果詳細(229)</p>	<p>にどのようなものですか？今後も影響が見込まれているのでしょうか？</p>	<p>万円＝4 ovid-19の影響により海外（欧州・中国）での加工の大幅な遅れやサプライヤーからの部品供給の滞りにより、スタック納入が5ヶ月ほど遅れ、2020年度の82MPaスタック開発にも影響が出た。海外メーカからの納品は全て完了しており、今後については直接的な影響は無いと考えている。</p>	
<p>資料 5 1-(1) P24</p>	<p>保安監督者兼任の要件として、準保安監督者の配置（常駐）が挙げられています。①無人化と③兼任は個別のテーマながら、その成果は影響します。準保安監督者の常駐により無人化の効果は薄れますが、駆け付け要員の活用等代替措置による常駐回避の可能性はありませんでしょうか。</p>	<p>③保安監督者兼任の要件の検討は、有人のステーションを前提としたものなので、（資格を有さない）準保安監督者の常駐という要件となりました。①の無人化は省令化され実施可能となりました。次のステップとして、遠隔監視ステーションにおけるハード・ソフトの存在の下、保安監督者の兼任を可能とする要件について、③の検討結果も活かし、現在検討中です。</p>	<p>松岡委員</p>
<p>資料 5 1-(1) P21</p>	<p>RAの再実施による設備構成の簡素化は設備コストの低減に寄与するものと理解しますが、これらの見直しによる削減効果は如何ほどでしょうか。また、リリース弁の不要の条件としてばね式安全弁が挙げられていますが、少量吹き出し量の安全弁は製作可能でしょうか。</p>	<p>本検討による安全対策設備の削減による具体的なコスト低減額については、メーカーや事業者により異なるので明確にはできませんが、各項目の部品削減と工事費減で夫々数十万～数百万円の範囲ではないでしょうか。また、運営コストではありますが、設置後の保安検査等の検査費用も軽減できます。圧力リリース弁を不要化可能とする安全弁は、現行設備に設置されている仕様のもので、吹き止まり圧が適正に設定され、ベント放出方向が上向きであれば敷地境界における水素拡散濃度が危険状態にならないことをシミュレーションで確認しました。</p>	<p>松岡委員</p>
<p>資料 5 1-(1) P26</p>	<p>家庭・小規模事業所等での水素充填の意義が疑問ですが、どのようなニーズ想定によるものでしょうか。</p>	<p>カーメーカーの心配は、水素ステーションが十分に整備されていない地域などでの、残ガスが少なくなってきた場合の対応です。ディーラー等の小規模事業所で水素充填が可能になれば、FCV普及の一助になることが期待されています。また、水素ステーションが近隣にない一般家庭においても水素充填が可能になり、FCVの普及につながると考えております。</p>	<p>松岡委員</p>

<p>資料 5 2-(3)-① P1</p>	<p>目標値が、ページにより充填回数 15,000 回であったり 30,000 回となっていますが、目標設定の考え方を、研究開始時の実力値と併せて教えて下さい。</p>	<p>P1 に記載しておりますのは 2020 年度の間目標です。2020 年度の間目標として「継手部材、シール部材の耐久性を、水素ステーションにおける充填回数 15,000 回相当とする。」を設定しております。また、研究開発時の実力値は 2200 回としております。 2022 年度末における充填回数は、事業提案時点における FCCJ の見積もりによりますと、全ステーション平均で年間 12,000 回弱とされておりました。この見積もりに基づいて、繁忙なステーションではこの 2 倍程度の充填回数になる可能性があること、また、究極的には 2 年間程度ノーメンテナンスであることが望ましいことなどを勘案し、目標として FCCJ 見積もりの充填回数の 2.5 倍となる耐久充填回数 30,000 回と設定いたしました。</p>	<p>松岡委員</p>
<p>資料 6 成果詳細-(16)</p>	<p>図 15 の小規模充填設備モデルの検討は興味深いですが、モデルでは水素の供給は何を想定しているのか（水電解、小型 SMR、カードル？---それによってモデルも変わると思われる）。 また、Simple Fuel のようなシステムは想定しているのか。</p>	<p>各ユーザーへの水素の供給は、水素導管でのパイプライン供給を想定しております。そのためには、ガス事業者によるインフラ整備が必要になります。水素の製造方法は、大規模 SMR を基本としますが、各ユーザー元で製造する水電解（Simple Fuel のようなもの）、小型 SMR も視野に入れて検討しました。</p>	<p>丸田委員</p>
<p>資料 6 成果詳細-(49)</p>	<p>結果は水素チャージの可能性を示しているが、SNCM439 以外の鋼材（SCM435 や SUS 材）にも適用可能と考えられるか。一般化・汎用化のために、他の鋼材への手法適用の示唆が得られていれば教えてほしい</p>	<p>これは、①高温・高圧水素ガス中で水素チャージを行った後、②材料中の水素が脱離しないように水素を高圧に保ったまま温度を室温まで下げ、③水素の影響が比較的大きい室温の高圧水素ガス中で各種強度試験を行ったものである。すなわち、この方法を用いれば、水素圧縮機等で低合金鋼が高温・高圧水素ガスに曝される場合などを想定し、(i)水素チャージにより材料中に導入した「内部水素」と(ii)水素ガス環境中から試験中に材料中に侵入する「外部水素」の両方が存在する最も過酷と考えられる状態で、水素の影響を確認することができる。この手法自体は他の低合金鋼（SCM435 など）だけ</p>	<p>丸田委員</p>

		<p>でなく、オーステナイト系ステンレス鋼など、様々な材料の水素適合性の検討に応用可能である。しかし、オーステナイト系など材料中の水素拡散速度が小さな合金に対しては、上記②の手順を取ることなく同様の評価が可能であることから、本手法は低合金鋼など水素拡散速度が比較的大きい材料の評価に対して特に有効と考えられる。</p>	
<p>資料 6 成果詳細-(77) ~(79)</p>	<p>興味深い検討であるが、このような試算での一番の変動要因は FCV 普及台数と思われる。そのため、普及台数に関する別のシナリオや、あるいは台数による感度分析も必要と思われるが、実施しているか(結果の良し悪しに関わらず、分析しておくことは重要と思われる)。</p>	<p>FCV 普及台数の変動を考慮し、80%として感度分析を行うと、2030年度での ST 当りでのピーク台数は 5.8 台 (7.3 台/h×0.8=5.8 台/h) となり、1 レーンで対応可能になると推定されます。ただし、現行 ST 実績解析より時間当りの台数は±4%の標準誤差が最低でもあることからピーク台数が 6 台/h 以上となることもあり、1 レーンで対応出来ない可能性もあると考えております。</p> <p>ご指摘の通り、FCV 普及台数が変動要因となります。FCV 普及速度により 2 レーン ST の必要な時期は影響を受けるものの FCV 普及が進む前提であれば時期の変動はあるものの将来的に 2 レーン ST が必要になることは想定され、それを踏まえた効率的な水素 ST 整備は重要と考えます。</p>	<p>丸田委員</p>
<p>資料 6 成果詳細-(165) ~(166)</p>	<p>研究開発の本質ではないが、北米での実証における漏洩の確認方法と、漏洩を前提とした安全対策などの知見があれば、将来的な日本への適用(運用コスト低減)のための示唆としてまとめてほしい(最終報告までに)。</p>	<p>ご承知の通り、北米水素ステーションはユーザーがオペレートするセルフ充填で行われていますが、特に漏洩を前提とした安全対策が行われているようには見えませんでした。ステーションオーナーもステーションにおけるホースからの漏洩の経験から判断し、ホースからの漏洩が起こればホース自体の破裂 (rupture) が起こればではなくクラックからの微小な水素漏洩にとどまると判断しています。</p> <p>無人で運営され、不具合が発生した際にエンジニアを派遣して対応することから、漏洩箇所の特定が容易になるような対応として、高圧水素ホースを一回り大きいチューブ(特にホースの保護機能があ</p>	<p>丸田委員</p>

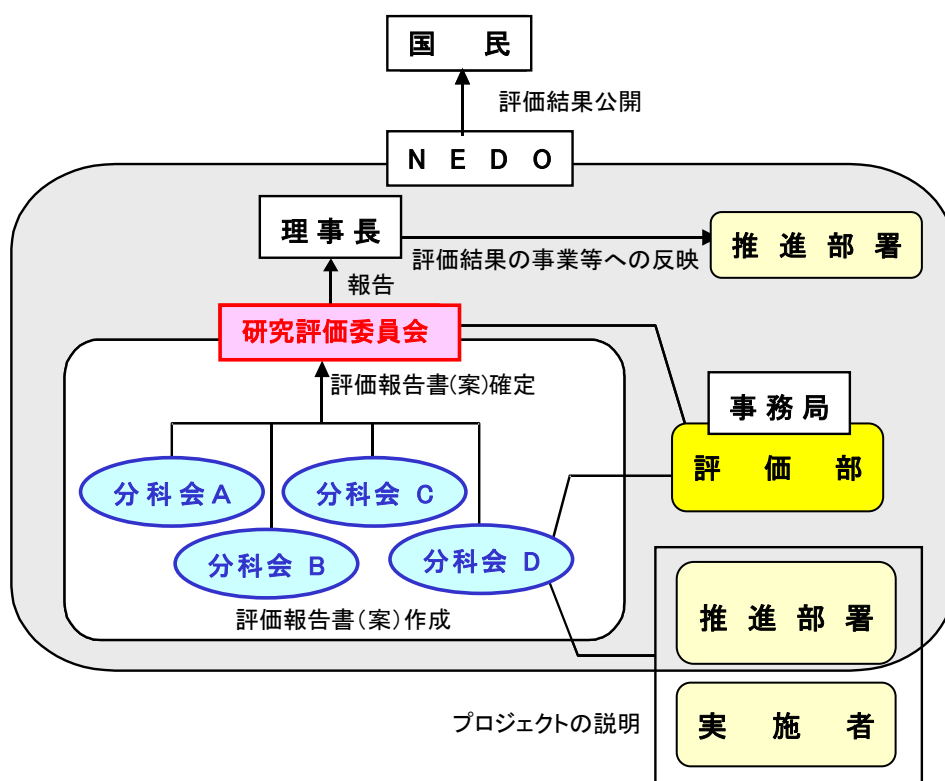
		<p>るとは思えないフレキシブルなチューブ)に入れて使用し、ホースから水素漏洩があった場合に、外側のチューブを経由してディスペンサのホース接続部に設置された水素センサーにホースからの漏洩として検知されるよう設定されていました。これによりホースからの漏洩と特定し、エンジニアの対応を容易にしているものと考えられます。</p> <p>その他、当事業による調査結果をまとめ、最終報告書に記載いたします。</p>	
資料 6 成果詳細-(224) ~(225)	課題の一つは耐久性と思われる。劣化モードなどの解析を行っているか。あるいは耐久性向上のための示唆が得られているか。	電気化学式水素ポンプでは、水電解と異なり、酸素が存在しないため、40MPa の耐久性評価においては効率悪化は見られておらず、電解質膜や触媒の化学的な劣化はほとんどないと考えられる。一方、シール材などの 80MPa 耐久性や圧変動に対する機械的耐久性については、課題抽出と改良が必要と考えられる。	丸田委員
資料 6 成果詳細-(237)	目標性能は高いが、水素透過膜を使っており、コストが既存システムよりも高いように思われる。基本構造から想定するに量産性はあるのかもしれないが、広く汎用にさせるためのコスト見込みはあるのか。	水素透過膜を用いた水素検知センサシステムは、従来センサシステムでは対応できなかった多湿環境下でも使用可能になること、さらに電池駆動による利便性の向上と併せ、より汎用性の高いシステムを実現することができるため普及効果によるコストダウンが期待できます。また、当社の顧客調査でもコスト的に見合うとの感触を得ています。	丸田委員
資料 6 成果詳細-(268) ~(273)	このような機構のシステムの課題の一つはコストである。開発目標には設定されていないが、実用化のためにはコスト見通しがあるとよい。	まずは、小型の水素ステーションをターゲットに研究開発を進めている。現状のステーション用コンプレッサーと同等コストを達成し、排熱を有効活用することによって運転コストを低減できると考えている。	丸田委員
資料 6 成果詳細-(328)	⑥が非常に気になる。スピード感をもって展開を進めており、潜在的なライバルとして動向を注意してほしい。	英語での調査のため、韓国については情報源に苦慮しているところですが、今後も注視してまいります。	丸田委員

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」に係る 評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図っているか。
- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。

「実用化」の考え方

当該事業の実用化とは・・・

- ・ 当該研究開発にて開発された試作品等の社会的利用（顧客への提供等）が開始されること。
例えば、Oリング、充填ホース、バルブなど
- ・ また、当該研究開発に係る規格や業界基準、試験法のドラフトが作成されて、業界団体等において検討が開始されること
例えば、規制の見直し、ISO、金属材料適用範囲拡大、材料（素材）開発などをいう。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>① 目標設定に関しては、整備費・運営費の削減等の目標は総合的なものであり、個々の要素が適切に構成され管理されることが必要ある。</p>	<p>① 各研究開発テーマの実用化により期待される水素ステーションの設置・運営費用削減効果について、実用化時期に留意しつつ横串を入れて整理し、政府目標との比較検討を行い、必要に応じて情報発信を行う。</p>
<p>② 本事業は、商用ステーションの設置と並行して技術開発を進めるという特殊性から、開発成果の反映にはスピード感が求められる一方で、将来に向けた着実な成果も求められる。また、開発項目の選定や開発スケジュールの的確な設定、さらには技術の公開・標準化によってコスト低減をはかるべきテーマか、独自性を保つことによって競争力を維持するべきテーマかの適切な選別等、NEDO のマネジメントに期待したい。</p>	<p>② 個々の研究開発テーマについて、ターゲットとする出口を明確にしつつ、テーマ設定やスケジュールの妥当性、知財戦略等、技術委員会等において検証し、必要に応じて見直しを行う。</p>
<p>③ 今後、国内外で水素戦略をリードするためには、知的財産権の出願・審査請求・登録を、競合国や競合企業との関係を考慮して適切に実施していただくとともに、</p>	<p>③ 研究開発成果が流出するリスクに留意し、適宜、事業実施者と知的財産権の出願要否を検討する。</p>
<p>④ 各国の R&D 情報を吸い上げ、新規アイデアの採択と率先実施等により、国際的に優位性のある技術やコンセプトの育成も行っていくことを期待したい。</p>	<p>④ 諸外国の水素ステーションに関する事業動向について、各国関係者との意見交換を継続的に実施し、最新情報の収集・分析を行う。また、技術委員会等を通じて、研究開発項目の追加等、柔軟な事業運営を行う。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>⑤ 製品の国内での社会実装に加え、国外へのインフラ輸出も視野に入れ、市場調査、競合技術評価、市場機会分析といった、世界市場の分析と国際展開に必要な戦略情報のさらなる収集が望まれる。</p> <p>⑥ 本事業への理解促進、支援の継続・拡大や水素ステーション事業化への産業界の意欲を維持・増大させるために、事業成果全体をまとめて、水素ステーションの設置費用・運営費用が政府などの目標に対してどの程度にまで到達／到達見込み／到達可能性があるのかを、必要に応じてわかりやすく示すことが望まれる。</p>	<p>⑤ 2020年度で終了予定であった「水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」を2年間期間延長し、本事業終了時まで継続的に世界市場や国際展開に係る情報の収集を行う。</p> <p>⑥ ①の再掲。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>⑤ 製品の国内での社会実装に加え、国外へのインフラ輸出も視野に入れ、市場調査、競合技術評価、市場機会分析といった、世界市場の分析と国際展開に必要な戦略情報のさらなる収集が望まれる。</p> <p>⑥ 本事業への理解促進、支援の継続・拡大や水素ステーション事業化への産業界の意欲を維持・増大させるために、事業成果全体をまとめて、水素ステーションの設置費用・運営費用が政府などの目標に対してどの程度にまで到達／到達見込み／到達可能性があるのかを、必要に応じてわかりやすく示すことが望まれる。</p>	<p>⑤ 2020年度で終了予定であった「水素社会に係る国際関連機関等研究・政策動向に関する調査研究」を2年間期間延長し、本事業終了時まで継続的に世界市場や国際展開に係る情報の収集を行う。</p> <p>⑥ ①の再掲。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長 森嶋 誠治
担当 塩入 さやか

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミューザ川崎セントラルタワー20F
TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162