

「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 | | | | | | | |
| | | | | ◆ 中間評価 | | | ◆ 事後評価 | |
| 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の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 |
| | 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、また時効硬化形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

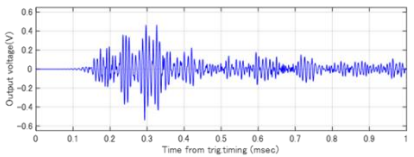
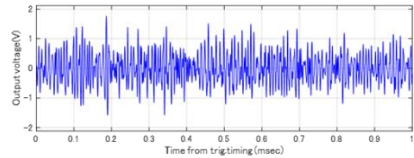
| | 用語 | 説明 |
|----|-----|--|
| 英数 | FCV | 燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。 |
| あ行 | 圧縮機 | 圧縮機とは、水素供給設備から供給された水素を昇圧する機器をいう。 |

| | 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ベースの一覧表。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 | 有機ヒドライド | 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 |

| | 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。 |
| | 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やの程度を表す指標。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。 |
| | 局所火炎暴露試験 | 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炎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年初期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・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度見直しを含む革新的プロトコルの見直しを得る。</p> <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>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> | <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> <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>革新的新規プロトコルの充填技術基準案を作成する。</p> |
| 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> <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> | 2019年度で終了済 |
| 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定である低合金鋼を特定する。</p> <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> | 2019年度で終了済 |
| 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> <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> | 2020年度で終了予定 |

| 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$^{\circ}$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\times50\times30cm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、分析の実施機関に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となる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

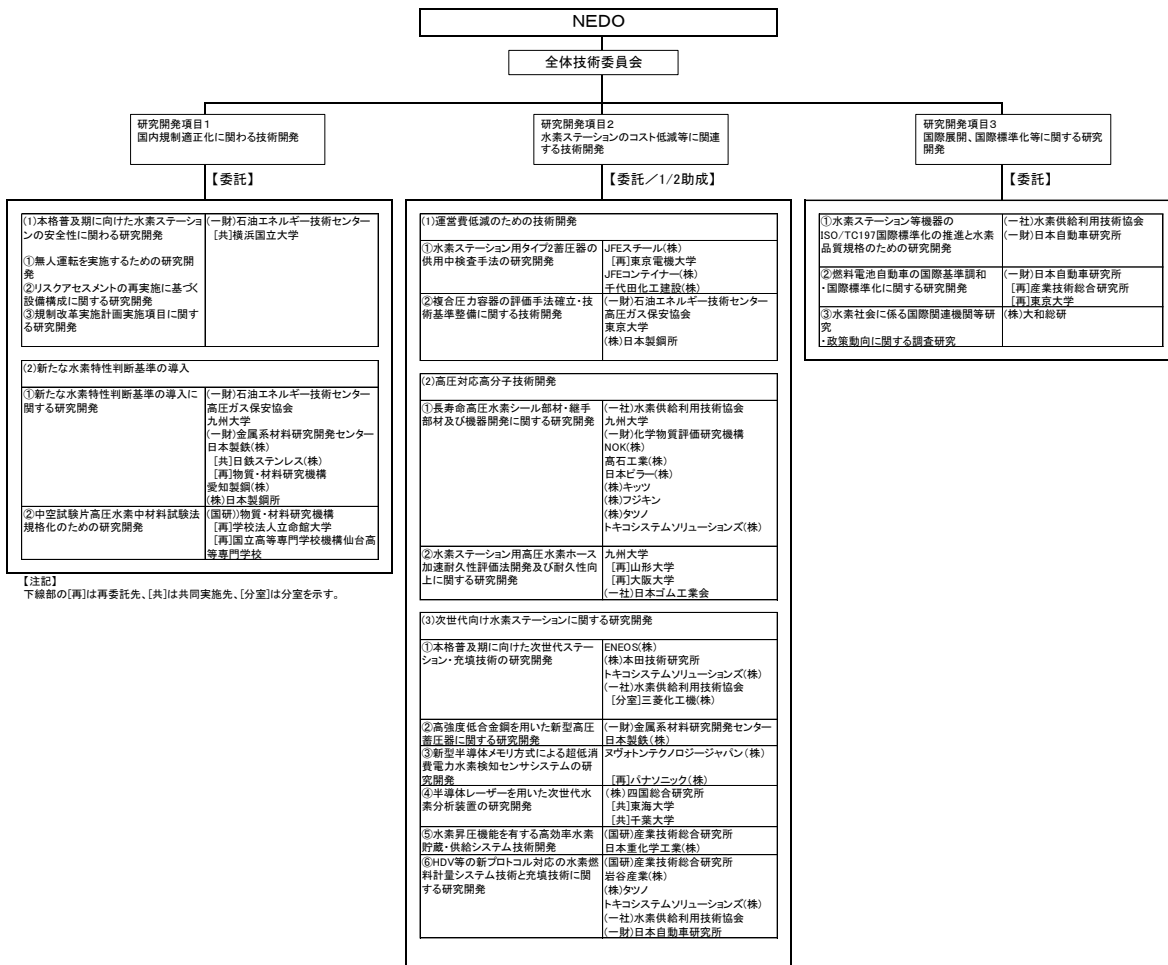
技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

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 高圧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。 | △ (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。 低温高圧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。 ・KHKS 0225 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。 | △ (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 | <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> |
| 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 | <p>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。</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」

| 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 | <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> |
| 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 | <p>・実用化・事業化のイメージ：</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>・当該技術を確立する見通し：</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>・波及効果</p> <p>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。</p> |

| 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。</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)「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) に関する技術基準案の見直し案 (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

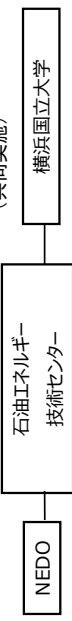
● 背景/研究内容/目的

- (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を構築し、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。

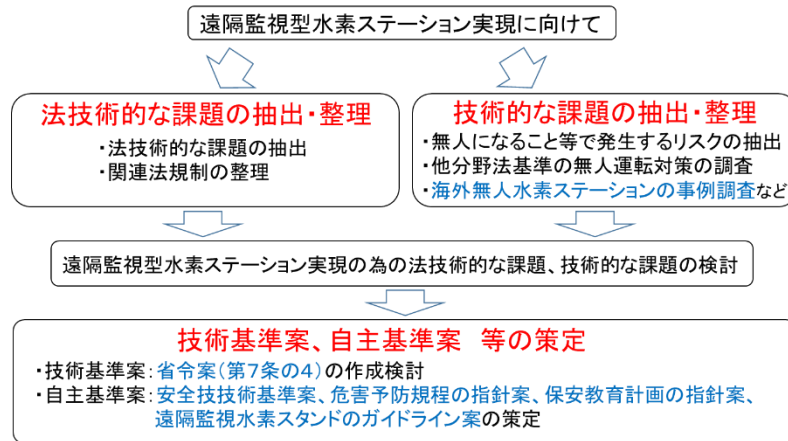


図1 無人運転を実施するための研究開発の検討スキーム

(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:○)

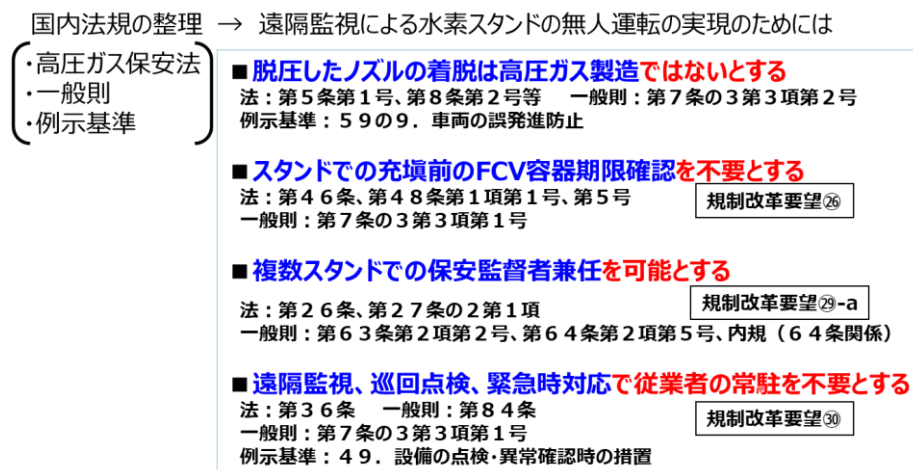


図2 水素ステーションの無人運転の実現に向けての法技術的な検討

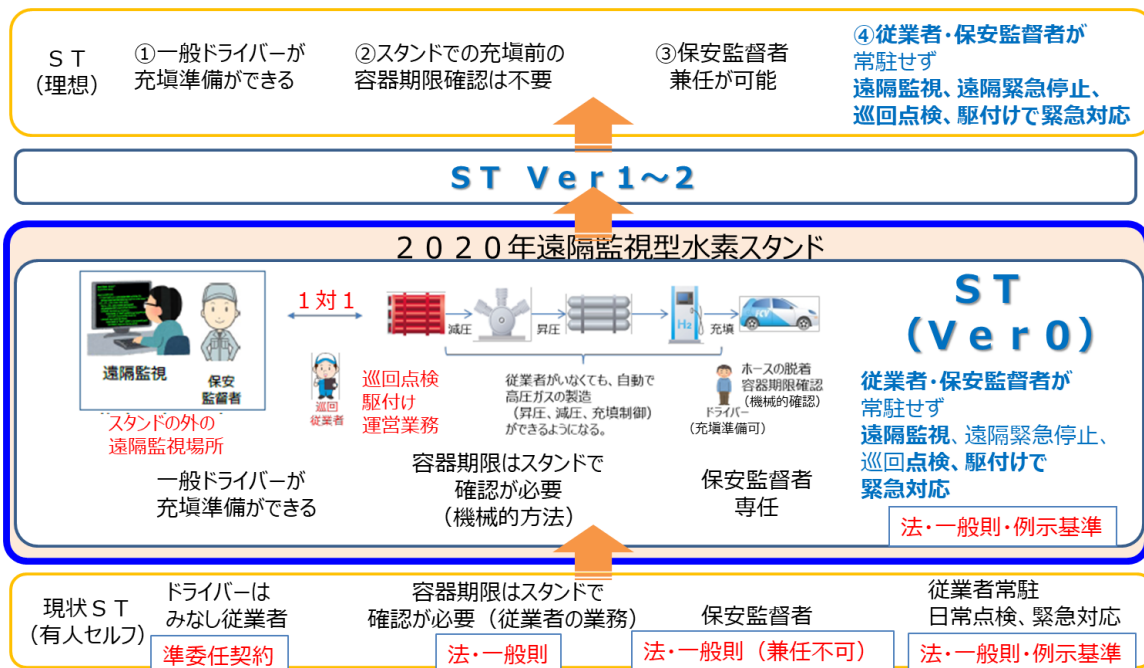


図3 理想の遠隔監視型水素ステーションに向けたロードマップ

(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。

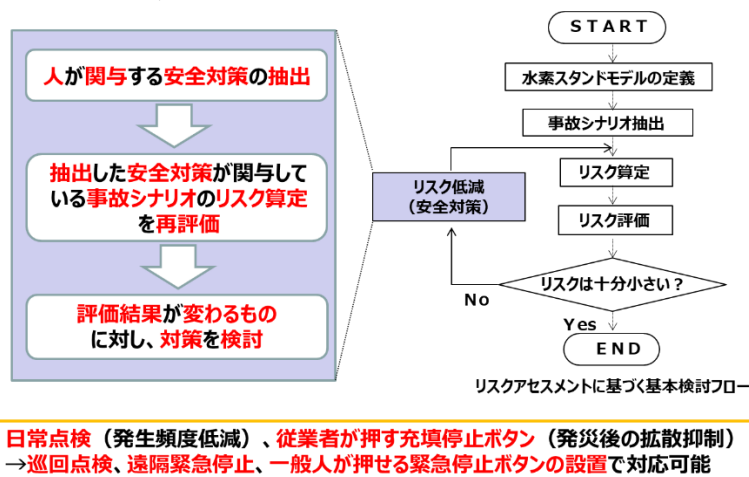


図4 人が関与する安全対策に関する検討

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】

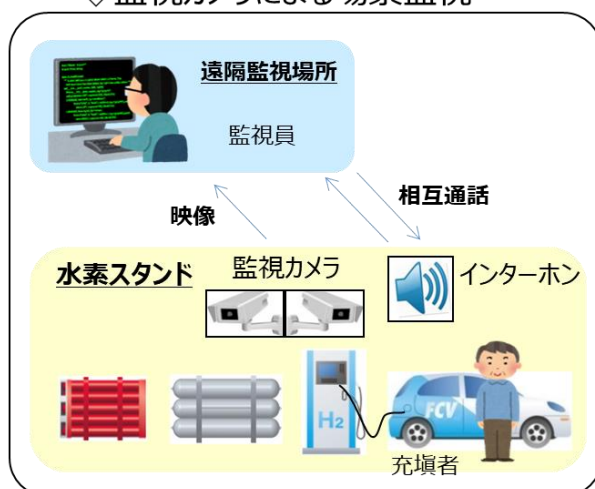
- ✓ カリフォルニア州においては、**遠隔監視による無人運転の水素スタンドが一般的**
- ✓ 巡回点検や緊急時対応の方法等、**法規制に無人運転に係る規定は無く、保安確保についての具体策は事業者自らが定め、自主的に実施**
 例：巡回点検や駆け付けを行う者への教育・研修を定期的を実施
 近隣消防と、緊急時対応の取り決めを行うとともに、スタンドの情報を事前に共有
- ✓ **遠隔監視による集中監視システム**は水素インフラ全体の運営費低減に寄与

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

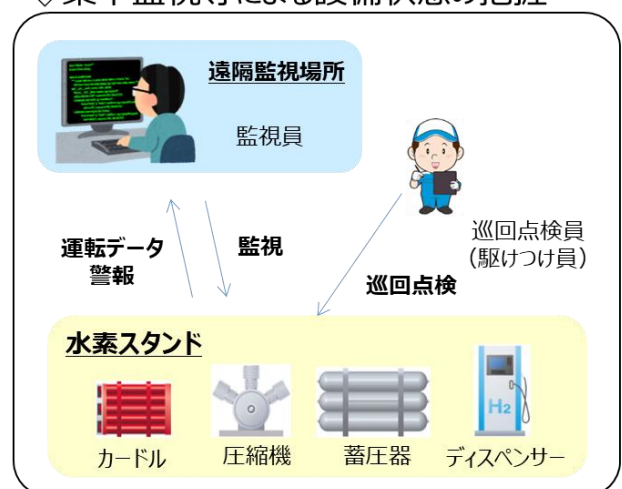


図6 従業員不在でも十分な監視体制の確保等により保安を維持する対策

※ 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填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）

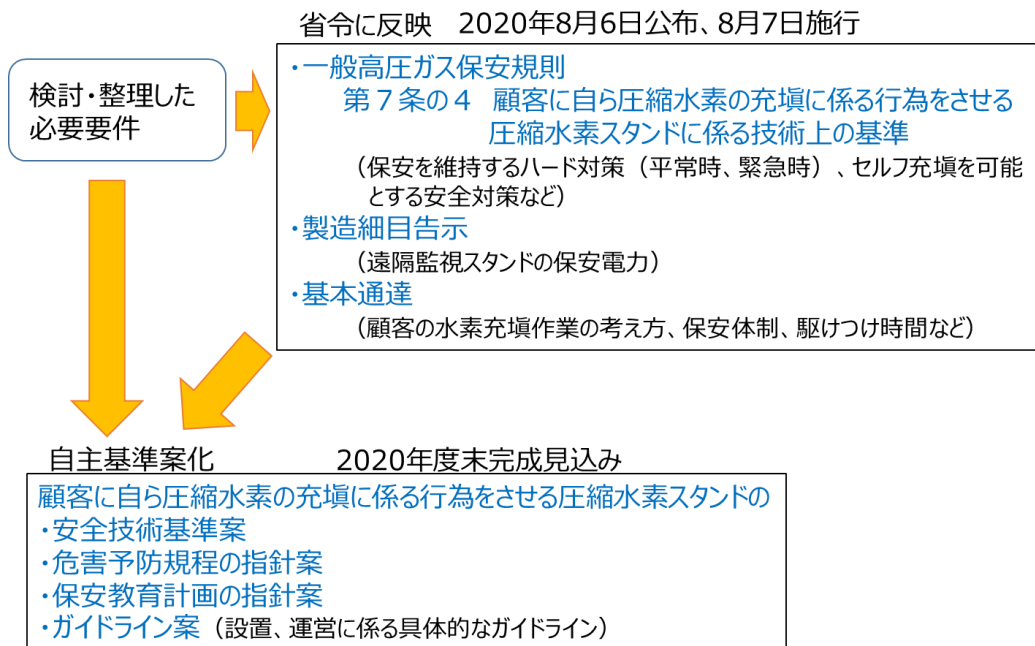


図8 省令化等と各種自主基準案の関係図

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

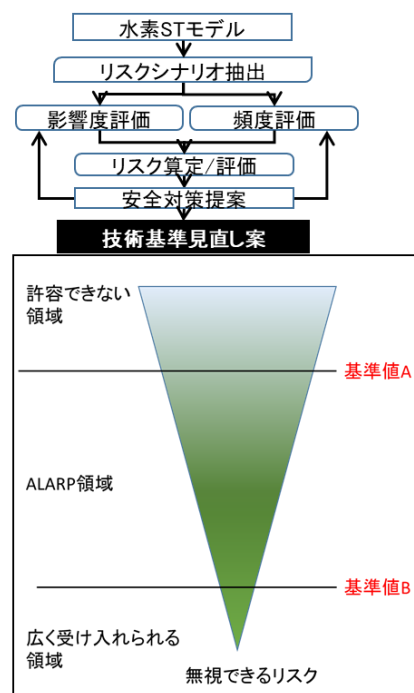


図9 今回実施のリスクアセスメントの考え方

表2 網羅的なリスクアセスメント

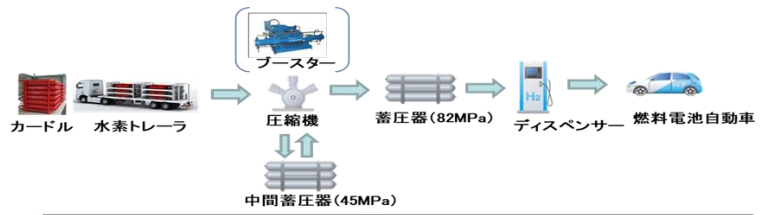
| | 事故のトリガーによるリスクシナリオの分類 | リスク分析手法 | | | 評価精度 | | | 対象となるリスクシナリオ |
|------|---|--------------------------|-------------------------------------|-------|------------|-----------|------------|--|
| | | リスクシナリオ特定 | 頻度分析 | 影響度分析 | 頻度評価 | 影響度評価 | リスク評価 | |
| 内的要因 | I 内的要因に起因する事故 ・機器故障 ・機器故障の連鎖 ・設計不良、施工不良 ・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 |
| 外的要因 | 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)

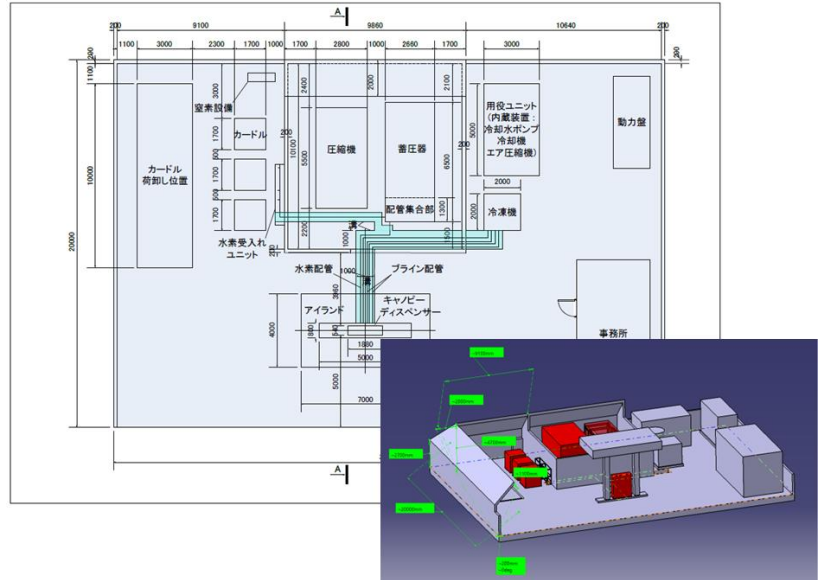
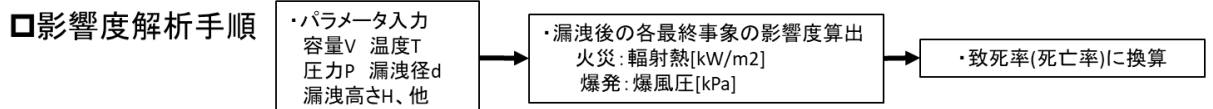


図10 リスクアセスメントの対象となるステーションモデルの構築

(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



□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

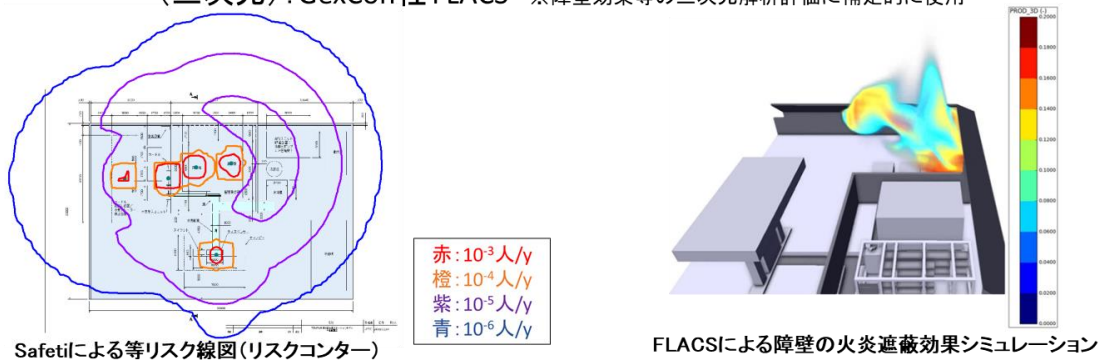


図11 漏洩頻度データに基づく定量的リスクアセスメント

□ 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、PHA-ST-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

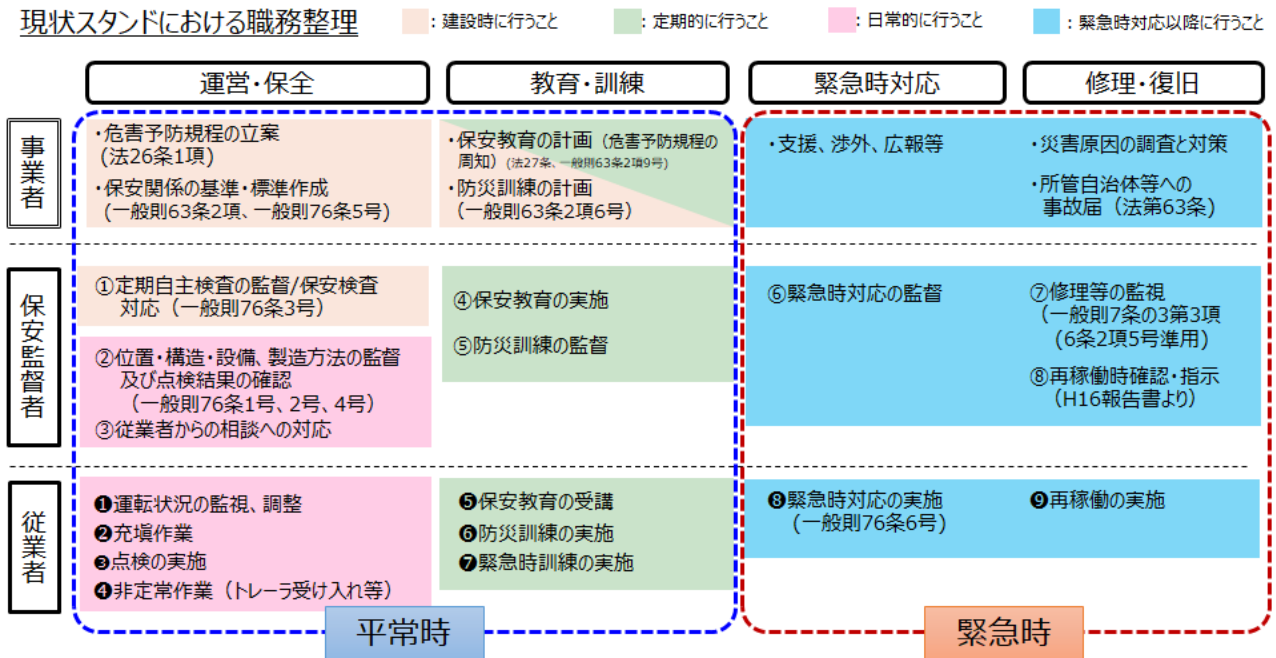
3. 1 研究開発成果、達成度

(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、従業員は異常を感知したら、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：○)

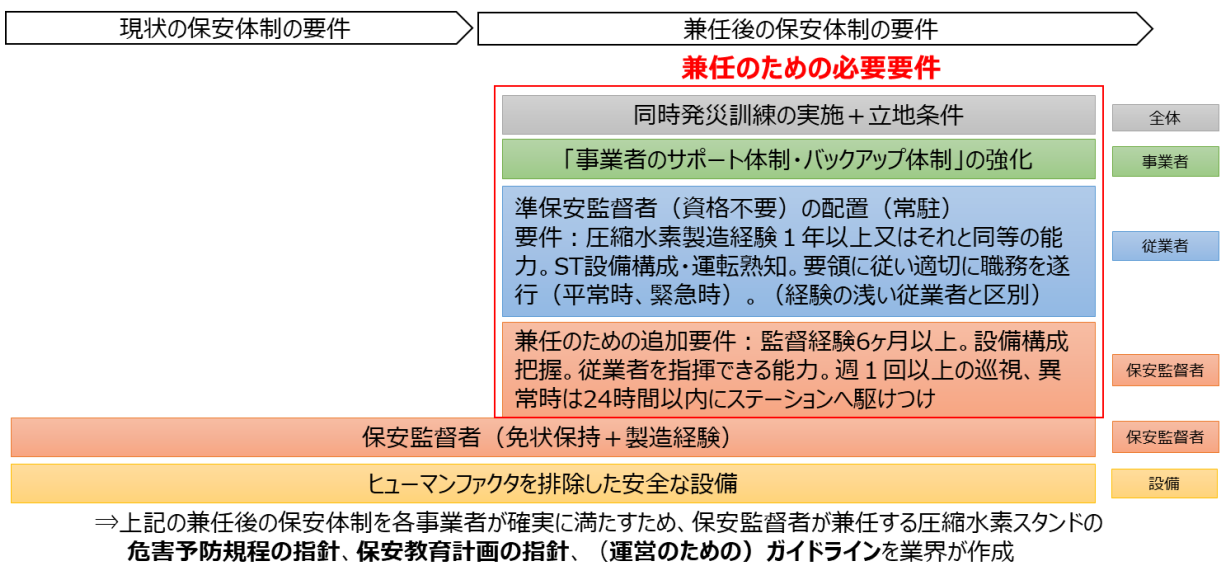


図13 保安監督者兼任のための必要要件

(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

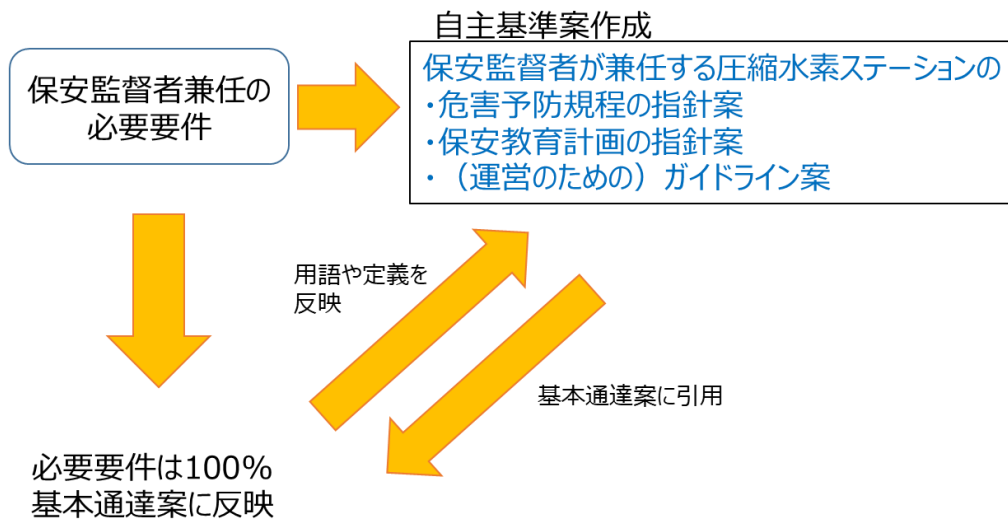


図1 4 各種自主基準案と基本通達案の相関関係

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：○)

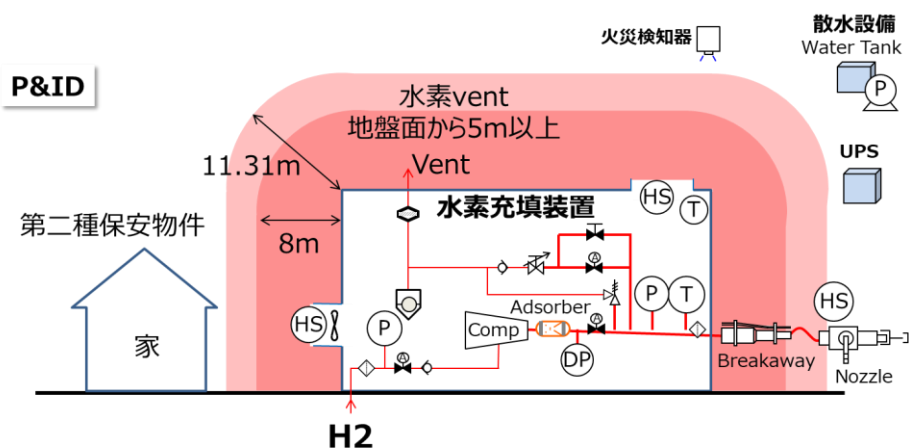
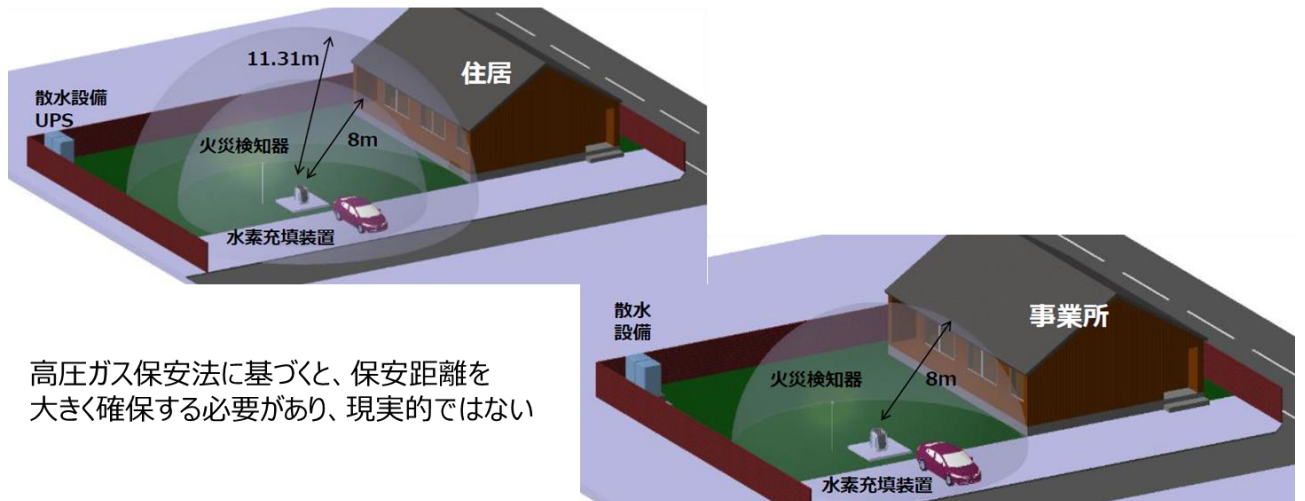


図1 5 家庭用小規模充填設備モデル

(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

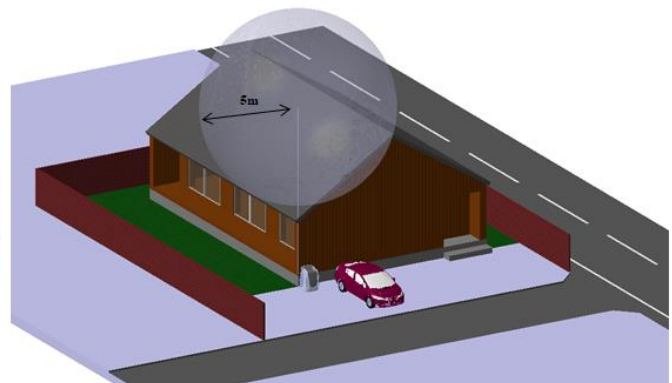
そこで、他の法規制等について調査し、ガス事業法で管理されている CNG 充填設備が非常にコンパクトであることを確認できた。このことから、この設備を規定する、ガス事業法、ガス工作物の技術上の基準を定める省令、ガス工作物技術基準の解釈例(天然ガス自動車用昇圧供給装置技術指針)を検討し、このルールの下で設置できれば、高圧ガス保安法に比べコンパクトな設置が可能になると考えられる。図17に示す。この場合、圧縮水素に関する技術指針の制定が必要になるであろうという課題を抽出した。(達成度：△も2020年度末達成見込)

ガス事業法のもとでの検討

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

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裏証し、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 | 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。 |
| (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 | |
| 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 | 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。 |
| 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。 |
| 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。 |
| (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 | |
| 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 | 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。 |
| 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压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压水素中での疲労特性の確認 | ○ |
| ②高压水素環境での試験 | <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 高压水素ガス中で 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 高压水素中 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%)の高压水素適合性試験(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高压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 高压水素ガス中で 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、高压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 高温高压水素ガス曝露により飽和した水素が室温・高压水素ガス中の 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。

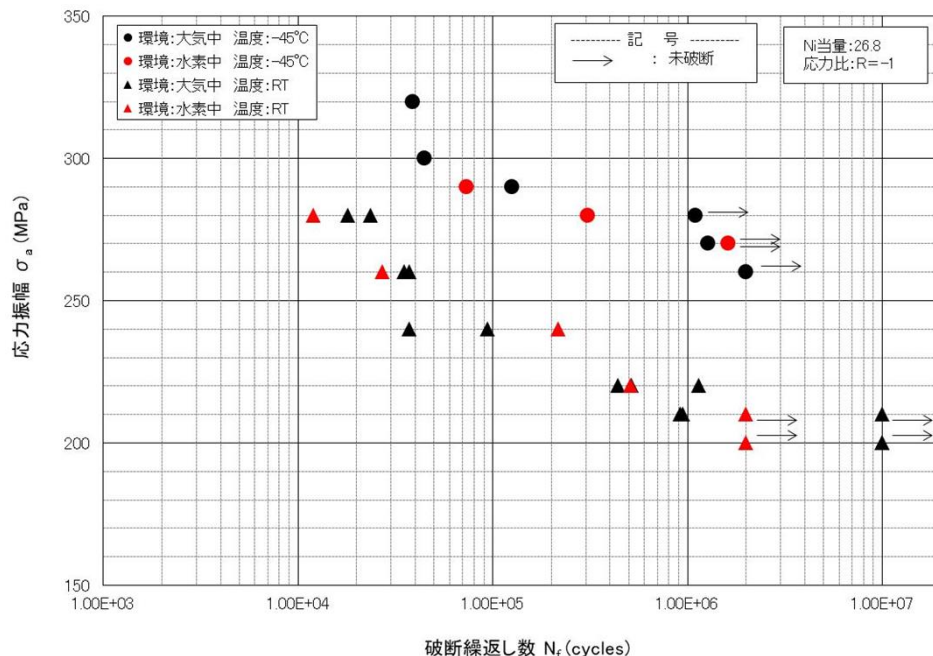


図 2 SUS316L (Ni 当量 26.8%) の疲労試験結果

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。

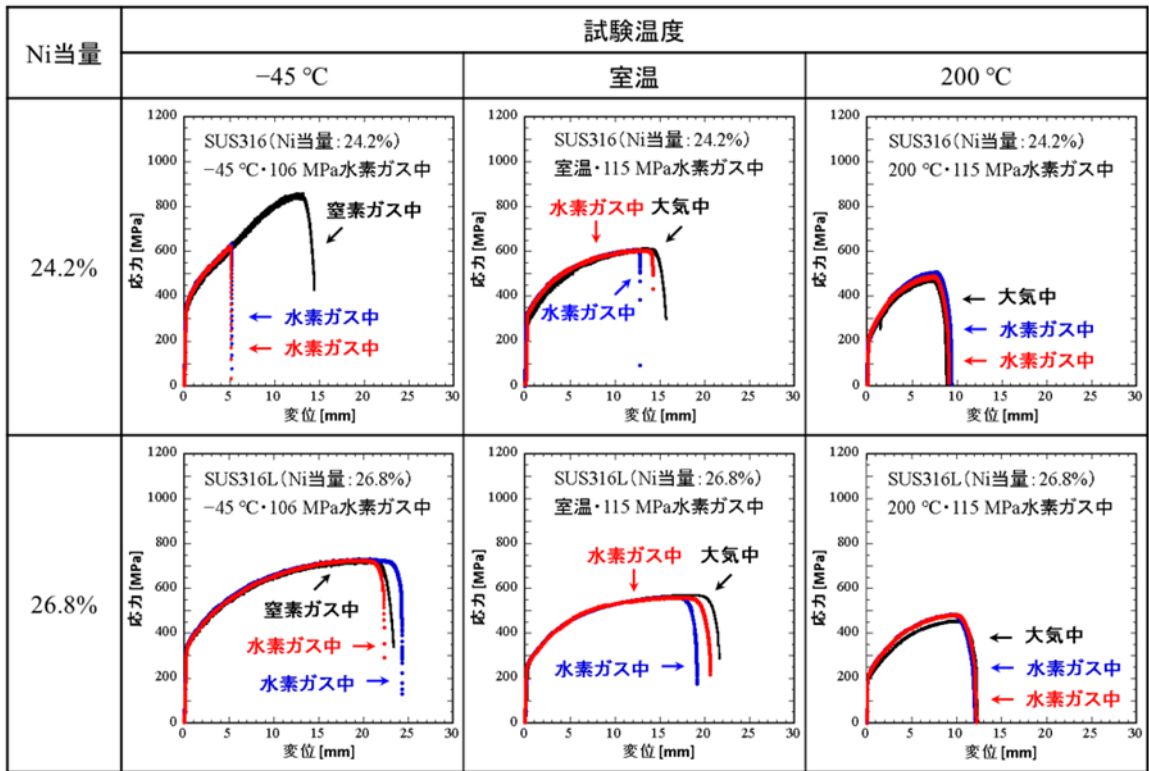


図3 汎用ステンレス鋼の高圧水素ガス中における SSRT 結果の例

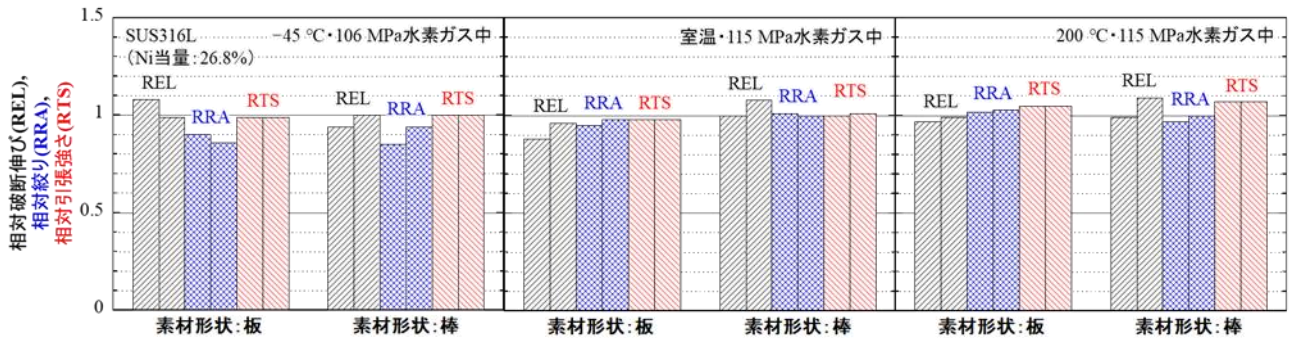


図4 耐水素特性に及ぼす素材形状の影響

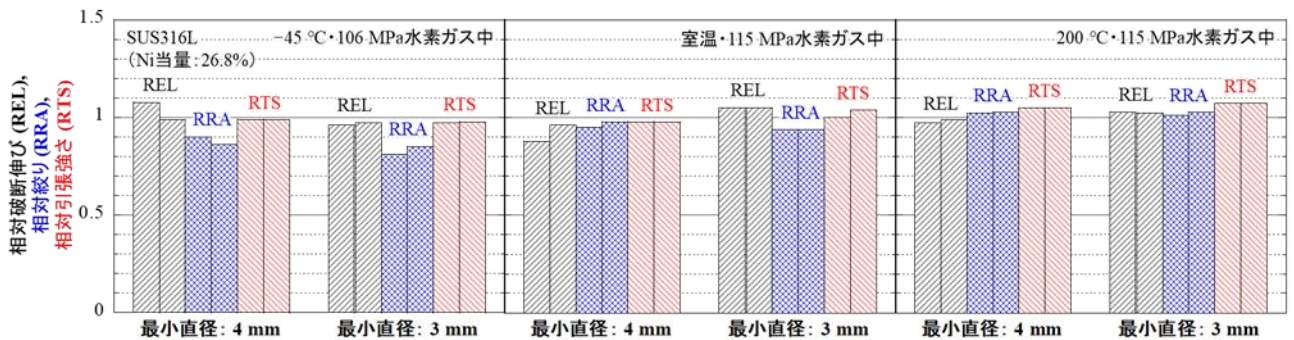


図5 耐水素特性に及ぼす試験片寸法の影響

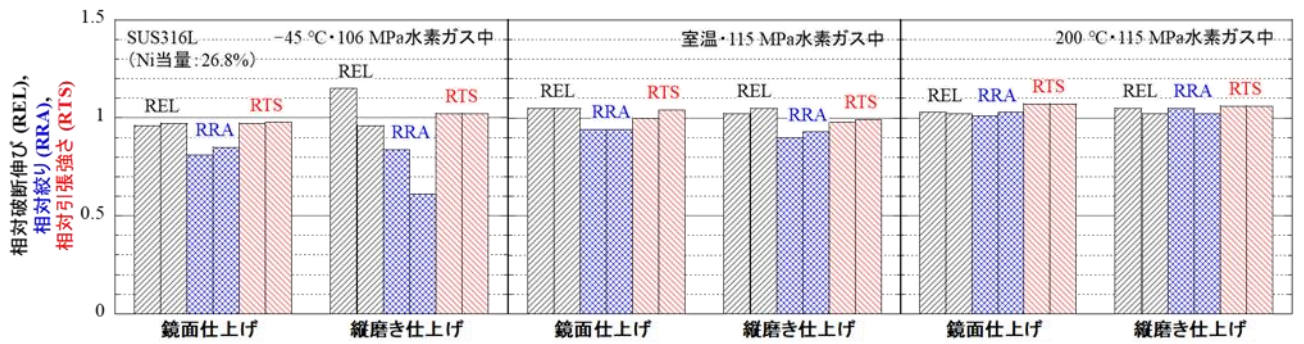


図6 耐水素特性に及ぼす試験片表面性状の影響

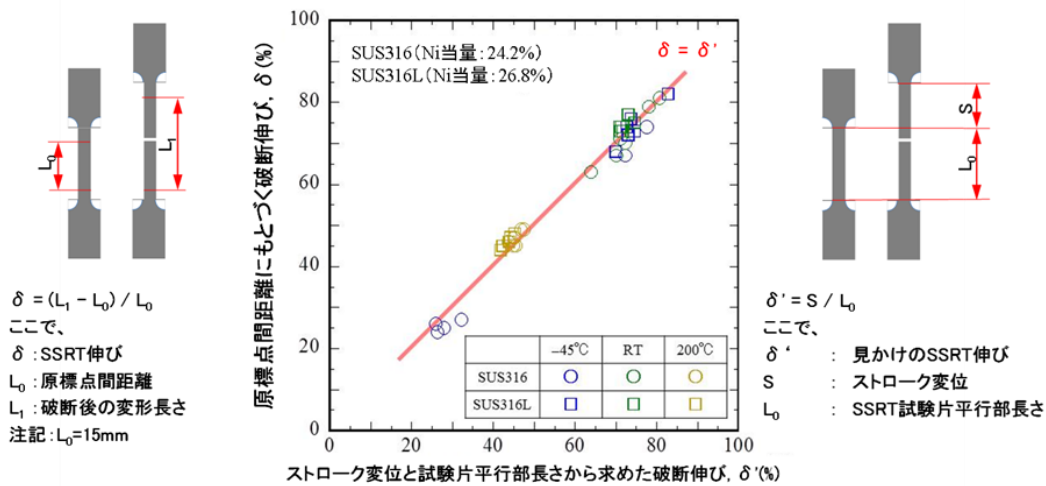


図7 異なる方法で取得された伸びの比較

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。

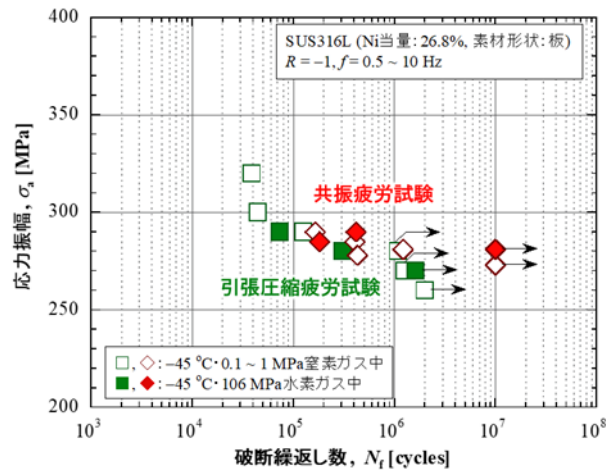


図8 $-45^{\circ}\text{C} \cdot 106\text{MPa}$ 水素ガス中での共振疲労試験結果 (SUS316L)

(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。

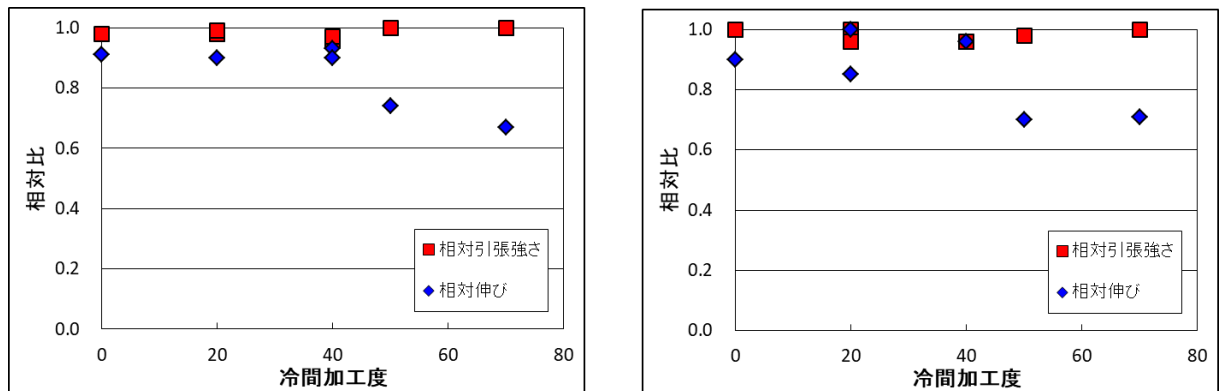


図9 低温 (-40～-45°C) における水素適合性に与える冷間加工度の影響

(a)左 : Ni 当量 28.6 (b)右 : Ni 当量 26.6、 $P_{H_2}=100\text{MPa}$

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。

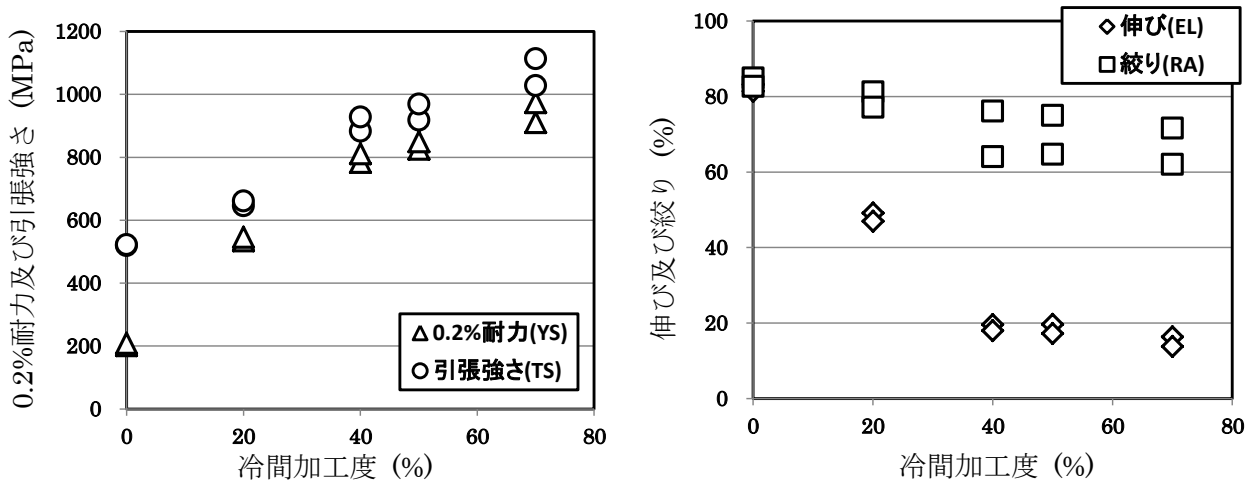


図 10 SUS316 鋼の常温引張特性に及ぼす冷間加工度の影響

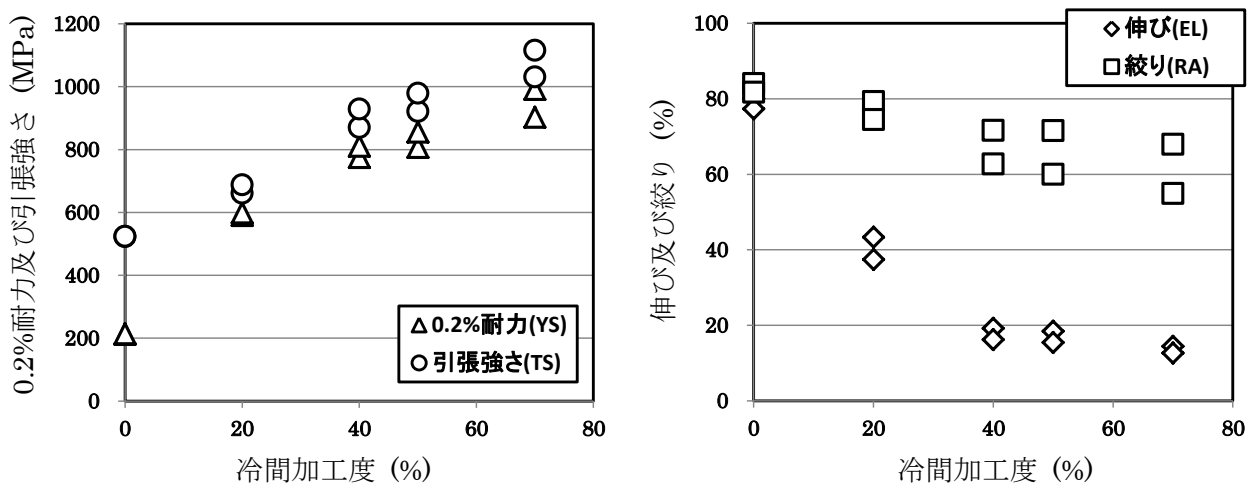


図 11 SUS316L 鋼の常温引張特性に及ぼす冷間加工度の影響

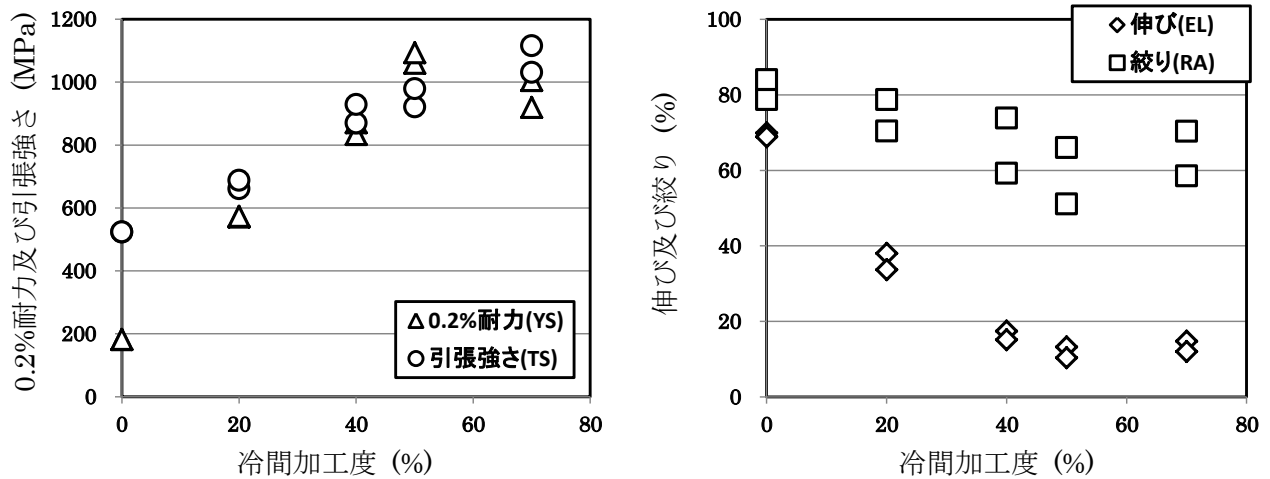


図 12 SUS304L 鋼の常温引張特性に及ぼす冷間加工度の影響

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 |

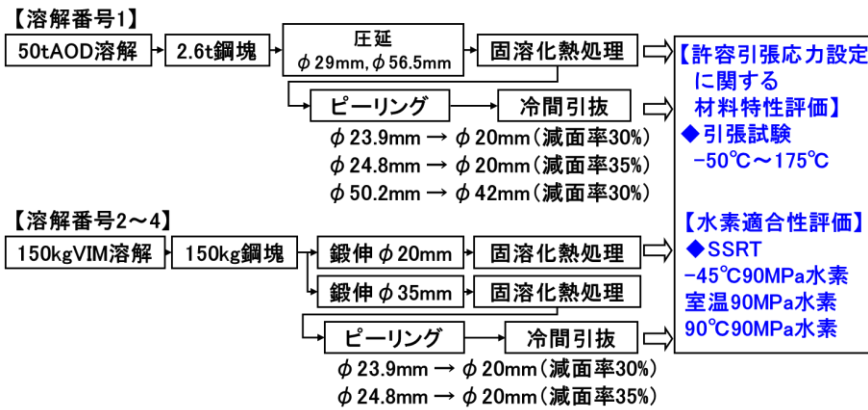


図 13 製造工程

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。

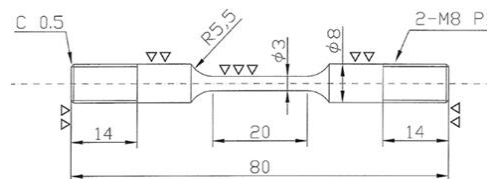


図 14 SSRT 試験片形状

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。

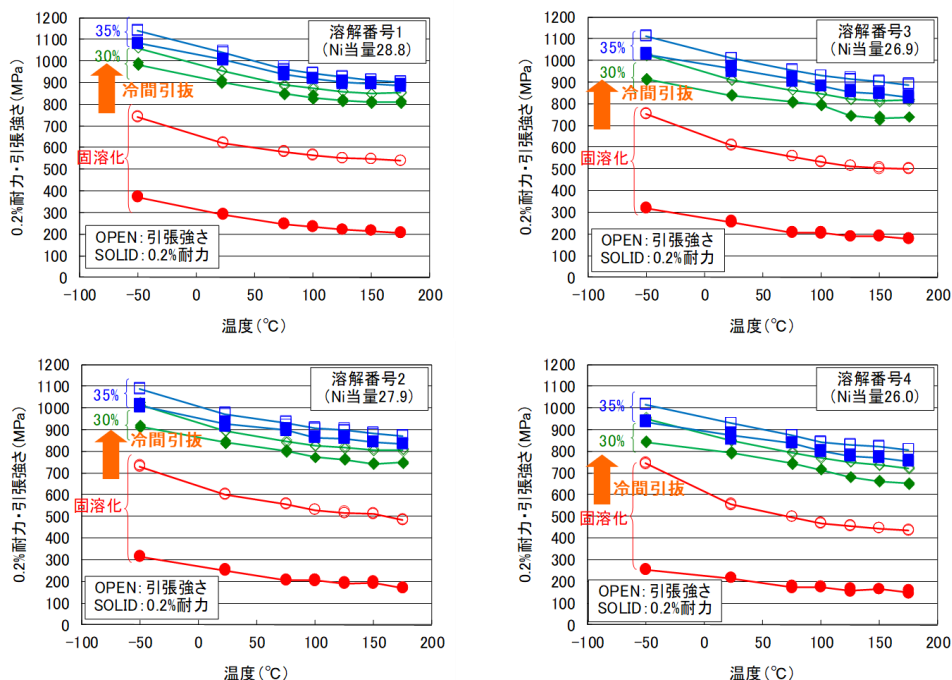


図 15 各試験温度における 0.2%耐力および引張強さ

・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

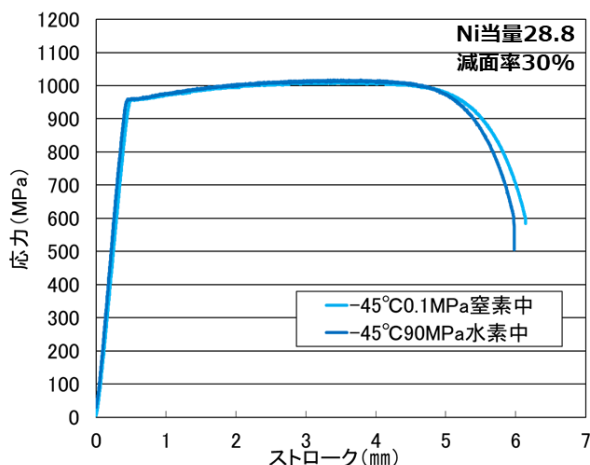


図 16 SSRT の応力-ストローク線図 (Ni 当量 28.8、減面率 30%の SUS305 冷間引抜材)

(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。

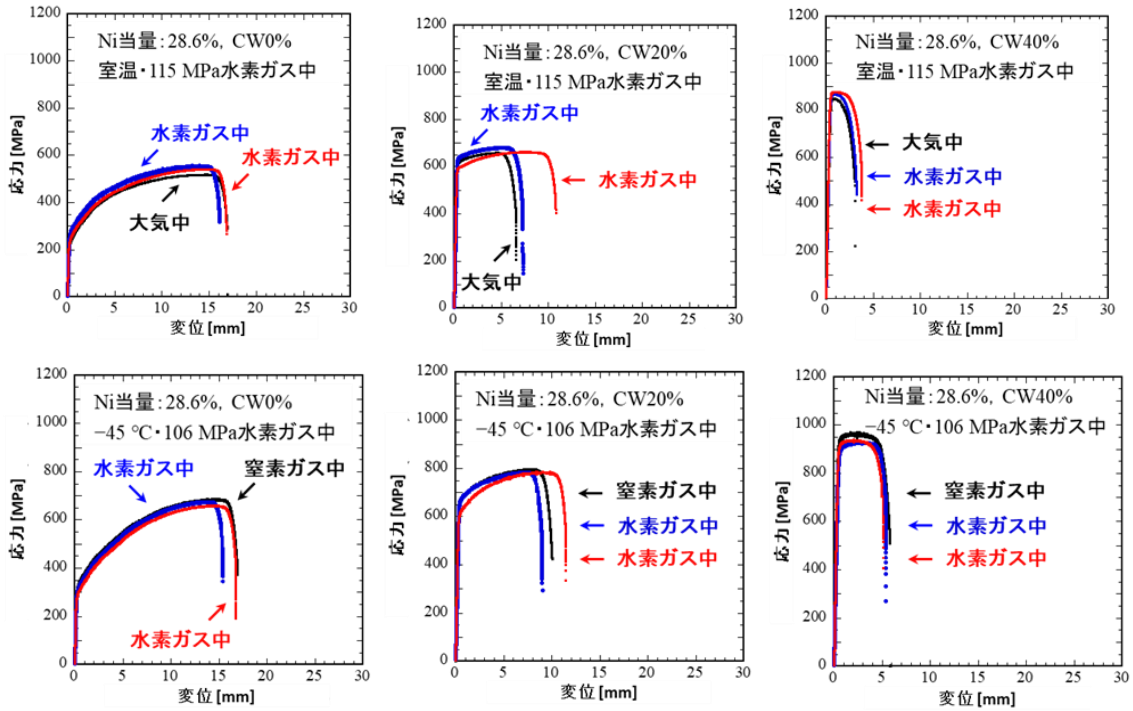


図 17 高圧水素ガス中における SUS316L (Ni 当量 28.6%) 冷間加工材の SSRT 結果の例

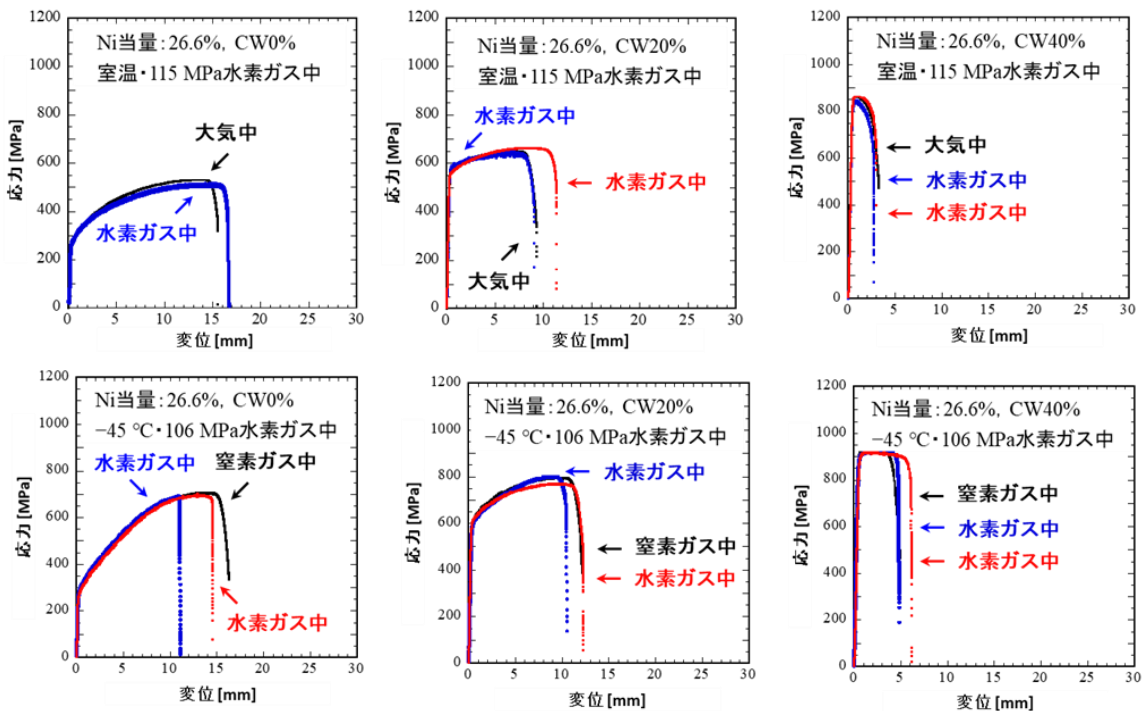


図 18 高圧水素ガス中における SUS316 (Ni 当量 26.6%) 冷間加工材の SSRT 結果の例

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。

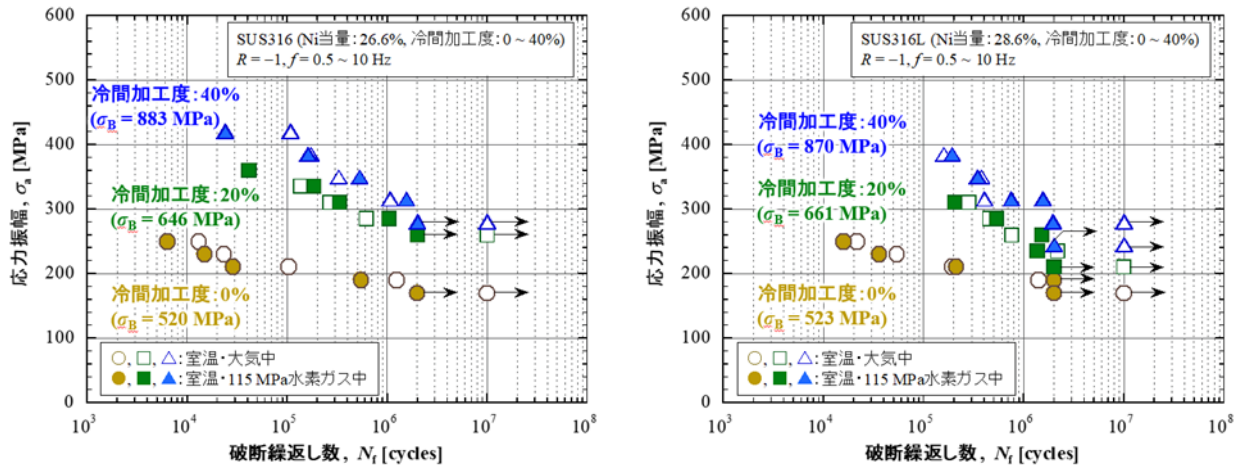


図 19 高圧水素ガス中における冷間加工材の引張圧縮疲労試験結果

(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。

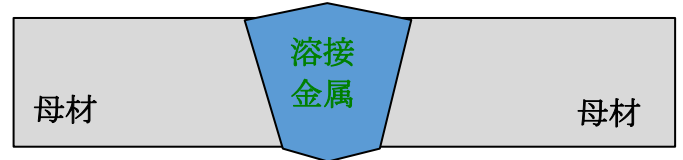


図 20 ステンレス鋼溶接材のイメージ図

・ 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。

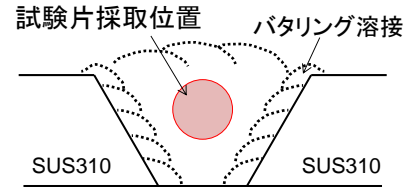


図 21 全溶着金属試験片採取位置

・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。

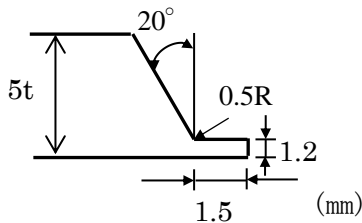


図 22 開先形状

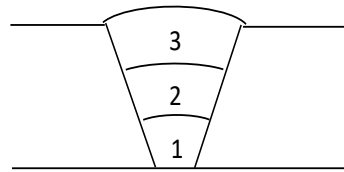


図 23 多層盛溶接



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）

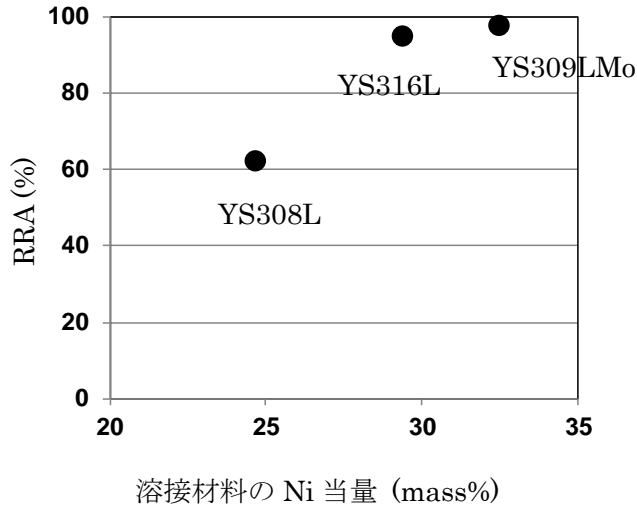


図 25 室温での全溶着金属の水素適合性評価

-40℃（水素圧 70MPa）

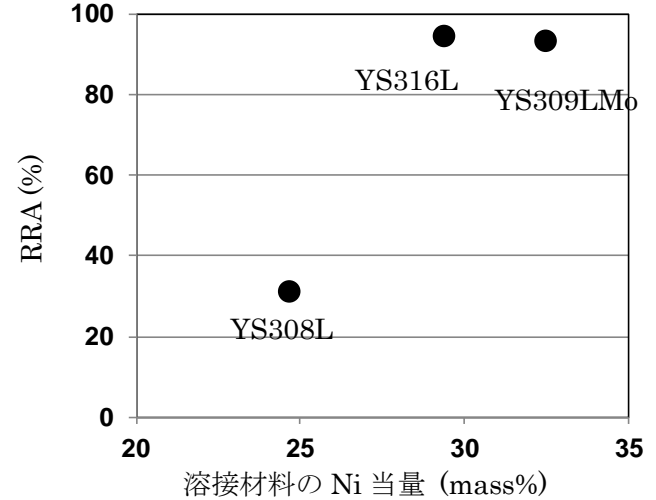


図 26 -40℃での全溶着金属の水素適合性評価

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。

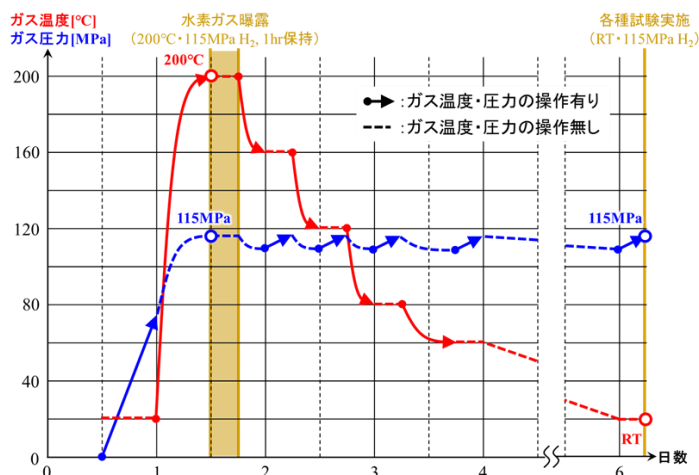


図 27 高温・高圧水素ガス曝露試験における水素ガス温度・圧力プロファイルの模式図

(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。

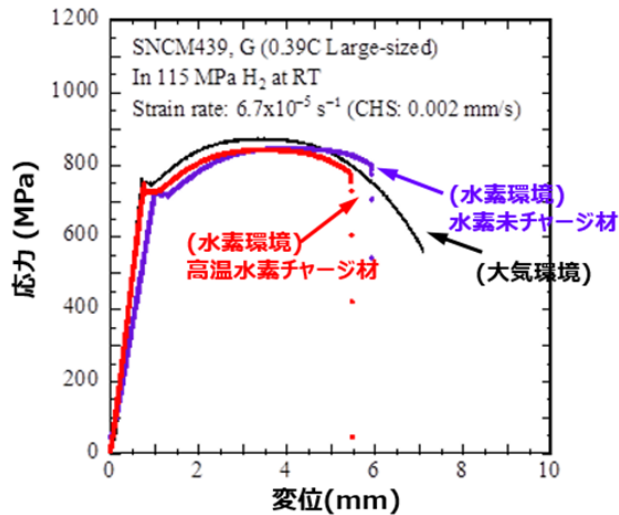


図 28 低合金鋼 SNCM439 の SSRT 特性に及ぼすに及ぼす高温・高圧水素ガス曝露の影響

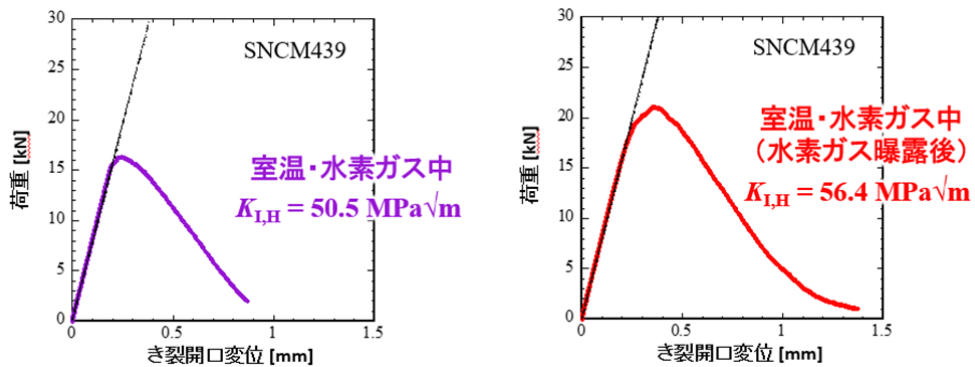


図 29 低合金鋼 SNCM439 の $K_{I,H}$ に及ぼす高温・高圧水素ガス曝露の影響

(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。

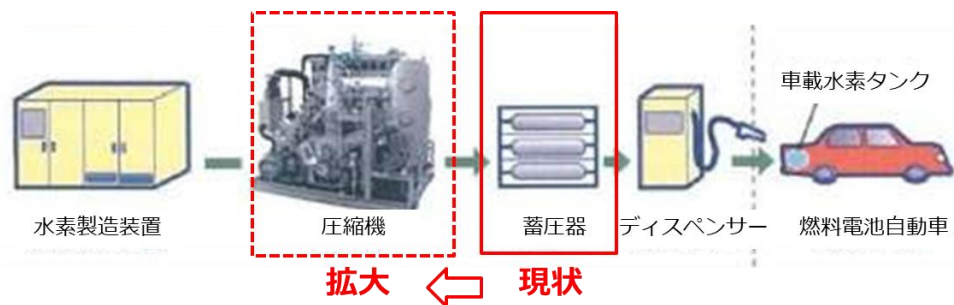


図 30 低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003(2017)の改訂による低合金鋼利用拡大のイメージ

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に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な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
 高压水素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 |
| (3) | 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 |
| (4) | 陰極チャージと高压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压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)。

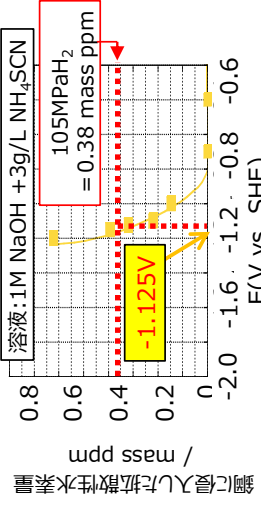


図1 試験片の電位と拡散性水素量の関係 (室温)

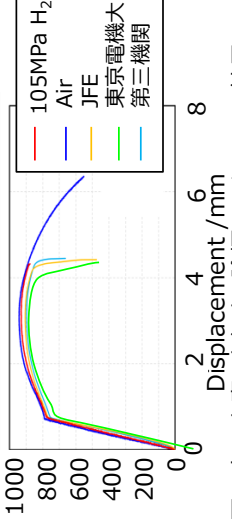


図2 高压水素、大気中、陰極チャージ SSRTの結果

● 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、高压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ラウンドロビンテストで3機関でデータ一致。 | ○ |

- 今後の課題
- ・ 低温 (-30℃) での高压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。(△)

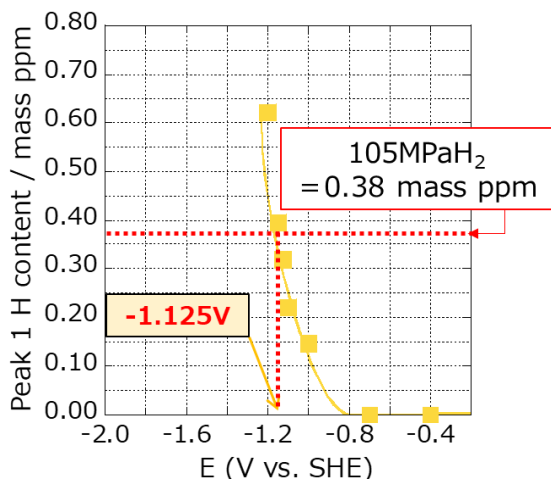


図 1 室温チャージした供試材中の拡散性水素量におよぼす電位の影響

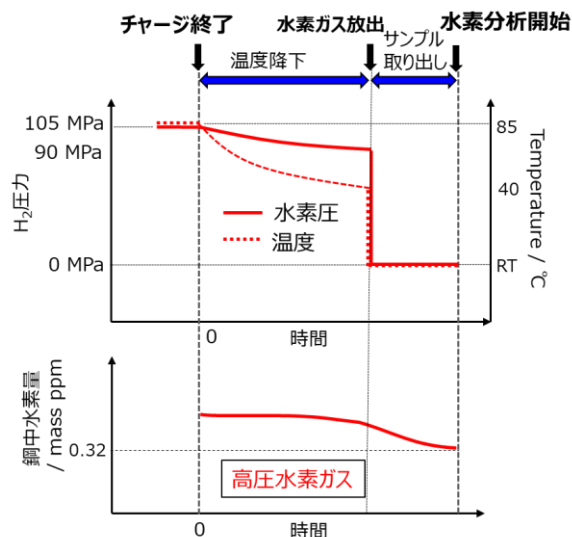


図 2 85℃ 105MPa 水素ガス中チャージにおける水素圧および温度履歴とサンプル中の水素量変化イメージ

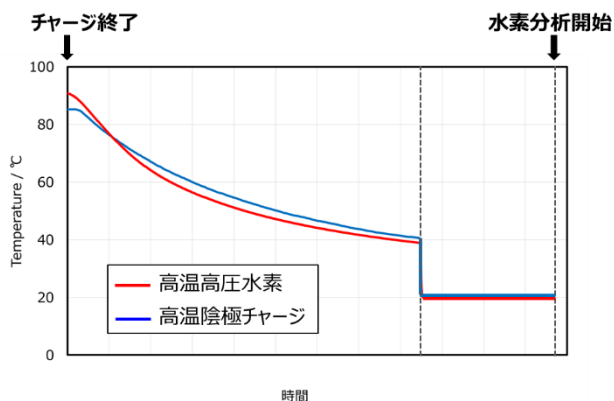


図 3 85℃での 105MPa 水素ガス中チャージ材および陰極チャージ材の温度履歴

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。(○)

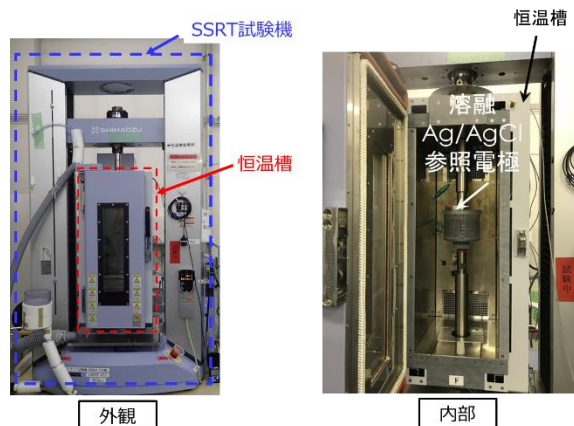


図 4 連続陰極チャージ SSRT 試験設備構成

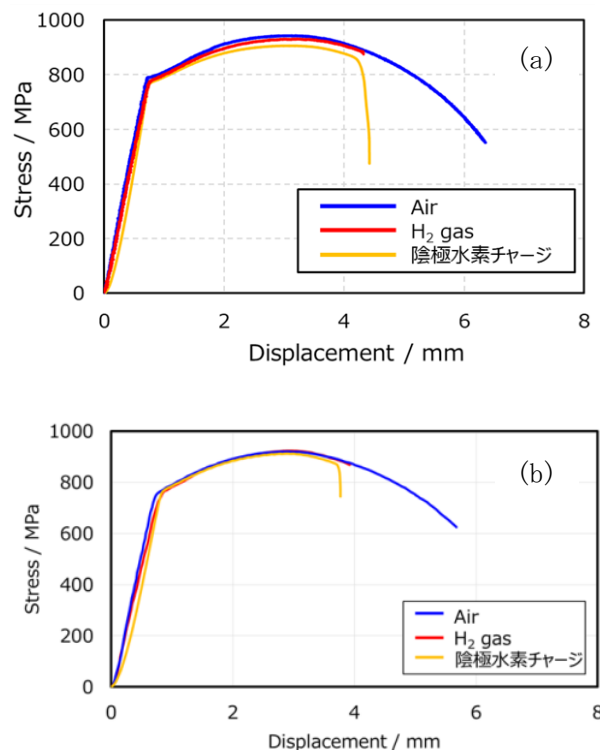


図 5 連続陰極チャージ SSRT で得られた変位-応力曲線と大気中および高圧水素ガス中で得られた結果の比較 (a) 室温 (b) 85°C

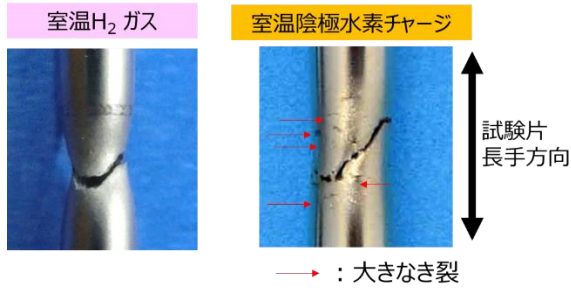


図6 破断後の高圧水素ガス中試験片と連続陰極チャージ試験片の外観

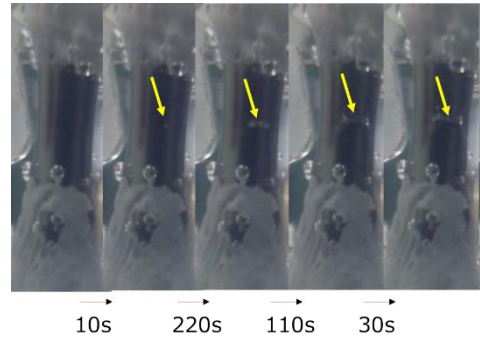


図7 連続チャージ試験中の表面観察結果 (黄色矢印：試験中に発生したき裂)

(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は、既存の疲労試験機の試験片に陰極水素チャージ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、連続陰極チャージ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、連続陰極チャージ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チャージ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チャージと陰極水素チャージ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、連続陰極水素チャージ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チャージ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 連続陰極チャージ疲労試験機の外観

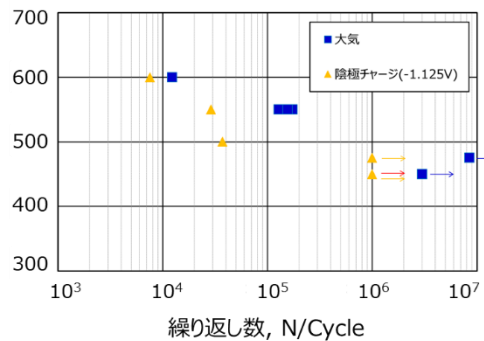


図9 大気中および連続陰極水素チャージでの疲労試験結果の比較

(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、室温の連続陰極チャージ 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。連続陰極水素チャージ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。

連続陰極水素チャージ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チャージの条件について作成する。(○)

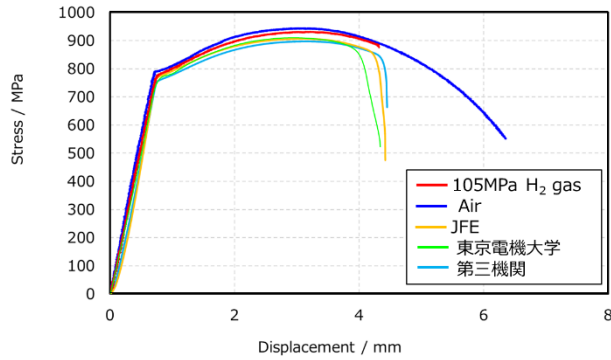


図 10 室温連続陰極水素チャージ SSRT 試験のラウンドロビンテスト結果

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。

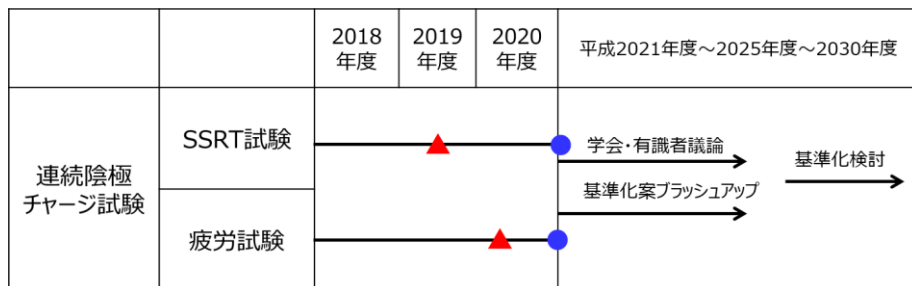


図 11 本手法の実用化方向性

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

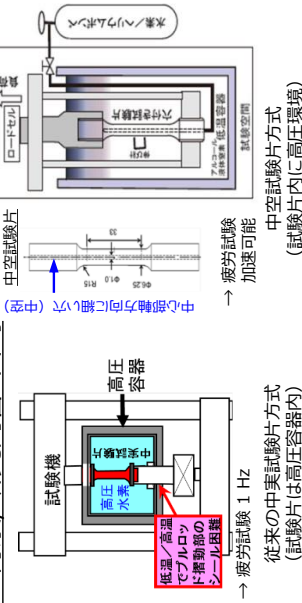
(1-2-3)「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／中空試験片 高压水素中材料試験法規格化のための研究開発」

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



高压水素中材料試験費用の低減及び試験期間の短縮のために標準的な試験方法として**中空試験片高压水素中材料試験法（SSRT・疲労）**を確立する。

●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) |

●実施体制及び分担等

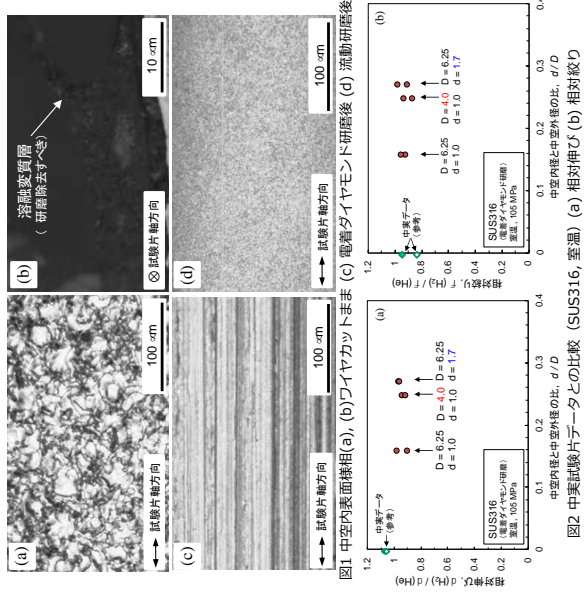
| | |
|------|-------------------------|
| NEDO | 物質・材料研究機構 (実施項目(I・II)) |
| | (再委託) |
| | 仙台高等専門学校 (実施項目(I)・①の一部) |

●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たった（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

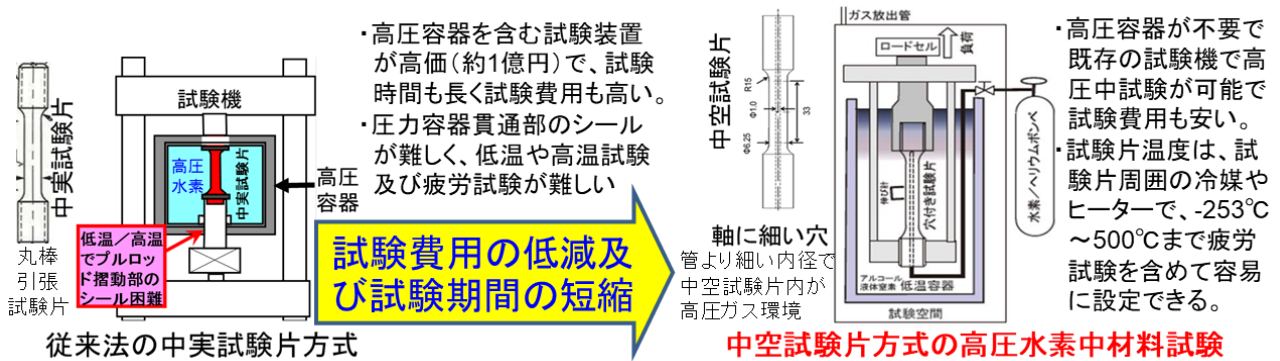
研究開発名：「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／国内規制適正化に関わる技術開発／中空試験片高压水素中材料試験法規格化のための研究開発」

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。

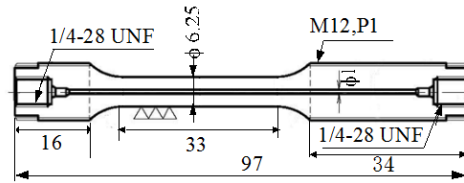


図 1 中空 SSRT 試験片の概要と寸法 (単位: mm)

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 mm, 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 mm) *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

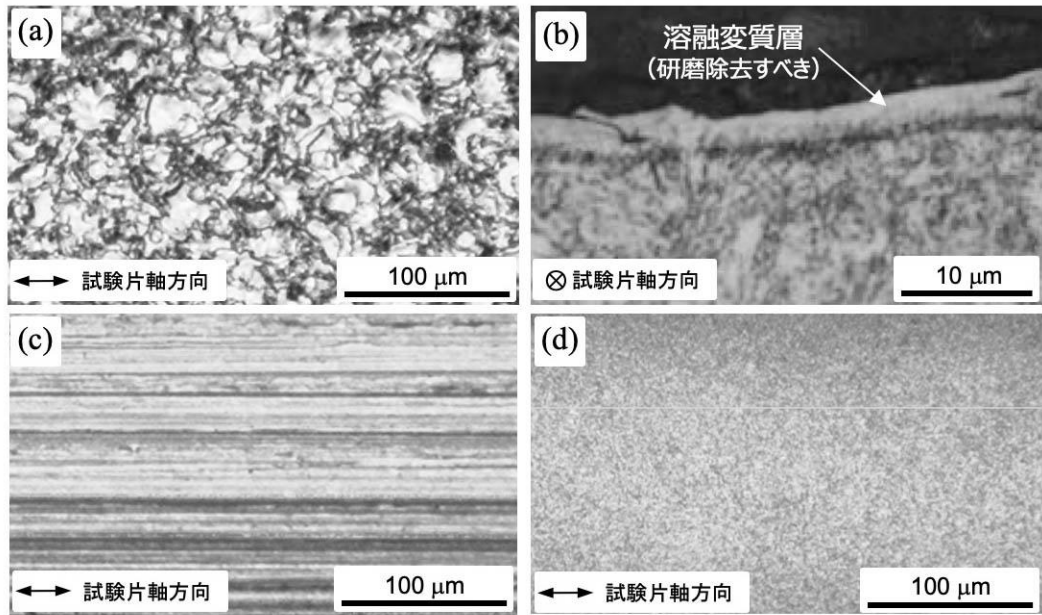


図 2 SNCM439 中空試験片内表面様相
(a), (b)ワイヤカット (c) 電着ダイヤモンド縦研磨後 (d) 流動研磨後

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。

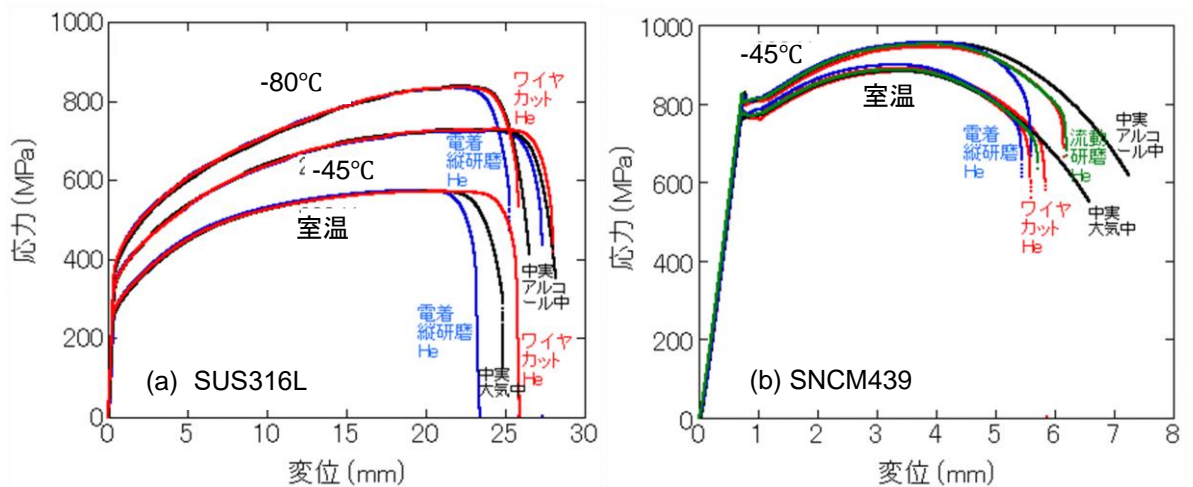


図 3 中空試験片 (105 MPa ヘリウム中) と中実試験片 (室温大気中あるいは低温アルコール中) の応力-変位曲線の比較
(a)SUS316L (試験温度: 室温、 -45°C 、 -80°C) , (b)SNCM439 (試験温度: 室温、 -45°C)

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。

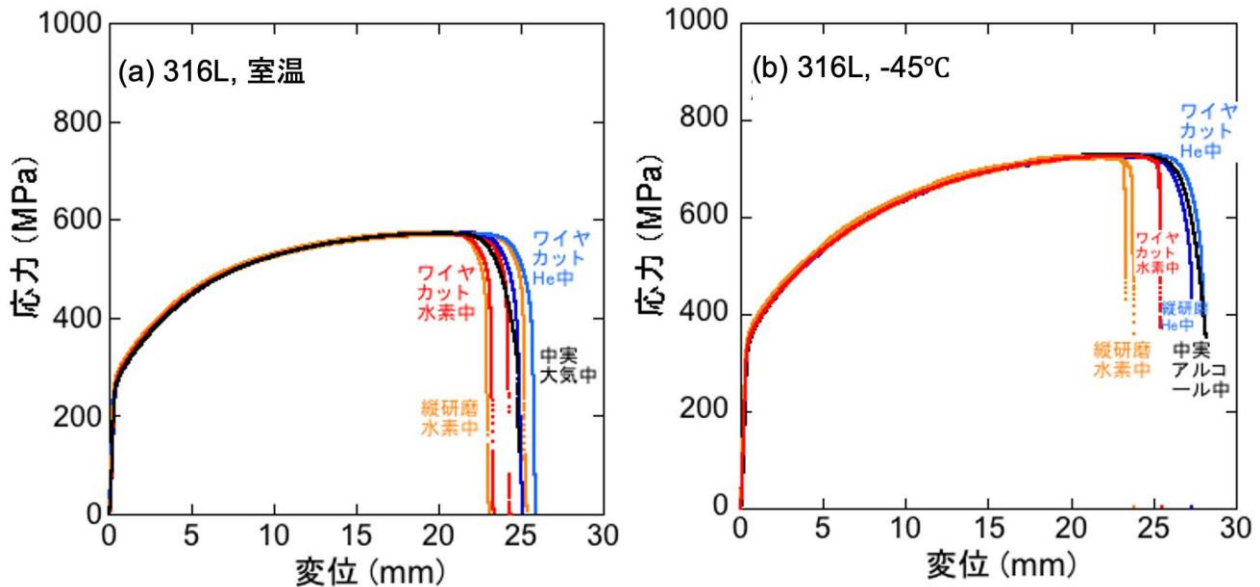


図4 SUS316Lの応力-変位曲線に及ぼす内表面仕上げ条件の影響 (a)室温 (b)-45°C

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

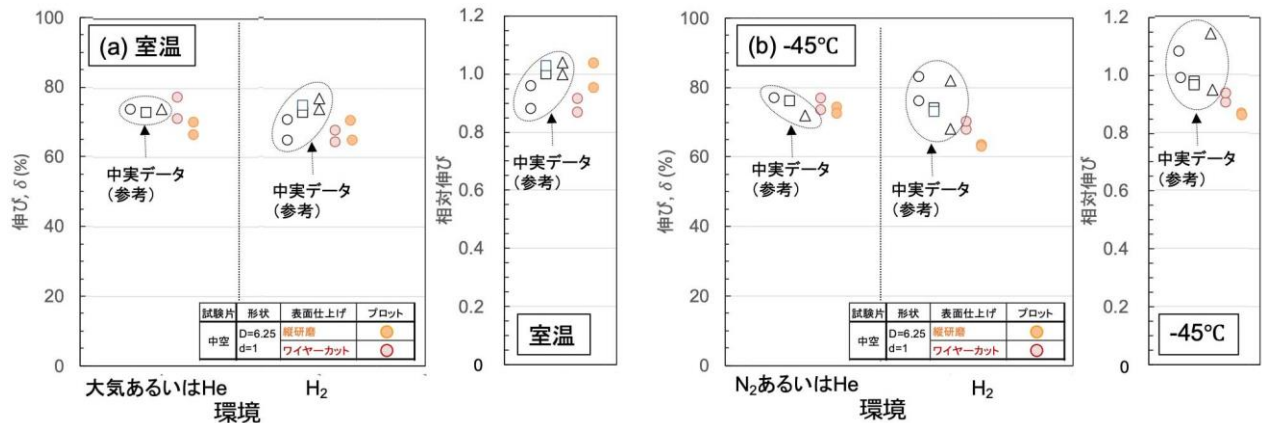


図5 SUS316Lの伸びと相対伸び (a)室温、(b) -45°C
中実データは「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で取得されたデータである。

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。

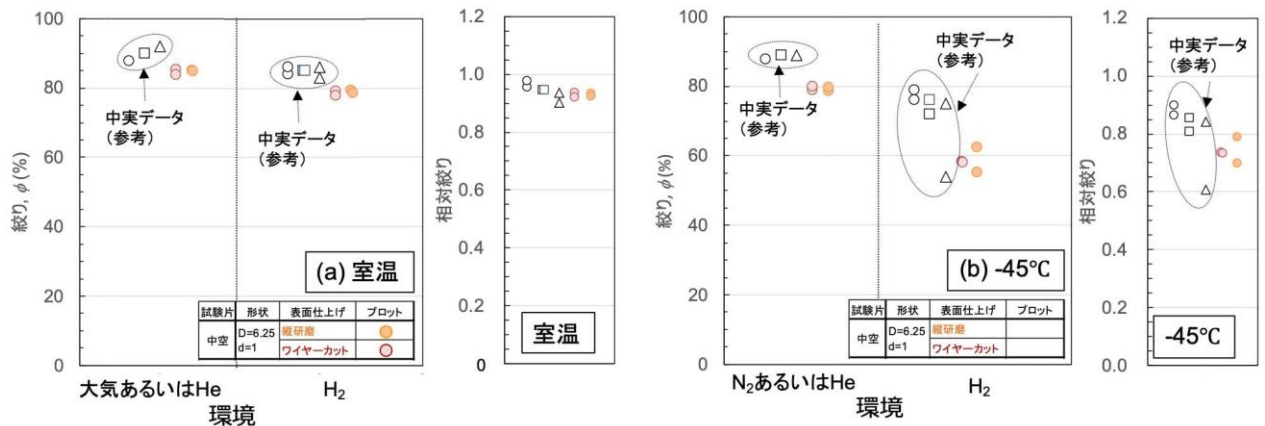


図 6 SUS316L の絞りと相対絞り (a) 室温、(b) -45°C
中実データは「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」で取得されたデータである。

「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手前で破断している。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

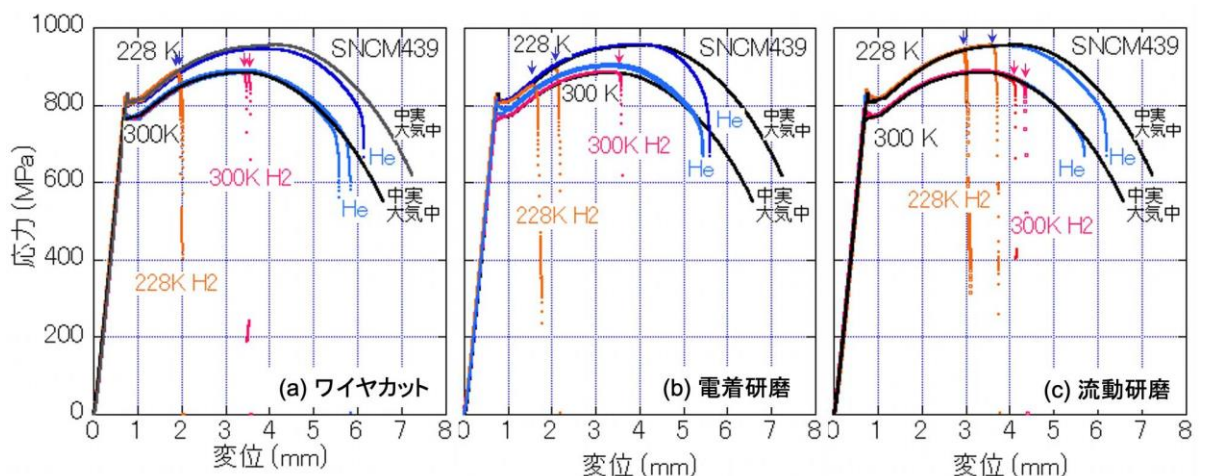


図 7 各内面処理条件における SNCM439 の室温 (300 K) と -45°C (228 K) での応力-変位曲線
(a) ワイヤカット (b) 電着研磨 (c) 流動研磨

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 → 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×2 hr → 油冷 焼戻し：640 $^{\circ}$ C×4 hr → 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

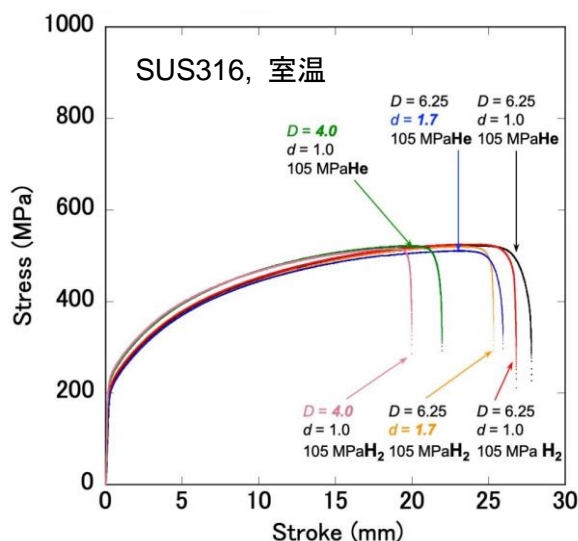


図 8 外径と内径の異なる SUS316 中空試験片の室温、105 MPa ヘリウム／水素環境の応力-変位曲線

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4mmで内径1mmは d/D が近い外径6.25mmで内径1.7mm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。

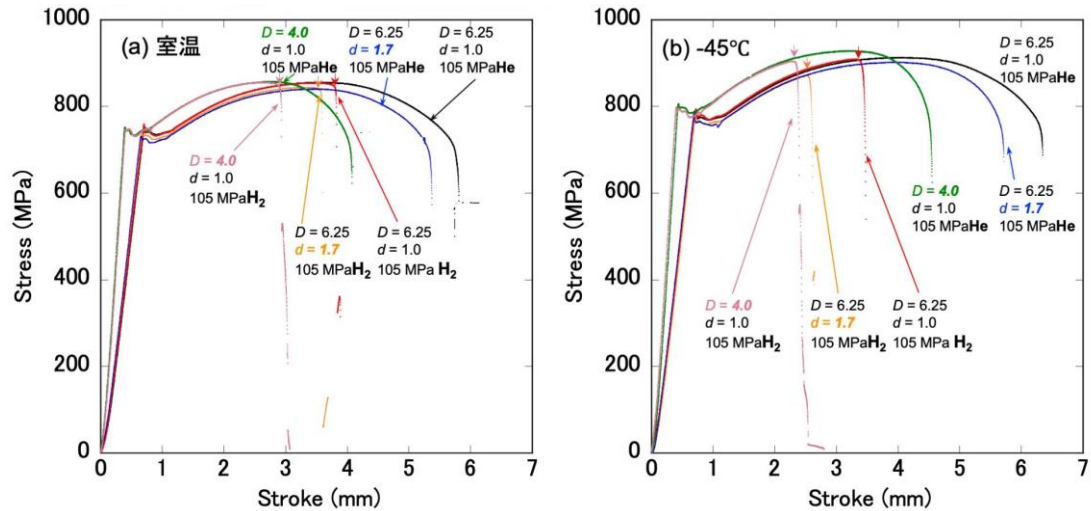


図9 外径と内径の異なる SNCM439 中空試験片の 105 MPa 水素中とヘリウム中の応力-変位曲線
(a) 室温 (b) -45°C

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4~8mmの範囲、内径は1mm~2mm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6.25mmで内径1mm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。△

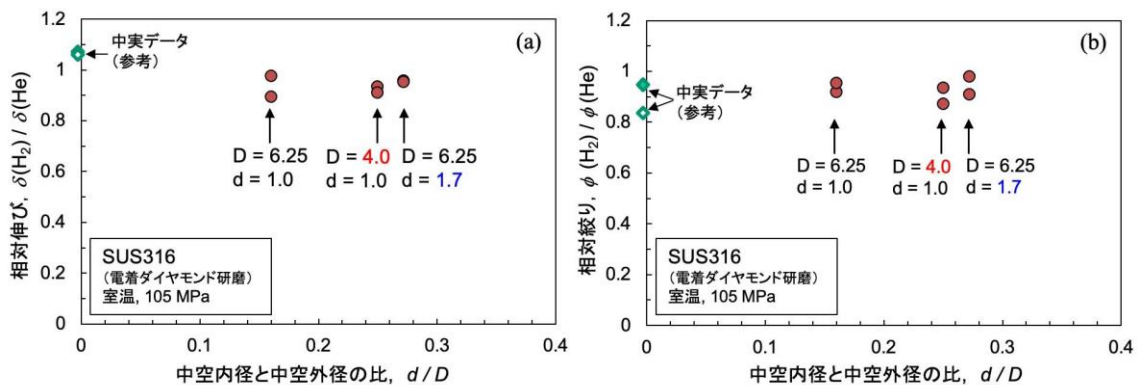


図10 SUS316の室温における相対伸び(a)と相対絞り(b)に及ぼす内径/外径の影響

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

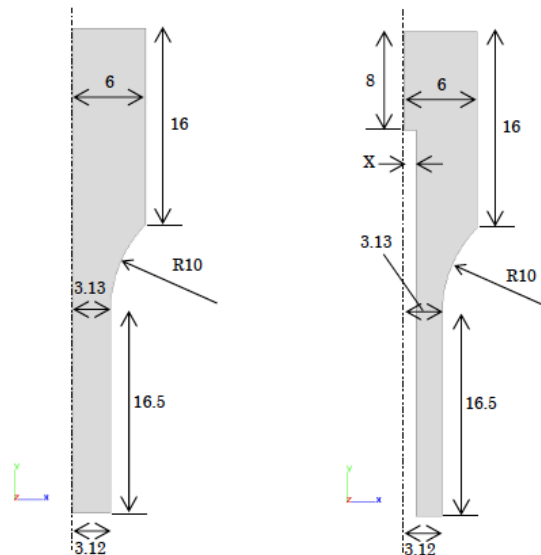


図 11 モデル寸法 (a) 中実モデル (b) 中空モデル ($X=0.5, 1.75$)
(試験部がくびれるように、図下端をわずかに細くした)

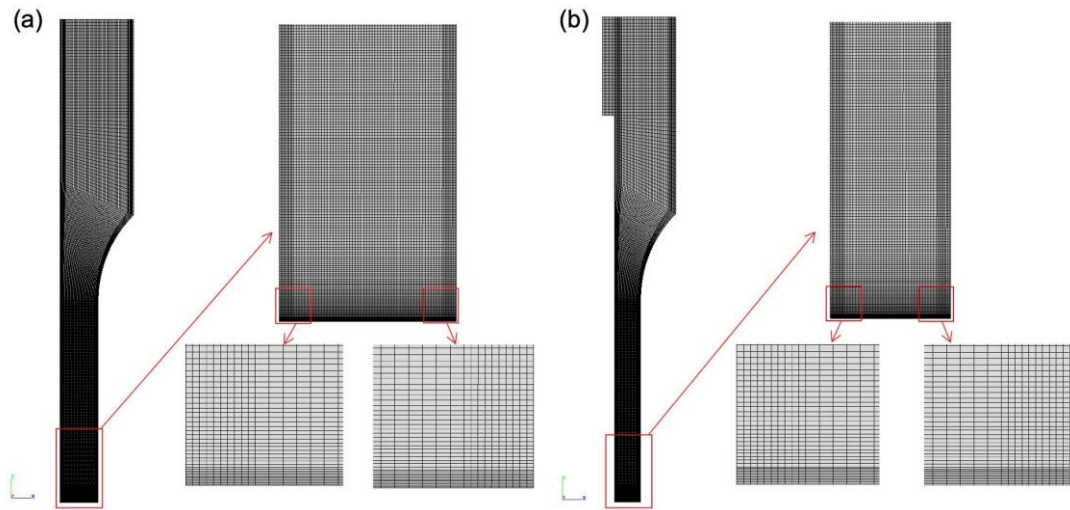


図 12 メッシュ図 (a) 中実モデル (b) 中空モデル ($X=0.5, 1.75$)

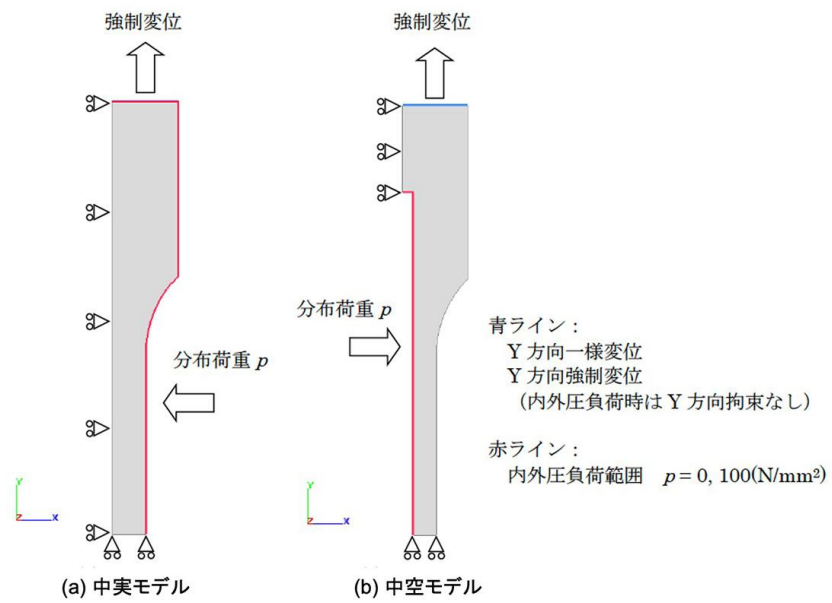


図 13 境界条件 (a) 中実モデル (b) 中空モデル

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。

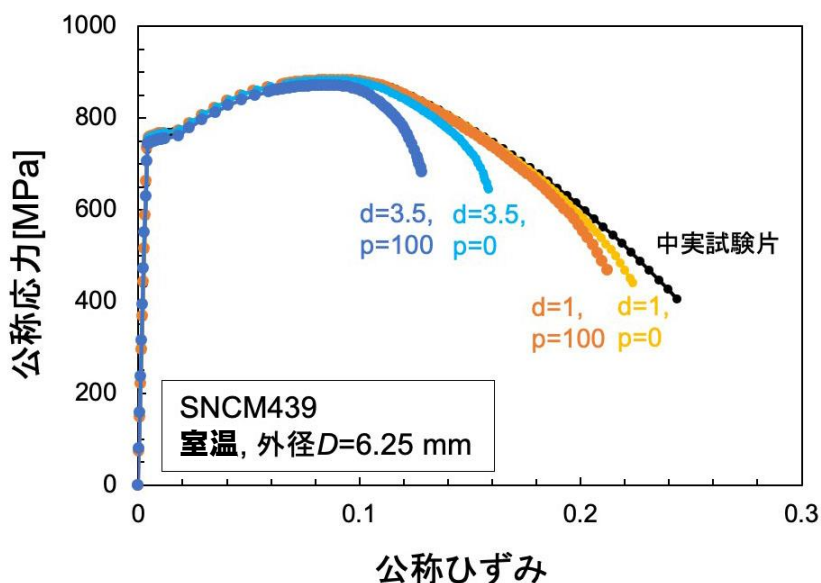


図 14 応力-ひずみ曲線に及ぼす中空内径と内圧の影響の FEM 解析結果 (SNCM439, 室温)

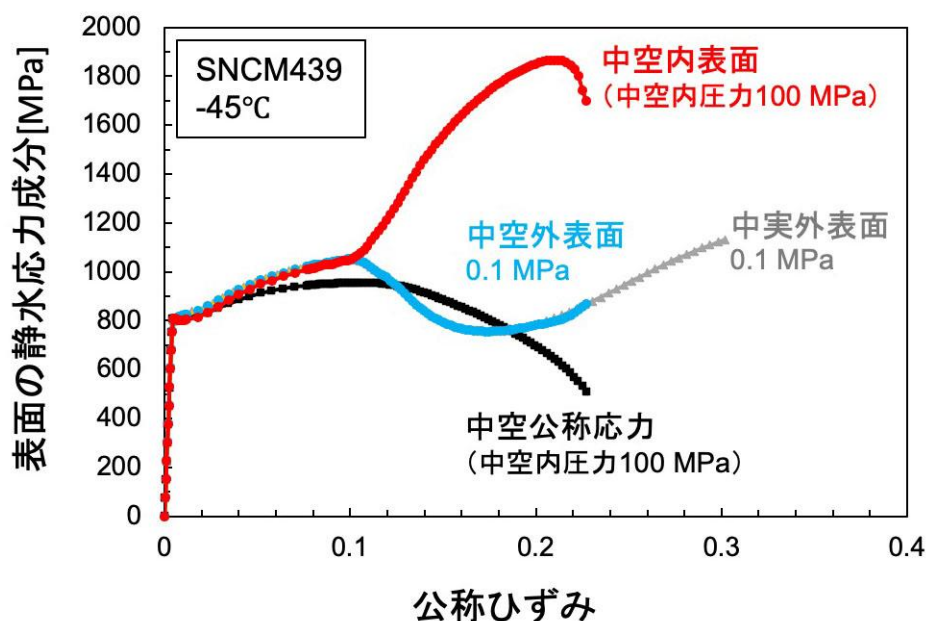


図 15 SNCM439 の-45°Cにおける中空／中実試験片表面の静水応力成分の変化

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。○

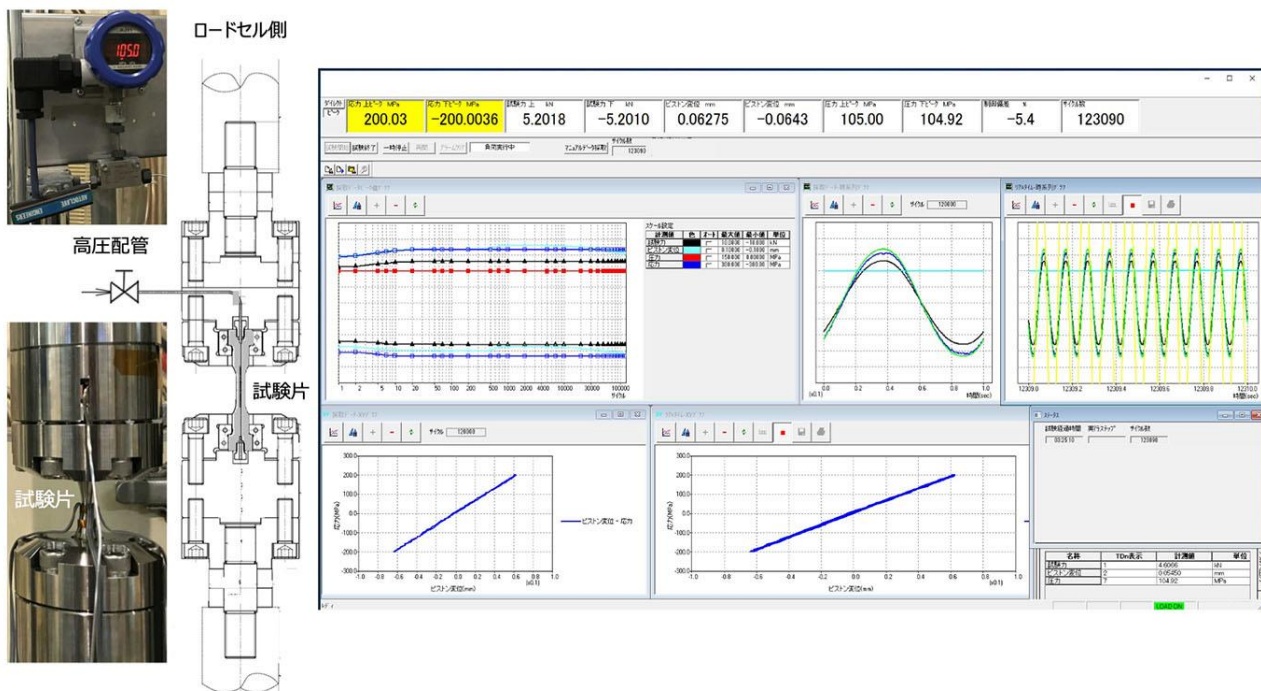


図 16 試験片装着時図面および圧力計、試験片外観写真（左）と中空疲労試験片を用いて室温、105 MPa において、 ± 200 MPa 負荷試験を 10 Hz で実施した際のモニター画面（右）

(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)

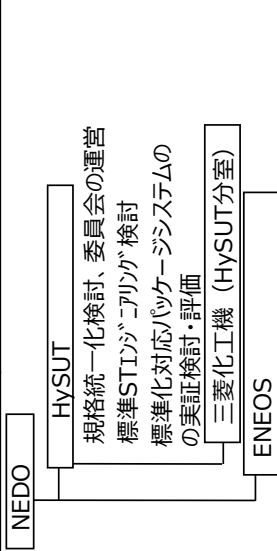
- ・運営事業者、エンジニアリング会社、機器メーカーを中心とした分科会にて、標準化すべき項目を抽出し、業界統一規格（標準化ガイドライン）案の素案を完成。
- ・充填能力を指標とする大・中・小規模の3種類の水素ステーションカテゴリー案を設定。中規模カテゴリーは、FCV普及拡大時における充填能力増強を可能とすべく、拡張性のある構成も設定。
- ・上記の標準化及び新規水素ステーションカテゴリーについてエンジニアリング検討を実施し、コスト削減効果を検討した。

●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規模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な部分は、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実証検討 | 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（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。

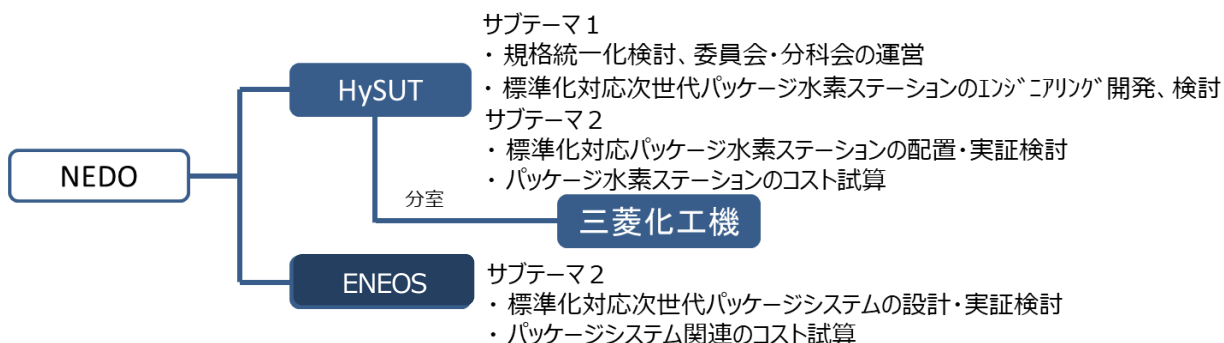


図1. 実施体制

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。

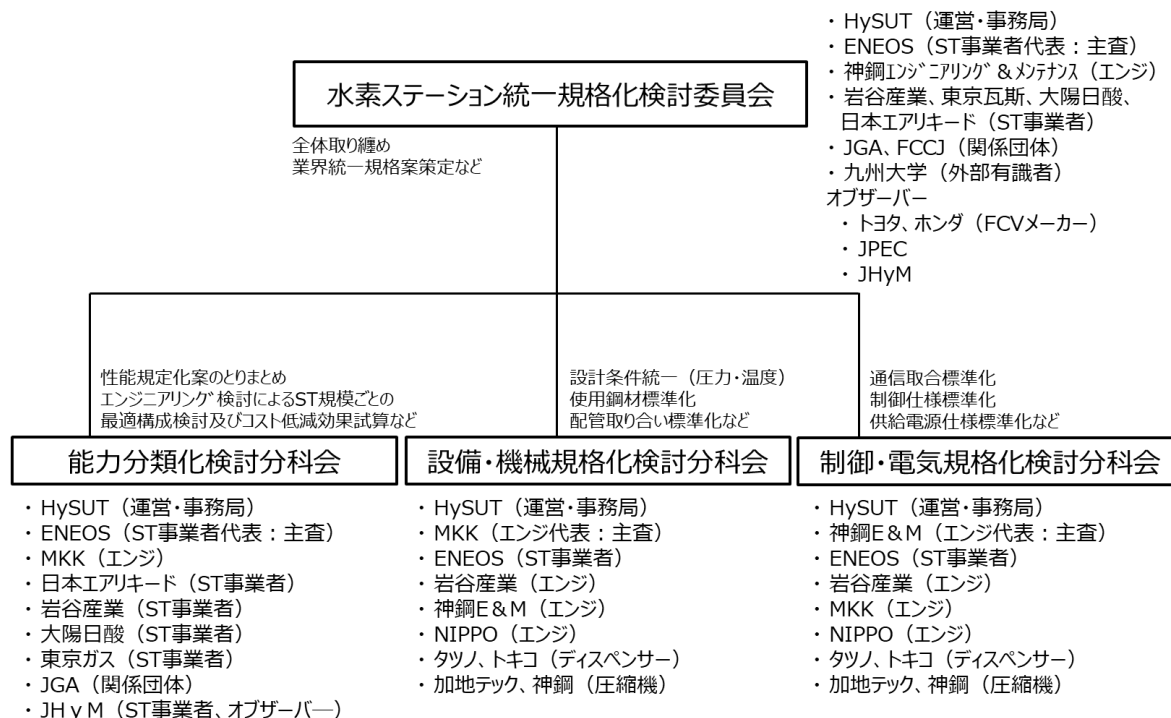


図2. 委員会・分科会の委員、オブザーバー

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。

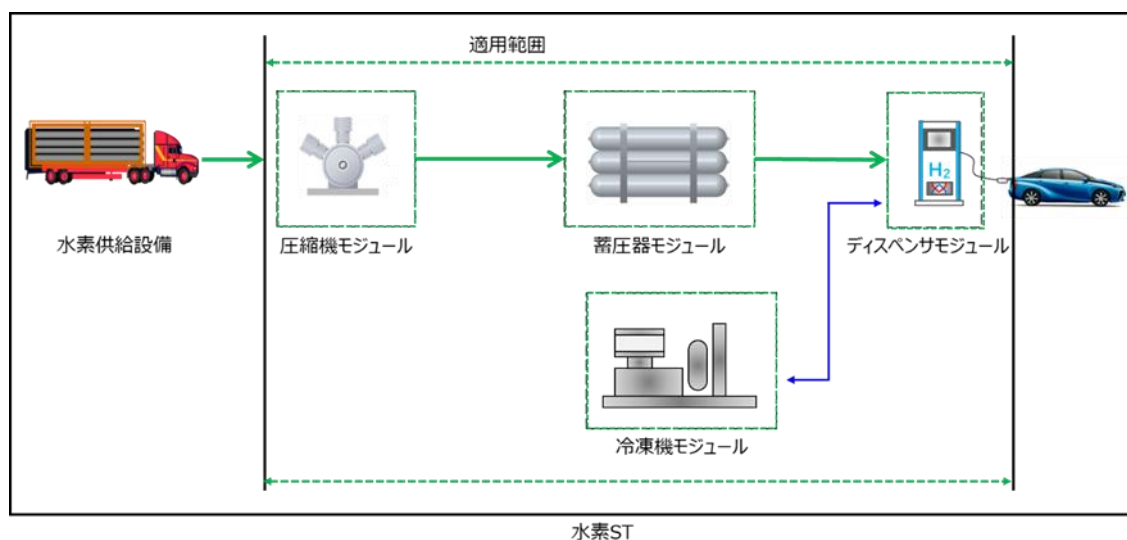


図3 標準化検討に係る適用範囲

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、ディスペ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、ディスペ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。

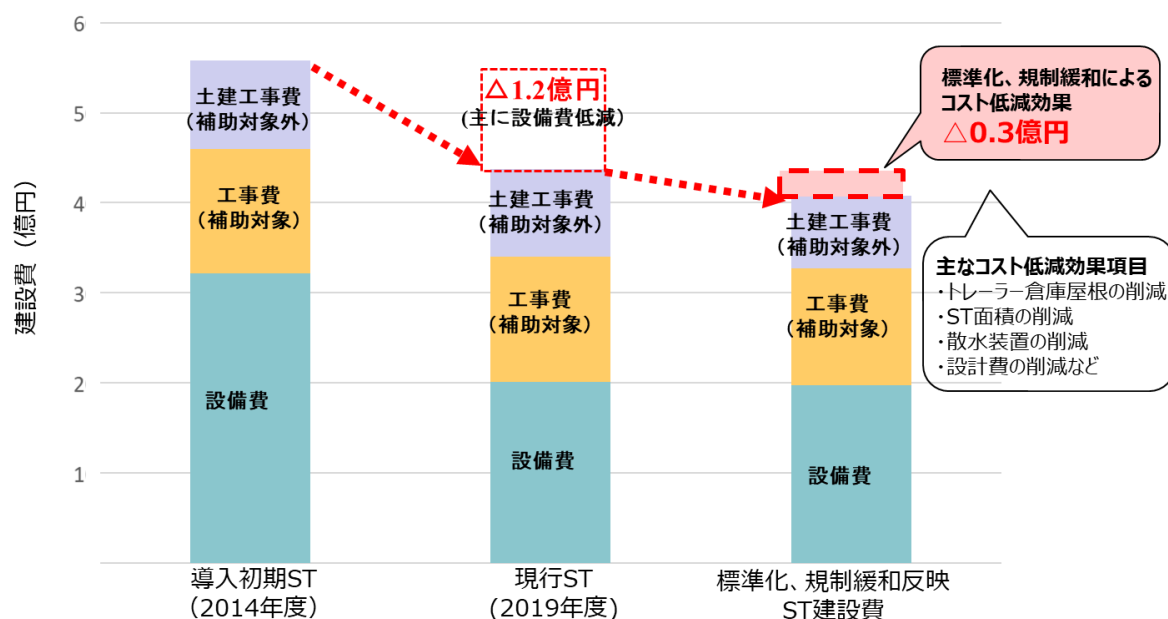


図4 導入初期ST（2014年度）、現行ST（2019年度）、標準化反映したSTの建設費の比較

(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/h1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 |

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時間当たり最大充填台数 | 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。

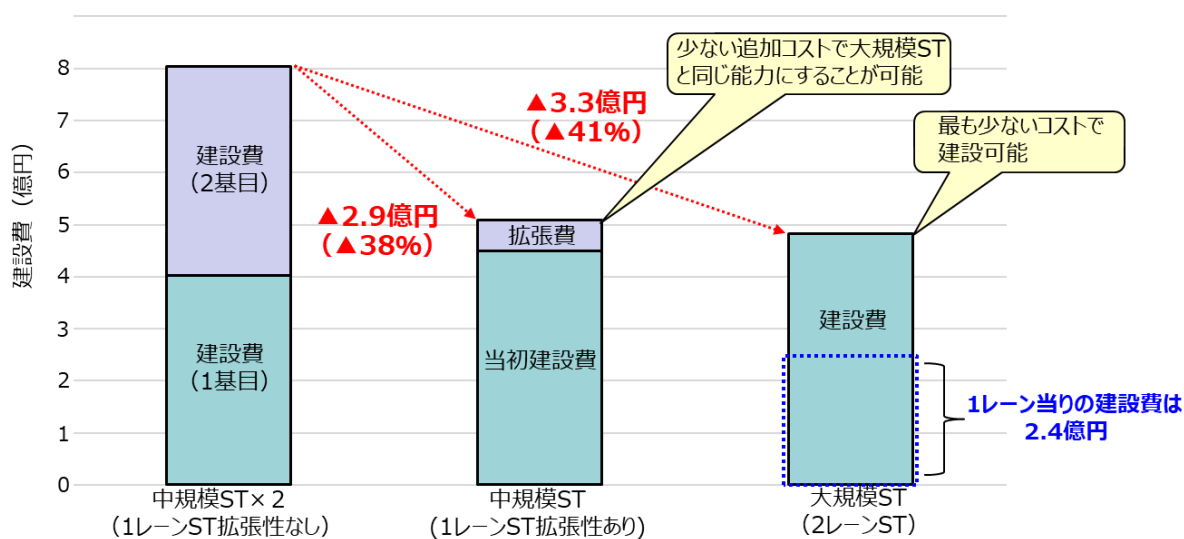


図 5 各分類での ST(充填可能台数：10 台/h 以上)におけるコストの比較

(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。

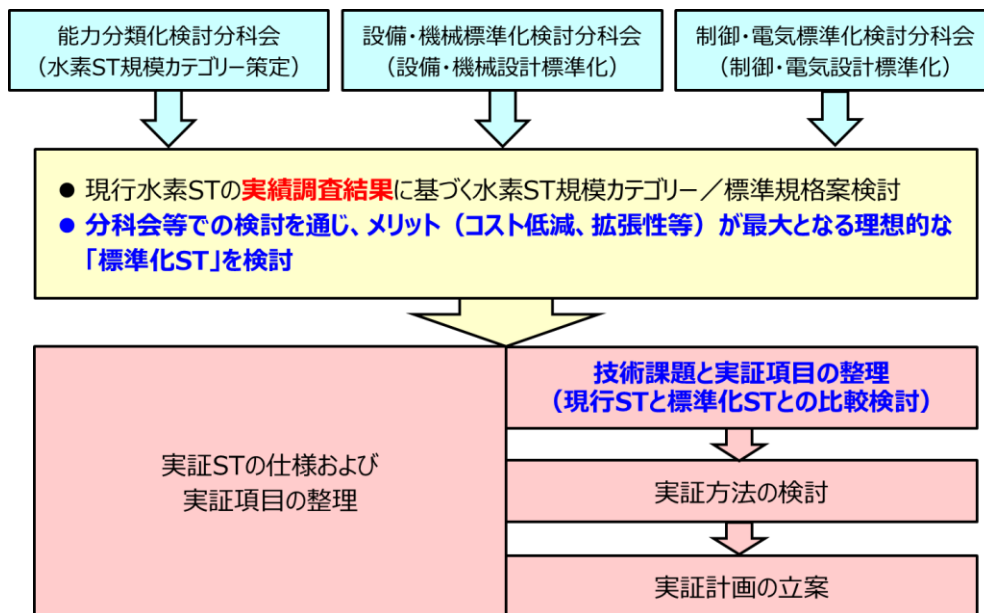


図6 実証課題の検討フロー

(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。

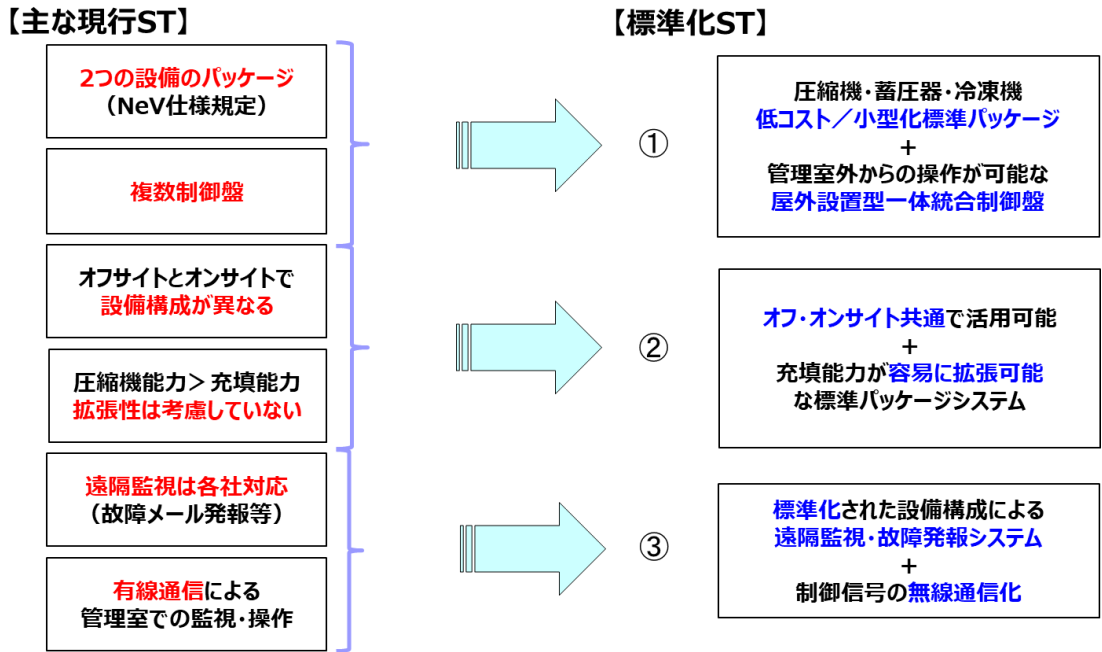


図7 現行 ST と標準化 ST の仕様比較

(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。

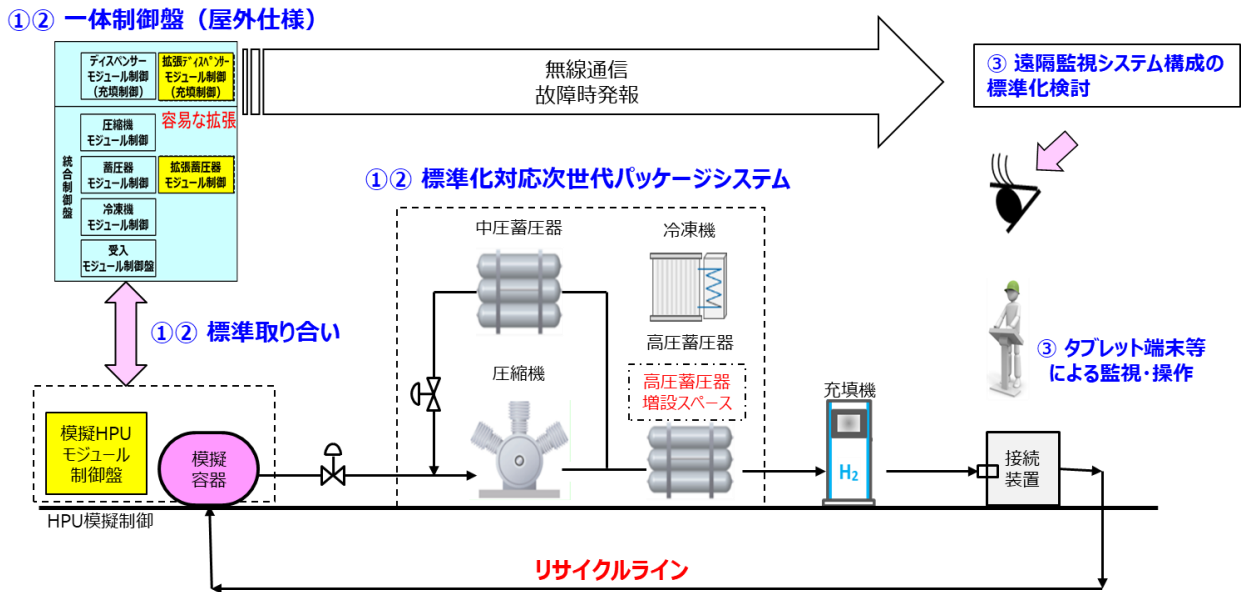


図8 標準化対応次世代パッケージ実証水素ステーション (イメージ)

(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付け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。

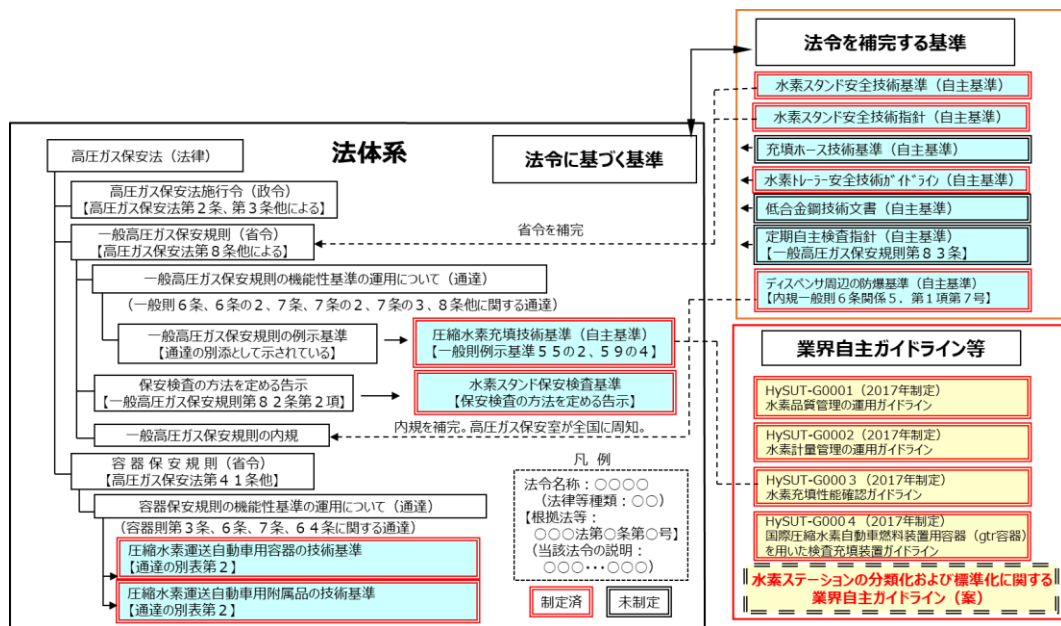


図1 本ガイドラインの位置づけ (JPEC 資料 (2017.9.1 版) を元に HySUT が加筆)

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。

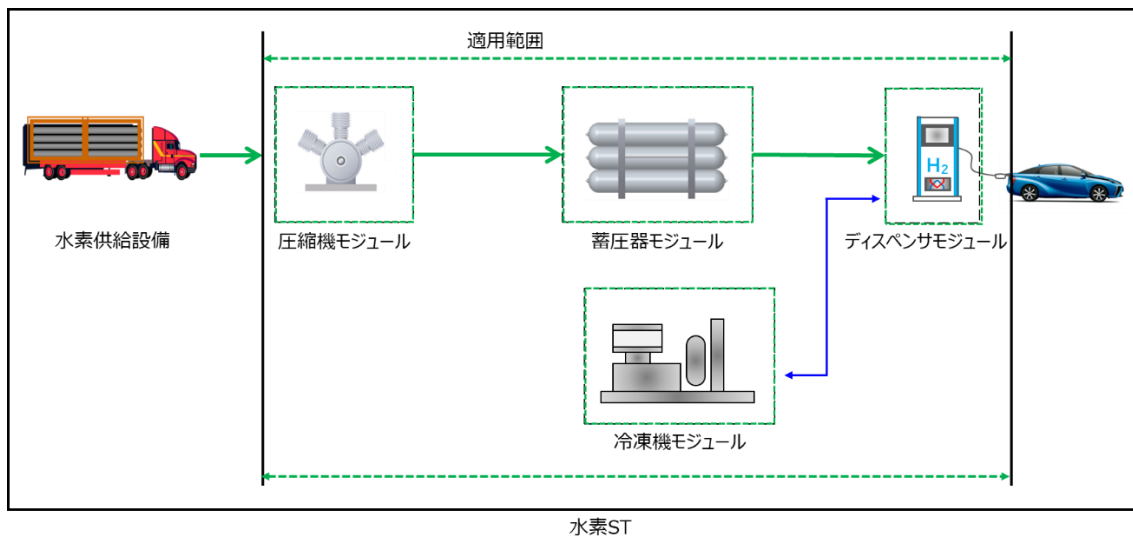


図2 適用範囲

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

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

※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。

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

※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

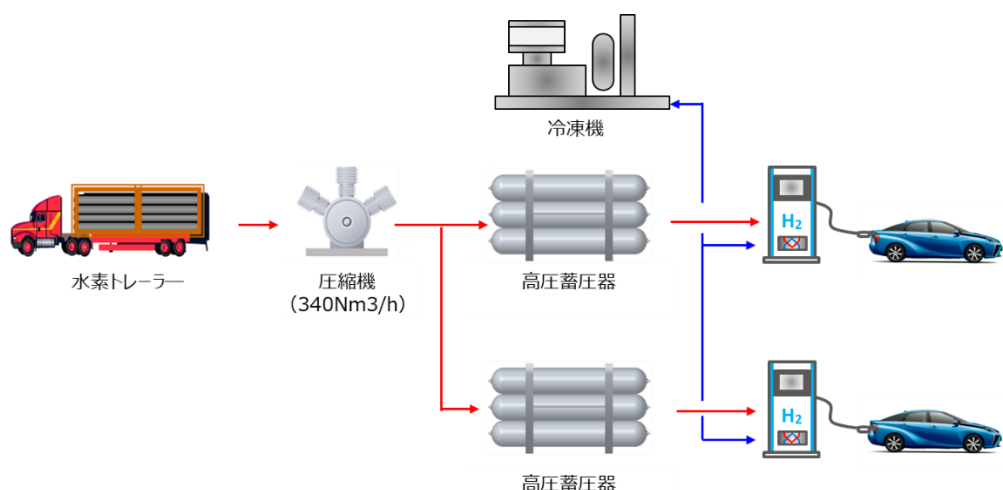


図3 大規模水素 ST 構成例※

※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未滿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

$$(3\text{kg/台} \times 5\text{台} - 1\text{時間の圧縮機の処理能力})(\text{kg}) < \text{蓄圧器有効水素保有量}(\text{kg}) = (\text{蓄圧器が常用圧力時に保持されている時の水素保有量}^{※2}) - (\text{蓄圧器が70MPa時に保持されている時の水素保有量}^{※2})$$

※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：カテゴリー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：カテゴリー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

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、カテゴリー1と同等以上の能力を有していること

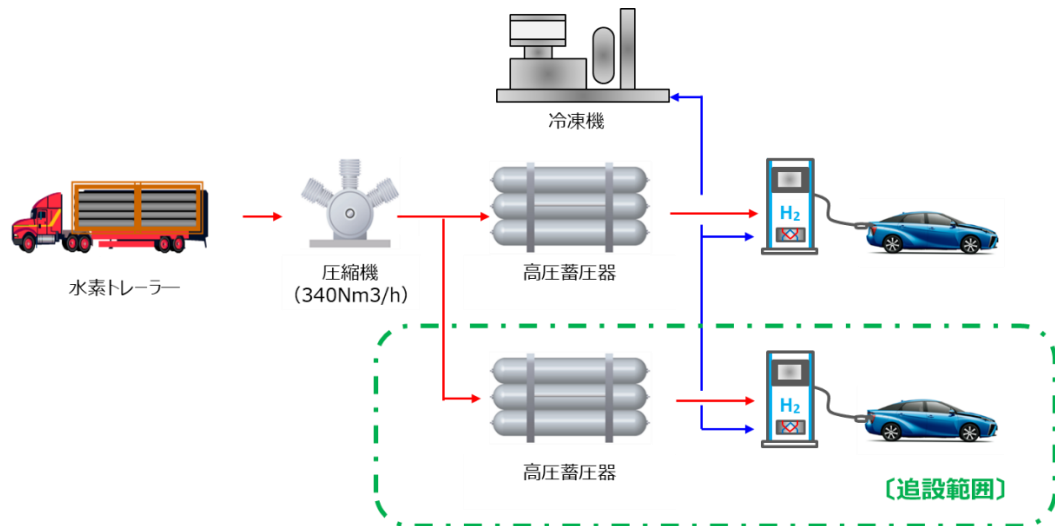


図4 拡張性中規模水素ST構成例(ケース1)※

※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 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

冷凍機：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

水素製造装置：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

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

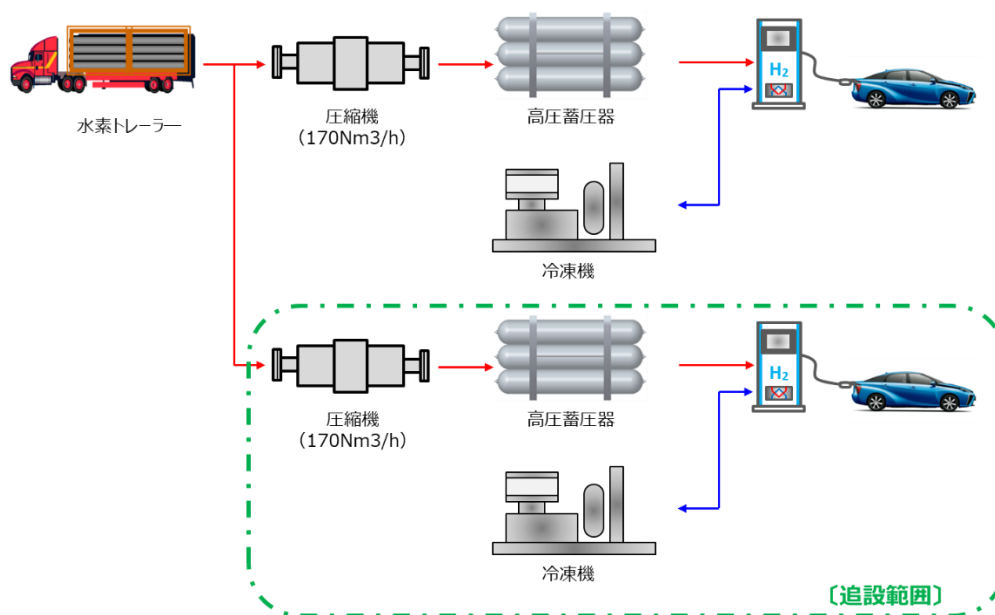


図 5 拡張性中規模水素 ST 構成例 (ケース 2) ※

※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

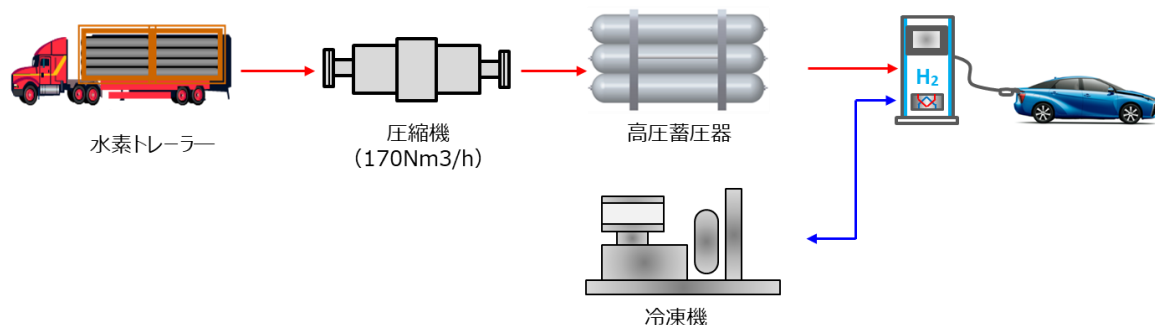


図6 中規模水素 ST 構成例[※]

※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 |

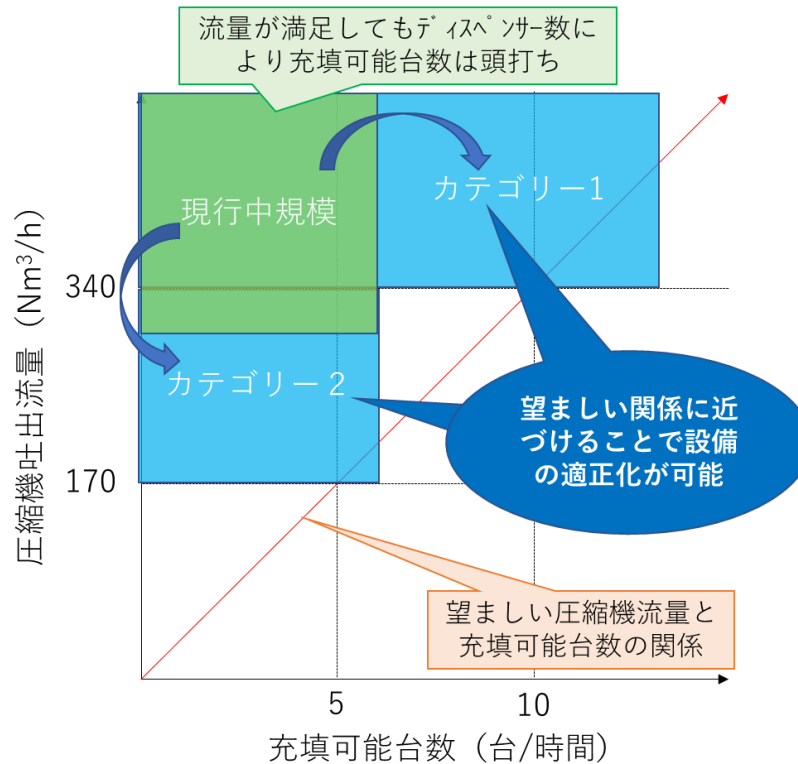


図7 本ガイドライン分類と現行の分類との比較

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。

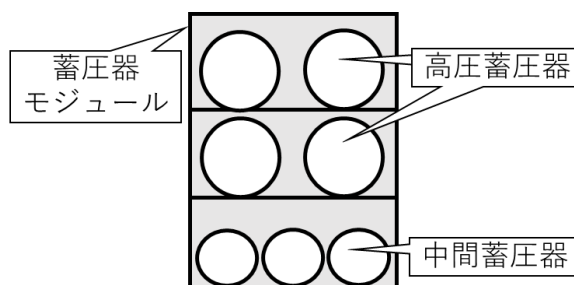


図 8 一括収納型蓄圧器モジュールの望ましいレイアウト
(本数は例示)

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

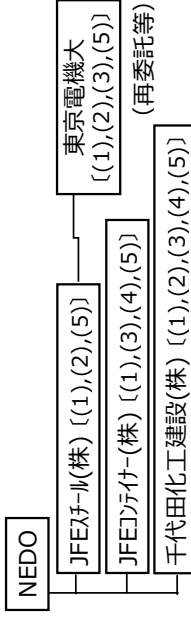
【背景】水素蓄圧器の定期自主検査は、開放検査および非破壊検査(肉厚測定)を実施することが定められている。Type1蓄圧器はUTを用いた供用中検査が可能である一方、タイプ2蓄圧器は表面がCFRP層で覆われているためUT法の適用が困難となり、コスト高な開放検査が必須。

【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

【大気中】
TP14: 290万サイクル未検出
 最大応力: 2650MPa
 応力範囲: 330MPa
 R=0.38, 5Hz

【水素陰極チャージ中】
2019TDUS: 未検出
 最大応力: 690MPa
 応力範囲: 342MPa
 R=0.01, 2Hz

【疲労限近傍の応力場】
TP10: 176,205サイクル検出
 最大応力: 680MPa
 応力範囲: 34~680MPa
 R=0.05, 2Hz

【2019TDUS: 検出】
 最大応力: 690MPa
 応力範囲: 342MPa
 R=0.01, 2Hz

位置特定結果
 入力履歴グラフからの距離(mm)

- ・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チャージ中でAEの有効性を確認。

●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での設置準備中 | △ |
| (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での設置/運営を準備中 | - |

●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

| 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。

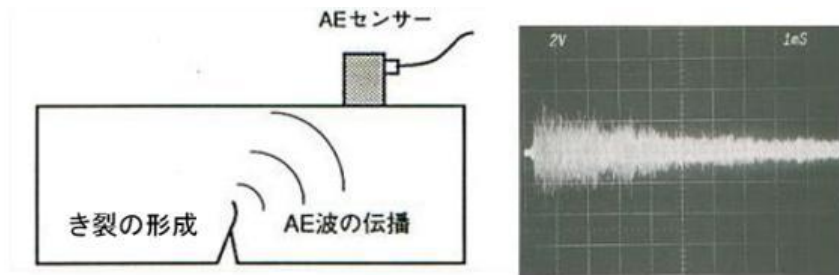


図1 AE法の概念

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。

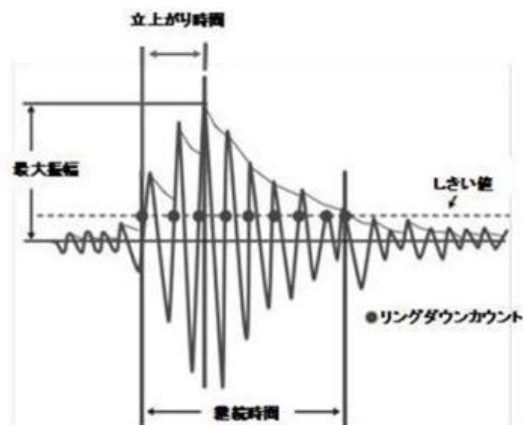


図2 従来のAE波形分析法（AEパラメーター法）

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。

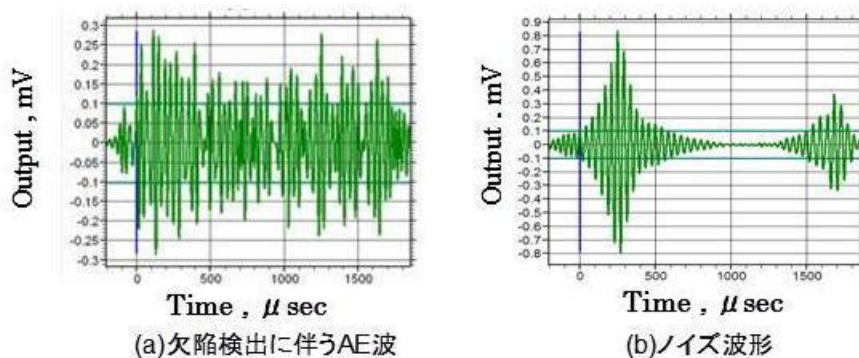


図3 最新のAE波形分析法(波形パターン分類法など)

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。

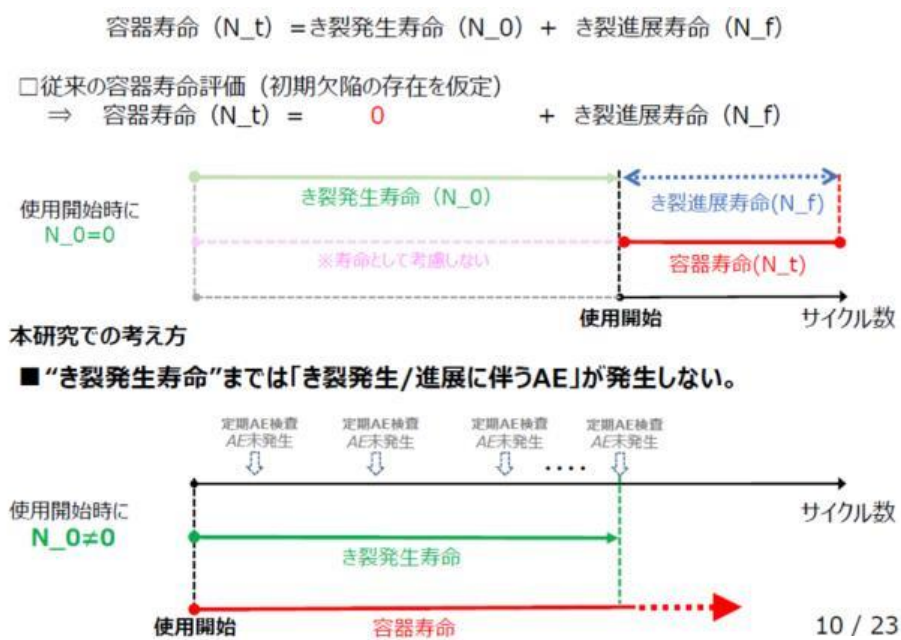


図4 蓄圧器管理への AE 法適応への考え方

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)。

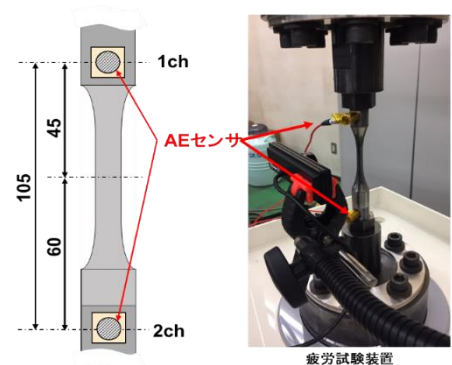


図5 AEセンサ設置状況

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。

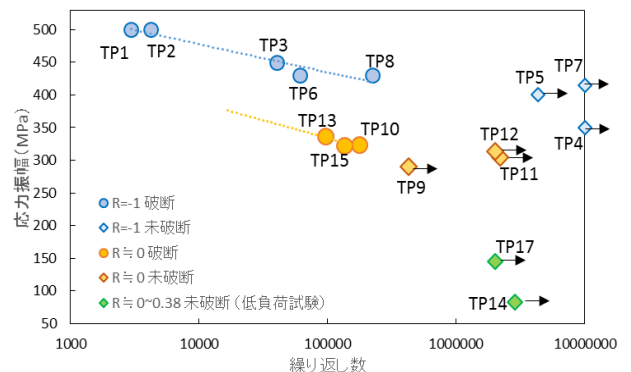


図6 大気中疲労試験のSN線図

①最大680MPa、R=0.05 2Hz 176,205cycle 破断

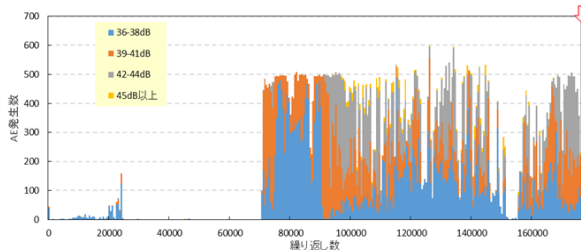


図7 AE計測結果(TP10)

②最大306MPa、R=0.05 5Hz 2,000,000cycle 未破断

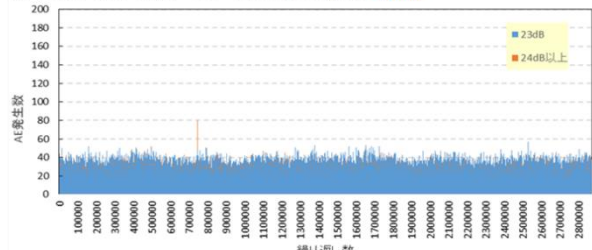


図8 AE計測結果(TP17)

・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。

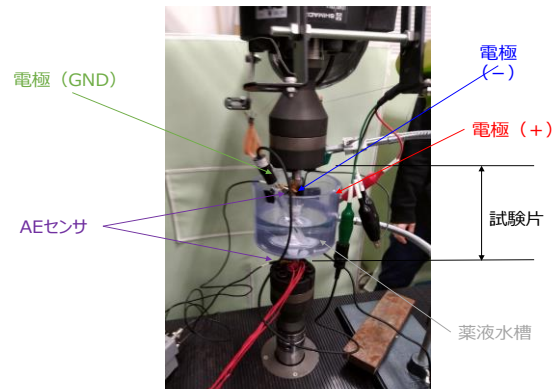


図 9 連続陰極水素チャージ疲労試験の実験風景

・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：○

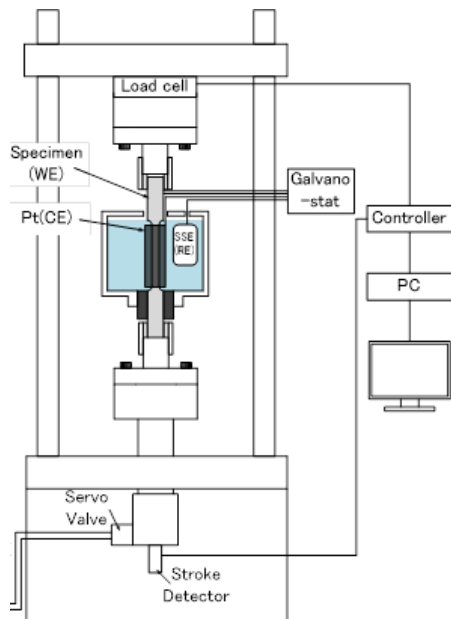


図 10 連続陰極水素チャージ疲労試験の試験装置の構成

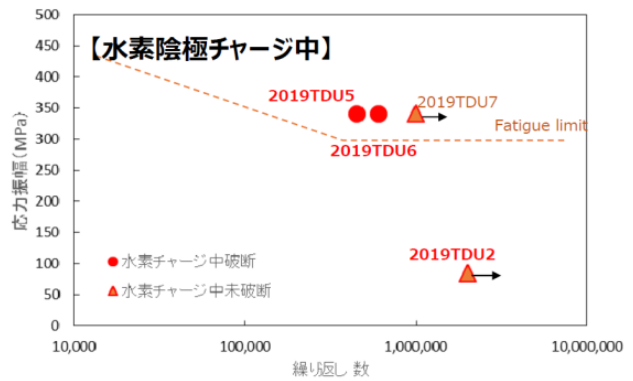


図 11 連続陰極水素チャージ疲労試験 ($R=0.01$) の S-N 関係

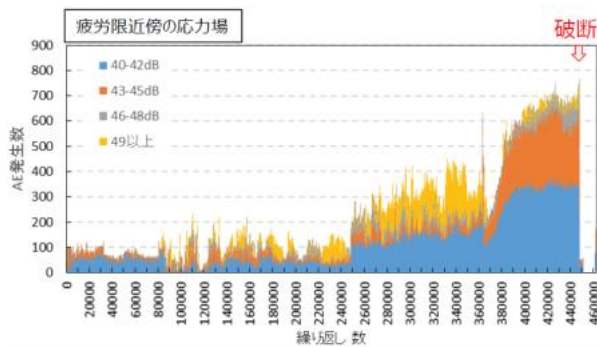


図 12 破断試験片 (TDU-5、応力振幅 342 MPa、応力 $R=0.01$ 、2Hz) において得られた AE 発生挙動

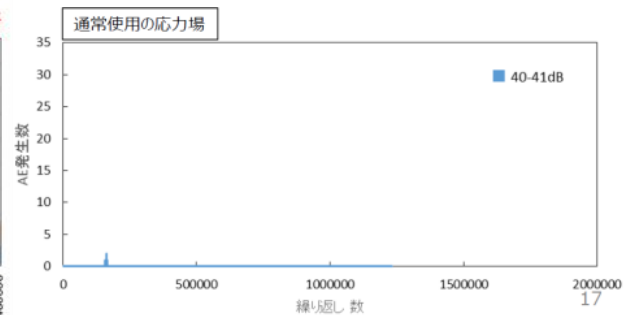


図 13 未破断試験片 (TDU-2、応力振幅 84 MPa、応力 $R=0.01$ 、2Hz) において得られた AE 発生挙動

(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。

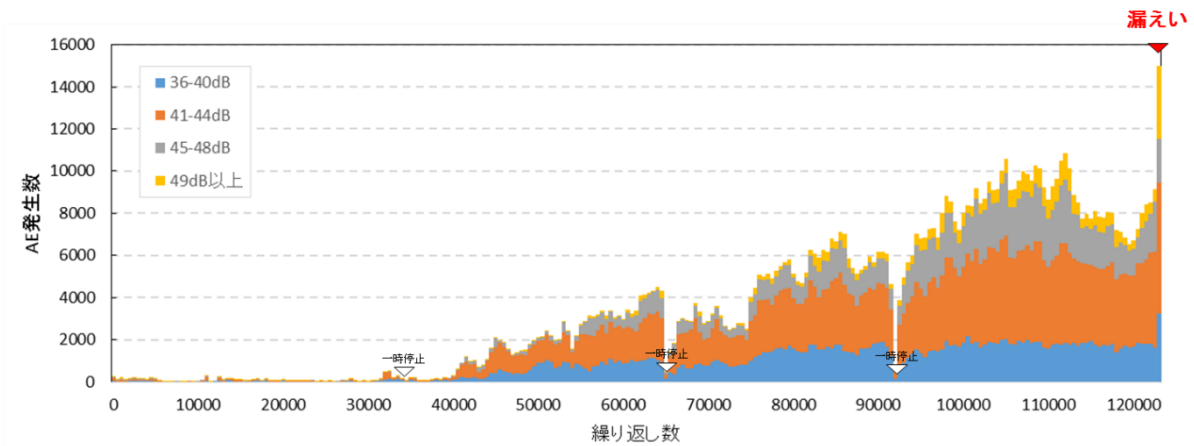


図 14 鋼製小型蓄圧器の水圧疲労試験中に得られた AE 発生数の変化 (容器 2)

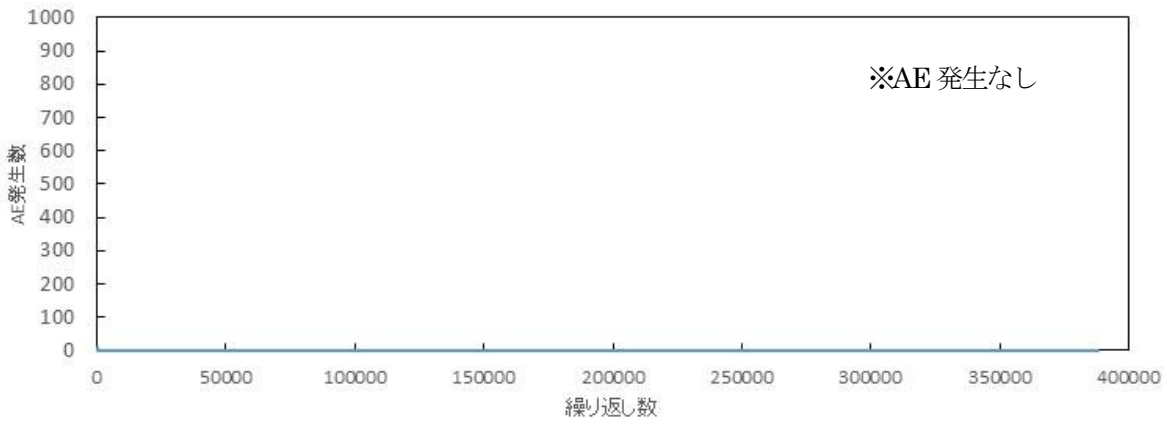


図 15 鋼製小型蓄圧器の水圧疲労試験中に得られた AE 発生数の変化 (容器 6)

・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

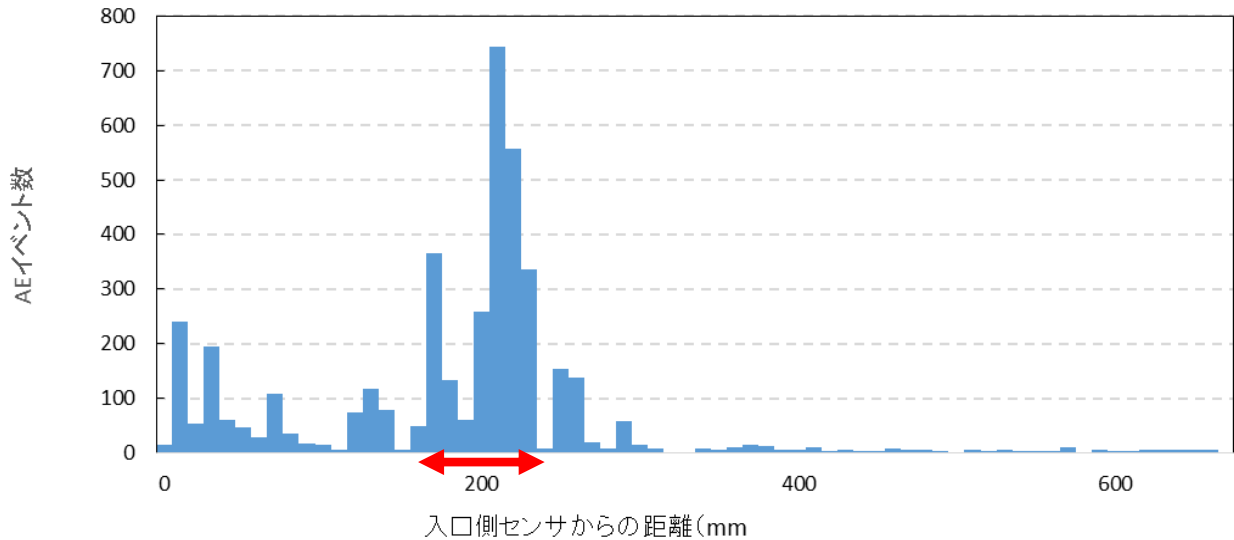


図17 鋼製小型蓄圧器の複数のAEセンサによる位置標定結果

(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

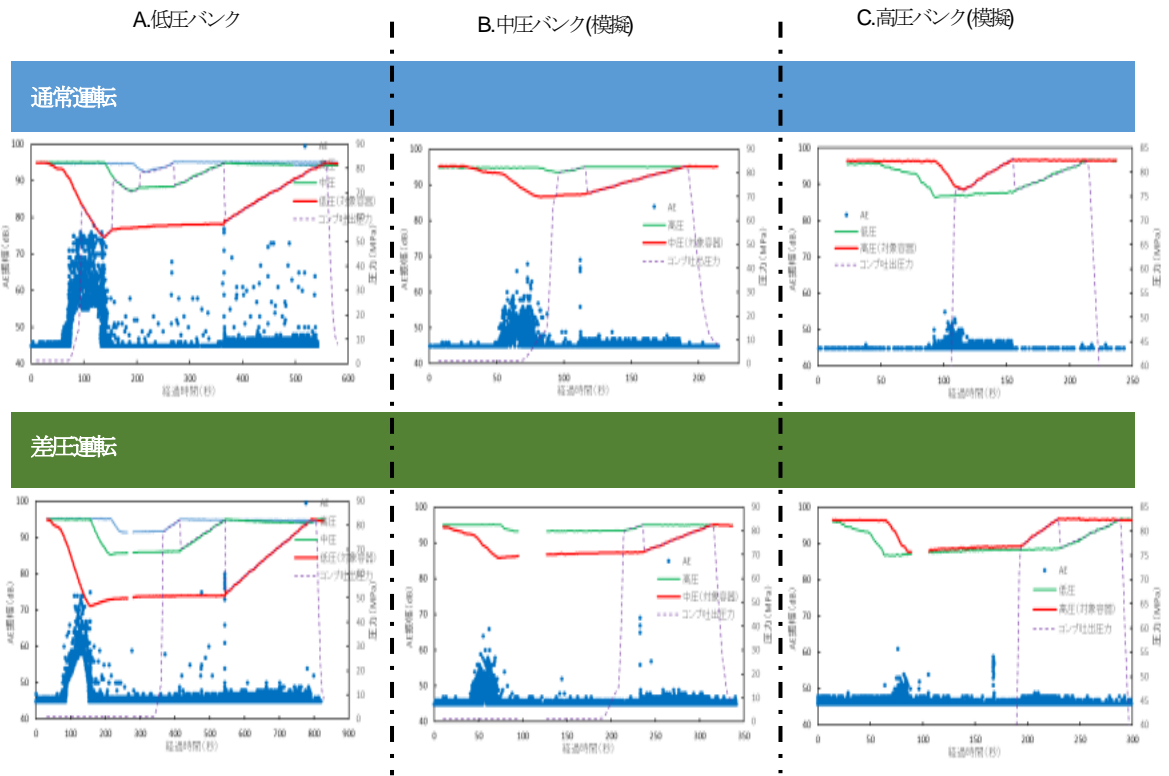


図19 実機蓄圧器のAE信号発生状況

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。

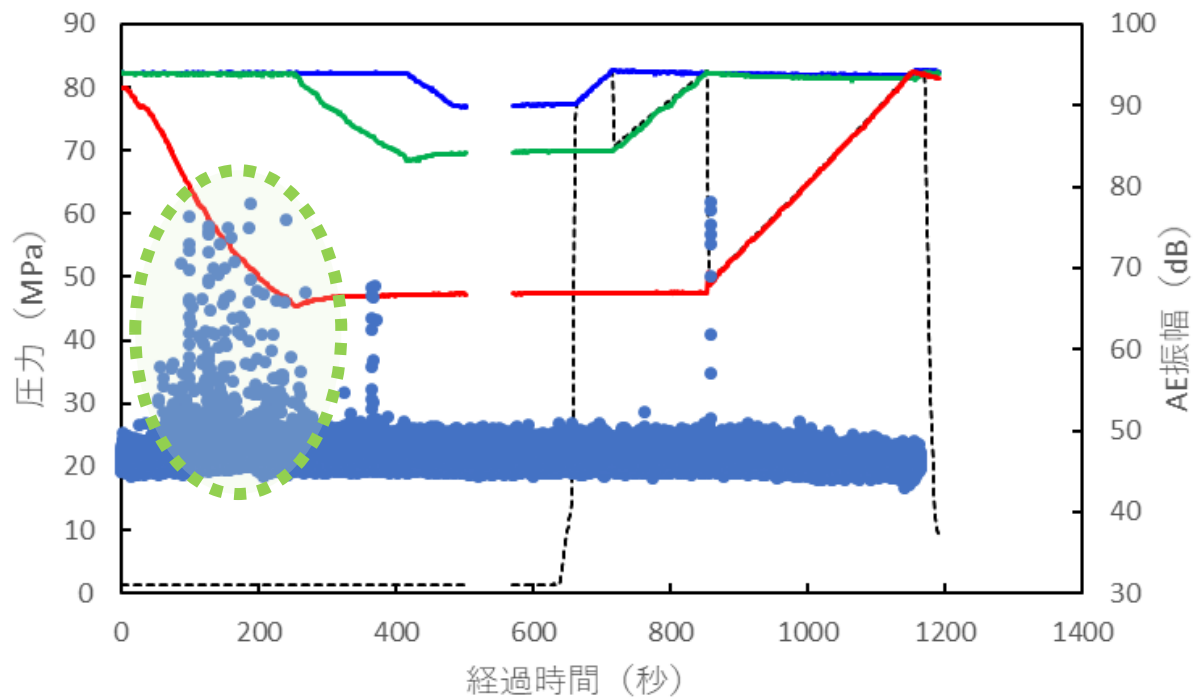


図20 低圧バンク・差圧充填時のノイズ発生状況

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：△

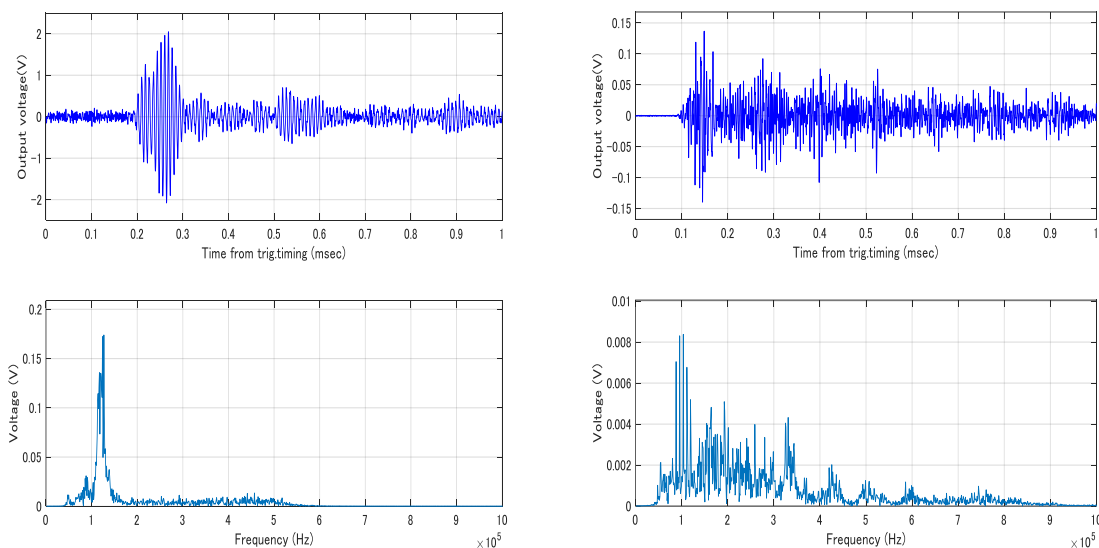


図 21 ノイズ波形と損傷に伴う AE 波形の比較

(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

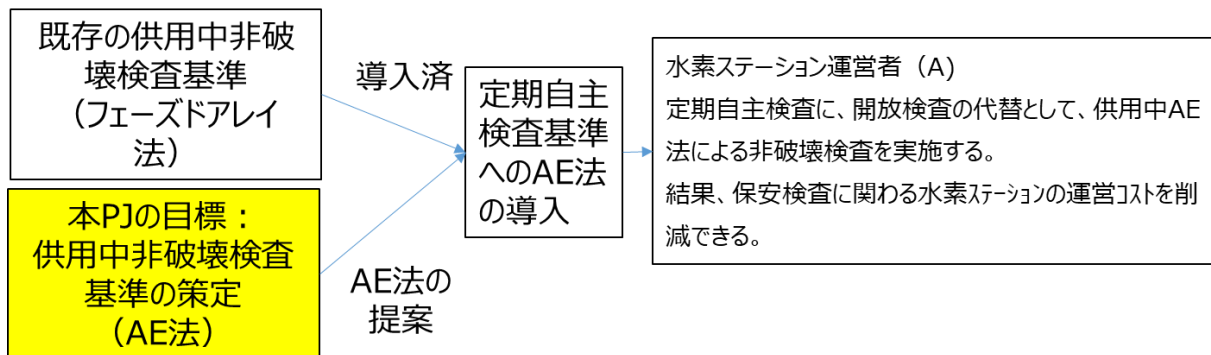
プロジェクト期間終了後のAE法の定期自主検査基準適応へのシナリオ（案）を示す。

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) |

—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
 - ①-1 ライナー試験片評価法の検討
 - ①-2 CFRP試験片評価法の検討
 - ①-3 円筒試験体評価法の検討
 - ①-4 疲労寿命設計線図の作成
 - ①-5 複合圧力容器設計手法の実証
 - ② 技術基準の整備に向けた技術開発

| 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線図を用いた設計手法を実証 |
| 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
 - NEDO
 - (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

● 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。

● 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)案を完成 ・KHKS 0225改正方針を作成 | ○ |

● 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。

| 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

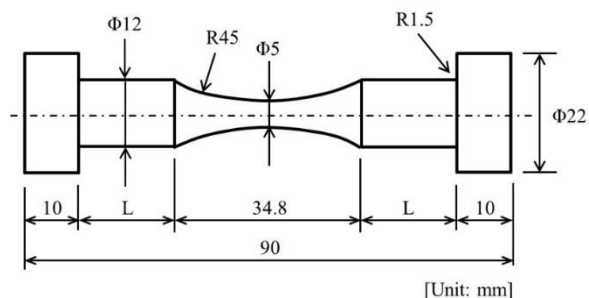
① 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発

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)。

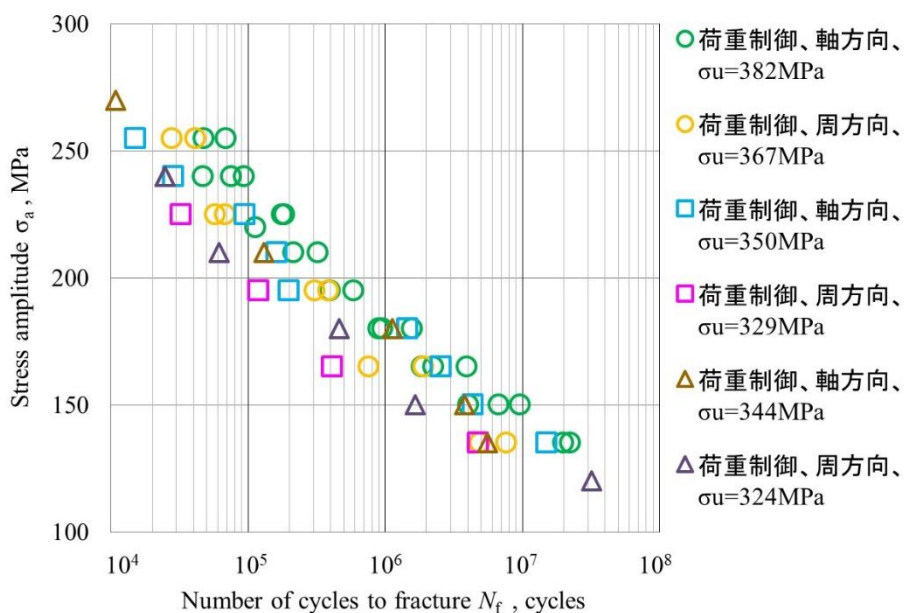


図2 疲労試験結果 ($R=-1$)

$$\sigma_a = 2.0\sigma_u N_f^{-0.10} \quad (1)$$

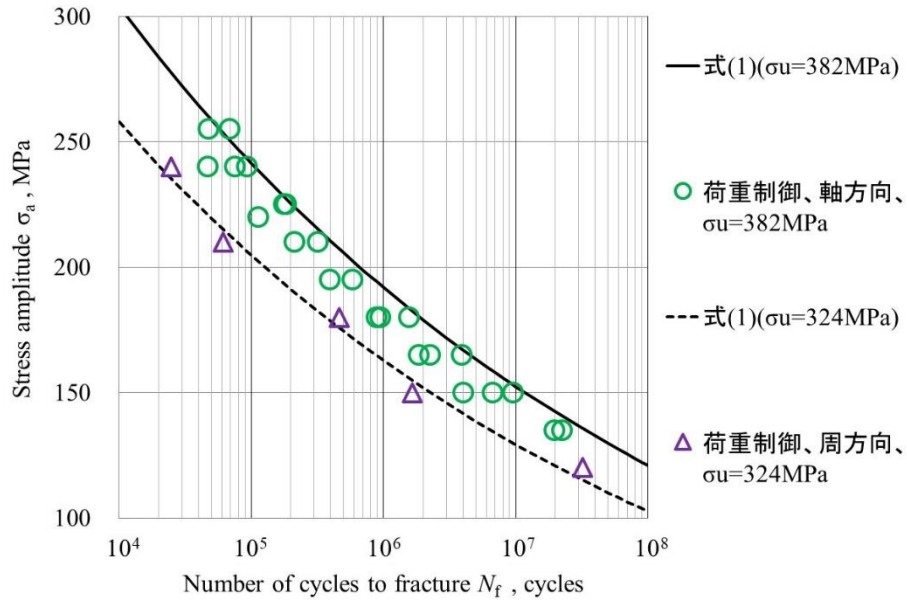


図3 式(1)の最適疲労曲線と疲労試験結果 ($R=-1$)

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。

$$\sigma_{aeq} = \sigma_{max}^{0.2} \sigma_a^{0.8} = \sigma_{max} \left(\frac{1-R}{2} \right)^{0.8} \quad (2)$$

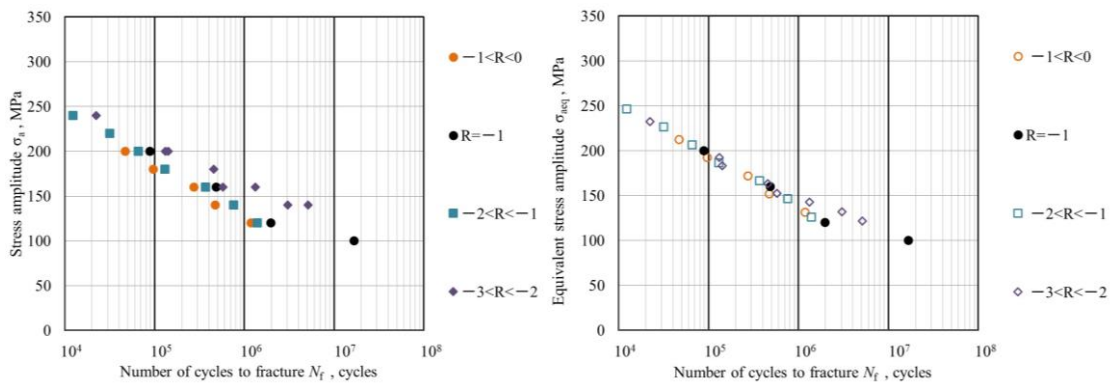


図4 式(2)の平均応力の補正方法の適用結果 (左: 補正前、右: 補正後)

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ロス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。

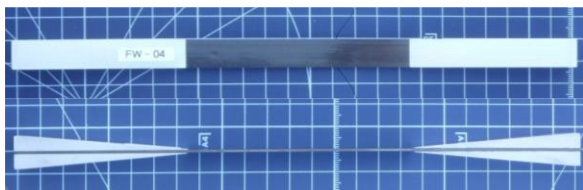


図 5 CFRP 試験片

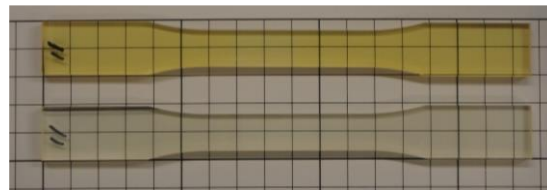


図 6 樹脂単体試験片

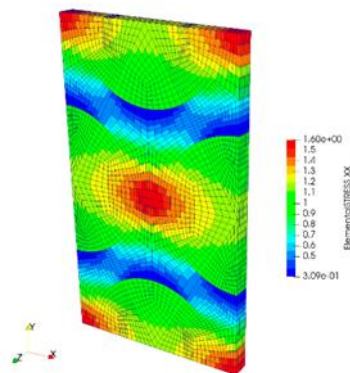


図 7 ミクロスケール有限要素モデル

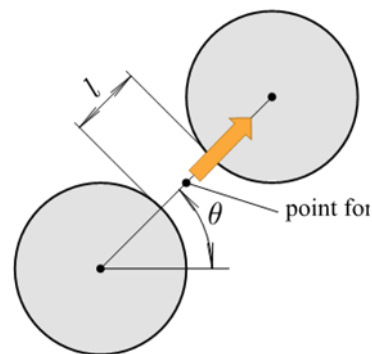


図 8 Interfacial Normal Stress

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。

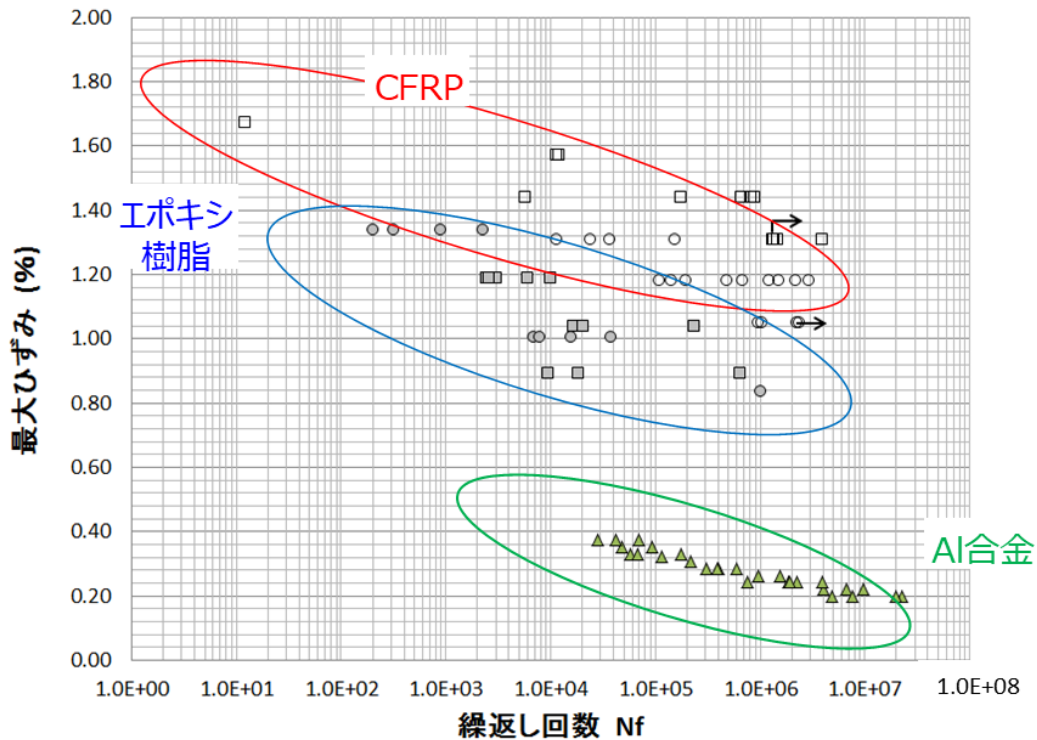


図9 最大公称ひずみで整理した S-N 線図

(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10および図11)。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12)、有限要素解析の結果(図13)からフープ層厚さ0.9mm、ヘリカル層厚さ7.0mm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

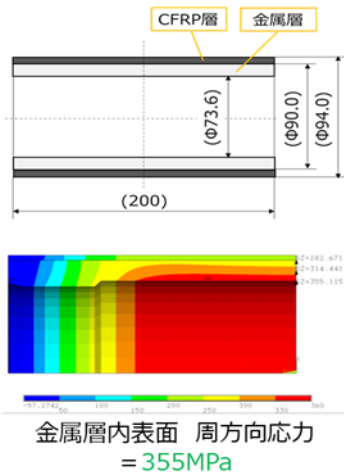


図 1 0 試験体形状と周方向応力分布
(設計係数 3.5)

試験体 (B)
設計係数=3.5

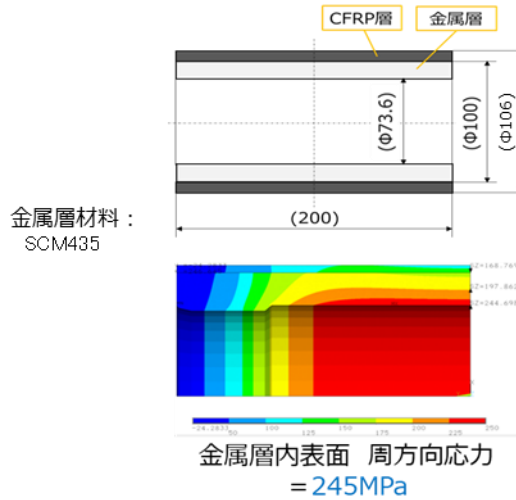


図 1 1 試験体形状と周方向応力分布
(設計係数 2.4)

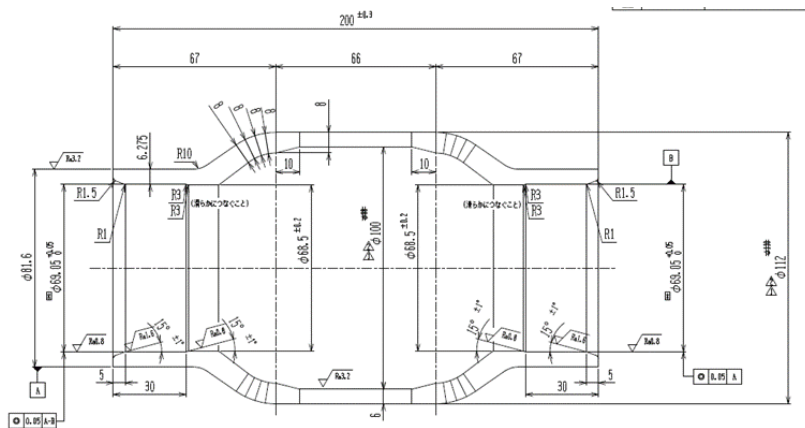
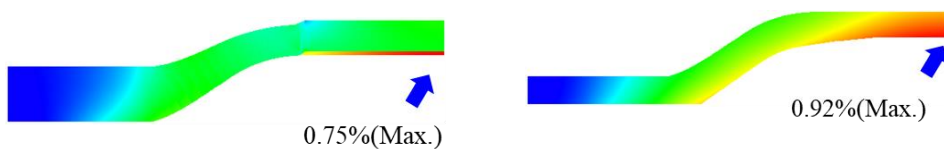


図 1 2 フラップ対応円筒試験体ライナー



(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 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。

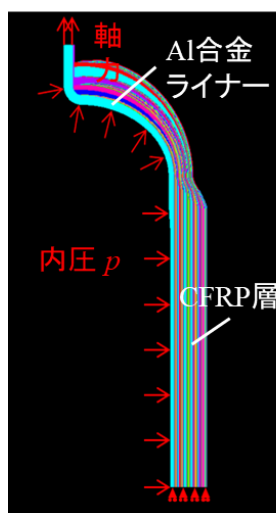


図14 タイプ3蓄圧器(111L)の軸対称有限要素モデル

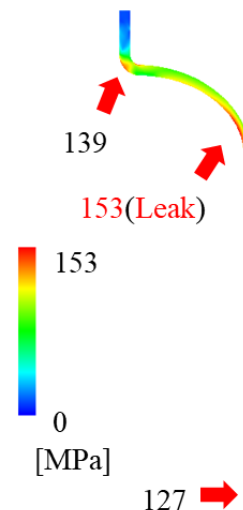


図15 ライナーの応力強さ振幅(サイクル圧力28.5-85.5 MPa)

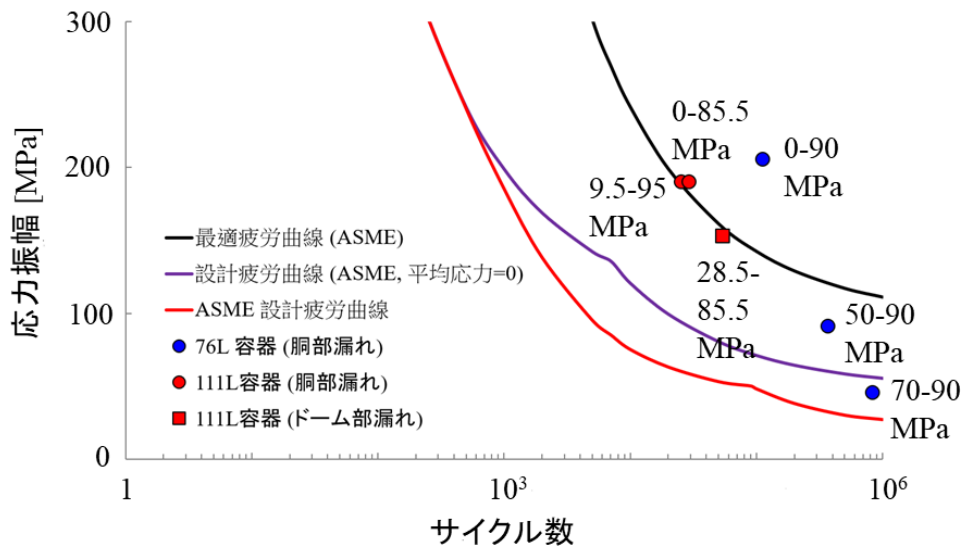


図 1 6 有限要素解析で評価された応力強さ振幅と圧力サイクル寿命の関係

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。

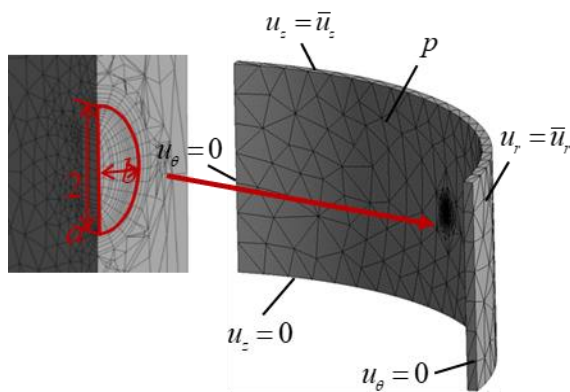


図 1 7 ライナー軸方向き裂の有限要素モデル

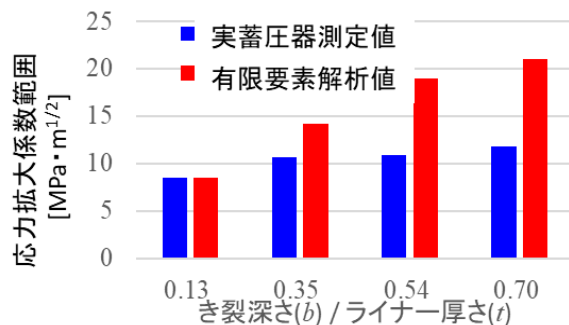


図 1 8 有効応力拡大係数範囲の評価

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)。

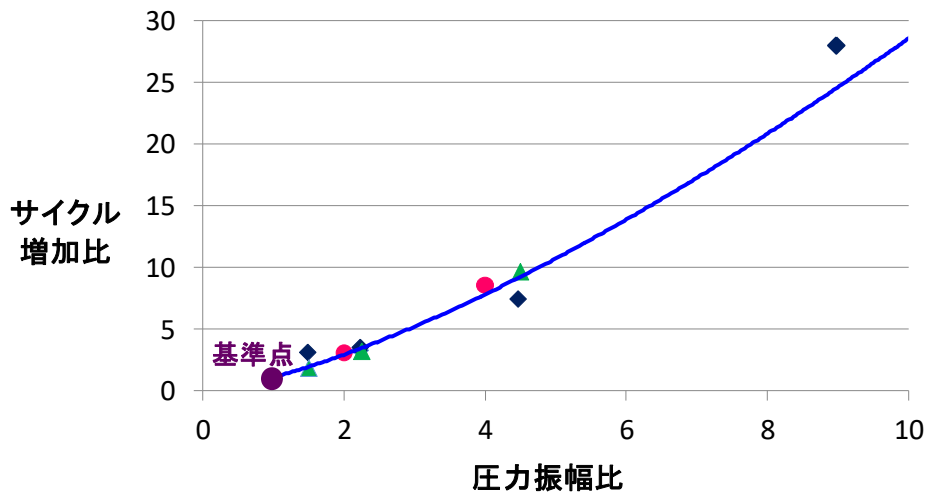


図19 部分充填サイクル試験の圧力振幅比とサイクル増加比の関係

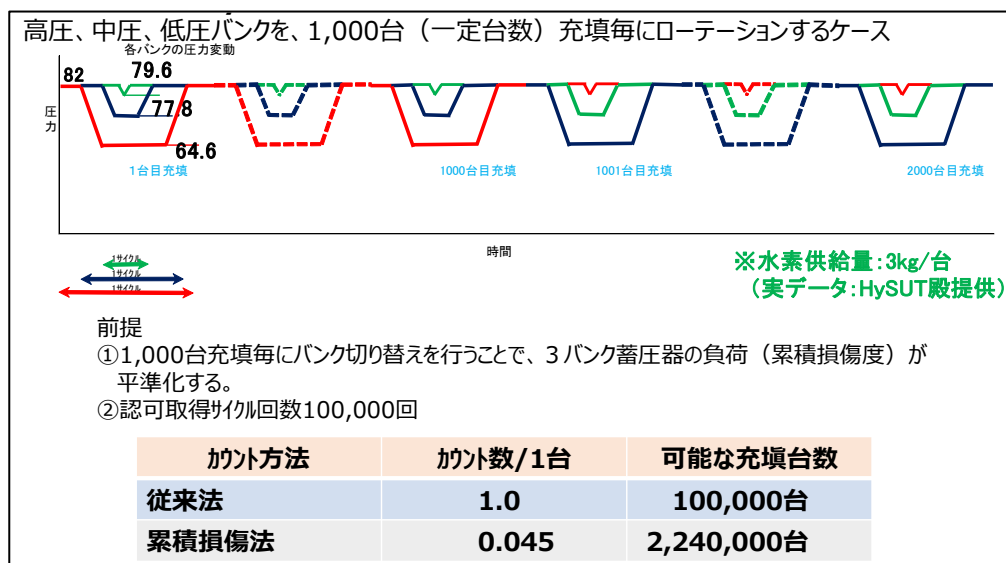


図20 HySUT 充填実証データを用いた寿命延長効果の検証例

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正方針を作成した。

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。
- ・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）

●研究成果まとめ

| 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。

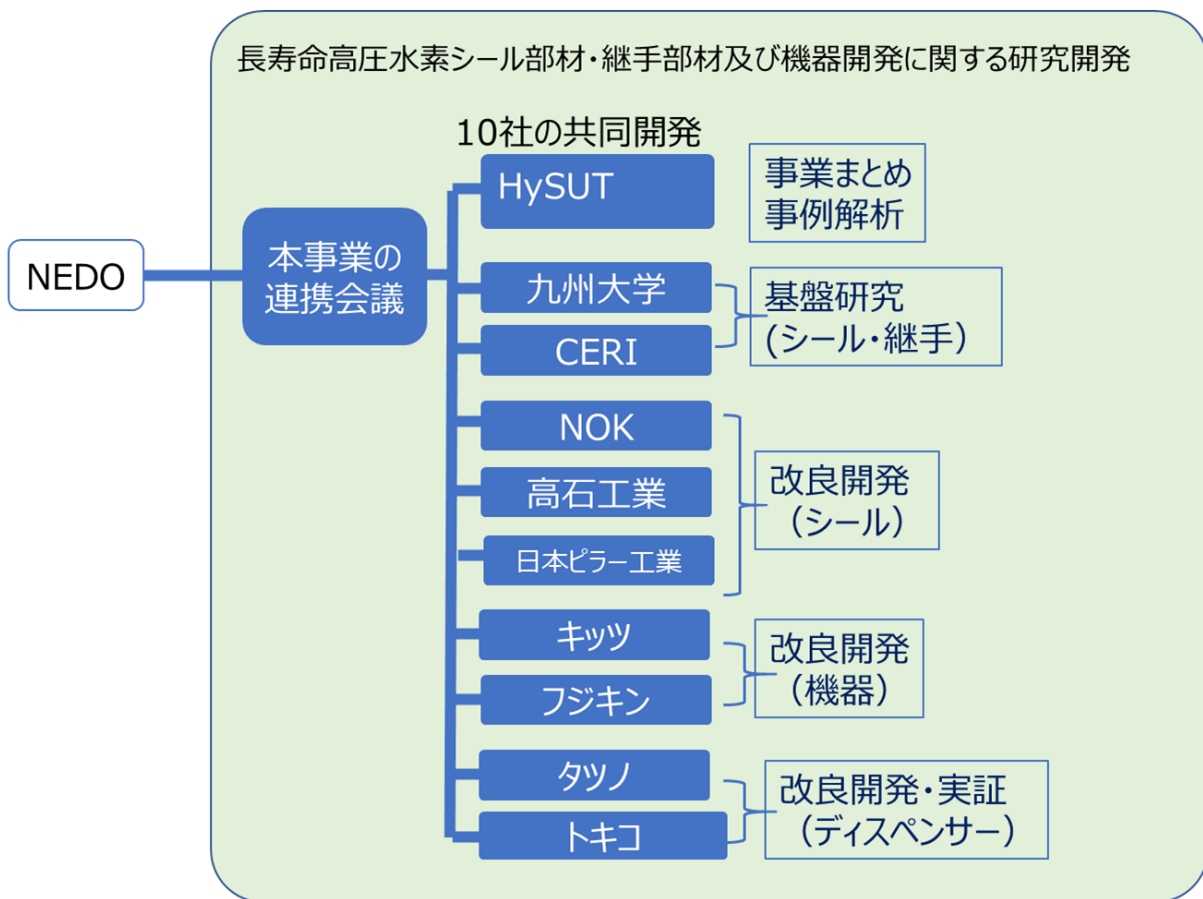


図1 実施体制

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)

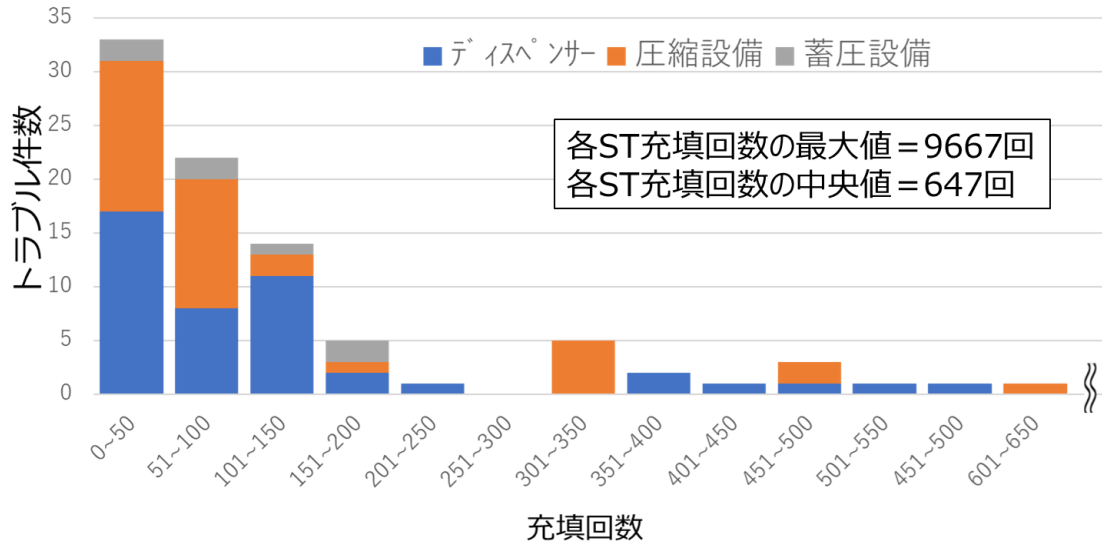


図3. シール部材・継手部材の漏洩事例に係る充填回数ヒストグラム (設備区分別)

(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)

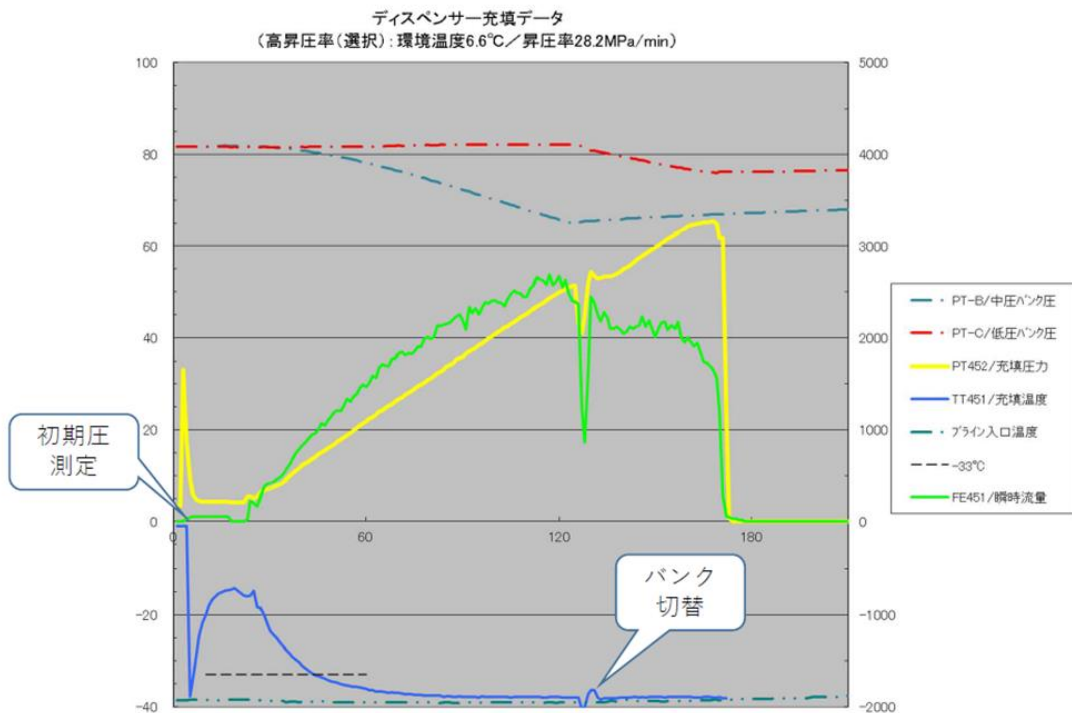


図4. 水素技術センター (HTC) 充填データ

- ・ 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）

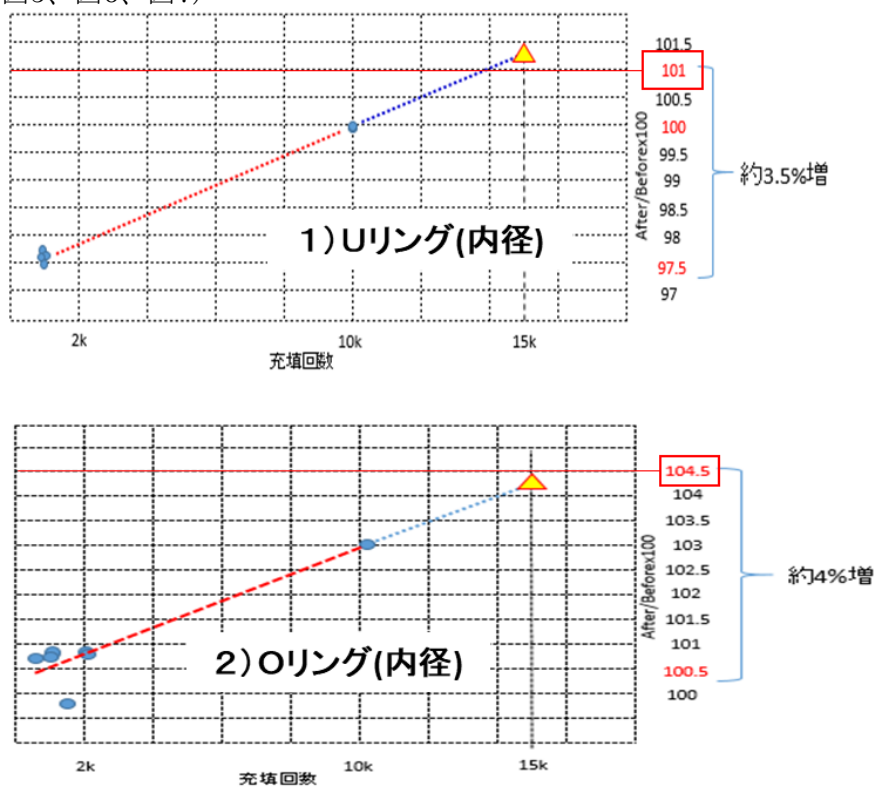


図5. シール部（Uリング、Oリング）に係る仮想相関図（キット製バルブ）

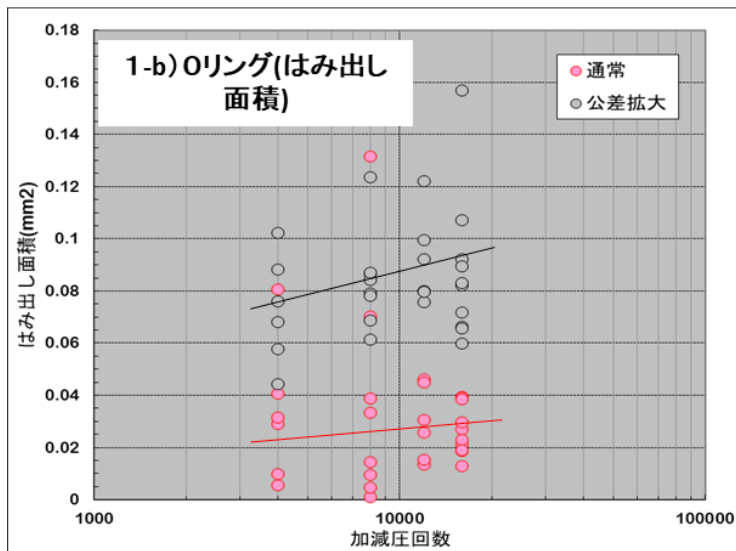
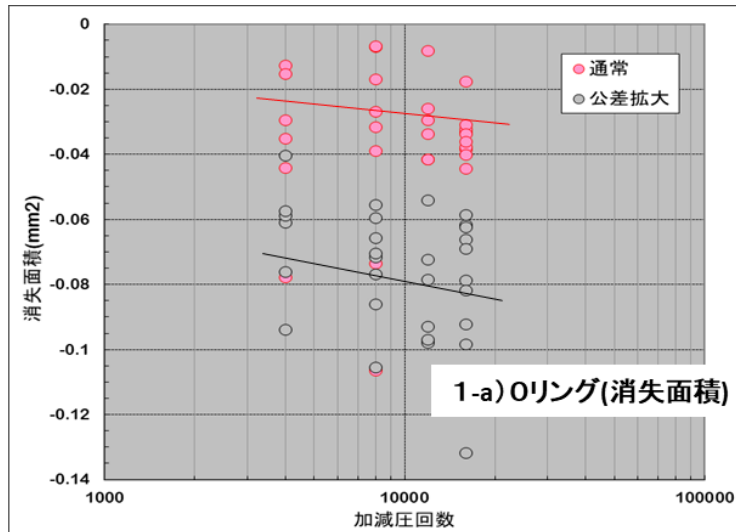


図6. シール部（Oリング）に係る仮想相関図（フジキン製バルブ）

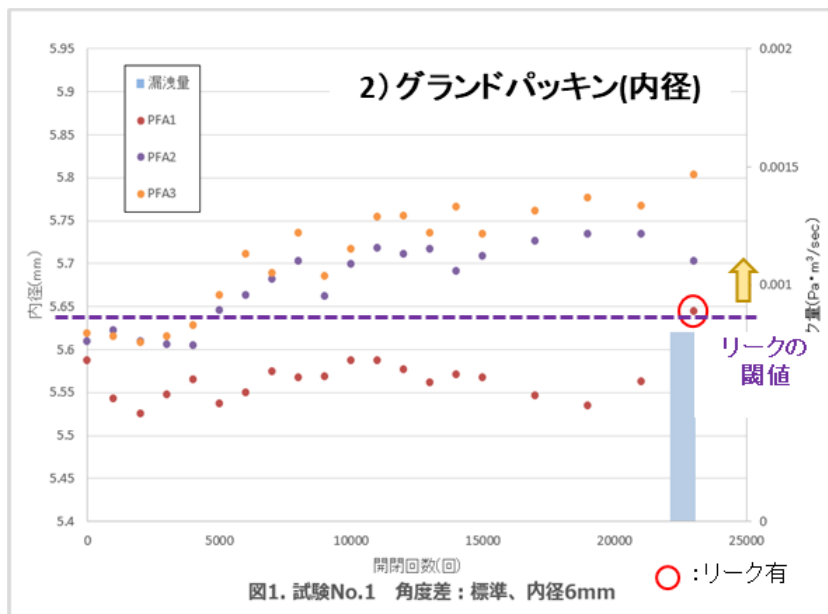


図7. シール部（グランドパッキン）に係る仮想相関図（フジキン製バルブ）

(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。

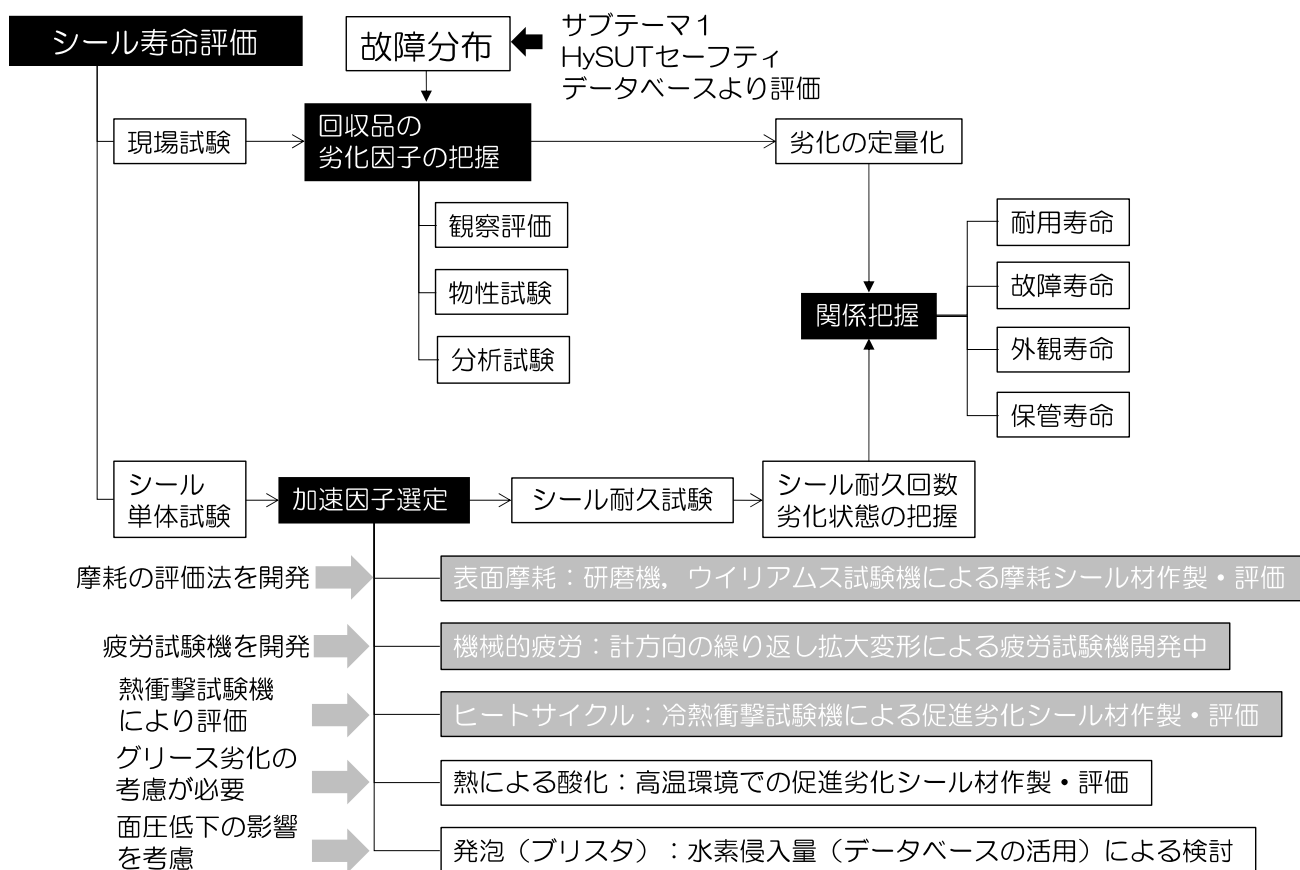


図8 加速耐久性評価法開発の基本概念

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。

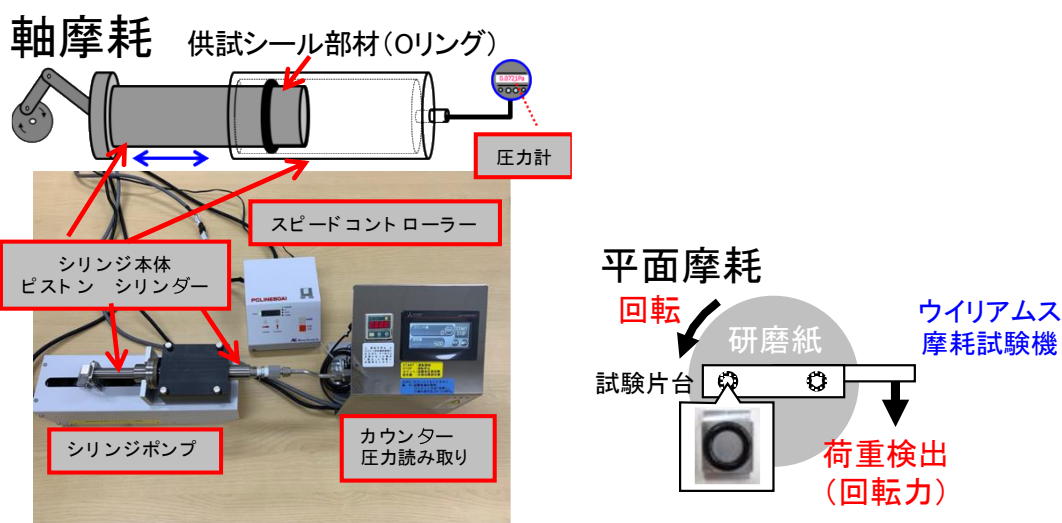


図9 表面摩耗劣化模擬Oリング作製方法

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。

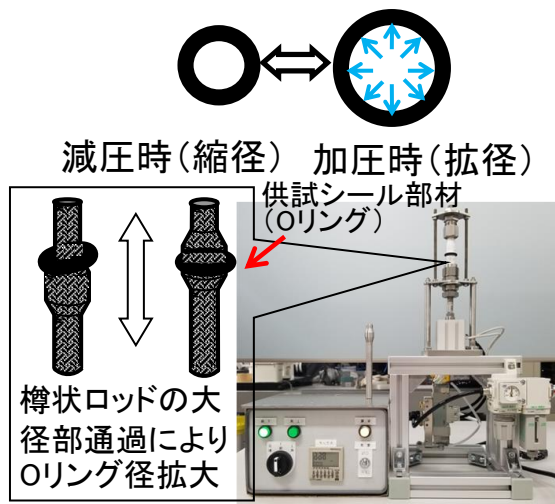


図10 Oリング疲労試験機

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。

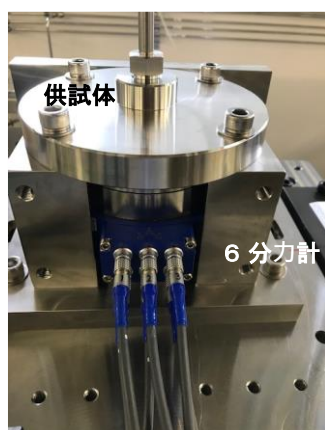
高圧水素ガス圧縮機において、吐出ガスの硫化水素濃度が規定値を超える問題が報告され、ポリフェニレンサルファイド (PPS) を含むピストンリング材が硫化水素の発生源と推定された。また高圧水素ガス圧縮機のピストンリング材は、従来のガス圧縮機と比較しより高圧、高温、高滑り速度条件下においてしゅう動するため、摩耗や破損による早期の機能低下が問題となっている。

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。

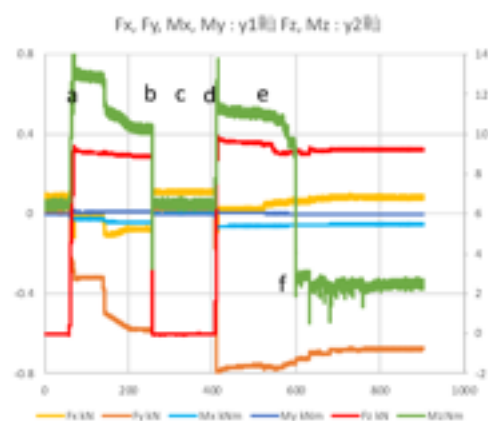
- ・ PPSを含むピストンリング材のしゅう動開始と共に、硫化水素を含む複数のガスエミッションが発生することを確認した。またガスエミッションの発生量は、ピストンリング材の摩耗量に比例することが示された。
- ・ ピストンリング材の摩耗に伴う硫化水素の発生は、摩擦により破断したPPS分子鎖から生じた硫黄ラジカルが周囲の水素と結合するトライボケミカル反応による。
- ・ しゅう動相手面温度がピストンリング材の母材であるPTFEの特性温度を超えると、接触圧と滑り速度の上昇により摩耗量が急増することが確認された。

(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。

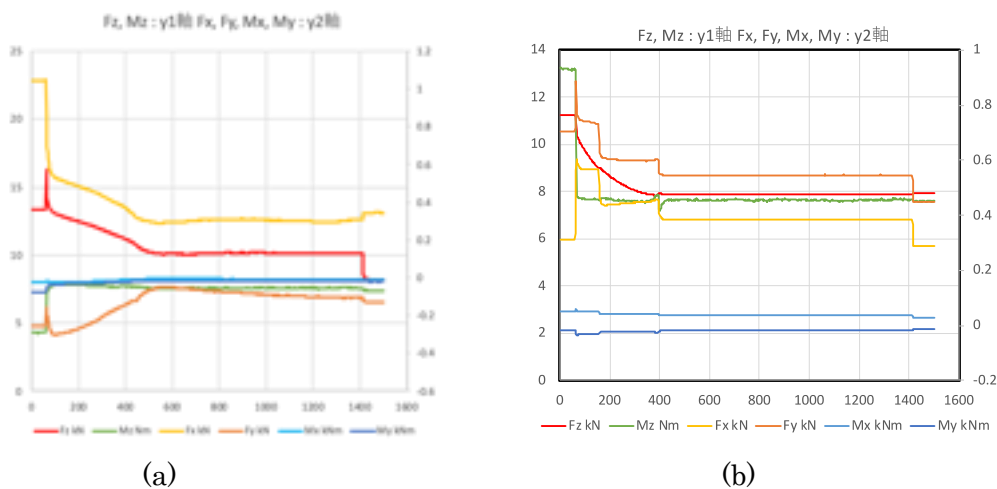


図13 (a)軸方向圧縮サイクル試験による軸力低下、(b) 軸方向圧縮サイクル試験による軸力低下

- 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)

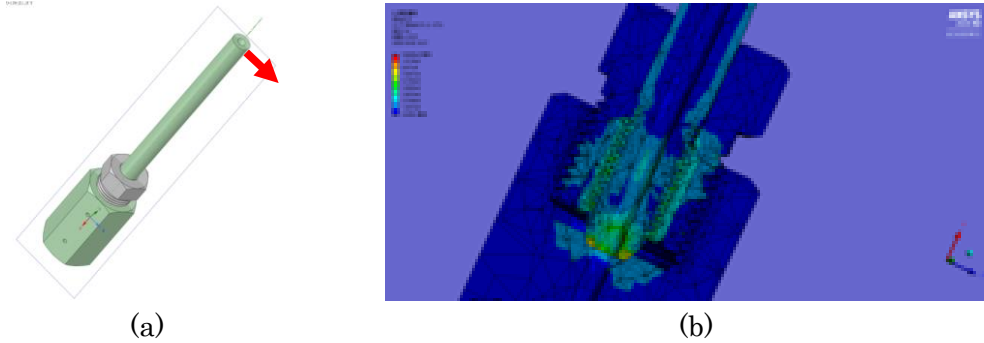


図14 FEM弾塑性変形非線形解析の例：(a)曲げモーメント付与のモデル例、(b) 締結後、曲げモーメント付与時の等価応力分布の例

(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)

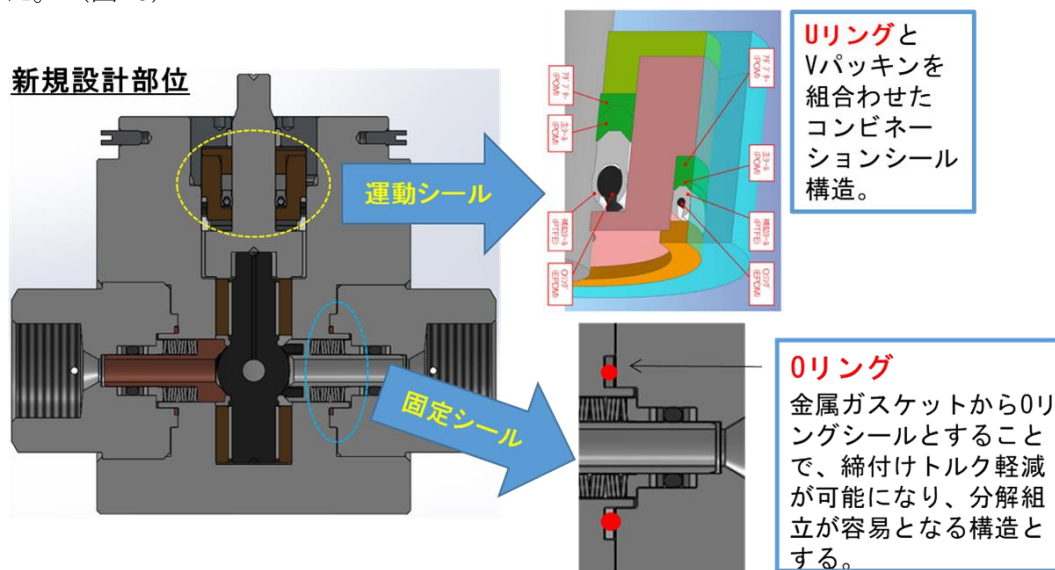


図15 新型シール材の基礎設計

- ・ 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）

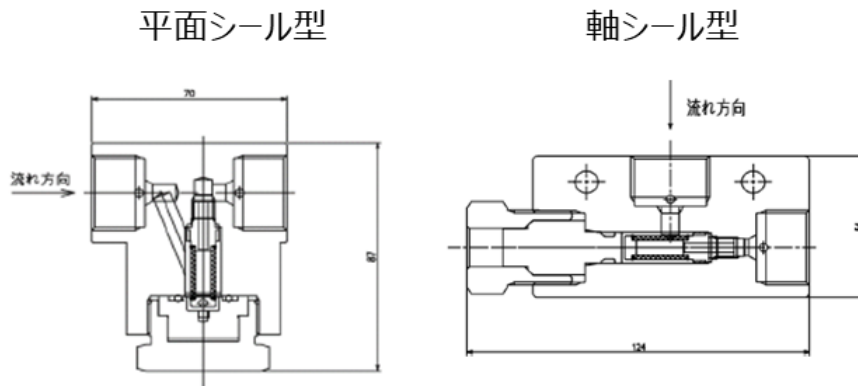


図16 新規フィルター設計

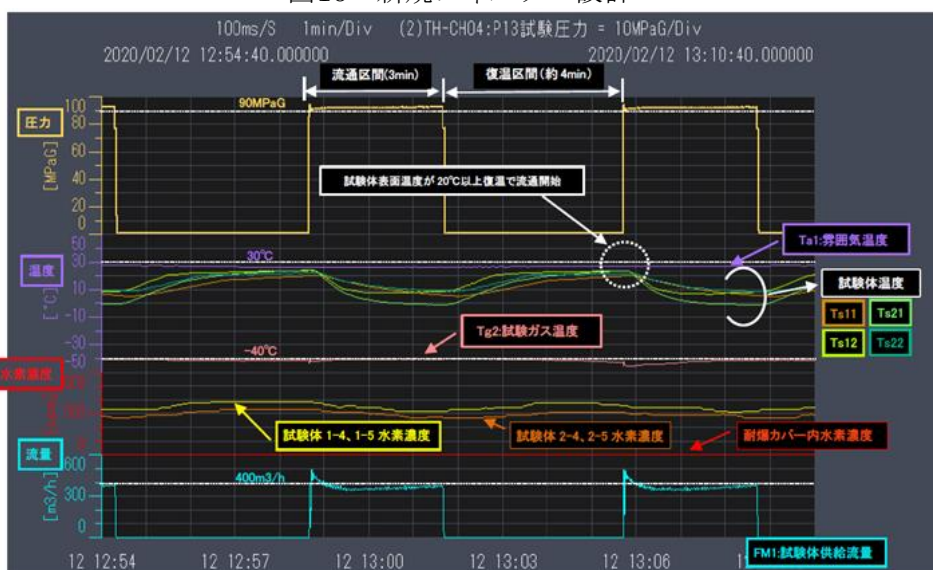


図17 低温水素ガス流通試験波形

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、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 / 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)

- ・高压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

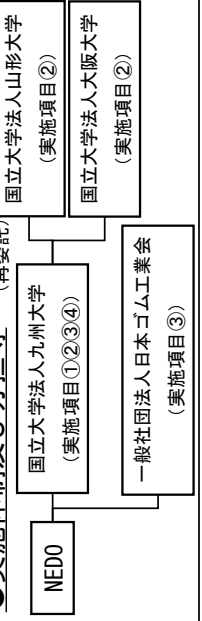
2017年度までのNEDO事業において開発された87.5 MPa試作ホースの水素インパルス試験法による評価は数万回の耐久性を示すことが判明している。このため、これらのホースの水素インパルス試験による耐久性評価は長期を要する。この結果、ホース交換サイクルの設定に資する評価結果が十分に得られず、ホース耐久性の実力値に比して限定的なホース交換サイクルを設定せざるを得ない状況となっている。

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压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 | 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 |
| 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 |
| 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 |

●実施体制及び分担等



●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压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、高ひずみホース設定、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) 高压水素ホースの劣化・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压水素環境下の赤外分光測定を実施した結果、高压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ことを見出した。(大阪大学再委託)
- レベルの大きさの気泡が多量に発生することを示した。(大阪大学再委託)
- (実施項目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
- 一般社団法人日本ゴム工業会に高压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。8回のWT会議を開催し、ホースの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試験結果をそれぞれホースメーカーにフィードバックした。

●今後の課題

最終的な目標である加速評価法案の確立に向けて、加速評価法案についてホース揺動水素インパルス試験を基本として検討を進める。ホース揺動水素インパルス試験法について、ホース設定、温度の影響など、詳細に検討する必要がある。実機における劣化状況の調査結果と比較検討し、検証を進める。また、これらの結果を踏まえ、国内・国際規格化を推進する。

●実用化の見通し

現在、当プロジェクト参加者がエキスパートとして参加しているディスプレイサン用高压水素ホース国際規格のワーキンググループ (ISO TC197 WG22) において、2020年11月に発行されたISO 19880-5の改定に向けた議論が進められている。当プロジェクト成果である加速耐久性評価法の国際規格化について推進する。

| 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高压水素ホースについても、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「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。

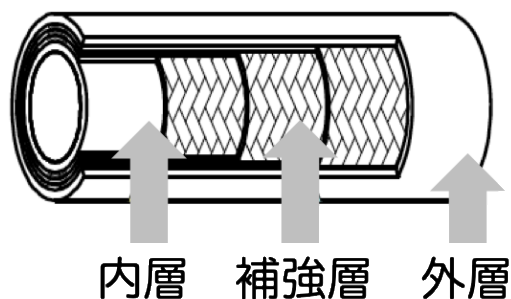


図1 高圧水素ホースの構造

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。

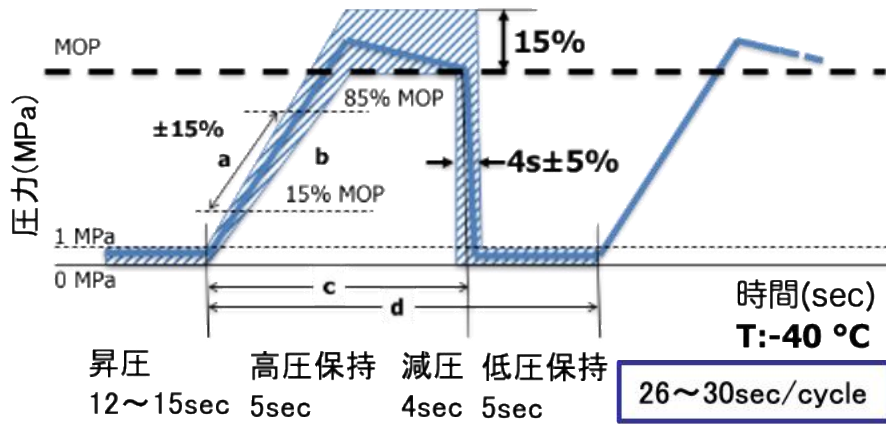


図2 水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) における水素圧力パターン

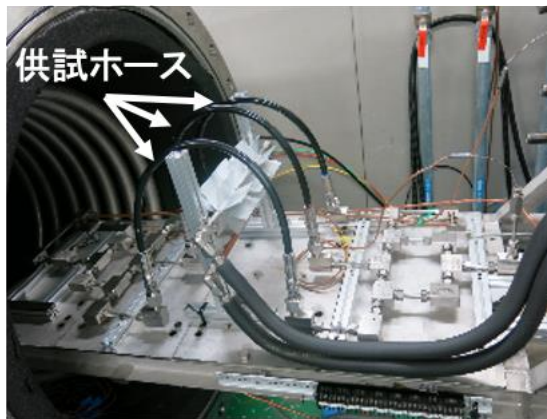


図3 水素インパルス試験 (ISO 19880-5 Clause 7.9) のホース設定状況

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。

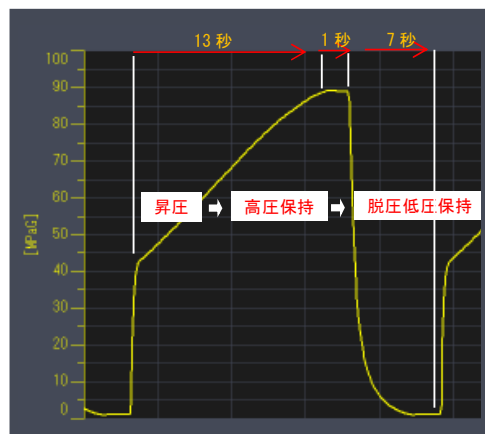


図4 均圧を模擬した水素インパルス試験圧力パターン

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。

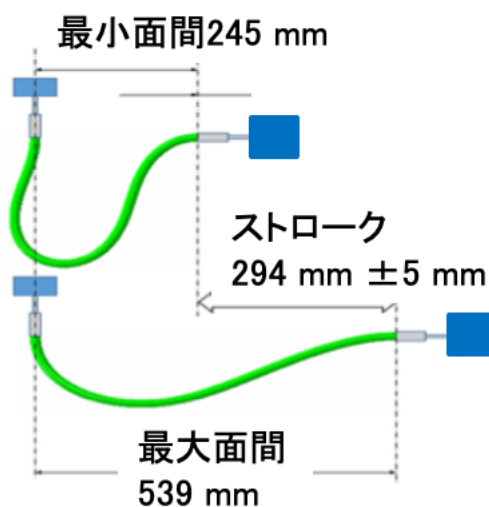


図 6 ホース揺動試験概略

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。

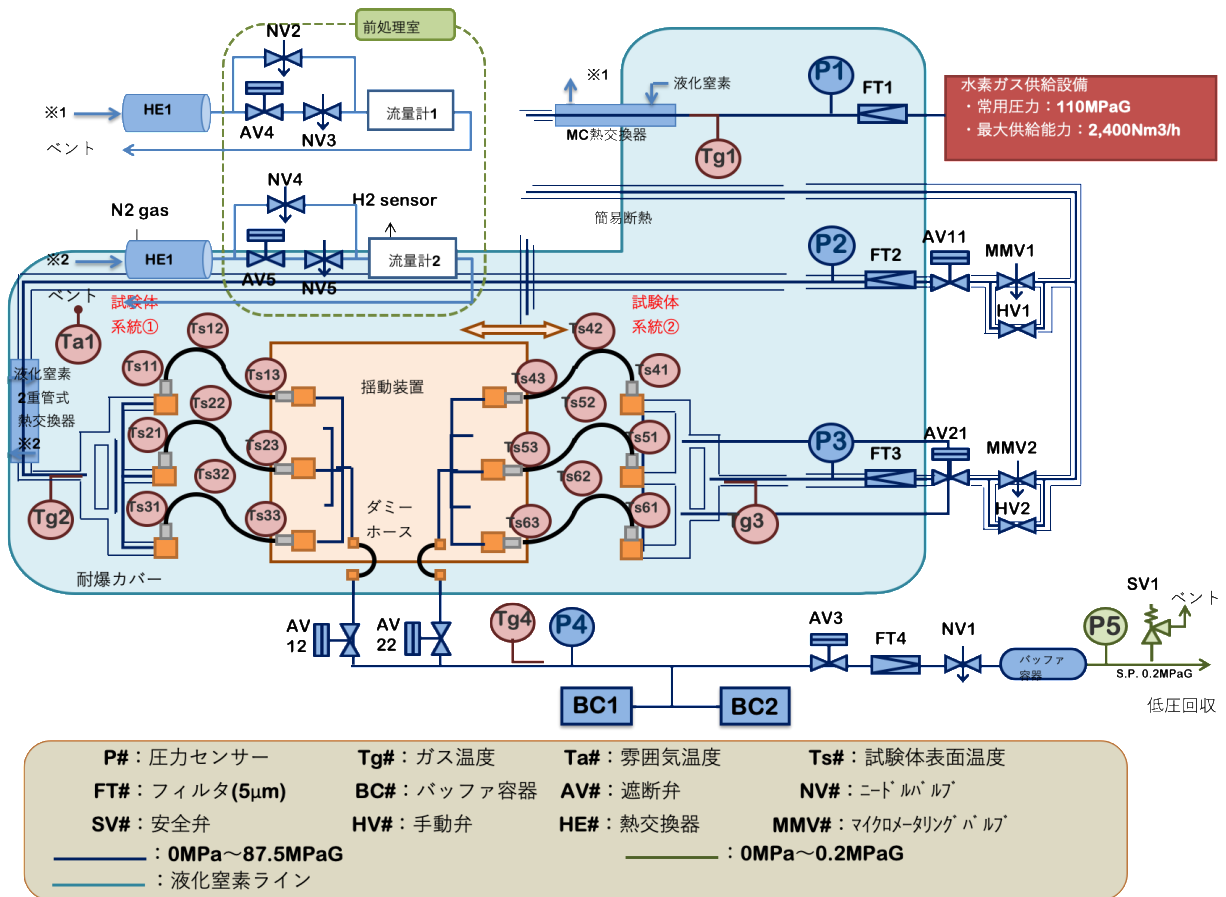


図 7 揺動水素インパルス試験設備

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 |

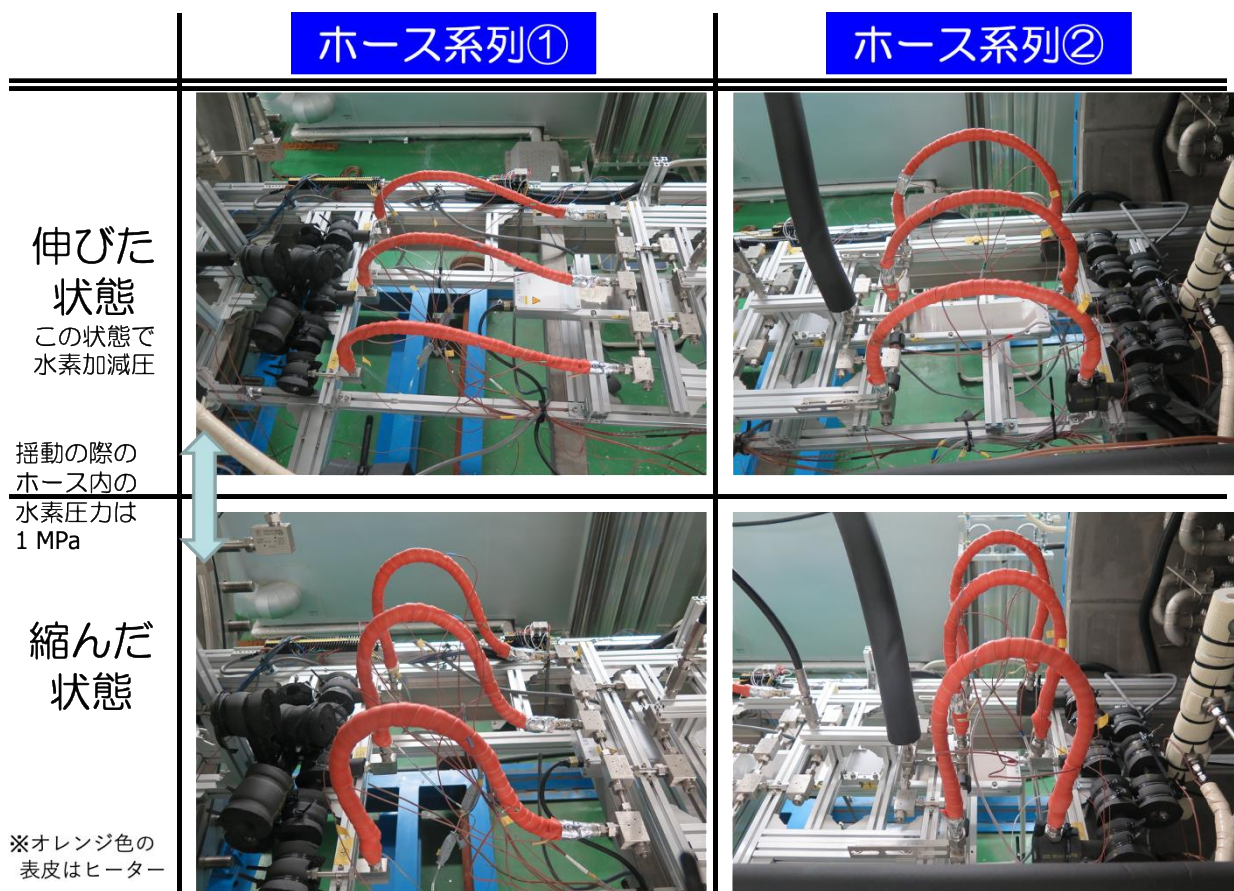


図8 ホース揺動水素インパルス試験時のホースの状況

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。

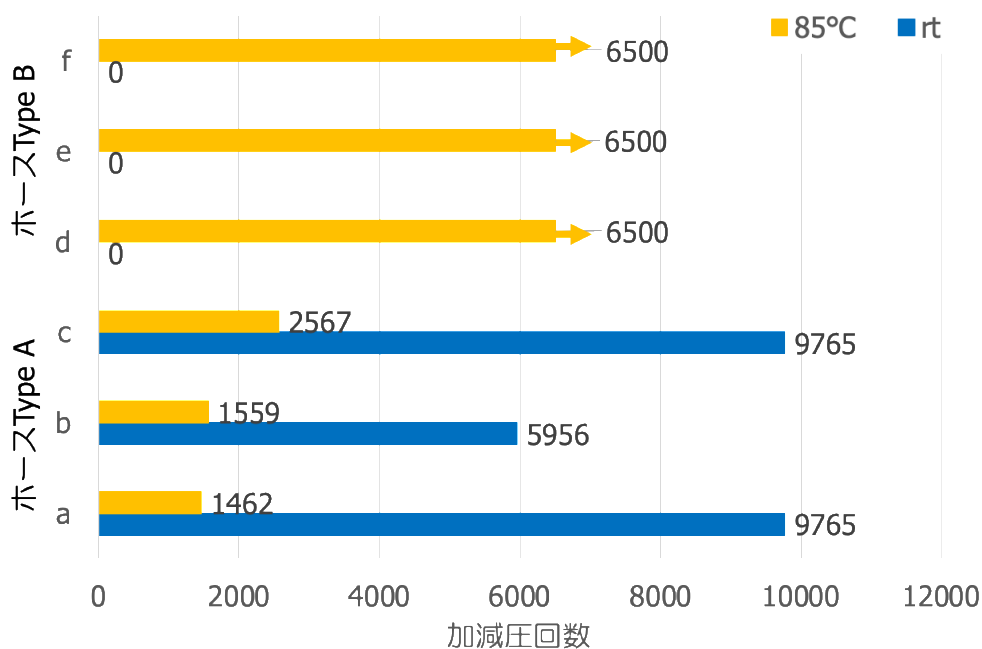
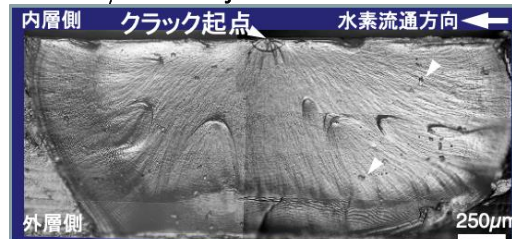


図9 ホース揺動試験結果

85°C $N_f=1559$ cycles



25°C $N_f=5956$ cycles



実機のクラック例

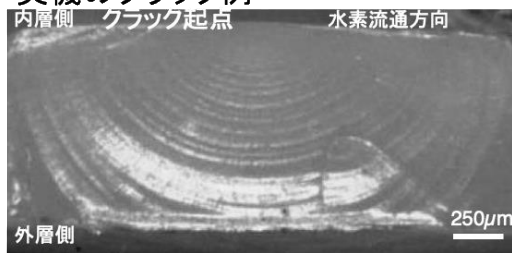


図10 Type A ホースのホース揺動水素インパルス試験ホース漏洩箇所の観察結果

(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

—研究発表・講演、文献等、その他—

| No. | 年月 | 発表先 | 題目 | 発表者 |
|-----|-----------|---|---|---|
| 1 | 2019/1/30 | 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 |

—特許等—

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。

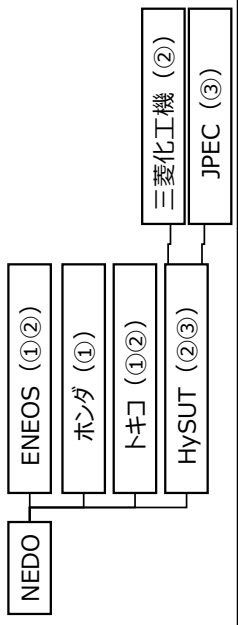
● 背景/研究内容・目的

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。

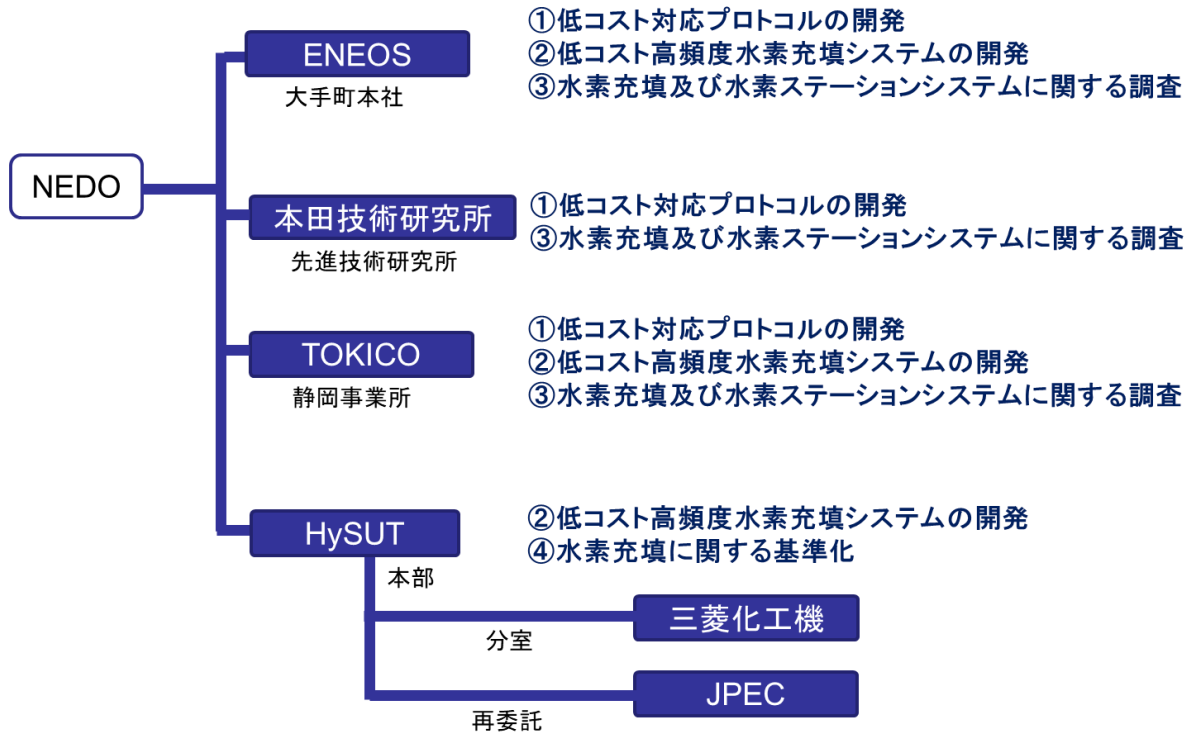
①低コスト対応プロトコルの開発：充填時間を延ばすことなく水素供給温度を緩和（高温化）可能とする革新的プロトコルを開発する。

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温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（ロ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。

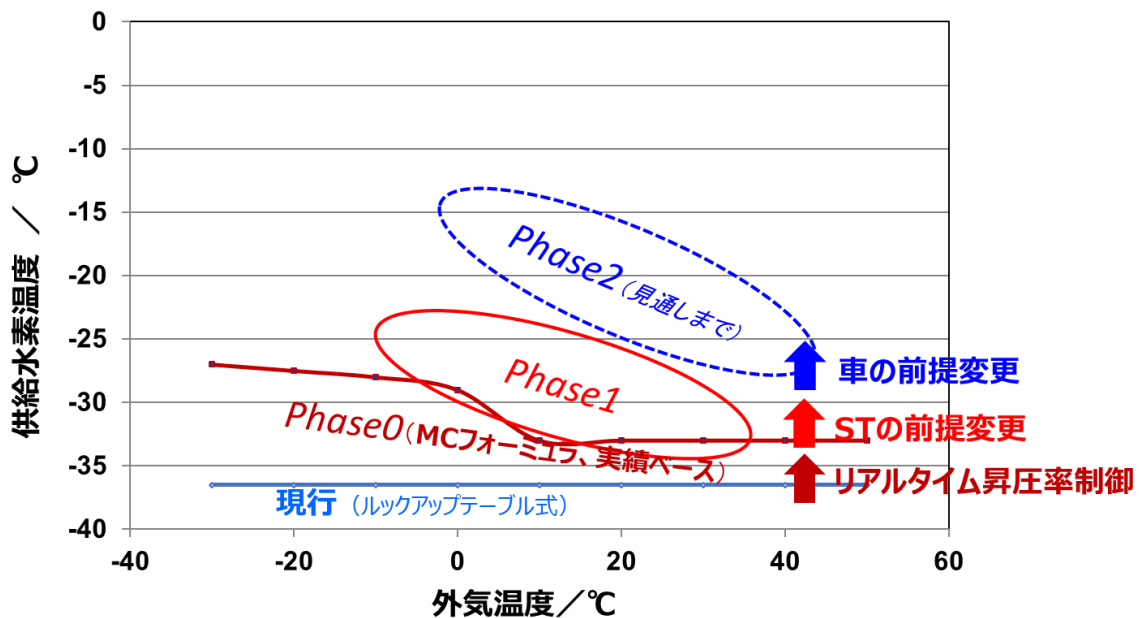


図 1. プレクール温度の緩和に向けたアプローチ

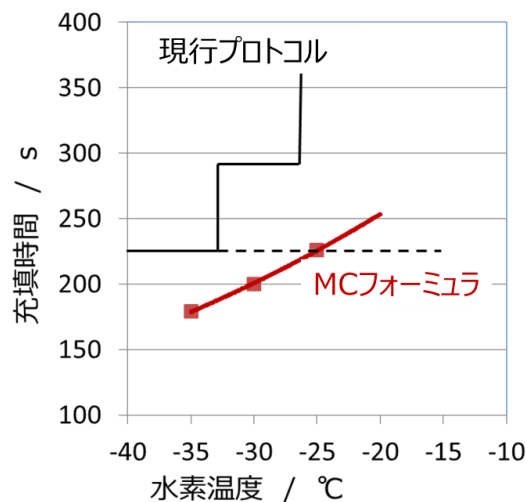


図 2. MC フォーミュラの検証結果 (冬, 初期圧 5MPa) @HySUT 水素技術センター

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)。

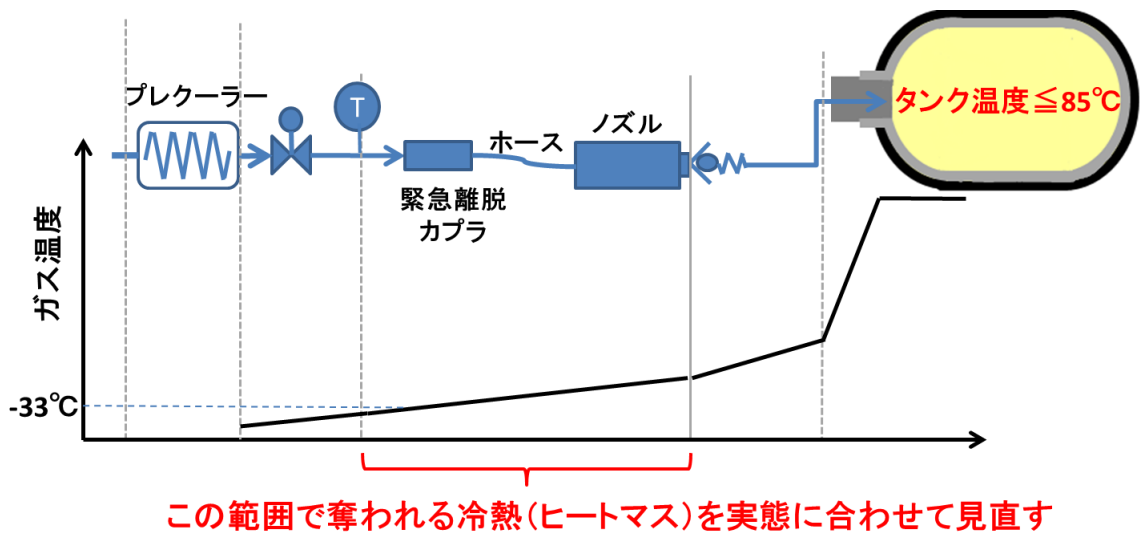


図 3. Phase1 (ステーションの前提変更) の概念

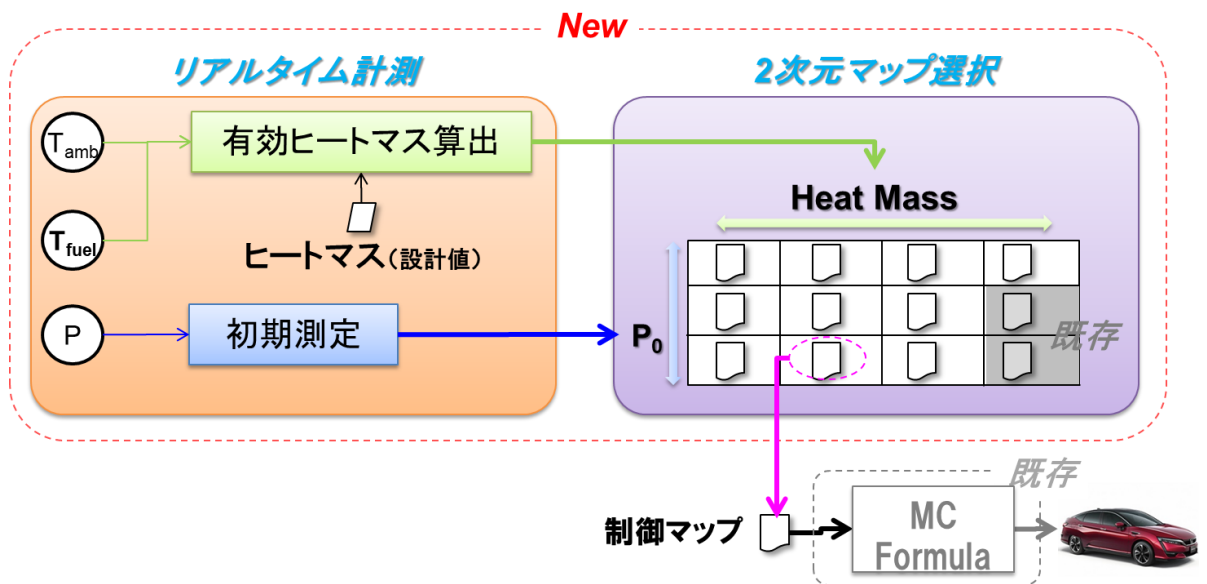


図 4. Phase1 : 充填制御コンセプト

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>

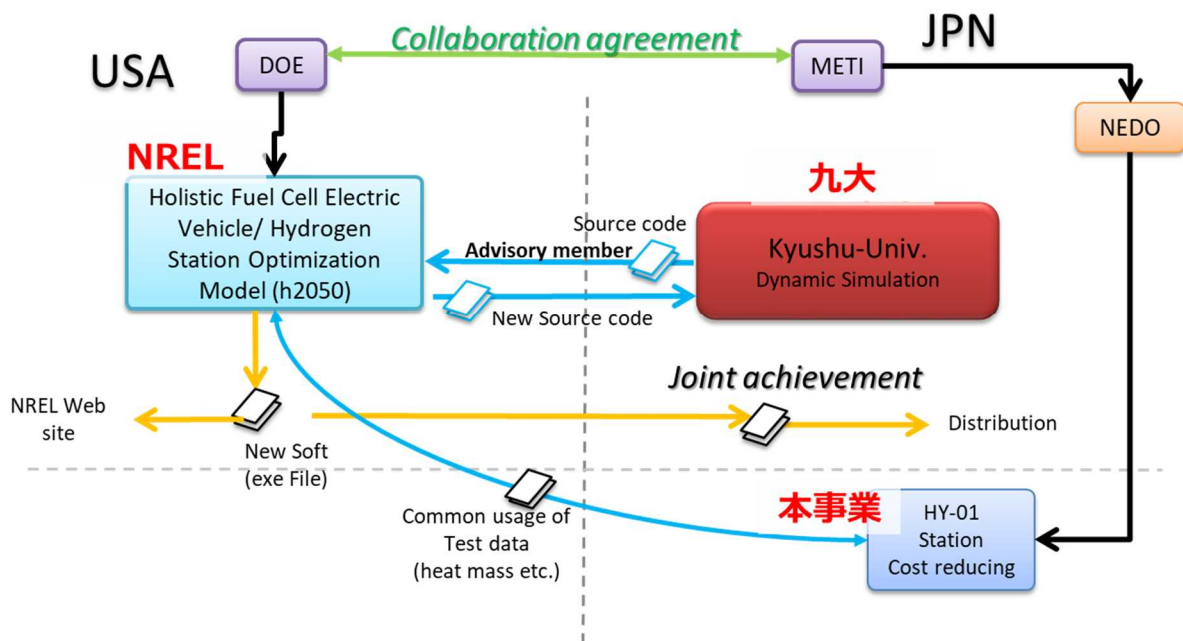


図5. 充填シミュレーション開発に関わる国際連携

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も期待出来る。

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。

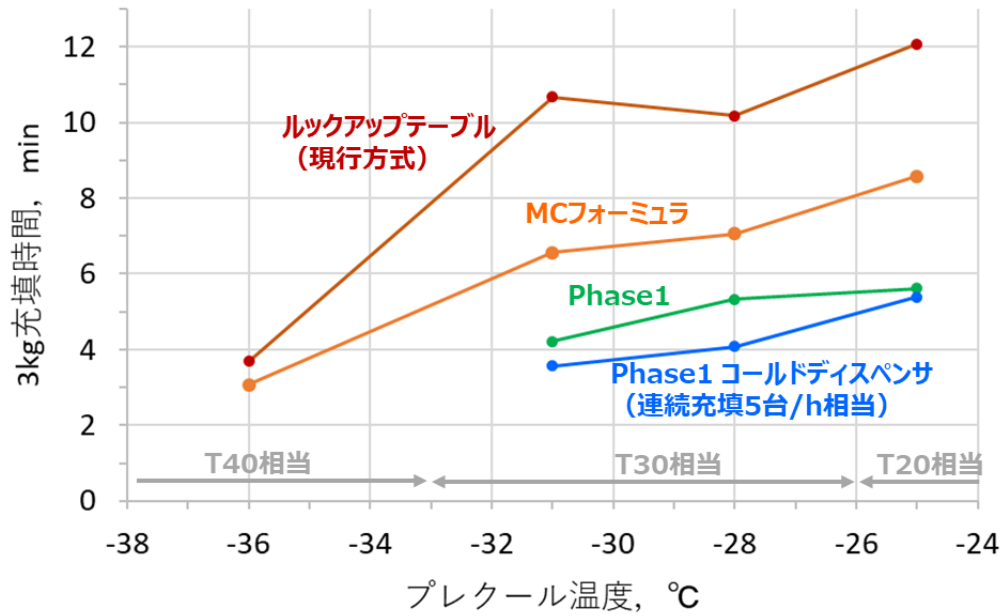


図6. 米国試験の結果 (2019年10月、気温25°C程度)

※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。

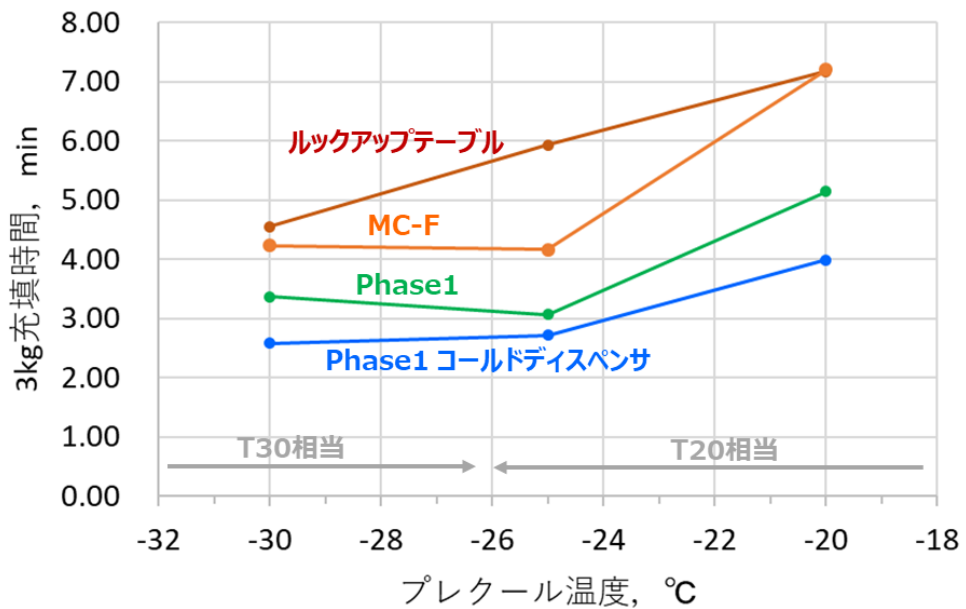


図7. HySUT 水素技術センターでの国内試験の結果 (2020年2月、気温3~17°C)

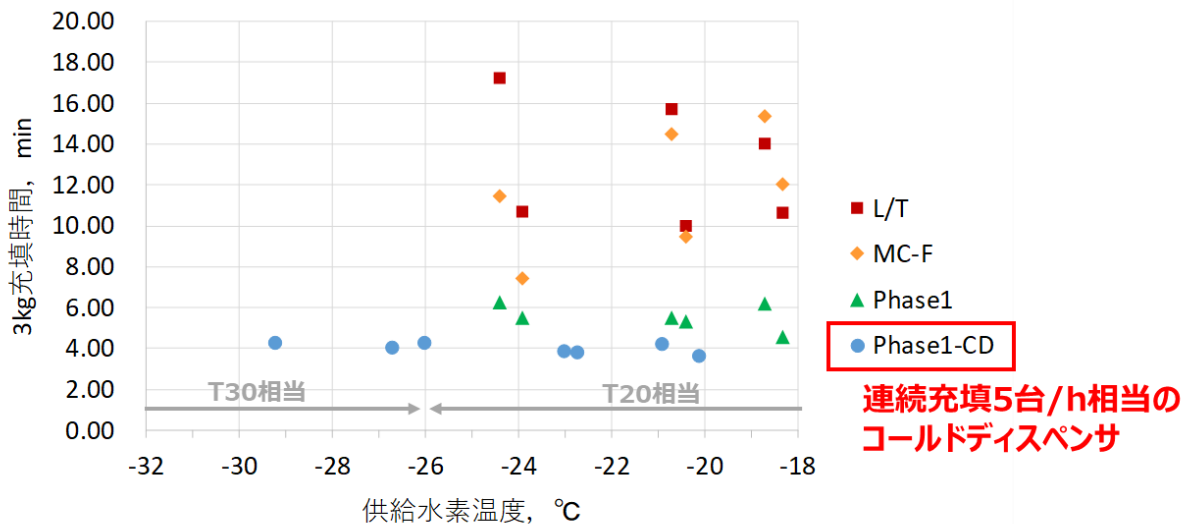


図 8. HySUT 水素技術センターでの国内試験の結果（2020 年 8 月、気温 22～35℃）

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。

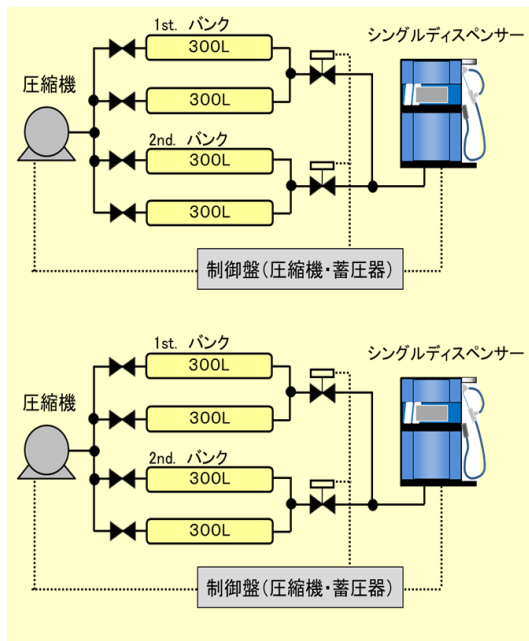
（2）低コスト高頻度水素充填システムの開発

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。

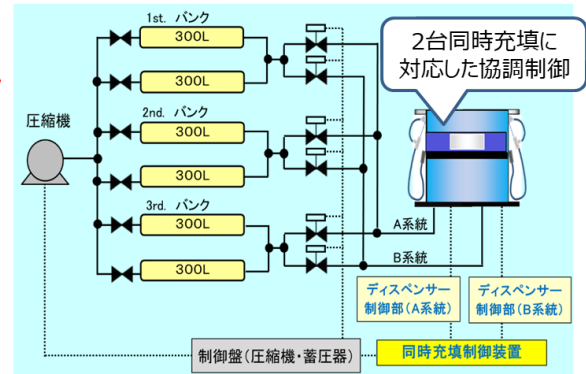
最初に図 10 の手順に従ってシミュレーションを行った。前提条件として、現行ステーションの標準的な圧縮機能力や平均的な FCV 充填量を用いた。バンク構成や充填パターンを変えてシミュレーションを行い、以下のような評価基準で有望な構成を選定した。

- 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

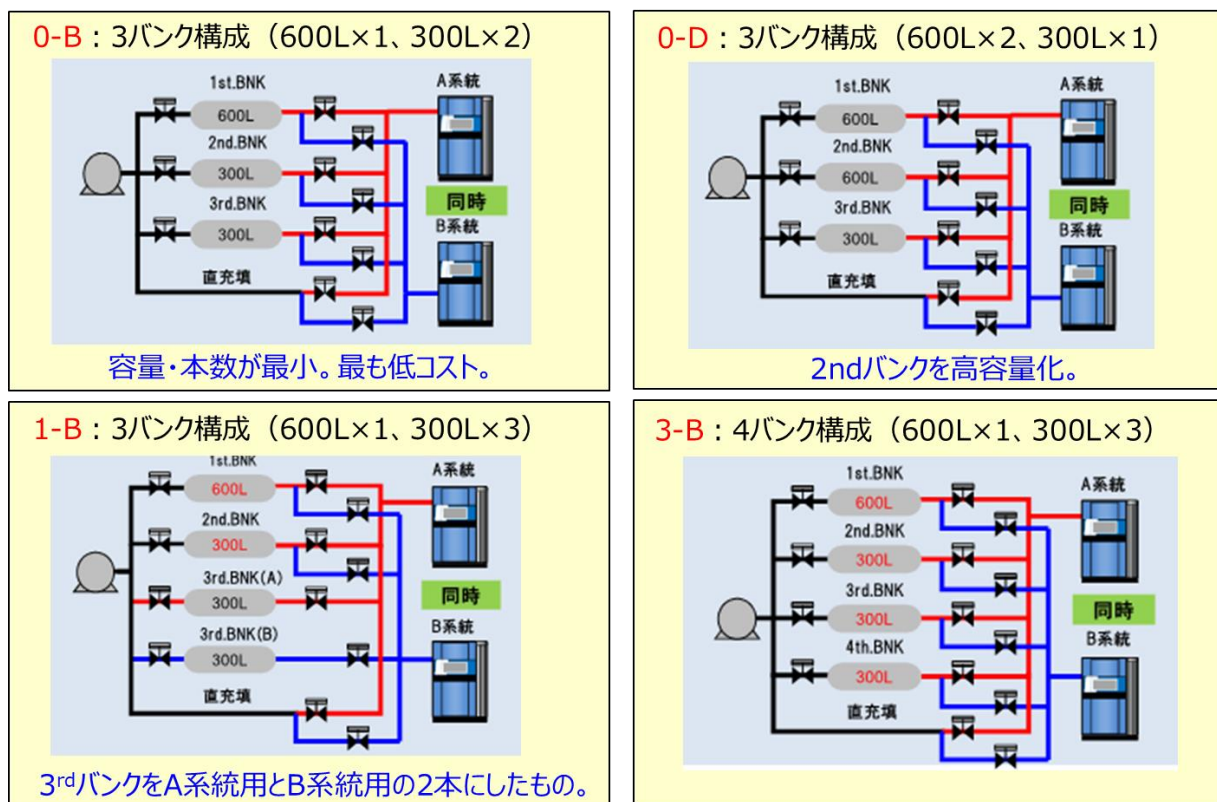


図 11. シミュレーションで選定した 4 構成

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。

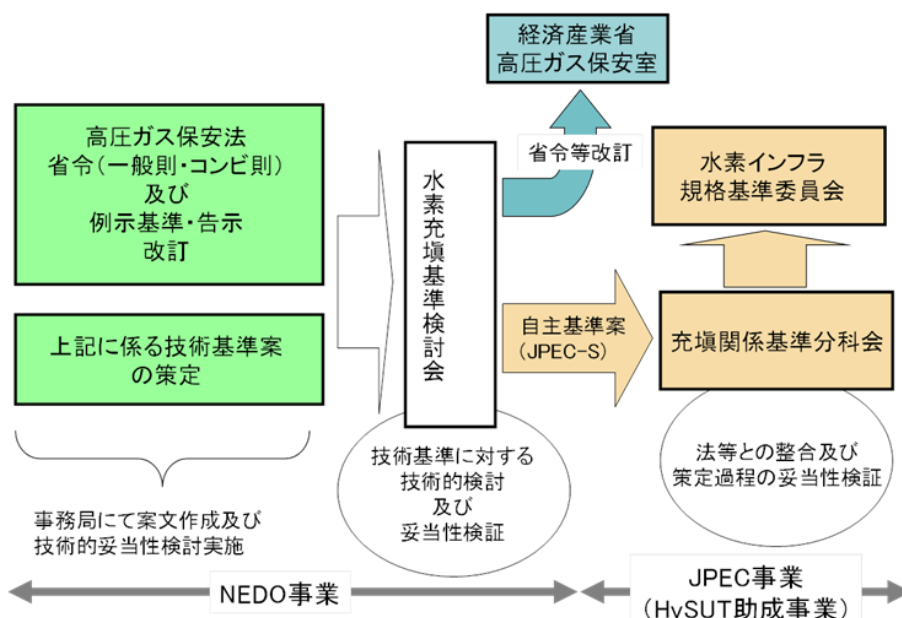
表 5. 協調制御 3バンク構成 0-B (600L×1、300L×2) の試験結果

| 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。

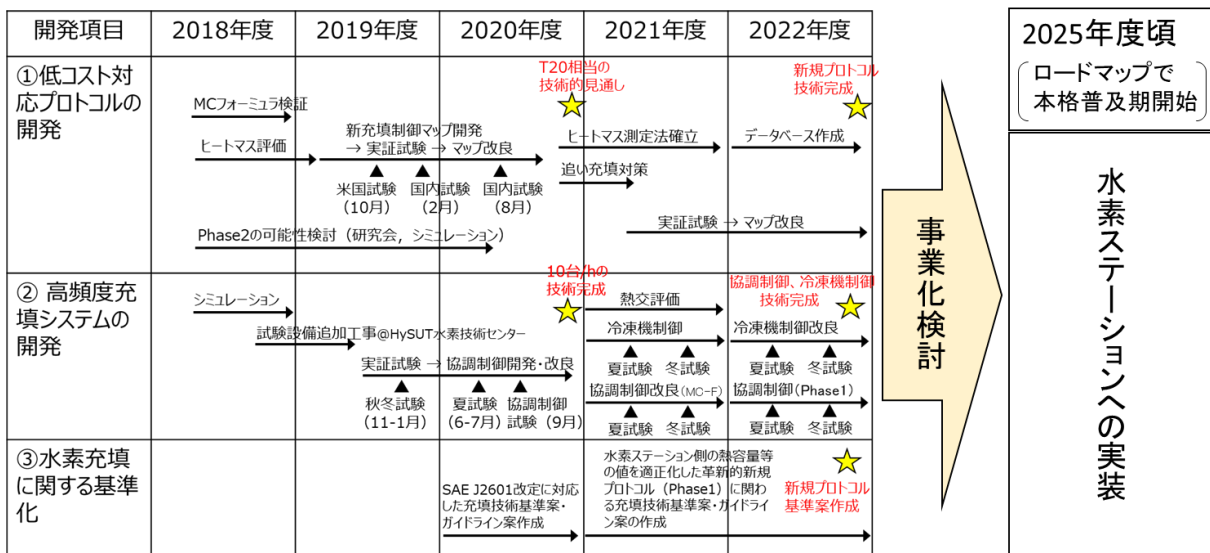
③水素充填技術基準整備に関する研究開発

- 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、ブースター国産化、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。

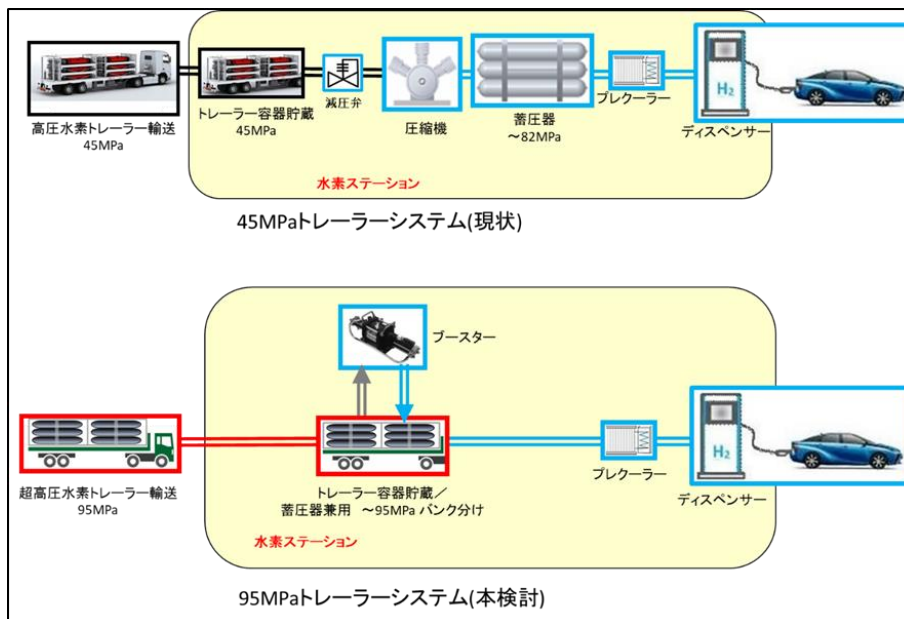


図 1-1 現状→超高圧輸送イメージ図

- ・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。

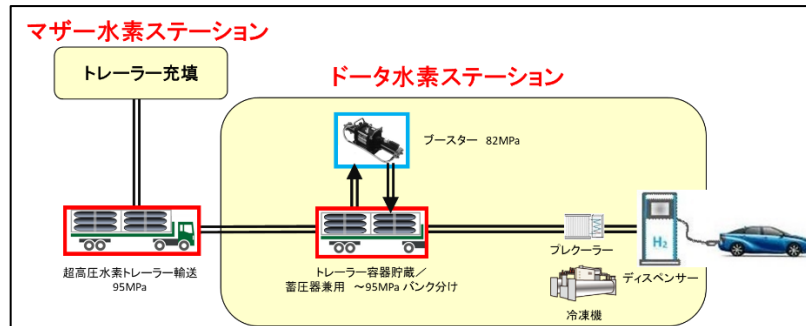


図 1-2 “マザー&ドータ”システム

(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。

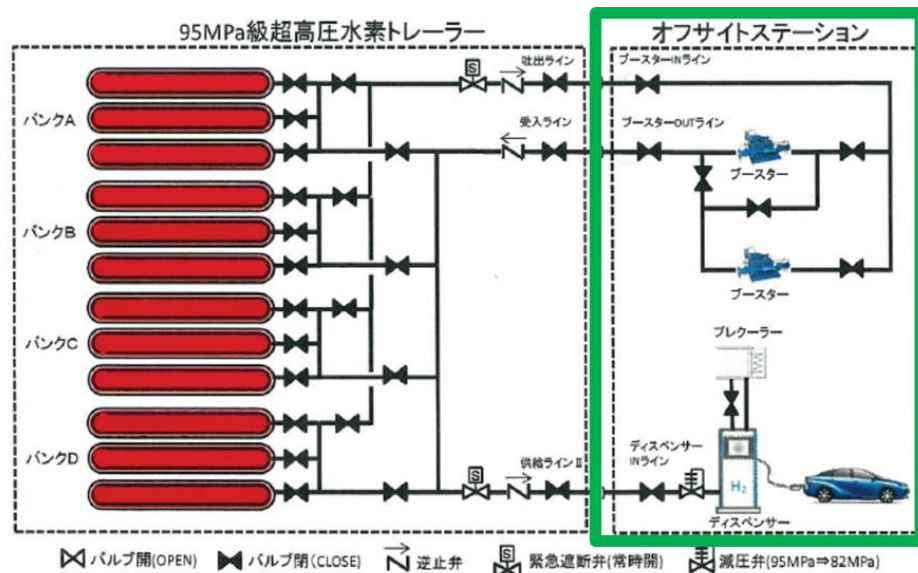


図 1-3 トレーラー～ステーション システムフロー

<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 |
| プレクーラー | 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。

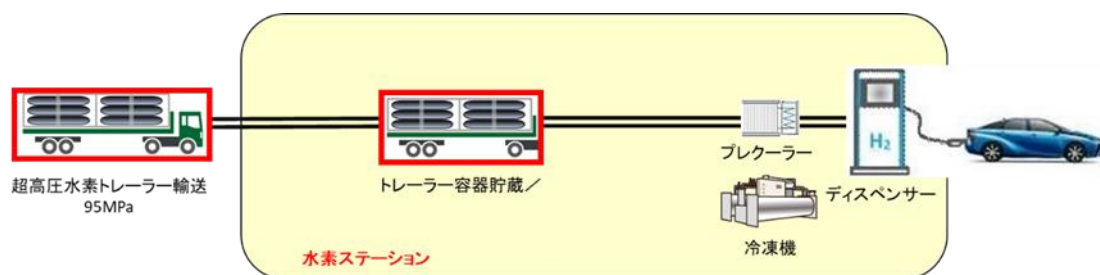


図 1-4 簡易ステーション システムイメージ

(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

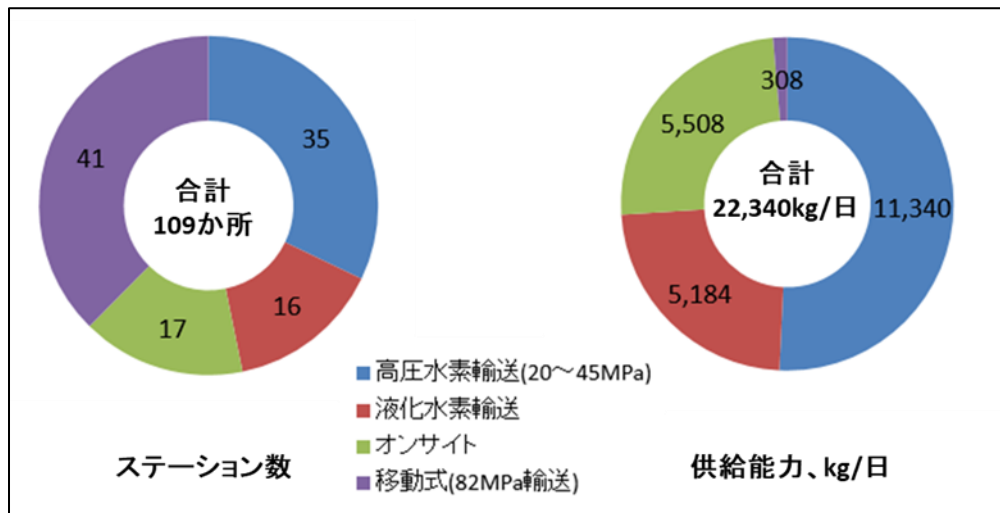


図 参-1 輸送形態別水素ステーション数/供給能力

- ・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。

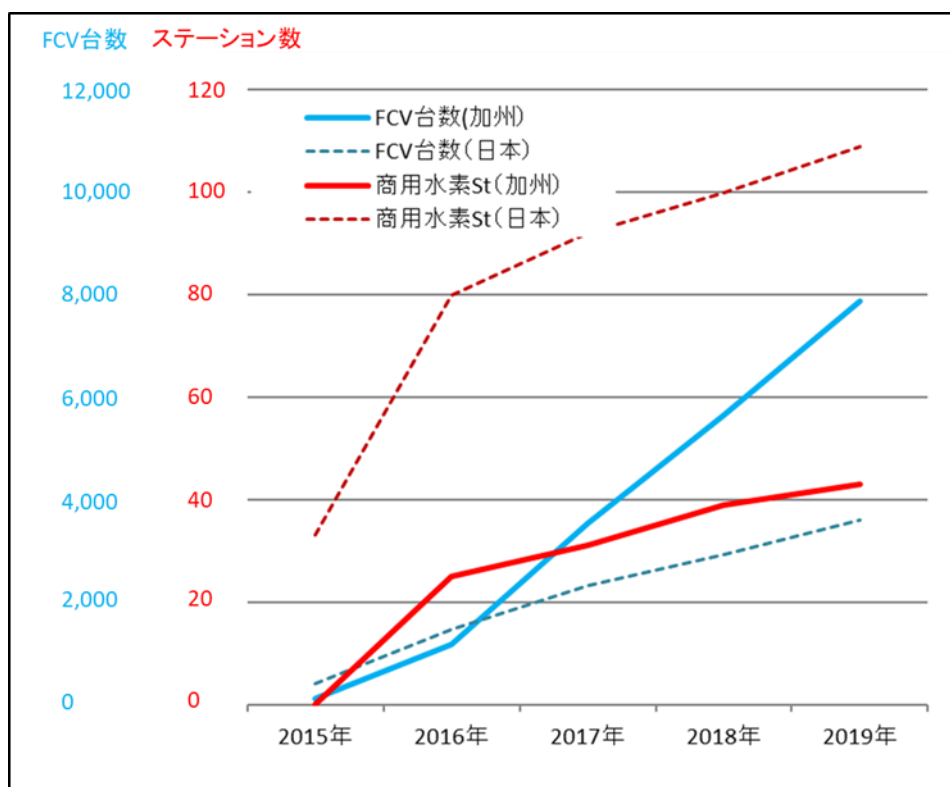


図 参-2 日本と加州のステーション数とFCV台数

- 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。

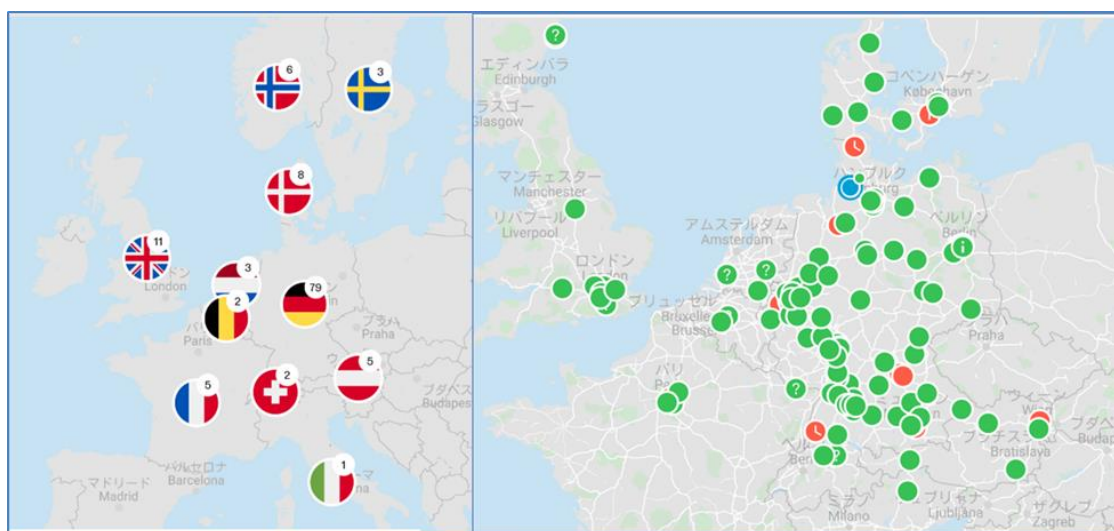


図 参-3 欧州の水素ステーション配置(2019年12月)

- ・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。

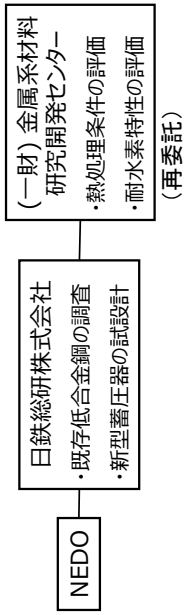
● 背景/研究内容・目的

タイプI 高压水素蓄圧器にはJIS材であるSSCM435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」

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。

このような新型高压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。

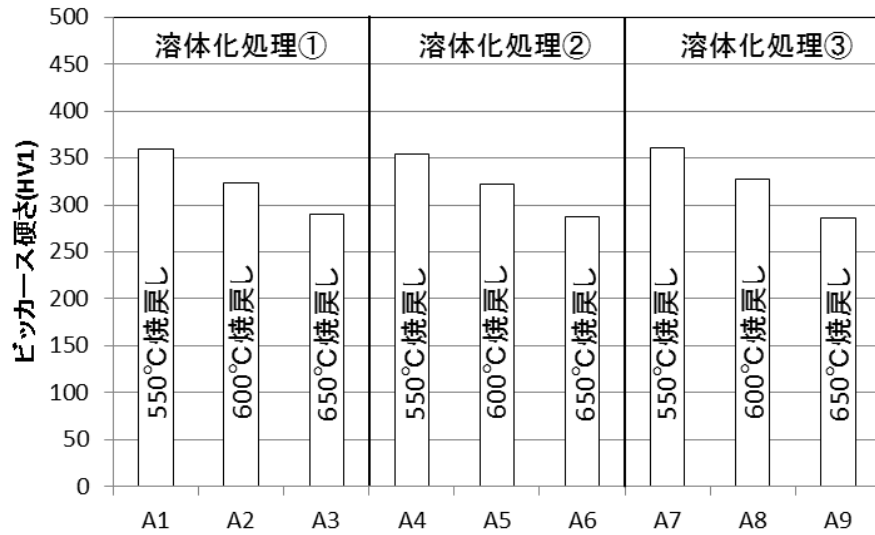


図 1a 低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響 (SNCM439)

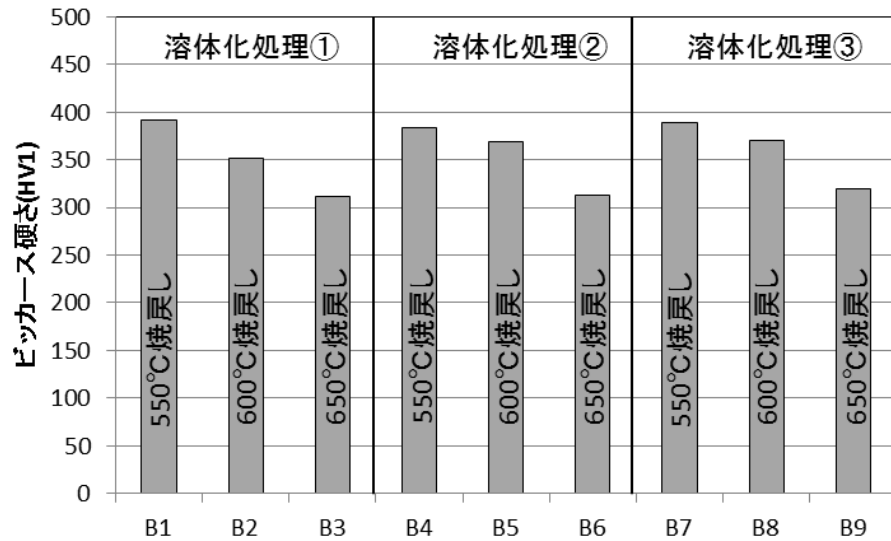


図 1b 低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響 (SA723)

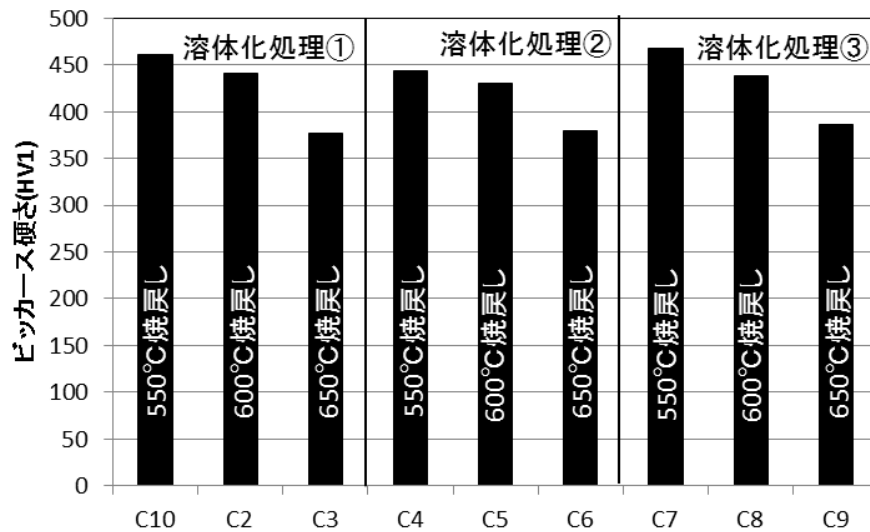


図 1c 低合金鋼の硬さに及ぼす熱処理条件の影響 (Mo-V 添加鋼)

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。

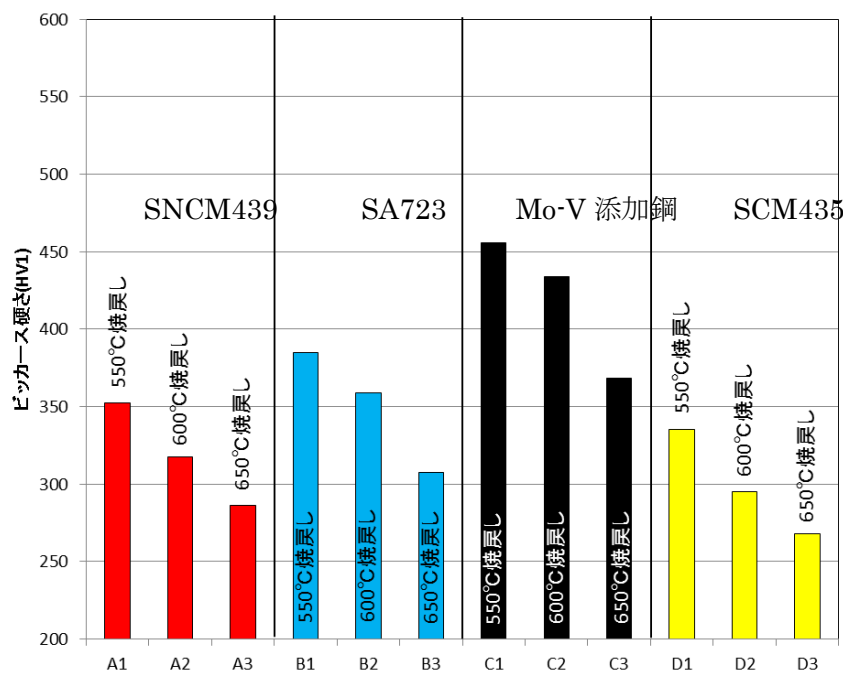


図 2a 低合金鋼のビッカース硬さに及ぼす熱処理条件の影響

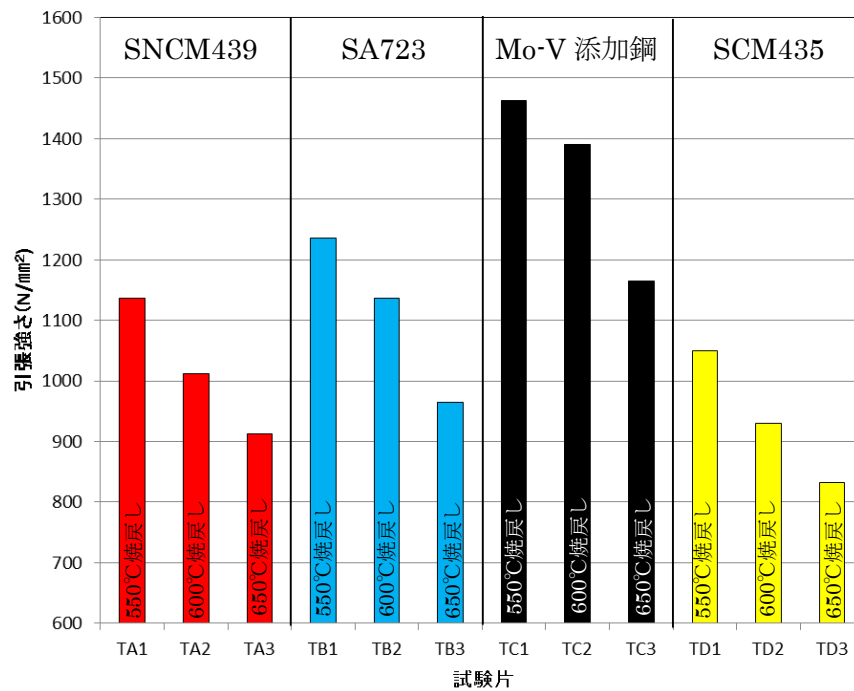


図 2b 低合金鋼の引張強さに及ぼす熱処理条件の影響

(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こし、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 $\geq 1400\text{MPa}$ 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。

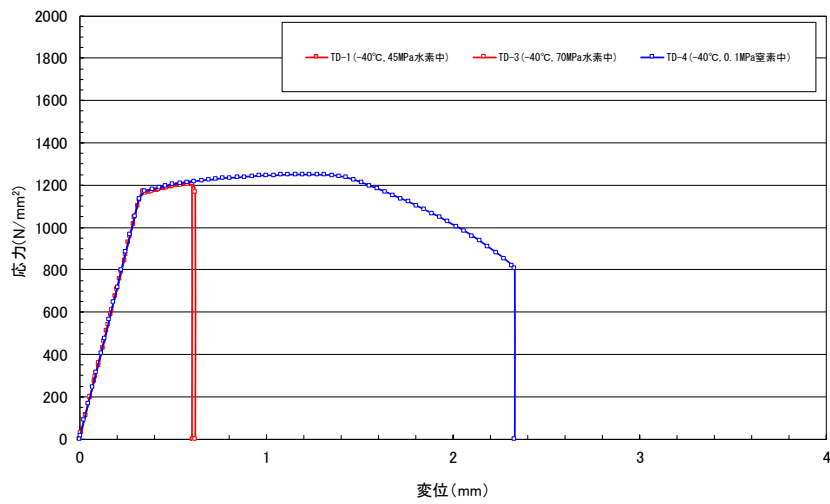


図 3a 引張強さ 1200MPa の SCM435 鋼の SSRT 結果

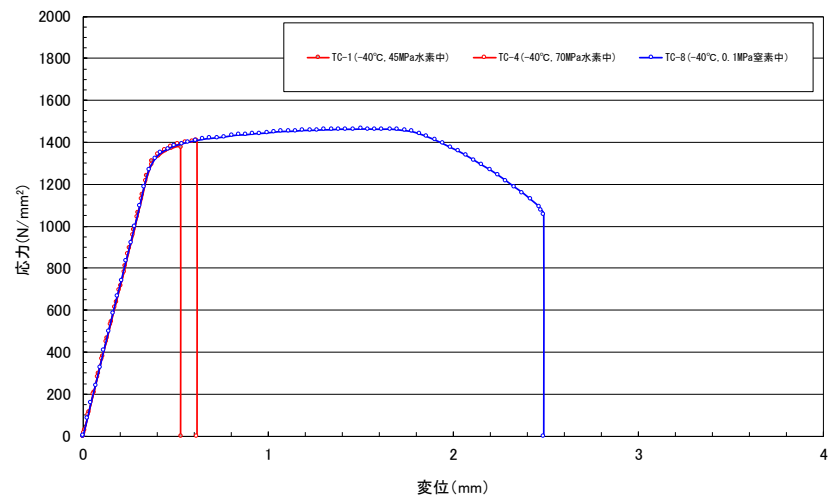


図 3b 引張強さ 1200MPa の Mo-V 添加鋼の SSRT 結果

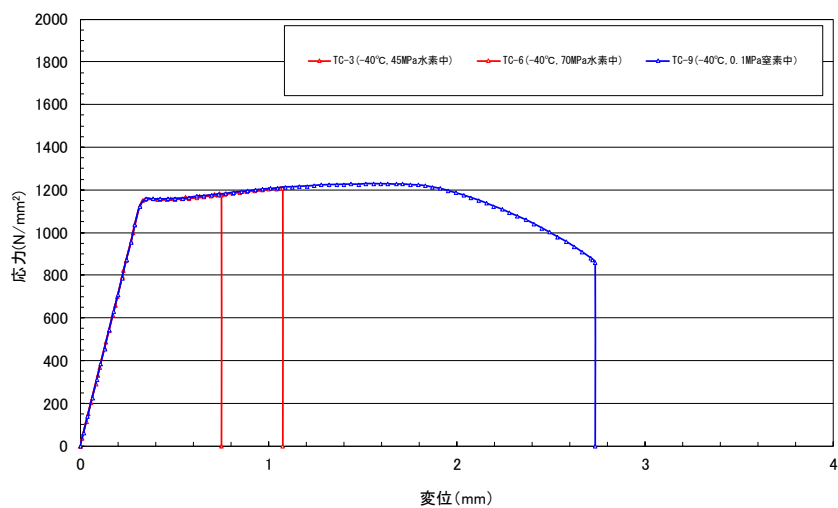


図 3c 引張強さ 1400MPa の Mo-V 添加鋼の SSRT 結果

(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。

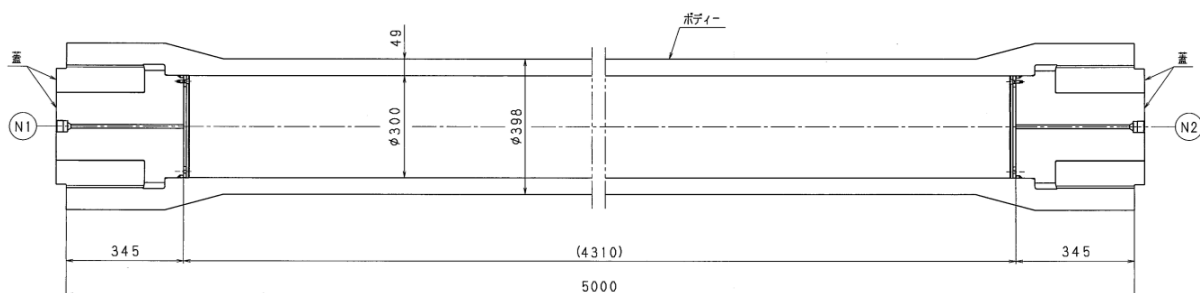


図4 SNCM439 強度低減材による蓄圧器の組立図

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 |

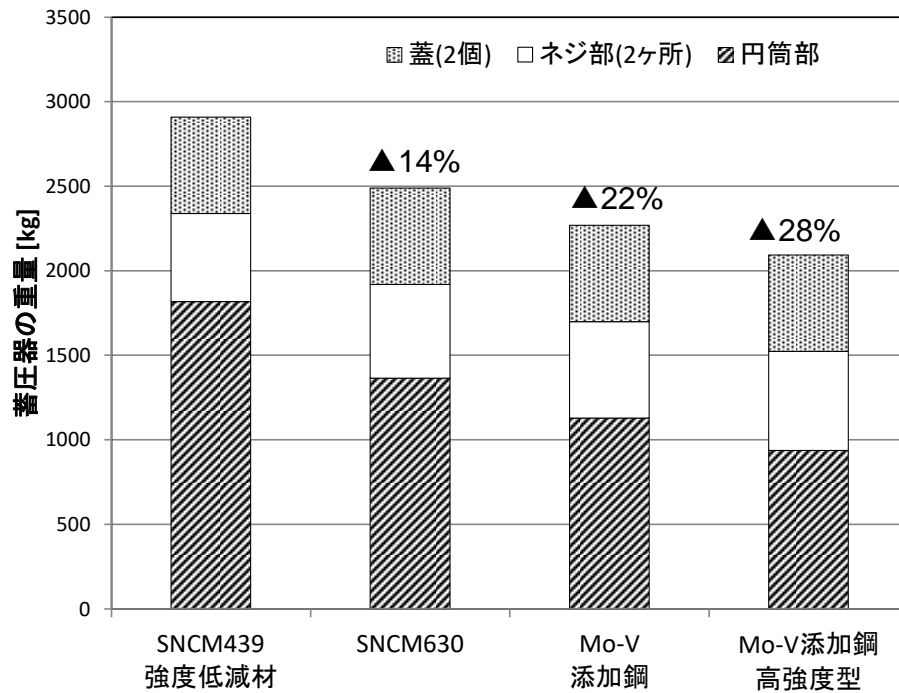


図5 鋼種による蓄圧器重量の比較

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。

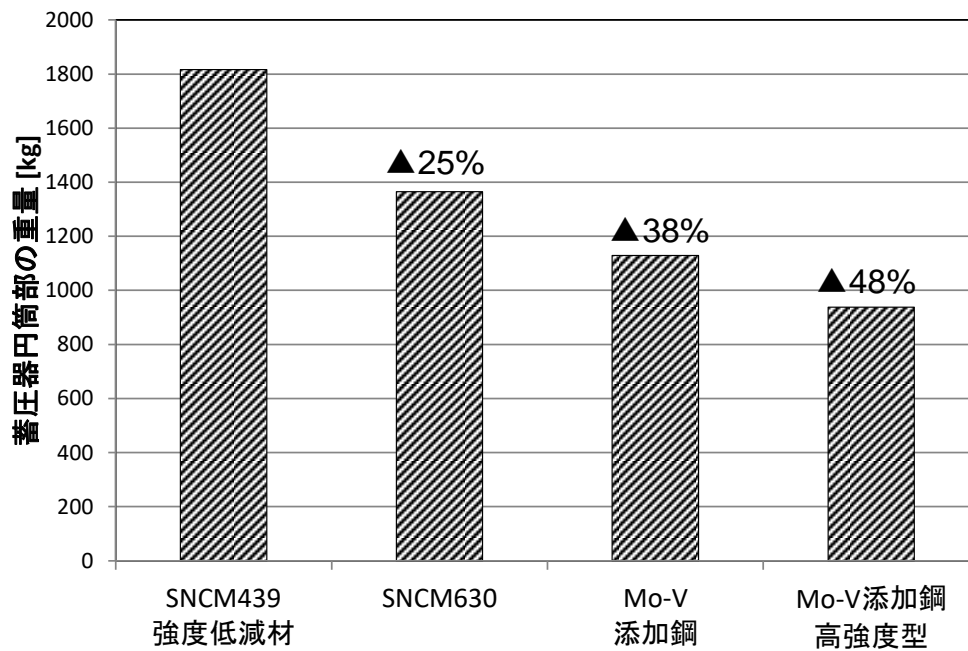


図6 蓄圧器の円筒胴部重量の比較

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

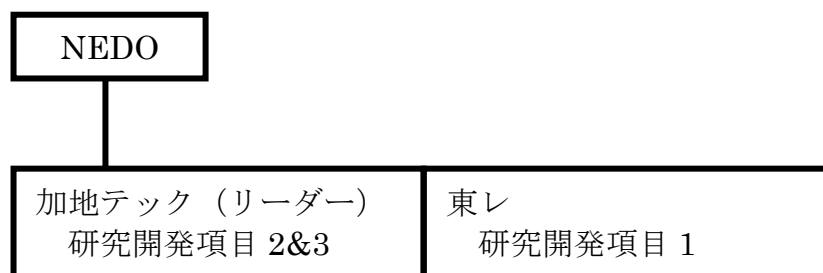
電気化学式水素ポンプシステムは、将来大容量化が可能となると、大幅に水素ステーションのコストを削減できる可能性がある。今回、吐出量 5Nm³/hr 以上、吐出圧力 82MPa 仕様のセル・スタック及びシステムの開発を行い、国内初の製品化を見通す。

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、セルの大面積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。

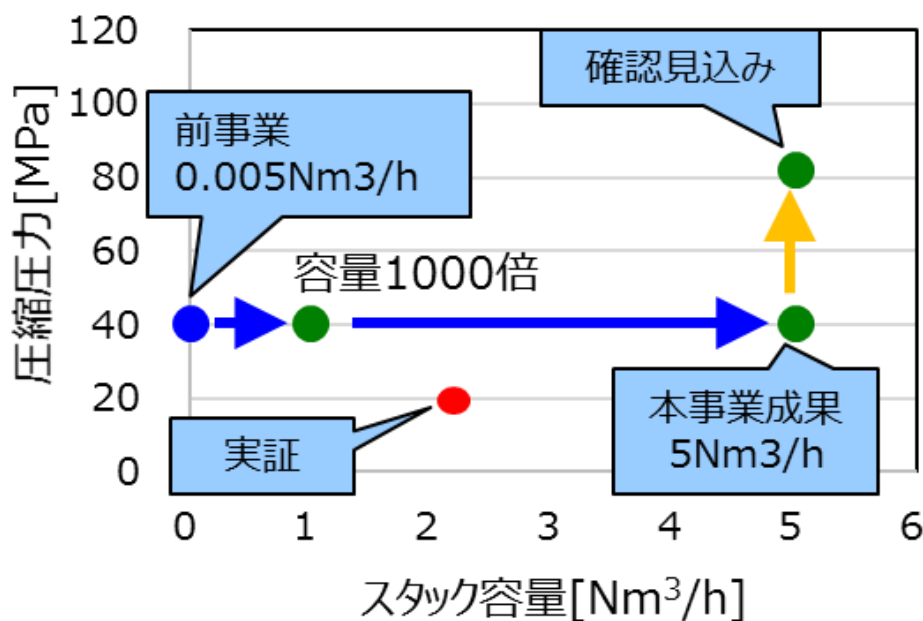


図 2 スタック高容量化

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

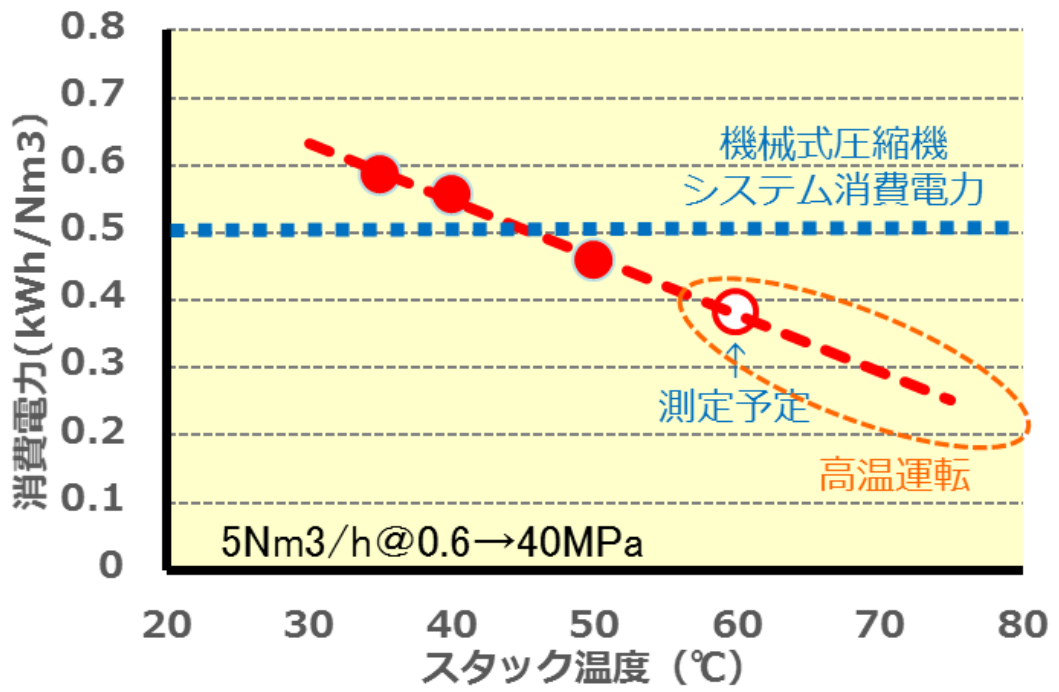


図3 スタック温度と消費電力の関係

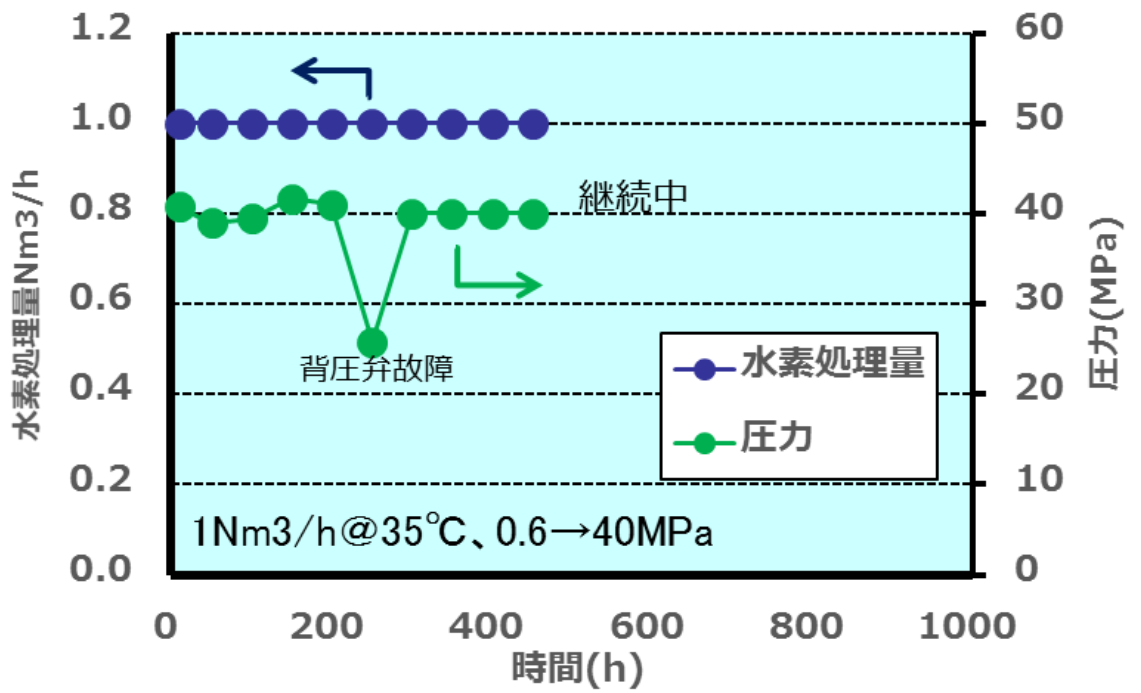


図4 耐久性評価

(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

●成果概要 (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)

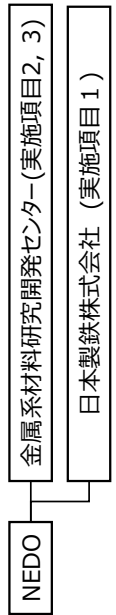
●背景/研究内容・目的

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。 | <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。 | △ (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。(| <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。 | △ (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。

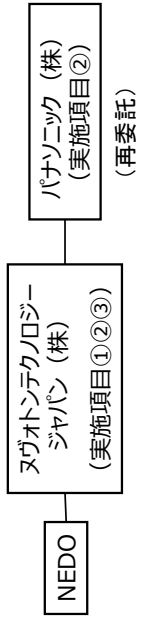
● 背景/研究内容・目的

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。

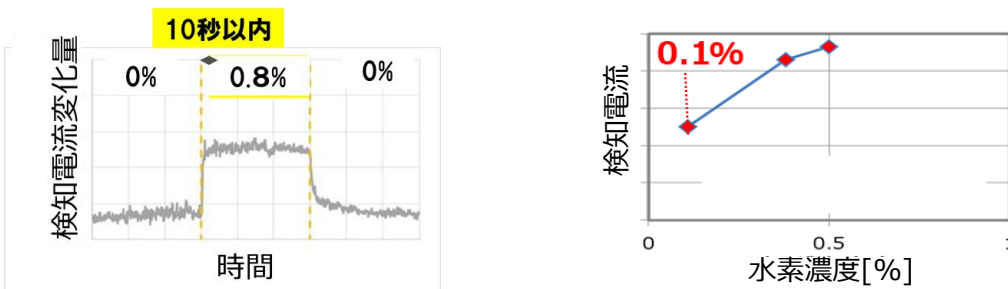


図 1 現状のセンサエレメントの水素反応特性、及び水素濃度に対する検知電流の変化

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。

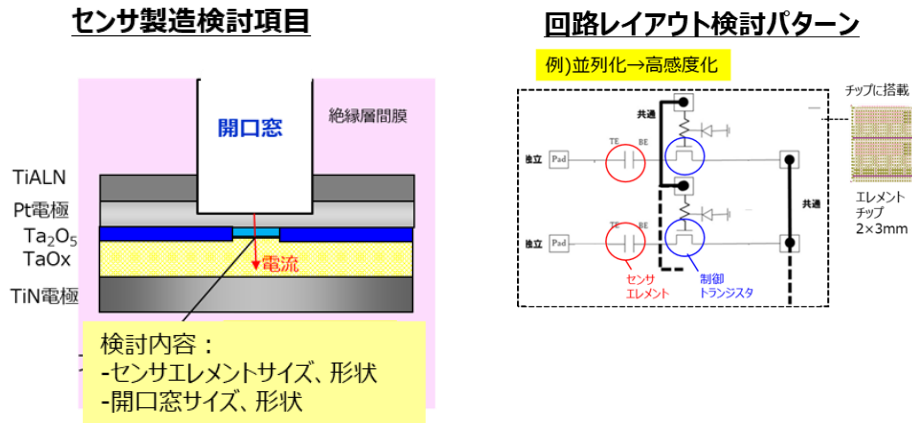


図 2 センサ製造検討項目と回路レイアウトパターンの一例

(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 \leq 30sec 2)水素雰囲気1% 湿度100% 反応速度 \leq 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 |

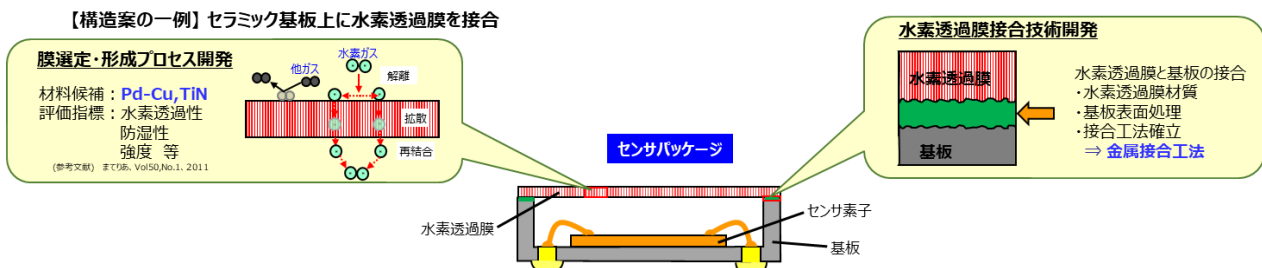


図 3 検討構造の一例（水素透過膜付きセンサパッケージ）

（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 |

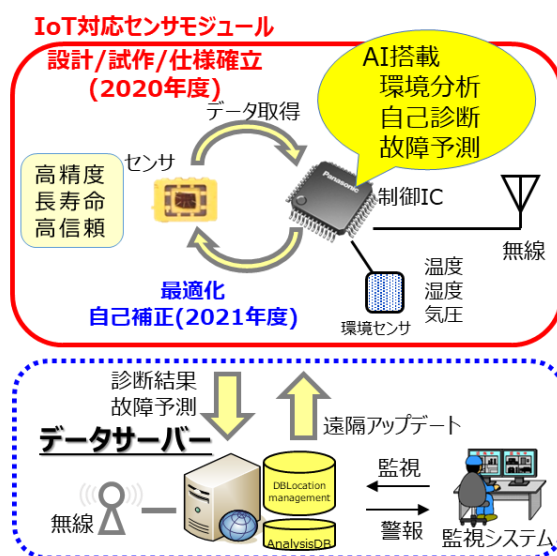


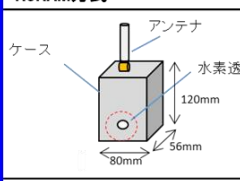


図 4 IoT 対応センサモジュール/システムコンセプト

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。

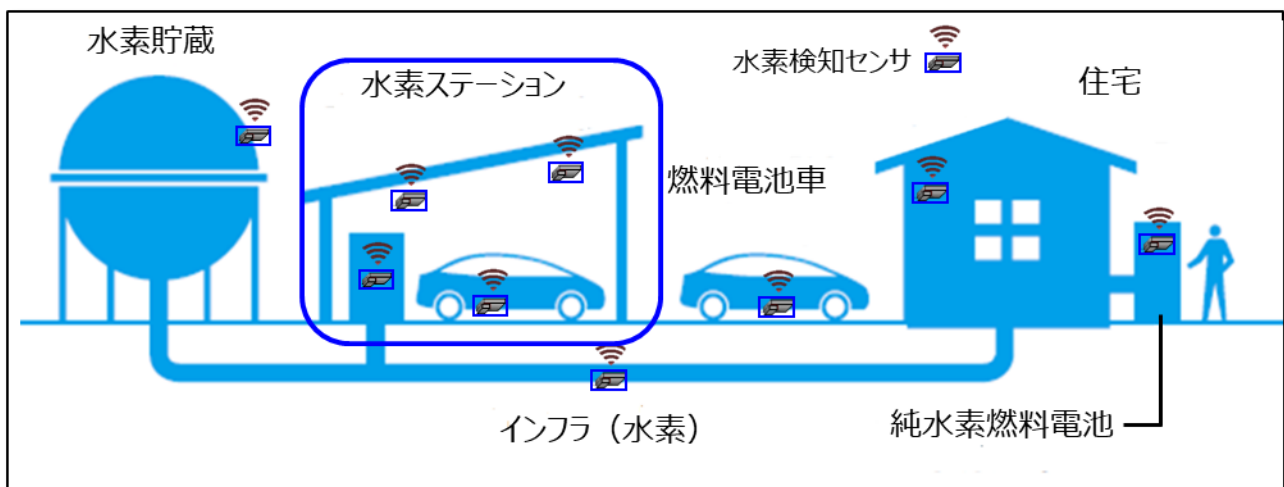


図5. 本委託事業で描く水素社会における水素検知センサの在り方

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。

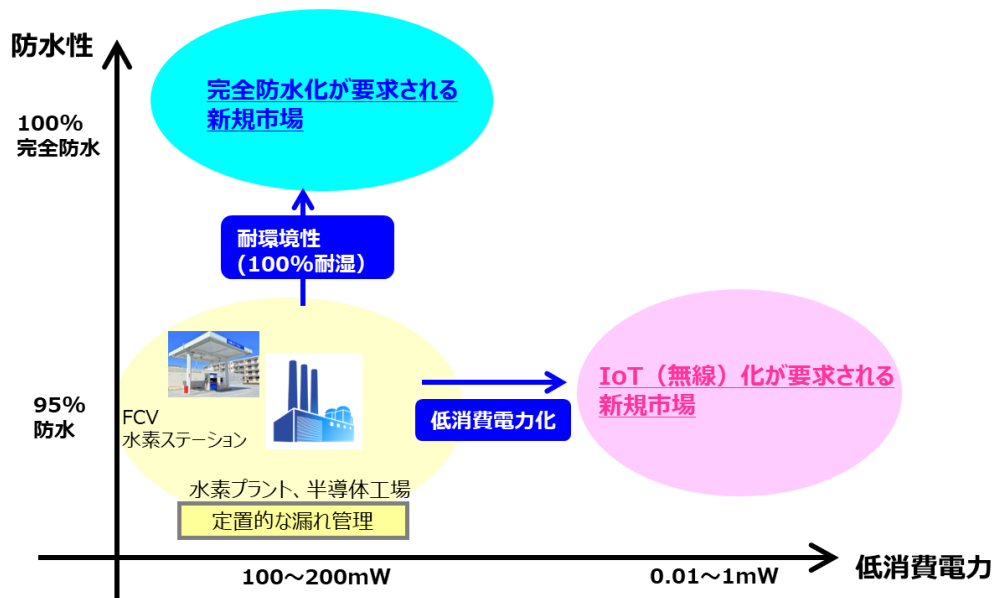


図 7 事業ポートフォリオと市場予測

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

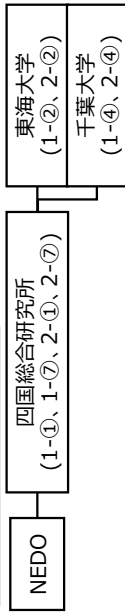
[背景] 水素ステーション事業の自立化に向け、整備費、運営費、水素調達コストなどを低減する技術開発が重要である。水素中の不純物分析には大型、高コストの分析装置が必要、目つ分析実施機が限られているのが現状であり、水素品質管理におけるトータルコストの大幅な削減に資する技術が求められている。

[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(横モードがガウス分布)。 |
| 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(横モードがガウス分布)。 |
| 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ウ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ウ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。 | △ |

● 今後の課題

本研究において得られた成果を基に、分析装置プロトタイプ構築を目指し、装置を構成する各要素の更なる高度化、高感度化について検討し、検討結果を反映させて各種試験を実施する。

● 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。

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|--------|-----|
| - | - | 2件(予定) | - |

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 |

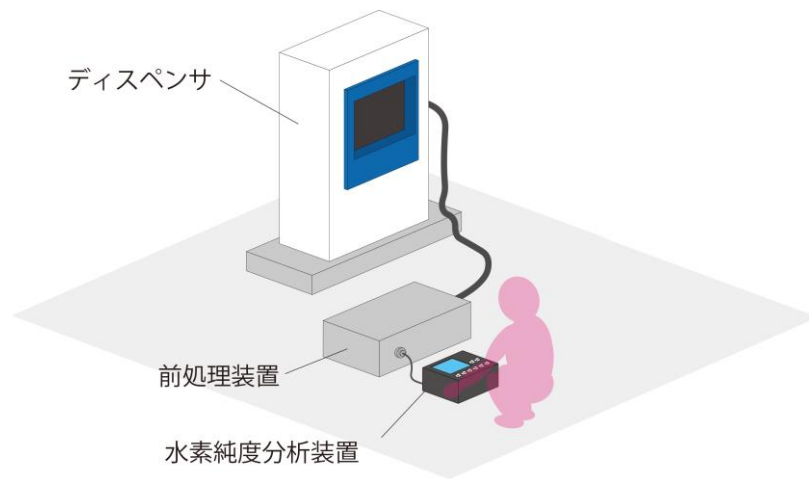


図1 次世代水素純度分析装置のイメージ

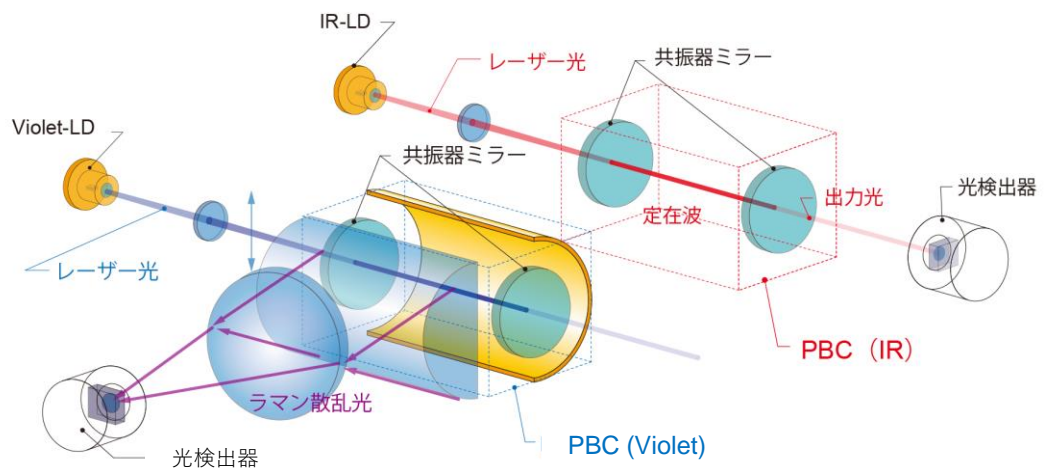
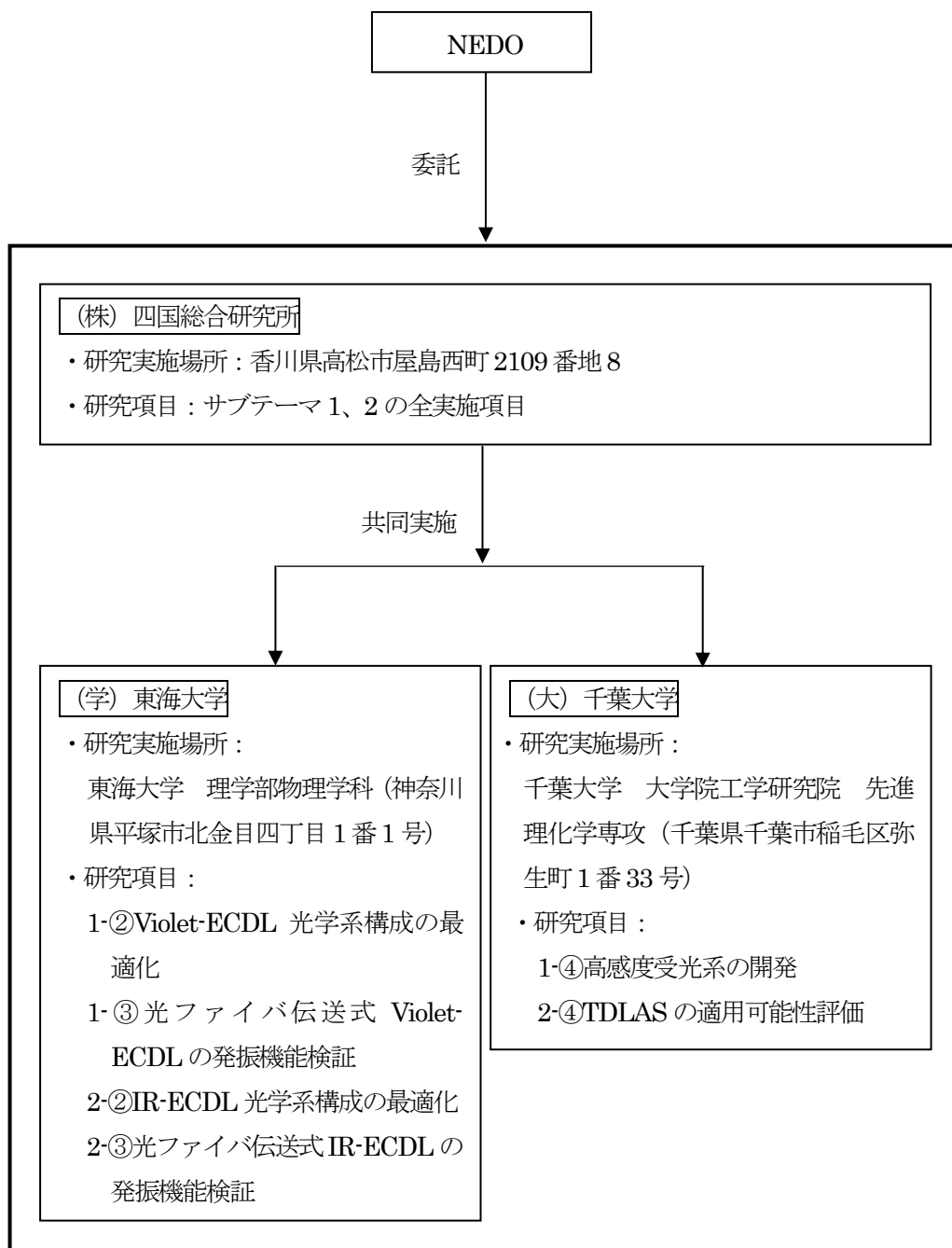


図2 水素純度分析装置内部の光学系構成例

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)。

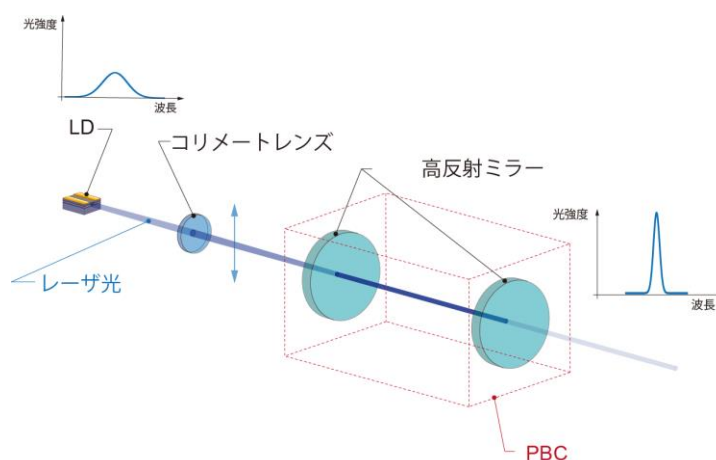


図3 Violet-ECDLの光学系構成例

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。

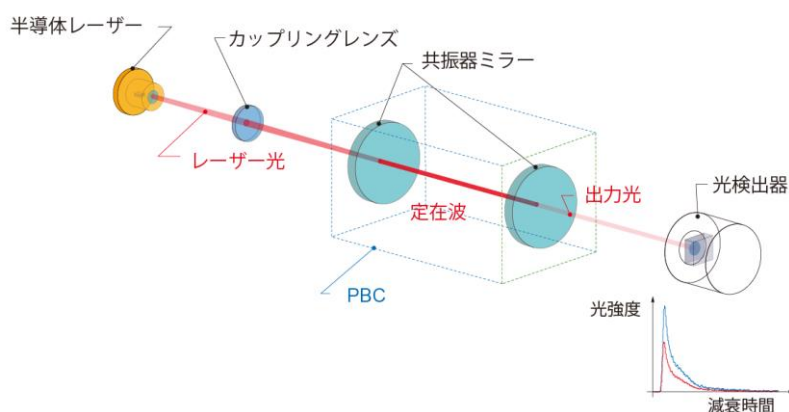


図 4 IR-ECDL を用いた CRDS 光学系構成例

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。 | △ | ・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㈱、㈱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]

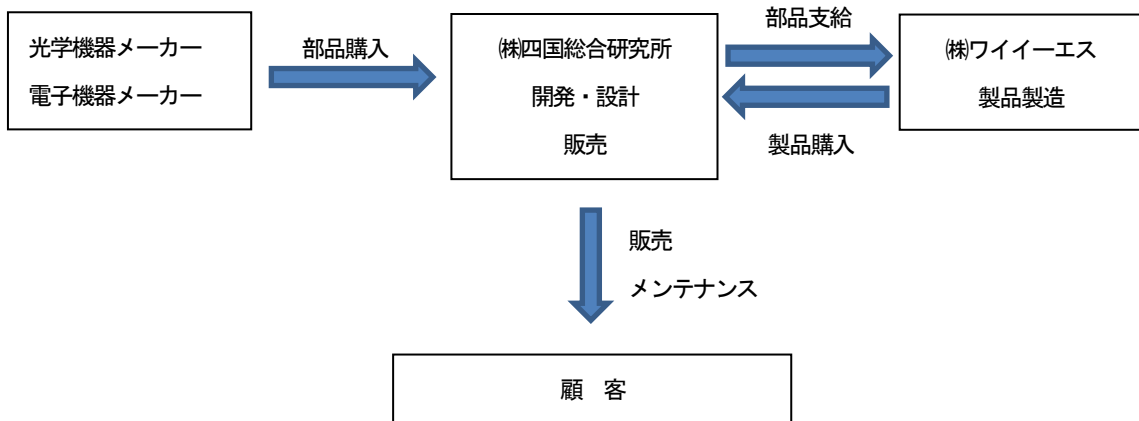
| | 2022 年度 | 2023 年度 | 2024 年度 | 2025 年度 | 2026 年度 | 2027 年度 |
|-------|-----------|-----------|---------|----------------|---------|---------|
| 製品設計 | | | | | | |
| 設備投資 | | | 32 百万円 | | | |
| 生産 | | サンプル出荷開始↓ | | | | |
| 販売* | | | | 109 台 | 81 台 | 83 台 |
| 売上発生* | | | | 765 百万円 | 597 百万円 | 609 百万円 |
| 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

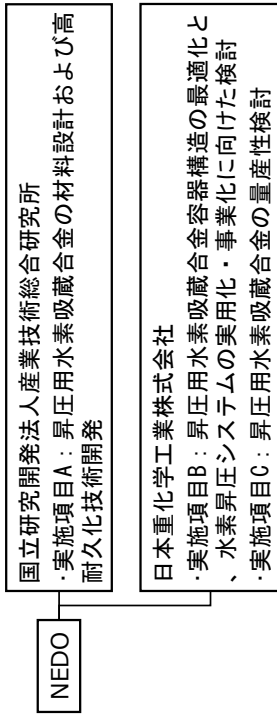
● 成果ガマリ（実施期間：2020年度～2022年度予定）

- 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証を開始した。 | △ |
| 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、

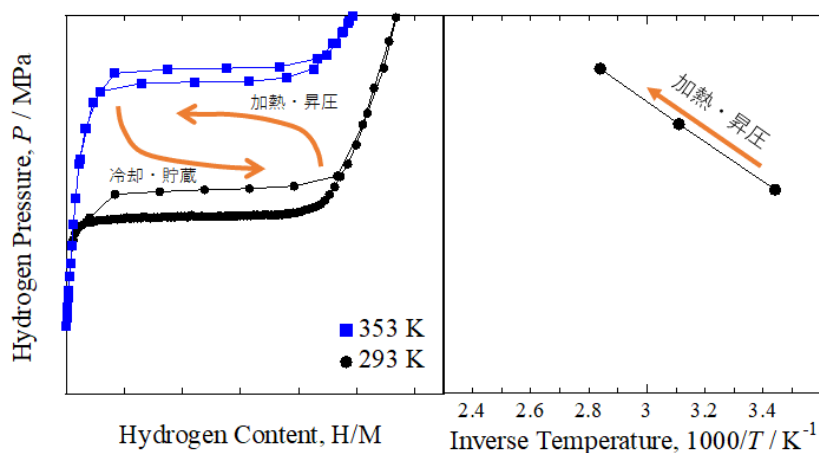


図1 水素吸蔵合金の水素吸蔵・放出特性の温度依存性の模式図

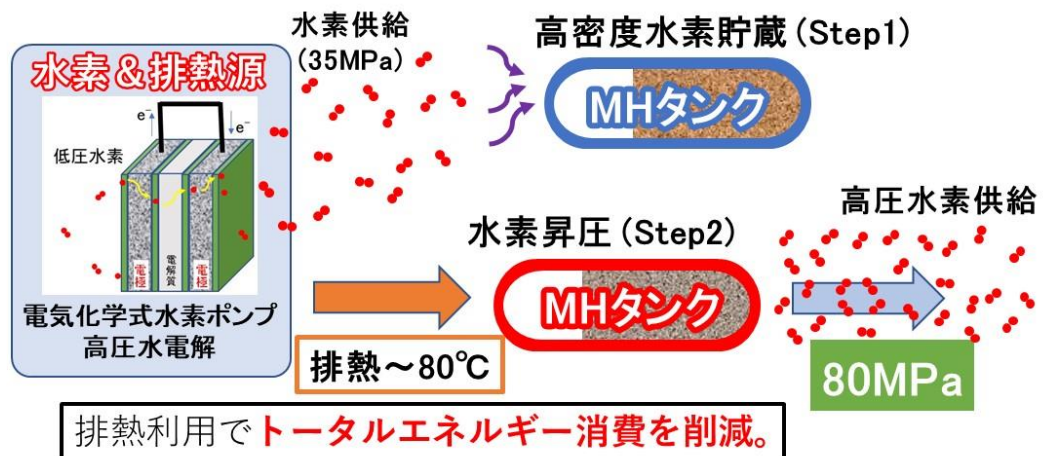


図2 水素吸蔵合金を用いた新規熱化学式水素圧縮機の昇圧イメージ図

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 | ・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

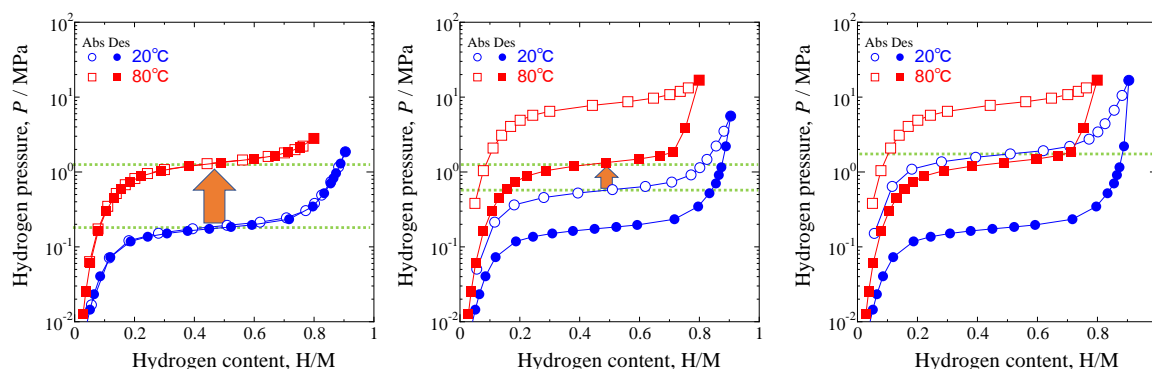


図3 ヒステリシスの大きさが圧縮比に与える影響。ヒステリシスを低減した産総研知財合金の場合(実測)(左)、一般的な合金でみられるヒステリシスが大きい場合(仮想データ)(中、右)。オレンジの矢印は昇圧幅を示す。

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な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

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

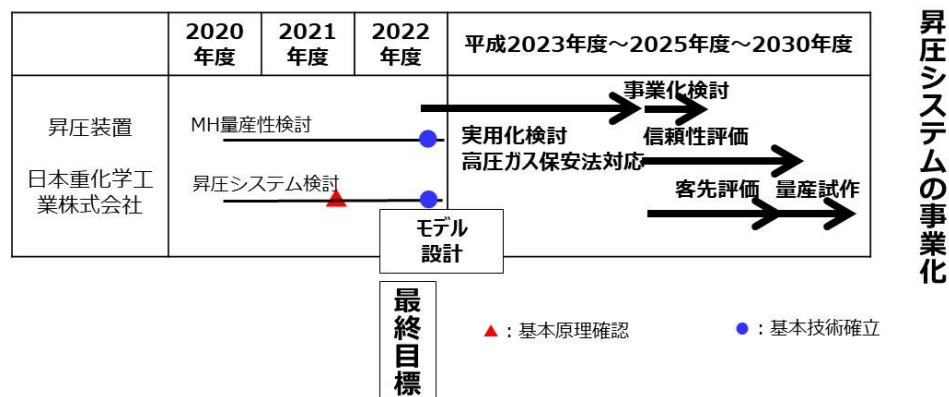


図4 実用化、事業化に向けたスケジュール

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始めた。
 - ・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基盤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。

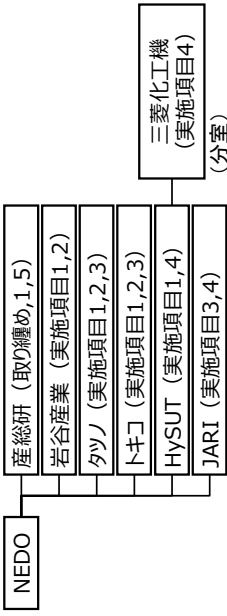
● 今後の課題

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基盤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



● 研究成果まとめ

| 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。

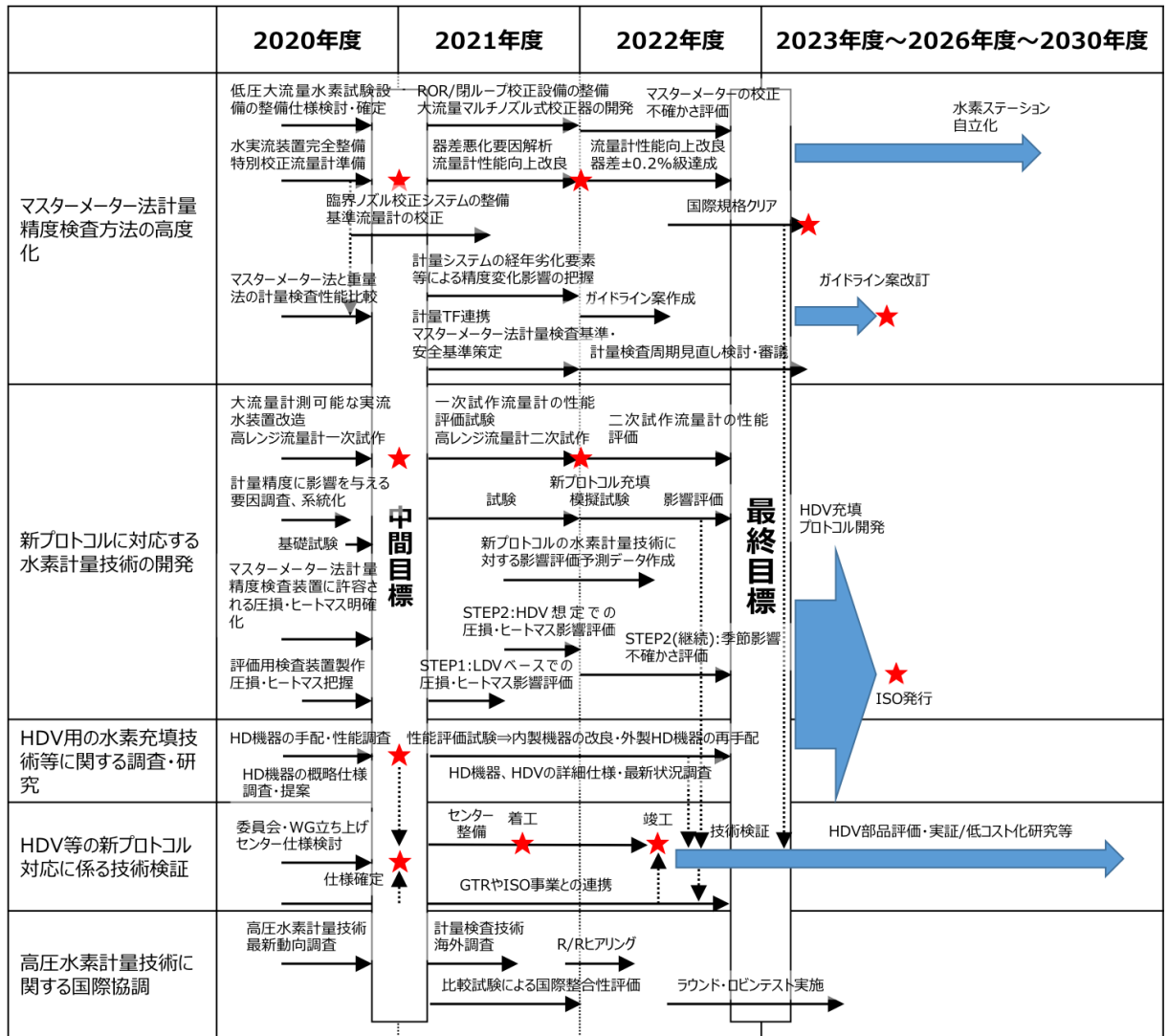
(5) 高圧水素計量技術に関する国際協調

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。
- ・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

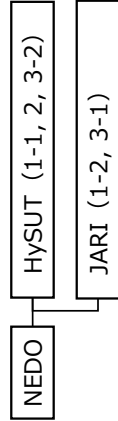
本事業では、従来から日本が世界の先導的役割を果たしてきたISO/TC197（水素技術）が対象とする水素ステーション機器等に関する国際規格策定について、引き続き世界をリードするための取組を実施する。更に標準化活動等に係る国際連携の推進を実施し、もって、日本の産業振興・競争力強化を図ることを目的とする。

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。

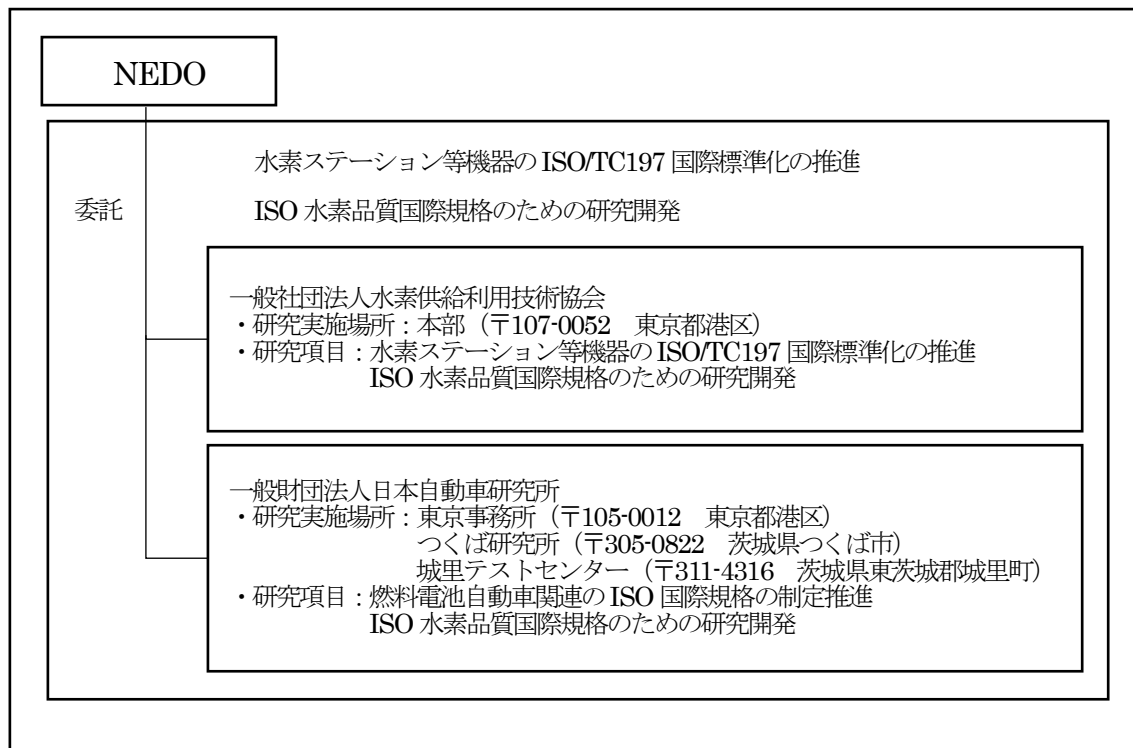


図1 本事業の研究体制

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。

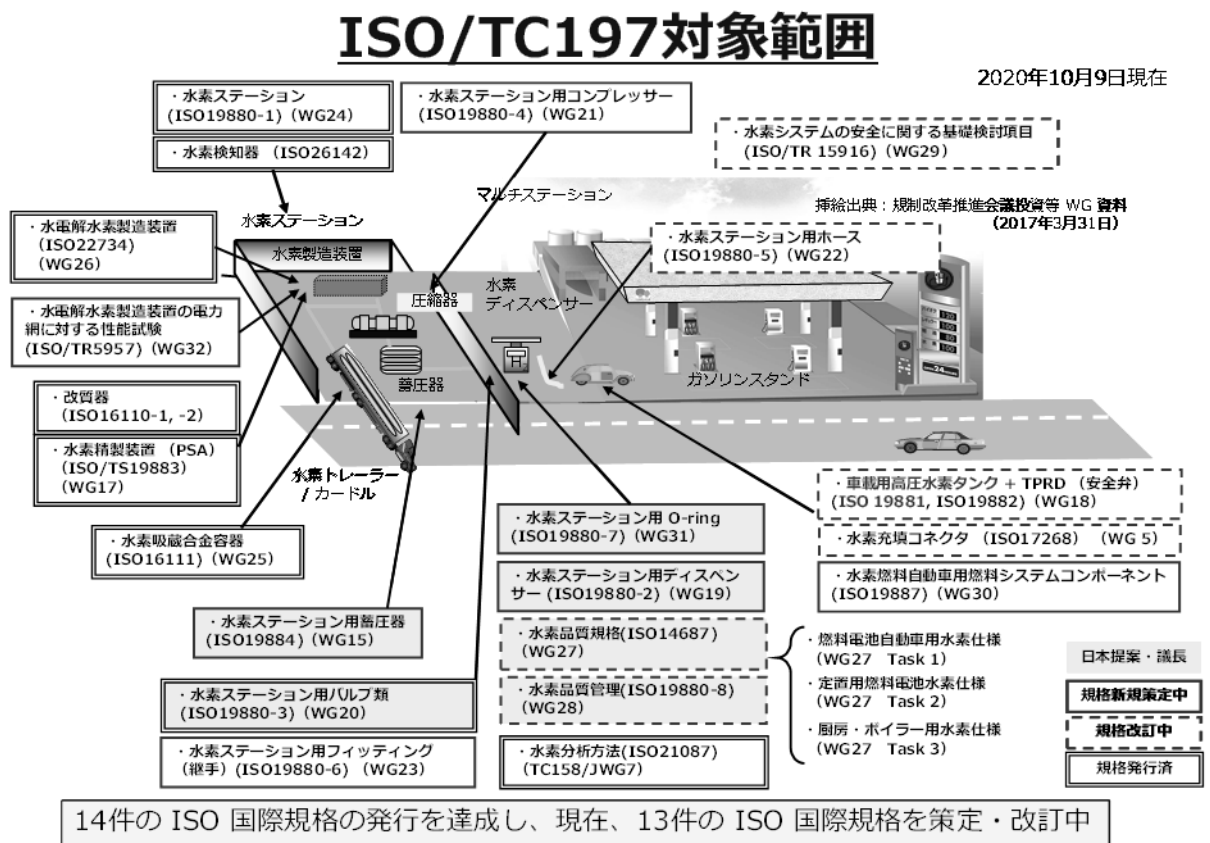


図2 ISO/TC197国際標準化に係る対象範囲

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 プエルトラーノ)：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い

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 化合物の 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、ハロゲン化合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、ハロゲン化合物の対象を塩化物 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、ハロゲン化合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。

ハロゲン化合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合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合物を使用していない。なお、他のハロゲン化合物 （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 ハロゲン化合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

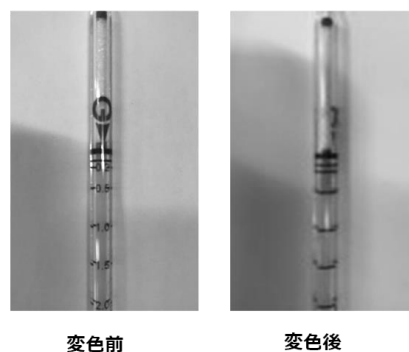
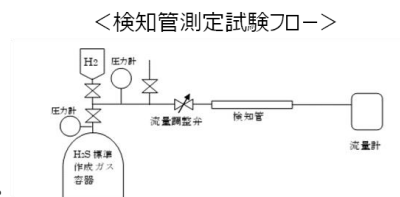


図 4 硫黄の簡易分析法として H₂S 硫黄検知管による測定法の検討

- 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。

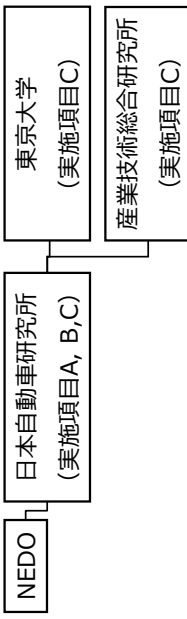
国内法への円滑な反映を前提としたHFCV-GTRの国際合意を得ることを目的とする。そのため、HFCV-GTR Phase2審議に参画し、専門家によるデータに基づく技術審議を行うことで、安全性を確保しつつ、過剰な要求を抑制し合理的な基準となるよう審議を推進する。

● 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。 | ○ |

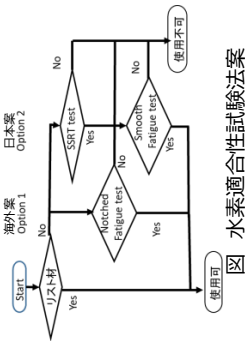


図 水素適合性試験法案

● 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。

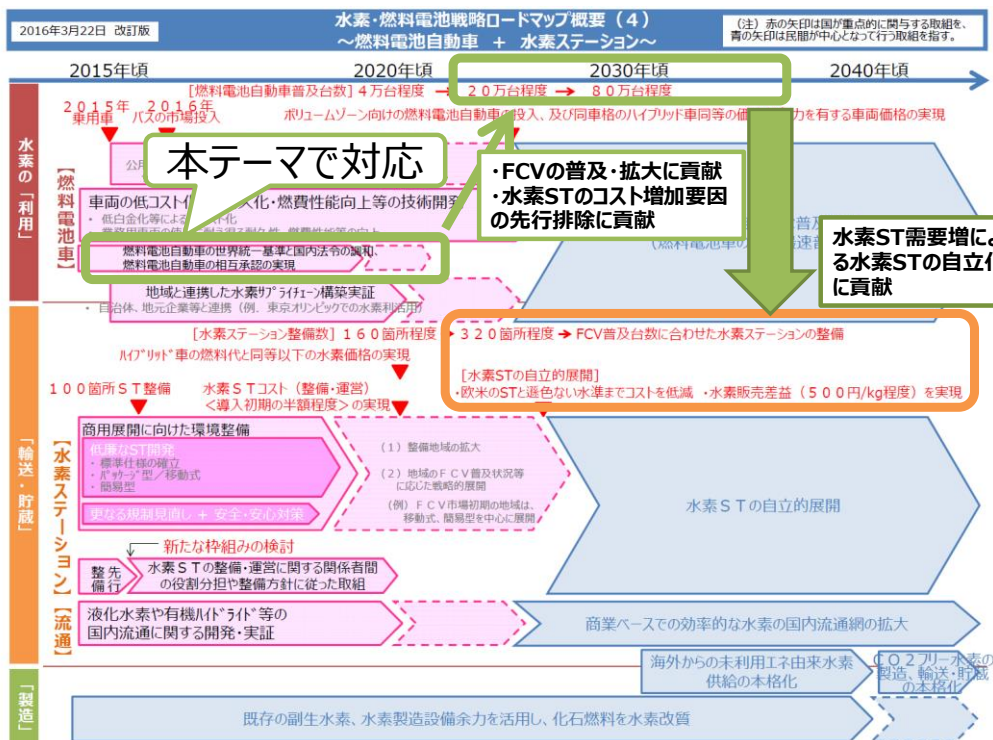


図1 本研究開発の役割

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。

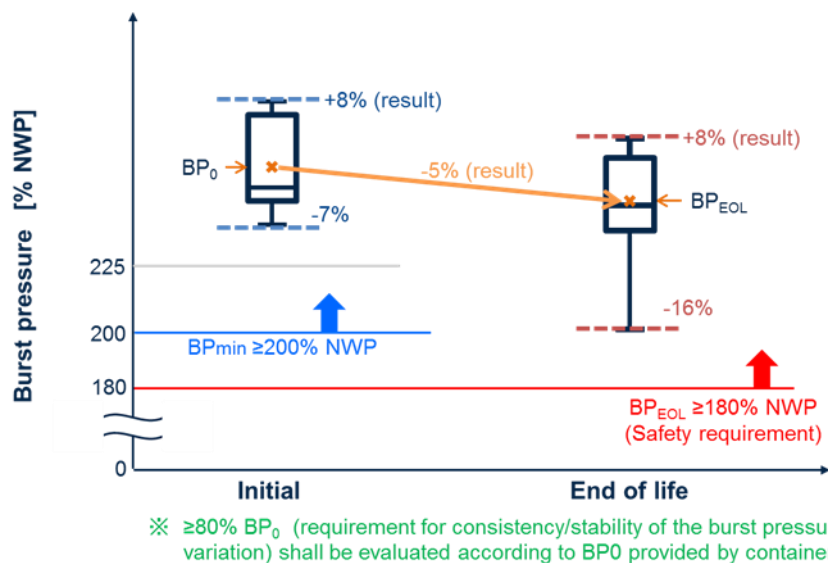


図 2 容器初期破裂圧および劣化後破裂圧の中央値とバラツキの評価結果

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)

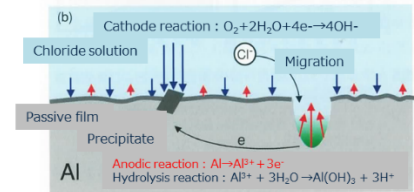
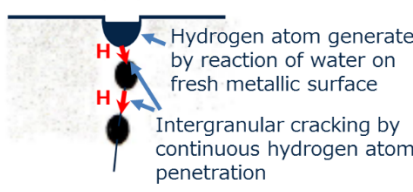


| Type | Anodic dissolution | SCC in humid gas environment |
|-----------------|---|---|
| Principle | Electrochemical corrosion by salt water  | SCC by the reaction of metallic Al and H ₂ O  |
| Reaction | Anodic reaction : $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ Cathode reaction : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ | $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H$ |
| 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。

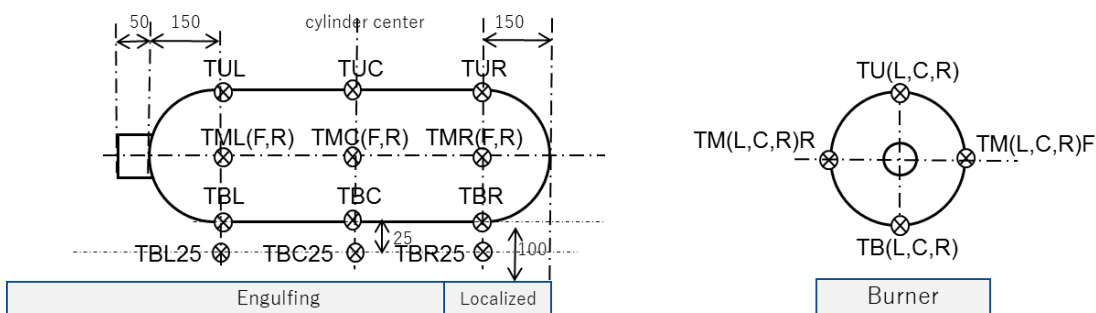


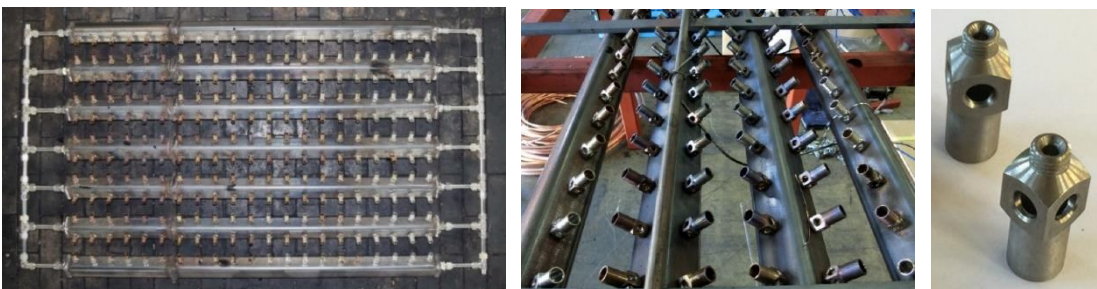
図6 予備試験におけるダミー容器の温度測定箇所

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。

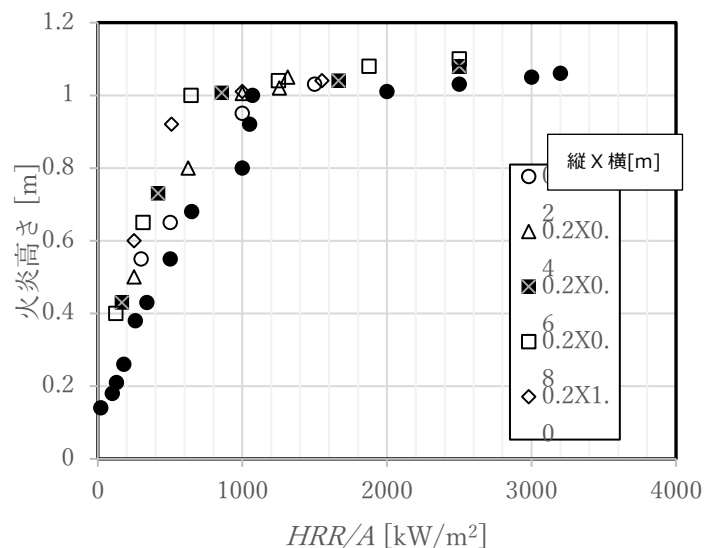


図 8 HRR/A と火炎高さの関係

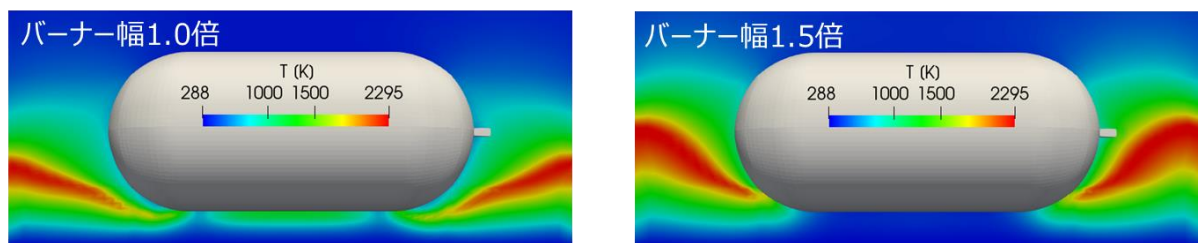


図 9 HRR/A が同一の場合のバーナ幅の容器底部の温度影響

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。

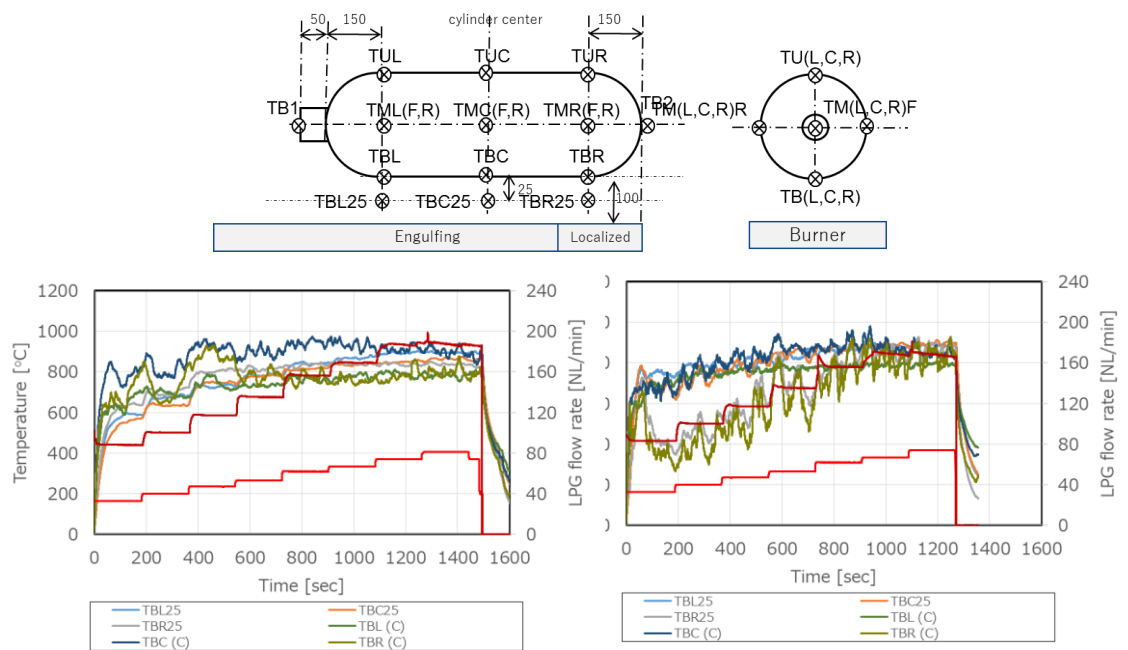


図 11 LPG 流量を段階的に増加させた場合の基準バーナでの容器表面の温度変化

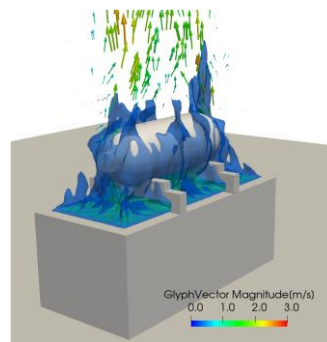


図 12 無風条件の速度ベクトルと温度の等値面 (500K, 1000K)

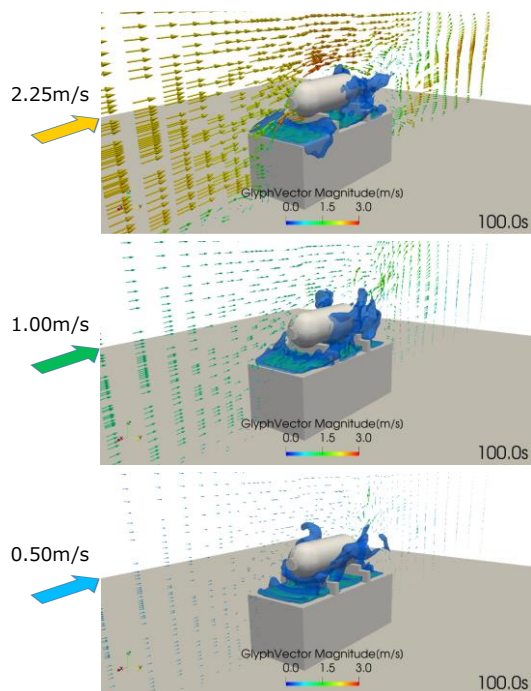


図 13 軸方向の風速の影響

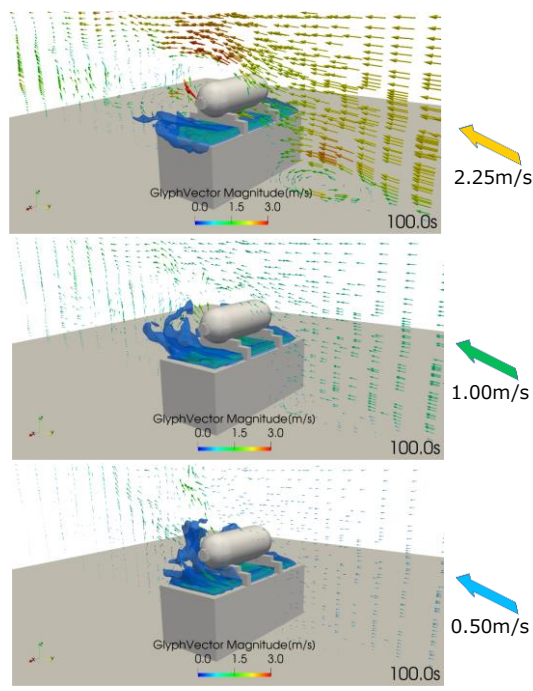


図 14 横方向の風速の影響

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。

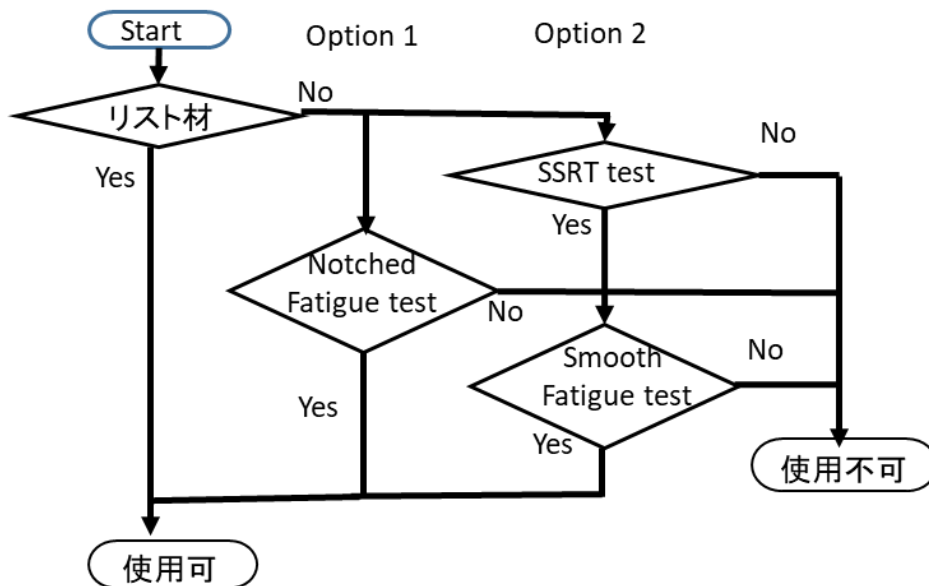


図 15 水素適合性試験のフロー

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. |

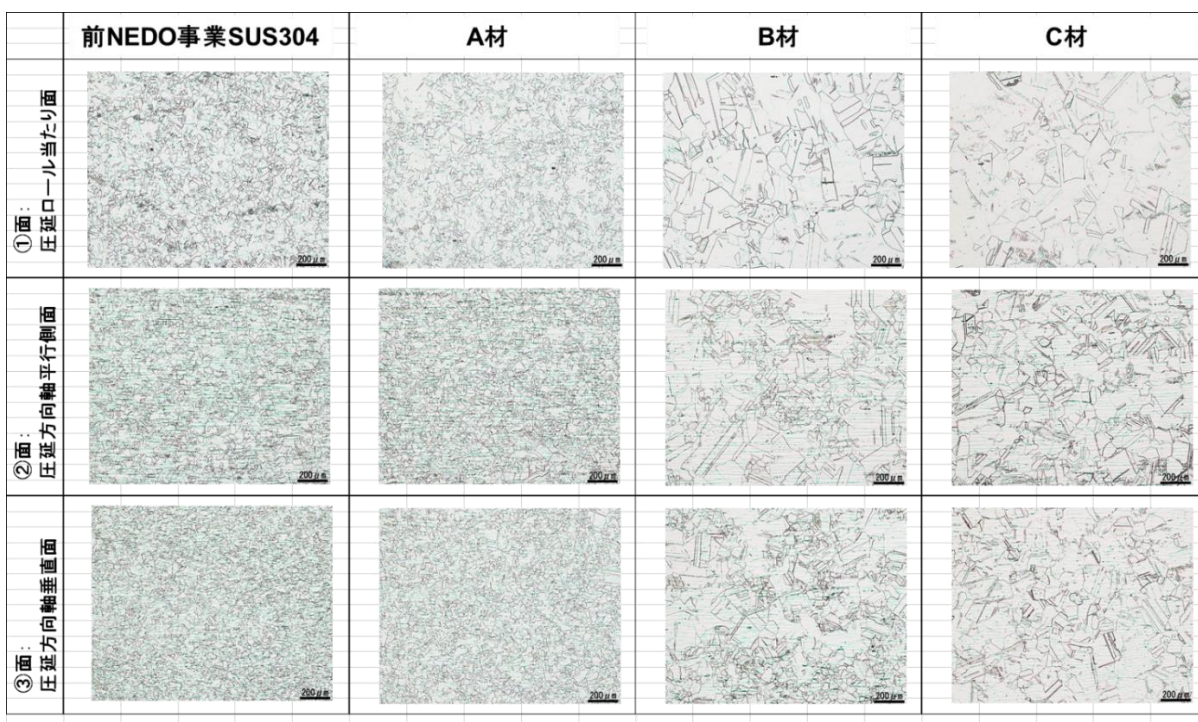


図 16 SUS304 市中材の光学顕微鏡による結晶組織写真

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。

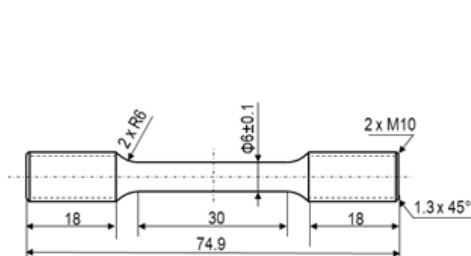


図 17 SSRT 試験片形状

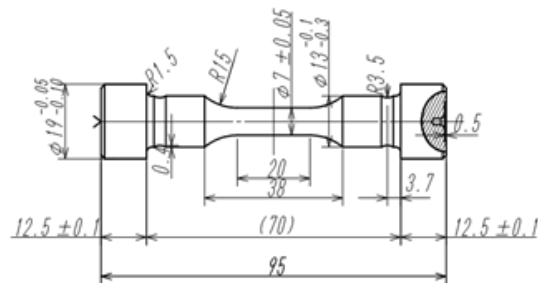


図 18 疲労試験片形状

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。

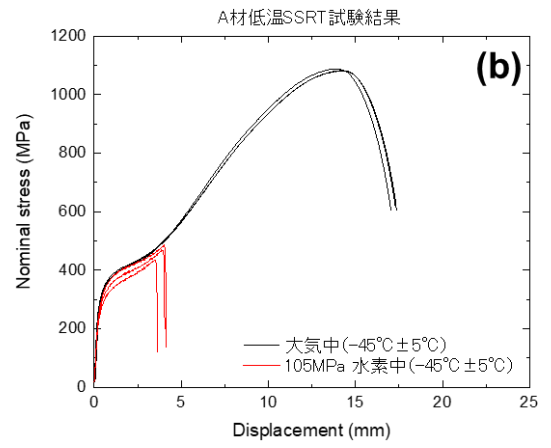
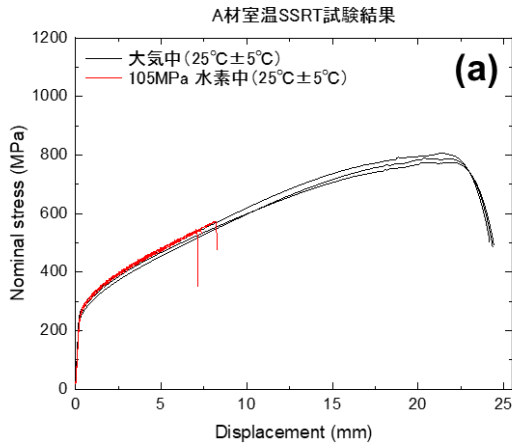


図 19 SUS304 A 材の SSRT 試験結果 (a)室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) (b)低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)

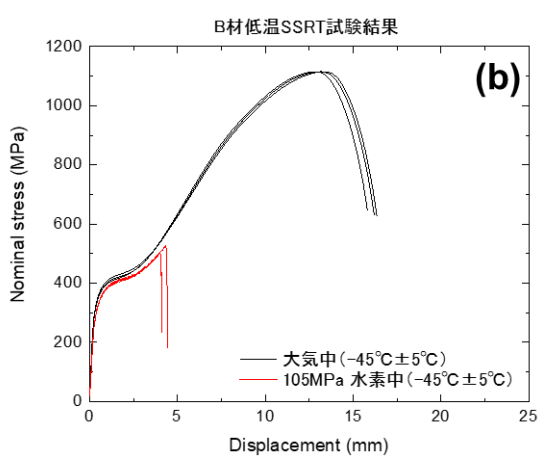
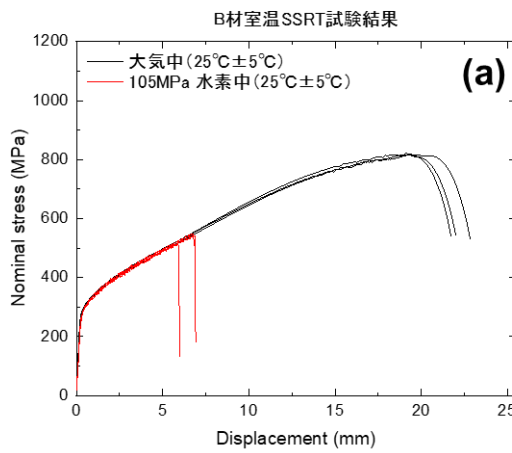


図 20 SUS304 B 材の SSRT 試験結果 (a)室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) (b)低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)

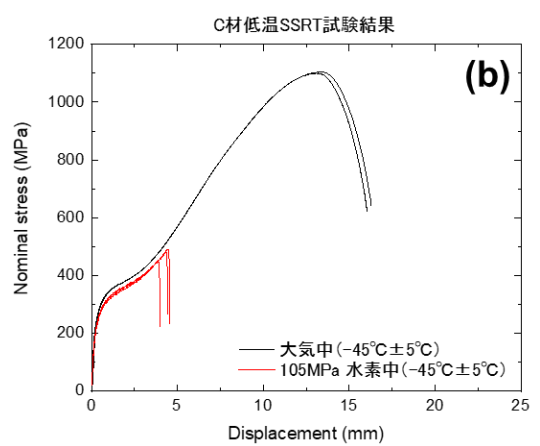
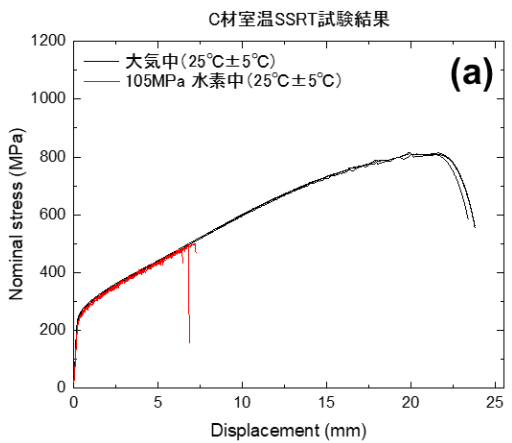


図 21 SUS304 C 材の SSRT 試験結果 (a)室温 ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) (b)低温 ($-45\pm 5^{\circ}\text{C}$)

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 1×10^6 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 2×10^5 回まで未破断であることが分かる。

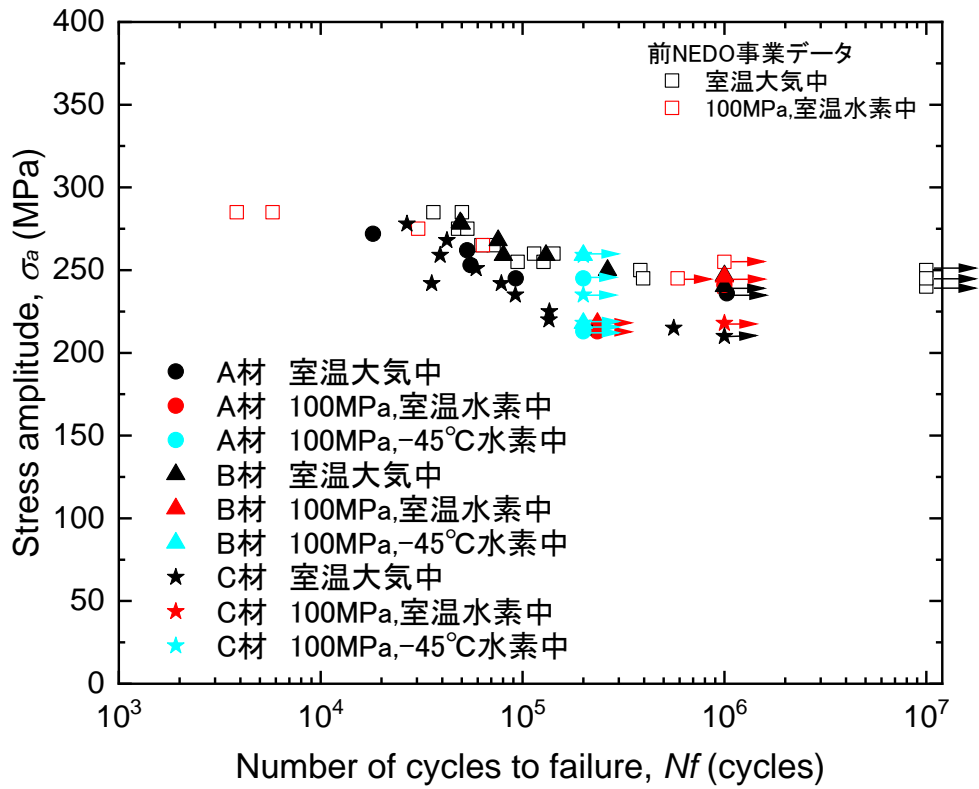


図 22 A 材、B 材、C 材の室温 (25±5°C)、低温 (-45±5°C) 疲労試験結果

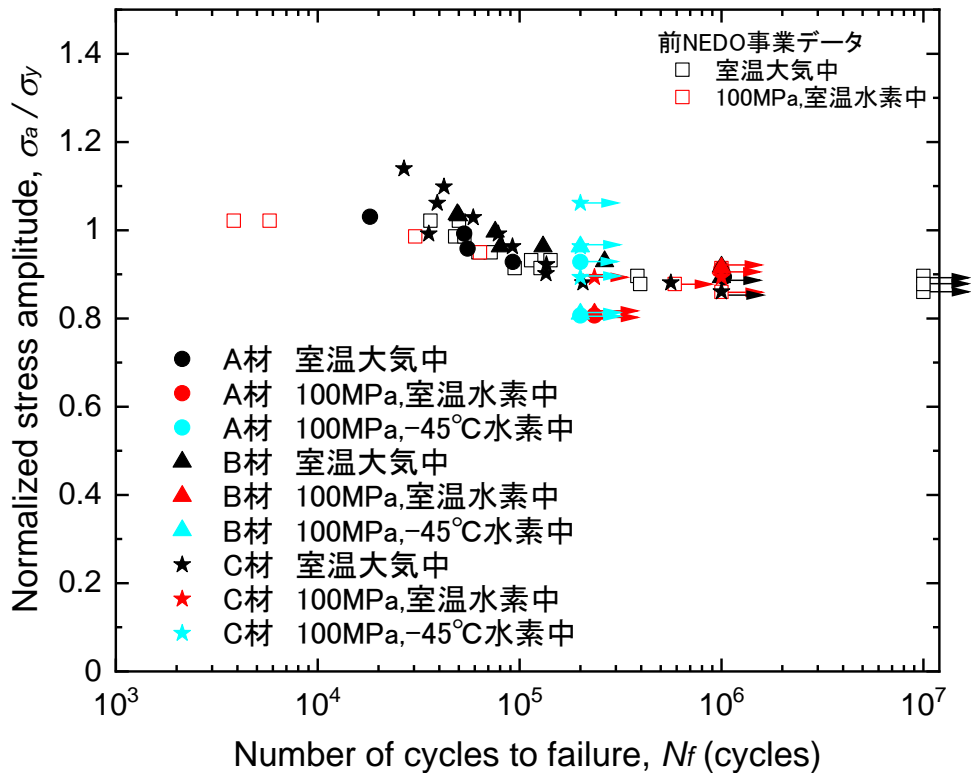


図 23 降伏応力で正規化した A 材、B 材、C 材の室温 (25±5°C)、低温 (-45±5°C) 疲労試験結果

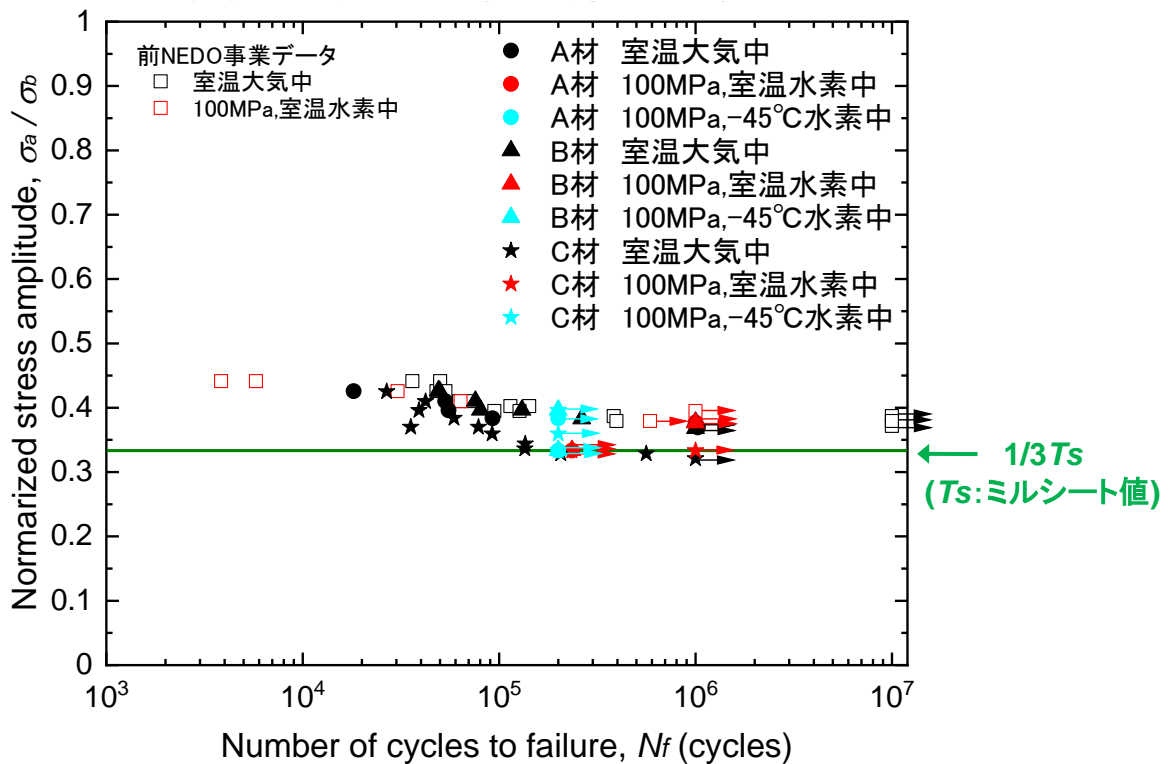


図 24 引張強さで正規化した A 材、B 材、C 材の室温 ($25 \pm 5^\circ\text{C}$)、低温 ($-45 \pm 5^\circ\text{C}$) 疲労試験結果

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。 |

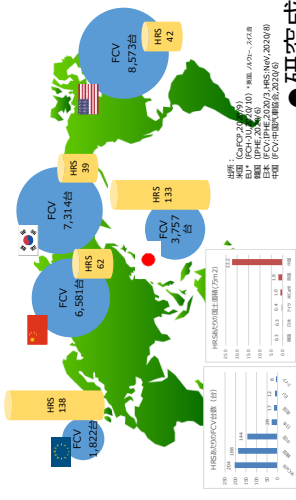
● 実施体制及び分担等

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

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|---------------|----------------------------------|------|
| (1) 最新動向調査 | 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。 | △ |
| (2) 国別政策・市場調査 | 主要国の水素政策、市場動向等について体系的に整理した。 | △ |
| (3) 方向性検討 | 各国の特徴から得られる示唆を検討した。 | △ |

● 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

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 0 | 0 | 2 | 0 |

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原発停止の方針を受け、スイスの原子力研究機関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燃焼性を検証し、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50万ユーロに、NOWが10万ユーロに拠出。株式会社Ford、BMW、NuCellSys、NPROX、Elkamel Kunststofftechnik、Tejin Carbon Europe、ISATEC、BAM、RWTH-IVK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置き換え、再生可能エネルギーは日本、韓国へ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-Luscanten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)

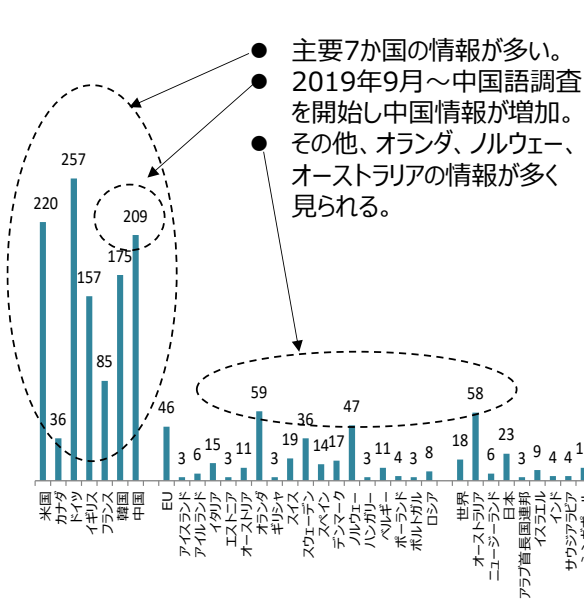
期間中のニュース総数は 1,621 件となった (図 2)。

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

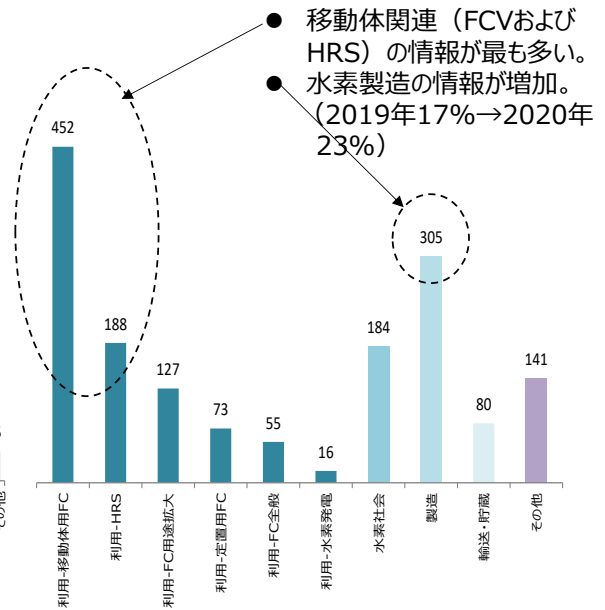


図2 ニュースの内訳 (出所 大和総研作成)

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年クライメイトゼロに向け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レンジエンジン受注（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、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。

(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。

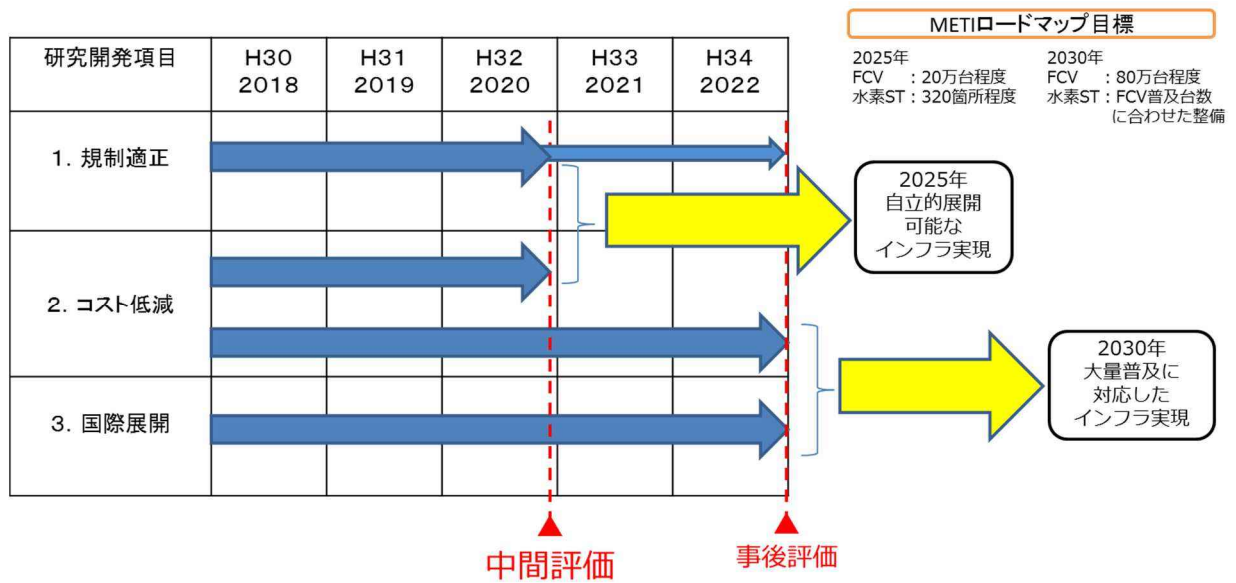
① ISO等の標準化、国際的に調和、連携のための活動を実施する。

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> |
|--|---|

| | |
|--------|--|
| 案件名 | 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 ※ |
| 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> |



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。

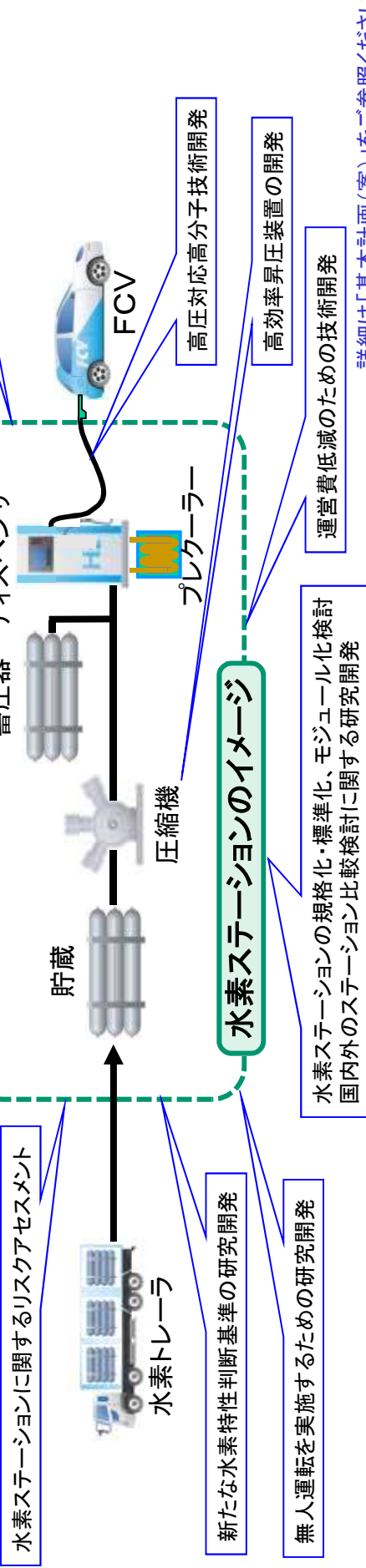
(Ⅱ)水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発

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



「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 | Hirokata 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, Hirokata 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 |