

「水素社会構築共通基盤整備事業」

事後評価報告書

平成23年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成23年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 村田 成二 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	8
研究評価委員会委員名簿	9
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-19
2. 1 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	
2. 2 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	
2. 3 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	
3. 評点結果	1-39
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1

## はじめに

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

本書は、「水素社会構築共通基盤整備事業」の事後評価報告書であり、第25回研究評価委員会において設置された「水素社会構築共通基盤整備事業」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第28回研究評価委員会（平成23年3月30日）に諮り、確定されたものである。

平成23年3月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「水素社会構築共通基盤整備事業」  
事後評価分科会委員名簿

(平成22年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学大学院 工学研究科 教授
分科会長 代理	しおじ まさひろ 塩路 昌宏*1	京都大学大学院 エネルギー科学研究科 エネルギー変換科学専攻 教授
委員	いしだ まさよし 石田 政義	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授
	いながき とおる 稲垣 亨	関西電力株式会社 研究開発室 エネルギー利用技術研究所 チーフリサーチャー
	いば ひでき 射場 英紀	トヨタ自動車株式会社 電池研究部 部長
	おがわ こういち 小川 紘一*2	東京大学 知的資産経営総括寄附講座 特任教授
	たかい けんいち 高井 健一	上智大学 理工学部 機能創造理工学科 教授
	ふるはら ただし 古原 忠*3	東北大学 金属材料研究所 教授, 副所長

敬称略、五十音順

注\*1～\*3：実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため（実施者：京都大学大学院工学研究科材料力学専攻、東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻・化学システム工学専攻、東北大学流体科学研究所）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成22年7月1日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## 審議経過

- 第1回 分科会（平成22年12月3日）
  - 公開セッション
    - 1. 開会、分科会の設置、資料の確認
    - 2. 分科会の公開について
    - 3. 評価の実施方法について
    - 4. 評価報告書の構成について
    - 5. プロジェクトの概要説明
    - 6. プロジェクトの詳細説明
  - 非公開セッション
    - 7. 全体を通しての質疑
  - 公開セッション
    - 8. まとめ・講評
    - 9. 今後の予定、その他
    - 10. 閉会
  
- 第28回研究評価委員会（平成23年3月30日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

水素燃料電池自動車と定置用燃料電池は、世界規模での事業展開が期待でき、基準・標準化においても国際的イニシアチブを取り、先導性を確保することは極めて重要である。幅広い産官学連携の取り組みにより、基準、標準化といった切り口で地道なデータ収集と試験方法の確立を行った本プロジェクトの意義は大きく、基準・標準化に貢献するデータ提供という意味では、所期の目標通りの大きな成果が得られた。また、細部技術の開発から規制の見直しや国際標準化まで広く取り組んだ姿勢も賞賛に値する。

しかしながら、全体的に既存事業者の展望に沿った内容に偏っており、将来の我が国の国際的展開等、人類や社会が求める姿を追求する姿勢が望まれる。例えば、FCV やマイクロ FC など今後技術開発の進展が期待されるアイテムについては、その普及段階の技術を予測し、開発された技術ノウハウや知的財産を、国の競争力に繋げられるように、適切な規制や標準を設定していくような将来の我が国の国際的展開を見据えた戦略も必要であろう。これまでは、それぞれの担当チームが担う個別領域において目標を達成すればよかったが、今後、水素エネルギー社会の実現・普及となると、分野の異なる企業の連携が重要となる。後継のプロジェクトにおいては、FCV、定置型 FC、マイクロ FC の各々で、開発フェーズが異なるため各々の技術開発の取り組みにあわせプロジェクト内での連携を強くし、さらには他の水素関連プロジェクトとの連携を行い、状況に応じて柔軟に内容を更新できるような全体最適を目指すマネジメントの強化が望まれる。

#### 2) 今後に対する提言

社会の動きが活発化する中、エネルギー確保についての考え方も時々刻々変化しており、水素関連技術に将来のエネルギー利用の中でどのような役割を持たせて行くかの議論が不可欠である。特に再生可能エネルギーとの関係や、電力供給における時間帯を踏まえた出力分担など、本質的に資源有効利用や環境負荷低減を目指すエネルギー供給全体の最適化の観点から、燃料電池普及の現状を見極め、挑戦的かつ現実的な普及目標の設定を行い、その実現に必要なインフラ整備の在り方を再検討すべきであろう。その際、製品の普及に伴い段階的に規制緩和を進めていく方策や、他省庁所管の規制や基準（例えば火災への対応）について、積極的に他省庁と共同で検討する枠組みが望まれる。

水素エネルギー社会の実現に向けて、競合技術に対する位置付け（例えば、FCV の場合、電気自動車、高効率燃焼エンジン自動車、ハイブリッド自動車等との基本的性能・価格・二酸化炭素削減効果の比較・検討）を踏まえ、ここからビジョンの再確認および実用化シナリオの再構築が最優先ではないか。その際、知財マネジメントとして、オープン化してグローバル市場に任せる領域とクローズにして日本の競争力強化に寄与させる領域の境界設計を行い、国際標準化を戦略ツールとして、課題先進国としての我が国が開発する技術成果を、グローバル市場の競争力強化と大量普及の同時実現に寄与させるための仕組み構築が必要であろう。国際標準化は戦略ツールなので

あって、標準化それ自身が目的では決して無いことを再確認して欲しい。知的財産も、上記の同時実現を目的とする知財マネジメントがあって初めて国や企業の競争優位に結び付くことを理解して欲しい。

本プロジェクトでは、個々の成果は着実に、安全な水素社会に向けた成果を出している。今後、NEDO は、分野の異なる企業連携をはかるなどうまくマネジメントし、水素社会実現の機運を下げないように国民への広報活動、さらには国外への情報発信も強化すべきである。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

地球規模で低炭素化社会を構築する上からも、水素社会を実現することは有力なシナリオの一つであり、国際競争力の確保、国際貢献の点からも、個々の技術力では国際社会のなかで最も進んでいる日本の技術レベルから鑑みて、優先すべき戦略である。規制の見直しや国際標準の提案は、各国の行政にも関連するため公共性が高く、民間企業単独では取り組めないテーマなので NEDO で取り組む意義は大きい。また幅広い業界で多くの技術分野に渡る課題検討を行うために、水素関連の多くの研究開発事業を扱う NEDO が、産官学の有機的な連携に基づくプロジェクト推進を行うことにより、個々の要素技術の開発は、期待以上の成果に繋がっている。

ただし、経済効果、CO<sub>2</sub>削減効果の基礎とする普及台数および市場規模の数値予測の根拠が明確でない。対予算の効果を見積もる重要な数値であり、EV 等の競合技術に対する位置づけを踏まえ、より総合的な表現を工夫すべきである。また、国内規制及び国際標準化については、国内での普及や、国際競争の点から、重要な項目を挙げ、合意形成の難しい点や対立点について課題として強調していくことも必要ではないか。

### 2) 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトの事業計画は、自動車および定置用燃料電池システムの技術動向を踏まえ、必要な試験法を確立するとともに、それにしたがってデータを取得し、その結果を基準の適正化と国際標準への提案に反映するもので、予算の配分と併せて合理的と考えられる。NEDO を中心に適切な機関が役割を分担し、対応する政府機関とも密に連携を保ち、各テーマ毎に有機的な研究体制のもとで事業が遂行されている。単体の個別テーマでみると、その範囲内では、研究開発計画、研究開発成果の実用化に向けたマネジメントは、各グループごとにしっかり練られている。

ただし、各個別テーマのグループ間の連携・共有化が感じられず、個別のテーマを随時擦り合せ統合して全体最適を目指すマネジメントの強化が望まれる。この意味で全体を統括する NEDO のリーダーシップに課題が残る。また規制や法規制の取り組みでは、対象とする技術は成立しているものがベースとなるため、本プロジェクトと三位一体の関係にある「実証研究」や「技術開発」の進捗に合せ、常に更新する必要がある。例えば、FCV は、日々進化しているので、ベースとなる技術をどう設定するか、また本事業で開発された評価試験方法は、今後の燃料電池の性能向上・技術進展にどのように対応していくのか等、留意することが重要である。

本プロジェクトに期待される国際標準化の本来の目的は大量普及と高収益の同時実現であり、また標準化はオープン化領域を設定して低コスト化を狙うという重要な機能を同時にもつが、これが機能する標準化の仕組み作りも事前設計が必要であろう。また技術の普及を目的にした論文発表そのものは適切に行われているが、知的財産の確保（権利の維持）を絡めたグローバル市場での競争優位確保という視点が見えないので、今後の戦略的な知財マネジメントの取り組みに期待したい。

### 3) 研究開発成果について

具体的な目標設定が難しい中、目標と設定した各試験項目について、多くのデータを新規に取得・蓄積し、国内規制の見直しおよび国際基準調和、標準化案策定に活用しており、十分な成果が得られた。個々の研究成果は十分目標を達成し、しかも世界

最高水準のものが多数含まれており、高く評価できる。特に定置用燃料電池について、技術開発のみならず規制緩和や標準化とのセットで市場投入にまで繋げた成果は賞賛に値する。また、安全性に関する基礎データは、最重要の内容で、長年継続して使用できる内容の成果が得られている。通常の使用環境の評価はよく実施されているので、今後、品質下限品の評価や環境のいじわる試験等についての検討が必要であろう。ただし、目標を大幅に達成したとする根拠が明確でない。成果を他の検討の場に「提供」することだけが（本事業では目標達成と捉えられずとしても）、最終的に期待するゴールではなく、国際標準に対する効果やその見通し等についても考慮すべきである。

#### 4) 実用化の見通しについて

本プロジェクトで得られた研究成果の多くは、試験方法や材料評価方法等の確立に充分利用できるものであり、本成果による規制の見直し、国内外の標準化活動への情報の反映が十分行われている。本事業の目的が主に、水素インフラの安全性に関わるデータの蓄積、規制再点検、国内・国際標準化に向けた提案であるので、その観点からは実用化についてある程度の見通しが得られたと判断できる。特にエネファームが、技術開発と規制緩和や標準化を通じて、商品化されたことは素晴らしく、普及のための取り組みも十分に行われており波及効果も大きい。

ただし、規格再点検、国内・国際標準化に関して、「見直し案を提出した」、「見直し案を取りまとめた」、「見直し案を提案した」などの表現が多く、目標を達成したのか判断し兼ねるものが多く、水素社会の基盤整備にどのように寄与するかをできる限り定量的に推定・算出することを常に意識して取り組めるようにする等、NEDOとして判断基準を整備することにより、本来の目的である普及・実用化に寄与するであろう。また、定置用FC、FCV、マイクロFCの各々において、普及のレベルや、技術の重要性が異なるので、より普及が近く、技術が確立したものから順にリソースを集中させ、短期に成果の実用化を図る必要がある。その際、実用化が進み、その後、技術も進歩すると考えられるので、それにあわせて、他のプロジェクトと連携し、規格や標準を常に更新していくことをしくみとして確立しておくべきである。

## 研究評価委員会におけるコメント

第28回研究評価委員会（平成23年3月30日開催）に諮り、了承された。  
研究評価委員会から以下のコメントが出された。

- 震災等の影響が反映され、世の中の風潮として、エネルギーシステムの再検討が予想される。従って、本プロジェクトにおいても緊張感を持ち、適宜計画見直しを行い迅速に対応していただきたい。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所 属、役 職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパスビジネスクリエイツ株式会社 事業企画本部 戦略探索部 探索2グループ シニアマネージャー
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	東北大学未来科学技術共同研究センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学部機械学科 教授・総合技術研究所所長
宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授	

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

水素燃料電池自動車と定置用燃料電池は、世界規模での事業展開が期待でき、基準・標準化においても国際的イニシアチブを取り、先導性を確保することは極めて重要である。幅広い産官学連携の取り組みにより、基準、標準化といった切り口で地道なデータ収集と試験方法の確立を行った本プロジェクトの意義は大きく、基準・標準化に貢献するデータ提供という意味では、所期の目標通りの大きな成果が得られた。また、細部技術の開発から規制の見直しや国際標準化まで広く取り組んだ姿勢も賞賛に値する。

しかしながら、全体的に既存事業者の展望に沿った内容に偏っており、将来の我が国の国際的展開等、人類や社会が求める姿を追求する姿勢が望まれる。例えば、FCV やマイクロ FC など今後技術開発の進展が期待されるアイテムについては、その普及段階の技術を予測し、開発された技術ノウハウや知的財産を、国の競争力に繋げられるように、適切な規制や標準を設定していくような将来の我が国の国際的展開を見据えた戦略も必要であろう。これまでは、それぞれの担当チームが担う個別領域において目標を達成すればよかったが、今後、水素エネルギー社会の実現・普及となると、分野の異なる企業の連携が重要となる。後継のプロジェクトにおいては、FCV、定置型 FC、マイクロ FC の各々で、開発フェーズが異なるため各々の技術開発の取り組みにあわせプロジェクト内での連携を強くし、さらには他の水素関連プロジェクトとの連携を行い、状況に応じて柔軟に内容を更新できるような全体最適を目指すマネジメントの強化が望まれる。

#### <肯定的意見>

- 水素社会構築のための難易度の高い技術開発と、それらを普及させるための規制緩和や標準化に向けた努力がしっかりと成されている。
- 本事業は基盤整備であるので、個々の成果は地味であるが、着実に安全な水素社会に向けた成果を出しており、大変評価できる。たとえ、水素エネルギー関連技術の新たな発見があっても、この事業の担う社会基盤が整わないと水素エネルギー社会は実現しない。また、一度、水素エネルギー関連で大きな事故を起こしてしまうと、国民全体に負のイメージが浸透し、その後、水素社会を構築しようとしても容易ではない。それだけ、本事業は重要な責務を担っており、水素社会が実現・普及した後も、継続していく必要のある事業である。
- 家庭用燃料電池や水素ステーションなど具体的な形として構築できており、技術のステージをより高度化したことについては申し分ない。
- 燃料電池・水素に関わる新エネルギー技術の導入・普及に際して、技術レベルの進展に応じた既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得、国際標準の提案、試験評価方法の確立はいずれも重要な課題である。これらを網

羅的かつ有機的に関連付けながら実施することにより、これら新エネルギー技術の実用化と普及、安全性の確保、インフラ整備などが進展することが期待される点において、非常に重要な取り組みと考えられる。

- 技術開発の促進を、実証試験を通して技術の成熟化を図ることは重要であるが、その一方で、標準、基準といった切り口で地道なデータ収集と試験方法の確立を行った本事業の意義は大きい。
- 民間企業単独では、実施困難な内容が、プロジェクトでよく推進されている。特に、普及の始まった定置型については、必要な内容が実施されており、今後の各場面での活用が期待される。
- 炭酸ガス半減に向けた究極の技術としての水素社会構築を、**Vision Driven** 型の技術開発として取り組んだ国家プロジェクトに対して、改めて敬意を表す。
- 細部技術の開発から規制の見直しや国際標準化まで広く取り組んだ姿勢もまた賞賛に値する。
- 目標とする水素社会構築のためには、技術開発、実証試験と共に、技術の基準・標準の確立は重要である。特に、水素燃料電池自動車と定置用燃料電池は、世界規模での事業展開が期待でき、基準・標準化においても国際的イニシアチブを取り、先導性を確保することが極めて重要である。試験方法や法規のかなりの部分において成果が挙がり、国際的にも基準・標準化の分野でイニシアチブを取っている事が認められ、高く評価できる。
- 本事業は基本的に燃料電池技術を基礎とした水素社会のインフラ整備のための基準・標準化に貢献するデータ提供を意図したもので、製品作りや規準の取りまとめを意図したものではないが、日本のエネルギーセキュリティの確保に直接関係する重要なテーマであり、NEDO が主導して国家レベルで進めるべき課題を含んでいる。各テーマとも膨大なデータ収集を行っており、その意味で目標通りの大きな成果が得られたと評価できる。
- 課題先進国として **Vision** を掲げ、先進技術を世界に先駆けて体系的に開発する姿勢は今後も貫いて欲しい。
- 水素社会システム構築に向けた幅広い産官学連携の取り組みにより、十分な成果を上げている。本事業の成果は今後の基盤整備や国際標準化における日本の指導力の発揮に大きく貢献するものと思う。

#### <問題点・改善すべき点>

- 他省庁所管の規制や基準（例えば火災への対応）について、どの様に対処するのか明確でない部分がある。
- とくにグローバル化の進行とともに、国際競争力の確保は経済の行方も左右し、そのためには国際標準化への対応は慎重かつより戦略的に行う必要がある。
- 全体的に既存事業者の展望に沿った内容に偏っており、将来の我が国の国際的展開等、人類や社会が求める姿を追求する姿勢に欠けている気がする。多少な

りともそういった観点での取り組みを期待したい。

- 本事業で対照とした技術領域が比較的広範囲にわたるため、各々の技術検討の深度やデータの共通性などを踏まえながら技術を整理し、体系化されることを期待する。これにより、広く活用される技術領域となると期待する。
- それぞれの担当チームが担う個別領域ではほぼ目標を達成したものの、これらを臨機応変に擦り合わせ統合し全体最適するマネジメントに課題を残す。個別最適をどんなに組み合わせても全体最適にならないことを再確認し、全体最適を担うアーキテクトの育成に尽力して欲しい。
- 基準・標準化に関する全ての項目について、国内・国外・国際共通を比較して、日本のイニシアチブがどれ位の割合を占めているかをチェックすべきである。当然のことであるが、出来るだけ多くの国内基準が国外で採用される事が望ましい。その状況を簡便に評価できる指標（例えば、複数項目のうちの日本基準が占める割合）を用いると良いと思われる。
- 全般にわたり、他分野への波及効果に付いての検討が不足している。例えば、天然ガス自動車や宇宙産業への試験方法等の転用と基準・標準化の共通化は可能と考えられる。こうした点もしっかりと検討すべきである。
- 開発された技術ノウハウや知的財産を、国の競争力に繋げるメカニズム構築にも課題を残す。また同じ意味で、技術発表件数を成果とする評価法も再考が必要。これらの課題は1970年代までのアメリカが直面した課題でもある。
- 本事業の参加企業は多岐にわたり、これまでは個々の担当において目標を達成すればよかったが、今後、水素エネルギー社会実現・普及となると、分野の異なる企業の連携が重要となる。後継のプロジェクトにおいては、事業内をうまく連携させるマネジメント、さらには他の水素関連事業との連携させるマネジメントを強化することを望む。
- 本事業で積み上げられた基礎データを持って標準化や安全基準の整備面で引き続き取り組んでいただきたい。
- FCV、定置型、マイクロの各々で、開発フェーズが異なるため各々の技術開発の取り組みにあわせ、他プロジェクトとの連携や柔軟に内容を更新していくようなマネジメントが必要。

#### <その他の意見>

- ・ 国際標準化を除いて大部分が国内市場を中心に考えており、国際標準化以外でグローバル市場を見据えた取り組みが弱い。課題先進国としての我が国が開発する技術をグローバル展開するための仕組み作りで、1990年代以降の欧米に学ぶべきことが多いのではないか。
- ・ 特に、水素の製造の原料を何にするかについて、正面から取り組むプロジェクトが必要。
- ・ 今回のプロジェクトが目標とする最終製品の仕様は、少なくとも今回の報告を

聞いている範囲では、内外の競合技術進歩との関係で明確化されていない。特に個別技術担当のメンバーは、与えられたミッションと市場展開との関係を明確にとらえてなかったのではないか。

## 2) 今後に対する提言

社会の動きが活発化する中、エネルギー確保についての考え方も時々刻々変化しており、水素関連技術に将来のエネルギー利用の中でどのような役割を持たせて行くかの議論が不可欠である。特に再生可能エネルギーとの関係や、電力供給における時間帯を踏まえた出力分担など、本質的に資源有効利用や環境負荷低減を目指すエネルギー供給全体の最適化の観点から、燃料電池普及の現状を見極め、挑戦的かつ現実的な普及目標の設定を行い、その実現に必要なインフラ整備の在り方を再検討すべきであろう。その際、製品の普及に伴い段階的に規制緩和を進めていく方策や、他省庁所管の規制や基準（例えば火災への対応）について、積極的に他省庁と共同で検討する枠組みが望まれる。

水素エネルギー社会の実現に向けて、競合技術に対する位置付け（例えば、FCVの場合、電気自動車、高効率燃焼エンジン自動車、ハイブリッド自動車等との基本的性能・価格・二酸化炭素削減効果の比較・検討）を踏まえ、ここからビジョンの再確認および実用化シナリオの再構築が最優先ではないか。その際、知財マネジメントとして、オープン化してグローバル市場に任せる領域とクローズにして日本の競争力強化に寄与させる領域の境界設計を行い、国際標準化を戦略ツールとして、課題先進国としての我が国が開発する技術成果を、グローバル市場の競争力強化と大量普及の同時実現に寄与させるための仕組み構築が必要であろう。国際標準化は戦略ツールなのであって、標準化それ自身が目的では決して無いことを再確認して欲しい。知的財産も、上記の同時実現を目的とする知財マネジメントがあって初めて国や企業の競争優位に結び付くことを理解して欲しい。

本プロジェクトでは、個々の成果は着実に、安全な水素社会に向けた成果を出しているのので、今後、NEDO は、分野の異なる企業連携をはかるなどうまくマネジメントし、水素社会実現の機運を下げないように国民への広報活動、さらには国外への情報発信も強化すべきである。

### <今後に対する提言>

- ・ 「水素社会構築共通基盤整備事業」の範囲を超えてしまうかもしれないが、委員会でも意見が出ていた富士経済からの燃料電池・水素分野の国内市場の経済効果予想に対し、NEDO あるいは日本政府としての普及目標を可能な限り定量的に設定すべきである。最近、マスコミでの取り上げ方が減少しているのので、一般の方から水素エネルギー社会をあきらめたのでは、との質問も受ける。マスコミの取り上げが減少したら、NEDO から積極的にビジョンを発信しないと、国民の期待も薄れ、水素社会実現への機運も冷めてしまう。本事業の個々の成果は地味ではあるが、着実に安全な水素社会に向けた成果を出しているのので、NEDO でうまくマネジメントし、国民への広報活動、さらには国外への情報発信も強化すべきである。
- ・ 今後も成果の普及に向けて鋭意取り組んでいただきたいと思います。また、並行し

て展開されている他の水素関連の研究開発事業の方向性にも、本事業の知見が何らかの形で反映されさらに実のある成果が得られれば何よりである。

- もっと積極的に他省庁と共同で検討する組織を形成する必要があるように思われる。又、規制に付いても、製品の普及に伴う段階的緩和という方策も検討すべきではないかと思われる。
- 社会の動きが活発化する中、エネルギー確保についての考え方も時々刻々変化している。燃料電池普及の現状を見極め、挑戦的かつ現実的な目標を設定し、その実現に必要なインフラ整備の在り方を再検討すべきであろう。
- この分野の技術は今後ますます進展すると考えられ、その意味で、本事業で獲得・開発したデータや試験方法の適用が、将来、現実的ではなくなる可能性がある。また、燃料電池等の導入と普及が進めば、これに応じてさらなる規制面での見直しが必要になるケースもあると予想される。本事業は H21 年度で終了したが（一部残った課題が他の事業において継続されるものの、）技術開発や実証面で今後継続的に得られる技術的知見を絶えずウォッチしながら、基準・標準化へも引き続き取り組むことが重要と考えられる。
- 水素ありきという視点ではなく、水素関連技術に将来のエネルギー利用の中でどのような役割を持たせて行くかの議論が不可欠である。特に再生可能エネルギーとの関係とか、電力供給における時間帯を踏まえた出力分担など、本質的に資源有効利用や環境負荷低減を目指すエネルギー供給全体の最適化を進めてもらいたい。
- 国際展開を見据えた技術開発や標準化の戦略を立てるべきであることは言うまでもない。とりわけ、世の中の半分以上、ほとんどに普及できなければ、直面する社会問題の解決には貢献できないとの気概をもった開発が望まれる。
- FCV やマイクロなど今後技術開発の進展が期待されるアイテムについては、その普及段階の技術を予測し、それに対して適切な規制や標準を設定していくことが普及の早期の拡大につながる。
- 技術開発の視点よりも、今回の成果の競合技術に対する位置付けを踏まえ、ここからビジョンの再確認および実用化シナリオの再構築が最優先ではないか。
- 全ての技術開発を日本一国で担うことはできても、開発スピードも普及領域も共に限界がある。オープン化してグローバル市場に任せる領域とクローズにして日本の競争力強化に寄与させる領域の境界設計が必要。普及と高収益を同時実現される仕組み構築が必要と言い換えてもよい。これを担うリーダー（アーキテクト）の参加が無いとガラパゴス化が避けられない。

#### <その他の意見>

- 国際標準化は課題先進国としての我が国が開発する技術成果をグローバル市場の競争力強化と大量普及の同時実現へ寄与させるための戦略ツールなのであって、標準化それ自身が目的では決して無いことを再確認して欲しい。

- 知的財産も、上記の同時実現を目的とする知財マネジメントがあって初めて国や企業の競争優位に結び付くことを理解して欲しい。
- 技術の開発や普及は流動的であり、予測が困難であるが、燃料電池自動車については、経済効果に付いての記載が、予測なのか目標なのか明確でない。仮に予測とすれば、かなり甘い算定と思われる。予測の数量的根拠を明確に示すべきである。又、競合する電気自動車、高効率燃焼エンジン自動車、ハイブリッド自動車等との基本的性能・価格・二酸化炭素削減効果について、合理的な定量評価で比較・検討し、その結果を開示すべきである。
- 技術開発成果を書面で公開するだけではなく、税金を使つての開発である以上、一定の管理の下であっても技術そのものを誰もが利用できる仕組みが必要であると考える。実施者の中だけで死蔵してしまっている技術が多く、様々な発展の機会を失っているように見え、もったいない。
- 安全に関する内容は、いろいろ貴重なデータ（特に材料物性）が得られているので、ハンドブックや教科書化して、広く共有できる工夫をするとよい。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

地球規模で低炭素化社会を構築する上からも、水素社会を実現することは有力なシナリオの一つであり、国際競争力の確保、国際貢献の点からも、個々の技術力では国際社会のなかで最も進んでいる日本の技術レベルから鑑みて、優先すべき戦略である。規制の見直しや国際標準の提案は、各国の行政にも関連するため公共性が高く、民間企業単独では取り組めないテーマなので NEDO で取り組む意義は大きい。また幅広い業界で多くの技術分野に渡る課題検討を行うために、水素関連の多くの研究開発事業を扱う NEDO が、産官学の有機的な連携に基づくプロジェクト推進を行うことにより、個々の要素技術の開発は、期待以上の成果に繋がっている。

ただし、経済効果、CO<sub>2</sub> 削減効果の基礎とする普及台数および市場規模の数値予測の根拠が明確でない。対予算の効果を見積もる重要な数値であり、EV 等の競合技術に対する位置づけを踏まえ、より総合的な表現を工夫すべきである。また、国内規制及び国際標準化については、国内での普及や、国際競争の点から、重要な項目を挙げ、合意形成の難しい点や対立点について課題として強調していくことも必要ではないか。

#### <肯定的意見>

- 国際競争の厳しい開発テーマであり、産官連携したプロジェクト推進が必要と認められる。
- 資源の少ない我が国において、水素をキャリアとするエネルギーシステムの基盤を整えることは極めて公共性が高く、NEDO 事業として妥当と認められる。さらに、地球規模で低炭素化社会を構築する上からも、水素の活用は有力なシナリオの一つであり、国際競争力の確保、国際貢献の点からも、現時点での日本の技術レベルから鑑みて優先すべき戦略の一つとして適当とみなせる。
- 国内外における水素利用技術の基準化・標準化を目指すプログラムであり、各国の行政にも関連する公共性の高い事項である。従って、民間活動のみでは対処できるテーマではない。NEDO の関与が不可欠であり、期待される。
- 要素技術としての開発は NEDO がうまくリードして、期待以上の成果に繋がっていると受け止めている。
- 人類究極のエネルギーシステムの開発で世界水準を遥かに超える技術を開発できたと思う。この意味で NEDO の取り組みは妥当であった。
- 標準と基準を対象とする広範かつ有機的な連携に基づく取り組みは、これまで類を見ないという点で意義を認める。このような取り組みは、民間活動のみでは困難であり、NEDO 殿の関与が必要である。
- 規制の見直しや国際標準の提案は、民間企業単独では取り組めないテーマなので NEDO で取り組む意義は大きい。特に普及が始まった定置用については、重要性・緊急性が高い。

- 日本のエネルギー政策に関わる重要な事業であるが、民間が行うほど即利益に繋がるものでないので、NEDO が実施すべき事業であり妥当である。予算規模については、まず、水素社会の安全性を評価する基盤を整備しなければならないので、本事業の予算は大規模であるが必要な投資である。
- 幅広い業界、技術分野に渡る課題検討の必要性があり、水素関連の多くの研究開発事業を扱う NEDO のマネジメントにより十分な成果が得られていると考える。
- 水素社会に関する個々の技術力では、国際社会の中で日本が最も進んでおり、国際競争力を有する数少ない技術の一つである。また、もし世界に先駆け水素社会を実現できれば、国際貢献が可能である。本事業の目的は妥当である。

#### <問題点・改善すべき点>

- 定置用、FCV、マイクロ FC いずれについても、開発フェーズが異なり、水素源となる燃料も異なるため、ひとつのプロジェクトの中で、ひとくくりで取り扱うには無理がある。
- NEDO または国自身が水素利用の青写真が描けていないせいか、事業実施者の意向に依存しがちで、その意味では公共性やイノベーションとしての強さがそれほど感じられない。
- 内向きとも取れる技術開発によって、高い成果の割には国際競争力を下げてしまっている印象である。
- 経済効果、CO<sub>2</sub> 削減効果の基礎とする普及台数および市場規模の数値予測の根拠が明確でない。現状に鑑みて、かなり挑戦的な数値が示されており、予測と言うより目標値に近いと思える。基盤整備の影響は広範囲にわたるため、事業を限定して効果を正しく評価することは難しいが、対予算の効果を見積もる重要な数値であり、より総合的な表現を工夫すべきと考える。
- 特にEVなどの競合技術に対する位置付けを踏まえた商品化スケジュールと技術目標の再確認が必要。
- 標準化や安全基準などの面で引き続き複数の省庁・機関との連携が必要である。今後も成果の普及に向けて鋭意取り組んでいただきたいと思います。

#### <その他の意見>

- ・ 国内規制および国際標準化の進捗状況は概ね理解できるが、各項目について総花的な印象を受ける。とくに、機密上、戦略上の制約はあろうが、国内での普及や国際競争の点から重要な項目を挙げ、合意形成の難しい点や対立点を強調することも必要かと考える。
- ・ 燃料電池全般をみて、もっとも重要な課題は、何を原料に水素を製造するのだが、そのことに正面から取り組むプロジェクトが見当たらない。

## 2) 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトの事業計画は、自動車および定置用燃料電池システムの技術動向を踏まえ、必要な試験法を確立するとともに、それにしたがってデータを取得し、その結果を基準の適正化と国際標準への提案に反映するもので、予算の配分と併せて合理的と考えられる。NEDO を中心に適切な機関が役割を分担し、対応する政府機関とも密に連携を保ち、各テーマ毎に有機的な研究体制のもとで事業が遂行されている。単体の個別テーマでみると、その範囲内では、研究開発計画、研究開発成果の実用化に向けたマネジメントは、各グループごとにしっかり練られている。

ただし、各個別テーマのグループ間の連携・共有化が感じられず、個別のテーマを随時擦り合せ統合して全体最適を目指すマネジメントの強化が望まれる。この意味で全体を統括する NEDO のリーダーシップに課題が残る。また規制や法規制の取り組みでは、対象とする技術は成立しているものがベースとなるため、本プロジェクトと三位一体の関係にある「実証研究」や「技術開発」の進捗に合せ、常に更新する必要がある。例えば、FCV は、日々進化しているので、ベースとなる技術をどう設定するか、また本事業で開発された評価試験方法は、今後の燃料電池の性能向上・技術進展にどのように対応していくのか等、留意することが重要である。

本プロジェクトに期待される国際標準化の本来の目的は大量普及と高収益の同時実現であり、また標準化はオープン化領域を設定して低コスト化を狙うという重要な機能を同時にもつが、これが機能する標準化の仕組み作りも事前設計が必要であろう。また技術の普及を目的にした論文発表そのものは適切に行われているが、知的財産の確保（権利の維持）を絡めたグローバル市場での競争優位確保という視点が見えないので、今後の戦略的な知財マネジメントの取り組みに期待したい。

### <肯定的意見>

- NEDO 殿を中心に、適切な機関が役割を分担し、また、対応する政府機関とも密に連携を保って有機的な研究体制の下で事業が遂行された。また、諸情勢変化への対応も円滑に進められた。
- プロジェクトのマネジメント全般は、良好に運営されており、問題ないと思われる。
- 事業計画は、自動車および定置用燃料電池システムの技術動向を踏まえ、必要な試験法を確立するとともに、それにしたがってデータを取得し、その結果を基準の適正化と国際標準への提案に反映するもので、予算の配分と併せて合理的と考えられる。さらに、水素インフラについては、主に安全技術の確立・検証を目指しており、社会への普及を図る前提として妥当とみなせる。とくに、業界および関係者と密に連携を図りながら、オールジャパンで研究開発を進める体制が整えられていると認められる。
- 目標に対するマネジメントは良く行われていると考えられる。

- 本プロジェクトを、単体で見るとその範囲内では、たいへんよくマネジメントができており、相応の成果もでている。
- 計画、体制、実用化戦略、情勢変化への対応に関して、マネジメントは適切と思われる。
- すでに与えられたグランドデザインに対する個別技術や規制見直し、標準化などの個別領域では計画も進め方も妥当である。しかしグランドデザインそのものの妥当性については疑問が残る。
- 個々の研究開発計画・成果・実用化に向けたマネジメントは、企業ごとにしっかり練られている。

#### <問題点・改善すべき点>

- 本事業には全体を統括するプロジェクトリーダーがいないようだが、各グループで適切な体制を構築し、成果を積みあげている。ただし、各グループ間の連携・共有化が感じられず、例えば、同じ高圧水素を扱うなら一体となって水素社会構築を目指すべきである。
- 本事業は、「実証研究」および「技術開発」を合わせた三位一体の関係にあり、有機的な連携に基づいて検討が行なわれている。しかし、本事業で開発された評価試験方法は、今後の燃料電池の性能向上・技術進展にどのように対応していくのか、あるいは、初期性能ばかりでなく経年劣化が進んだ燃料電池にどのように適用するのか等、「技術開発」や「実証研究」の進展とどう連動させるか、留意が必要と思われる。
- 必ずしも一貫性ばかりを求めても硬直性が際だってくるので感心しない。とりわけ自動車向けだけに特化した水素ステーション開発は社会の要請からは逸脱して後退して来ているように思われるのだが、それに呼応したスタンスが全く見えない。せっかく積み上げた技術開発成果を無駄にしないためにも、戦略の見直しが必要である。
- 個別のテーマを随時擦り合わせ統合して全体最適をする姿勢に欠けていたのではないか。この意味で NEDO のリーダーシップに課題が残る。
- 個別事項における情勢変化へは適切に対応していると認められるが、研究期間内には社会情勢が大きく変化し、石油価格の大幅な変動、世界同時不況、政治・経済の急転換、などエネルギー情勢に関わる国内外の動きが本プロジェクトの方針・内容へ及ぼす影響の有無やそれへの対応が不明であり、何らかの記述が必要と考えられる。
- 規制や法規制の取り組みは、対象とする技術の成立しているものがベースとなるため、他の実証研究や技術開発の進捗にあわせ、常にアップデートする必要があるが、そのための連携体制や実施内容が報告資料からは読み取れない。特に FCV は、日々進化しているため、ベースとする技術をどう設定するかが重要。

<その他の意見>

- ・ 関連する NEDO の他のプロジェクトと連携して、情報交換を行い、全体として効率良く進める必要がある。
- ・ エネルギー資源の見通しや地球規模の気候変動の問題に、我が国としてどのように対処し、本プロジェクトがそのシナリオにどう関与するかと言う、より大きな視点での捉え方も必要ではないか。
- ・ 示された実用化スケジュールは提案通りに行くと思われるが、特にEVなどの競合技術に対する位置付けや棲み分けが、研究資金の提供者である納税者に理解し難いのではないか。
- ・ 競争し合う技術が互いに切磋琢磨することでイノベーションが加速するのは確かだが、位置付け・棲み分けを長期視点に立って説明する為の技術目標の再確認が必要。
- ・ 特に留意して欲しいのは、21世紀のイノベーション・マネジメントは、技術伝播が非常に速くなって（1970年代の30～50倍も高速）、国内に留まる時間が非常に短いことを前提にしなければならない。したがって全てを国内で賄う自前主義が成立しない。現在の日本が必要とするのは、大量普及と高収益を同時実現させる仕組み作り、あるいは日本とグローバル市場の境界設計という考え方を取り込んだイノベーション・マネジメントである。
- ・ 我が国は1996年の第一期科学技術基本計画から現在までの15年間に60兆円の税金が投入された。民間企業の投資も含めると総計200兆円にも及ぶ。その大部分が製造業へ投入されたが製造業の雇用が15年で350万人（約25%）も減り、製造業のGDPもマイナス成長であった。今後の国家プロジェクトは、アメリカや欧州連合同じように、まず雇用や競争力の強化を目標に掲げるべきではないか。雇用や競争力であれば、常に全体最適を目指すマネジメントへ向かうはず。たとえばリスボン宣言 や新リスボン宣言を踏まえた欧州連合の **Framework Program** が、国家プロジェクトとしてのイノベーション・マネジメントの方向を示唆してくれる。雇用に前面に出すのであれば、例え出口サイド（市場化、製造段階）に対する政府助成であってもWTOルールに抵触しない。
- ・ 残課題に関して、平成22年度以降の他のプロジェクトにおける検討の継続をNEDOのマネジメントできちっと行っていただくことが重要である。

### 3) 研究開発成果について

具体的な目標設定が難しい中、目標と設定した各試験項目について、多くのデータを新規に取得・蓄積し、国内規制の見直しおよび国際基準調和、標準化案策定に活用しており、十分な成果が得られた。個々の研究成果は十分目標を達成し、しかも世界最高水準のものが多数含まれており、高く評価できる。特に定置用燃料電池について、技術開発のみならず規制緩和や標準化とのセットで市場投入にまで繋げた成果は賞賛に値する。また、安全性に関する基礎データは、最重要の内容で、長年継続して使用できる内容の成果が得られている。通常の使用環境の評価はよく実施されているので、今後、品質下限品の評価や環境のいじわる試験等についての検討が必要であろう。

ただし、目標を大幅に達成したとする根拠が明確でない。成果を他の検討の場に「提供」することだけが（本事業では目標達成と捉えられなくても）、最終的に期待するゴールではなく、国際標準に対する効果やその見通し等についても考慮すべきである。

#### <肯定的意見>

- 目標と設定した各試験項目について、多くのデータを新規に取得・蓄積し、国内規制の見直しおよび国際基準調和、標準化案策定に活用しており、十分な成果を得たと認められる。また、学協会への研究発表やガイドブックの執筆など一般への成果の公表についても積極的に取り組んだと評価できる。
- 安全性に関する基礎データは、最重要の内容で、長年継続して使用できる内容の成果が得られている。例えば、ハンドブックや教科書にして、長期に共有できる工夫も必要。
- 個別テーマについては世界水準を超えた成果も多く見られる。地球温暖化防止を実現する究極の技術で世界をリードしているのは間違いの無い事実なので、これを内需拡大や雇用へ寄与させ、同時に参加企業の国際競争力強化に寄与させることが、全ての国民に強く期待されている。
- 個々の研究成果は十分目標を達成し、世界初の知見も得られ十分評価できる。水素社会が実現すれば、新たな技術領域が生まれ、新たな市場も開拓できると期待される。また、国際標準化に向けた提案も着実に進んでおり、今後に期待する。
- 多くの研究成果は当初の目標を達成しており、しかも世界最高水準のものが多数含まれており、高く評価できる。
- 定置用燃料電池、特に PEFC について市場投入にまで繋げた成果は、技術開発のみならず規制緩和や標準化とのセットで賞賛に値する。
- 具体的な目標設定が難しい中、地道に基礎的なデータ収集に基づいた規制再点検、標準化のために十分な活動を行っていることは高く評価できる。

- 各個別テーマとも、多岐にわたる地道な検討が実を結んだ。
- 膨大な知見の蓄積が行われ、国内外の基準・標準化に資する成果が得られた。

#### <問題点・改善すべき点>

- 目標を大幅に達成したとする根拠が明確でない。評価の基準を示すとともに、さらなる課題と展開の可能性を踏まえて総合的に判断し、とくに国際標準に対する効果やその見通し等についても考慮すべきと考える。
- 成果を他の検討の場に「提供」することだけが（本事業では目標達成と捉えられるとしても）、最終的に期待するゴールではないと考えられる。今後、国内外の基準化・標準化に向けてどのような取り組みを行うか、検討が必要と考えられる。
- 定置用として純水素燃料電池をどう位置付けるかの概念がないままに事業を進めているように見受けられる。
- 水素ステーションに至っては、単に燃料電池自動車の導入予測にだけ頼って事業が展開されているのではないか。
- 通常の使用環境の評価はよく実施されているが、品質下限品の評価や環境のいじわる試験などについて今後検討が必要。
- 成果を広く普及する取り組みについて、参加機関および関連機関の一層の努力を期待する。
- 国際標準化に向けた取り組みそれ自身は評価できるが、今回のプロジェクトに期待される国際標準化の本来の目的は大量普及と高収益の同時実現である。欧州連合による自動車の規制標準化に例を見るように、安全規制の標準化も例外ではない。しかし今回のプロジェクトでは、この目的実現に向けた仕組みが事前設計されていない。また標準化は、オープン化領域を設定して低コスト化を狙うという重要な機能を同時に持つが、これが機能する標準化の仕組み作りも事前設計されていない。
- 技術の普及を目的にした論文発表そのものは適切に行われているが、知的財産の確保（権利の維持）を絡めたグローバル市場での競争優位確保という視点が見えない。パテントプールやクロスライセンス、そして技術伝播が持つ意味を踏まえた知財マネジメント（論文発表も含む）が欠けているのではないか。このままでは国家プロジェクトの成果が国や企業の競争力に寄与し難い。このような事態は 1970 年代のアメリカやヨーロッパが直面したことであり、その後彼らは、新たな知財戦略・知財マネジメントを生み出して 1990 年代の競争力強化に結び付けた。我々もやれるはず。

#### <その他の意見>

- ・ 中間評価で指摘されたサブテーマ間の横断的な連携について、具体的にどのような項目でデータ収集が合理化され、どのような成果・効果を得たのかに言及

- 燃料電池技術をコージェネレーション機器としてだけで勝負すると行き詰まることは目に見えている。ヒートポンプにない特徴として、発電であるとか電気化学反応の優れた応答性を活かすなどの技術開発を志向することが望まれる。
- 論文発表や知財権の取得などは、アクティブに実施されている。

#### 4) 実用化の見通しについて

本プロジェクトで得られた研究成果の多くは、試験方法や材料評価方法等の確立に充分利用できるものであり、本成果による規制の見直し、国内外の標準化活動への情報の反映が十分行われている。本事業の目的が主に、水素インフラの安全性に関わるデータの蓄積、規制再点検、国内・国際標準化に向けた提案であるので、その観点からは実用化についてある程度の見通しが得られたと判断できる。特にエネファームが、技術開発と規制緩和や標準化を通じて、商品化されたことは素晴らしく、普及のための取り組みも十分に行われており波及効果も大きい。

ただし、規格再点検、国内・国際標準化に関して、「見直し案を提出した」、「見直し案を取りまとめた」、「見直し案を提案した」などの表現が多く、目標を達成したのか判断しかねるものが多く、水素社会の基盤整備にどのように寄与するかをできる限り定量的に推定・算出することを常に意識して取り組めるようにする等、NEDO として判断基準を整備することにより、本来の目的である普及・実用化に寄与するであろう。また、定置用 FC、FCV、マイクロ FC の各々において、普及のレベルや、技術の重要性が異なるので、より普及が近く、技術が確立したものから順にリソースを集中させ、短期に成果の実用化を図る必要がある。その際、実用化が進み、その後、技術も進歩すると考えられるので、それにあわせて、他のプロジェクトと連携し、規格や標準を常に更新していくことをしくみとして確立しておくべきである。

#### <肯定的意見>

- 本事業の目的が主に、水素インフラの安全性に関わるデータの蓄積、規格再点検、国内・国際標準化に向けた提案であるので、その観点からは実用化のある程度の見通しが得られたと判断できる。
- 本成果による規制の見直し、国内外の標準化活動への情報の反映が十分行なわれている。
- 得られた研究成果の多くは、試験方法や材料評価方法等の確立に充分利用できるものであり、高く評価できる。
- 本事業で取得したデータにより、水素インフラに関わる複数の項目において基準の適正化が実現されつつあり、普及の基盤整備が着実に実施されていると評価できる。さらに、各成果が広範囲の水素システム関連分野に大きい波及効果をもたらし、水素社会構築の基礎となることが期待できる。
- エネファームが小規模ながらも商品化まで達したことは素晴らしい。また、普及のための取り組みも十分に行われており、波及効果は大きいものと言える。
- 燃料電池・水素の技術分野の発展に資する知見が得られた。この分野は、今後、導入・普及促進が図られる領域であり、そのために必要な道筋をつけるために、本事業の成果の活用が期待される。
- 定置型 FC、FCV、マイクロ FC の各々において、普及のレベルが異なるし、

技術の重要性も異なるので、より普及が近く、技術が確立したものから順にリソースを集中させ、短期に成果の実用化を図る必要がある。

- 当初目的としたレベルで実用化されるはずである。この意味で、初期の目的が達成されている。
- 得られた技術成果や規制の見直しなどは、少なくとも日本国内の内需拡大に寄与するはずである。
- 人材も育成された。

#### <問題点・改善すべき点>

- 規格再点検、国内・国際標準化に関して、「見直し案を提出した」、「見直し案を取りまとめた」、「見直し案を提案した」などの表現が多く、目標を達成したのか判断しかねるものが多い。NEDO としてある程度、判断基準を整備して欲しい。
- 本事業による規制の見直しや標準化が、水素社会の基盤整備にどのように寄与するかが重要である。基本的事項についてはある程度記述されているものの、できる限り定量的に推定・算出することが必要で、それを常に意識して取り組むことにより本来の目的である普及・実用化に寄与するであろう。
- 応用にもよるが、実用化が進み、その後、技術も進歩すると考えられるので、それにあわせて。他プロジェクトと連携し、規格や標準を常にアップデートしていくことをしくみとして確立しておく必要がある。そのことが、今後の普及拡大には不可欠の要素である。
- 家庭用燃料電池以外の基盤整備事業に関しては、技術的に十分な成果が認められるものの、経済的・社会的な波及効果に対してさらに努力を要するものと思われる。
- マクロに、そして長期的に見れば、成果は必ず関連分野に波及効果を生む。しかしながら 21 世紀の技術環境を特徴付けるキーワードは、国境を越えた技術伝播である。技術が瞬時に国境を越えて伝播するのなら、供給サイド一辺倒のマネジメントが破綻をきたす。したがって、日本という国とグローバル市場との境界を事前設計し、大量普及がグローバル市場における日本の競争力強化へ結び付ける仕組みを事前設計しなければならない。これを具体化するのがビジネスモデルであり、知財マネジメントである。これらの事前設計が無ければ、国家プロジェクトの成果が競争力に結びつくのは限定的となる。過去 20 年で我々はこの事実を多くの事例で確認できるのではないか。欧米諸国も 1970~1980 年代に同じ問題に直面し、1990 年代にこれを乗り越えた。
- 成果を広く発信して、関連分野への波及効果をさらに高める努力を NEDO を中心として行って欲しい。

<その他の意見>

- 本事業の内容は、我が国のエネルギー政策に直接かかわる事項と考えられ、その成果についてステークホルダを含む研究者・技術者に周知するとともに実用化の見通しをアンケート調査することも必要ではないか。とくに、70MPa ボンベ搭載の FCV による東京—大阪間無給油走行の実施や、エネファームの一般家庭への販売は、燃料電池実用化の象徴と考えられるが、本来の事業化や普及の可能性についての認識を把握することも重要と考える。
- いずれの場合でも、技術伝播が遅い、あるいは国内だけに留まることを前提にした、1980年代までの欧米の古典的なイノベーション論がそのまま適用されているように思える。瞬時に技術伝播することを前提にしたマネジメントへ転換が必要。

## 2. 個別テーマに関する評価結果

### 2. 1 燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

#### 1) 研究開発成果についての評価

FCV の規制再点検と標準化に向けて、水素燃料、高圧水素容器、コネクタに関して、世界的にも先導的な研究開発が進められ、包括的、かつ詳細なデータの取得がなされて評価法の確立や安全性の検証に大きく貢献した。本テーマでは、細部に課題は残すものの実用化に向けた国内規制緩和も実現され、国際標準化にも有意義に寄与しており、所期の目的は概ね達成されている。とくに自動車技術のなかでも最も重要な部分である高圧水素容器と要素部品の安全性評価については、液圧サイクルの適用を含めて様々な試験が実施され、多くのデータが蓄積された。また、MEA 耐久試験方法でも、担体カーボンの評価について効率的な評価方法が見いだされた。論文数、マスコミ・教育活動等の対外的な成果発信も申し分がない。

ただし、国際標準化を自己目的にした報告が多く、国際標準化とは日本の競争力に繋げる仕組み作りこそが最も重要であるという事実が、今回のプロジェクトで必ずしも理解されておらず、国際競争力を確保するうえからは、国が関与した戦略的対応が望まれる。また交通事故における火災・爆発の危険性評価と安全対策として、例えば室内に水素が漏れた場合の混合気の形成による爆発の可能性や残された課題として挙げられている圧縮容器の使用温度環境の適正化に関して、さらにデータを収集して検討を継続すべきである。

#### <肯定的意見>

- 水素燃料、高圧タンク、コネクタに関して、包括的かつ詳細なデータの取得がなされ、世界的にも先導的な研究開発が進められ、評価法の確立や安全性の検証に大きく貢献しているものと判断される。
- 高圧容器は自動車技術の中でも最も重要な部分であり、試験方法等に関する基準・標準に付いては、順調に進捗しており高く評価できる。
- 水素燃料の充填プロトコルと仕様、及び燃費計測手法等に付いても順調に進捗しており、評価できる。
- FCV の安全性評価および性能評価のために掲げた目標は、十分達成できたと認められ、試験データに基づく規格の見直しにより安全性の確保やコスト削減が期待される。とくに、高圧水素容器と要素部品の安全性評価については、液圧サイクルの適用を含めて様々な試験が実施され、多くのデータが蓄積された。また、燃費の過渡モード性能試験に対応する燃料流量の精度向上や触媒耐久性の加速試験法の開発により、水素燃料使用の規格案策定、付臭剤データベースの作成、耐久評価試験方法の確立などに成果が認められる。さらに、論文発表を通じて成果の普及にも努めたとみなせる。
- 安全性に関わる事項について、着実にデータ蓄積が行われ、国際標準化に向けた活動がなされており、評価できる。

- 各項目において、多岐にわたる基礎的な実験を地道に積み重ね、信頼性の高い知見が蓄積された。たとえば、MEA 耐久評価試験方法では、担体カーボンの評価についてこれまでより効率的に評価が可能な方法が見出された。
- 必要データの取得および規格化、標準化への反映がなされており、十分な成果を上げている。
- 論文数、マスコミ・教育活動など対外的な成果発信も申し分がない。
- FCV の規制と標準化は、産学連携の枠組みがよく構築されており、役割分担が明確になっている。
- 国際標準化にも有意義に寄与していて、高い成果をもたらしたものと言える。
- 所期の目的は概ね達成されていて確かに成果が上がっている。
- 細部に課題は残すものの、実用化に向けた国内規制緩和も実現された。
- 論文発表でも初期の目的が達成されている。

#### <問題点・改善すべき点>

- いくつかのトピックスの報告のようにみえる。全体としてやるべきことが、現状の考えでどれだけあって、そのうち何がどこまで進んだかというようなマネジメントが必要。
- まだ課題を残すものの、国際標準化への提案それ自身は適切であった。しかし国際標準化とは日本あるいは日本企業の競争力に繋げる仕組み作りこそが最も重要であるという事実が、今回のプロジェクトで必ずしも理解されていないのではないかと。国際標準化を自己目的にした報告が多い。
- 論文発表も研究者のインセンティブとして、また技術の普及という意味では適切だが、グローバル市場の競争力強化に繋げることを念頭に置いた普及の仕組み作りが事前設計されていないのではないかと。
- 関連業界の要望を反映し、合意の下で事業を進めているとみなせるが、国際競争力を確保する上からは、標準化には国が関与した戦略的対応が望まれる。既に、国の関与がある場合は、その詳細を明確に記載して欲しい。
- 交通事故における火災・爆発の危険性評価と安全対策については、実験方法や対策が充分検討されていない。例えば、室内に水素が漏れて混合気を形成した場合には爆発の危険性が高く、この様な可能性についても検討して、充分な実験・実証を行うべきである。
- 残された課題として挙げられている圧縮容器の使用温度環境の適正化に関して、さらにデータを収集して検討を継続していただきたい。
- 投入した資金の割には特許の数が非常に少ない。参加メンバー企業側で申請・取得しているのではないかと。
- 自動車製造会社および関連部品メーカーとの関係が不明瞭である。

<その他の意見>

- FCVは基本的に二次電池を搭載したハイブリッドシステムとなろうが、昨今のガソリンハイブリッド車の大量普及によって二次電池技術の進展やコスト低減が図られており、FCVシステムについてもそれを踏まえた対応が必要となろう。
- 技術伝播が遅い、あるいは国内だけに留まる、ことを前提にした古典的なイノベーション論から脱皮した方が良いと思う。
- 水素吸蔵合金タンクやその他水素貯蔵方法への展開を検討していただきたい。

## 2) 実用化の見通しについての評価

本テーマで得られた試験データや試験方法などの研究成果は、国内外での基準・標準化検討への提供を通じて、実用化の見通しは示されている。水素・燃料電池自動車の安全性評価、燃料電池性能評価法の標準化、国内外の基準・標準化に関して、業界の要望を取り入れながらデータの蓄積が行われ、限定ユーザーへの普及に関して必要な内容が段階的に整備されてきている。実用上での安全性確保やコスト削減には一定の役割を果たし、日本の国内では、設定したスケジュールで確かに実用化されるはずであろう。本研究成果は、国際標準化活動にも十分反映されている。

今後の課題として、特に安全関係で取得されたデータをどう運用し活用していくかが重要であり、汎用性の高い技術基盤の基礎として主張するためには、様々にまとめられた結果を学術的に解釈し、数値シミュレーションやモデル化に展開することが必要である。また、MEA 耐久評価方法について他国のプロトコルとどのように協調するのか等、明確にしていく必要がある。

本研究成果として、国際標準化への寄与は認められるが、わが国の国際競争力強化との関連は必ずしも明確でない。大量普及と高収益化の同時実現および日本とグローバル市場の境界設計を踏まえ、もっと徹底したオープンイノベーションとコスト削減を目的にしたオープン標準化が必要である。その際、産官の意識の共有が重要となる。

### < 肯定的意見 >

- 水素・燃料電池自動車の安全性評価、燃料電池性能評価法の標準化、国内外の基準・標準化に関して、業界の要望を取り入れながらデータの蓄積が行われ、業界発展のために有用な成果を得ることができた。
- 本事業で得た試験データは水素社会インフラの整備に十分活用されていると認められ、試験方法の採用や国内外の基準・標準化検討へのデータ提供を通じて、実用化の見通しは示されている。また、基盤整備が進むことにより、研究開発シーズの重要性が増し、関連分野への波及効果が期待できる。
- 研究成果は、国内外で基準・標準化に有効な資料となることが確認できた。早期の制定が望まれる。
- 実証試験や限定ユーザーへの普及に関して必要な内容が段階的に整備されてきていると評価できる。
- 日本の国内では、設定したスケジュールで確かに実用化されるはずである。それに必要な環境整備も、十分では無いものの実現されている。
- 地味であるが、安全性に関する評価をしっかりと行い、十分目標に達している。燃料電池自動車に関する規制再点検、国際標準化も着実に進んでいる。
- 本成果による規制の見直し、国際標準化活動への情報の反映が十分行なわれている。

○ 実用上での安全性確保やコスト削減には一定の役割を果たした。

<問題点・改善すべき点>

- 様々な事項において国際標準化への寄与は認められるが、我が国の国際競争力強化との関連は必ずしも明確でない。
- 早期の大量普及はコスト削減無しに不可能。もっと徹底したオープンイノベーションとコスト削減を目的にしたオープン標準化が必要である。但し事前に、大量普及と高収益化の同時実現、および日本とグローバル市場の境界設計を踏まえた、産官の意識共有が必要。
- 認定試験その他において、知財戦略が不足しているように見てとれる。
- MEA 耐久評価方法については、他国より有効に評価が可能な新しい方法を見出し、また、評価可能範囲を明確化できたことはたいへん有意義と考えられる。しかし、今後、他国のプロトコルとどのように協調するのか、分かりにくい面もあると思われる。
- 特に安全関係で取得されたデータをどう運用し活用していくかが今後重要。
- 国内における実用化としての標準化に今後どのように取り組んで行くかをより明確にして欲しい。
- 天然ガス自動車等の関連分野への波及効果が期待できるので、検討すべきである。

<その他の意見>

- ・ 得られた試験データを汎用性の高い技術基盤の基礎として主張するためには、様々にまとめられた結果を学術的に解釈し、数値シミュレーションやモデル化に展開することが重要であろう。
- ・ 国際規格化には時間を要するため、評価に関してはもう少し今後の進展を見守る必要がある。
- ・ 難しい問題であるが、本来の実用化までにはさらなる技術開発の努力が必要であろう。

### 3) 今後に対する提言

政治・経済情勢の変化に対応し、諸外国の FCV 開発の動向とその支援体制等を正しく把握することが肝要であり、産官学が密接に連携してそれらへ対処していくとともに、EV や PHV 等との技術進化を踏まえた棲み分けおよび技術目標を再確認し、グローバル市場展開についてのビジョン策定が望まれる。

今後、諸外国の FCV 開発動向を踏まえた上で、2015 年の普及に関しては、そのときの FCV の技術レベルを予測し、それに対して適切な規制と標準は何かを設定し、そのなかで現状できていないことの優先順位をつけ実施していき、制定した基準・標準の妥当性を実証試験等によって検証する必要がある。また燃料電池自動車に関する規制再点検、国際標準化も着実に進んでいるが、WG が細分化されているので、一企業の担当者に任せるのではなく、是非、日本全体としてバックアップできるサポート体制を構築するとともに、成果を広く発信して国内外への波及効果をさらに高める努力を行って欲しい。

#### <今後に対する提言>

- ・ 2015 年の普及に関して、そのときの FCV の技術レベルを予測し、それに対して適切な規制と標準は何かを設定し、その中で現状できていないことの優先順位をつけ実施していくことが必要。
- ・ 制定した基準・標準の妥当性を実証試験等によって検証する必要がある。国内外を問わず検証場所を検討すべきである。
- ・ 政治・経済情勢の変化に対応して、諸外国の FCV 開発の動向とその支援体制等を正しく把握することが肝要であり、産官学が密接に連携してそれらへ対処する事が必要であろう。
- ・ 例えば燃料電池車では、EV や PHV などの技術進化を踏まえた棲み分け、および技術ゴールの再チェックが必要ではないか。
- ・ 燃料電池自動車を試作するような中での話ではなく、年間数万台製造するような状況を見越した技術開発を検討していただきたい。
- ・ グローバル市場展開についてビジョンが欲しい。何度も繰り返すがグローバル展開を進める為の基本的な視点は、大量普及と高収益化の同時実現および日本とグローバル市場の境界設計である。これなくして取り組めば、全く普及しないか、あるいは大量普及して日本の国富を失うかの何れかとなる。これは 1970~1980 年代の欧米や 1990 年代後半から 2000 年代の日本が経験したことである。
- ・ 燃料電池自動車に関する規制再点検、国際標準化も着実に進んでいるが、WG が細分化されているので、一企業の担当者に任せるのではなく、是非、日本全体としてバックアップできるサポート体制を構築することを望む。
- ・ 成果を広く発信して国内外への波及効果をさらに高める努力を行って欲しい。

## 2. 2 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発 1) 研究開発成果についての評価

定置用燃料電池は、今後の導入・普及が進むことが期待される新しい技術領域であり、本テーマにおける検討は、導入・普及への道を新たに切り拓いた点で重要な意味をもつといえる。とりわけ、国内複数メーカーの小型 PEFC および SOFC システムを供試体とし、基準・標準化に関するデータを蓄積し、系統的な試験評価法の提案がなされ、規制や標準化検討への情報提供が適切に行われたほか、普及推進の支援として、従来規制を合理的に再検討して不要な部分を除去したことは高く評価できる。また、マイクロ FC システムの LE 試験（人体近傍での排出ガス濃度は、高くなっている可能性があり、人体近傍での局所効果を評価する測定試験）による国際規格改定への指針が得られたことは高く評価できる。

ただし、定置型の規制緩和による効果としてあげている普及促進の成果については、今後の予測でもよいので、規制緩和により普及がどれだけ期待できるかを定量的に示す必要がある。更に、国際標準化は総花的に日本の主張が通れば良いのではなく、国際競争力に繋げることを念頭に、何をブラックボックス化し、何を標準にするのか、また論文発表も競争力強化に繋げることを念頭に置いた普及の手段として、より戦略的な対応を検討すべきである。

規制見直しのなかで、火災等に対する安全性の事項については、種々の事故の可能性を考慮して十分検討すべきである。また、純水素PEFC関連の規制再点検は、水素供給配管の安全性の観点で一部保留されているので、この辺りの活動にもう少し力を入れて欲しい。

### <肯定的意見>

- 定置用燃料電池は、今後導入・普及が進むことが期待される新しい技術領域であり、これに対応した既存規制の見直しや基準・標準化のための試験方法の確立は急務である。本事業における検討は、このような新しい技術領域の導入・普及への道を新たに切り拓いた点で重要な意味を持つと言える。
- 国内複数メーカーの小型 PEFC および SOFC システムを供試体とし、安全性および性能評価に関する試験方法を標準化してデータを収集し、普及促進のための規制の見直しと国際標準化活動を展開しており、目標の達成度は高いと判断できる。また、マイクロ FC についてもローカルイフェクトや燃料不純物特性評価試験を実施し、とくに国際標準化に対する貢献が認められる。
- 定置用燃料電池システムについては、全体として順調に進捗している。基準・標準化に関するデータを蓄積し、試験方法も提案しており、国際的にも大きく貢献している。高く評価できる。
- 定置用燃料電池システムの規制見直しについては、従来規制を合理的に再検討して、不要な部分を除去し、普及推進の支援となっており、評価できる。
- 家庭用燃料電池がエネファームという名称で市場投入されたことは、本研究開

発の成果の賜であると言える。

- 各種の定置用燃料電池システムに関する系統的な試験評価法の提案がなされ、規制や標準化検討への情報提供が適切に行われたこと、相互干渉の課題検討、マイクロ燃料電池システムの LE 試験による国際規格改定への意見反映を行うことができたことは高く評価できる。
- 実用面に主眼を置き、想定される環境における各種評価をシステムティックに実施し、地味であるが着実に成果が得られている。また、国際標準化活動においても、議長国として活動している WG がいくつかあり、今後の標準化制定において期待できる。
- 国際標準化活動も積極的に行われている。
- すでに始まった定置型の普及に必要な内容が整備されつつある。
- 所期の目的は概ね達成されている。

#### <問題点・改善すべき点>

- 定置型の規制と標準化について、効果としてあげている規制緩和による普及促進ということの成果が示されていない。今後の予測でもよいので、緩和により普及がどれだけ期待できるかを定量的に示す必要がある。
- 本事業の内容は、何れも製品に直接関与する事項であり、今後の対応によっては国際競争力に直結する。したがって、総花的に日本の主張が通れば良いというものではなく、何をブラックボックス化し、何を標準化するかという、より戦略的な対応を検討すべきであろう。
- まだ課題を残すものの、国際標準化への提案は適切である。しかし国際標準化とは、日本あるいは日本企業の競争力に繋げる仕組み作りが最も重要であるという事実が、必ずしも理解されていないのではないか。
- 論文発表も研究者のインセンティブとして、また技術の普及という意味では適切だが、グローバル市場の競争力強化に繋げることを念頭に置いた普及の仕組み作りが事前設計されていないのではないか。
- 定置用燃料電池システムの規制見直しの中で、火災等に対する安全性の事項については、種々の事故の可能性を考慮して、充分検討すべきである。
- マイクロ燃料電池の燃料に劇物指定となっているメタノールを用いる選択は再検討されるべきである。マイクロ燃料電池の利便性は認められるが、危険性が低い代替化学物質を選択する事は可能であると思われる。(評価・試験方法の確立を目指した研究成果は評価できるが。)
- 純水素PEFC関連の規制再点検は、水素供給配管の安全性の観点で一部保留されており、この辺りの活動にもう少し力を入れてほしい。
- 多岐にわたる実施項目を計画的・網羅的に実施し、多くの試験方法を確立し、基準・標準化に資する多くの成果を上げたことは確かであるが、その反面、収集したデータのバラツキ度合いやその調整、目標値に対する技術的な克服の経緯が

分かりにくく、得られた成果の技術的価値が判断しにくい。たとえば、SOFCでは6種類の供試体が用いられているが、SOFCの安全性評価試験方法を決める過程で、これらの供試体のデータのバラツキがどの程度であったのか、それをどのように調整し試験方法の確立に至ったのかが分かりづらい。

<その他の意見>

- ・ 規制および標準化への対応が中心であるとはいえ、論文集を通じた成果の公表については十分とは言えない。むしろ、基礎事項については学術的な裏付けと理論を確立することも標準化を有利に進めるのに有効と考える。
- ・ マイクロ燃料電池は本体の技術開発が遅れていることもあり、当該基盤整備事業が空振りに終わっているように見受けられる。

## 2) 実用化の見通しについての評価

国内外における性能評価方法・安全性評価方法・規制見直しについて、有効に利用できる成果が得られるとともに、系統的な試験方法や評価データに基づき、規制再点検及び国際標準化への反映が適切に行われており、実用化の見通しは得られている。特に SOFC、純水素 PEFC の性能試験方法などでは、変更された方法について国際標準との整合化を通して、わが国の試験方法の国際化への対応をうまく進めるなど積極的に取り組んでおり、家庭用燃料電池として、すでに実用化されている現状のシステムに必要な内容はよくカバーされている。

ただし、今後の定置型の技術の進展と他の省エネ商品との競合についての客観的評価にもとづく適切な規模の普及予測を行うとともに、定置用燃料電池システムの種々の形式に関する規制再検討をさらに進め、成果の普及に努めるべきである。また、全ての項目が目標を大幅に達成したとしているが、その根拠が明確でない。評価の基準を示すとともに、さらなる課題と展開の可能性を踏まえて総合的に判断すべきである。本テーマの安全規制や国際標準化のいずれも、グローバル市場への大量普及と高収益に向けた仕組み作りを担う重要な戦略ツールなので、規制や標準化それ自身を自己目的化すること無く、これをツールと位置付けて使い方を見直して欲しい。

### <肯定的意見>

- 国内外における性能評価方法・安全性評価方法・規制見直しについて、有効に利用できる成果を得ており、高く評価できる。
- 系統的な試験・評価データに基づいた規制や標準化検討の反映が適切に行われている。
- 規制の見直しや国際標準化活動に積極的に取り組んでおり、その意味で本事業の実用化の見通しは得られていると言える。
- すでに実用化されているが、現状のシステムに必要な内容はよくカバーされている。
- 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化は着実に進行し、ある程度見通しが得られてきた。
- 家庭用燃料電池に関しては、実用化まで見事にリードできている。
- SOFC、純水素 PEFC の性能試験方法などでは、変更された方法について国際標準との整合化を通して、わが国の試験方法の国際化への対応がうまく図られている。
- 実用化に向けて所期の目的は達成した。

### <問題点・改善すべき点>

- 今後の定置型の技術の進展と普及の予測をすることが必要。特に他の省エネ商品との競合についての客観的評価にもとづく適切な規模の普及予測が必要。

- グローバル市場への大量普及という一言に尽きる。
- 定置用燃料電池システムの種々の形式に関する規制再検討をさらに進め、成果の普及に努めることが有用である。
- 安全規制や国際標準化のいずれも、大量普及と高収益に向けた仕組み作りを担う重要な戦略ツールなので、規制や標準化それ自身を自己目的化すること無く、これをツールと位置付けて使い方を見直して欲しい。欧州連合の安全規制のグローバル化や **Global Europe** の戦略コンセプトで語られる標準化戦略に、我々が学ぶべきことが多いのではないかと懸念される。規制と標準化をツールに競争力強化を具体化させているのが欧州連合なのだから。
- 全ての項目が目標を大幅に達成したとしているが、その根拠が明確でない。評価の基準を示すとともに、さらなる課題と展開の可能性を踏まえて総合的に判断する必要がある。かりに全ての項目が目標を大幅に達成できたとすれば、目標自体が挑戦的であったかどうか懸念される。
- 上述の試験方法を国際標準の改定検討の場等へ提供することが、本事業内でできる限界なのかも知れないが、実際に国際標準化を実現するためには、提供した後もさらなる活動が必要である。
- 事業用の中大型燃料電池の開発・実用化・普及にもっと精力的に取り組むべきであるとする。

<その他の意見>

- ・ 国際規格化には時間を要するため、今後の進展を見守る必要がある。

### 3) 今後に対する提言

定置用燃料電池技術は、将来のエネルギーシステムの一つの鍵と考えられ、日本の国際競争力確保に向けて、技術や規制、標準化をツールとして、大量普及と高収益の同時実現に向けたシナリオを再設計し、出来る限り早く商品を市場展開し、実用化の動きを主導することが必要となろう。その際、定置用燃料電池システムの普及に際しては、価格が大きなネックになっているので、今後のコストダウンのために予想される仕様変更に対処して、標準・基準の見直しができる体制を維持することが望ましい。また国際標準化活動において、一企業の担当者に全てまかせるのではなく、日本の規格として発信できるようサポート体制を構築して欲しい。そういった視点から、今後どのようにして本テーマの成果を引き継ぎ、国際標準化活動を進めていくか検討すべきである。

残された課題として、純水素 PEFC について消防法関連の規制適正化に向けた継続した取り組みを事業担当者で引き続き進めるのが望ましい。また、さらなる展開の可能性として、将来のエネルギー10kW以上のシステムについても基盤整備すべきではないか。一方、マイクロ燃料電池に関して、最新の技術動向やリチウムイオン電池等の競合技術動向と普及予測を踏まえ、実用可能性を再評価し実施内容を設定する必要がある。

#### <今後に対する提言>

- ・ 定置用燃料電池システムの普及に際しては、現状では価格が大きなネックになっている。今後コストダウンのための製品仕様変更が起きる事が予想され、それに対処して、標準・基準の見直しができる体制を維持する事が望ましい。
- ・ 燃料電池の国際標準化のスケジュールはこれからも続く。本事業は完了したが、定置用燃料電池に関する本事業の成果を国際標準化に資するために、今後、どのようにして本事業の成果を引き継ぐのか検討していただきたい。
- ・ 小型燃料電池技術は、将来のエネルギーシステムの一つの鍵と考えられ、標準化は日本の国際競争力確保に不可欠な事項である。その意味からも、出来る限り早く商品を市場展開し、実用化の動きを主導することが必要となろう。
- ・ 技術や規制、標準化そのものではなく、まずこれらをツールに使うことで大量普及と高収益の同時実現に向けたシナリオを再設計して欲しい。
- ・ 全体最適のシナリオが出来れば、後は規制や標準化などの成果が大量普及と高収益の同時実現に結びつけられるようになる。
- ・ 家庭用燃料電池の国際展開戦略を積極的に推進することを期待したい。
- ・ マイクロ FC については、特に最新の技術動向と普及予測を踏まえて実施内容を設定する必要あり。
- ・ マイクロ燃料電池関連ではメタノール利用以外のシステムの安全性等も評価しつつ規制および標準化のための研究開発を継続することが重要である。

- マイクロ燃料電池に関しては、リチウムイオン電池など競合技術との関係で実用可能性を再評価し、身にならない努力は思い切って中止するべきであろう。
- 純水素 PEFC について消防法関連の規制適正化に向けた継続した取り組みを事業担当者で引き続き進めていただくのが望ましい。
- 国際標準化活動において多くの WG で活動されているが、一企業の担当者に全て任せるのではなく、日本の規格として発信できるよう、是非、サポート体制を構築して欲しい。
- 10kW 以上のシステムについても基盤整備するべきではないか。

## 2. 3 水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

### 1) 研究開発成果についての評価

従来技術に基づく安全性検証、今後の高圧化を目標とした貯蔵容器の製造と安全性検証が系統的に行われ意義ある成果が得られた。アルミ材を除く水素用材料基礎物性の研究では、多数の企業と協会が取り組んでおり、多くの新規な知見が得られ、燃料電池自動車の重要な技術要素である水素タンクや水素ステーション材料の試験方法等について成果を挙げており、高く評価できる。特に、安全に関する基礎データとして、鉄鋼材料の脆化の要因解析などの新規な結果が多数得られており、それを基に新規開発材料へも展開しており、後継のプロジェクトにおいて実用化が期待される。

ただし、「水素用アルミ材料の基礎研究」では、材料の試験方法に付いて研究成果が得られているが、それをどの様に基準・標準化するかという今後の見通しや方針を示していく必要があり、鉄鋼材料で実施されたような詳細な脆化要因の解析が期待される。また、水素スタンドの火災・爆発の安全性に関する研究では、実験と数値解析の両方において更なる検討が必要であり、事故の可能性を色々な角度から検討することを期待する。

#### <肯定的意見>

- 高圧水素および液体水素容器の安全性確保と、それを前提とした車載容器およびステーションの規制緩和を目的として、材料の開発・評価、容器製造技術の改良、配管系の安全性評価等に関連する様々なテーマに多数の企業と協会が取り組んでおり、多くの新規な知見が得られ、それぞれの分担課題の目標はほぼ達成できたと認められる。
- 従来技術に基づく安全性検証、今後の高圧化を目標とした貯蔵容器の製造と安全性検証が系統的に行われ意義ある成果が得られていると判断する。
- 「水素用材料基礎物性の研究（アルミ材を除く）」では、燃料電池自動車の重要な技術要素である水素タンクや水素ステーション材料の試験方法等について成果を挙げており、高く評価できる。
- オーステナイト系 SUS の水素脆化影響因子の解析など、新規な結果が多数得られており、評価できる。また、それを基に新規開発材料へも展開しており、後継のプロジェクトにおいて実用化が期待される。
- 水素用アルミ材料において、簡易な湿潤環境で評価できる手法を開発したことによって、多くの基礎データが蓄積可能となった。後継プロジェクトにおいて、高圧水素環境との定量的な対応関係解明を期待する。
- 安全に関する基礎データは、重要な項目で、今後いろいろな場面で活用できる鉄鋼材料の脆化の要因解析などは、特に重要。
- 基礎物性研究については、脆化等のメカニズムが詳細に調べられており、普遍性を理解する上で重要な成果を得たと思う。

- 水素用材料基礎物性や水素用アルミ材料の基礎研究では、充実した実験成果が得られた。
- 基礎物性に関するハンドブックが作成されたことは、ベースとなる知見の蓄積の点で評価できる。
- 技術開発としては順調に推進され、目標どおりの成果が得られているものと判断される。
- 一部に課題は残すが、少なくとも所期の目的は達成されたと思う。

#### <問題点・改善すべき点>

- 高圧水素環境における材料評価において貴重なデータ蓄積がなされているが、燃料電池自動車や定置用燃料電池などへの成果の汎用性、波及効果が見られない。今後、連携を密にし、お互いの成果をうまく共有できる仕組みを作りたいことを望む。
- 「水素用アルミ材料の基礎研究」では、材料の試験方法に付いて、研究成果が挙がっているが、それをどの様に基準・標準化するかという見通しや方針を示す段階に至っていない。
- アルミでも、鉄で実施されたような詳細な脆化要因の解析が期待される。
- 水素脆性に関する材料挙動や、ステンレス鋼およびアルミ材料の特性評価に関して、メカニズムに言及した解析が少なく、成果の汎用性が不足しているように思える。研究実施団体として大学の関与が少ないことも一因ではないか。
- 材料物性の取得に関して、本来、民間が単独で実施すればいいような内容も含まれる。
- 70MPa 充てん対応スタンドは、35MPa スタンドと比べてシステム構成が複雑になるが、これに対応してどのような安全対策が浮上したのか、もう少し整理が必要と考えられる。
- 水素スタンドの火災・爆発の安全性に関する研究では、実験と数値解析の両方において更なる検討が必要であり、事故の可能性を色々な角度から検討することを期待する。
- 安全技術の面での知財、標準化などの取り組みをさらに進め、この分野での日本の技術が技術標準となるような体制の確立が望まれる。
- EV との棲み分けを踏まえたコスト低減に集中して欲しい。

#### <その他の意見>

- 材料開発・評価については、それぞれの分担課題の成果を総合してデータベース整備やガイドブック作成を行い、規制緩和や基準制定に役立てているように思えるが、各企業で本当に有用な知見となっているかが確認できない。これだけ複数の企業が関与するのであれば、例えば、ひとつのテーマに複数の企業が競争的に取り組み、独立した成果を出し合うような試みも有効と考える。

- 多くの有用なデータがえられているので、いろいろなアクセス方法（Web、ハンドブック、教科書など）を工夫して、応用展開を実施されたい。
- 長期使用水素関連機器から取り出した材料には、今後の材料開発にとって非常に重要な知見を含んでいる。マクロなき裂の有無だけでなく、格子欠陥レベルの損傷蓄積がないかなど、詳細に調査することによって、実験室での加速試験との対応が可能になり、加速試験結果の信頼性も高まる。是非、後継のプロジェクトにおいて、現在行われている加速試験評価によって長期安全性を保証できるかについて検討して欲しい。
- 燃料電池自動車の普及頼みでは、今後の展開に不確実性があるため、他の関連技術適用を模索すべきではないか。

## 2) 実用化の見通しについての評価

走行距離の増大に不可欠な 70MPa 級容器の製造および安全性の確認、水素スタンド等インフラ用材料の検討により、インフラ整備の指針が得られたことの意義は高い。また、規制再点検、標準化に必須の材料の開発・評価や安全性検証のデータも蓄積でき、アルミを除く「水素用材料基礎物性の研究」で得られた成果は、国内外の基準・標準化に利用される目処がついており、高く評価できる。規制見直しや基準制定を通じて、インフラ整備に寄与するので、実用化の見通しはある程度得られている。とくに安全関係の材料物性データは重要であり、様々な場面で活用が可能であり、工業生産や商用化に有用な基礎的な知見を得たことによる学術的な波及効果は大きい。

一方で、波及効果を広くするためにデータベースの整備と公開が重要であり、プロジェクトの参加者だけでなく、多くの人々が活用できる仕組みを検討して欲しい。また基盤技術の開発であり、直接関与していない分野への波及も含めて、波及効果の内容や程度について明確にすることが必要である。例えば、天然ガス自動車や宇宙航空等の他分野への波及についても検討すべきである。

### <肯定的意見>

- 走行距離の増大に不可欠な 70MPa 級容器の製造および安全性の確認、水素スタンド等インフラ用材料の検討により、インフラ整備の指針が得られたことの意義は高い。
- 本事業で 70MPa 充填対応スタンドの安全性に関する各種評価が実施され、本成果によって 70MPa 充填の実用化の可能性が示され、大きな進展が得られた。
- 規制再点検、標準化に必須の材料特性データも蓄積でき、技術基準制定に大きく貢献した。
- 「水素用材料基礎物性の研究（アルミ材を除く）」で得られた成果は、国内外の基準・標準化に利用される目処がついており、高く評価できる。
- 本事業で得られた材料の開発・評価や安全性検証のデータは、一般に公開されて共有の知見となるとともに、規制見直しや基準制定を通じてインフラ整備に寄与しており、実用化の見通しはある程度得られているとみなせる。
- 技術としては確立できたと考えられる。基礎的な知見を得たことによる学術的な波及効果は大きいと考えられる。
- 水素用材料基礎物性に関しては、工業生産や商用化に際して有用な基礎的な知見が蓄積されたと考えられる。
- 特に安全関係の材料物性データは重要。いろいろな場面で活用可能。
- 少なくとも国内市場を前提とするなら成果の実用化が問題無く可能となった。
- 国内市場であれば、コストさえ下がれば大量普及して多大な波及効果が期待できる。

<問題点・改善すべき点>

- プロジェクトの参加者だけでなく、多くの人が活用できるしくみを検討されたい。
- 波及効果を広くするためにデータベースの整備と公開が重要である。
- 基盤技術の開発であり、波及効果は当然期待できるものの、効果の内容や程度に関しての具体的な記述がなく、詳細な検討がなされていないように思える。直接関与していない分野への波及も含めて、それらを明確にすることが必要であろう。
- 天然ガス自動車や宇宙航空等の他分野への波及に付いても検討すべきである。
- 70MPa 充てん対応スタンドの規制見直しが実現する可能性が大とのことだが、どのような見直し案を提出したのか、分かりづらい。
- 液体水素スタンドの安全性検証が完了して法令案が完成したことは成果と考えられるが、どのような官庁折衝が必要なのか、分かりづらい。
- 普及を見通した経済性向上にどこまで寄与できているのかについて疑問が残る。
- グローバル市場展開に課題を残す。

### 3) 今後に対する提言

基盤整備の基礎となるデータが得られた段階ではあるが、技術面において70MPa 充填対応スタンドの実用化の可能性を見出せたので、より汎用性を負荷することにより、基準・標準化に対して有用な知見を得て、水素社会に向けてのインフラ整備を国内外で進める手段を具体的に検討すべきである。その際、優先すべきはコストであり、部品の外部仕様の共有化や、オープンイノベーションは、コストダウンを左右する。

アルミ材料の脆化要因の解析や現在行われている加速試験評価によって長期安全性を保證できるかなどの基礎研究に関しては、地道な範囲でも長期的に継続すべきである。また、長距離での水素ガス輸送や建物内での水素配管などの社会インフラでの安全技術研究についての検討も望まれる。

本テーマでは、高圧水素環境下における貴重なデータが蓄積されているので、高圧水素を対象として FCV、水素スタンド、水素用アルミ材料との連携を密にし、互いの成果をうまく共有できる仕組みを作るとともに、安全技術の面での知財、標準化等の取り組みをさらに進め、この分野での日本の技術が技術標準となるような体制の確立が望まれる。

#### <今後に対する提言>

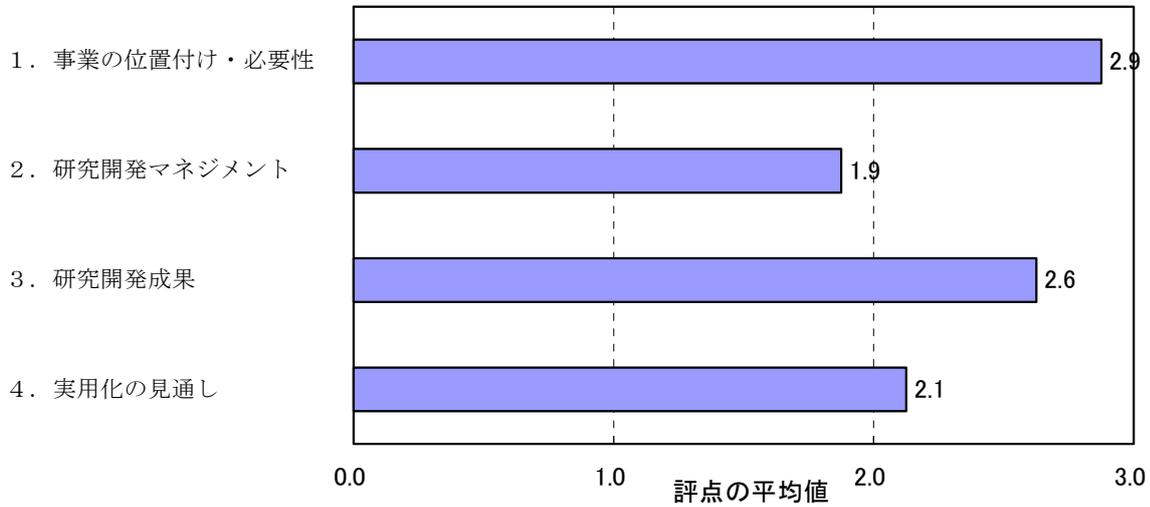
- ・ 技術面において 70MPa 充填対応スタンドの実用化の可能性を見出せたので、今後、コスト面での検討を期待する。
- ・ 多くのことが提案されているものの、優先すべきはコスト。
- ・ 部品の外部仕様/インタフェース標準化による共有化やオープンイノベーションがコストダウンを左右する。エコキュートの普及にその事例があると思う。
- ・ 高圧水素を対象とした燃料電池自動車、水素スタンド、水素用アルミ材料の連携を感じなかった。今後、連携を密にし、お互いの成果をうまく共有できる仕組み作りを望む。
- ・ 本事業の範囲では、ようやく基盤整備の基礎となるデータが得られた段階と考える。より汎用性を負荷することにより、基準・標準化に対して有用な知見を得て、水素社会に向けてのインフラ整備を国内外で進める手段を具体的に検討すべきであろう。
- ・ 基礎研究に関しては、地道な範囲でも長期的に継続してもらいたい。
- ・ アルミ材料の脆化要因の解析。
- ・ 長距離での水素ガス輸送や建物内での水素配管など、文字どおり社会インフラでの安全技術研究も検討していただきたい。
- ・ 水素インフラの安全性評価データに基づいて広報活動を行い、その普及を目指すことが強く望まれる。

<その他の意見>

- 水素スタンドの火災・爆発の安全性に関する研究は、大規模な災害を引き起こす可能性がある。十分な検証が出来ない場合には、水素スタンドの市街密集地への設置は、安全を保障できないものとみなされる。
- 戸建てについては経済産業省、集合住宅については国土交通省、と区分けされているようだが、連携がとれているように見えない。

### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素 点 (注)							
		A	A	A	B	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	B	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	1.9	B	B	B	B	B	C	B	B
3. 研究開発成果について	2.6	B	A	A	B	A	A	A	B
4. 実用化の見通しについて	2.1	A	B	C	B	B	B	B	A

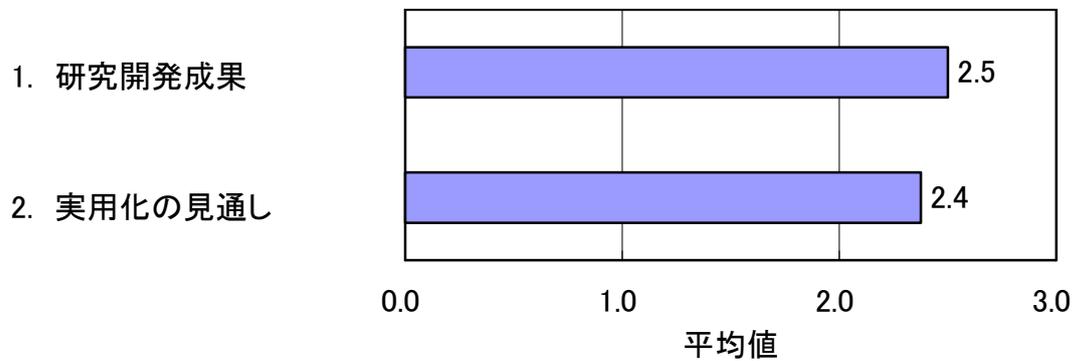
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

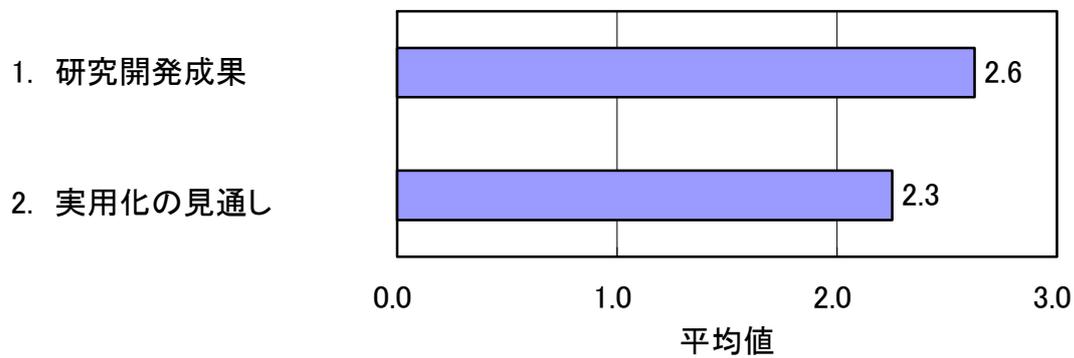
1. 事業の位置付け・必要性について	→A	3. 研究開発成果について	→A
・非常に重要	→A	・非常によい	→A
・重要	→B	・よい	→B
・概ね妥当	→C	・概ね妥当	→C
・妥当性がない、又は失われた	→D	・妥当とはいえない	→D
2. 研究開発マネジメントについて		4. 実用化の見通しについて	
・非常によい	→A	・明確	→A
・よい	→B	・妥当	→B
・概ね適切	→C	・概ね妥当であるが、課題あり	→C
・適切とはいえない	→D	・見通しが不明	→D

### 3. 2 個別テーマ

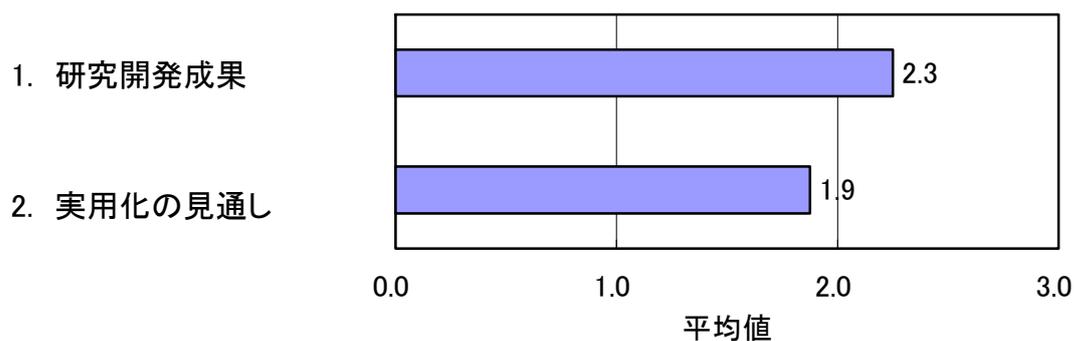
#### 3. 2. 1 燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発



#### 3. 2. 2 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発



#### 3. 2. 3 水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発



個別テーマ名と評価項目	平均 値	素点（注）								
3. 2. 1 燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発										
1. 研究開発成果について	2.5	B	A	A	B	A	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	2.4	A	B	B	B	A	B	B	B	A
3. 2. 2 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発										
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	B	A	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	2.3	A	B	A	B	B	B	B	B	B
3. 2. 3 水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発										
1. 研究開発成果について	2.3	B	A	B	B	B	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	1.9	B	B	C	B	B	B	B	B	B

（注）A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明

## 第2章 評価対象プロジェクト

事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「水素社会構築共通基盤整備事業」

## 事業原簿 (公開資料)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	------------------------------------

## —目次—

### 概 要

プログラム基本計画

プロジェクト基本計画

プロジェクト用語集

### I. 事業の位置付け・必要性について

- 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 ..... I-1
  - 1. 1 NEDOが関与することの意義 ..... I-1
  - 1. 2 実施の効果 ..... I-6
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ ..... I-10
  - 2. 1 燃料電池・水素インフラの開発・普及動向 ..... I-10
  - 2. 2 燃料電池・水素インフラの国内規制再点検の状況 ..... I-18
  - 2. 3 燃料電池・水素インフラの国際標準化の状況 ..... I-21
  - 2. 3 本事業の目的・位置付け ..... I-25

### II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標 ..... II 1-1
- 2. 事業の計画内容 ..... II 2. 1. 1-1
  - 2. 1 研究開発の内容 ..... II 2. 1. 1-1
  - 2. 2 研究開発のスケジュール ..... II 2. 2-1
  - 2. 3 研究開発予算の推移 ..... II 2. 3-1
  - 2. 4 研究開発の実施体制 ..... II 2. 4-1
  - 2. 5 研究の運営管理 ..... II 2. 5-1
- 3. 情勢変化への対応 ..... II 3-1
- 4. 中間評価結果への対応 ..... II 4-1
- 5. 評価に関する事項 ..... II 5-1

### III. 研究開発成果について

- 1. 事業全体の成果 ..... III 1-1
  - 1. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の成果概要 ..... III 1-1
  - 1. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の成果概要 ..... III 1-6
  - 1. 3 「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の成果概要 ..... III 1-10
  - 1. 4 特許、口頭発表、投稿論文等の件数（事業全体） ..... III 1-19

2. 研究開発テーマ毎の成果 .....	Ⅲ2. 1-1
2. 1 研究開発項目 A 「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」	
(1) 水素・燃料電池自動車の基準・標準化に係る研究開発 .....	Ⅲ2. 1(1)-1
2. 2 研究開発項目 B 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」	
2. 2. 1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発 .....	Ⅲ2. 2(1)-1
2. 2. 2 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発 .....	Ⅲ2. 2(2)-1
2. 3 研究開発項目 C 「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」	
(1) 水素インフラに関する安全技術研究 .....	Ⅲ2. 3(1)-1
(2) 水素用材料基礎物性の研究 .....	Ⅲ2. 3(2)-1
(3) 水素用アルミ材料の基礎研究 .....	Ⅲ2. 3(3)-1
(4) 水素基礎物性の研究 .....	Ⅲ2. 3(4)-1
(5) 水素安全利用技術の基盤研究 .....	Ⅲ2. 3(5)-1

注：開発テーマ毎の「特許、口頭発表、投稿論文等件数」についてはⅢ1. 4 に、「特許、口頭発表、投稿論文等一覧」についてはⅢ2. 1～Ⅲ2. 3 に、「実用化、事業化の見通し」については IV に、それぞれ記載。

IV. 実用化の見通しについて .....	IV-1
-----------------------	------

#### 参考資料

事前評価書

NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010

事業原簿 (概要抜粋)

作成日 平成22年12月

制度・施策 (プログラム)名	エネルギーイノベーションプログラム					
事業(プロジェクト)名	水素社会構築共通基盤整備事業	プロジェクト番号	P05012			
担当推進部/担当者	燃料電池・水素技術開発部/田所 利一・寺尾勝廣・梅花豊一・久保田泰宏・川村 亘 新エネルギー部/細井 敬・伊藤 仁一・大河原 敦夫・小上 泰司・中山 博之・森 大五郎・菅原 早奈子					
0. 事業の概要	本事業は、高度な技術基準、標準化案を国内及び国際標準に提案するためのデータ取得に必要となる試験・評価手法の開発を行い、水素社会構築のためのソフトインフラ整備を推進する。具体的には、3つの適用先である燃料電池自動車、定置用燃料電池及び水素供給インフラに関する技術基準や標準化に必要な各種物性データを取得・整備すると共に、同データ取得評価方法の開発等を行い、各業界の技術基準策定や標準化を促進させる。また同データに支えられた国内技術基準や標準化を元に、日本の標準が国際標準に反映されるように国際標準化会合(例 IEC/TC105 や ISO/TC197 等)への提案等を行う。					
I. 事業の位置付け・必要性について	水素及び燃料電池を広くかつ円滑に一般社会に普及させるためには、技術開発に加えて、ソフトインフラ整備が不可欠であり、燃料電池自動車や定置用燃料電池システム、水素インフラ等の普及、そのインフラ整備に向け、産業界との密接な連携の下にグローバル・マーケットを視野に入れた、水素社会構築のためのソフトインフラ整備として法令等の再点検、基準・規格作りなどが重要である。そこで燃料電池を広く一般社会に普及させることを円滑に実現するために、当該事業により、安全性の確保、標準化及び水素供給インフラ整備等を進展させ、燃料電池の実用化及び国際競争力の確保に大きく貢献する。					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	<p>燃料電池自動車、定置用燃料電池システム及び水素インフラ等各業界における規制対応再点検、共通試験・評価手法の確立や標準化活動を促進させるために、下記項目を当該事業にて実施し、同活動を支援する。</p> <p>関連規制再点検：燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラに係る法令等に関連するデータ取得(車両やスタンドなどでの水素貯蔵システム、定置用燃料電池システムの設置要件、水素インフラ等に係わるデータの取得等)を行い、民間事業者等が主体となって行う技術基準案や例示基準案の作成等に確実につなげる。</p> <p>共通試験・評価手法の確立：ユーザーが納得する最高レベルの利便性および製品性能信頼性を確保することを前提に、各製品の性能を単一物差しで評価、比較することが可能な試験・評価手法を確立する。</p> <p>標準化：同3つの適用先にて民間事業者等が主体となって行う国際標準案作り(データ取得及び検証を含む)や同案提案の支援につなげる。</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy
	燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化			データ取得・試験法の検討		基準改定に反映
	定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化			データ取得・標準試験法検討		基準改定に反映 国際標準化に反映
	水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化			データ取得・試験法の検討		基準改定に反映
	成果とりまとめ					
開発予算 (単位：百万円)	会計・勘定	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy
	一般会計	0	0	0	0	0
	特別会計 高度化	3580	3559	2550	1440	900
	総予算額	3580	3559	2550	1440	900

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・新エネ対策課・燃料電池推進室
	プロジェクトリーダー	なし
	委託先	(財)日本自動車研究所 (社)日本ガス協会 (財)日本ガス機器検査協会 (社)日本電機工業会 (財)石油産業活性化センター 三菱重工業(株) (株)日本製鋼所 (社)日本産業・医療ガス協会 (株)タツノ・メカトロニクス (財)エネルギー総合工学研究所 (独)産業技術総合研究所 (財)金属系材料研究開発センター 愛知製鋼(株) (株)新日本製鐵 住友金属工業(株) 高圧ガス保安協会 (社)日本アルミニウム協会 住友軽金属工業(株) 三菱アルミニウム(株) 古河スカイ(株) 日本軽金属(株) (株)神戸製鋼所 昭和電工(株)
情勢変化への対応	<p>事業開始後の対応は下記の通り。</p> <p>(1) 燃料電池自動車の普及に向けた日本自動車工業会や燃料電池実用化推進協議会等々からの追加検討要望を受け、燃料電池自動車や水素スタンドの例示基準向け安全 検証や材料候補探索を強化すると共に、同評価方法開発を加速した。</p> <p>(2) 第2期水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)にて計画されている70MPa級水素供給インフラの検討にも反映させるために、安全確認検証(例70MPa級車載高圧水素容器検証、実証終了PJから得た水素曝露機器の解体調査等)、70MPa級蓄圧器材料等物性補強データ取得等を追加し、研究を加速した。</p> <p>(3) 10kW未満の定置用固体酸化物形燃料電池(SOFC)向け規制再点検応では、現在進行中の大規模実証研究を睨み、機器共通の安全性評価試験方法開発を加速すると共に、安全性検証データを補強した。</p> <p>(4) 定置用燃料電池システムの既存電力供給システムへの導入に関し、燃料電池実用化推進協議会からの要請を受け、複数台連係時の相互干渉対策(インバータ方式)を追加検証することとした。</p>	

Ⅲ. 研究開発成果について

**【研究開発の対象】**

燃料電池／水素エネルギー利用分野における我が国の産業競争力強化、中長期的なエネルギー基盤技術の確立、エネルギー安定供給確保等に資すると共に、エネルギーの使用に由来する温室効果ガス排出削減や自動車排ガス中の PM や NOx 等の有害排出物の抑制など環境問題の解決に資するものであり、燃料電池システム及び水素インフラに関連した既存規制の再点検や技術標準化が円滑に進むよう、「新エネルギー技術開発プログラム」の中で、具体的に 3 つの適用先（燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素供給インフラ等）について、各々「規制の再点検」、「共通試験・評価手法の確立」および「標準化」の 3 分野の研究開発を実施する。

**研究開発項目 A「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

本研究では、燃料電池自動車向け燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応し、既存規制の見直しに資するための安全確認データの取得、製品性能を単一の物差しで評価するための試験・評価手法の確立、国際標準の提案など、ソフトインフラを整備するために、以下に示す項目を実施する。

- ①水素・燃料電池自動車の安全性評価
- ②燃料電池性能評価法の標準化
- ③基準・標準化活動

**研究開発項目 B「定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

電気出力 10kW 未満の小形燃料電池システム（PEFC と SOFC システム）の一般家庭への普及に必要とされている 13 項目の規制再点検に必要とされる安全性データ取得しつつ単一の物差しとしての試験方法を開発する。安全性評価試験と同様に標準的な性能試験方法を開発し国内外の標準化活動の場に提供する。更に系統連携時の単独運転防止方法に関する基盤的な研究を実施する。

- ① 定置用燃料電池システムの安全性評価試験方法の開発及びデータ収集
- ②定置用燃料電池システムの性能確認方法の開発
- ③単独運転検出技術の確立
- ④国内外の標準化活動の推進

**研究開発項目 C「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

燃料電池自動車の導入・普及を推進するためには、早期に水素ステーションや車載用高圧容器等の水素供給・輸送インフラ普及のための各種基準を整備する必要がある。超高压の圧縮水素、液体水素、水素貯蔵材料等を利用する燃料電池自動車等に対応できる水素インフラの安全性、設置要件に係わるデータ取得、性能評価手法の確立及び評価試験装置の設計・製作を行う。

- ①水素スタンド等に係わる基盤整備
- ②水素雰囲気下における材料の安全性検証
- ③水素基礎物性の把握

**【研究開発の成果】**

**研究開発項目 A「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

(1) 水素・燃料電池自動車の安全性評価

燃料電池自動車は国内市場のみではなく世界が市場であるため、圧縮水素を燃料とする燃料電池自動車の安全基準を定める道路運送車両法のみならず国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN-ECE/WP29）での世界統一基準（gtr : global technical regulation）を適正なものとして成立させなければならない。そこで、特に重要となる水素貯蔵容器に関する安全性について検討した。圧縮水素容器や液体水素容器の安全性評価試験として各種の容器強度試験、火炎暴露試験等の安全性評価試験を行い、安全性向上に資するデータを取得すると共に、単一物差しで比較・評価が可能となる試験・評価手法を検討した。また、バルブ、センサ等要素部品についても安全性や信頼性を評価するための各種検証試験を行い、確認データを取得すると共に、評価手法を検討した。

具体的には、70MPa 自動車用圧縮水素容器の新基準策定に資するデータを得るため、上・下限圧力、圧力媒体、加圧速度をパラメータとした液圧サイクル試験、極端温度環境下での液圧および水素ガスサイクル試験、水素ガス充填・消費試験

ガス透過試験およびシリーズ試験（使用環境負荷試験）を行い、Step1（容器の70MPa 化と耐久性の適正化など）の策定に貢献するとともに、国内水素ステーションにおける充填手順の策定に貢献した。一方、車両の安全(UN-ECE/WP29 AC3 HFCV gtr など)関連では、容器の局所火炎暴露試験策定に資するデータを取得するとともに、水素漏洩引火試験による漏れ許容量の妥当性検証に貢献した。また、複数車両での火災試験を実施し、より安全な水素放出システムの検討に資するとともに、水素・燃料電池自動車の安全な消火救助活動を行う上で必要なデータを取得するため、水素火炎の消炎性調査、消火放水時の容器強度状況、水素火災規模などについて調査し、FCV の安全な消火方法手順の参考資料を完成させた。

### (2) 燃料電池性能評価法の標準化

燃料電池新規材料（MEA 材料等）の違いに対する水素中不純物の影響を評価し、得られた知見を ISO/TC197/WG12(ワーキンググループ 12：水素燃料仕様)における国際標準策定のためのエビデンス提示や協議摺り合わせに活用した。WG12 はエンジニアリング振興協会が審議団体を務める ISO/TC197：水素技術（NEDO 水素安全等基盤技術開発の委託事業として実施）のひとつの活動であるが、JARI 燃料電池標準化WGの委員長が WG12 のコンビナーを務め TS14687-2（技術仕様書）が発行された。引き続き IS 化に向けた活動として、不純物の影響評価や加速試験方法の検討を行った。水素中の不純物による燃料電池の発電性能の低下について、長時間の運転、水素循環系での不純物の濃縮、複数の不純物の混合、MEA のアノード Pt 担持量の低減等の影響を調査し、燃料電池自動車用水素燃料仕様の国際規格（IS）化のためのデータを取得した。得られた結果を国際規格案（DIS）の原案に反映させた。

また、性能評価試験のひとつとして、燃費測定方法の開発を実施した。その結果である 3 種類の流量計式燃費測定方法、具体的には熱式・超音波式・差圧式それぞれの燃費測定方法は流量が非定常状態であっても誤差±1%を達成し、ISO/TC22/SC21/WG2（DIS 23828）の規定として採用された。排気ガス組成から算出する酸素バランス法や電流法は燃料電池自動車の改造を必要としない手法として自動車業界から期待されており、高精度化に向けて検討した。

一方、燃料電池の MEA 材料の耐久性評価プロトコルとして FCCJ（Fuel Cell Commercialization Conference of Japan）、USFCC（US Fuel Cell Council）、DOE（Department of Energy）等から提案されているプロトコルを検証し、これら評価法の協調・統一化のための基礎データを取得するとともに、評価法の基本案を作成した。

### (3) 基準・標準化活動

上記「(1)水素・燃料電池自動車の安全性評価」、「(2)燃料電池性能評価法の標準化」において取得される試験データの解析と審議のため、外部有識者、関連団体等により構成される4つの WG を組織した。また、審議の結果は国際標準を提案する組織として設置した FCV 特別分科会と下部組織の5つの WG に提供され、国際標準案の審議を進めた。さらに、これらの活動全体を統括するため、外部有識者、関連団体等により構成される FCV 基盤整備委員会を設置し、当事業の実施を遂行した

一方、ISO/TC197（水素技術）に係る国際標準化活動について、国内審議団体である財団法人エンジニアリング振興協会に再委託し、ISO/TC197 および各 WG（WG5、WG6、WG12 は除く）への専門家派遣、および ISO/TC197 水素エネルギー技術標準化委員会ならびに国内 WG 対応委員会開催等の標準化活動を実施した。

**研究開発項目B「定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

- (1) 安全性検証及び性能試験方法の標準化については、PEFC システムの 5 試験、SOFC システムの 18 試験、純水素 PEFC システムの 13 試験について、計画通りデータ収集を完了した。また、実機試験を通じて妥当性検証や加筆変更を行い、安全性及び性能試験方法を確立した。
- (2) 安全性確認データは必要に応じて規制適正化を検討している公的委員会である「小規模燃料電池保安技術検討委員会」や「固体酸化物型燃料電池発電設備等の安全対策の確保に係る調査検討会」等に提供し、規制再点検に活用された。その結果、PEFC システムについては過圧防止装置の省略について電気事業法の関連条文が改正された。
- (3) SOFC システムについては、常時監視の不要化、不活性ガス置換義務の省略及び小出力発電設備化の 3 項目について電気事業法関連法規の条文改正がなされるとともに、設置届出義務の不要化、設置保有距離の省略及び逆火防止装置の省略の 3 項目について消防法関連法規の条文改正がなされた。過圧防止装置の省略については、規制適正化を検討している公的委員会に提供するための安全性確認データの収集等を完了した。
- (4) 集合住宅における安全要件及び設置基準等に係わる検討についても同様に、集合住宅に特有のハザードの整理・分析等を行い、超高層向耐風試験等の 4 試験についてデータ収集を完了した。また、実機試験を通じて加筆変更及び妥当性検証を進め、集合住宅設置における安全要件及び試験方法の検討とともに、国際標準等への提案内容のとりまとめを完了した。とりまとめた試験方法や安全要件及び設置基準案については、国内外の基準・標準化検討の場へ提供した。具体的には、集合住宅設置等における安全要件及び安全確認試験方法の標準化を図ることを目的とし、日本工業会規格（JEM 規格）の発行に向け、本事業で得た知見を平成 22 年 1 月に（社）日本電機工業会に提案した。
- (5) 単独運転検出技術の確立については、既存の能動的単独検出方式の中で他方式との相互干渉が起りにくくして選定した方式について、シミュレーション解析と PCS 実機による実証試験によって有効性の検証を行った。その結果、PCS 単体での検出有効性に問題がないこと及び、選定方式を用いた 18 台までの複数台連系では、実運用上問題ないことなどを確認した。
- (6) マイクロ燃料電池システムにおける安全性評価試験方法では、平成 22 年 3 月に国際規格 IEC 62282-6-100 Ed.1.0 が発行された。これを基に平成 22 年に欧州規格 EN 62282-6-100 が発行された。ただし、ローカルイフェクト(LE；マイクロ燃料電池が消費者の口・鼻のごく近傍で使用される際の排気に関する局所的な効果)試験方法に関しては、十分な実験的データの集積が未了な中で LE に関する試験方法およびその判定基準が当該規格に盛り込まれた。このため、今回検討したギ酸のような高吸着性ガスでは活性炭捕集管法に比べてインピンジャー捕集法の方がより好適であることが示された。このような基盤データの収集により、LE の場合の望ましいガス分析技法が明確にされ、今後見込まれる IEC62282-6-100 改定作業に向けた指針が得られた。
- (7) マイクロ燃料電池システムにおける性能評価試験方法では、最終国際規格案を経て平成 21 年 6 月、一部に未検証部分を残すものの、日本の意見が取り入れられた燃料カートリッジ互換性の国際規格 IEC 62282-6-300 Ed.1.0 が発行された。これを基に平成 21 年に欧州規格 EN 62282-6-300 が発行された。また、日本電機工業会にて、JIS 化作業が開始された。未検証であった低分子有機化合物の影響度の序列については、当該規格の燃料試験法に基づく評価試験で異なる結果が得られ、再検討の余地のあることが示唆された。不純物の入っていないレファレンス燃料による繰返し約 300 回、2000 時間超の断続運転試験で、10 % /1000 h 以下の性能低下率の結果が得られ、基本的に国際規格における燃料評価試験の実施可能性の見通しを得た。今後の改定作業に備えて、基盤データを取得することができた。

## 研究開発項目 C「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

クリーンな水素エネルギーを利用した水素社会を実現させるひとつの方策として、燃料電池自動車と水素スタンドの普及が期待されている。この水素スタンドを普及させるためには現行の規制を見直す必要がある。本研究では、水素スタンドの規制見直し案作成に資するデータの収集・解析・検討を行った。本研究成果の要約は以下の通りである。

- ① 70MPa 充てん対応水素スタンドについて、そのリスクを社会的に受容可能な程度まで低減するために必要な安全対策を検討した。検討にあたっては将来的に普及が見込まれる水素スタンドのモデルを作成し、当該モデルをベースにリスク評価手法を用いて検討し、水素スタンドに必要な安全対策の特定を行った。
- ② 35MPa 充てん対応水素スタンドについては、水素スタンドをセルフ給油取扱所へ併設、屋内給油取扱所へ併設、水素ガスエンジン自動車の給油取扱所への乗り入れなどの場合の安全性が確認された。
- ③ 液体水素スタンドについて想定事故シナリオの抽出、安全対策検討などを行ない、リスク評価を終了した。結果を技術基準案として取りまとめた。
- ④ 70MPa 充てん対応水素スタンドにおいて想定される事故時の影響を評価するために、水素漏洩時の拡散、爆風圧、火炎長さを実験及び CFD により算出した。
- ⑤ 水素ガスディスペンサー（70MPa 充てん対応）に使用される遮断弁、流量調節弁、流量計の安全性検証を実施し、定期点検を行うことで安全性が確保できることが分かった。
- ⑥ 蓄圧器（70MPa 充てん対応）については、35MPa 充てん対応で認められた SCM435 鋼を用いると、強度と焼入れ性の条件から板厚に限界があることが分かった。候補材料の一つである SNCM439 の強度低減材は、遅れ割れ試験、疲労試験、破壊靱性試験、疲労亀裂進展試験に優れた性能を有することを確認した。
- ⑦ 蓄圧器の絞り部に対する非破壊検査手法として、フェーズドアレイ超音波探傷法、TOFD 超音波探傷法を検討し、検出可能な精度を把握し、稼働中の蓄圧器の検査手法として AE 法について検討した。
- ⑧ 蓄圧器製造に関する課題（焼入れ性、絞り部のしわ低減）解決のため、絞り加工と鍛造加工による製造技術を開発した。
- ⑨ 圧縮水素運送自動車用容器の安全性検証として、運送用複合容器の落下試験、台車衝撃負荷試験および集合フレームによる衝撃負荷試験を実施し、問題となるような変形・ずれは生じていないことを確認した。
- ⑩ 実スタンドによる安全対策等検討と検証を目的に、日本初のガソリンスタンド併設型水素スタンドを市原市に設置した。実際の車両へ水素を充てんし課題を抽出するとともに、実機の圧縮機と遮断弁を連続運転させて耐久性を評価した。
- ⑪ 以上の検討結果をもとに、規制見直しに資する技術基準案を作成し、規制当局へ提出した。

(2) 水素用材料基礎物性の研究

本研究開発では、車載水素燃料タンク、配管、バルブ・継手類、水素貯蔵・輸送容器など高圧水素および液体水素機器用材料を安全に使用するための特性データの取得と研究開発を実施した。即ち、①高圧水素タンク用ライナー材の研究開発、②高圧水素配管材料の研究開発、③高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発、④液体水素用構造材料の研究開発、⑤水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発、⑥水素用材料物性調査およびデータベース化、⑦水素特性試験装置の開発およびそれを用いた水素用材料の基礎物性評価、⑧極低温ガス環境下での材料特性に関する研究、⑨水素用材料の疲労・トライボロジー特性研究、を課題とする研究開発に取り組んだ。

その結果、90MPa 級の高圧水素ガス中での引張特性、疲労に関するデータをはじめとする多くのデータを取得し、以下の成果をあげることにより、目標を達成した。

① 例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供

候補材 (A6061-T6、A6061HS-T6 (Si 増量材)、SUS316L) と比較材(SUS304、304L、STH1、STH2 等)の高圧水素ガス中特性評価 (SSRT、疲労試験、疲労き裂伝ば試験) を実施し、70MPa 機器用材料の基準化に向けた特性データを取得した。そして、車載容器に関する技術基準である「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」(KHK S 0128、H22.7.23 制定) の策定に貢献した。

② 高圧水素用材料種の拡大に向けた各種材料の評価

上気①で評価した材料以外に、各種ステンレス鋼 (含む STH1、STH2)、合金鋼、耐熱鋼(SUH660 等)、アルミニウム合金、チタン等の評価を高圧水素中で実施し、材料特性データを蓄積した。

③ 複合容器向け材料の評価

CFRP のストレスラプチャー試験データ及び疲労試験データを拡充した。

④ 水素環境脆化簡便評価法の展開

極低温かつ高圧の水素ガス環境等、特殊な極限環境下における材料特性評価技術を確立し、材料特性データ簡易評価技術の適用範囲を拡大した。

⑤ 基準化の技術的根拠とするための金属学的基盤解析・研究

低周波数の内外圧疲労試験による試験周波数の疲労特性に及ぼす影響把握、オーステナイト系ステンレス鋼の水素環境脆化影響因子の解析 (偏析、すべり(転位組織)の性格、Ni 当量の影響など)、被削性向上元素である S の影響調査、等を実施し、数多くの新たな知見を得た。

⑥ その他活動、ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開

各種高圧水素使用試験技術の習熟、液体水素中材料特性評価、WE-NET 高松水素ステーションや 20 年以上使用した液体水素ローリーなど長期使用水素関連機器の解体調査、トライボロジー特性研究、鉄鋼協会討論会・圧力技術誌への組織的発表、水素の有効利用ガイドブック (エネルギー総合工学研究所編集) の材料技術関連章項全 70 余頁の執筆およびデータベースの拡充等を実施した。なお、WE-NET 高松水素ステーション解体調査結果については、全 540 余頁の報告書を別途作成した。

(3) 水素用アルミ材料の基礎研究

平成 15、16 年度の前事業で、水素の安全利用の拡大および高圧水素容器のライナー材などに使用するアルミニウム材料の標準化を目的として、高圧水素環境下での試験の代替として、安全かつ簡便な水蒸気分圧制御大気環境下低ひずみ速度 (SSRT) 試験法を開発するとともに、本試験法により水素脆化感受性評価データを取得したが、本事業ではこれを受けて、実際にアルミニウム合金がライナー材として使用されることを目指し、さらに詳細かつ多くのデータを取得した。この開発した試験法により得られたデータと高圧水素ガス実環境下での SSRT 試験データとを比較することにより、代替評価法としての有用性を示すとともに、本試験による脆化感受性データと水素の侵入・集積挙動との関係を調査し、基礎的な裏付けを行った。さらに、平成 22 年 3 月に予定されていた最高充填圧力を 35MPa から 70MPa に増加させるための新しい例示基準策定に対応し、自動車業界、容器メーカー、基準策定機関からのニーズ・情報を収集した。それを基に、容器の軽量化を目指し、最高充填圧力 35MPa の例示基準 JARI S-001,002 で定められた 6061 合金よりも高強度の 6000 系・7000 系合金について、湿潤環境下での引張および疲労試験により耐水素脆性を、大気中での引裂き試験により LBB(Leak Before Burst)に直結する靱性を評価した。一方、これら取得データの基礎的バックグラウンドとして、水素マイクロプリント法、昇温脱離法、拡散の計算機シミュレーションなどにより、各条件下における材料中の水素の侵入・移動経路、水素侵入量、水素の状態の考察を行った。

その結果、水蒸気分圧制御大気環境下と高圧水素ガス環境下での試験結果を比較することにより、70MPa 水素ガス環境は相対湿度約 25%の環境に相当する考えられた。水素の挙動を昇温脱離分析により基礎的に調査した結果、湿潤大気環境下で SSRT 引張変形することにより、水素が侵入すると考えられた。強度、耐水素脆化性、LBB 性を総合的に評価した結果、6061 合金よりも過剰 Si 組成として高強度化した合金が、多くの 6000 系・7000 系合金の中でライナー材として有望であると結論された。それを受けて、それに当たる試験材 6061HS-T651 を量産規模で作製し、JRCM グループの協力による 90MPa 高圧水素中での試験を始めとして、必要特性の評価を実施した。そして評価結果を平成 22 年 3 月の新例示基準策定に資するデータとして関係機関に提供し、意見公募実施に大きく貢献した。

(4)水素基礎物性の研究

- ① 水素社会構築事業全般の水素安全に関するデータをとりまとめ、技術開発や規制の見直しなどを遂行する水素取り扱い者の安全確保を目的とした水素の有効利用ガイドブックの収録内容を決定し、平成 19 年度に作成できることを確認する
- ② トンネル模擬の野外ダクト設備による実水素ガス漏えい・拡散・燃焼実験で、十分な換気風があることで水素濃度を低減できることがわかった。
- ③ 液体水素の噴出・蒸発現象に関するシミュレーションにつき、液滴剥離 CFD を開発し、これに新たに熱収支モデルを組み込むことにより、CFD による液体水素漏えい後の拡散挙動(可燃濃度範囲領域)の予測精度を向上させた。

(5)水素安全利用技術の基礎研究

- ① 水素噴出時の流動混合気の着火性について検討した結果、水素と空気の混合気の流速が大きくなると燃焼下限界濃度が高濃度側にシフトすることを明らかにした。
- ② 配管から水素が噴出した際の自然着火現象を実験的に再現し、着火条件を検討するとともに、数値計算で検証した。
- ③ 水素の噴出圧力とノズル口径との関係から、水素噴出火炎の吹き消え範囲を明らかにした。
- ④ 水素と空気の混合気に水蒸気もしくは水ミストを混合すると火炎伝播速度、爆風圧が減少した。

特許	18 件
投稿論文	200 件
その他	発表件数 488 件、表彰 19 件 ※平成 22 年 3 月現在 水素の有効利用ガイドブック

IV. 実用化の見通しについて

**研究開発項目 A 「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

(1)水素・燃料電池自動車の基準・標準化に係る研究開発

2007年3月に自動車業界内で2009年度の技術基準発行を目標とする技術基準適正化シナリオが合意され、Step 1 策定に貢献した。

また UN-ECE/WP29/AC3 gtr (世界統一基準) の策定・見直しに向けた車両および水素安全に関するデータ取得を推進しており、継続して gtr 策定および見直しに資するデータ取得を進める。

燃料電池自動車用水素品質規格に関しては、FCV 用を新たに Part2 (ISO/TS14687-2) TS として策定、2008年に発行され、導入期のFCVのための仕様書として実用化された。燃料電池自動車の燃費試験法に関しては、本研究開発の成果である圧力法、質量法、流量法、電流法が2008年度にIS化され、一般の利用に広く供される見込みである。

**研究開発項目 B 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発については、電気出力10kW未満の小形燃料電池システム(PEFCとSOFCシステム)の一般家庭への普及に必要とされている13項目の規制再点検に向けた安全性データ取得は終了した。その結果、3項目が改正され、残り10項目については、公的委員会での審議が終了し規制緩和の見通しを得た。

本事業の成果である安全性評価データ、試験方法、性能試験方法及び単独運転防止にかかる各種試験は平成19年末に2000台を超える10kW未満の小形燃料電池システム(PEFCとSOFCシステム)の国内でのさらなる普及促進効果および国際競争力確保に向けた活動に使用されつつある。

マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発については、発IEC TC105 WG8 (マイクロ燃料電池 安全) では、平成22年3月に国際規格(IS)第1版が発行された。これを基に欧州規格が発行された。

IEC TC105 WG10 (マイクロ燃料電池 互換性) では、平成21年6月にIS第1版が発行された。本事業の成果の実用化見通しとしては、現在行われているマイクロ燃料電池の国際規格の改定作業(第2版の作成)への反映が期待される。

**研究開発項目 C 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」**

(1)水素インフラに関する安全技術研究

70MPa 充填対応水素スタンドについては、収集したデータを基に安全性検証検討を実施し、水素スタンドの安全性を確保するために必要な安全対策を取りまとめた。高圧ガス保安法関連の省令及び例示基準見直し案を作成し、規制監督官庁に提出し受理された。

本成果に基づき、省令・例示基準作りが進展することから、規制当局側の動きとして、消防法、建築基準法にも反映されると考えられる。また水素インフラに関連する研究開発が進展により人材育成も促進している。また培った実験技術や安全手法は、たとえば、本事業内の「水素基礎物性の研究」にて推進中の「水素の有効利用ガイドブック」反映された。

(2) 水素用材料基礎物性の研究

① 鉄鋼材料を中心とした金属材料に関して

本研究開発の成果は、70MPa 級機器の基準・標準化に向けた一連の活動に対し、技術的な裏付けデータとして活用、反映される。(車載容器に関しては KHK 基準制定済み H22.7) 加えて本研究開発で得られた基礎知見を活用し、近い将来、耐水素脆性に優れ、特性面およびコスト・製造性などの工業的観点から利点の多い新しい水素用材料が実用化される見通しである。

② 非金属複合材料に関して

本研究開発の成果は、容器設計の安全率・寿命決定に必要な根拠データとして、車両搭載用容器やFRP製水素貯槽の設計に反映される見込みである。

	<p>(3) 水素用アルミ材料の基礎研究  ライナー用アルミ材として有望な 6061 系合金の水素脆性感受性データを取得し、高圧ガス保安協会による 70MPa 用車載用高圧水素用容器の基準・標準の策定に活用された。  また、(社)自動車工業会及び容器メーカーから要請のあった 7175、7N01、7003、7050 及び高強度 6000 系合金 (6061HS、6066、6069) について水素脆性感受性データを取得しており、燃料電池車普及に向けて、軽量・低コストの高圧水素容器および附属品への採用に向けた基準・標準化に資するデータとして今後活用される見込みである。  さらに、高圧水素環境の代替評価法 (たとえば高圧水素環境下と同等の過酷さとなる代替評価条件 (静的負荷条件) など) の可能性を見出した。これは水素用材料評価技術を普及させる重要技術と期待される。</p> <p>(4) 水素基礎物性の研究  本事業において取得した「水素ガスの拡散・爆発挙動、液体水素の蒸発・拡散挙動のデータ」や開発したシミュレーション技術等の基盤技術は、規制見直しのためのデータとして、広く用いられている。  また、これらのデータと安全基礎データの調査において収集した「水素安全に関するデータおよび水素インフラ関連技術の現状」を平成 19 年度作成の「水素の有効利用ガイドブック」として取りまとめ、関係者に公開・配布している。これは水素取扱者の安全確保および水素の有効利用に関する知見の集大成として水素関連技術開発の現場において活用されている。</p> <p>(5) 水素安全利用技術の基礎研究  水素噴出時の流動混合気の着火性についての検討結果は、燃焼下限界濃度の 4 分の 1 の濃度を基準に定められている火気離隔距離の短縮化、すなわち、水素ステーションのコンパクト化に役立つと期待される。  また、水素放出配管などから水素を放出する際の静電気着火や自然着火の条件とメカニズムを明らかにすることにより、着火可能性の小さい、より安全な水素放出配管の放出口の形状の設計が可能となり、このような技術は水素ステーションの社会的受容性の向上のために、役立つものである。  水素が燃焼から爆ごうに転移する条件を明らかにし、実規模トンネルで水素タンクローリが事故に巻き込まれた際の危険性を予測することは、社会的受容性を向上するために役立つものである。  また、爆風インパルス指標として用いた被害予測に関しては、国際エネルギー機関(IEA)の水素安全専門家会議において、国際標準化に向けての議論が行われている。  一般向けの広報に関しては、平成 18 年度末に「水素の安全基盤研究に関する講演会」を開催した。自動車関連業界、ガス関連業界、地方自治体などから 180 名の参加者があった。安全工学会、火薬学会、日本燃焼学会、日本エネルギー学会、を通じて案内を出したため、参加者以外に資料集の入手に関する問い合わせも多く、本研究について広く社会に知られるきっかけとなった。</p>	
<b>V. 評価に関する事項</b>	事前評価	平成 16 年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部
	中間評価	平成 19 年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部
<b>VI. 基本計画に関する事項</b>	作成時期	平成 17 年 2 月作成
	変更履歴	(1) 平成 18 年 3 月、水素安全利用等基盤技術開発の中間評価結果反映に伴い、研究開発成果の取扱いの項を修正して改訂。 (2) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。 (3) 平成 21 年 3 月、研究開発テーマの追加による改訂。

# 新エネルギー技術開発プログラム基本計画

## 1. 目的

新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性や性能の向上を図ることによって、我が国のエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題（CO<sub>2</sub>）・地域環境問題（NO<sub>x</sub>、PM等）の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等を図る。

## 2. 政策的位置付け

「産業発掘戦略－技術革新」（「経済財政運営と構造改革に関する基本計画2002」（2002年6月閣議決定）に基づき、2002年12月にとりまとめ）の「環境・エネルギー」分野における戦略目標（技術のグリーン化、産業のグリーン化及び市場のグリーン化）に対応するものである。

科学技術基本計画（2001年3月閣議決定）における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化分野であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2001年9月総合科学技術会議）における重点分野であるエネルギー分野に位置づけられるものである。

産業技術戦略（2000年4月工業技術院）における社会的ニーズ（環境と調和した経済社会システムの構築、エネルギー・資源の安定供給確保）への対応、革新的、基盤的技術（エネルギー・環境技術）の涵養、知的な基盤の整備への対応を図るものである。

エネルギー基本計画（2003年10月閣議決定）における新エネルギーに関する技術における重点的施策に対応するものである。

新エネルギー部会報告書（2001年6月総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会）における今後の新エネルギー導入に向けた国の施策の在り方への対応を図るものである。

総合資源エネルギー調査会需給部会報告書「2030年のエネルギー需給展望」（2005年3月）における、中長期的なエネルギー戦略の在り方（エネルギー供給サイドの追加対策）にも対応するものである。

2005年4月に閣議決定された京都議定書目標達成計画における「エネルギー供給部門の省CO<sub>2</sub>化」等の対策にも資するものである。

## 3. 目標

新エネルギーは、エネルギー自給率の向上や地球温暖化対策に資するほか、分散型エネルギーシステムとしてのメリットも期待できる貴重なエネルギーであるが、現時点では、出力の不安定性や高コスト等の課題を抱えている。従って、当面は補完的なエネルギーとして位置付けつつも、安全の確保に留意しつつ、コスト低減や系統安定化、性能向上等の

ための技術開発等について、産学官等関係者が協力して戦略的に取り組むことにより、長期的にはエネルギー源の一翼を担うことを目指す。

また、2010年新エネルギー導入目標（1910万k l）の達成への貢献を目指すとともに、燃料電池については、2010年220万kW（定置用）及び5万台（燃料電池自動車）の導入への貢献を目指す。

#### 【太陽光発電】

太陽光発電については、2005年3月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会需給部会報告において、2010年度の導入目標を482万kWと設定しており、新エネ導入目標達成への貢献を図る。

また、太陽光発電システムは、原料資材メーカー、セル・モジュールメーカー、インバーターメーカーその他周辺機器、商社、施工業者など多くの関係者が存在することから、その導入が促進されることにより、技術の波及に伴う新規産業の創出や雇用の拡大に資することが期待される。

#### 【太陽熱利用】

太陽熱利用については、2005年3月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会需給部会報告において、2010年度の導入目標を90万k l（原油換算）と設定しており、新エネ導入目標達成への貢献を図る。

また、太陽熱を高付加価値で利用できる形態や新構造のシステムの技術開発は、新分野への用途拡大を通じて、技術の波及に伴う新規産業の創出や雇用の拡大に資することが期待される。

#### 【風力発電】

風力発電については、2005年3月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会需給部会報告において、2010年度の導入目標を300万kWと設定しており、新エネ導入目標達成への貢献を図る。

風況のよい、風力発電の設置に適した場所は地域性があることから、風力発電システムの導入は地元の風力発電システム設置に係る工事会社等への雇用創出等の波及効果が予想されるなど、地域活性化への貢献が期待される。

#### 【バイオマスエネルギー】

バイオマスエネルギーについては、「カーボンニュートラル」という特性を持ち、化石資源由来のエネルギーを代替することにより、地球温暖化を引き起こす温室効果ガスの一つであるCO<sub>2</sub>排出削減に大きく貢献することが可能である。2005年3月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会需給部会報告において設定された2010年度の導入目標894万k l（原油換算、廃棄物発電を含み、黒液・廃材を除く）達成への貢献を図る。

また、バイオマスは、持続的に再生が可能であることから、その利活用はエネルギー供給の安定化の観点からも有効である。さらに、バイオマスエネルギーの利活用の促進は革新的な技術・製品の開発、ノウハウの蓄積、先駆的なビジネスモデルの創出等を通じて、循環型社会の形成やそれに伴う新たな雇用の創出等に資することが期待される。

#### 【廃棄物発電】

廃棄物発電については、発電のための追加的環境負荷がなく、地球温暖化対策に資する重要なエネルギーである。2005年3月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会需給部会報告において設定された2010年度の導入目標を894万kW（原油換算、バイオマス発電を含み、黒液・廃材を除く）と設定しており、新エネ導入目標達成への貢献を図る。

また、廃棄物が発生する地域は同時にエネルギーの消費地であることから、廃棄物発電の導入は、サーマルリサイクルという形で循環型社会の実現を果たすとともに、需要地近接の分散型電源として電力安定供給に寄与することが期待される。

#### 【燃料電池／水素エネルギー利用】

燃料電池はその利用段階ではゼロエミッションのエネルギー媒体であり、その燃料である水素は様々なエネルギー媒体から製造が可能で、エネルギー源の多様化に資する他、電気と熱のバランスの取れた供給により高効率な分散型エネルギーシステムの構築が可能となる。燃料電池自動車については、2020年約500万台、2030年約1,500万台、定置用燃料電池については、2020年約1000万kW、2030年約1,250万kWの導入を目指す。

また、自動車をはじめ家電・重電、素材、化学、石油、ガス、電力等幅広い産業が関連することから、その技術の確立は我が国産業全体への相当程度の波及効果が見込まれ、新規産業・雇用の創出が期待される。

## 4. 研究開発内容

### I. 太陽光発電

#### <太陽電池の高効率化と低コスト化>

##### (1) 太陽光発電システム未来技術研究開発（運営費交付金）

###### ①概要

中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。

###### ②技術目標及び達成時期

2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト（14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度）、2030年頃に汎用電源並の発電コスト（7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度）の実現に向けた中・長期的な技術を開発する。

###### ③研究開発期間

2006年度～2009年度

##### (2) 太陽光発電システム実用化加速技術開発（運営費交付金）

###### ①概要

現行の太陽電池の製造コストを大幅に低下させ、2010年度に家庭用電灯料金並

の23円/kWh程度を実現する、即生産ラインに適用可能な低コスト化技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、結晶系太陽電池モジュールの変換効率15%、モジュール製造原価128円/Wを実現し、2010年度の目標発電コスト(23円/kWh程度)の達成に向けた技術開発の取組を加速化させる。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(3) 省資源低環境負荷型太陽光発電システムの開発

①概要

2030年の100GWの太陽光発電導入に向けて、大規模生産が可能でありかつ低環境負荷である新規な太陽電池システムを開発するためのプロセス技術、材料技術及びデバイス評価技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、省資源低環境負荷型太陽光発電システムのための材料を開発するとともに、材料リスク評価を行う。有機材料の探索と信頼性評価、インジウムフリー材料の開発、砒素を含まない化合物結晶の開発、ナノ構造を有するフォトリソシリコン材料の製造プロセスの開発、封止材料の評価と解析を中心に行う。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

<信頼性確保・リサイクル技術の確立等の共通基盤整備>

(4) 太陽光発電システム共通基盤技術開発(運営費交付金)

①概要

太陽光発電の普及拡大において不可欠である規格化、標準化、リサイクル等の基本技術をベースに点的な展開から面的な展開を図るために、新型太陽電池セル/モジュールの性能評価技術の開発、太陽光発電システムの環境対応技術等の開発、太陽電池技術開発に関する国際情報収集を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度の導入目標(482万kW)の達成に資するほか、中・長期的な視野にたった太陽光発電の普及拡大に資する。

③研究開発機関

2006年度～2009年度

<系統影響緩和による普及促進>

(5) 集中連系型太陽光発電システム実証研究(運営費交付金)

①概要

今後予想される太陽光発電システムの局所集中連系に備え、電圧上昇等系統の電力品質への悪影響に対する対策技術を確立するため、蓄電池を併設した太陽光発電システムを電力系統に大規模集中連系する等の実証試験を行う。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに、出力抑制対策技術による電力系統の安定性、高調波問題対策技術の有効性、単独運転防止装置の誤動作・誤不動作対策技術の有効性及び応用シミュレーション技術の有効性を実証する。

③研究開発期間

2002年度～2006年度

(6) 太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業

(運営費交付金)

①概要

太陽光発電システム等を電力系統に連系した場合のより高度な系統安定化技術を確立するため、海外の様々な特性を有する系統において相手国と共同で実証することにより、最適なシステム構成やその有効性について検証・評価する。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、電力品質への影響、電力負荷側の需要調整による出力変動分の吸収等について定量的に把握するとともに、当該国における電力品質基準の下でのシステムの最適化、有効性について検証・評価する。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(7) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業 (運営費交付金)

①概要

MW級の大規模太陽光発電出力を平滑化することにより、系統の電力品質に悪影響を及ぼさないシステムを構築する。また、大規模太陽光発電を利用した電力系統のピーク対策等需給調整システムを構築し、その有効性を実証する。

②技術目標及び達成時期

大規模太陽光発電が電力系統に連系された場合の電圧変動抑制対策技術、周波数変動(出力変動)抑制対策技術、パワーコンディショナーから発生する高調波抑制対策技術(特別高圧系総合電圧歪み率3%以内が妥当)、及び需給制御技術を確立し、2010年度までにこれらの検証結果を取り纏めて公表する。

③研究開発機関

2006年度～2010年度

<新型モジュール・新たな施工方法等による用途範囲の拡大>

(8) 産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 (運営費交付金)

①概要

新技術を用いた太陽光発電システムを産業・公共分野へ試験的に導入することにより、同分野等における太陽光発電システムの導入の有効性を実証する。

②技術目標及び達成時期

1998年度から2002年度までに設置された太陽光発電システムについて、その出力特性等を測定し、収集・分析したデータを2007年度まで取り纏め、新技術を活用した太陽光発電システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで、当該システムの普及促進を図る。

③研究開発期間

1998年度～2006年度

(9) 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業（運営費交付金）

①概要

新技術を用いた太陽光発電システムを実負荷に試験的に導入し、設置方法及び施工方法の新技術若しくは新型モジュールについての有効性を実証するとともに、本格的普及に向けた機器の更なる性能向上・コスト低減を促す。

②技術目標及び達成時期

2003年度から2006年度までに設置された太陽光発電システムについて、その出力特性等を測定し、収集・分析したデータを2010年度まで取り纏め、新技術を活用した太陽光発電システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで、当該システムの普及促進を図る。

③研究開発期間

2003年度～2010年度

II. 太陽熱利用

<先進的な技術による利用分野の拡大>

(1) 太陽エネルギー新利用システム技術開発（運営費交付金）

①概要

戸建住宅以外で普及が見込まれる分野での太陽熱利用技術は、これまでのところ必ずしも確立していないことから、太陽エネルギーの利用分野を拡大し、当該分野における太陽熱利用技術についての研究開発を実施する。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、新分野への用途拡大を可能とする、新形態・新構造のシステム技術開発を行う。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(2) 太陽熱高度利用システムフィールドテスト（運営費交付金）

#### ①概要

戸建住宅向けに比べて普及が遅れている非戸建住宅向け太陽熱利用システムの普及拡大を目的として、公共施設、及び産業施設等における太陽熱新利用システムを実際に導入し、その有効性を実証するとともに、本格的普及に向けたシステムの性能向上・コスト低減を促す。

#### ②技術目標及び達成時期

2006年度から2009年度までに設置された太陽熱利用システムの出力特性等のデータを測定し、収集・分析したデータを2013年度まで取り纏め、新技術を活用した太陽熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで、当該システムの普及促進を図る。

#### ③研究開発期間

2006年度～2013年度

### Ⅲ. 風力発電

#### <系統影響緩和による普及促進>

##### (1) 風力発電電力系統安定化等技術開発（運営費交付金）

#### ①概要

大規模風力発電所等の普及拡大時において懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、蓄電システムの併設による出力安定化技術を開発し、実態に応じたシステム稼働データの抽出や当該システムの有効性の検証を行う。

#### ②技術目標及び達成時期

2007年度までに、大規模風力発電所における出力変動の抑制効果を明らかにすることにより、当該技術の有効性を検証するとともに、そのシステムを確立する。

#### ③研究開発期間

2003年度～2007年度

#### <設置環境に適した風車の導入>

##### (2) 日本型風力発電ガイドライン策定事業（運営費交付金）

#### ①概要

稼働率を向上するため、日本の気候や風土に適した風車の設置等に係るガイドラインを策定する。

#### ②技術目標及び達成時期

日本国内に導入される風力発電設備の稼働率向上が図られたことを確認する。

#### ③研究開発期間

2005年度～2007年度

#### <風力発電の導入適地の調査>

##### (3) 風力発電フィールドテスト事業（運営費交付金）

①概要

風力発電の導入目標（2010年度300万kW）を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

<系統対策技術>

(4) 系統連系円滑化蓄電システム技術開発（運営費交付金）

①概要

新エネルギーの出力変動を極小化する蓄電池等の要素技術開発や制御技術開発、新エネルギー設置者が許容できるコストレベルとするための蓄電池等の要素技術開発や制御技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに出力変動極小化に資する蓄電池等の高性能化、制御技術の確立及び蓄電池等本体のコストダウン率、蓄電池等の制御技術の確立による必要容量を低減する。

③研究開発機関

2006年度～2010年度

IV. バイオマスエネルギー

<高効率転換技術の開発>

(1) バイオマスエネルギー高効率転換技術開発（運営費交付金）

①概要

国産可能なバイオマスエネルギー源として、また、環境保全に寄与するエネルギー資源として有用なバイオマス資源を高効率で気体、液体燃料等の有用なエネルギーに転換するための技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに高効率なバイオマスエネルギー転換技術の実用化に目処を付けることを目的に、直接燃焼方式、生物化学的変換方式、熱化学的変換方式の3つに大別されるバイオマス資源転換技術それぞれについて、現在実用化されている技術より高効率かつ経済的にバイオマスを有用エネルギー形態に転換できる技術の研究開発を実施する。

また、2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2007年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。

更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を発掘するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。

### ③研究開発期間

2001年度～2009年度

(参考) 提案公募事業の実施機関の責任の下で、現在実施されている採択テーマは別紙1のとおり。

## (2) 再生可能エネルギー利用基盤技術研究開発

### ①概要

新エネルギーの導入・普及に向けた環境作りを支援する一環として、各種バイオマス活用エネルギーシステムのシミュレーション評価を実施し、当該システムの適切かつ加速的導入を図るための基盤技術研究開発を行う。

### ②技術目標及び達成時期

2010年度までに、詳細な実験データに基づくシミュレーション手法により、バイオマス由来液体燃料（バイオエタノール、ETBE、BTL）への合理的変換プロセスを探索し、最適プロセスに必要なガス化技術、粉碎・糖化・発酵等の要素技術の開発を行うことにより、当該燃料導入の促進支援を図る。

### ③研究開発期間

2005年度～2010年度

## <バイオマス利用システムの確立>

### (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業（運営費交付金）

#### ①概要

地域に賦存する未活用な資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

#### ②技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックするこ

とによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

③研究開発期間

2001年度～2009年度

(4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業（運営費交付金）

①概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(5) 地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業（運営費交付金）

①概要

広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行うことを目的とする。

②技術目標及び達成時期

経済性向上等を図る技術開発等を推進することにより、バイオマス熱利用普及・導入の障害を取り除き、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万kl)達成を目指す。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

## V. 廃棄物発電

### <先進型廃棄物発電システムの確立>

(1) 先進型廃棄物発電フィールドテスト事業（運営費交付金）

①概要

廃棄物発電の発電効率の向上やダイオキシン類対策として期待される廃棄物ガス

化発電等の先進型の廃棄物発電システムの長期的運転評価を行うことにより、同システムの技術課題を抽出・解決し、またデータを蓄積・提供することで信頼性を高め、導入の促進を図る。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに、先進型の廃棄物発電設備を建設し、長期的実証試験を通じて信頼性向上を図り、設備利用率85%を目指す。

③研究開発期間

1999年度～2006年度

VI. 燃料電池／水素エネルギー利用

<燃料電池システム技術及び要素技術開発>

(1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発事業（運営費交付金）

①概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池（PEFC）の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

②技術的目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(2) 燃料電池先端科学研究

①概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、独立行政法人産業技術総合研究所において、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構について電気化学（電極触媒反応、イオン移動、分子移動等）及び材料化学（溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等）の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(3) 新利用形態燃料電池技術開発（運営費交付金）

①概要

ユビキタス社会に対応する燃料電池の実用化・普及拡大を図るため、小型可搬電源となり得る小出力燃料電池等の安全確保等を目的とする基準・標準化研究開発及び燃料電池の用途開拓のための燃料電池技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2010年までに、燃料電池の新利用形態、使用環境等を考慮した高出力特性等の性能特性向上によって必要となる燃料容器等の周辺機器を含めた国内外の安全・環境基準の設定・国際標準化、規制緩和に資する試験データの取得、試験方法の開発、基準案の作成を行う。また、新規利用形態による使用条件下で要求される技術目標を満たす高出力特性、耐久性、コスト等の性能向上や安全性、国内外の規制等に適合する高性能燃料電池開発・実証を行う。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 水素先端科学基礎研究事業（運営費交付金）

①概要

水素の輸送や貯蔵に必須の材料に関し、水素脆化等の基本原理の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラなど水素社会構築に必要な水素物性・材料特性に係るデータ取得、材料劣化等の基礎的な研究及びメカニズム解明を行う。

③研究開発期間

2006年度～2012年度

(5) 高耐久性メンブレン型LPガス改質装置の開発（運営費交付金）

①概要

高耐久性の水素透過型メンブレン（膜）を開発し、家庭用LPガス供給システムから高純度の水素を供給可能な高効率LPガス改質装置を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、家庭用LPガス供給システムから燃料電池へ高純度の水素を供給する高効率かつ低コストでコンパクトなメンブレン型LPガス改質装置を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 固体酸化物形燃料電池システム技術開発事業（運営費交付金）

①概要

固体酸化物形燃料電池（SOFC）の実用化を目指し、コージェネレーションシステム及びコンバインドサイクルシステムの技術開発、性能評価技術開発、次世代要素技術開発を実施する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までにコージェネレーションシステムの実運転に耐えうる耐久性能の確立とコンバインドサイクルシステムの技術の確立を図る。

③研究開発期間

2004年度～2007年度

(7) 次世代型分散エネルギーシステム基盤技術研究開発

①概要

分散型エネルギーシステムの一翼を担う燃料電池に関する技術開発を円滑に進めるために、燃料電池用クリーン燃料製造、固体高分子形燃料電池及び固体酸化物形燃料電池の高性能化、ならびに新規水素貯蔵材料開発を支援する基盤的技術開発を実施する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに、①芳香族炭化水素等の触媒上における反応機構及び触媒の劣化機構等の解明（燃料電池用クリーン燃料製造技術開発基盤整備）、②各種燃料電池の構成材料への炭素析出メカニズムの解明、性能劣化機構等の解明、及び燃料流量の高精度計測を中心とした発電効率の測定方法のJIS化等規格標準化に必要な要素技術の開発（各燃料電池高性能化の基盤整備）、③水素貯蔵量と水素貯蔵材料の微細構造（結晶構造、層状組織の状態）の関係等の解明（新規水素貯蔵材料開発の基盤整備）などに資する技術開発を行う。

③研究開発期間

2002年度～2006年度

<燃料電池関連機器等に関する技術開発>

(8) 燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発（運営費交付金）

①概要

燃料電池自動車等の電気系自動車について効率等の更なる向上を実現するとともに、蓄電技術の用途拡大を促進するために、蓄電池の中で最も高いエネルギー効率を持つ高出力・長寿命のリチウム電池の開発を実施する。

②技術目標及び達成時期

A. 車載用リチウム電池等技術開発、高性能リチウム電池要素技術開発

2006年度までに、出入力密度の向上・長寿命化を目的とした新たな材料開発を行い、燃料電池自動車等の性能・効率を向上する軽量・コンパクト（70Wh/kg）かつ低コスト（5万円/kWh）な高出力（1800W/kg）・長寿命（15年）リチウム電池の開発を行う。また、入出力特性解析、劣化機構解析等に基づく電池総合特性

評価技術並びに加速的耐用年数評価技術の開発や、将来の高度安全性リチウム電池の探求を目的とした新規電極材料や固体高分子電解質等の開発を行う。

#### B. 次世代型高密度エネルギーリチウム電池技術開発

広範な分野への利用拡大に向けて、重量・体積エネルギー密度が高く、高信頼性・大容量のリチウム電池の技術開発を行う。

#### ③研究開発期間

A：2002年度～2006年度

B：2003年度～2007年度

### (9) セラミックリアクター開発（運営費交付金）

#### ①概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

#### ②技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650℃以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証（出力性能2kW/セル等）を行う。

#### ③研究開発期間

2005年度～2009年度

### <水素燃料の安全技術及び実用化技術等の開発>

#### (10) 水素安全利用等基盤技術開発事業（運営費交付金）

##### ①概要

燃料電池等の水素利用技術の導入・普及に資するため、水素の製造・貯蔵・輸送等に係る関連機器の信頼性・耐久性向上、小型化、低コスト化のための研究開発を行う。

##### ②技術的目標及び達成時期

2007年度までに、水素の安全利用に係る基盤を整備するために必要な安全性、信頼性等の評価試験を通じたデータ収集・評価手法の確立、そのために必要な評価供試体・試験装置等の作製、燃料電池自動車等の水素供給に係るインフラ技術開発、水素利用等に関する革新的技術開発、国際的標準への貢献、水素利用に関するシナリオの作成を行う。

##### ③研究開発期間

2003年度～2007年度

#### (11) 水素社会構築共通基盤整備事業（運営費交付金）

①概要

固体高分子形燃料電池システム等の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

②技術目標及び達成時期

2009年度を目途に基準・国際標準、規制の再点検に向けたデータを取得し、そのデータを基に国際標準の提案、規制の例示基準等の作成を行う。

③研究開発時期

2005年度～2009年度

(12) 高効率高温水素分離膜の開発 (運営費交付金)

①概要

高効率・省エネルギーの水素製造プロセスを開発するため、高い耐熱性と、高い水素選択透過性を併せ持つ高温水素分離膜の開発と膜モジュール化技術開発を一体的に行う。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに、高い耐熱性(500℃以上)を有し、ナノメートルオーダーで細孔径を高度に制御することにより、高い水素選択透過性(10<sup>-7</sup>～10<sup>-6</sup>mol/m<sup>2</sup>sPa)を併せ持つ高効率高温水素分離膜の開発と膜モジュール化技術開発を一体的に行う。

③研究開発期間

2002年度～2006年度

(13) 燃料電池用燃料ガス高度精製技術研究開発事業 (運営費交付金)

①概要

次世代の大型燃料電池で使用される燃料電池用燃料ガスを高度精製する技術の研究開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに、高温形燃料電池が要求する高いスペックまで石炭ガス化ガスを安価で効率的に精製する技術をパイロットプラント規模で確立する。

③研究開発期間

2000年度～2006年度

<実証研究>

(14) 定置用燃料電池大規模実証事業 (運営費交付金)

①概要

定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実用化開発を支援するため、量産技術の確立と実用段階に必要なデータ収集を行う大規模実証を実施する。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、定置用燃料電池を大規模かつ広域的に設置し、実使用条件下

における耐久性等の運転データを取得・分析や、コストダウンの検証を行うことにより開発課題を抽出し、今後の燃料電池の普及に向けた経済性の向上や耐久性の確保への筋道をつける。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

<共通の基盤技術の開発>

(15) 燃料電池システム等実証研究

①概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証試験や多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における課題を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得する。成果及び関連する施策のこれまでの事業の成果を活用して、燃料電池の実用化に資するとともに、2020年において、燃料電池自動車については約500万台、定置用燃料電池については約1,000万kWの導入を目指す。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

VII. 分散型ネットワークの構築

<新エネルギー等による分散型ネットワークシステムの構築>

(1) 新エネルギー等地域集中実証事業（運営費交付金）

①概要

地域内に存する太陽光発電、燃料電池発電等の新エネルギー等による分散電源と電力需要家を情報通信網で連絡し連係制御を行うことによって地域におけるエネルギー利用効率の向上を図る実証研究を行う。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、新エネルギー等発電設備と二次電池を組み合わせた供給システム、住宅・公民館等の需要施設、及び需要側の発電量と供給側の消費量を計測し適切な電力供給の制御を行う制御センターを構築・運用することにより、商用電力システムへの負担を極力抑制しつつ新エネルギーを集中的に導入するために必要な技術の実証を行う。

③研究開発期間

2003年度～2007年度

(2) 分散型エネルギーシステムの平準化基盤技術研究開発

①概要

分散電源と電力・熱貯蔵及び負荷を平準化するエネルギーシステムとネットワーク技術、分散電源とエネルギー貯蔵に関する要素技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、電力平準化システム運用・制御技術、熱・電気統合型ネットワーク技術、及び超電導薄膜限流器を開発する。

③研究開発期間

2003年度～2007年度

## 5. 政策目標の実現に向けた環境整備

- ・新エネルギーのより一層の普及を進めるため、供給インフラの整備等ハード面における環境整備を促進するとともに、関連規制の見直し、国際標準の策定等ソフト面における環境整備を進める。
- ・電気事業者に対し一定割合以上の新エネルギー等電気の利用を義務づける「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)を着実に実施することで、更なる導入を促進する。
- ・実証試験におけるデモンストレーション走行試験等の活用により、燃料電池システムの有効性を示すとともに、普及啓発活動等により、水素エネルギーに関する社会的受容性を高める。
- ・燃料電池の実用化に関する規制再点検を行い、円滑な初期段階での導入を図る。
- ・欧米政府等と制度面等に関する情報交換・意見交換を実施する。また、我が国における研究・開発に携わる人材不足問題を解決するため、広く国際的な提携、協力関係の構築を推進する。
- ・地域創発型新エネルギー人材支援事業  
新エネルギーについての知見や、事業化、資金調達などの企業経営のノウハウを備えた者を地域における新エネルギー導入のコーディネーターとして育成することを支援する。
- ・国、地方自治体、関連企業等による率先導入を推進することにより初期需要を創出するとともに、下記事業を通じて導入普及を支援する。

### (1) 風力発電系統連系対策補助金

電力系統における導入制約のある地域において風力発電の導入拡大を図るため、風力発電の出力変動による電力系統への影響の緩和に資する蓄電池等を導入する民間事業者等に対して補助を行う。

### (2) 地域新エネルギー導入促進対策

地域において風力発電、太陽光発電、太陽熱利用、廃棄物発電等の新エネルギーの大規模・集中導入等、先進的な取組等を行う地方公共団体等に対して、事業費の一部及び普及啓発費を補助する。

(3) 新エネルギー事業者支援対策

「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」に基づき認定を受けた利用計画に従って新エネルギーを導入する先進的な事業者に対し、事業費の一部を補助する。

(4) 地域エネルギー開発利用促進対策

地域エネルギー開発利用事業に係る資金を低利で貸し付ける金融機関に対して利子補給を行う。

(5) 新エネルギー非営利活動促進事業

地域レベルにおける新エネルギーの導入の加速化を図るため、NPO等が実施する新エネルギー導入事業や普及啓発活動に対し支援を行う。

(6) 地域新エネルギービジョン策定等事業

地域レベルでの新エネルギー導入の取組の推進を円滑化するため、地方公共団体等が当該地域における新エネルギーの導入を図るために必要となる「ビジョン」作成等に要する費用を補助する。

(7) 燃料電池導入促進戦略広報等事業

燃料電池に関する情報を戦略的に広報し、特に、潜在的に優れた技術を有する異業種先端企業・中小ベンチャー企業等の情報発信を含む、技術等交流の場を設け、燃料電池に対する理解を深めるとともに、異業種連携等によるイノベーションを促進し、燃料電池の加速的導入の実現を図る。

## 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下実施されるものである。

太陽光発電システム共通基盤技術開発研究開発における研究で確立された性能評価方法を、太陽光発電技術研究開発において新たに開発している太陽電池の評価に活用するなど、効率的、効果的な研究開発を図る。

## 7. プログラムの期間、評価等

プログラムの期間は2004年度から2010年度までとし、プログラムの中間評価を2007年度に、事後評価を2011年度に行うとともに、研究開発以外のものについては、2011年度に検証する。また、中間評価を踏まえ、必要に応じて基本計画の見直しを行う。

## 8. 研究開発成果の政策上の活用

- ・量産効果を通じて将来価格の低減が見込まれる新エネルギーについては、事業者のコスト削減意欲を弱めないよう配慮しつつ、導入者の負担を軽減するための措置を講じる。
- ・初期需要の創出や市場の拡大、国民に対する普及啓発に資するため、公共部門への新エネルギーの導入を図る。
- ・各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。特に、水素社会構築共通基盤整備事業及び固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業（ミレニアムプロジェクト）、携帯情報機器用燃料電池技術開発については、その成果を積極的に活用する。
- ・水素社会構築共通基盤整備事業等による水素の安全性に関する取得データを基に、安全確保を前提としつつ適切な規制となるよう各種現行規制の見直しを行う。
- ・プロジェクトを通じて得られた基礎データ等について、プロジェクト実施期間中から可能な限りデータを社会に提供する。

## 9. 改訂履歴

- （1）平成16年7月7日付け制定。固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム基本計画（平成16・02・03産局第6号）は、本プログラムに統合することとし、廃止。
- （2）平成17年3月31日付け制定。平成16年度プログラム基本計画（平成16・06・04産局第10号）は、廃止。

(参考)「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」(提案公募事業)で現在実施されている採択テーマは以下のとおり。

【バイオマスエネルギー転換要素技術開発】

(1-1)「固体酸化物電解セルを用いたバイオガスからの高純度水素製造プロセスの開発」(採択テーマ)

①概要

メタン発酵ガスを利用して電解セルで水蒸気を電気分解し、高純度水素ガスを製造する技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに単セルあたりの電解電圧0.5V以下を達成する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-2)「消化ガスからのメタン回収及び精製用VPSAプロセスの研究開発」(採択テーマ)

①概要

圧力変化を利用した吸着プロセスにより、バイオガス(メタン発酵ガス)からの不純物を除去し高純度(95vol%以上)メタンを回収する。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに95vol%以上の高純度メタンを回収する、等。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-3)「中圧水蒸気による下水汚泥の高効率燃料転換技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

2MPa・200℃の中圧水蒸気により下水汚泥を改質(乾燥・脱臭)し、利用しやすい燃料に転換する技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までにエネルギー効率84%以上。硫黄化合物臭気成分濃度処理前1/10を達成する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-4)「バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発」(採択テーマ)

①概要

木質バイオマスを直噴燃焼バーナとスターリングエンジン発電システムを組み合

わせることにより、高性能で低コストな小規模発電システムを開発する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までにバイオマス燃料効率99%以上、NOX エミッション 350ppm (6% O<sub>2</sub>) 以下、発電端効率 20% (LHV) 以上を達成する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-5)「バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発」(採択テーマ)

①概要

多品種混合バイオマスのガス化ガスからセラミックフィルタを用いた除塵技術の開発、及び、高機能炭素系充填材によるタール除去技術の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに木質系バイオマスガス化生成ガス中のタール除去率90%以上、多品種混合バイオマスガス化生成ガス中のダスト濃度を 0.1%/m<sup>3</sup> (NTP) 以下に低減、連続運転(一時停止を含む)700時間以上する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-6)「バイオマス廃棄物から高効率メタン製造・高度廃水処理技術の開発」(採択テーマ)

①概要

有機性廃棄物を水熱加水分解により可溶化し、高速メタン発酵により高効率にメタンを製造する技術と、発酵残渣を超臨海水酸化処理により無機ガスと水に分解して無害化するプロセスを開発する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに可溶化率70%以上、メタン生成量 35Nm<sup>3</sup>/t (豚ふん:汚泥:生ごみ=0.8:0.1:0.1、発酵液中の有機物量 TOC 80ppm 以下、T-N30ppm 以下)を達成する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-7)「ゼライト膜によるバイオマスエタノール濃縮の研究開発」(採択テーマ)

①概要

エタノール選択透過型ゼオライト膜を用い、従来の蒸留法よりも省エネルギーなバイオマスエタノール濃縮技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに透過速度 3L/m<sup>2</sup>・h、濃縮能力 10→90vol%を達成する。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-8)「マルチ振動ミルによる木質バイオマスの高効率微粉碎技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

木質バイオマスを高効率に粉碎するために、振動ミルを複合したマルチ振動ミルを開発する。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに100mesh以下(約150ミクロン以下)の微粉の生産性を単価消費エネルギー当たり3～5倍に向上させる。

③研究開発期間

2004年度～2006年度

(1-9)「バイオマスの高効率セメント燃料化技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

セメント製造燃料としてバイオマス資源を高効率・大量利用するための最適燃料技術及びバイオマスの粒度調節技術の開発。

②技術目標及び達成時期

2007年度までにバイオマスの燃料代替利用率10%増加

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(1-10)「バイオマス資源の有効利用のための熱輸送システムの研究開発」(採択テーマ)

①概要

バイオマスプラントで得られる未利用廃熱をパイプラインによらず広くプラント周辺の熱需要先に供給する「熱輸送システム」の開発。

②技術目標及び達成時期

2006年度までに熱回収率90%以上を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2006年度

(1-11)「加圧流動床ボイラにおける下水汚泥混焼技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

下水汚泥を加圧流動床ボイラを用いた石炭火力発電所で混焼し、下水汚泥の有する燃焼熱を有効に回収する技術の開発。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに石炭汚泥ペーストへの下水汚泥含有水分の利用率80%以上、

汚泥混焼率 0.5%以上を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2006年度

(1-12)「バイオマスエネルギー転換プロセスのゼロエミッション化と持続可能なエネルギーのリサイクルの要素技術開発」(採択テーマ)

①概要

転換プロセスで排出される最終残渣の再資源化と持続可能な木質バイオマス資源の安定供給を両立させる要素技術の開発

②技術目標及び達成時期

2007年度までに最終残渣の有効利用率 95%以上を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(1-13)「複合規格路網による山岳森林バイオマス収穫技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

地形急峻な山地に存する森林木質の低質材を効率的に収集する新機構モノレールの研究開発と作業路及び車両系機械と組み合わせた新たな作業システムの開発

②技術目標及び達成時期

2006年度までに収集能率 6 m<sup>3</sup>/人・日を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2006年度

(1-14)「複合規格路網による山岳森林バイオマス収穫技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

地形急峻な山地に存する森林木質の低質材を効率的に収集する新機構モノレールの研究開発と作業路及び車両系機械と組み合わせた新たな作業システムの開発

②技術目標及び達成時期

2006年度までに収集能率 6 m<sup>3</sup>/人・日を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2006年度

(1-15)「触媒懸濁スラリーによる家畜排泄物の高効率高温高圧ガス技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

含水率の高い家畜排泄物を効率的に燃焼ガス化するための技術開発。

②技術目標及び達成時期

2007年度までにシステムガス化効率80%以上を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(1-16)「高含水バイオマス省エネルギー蒸発脱水技術の研究開発」(採択テーマ)

①概要

水蒸気を圧縮して凝縮させ、潜熱を回収利用する革新的な高含水バイオマスの省エネルギー蒸発脱水技術の開発

②技術目標及び達成時期

2007年度までに成績係数(COP):10を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(1-17)「多燃料・多種不純物対応乾式ガス精製システム研究開発」(採択テーマ)

①概要

多種のバイオマスから得られるガスに含まれる不純物の一括処理が可能な乾式ガス精製システムの開発

②技術目標及び達成時期

2007年度までにHg除去率95%以上、HCI+HF除去率96%以上、H<sub>2</sub>S+CO<sub>2</sub>97%以上を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2007年度

(1-18)「バイオマスガス化副産物の効率的回収・リサイクルによる高効率化要素技術の開発」(採択テーマ)

①概要

バイオマスの高速ガス化において生成するチャーの回収、リサイクル技術及びタービン対策に資するガス精製一体型バイオマス供給装置の開発

②技術目標及び達成時期

2006年度までに冷ガス効率を5%向上する。

③研究開発期間

2005～2006年度

終了プロジェクト一覧

I. 太陽光発電

(1) 太陽光発電技術研究開発（運営費交付金）

① 概要

建材一体型等新商品の開発や価格の低下により導入が進みつつある太陽光発電の早期の市場自立化を図るため、結晶系に比べシリコン使用量が少ない薄膜太陽電池や、シリコン以外の材料を用いるCIS系太陽電池等、一層の高効率化と低コスト化を目指した先進的な技術開発を実施する。また、中長期的により一層の高効率化と低コスト化を目指して、色素増感型や球状型等、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術を開発する。

② 技術目標及び達成時期

2005年度までに、発電コストが2010年において家庭用電灯料金並みに、また、2020年において業務用電力料金並みになることを目指した技術を開発する。

③研究開発期間

2001年度～2005年度

II. 風力発電

(1) 風力発電フィールドテスト事業（運営費交付金）

①概要

風力発電の導入促進を図るため、風力発電の有望地域における精密な風況調査の実施及び地域特性に応じた具体的な運転データの解析・評価等（フィールドテスト）を行う。

② 技術目標及び達成時期

2005年度までに約450地点で風況調査を目指す。立地点の風力発電施設の設備利用率（平均）については約28%（設計段階）を目指す。

③研究開発期間

1995年度～2005年度

III. バイオマスエネルギー

(1) バイオマス混合燃料導入実証研究

①概要

カーボン・ニュートラルなバイオマス燃料を「揮発油等の品質の確保等に関する法律」により認められている混合許容値の範囲内において、既存の自動車用燃料であるガソリンや軽油に混合し、実際に流通させることにより、当該バイオマス混合燃料が供給・流通インフラへ与える影響の有無や流通に伴う燃料品質への影響度等

を実証的に研究・検証する。

②技術目標及び達成時期

2005年度を目途としてバイオマス混合燃料が供給・流通インフラに与える影響の有無や流通に伴う燃料品質への影響度等を評価する。

③研究開発期間

2004年度～2005年度

#### IV. 燃料電池/水素エネルギー利用

##### (1) 携帯情報機器用燃料電池技術開発（運営費交付金）

①概要

携帯情報機器の多機能化による消費電力増加及び使用時間増加という要求に応えるため、軽量で大きなエネルギー容量を有し、既存電池に比べ省エネルギー化を図ることが可能な燃料電池を開発する。さらに、携帯情報機器用燃料電池の普及を促進するため標準化を睨んだ安全確保及び性能試験方法等の調査研究及び基盤技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに、携帯用燃料電池の実用化技術の確立を図るとともに、安全確保及び性能試験法等の確立を図り、標準化に取り組む。

③研究開発期間

2003年度～2005年度

##### (2) LPガス固体高分子形燃料電池システム開発事業（運営費交付金）

①概要

LPガス固体高分子形燃料電池システムの設置・運転・評価を行いつつ、LPガスから水素を製造するための前処理装置の開発及び燃料改質システムの高効率化のための研究開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに、水素を製造する前処理装置、高効率かつ小型化したLPガス固体高分子形燃料電池システムの開発を行う。

③研究開発期間

2001年度～2005年度

##### (3) 製鉄プロセスガス利用水素製造技術開発事業

①概要

大量のエネルギーを消費する製鉄プロセスのエネルギー利用高度化により、燃料電池用の水素を大量かつ効率的に供給できるプロセスを構築するため、製鉄所が有するコークス炉から発生する副生ガス（コークス炉ガス）について、その保有顕熱を利用して効率的に改質し、水素に転換する技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに、コークス炉ガス固有のガス組成に対して反応性が高く耐久性を有する触媒、顕熱を利用し空気中の酸素を効率的に分離する固体電解質分離膜を開発するとともに、それらを組み合わせた高効率水素製造技術の開発を行う。

③研究開発期間

2001年度～2005年度

(4) 固体高分子形燃料電池システム実証等研究事業

①概要

固体高分子形燃料電池の環境性能、エネルギー総合効率等のデータや技術的課題など、開発・普及に必要な基礎的情報を得るため、技術の進展を踏まえつつ、燃料供給ステーションの実証を含む燃料電池自動車の公道走行試験、定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実使用条件下での運転試験等を行う。併せて、燃料電池／水素エネルギーの普及啓発を図る。

②技術目標及び達成時期

2005年度までに、水素供給ステーションについて複数の異なるタイプ（石油系燃料改質、副製ガス、水の電気分解）の実証試験を行うとともに、内外の企業の参加を得て燃料電池自動車、燃料電池バスの公道走行試験を実施する。これにより燃料電池の環境性能、エネルギー総合効率等のデータや技術的課題等、燃料供給インフラ整備の具体的検討、基準・標準の検討、民間企業の研究開発等に際して必要となる基礎的情報を得る。定置用燃料電池コージェネレーションシステムについては、2004年度までに実使用条件下での運転試験を行うことにより、開発・普及に必要な基礎的情報を得る。また、これらの実証試験に併せて、普及啓発活動を行うことにより、燃料電池／水素エネルギーの意義に関する社会の認識を深めることを目指す。

③研究開発期間

2002年度～2005年度（燃料電池自動車及び水素供給設備）

2002年度～2004年度（定置用燃料電池）

(エネルギーイノベーションプログラム)

## 「水素社会構築共通基盤整備事業」基本計画

燃料電池・水素技術開発部

### 1. 研究開発の目的・目標・内容

#### (1) 研究開発の目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池を含む新エネルギー技術は、科学技術基本計画(2006年3月)、エネルギー基本計画(2007年3月)等における重点分野としても位置付けられている。さらに、燃料電池については、燃料電池実用化戦略研究会(経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、平成11年12月設置)において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組むべきことが提言されている。また、2002年5月には、内閣官房に内閣府及び関係省庁の局長級で構成される「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、燃料電池の安全性の確保を前提とした燃料電池に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検が関係省庁の緊密な連携のもとで実施される等、燃料電池の新技术開発とともに、規制・技術基準の整備及び標準化の推進の重要性が認識され、官民挙げてその整備が進められている。

本事業においては、これらの動向を踏まえ、①燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得、②国際標準の提案、③製品性能を単一の物差しで評価する試験・評価手法の確立の3つを、燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素供給インフラ等に共通する燃料電池実用化のためのソフトインフラとして位置づけ、産業界との密接な連携のもとで、グローバル・マーケットの先取りを視野に入れた高度な技術基準及び標準化案を国内及び国際標準に提案するためのデータ取得及びそれに係わる技術開発を実施することを目的とする。

本事業の実施により、燃料電池を広く一般社会への普及を円滑に実現するための安全性の確保、標準化及び水素供給インフラ整備等が進展し、燃料電池の実用化及び国際競争力の確保に大きく貢献するものとする。

## (2) 研究開発の目標

国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、平成19年度を目途に規制再点検及び国際標準化の必要なテーマに対応するデータを取得し、そのデータを基に平成21年度までに国際標準案の作成等を行う。平成19年度時点での研究開発の目標は以下のとおりであるが、国内外の規制や標準化活動の今後の展開如何によって追加の必要が生じた項目については、逐次、追加的に実施する。なお、各研究項目の開発目標及び実施内容の詳細については、提案書に記載されたものを踏まえ、採択が決定した後、NEDO技術開発機構と提案者との間で協議の上、実施計画上で定めるものとする。

- ・ 規制の再点検：燃料電池自動車や定置用燃料電池システム等の普及、水素社会構築のためのインフラに係る法令等に関連するデータ取得等  
(車両やスタンドなどでの水素貯蔵システム、定置用燃料電池システム等の設置要件、水素インフラ等に係わるデータの取得等。)
- ・ 標準化：国際標準提案のためのデータ取得  
(製品性能を単一の物差しで評価、比較することが可能な試験・評価手法の確立のためのデータ取得及びその検討を行う。)

## (3) 研究開発の内容

上記の目的を達成するために、以下の項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ①燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発
- ②定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発
- ③水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO技術開発機構」という。)が、単独又は複数の企業、研究組合、公益法人等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定後、業務委託契約等を締結する研究体制を構築し、委託により実施する。

なお、「③水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」は、平成15年度から水素安全利用等基盤技術開発事業において実施してきた技術開発を本事業に統合したものであり、既契約委託先の研究開発内容を勘案した上で随意契約により実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NED

○技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、年に一回程度、事業を効率的に推進するために、情報共有、共通認識を目的に、本事業の実施者を一堂に会する報告会を開催する。

### 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は平成17年度～平成21年度の5年間とする。

### 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、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などについて、外部有識者による研究開発の中間評価を平成19年度、事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係わる技術動向、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

水素社会に向けた燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素インフラ等に係わる統一的な国内・国際標準への提案及び取得に努めるものとする。特に、70MPa 級タンクについては、その開発動向を見極めつつ、必要に応じてその規制見直しに関し、安全性にかかる問題の検討が行われるための試験データを関係省庁に提供していくことを検討する。

#### (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、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

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハに基づき実施する。

### 6. 基本計画の改訂履歴

#### (1) 平成17年2月制定。

(2) 平成18年3月、水素安全利用等基盤技術開発の中間評価結果反映に伴い、研究開発成果の取扱いの項を修正して改訂。

(3) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。

(4) 平成21年3月、研究開発テーマの追加による改訂。

## (別紙)研究開発計画

研究開発項目:水素社会構築共通基盤整備事業

### 1. 研究開発の必要性

燃料電池及び水素技術開発の進展により、更に高い圧力の圧縮水素、液体水素等より多くの水素を貯蔵・輸送するための水素貯蔵容器の普及が見込まれている。これに伴って、さらに高圧化した場合の安全性等の確認データを取得し、必要な技術基準等に反映することが必要である。さらに、当該分野における我が国の国際競争力確保のためには、標準化に必要なデータを取得し、世界に先駆けた高度な国際標準提案を行なう必要がある。このため、高圧水素や液体水素などを利用する燃料電池自動車やその関連技術についての関連する試験データ取得を行う必要がある。

また、燃料電池自動車の実用化を進めるに当たっては、ユーザーが納得する最高レベルの利便性及び走行性能向上と安全性及び信頼性の確立が必要であり、このためには、燃料電池自動車の技術レベルの進捗に合わせた評価手法の提案、評価試験装置の開発及び安全・信頼性に係わるデータ取得を行う必要がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1)燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

国内の燃料電池自動車に対する規制の再点検は、燃料電池及び水素技術開発の進展に伴って適時に実施していく必要があり、また、燃料電池自動車の国際競争力確保のためには世界に先駆けた高度な国際標準提案を行う必要があることから、高圧で圧縮水素や液体水素などを利用する燃料電池自動車やその関連技術についての試験データ取得を行う。

また、ユーザーが納得する最高レベルの利便性及び航続距離の伸長などの走行性能向上と安全性及び信頼性の確立のため、燃料電池車の技術レベルの進捗に合わせた評価手法の提案、評価試験装置の開発、安全・信頼性に係わるデータ取得を行う。

#### ①燃料電池性能評価法の標準化

- (ア)燃料電池新規材料の評価試験方法
- (イ)燃料電池耐久性評価試験方法
- (ウ)スタック・システム・車両性能評価試験方法

#### ②水素・燃料電池自動車の安全性評価

- (ア)高圧水素容器の安全性評価
- (イ)高密度水素貯蔵技術の安全性評価
- (ウ)インターフェイスの標準化
- (エ)要素部品の安全性評価

#### (2)定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

固体高分子形、固体酸化物形等の燃料電池システムの本格的普及に向け、ユーザーサイドに立った安全性、信頼性、環境性、経済性の試験評価手法を確立する必要がある。

また、システムの簡素化や過剰な安全装置等の省略、低コスト化へ導く基準・標準を整備する必要があるため、必要なデータを取得し、規制の再点検及び標準化に反映する。

①定置用固体高分子形燃料電池に係わる安全性確保のためのデータ収集

(ア)安全性に係わる課題対応のためのデータ収集

(イ)普及拡大に向けた検討

②次世代型燃料電池に係わる基準・標準化検討のためのデータ収集

(ア)固体酸化物形燃料電池に係わる基準・標準化検討のためのデータ収集

(イ)定置用燃料電池の連系時の課題検討(複数台設置などの単独運転防止装置機器有効性確認など)

③マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

(ア)安全性に係わる課題対応のためのデータ収集と課題検討

(イ)性能確認試験方法に係わる課題対応のためのデータ収集と課題検討

(ウ)互換性に係わる課題対応のためのデータ収集と課題検討

(3)水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

燃料電池自動車の導入・普及を推進するためには、早期に水素ステーションや車載用高圧容器等の水素供給・輸送インフラ普及のための各種基準を整備する必要がある。超高圧の圧縮水素、液体水素、水素貯蔵材料等を利用する燃料電池自動車等に対応できる水素インフラの安全性、設置要件に係わるデータ取得、性能評価手法の確立及び評価試験装置の設計・製作を行う。

①水素スタンド等に係わる基盤整備

(ア)安全基準案の作成のためのデータ収集

(イ)規制緩和に係わるデータの収集

②水素雰囲気下における材料の安全性検証

(ア) 35MPa 級圧縮水素対応金属材料の新規評価方法の開発

(イ) 超高圧水素対応金属材料の評価方法の開発

(ウ) 超高圧水素雰囲気下における特性データの収集

③水素基礎物性の把握

(ア) 高圧水素の特性把握

(イ) 液体水素の特性把握

(ウ) 水素燃焼・爆発特性の把握

3. 達成目標

国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、平成19年度を目途に必要なテーマに対応するデータを取得し、そのデータを基に平成21年度までに国際標準提案の作成等を行う。平成19年度時点での達成目標は以下のとおりであるが、国内外の規制や標準化について、業界等の要望、動向など、今後の展開如何によって追加の必要が生じた項目については、逐次、追加的に実施する。

・規制の再点検:燃料電池自動車や定置用燃料電池システム等の普及、水素社会構築のためのインフラに係る法令等に関連するデータ取得等

(車両やスタンドなどでの水素貯蔵システム、定置用燃料電池システム等の設置要件、水素インフラ等に係わるデータの取得等。)

- ・標準化：国際標準提案のためのデータ取得 (ISO/TC197、IEC/TC105 など)

(製品性能を単一の物差しで評価、比較することが可能な試験・評価手法の確立のためのデータ取得及びその検討を行う。)

以上

## 平成21年度実施方針

燃料電池・水素技術開発部

1. 件名：プログラム名 エネルギーイノベーションプログラム  
(大項目) 水素社会構築共通基盤整備事業

## 2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ハ

## 3. 背景及び目的・目標

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池を含む新エネルギー技術は、科学技術基本計画(2001年3月閣議決定)、エネルギー基本計画(2003年10月閣議決定)等における重点分野としても位置付けられている。さらに、燃料電池については、燃料電池実用化戦略研究会(経済産業省資源エネルギー庁長官の私的研究会、1999年12月設置)において「固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術開発戦略」が策定され、産学官が一体となって燃料電池実用化のための技術開発等に積極的に取り組むべきことが提言されている。また、2002年5月には、内閣官房に内閣府及び関係省庁の局長級で構成される「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、燃料電池の安全性の確保を前提とした燃料電池に係る6法律28項目の関連規制の包括的な再点検が関係省庁の緊密な連携のもとで実施される等、燃料電池の新技術開発とともに、規制・技術基準の整備及び標準化の推進の重要性が認識され、官民挙げてその整備が進められている。

本事業においては、これらの動向を踏まえ、①燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等、②国際標準の提案、③製品性能を単一の物差しで評価する試験・評価手法の確立の3つを燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素供給インフラ等に共通する燃料電池実用化のためのソフトインフラとして位置付け、産業界との密接な連携のもとで、グローバル・マーケットを視野に入れた先取の高度な技術基準、標準化案を国内及び国際標準に提案するためのデータ取得に必要となる技術開発を実施することを目的とする。

この目的のため、国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、2007

年度(平成19年度)を目途に規制再点検及び国際標準化の必要なテーマに対応するデータを取得し、そのデータを基に2009年度(平成21年度)までに例示基準案等規制再点検に資する素案や国際標準案の作成等を行う。2008年度(平成20年度)時点での目標は以下のとおり。なお、各研究項目の開発目標及び実施内容の詳細については、NEDO技術開発機構と実施機関との間で協議の上、実施計画上で定めるものとする。

- ・規制の再点検:燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラに係る法令等に関連するデータ取得等  
(車両やスタンドなどでの水素貯蔵システム、定置用燃料電池の設置要件、水素インフラ等に係わるデータ取得など。)
- ・標準化:国際標準提案のためのデータ取得  
(製品性能を単一の物差しで評価、比較することが可能な試験・評価手法の確立のためのデータ取得及びその検討を行う。)

#### 4. 実施内容及び進捗(達成)状況

##### (1)平成20年度(委託)事業内容

平成20年度は、平成19年度に引き続き、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」  
(実施体制:財団法人日本自動車研究所)

##### ・水素・燃料電池自動車の安全性評価

自動車用圧縮水素容器については、強度試験、過酷環境下での充填・放出試験、ガスサイクル試験、充填CAE解析、シリーズ試験などを実施し、技術基準の合理化検討に資するデータを得た。車両に関しては、局所火炎暴露試験、強度試験、燃料システムでの充填・消費試験、実車水素帯電試験など道路運送車両法の技術基準の合理化(容器などの保護)、自動車用圧縮水素容器の技術基準の合理化ならびにHFCV-gtrの策定に資するとともに、充填コネクタ安全性評価も行い70MPa級充填コネクタ構造の標準化の活動に資するデータを得た。また、消火試験などを行い、消火・救助活動に関する安全情報のデータを取得した。

##### ・燃料電池性能評価法の標準化

不純物や付臭剤の水素循環系での挙動、発電性能低下の加速条件などについて調査し、燃料品質規格の策定、水素の安全な取り扱いのためのデータを取得すると共に材料性能を評価するための膜触媒発電評価法、耐久性能を評価するための発電評価法の検討を行った。また、車両改造不要な燃費計測手法の高精度化に向けた検討を行った。

##### ・基準・標準化活動

(ア)国内での基準・標準化活動

燃料電池自動車(FCV)基盤整備委員会で構成される、解析・技術部門の安全WG、高圧容器技術WG、燃料性状WG、性能WGでの技術審議と共に、標準化部門の燃料電池自動車(FCV)特別分科会、用語標準化WG、安全標準化WG、燃料標準化WG、性能標準化WGにおいて各活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国内基準・標準作りへ反映させた。

#### (イ)海外での基準・標準化

ISO/TC22/SC21(電気自動車)、ISO/TC197(水素技術)、SAE(米国自動車技術会)、FCTESQA、UN-ECE/WP29/AC3HFCVなど関連する国際標準、国際基準策定活動に参画し本事業の成果を反映させた。

### 研究開発項目②「定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

(実施体制:社団法人日本ガス協会、財団法人日本ガス機器検査協会、社団法人日本電機工業会)

#### ・定置用固体高分子形燃料電池システムの普及拡大に向けた検討

集合住宅設置における安全要件及び設置基準に係るデータ収集の実施と妥当性検証を実施した。

#### ・定置用燃料電池システムの系統連系時における課題抽出・検証評価

定置用燃料電池以外の分散電源における系統連系時の課題検討状況調査を完了した。また、既存電力供給設備との系統連携における省力化を目的に複数台連携時の単独運転検出機能が干渉しにくいと考えられる方式について、解析シミュレーション及び実験にて検証評価した。

#### ・国内外の標準化活動

国内標準と国際標準との比較精査を実施し、IEC/TC105へのJISの反映を推進すべく、国際標準へ提案すべき内容を抽出した。国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動を推進する。小規模定置用燃料電池の性能試験法標準化に係るデータ収集を実施した。固体酸化物形燃料電池の国際標準化原案を作成した。

### 研究開発項目③「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

#### ・水素スタンド等に係る基盤整備

「水素インフラに関する技術研究」においては、70MPa級充填対応水素スタンドのリスク評価、同スタンドディスペンサーの安全検証、同スタンド蓄圧器材料の安全性検証を継続して実施した。また、普及型のモデルスタンドについて、想定される事故を抽出したリスク評価をもとに安全検証課題として抽出されたリスクの実験検証と安全対策案の評価をすすめた。

(実施体制:財団法人石油産業活性化センター(共同実施)出光興産株式会社、  
 (共同実施)財団法人エンジニアリング振興協会、(再委託)高圧昭和ポンベ株式会社、  
 (再委託)住金機工株式会社、三菱重工工業株式会社、株式会社日本製鋼所、有限  
 責任中間法人日本産業・医療ガス協会、株式会社タツノ・メカトロニクス)

・水素雰囲気下における材料の安全性検証

「水素用材料基礎物性の研究」においては、自動車工業会等関連業界からの要望に基づき候補材料拡大に関し、70MPa級車載容器ならびに高圧水素供給設備用配管、バルブ、継手用材料等の機械特性及び疲労特性データを継続取得・有効性を評価した。また、非金属材料、液体水素用構造材料、極低温ガス環境下での材料の基礎物性を継続取得した。

(実施体制:財団法人金属系材料研究開発センター(再委託)独立行政法人産業技術総合研究所、(再委託)独立行政法人物質・材料研究機構、(再委託)国立大学法人九州大学、愛知製鋼株式会社、新日本製鐵株式会社、住友金属工業株式会社、高圧ガス保安協会)

「水素用アルミ材料の基礎研究」については、高圧圧縮水素容器ライナーに使用される高強度材料や部品材料の候補拡大等を目的として、特に実用材である高強度6000系合金の疲労特性、疲労き裂進展特性、靱性評価、水素侵入量と水素脆化との相関等安全設計に資するデータを取得し、高強度6061材(6061HS)の有効性を確認した。また材料の効率的スクリーニング手段の確立と水素による材料劣化メカニズムの解明を目指し、高圧水素ガスの代替効果が期待できる水蒸気圧による材料劣化の検証ならびにアルミ材料中の水素挙動の解析を行った。

(実施体制:社団法人日本アルミニウム協会(再委託)千葉工業大学、(共同実施)国立大学法人茨城大学、(共同実施)国立大学法人山口大学、(共同実施)国立大学法人京都大学、(共同実施)国立大学法人大阪大学、住友軽金属工業株式会社、三菱アルミニウム株式会社、古川スカイ株式会社、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、昭和電工株式会社)

(2)実績推移

	17年度	18年度	19年度	20年度
実績額推移(百万円):				
需給勘定	2,717	3,991	2,340	1,240
特許出願件数(件)	3	3	3	0
論文発表数(報)	69	45	43	23
フォーラム等(件)	86	46	100	42

5. 事業内容

(1)平成21年度(委託)事業内容

本研究開発は、燃料電池・水素技術開発部が中心となって研究開発マネジメントを行い

ながら実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

#### 研究開発項目①「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

(実施体制:財団法人日本自動車研究所-(再委託追加予定)財団法人エンジニアリング振興協会)

##### ・水素・燃料電池自動車の安全性評価

これまでに取得してきた容器強度試験データおよび三次元解析モデルを用いた解析データのさらなる充実を図り、共同容器基準や充填プロトコル策定に資する。また、共同容器基準で規定しようとするシリーズ試験を行い、これらの試験手法の妥当性を検討する。

##### ・燃料電池性能評価法の標準化

異なる材料から作製したMEAについて、各プロトコル案（FCGJ、USFCG等）で高電位保持試験、負荷応答試験、起動停止試験を実施し、従来のMEAで得られた性能低下と比較することで、耐久性に及ぼすプロトコルの違いの影響を調査し、MEA耐久評価法案を作成する。

##### ・基準・標準化活動

###### (ア)国内での基準・標準化活動

燃料電池自動車(FCV)基盤整備委員会で構成される、解析・技術部門の安全WG、高圧容器技術WG、燃料性状WG、性能WGでの技術審議と共に、標準化部門の燃料電池自動車(FCV)特別分科会、用語標準化WG、安全標準化WG、燃料標準化WG、性能標準化WGにおいて各活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国内基準・標準作りへ反映させる。

###### (イ)海外での基準・標準化

ISO/TC22/SC21(電気自動車)、ISO/TC197(水素技術)、SAE(米国自動車技術会)、FCTESQA、UN-ECE/WP29/AC3HFCVなど関連する国際標準、国際基準策定活動に参画し本事業の成果を反映させる。

#### 研究開発項目②「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

(実施体制:社団法人日本ガス協会、財団法人日本ガス機器検査協会、独立行政法人産業技術総合研究所、社団法人日本電機工業会-(再委託)財団法人電気安全環境研究所)

##### ・定置用固体高分子形燃料電池システムの普及拡大に向けた検討

集合住宅設置における安全要件及び設置基準に係るデータ収集の実施と妥当性検証を完了する。

・定置用燃料電池システムの系統連系時における課題抽出・検証評価

複数台連携時の単独運転検出機能が干渉しにくいと考えられる方式について検証評価を完了する。

・マイクロ燃料電池システム等の安全性・互換性・性能確認試験方法の開発・データ収集・評価

燃料電池の新規利用形態の拡大、使用環境の拡がり等を考慮した高出力特性等の性能特性向上によって必要となる燃料容器等の周辺機器を含めたシステムの安全性・性能評価・互換性の基準の設定・国際標準化(IEC/TC105 等への提案)、規制緩和(国連/危険物輸送に関する勧告などへの提案)に資する試験データの取得、試験方法の開発、基準案の作成を行う。

・国内外の標準化活動

国内標準と国際標準との比較精査を実施し、国際標準へ提案すべき内容の抽出を完了する。国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動を推進する。小規模定置用燃料電池の性能試験法標準化に係るデータ収集を完了する。

研究開発項目③「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

・水素スタンド等に係る基盤整備

「水素インフラに関する技術研究」においては、70MPa級充填対応水素スタンドのリスク評価、同スタンドディスペンサーの安全検証、同スタンド蓄圧器材料の安全性検証を継続して実施する。特に 70MPa 充てん対応水素スタンドの規制見直しに向けて保安距離や隔離距離等を検討するため、水素を用いた実験及び数値シミュレーションにより、拡散濃度及び爆風圧、火炎長さ等のデータを取得し解析・評価を行う

(実施体制:財団法人石油産業活性化センター―(共同実施)出光興産株式会社、―(共同実施)財団法人エンジニアリング振興協会、―(再委託)高圧昭和ボンベ株式会社、―(再委託)住金機工株式会社、三菱重工業株式会社、株式会社日本製鋼所、有限責任中間法人日本産業・医療ガス協会、株式会社タツノ・メカトロニクス)

・水素雰囲気下における材料の安全性検証

「水素用材料基礎物性の研究」においては、自動車工業会等関連業界からの要望に基づく候補材料拡大に関し、70MPa級車載容器ならびに高圧水素供給設備用配管、バルブ、継手用材料等の機械特性及び疲労特性データを継続取得・有効性を評価する。また、非金属材料、液体水素用構造材料、極低温ガス環境下での材料の基礎物性を継続取得する。加えて長期間使用された液体水素関連機器の実材料の材料特性評価を実施し、長期使用材の劣化有無の把握および安全性の検証を行う。

(実施体制:財団法人金属系材料研究開発センター―(再委託)独立行政法人産業技術総合研究所、―(再委託)独立行政法人物質・材料研究機構、―(再委託)国立大学法

人九州大学、愛知製鋼株式会社、新日本製鐵株式会社－(再委託追加予定)新日鐵住金ステンレス株式会社、住友金属工業株式会社、高圧ガス保安協会)

「水素用アルミ材料の基礎研究」については、燃料電池自動車や水素スタンド等関連業界の要望に基づき、たとえば、高圧圧縮水素容器ライナーに使用される高強度材料や部品材料の候補拡大を目的として、引き続き実用材である高強度6000系合金(特に6066材)を中心に疲労特性、疲労き裂進展特性、靱性評価、水素侵入量と水素脆化との相関等安全設計に資するデータを取得する。また材料の効率的スクリーニング手段の確立と水素による材料劣化メカニズムの解明を目指し、高圧水素ガスの代替効果が期待できる水蒸気圧による材料劣化の検証ならびにアルミ材料中の水素挙動の解析を継続実施する。

(実施体制:社団法人日本アルミニウム協会－(再委託)千葉工業大学、－(共同実施)国立大学法人茨城大学、－(共同実施)国立大学法人山口大学、－(共同実施)国立大学法人京都大学、－(共同実施)国立大学法人大阪大学、住友軽金属工業株式会社、三菱アルミニウム株式会社、古川スカイ株式会社、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、昭和電工株式会社)

## (2)平成21年度事業規模

需給勘定 900百万円(継続)

## 6. その他重要事項

### (1)運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに、本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。具体的には、NEDO技術開発機構に設置する、外部有識者で構成する「水素社会構築共通基盤整備事業推進助言委員会」における意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。

### (2)複数年度契約の実施

平成17～19年度の複数年度契約を締結しており、同契約を平成21年度まで延長し、当初目的を完遂する。

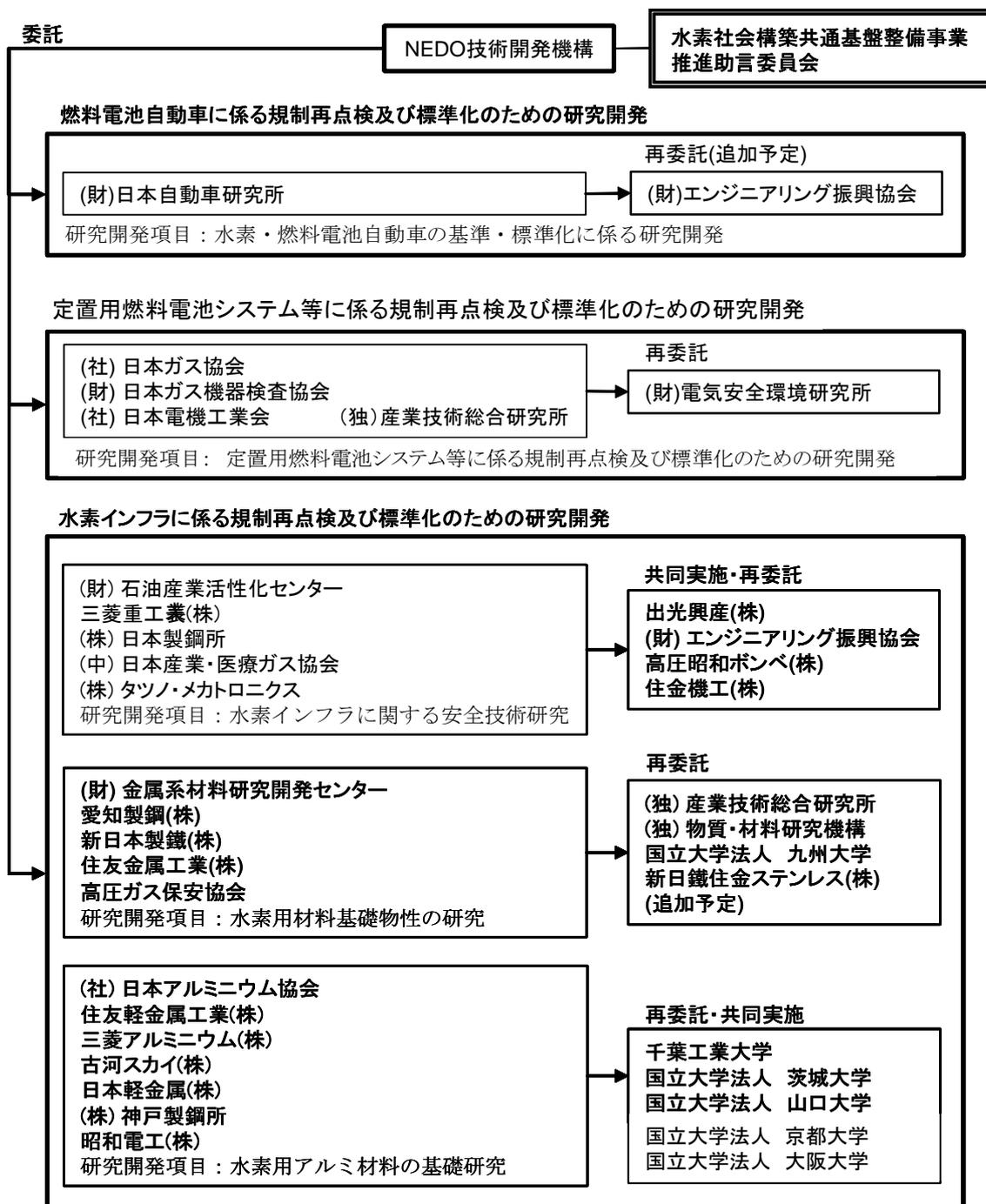
## 7. スケジュール

平成21年3月 部長会

## 8. 実施方針の改訂履歴

(1)平成21年3月 制定

(別紙) 事業実施体制の全体図



## 用語集(水素・燃料電池自動車の基準・標準化に係る研究開発)

用語	定義
AC3	gtrを審議・策定しているWP29傘下の第3運営委員会で欧州経済委員会(Administrative Committee for co-operation)の略称。
CD	委員会原案(Committee Draft)の略称
DIS	国際規格原案 (Draft of International Standard) の略称
ISO/DIS23828-1	「燃料電池自動車-効率測定法」の国際標準案
DTS	技術仕様書案
ENAA	財団法人エンジニアリング振興協会の略称。NEDO水素安全等基盤技術開発の中でISO/TC197の活動を推進。ISO/TC197の審議団体でもある。
EV	電気自動車 (Electric Vehicle) の略称。電気を使用して走るモータ駆動の自動車。
FC	燃料電池 (Fuel Cell) の略称。燃料及び酸化剤が外部から連続的に供給され、電気化学反応によって連続的に発電する装置。燃料がもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し発電する発電機。
FCSC	Fuel Cell Standard Committee (燃料電池標準化委員会)
FCTESQA	欧州FP6研究開発枠組みで実施しているプロジェクトで、燃料電池試験手順及び方法の確認及び比較評価を行う。その成果により、燃料電池の性能試験、安全性、品質保証の方法の目指している。さらに、国際標準化団体への情報提供を行うことを目指している。
FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) の略称。燃料電池の発電した
FDIS	最終国際規格案 (Final Draft of International Standard) の略称
GRPE	WP29の下に設けられた6つの専門分科会のひとつである排出ガス専門分科会(Working Party on Pollution and Energy)の略称
gtr	自動車の安全・環境に関する世界統一基準 (global technical regulation) の略称。
HEV	ハイブリッド電気自動車 (Hybrid Electric Vehicle) の略称。一般的にはハイブリット車と呼ばれる、ガソリンエンジンと電気モーターを組み合わせる動力源とする自動車。
IEC	International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)
IEC/TC69	ISOに設置された69番目の専門委員会で「電気自動車および電動車両産業」を取り扱う。
IPHE	水素経済のための国際パートナーシップ (International Partnership for Hydrogen Economy) の略称。米国や途上国を含む15ヶ国及びEUが、水素経済への移行に向け、基礎的・競争前段階の国際協力や規格・基準の国際調和などに協力して取り組むための枠組み。
IS	International Standard (国際規格)
ISO	International Organization for Standardization (国際標準化機構)
ISO/DIS13509	「熱と炎に対する耐火服-服全体の試験方法-センサー付きマネキンを使用した火傷傷害の予測」の国際標準
ISO/DTS14687-2	「燃料電池自動車用水素規格」 技術仕様書案

ISO/TC197	ISOに設置された197番目の専門委員会で「水素技術」を取り扱っている。
ISO/TC197/WG12	水素技術専門のTC197番にもうけられた「燃料電池自動車用水素燃料仕様」の国際規格作成作業を行うWG。
ISO/TC197/WG5	水素技術専門のTC197番にもうけられた「水素充填コネクタ」の国際規格作成作業を行うWG。
ISO/TC197/WG6	水素技術専門のTC197番にもうけられた「車載用高圧水素タンク」の国際規格作成作業を行うWG。
ISO/TC22	ISOに設置された22番目の専門委員会で「自動車」を取り扱う。
ISO/TC22/SC21	TC22の下に設置された21番目の分科委員会で電気自動車を取り扱う。
ISO/TC22/SC21/WG2	電動車両の性能・燃費試験法のIS化に関する議論を行うワーキンググループ
ISO17268	「圧縮水素路上車両燃料補給接続装置」の国際標準
ISO232731~3	「電気自動車の安全仕様」の国際標準
JAMA	社団法人日本自動車工業会の略称。ISO/TC22（SC21電気自動車を除く）の審議団体でもある。
JARI	財団法人日本自動車研究所の略称。NEDO水素社会構築共通基盤整備事業の中でISOTC22/SC21やその他の標準化活動を推進。ISOTC22/SC21の審議団体でもある。
JARI-S001	高圧ガス保安法容器保安規則でJARI基準の圧縮水素自動車燃料装置用容器技術基準が例示基準として引用されている。
JASIC	自動車基準認証国際化研究センター
JEMA	社団法人日本電機工業会中でIEC/TC105やその他の標準化活動を推進。IEC/TC105の審議団体でもある。
NWIP	New Work Item Proposal（新作業項目）
PHEV	プラグインハイブリッド電気自動車（Plug-in Hybrid Electric Vehicle）の略称。商用電力から充電することができるHEV。
SAE	Society of Automotive Engineers（米国自動車技術会）
SC	TCの下に必要なに応じて設置される分科委員会(Sub-committee)の略称。作業グループ(WG:Working Group)等によって、他のIEC/TC又は他の国際機関との関係のもとに国際規格を作成する。
TC	専門委員会（Technical Committee）の略称。標準管理評議会（SMB）が承認した作業範囲で作業計画を立て、その作業を実行して国際規格を作成する委員会。
TS	Technical Specification（技術仕様書）
UN/ECE	国際連合（UN:United Nations）の経済社会理事会の地域経済委員会の一つで、。
WD	作業原案（Working Draft）の略称 新作業項目（NWIP）→作業原案（WD）→委員会原案（CD）→国際規格原案（DIS）→最終国際規格案（FDIS）→国際規格（IS）の行程を経て国際標準となる。

WG	TCまたはSCの作業範囲内の国際規格作成作業を行うことを目的にTCまたはSCにより設置される作業グループ（Working Group）の略称。個々に任命を受けた専門家によって構成される。
WP29	<p>World Forum for Harmonization of vehicle Regulations  （自動車基準調和世界フォーラム）自動車基準を国際的に調和することや、認証を輸出入国あるいは地域間でお互いに認め合う相互承認の導入を図ること等を目的としたフォーラムで協定に基づく規則の制定・改正作業を行うとともに、以下の協定の管理・運営を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「車両等の型式認定相互承認協定(略称)」(通称「1958年協定」)</li> <li>・「車両等の世界的技術規則協定(略称)」(通称「1998年協定」)</li> <li>・「国連の自動車検査協定(略称)」メンバーは国土交通省</li> </ul>

用語集（定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発）

	用語	説明
い	インナーバルコニー	集合住宅に設けられるバルコニーのうち、3面が壁等で覆われ、1面しか外気に面していないバルコニー
	インバータ	直流電力を交流電力に変換する装置。
う	ウォッチドッグタイマ	制御装置異常を検出する装置。マイコンが正常に動作しているかどうかを、常時監視するためのタイマである。マイコンが異常動作となると、ウォッチドッグタイマのリセット命令をマイコンからウォッチドッグタイマへ送れないため、ウォッチドッグタイマはタイムアップし、システムの停止動作に移行する。
え	エミッション	ある発生源から電磁エネルギーが放出する現象。
	円筒形燃料電池	円筒状の単セルから構成される燃料電池。 【発電部の形状によって円筒縦縞形及び円筒横縞形がある。】
お	オートサーマル改質	水蒸気改質と部分酸化改質との両方を用いたもので、改質反応を熱的に自立させることができる。
	屋外式	屋外に設置している機器
	オフガス	電気化学反応に使用されずにセルスタックから排出される燃料ガス。【オフガスは、改質器やセルスタックの昇温に使用されたり、触媒燃焼させて排熱回収に使用されたりするが、その方法は燃焼電池の種類によって異なる。】
か	改質ガス	燃料・改質系設備に供給された原燃料を例えば水と反応させて、水素濃度の高いガスに変換したもの。
	改質型固体高分子形燃料電池	固体高分子形燃料電池のうち、炭化水素を原燃料とし、システム内部で改質反応を行って水素を製造し発電に使用するもの。
	改質器	改質反応によって水素濃度の高いガスを得る反応器。 【プレート形改質器、単管式改質器、多管式改質器、多管二重管式改質器、多管多重円筒式改質器などがある。】
	改質器バーナ失火	改質器のバーナの火炎が失火した状態。
	ガスパージ	停止又は起動の場合、反応ガス、水蒸気などのガスを対象装置の系統外へ排除する保護操作。【燃料電池系設備、燃料・改質系設備などの対象装置によって窒素、空気、水蒸気などが用いられる。用いるガス名をつけて窒素パ

		ージなどというのが一般的。】
	解列	発電設備を商用電力系統から切り離すこと。【発電設備を商用電力系統に接続することを並列という。】
か	可燃性ガス検知器	可燃性ガスの漏えいを検知する検出器。【対象とする可燃性ガスの爆発下限界（水素その：4%）の 1/4 以上の濃度の時に、60 秒以内に信号及び警報を発しなければならない。】
	可燃性ガス漏えい	原燃料あるいは改質ガスなどの可燃性ガスが装置外へ漏えいした状態。【パッケージ内への漏えいも含む。なお、パッケージはキャビネット又はきょう(筐)体と表現する場合もある。】
	可搬用燃料電池	可搬用に用いる燃料電池発電設備。
	換気装置	機械的手段によって空気を燃料電池システムのパッケージに供給又は排気するシステム。【パッケージをキャビネット又はきょう(筐)体と表現する場合もある。】
き	起動時間	保管停止状態を維持するのに外部電力が不要のものにおいては、停止状態から送電するまでに要する時間（保管停止状態を維持するのに外部電力が必要なものにおいては、保管停止状態から送電するまでに要する時間。）
け	系統連系運転	燃料電池発電設備を商用電力系統に併入した状態での運転。
	原燃料	燃料電池設備へ外部から供給される燃料。
こ	高位発熱量（HHV）	燃料を完全燃焼させたときの水蒸気の凝縮潜熱を含めた発熱量。【通常は単位量当たりの発熱量で示す。】
	小形燃料電池システム	定格送電電力 10kW 未満で燃料・改質系統設備の最高使用圧力が 0.1MPa 未満の燃料電池システム。
	固体高分子形燃料電池	電解質に固体のプロトン交換膜を用いる燃料電池。英語表記 Polymer Electrolyte Fuel Cell の頭文字をとって PEFC と表現されることが多い。一般には、改質型固体高分子形燃料電池のことを指す。【電解質として、パーフルオロエチレンスルホン酸系膜などを用いる。電池作動温度は、常温～80℃である。】
	固体酸化物形燃料	電解質に高温でイオン導電性をもつ酸化物を用いる燃

	電池	料電池。英語表記 Solid Oxide Fuel Cell の頭文字をとって SOFC と表現されることが多い。【電解質として、イットリア安定化ジルコニアを用いることが多い。一般的な電池作動温度は 700～1000℃である。】
さ さ	最低出力	燃料電池発電設備が安定に連続運転できる送電端出力の最小値。【燃料電池発電設備には、セル電圧の制限値、回転機の制御範囲、熱バランス上の制約などによって最低出力が存在する場合がある。】
	酸素濃度換算	排気ガス濃度測定において、システムの排気口出口付近で排気ガスをサンプリングすると周辺の大気による希釈の影響を受けるため、大気希釈後の実測値から、酸素濃度に着目した計算式により、大気希釈前の濃度を換算すること。一般に、ガス機器においては、燃焼直後の酸素濃度は 0%であるとの仮定により、酸素濃度 0%換算を行う。
し	純水素駆動型固体高分子形燃料電池	固体高分子形燃料電池のうち、純水素を原燃料とし、改質反応を行うことなく発電に使用するもの。
	準尖頭値	準尖頭値検波によって指示された値である。インパルス性の高い放射に対しては、尖頭値（ピーク値）検波では正しく指示されないため、検波器等の時定数が長い準尖頭値検波が使用される。
	常圧形燃料電池	作動圧力が大気圧近傍の燃料電池。
	昇圧ポンプ	原燃料を所定の圧力に昇圧するためのガス圧縮機。
	小出力発電設備	電気事業法施行規則で定められた一般用電気工作物の一分類であり、構造面、機能面で事業用電気工作物よりも安全性の高い小形の分散型電源が小出力発電設備として認められている。固体高分子形燃料電池では、燃料・改質系統設備の最高使用圧力が 0.1MPa 未満（液体燃料を通ずる部分にあつては、1.0MPa 未満）であつて出力 10kW 未満のものが小出力発電設備として定められている。【小出力発電設備は、電気主任技術者の選任が不要である、保安規定の届出が不要である、などの点で事業用電気工作物と異なる。】
す	水蒸気改質	炭化水素などの原燃料を、Ni 系などの触媒を用いて所定の温度のもとで水蒸気と改質反応させて水素を得る方式。【水素、二酸化炭素、一酸化炭素などの混合ガスが得られる。】

せ	制御装置異常	制御系設備に異常が生じた状態。制御系設備が動作しなくなった状態を制御機能喪失状態と呼ぶ。
	制御電源電圧低下	制御系設備の電源電圧が著しく低下した状態。
	セルスタック	単セルの積層体であり、セパレータ、冷却板、出力端子などの附属品を含めたもので、燃料電池の基本構成単位。
	セル電圧	セルスタックにおける燃料極と空気極両電極との間の電位差。
	セルスタック電圧低	セルスタック出力端の直流電圧が規定値以下の状態。
そ	総合効率	燃料電池発電設備から出力される電気エネルギー及び燃料電池発電設備から回収される熱エネルギーの合計を投入する原燃料の発熱量で除した値。【発電効率と排熱回収効率との和になる。なお、高位発熱量(HHV)及び低位発熱量(LHV)基準の熱効率がある。】
た	耐久性	燃料電池システムの評価項目(セル電圧、発電効率など)が、定められた基準値に達するまでに要する発電時間、発電回数など。
	単セル	燃料極、空気極と電解質(又はマトリックス)とが一組となって構成される電池の基本構成単位。
	単独運転	燃料電池発電設備が接続する商用電力系統の一部が系統電源と切り離された状態において、局所的に自家用発電設備群だけで発電し、逆潮流を行い線路負荷に電力を供給している状態。
	単独運転検出機能	燃料電池が単独運転となった状態を検出するための、パワーコンディショナに搭載された保護機能。検出方式として、能動方式(無効電力等を変動させるなどの能動信号を使用する方式)と受動方式があり、単独運転を検出した場合は系統と遮断しなければならない。
ち	潮流(有効電力/無効電力)	商用電力系統から燃料電池発電設備へ向かう有効電力の流れ 有効電力: 負荷で実際に消費される電力であり、単位はワット(W)で量記号は P。 無効電力: 負荷と電源とで往復するだけで消費されない電力であり、単位はヴァール(var)で量記号は Q。

	貯湯ユニット	燃料電池ユニットの排熱で回収した温水を貯蔵するためのタンク（貯湯槽）を筐体内に設置した、燃料電池を構成するユニット。貯湯槽のお湯がなくなった場合に備えて、バックアップ用のボイラーを備えている場合が多い。
て	低位発熱量（LHV）	燃料を完全燃焼させたときの水蒸気の凝縮潜熱を差し引いた発熱量。【通常は単位量当たりの発熱量で示す。】
	定格出力	燃料電池発電設備において基準として定められた有効電力値で表す。【送電端出力及び発電端出力の2種があるが、燃料電池発電では送電端出力で表す。】【定格出力で運転している運転状態を「定格運転」という。】
	定置用燃料電池	固定して用いる燃料電池発電設備。【集中電源用燃料電池、分散電源用燃料電池、オンサイト用燃料電池及び家庭用燃料電池がある。】
と	独立運転	系統連系機能をもたず、燃料電池発電設備を商用電力系統及びほかの発電設備から独立して運転している状態。
は	排熱回収装置	水蒸気分離器のセルスタック冷却水の余剰熱並びにセルスタックの排空気の保有熱及び改質器の燃焼排ガスの保有熱を、水蒸気又は温水に変換する装置で、熱交換器、給水加熱器、蒸気過熱器などで構成される。
ふ	負荷追従	燃料電池発電設備の負荷量（送電端出力）を変化させるときの負荷応答
	負荷変動	ある負荷変動指令とともに発電ユニット出力電圧が、指令値に自動的に変化すること。
ね	熱収支	改質器、セルスタック、排熱回収装置等における、燃料、空気、水等の熱媒体の熱の収支。
	熱利用設備	燃料電池設備からの熱出力を利用するための設備で、排熱回収及び熱利用のための設備をいう。【これらは排熱回収装置、吸収式冷凍機、給湯設備などで構成される。】
	燃料ガス	燃料電池の燃料極へ供給されるガス。【改質ガスを更に変成器で処理する場合など、原燃料によってガス成分に違いがある。】
	燃料電池	燃料及び酸化剤が外部から連続的に供給され、電気化学反応によって連続的に発電する装置。【セルスタック、集電板、絶縁板、締付板、反応ガスマニホールド

		などからなる発電装置。】燃料がもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し発電する発電機。
	燃料電池燃料電池発電所	燃料及び酸化剤が外部から連続的に供給され、電気化学反応によって連続的に発電する装置。【セルスタック、集電板、絶縁板、締付板、反応ガスマニホールドなどからなる発電装置。】燃料がもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し発電する発電所。燃料電池発電設備のほか、管理棟などから構成。 (電気設備の技術基準を定める省令で用いられる用語)
	燃料電池コージェネレーションシステム	燃料電池発電設備と熱利用設備とから構成される設備。
	燃料電池システム	定置用燃料電池システムの総称であり、コージェネレーションシステム（本事業で現在までに調達した燃料電池システム供試体は全てコージェネレーション仕様である）の場合においては燃料電池の発電ユニット、貯湯ユニットによって構成される。
ね	燃料電池設備	燃料電池系設備、燃料・改質系設備、空気系設備、水・蒸気系設備、制御系設備などから構成。 (電気設備の技術基準を定める省令で用いられる用語)
	燃料電池発電設備	燃料電池設備のほか、電気設備、附帯設備などから構成。 (電気設備の技術基準を定める省令で用いられる用語)
	燃料電池モジュール	所要出力を得るために一つ又は複数のセルスタック、燃料、酸化剤、排気ガス及び電力の接続部で構成されたセルスタック群。【制御システム及び冷却用設備の一部並びに収納容器、換気設備など周辺機器も含めて構成する場合もある。】
	燃料利用率	セルスタック内で発電のために消費する燃料量をセルスタック入口の燃料量で除した値。
は	排熱回収熱効率	排熱回収装置によって回収した熱量を燃料電池発電設備に投入される原燃料のもつ発熱量で除した値。【高位発熱量(HHV)及び低位発熱量(LHV)基準の熱効率がある。】
	排気還流	燃焼機器の排気口から排出した排気ガスが、同じ機器

		の給気口に流入する現象
	パイプシャフト	集合住宅などにおいて、堅方向の各種配管（給排水管やガス管等）を通すために、床や天井などを貫通して設けられる垂直方向の空間のこと。
	発電効率	燃料電池発電設備に投入される原燃料のもつ発熱量に対する送電電力量（熱量換算）の比。【送電電力量とは、発電電力量から設備内の補機などによる所内動力の消費電力量を差し引いたもの。】
	発電ユニット	燃料電池発電設備を筐体内に設置した、燃料電池システムを構成するユニット。
	パワーコンディショナ（PCS）	燃料電池設備の出力を指定の直流又は交流電力に変換して電力を供給する装置。【インバータ、制御監視装置、系統連系保護装置などから構成される。】
ふ	フェールオープン	バルブなどにおいて、駆動源（電力、空気圧等）を失った場合に、自動的に全開となる設計のこと。
	部分酸化改質	炭化水素などの原燃料に空気を混合し、原燃料の一部を燃焼させたときに生じる熱を熱源とし、改質反応させて水素を得る方式。
	フレームロッド	炎の整流作用を利用した「炎検出型」の安全装置。改質器バーナーのすぐ側に電極（フレームロッド）において炎の中を流れる電流を検知する。炎が消えるとその電流が流れなくなり、バーナー失火を検知する。
へ	平板形燃料電池	平板状の単セルから構成される燃料電池。
ま	マイクロ燃料電池	小形携帯用電源に用いる燃料電池。携帯用燃料電池とも呼ばれている。【携帯電話、ノートパソコン、携帯情報端末（PDA）、デジタルカメラなどに適用される。】
み	密閉式	給排気筒を外気に接する壁を貫通して屋外に出し、燃焼用空気を屋外から採り、燃焼排ガスを屋外に排出する方式。
ゆ	輸送用燃料電池	車両などの駆動用電源に用いる燃料電池発電設備。
れ	連系点	商用電力系統と燃料電池発電設備の発電電力系統との接点を意味する。

C	CD	委員会原案（Committee Draft）完成したWD。本原案をもとにTCまたはSCのPメンバーとOメンバーのNC（国内委員会）によって審議される。
	CDV	投票用委員会原案（Committee Draft for vote）CDに対

		して審議が終了した文書。本原案を基に IEC の正メンバー国の NC による意見の提出と賛否の投票がされる。
	CISPR	国際無線障害特別委員会 (Comite international Special des Perturbations Radioelectriques) 無線障害の原因となる各種機器からの不要電波 (妨害波) に関してその許容値と測定方法を国際的に合意することによって国際貿易を促進することを目的として運営する特別委員会。
<b>E</b>	EMC	電磁両立性 (Electromagnetic Compatibility) 電磁妨害を出さず、かつ電磁環境においても満足に機能するための装置又はシステムの能力。
	EMTP	ElectroMagnetic Transients Program。電力系統における過渡現象解析に使用される国際的汎用ツールである。
	FDIS	最終国際規格案 (Final Draft Internatinal Standard) 承認された CDV に対し、委員会メンバーでの審議を基にコンビナ (幹事) が作成した文書
<b>I</b>	IEC	国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) 電気・電子技術および関連技術に関する国際基準を開発、発行する国際機関
	IEC TC105	燃料電池技術に関する TC (Technical Committee : 専門委員会)
	IS	国際規格 (Internatinal Standard) 発行された国際規格
<b>T</b>	THC	Total HydroCarbon の略称で、炭化水素濃度の総計をあらわす。
<b>W</b>	WD	作業原案 (Working Draft) TC 又は SC (Sub Committee) の P メンバーに承認された新業務項目提案 (New work item Proposal) を基に Working Group または Project Team が作成した規格案

用語集（マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発）

	用語	説明
い	インピーダンス	電気化学の交流法における交流電圧に対する交流電流の流れにくさのこと。
	インピンジャー	ガス吸収瓶の一種
お	オートサプレッサー	イオンクロマトグラフ分析において、検出器の直前に置くことで溶離液のバックグラウンド電気伝導度を低減させることにより測定対象イオンを高感度で測定できるようにする部品。
か	完全混合モデル	対象としている空間内では空気が十分に混合されており空間内のどこで測ってもガス濃度は同一であるとのモデル。
き	キャニスター	分析用に空気中のガスを採取するため容器の一種で、通常球状をしたステンレス製のものがよく用いられる。
ち	チャンバー	閉鎖された小空間中で試験体からガスを発生あるいは放散させて分析用の空気を採取する等の試験を行うための容器のこと。
ね	燃料電池	燃料及び酸化剤が外部から連続的に供給され、電気化学反応によって連続的に発電する装置。
は	排出速度試験	試験体からガスがいかなる速度で排出されるかを測定する試験。試験時の換気条件とは関係なく、単位時間当たりに排出されるガスの絶対量で示される。
	排出濃度試験	試験体から排出されるガスが一定換気条件の下でいかなる濃度を示すかを測定する試験。単位時間当たりに排出されるガスの絶対量が同じでも換気量が多いと排出濃度は低く測定される。
ま	マイクロ燃料電池	小形携帯用電源に用いる燃料電池。携帯用燃料電池とも呼ばれている。【携帯電話、ノートパソコン、携帯情報端末、デジタルカメラなどに適用される。】
	マネキン	人体模型。

も	モックアップ	外見等実物を模擬した模型。
ろ	ローカルイフェクト	消費者の口・鼻の近傍で使用されるマイクロ燃料電池からの排出ガス濃度は離れた位置で測定される値より高濃度になっている可能性がある。マイクロ燃料電池の安全性に関する国際規格においては呼吸により人体が上記ガスを吸引する際の健康影響の度合いの評価にこのような局所的な効果(ローカルイフェクト)を考慮すべきとの立場を取っている。

A	ACH	1 時間当たりの換気回数(Air Changes per Hour)
C	CDV	投票用委員会原案 (Committee Draft for Vote) CD に対して審議が終了した文書。本原案を基に IEC の正メンバー国の国内委員会による意見の提出と賛否の投票がされる。
	Cole-Cole プロット	インピーダンス特性を表わす複素量の実数部と虚数部の相関をプロットしたもの。
D	DMFC	ダイレクトメタノール燃料電池 (Direct Methanol Fuel Cell) : メタノールおよびメタノール水溶液を直接燃料とする燃料電池。
F	FDIS	最終国際規格案 (Final Draft International Standard) 承認された CDV に対し、委員会メンバーでの審議を基にコンビナー (幹事) が作成した文書
I	IEC	国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) 電気・電子技術および関連技術に関する国際基準を開発、発行する国際機関
	IEC/ TC105	燃料電池技術に関する TC (Technical Committee : 専門委員会)
	Impurity task	IEC/TC105/WG10 の下に設けられた燃料基準を検討するための燃料不純物タスク
	IS	国際規格 (International Standard) 発行された国際規格

<b>J</b>	JIS	日本工業規格 (Japan Industrial Standard)
<b>N</b>	NIOSH	米国国立職業安全衛生研究所 (National Institute of Occupational Safety and Health; NIOSH)
<b>O</b>	OSHA	米国職業安全衛生局 (Occupational Safety and Health Administration; OSHA)
<b>P</b>	PEL	許容曝露限界 (Permissible Exposure Limit)
	PID	光イオン化検出器 (Photoionization Detector)
<b>V</b>	VOC	揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds)
<b>W</b>	WG	作業グループ (Working Group)

用語集(水素インフラに関する安全技術研究)

用語	定義
水素インフラ	水素供給の基盤となるもの。水素スタンド、水素パイプラインなどがあるが、ここでは今のところ水素スタンドに限定する。
水素スタンド	燃料電池自動車へ水素を供給する設備一式を水素スタンドという。ここでは、高圧ガス保安法で言う「特定圧縮水素スタンド」に準じて水素スタンドという。ちなみに、水素ステーションはJHFCが使用する名称で意味は同じ。
水素スタンドの圧力	水素スタンドは、燃料電池自動車のタンク圧力よりも高い圧力で水素を貯蔵し、その差圧で燃料電池自動車へ水素を充てんする。このため、圧力40MPaの水素スタンドとか35MPa充てん対応水素スタンドなどと呼ばれる。水素スタンドと燃料電池自動車のタンク圧力は以下の通り。 FCV タンク (35MPa) : 水素スタンド (40MPa、または 35MPa 充てん対応水素スタンド) FCV タンク (70MPa) : 水素スタンド (圧力未定、または 70MPa 充てん対応水素スタンド)
圧縮水素	水素ガスを高圧で圧縮したもの。液体水素と区別するために用いる場合が多い。
液体水素	水素を-250℃ (20K) に冷却して液化したもの。気化すると約800倍になる。
液体水素スタンド	液体水素スタンドを取扱う水素スタンドのこと。水素製造工場から液体水素の形態で輸送し、液体水素のままFCVに充てんする場合と、スタンドで気化させた後、圧縮機で昇圧してFCVへ圧縮ガスとして充てんする場合がある。どちらの場合も液体水素スタンドと呼んでいる。ちなみに常用圧力は0.35MPaである。
製造施設	高圧ガスの製造のための施設をいい、製造設備及びこれに付随して必要な次のようなもののいずれかからなるものをいう。 事務所その他の建築物、容器置場、貯水槽、給水ポンプ、障壁、消火器、検知警報器、警戒標等。
製造設備	高圧ガスの製造（製造に係る貯蔵及び導管による輸送を含む。）のために用いられる設備をいう。
移動式製造設備	製造のための設備であって、地盤面に対して移動することができるもの。ここでは、蓄圧器とディスペンサーを搭載した車両をいう。

水素トレーラー	ここでは、水素の容器を車両に固定し、車両ごと移動できるものでディスペンサーを搭載していない車両をいう。したがって、高圧ガスの製造／消費機能がないため移動式製造設備に該当しない。
定置式製造設備	製造設備であって、移動式製造設備以外のもの。
ガス設備	高圧ガスの製造設備（製造に係る導管を除く。）のうち、製造をする高圧ガスのガス（その原料となるガスを含む。）の通る部分をいう。なお、高圧ガスであったガスが高圧ガスでなくなった場合のガスは、そのガスの通る部分は高圧ガスの製造設備に該当しないため、原則としてガス設備にならない。
高圧ガス設備	ガス設備のうち、高圧ガスの通る部分をいう。
処理設備	圧縮、液化その他の方法でガスを処理することができる設備であって、高圧ガスを製造するために使用されるものをいう。具体的には圧縮機、ポンプ、減圧弁等であって人為的に高圧ガスを作り出すものをいう。
貯槽	高圧ガスの貯蔵設備であって、地盤面に対して移動することができないものをいう。
蓄圧器	圧縮水素の貯槽であり圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられるものをいう。ちなみに JHFC では蓄ガス器という。
容器	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をいう。
充てん容器	現に高圧ガス（高圧ガスが充てんされた後に当該ガスの質量が充てん時における質量の二分の一以上減少していないものに限る。）を充てんしてある容器をいう。
残ガス容器	現に高圧ガスを充てんしてある容器であって、充てん容器以外のもの
ディスペンサー	特定圧縮水素スタンドで用いられる設備であって、燃料電池自動車の燃料装置用容器に高圧ガスを充てんするための装置をいう。
充てんカプラー	ディスペンサーの充てんホース先端の接続部（スタンド側）をいう。
レセプタクル	燃料電池自動車側で圧縮水素を受け入れるための充てんカプラー接続部をいう。
緊急離脱カプラー	充てんホースに著しい引張力が加わったとき、充てんホースの破断等の前に充てんホースの途中を自動的かつ安全に分離する装置をいう。

改質器	オンサイト型水素スタンドの水素製造設備をいう。一般に改質器本体、一酸化炭素変成器、水素精製装置および付帯設備（製品水素ホルダー、オフガスホルダーなど）などから構成されている。
その他	<p>法令上「製造施設」、「製造設備」、「ガス設備」及び「高圧ガス設備」の概念上の関係を以下に示す。</p> <div data-bbox="641 454 1238 887" data-label="Diagram"> <p style="text-align: center;"><b>特定圧縮水素スタンドの設備区分</b></p> </div>
FCV	燃料電池自動車のこと
PSA	Pressure Swing Adsorption の略。水素精製装置のこと。改質器の一部とみなされることが多い。
SNM439（強度低減材）	ニッケルクロムモリブデン鋼である SNM439 に対して、熱処理により意図的に強度を低減させることにより、対水素劣化特性を向上させた材料。
SS	サービス・ステーションの略。ガソリンスタンドのこと。消防法では給油取扱所という。

用語集（水素用材料基礎物性の研究）－1

	用語	定義
お	応力／Stress	荷重＝N(kgf)を材料片の平行部のはじめの断面積(mm <sup>2</sup> )で割ったものが応力である。：N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )
	応力・ひずみ曲線 (S-S 曲線)	応力 (stress)－ひずみ (strain) から S－S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力 (荷重)、横軸に引張ひずみ (伸び) の量または伸び率%をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。
	オーステナイト／オーステナイト系ステンレス	オーステナイト (austenite) とは、純度 100%の鉄において 911℃～1392℃の温度領域にある鉄の相 (組織) である。この領域において、鉄は面心立方格子構造をとる。γFe、γ鉄 (ガンマてつ) ともいう。非磁性体である。γ鉄に炭素 (C) を最大 2.1%まで固溶した固溶体組織で、727℃以上の高温で安定な組織であり、通常、常温では存在しない。しかし、オーステナイト生成元素の Ni、Mn を多量に固溶すると常温においてもハチの巣のような六角形の結晶粒を示すオーステナイト組織が得られる。18Cr－8Ni に代表されるオーステナイト系ステンレスは Ni によりオーステナイト組織を持ち、粘り強く、柔らかく、成形性と耐食性に優れた性質を示す。またオーステナイトは常磁性体(非磁性体)であるが、加工等によりマルテンサイト組織が誘起されて磁性を帯びることがある。逆に、マルテンサイト組織にオーステナイト組織が残ることを残留オーステナイトと言う。
	応力拡大係数範囲 ΔK	き裂を有する部材に繰返し応力が作用するとき、き裂の寸法および応力の最大値と最小値から算出される応力拡大係数の最大値と最小値との差として定義される。一般に、小規模降伏状態における疲労き裂伝搬速度の評価に用いられる。
	応力振幅	応力振幅とは、疲労試験において、試験片に生じる変動応力の範囲の半分。S-N 線図の作成には、通常、応力振幅が使われる。
	応力比	応力比とは、疲労試験での繰返し荷重 1 サイクルにおける最大応力に対する最少応力の比。引張応力を正、圧縮応力を負とする。
	遅れ破壊	水素脆化のうち、静荷重下の材料が、加工時あるいは使用中に侵入した水素によって使用開始後一定期間で突然に破壊する現象を、特に遅れ破壊と呼ぶ。

用語集（水素用材料基礎物性の研究）－2

	用語	定義
か	加工硬化	「ひずみ硬化」ともいう。鉛など特異な例を除き、金属に応力を与えると結晶のすべりが生じ、そのすべり面に対しての抵抗がだんだん増してくる。そしてその抵抗がある程度大きくなると他の面に順次移っていく（塑性変形）。冷間加工により変形が進めば進むほど抵抗が大きくなり金属は硬さを増していくが、これを加工硬化という。伸銅品、ステンレス板やアルミの非熱処理合金板などはこの加工硬化の程度（加工率）によって質別の区分がされている。
	加工誘起マルテンサイト変態	18Cr-8Niの代表鋼種であるSUS304は常温ではオーステナイト組織であるが、曲げ加工や深絞り加工その他加工が加えられるとオーステナイトの一部がマルテンサイトに変わる。その変わる量は加工の程度が大きくなればなる程多く、また同じ程度の加工であってもSUS304の範囲内での化学成分値の違いによってもマルテンサイト量は違ってきます。このように、冷間加工によって生じたマルテンサイトのことを「加工誘起マルテンサイト」と呼ぶ。
き	機械的性質	材料の機械的な特性、つまり弾性、非弾性反応、応力と歪み、弾性率、引張強さ、疲れ限、硬さなどのように力が加えられた場合に発生する材料性質。
	許容応力	機械や構造物が破壊しないために材料に生じても差し支えない最大の応力のこと。また同じ材料でも応力の種類や荷重のかかり方で変わってくるので注意が必要である。
く	繰返し荷重	動荷重の一つで一定の周期と振幅で繰返し作用する荷重のことをいう。
け	強化プラスチック	「FRP」の項を参照のこと。プラスチックが熱硬化性プラスチックの時はFRP、熱可塑性プラスチックの時は、FRTP(TPはThermo Plasticsの略)という。
こ	降伏点	引張試験の途中で応力（引張荷重）が急に低くなり、その後応力が大きくならないで伸びが進むという現象が起こる。その転機の応力 $W$ を試験前の材料片の断面積 $A_0$ で割った値を降伏点 (yield point) という。また降伏点はスプリングバック発生の目安ともなる。

	用語	定義
こ	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。JIS G 0201 鉄鋼用語（熱処理）でこの術語を規定しているが、非鉄金属材料分野をはじめとして、溶体化処理という術語が用いられることも多い。(固溶体処理加熱温度：ステンレス 1,000℃～1,100℃前、アルミニウム合金 450℃～550℃前後)
さ	再結晶	冷間加工によって加工硬化した材料をある温度まで加熱すると急に軟化する。これは、加工によって変形した結晶が、多角形の細粒に分割結晶するため、増加していた転位も消滅し、結晶粒は内部ひずみを持たない安定したものとなる。これを再結晶といい、この再結晶の始まる温度を「再結晶温度」という。またこの再結晶温度以上の加熱後に除冷することが「焼なまし」に当たる。
し	絞り／reduction of area	引張試験で破断した材料片の最小断面積 $A$ と最初の断面積 $A_0$ との差（小さくなった面積）を最初の材料片断面積 $A_0$ で割った百分率％。
	シャルピー衝撃試験	衝撃試験の方法で試験片の両端を支えて中央部を折って衝撃値を求める。シャルピー衝撃試験で試験片を破断するために使われた吸収エネルギーを、その破断した部分の面積で割った値を求める方法で、一般にこの値が小さいものはもろい。
	衝撃試験	材料の動的衝撃に対する抵抗の度合いを測定するもので、ねばり強さ〔韌性〕、もろさ〔脆性〕を知ることができる。特に脆性を知る有効な試験方法である。シャルピー衝撃試験、アイゾット衝撃試験が代表的である。
	衝撃強さ	材料が衝撃荷重に対して示す抵抗値。
	時効硬化	「固溶化熱処理」（非鉄金属、特にアルミニウム合金では「溶体化熱処理」という）した合金は、本来ならば低温で析出するはずの合金元素が急冷により析出する間もなくむりやり溶け込まされた状態となっており不安定である。これが時間の経過につれ本来の安定な状態にもどろうとして、ところどころ析出してくる。この析出により結晶はすべりにくく硬くなる。これを時効硬化（age hardening）または「析出硬化」という。時効硬化には常温時効硬化と人工時効硬化があり、後者を「析出硬化処理」ともいう。
	修正 Ni 当量	ステンレス鋼からニッケル基合金までの広い範囲での水素環境脆化に及ぼす化学成分の影響の指標として単に Ni 含量では依存性が十分明らかでないことから、この修正 Ni 当量を当てはめることにより、広い範囲の金属材料の水素環境脆化がこの指標で整理できることを見出した。

用語集（水素用材料基礎物性の研究）－4

	用語	定義
し	靱性（じんせい）	物質のねばり強さを技術用語で「靱性」という。引張試験での「伸び」の大小とは直接関連しないが、衝撃にあっても割れにくい性質であるため、衝撃試験の数値が大きければ、一般にねばり強いといえる。
せ	析出硬化処理	固溶化熱処理（溶体化処理）の後、時効硬化（析出硬化）を人工的に行うことをいい、ベリリウム銅、ステンレス鋼の 600 番台のものやアルミニウム合金の 2000 番系、6000 番系、7000 番系及びアルミニウム合金鋳物などの T6 処理が代表例である。熱処理としての析出硬化処理は、合金に応じて人工的に温度を上げ、溶け込んでいる元素の原子運動を容易にしてから冷やして行くもので、時効硬化を早める。これを人工時効硬化ともいい、アルミニウム合金では「焼戻し」に当たる。一方常温で行われる時効硬化を「常温時効硬化」あるいは「自然時効硬化」という。アルミニウム合金では T4 処理が代表的であり、人工時効硬化（T6）とは区別されている
	脆性（ぜいせい）	脆性（ぜいせい） 物質の“もろさ”（Brittle）を技術用語で「脆性」という。（脆性←→靱性）。衝撃試験である程度脆性の大小をいうことができる。また金属の脆化現象には次の様なものがある。
す	ストレスラプチャー試験	静的荷重を与えて、破断までの時間を時間を計測する破断強度の時間依存性試験法。水素用非金属材料の基礎物性として実施した。
	ストライエーション	疲労によって破面上に形成される縞状の模様をいう。負荷時のき裂先端の塑性鈍化と除荷時のき裂先端の再鋭化によってこのような模様が形成される。破面の上下面では山と山、谷と谷が対応しており、ストライエーション間隔はそのときの繰返し負荷 1 サイクル間に進展したき裂の長さ、すなわち疲労き裂進展速度に対応している。ただし疲労破面全体がすべてストライエーションによって覆われているわけではない。

	用語	定義
つ	疲れ限度／fatigue limit	金属を繰り返し折り曲げると、引張って切れるよりはるかに小さな力で破断する。これを疲れ破断と言う。鋼の場合は応力（荷重）が小さくなるに従って破壊にいたる繰り返し数が増えていき、応力がある程度以下になると繰り返し数をいくら多くしても材料は破壊されにくくなる。この限度を「疲れ限度」と言う。非鉄金属の場合は、この「疲れ限度」が明確に現れないため、応力（S）の繰り返し数（N）が1千万回( $10^7$ )の繰り返しに耐える応力（So）を「疲れ強さ」と言い、 $So \text{ kgf/mm}^2(10^7)$ と表示する。実際に金属を使用する際の強度比較数値として重要である。参考：「S-N 曲線」、「耐疲労性」
て	低温脆性 （ていおんぜいせい）	鋼は $-20\sim-30^\circ\text{C}$ で急激にもろくなる特性がある。これは特によりん（P）の成分の多い鋼種に多く現れる。またアルミニウムは、超低温範囲に至るまで低温脆性を示さない。
	停留き裂	鉄鋼材料のように明確な疲労限度が現れる材料において、疲労限度の繰返し応力下で発生し、少しだけ進展した後で停止した疲労き裂をいう。停留き裂が生じる材料の疲労限度は、発生した疲労き裂が進展するか停留するかの限界の応力を意味する。
	転位	金属の格子欠陥の一つ。金属は原子が規則正しく並んでいる結晶とされているが、実在の金属中には原子の並びに乱れ（欠陥）があり、線状の欠陥を転位と呼ぶ。転位の移動に必要なエネルギーは、すべり面の金属格子全体を一度に移動させるエネルギーの数千分の1とわずかである。即ち、実在の金属結晶の塑性変形は転位の運動によって容易に行えるものとされている。
ひ	疲労き裂進展速度	繰返し応力 1 サイクルあたりの疲労き裂の長さの増加量をいう。き裂長さをa、応力負荷の繰返し数をNとしたとき $da/dN$ と表記される。通常、応力拡大係数範囲や J 積分範囲を用いて整理される。
	ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、 $s^{-1}$ の単位を持つ。多くの材料において、変形中の応力は、ひずみと温度およびひずみ速度によって変化するので、ひずみ速度は、材料の構成式において重要な変数の一つである。一般に、ひずみ速度が大きくなると材料の変形中の応力も大きくなるが、ある種のアルミニウム合金のようにひずみ速度の変化に比較的鈍感な材料もある。
	疲労限度	鉄鋼系の材料では、S-N曲線がある応力で水平に折れ曲がり、それ以下の応力をいくら繰返しても破断しない現象が現れる。このときの破断しなくなる最大の応力をいう。耐久限度ということもある。通常、S-N曲線の折れ曲がりには $10^6\sim 10^7$ 回の繰返し数の範囲に見られる。

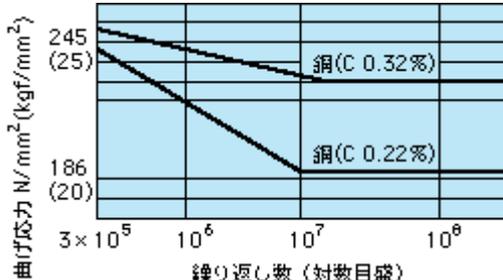
	用語	定義
へ	偏析 *正偏析 *逆偏析	不純物や合金元素を含む合金を鑄造するとき、鑄型に接した外部から内部へ凝固していく。このとき溶融点の低い成分や不純物は最後に凝固する部分、すなわち、中心部に集中して偏在することになる。これを偏析(正偏析)といい、ガスの圧力や急冷などによって、内部より外周部にしみ出して集まる現象を「逆偏析」という。逆偏析は、青銅にみられる。
ま	マルテンサイト	マルテンサイト (martensite、 $\alpha'$ 鋼) は、Fe-C系炭素鋼を、安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織。刀の作成段階で見られる焼入れなどは、鋼をこの組織へと変態させる作業の事である。組織構成は、オーステナイトが炭素を固溶したままの状態での体心正方格子を取る構成で、炭素を含有する鉄合金では組織は非常に硬い層組織である。しかし、工業的には高靱性である必要から、できた炭素含有鉄合金を焼き戻しすることで焼戻しマルテンサイトにして使用する。 マルテンサイトは針状のこまかな組織で、鋼の焼入組織としては最も硬く、強磁性体である。したがってオーステナイト系ステンレスが加工などによりマルテンサイトを誘起すると磁性を帯びることになる。マルテンサイト系ステンレスは、このマルテンサイト組織をもった高Cr鋼であり、特性は同様に、強磁性体で焼入れ硬化性に優れ、刃物などによく使われる。しかし、硬くて脆いという欠点もあり、また耐食性、溶接性、加工性はオーステナイト系ステンレスに劣る。
	曲げ試験/bend test	規格の試験片を規定の半径で規定の曲げ角度まで変形を与え、曲げられた部分の外側を検査し、亀裂や欠点の有無によって合否判定をする試験法である。
め	面心立方格子	X、Y、Z 方向の3軸の長さが等しく、すべて垂直であるような構造を有する立方晶系の1つで、立方体の角の他にその正方形をなす各面の中心にも結晶原子または分子を有するもの。
や	焼入れ/quenching	一旦、加熱、保持したものを急冷するもので、常温の水や 60℃～80℃の油で冷やすことが多い。刃や刃物の焼入れはよく知られている様に、硬度、耐摩耗性を得ることができるが、反面もろくなったり、残留応力が生じ、条件によっては焼割れ、焼曲がりが発生する。アルミニウムの熱処理合金では「溶体化処理」がこの焼入れにあたる。
	焼なまし/annealing	「焼鈍(ショウドン)」ともいう。再結晶温度に加熱、保持の後、普通炉冷によりゆっくり冷ます。残留応力の除去、材料の軟化、切削性の向上、冷間加工性の改善、結晶組織の調整などを目的とする。また鋼種、目的により加熱温度と徐冷の方法が変わってくる。

用語集（水素用材料基礎物性の研究）－7

	用語	定義								
や	焼なまし温度	<p>焼なまし温度                      焼きなまし温度は鋼種や目的により幅が大きいため目安にすぎないが代表例は下記の通りのようになる。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>合金名</th> <th>加熱温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A6061 A6063</td> <td>345～415</td> </tr> <tr> <td>A7075</td> <td>345～410</td> </tr> <tr> <td>SUS304</td> <td>900～1000</td> </tr> </tbody> </table>	合金名	加熱温度 (°C)	A6061 A6063	345～415	A7075	345～410	SUS304	900～1000
合金名	加熱温度 (°C)									
A6061 A6063	345～415									
A7075	345～410									
SUS304	900～1000									
よ	溶体化処理 / solution heat treatment	<p>「固溶化熱処理」の項を参照のこと。アルミニウム合金の場合「固溶化熱処理」のことを溶体化処理という。合金を均一固溶体範囲の温度に加熱して合金元素を固溶させ急冷することで、常温における合金元素の固溶化をはかる熱処理のことである。</p>								
れ	冷間加工 (C)	<p>再結晶温度未満、または常温で行なわれる加工を冷間加工といい、またこれは塑性変形を利用した加工である。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。</p>								

用語集（水素用材料基礎物性の研究）－8

	用語	定義
A	$\alpha$ 鉄	鉄の同素体のうち常圧、低温度域で安定な体心立方晶の純鉄。一次固溶体も含めてフェライトと呼ばれる。 $\alpha$ 鉄は常圧下では、912°C、 $A_3$ 点以下で安定。 $A_3$ 点で $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ 変態を起こす。
B	bcc	体心立方格子構造(たいしんりっぽうこうしこうぞう)とは、結晶構造の一種。立方体形の単位格子の各頂点と中心に原子が位置する。略称BCC(Body-Centered Cubic lattice)。
D	$\delta$ フェライト	デルタフェライト (delta ferrite) とは、純度 100%の鉄において 1392°C～1536°C (融点) の温度領域にある鉄の相 (組織) である。この領域において、鉄は体心立方格子構造をとる。 $\delta$ Fe、 $\delta$ 鉄 (デルタてつ) ともいう。純度 100%の鉄において、1536°Cを超えると鉄は液体になる。デルタフェライトは、Fe-C状態図において、1494°Cで最大溶解量 0.1[mass %]までの炭素を固溶できる。
F	fcc	面心立方格子構造(めんしんりっぽう こうしこうぞう)とは、結晶構造の一種。単位格子の各頂点および各面の中心に原子が位置する。略称FCC(face-centered cubic lattice)。充填率は六方最密充填構造と等しい。
	FRP	ガラス繊維などの強力な繊維を加えたプラスチックで、強度、剛性、耐熱性などの性質を向上させた複合材料 (fiber reinforced plastics)。
M	Md30 (°C)	30%の加工により、50%のマルテンサイト相が生成する温度。 Md30 (°C) = 413-462(C+N)-9.23Si-8.1Mn-13.7Cr-9.5Ni-18.5Mo 各温度域における水素脆化を起こさない成分範囲を決める。

	用語	定義															
S	S-N 曲線	<p>疲れ強さ試験において、材料に発生する応力 <math>S(N/mm^2)</math> を縦軸にとり、横軸に材料が破壊するまでの繰返し数 <math>N</math> をとったグラフを「S-N 曲線」という。「疲れ強さ」を図示できる。</p>  <table border="1" style="display: none;"> <caption>S-N Curve Data Points</caption> <thead> <tr> <th>繰返し数 (対数目盛)</th> <th>鋼(C 0.32%) 曲げ応力 <math>N/mm^2</math> (kgf/mm<sup>2</sup>)</th> <th>鋼(C 0.22%) 曲げ応力 <math>N/mm^2</math> (kgf/mm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>3 \times 10^5</math></td> <td>245 (25)</td> <td>186 (20)</td> </tr> <tr> <td><math>10^6</math></td> <td>~225</td> <td>~175</td> </tr> <tr> <td><math>10^7</math></td> <td>~215</td> <td>~165</td> </tr> <tr> <td><math>10^8</math></td> <td>~210</td> <td>~160</td> </tr> </tbody> </table>	繰返し数 (対数目盛)	鋼(C 0.32%) 曲げ応力 $N/mm^2$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	鋼(C 0.22%) 曲げ応力 $N/mm^2$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	$3 \times 10^5$	245 (25)	186 (20)	$10^6$	~225	~175	$10^7$	~215	~165	$10^8$	~210	~160
	繰返し数 (対数目盛)	鋼(C 0.32%) 曲げ応力 $N/mm^2$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	鋼(C 0.22%) 曲げ応力 $N/mm^2$ (kgf/mm <sup>2</sup> )														
	$3 \times 10^5$	245 (25)	186 (20)														
$10^6$	~225	~175															
$10^7$	~215	~165															
$10^8$	~210	~160															
(S-S 曲線)	<p>応力 (stress) - ひずみ (strain) から S-S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力 (荷重)、横軸に引張ひずみ (伸び) の量または伸び率% をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。</p>																
SSRT 試験	<p>低ひずみ速度引張試験。高圧水素環境下で、表面被服を破壊しながら、引張試験を行うため、材料に定常的に水素を吸収させながら、水素脆化の評価が可能。</p>																

用語集(水素用アルミ材料の基礎研究)

用語	読み	定義
5000 系合金	ごせんけいごうきん	Al-Mg 系合金の総称。Mg 添加量の比較的少ないものは、装飾用材や器物用材に、多いものは構造用材として使用される。したがって合金の種類が多い。
6000 系合金	ろくせんけいごうきん	Al-Mg-Si 系合金の総称。この系の合金は、強度、耐食性とも良好で、代表的な構造用材としてあげられる。ただ、溶接のままでは継手効率が低く、ビス、リベット、ボルト結合による構造組立が行われることが多い。6061-T6 は、耐力 245N/mm <sup>2</sup> 以上で SS400 鋼に相当し、設計上、たわみを問題としなければ、同等の許容応力がとれるという利点がある。鉄塔・クレーンなどに用いられる。
7000 系合金	ななせんけいごうきん	Al-Zn-Mg 系合金の総称。アルミニウム合金のなかで、最も高い強度をもつ Al-Zn-Mg-Cu 系合金と Cu を含まない溶接構造用 Al-Zn-Mg 合金に分類できる。後者は、わが国では、いわゆる三元合金として親しまれている。Al-Zn-Mg-Cu 系合金の代表的なものは 7075 で、航空機、スポーツ用品類に使用されている。なお、この系の合金は、熱処理が適切でない場合には、応力腐食割れを生ずることがあるので注意する必要がある。このために JIS に示された標準熱処理条件よりは過時効となる条件で焼き戻しが行われることもある。
アルミニウムおよびアルミニウム合金の質別	あるみにうむおよびあるみにうむごうきんのしつべつ	アルミニウムおよびアルミニウム合金の特性、特に機械的特性は、加える塑性加工の量と温度、熱処理条件により大きく変わるので、4 桁の合金番号の後に、質別記号を付して、塑性加工・熱処理の条件を示す。H は塑性加工により硬化した状態、O は焼きなましにより軟化した状態、T は熱処理(時効)により強化した状態 (T6 はその中でほぼ最高強度を示すように熱処理した状態)。「7075-T6」のように記す。
アルミニウムおよびアルミニウム合金の分類	あるみにうむおよびあるみにうむごうきんのぶんるい	大きく展伸材 (圧延・押出などの塑性加工を経た材料) と鋳物 (鋳造した状態の材料) に分類される。いずれも必要に応じて熱処理が施される。一般に展伸材の方が強度・信頼性に優れる。

アルミニウム およびアルミ ニウム合金展 伸材の分類	あるみにうむ およびあるみ にうむごうき んてんしんざ いのぶんるい	組成により 4 桁の数字で分類する。工業用純アルミニウム (1000 系)、Al-Cu 系合金 (2000 系)、Al-Mn 系合金 (3000 系)、Al-Si 系合金 (4000 系)、Al-Mg 系合金 (5000 系)、Al-Mg-Si 系合金 (6000 系)、Al-Zn-Mg 系合金 (7000 系) に分類される。このうち熱処理により強度を高めることができるの (熱処理型の合金) は、7000、2000、6000 系である。
歪時効	あじこう	ピークに他する前の時効状態。
アレニウスの 式	あれにうすの しき	ある量 A と絶対温度 T の間での $\log A \propto -1/T$ の関係式
陰極電解法	いんきょく でんかいほう	試験片を陰極にして水溶液を電気分解させ、試験片に水素を多量にチャージする方法。
液相線温度	えきそうせん おんど	純金属と異なり、合金化すると固液共存温度が一つの温度でなく、ある温度範囲となる。当然高温ほど液相の割合が高くなる。完全に液相の状態からわずかに固相が出始める温度を液相線温度という。
エネルギー分 散型 X 線分析	えねるぎー ぶんさんがた X せんぶんせ き	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy。物質に電子線を照射すると、物質を構成する元素に特有のエネルギー (波長) をもった X 線 (特性 X 線) が発生する。この X 線のエネルギーを半導体検出器により分光して、物質に含まれる元素を定性または定量分析する方法。
延性	えんせい	材料の塑性変形能の指標。一般に、引張試験により得られる破断伸び (破断までの変形量を元の長さで除した値 (無次元)) で示す。金属材料では、割れの先端が塑性変形することにより割れの進展を抑制するので、一般に延性が高いほど靱性も高い。
応力比	おうりょくひ	疲労試験において、負荷する最大引張応力を最小応力 (圧縮側は負の値として表す) で除した値。完全両振りの (最大引張応力と最大圧縮応力が絶対値で等しい) 場合、-1 となる。
応力腐食割れ	おうりょく ふしょくわれ	食塩水のような腐食環境下で、材料が不活性な環境下よりも低い応力で破断すること。
温間圧延	おんかんあつ えん	一般に熱間加工では再結晶の起こる温度以上にすることにより、変形中に再結晶などが生じ変形抵抗が低減できる。温間圧延とは室温より高いが、再結晶の起こる温度より低い温度で行う圧延のことをいう。温間とは、熱間と冷間の間と考えてよい。

回復	かいふく	再結晶に先立ち、格子欠陥がある程度整理された状態になることを回復という。
加工	かこう	とくに断りがない場合は、アルミニウム製造の立場では、圧延、押出しなどの塑性加工をさす。
加工度	かこうど	加工時の塑性変形量をひずみで表わした量。
過時効	かじこう	高温・長時間の時効を行い、最高強度より低い強度になるようにすること。
過剰 Si	かじょう Si	6000系アルミニウム合金はAl母相とMg <sub>2</sub> Si化合物を第二相とするので、伝統的にMgとSiの添加量は原子比で2:1とされてきた（バランス組成）。これに対して、この比率よりもSiを多く添加した合金は、過剰Si型合金と呼ばれ、押出し時の変形抵抗が小さい割に、T6処理後の強度が高いため、最近多く用いられるようになってきている。
強度	きょうど	金属材料の強度は、一般に、降伏強度（引張試験で塑性変形開始時の荷重を元の試験片断面積で除した値）や、引張強さ（同じく最高荷重を元の試験片断面積で除した値）で表わす。両者の間には当然ながら強い正の相関関係があるが、構造設計には降伏強度が用いられる。
均質化処理	きんしつかしより	鋳造直後の材料中では、合金元素や不純物元素の量が不均質になっている。材料を高温で長時間加熱することによりこの不均質を消滅させるまたは軽減する処理を、均質化処理という。
金属組織	きんぞくそしき	後述の結晶粒・粒界、第二相の他に、転位などの格子欠陥などの大きさ、分布などの様子。金属材料の製造プロセス（特に質別）により変化する。
結晶粒、粒界	けっしょうりゅう、りゅうかい	市販金属材料のベース金属（鉄、アルミニウム、銅、チタン、マグネシウム）は、固体状態ですべて面心立方、体心立方、最密六方などの結晶である。結晶の核が1箇所にてこれのみが成長した場合は単一の結晶（単結晶）となるが、一般には、凝固時や冷間加工後の焼きなまし（再結晶）時に、方位の異なる多数の核を生じ、多結晶体となる。多結晶体を構成する個々の結晶を結晶粒という。また結晶粒と結晶粒の境界を粒界または結晶粒界という。粒界を境に結晶の方位は変化するがベース金属の材質は変化しない。しかし粒界には不純物や第二相が存在することが多く、破壊の経路となりやすい。
研磨紙	けんまし	番号が大きくなるほど研磨材の粒度が細くなる。

格子拡散	こうしかくさん	結晶格子中を原子が移動すること。
公称圧縮率	こうしょうあっしゅくりつ	単純に、{(元の厚さ) - (圧縮後の厚さ)} / (元の厚さ) により、計算した加工率。
再結晶	さいけっしょう	塑性加工して内部に転位などの格子欠陥をたくさん含んだ状態の金属を加熱すると、格子欠陥をほとんど含まない結晶粒を生じる。この現象を再結晶という。
サブグレイン	さぶぐれん	Subgrain。亜結晶粒に同じ。再結晶前の回復段階で現れる転位網から成る亜結晶粒界で囲まれた領域（内部はほとんど転位を含まない）。
シアリップ	しありっぷ	引張破断面で、外周部ではせん断変形により、元は内部にあった部分が徐々に表面にあらわれて、尖った縁を構成する。これをシアリップ（せん断縁）という。
時効	じこう	アルミニウム合金では室温～200℃の範囲で行われる。熱処理型の合金では、この処理により母相中に析出相を微細に分散させることができる。強度は、温度・時間の増加により、はじめは増加しピークに達した後、減少に転じる。
絞り加工	しぼりかこう	直径 $d_0$ の円板状の素材を、 $d_1$ の直径の孔のダイスにパンチを用いて押し込み、カップ状の製品を作る加工法。深絞り加工とも呼ぶ。
晶出	しょうしゅつ	液相から固相が出現すること。
初晶	しよしょう	初めに晶出する固相。
靱性	じんせい	材料の破壊しにくさを表す指標。一般に、同一組成で強度を高めるように調質すると靱性は低下する。すなわち靱性と強度はトレード・オフの関係にある。
靱性に及ぼす板厚の影響	じんせいにおよぼすいたあつのえいきょう	力学的条件のみを考えると、厚肉材の中心部では、周囲の拘束のため、塑性変形しにくい。したがって水素など環境からの影響がない場合は、一般に厚肉材ほど靱性が低くなる傾向を生じる。
水素脆化	すいそぜいか	材料の使用環境から水素が侵入して、材料の靱性・延性が低下する現象。
水素マイクロプリント法	すいそまいくろぷりんとほう	Hydrogen Microprint Technique。金属中の水素は原子状水素(H)であり強い還元性を持つため、AgBr(写真乳剤の主成分)+H→Ag+HBr の反応により写真と同様に銀(Ag)が生じることを利用して水素の放出場所を特定する手法。

スピニング	すびにんぐ	材料を回転させ、工具を押し当て、材料の外部の輪郭を変える加工法。圧縮水素容器ライナーのネック部の加工に用いられる。
すべり	すべり	金属の塑性変形は、せん断応力を受けた転位がある特定の結晶面を運動することにより起こる。この結晶面をすべり面、この転位の運動をすべり運動、この運動により生じる変形をすべり変形と呼ぶ。
スラブ	すらぶ	圧延に用いるもとなる断面が長方形で、長さが十分長い鋳塊。
整合・非整合	せいごう・ひせいごう	第二相と母相の格子面が連続していることを整合といい、不連続となっていることを非整合という。
静水圧応力場	せいすいあつおうりょくば	3方向に引張応力がはたらいっている状態。
セミソリッド加工	せみそりっどかこう	金属の加工法は伝統的には、完全な液相状態から型に流し込む鋳造と、完全に固相の状態で行う塑性加工に分かれる。セミソリッド加工は、液相と固相とが共存する状態（この状態の材料をスラリーという）で、型に流し込み成形する方法。
調質	ちょうしつ	所望の特性を発現させるべく、質別をコントロールすること。
低角粒界	ていかくりゅうかい	境界の両側の角度差が小さい粒界。小角粒界に同じ。
低ひずみ速度法	ていひずみそくど	水素脆化には、水素が材料中に侵入した後き裂先端に移動する必要があるため、耐水素脆化性を試験する場合、試験時間を長期に取る必要がある。試験方法には、一定応力で水素が侵入しやすい環境に長期間暴露する方法と、同様な環境下で極めて遅い速度で通常の引張試験を行う方法がある。後者のことを低ひずみ速度法 ( <u>S</u> low <u>S</u> train <u>R</u> ate <u>T</u> echnique: SSRT)といい、試験中の応力変化を記録したり、試験を途中で止めて亀裂の状況を観察したりすることができる。
転位	てんい	金属の塑性変形をもたらす格子欠陥。

デンドライト	でんどらいと	アルミニウムなどの立方晶構造の金属材料では、初晶が晶出する場合は、はじめにある優先方向に固相が成長し、その直後にそれと直交する 2 つの方向に枝（二次枝）が生じ、さらに二次枝に直行する 2 方向に三次枝が生じる。このように樹枝状に金属が凝固することをデンドライト凝固といい、生じた樹枝状の部分をデンドライトと呼ぶ。
ディンプル	でいんぷる	引張変形後期には試験片にくびれを生じるため、試験片内部では 3 方向に引張応力がはたらき、微小空洞が生じる。これら微小空洞が合体した結果、引張破断面には円形の窪みが多数見られる。この窪みの集まった状態の破面をディンプル破面という。
トラップサイト	とらっぷさいと	捕捉場所
熱間加工と冷間加工	ねっかんかこうとれいかんかこう	金属を塑性加工する場合、加熱して行うのが熱間加工、特に加熱しない加工を冷間加工という。熱間加工では、変形荷重が少なくすみ、また変形能も高いが、設備が大掛かりになることと、表面性状が低下するのが欠点である。
燃料電池自動車搭載用圧縮水素容器	ねんりょうでんちじどうしゃとうさいようあっしゅくすいそようき	外側を炭素繊維強化樹脂(C-FRP)で補強し、内部(ライナー材)を金属とする Type-3 と、ライナー材を樹脂とする Type-4 がある。
バフ研磨	ばふけんま	布に研磨材を分散させて、金属表面を研磨する方法。
ピーク時効	びーくじこう	最高強度まで時効すること。質別記号では一般に T6 と表記する。
ひずみ	ひずみ	変形量（長さ変化）を元の長さで除した量。
ひずみ速度	ひずみそくど	変形を与える時の速度を、単位時間あたりに与えるひずみで表わした量。
ビレット	びれっと	円柱状の長い鋳塊を、押出し用に適当な長さに切断したもの。
疲労強度	ひろうきょうど	疲労限度（疲労破壊しない応力振幅の最大値）。一般には $10^7$ 回まで破断しない応力振幅の最大値。
フローフォミング	ふろーふぉーみんぐ	円筒状の材料の内部に芯金を当て回転させ、工具を押し当てて減肉するとともに長い製品を得る加工法。圧縮水素容器ライナーの胴体部の加工に用いられる。

ポアソン比	ぽあそんひ	材料の引張弾性変形時に、引張方向に生じたひずみに対する直角方向に生じるひずみの比。
母相・第二相	ぼそう・だいにそう	合金化した場合、ある添加量までは固体状態でも、ベース金属と完全に混じり合う（ベース金属と同じ結晶構造を示す）（固溶状態、固溶体）。しかしその添加量（固溶限）を超えると、別の構造あるいは著しく組成の異なる相を生じる。この別な相を第二相、元のベース金属と同じ構造の相を母相という。アルミニウム母相は $\alpha$ と呼ぶことが多い。
摩擦攪拌接合	まさつかくはんせつごう	回転する工具と材料の摩擦により、発熱させつとともに材料を流動させ、固相状態で接合させる方法。
未再結晶組織	みさいけっしょうそしき	一般に熱処理型合金では溶体化処理が必要であり、その時の加熱により再結晶が起こる。しかし再結晶抑制元素を添加すると、再結晶前に回復の状態にすることができる。この組織を未再結晶組織といい、一般に転位網から成る小角粒界（境界での方位差が小さい粒界）で囲まれた亜結晶粒で構成される。転位網が存在するのでまだ再結晶は起こっていない。
陽極溶解	ようきょくようかい	第二相と母相との電気化学的性質の違いにより、局部的に電池が構成され、その陽極に当たる相が溶出すること。
溶体化処理	ようたいかしより	多くの合金では、温度を上げるとアルミニウム母相単相またはそれに近い状態となり、合金元素は固溶する。この状態にすること。その後急冷しないと固溶状態は室温に持ちたすことができない。
粒界拡散	りゅうかいかくさん	結晶格子ではなく、多結晶体の粒界部分を通して原子が移動すること。
粒成長、結晶粒の粗大化	りゅうせいちよう、けっしょうりゅうのそだいか	再結晶粒は格子欠陥を含んだ領域には速い速度で成長し、すぐに再結晶粒同士がぶつかる状態になり、成長速度が遅くなる。この状態からの結晶粒の成長を粒成長という。
レベラ調整	れべらちょうせい	圧延板などでは圧延直後の材料にそりが生じることが多い。レベラはこれを矯正する機械である。
DC 鋳造	DC ちゅうぞう	アルミニウム合金の量産に用いられる半連続鋳造法。鋳型の直下で鋳塊を水冷する。
T6 調質	T6 ちょうしつ	溶体化処理後、室温以上の温度でピーク強度に達するまで、時効すること。

T7 調質	T7 ちょうしつ	7000 系高強度アルミニウム合金において、応力腐食割れを軽減する目的で行われる過時効処理。
-------	----------	--

用語集(水素基礎物性の研究)

用語	定義
インパルス	爆発によって生じた爆風圧（後述）と爆風圧が継続した時間の積であらわす。 爆風圧と併せて爆発による被害を予測する目安となる。
液滴剥離モデル	液体水素蒸発挙動の一形態のモデル。ピンホール等の小口径から漏れ出した液体水素が、液柱を形成し、表面から液滴を剥離させながら蒸発・拡散する形態をモデル化したもの。
ジュールトムソン係数	「等エンタルピー過程」での「圧力変化」に対する「温度変化」の割合であり、断熱条件下での圧縮・膨張時の昇温・降温挙動を示す指標。 気体が断熱膨張する場合、この係数が正であれば温度は低下し、負であれば上昇する。ちなみに、この係数が0になる温度を逆転温度という。
爆燃・爆ごう	燃焼速度（火炎面の伝播速度）が音速以下の場合を爆燃、音速を超えると爆ごうと呼ぶ。燃焼速度が増加し、爆燃から爆ごうに転移することを爆ごう転移という。一般に爆ごうが起こると被害は甚大になる。
爆風圧	気体や火薬が燃焼する際に生じる圧力。過圧(overpressure)ともいう。インパルスと併せて爆発による被害を予測する目安となる。
フルード数	流体の運動を特徴づける無次元数で慣性力と重力の比で表される。本研究では、換気風の慣性力と水素の浮力の比となる。
AutoReaGas	ガス爆発および爆風の影響を解析するための商用の 3 次元 CFD ソフトウェア。
CHAMPAGNE	三菱重工業にて開発・所有している多相・多成分の 3 次元流体挙動評価用ソフトウェア。相変化（蒸発および凝縮）や化学反応を伴う熱流動挙動評価に利用できる。
CFD	Computational Fluid Dynamics(数値流体力学)の略。ナビエ-ストークス方程式と連続の式、その他必要に応じてエネルギーの式（熱対流）やマクスウェルの方程式（電磁流体力学）、状態方程式などを連立して、数値的に解くことで流体の挙動を予測する。
Kelvin-Helmholtz 不安定	密度の異なる 2 種類の流体が相対速度をもって接しているときに、その接触面で成長する流体の不安定性。

Nm <sup>3</sup>	ノルマル立方メートル。標準状態（温度 0℃ 圧力 1 気圧）に換算した体積。温度・圧力が異なる条件での体積表記では、絶対量の把握や相対的な量の比較が困難であり、これを回避するため、温度・圧力条件を「標準状態」に統一した表記が用いられる。
-----------------	--

用語集(水素安全利用技術の基盤研究)

用語	定義
一次元 ZND モデル	一定速度で伝播する一次元の定常爆ごう波に関する理論モデルで、衝撃波背後の反応帯の存在を考慮した爆ごう波面の構造を精度よく近似することができる。
浮き上がり火炎	火炎基部がノズルから離れて浮き上がった状態の火炎。
火気離隔距離	火気を取り扱う施設と可燃性ガスの製造設備との距離。
最小着火エネルギー	可燃性混合気中において、火炎伝播を起こさせるためにその系に与えるべきエネルギーの最小値。可燃性ガスの濃度や圧力、着火方法、熱源の幾何学的形状などに大きく影響される。
衝撃波	媒質中（気体・液体・固体のいずれも含む）を圧力・温度・密度・速度などの変化が伝播する圧力波の一種である。衝撃波は変化の過程が不連続であり超音速で伝播する。 爆発下限界：物質が燃焼し得る圧力、温度、濃度などの範囲。燃焼範囲、可燃範囲ともいう。
静電反発力	同極性の電荷を近づけた際に働く斥力のこと。
静電容量	コンデンサなどの絶縁された導体において、どのくらい電荷を蓄えることができるかを表した量。電荷量 $Q$ は静電容量 $C$ と電圧 $V$ の積として、 $Q=CV$ であらわされる。よって、同量の電荷がある場合、静電容量が小さいほうが電圧が大きい。
導電率	体積抵抗率 $[\Omega \cdot m]$ の逆数。電気の通しやすさを表す。
爆風インパルス	爆風によって計測される圧力を時間で積分した値。圧力だけでなく、圧力が作用する時間が値に影響するので、圧力のピーク値よりも建物の被害などに関連があるといわれる。
マッハ数	流体の流れの速さと音速との比。流体が音速の何倍の早さで流れているかを表す。
乱流拡散	流れが乱流（流動する流体粒子がその相対位置を不規則に変えながら、入り乱れて流れる状態）である場合には、流れの中に渦が含まれ、渦は平均的な流れの方向とは無関係の方向に動いている。そのうち流れに垂直な速度成分を持つ渦によって物質が移動する現象を乱流拡散という。
DDT	燃焼から爆ごうへの転移、Deflagration to Detonation Transitionの頭文字。通常の燃焼が自身の反応によって加速されて、ついには衝撃波を伴う激しい爆ごう反応に至ること。

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1. 1 NEDO が関与することの意義

#### (1) エネルギー政策上の位置付け

資源に乏しい我が国が将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し、「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」(別添 1) が 2008 年 4 月に制定された。「水素社会構築共通基盤整備事業」(以下、本事業という。)は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施した。

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO<sub>x</sub>、浮遊粒子等)の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性・性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。

「新・国家エネルギー戦略」(経済産業省、2006 年 5 月)では、新エネルギーイノベーション計画として燃料電池を新たなエネルギー経済を支える基幹技術と位置づけて戦略的・重点的に技術開発や実証を推進するとしている。また、総合資源確保戦略として石炭ガス化燃料電池複合発電の開発・普及を図るとしている。

「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(経済産業省、2008 年 3 月)では、世界全体の温室効果ガス排出量を 2050 年までに半減するという目標の下、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅削減を可能とする 21 の革新技術が選定されているが、図 1.1-1 に示すように、民生部門で定置用燃料電池、運輸部門で燃料電池自動車(FCV)、および部門横断技術として水素製造・輸送・貯蔵が選定されている。

「環境エネルギー技術革新計画」(内閣府、2008 年 5 月)では、低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略において定置用燃料電池および FCV を開発の必要な技術として位置付けている。

「低炭素社会づくり行動計画」(2008年7月)では、定置用燃料電池について2020~2030年頃にコスト40万円/kW、耐久性9万時間まで向上させ本格普及を目指すとしている。

「エネルギー基本計画」(経済産業省、2010 年 6 月)では、エネルギー源のベストミックスを確保するためには燃料電池の技術開発の促進と内外への普及拡大によって天然ガスシフトを推進すべきであり、世界に先駆けて実用化された家庭用燃料電池の市場拡大を図り、2015 年からの FCV の普及開始に向けて水素ステーション等の供給インフラの整備支援を推進するとされている。また、その具体的な取組みとして、燃料電池の普及に向けた最大の課題であるコストの低減に向けて基礎的な部分も含めた技術開発を推進すると共に、FCV の普及開始に向けては供給インフラの整備コストを大幅に下げる必要があり、それには高圧ガス保安法に定める圧力容器の設計基準や使用可能

鋼材の制約等の規制への対応が課題となっているため、その解決に向けてデータに基づく安全性の検証や技術開発を推進するとしている。加えて、FCV の技術・社会実証を行うと共に、2015 年の FCV 導入開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業とも協力・連携し、供給インフラを含めた実証的取組を強化するとしている。

「新成長戦略」(内閣府、2010 年 6 月)では、燃料電池分野において日本が技術的優位性を有しており、戦略的な国際標準化を進めるとしている。

このように、「燃料電池」は継続して政策上の重要な技術分野となっている。

## 「Cool Earth－エネルギー革新技術 技術開発ロードマップ」 【出典：経済産業省】

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO2大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



※EMS : Energy Management System、HEMS : House Energy Management System、BEMS : Building Energy Management System

出典：経済産業省「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」

図 1.1-1 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

## (2) 研究開発政策上の位置付け

経済産業省は、政策を踏まえて、全ての研究開発プロジェクトを 7 つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進しているが、前記したように、本事業はそのうちのひとつ「エネルギーイノベーションプログラム」に含まれている。

我が国が持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及により世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。「エネルギーイノベーションプログラム」は、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有し、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを目指して制定されており、下記する 5 つの柱で構成される。

- ① 総合エネルギー効率の向上
- ② 運輸部門の燃料多様化
- ③ 新エネルギー等の開発・導入促進
- ④ 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保
- ⑤ 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

燃料電池は、従来の内燃機関に比べてエネルギー変換効率が高く、二酸化炭素の排出を大きく削減することが可能であること、天然ガス、灯油、メタノール等の多様な燃料の使用が可能であり石油代替の促進にも寄与すること、大気汚染の原因となる窒素酸化物や硫黄酸化物の排出が極微量であり環境保全の効果も期待できる等から、FCV や家庭用コージェネレーションとしての実用化の期待が高いエネルギー技術である。特に、将来は自然エネルギーを利用した水電解による水素を燃料として利用することも考えられ、新エネルギー利用を大きく拡大する可能性を備えている。このため、産業界では燃料電池および水素供給インフラの技術開発が鋭意進められているが、これらを広く円滑に一般社会に普及させるためには、関連する法令等の再点検、基準・規格作りといったソフトインフラの整備が不可欠である。

本事業は、「既存規制の再点検（適正化）」、「共通試験・評価技術の確立」、「国際標準の提案」の 3 点を FCV、定置用燃料電池、水素供給インフラ等に共通する実用化・普及のための「ソフトインフラ」として位置付け、産業界との密接な連携の下で、グローバル・マーケットを視野に入れた先取の高度な技術基準、標準化案を国内・国際標準に提案するために根拠となるデータの取得、およびそのデータ取得時に必要となる試験・評価技術の開発を実施するものである。

従って、本事業は運輸部門の燃料多様化に資する技術（前記②に該当）、新エネルギー等の開発・導入促進（前記③に該当）、化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用（前記⑤に該当）の施策として、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成に寄与するものである。

### (3) NEDO の関与の必要性

FCV・水素インフラおよび定置用燃料電池はこれまでにない製品・エネルギーの普及であることから技術開発に留まらず、技術実証、制度の整備（規制再点検・適正化）、標準化が必要であり、図 1.1-2 に示すように、NEDO はこれらプロジェクトを産学官協調の下、一体的・総合的に推進している。

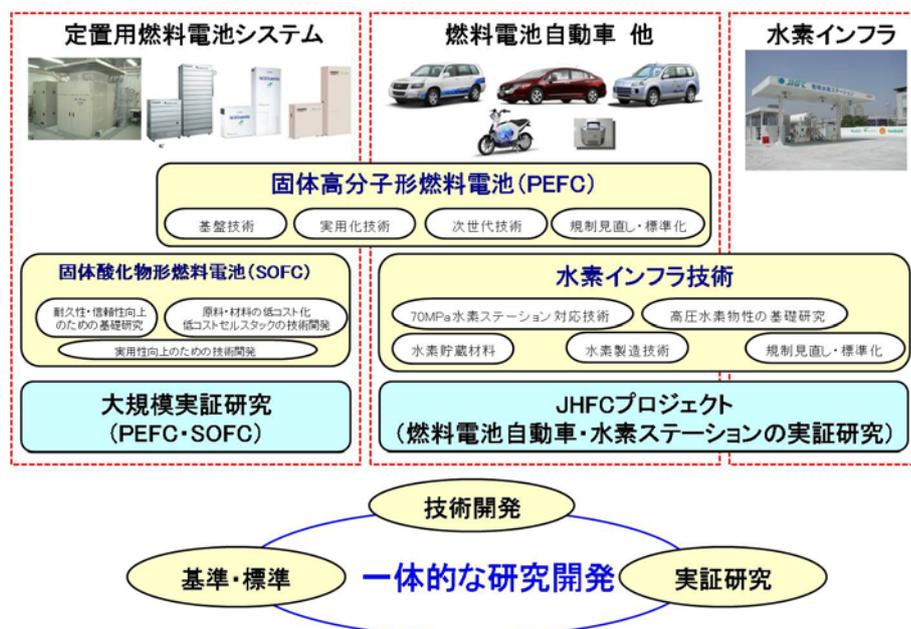


図 1.1-2 NEDO における燃料電池・水素分野の取り組みの概要

表 1.1-1 に NEDO の燃料電池・水素技術分野のプロジェクトの年度展開を示す。

先ず、本事業と並行して進められた主な技術開発プロジェクトの概要は次の通りである。

固体高分子形燃料電池（PEFC）に関しては、「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発」（平成 17～21 年度）および「劣化機構解析とナノテクノロジーを融合した高性能セルのための基礎的材料研究」（平成 20～26 年度）において電解質膜、電極触媒、周辺機器、改質器等に係る技術開発を推進している。

固体酸化物形燃料電池（SOFC）に関しては、「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」（平成 16～19 年度）および「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」（平成 20～24 年度）においてセルスタックの耐久性・信頼性の向上、低コスト化およびシステムの運用性の向上に係る技術開発を推進している。

水素インフラ技術に関しては、「水素安全利用等基盤技術開発」（平成 15～19 年度）および「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」（平成 20～24 年度）において、水素ステーション機器や車載等水素貯蔵容器の低コスト化・コンパクト化・耐久性向上に係る技術開発を推進している。また、「水素先端科学基礎研究事業」（平成 18～24 年度）および「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」（平成 19～23 年度）において、高圧水素や水素貯蔵材料の挙動データの取得・メカニズムの解明に資する基礎技術の開発を推進している。

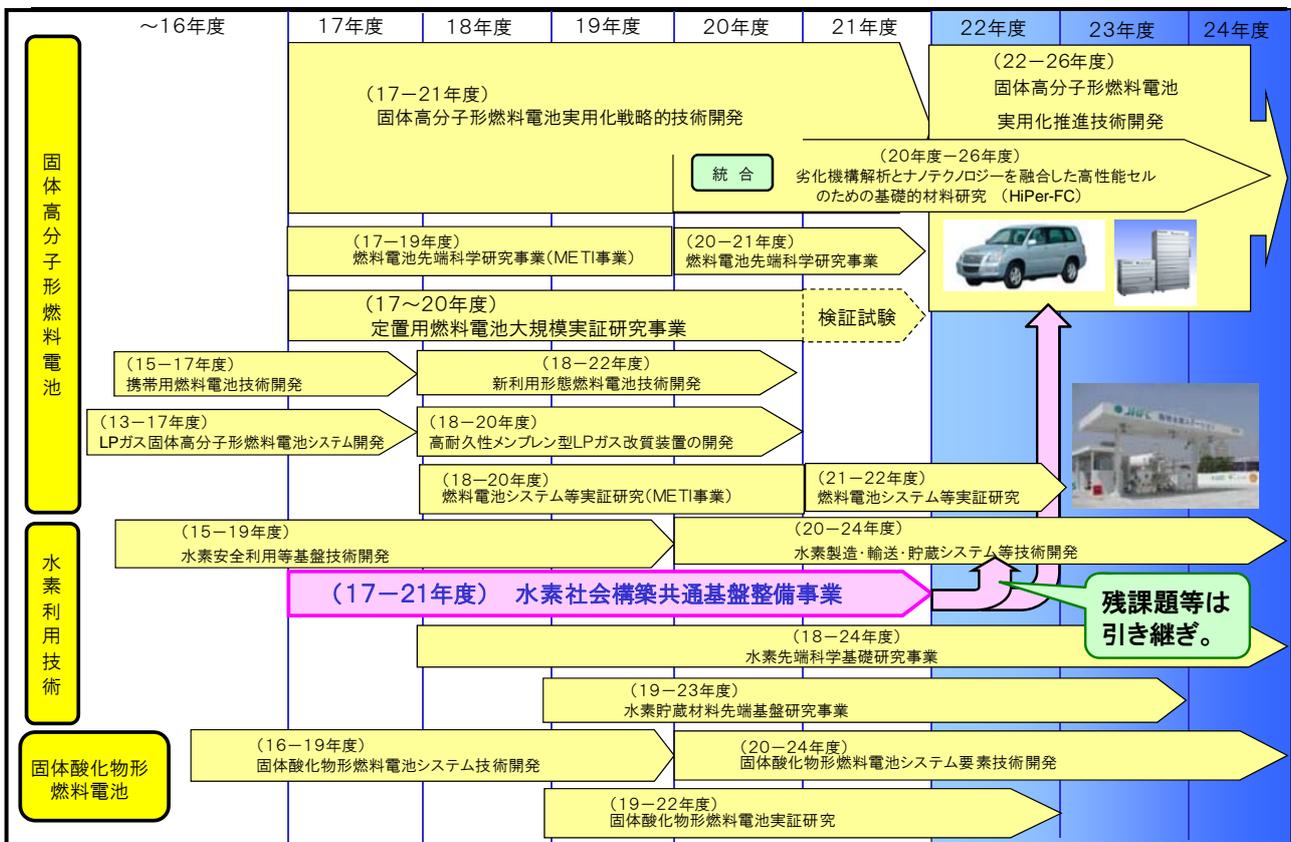
次に、本事業と並行して進められた実証プロジェクトの概要は次の通りである。

定置用燃料電池に関しては、「定置用燃料電池大規模実証事業」(平成 17～20 年度)において累計約 3,300 台の 1kW 級の家庭用 PEFC システムを全国に設置し、その省エネルギー性、信頼性、耐久性等の実証と実用化課題の抽出を行っている。また、SOFC も同様に、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成 19～22 年度)において 0.7kW～8kW 級のシステムを数百台規模で全国に設置し、実用化課題の抽出を行っている。

FCV・水素インフラに関しては、「燃料電池システム等実証研究」(平成 21～22 年度)において FCV の公道走行試験や水素ステーションの運用試験等を行い、FCV の省エネルギー効果・環境負荷低減効果の明確化や実用化における技術課題を抽出している。

本事業で取り組む「規制の再点検」、「共通試験・評価技術の確立」、「標準化」は、上記した FCV、定置用燃料電池 (PEFC、SOFC)、水素供給インフラ等に関する技術開発および実証プロジェクトと連携・整合して進めるべき三位一体の関係にある。また、これらの取り組みには基礎的なデータの蓄積を含む多岐にわたる検証が必要であり、民間企業の活動のみでは効果的・効率的な研究開発が見込まれない。そのため、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントする NEDO の関与が不可欠である。

表 1.1-1 NEDO 燃料電池・水素技術分野のプロジェクトの年度展開



## 1. 2 実施の効果

### (1) 経済効果

2010年に(株)富士経済が実施した燃料電池・水素分野の市場調査結果によると、家庭用PEFC、家庭用SOFC、FCV、水素ステーションおよび燃料電池用水素燃料の国内市場は、図1.2-1～図1.2-5に示すように、何れも2015年頃より立ち上がり、2020～2025年に拡大すると予測されている。これら5品目およびマイクロ・ポータブルFC、車載用高圧水素容器・水素圧力調整器（レギュレータ）、水素ステーション用蓄ガス器について、2015年と2025年の市場規模予測結果をまとめたものを表1.2-1に示す。

表1.2-1に示した10品目の国内市場規模の合計は、2015年で1,823億円、2025年で2兆3,433億円となり、我が国の経済効果への期待は大きく、本事業はその一翼を担うものである。

表 1.2-1 燃料電池・水素分野の市場規模予測

出典：「2010年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」（株式会社富士経済）

	2015年		2025年	
	市場規模 (百万円)	数 量	市場規模 (百万円)	数 量
家庭用PEFC	90,000	15,000台	273,000	700,000台
家庭用SOFC	9,600	8,000台	234,000	600,000台
マイクロFC	34,500	5,400,000台	52,000	17,300,000台
ポータブルFC	2,750	6,000台	33,750	210,000台
FCV	9,750	1,500台	990,000	450,000台
車載用高圧水素容器	750	1,500台	38,000	450,000台
車載用水素圧力調整器	244	1,500台	24,750	450,000台
水素ステーション	3,400	10件	38,000	400件
水素ステーション用蓄ガス器	140	200台	1,800	18,000台
燃料電池用水素燃料	31,200	780百万m <sup>3</sup>	658,000	16,450百万m <sup>3</sup>
市場規模合計 (百万円)	182,334		2,343,300	

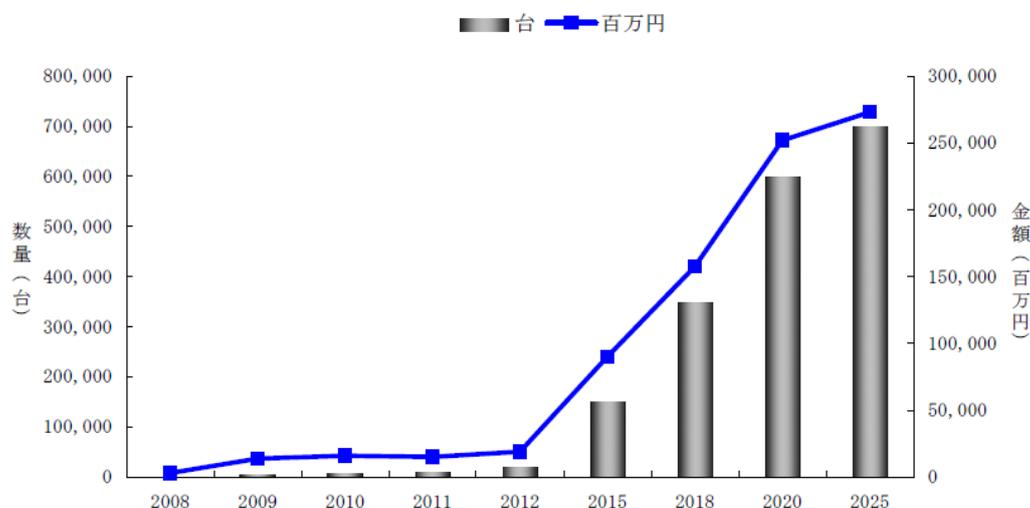


図 1.2-1 家庭用 PEFC の市場規模推移の予測

出典：「2010年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」（株式会社富士経済）

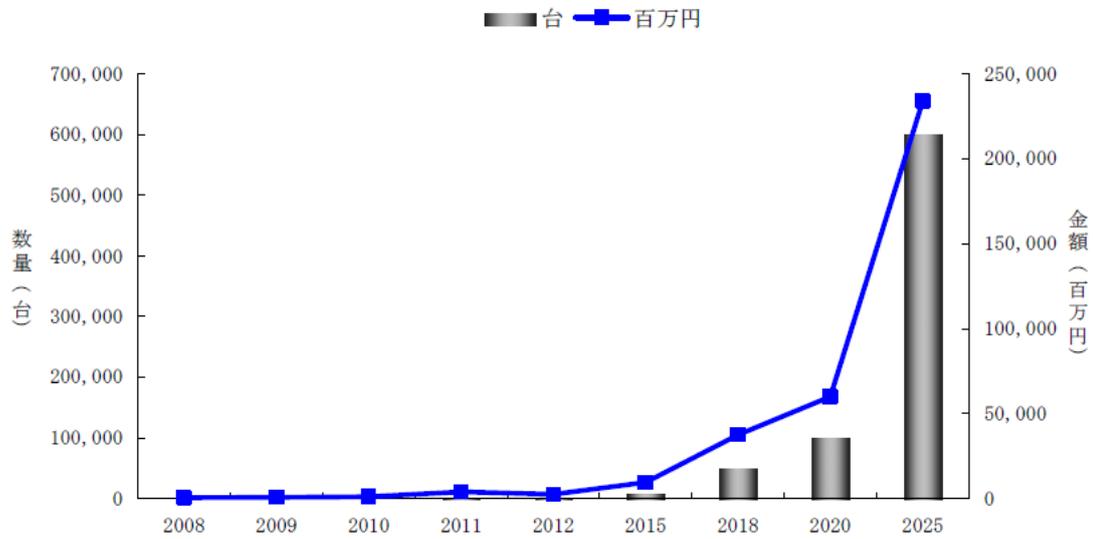


図 1.2-2 家庭用 SOFC の市場規模推移の予測

出典：「2010 年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」（株式会社富士経済）

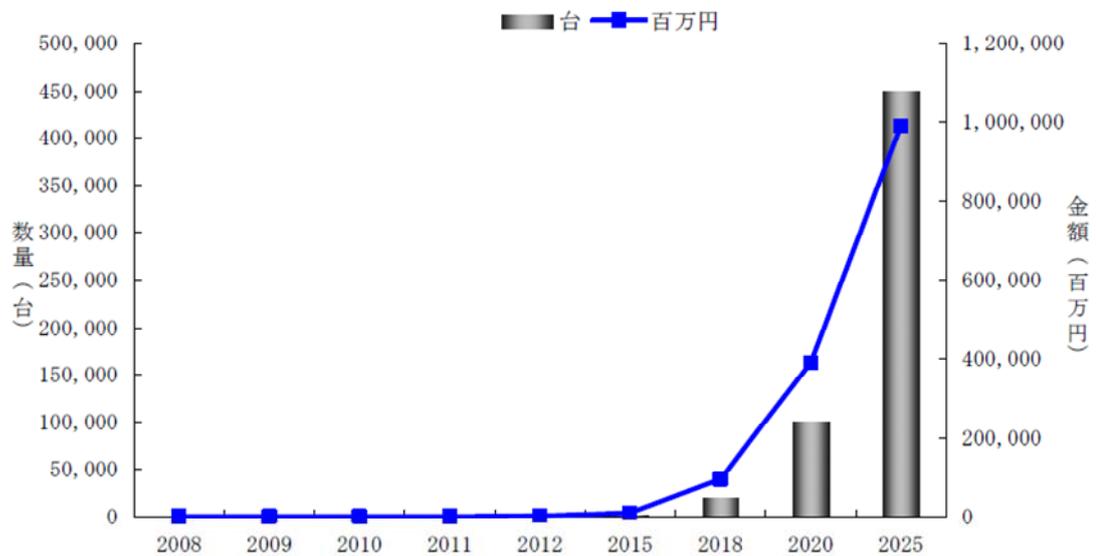


図 1.2-3 FCV の市場規模推移の予測

出典：「2010 年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」（株式会社富士経済）

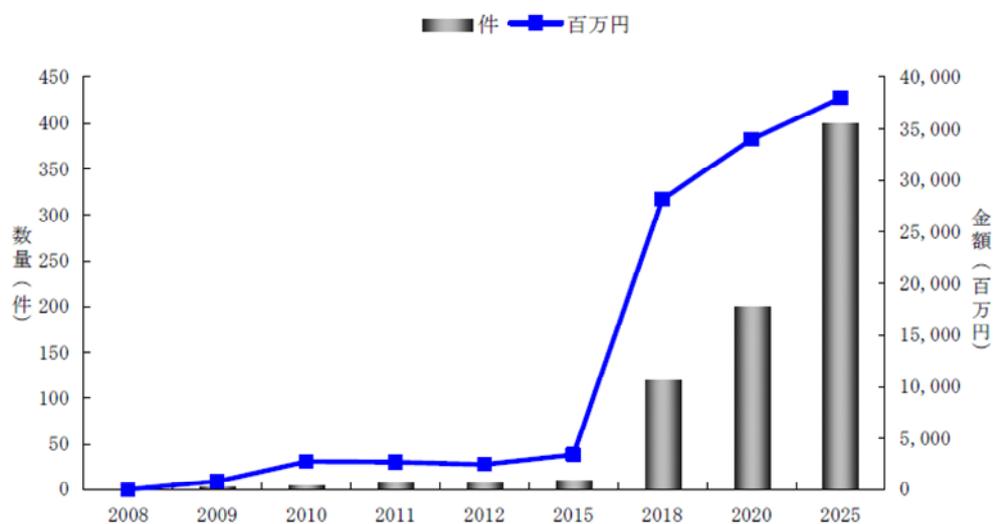


図 1.2-4 水素ステーションの市場規模推移の予測

出典：「2010 年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)

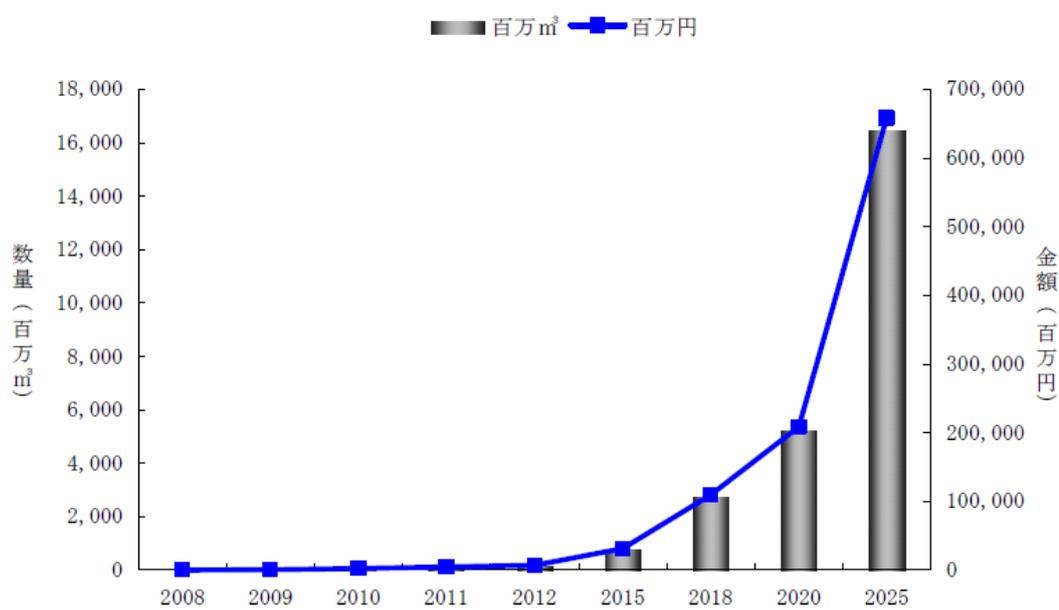


図 1.2-5 燃料電池用水素燃料の市場規模推移の予測

出典：「2010 年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)

## (2) CO<sub>2</sub>削減効果

家庭用 PEFC システム 1 台あたりの CO<sub>2</sub>削減量は、「定置用燃料電池大規模実証研究」における実測データに基づくと、系統電力とガス給湯器の組合せに対して約 1.2 トン・CO<sub>2</sub>/年となる。これに前記した 2025 年の家庭用 PEFC の市場規模（導入台数 70 万台/年）を当てはめると、年間 84 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

また、家庭用 SOFC システム 1 台あたりの CO<sub>2</sub>削減量は、「固体酸化物形燃料電池実証研究」における実測データより約 1.3 トン・CO<sub>2</sub>/年となる。これに前記した 2025 年の家庭用 SOFC の市場規模（導入台数 60 万台/年）を当てはめると、年間 78 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

FCV の CO<sub>2</sub> 排出量（1 次エネルギーの採掘から車両走行に至る全エネルギーを考慮した際の CO<sub>2</sub> 排出量）は、「燃料電池システム等実証研究」における試算結果として、図 1.2-6 に示すように、ガソリン車の約 1/3 となっている。一方、運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出量を 257 百万トン/年（2005 年度：「長期エネルギー需給見通し」による）の 9 割が自動車によるものとし、保有台数を約 7,500 万台とすれば、自動車 1 台当たりの約 3 トン・CO<sub>2</sub>/年となる。したがって、FCV1 台当たりの CO<sub>2</sub> 削減量は約 2 トン・CO<sub>2</sub>/年となる。これに前記した 2025 年の FCV の市場規模（導入台数 45 万台/年）を当てはめると、年間 90 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

上記した 2025 年における定置用燃料電池（PEFC、SOFC）と FCV の CO<sub>2</sub> 削減量の合計は約 252 万トン/年となり、我が国の CO<sub>2</sub> 削減効果への期待は大きく、本事業はその一翼を担うものである。

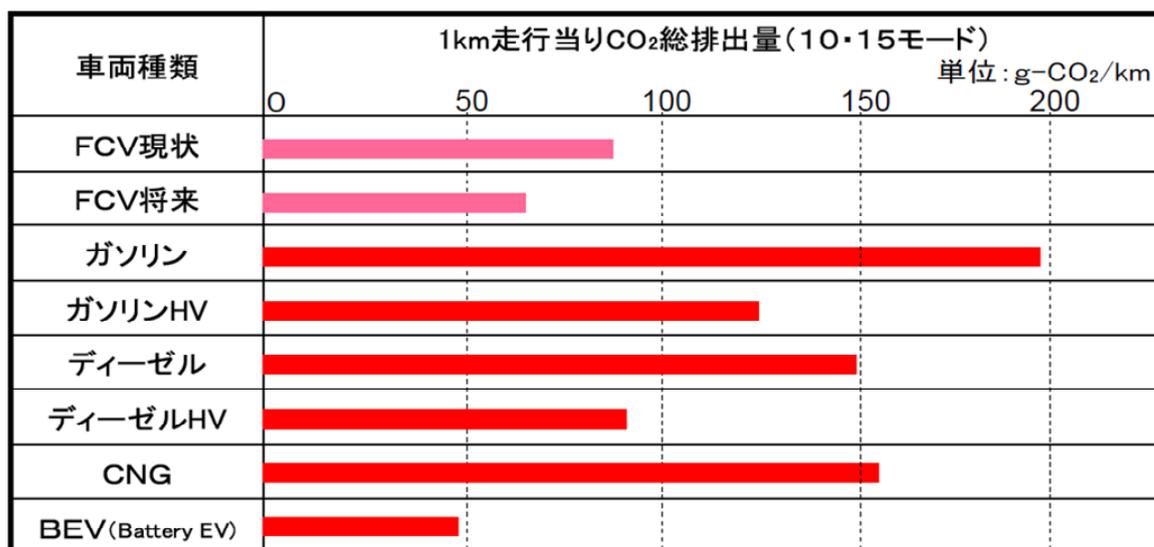


図 1.2-6 各種車両の Well to Wheel の CO<sub>2</sub>排出量

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

### 2.1 燃料電池・水素インフラの開発・普及動向

#### (1) 定置用燃料電池の動向

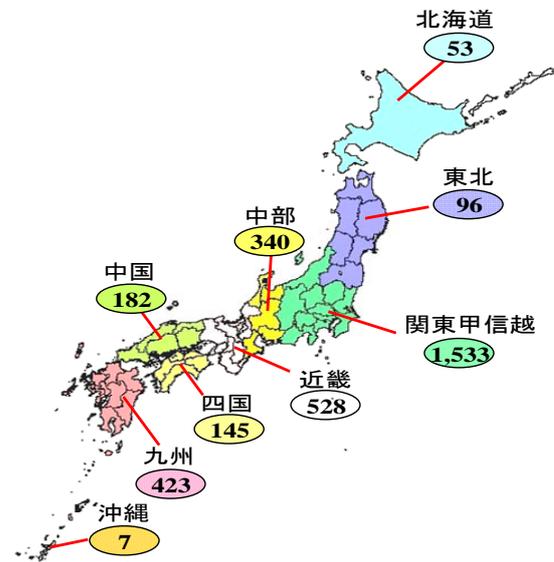
##### a. 日本

我が国においては家庭用 PEFC システムの普及を目指し、「定置用燃料電池大規模実証研究」（平成 17～20 年度）が NEDO 事業として実施されている。この実証研究では、表 2.1-1 に示すように、日本全国に累計約 3,300 台の家庭用 PEFC システムを設置して実運転を行い、省エネ性、信頼性、耐久性等を実証した。この事業で確認された一次エネルギー削減量と CO<sub>2</sub>削減量はトップ機種で 12,180MJ/年（省エネ率 25%）、1.2 トン/年（CO<sub>2</sub>削減率 39%）である。こうした成果を受け、業界の統一ネーミングが「エネファーム」と定められ、平成 21 年度より経済産業省の導入支援補助金制度の下、世界初の一般販売がスタートしている。市場導入初年度の販売実績は 5,258 台であり、今後 5 年間で 4 万台以上が導入される見込みである。

我が国の主要な定置用燃料電池メーカ、自動車メーカ、エネルギー関係企業等が参加する燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）の導入・普及シナリオを図 2.1-1 に示す。2020 年までに累積導入 250 万台、年間約 300 万トンの CO<sub>2</sub>削減を目指している。現在は、景気低迷という厳しい環境の中、システムメーカ、材料メーカ、エネルギー事業者、住宅供給者等の民間先行投資も加えながら、市場形成に向けた努力が進められている。

表 2.1-1 NEDO 「定置用燃料電池大規模実証研究」の概要

実施者	燃料種	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	計
東京ガス	都市ガス	150	160	210	276	796
大阪ガス	都市ガス	63	80	81	141	365
東邦ガス	都市ガス	12	40	38	34	124
西部ガス	都市ガス	10	10	13	10	43
北海道ガス	都市ガス	-	10	10	5	25
日本瓦斯	都市ガス	-	3	4	3	30
	LPガス	-	7	6	7	
新日本石油	都市ガス	-	-	-	11	1328
	LPガス	134	226	250	403	
	灯油	-	75	146	83	
出光興産	LPガス	33	40	50	28	151
ジャパンエナジー	LPガス	30	40	34	40	144
岩谷産業	LPガス	10	34	29	10	83
コスモ石油	LPガス	10	19	14	13	66
	灯油	-	-	5	5	
太陽石油	都市ガス	-	-	-	2	50
	LPガス	8	13	18	9	
九州石油	LPガス	8	10	12	10	40
昭和シェル石油	LPガス	6	10	10	10	36
レモンガス	LPガス	6	-	-	-	6
エネアージュ	LPガス	-	-	-	10	10
サイサン	都市ガス	-	-	-	2	10
	LPガス	-	-	-	8	
計		480	777	930	1120	3307



システムメーカ	LPG	都市ガス	灯油	合計
ENEOSセルテック	1062	191	0	1253
荏原製作所	0	396	314	710
東芝燃料電池システム	554	194	0	748
パナソニック	0	520	0	520
トヨタ自動車	0	76	0	76
合計	1,614	1,379	314	3,307



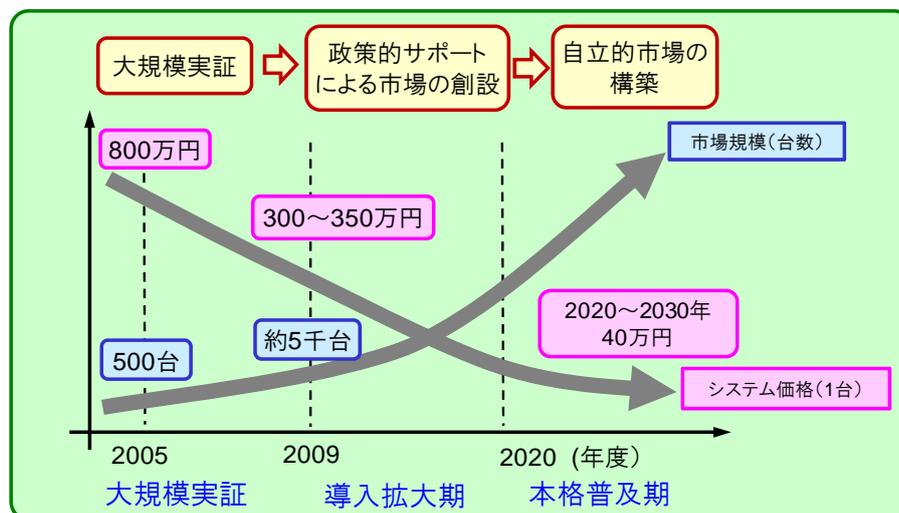


図 2.1-1 家庭用 PEFC システム (エネファーム) の普及シナリオ

SOFC も同様に、NEDO 事業「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成 19~22 年度)において、SOFC システムを一般家庭等の実負荷環境下に設置し、取得された各種運転データについて評価・分析を行い、普及に向けた技術課題を抽出する取り組みが進められている。表 2.1-2 に示すように、本実証研究では過去 3 年間(平成 19~21 年度)で 0.7kW~8kW 級のシステム 132 台が運転されており、H22 年度は 0.7kW 級システム 101 台が設置される予定である。

表 2.1-2 NEDO「固体酸化物形燃料電池実証研究」における SOFC 運転実績

設置運転事業者	システム提供者	設置台数				燃料	定格出力
		H19	H20	H21	H22(予定)		
大阪ガス	京セラ	20	25	12	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	23	41		
	TOTO	0	0	0	2		
東京ガス	京セラ	3	2	12	0	都市ガス	0.7kW
	ガスター・リンナイ	0	0	2	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	4	11		
	TOTO	0	0	0	1		
北海道ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
西部ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
東京電力	京セラ	0	1	1	0	都市ガス	0.7kW
東北電力	京セラ	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
新日本石油	新日本石油	1	2	14	27	LPG	0.7kW
		1	1	1	1	灯油	
東邦ガス	トヨタ・アイシン	0	0	1	2	都市ガス	0.7kW
	日本特殊陶業	0	0	0	2		
TOTO	TOTO	0	2	6	10	都市ガス	0.7kW
		2	0	0	0		2kW
		0	1	0	0		8kW
合計		29	36	67	101		

## b. 米国

米国における定置用燃料電池（PEFC）の導入台数は2008年度までに500台程度と推定される。過去に実施された実証試験で規模が大きかったのは、DOD（国防総省）が2001～2004年に実施したプロジェクトであり、Relion、Plug Power、Ballard、IdaTech、Nuveraの1～20kW級のPEFCシステムが91台導入されている。

エネルギー省（DOE）は2008年から“Market Transformation Activities”政策を打ち出し、国、州、軍関係で燃料電池を積極的に導入して市場の育成を図っており、バックアップ用、フォークリフト用、移動用といった定置用燃料電池以外の用途での商品化が進んでいる。2009年のオバマ政権の経済再生法による経済活性化政策においても、これら用途で燃料電池の商品化を進める企業13社を支援するため、4,190万ドルの予算が配分されている。

米国では自然災害による長時間の停電事故が増加しており、通信基地では8時間の停電対応が標準になっており、バックアップ電源はバッテリー方式から純水素燃料電池式への転換が進んでいる。そのため、1～5kW級の純水素PEFCの市場が拡大しており、Relion、Plug Power、Ballard、IdaTech、Hydrogenics、Altergy、UTC Powerが数千台以上の販売規模で事業を展開している。例えば、Ballard、IdaTechはインドから3万台を受注しており、Altergyは2008年末の3ヶ月間に5～15kW級PEFC合計1,100kWを電話会社に納入したと報道されている。

また、3～30kW級の純水素燃料電池を使用するフォークリフトは長時間運転が可能であり、予備バッテリーを必要とするバッテリーフォークリフトよりも総合コストに有利といわれている。20万台/年の規模を有する北米市場は燃料電池の大きな市場と期待されており、現在、Ballard、Plug Power、Hydrogenics、Nuveraなどがフォークリフト車両メーカーに燃料電池を供給している。移動用電源に関しては、Jadoo PowerがPEFCの100Wシステムを商品化している。

## c. 欧州連合（EU）

EUの燃料電池・水素分野における2020年の目標を示した“Snapshot 2020”では、定置用燃料電池の年間普及の目標台数を10～20万台（2～4GW）、累積普及の目標台数を40～80万台（8～16GW）としている。また、価格目標はマイクロコジェネ（100kW以下）が2,000ユーロ/kW、産業用コジェネ（100kW以上）が1,000～1,500ユーロ/kWとなっている。

EUの科学技術政策の支援プログラムである第6次フレームワークプログラム（FP6）では、燃料電池・水素関連に3億1,500万ユーロが予算配分されており、そのうち定置用・ポータブル分野には7.7%が配分されている。また、2008年から始まった第7次フレームワークプログラム（FP7）では、より企業からの意見・ニーズを反映させるため、EU研究総局に代わり官民パートナーシップのジョイント・テクノロジー・イニシアティブ（JTI）が意志決定機関として設置されており、このFP7での燃料電池・水素JTI（FCH JTI）ではEU委員会より4億7,000万ユーロが支出され、企業からも同額が拠出されることになった。FCH JTIは、4つのアプリケーション分野（Innovation and Development Action : IDA）に分けられており、発電・コージェネレーション分野のIDA4には全体の37%の予算が割り当てられている。

#### d. ドイツ

ドイツでは、2006年に交通建設住宅省（BMVBW）、経済技術省（BMWFi）、教育省（BMBWF）および環境省（BMU）の4省が協力した「水素・燃料電池技術革新プログラム」（NIP）が立ち上げられ、官民がリスク負担し、定置用燃料電池、FCV・水素インフラの技術開発、実証、規格・標準化等を推進する複数のプログラムが推進されている。

そのプログラムの1つである“Callux Lighthouse”（Cal=熱、Lux=光の合成語：コージェネレーションの意味）では、天然ガスを燃料とした1～5 kW級の家庭用燃料電池（PEFCおよびSOFC）について国内の3～5ヶ所で実証運転を行い、開発課題を抽出している。総予算は8,600万ユーロであり、そのうち約4,000万ユーロを政府が負担している。2012年までのフェーズ1で800台の1kW級家庭用燃料電池を設置し、フェーズ2で商業化の開始を計画している。このプログラムにはBaxi Innotech（スタックは米国Ballard Power Systemが供給）、Vaillant（スタックは米国Plug Power社が供給）、Viessmannのシステムメーカ3社とエネルギー会社5社が参加している。2010年9月までに設置されたシステム台数は71台である。

また、ドイツには移動用電源の商品化に取り組む企業も存在し、Smart Fuel CellはDMFCによる25～250W級の移動電源を軍用、レジャー用、産業用の分野で商品化している。既に欧州のキャンピングカーメーカから1万台を受注したほか、ドイツ軍から携帯用、車両搭載用、兵舎用などの多数を受注している。

#### e. 韓国

韓国では、第2次の新・再生可能エネルギー技術開発および利用・普及基本計画（2003～2012年）の下で、燃料電池・水素分野のプロジェクトが数多く実施されており、2009年度までに約3400億ウオンの予算が燃料電池分野に配分されている。

“Million Green Home2020”プロジェクトにおいて、2020年までに家庭用燃料電池の10万台の導入が計画されている。これまで数百台のシステムが導入され、2010年度は200台の導入が予定されている。導入補助率は90%（ユーザ負担600万ウオン）と高く、燃料電池で発電した電気の売電（系統への逆潮流）が可能である。韓国における家庭用燃料電池の開発推移は以下の通りであり、国内の市場規模は小さいため国産化を加速しての海外展開を指向している。

- ① 1996～2001年：5kWシステム開発（KIER：韓国エネルギー研究所）
- ② 2004～2006年：3kWシステム開発（CETI：Clean Energy Technologies, Inc）  
1kWシステムの初期実証段階
- ③ 2006～2009年：1kWシステムのモニタリング事業・実証段階  
合計210台、2011年11月まで評価継続。  
メーカー：GS Fuel Cell、Fuel Cell Power、Hyosungの3社
- ④ 2010年～：普及段階（2010年度は200台設置予定）

## (2) FCV・水素インフラの動向

### a. 日本

我が国においてはFCVの普及を目指し、2002年よりJHFCプロジェクト（水素・燃料電池実証プロジェクト：Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project）が経済産業省の直轄事業として開始されており、FCVの公道走行試験や水素ステーションの運用等が行われている。図2.1-2にJHFCプロジェクトの概要を示す。

その結果、FCVの燃料電池スタックや燃料電池システムの改良が進み、表2.1-2に示すように、我が国自動車メーカーのFCVの航続距離は500km以上、最高速度150km/h以上となり、性能は内燃機関車と遜色ないレベルに到達している。



図 2.1-2 JHFC プロジェクトの概要

表 2.1-2 各自動車メーカーのFCV

	トヨタ FCHV-adv	ホンダ FCX Clarity	日産 X-TRAIL FCV 2005モデル	GM Chevrolet Equinox	Daimler B-class F-cell
					
車両重量	1,880 kg	1,625 kg	1,860 kg	2,010 kg	
航続距離	830 km	620 km	500 km以上	320 km	400 km
最高速度	155 km/h	160 km/h	150 km/h	160 km/h	174 km/h
燃料電池出力	90 kW	100 kW	90 kW	93 kW	80 kW
水素充填圧力	70 MPa	35 MPa	70 MPa	70 MPa	70 MPa

トヨタ自動車は2008年6月にFCHV-advの型式認証を取得し、9月よりリース販売を開始している。今後、セダンタイプのFCVの開発を進め、2015年頃から日米欧の水素供給インフラが整備される地域に投入することを公表している。また、車両価格は現時点で1,000万円を切るレベルの目処がついており、市場導入に向け、ユーザが納得する価格の実現を目指したコストダウンに取り組むことも公表している。ホンダは2008年6月にFCXクラリティの第1号車（米国仕様）をラインオフし、日米合わせた販売計画台数として年間数十台、3年間で200台程度を予定していることを公表している。日産自動車は2008年8月に新開発の燃料電池スタックを発表し、出力を従来の90kWから130kWに向上させながら、体積を3/4にして高出力密度化を実現している。

また、2008年7月、FCCJによって2015年に商用の水素ステーションの設置を開始し、FCVの一般ユーザーへの普及開始を目指すという普及シナリオ（図2.1-3）が発表されている。さらに、2010年7月には、このシナリオをさらに発展させものとして、2025年時点でFCVを200万台程度、水素ステーションを1,000箇所程度普及させ、その後は経済原理に基づいて自立的に普及させていくとのシナリオ（図2.1-4）が発表されている。

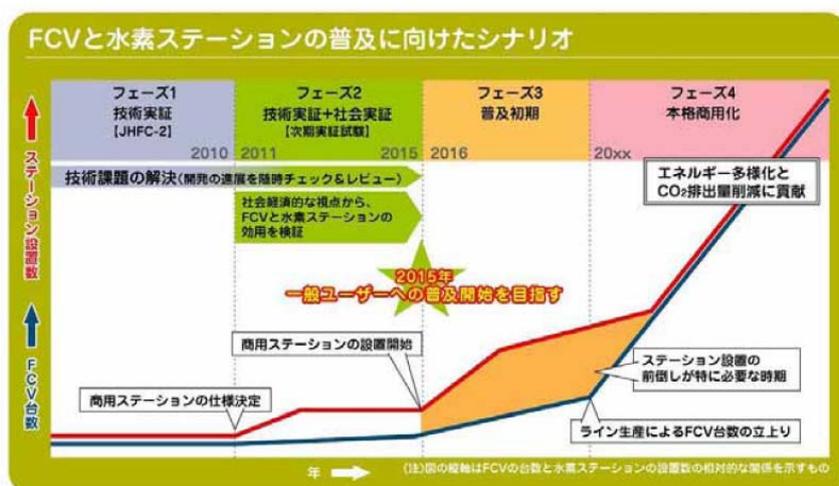


図 2.1-3 FCV と水素ステーションの普及シナリオ（2008年7月 FCCJ 発表）

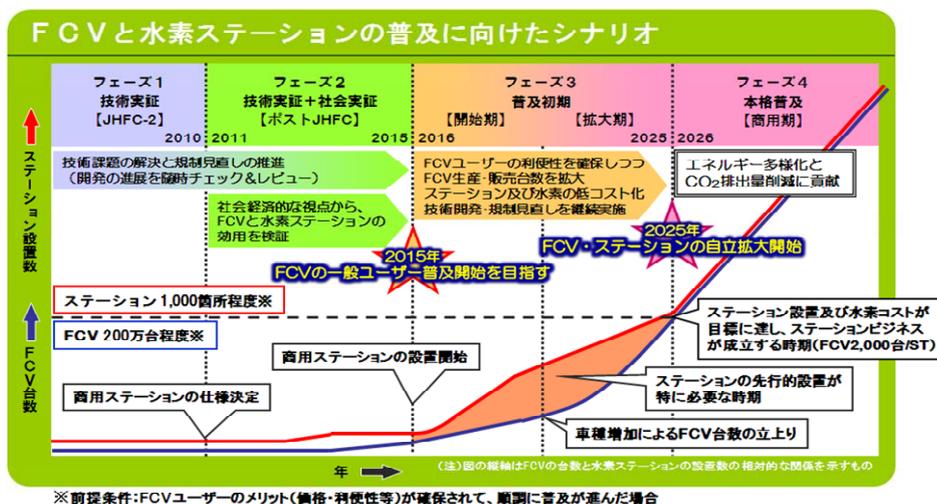


図 2.1-4 FCV と水素ステーションの普及シナリオ（2010年7月 FCCJ 発表）

## b. 米 国

### ① DOE Fuel Cell Vehicle and Infrastructure Learning Demonstration

実証試験を通じて FCV の技術レベルを確認すると共に、実証試験の結果を水素関連の研究開発にフィードバックすることを目的として、2004 年より大手自動車メーカ 4 社が参加し、FCV の走行実証や水素ステーションの運用試験が進められている。これまでに 122 台の FCV の走行試験を行われ、20 ヶ所の水素ステーションが建設されている。

### ② カリフォルニア燃料電池パートナーシップ (CaFCP)

カリフォルニア州は、全体の 33%を CO<sub>2</sub>フリーのステーションとすることを目標として水素ステーションの導入支援を行っており、建設費や運営費として毎年 600 万ドルが助成されている。その導入補助率は 50%であるが、100%再生可能エネルギーで水素を製造するステーションに対しては補助率を優遇している。2010 年時点で、26 ヶ所の水素ステーションが建設され、250 台の FCV が導入されている。また、2014 年までに 46 ヶ所の水素ステーションと 4,300 台の FCV の導入、2017 年までに 49,600 台の FCV と 150 台の燃料電池バスの導入が計画されている。なお、インフラ投資総額は 1.79 億ドルと試算されている。

## c. 欧州連合 (EU)

### ① Clean Urban Transport for Europe (CUTE)

2001 年～2005 年に欧州 7 ヶ国 9 都市（ロンドン、ストックホルム、アムステルダム、ハンブルグ、シュツットガルト、ルクセンブルグ、バルセロナ、マドリード、ポルト）において、ダイムラークライスラーの燃料電池バス「シターロ」27 台を導入して様々な水素サプライチェーン（水素製造、貯蔵、輸送）の検証が行われている。なお、この事業は 2006 年以降、“HyFLEET”プログラムとして継続されており、実証地域に中国の北京、オーストラリアのパースが追加されている。

### ② Ecological City Transport System (ECTOS)

2001 年～2005 年にアイスランドのレイキャビックにおいて、燃料電池バス「シターロ」3 台を公共輸送手段とし、水電解方式の水素ステーションを設置し、経済性・環境性等を検証する事業が行われている。アイスランドの一次エネルギーは大半が地熱と水力で賄われているが、運輸部門は化石燃料に依存している。そのため、同国は水の電気分解で製造した水素の利用へシフトする方針であり、ECTOS に引き続く事業として“SMART-H<sub>2</sub>”を 2007 年に開始しており、これまでの公共バスから乗用車へ実証範囲を拡大し、水素ステーションも増設される計画である。

### ③ Zero Regio

2004 年～2009 年にイタリアおよびドイツで実施されている実証事業である。水素ステーションは、天然ガスオンサイト改質方式のものがイタリアのロンバルディアに、副生水素方式のものがドイツのラインマインに各 1 ヶ所に建設されている。運用されている FCV は 8 台であり、その内訳はダイムラーが 5 台、フィアットが 3 台である。

#### d. ドイツ

前記した NIP プログラムの 1 つである “Clean Energy Partnership” (CEP) が、ドイツにおける FCV 実証の中心的な事業であり、ベルリンおよびハンブルグ市の公共交通機関、国内主要自動車メーカ、エネルギー事業者が参加してフェーズ I (2002 年～2007 年)、フェーズ II (2008～2010 年)、フェーズ III (2011～2016 年) まで実施される計画である。フェーズ III ではスカンジナビア水素ハイウェイ計画との連携が予定されている。このプログラムに導入されている水素動力車両 (FCV、水素 ICE 車) のメーカ別内訳は、BMW10 台、ダイムラー10 台、フォード 2 台、GM10 台、フォルクスワーゲン 3 台、MAN14 台 (水素 ICE バス) となっている。水素ステーションはベルリン郊外に設置されている 1 ケ所であり、圧縮水素と液体水素が供給可能な仕様になっている。液体水素は Linde 社から供給され、液体水素貯蔵タンクに貯蔵される。高圧水素は 35MPa、70MPa の両方の充填圧に対応しており、LPG 改質によるオンサイト製造と一部は液体水素の気化により製造される。

2009 年 9 月、ダイムラーを中心に FCV の商用化に取り組んでいる世界の主要な自動車メーカ 8 社が 2015 年以降、FCV を世界規模で数十万台普及させることを主な内容とする同意書を締結し、Letter of Understanding (LoU) として公表した。これを受けて、ダイムラー、EnBW、Linde、OMV、Shell、TOTAL、Vanttenfall および NOW (ドイツ水素・燃料電池機構) がドイツ国内における水素インフラ整備計画に合意し、2011 年までに水素ステーションを大幅に増やすことを主な内容とする Memorandum of Understanding (MoU) に調印した。この MoU に調印した企業・団体によって立ち上げられたコンソーシアム “H2-Mobility” において検討が進められている基本的な水素ステーションの展開シナリオは次の通りである。

～2013 年：主要都市 (ベルリン等) を中心にクラスターを形成。

～2015 年：主要都市間を結ぶコリドーを形成 (100～1,000 ステーションを建設)。

～2017 年：全国レベルのネットワークを形成。

#### e. ノルウェー他

ノルウェーにおける運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出量削減を目的とした水素動力車両と水素インフラの実証を行う “HyNor” プログラムが行われている。水素ステーションはスタンバングル～オスロ間 (560km) の 7 都市に設置されることになっており、水素 ICE に改造したトヨタのプリウス 15 台、マツダ RX-8 ハイドロジェン RE30 台が導入されている。

また、ノルウェー、スウェーデン、デンマークの 3 国を結ぶ水素ハイウェイ構想 (スカンジナビア水素ハイウェイ構想) において、2009 年に 5 ケ所、2015 年に 35 ケ所の水素ステーションが設置される計画である。

## 2. 2 燃料電池・水素インフラの国内規制再点検の状況

燃料電池・水素インフラには高圧ガス保安法や消防法等の法令や規格標準が適用され、その遵守が求められる。これら規制は、これまでも安全な社会を維持するために制定されてきた重要な基準や標準等であるが、関連規制の中には燃料電池・水素インフラのような技術が存在しなかった、あるいは少なかった時期に制定された昔の規制も一部そのまま現存しており、普及の足かせとも受け取られかねない状況をもたらす虞があることから、安全を十分に担保しつつ、再点検・適正化を進めていく必要がある。

このような認識の下、平成 14 年 5 月、内閣官房に内閣府と関係省庁の局長級で構成される「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が設置され、関係省庁が緊密に連携し、燃料電池の安全性の確保を前提とした関連規制（6 法律 28 項目）の包括的な再点検の道筋がとりまとめられた。

これらの規制の再点検に必要とされる安全性の確認・裏付けデータ等は、NEDO の「固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業」（平成 12～16 年度）および「水素安全利用等基盤技術開発（平成 15 年～19 年度）」において取得され、監督官庁・公的委員会に提供された。

その結果、定置燃料電池については小形 PEFC の電気事業法 2 項目（不活性ガス置換義務の不要化、一般電気工作物化）と消防法 3 項目（設置届出義務の不要化、設置保有距離撤廃、逆火防止装置の省略）の適正化が平成 16 年度末までに完了した。また、FCV については高圧ガス保安法と道路運送車両法の関連規制が適正化され、平成 16 年に水素充填圧 35MPa 以下の高圧水素容器・附属品を対象とした技術基準（JARI S001 および S002）が発行され、大臣認定から車両型式認定が適用されることになった。さらに、水素ステーションについては高圧ガス保安法、消防法（危険物規制）、建築基準法の関連規制が平成 17 年度末までに適正化され、水素充填圧 35MPa の水素ステーションの市街地への設置やガソリンスタンドとの併設等が法的に可能となった。これら規制の再点検・適正化により、前記した「定置用燃料電池大規模実証研究」や JHFC プロジェクト等における家庭用 PEFC、FCV および水素ステーションの導入・設置が格段に容易かつ円滑になると共に、設置運転費用やシステム価格の低減も進んだ。

このような規制の再点検・適正化の効果を踏まえて、平成 17 年、FCCJ より定置用燃料電池に関して更なる規制の再点検要望を国に提出された。その要望は、新たに技術開発が進展した SOFC に関する電気事業法 3 項目（常時監視の不要化、一般電気工作物化、不活性ガス置換義務の不要化）と消防法 3 項目（設置届出義務の不要化、設置保有距離撤廃、逆火防止装置の省略）の適正化、および PEFC に関する電気事業法 1 項目（過圧防止装置の省略）の適正化である。

これらの規制の再点検・適正化に必要な安全性の確認・裏付けデータ等は、本事業における研究項目「定置用燃料電池システムに係る規制再点検および標準化のための研究開発」で取得され、監督官庁・公的委員会に提供された。その結果、SOFC の電気事業法 3 項目は平成 19 年 9 月までに適正化を完了し、消防法 3 項目は平成 22 年 3 月に適正化を完了した。また、PEFC の電気事業法 1 項目については、平成 18 年 10 月に適正化を完了した。

上記した定置用燃料電池に関する規制適正化の状況を表 2.2-1 に示す。PEFC に関しては、一般家庭への設置に係る規制の適正化は全て完了しており、前記したように、平成 21 年度より世界に

先駆けて家庭用 PEFC「エネファーム」の一般販売がスタートしている。また、SOFC に関しても、これら規制適正化の結果は NEDO「固体酸化物形燃料電池実証研究」に展開されており、家庭用 SOFC の導入・設置が格段に容易かつ円滑になると共に、設置運転費用やシステム価格の低減も進んだ。なお、加圧防止装置の省略の適正化が未完であるが、既に省令等の改正要請が規制当局に提出されており、近々、条文改正が実現する見込みであり、「エネファーム」に引き続く世界発の一般販売開始を後押しするものと考えられる。

表 2.2-1 定置用燃料電池に関する規制適正化の状況

	規制適正化項目	SOFC	純水素PEFC	PEFC
電気 事業法 関連	常時監視の不要化	◎(H18年12月)	○	○
	不活性ガス置換義務の省略	◎(H19年9月)	○	○
	一般用電気工作物化 ・電気主任技術者選任義務の不要化 ・保安規定届出義務の不要化	◎(H19年9月)	○	○
	過圧防止装置の省略	◇(見直し要請済)	◎(H18年10月)	◎(H18年10月)
消防法 関連	設置届出義務の不要化	◎(H22年3月)	□	○
	設置保有距離の省略	◎(H22年3月)	□	○
	逆火防止装置の省略	◎(H22年3月)	□	○

◎：本事業の成果を活用し、規制適正化を完了。 カッコ内は条文改正年月を示す。

○：H16年度以前に規制適正化を完了。

◇：本事業の成果を活用し、規制当局へ見直しを要請済。

□：適正化要望を一旦保留

一方、水素ステーションに関しても前記した規制再点検・適正化の活動に引き続くものとして、平成 20 年に FCCJ によって今後の普及拡大に向けて規制適正化が必要な重要 17 項目がリストアップされ、規制再点検の要望が国に提出されている。この重要 17 項目の中に、水素充填圧 70MPa の水素ステーションに関する規制適正化が特別に重要な項目として挙げられた。これは、水素充填圧 35MPa 仕様の FCV の航続距離実績は約 350km であり、市場で求められる 500km 以上に航続距離を延伸させるためには、水素充填圧を 70MPa に高圧化する必要があることが主な背景としている。

こうした産業界の動きに対応するため、本事業の「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」において、前記した高圧水素容器の技術基準（JARI S001）の 70MPa 化に対応した新基準策定のためのデータ取得が行われ、平成 22 年度に発行予定の新基準に反映されている。また、本事業の「水素インフラ等に係る規制再点検および標準化のための研究開発」におい

て、70MPa 充填対応の水素ステーションの規制再点検に必要な安全性の確認データの取得が行われ、そのデータに基づいた基準の見直し案が平成 22 年 3 月に関係省庁（経済産業省、国土交通省、消防庁）に提出されている。

なお、平成 22 年 6 月 18 日閣議決定された「内閣府行政刷新会議による規制改革対処方針」において、これら 2015 年 FCV 普及開始に向けた重要項目は平成 22 年度中に再点検を行うと共に、再点検結果を踏まえた対応について関係省庁間で調整の上、今後の対応の具体的な行程表を作成することが決定している。

## 2. 3 燃料電池・水素インフラの国際標準化の状況

### (1) 燃料電池

燃料電池技術の国際標準化は、1998年にIEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）の中に設置されたTC105（Technical Committee 105：第105専門委員会）で進められている。日本国内の審議団体は社団法人日本電機工業会である。TC105はPメンバー15ヶ国であり、Oメンバーで14ヶ国で構成されており、2005年より日本が議長国となっている（任期は2011年8月末まで）。

TC105には11のワーキンググループ（WG）が設置されており、PEFC、SOFC、MCFCといった燃料電池の形式・種類を区別せずに、定置用、移動体用、可搬型等の全ての用途に対応した標準化活動が行われている。日本はこの11のWGのうち4つについてコンビナを出している。

IEC規格の発行状況を表2.3-1に示す。これまでに8件のIS（International Standard：国際規格）が発行されており、その内訳は燃料電池モジュール（WG2）が1件、定置用燃料電池システムが3件（WG3安全要件、WG4性能試験法、WG5設置要件）、ポータブル燃料電池が1件（WG7安全要件）、マイクロ燃料電池が3件（WG8安全性、WG9性能試験法、WG10互換性）である。また、用語と定義（WG1）と単セル試験法（WG11）の2件についてTS（Technical Specification：技術仕様書）が発行されている。さらに、小型PEFCの性能試験方法（WG4）については2009年に審議を開始し、現在、CD（Committee Draft）第1版を審議中である。

これらWGの審議においては、本事業における研究項目「定置用燃料電池システムに係る規制再点検および標準化のための研究開発」で取得された種々のデータが活用され、日本が主導的な役割を果たしている。

表 2.3-1 燃料電池技術（IEC/TC105）の国際標準化の状況

対象	審議WG	名称(内容)	規格番号	種別	発行年月	コンビナ	進捗状況
共通	WG1	用語と定義	IEC TS62282-1	TS	2010年4月	米国	改定作業完了 日本提案も取入れて大幅に用語の数を増やした第2版を発行(平成22年4月)
	WG2	FCモジュール	IEC62282-2	IS	2004年7月	ドイツ	改定作業中 日本からは、SOFCの内容を中心に17件のコメントを提出。
定置用	WG3	安全要件	IEC62282-3-1	IS	2007年4月	米国	改定作業開始 日本および米国から、それぞれ国内規格との整合を取るためのコメントを提出し、国際WGで審議中。
	WG4	性能試験法	IEC62282-3-200	IS	2006年3月	日本	改定作業中 第2版ドラフト(CDV)照会中。
		性能試験法 (小型PEFC)	IEC62282-3-201	CD	—	日本	日本からJIS規格をベースとして新規提案 平成21年5月のTC105国際会議から審議を開始しており、第1版ドラフト(CD)審議中。
WG5	設置要件	IEC62282-3-3	IS	2007年11月	ドイツ	改定作業中 委員会原案(CD)に対する各国意見の審議を終了。CDV発行準備中。	
ポータブル	WG7	安全要件	IEC62282-5-1	IS	2007年2月	米国	改定作業中 CDに対する各国意見の審議を終了。CDV発行準備中。
マイクロ	WG8	安全性	IEC62282-6-100	IS	2010年3月	米国	規格分割化の作業を開始 前身のIEC PAS62282-6-1は国際間輸送規制での安全性確保のためのICAO技術仕様書で引用規格として採用されており、発行されたIEC 62282-6-100は、IEC PAS62282-6-1との置き換えを予定。 (現在保留事項審議中) ICAO (International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関)
	WG9	性能試験法	IEC62282-6-200	IS	2007年11月	日本	改訂作業中 第2版ドラフト審議中(CD照会中)。
	WG10	互換性	IEC62282-6-300	IS	2009年6月	日本/ 韓国	改訂作業中 互換性カートリッジの新規追加のためのドラフト審議中。なお、別規格として「デバイスとの互換性」の規格化を計画。
共通	WG11	単セル試験法	IEC62282-7-1	TS	2010年6月	日本	PEFCの単セル試験方法を発行。SOFCの単セル試験方法を日本から提案予定(2010年12月予定)

なお、JIS 規格については、2008 年 7 月付けで下記する 9 件の JIS が発行されている。これらの JIS 規格についても、本事業における研究項目「定置用燃料電池システムに係る規制再点検および標準化のための研究開発」で開発された試験・評価方法がベースとなっている。

- ① JISC8800 燃料電池発電用語
- ② JISC8821 小形固体高分子形燃料電池システム通則
- ③ JISC8822 小形固体高分子形燃料電池システムの安全基準
- ④ JISC8823 小形固体高分子形燃料電池システム安全性及び性能試験方法
- ⑤ JISC8824 小形固体高分子形燃料電池システム環境試験方法
- ⑥ JISC8825 小形固体高分子形燃料電池システム電磁両立性（EMC）試験及び測定技術
- ⑦ JISC8826 小形固体高分子形燃料電池システムにおける系統連系形パワーコンディショナの試験方法
- ⑧ JISC8831 定置用固体高分子形燃料電池セルスタックの性能試験法
- ⑨ JISC8832 定置用固体高分子形燃料電池セルスタックの安全性評価試験法

## (2) FCV

FCVの国際標準化は、ISO (International Organization for Standardization : 国際標準化機構) の中に設置された TC22 (Technical Committee 22 : 第 22 専門委員会) /SC21 (Sub-committees 21 : 分科委員会) および TC197 (水素技術) で進められている。日本国内の審議団体は財団法人日本自動車研究所である。

FCV に関する国際標準化の活動は、ISO/TC22/SC21 (電気自動車) の中に設置されている WG1 (安全) と WG2 (性能)、および TC197 (水素技術) の中に設置された WG5 (水素充填コネクタ)、WG6 (車載用圧縮水素容器)、WG12 (FCV 用水素製品仕様) で行われている。日本は WG2(性能)および WG12 (FCV 用水素製品仕様) のコンビナを出している。

ISO 規格の発行状況を表 2.3-2 に示す。これまでに 6 件の IS が発行されており、その内訳は WG1 が 3 件 (電池・機能・電気)、WG2 が 2 件 (燃費・EV 排ガス燃費試験法)、WG5 が 1 件 (水素充填コネクタ 35MPa) である。また、2 件 (WG6、WG12) の TS および 1 件 (WG2/TF1 : 最高速) の TR (Technical Report : 技術報告書) が発行されている。

これら各 WG における規格審議においては、本事業の「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」で取得されたデータが活用され、日本が議論をリードしている。

表 2.3-2 FCV (ISO/TC22、TC197) の国際標準化の状況

対象	WG	名称(内容)		規格番号	発行	コンビナ	進捗状況	
ISO/TC22/SC21 (電気自動車)	WG1	安全	EVの 運用	Part1: 電池	ISO23273-Part1	2009.9	ドイツ	2007年2月より改正作業開始、パート1&2は2009年9月に発行。そのうち、パート2機能安全は、日本がPLを務めた。パート3は2ndDISの発行を予定。
				Part2: 機能	ISO23273-Part2	2009.9		
				Part3: 電気	ISO23273-Part3	2006		
			TF: 用語 (TR化)				2004年11月にTR化に合意。ISO6469改正の動きに合わせて継続審議中	
	WG2	性能	TF1: FCV性能 試験法	燃費	ISO23828	2008.5	日本	JARIの試験成果を盛り込み、質量法、圧力法、流量法を用いた燃費測定法が発行された。 2006年11月つくば会議での審議の結果、TR として議論をまとめ、2007年10月WGで内容合意。投票の結果、承認され、2008年10月に発行 ・外部充電無しHEVの排ガス燃費試験法は2007年6月に発行済み。 ・現在は、日本がPLで、外部充電有りの原案作成中。2009年10月、日本からのNP提案が承認
				最高速 (TR化)	TR11954	2008.10		
TF3: EV排ガス・燃費試験法			ISO23274(外部充電ナシ) NWIP(外部充電アリ)	2007.6				
ISO/TC197 (水素技術)	WG5	水素充填コネクタ		ISO17268(35MPa)	2006.6	カナダ	2006年6月に迅速法により、SAE J2600をベースとしてIS17268が発行した。引き続き改訂審議に移行し、2009年9月バンクーバー会議において70MPa標準構造として日本提案が選定され、DIS17268に記載された。(2010年6月否決)	
	WG6	車載用圧縮水素容器		TS15869	2009.2	カナダ	国内では、経年劣化を想定した新基準策定作業を進めており、2008年8月の投票においてDIS15869.3を否決した結果、TS化に賛成するコメント多数であり、2009年2月にTS15869が発行された。	
	WG12	FCV用水素製品仕様		TS14687-2	2008.3	日本	日本が幹事国となり、まずは小規模導入段階用としてTS化を目標に活動。2006年12月の投票の結果、承認され、2008年3月TS発行。今後、IS化に向け、各国が協力して試験研究を実施し、2012年を目処にIS化の予定。現在CD回付が終了し、DIS策定の審議中	

### (3) 水素インフラの状況

水素インフラ関連の国際標準化は、ISO の中に設置された TC197（水素技術）で進められている。日本国内の審議団体は財団法人エンジニアリング振興協会である。TC197 は P メンバー20 ケ国、O メンバー12 ケ国で構成されており、現在の議長国はカナダである。

TC197 の中に設置された WG5～WG15 の 10 の WG、および 1 つの Ad-Hoc（水素部品）グループで標準化の検討が行われており、日本は 3 つの WG（WG12：FCV 用水素製品仕様、WG13：水素検知器、WG14：定置用 FC 水素製品仕様）でコンビナを出している。

ISO 規格の発行状況を表 2.3-3 に示す。これまでに 4 件（WG8：水電解水素製造装置、WG9：改質器、WG10：MH 容器、WG13：水素検知器）の IS が発行されている。

これら各 WG における規格審議においては、本事業の「水素インフラ等に係る規制再点検および標準化のための研究開発」で取得されたデータが活用されており、WG9 や WG13 では日本の意見が反映された IS が発行されている。

表 2.3-3 水素インフラ (ISO/TC197) の国際標準化の状況

審議WG	名称(内容)	規格番号	種別	発行年月	コンビナ	進捗状況
WG5	水素充填コネクタ	ISO17268(35MPa)	IS	2006年6月	カナダ	2006年6月に迅速法により、SAE J2600をベースとしてIS17268が発行した。引き続き改訂審議に移行し、2009年9月バンクーバー会議において70MPa標準構造として日本提案が選定され、DIS17268に記載された。(2010年6月否決)
WG6	車載用圧縮水素容器	TS15869	TS	2009年2月	カナダ	国内では、経年劣化を想定した新基準案策定作業を進めており、2008年8月の投票においてDIS15869.3を否決した結果、TS化に賛成するコメント多数であり、2009年2月にTS1が発行された。
WG8	水電解水素製造装置	ISO22734-1(工業用) DIS22734-2(家庭用)	IS	2008年6月	カナダ	Part1(工業用)は2008年7月ISが発行され、Part2(家庭用)は現在DIS案審議中。2010年9月に東京会議にて審議予定。FDIS案2010年11月予定。
WG9	改質器	ISO16110-1(安全性) ISO16110-2(効率)	IS	2007年3月 2010年2月	オランダ	Part1(安全性)は2007年3月にISが発行。Part2(効率)は日本からの効率計算式についての提案が採用され、2010年2月に ISが発行された。
WG10	MH容器	ISO16111	IS	2008年11月	米国	2008年11月にISが発行され、UN国連危険物輸送委員会に引用された。Part 2として120mL以下のマイクロMH容器の国際標準化の提案(カナダ)が検討中。
WG11	水素ステーション	TS20100 CD20100	TS/CD	(TS)2008年 4月	カナダ	先ずTS化を目指し、2008年4月にTS20100が発行され、その後IS化に向けて作業中。CD20100への各国コメントを集約し、現在DIS原案策定中。2010年9月東京会議にて審議予定。
WG12	FCV用水素製品仕様	TS14687-2 CD14687-2	TS	(TS)2008年 3月	日本	日本が幹事国となり、先ずは小規模導入段階用としてTS化を目標に活動。2006年12月の投票の結果、承認され、2008年3月TS発行。今後、IS化に向け、各国が協力して試験研究を実施し、2012年を目処にIS化の予定。現在、DIS策定の審議中
WG13	水素検知器	ISO26142	IS	2010年6月	日本	日本が幹事国となり、日本メーカーの意見を反映させ、順調に作業され、2010年6月に ISが発行された。IEC/TC31との重複標準化が懸念されたがTC議長間の調整により、TC197WG13にて国際標準化が進められた。
WG14	定置用FC水素製品仕様	CD14687-3	CD		日本	日本が幹事国となり、2009年11月に新規提案が採択され、2010年3月東京にてキックオフ会議実施。スコープ(範囲)・対象について議論。2010年9月にカナダにて第2回会議を開催して、CD案を作成予定。
WG15	蓄圧器	WD15399	WD		フランス	2010年1月仏提案にて発足。2010年5月にエッセンにてキックオフ会議実施。スコープ(範囲)・対象について審議。2010年秋に第2回会議実施予定。

## 2. 4 本事業の目的・位置づけ

本事業は、下記する 3 項目を FCV、定置用燃料電池、水素供給インフラ等に共通する燃料電池実用化のためのソフトインフラとして位置づけ、産業界との密接な連携の下で、グローバル・マーケットの先取りを視野に入れた高度な技術基準・標準化案を国内および国際標準に提案するためのデータを取得すると共に、そのデータ取得に係わる技術を開発することを目的としている。

- 燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得
- 国際標準の提案
- 製品性能を単一の物差しで評価する試験・評価手法の確立

この目的は、前記 2.1 に示した FCV、定置用燃料電池、水素供給インフラの国内外における開発・普及動向、前記 2.2 に示した国内規制再点検の状況、および前記 2.3 に示した国際標準化の状況と照らし合わせて見て妥当である。

また、表 2.4-1 に示すように、政策動向を踏まえつつ、前事業の成果を活用して、FCV・水素インフラ、定置用燃料電池の規制見直し、国際標準化に取り組んだ本事業の位置づけは明確かつ適切なものとなっている。

表 2.4-1 NEDO 事業における規制再点検・国際標準化の取組み

		平成12－16年度	平成17－21年度	平成22－24年度
事業		固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 水素安全利用等基盤技術開発	水素社会構築 共通基盤整備事業	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 他
定置用燃料電池	基準	PEFCの設置に係る規制見直し(5項目)	純水素FC、SOFCの設置に係る規制見直し	純水素FCの設置に係る規制見直し(消防法)
	標準	IEC/TC105国際標準化、JIS化	IEC/TC105国際標準化、JIS化	IEC/TC105国際標準化、JIS化
FCV	基準	高圧水素容器・付属品技術基準(JARI S)	高圧水素容器・付属品技術基準(STEP1)	高圧水素容器・付属品技術基準(STEP2)他
	標準	ISO/TC22/SC21、ISO/TC197(水素燃料・製品仕様)国際標準化	ISO/TC22/SC21、ISO/TC197国際標準化	ISO/TC22/SC21、ISO/TC197国際標準化
水素インフラ	基準	35MPa水素スタンド規制見直し(8項目)	70MPa水素スタンド技術基準	水素インフラに係る規制見直し(17項目)
	標準	ISO/TC197国際標準化	ISO/TC197国際標準化	ISO/TC197国際標準化
特記事項		「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が燃料電池に係る規制の再点検項目取纏め、平成16年度中の終了明示(H14年10月)		エネルギー基本計画第2次改定による規制見直し、国際標準化活動の戦略的活動強化(H22年6月)

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本事業の目標は、国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、平成 19 年度を目途に「規制の再点検」、「共通試験・評価技術の確立」、「国際標準化」に必要なデータを取得し、そのデータに基づき平成 21 年度までに国内基準案、国際基準案の作成等を行うことである。

「規制の再点検」、「共通試験・評価技術の確立」、「標準化」に関する目標はそれぞれ以下の通りである。

「規制の再点検」に関しては、燃料電池自動車や定置用燃料電池システムの普及、水素社会構築のためのインフラに係る法令等に関連する各種のデータ取得(車両やスタンド等における水素貯蔵システム、定置用燃料電池システムの設置要件、水素インフラ機器の安全性に関わるデータ取得)を行い、民間事業者等が主体となって行う技術基準案や例示基準案の作成等に確実につなげることを目標とした。

「共通試験・評価技術の確立」に関しては、具体的な 3 つの適用先(燃料電池自動車や定置用燃料電池システム、水素インフラ機器等)に関し、ユーザーが納得する最高レベルの利便性および製品性能信頼性を確保することを前提に、各製品の性能を単一物差しで評価・比較することが可能となる試験・評価技術を確立することを目標とした。

「標準化」に関しては、上記「共通試験・評価技術」を、各々適用し、民間事業者等が主体となって行う国内基準案作り（データ取得および検証を含む）や、国際標準への提案等の支援につなげることを目標とした。

本事業では、研究開発項目として以下の 3 つを設定した。

「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

「水素インフラに係る規制再点検および標準化のための研究開発」

これら研究開発項目毎の具体的な目標を以下に示す。なお、平成 17 年度～平成 19 年度末までを前期、平成 21 年度末までを後期とし、目標は前後期別または前後期を通じて設定した。

#### 1. 2 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」の目標

##### (1) 水素・燃料電池自動車の安全性評価

前期は、圧縮水素容器、液体水素容器およびバルブなどの要素部品の安全性評価試験として各種の容器強度試験、火炎暴露試験等安全性評価試験を行い、安全性向上に資するデータを取得する。また、基準の適正化に向けたデータを構築するとともに評価手法を検討する。

後期は、業界ニーズをさらに反映させた既存する技術基準の見直しに資するデータを取得するとともに、前期で取り残された課題を反映させながら、車両での搭載状態での劣化や寿命を評価した部品単体での評価手法や、部品が複合された車両システム全体での安全性評価法の研究開発を行い、国内外の基準・標準化に資する。

## (2) 燃料電池性能評価方法の標準化

前期は、新規材料（触媒、膜電極接合体[MEA: Membrane electrode assembly]等）を用いた燃料電池に対して水素中不純物の影響を評価し、得られた知見を ISO/TC197/WG12（水素燃料仕様）におけるエビデンス提示や協議に活用する。さらに、国際標準（IS: International Standard）策定に向けて、長時間の水素中不純物の影響を予測できる加速試験方法を運転条件や性能劣化メカニズムの解析から検討する。また、性能試験法の標準化として、燃料電池自動車、燃料電池システムおよび燃料電池スタックの性能試験法を調査する。特に、ISO/TC22/SC21/WG2（電動車両の性能・燃費）での議論に資するよう、流量法の確立のためのデータ取得およびその検討を行う。さらに、自動車業界の要望を反映し、車両改造が不要な燃費計測手法について研究開発を進める。

後期は、水素中不純物の影響調査を長時間行うとともに、影響予測のための加速試験方法の検討を継続する。特に、燃料供給業界の要望も踏まえて被毒物質や不活性ガスの許容濃度検証データを収集し、燃料電池用水素燃料仕様の技術仕様書 TS14687-2（TS: Technical Specification）の国際標準（IS: International Standard）化に資する。また、車両改造不要な燃費計測手法の計測理論構築と計測機器の研究開発を進め、ISO/TC22/SC21/WG2（電動車両の性能・燃費）への追加提案を目指す。

## (3) 基準・標準化活動

前期は、上記「水素・燃料電池自動車の安全性評価」、「燃料電池性能評価法の標準化」の研究・開発で取得される試験データの解析と審議を実施するため解析・技術部門の各 WG（安全 WG、高圧容器技術 WG、燃料性状 WG、性能 WG）を運営するとともに、国際標準を審議するため FCV 特別分科会を設け各標準化 WG（用語標準化 WG、安全標準化 WG、燃料標準化 WG、性能標準化 WG）において、活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行う。特に、電動車両の安全に係る規格改訂にあたり、FCV 安全に関する審議に寄与するとともに、FCV 燃費測定については国際標準案策定を目指す。また、水素技術に係る規格策定に関しては、水素燃料仕様の Technical Specification の発行に寄与し、水素充填コネクタの国際標準発行ならびに高圧水素容器の規格審議に寄与する。

後期は、引き続き、試験データの解析と審議を実施する解析・技術部門の各 WG（安全 W 高圧容器技術 WG、燃料性状 WG、性能 WG）を運営するとともに、FCV 特別分科会の下に設置する各標準化 WG（用語標準化 WG、安全標準化 WG、燃料標準化 WG、性能標準化 WG、高圧水素標準化 WG）において、活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国際会議への対応を行う。特に、電動車両の安全規格改訂に対応し、FCV に係る内容について審議に参加し、国際標準化を目指す。また、水素技術に係る規格策定に関しては、水素燃料仕様の国際標準案策定を目指すとともに、水素充填コネクタの国際標準改訂に寄与する。併せて、社団法人日本自動車工業会に協力し、圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準の改定審議に貢献する。

## 1. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検および標準化のための研究開発」の目標

### 1. 2. 1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

本テーマは、以下の検討を行って、SOFC システムや純水素 PEFC システムなどの次世代燃料電池も視野に入れた定置用燃料電池を普及させるために必要な基盤を整備することを目的とする。

- ・ 小型定置用燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得
- ・ 国際標準の提案
- ・ 製品性能を単一の物差しで評価する試験・評価手法の確立

具体的には、以下に示す (1) ~ (6) の検討を行い、定置用燃料電池を普及させるために必要な基盤の整備に資することを目標とする。

#### (1) 定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応

##### ①安全性に係わる課題対応

可燃性ガス検知器省略、過圧防止装置省略等における安全性に関するデータ収集を実施し、安全性評価試験方法を検討する。また、電磁両立性 (EMC) のうちエミッションレベルの評価に係わる試験方法等、国内外の標準化に資する安全性評価試験方法について標準的な手法を検討する。

可燃性ガス検知器省略に関するデータは平成 18 年度末、過圧防止装置省略における安全性に関するデータは平成 17 年度末までに収集を完了し、それぞれ可燃性ガス検知器設置義務の緩和 (代替手法の適用) や、異常時でも過圧 (0.1MPa 以上) になりえない設計の場合における過圧防止装置省略化の規制再点検に資する。

##### ②普及拡大に向けた検討

燃料電池システムの耐久性に関する試験方法、多様な設置環境 (寒冷地等) への適合性を評価するための試験方法の検討を実施する。

#### (2) 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応

##### ①固体酸化物形燃料電池に係わる基準・標準化検討

小規模定置用固体酸化物形燃料電池システムを業務用や一般の家庭用等に使用することを前提とした安全要件を整理し、安全性に関するデータ収集 (不活性ガス置換省略時の安全性、設置離隔距離短縮時の安全性、制御機能喪失時の安全性、高温部における安全性、燃料電池システムからの漏洩電流) を実施して、安全性評価試験方法を検討する。また、起動/停止試験、発電/排熱回収効率試験、負荷変動試験、負荷追従試験等の基本性能試験、排ガス測定試験、騒音測定試験等の環境性試験、耐風試験、耐雨試験、騒音試験、排ガス測定試験、電磁波影響試験等の耐環境性能試験について標準的な手法の素案を検討し、必要に応じてデータを収集する。

安全性に関するデータは平成 18 年度末までに収集を完了し、常時監視の不要化や 10kW 未満の小容量の固体酸化物形燃料電池について、小出力発電設備（一般用電気工作物）への位置付け（保安規定届出及び電気主任技術者の不要化）、不活性ガスによる燃料ガスの置換の省略、所管消防署等への設置届出不要化、設置離隔距離の緩和、逆火防止装置不要化等の規制再点検に資する。

平成 21 年度は過圧防止装置省略における安全性に関するデータ収集を実施し、取得したデータは過圧防止装置省略化の規制再点検に資する。また、燃料電池システム技術基準検討部会を設置し、過圧防止装置省略に際して必要となる技術的安全要件の審議・検討等を実施する。

#### ②純水素駆動型燃料電池に係わる基準・標準化検討

純水素駆動型燃料電池システムを一般の家庭等に設置することを前提とした火災予防上の安全要件を整理し、安全性に関するデータ収集（設置離隔距離短縮時の安全性、制御機能喪失時の安全性）を実施して、安全性評価試験方法を検討する。また、起動/停止試験、発電/排熱回収効率試験、負荷変動試験、負荷追従試験等の基本性能試験、排ガス測定試験、騒音測定試験等の環境性試験、耐風試験、耐雨試験、騒音試験、排ガス測定試験、電磁波影響試験等の耐環境性能試験について標準的な手法の素案を検討し、必要に応じてデータを収集する。

安全性に関するデータは平成 18 年度末までに収集を完了し、出力 10kW 未満の小容量の純水素駆動型燃料電池について、所管消防署等への設置届出不要化、設置離隔距離の短縮、逆火防止装置不要化等の規制再点検に資する。

#### ③定置用燃料電池の系統連系時の課題検討

電力系統に分散型電源を複数台連系した場合に生じうる現象や解決すべき課題への外部機関等における検討状況を調査する。（平成 17,18 年度）

### (3) 単独運転検出技術の確立

分散電源が配電線に集中連系した場合に、単独運転防止用の能動信号の相互干渉によって単独運転検出ができない可能性が挙げられていることに対し、既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式との相互干渉が起こりにくいと評価されている能動的検出方式（標準方式）について、検出有効性と相互干渉の有無についてシミュレーション解析により評価を行う。また、複数台連系時の単独運転検出機能の相互干渉に関する実証試験を実施する。本試験は財団法人電気安全環境研究所へ「複数台連系状態での単独運転試験（平成 18 年度）、複数台連系状態でのパワーコンディショナ単独運転検出機能試験（平成 19-20 年度）」として再委託し、計測器の一部を平成 18 年度に取得する（平成 18 年度）。また、実際に標準方式を組み込んだパワーコンディショナによる複数台連系試験、さらに、標準方式を数種類のパワーコンディショナに組み込んだ複数台連系試験を実施し、単独運転検出機能を阻害する相互干渉が起こらないことを確認する。また、試験設備として、計 18 台までの複数台連系試験を実施可能な試験設備を開発する（平成 19 年度）。

原理上系統連系時に常時能動信号を出さない方式であるため、各所の検証試験で他方式との

相互干渉が起こりにくいと評価されている「標準方式」について、単独並びに複数台連系を想定したシミュレーションを行う（平成 18 年度）。

シミュレーションにおいて、実証試験と連携して精度の向上を図るとともに、標準方式を組み込んだ数種類のパワーコンディショナを組み合わせた時の検出有効性について解析・評価を行う。また、複数台連系時の単独運転検出動作のメカニズムの整理を行う（平成 19 年度）。

平成 20 年度は、既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式と相互干渉が起こりにくいと選定された標準方式であるスリップモード周波数方式について、その信頼性、安全性を評価・検証し、複数台連系における技術的な課題を解決することを目的として、検討を実施する。検討に当たっては、学識経験者、メーカー、エネルギー会社（電力、ガス、石油）、認証機関などから構成する単独運転検出技術検証委員会及びその下に単独運転検出技術検証小委員会、単独運転検出技術検証小委員会タスクフォースを設置する。

#### **(4) 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討**

固体高分子形、固体酸化物形、純水素駆動型の小規模定置用燃料電池システムのうち、集合住宅設置などの新たな設置形態や、アノードガス・リサイクル方式などの新たな機器仕様のシステムも含めた安全要件及び設置基準等について、国際標準(IECTC105WG3 定置用システム安全要件や WG5 定置用システム設置基準)および国内の基準・標準等への反映を見据え、現状の国内外における基準・標準や実務指針等に関する調査・机上検討を行い、課題の抽出と整理を行なう。（平成 19 年度）

さらに平成 20 年度は、固体高分子形、固体酸化物形及び、純水素駆動型の小規模定置用燃料電池システムの集合住宅設置における安全要件及び設置基準等の国際標準(IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件や WG5 定置用システム設置基準)を先導するため、安全要件及び設置基準等の素案及び安全性検証試験法素案を検討し、検討結果に基づき実機試験による妥当性検証を開始し、平成 21 年度は検討した素案及び実機試験による妥当性検証を完了する。

#### **(5) 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進**

(1) 及び (2) で得られたデータを基に試験方法を策定する。

#### **(6) 規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集**

規制当局や規制再点検を行う委員会等の指摘がある場合は、定置用の燃料電池システムの安全要件を検証・確認するためのデータ収集を実施する。

### **1. 2. 2 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発**

本研究開発では、多様なタイプの研究開発が内外で進められているマイクロ燃料電池システム等の利用の拡大、使用環境の広がり等を考慮し、メタノール燃料を用いたマイクロ燃料電池等に関して、性能試験等の試験方法・測定技術を開発するとともに、安全基準の設定、国際標準化、国内標準化に資する基盤データの取得、試験方法の開発を行う。

(社) 日本電機工業会が組織する燃料電池国際標準化委員会と連携し、マイクロ燃料電池シ

システム等に関して、エンドユーザである消費者の安全性と利便性の確保のため、安全性評価試験ならびに性能試験方法の確立、基盤データの取得等を積極的に進め、日本電機工業会との連携のもとで国際標準ならびに国内標準（JIS）への反映を図る。以上の活動により、マイクロ燃料電池システム等（メタノール燃料電池発電システム）の普及実用化の基盤整備を推進し、早期実用化に資する。

### 1. 3 「水素インフラに係る規制再点検および標準化のための研究開発」の目標

#### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

##### ① 水素スタンドに係る安全性評価と安全対策検討、保安関係等の検討

前期は、液体水素スタンドについて、後述する液体水素の拡散、着火、爆発挙動確認と安全性評価、液体水素スタンド構成機器の安全性検証及び性能検証で得られたデータを使って、リスク評価手法に基づいて安全性評価を実施する。これによって得られた安全対策は、液体水素スタンドの法規制整備に反映させることを目指す。これと並行して、70MPa 充てん対応水素スタンドのリスク評価に着手する。さらに保安関係については、水素スタンド機器（安全装置、計器類、バルブ等）の保安検査周期を 2 年間に延長することを目指しデータ収集と検討を行なう。

後期は、70MPa 充てん対応水素スタンドについて、後述する水素の拡散、着火、爆発挙動確認と安全性評価、水素スタンド構成機器の安全性検証及び性能検証、水素スタンド構成金属材料の評価で得られたデータを使って、リスク評価に基づいて安全性評価を実施する。安全性評価は 35MPa 充てん対応や液体水素スタンドの検討と同様にリスク評価手法に基づいて実施するが、圧力が 70MPa と高圧であることからより慎重な検討を実施する。本検討によって得られた安全対策は、70MPa 充てん対応 水素スタンドの法規制整備に反映させることを目指す。さらに保安関係については、水素スタンドの 蓄圧器の保安検査周期を 2 年間に延長することを目指しデータ収集と検討を行う。

##### ② 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認と安全性評価

前期は、過流防止弁や圧力リリーフ弁など 35MPa 充てん対応水素スタンドにて追加された新規安全対策の有効性を確認するためのデータの取得や火気隔離距離の短縮を目指し、濃度変動による着火性と火炎伝播性の検討を行なう。また、液体水素スタンドでの液体水素漏洩を想定した実験をおこない、液体水素スタンドの安全性検証に資するデータを収集する。

後期は、70MPa 充てん対応水素スタンドにて使用される圧力（80MPa）での水素の 拡散、着火、爆発挙動の確認試験を行い、70MPa 充てん対応水素スタンドの安全性評価に資するデータを収集する。

##### ③ 水素スタンド構成機器の安全性検証及び性能検証

前期は、液体水素スタンドの構成機器である二重配管、弁、貯槽、液体水素ディスプレイなどについて安全性検証及び性能検証を実施し、液体水素スタンドの安全性 評価に資するデータを収集する。また、35MPa 充てん対応水素スタンド構成機器のうち新たに追加された安全対策に関する性能検証を実施する。また、並行して 70MPa 充てん対応水素

スタンド構成機器の安全性検証に着手する。

後期は、70MPa 充てん対応水素スタンドの構成機器である配管、圧縮機、蓄圧器、ディスプレイなどについて安全性検証及び性能検証を実施し、70MPa 充てん対応水素スタンドの安全性評価に資するデータを収集する。

#### ④ 水素スタンド構成金属材料の評価

前期は、35MPa 充てん対応水素スタンド用蓄圧器の材料について、安全性を確認するデータの取得を完了する。これらのデータに基づき、70MPa 充てん対応水素スタンド用蓄圧器の使用金属材料について、材料特性の面からスクリーニングを行い少なくとも 1 鋼種を選定する。

後期は、選定された候補材に対し、90MPa 以上の水素雰囲気下で引張り試験、疲労試験、疲労き裂進展試験、内圧疲労試験などを行い 70MPa 充てん対応水素スタンド蓄圧器の規制整備に資する技術基準案を策定する。

#### ⑤ 圧縮水素運送自動車用容器の安全性検証

前期は、圧縮水素運送自動車に搭載することができる複合容器（40MPa）とその固定方法を検討し、安全性の検証を行なう。これにより圧縮水素運送自動車へ複合容器（40MPa）を搭載することができるよう規制見直しを目指す。

後期は、圧縮水素運送自動車や移動式水素充填設備に、軽量の複合容器（70MPa 以下）の活用も視野に入れ、たとえば、小型の複合容器（70MPa 以下）を複数搭載し、圧縮水素運送自動車として利用することに関する安全性について、技術開発動向を参考に今後の対応について検討を進める。

### (2) 水素用材料基礎物性の研究

本研究では、3 つの適用先(燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素インフラ等)共通の課題である材料物性把握・適用材料探索として、前後期を通じ、高圧水素ガス用機器に使用する材料の強度や疲労に関する基礎物性データを取得・評価すると共に、たとえば、燃料電池自動車搭載用容器、水素供給スタンド容器、配管、バルブ等高圧水素雰囲気下における個別要素機器に使用する材料の強度や疲労に関する基礎物性データを取得・評価し、容器保安規則や特定設備検査規則の技術的根拠として提示することを目標とする。加えて、同評価結果に基づき、適用材料候補(適用組成範囲等)を提示することを目標とする。

### (3) 水素用アルミ材料の研究開発

本研究では、3 つの適用先(燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素インフラ等)共通の課題である材料物性把握・適用材料探索として、前後期を通じ、高圧水素ガス容器のアルミニウム製ライナー材として有望な 6061 系合金の他、合金選択の拡大を目指して 7075、7475 合金など高強度 7000 系アルミニウム合金及び成形加工性や溶接性等に優れた 5000 系合金について水素脆化感受性に及ぼす要因（材料のマイクロ組織、環境、応力条件等）に関するデータを取得・評価し、例示基準の技術的根拠として提供すると共に、安全性確保に資するデータベースを構築することを目標とする。加えて、ライナー材成形加工時の結晶粒粗大化制御に

資するため、結晶粒度に及ぼす加工度と温度に関するデータを 取得・評価し、容器加工メーカーに対し、加工指針となるデータ提供を目標とする。

#### (4) 水素基礎物性の研究

本研究では、本研究では、3つの適用先(燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素インフラ等)共通の課題である水素の燃焼挙動等物性把握として、前後期を通じ、水素の拡散挙動、燃焼挙動や液体水素の蒸発挙動等の水素の安全な取扱いに係る基礎 物性 データを取得する。またこれまで国内外にて報告・蓄積された「水素の安全な取扱い」に係わるデータ(本事業内における研究評価済みデータも含む)を集約し、水素を取扱う設計者、作業者及び研究者が水素を有効にかつ安全に利用するための水素有効利用ガイドブックを作成し、公開普及をはかる。

#### (5) 水素安全利用技術の基礎研究

本研究では、本研究では、3つの適用先(燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素インフラ等)共通の課題である水素の燃焼挙動等物性把握として、前後期を通じ、高圧水素の爆発危険性に関するデータを取得・整備し、水素を安全に利用するための安全資料の充実を図るとともに、燃料電池自動車及び高圧水素を扱う水素ガス供給スタンド等における爆発防止のための安全対策に関する検討を行い、水素を燃料とする燃料電池自動車に関連する安全技術の確立を目指す。さらに当該研究においては、物性や反応性に関するデータがほとんど得られていない高圧の水素を対象とした着火等に関する基礎的な 研究・解析を推進する。

## 2. 事業の計画内容

### 2. 1 研究開発の内容

#### 2. 1. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」の内容

水素エネルギーを利用する燃料電池自動車の安全性の確保を前提とした関連規制の包括的な再点検が政府主導で進められ、2005年3月に導入初期の段階にある燃料電池自動車の普及に必要な環境が整備された。今後は、燃料電池自動車の大量普及を目指し、一層の安全性と利便性の向上、さらにはコスト削減といった課題に対応し、環境問題を解決していく必要がある。

燃料電池自動車の対象となる法律としては、高圧ガス保安法（圧縮水素自動車燃料装置用容器の例示基準、圧縮水素自動車燃料装置用附属品の例示基準）、道路運送車両法（圧縮水素を燃料とする自動車の燃料装置の技術基準）、道路法（水底トンネル等、危険物積載車両の通行を禁止、または制限）があり、それらについて引き続き規制内容の見直し活動に貢献する。さらに自動車の国際基準調和活動としてUN-ECE/WP29/GRPE（World Forum for Harmonization of vehicle Regulations/ Working Party on Pollution and Energy）へもデータを提供する。

また、燃料電池自動車に関連する国際標準としては、安全（容器、車両、貯蔵、インターフェイス、要素部品）、燃料、性能を対象とするISO/TC22/SC21（電気自動車）、ISO/TC197（水素技術）、IEC/TC105（燃料電池）の国際審議の場において、主導的立場で標準化活動を進める。

このほかIPHE(International Partnership for Hydrogen Economy)、FC TESQA (Fuel Cell TEsting, Safety and Quality Assurance) など、各国の政府間協力の下に実施される標準化活動に対し、データ提供、参画・協力を行う。

本研究開発では、燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応し、既存規制の見直しに資するための安全確認データの取得、製品性能を単一の物差しで評価するための試験・評価手法の確立、国際標準の提案など、ソフトインフラを整備するために、以下の研究開発を実施する。

#### (1) 水素・燃料電池自動車の安全性評価

##### ① 自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価

燃料電池自動車の普及促進のためには、使用材料、使用温度、使用圧力などに関して、安全性・信頼性に係るデータをさらに蓄積しながら、一層の規制見直しを進めるとともに、長時間を要する圧力サイクル試験などの各種の容器試験法の加速方法などの見直しに資するデータを取得し、策定した試験法の実証を進める必要がある。さらには、超高压化などに対する応力比の見直し、圧縮水素容器の安全性および信頼性向上のための非破壊検査など、容器の健全性の評価手法の確立も重要である。

そこで、圧縮水素容器の安全性評価試験として、各種の容器強度試験、火炎暴露試験並びに圧縮水素容器を搭載した燃料電池自動車の安全性評価試験を行い、安全性向上に資するデータを取得する。

##### ② 高密度水素貯蔵技術の安全性評価

燃料電池自動車の航続距離の伸長のために、圧縮水素容器以外の水素貯蔵方法として、液

体水素容器や水素貯蔵合金容器といった自動車用水素貯蔵技術の開発が進められている。これらの水素貯蔵技術を燃料電池自動車に適用するために、安全性の確保が必要である。

そこで、液体水素容器や水素貯蔵合金容器などに対して、国内外で提案されている各種の強度試験、衝撃試験、火炎暴露試験法などをもとに安全性評価試験を実施し、試験法案策定に向けたデータを取得する。

### ③ インターフェイスの標準化

燃料電池自動車の普及促進のために、水素充填コネクタの構造および安全性ならびに車両と水素ステーションとの通信に関する国内関連法規を整備するとともに、国際標準化を進める必要がある。

そこで、海外で提案されているコネクタおよび通信に関する試験法を基に安全性、耐久性試験を実施し、安全性・耐久性に優れ、且つ利便性の高い水素充填コネクタの試験法案策定に向けたデータを取得する。

### ④ 要素部品の安全性評価

燃料電池自動車の普及にともない、要素部品のバルブ、センサ等の技術開発が促進され、現行基準の範囲に含まれない材料、作動機構などを備えた部品が開発されている。

そのため、それらの要素部品の安全性・信頼性を評価するための試験法の整備および現行基準の見直しが必要であり、要素部品単体、要素部品と容器との組み合わせ試験、車両に組み込んだ状態での安全確認試験データを取得し、試験法案策定に資する。

## (2) 燃料電池性能評価法の標準化

### ① 燃料電池新規材料の評価試験方法

内燃機関自動車では、燃料の品質が車両の安全性、性能、耐久性に影響を及ぼすことから、燃料性状や燃料に含まれる物質について基準値が定められている。燃料電池自動車においても同様に、燃料となる水素について品質規格が必要である。ただし、水素はさまざまな方法により製造されており、製造法や精製法によって不純物の種類や濃度が異なっている。特に、水素中の不純物の中には燃料電池の触媒や膜などに影響を及ぼすことで発電性能を低下させるものがあり、その影響の度合いは燃料電池材料により異なる。

適切な水素品質規格を検討するためには、不純物の種類や濃度、燃料電池材料などをパラメータとした系統的な試験データが必要である。そこで、新規材料（触媒、膜電極接合体（MEA: Membrane electrode assembly）等）を用いた燃料電池に対し、水素中の不純物の種類、濃度を変えた発電試験を行い、その影響を評価する。得られた知見は、ISO/TC197/WG12（水素燃料仕様）における国際標準（IS: International Standard）策定のための議論に活用する。

### ② 燃料電池耐久性評価試験方法

燃料電池自動車の水素品質規格の国際標準（IS: International Standard）は、自動車の寿命を想定した長時間の発電試験データを基に検討することが望ましい。しかし、全ての不純物の種類と濃度に対し、このような評価試験を実施するのは困難である。そこで、数百時間の発電試験により五千時間程度の不純物の影響を予測できる加速試験方法を開発する。性能

劣化の加速因子として不純物の供給量(高燃料使用率や高添加濃度)や発電負荷などを考え、これらをパラメータとした連続発電試験を行う。電圧低下量の評価やセル性能劣化メカニズムの解析から、加速試験条件を検討する。得られた知見は、ISO/TC197/WG12(水素燃料仕様)における国際標準(IS: International Standard)策定のための議論に活用するとともに、水素用付臭剤候補物質の評価にも活用する。

### ③ MEA 耐久評価法

MEAの耐久性能を客観的に評価するためには、MEAの構成材料に対応した共通の評価法が有用である。そこで、発電状態でのMEA耐久評価法の統一化のための検討を行う。FCCJ等から提案されている起動停止試験、負荷応答試験、高電位保持試験などの評価プロトコルを中心に評価法による結果の差異や評価法の妥当性について調査し、MEA材料の耐久性評価法の標準化を進める。

### ④ スタック、システム、車両性能評価試験方法

燃料電池自動車の導入・普及には、車両の認可・規制の検討や環境への影響評価の点から、車両やその構成部品の性能を定量的に把握できる性能試験法が必要である。そこで、燃料電池自動車の燃費試験法、燃料電池システムおよび燃料電池スタックの性能試験法を調査する。

燃料電池自動車の燃費試験法では、オンボードでリアルタイム計測可能な流量法の適用性について調査する。特に、ISO/TC22/SC21/WG2(電動車両の性能・燃費)において水素流量計を用いた燃費計測手法”流量法”の有効性について議論されており、国際標準(IS: International Standard)策定に資するよう、手法の開発およびデータ取得を行う。また、車両改造が不要な燃費計測手法について研究開発を進める。現在、ISOにて標準化を進めている燃料電池自動車の燃費計測手法のうち、質量法、圧力法、流量法は、燃料となる水素を車外から供給する。このため、試験車両の燃料配管改造や安全装置の変更等が必要であり、自動車会社の協力無しでは試験が難しい。内燃機関自動車のカーボンバランス法のように排気組成から燃費を算出できる手法が望まれており、酸素バランス法と電流法の実用化に向けた検討を行う。さらに、燃料電池システムや燃料電池スタックの性能試験法については、試験手順や運転条件、測定方法が出力や効率などの評価項目に及ぼす影響を調査し、試験・評価手法の標準化を進める。

### ⑤ 燃料電池自動車用水素燃料仕様

平成19年度までに、水素中の不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響を調査し、得られた知見をISO/TC197/WG12(水素燃料仕様)に提供してきた。その結果、現在では水素燃料仕様のTS(Technical Specification)発行まで至っている。燃料電池のライフタイムに適用可能な水素品質規格のIS化のためには、水素中の不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響をさらに調査し、水素燃料の仕様が燃料電池の発電性能に及ぼす長期的な影響を議論するためのデータ取得を行う必要がある。

燃料電池本体に関しては、不純物影響の評価に適用する触媒担持量などのMEA仕様の影響、水素燃料に関しては、複数の不純物が混合された場合の混合不純物の影響など、水素燃料中の不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響を評価する。得られた知見はISO/TC197/WG12(水素燃料仕様)におけるIS策定のための議論に活用する。

### (3) 基準・標準化活動

#### ① 国内での基準・標準化

上記「(1) 水素・燃料電池自動車の安全性評価」、「(2) 燃料電池性能評価法の標準化」において取得される試験データの解析と審議のため、外部有識者、関連団体等により構成される安全 WG、高圧容器技術 WG、燃料 WG、性能 WG を組織する。

国際標準を提案する組織として、FCV 特別分科会を設け、用語標準化 WG、安全標準化 WG、燃料標準化 WG、性能標準化 WG において、活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国際会議への対応を行う。

これら解析・技術および標準化活動を統合審査する FCV 基盤整備委員会を設置する。

#### ② 海外での基準・標準化

燃料電池自動車に関連する国際標準として、ISO/TC22/SC21 (電気自動車)、ISO/TC197 (水素技術) /WG5(コネクタ)、/WG6 (水素容器)、/WG12 (水素燃料仕様)、IEC/TC105 (燃料電池) の国際審議の場において、主導的立場で標準化活動を進める。

また、IPHE(International Partnership for Hydrogen Economy)、FCTESQA (Fuel Cell TEsting、 Safety and Quality Assurance)、SAE FCSC (Society of Automobile Engineers : Fuel Cell Standards Committee) などの標準化活動にも参画する。

自動車の国際基準調和活動として UN-ECE/WP29/GRPE (World Forum for Harmonization of vehicle Regulations/ Working Party on Pollution and Energy) 審議にも貢献する。

## 2. 1. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の内容

### 2. 1. 2. 1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

(実施体制：(社)日本ガス協会、(財)日本ガス機器検査協会、(社)日本電機工業会)

固体高分子形燃料電池システムの本格的普及に向け、固体酸化物形燃料電池や純水素駆動型燃料電池などの次世代燃料電池も視野に入れた定置用燃料電池についてのユーザーサイドに立った安全性、信頼性、環境性（CO<sub>2</sub>削減など）、経済性の試験評価手法の確立、システムの簡素化、過剰な安全装置等の省略、低コスト化等のために必要な基準化・標準化に係る研究開発を行う。

具体的には、以下の内容を実施する。

#### (1) 定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応

##### (1-1) 安全性に係わる課題対応

可燃性ガス検知器省略、過圧防止装置省略等における安全性に関するデータ収集を実施し、安全性評価試験方法を検討する。また、電磁両立性（EMC）のうちエミッションレベルの評価に係わる試験方法等、国内外の標準化に資する安全性評価試験方法について標準的な手法を検討する。

可燃性ガス検知器省略に関するデータは平成 18 年度末、過圧防止装置省略における安全性に関するデータは平成 17 年度末までに収集を完了し、それぞれ可燃性ガス検知器設置義務の緩和（代替手法の適用）や、異常時でも過圧（0.1MPa 以上）になりえない設計の場合における過圧防止装置省略化の規制再点検に資する。

##### a. データ収集手法の検討

定置用固体高分子形燃料電池のシステム構成、既存の関連規格等を調査し、安全性評価方法を検討するために必要な測定項目（温度、流量、電流、電圧等）を整理し、データ収集手法（センサーの種類、測定部位、測定条件等）を検討する。（平成 17 年度）

##### b. 供試体の調達及び試験装置の改造・保守・点検

メーカー既存の技術により製作され、a. で検討したデータ収集の実施が可能な供試体（システム）を購入するか、有償で借り受ける。また、供試体製造メーカーより無償で供試体（システム）の提供があればこれを使用する。（平成 17,18 年度）

「固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 定置用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備」（平成 12 年度～平成 16 年度）にて製作した供試体（システム）の温度、流量、電流、電圧等の各種測定が可能な基本性能試験装置等を使用する。また、データ収集の実施に必要な分析計の保守・点検を実施する。（平成 17～19 年度）

##### c. データ収集の実施

前記 a. で検討したデータ収集手法に基づき、調達した供試体（システム）を用いてデータ収集を実施する。（平成 17～19 年度）。なお、電磁両立性（EMC）に係る性能試験に関するデータ収集は電磁両立性（EMC）のデータ収集実績を有するテストサイトを選定して実施する。

#### d. 試験方法の検討

収集したデータに基づき、安全性試験方法の検討を行う。検討結果は後述の⑤記載の国際標準(IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件)や国内標準検討の場へ提供するとともに、取得したデータについては後述の⑥記載の規制再検討の場へ提供する。(平成 17～19 年度)

### (1-2) 普及拡大に向けた検討

燃料電池システムの耐久性に関する試験方法、多様な設置環境（寒冷地等）への適合性を評価するための試験方法の検討を下記の手順で実施する。

#### a. データ収集手法の検討

定置用固体高分子形燃料電池システムの耐久性試験方法および多様な設置環境への適合性評価試験方法の確立に向けて、システムの温度、流量、電流、電圧等の各種測定項目に関して、データ収集項目、データ収集手法（センサーの種類、測定部位、測定条件等）の検討を行う。(平成 17～19 年度)

#### b. 供試体の調達及び試験装置の改造・保守・点検

メーカー既存の技術により製作され、a. で検討したデータ収集の実施が可能でシステム構成等の異なる供試体（システム）を購入するか、有償で借り受ける。または、供試体製造メーカーより無償で供試体（システム）の提供があればこれを使用する。なお、耐久性試験は専用の供試体（システム）を使用し、多様な設置環境への適合性評価は①「定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応」にて調達した供試体（システム）を使用する。(平成 17～19 年度)

データ収集は、「固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 定置用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備」(平成 12 年度～平成 16 年度)にて製作した温度、流量、電流、電圧等の各種測定が可能な耐久性試験装置、耐環境試験装置等を使用する。必要に応じて耐久性試験装置、耐環境性試験装置等を改造するとともに、データ収集の実施に必要な分析計の保守・点検を実施する。(平成 17～19 年度)

#### c. データ収集の実施

a. で検討したデータ収集手法に基づき、調達した供試体（システム）を用いてデータ収集を実施する。(平成 17～19 年度)。

#### d. 評価方法の検討

収集したデータに基づき、耐久性試験方法および多様な設置環境への適合性評価試験方法の検討を行う。このとき、試験終了後の耐久性試験方法検討用供試体から取り出したセルスタックについて、発電特性など劣化状況に関する調査を実施し、得られた結果を試験方法の検討に反映させる。なお、セルスタックの調査はシステム製造メーカーにて実施する。検討結果は国際標準(IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件)や国内標準検討の場へ提供する。(平成 17～19 年度)。

## (2) 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応

### (2-1) 固体酸化物形燃料電池に係わる基準・標準化検討

小規模定置用固体酸化物形燃料電池システムを業務用や一般の家庭用等に使用することを前提とした安全要件を整理し、安全性に関するデータ収集（不活性ガス置換省略時の安全性、設置離隔距離短縮時の安全性、制御機能喪失時の安全性、高温部における安全性、燃料電池システムからの漏洩電流）を実施して、安全性評価試験方法を検討する。また、起動/停止試験、発電/排熱回収効率試験、負荷変動試験、負荷追従試験等の基本性能試験、排ガス測定試験、騒音測定試験等の環境性試験、耐風試験、耐雨試験、騒音試験、排ガス測定試験、電磁波影響試験等の耐環境性能試験について標準的な手法の素案を検討し、必要に応じてデータを収集する。

安全性に関するデータは平成 18 年度末までに収集を完了し、常時監視の不要化や 10kW 未満の小容量の固体酸化物形燃料電池について、小出力発電設備（一般用電気工作物）への位置付け（保安規定届出及び電気主任技術者の不要化）、不活性ガスによる燃料ガスの置換の省略、所管消防署等への設置届出不要化、設置離隔距離の緩和、逆火防止装置不要化等の規制再点検に資する。

平成 21 年度は過圧防止装置省略における安全性に関するデータ収集を実施し、取得したデータは過圧防止装置省略化の規制再点検に資する。また、(社)日本ガス協会は、燃料電池システム技術基準検討部会を設置し、過圧防止装置省略に際して必要となる技術的安全要件の審議・検討等を実施する。

#### a. データ収集手法の検討

小規模定置用固体酸化物形燃料電池システムを業務用や一般の家庭用等に使用することを前提とした安全要件を整理し、その安全要件を検証するために必要な測定項目（温度、流量、電流、電圧等）やデータ収集手法（センサーの種類、測定部位、測定条件等）の検討を行う。また、基本性能、耐環境性などに係る性能試験方法について、既存の規格等を調査し、各種試験方法における測定項目（温度、流量、電流、電圧等）やデータ収集手法（センサーの種類、測定部位、測定条件等）の検討を行う。（平成 17～21 年度）。

#### b. 供試体の調達及び試験装置の改造・保守・点検

メーカー既存の技術により製作され、a. で検討したデータ収集の実施が可能でシステム構成、容量等の異なる供試体（システム）を購入するか、有償で借り受ける。また、供試体製造メーカーより無償で供試体（システム）の提供があればこれを使用する。（平成 17～19 年度）

また、これまでに調達した供試体（システム）について、データ収集のために必要となるセルスタック等の改造・修理を行う。（平成 20 年度、21 年度）。また、データ収集の実施に必要な分析計の保守・点検を実施する。（平成 17～20 年度、21 年度）。

#### c. データ収集の実施

a. で検討したデータ収集手法に基づき、調達した供試体（システム）を用いてデータ収集を実施する。（平成 17～20 年度、21 年度）なお、安全性評価試験方法等の検討に際して、規制緩和を検討する小規模燃料電池保安技術検討委員会（事務局：日本電気協会）の審議に基づき、排ガス中の水素濃度を連続測定する。

#### d. 評価方法の検討

収集したデータに基づき、安全性評価試験方法および基本性能、耐環境性などに係る性能試験方法の検討を行う。検討結果は後述の国際標準（IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件・WG4 定置用システム性能試験方法・WG5 定置用システム設置要件）の改定作業の場や国内標準検討の場へ提供するとともに、取得したデータについては後述の規制再検討の場へ提供する。（平成 17～20 年度、21 年度）

### (2-2) 純水素駆動型燃料電池に係わる基準・標準化検討

純水素駆動型燃料電池システムを一般の家庭等に設置することを前提とした火災予防上の安全要件を整理し、安全性に関するデータ収集（設置離隔距離短縮時の安全性、制御機能喪失時の安全性）を実施して、安全性評価試験方法を検討する。また、起動/停止試験、発電/排熱回収効率試験、負荷変動試験、負荷追従試験等の基本性能試験、排ガス測定試験、騒音測定試験等の環境性試験、耐風試験、耐雨試験、騒音試験、排ガス測定試験、電磁波影響試験等の耐環境性能試験について標準的な手法の素案を検討し、必要に応じてデータを収集する。

安全性に関するデータは平成 18 年度末までに収集を完了し、出力 10kW 未満の小容量の純水素駆動型燃料電池について、所管消防署等への設置届出不要化、設置離隔距離の短縮、逆火防止装置不要化等の規制再点検に資する。

#### a. データ収集手法の検討

純水素を燃料とする定置用燃料電池システムの構成、既存の関連規格等を調査し、安全性評価試験などでの温度、流量、電流、電圧等の各種測定項目に関して、データ収集項目、データ収集手法（センサーの種類、測定部位、測定条件等）の検討を行う。（平成 17～19 年度）

#### b. 供試体の調達及び試験装置の保守・点検

メーカー既存の技術により製作され、a. で検討したデータ収集の実施が可能でシステム構成、容量等の異なる供試体（システム）を購入するか、有償で借り受ける。また、供試体製造メーカーより無償で供試体（システム）の提供があればこれを使用する。（平成 18,19 年度）

データ収集の実施に必要な分析計の保守・点検を実施する。（平成 18～20 年度、21 年度）。

#### c. データ収集の実施

a. で検討したデータ収集手法に基づき、調達した供試体（システム）を用いてデータ収集を実施する。（平成 18～20 年度、21 年度）

なお、安全性評価試験方法等の検討に際して、固体酸化物形燃料電池の場合と同様に排ガス中の水素濃度を連続測定する。

#### d. 評価方法の検討

収集したデータに基づき、安全性評価試験方法および性能試験方法の検討を行う。検討結果は後述の国際標準（IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件・WG4 定置用システム性能試験方法・WG5 定置用システム設置要件）の改定作業の場や国内標準検討の場へ提供するとともに、取得したデータについては後述の規制再検討の場へ提供する。（平成 18～20 年度、21 年度）

### (2-3) 定置用燃料電池の系統連系時の課題検討

電力系統に分散型電源を複数台連系した場合に生じうる現象や解決すべき課題への外部機関等における検討状況を調査する。(平成 17,18 年度)

### (3) 単独運転検出技術の確立

分散電源が配電線に集中連系した場合に、単独運転防止用の能動信号の相互干渉によって単独運転検出ができない可能性が挙げられていることに対し、既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式との相互干渉が起こりにくいと評価されている能動的検出方式(標準方式)について、検出有効性と相互干渉の有無についてシミュレーション解析により評価を行う。

また、複数台連系時の単独運転検出機能の相互干渉に関する実証試験を実施する。本試験は財団法人電気安全環境研究所へ「複数台連系状態での単独運転試験(平成 18 年度)、複数台連系状態でのパワーコンディショナ単独運転検出機能試験(平成 19-20 年度)」として再委託し、計測器の一部を平成 18 年度に取得する(平成 18 年度)。また、実際に標準方式を組み込んだパワーコンディショナによる複数台連系試験、さらに、標準方式を数種類のパワーコンディショナに組み込んだ複数台連系試験を実施し、単独運転検出機能を阻害する相互干渉が起こらないことを確認する。また、試験設備として、計 18 台までの複数台連系試験を実施可能な試験設備を開発する(平成 19 年度)。

#### ・「標準方式」の検出有効性についてのシミュレーション解析

原理上系統連系時に常時能動信号を出さない方式であるため、各所の検証試験で他方式との相互干渉が起こりにくいと評価されている「標準方式」について、単独並びに複数台連系を想定したシミュレーションを行う(平成 18 年度)。

シミュレーションにおいて、実証試験と連携して精度の向上を図るとともに、標準方式を組み込んだ数種類のパワーコンディショナを組み合わせた時の検出有効性について解析・評価を行う。また、複数台連系時の単独運転検出動作のメカニズムの整理を行う(平成 19 年度)。

平成 20 年度は、既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式と相互干渉が起こりにくくとして選定された標準方式であるスリップモード周波数方式について、その信頼性、安全性を評価・検証し、複数台連系における技術的な課題を解決することを目的として、以下の検討を実施する。検討に当たっては、学識経験者、メーカー、エネルギー会社(電力、ガス、石油)、認証機関などから構成する単独運転検出技術検証委員会及びその下に単独運転検出技術検証小委員会、単独運転検出技術検証小委員会タスクフォースを設置する。

① 実証試験の結果を反映させたシミュレーション解析を実施する。平成 19 年度のシミュレーション解析と実証試験の結果の若干の差異が生じており、その要因と推定される負荷の非線形特性の影響について検討を行う。

② 標準方式を採用した 6 社(計 18 台)のパワーコンディショナによる複数台の組合せ実証試験を実施する。

平成 21 年度は、20 年度の委員会審議結果を踏まえ、非線形特性の影響の解析、実証試験結果とシミュレーション結果の比較検証を実施し、複数台連系時の標準方式の有効性を示す。

#### (4) 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討

固体高分子形、固体酸化物形、純水素駆動型の小規模定置用燃料電池システムのうち、集合住宅設置などの新たな設置形態や、アノードガス・リサイクル方式などの新たな機器仕様のシステムも含めた安全要件及び設置基準等について、国際標準(IECTC105WG3 定置用システム安全要件や WG5 定置用システム設置基準)および国内の基準・標準等への反映を見据え、現状の国内外における基準・標準や実務指針等に関する調査・机上検討を行い、課題の抽出と整理を行なう。(平成 19 年度)。

さらに平成 20 年度は、固体高分子形、固体酸化物形及び、純水素駆動型の小規模定置用燃料電池システムの集合住宅設置における安全要件及び設置基準等の国際標準(IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件や WG5 定置用システム設置基準)を先導するため、安全要件及び設置基準等の素案及び安全性検証試験法素案を検討し、検討結果に基づき実機試験による妥当性検証を開始し、平成 21 年度は検討した素案及び実機試験による妥当性検証を完了する。

##### a. データ収集手法の検討

平成 20 年度は、平成 19 年度に実施した集合住宅設置式小規模定置用燃料電池システム等の安全担保に係わるハザード分析に基づき、安全要件及び設置基準等を検証するための試験法案(長時間運転に伴うパイプシャフト(PS)・バルコニー内の温度上昇リスクに対する安全性検証、高層階での強風等による不完全燃焼リスクに対する安全性検証、給・排気口閉塞リスクに対する安全性検証、バルコニー壁との排気還流による不完全燃焼リスクに対する安全性検証等)に必要なデータ収集方法の検討を行う。(平成 20 年度)。

##### b. 供試体の調達及び試験装置の改造・保守・点検

メーカー既存の技術により製作され、a. で検討したデータ収集の実施が可能でシステム構成、容量等の異なる供試体(システム)を購入するか、有償で借り受ける。また、供試体製造メーカーより無償で供試体(システム)の提供があればこれを使用する。さらに、調達した供試体(システム)の給排気口形状等の改造・修理を行う。(平成 19~20 年度、21 年度)

集合住宅設置式の小規模定置用燃料電池システムに係る安全要件や設置基準等を検証するために必要なデータ収集を行なうための試験装置を整備し使用する。また、データ収集の実施に必要な分析計の保守・点検を実施する。(平成 19~20 年度、21 年度)。

##### c. データ収集の実施

a. で検討したデータ収集手法に基づき、調達した供試体(システム)を用いてデータ収集を実施する。(平成 20 年度、21 年度)

##### d. 評価方法の検討

収集したデータに基づき、集合住宅設置式小規模定置用燃料電池システム等における安全要件及び設置基準等に係る国際標準素案の作成、安全性検証に係る標準試験法案の作成を行う。平成 21 年度は、得られた国際標準素案や試験法案を、後述の国際標準(IEC TC 105 WG3 定置用システム安全要件・WG5 定置用システム設置要件)の改定作業の場や国内標準検討の場へ提供する。(平成 20~21 年度)

## (5) 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進

### a. 各種試験法案及び各種標準案の策定

(1) 及び (2) で得られたデータを基に試験方法を策定する。

### b. 国内外の基準・標準調査と標準化活動の推進

(社) 日本電機工業会は、燃料電池標準化総合委員会、国際標準化委員会及びその下に設置した国際 WG に対応した国内 WG と新規提案の準備を行う試験法調査 WG において、国内の意見を幅広く取り込みながら、定置用燃料電池及びマイクロ燃料電池に関して以下の活動を行う。

- ① 定置用燃料電池に関しては、国内標準 (JIS) と国際標準 (IEC) との比較精査を行い、国際標準へ提案すべき内容を抽出する。また、固体酸化物形燃料電池について、国際標準への提案準備 (国際標準整合化原案の作成) を行う。平成 20 年度に比較精査結果をまとめ、平成 21 年度に予定されている国際標準の改定作業の中に反映させる。マイクロ燃料電池に関しては、ローカルイフェクト安全要件などを国際標準に反映させ、燃料カートリッジの国際間輸送の調査・検討、メタノール以外の燃料別性能試験法及びデバイスと燃料電池の互換性の調査・検討を行い、国際標準審議の場に提案する。
- ② IECTC105 国際会議等の標準化関連会議に参加あるいはコメント提出等により、本事業の成果や日本の意見・国内規格・基準を国際標準に反映させる。(IECTC105 の各 WG の動向に適宜対応する)
- ③ 関係各国及び関係団体等との意見交換及び情報収集、燃料電池の技術動向調査を行う。

## (6) 規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集

規制当局や規制再点検を行う委員会等の指摘がある場合は、定置用の燃料電池システムの安全要件を検証・確認するためのデータ収集を実施する。

## 2. 1. 2. 2 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究 開発

### (1) メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法 (IEC 62282-6-100)

メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法の排出特性に関する試験を実施し、ローカルイフェクト(LE；マイクロ燃料電池が消費者の口・鼻のごく近傍で使用される際の排気に関する局所的な効果)が存在する場合のLEの大きさ評価のため、時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法について検討を行う。それに基づいて基盤データを取得し、分析計測方法を確立する。得られたこれらの基盤データを、マイクロ燃料電池の安全性基準・標準案策定に活かす。

### (2) メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法 (IEC 62282-6-300)

メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法の燃料不純物特性に関する燃料評価試験方法について基盤データを取得しつつ検討を行い、安定動作可能となる基本的評価手法を確立する。エタノール、アセトアルデヒド、酢酸等の低分子有機化合物についての基盤データを取得し、その影響を評価し、メタノール燃料マイクロ燃料電池システム等の燃料品質基準・標準案策定に活かす。

## 2. 1. 3 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の内容

### 2. 1. 3. 1 水素インフラに関する安全技術研究

(財)石油産業活性化センター、三菱重工業(株)、(株)日本製鋼所、(社)日本産業・医療ガス協会、(株)タツノ・メカトロニクス、出光興産(株)、(財)エンジニアリング振興協会、大陽日酸(株)、住金機工(株)、高圧昭和ポンベ(株)

本研究開発は、「水素インフラに関する安全技術研究」に関し、以下の研究開発項目を実施する。なお、本研究開発の実施にあたっては、効率的で迅速な推進を図るため、(財)石油産業活性化センターは、連名契約者が実施する研究の統括管理を行う。

また、研究の推進に当っては、学識経験者、関係企業・団体の専門家の指導・助言を受けるために、「水素インフラに関する安全技術検討委員会」を設置する。また、この委員会のもとに実質的な業務を効率よく進めるため、及び規則見直しに資するデータ、情報等を調査、検討するため、検討分野ごとに専門委員会ならびにワーキンググループを設置する。

#### (1) 水素スタンドに係る安全性評価と安全対策検討（石油産業活性化センター）

水素スタンドの安全を確保しながら法規制の見直しを実現するため、水素スタンドに係る安全性評価を行い、安全を確保するための安全対策検討を行って、法規制の見直しに必要な技術基準・例示基準等の案作成に資するデータ収集等を行う。

具体的には、標準的な水素スタンドのモデル作成と事故想定を行い、これを次項(2)～(12)から得られたデータを参考にリスク評価を行い、標準水素スタンドの安全性を評価する。また、評価結果から導き出された安全対策等を取りまとめる。

- a. SS併設型水素スタンドの設置と法対応等の改造
- b. 平成17～19年度は、水素スタンドの対象として、液体水素スタンド、70MPa 充てん対応水素スタンドを中心に検討する。なお、70MPa 充てん対応水素スタンドについては水素燃焼/爆発が外挿データのため仮のリスク評価を行う。
- c. 平成20～21年度は、70MPa 充てん対応水素スタンドに対して、リスク評価と安全対策等を検討する。本検討結果は例示基準案に反映させる。

#### (2) 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認と安全性評価（三菱重工業株式会社）

水素スタンドでの事故想定を踏まえ、高圧(40MPa, 80MPa)の水素ガス及び液体水素漏洩時の拡散、着火、爆発に関し、野外実験と数値シミュレーションにより爆風圧及び水素濃度分布等を把握することで、保安距離や隔離距離等を検討するためのデータを取得する。

平成17～19年度は、安全対策や水素スタンドのコンパクト化等の検討に必要となるデータを野外実験及び数値シミュレーションによって取得する。また、70MPa 充てん対応水素スタンドの規制見直し用データ取得のための、実験用装置の設計等を行う。

平成20～21年度は、特に70MPa 充てん対応水素スタンドの規制見直しに向けて保安距離や隔離距離等を検討するため、水素を用いた実験及び数値シミュレーションにより、拡散濃度

及び爆風圧、火炎長さ、漏えいガスの人体への影響等のデータを取得し解析・評価を行う。

また本事業の連携事業遂行に資するため蓄圧器供用換えを行う。このため田代実験場の蓄圧器を取り外し梱包する。

### (3) 水素スタンド構成機器の安全性検証及び性能検証

#### a. 蓄圧器、配管等の安全性検証（一般社団法人日本産業・医療ガス協会）

平成15～16年度に実施した35MPa 充てん対応水素スタンド構成機器の安全性検証の結果を踏まえ、平成17～18年度は、液体水素スタンドの安全性検証のため、それを基に技術基準案作成に資するデータ収集等を行う。

また、70MPa 充てん対応水素スタンドの安全性検証では、設定されたスタンドモデルに基づき、使用可能な機器及び材料を検討し、各構成機器及び共通設備の安全対策の調査を行って、安全対策上の問題点を抽出し対策案を検討する。

平成20～21年度は、70MPa 充てん対応水素スタンドについて不足している安全対策案の検討と評価を行い、石油産業活性化センターが実施するリスク評価へ反映し、法令案作成、例示基準案作成に資する。

#### b. 水素ガスディスペンサーの安全性検証（株式会社タツノ・メカトロニクス）

高圧水素ガスディスペンサーの構成機器について、70MPa対応機器の各種安全性検証試験方法の確立と各種安全性検証を実施し、70MPa対応の技術基準案の作成に資するデータ収集等を行う。

また、70MPa対応機器の安全性検証のためにヘリウム設備の建設及び水素設備の改造を行う。

平成17年度は、70MPaでの試験法確立のため、現存設備を用いて試験法の検討を行う。検討項目は、遮断弁の漏れモード解析検証試験、過流防止弁安全性検証、流量計安全性検証、安全弁の安全性検証であり、これらを実施すると共に、ヘリウム設備建設用機器と70MPa対応機器安全性検証用の機器の一部を準備する。

また、70MPa安全性検証に備え、70MPa充てんシステム及び構成機器について海外を含め調査を実施する。

平成18年度はヘリウム設備の導入と70MPa対応機器の安全性検証を実施するための充てん制御基礎検証試験を実施する。但し、ヘリウム設備の運用開始は平成19年4月以降となる。

また、70MPa充てんシステム及び構成機器について海外調査を実施すると共に、流量計安全性検証用の機器の一部を準備する。

平成19年度は70MPa対応の水素設備改造と70MPa対応のヘリウム設備を完成させ、流量計の安全性検証、流量調整弁の安全性検証及び遮断弁の安全性検証を実施する。

平成20年度は平成19年度に実施した流量計の安全性検証の水素脆化の影響をより明確にするため、流量計の安全性検証の継続と、ホースの安全性検証を実施する。また、プレクールに関わる安全性検証試験については、設置時のプレクール下流のホース、機器への影響について検討する。

平成21年度はプレクール環境下でのホースの安全性を明確にするため、冷熱繰返し試験を継続実施する。

これらの結果はいずれも技術基準案に反映させる。

尚、各安全性検証は平成17年度～平成18年度に実施して培った試験手法を元を実施する。また、各年共に高压ガス設備の法定検査を実施するが、平成20年度以降の法定検査は、既存の水素設備と平成19年度に実施した水素設備改造部及び70MPa対応ヘリウム設備についても実施する。

又、平成20年度よりスタートした「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」事業において低コストディスペンサーの開発を実施しており、そこで実施される安全性とコストを両立させた技術開発の成果は、本事業の目的にも合致し、そのデータは本事業にも活用できる。そこで、「水素社会構築共通基盤整備事業」で取得した資産を「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」事業でも使用する。使用に際しては「水素社会構築共通基盤整備事業」の事業計画に影響を及ぼさないようにスケジュール等、十分に考慮した上で使用する。

#### c. 高压水素圧縮機の安全性検証（株式会社日本製鋼所）

現在導入されている35MPa対応高压水素圧縮機については、平成15、16年度の安全性検証において、商用に寄与するための実証確認を行った。

しかしながら、実稼働水素環境下で耐圧設計条件を検証するにはさらなる運転評価が必要である。さらに高压となる70MPa対応圧縮機、特に大容量（大口径）の安全性検証に関しては、水素環境による影響が未知な領域であることから、安全性を確認するための大口径弁類（自動弁・逆止弁等）や耐圧部材の選定・評価を進める必要がある。そこで、平成17～19年度は、35MPa対応圧縮機での耐圧部材設計と水素実環境での製品寿命に値する長期運転とを比較検証すること、及び70MPa対応耐圧部候補材の水素環境材料評価試験により、水素環境下での70MPa対応圧縮機の耐圧部材設計基準に資する耐圧部材の設計ロジックを提言する。

平成17～18年度は、35MPa対応既存圧縮機設備での定格運転、及び加速試験体での発停運転試験により部材の実環境運転と耐圧部設計の比較検証を行う。また、実用規模70MPa対応圧縮機設備の構成・方式を調査・比較・検討し、その使用条件に耐えうる使用部材・機器等の調査を実施する。平成18～19年度は、70MPa対応耐圧部材の候補材選定、水素環境下での材料試験、既設35MPa対応機の後段機として70MPa対応圧縮機のシステム設計を行う。平成19年度にはそれまでの試験方法、調査結果から、設計ロジックの検討やリスク検討、基準化に反映すべきデータを取りまとめる。

#### (4) 水素スタンド構成金属材料の評価（株式会社日本製鋼所）

水素スタンドに使用される金属材料は、高温高压水素雰囲気下や極低温液体水素雰囲気下では、水素脆化や低温脆化により材料特性が低下することが知られているが、常温高压の水素ガス雰囲気においても、材料特性の劣化を引き起こす可能性が示唆されている。

平成15年度、16年度は、規制緩和にかかわるデータ採取を実施するとともに、鋼の水素ガス脆化に関する基礎的な評価を行ってきた。評価の主体は蓄圧器素材であるが、70MPa 充て

ん対応水素スタンドの蓄圧器は、35MPa 充てん対応水素スタンドと同一材料では製造困難となる。信頼性の高い蓄圧器を実現することを視野に入れ、水素ガス環境で使用されるフェライト系鋼を主体に、より脆化感受性の低い材料の探索、複合材料化の可能性などを検討する。

平成17年度は、70MPa 充てん対応蓄圧器1次候補材の検討と材料製作を行う。

平成18年度は、平成17年度にて検討した70MPa 充てん対応蓄圧器候補材料のスクリーニング試験（水素雰囲気圧力は45MPa 迄）を実施する。

平成19年度は、候補材料のスクリーニングにより、少なくとも1鋼種の材料選定を実施する。

なお、平成19年度では70MPa 充てん対応水素ステーション用蓄圧器の材料特性評価試験として、SNCM439 鋼強度低減材等を優先して実施する。材料面に関する項目には、熱処理条件、引張強度、組織調査等があり、これらについても評価・検討する。平成19年度～平成21年度は、SNCM439 鋼強度低減材を用いて、蓄圧器（付属品等を含む）そのものについて、工業製造時にも同様の強度低減効果が得られていることを確認するとともに、再現性が良好なことを確認する。

また、本事業と水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業との共同実施を計画していたサーベイランス試験を具体化する。技術的課題として、蓄圧器内面を傷つけない試験片治具の設計と実際の水素ステーションの運用があげられる。なお、試験片および治具の設計・製作に関しては、平成20年度に蓄圧器メーカーが参画している本事業で実施し、また水素ステーションにおける運用に関しては、平成21年度以降、ステーションを保有する水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業で実施する。なお、サーベイランス試験に必要な試験片への荷重の負荷設定、当該実験現地までの試験片及び治具の運搬については本事業の中で平成21年度に実施する。

SNCM439 鋼強度低減材にて製作した蓄圧器素材は蓄圧器メーカーにも支給し、蓄圧器メーカーが主体となり、成形加工後も強度低減効果が得られている結果を確認するとともに、機械的性質等について詳細な検討を行う。

本データは水素・燃料電池実証プロジェクトにも活用する。他の候補材の検討は、平成20年度から実施する。

また、蓄圧器等、高圧水素ステーション用機器には高い安全性が要求されるため、材料及び製造時における内部表面きずや絞り部のシワの有無を検査することが重要である。このため、平成19年度は、例えば超音波探傷（UT）等により製造時における内部表面きずや絞り部のシワの有無を確認する手法を検討する。この検討結果に基づき、後述の蓄圧器メーカーと協議の上、蓄圧器メーカーにおける各製造条件の明確化の一助とする。さらに、稼働時における蓄圧器の安全性を確認するための検査を視野に入れて、超音波探傷（UT）の検討を実施する。

平成20年度及び21年度は、70MPa 充てん対応蓄圧器候補材料について、70MPa 対応高圧水素環境下でのデータ取得を進め、国内法規制の再点検に資する。また、水素環境脆性を低減させるための実機製造上の課題を抽出し、70MPa 対応高圧水素環境下における内圧疲労試験等の耐久性試験を実施することにより、蓄圧器の耐久性・信頼性向上の方策を検討する。これらの成果に基づき、将来の水素蓄圧器用材料の基準・規格作成などにつなげる。

## (5) 保安関係等の検討

### a. 保安検査周期の延長（石油産業活性化センター）

水素スタンドの保安検査の検査周期は現在1年と定められており、メンテナンスコストが高くなるため、保安検査周期の延長が要望されている。そこで、高圧ガス機器、配管等の腐食、損傷その他の劣化状況についての調査、保安設備や安全装置類等の機能維持状況についての調査を行い、保安検査周期の延長の可能性を検討する。

平成17～19年度は、既設水素スタンドの保安検査状況の調査、高圧設備や安全装置類等の機能維持状況についての調査を行い、各検査項目ごとに検査周期の延長や簡素化を検討する。

平成20、21年度は、70MPa充てん対応水素スタンドに対して既設水素スタンドを含めて、高圧設備や安全装置等の機能維持状況の調査を行い、検査に関する基準等に反映させるため、各検査項目に対しての検査方法の簡素化を検討する。

### b. 液体水素ローリーの保安距離の短縮（石油産業活性化センター）

オフサイト型の液体水素スタンドにおいては、液体水素ローリーから貯槽に液体水素を充てんする際に、移動式製造設備（液体水素ローリー）から第一種保安物件に対して15mの保安距離が必要とされ、市中に水素スタンドを設置する際の障害になる。そこで、事故要因等の分析、安全対策等の検討、対策後の事故の影響評価を行い、規制の再点検に資するデータ収集等を行う。

平成17～18年度は、安全対策の検討、対策後の事故の影響評価、技術基準案の作成に資するデータ収集等を行う。

### c. 改質装置の夜間無人暖機運転の検討（石油産業活性化センター）

改質装置の運転立ち上げには、改質装置の加熱に数時間を要するため、水素製造運転を行わない夜間であっても暖機運転を続ける必要がある。現行法規上、石油類等の危険物を用いた無人の暖機運転は認められておらず、水素スタンドの効率的な運営を行うためには、改質装置の夜間無人暖機運転の許可が望まれる。そこで、改質装置の夜間無人暖機運転方法等の調査、事故想定、非常時の通報体制等について検討し、安全な夜間無人暖機運転についての基準を整備することで規制の再点検に資するデータ収集等を行う。平成17～18年度は、改質器に対する技術基準案の作成に資するデータ収集等を行う。

### d. 水素スタンドのリスクアセスメント技術の構築（三菱重工業株式会社）

水素スタンド設備の最適設計、及び効果的な対策による設備の安全性向上をリスクマネジメントの観点から定量的に評価・確認するリスクアセスメント技術を構築し、最新知見による整備・見直しを行う。

平成17～18年度は、これまでにプロトタイプを構築したリスクアセスメント支援システムの機能を拡張し、標準的な水素スタンドの仕様に対して、内部要因によるハザードを抽出し、スタンド全体のリスクを算出し、安全対策の効果を定量的に示す。

### e. 給油取扱所併設の70MPa充てん対応水素スタンドに係る安全性評価と安全対策検討（石油産業活性化センター）

70MPa充てん対応水素スタンドの給油取扱所併設について、35MPa充てん対応水素スタ

ンド同様に安全性評価および安全対策の予備検討を行う。本検討結果は消防法の見直しに資する。

#### **(6) 水素スタンド安全対策の追加検討（石油産業活性化センター）**

水素スタンドの安全性を担保するための安全対策については、平成15～16年度に検討し、最低限の安全性を担保するものとして技術基準案の作成に資するデータ収集等を行い、取りまとめた。一方、実際に建設される水素スタンドは、立地や事業目的により多様な機器配置・仕様で建設されるため、追加的な安全対策が必要なものも多い。また、平成15～16年度に実施したリスク評価においてもリスクを保有せざるを得ない事故シナリオも存在しており、これらのリスクに対する追加的な安全対策が望まれている。そこで、リスク保有した事故シナリオ対応にとどまることなく、更なる安全性向上の観点から種々の追加的な安全対策を検討する。平成17～19年度は、35MPa 充てん対応水素スタンドを対象として検討する。

#### **(7) 圧縮水素運送自動車用容器の安全性検証（大陽日酸株式会社（日本産業・医療ガス協会との共同実施））**

35MPa の FCV に水素を供給するための輸送用複合容器システムは、輸送車両に 35MPa 仕様の容器を固定して搭載する方式に限定して平成16年度に規制見直しされた。本見直し規制に基づき、実際に活用するための自主基準作成に資するデータを採取することを目的として、平成17～19年度は、試験用 35MPa 集合容器を製作し、各種衝撃負荷試験とその解析を実施する。

#### **(8) 複合容器を利用した蓄圧器の安全性検証（大陽日酸株式会社（日本産業・医療ガス協会との共同実施））**

水素スタンドを構成する蓄圧器については、現在、鋼製容器が用いられているが、水素脆化の影響が無いライナー材料を使用した複合容器を使用することで、軽量化、省スペースが期待されるため複合容器を利用した蓄圧器の安全性を検討する。

#### **(9) 実水素スタンドによる安全対策等の検討と検証（出光興産株式会社（石油産業活性化センターとの共同実施））**

ガソリンスタンドに併設する実水素スタンドを使用し、保安検査等の簡素化のため、各種稼働状態（間欠稼働、フル稼働等）での安全対策や個別構成機器の作動安定性・耐用性の確認検証及び改質器の無人運転時に追加するPEC安全対策案の検証等を行い、新法令により追加された安全対策等の確認検証、検討を行い、例示基準の改定および規制緩和に資する。

a. SS併設型水素スタンドの設置

b. 新法令により追加された安全対策の検証

i. 過流防止弁の作動安定性検証と条件検討（平成18～19年度）

ii. 圧力リリーフ弁の作動検証（平成18～19年度）

- c. 保安検査等の簡素化のためのデータ収集と保全管理指針の策定（実作動条件下での構成機器の耐久性試験）
  - i. バルブ O リングの磨耗劣化耐久性の検討（平成 19～21 年度）
  - ii. 圧縮機の長時間連続運転による耐久性検証ダイヤフラム劣化・シリンダー磨耗等）（平成 18～21 年度）
  - iii. 蓄圧器の非破壊検査手法の検討（平成 18～21 年度）
  - iv. 保全管理指針の案の策定（平成 18～21 年度）
- d. 自主基準により追加された安全対策の検証
  - i. 蓄圧器の直射日光防止措置の効果検証（平成 19～21 年）
  - ii. 輻射熱防止効果の算定と散水量の削減検討（平成 21 年度）
  - ii. 改質器の無人運転に関する P E C 安全対策案の検証（平成 19～20 年度）

平成 18 年度にシステム全体での連続運転の予備試験等を計画通り終え、各種試験準備を実施した。予備試験の結果、効率よく試験を実施するため、蓄圧器のバイパスライン設置により、高圧系だけの運転がより安全に実施できることを見出した。

平成 19 年度に水素ステーションの保安確保と運用性向上と試験期間短縮のため、例示基準案に示された改造及び蓄圧器バイパスラインの設置などを行う。

（蓄圧器周りの手動弁等の S U S 3 1 6 L 材への交換、日常点検シーケンス改造など）

#### **(10) 実水素スタンドによる規制見直しと適合性の検討**（(財) エンジニアリング振興協会（石油産業活性化センターとの共同実施））

実水素スタンドにおける見直された規制等の適合性を検証する。これらの成果は今後行われる水素スタンドの基準・規格の規制緩和につなげる。

- a. 水素純度規格の適合性検証及び制約緩和検討
  - i. 水素純度測定方法の調査・検討
  - ii. 水素純度測定方法の検証と制約緩和検討
  - iii. P S A 切り替え時間の変更等による水素純度の水素製造コストへの影響検討
- b. ディスペンサー規格の適合性の検討
  - i. 緊急離脱カプラー、充てんホースの規格の適合性の検討
  - ii. 静電気除去接地アースの適合性の検討

#### **(11) 絞り加工による蓄圧器の製造技術検討**（住金機工株式会社（石油産業活性化センターから再委託））

まず、35MPa 充てん対応蓄圧器に関して、絞り加工（スピニング製法）による蓄圧器の絞り部内面に発生するシワ傷を軽減するための対策検討及び熱処理における胴部引張強度の安定化を検討する。また、70MPa 充てん対応水素ステーション用蓄圧器について、絞り部内面のシワ軽減技術を検討する。さらに、種々の熱処理条件における引張強度等の確認により、熱処理工程の条件を明確化するとともに、応力解析評価等を実施する。

合わせて、日本製鋼所の協力・助言を得て、蓄圧器材料・加工における各製造・加工工程の

検査・確認項目等を明確化する。また、SNCM439（強度低減材）による蓄圧器の工業製造時における蓄圧器ロット間の機械的性質等データのバラツキ確認等を行う。なお、データのバラツキ等の確認にあたり、実機器製作を前提とした官庁許可に資する追加検討を平成21年度に行う。

以上で得られた成果を基に、水素スタンド用蓄圧器の安全性を担保する製造基準を整備する。

**(12) 鍛造加工による蓄圧器の製造技術検討（高圧昭和ボンベ（石油産業活性化センターから再委託））**

まず、35MPa 充てん対応蓄圧器に関して、ハンマー成型条件、シワを軽減する装置・方策等により、鍛造法によるシワを軽減する蓄圧器の製造技術を検討する。

また、70MPa 充てん対応水素ステーション用蓄圧器について、供試材料による加工を行い、シワの軽減技術を検討する。さらに、引張強度等の確認により、熱処理工程の条件を明確化するとともに、応力解析評価等を実施する。

合わせて、日本製鋼所の協力・助言を得て、蓄圧器材料・加工における各製造・加工工程の検査・確認項目等を明確化する。また、SNCM439（強度低減材）による蓄圧器の工業製造時における蓄圧器ロット間の機械的性質等データのバラツキ確認等を行う。なお、データのバラツキ等の確認にあたり、実機器製作を前提とした官庁許可に資する追加検討を平成21年度に行う。

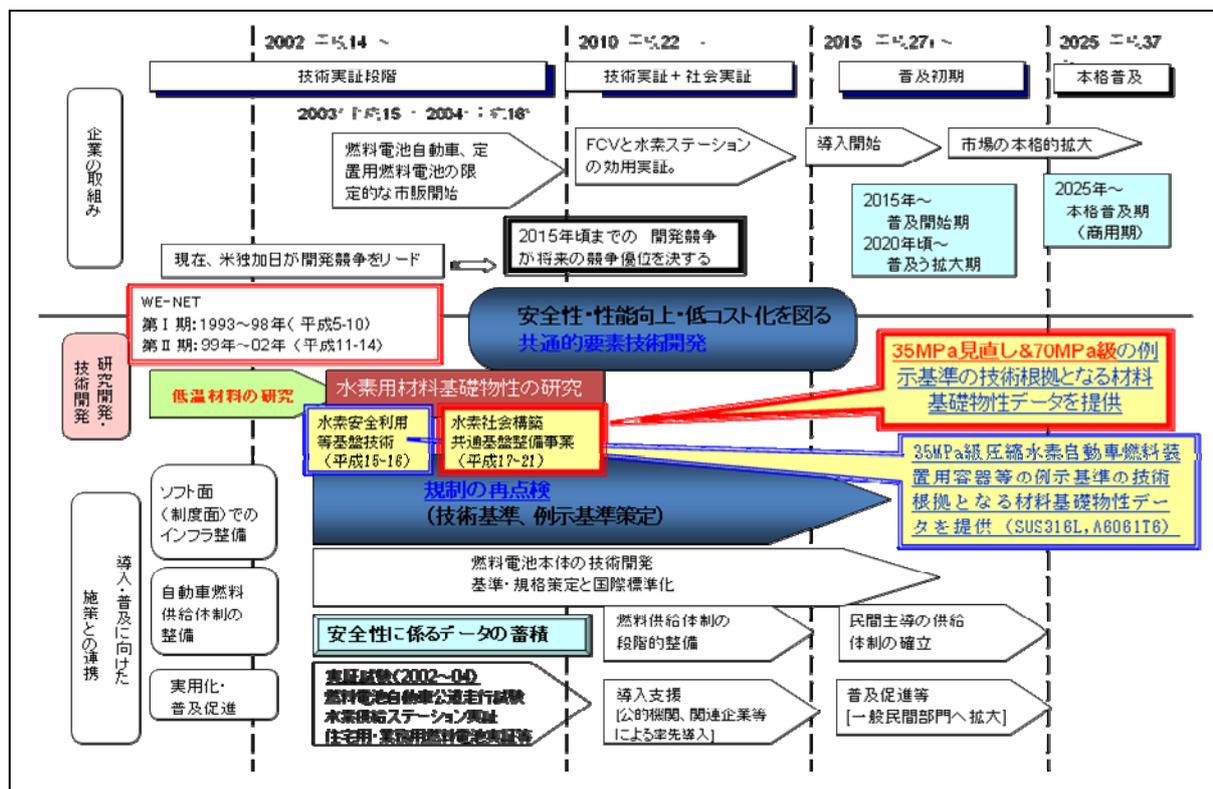
以上で得られた成果を基に、水素スタンド用蓄圧器の安全性を担保する製造基準を整備する。

## 2. 1. 3. 2 水素用材料基礎物性の研究

((財)金属系材料研究開発センター、愛知製鋼(株)、新日本製鐵(株)、住友金属工業(株)、高圧ガス保安協会)

### (1) 本研究の位置づけ

図Ⅱ.2.1.3.2-1に、固体高分子形燃料電池／水素エネルギーの導入と材料研究との関わりの観点から、「水素用材料基礎物性の研究」の位置づけを示す。



図Ⅱ 2.1.3.2-1 「水素用材料基礎物性の研究」の位置づけ

本研究開発は「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」を対象として「水素用材料基礎物性の研究」を行うこととし、以下に示す①～⑨の研究開発を実施する。

水素を安全に利用するための技術開発を行うと共に、安全性の確保を前提とした燃料電池自動車および水素インフラに係わる包括的な規制の再点検に資する各種材料の技術開発や特性データ取得を行い、民間事業者等が主体となつて行う技術基準案や例示基準案の作成等につなげる（図Ⅱ.2.1.3.2-2）。国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、規制再点検及び国際標準化に必要なテーマに対応するデータを取得する。特に高圧水素での水素用機器に使用する材料の強度や疲労などの基礎物性データを優先的に取得し、燃料電池自動車搭載用容器、水素供給スタンド容器、配管、バルブ等個別の要素機器開発に提供、容器保安規則および特定設備検査規則の技術的根拠とする。さらに、試験結果の評価に基づき現行材料・候補材料の適用可能範囲を提示する。各研究開発項目は、個々の対象部材材料の基礎物性に関する研究、材料物性についての共通基盤技術に関する研究に大別される。平成20年度から平成21年度は、70MPa水素ガス雰囲気下使用機器材

料（以下、70MPa機器材料と称す）の基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータを取得し、評価する。

・材料の基礎物性に関する研究（①～⑤）

①高圧水素タンク用ライナー材の研究開発

（新日本製鐵株式会社、新日鐵住金ステンレス株式会社（新日本製鐵株式会社と共同実施））

②高圧水素配管材料の研究開発（住友金属工業株式会社）

③高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発（愛知製鋼株式会社）

④液体水素用構造材料の研究開発（新日本製鐵株式会社）

⑤水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発（高圧ガス保安協会）

・材料物性共通基盤技術に関する研究（⑥～⑨）

⑥水素用材料物性調査およびデータベース化（財団法人金属系材料研究開発センター（JRCM））

⑦水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価

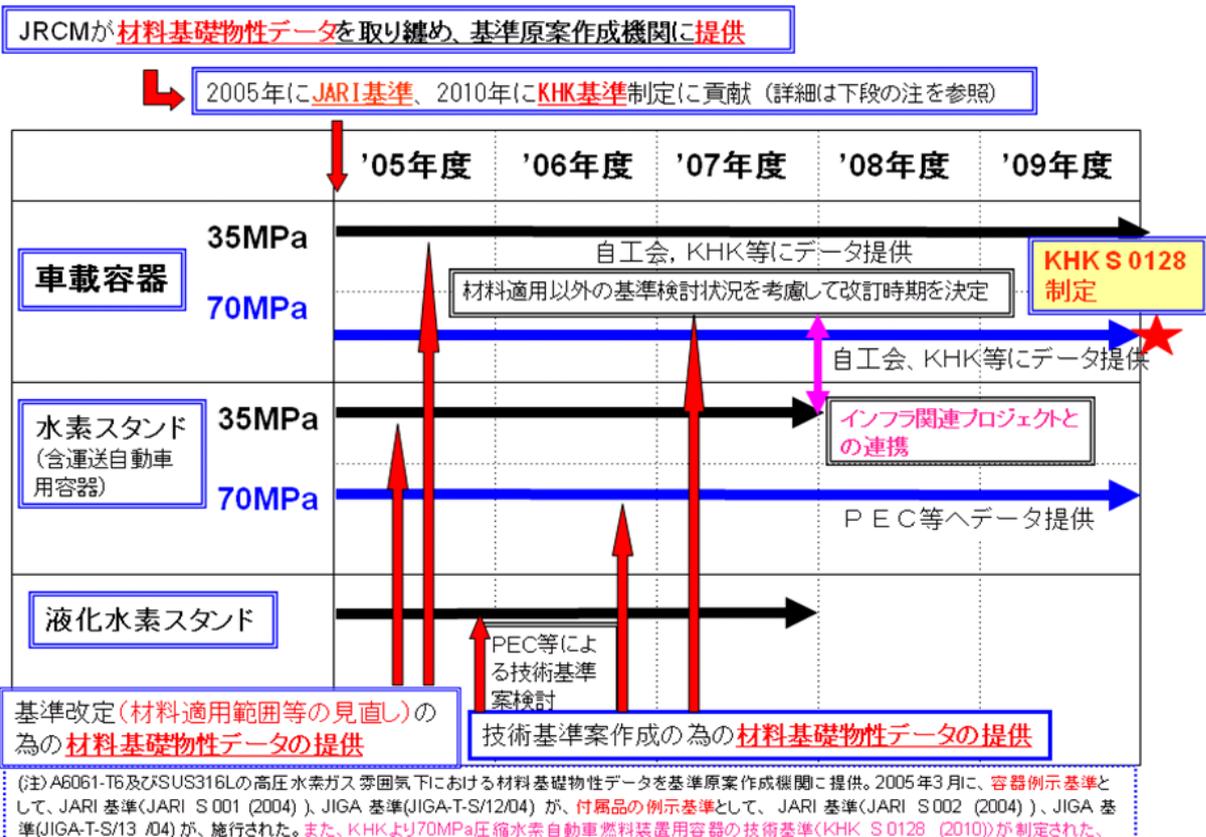
（独立行政法人 産業技術総合研究所（JRCMより再委託））

⑧極低温ガス環境下での材料特性に関する研究

（独立行政法人 物質・材料研究機構（JRCMより再委託））

⑨水素用材料の疲労・トライボロジー特性研究（九州大学（JRCMより再委託））

なお、九州大学担当分については、平成19年度までで当初計画内容を終了した。



図II 2.1.3.2-2 車載容器、水素スタンド等の基準作成スケジュールと材料データ提供

## (2) 研究開発計画の内容

高圧水素ガス中での材料特性試験装置を駆使し、水素用材料の基礎物性データを構築する。既存の設備 (SSRT (Slow Strain Rate Technique) 試験機等) を効率的に利用しつつ、常圧から100MPa級高圧水素ガス雰囲気下で試験できる試験機を設計、先行導入する。また、国内外で利用できる試験装置も外注等により積極的に活用する。

水素用材料は、使用環境によって必要特性、安全基準が異なる場合があり、材料の基礎物性に関する研究項目 (①～⑤) に対し、研究効率を上げるために、対象部材と基礎物性調査項目の観点から以下のように研究開発を分担する。◎は基礎物性調査項目に対し、研究主体であることを示す。

対象部材 調査項目	①高圧水素タンクライナ材 (SUS, Al合金等)	②高圧水素配管 (SUS等)	③高圧水素バルブ継手 (SUS等)	④液体水素タンク、配管 (SUS等)	⑤高圧水素容器 (FRP等)
高圧水素中の機械的性質	◎	◎	○	—	○
高圧水素中の疲労特性	◎	◎	○	—	—
水素吸収特性と機械的性質	○	○	◎	—	◎
液体水素中の機械的性質	—	—	—	◎	—
(研究主担当)	新日本製鐵株式会社 ※	住友金属工業株式会社	愛知製鋼株式会社	新日本製鐵株式会社	高圧ガス保安協会

※ (注) 新日本製鐵株式会社には、共同実施先の新日鐵住金ステンレス株式会社を含む。

車両関連機器、水素インフラ、定置システムにおける様々な材料共通基盤課題を当研究体が受け止め、効率的に課題解決に取り組み提案できるように、上記以外の、燃料電池自動車や水素供給スタンド等で使用される水素用材料についても、他事業の委員会やワーキンググループ会議他を通じて、相互に情報交換・連携をとり、広く材料基盤データ構築、標準化を進める。

試験対象材料、試験温度範囲や圧力範囲は、実際の使用条件や基準作りに即して設定する。実用時を想定した材料の加工や溶接、水素ガス中不純物の影響、実容器材料や実証試験で使用した材料についても、これらの解体調査、機械的特性評価試験を実施する。なお、実証試験等で使用した材料では、WE-NET高松水素ステーション解体調査から得た試料を活用し材料評価を実施する。

前記対象部材①～③の基礎物性調査項目に対して、候補材料の平成17年度～平成21年度試験内訳を以下に示す。

実施計画（金属系材料）

対象材料	引張	SSRT	水素吸収材の引張	水素吸収材の疲労	疲労	破壊靱性	疲労き裂	遅れ破壊	暴露試験	内外圧疲労
A6061T6標準材	I	I			I		I		I	I
SUS304L標準材	I	I	I	II					I	I
SUS316標準材	I	I	I	II			II	II	I	II
SUS316L標準材	I	I	I	II	I		I	II	I	I
SUS316L組成変化	II	II	II	II	II		II	II	II	II
SUS316L加工材	I	I	I	II	II		II	II	I	II
SUS高強度材	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
Cr-Mo鋼	II	II	II			II	II		II	II
SUS316L溶接部		I					II			II
バルブ用材料		II	I	II	II		II		I	
試験実施担当	NSC	SMI	愛知	愛知	NSC	NSC	NSC	NSC	愛知	SMI

NSC・・・新日本製鐵株式会社（共同実施先：新日鐵住金ステンレス株式会社）

SMI・・・住友金属工業株式会社 愛知・・・愛知製鋼株式会社

I・・・優先実施

II・・・平成17-21年度実施

(a) 材料の基礎物性に関する研究計画

(i) ①高圧水素タンク用ライナー材の研究開発および④液体水素用構造材料の研究開発（新日本製鐵株式会社）

平成 17 年度～19 年度は、高圧水素ガス中材料評価試験では、45MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置を用いた特性評価を実施するとともに、100MPa 級の試験装置を新規導入し、これを用いた特性評価を実施する。これに際し、試験機を安全且つ、円滑に稼働させるために必須である 100MPa 試験機追加内部ロードセルの歪ゲージ貼り付け、携帯用水素検知器の導入を行う。

また、材料への水素侵入を抑制するための技術開発評価、ステンレス鋼の遅れ破壊特性評価、SUS316 系ステンレス鋼の水素環境脆化に及ぼす組成の影響を把握する研究開発を実施する。液体水素中材料評価試験では、液体水素中における溶接材の曲げ疲労特性評価を実施するとともに、極低温環境下における変形挙動の計算機シミュレーションを実施する。

平成 20 年度～平成 21 年度は、70MPa 機器材料の基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータを取得し、評価すること、実用液体水素用材料の劣化度調査等に注力する。

主な研究開発項目は下記のとおりである。

高圧水素ガス中材料評価試験

平成 17 年度～平成 19 年度

- a. 低温・高圧水素ガス環境における SUS316L 鋼の水素環境脆化特性把握
- b. アルミニウム合金、各種ステンレス鋼、合金鋼、チタン材等の 45MPa 高圧水素ガス中機械的特性の継続評価
- c. 最高圧力 99MPa、-50℃～100℃の温度調整機能付き高圧水素ガス中機械試験機導入
- d. 上記試験装置を用いたアルミニウム合金、各種ステンレス鋼、合金鋼、チタン材等の最高 99MPa 高圧水素ガス中における機械的特性評価
- e. ステンレス鋼の遅れ破壊特性評価
- f. ステンレス鋼の組成と水素環境中における機械的性質の関係把握
- g. 耐水素侵入表面処理を施した試料の水素侵入特性調査および同材料の機械的性質評価
- h. 実容器材料の特性評価

平成 20 年度～平成 21 年度

- l. 70MPa 機器材料の特性評価・安全検証・評価

液体水素中材料評価試験

平成 17 年度～平成 19 年度

- i. ステンレス鋼の液体水素中を含む極低温特性評価
- j. 極低温環境下における材料の変形挙動シミュレーション技術の確立と適用
- k. 宇宙関連材料強度特性データ整備委員会等の関連委員会との情報交換・相互協力

平成 20 年度～平成 21 年度

- m. 液体水素中材料評価試験結果のデータベース化
- o. 長期使用液体水素機器の劣化度調査

(ii) ①高圧水素タンク用ライナー材の研究開発（金属学的解析及びまとめ）（新日鐵住金ステンレス株

式会社（新日本製鐵株式會社と共同実施）

①「高圧水素タンク用ライナー材の研究開発」の項目1.「70MPa 機器材料の特性評価・安全検証・評価」における、ステンレス系基準化候補材(SUS316L 等)について、得られた知見の妥当性の裏付け、あるいは、基準化の技術的根拠を与えるための金属学的基盤研究（金属学的解析）を実施し、基準化候補材を 70MPa 機器材料として使用する際の金属学的影響因子（組成や組織範囲）を明確化する。

(iii) ②高圧水素配管材料の研究開発（住友金属工業株式会社）

平成17～19年度はa、b、cの内容に取組み、平成20～21年度はdの内容に取組む。

a. 高圧水素ガス環境下で使用される材料の基礎特性である水素脆化特性の試験・評価技術を確立し、材料選定と安全性評価のための基礎データを蓄積する。さらに、水素侵入・脆化機構の調査のための試験方法を確立し、水素脆化機構とその防止技術に対する検討を行う。最大 90MPa 級の水素ガス環境下における低ひずみ速度引張（SSRT）試験技術を確立し、各種材料の機械的特性に関するデータを蓄積する。また、実機器の使用状態に近い応力負荷条件下での水素透過量を測定しうる試験装置を導入し、水素侵入に及ぼす環境・材料因子の影響を評価する。

b. 配管などの機器の安全上の重要課題である水素ガス圧変動による疲労強度に着目し、鋼管の内外圧疲労試験技術を確立する。最大 90MPa 級の水素圧力下で各種材料の疲労特性を評価する。この際、実機器での使用条件を考慮し、以下の因子について検討を行い、配管の安全設計に必要な知見を得る。

溶接による寿命低下率（母材、溶接継手の比較）、試験温度の影響（室温、 $-40^{\circ}\text{C}$ の比較）、

リサイクルタイムの影響（長周期データの取得）、初期欠陥寸法などの影響、

材料の強化手法（冷間加工、合金添加）と疲労強度の関係

c. 燃料電池自動車の航続距離延長のために、車載タンクや水素スタンドの高圧化が検討され、これに対応した高強度鋼が使用される可能性が高い。高圧化時の安全性を確保するため、材料の高強度化手法が水素脆化特性、脆化機構に及ぼす影響を評価し、水素脆化の生じない高強度鋼を選定する。さらに、高強度鋼を実機器に適用する際の課題を明らかにするため、溶接継手の評価や実製造工程での試作材の評価を行う。

高強度鋼管材料として、種々の強化手法（固溶強化、加工硬化、析出強化）を取り入れたステンレス鋼を試験溶解で試作し、強度、水素脆化特性、疲労特性などの基礎特性を評価する。あわせて、高強度化手法に適した溶接施工技術の検討を行う。最終的には経済性、製造性も考慮して最適な鋼管材料を提案する。提案した材料を実製造規模で試作し、製造性を確認するとともに、実機器で使用するために必要な各種の基礎データを取得する。

d. 平成 20～21 年度は、低ひずみ速度引張（SSRT）試験機、内圧外圧疲労試験機（パイプ状試験片に圧力変動を負荷）など H19 年度までに導入した試験機を活用して研究開発を継続し、主にパイプ用材料（配管、容器・蓄圧器の素管など）を対象に、70MPa 機器用材料の基準化と水素機器用材料拡大に必要な安全検証・裏付けデータを採取・評価する。

(iv) ③高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発（愛知製鋼株式会社）

平成 17～19 年度は下記の a、b、c の内容に取り組み、平成 20～21 年度は d の内容に取り組み。平成 21 年度は e の内容にも取り組む。

#### a. バルブ・継手用材料の評価

バルブ・継手用材料として期待されるステンレス鋼、銅合金などの高圧水素環境における強度特性を評価し、大気環境における強度特性と比較することにより、使用可能な材料の選定を進める。また、それらステンレス鋼、銅合金などの水素吸収特性も評価する。また、高圧水素環境における強度特性に及ぼす表面加工層の影響も評価する。さらに、実部品に準じた評価実施を検討する。また、実際に水素環境下で使用された容器・バルブ類の等を解体調査し、水素環境下で使用された際に発生する材質特性の変化を調査する。なお、実証試験等で使用した材料では、WE-NET 高松水素ステーション解体調査から得た試料を活用し材料評価を実施する。

#### b. 水素吸収材料の基礎物性の評価

バルブ・継手用材料として期待され、かつ、高圧水素環境において水素吸収の大きいステンレス鋼について、高圧水素環境暴露により水素吸収したステンレス鋼の強度特性や疲労特性などを評価し、機械的性質に及ぼす水素吸収の影響を明らかにする。また、バルブ・継手用材料として期待されるステンレス鋼 SUS316L については、化学成分、特に Ni, Cr 濃度を变化させた場合の機械的性質に及ぼす水素吸収の影響を明らかにする。

#### c. 材料の水素吸収特性の評価

各種材料（ステンレス鋼、アルミニウム合金、銅合金など）の高圧水素環境下における水素吸収特性を評価する。また、各種条件下（暴露圧力、暴露温度など）での水素吸収特性を評価するとともに、特に水素吸収が大きいステンレス鋼に関しては、水素吸収挙動に対する理論的な解析も実施する。

#### d. 高圧水素ガス用金属材料 SUS316L の研究開発

SUS316L の基準化に向け、高圧水素環境下の機械的性質に及ぼす不純物元素の影響を把握するとともに、得られた結果に対して種々な解析を実施し、SUS316L を 70MPa 水素雰囲気下で使用する場合の有効性・妥当性を評価する。

#### e. 水素ステーション等の解体調査

長期間使用された水素ステーション、液体水素ローリー等を解体し、水素環境下で使用された各種バルブ類の水素による材料劣化の有無を調査し、各使用材料の妥当性を検証する。

#### (v) ⑤水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発（高圧ガス保安協会）

平成 17 年度～19 年度は、例示基準に示された FRP（Fiber Reinforced Plastics）の安全率の根拠を検討し、見直しを行うために、既に導入した疲労試験機及びストレスラプチャー試験機により、縦弾性率 230GPa 及び縦弾性率 295GPa 級炭素繊維の物性データを取得する。また、モデル容器による損傷き裂進展試験を行う。さらに、マトリックス材、シール材等の水素暴露、高温暴露、及び不活性ガス暴露試験等を行い、その後引張試験を実施することにより、水素の影響について評価する。データ信頼性維持のため、試験装置の保守・改造修理を行う。また、自動車業界から高温（85℃以上）における CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）の機械的特性データ取得の要望（水素の急速充てんに伴う上限温度の決定）があること、また、85℃において CFRP の引張強度、ストレスラプチャー特性が低下する傾向が見られていることから、高温（85℃以上）における CFRP の疲労特性データを取得する必要がある、データ取得のためには現状の疲労試験機等の試験機改造が必要不可欠である。更に、マトリックス材の劣化の原因について調査するため、マトリックス材について 85℃での大気中

暴露試験および常温常圧水素暴露試験を実施する。

平成20年度～平成21年度は、既に導入した疲労試験機及びストレスラプチャー試験機により、縦弾性率230GPa及び縦弾性率295GPa級炭素繊維の物性データを引続き取得し、得られたデータを評価した後、FRP複合構造製圧力容器の技術基準検討機関に提供する。

(b) 材料物性共通基盤技術に関する研究計画

(i) ⑥水素用材料物性調査およびデータベース化

(財団法人金属系材料研究開発センター JRCM)

高圧水素ガス環境や液体水素温度を含む極低温環境等、各種水素環境下で使われる水素用材料基礎物性に関する調査および新規取得データのデータベース化を行う。

(ii) ⑦水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価

(独立行政法人 産業技術総合研究所 (JRCMより再委託))

平成17～19年度は、35MPa並びに70MPa級高圧水素貯蔵に用いられる材料の水素による安全を確保するために、高圧水素ガス中における材料挙動を評価する試験装置を開発すると共に、それを用いた水素用材料の基礎物性を評価することによって、材料選定、材料開発並びに材料利用に関する材料物性共通基盤技術の確立を図る。

平成20～21年度は、70MPa機器材料の基準化に必要な高圧水素ガス中での材料基礎物性を評価し、水素脆化の要因解析を重点的に実施する。

(iii) ⑧極低温ガス環境下での材料特性に関する研究

(独立行政法人 物質・材料研究機構 (JRCMより再委託))

平成17～19年度は、これまでの研究で、20K付近での構造材料の引張特性の極大、延性の極小を明らかにしたが、実使用環境でのより詳細な特性把握が求められている。このため、77K以下の極低温領域を主に、4～77Kまでの任意の温度に制御したガス中での候補材の引張特性を取得する。また各材料の各温度において、塑性変形量とマルテンサイト変態量の関係を明らかにする。さらに、小型破壊靱性試験片による破壊靱性評価を対象材料について実施する。これらの極低温域の機械的特性を取得することを通じ、冷媒中とガス中との変形挙動の差異や低温脆性に関し知的基盤を築く。

平成20～21年度では、H19年度までに開発した簡便な水素脆性感受性の評価法を活用し、70MPa機器の基準化に必要な研究開発を重点的に実施する。特に、候補材料であるSUS316Lやアルミニウム合金A6061について、70MPa高圧水素環境下の引張試験及び疲労試験を行い、引張特性や疲労特性における温度の影響の検証とデータの信頼性の向上を図る。

(iv) ⑨水素用材料の疲労・トライボロジー特性研究 (九州大学 (JRCMより再委託))

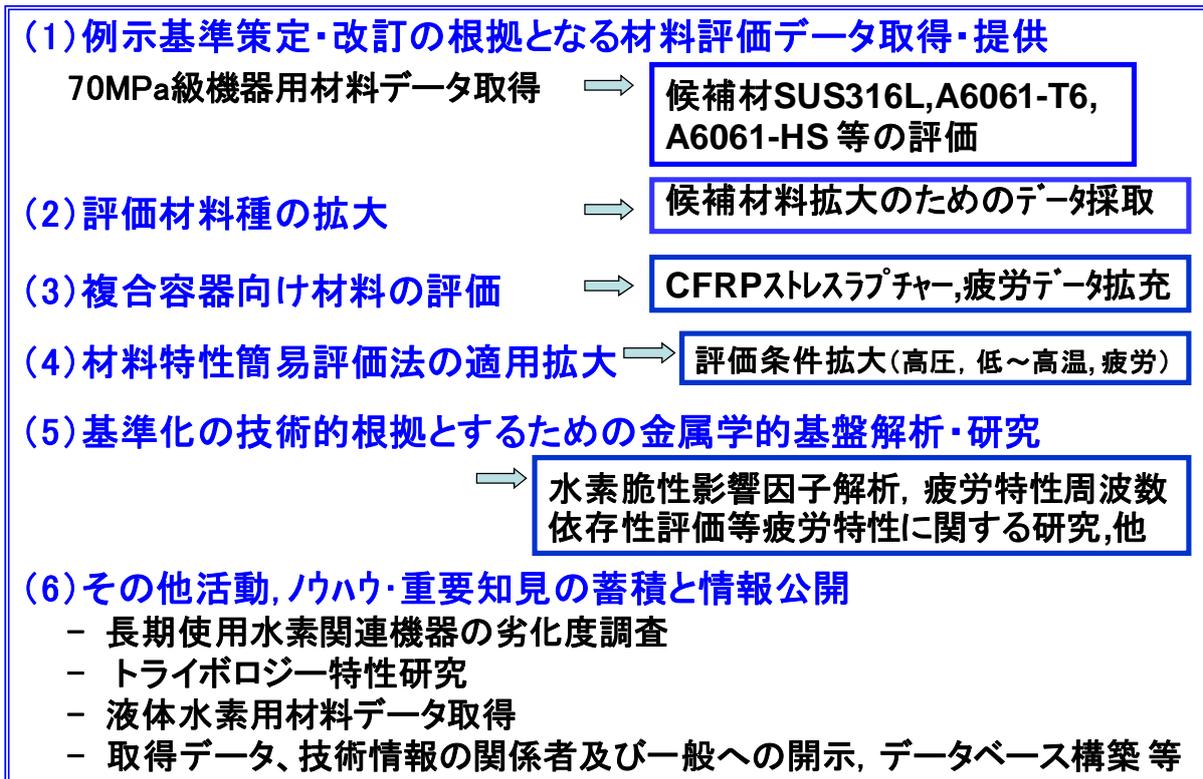
高圧水素用バルブ、レギュレータ、コンプレッサーに使用される材料(ステンレス鋼、ばね鋼、軸受鋼など)の超長寿命疲労特性における、材料中の水素、繰返し応力、繰返し数、破損時間の影響とその法則を掴む。100MPa級までの高圧水素ガス雰囲気下での材料試験機を導入し稼働させる。得られた結果を、国内外の学会や委員会で報告、議論するとともに、製品の強度設計基準や関連法律の規

制緩和等の根拠データとして提示する。

また、10MPa 級水素雰囲気（その場観察）疲労試験機を設置し、事前に 10MPa 級水素雰囲気での金属の疲労メカニズムを把握し、100MPa 級水素雰囲気疲労データの解析をより早く正確に行う。バルブ内可動部品の水素環境での疲労強度を評価する。このデータを、バルブ等の定期点検期間延長などの判断資料として役立てる。

一方、数 10MPa 水素雰囲気中のき裂伝播観察・確認を狙い、10MPa 水素雰囲気中の微小き裂伝播観察装置を導入し、水素停留近傍の疲労き裂伝播状況の確認を可能とする。

以上の研究実施項目・内容をまとめると、以下のようになる。



### 2. 1. 3. 3 水素用アルミ材料の基礎研究

(実施体制：(社) 日本アルミニウム協会、住友軽金属工業 (株)、三菱アルミニウム (株)、古河スカイ (株)、日本軽金属 (株)、(株) 神戸製鋼所、昭和電工 (株))

本研究開発は、「水素社会構築共通基盤整備事業」として、「水素用アルミ材料の基礎研究」を行うこととし、以下の研究開発項目を実施する。

平成 15、16 年度は、高圧水素容器ライナー用アルミニウム合金の水素脆化に対する安全性の評価と材料選定のスクリーニング試験法として、水素実環境を模擬できる安全かつ簡便な水蒸気分圧制御環境下 SSRT (低ひずみ速度引張) 試験法を開発すると共に、本試験法により多くの水素脆化感受性評価データを取得した。

平成 17 年度以降は、高圧水素ガス実環境下での SSRT 試験データとの相関をとり、代替評価法としての有用性を実証すると共に、本試験による脆化感受性データと水素の透過・集積挙動との関係を調査し、基礎的な裏付けを行ったうえで、標準化案を国内外標準に提案するためのデータを取得整備する。

水素脆化は元来、材料のマイクロ組織、環境、応力条件に依存する水素の局所化挙動であるため、第二相粒子や介在物の分布状態、結晶粒径などの金属組織要因並びに表面欠陥を想定した切欠き底での応力集中や変形、繰返し応力の力学要因の役割を明らかにすることが重要である。燃料電池用高圧水素ガス容器のアルミニウム製ライナー材として有望な 6061 系合金のほか、合金選択の拡大を目指して 7075、7475 合金など高強度 7000 系アルミ合金および成形加工性・溶接性などに優れた 5000 系合金について、水素脆化感受性に及ぼす上記の要因に関するデータをできるだけ多く取得し、例示基準対応データの取得と安全性確保に資するデータベースの構築を行う。

さらに、ライナー材成形加工時の結晶粒粗大化制御に資するため、結晶粒度に及ぼす加工度と温度に関するデータを取得し、容器加工メーカーへの加工指針となるデータの提供を目的に研究を推進する。加えて平成 19 年度では、関連業界からの要請に応えるために実施期間を 1 年延長することとし、高圧縮水素容器ライナー材の高強度化ならびに部品材料に使用可能な材料選定範囲の拡大を目的に、自動車工業会及び容器メーカーから要請のあった 7175、7N01、7003、7050 及び高強度 6000 系合金等について新たに水素脆性特性データを取得する。平成 20 年度では、70M Pa 水素ガス環境に対応するアルミ材料の強度信頼性確保と適用拡大を目指して、供用時に想定される環境温度の変化要因の影響を調査する。すなわち、基本合金 6061 および高強度化 6000 系合金を主たる供試材とし、水蒸気分圧と温度を組み合わせた湿潤空気環境において SSRT 試験および疲労寿命・疲労き裂進展試験を実施し、水素脆化感受性および疲労特性に及ぼす温度の影響を明らかにする。さらに、高圧水素ガス実環境下での SSRT 引張試験・疲労特性試験を外部試験機関に委託実施し、それらの特性評価・解析を行い、水蒸気分圧下の試験結果との相関性を把握し、強度信頼性を保証する技術基準の確立に資するデータを取得する。

具体的な研究課題およびその実施担当は下記の通りである。

- ①水素用アルミニウム材料の試験結果の評価とデータベース化及び研究開発の展開方針の検討と関連業界団体等との連携 (日本アルミニウム協会)

- ②6000 系アルミニウム合金の水素脆化に及ぼす結晶粒微細化添加元素の影響調査研究ならびに高強度 6000 系合金の疲労特性調査研究（アルミニウム協会：千葉工業大学への再委託）
- ③水素脆化および水素移動経路に及ぼす板厚、合金組成、加工、熱処理条件の影響調査研究ならびに材料中の水素挙動調査研究（日本アルミニウム協会：茨城大学との共同実施）
- ④SSRT試験による水蒸気分圧制御環境下及び高圧水素ガス環境下における水素脆化感受性の評価ならびに水素脆化評価簡便試験法の標準化研究ならびに疲労き裂進展特性評価研究（日本アルミニウム協会：山口大学との共同実施）
- ⑤拡散シミュレーションによる多相組織中の水素拡散に及ぼす組織因子の明確化（日本アルミニウム協会：京都大学との共同実施）
- ⑥水素導入環境での疲労特性評価および水素吸放出特性のミクロ的解析（日本アルミニウム協会：大阪大学との共同実施）
- ⑦6061 系アルミニウム合金押出材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度試験材の引裂き試験による靱性の評価（住友軽金属工業㈱）
- ⑧水素脆化に及ぼす 6000 系アルミニウム合金押出材の成分、不純物および組織の影響に関する研究（三菱アルミニウム㈱）
- ⑨水蒸気分圧制御環境と高圧水素ガス環境の相関についての基礎調査ならびに各種アルミニウム合金の水蒸気分圧制御環境下での試験（古河スカイ㈱）
- ⑩6000 系および 7000 系アルミニウム合金圧延材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度 6000 系合金試験材の作製と基本特性調査（日本軽金属㈱）
- ⑪高圧水素ガス環境下での高強度 7000 系アルミニウム合金の基礎物性と評価法に関する研究ならびに高強度 7000 系合金試験材の作製と基本特性調査（㈱神戸製鋼所）
- ⑫各種アルミニウム合金の FSW（Friction Stir Welding：摩擦攪拌溶接）接合接ぎ手の作製および接合部の水素の影響に関する研究（昭和電工㈱）

平成16年度に引き続き、アルミニウム材料の加工形態（圧延、押出し、溶接）、合金種（6000系、7000系合金）、合金成分・不純物量（許容範囲内外）、微量添加元素、結晶粒径、調質条件（熱処理条件）、材料厚さおよび表面欠陥（切欠き）が水素脆化感受性に及ぼす影響を調査する。また、高圧水素ガス容器ライナー加工時の結晶粒粗大化を抑制するための指針となるデータ取得も図る。

評価試験方法としては、これまでに考案した高圧水素ガス環境を模擬した“水蒸気分圧制御環境下 SSRT（低ひずみ速度引張）試験”、“水蒸気分圧制御環境下疲労試験”を主体とする。併せて“陰極電解 SSRT 試験”も実施する。また、新たに“水蒸気分圧制御環境下繰返し(サイクル)負荷におけるき裂進展抵抗評価”を追加し、変動負荷環境における水素脆化評価法の確立に繋げる。これらの試験法は、アルミニウム材料の水素脆化感受性をスクリーニングする安全な簡便評価法あるいは迅速評価法として期待できるものであり、標準化案の作成・提案を目指してその有用性を実証するため、高圧水素ガス実機データとの相関を求める。また、理論的なデータとして材料中の水素の移動経路をより詳しく解明するため、“水素マイクロプリント法”によって、水素

が放出されるサイトを金属組織と対応付けて観察する。

以下の表に示すとおり、企業側の連名契約先が分担して共通試験材の作製とその機械的特性、組織観察等の基本データをまとめ試験に供する。また、主に大学側が水素脆化感受性の評価試験及び水素の侵入・移動経路の解析を担う研究体制で実施する。これは、試験後の的確な評価を可能とするため、試験材の履歴を明らかにしておき、同じ試験条件のもとでの効率的且つ系統的なデータの取得整理を目指したものである。

また 19 年度では、材料選定範囲の拡大を目的に各種高強度アルミニウム合金の水素脆化特性データ（疲労特性、疲労き裂進展特性、靱性評価、水素進入量と水素脆化の関係等）を新たに取得し、安全設計に資するものとする。平成 20,21 年度では、水素拡散挙動の理論解析およびモデル化をさらに進めると同時に、簡易試験法（水蒸気分圧と温度の組合せ湿潤大気）で S S R T 試験および疲労特性評価試験を実施し、実際の供用環境に対応したアルミ材料の水素脆化および疲労特性の把握を行い、強度信頼性の確保に必要なデータを取得・評価する。

表 II 2.1.3.3-1 各種アルミニウム合金試験材の作製及び組織と機械的特性の調査分担

	試験材	加工形態	材料パラメータ	担当
平成 17 年度	6000 系合金	押出	合金組成(Mg/Si)、不純物量、微量添加元素等	三菱アルミ
		圧延	結晶粒径、微量添加元素等	日本軽金属
			合金組成(高 Mg・Si、Cu 増減)、結晶粒径、板厚等	古河スカイ
		素材	微量添加元素、熱処理等	日本アルミニウム協会／千葉工業大学
	7000 系合金	押出・圧延	7050 合金・7N01 合金標準材、熱処理等	神戸製鋼所
		接合継ぎ手	—	昭和電工
5000 系合金	接合継ぎ手	—	昭和電工	
18 年度	6000 系合金	押出	合金組成、温度・加工度等	住友軽金属
	7000 系合金	押出・圧延	合金組成、結晶粒径等	神戸製鋼所
		圧延	結晶粒径、微量添加元素等	日本軽金属
			合金組成(Zn,Cu,Mn)、結晶粒径等	古河スカイ
19 年度	高強度 6000 系合金	圧延	6066-T6 合金等高強度 6000 系合金の板厚 1mm 材および 5mm 材	日本軽金属
	7000 系合金	圧延	7175,-T736,7075-T736, 7N01-T5,T6,T7, 7003-T5,T6,T7 合金の板厚 1mm 材および 5mm 材 (7N01 および 7003 合金については、中心組成および上限組成)	神戸製鋼所

表Ⅱ2.1.3.3-2 試験項目と試験実施分担（平成17年度～平成19年度）

試験項目		試験実施担当
SSRT 引張試験	(1)水蒸気分圧制御下 SSRT [板厚 1mm] [平滑・表面欠陥(切欠き)]  (社)日本自動車工業会要請材料)	日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施  日本アルミニウム協会／千葉工業大学（再委託） 古河スカイ(株) (日本軽金属、三菱アルミニウム、神戸製鋼所、昭和電工)
	(2)水蒸気分圧制御下 SSRT [板厚：5mm]	日本アルミニウム協会／茨城大学との共同実施 (三菱アルミニウム)
	(2)陰極電解水素チャージ下 SSRT	神戸製鋼所
	(3)高圧水素ガス下 SSRT	日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施
疲労試験（水蒸気分圧制御下） ((社)日本自動車工業会要請材料)		古河スカイ 日本アルミニウム協会／千葉工業大学（再委託） (日本軽金属、三菱アルミニウム、神戸製鋼所)
き裂進展抵抗評価試験 サイクル負荷によるき裂進展特性評価試験		日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施
引裂き試験による靱性の評価 [板厚 5mm]		住友軽金属
水素の移動経路の解析 水素の侵入量の分析評価		日本アルミニウム協会／茨城大学との共同実施
容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制試験		住友軽金属（押出材） 日本軽金属（圧延材） 日本アルミニウム協会／千葉工業大学（押出素材）

備考：試験実施担当欄の（ ）内の企業は、一部現地試験に従事するか、或いは自社作製の共通試験材の基本データと対比して試験後の破面観察や評価試験結果の解析・評価を行う。

表 II 2.1.3.3-3 試験項目と試験実施分担（平成 20 年度～平成 21 年度）

試験項目	試験実施担当
SSRT 試験による水素脆化感受性評価 (水蒸気分圧と温度制御下)	日本アルミニウム協会／山口大学・茨城大学との共同実施 古河スカイ (株) (日本軽金属 (株))
疲労試験 (水蒸気分圧制御下)	日本アルミニウム協会／千葉工業大学 (再委託) 古河スカイ (株) (日本軽金属 (株))
疲労き裂進展特性評価 (水蒸気分圧と温度制御下)	日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施 (日本軽金属 (株))
引裂試験による靱性評価	住友軽金属工業 (株)
水素拡散挙動の理論解析	日本アルミニウム協会／京都大学との共同実施
疲労き裂進展速度と局所的水素濃度の解析	日本アルミニウム協会／大阪大学との共同実施
水素侵入量の分析評価	日本アルミニウム協会／茨城大学との共同実施
高圧水素容器ライナー材料の基本特性評価《引張試験, 水素分析, 切欠特性, 耐食性試験, SSRT 試験 (一部共通試料のスクリーニング評価), 結晶粒組織観察》	日本軽金属 (株), (株) 神戸製鋼所, 住友軽金属工業 (株), 古河スカイ (株) 三菱アルミニウム (株)

## 2. 1. 3. 4 水素基礎物性の研究 ((財)エネルギー総合工学研究所、三菱重工業(株))

本研究開発では、国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、それらの検討に資するデータの取得と評価・予測技術の精度向上のために「水素基礎物性の研究」として下記

(1) および (2) の研究を実施する。

### (1) 水素の拡散・燃焼挙動の研究 ((財)エネルギー総合工学研究所)

トンネル、建屋内を模擬した半閉鎖空間において基本的な条件で水素爆燃実験を実施し、安全に係わる基礎的なデータを取得する。これら爆発実験で得られるデータは三菱重工業(株)において、シミュレーションコードのチューニング、精度向上に使われる。被害低減方法の探索、着火メカニズムの検討、安全基礎データの調査も実施する。

#### ① 円筒状半閉鎖空間での水素の拡散・燃焼挙動の研究

自由空間に比べて閉鎖された空間では、水素の拡散・燃焼挙動が異なり、発生する爆風圧が大きくなる可能性がある。そこで、鋼鉄製の大規模ダクト(2.4mΦ×78m)を使用して、トンネル内を模擬した水素燃焼実験を実施し、水素濃度、水素放出量、換気速度等が水素拡散や爆燃に及ぼす影響を把握する。ポリエチレンシートを用いてトンネル中央に一定濃度の水素空気混合気を閉じ込め、電気スパークで着火する場合と、ポリエチレンシートは用いず、トンネル中央設置したノズルから水素を放出し着火する2種類の実験を行う。

#### ② 建屋内での水素の拡散・燃焼挙動の研究

ダクトによって給排気される半閉鎖空間(高さ2.7m×幅3.6m×奥行き6.1m)における水素の拡散、および燃焼の挙動を実験により把握する。また、拡散と爆燃の挙動を実物大の車庫内を模擬した実験で把握する。障害物存在、水素濃度、水素放出速度等の影響を検討する。

#### ③ 着火メカニズムの解明

水素が大気中に高速で噴出するときに自然着火する場合がある。水素安全利用等基盤技術開発にて本研究所が行なった水素放出実験でも自然着火が観測された。原因の検討が行なわれ、可能性のある着火源は挙げられたが、定量的な評価はされていない。そこで、主として文献や専門家への聞き取り調査にて着火源の検討を行い、着火条件について考察を行う。

#### ④ 水素有効利用ガイドブックの作成

技術開発および国際標準への提案に関する研究活動への安全技術情報の提供、および水素取り扱い者の安全確保に資することを目的に、「水素の有効利用ガイドブック」を取りまとめ、水素関連技術研究機関へ提供する。主たる収録内容は、水素の基礎物性と水素取り扱い設備に関する技術とし、詳細は、学識経験者や業界団体からなるガイドブック収録内容検討委員会から助言を受け、編集作業はWGおよび幹事会を設置して行う。

本水素基礎物性の研究で得られた成果も水素有効利用ガイドブックに整理・編集されるが、この「水素有効利用ガイドブック」は、水素社会構築共通基盤整備事業の事業成果の一般社会への窓口としての役割をもち、水素エネルギーの円滑な普及の実現、水素の安全な取り扱い指針の提供に資することが可能である。

#### ⑤ 水素拡散・燃焼挙動実験データの整理

平成 19 年度は、水素の拡散・爆発現象に関して、平成 18 年度までに実施した実験、及びその解析結果をまとめる。これらの成果は「水素の有効利用ガイドブック」に整理・編集され、水素エネルギーの導入普及に貢献する。

### (2) 水素基礎物性の取得と予測研究」(三菱重工業(株))

閉鎖/半閉鎖空間での水素の拡散挙動に関する基礎データを把握し、拡散解析の予測精度を向上させ、規制再点検作成の為にデータ収集に資する。また、閉鎖/半閉鎖空間での爆風圧等を高精度で予測するために、エネルギー総合工学研究所にて実施する爆発実験のデータを用いて、解析モデルの精度向上を図る。これらの水素基礎物性に関するデータは、規制見直し用検討及び水素設備設計時のリスク評価にも適用されるものとする。

#### ① トンネル換気模擬ガス模型実験

トンネル内で水素ガスが漏えいした際に、すばやく換気するか、拡散を促進させ理想的には可燃下限濃度まで下げる必要がある。そのため、漏えい量やトンネル換気条件の違い、さらにはトンネル内風速(交通量)の違いがトンネル内水素ガス拡散にどのような影響を与えるかを、模擬ガスを用いた模型実験により把握し、水素ガス漏えい時の換気制御の有効性を含めた換気方法のあり方及び対策等の換気基準検討に資する基礎データを取得する。実験用のガスや濃度・気流測定用器具・材料一式等を購入し、実験のデータ測定等の作業は「風洞実験外注」にて実施する。平成 17 年度は、模型実験用のトンネル模型を製作し、漏えい量・換気量等のパラメータを変化させた実験を実施する。なお、取得した実験データは、換気基準検討に用いるだけでなく、トンネル内の爆燃現象予測を CFD (数値流体力学) で行う際の基礎データとしても使用する。

#### ② 閉鎖/半閉鎖空間における換気の検討

閉鎖/半閉鎖空間における換気基準検討のため、数値シミュレーション及び模擬ガス模型実験を実施する。これまでの検討は主に開放空間での拡散挙動を対象としていたので、平成 17 年度以降は、蓄圧器室のような半閉鎖空間や、圧縮機室のような閉鎖空間で水素ガスが漏えいした場合の拡散挙動・換気状況を把握するための検討を行う。

#### ③ 爆燃・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上

爆燃コードの汎用性を高めるため、平成 16 年度に実施された実験データ及びエネルギー総合工学研究所で実施するトンネルを模擬した体系、及び車庫内を模擬した体系での水素爆発実験によるコード(AutoReaGas)検証を実施する。このコードの最も大きな特徴は、数 m～数 10m の実規模における爆発、圧力波の伝播が計算可能であることにある。また、遠隔地の圧力伝播を計算する為のプログラムとリンクすることができる。また、障害物が複雑に存在する場(即ち燃焼速度が流れの状態に強く依存する場)の爆燃は、特に良くシミュレートできるので、実験データによる検証を重ねることで、水素スタンド、定置システム、その他水素取り扱い施設周辺での漏えい水素の爆燃挙動を高精度で予測できるようになる。

また、爆燃計算に先立って、水素ガスの拡散濃度の設定が必要となるため、トンネル

内や車庫/蓄圧器室内等を対象として別途実施される野外実験及び模型実験結果を用いて、拡散計算コード(CHAMPAGNE 等)の検証も行い、拡散/爆燃計算を通じた予測精度を確認し、規制見直しのためのツールとして整備する。なお、乱流火炎計算部分については、九州大学に一部再委託し、火炎特性把握のための実験及び検討を実施する。

#### ④ 液体水素蒸発モデルの検討

水素漏えいの形態として、液体状態で漏えいし蒸発した水素ガスの拡散がある。この挙動を予測するためには蒸発量を正確に把握する必要があり、種々の漏えいに適用するには、蒸発に関する数値モデル(蒸発モデル)の開発が不可欠である。そこで、平成 16 年度は、ピンホール漏えいを対象に、液体水素の蒸発拡散過程を可視化することで、現象の定性的な把握を行った。一方で、三菱重工業(株)田代試験場で実施された液体水素に関する野外実験データなどの蓄積もある。そこで、これらの既存の実験データを基に、数値シミュレーションを併用しながら、特にピンホール漏えいを対象とした蒸発モデルの構築を図る。まず、平成 17 年度には、平成 16 年度に得た知見を基に、蒸発モデル開発のための課題整理とその課題解決のための具体的な方法や今後の調査計画を取り纏める。平成 18 年度は、既存の実験データの液滴挙動の詳細分析を追加実施する。また、その一部を「蒸発モデル構築のための検討」として東北大へ再委託し、蒸発モデル構築に必要な検討・解析を実施する。

#### ⑤ 水素基礎物性に関わる実験データ・解析結果の整理

平成 19 年度は、液体水素蒸発挙動、及び水素の拡散・爆発現象に関して、平成 18 年度までに実施した実験、数値シミュレーション結果、及びその手法をまとめる。さらに、現状での数値シミュレーションの限界及び課題、今後必要とされる検討項目をまとめる。

本事業において取得する実験データならびに開発するシミュレーション技術は、規制見直しにおいてベースデータ、基礎技術として適用される。さらに、これら成果は上述の「水素有効利用ガイドブック」に整理・編集され、水素エネルギーの導入普及に役割を果たしてゆく。本項目実施の必要性はこの点に準拠している。

## 2. 1. 3. 5 水素安全利用技術の基礎研究 ((独)産業技術総合研究所)

本研究開発は、水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化に資するデータ取得と評価を目的として、下記 (1) ~ (5) の研究開発を実施する。

### (1) 高圧水素ガスの漏洩時の着火性に関する研究

(実施担当：(独)産業技術総合研究所 爆発安全研究コア、  
再委託 青山学院大学理工学部機械創造工学科)

燃料電池自動車用高圧水素供給スタンドにおいて高圧水素ガスが漏洩した際に着火するのを防止することは安全確保の上で重要である。

水素の大気中の爆発下限界は 4%とされている。しかし、噴出漏洩水素のように流動ガスの場合は 4%を超えた濃度でも着火の可能性は低いと予想されるものの、そのようなデータは求められていない。そこで水素濃度分布のデータをもとに、混合ガスの流動（流速、乱れ）による影響を考慮して噴出水素の気流中及びその周囲の着火性に関するデータを構築する。平成 19 年度までには、放出口から水素が噴出漏洩した場合の水素の拡散濃度分布及び噴流特性をシミュレーションにより再現が可能な手法を確立し、着火性に関する実験データとの統合により噴流中の着火の範囲を推定するためのツールを確立する。これらの結果は、流動状態を考慮することにより爆発下限界がより高濃度になり、その着火危険性範囲が狭くなることを示すもので、水素ステーションのコンパクト化のための火気離隔距離の見直しに役立つものである。したがって、規制見直し提案のスケジュールに合わせて早期に成果が求められている。

また、高圧水素ガスが大気中に噴出した際に自然着火する現象が知られているが、世界的にこの現象を実験的、理論的に解明した例はなく、これらの解明を行う。実際に運用されている水素ステーションにおいても水素放出配管等での自然着火が確認されており、危険性は認められないものの、社会的受容性を向上するためにその対策は不可欠である。本研究では、水素噴出時の自然発火現象を解明することによって、平成 19 年度までに理論的に水素放出時に自然着火の起こりにくい配管放出口形状の提案を行うことを目標とする。

### (2) 水素ガス漏洩時における静電気着火に関する研究

(実施担当：(独)産業技術総合研究所 爆発安全研究コア、  
再委託 東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻)

高圧水素ガスが漏洩噴出すると静電気が起こりやすい。特に水素が高圧で噴出して周囲の埃等の微粉や水滴を巻き込むことによる静電気帯電の影響について、高速かつマイクロに精度良く観測できる測定手法を確立する。また、その手法を用いて高圧水素の漏洩噴出に伴う静電気の発生及び帯電を時間的および空間的に解析して現象の把握を行い、静電気安全のための要素技術について検討を行う。平成 19 年度までには、圧力 40MPa までの高圧水素の噴出や水素配管系混入物の流動に伴う静電気に関するデータの収集を行い、着火特性との関連性を明らかにするとともに、a. と同様に水素ステーションにおいて水素放出配管等で水素放出時に静電気着火の起こりにくい配管放出口形状の提案を行う。

### (3) 水素燃焼火炎特性に関する研究

(実施担当：産業技術総合研究所 爆発安全研究コア、  
再委託 横浜国立大学大学院工学研究院機能の創世部門)

高圧水素ガスが漏洩噴出した際に、水素の噴出圧力がある範囲において火炎が消炎することが観察されている。漏洩水素が着火して燃焼しているときに、急に火炎が消えて水素ガスがそのまま放出される可能性があり、再着火による爆発の可能性もある。逆に 40MPa を超える高圧であっても火炎の保炎ができず、噴出した混合気に着火できない領域が存在する可能性がある。高圧水素の噴流燃焼火炎の吹き消え現象に関するデータはほとんど存在しないため、現象の起こる条件を詳細に解析し、影響のある因子を明らかにし、火炎が保炎できない領域を明らかにすることにより、リスク評価の見直し、すなわち、火気離隔距離や保安距離の見直しに資するデータが得られる可能性がある。平成 19 年度までには、各種のサイズ及び形状の放出口から噴出する高圧水素の噴流火炎が吹き消えを起こす条件因子を明確化し、シミュレーションによる予測が可能となる計算手法を確立する。

また、高圧水素の噴流火炎に対する水噴霧などの火炎または輻射熱の抑制効果に関する基礎データの収集を行う。これらの成果は、万が一の事故の際の隣接家屋への被害軽減対策など防火設備の提案に資するデータを提供し、水素ステーションの社会的受容性向上のために役立つ。

### (4) 水素の着火による火炎伝搬と爆ごう転移に関する研究

(実施担当：産業技術総合研究所 爆発安全研究コア)

#### ① 開放空間における水素の着火と火炎伝播に関する研究

水素スタンドの高圧ガス設備等において貯蔵されている大量の水素が漏洩すると、周囲空気と混合されて可燃性混合気が形成され、着火、燃焼さらには爆発に至る可能性がある。このため、開放空間における水素の着火と火炎伝搬などの基礎的データを収集し、実規模における燃焼状況を予測する技術が必要である。本研究では、小規模の爆燃実験設備により、火炎伝搬計測手法の高度化、火炎伝搬に及ぼす着火エネルギーや着火源の数・種類の影響に関する基礎的なデータを収集し、水素ステーション等の設備の安全性評価を行う。

平成 19 年度までには、火炎伝搬の高精度測定技術を開発し、複数着火源や障害物近傍で着火された場合の火炎伝搬に関して高い精度で基礎的なデータを収集する。得られた実験データにより数値モデルの検証を行い、シミュレーションによる予測技術を確立する。

#### ② トンネル内で水素が燃焼から爆ごうへの転移を起こす着火条件に関する研究

金属製のデトネーションチューブを用いて、トンネル内での水素の漏洩を模擬した実験を行い、水素が燃焼から激しい爆発に転移(DDT)を起こす拡散状態と着火条件について検討する。また、スケール効果について検討し、実規模トンネルでの現象を予測するとともに、効果的な安全対策を提案する。

#### ③ 化学反応論に基づく水素の着火・燃焼制御に関する研究

(実施担当：産業技術総合研究所 爆発安全研究コア)

再委託 東京大学大学院工学系研究科 化学システム工学専攻)

水などの化学的に不活性な物質と水素を混合／化合した場合に着火・燃焼反応特性に与え

る効果について、化学反応の面から実験的及び理論的に解明すること、さらにその効果を利用して水素の着火・燃焼反応を制御(不活性化)することを目的に研究を行う。そのため、水素の燃焼反応や水添加に関連した化学種の実験的検出、解析を行い、反応速度定数等の詳細を明らかにするとともに、素反応モデルの構築を行い、計算による着火特性や燃焼・爆発特性の予測技術を確立する。さらに水および他の候補物質を水素に添加する具体的な方法として、水蒸気圧を制御する方法、液相でミスト状態にして噴霧する方法、混合ガスにする方法、および水素-水を主成分とする化合物(固相)を合成する方法を開発し、各々の状態あるいは併用した状態で着火・燃焼反応特性を評価することにより、水素の不活性化手法としての有効性を確認する。

平成 19 年度までに、水素燃料の安全制御方法の指針となる着火・燃焼反応を制御する手法の確立を目指し、水等の添加を含めた種々の条件における着火・燃焼限界およびデトネーション限界を測定、検討する。また、着火・燃焼反応を制御する機構の解明を目指し、着火・燃焼限界およびデトネーション限界の測定を中心に、予測モデルの検証、高精度化をおこなう。

## 2. 2 研究開発のスケジュール

### 2. 2. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」スケジュール

実施項目	平成17年度				平成18年度				平成19年度				平成20年度				平成21年度			
	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
①水素・燃料電池自動車の安全性評価																				
(ア) 自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価																				
a) 圧縮水素自動車燃料装置用容器例示基準の緩和検討		容器試験データ収集			試験方法の合理性検討				例示基準の合理化にデータ増し				データ補充、苛酷環境充填・消費試験				データ補充・シリーズ試験			
b) 圧縮水素自動車燃料装置用容器の安全性実証試験		開発容器の実証試験			開発容器の実証試験				開発容器の実証試験				開発容器の実証試験				開発容器の実証試験			
c) 水素容器搭載車両の安全性評価		人への熱被曝調査			パラメータスタディー				燃料系および車両システムでの安全性評価データ収集				データ補充				消火救助活動安全マニュアルの改訂			
(イ) 高密度水素貯蔵技術の安全性評価																				
a) 液化水素容器の安全性評価		充填時挙動などの基礎データ収集			容器単体安全試験データ収集															
b) その他の高密度貯蔵技術の安全性評価		安全試験データ収集																		
(ウ) インターフェイスの標準化																				
a) 高圧水素充填コネクタの安全性評価		高圧充填状況下のデータ収集			通信項目の調査								非通信充填・コネクタ安全性評価				非通信充填			
(エ) 要素部品の安全性評価																				
a) 附属品の安全性評価		単体作動試験			容器との組合せ作動試験				複合バルブの充填試験											
②燃料電池性能評価法の標準化																				
(ア) 燃料電池新規材料の評価試験方法																				
a) 新規MEAへの水素中不純物の影響評価		新規MEA材料の運転条件調査			MEA材料仕様の影響調査				MEA材料仕様の影響調査											
b) 参照極付きJARI標準セルの開発		参照極位置の影響調査			マニュアル作成				マニュアル作成											
(イ) 燃料電池耐久性評価試験方法																				
a) 不純物の影響評価		水素循環での発電評価装置の製作			水素循環系での不純物濃縮挙動調査				水素循環系での不純物濃縮挙動調査											
b) 水素用付臭剤の適用性		性能低下の加速因子の調査・解析			加速試験方法の検討				加速試験方法の検討											
(ウ) MEA耐久評価法																				
a) MEA発電性能の影響評価									評価試験条件の検討								MEA作製（触媒・膜材層を変更）			
b) MEAの劣化解析									単セル評価装置の製作								高電位保持試験・起動停止試験・負荷応答試験実施（FCG/案・USECC案・DOE案）			
(エ) スタック、システム、車両性能評価試験方法																				
a) 燃料電池自動車性能試験法の検討																				
・燃料電池自動車の燃費計測手法		誤差要因解析・機器開発			開発機器の効果検証（実機評価）				実機への適用性評価（FCV台上試験）											
・車両改造不要な燃費計測手法の開発		計測理論構築・機器開発			計測手法の精度検証				計測手法の高精度化											
b) 燃料電池システム、燃料電池スタック性能試験法の検討																				
・燃料電池システム性能試験法の検討		定常性能試験			定常性能・負荷追従性				実機への適用性評価（FCV台上試験）											
・燃料電池スタック性能試験法の検討		最高出力の判定方法の妥当性			効率・熱バランスなどの調査															
(オ) 燃料電池自動車用水素燃料仕様																				
a) MEA仕様の影響評価																				
b) 混合不純物の影響評価																	触媒担持量の影響評価			
																	混合不純物（CO、H <sub>2</sub> S、NH <sub>3</sub> ）の種類の影響			
																	混合不純物（CO、H <sub>2</sub> S、NH <sub>3</sub> ）の濃度の影響			
③基準・標準化活動																				
(ア) 国内での基準・標準化																				
(イ) 海外での基準・標準化																				

2. 2. 2 「定置用燃料電池システムに係る規制再点検および標準化のための研究開発」  
スケジュール

2. 2. 2. 1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

事業項目	平成 17 年度				平成 18 年度				平成 19 年度				平成 20 年度				平成 21 年度			
	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
① 定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応																				
①-1 安全性に係わる課題対応	データ収集方法検討・データ収集・試験方法																			
①-2 普及拡大に向けた検討	データ収集方法検討・データ収集・試験方法の検討																			
② 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応																				
②-1 固体酸化物形燃料電池に係わる基準・標準化対応	データ収集方法検討・データ収集・試験方法の検討																			
②-2 純水素駆動型燃料電池に係わる基準・標準化対応	データ収集方法検討・データ収集・試験方法の検討																			
②-3 定置用燃料電池の系統連系時の課題検討	他の分散電源における検討状況調査																			
③ 単独運転輸出技術の確立																				
	検出有効性のシミュレーション解析、複数台連系実証試験による検証																			
④ 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討																				
									安全要件及び設置基準等の調査・検討				データ収集方法検討・データ収集・試験方法の検討							
⑤ 国内の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進	国内外標準化動向の調査・国内外標準化の推進																			
⑥ 規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集	データ収集方法検討・データ収集																			

<平成 17 年度>

- ・ 固体高分子形燃料電池の安全性や普及拡大に係わるデータ収集を開始
- ・ 固体酸化物形燃料電池の安全性に係わるデータ収集を開始
- ・ 純水素駆動型燃料電池のシステム構成、既存の関連規格等の調査を実施
- ・ 定置用燃料電池以外の分散電源における系統連系時の課題検討状況調査を開始
- ・ 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進

- ・規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集

#### <平成 18 年度>

- ・固体高分子形燃料電池の安全性に係わるデータ収集を完了(普及拡大のためのデータ収集継続)
- ・固体酸化物形燃料電池の安全性に係わるデータ収集を完了(性能試験方法等に係わるデータ収集開始)
- ・純水素駆動形燃料電池の安全性に係わるデータ収集を完了(性能試験方法等に係わるデータ収集開始)
- ・定置用燃料電池以外の分散電源における系統連系時の課題検討状況調査を完了
- ・標準方式単独及び標準方式の組み合わせ時での検出有効性のシミュレーション解析
- ・国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進
- ・規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集

#### <平成 19 年度>

- ・固体高分子形燃料電池の普及拡大のためのデータ収集を完了  
(ただし屋外設置式寒冷地仕様機の試験法検討に係るデータ収集は延期)
- ・固体酸化物形燃料電池の性能試験方法等に係わるデータ収集を実施
- ・純水素駆動型燃料電池の性能試験方法等に係わるデータ収集を実施
- ・標準方式を組み込んだパワーコンディショナによる複数台連系実証試験を実施
- ・上記実証試験と連携した単独運転検出有効性のシミュレーション解析
- ・国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進
- ・規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集
- ・小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係る調査・検討

#### <平成 20 年度>

- ・集合住宅設置における安全要件及び設置基準の素案及びデータ収集方法の検討
- ・集合住宅設置における安全要件及び設置基準に係わるデータ収集の実施と、検討した素案及びデータ収集方法の妥当性検証の開始
- ・小規模定置用燃料電池の性能試験法標準化に係わるデータ収集を実施
- ・国内標準と国際標準との比較精査と国際標準へ提案すべき内容の抽出
- ・固体酸化物形燃料電池の国際標準整合化原案の作成を完了
- ・標準方式を組み込んだパワーコンディショナによる複数台連系実証試験を実施
- ・上記実証試験と連携した単独運転検出有効性のシミュレーション解析を実施  
負荷の非線形特性の影響検討を実施
- ・国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進

<平成 21 年度>

- ・ 集合住宅設置における安全要件及び設置基準に係わるデータ収集の実施と、検討した素案及びデータ収集方法の妥当性検証を完了
- ・ 小規模定置用燃料電池の性能試験法標準化に係わるデータ収集を完了
- ・ 固体酸化物形燃料電池の過圧防止装置省略における安全性に関するデータ収集を実施。
- ・ 複数台連系時の標準方式の単独運転検出技術の有効性検証を完了。
- ・ 国内標準と国際標準との比較精査と国際標準へ提案すべき内容の抽出を完了
- ・ 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進

2. 2. 2. 2 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

項目	平成21年度			
①メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法(排出特性)				→
②メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法(燃料不純物特性)				→

## 2. 2. 3 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」スケジュール

### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

	H17	H18	H19	H20	H21
①70MPa 充てん対応水素スタンドの安全性 検証	→				
・安全対策検討(PEC、JIMGA)					→
・蓄圧器材料の評価(日本製鋼所)					→
・水素の拡散/着火/爆発の挙動確認 (三菱重工業)					→
・機器の安全性評価					
ディスペンサー(タツノ・マトロクス)					→
配管/機器類(JIMGA)					→
圧縮機(35MPa)(日本製鋼所)			→		
ボンベ型蓄圧器 (住金機工、高圧昭和ボンベ)					→
実スタンドによる安全性検証 (出光、ENAA)					→
②液体水素スタンドの安全性検証 (PEC、JIMGA、三菱重工業)	→				
③水素スタンドに関わる消防法関係の規 制見直し検討(PEC)	→				
④圧縮水素運送用自動車用複合容器検討 (大陽日酸、JIMGA)	→				

(2) 水素用材料基礎物性の研究

研究実施項目	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度
(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供	→				
		↑ 99MPa試験機導入			
(2)複合容器向け材料の評価	→				
(3)材料特性簡易評価法の適用拡大		.....	→		
(4)基準化の技術的根拠とするための金属学的基盤解析・研究	→				
		← 高松水素stn解体調査		← LH2関連機器 解体調査	
(5)その他活動、ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開	→				
			↑ 70MPa級車載容器 基準改定支援		

水素有効利用ガイドブック  
材料関連記事執筆

	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度
<b>(a)材料の基礎物性に関する研究</b>					
① 高圧水素タンク用ライナー材の研究開発 (新日本製鐵(株)、新日鐵住金ステンレス(株)(新日本製鐵(株)と共同実施)	99MPa 級試験機導入		同左	評価実施	
	高圧水素ガス中材料評価試験				
				金属学的解析	
					水素ステーション等長期使用材料の劣化度調査
② 高圧水素配管材料の研究開発 (住友金属工業(株))	低ひずみ速度引張試験装置の導入と評価試験の実施				
	内外圧疲労試験機を用いた疲労特性データ取得				
					水素ステーション等長期使用材料の劣化度調査
③ 高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発 (愛知製鋼(株))	バルブ・継手用材料特性評価				
	高圧水素暴露による水素吸収特性の評価等				
					水素ステーション等長期使用材料の劣化度調査
④ 液体水素用構造材料の研究開発 (新日本製鐵(株))	液体水素用材料評価試験の実施				
	液体水素を含む極低温環境下での材料変形挙動シミュレーション				
					水素ステーション等長期使用材料の劣化度調査
⑤ 水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発 (高圧ガス保安協会)	CFRP の疲労特性評価試験の実施				
	CFRP のストレスラプチャー試験の実施				
<b>(b)材料物性共通基盤技術に関する研究</b>					
⑥ 水素用材料物性調査およびデータベース化 ( (財) 金属系材料研究開発センター (JRCM) )	水素用材料の基礎物性に関する調査実施				
	水素用材料の基礎物性に関する新規取得データのデータベース化				
⑦ 水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価 ( (独) 産業技術総合研究所 JRCMより再委託 )	70MPa 級試験機導入とその活用先としての材料特性データの評価実施				
	材料特性に及ぼす水素の影響 (化学成分依存性等) 評価の高度化				
⑧ 極低温ガス環境下での材料特性に関する研究 ( (独) 物質・材料研究機構 (JRCMより再委託) )	極低温水素ガス環境下での材料特性簡易評価試験法の導入と評価				
	加工誘起マルテンサイト変態と低温脆性及び水素脆性との関連性評価				
					材料特性に及ぼす温度の影響調査

⑨水素用材料の疲労・トラ イボロジー特性研究 (九州大学 (JRCM より 再委託) )	金属材料の疲労特性評価試験の実施				
	99MPa 級試験機導入		同左評価実施		

(3) 水素用アルミ材料の基礎研究

実施項目	2005	2006	2007	2008	2009
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、その発生要因の調査	→				
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	→				
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査		→			
④水素挙動の解明	→				
⑤LBB性の評価		→			
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得				→	

(4) 水素基礎物性の研究

水素の爆発研究 (エネルギー総合工学研究所)

事業項目	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度
ア. 円筒状半閉鎖空間での水素の拡散・燃焼挙動の研究		→			
イ. 建屋内での水素の拡散・燃焼挙動の研究	→	→			
ウ. 着火メカニズムの解明		→			
エ. 水素有効利用ガイドブックの作成			→	→	→
オ. 水素拡散・燃焼挙動実験データの整理			→	→	
				新規取得基礎物性データ、見直しされた規制項目等の新規情報アップデート	

水素基礎物性の取得と予測研究 (三菱重工業株式会社)

事業項目	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度
ア. トンネル換気模擬ガス模型実験	→				
イ. 閉鎖/半閉鎖空間における換気の検討	→	→			
ウ. 爆燃・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上		→			
エ. 液体水素蒸発モデルの検討		→			
オ. 水素基礎物性に関わる実験データ・解析結果の整理			→		

(5) 水素安全利用技術の基礎研究

	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度
<p>a. 高圧水素ガスの漏洩時の着火性に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・噴流挙動と着火性解明</li> <li>・着火危険性範囲推定 (火気隔離距離見直し)</li> <li>・自然着火現象解明</li> <li>・放出口形状提案</li> </ul>					
<p>b. 水素ガス漏洩時における静電気着火に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・静電気帯電現象解明</li> <li>・静電気着火測定の高精度化</li> <li>・放出口形状提案</li> </ul>					
<p>c. 燃焼火炎特性に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・吹き消え現象解明</li> <li>・高圧下の火炎状態の実験・予測</li> <li>・水噴霧効果の解明</li> <li>・防火設備の提案</li> </ul>					
<p>d. 水素の着火による火炎伝搬と爆ごう転移に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・火炎伝播現象の解明</li> <li>・インパルスによる影響評価</li> <li>・DDT現象の解明</li> <li>・スケール効果の解明・予測</li> </ul>					
<p>e. 化学反応論に基づく水素の着火・燃焼制御に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水添加効果の解明</li> <li>・燃焼反応詳細データ取得</li> <li>・反応モデル構築</li> </ul>					

## 2. 3 研究開発予算の推移

### 2. 3. 1 事業全体

(単位: 百万円)

テーマ	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総計
事業全体	2936	3992	2406	1375	901	11610
A. 燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発	930	857	671	585	311	3354
B「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」	434	492	638	115	118	1798
(1) 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	(434)	(492)	(638)	(115)	(88)	(1768)
(2) マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	—	—	—	—	(30)	(30)
C「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」	1572	2643	1098	675	472	6459
(1) 水素インフラに関する安全技術研究	(744)	(1398)	(700)	(521)	(362)	(3725)
(2) 水素用材料基礎物性の研究	(441)	(860)	(252)	(129)	(86)	(1768)
(3) 水素用アルミ材料の基礎研究	(105)	(106)	(65)	(25)	(23)	(325)
(4) 水素基礎物性の研究	(161)	(149)	(20)	—	—	(331)
(5) 水素安全利用技術の基盤研究	(121)	(128)	(60)	—	—	(310)

2. 3. 2 研究開発項目毎の研究開発予算

2. 3. 2. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

テーマ	費用項目	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総計
燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発 ◎規制再点検 ◎性能試験方法標準化 ◎安全性試験方法標準化 (財団法人日本自動車研究所)	機械装置費	471,950,000	360,598,000	211,335,000	129,675,000	37,881,000	1,211,439,000
	労務費	121,450,000	155,760,000	150,940,000	121,991,000	102,071,000	652,212,000
	その他経費	211,810,000	225,634,000	218,506,000	213,318,000	103,778,000	973,046,000
	間接費	80,521,000	74,199,000	58,078,000	69,747,000	36,559,000	319,104,000
	再委託費	0	0	0	23,531,550	17,172,750	40,704,300
	税金	44,286,550	40,809,550	31,942,950	26,736,550	14,014,450	157,790,050
	総計	<b>930,017,550</b>	<b>857,000,550</b>	<b>670,801,950</b>	<b>584,999,100</b>	<b>311,476,200</b>	<b>3,354,295,350</b>

2. 3. 2. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

テーマ	費用項目	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総計
小型定置用燃料電池 ◎規制再点検 ◎性能試験方法標準化 ◎安全要件及び設置基準 (社団法人日本ガス協会)	機械装置費	0	250,000,000	113,465,000	29,762,000	1,500,000	394,727,000
	労務費	10,831,000	7,380,000	5,385,000	1,168,000	15,785,000	40,549,000
	その他経費	190,934,904	59,615,426	4,456,000	6,292,000	4,664,000	265,962,330
	間接費	20,176,590	31,699,542	12,330,000	5,583,000	3,292,000	73,081,132
	再委託費	0	0	0	0	0	0
	税金	11,097,124	17,434,748	6,781,800	2,140,250	1,262,050	38,715,972
	総計	<b>233,039,618</b>	<b>366,129,716</b>	<b>142,417,800</b>	<b>44,945,250</b>	<b>26,503,050</b>	<b>813,035,434</b>
小型定置用燃料電池 ◎規制再点検 ◎性能試験方法標準化 ◎安全要件及び設置基準 (財団法人日本ガス機器検査協会)	機械装置費	116,797,015	42,950,000	171,997,050	8,651,715	2,000,000	342,395,780
	労務費	21,091,000	18,972,000	15,987,000	14,931,000	13,743,000	84,724,000
	その他経費	16,406,211	13,492,000	4,795,950	5,423,285	4,536,000	44,653,446
	間接費	15,429,422	7,541,000	19,278,000	4,350,000	3,041,000	49,639,422
	再委託費	0	0	0	0	0	0
	税金	8,486,182	4,147,750	10,602,900	1,667,800	1,166,000	26,070,632
	総計	<b>178,209,830</b>	<b>87,102,750</b>	<b>222,660,900</b>	<b>35,023,800</b>	<b>24,486,000</b>	<b>547,483,280</b>
小型定置用燃料電池 ◎国内外標準化活動の推進 ◎複数台連携時の課題検討 単独運転検出技術確立 (社団法人日本電機工業会)	機械装置費	0	0	0	0	0	0
	労務費	3,447,590	4,945,000	4,301,000	1,075,000	4,029,000	17,797,590
	その他経費	15,934,247	21,721,000	28,220,000	23,797,000	28,169,000	117,841,247
	間接費	1,938,183	2,666,000	3,252,000	3,730,000	3,219,000	14,805,183
	再委託費	0	8,000,000	224,257,000	5,000,000	0	237,257,000
	税金	1,066,001	1,866,600	13,001,500	1,680,100	1,770,850	19,385,051
	総計	<b>22,386,021</b>	<b>39,198,600</b>	<b>273,031,500</b>	<b>35,282,100</b>	<b>37,187,850</b>	<b>407,086,071</b>
マイクロ燃料電池の規制再点検&標準化 ◎安全性評価試験方法 ◎性能評価試験方法 (独立行政法人産業技術総合研究所)	機械装置費					0	0
	労務費					7,560,000	7,560,000
	その他経費					17,285,000	17,285,000
	間接費					3,726,000	3,726,000
	再委託費					0	0
	税金					1,428,550	1,428,550
	総計	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>29,999,550</b>	<b>29,999,550</b>
		<b>433,635,469</b>	<b>492,431,066</b>	<b>638,110,200</b>	<b>115,251,150</b>	<b>118,176,450</b>	<b>1,797,604,335</b>

項目別の研究開発予算

テーマ	機械装置費	労務費	その他経費	間接費	再委託費	税金	総計
小型定置用燃料電池 ◎規制再点検 ◎性能試験方法標準化 ◎安全要件及び設置基準 (社団法人日本ガス協会)	394,727,000	40,549,000	265,962,330	73,081,132	0	38,715,972	<b>813,035,434</b>
小型定置用燃料電池 ◎規制再点検 ◎性能試験方法標準化 ◎安全要件及び設置基準 (財団法人日本ガス機器検査協会)	342,395,780	84,724,000	44,653,446	49,639,422	0	26,070,632	<b>547,483,280</b>
小型定置用燃料電池 ◎国内外標準化活動の推進 ◎複数台連携時の課題検討 単独運転検出技術確立 (社団法人日本電機工業会)	0	17,797,590	117,841,247	14,805,183	237,257,000	19,385,051	<b>407,086,071</b>
マイクロ燃料電池の規制再点検&標準化 ◎安全性評価試験方法 ◎性能評価試験方法 (独立行政法人産業技術総合研究所)	0	7,560,000	17,285,000	3,726,000	0	1,428,550	<b>29,999,550</b>
	<b>737,122,780</b>	<b>150,630,590</b>	<b>445,742,023</b>	<b>141,251,737</b>	<b>237,257,000</b>	<b>85,600,205</b>	<b>1,797,604,335</b>

## 2. 3. 2. 3 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

テーマ	費用項目	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総計
水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発 水素インフラに関する安全技術研究 (財団法人石油産業活性化センター、三菱重工業株式会社、株式会社日本製鋼所、一般社団法人日本産業・医療ガス協会、株式会社タツノ・メカトロニクス)	機械装置費	234,698,449	501,525,207	198,516,884	179,287,000	62,063,345	1,176,090,885
	労務費	131,959,662	139,126,222	121,240,782	105,325,378	84,382,791	582,034,835
	その他経費	262,011,616	318,795,808	212,831,334	115,241,622	116,457,240	1,025,337,620
	間接費	57,534,212	84,369,545	45,204,000	43,863,000	29,088,806	260,059,563
	再委託費	24,267,453	289,620,221	88,776,000	52,114,000	52,512,600	507,290,274
	税金	33,740,059	64,861,131	33,328,450	24,791,550	17,225,239	173,946,429
	総計	<b>744,211,451</b>	<b>1,398,298,134</b>	<b>699,897,450</b>	<b>520,622,550</b>	<b>361,730,021</b>	<b>3,724,759,606</b>

## (2) 水素用材料基礎物性の研究

### 研究開発項目 C (2) 水素用材料基礎物性の研究

テーマ	費用項目	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総計
材料物性共通基盤技術に関する研究 ・水素用材料物性調査およびデータベース化 ・水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価 ・極低温ガス環境下での材料特性に関する研究 ・水素用材料の疲労・トリアボロジー特性研究 (財団法人 金属系材料研究開発センター)	機械装置費	51,000千円	121,750千円	6,348千円	0	0	179,100,000
	労務費	7,088千円	7,811千円	7,858千円	2,099,000	841,000	22,452,690
	その他経費	21,905千円	33,924千円	15,701千円	20,929,000	147,000	95,847,947
	間接費	7,999千円	16,348千円	2,990千円	3,454,000	148,000	30,939,763
	再委託費	114,997千円	218,056千円	81,229千円	15,164,000	12,143,000	441,590,046
	税金	10,149,464	19,894,508	5,706,300	2,082,300	663,950	38,496,522
	総計	213,138,746	417,784,671	119,832,300	43,728,300	13,942,950	808,426,967
材料の基礎物性に関する研究 ・高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発 (愛知製鋼株式会社)	機械装置費	0千円	0千円	0千円	0	0	0
	労務費	4,530千円	4,530千円	3,563千円	299,000	789,000	13,711,000
	その他経費	21,074千円	19,750千円	9,394千円	1,709,000	2,127,000	54,173,000
	間接費	2,560千円	2,379千円	1,295千円	200,000	291,000	6,606,000
	再委託費	0千円	0千円	0千円	0	0	0
	税金	1,408,200	1,332,950	712,600	110,400	160,350	3,724,500
	総計	29,572,200	27,991,950	14,964,600	2,318,400	3,367,350	78,214,500
材料の基礎物性に関する研究 ・高圧水素タンク用ライナー材の研究開発 ・液体水素用構造材料の研究開発 (新日本製鐵株式会社)	機械装置費	1,940千円	198,360千円	3,655千円	5,389,000	2,389,000	209,411,000
	労務費	4,872千円	5,120千円	3,848千円	639,000	565,000	15,044,000
	その他経費	30,692千円	46,082千円	27,851千円	20,176,000	21,362,000	148,484,926
	間接費	2,588千円	16,720千円	2,191千円	2,620,000	2,431,000	26,549,770
	再委託費	0千円	0千円	0千円	882,000	882,000	1,764,000
	税金	2,004,584	13,314,100	1,877,250	1,485,300	1,381,450	20,062,684
	総計	42,096,280	279,596,100	39,422,250	31,191,300	29,010,450	421,316,380
材料の基礎物性に関する研究 ・高圧水素配管材料の研究開発 (住友金属工業株式会社)	機械装置費	54,100千円	6,663千円	8,080千円	8,080,000	8,080,000	87,559,937
	労務費	7,002千円	7,043千円	4,846千円	1,212,000	940,000	21,043,000
	その他経費	43,159千円	81,267千円	43,897千円	28,967,000	21,793,000	216,526,063
	間接費	6,464千円	6,268千円	3,579千円	3,825,000	3,081,000	23,217,000
	再委託費	0千円	0千円	0千円	0	0	0
	税金	5,536,250	5,062,050	3,020,100	2,104,200	1,694,700	17,417,300
	総計	116,261,250	106,303,050	63,422,100	44,188,200	35,588,700	365,763,300
材料の基礎物性に関する研究 ・水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発 (高圧ガス保安協会)	機械装置費	8,500千円	5,550千円	2,060千円	1,750,000	1,750,000	21,160,454
	労務費	8,237千円	5,237千円	4,026千円	2,007,000	1,636,000	20,977,830
	その他経費	17,706千円	13,906千円	6,307千円	2,758,000	534,000	39,825,716
	間接費	3,444千円	2,469千円	1,239千円	651,000	392,000	8,195,000
	再委託費	0千円	0千円	0千円	0	0	0
	税金	1,894,350	1,358,100	681,600	358,300	215,600	4,507,950
	総計	39,781,350	28,520,100	14,313,600	7,524,300	4,527,600	94,666,950
		440,849,826	860,195,871	251,954,850	128,950,500	86,437,050	1,768,388,097

### 項目別研究予算

#### 研究開発項目 C (2) 水素用材料基礎物性の研究

テーマ	機械装置費	労務費	その他経費	間接費	再委託費	税金	総計
材料物性共通基盤技術に関する研究 ・水素用材料物性調査およびデータベース化 ・水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価 ・極低温ガス環境下での材料特性に関する研究 ・水素用材料の疲労・トリアボロジー特性研究 (財団法人 金属系材料研究開発センター)	179,100,000	22,452,690	95,847,947	30,939,763	441,590,046	38,496,522	808,426,967
材料の基礎物性に関する研究 ・高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発 (愛知製鋼株式会社)	0	13,711,000	54,173,000	6,606,000	0	3,724,500	78,214,500
材料の基礎物性に関する研究 ・高圧水素タンク用ライナー材の研究開発 ・液体水素用構造材料の研究開発 (新日本製鐵株式会社)	209,411,000	15,044,000	148,484,926	26,549,770	1,764,000	20,062,684	421,316,380
材料の基礎物性に関する研究 ・高圧水素配管材料の研究開発 (住友金属工業株式会社)	87,559,937	21,043,000	216,526,063	23,217,000	0	17,417,300	365,763,300
材料の基礎物性に関する研究 ・水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発 (高圧ガス保安協会)	21,160,454	20,977,830	39,825,716	8,195,000	0	4,507,950	94,666,950
	497,231,391	93,228,520	554,857,652	95,507,533	443,354,046	84,208,956	1,768,388,097

### (3) 水素用アルミ材料の基礎研究

#### 研究開発項目 C (3) 水素用アルミ材料の基礎研究

テーマ	費用項目	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	総計
水素用アルミニウム材料の試験結果の評価とデータベース化及び研究開発の展開方針の検討と関連業界団体等との連 (社団法人日本アルミニウム協会)	機械装置費	0	0	0	0	0	0
	労務費	0	0	0	0	0	0
	その他経費	23,126,154	1,759,674	10,295,859	261,000	261,000	35,703,687
	間接費	2,312,615	175,967	974,574	39,000	39,000	3,541,156
	再委託費・共同実施費	45,322,994	58,493,007	35,900,000	17,315,000	15,844,000	172,875,000
	税金	3,538,088	3,021,432	2,358,522	880,750	807,200	10,605,992
	総計	74,299,850	63,450,080	49,528,955	18,495,750	16,951,200	222,725,835
6061系アルミニウム合金押出材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度試験材の引裂き試験による靱性の評価 (住友軽金属工業株式会社)	機械装置費	0	0	450,000	0	0	450,000
	労務費	2,586,000	2,128,000	1,345,000	82,000	82,000	6,223,000
	その他経費	340,000	714,499	643,386	690,000	690,000	3,077,885
	間接費	125,818	122,227	111,070	77,000	77,000	513,115
	再委託費・共同実施費	0	0	0	0	0	0
	税金	152,590	148,236	127,474	42,450	42,450	513,200
	総計	3,204,408	3,112,962	2,676,930	891,450	891,450	10,777,200
水素脆化に及ぼす6000系アルミニウム合金押出材の成分、不純物および組織の影響に関する研究 (三菱アルミニウム株式会社)	機械装置費	0	0	0	0	0	0
	労務費	7,018,195	6,866,805	0	0	0	13,885,000
	その他経費	214,359	392,964	0	0	0	607,323
	間接費	303,767	304,910	0	0	0	608,677
	再委託費・共同実施費	0	0	0	0	0	0
	税金	376,816	378,234	0	0	0	755,050
	総計	7,913,137	7,942,913	0	0	0	15,856,050
水蒸気分圧制御環境と高圧水素ガス環境の相関についての基礎調査ならびに各種アルミニウム合金の水蒸気分圧制御環境下での試験 (古河スカイ株式会社)	機械装置費	0	8,700,000	2,120,000	500,000	500,000	11,820,000
	労務費	4,546,000	4,232,000	4,304,000	712,000	864,000	14,658,000
	その他経費	47,718	496,000	333,000	717,000	577,000	2,170,718
	間接費	96,468	308,000	256,000	192,000	194,000	1,046,468
	再委託費・共同実施費	0	0	0	0	0	0
	税金	234,509	686,800	350,650	106,050	106,750	1,484,759
	総計	4,924,695	14,422,800	7,363,650	2,227,050	2,241,750	31,179,945
6000系および7000系アルミニウム合金圧延材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度6000系合金試験材の作製と基本特性調査 (日本軽金属株式会社)	機械装置費	0	0	0	0	0	0
	労務費	3,284,000	3,502,000	2,823,000	1,234,000	1,172,000	12,015,000
	その他経費	1,572,609	1,599,285	335,106	127,000	127,000	3,761,000
	間接費	276,826	280,570	151,604	136,000	129,000	974,000
	再委託費・共同実施費	0	0	0	0	0	0
	税金	256,671	269,092	165,487	74,850	71,400	837,500
	総計	5,390,106	5,650,947	3,475,197	1,571,850	1,499,400	17,587,500
高圧水素ガス環境下での高強度7000系アルミニウム合金の基礎物性と評価法に関する研究ならびに高強度7000系合金試験材の作製と基本特性調査 (株式会社神戸製鋼所)	機械装置費	0	0	0	0	0	0
	労務費	905	982	1,460	399	399	4,145
	その他経費	6,155	8,000	356	1,129	1,129	16,769
	間接費	345	440	76	152	152	1,165
	再委託費・共同実施費	0	0	0	0	0	0
	税金	370,250	471,100	94,600	84,000	84,000	1,103,950
	総計	7,775,250	9,893,100	1,986,600	1,764,000	1,764,000	23,182,950
各種アルミニウム合金のFSW (Friction Stir Welding: 摩擦攪拌溶接) 接合接ぎ手の作製および接合部の水素の影響に関する研究 (昭和電工株式会社)	機械装置費	0	0	0	0	0	0
	労務費	1,382,454	1,593,000	0	0	0	2,975,454
	その他経費	0	114,367	0	0	0	114,367
	間接費	44,238	46,098	0	0	0	90,336
	再委託費・共同実施費	0	0	0	0	0	0
	税金	71,334	87,673	0	0	0	159,007
	総計	1,498,026	1,841,138	0	0	0	3,339,164
		105,005,472	106,313,940	65,031,332	24,950,100	23,347,800	324,648,644

項目別研究開発予算  
研究開発項目 C (3) 水素用アルミ材料の基礎研究

テーマ	機械装置費	労務費	その他経費	間接費	再委託費・ 共同実施費	税金	総計
水素用アルミニウム材料の試験結果の評価とデータベース化及び研究開発の展開方針の検討と関連業界団体等との連 (社団法人日本アルミニウム協会)	0	0	35,703,687	3,541,156	172,875,000	10,605,992	222,725,835
6061系アルミニウム合金押出材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度試験材の引裂き試験による靱性の評価 (住友軽金属工業株式会社)	450,000	6,223,000	3,077,885	513,115	0	513,200	10,777,200
水素脆化に及ぼす6000系アルミニウム合金押出材の成分、不純物および組織の影響に関する研究 (三菱アルミニウム株式会社)	0	13,885,000	607,323	608,677	0	755,050	15,856,050
水蒸気分圧制御環境と高圧水素ガス環境の相関についての基礎調査ならびに各種アルミニウム合金の水蒸気分圧制御環境下での試験 (古河スカイ株式会社)	11,820,000	14,658,000	2,170,718	1,046,468	0	1,484,759	31,179,945
6000系および7000系アルミニウム合金圧延材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度6000系合金試験材の作製と基本特性調査 (日本軽金属株式会社)	0	12,015,000	3,761,000	974,000	0	837,500	17,587,500
高圧水素ガス環境下での高強度7000系アルミニウム合金の基礎物性と評価法に関する研究ならびに高強度7000系合金試験材の作製と基本特性調査 (株式会社神戸製鋼所)	0	4,145	16,769	1,165	0	1,103,950	23,182,950
各種アルミニウム合金のFSW (Friction Stir Welding:摩擦攪拌溶接)接合接ぎ手の作製および接合部の水素の影響に関する研究 (昭和電工株式会社)	0	2,975,454	114,367	90,336	0	159,007	3,339,164
	12,270,000	49,760,599	45,451,749	6,774,917	172,875,000	15,459,458	324,648,644

#### (4) 水素基礎物性の研究

##### 研究開発項目 C(4) 水素基礎物性の研究

テーマ	費用項目	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総計
水素の拡散・燃焼挙動の研究 ・円筒状半閉鎖空間での水素の拡散・燃焼挙動の研究 ・建屋内での水素の拡散・燃焼挙動の研究 ・着火メカニズムの解明 ・水素の有効利用ガイドブックの作成 ・水素拡散・燃焼挙動実験データの整理 (財)エネルギー総合工学研究所)	機械装置費	0	0	0	0
	労務費	14,629,940	15,318,000	7,089,000	37,036,940
	その他経費	66,106,360	54,580,000	5,696,000	126,382,360
	間接費	8,073,630	6,989,000	1,278,000	16,340,630
	再委託費	0	0	0	0
	税金	4,440,496	3,844,350	703,150	8,987,996
	総計	93,250,426	80,731,350	14,766,150	188,747,926
水素基礎物性の取得と予測研究 ・トンネル換気模擬ガス模型実験 ・閉鎖/半閉鎖空間における換気の検討 ・爆燃・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上 ・液体水素蒸発モデルの検討 ・水素基礎物性に関わる実験データ・解析結果の整理 (三菱重工業(株))	機械装置費	2,584,000	2,000,000	0	4,584,000
	労務費	10,666,705	10,300,000	3,169,000	24,135,705
	その他経費	40,110,196	40,522,000	1,630,000	82,262,196
	間接費	4,535,676	4,264,000	316,000	9,115,676
	再委託費	7,001,000	7,351,000	0	14,352,000
	税金	3,244,878	3,221,288	255,750	6,721,916
	総計	68,142,455	67,658,288	5,370,750	141,171,493
		161,392,881	148,389,638	20,136,900	329,919,419

##### 項目別研究開発予算

##### 研究開発項目 C(4) 水素基礎物性の研究

テーマ	機械装置費	労務費	その他経費	間接費	再委託費	税金	総計
水素の拡散・燃焼挙動の研究 ・円筒状半閉鎖空間での水素の拡散・燃焼挙動の研究 ・建屋内での水素の拡散・燃焼挙動の研究 ・着火メカニズムの解明 ・水素の有効利用ガイドブックの作成 ・水素拡散・燃焼挙動実験データの整理 (財)エネルギー総合工学研究所)	0	37,036,940	126,382,360	16,340,630	0	8,987,996	188,747,926
水素基礎物性の取得と予測研究 ・トンネル換気模擬ガス模型実験 ・閉鎖/半閉鎖空間における換気の検討 ・爆燃・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上 ・液体水素蒸発モデルの検討 ・水素基礎物性に関わる実験データ・解析結果の整理 (三菱重工業(株))	4,584,000	24,135,705	82,262,196	9,115,676	14,352,000	6,721,916	141,171,493
	4,584,000	61,172,645	208,644,556	25,456,306	14,352,000	15,709,912	329,919,419

## (5) 水素安全利用技術の基盤研究

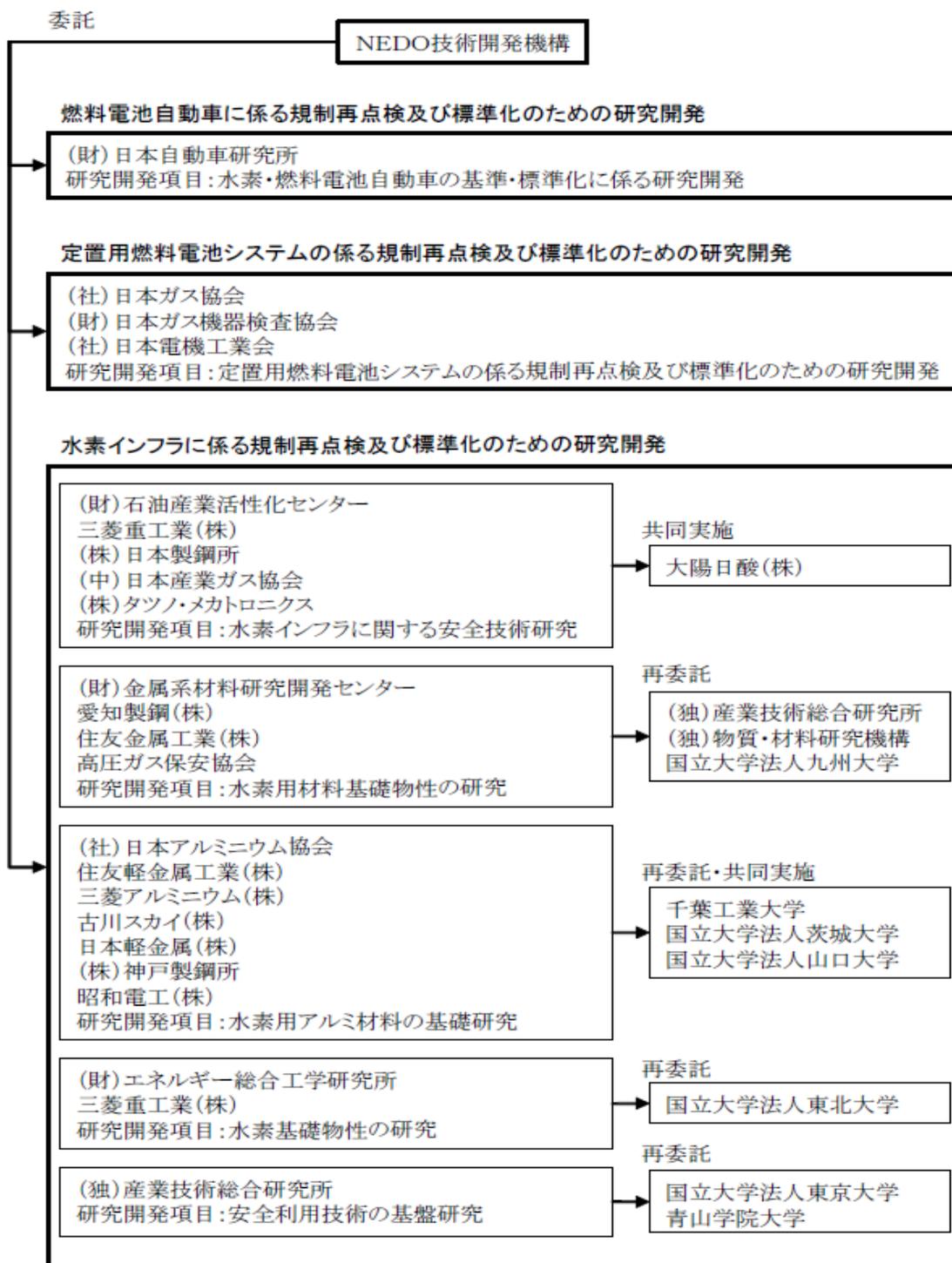
(単位:千円)

項 目	事業期間全体			
		平成17年度	平成18年度	平成19年度
I 直接経費	236,957	91,941	98,637	46,379
1. 備品費	89,250	40,950	32,000	16,300
2. 消耗品費	26,345	9,183	12,721	4,441
3. 人件費	64,234	21,808	25,288	17,138
4. 光熱水費	3,478	1,100	1,278	1,100
5. 旅費	5,000	800	3,400	800
6. その他	48,650	18,100	23,950	6,600
II 間接経費	35,542	13,791	14,795	6,956
III 再委託費	22,738	9,506	8,948	4,284
総 経 費	295,237	115,238	122,380	57,619
消費税及び地方消費税(円)	14,761,850	5,761,900	6,119,000	2,880,950
合 計(円)	309,998,850	120,999,900	128,499,000	60,499,950

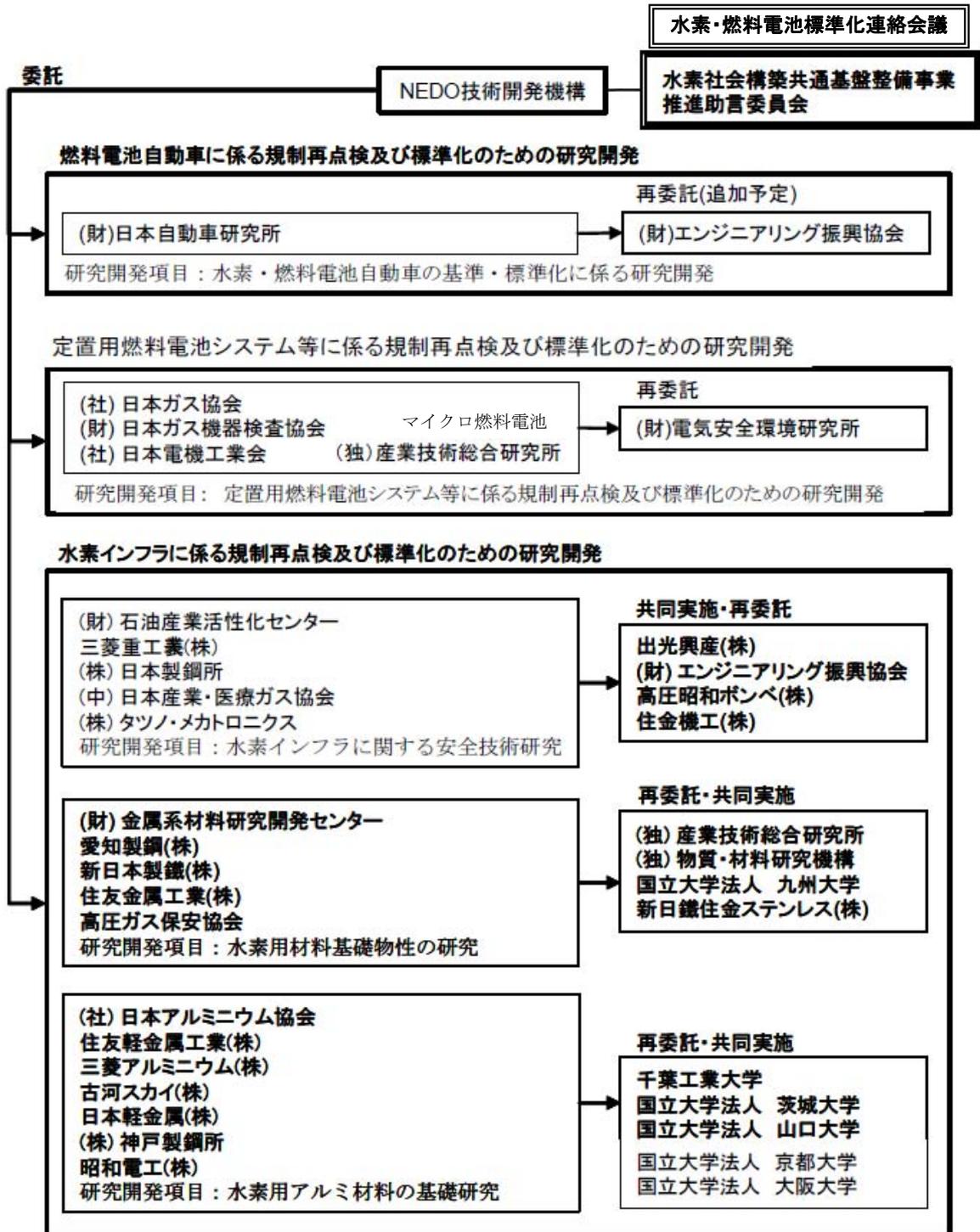
## 2. 4 研究開発の実施体制

本事業では、NEDO が公募によって選定した本邦の企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等の研究機関が、単独研究または共同研究としてそれぞれの研究テーマの達成目標を実現可能な研究開発実施体制を設定した。

### <平成 18 年度実施体制>

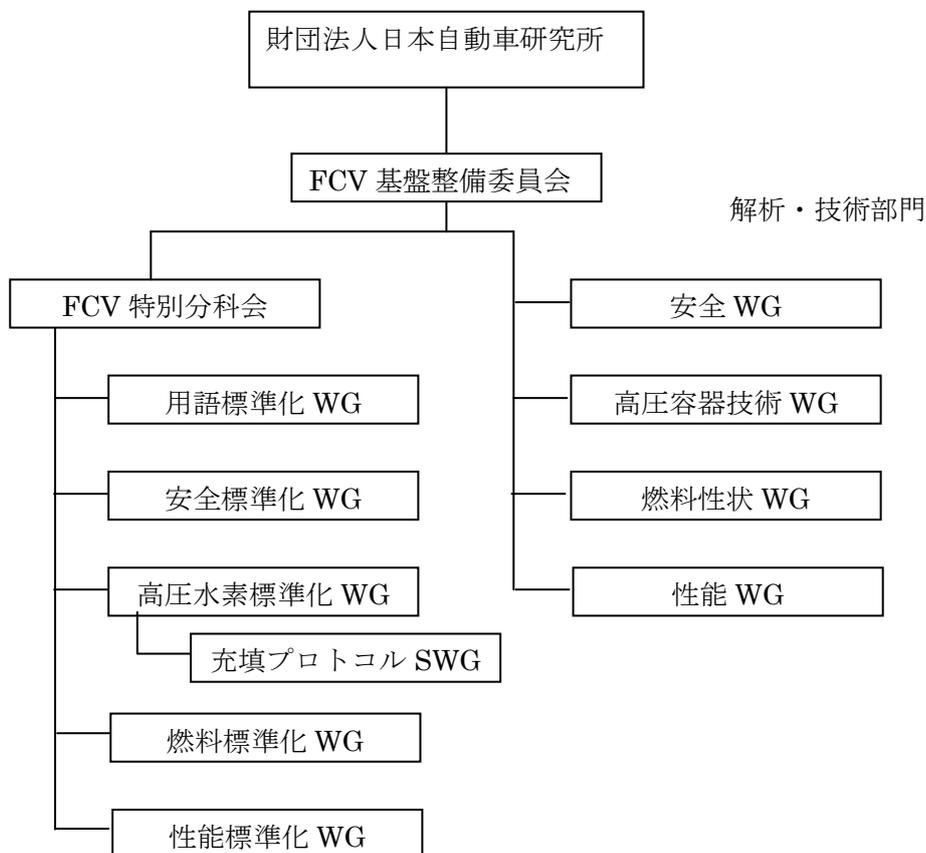
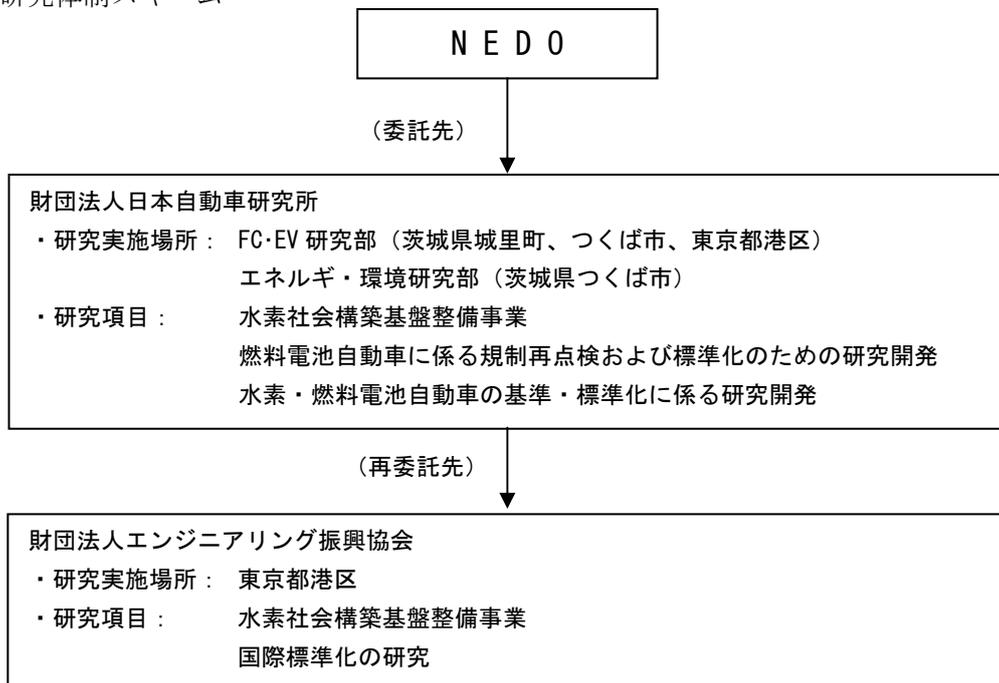


<平成 21 年度実施体制>

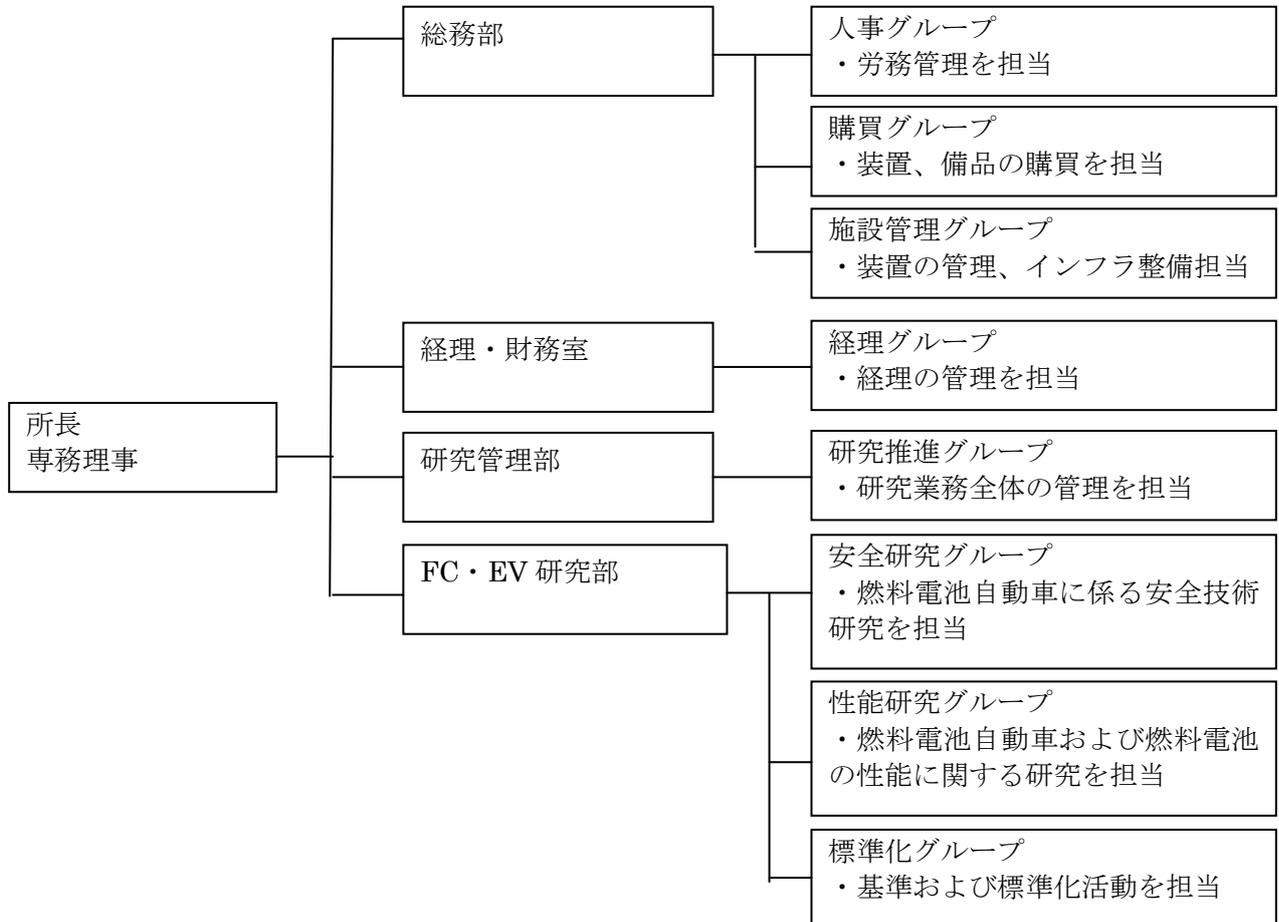


## 2. 4. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」の体制

### ① 研究体制スキーム



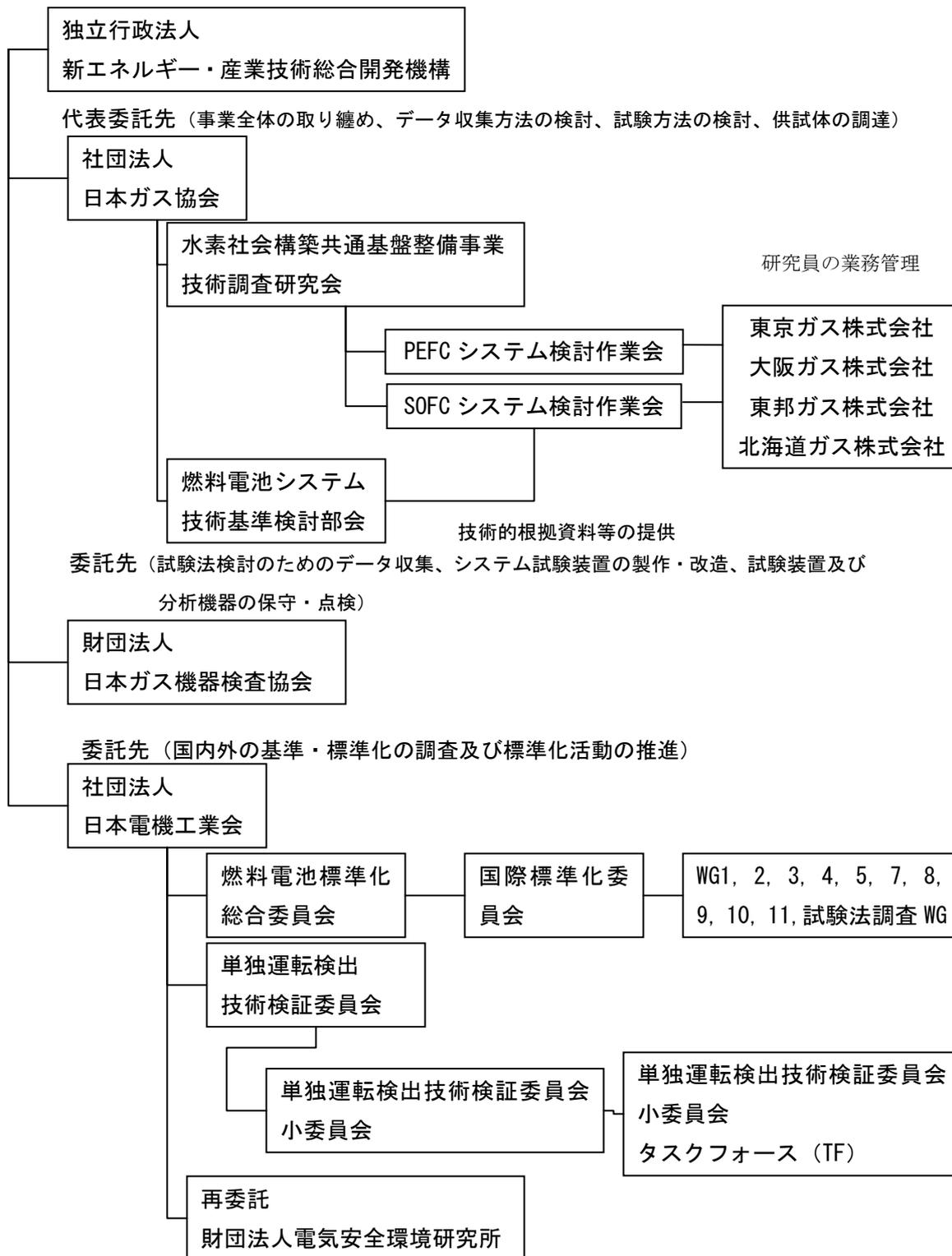
② 日本自動車研究所内研究体制スキーム



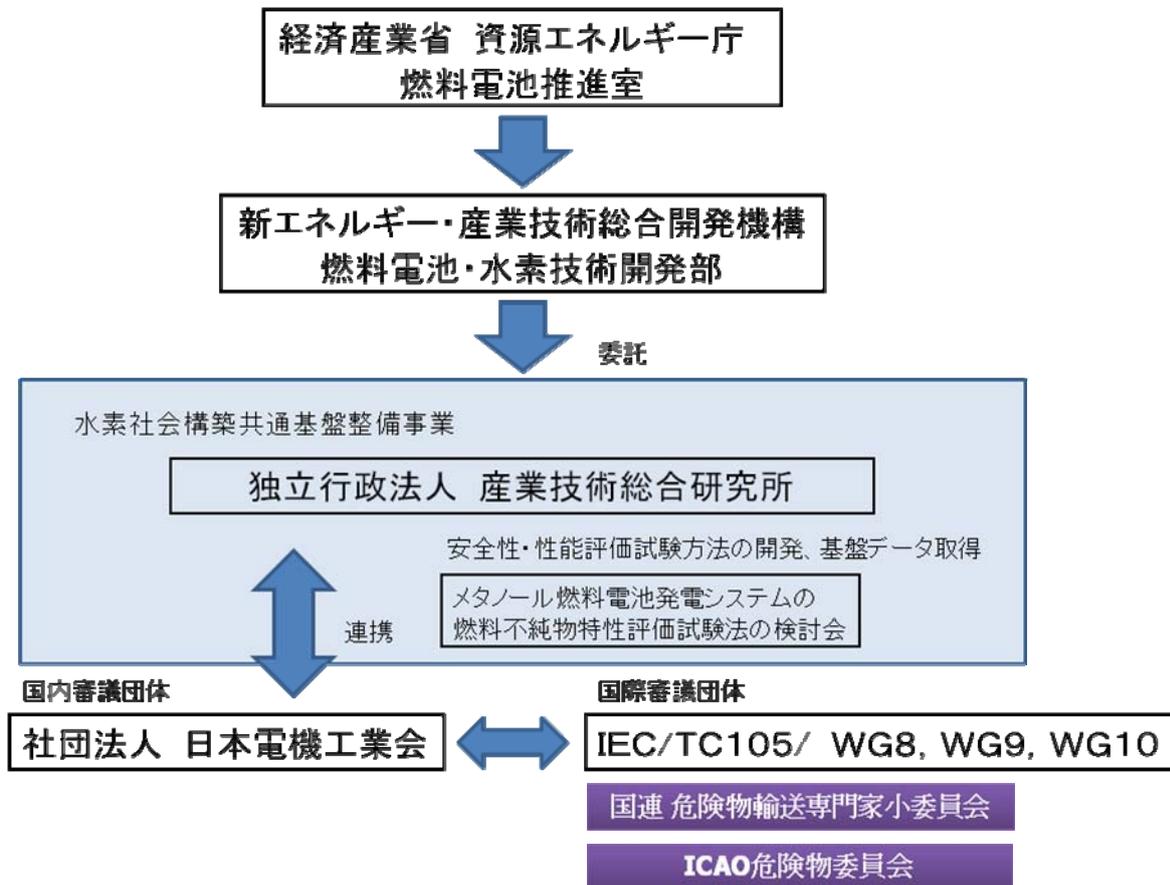
## 2. 4. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」 の体制

### (1) 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

- ①定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応  
(実施体制：(社)日本ガス協会、(財)日本ガス機器検査協会)
- ②次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応  
(実施体制：(社)日本ガス協会、(財)日本ガス機器検査協会)
- ③単独運転検出技術の確立 (実施体制：(社)日本電機工業会)
- ④小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討  
(実施体制：(社)日本ガス協会、(財)日本ガス機器検査協会)
- ⑤国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進  
(実施体制：(社)日本電機工業会、(社)日本ガス協会)
- ⑥規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集  
(実施体制：(社)日本ガス協会、(財)日本ガス機器検査協会、(社)日本電機工業会)



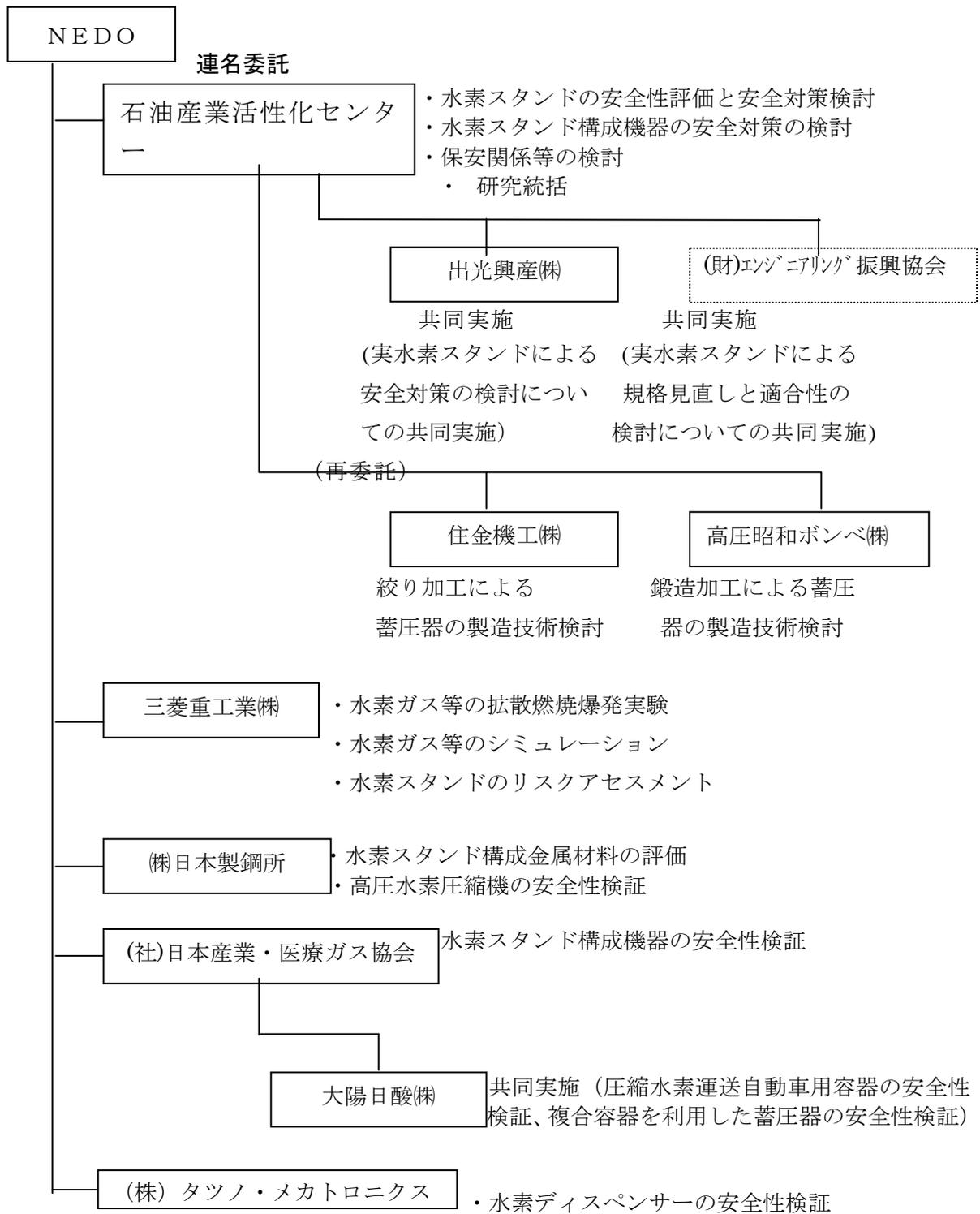
(2) マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発  
(実施体制：(独)産業技術総合研究所)



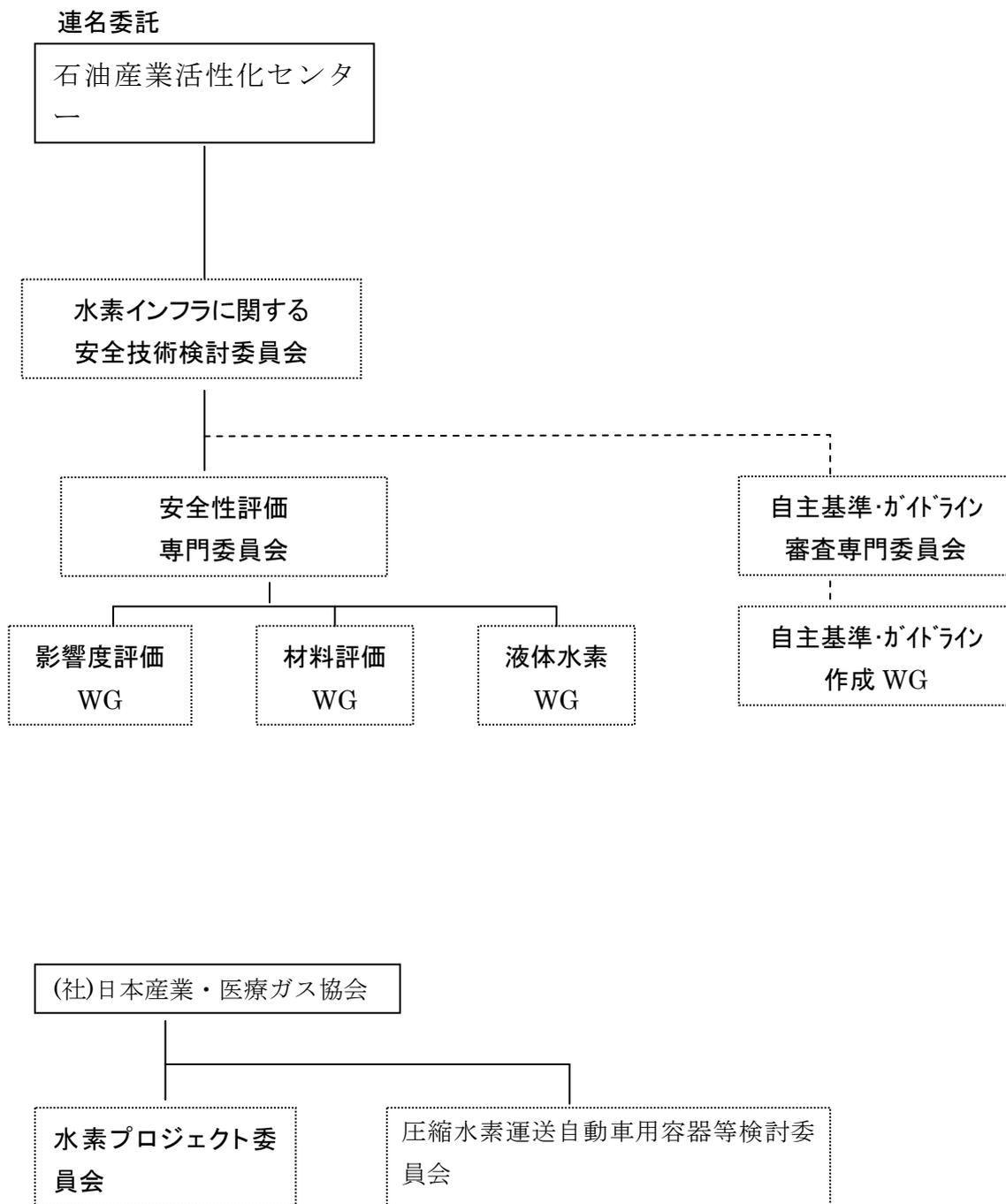
2. 4. 3 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の体制

(1) 水素インフラに関する安全技術研究

<研究体制スキーム>

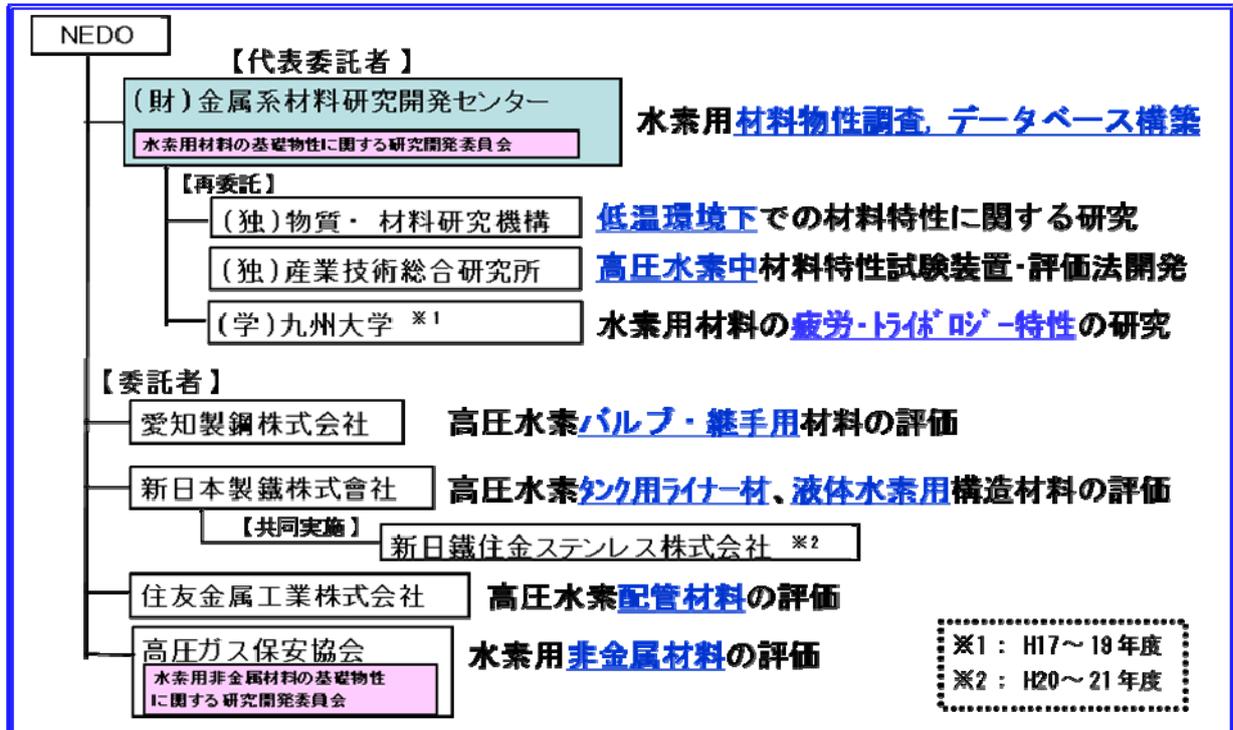


<委員会組織>



## (2) 水素用材料基礎物性の研究

研究開発実施体制

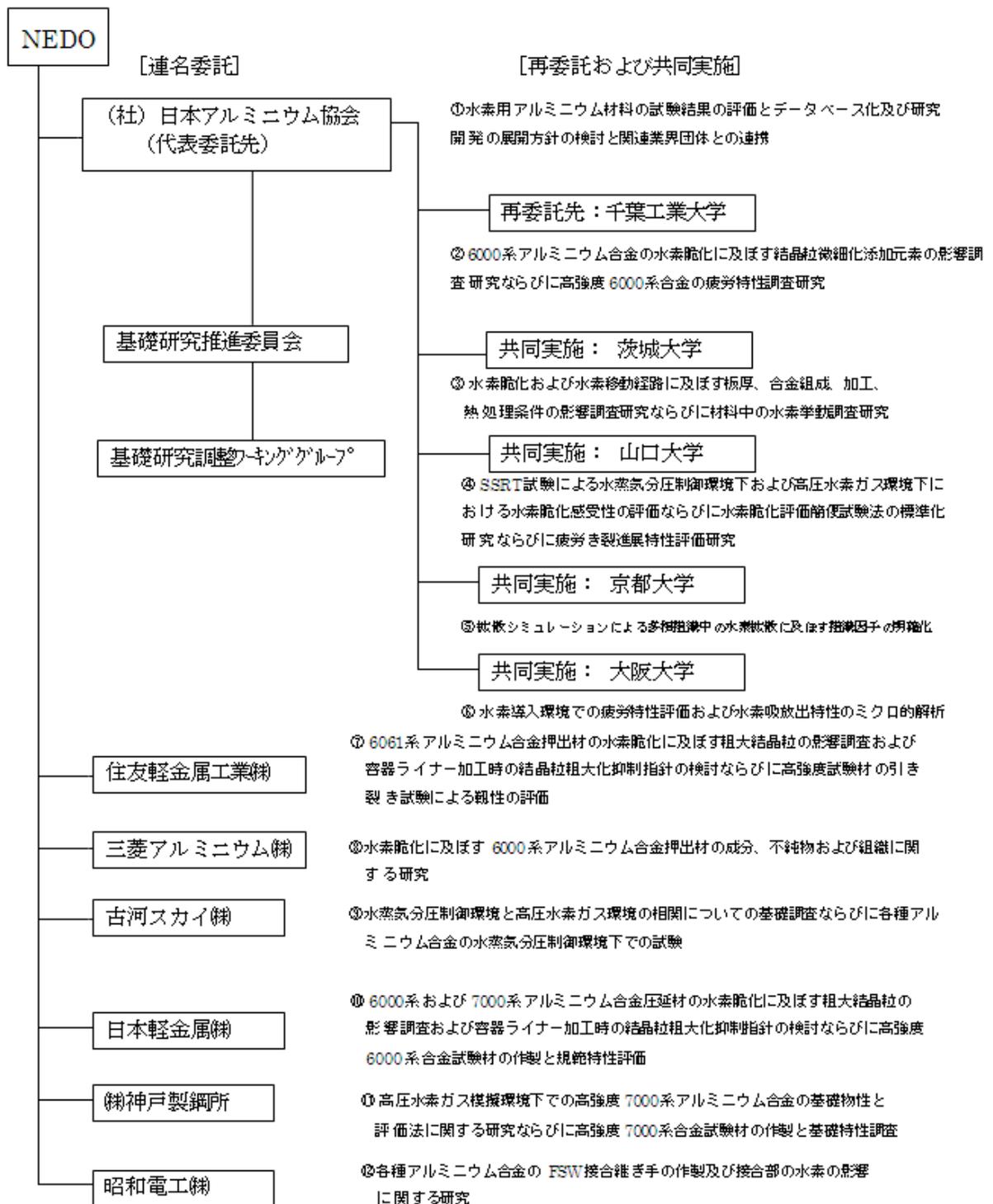


委員会組織

- (a) 水素用材料開発委員会
- (b) 水素用非金属材料の基礎物性に関する研究委員会

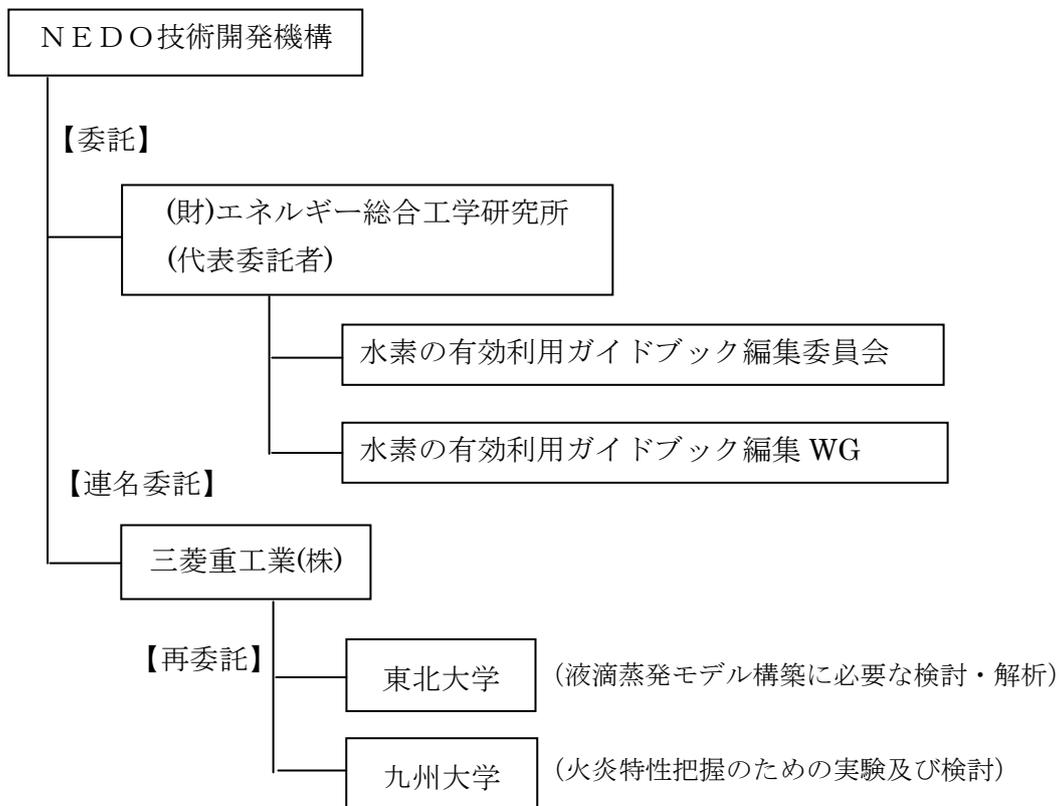
### (3) 水素用アルミ材料の基礎研究

研究実施体制 委員会組織



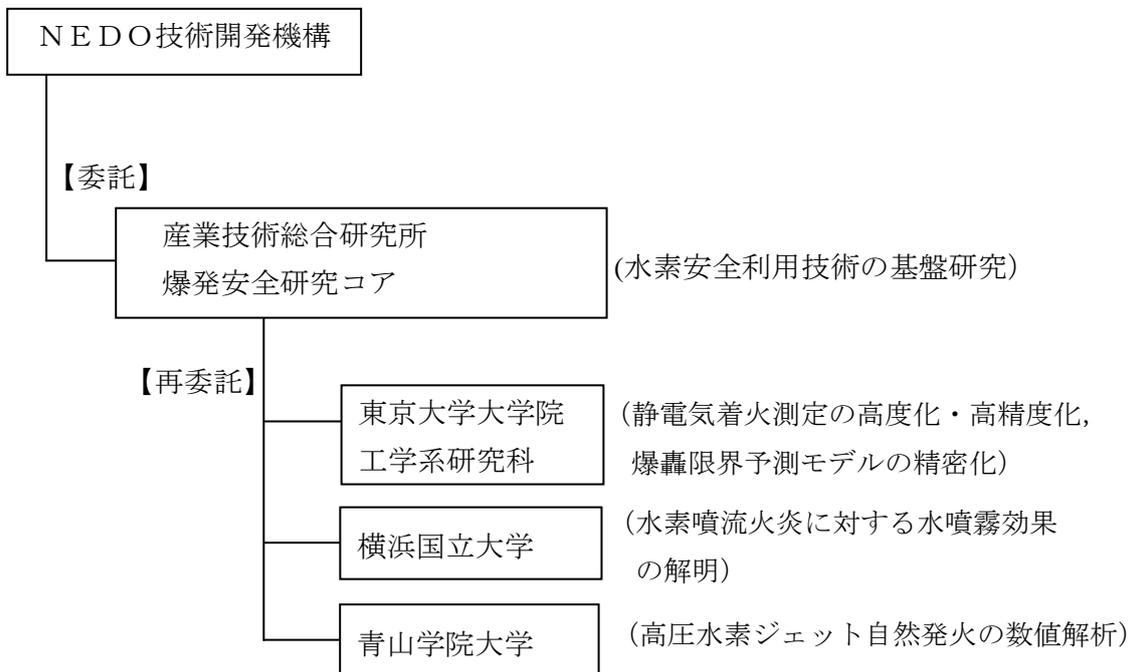
#### (4) 水素基礎物性の研究

研究体制スキーム



## (5) 水素安全利用技術の基礎研究

研究体制スキーム



## 2. 5 研究管理の運営管理

### 2. 5. 1 NEDO が運営する委員会等

#### (1) 水素・燃料電池標準化連絡会

NEDO で推進する『固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発』、『水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発』、『燃料電池システム等実証研究』における国際標準・規制見直し活動の連携・マネジメントの一環として、水素・燃料電池標準化連絡会を推進した。

ISO や IEC など国際規格の日本審議団体を中心とした各関連団体をメンバーとして、国際標準・規制見直しの動向等に関する発表や意見交換を行うことにより、それぞれの団体の活動の底上げや課題の共有化による活動効率化を推進した。また、事業の最終年度には、主要な業界団体の参加による、業界を横断した国際標準・国内規制に関する戦略的対応の検討の場とすべく、水素社会構築戦略・連携会議（仮称）のキックオフを行った。

表 2.5-1 に開催実績を記載する。

表 2.5-1 水素・燃料電池標準化連絡会 開催実績

開催日時	場所	出席者	議題
平成18年12月15日(金)1330~1730	NEDO 21階 2101会議室	ENAA FCDIC JEMA JAIR 日本ガス協会 PEC 石油連盟 自工会 AIST FCCJ JA JET 燃焼機器検査協会 経済産業省 NEDO	①IECと認証制度について ②IEAの動向 ③国際標準化動向 ④FCESQAの動向 ⑤規制再点検の動向 ⑥SAEの動向 ⑦GTR WP-29の動向について ⑧ISO Round Table on Global Harmonization of Regulations, Codes & Standards(RC&S) for Gaseous Fuels & Vehicles
平成19年12月3日(月)10:00~16:20	NEDO 16階 1601会議室	ENAA FCDIC JEMA JAIR 日本ガス協会 PEC 石油連盟 自工会 AIST FCCJ JA JET JFE JRCM KHK 燃焼機器検査協会 経済産業省 NEDO	①貿易の技術的障害に関する協定 ②携帯用燃料電池 - IEC/TC105国際標準化の進捗状況(WG8-10) - ICAO危険物輸送規則の見直しについて ③定置用燃料電池 - IEC/TC105国際標準化の進捗状況(WG8-10除く) - 定置用燃料電池 国内基準の見直しについて - FCESQA会議報告 - セラミックスのイオン導電性測定方法 ④水素技術 - ISOTC197国際標準化の進捗状況と成果の概要 - MH容器の国内自主基準 - 水素スタンドの国内基準見直しについて - ASMEの水素用圧力設備規格の開発動向について ⑤電池自動車 - ISO/TC22/SC21国際標準化 成果の概要 - ISO/TC197/WG6車載用高圧水素容器の国際標準化の動向 - 車載用高圧水素容器の国内基準の見直しについて - 水素・燃料電池自動車(FCEV)の国際基準調和活動、海外の動向 ⑥自動車用リチウム二次電池の国際標準化および国連危険物輸送について
平成21年12月16日(水)10:00~16:50	NEDO 21階 2101会議室	ENAA FCDIC JEMA JAIR 水素供給・利用技術研究組合 財団法人日本燃焼機器検査協会 日本ガス協会 PEC 石油連盟 自工会 FCCJ JA JET KHK 出光興産 燃焼機器検査協会 経済産業省 NEDO	①燃料電池・水素分野の基準・標準の課題 ②マイクロ燃料電池の国際標準化の進捗状況と今後の進め方 ③定置用燃料電池の国際標準化の進捗状況と今後の進め方 ④定置用燃料電池に関する国内規制見直しの進捗状況と今後の進め方 ⑤水素・燃料電池自動車(FCEV)の基準・標準化活動FCVIに関する国際標準化の進捗状況と今後の進め方 ⑥自動車用リチウム二次電池の国際標準化の進捗状況と今後の進め方 ⑦欧米の水素用圧力設備規格の開発動向ISO/TC197(水素技術) ⑧国際標準化活動の状況及び今後の継続課題 ⑨JHFCプロジェクトにおける水素ステーションの規制見直し - 進捗状況と今後の進め方 ⑩70MPa充電対応水素スタンドに関する国内基準見直しの進捗状況と今後の進め方・課題
平成22年3月29日(月)14:00~17:00  (燃料電池・水素分野の国際標準・基準に関する戦略検討キックオフ会議)	NEDO 23階 2304会議室	FCCJ JREMA JGA 石油連盟 JAIR 日本産業・医療ガス協会 経済産業省 NEDO	①戦略検討会の主旨 ②各団体の戦略検討に関する活動状況 燃料電池実用化推進協議会 社団法人日本電機工業会 社団法人日本ガス協会 石油連盟 社団法人日本自動車工業会 社団法人日本産業・医療ガス協会 ③現状の課題と今後の対応の討議

(2) 推進助言委員会

「水素社会構築共通基盤整備事業に関する推進助言委員会」を設置し、学識経験者や関連業界代表者等にて構成した外部有識者の意見を取り入れながら、運営管理に努めた(年1回程度開催)。

(3) その他

研究開発の効率的な推進を図るために、随時に受託者から事業進捗について報告を受けるとともに、当該研究開発内の効率的な推進に留まらず、関連した研究開発テーマ間や関連産業界との「研究成果に関する情報交換や研究協力等」が可能な体制を図るために、連絡会を設置し、お互いの効率的な確認・摺り合わせを促進させた(適時、年複数回開催)。

水素社会構築共通基盤整備事業 推進助言委員会 委員名簿

氏 名		所属・役職
委員長	渡辺 政廣	山梨大学 教授
委員	飯田 訓正	慶應義塾大学 教授
〃	太田 健一郎	横浜国立大学 教授
〃	河津 成之	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 会長
〃	池田 紳一	燃料電池実用化推進協議会 市場化等環境整備企画 WG 基準・制度 SWG 主査
〃	清水 健一	(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 特別研究員
〃	中上 英俊	(株)住環境計画研究所 代表取締役社長
〃	平野 敏右	千葉科学大学 学長
〃	山地 憲治	東京大学 教授

## 2. 5. 2 委託先が運営する委員会

### 2. 5. 2. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

「FCV 基盤整備委員会」で本事業の実施計画、研究成果を審議し、①水素・燃料電池自動車の安全性評価、②燃料電池性能評価法の標準化において取得される試験データの解析と審議を解析・技術部門の各 WG（安全 WG、高圧容器技術 WG、燃料性状 WG、性能 WG）で行った。また③基準・標準化活動として国際標準を提案するため FCV 特別分科会を設置し、各標準化 WG（用語標準化 WG、安全標準化 WG、高圧水素標準化 WG、燃料標準化 WG、性能標準化 WG）において活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国際会議への対応を行った。

委員リストを以下に示す。

FCV 基盤整備委員会

役職	氏名	所属
委員長	長谷川 弘	(独)産業技術総合研究所 固体高分子形燃料電池先端基盤研究センター (平成 21 年 4 月 1 日退任)
〃	渡辺 正五	(財)水素エネルギー製品研究試験センター (平成 21 年 4 月 1 日長谷川委員長から交代)
委員	飯田 訓正	慶応義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科
〃	横川 清志	(独)産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門
〃	河津 成之	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会長 トヨタ自動車(株)FC開発センター
〃	竹花 立美	高圧ガス保安協会 高圧ガス保安研究室
〃	藤本 佳夫	FCV特別分科会長・性能標準化WG主査 トヨタ自動車(株)FC技術部
〃	佐藤 研二	安全WG主査 東邦大学 理学部生命圏環境科学科
〃	吉川 暢宏	高圧容器技術WG主査 東京大学 生産技術研究所 機械系信頼性工学
〃	高木 靖雄	燃料性状WG主査 武蔵工業大学 工学部環境エネルギー工学科 (平成 21 年 6 月 東京都市大学に大学名称変更)
〃	佐々木 正史	性能WG主査 北見工業大学 工学部機械システム工学科
〃	清水 健一	用語標準化WG主査 (独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
〃	鈴木 健三	安全標準化WG主査 本田技研工業(株)経営企画部 (平成 18 年 2 月 退任)
〃	佐藤 淳一	安全標準化WG主査 本田技研工業(株) (平成 18 年 鈴木委員から交代)
〃	山梨 文徳	高圧水素標準化WG主査 日産自動車(株)FCV開発部 (平成 19 年 4 月 増員)
〃	田村 浩明	燃料標準化WG主査 日産自動車(株)FCV開発部 (平成 19 年 4 月 退任)
〃	中田 圭一	燃料標準化WG主査 (平成 19 年 4 月 田村委員から交代)
〃	佐藤 桂樹	性能標準化WG主査 トヨタ自動車(株)FC技術部 (平成 18 年 1 月 退任)

安全 WG

役職	氏名	所属
主査	佐藤 研二	東邦大学 理学部生命圏環境科学科
委員	土橋 律	東京大学大学院 工学系研究科化学システム工学専攻
〃	荒居 善雄	埼玉大学 工学部機械工学科
〃	関根 道昭	(独)交通安全環境研究所 自動車安全研究領域 (平成 17 年 8 月 増員・平成 21 年 8 月 退任)
〃	松村 英樹	(独)交通安全環境研究所 自動車安全研究領域 (平成 21 年 8 月 関根委員から交代)
〃	鶴田 俊	(独)消防研究所 基盤研究部特殊火災研究グループ
〃	佐藤 淳一	(社)日本自動車工業会燃料電池自動車分科会 (株)本田技術研究所 (平成 17 年 8 月 増員)
〃	里川 重夫	(社)日本ガス協会 (平成 21 年 4 月 退任)
〃	石倉 威文	(社)日本ガス協会 (平成 21 年 4 月 里川委員から交代)

高圧容器技術 WG

役職	氏名	所属
主査	吉川 暢宏	東京大学 生産技術研究所機械系信頼性工学
委員	川原 正言	首都大学東京 産学公連携センター産学公連携部門
〃	菅野 幹宏	東京大学 工学系研究科 マテリアル工学専攻
〃	村上 敬宣	九州大学大学院 工学研究院 機械科学部門 (平成 19 年 1 月 増員)
〃	横川 清志	(独)産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門 (平成 17 年 10 月 14 日 増員)
〃	松島 和男	(独)交通安全環境研究所 自動車安全研究領域
〃	田村 浩明	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 日産自動車(株) F C V 開発部
〃	竹花 立美	高圧ガス保安協会 高圧ガス保安研究室
〃	秋山 浩司	J F E コンテナ(株) G S E 事業部技術開発部
〃	大橋 浩一	日本高圧ガス容器バルブ工業会 (平成 19 年 1 月 退任)
〃	竹田 勝	日本高圧ガス容器バルブ工業会 (平成 19 年 1 月 大橋委員から交代)
〃	白根 義和	日本産業ガス協会 大陽日酸(株) 技術本部水素プロジェクト部
〃	萩原 直樹	テュフズードジャパン オートモーティブ部 (平成 17 年 8 月 増員・平成 19 年 12 月 退任)
〃	大須田 光宣	テュフズードジャパン オートモーティブ部 (平成 19 年 12 月 萩原委員から交代)
〃	後藤 邦彦	日東工器(株) カプラ企画グループ (平成 20 年 10 月 増員)

燃料性状 WG

役職	氏名	所属
主査	高木 靖雄	武蔵工業大学 工学部環境エネルギー工学科教授 (平成 21 年 6 月 東京都市大学に大学名称変更)
委員	田村 浩明	(社)日本自動車工業会燃料電池自動車分科会 日産自動車(株) F C V 開発部 (平成 19 年 8 月 退任)
〃	中田 圭一	トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 19 年 8 月 田村委員から交代)
〃	鹿田 敏博	(財)石油産業活性化センター 新燃料部水素利用推進室 (平成 19 年 7 月 退任)
〃	田上 博康	(財)石油産業活性化センター 新燃料部水素利用推進室 (平成 19 年 7 月 鹿田委員から交代・平成 21 年 12 月 1 日退任)
〃	北原 太美男	(財)石油産業活性化センター 新燃料部水素利用推進室 (平成 21 年 12 月 田上委員から交代)
〃	安田 勇	(社)日本ガス協会 東京ガス(株) R & D 本部水素ビジネスプロジェクトグループ (平成 18 年 5 月 退任)
〃	岸 英順	(社)日本ガス協会 (平成 18 年 5 月 安田委員から交代・平成 20 年 12 月 1 日 退任)
〃	田島 敦也	(社)日本ガス協会 (平成 20 年 12 月 岸委員から交代)

性能 WG

役職	氏名	所属
主査	佐々木 正史	北見工業大学 工学部機械システム工学科教授
委員	佐藤 桂樹	(社)日本自動車工業会燃料電池分科会 トヨタ自動車(株) F C 技術部 (平成 18 年 1 月 退任)
〃	横山 竜昭	トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 18 年 1 月 増員・平成 19 年 7 月 退任)
〃	中田 圭一	トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 19 年 7 月 横山委員から交代・平成 20 年 8 月 退任)
〃	飯山 明裕	燃料電池実用化推進協議会 日産自動車(株)総合研究所(平成 20 年 8 月 中田委員から交代)
〃	成澤 和幸	(独)交通安全環境研究所 環境研究領域 (平成 20 年 8 月 退任)
〃	中川 秀樹	旭硝子(株) 中央研究所 (平成 20 年 8 月 成澤委員から交代・平成 21 年 5 月 退任)
〃	木下 伸二	旭硝子(株) 中央研究所 (平成 21 年 5 月 中川委員から交代)
〃	高本 正樹	(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 (平成 20 年 8 月 退任)
〃	多田 智之	田中貴金属工業(株) 化学系開発技術部 (平成 20 年 8 月 高本委員から交代)
〃	福島 清司	(社)日本電機工業会 (平成 20 年 4 月 退任)
〃	清水 正文	(社)日本電機工業会 (平成 20 年 4 月 福島委員から交代・平成 20 年 8 月 退任)
〃	加藤 博	ジャパンゴアテックス(株) 執行役員 (平成 20 年 8 月 増員)

FCV 特別分科会

役職	名前	所属
分科会長	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) FC技術部
副分科会長	鈴木 健三	安全標準化WG主査 本田技研工業(株) (平成18年2月 退任)
〃	佐藤 淳一	安全標準化WG主査 本田技研工業(株) (平成18年2月 鈴木副委員長から交代)
委員	高木 真人	経済産業省 産業技術環境局 産業基盤標準化推進室 (平成20年4月 退任)
〃	鈴木 歩誠	経済産業省 産業技術環境局 産業基盤標準化推進室 (平成20年4月 高木委員から交代)
〃	石谷 久	慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科石谷研究室教授 新エネルギー導入促進協議会 代表理事 (平成21年4月 より)
〃	高木 靖雄	燃料性状WG主査 武蔵工業大学 工学部環境エネルギー工学科 (平成21年6月 東京都市大学に大学名称変更)
〃	宮崎 義憲	(独)産業技術総合研究所 関西センター ユビキタスエネルギー研究部門
〃	清水 健一	用語標準化WG主査 (独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
〃	田村 浩明	燃料標準化WG主査 日産自動車(株) FCV開発部 (平成20年10月 退任)
〃	中田 圭一	自動車工業会燃料電池自動車分科会 (平成19年7月 増員)
〃	山梨 文徳	高圧水素標準化WG主査 (平成19年4月 増員)
〃	佐藤 桂樹	性能標準化WG主査 (平成18年1月 退任)
〃	石山 日出夫	(株)いすゞ中央研究所 車両研究第1部 (平成19年4月退任)
〃	太田 徹	スズキ(株) 次世代パワートレイン開発部
〃	宮崎 俊一	ダイハツ工業(株) E・HV開発部
〃	高木 秀明	富士重工業(株) スバル技術研究所
〃	若山 敬平	マツダ株式会社 技術研究所
〃	吉名 隆	三菱自動車工業(株) 経営戦略本部 (平成21年4月 退任)
〃	藤野 利明	三菱自動車工業(株) CSR 推進本部 環境技術部 (平成21年4月 吉名委員から交代)
〃	萩原 明房	東京電力(株) 技術開発研究所 分散電源技術グループ (平成20年7月 退任)

〃	滝澤 孝一	東京電力(株) 技術開発研究所 燃料電池技術グループ (平成 20 年 7 月 萩原委員から交代・平成 21 年 7 月 1 日退任)
〃	伊藤 響	東京電力(株) 技術開発研究所 商品開発第 3 グループ (平成 21 年 7 月 滝澤委員から交代)
〃	光田 憲朗	三菱電機(株) 先端技術総合研究所マテリアル技術部主席技師長
〃	堀田 直人	(株)デンソー 開発部特定開発室長
〃	内田 誠	松下電器産業(株) 暮らし環境開発センター FC 事業開発室 (平成 20 年 4 月 退任)
〃	安本 栄一	松下電器産業(株) 暮らし環境開発センター FC 事業開発室 (平成 20 年 4 月 内田委員から交代)
〃	尾崎 義幸	松下電池工業(株) 技術開発センター技術開発第二グループ主事 (平成 20 年 10 月 退任)
〃	暖水 慶孝	パナソニック(株)エナジー社 エナジーソリューションビジネスユニット (平成 20 年 10 月 尾崎委員から交代)
〃	羽田野 匡	フォードジャパンリミテッド F A P 広島オフィス
〃	ジョージ ハンセン	ゼネラルモーターズ・アジア・パシフィック・ジャパン(株) 燃料電池事業部
〃	多田 智之	田中貴金属工業(株) 化学系開発技術部 (平成 21 年 3 月 退任)
〃	小椋 文昭	田中貴金属工業(株) 化学系開発技術部 (平成 21 年 3 月 多田委員から交代)
〃	中川 秀樹	旭硝子(株) 中央研究所 (平成 21 年 10 月 退任)
〃	木下 伸二	旭硝子(株) 中央研究所主幹研究員 (平成 21 年 10 月 中川委員から交代)
〃	宮下 修	財団法人エンジニアリング振興協会 技術部水素プロジェクト室
〃	福島 清司	(社)日本電機工業会 (平成 20 年 4 月 退任)
〃	清水 正文	(社)日本電機工業会 (平成 20 年 4 月 福島委員から交代)
〃	石丸 尋士	(社)自動車技術会

用語標準化 WG

役職	名前	所属
主査	清水 健一	(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
委員	高木 秀明	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 富士重工業(株) スバル技術研究所担当部長
〃	太田 徹	スズキ(株) 次世代パワートレイン開発
〃	宮崎 俊一	ダイハツ工業(株) E・HV開発部
〃	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) FC技術部
〃	佐藤 桂樹	トヨタ自動車(株) FC技術部 (平成18年1月 退任)
〃	松木 務	トヨタ自動車(株) パワートレイン本部 HVユニット開発部
〃	柏木 直人	日産自動車(株) 総合研究所 第二技術研究所 (平成19年7月 退任)
〃	田中 孝一	日産自動車(株) 総合研究所 第二技術研究所 (平成19年7月 柏木委員から交代)
〃	植木 芳治	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター (平成17年10月 鈴木委員から交代)
〃	三田 義訓	(株)本田技術研究所 栃木研究所
〃	若山 敬平	マツダ(株) 技術研究所
〃	鈴木 健三	本田技研工業(株) 経営企画部 (平成17年8月 増員)
〃	武智 裕章	ヤマハ発動機(株) MC事業本部 技術統括部 EV開発部 (平成21年4月 増員・平成21年11月 退任)
〃	細井 幸治	ヤマハ発動機(株) 技術本部 研究開発統括部 システム技術研究部 (平成21年11月 武智委員から交代)

安全標準化 WG

役職	名前	所属
主査	鈴木 健三	本田技研工業(株) 企画部環境安全企画室技術主幹 (平成 18 年 2 月 退任)
(委員) 主査	佐藤 淳一	(社)日本自動車工業会燃料電池自動車分科会 (株)本田技術研究所 (平成 18 年 2 月 主査選任)
〃	宮崎 俊一	ダイハツ工業(株) E・HV開発部
〃	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) FC技術部
〃	佐藤 桂樹	トヨタ自動車(株) FC技術部 (平成 18 年 1 月 退任)
〃	横山 竜昭	トヨタ自動車(株) FC開発部
〃	田村 浩明	日産自動車(株) FC V開発部 (退任)
〃	栗原 信也	日産自動車(株) FC V開発部 (平成 20 年 11 月退任)
	篠原 幹弥	日産自動車(株) FC V開発部 (平成 20 年 11 月栗原委員から交代)
〃	山岸 泰彦	日産自動車(株) FC V開発部 (平成 17 年 8 月増員)
〃	植原 健二	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター
〃	木下 直樹	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター (平成 17 年 8 月増員)
〃	古川 信也	三菱自動車工業(株) 技術開発センター
〃	平形 修二	トヨタ自動車(株) FC開発部 (平成 18 年 5 月増員)

高圧水素標準化 WG

役職	名前	所属
主査	山梨 文徳	日産自動車(株) 燃料電池研究所 主任研究員
委員	宮崎 俊一	ダイハツ工業(株) E・HV 開発部
〃	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) FC 開発部
〃	山本 修	トヨタ自動車(株) FC 技術部
〃	植木 芳治	(株)本田技術研究所 四輪開発センター第1技術開発室
〃	宮川 一夫	(株)本田技術研究所 四輪開発センター第1技術開発室 (平成19年10月 退任)
〃	松田 和人	(株)本田技術研究所 四輪開発センター第1技術開発室 (平成19年10月 宮川委員から交代)
〃	田村 浩明	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 日産自動車(株) 燃料電池研究所 (平成20年10月 退任)
〃	榊田 明宏	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 日産自動車(株) 燃料電池研究所 (平成20年10月 田村委員から交代)
〃	田代 和義	トヨタ自動車(株) FC 技術部 (平成19年7月 増員・平成20年12月 退任)
〃	近藤 俊行	トヨタ自動車(株) FC 技術部 (平成20年12月 田代委員から交代)
〃	吉永 知文	日産自動車(株) FCV 開発部 (平成19年7月 増員・平成21年4月 退任)
〃	小田島 真人	日産自動車(株) 燃料電池研究所 (平成21年4月 吉永委員から交代)
〃	篠原 幹弥	日産自動車(株) 燃料電池研究所 (平成21年4月 増員)

充填プロトコルSWG名簿(平成21年1月新設)

役職	名前	所属
主査	山梨 文徳	日産自動車(株) 燃料電池研究所 主任研究員
委員	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) FC 開発部
〃	山本 修	トヨタ自動車(株) FC 技術部
〃	植木 芳治	(株)本田技術研究所 四輪開発センター第1技術開発室
〃	松田 和人	(株)本田技術研究所 四輪開発センター第1技術開発室
〃	近藤 俊行	トヨタ自動車(株) FC 技術部
〃	吉永 知文	日産自動車(株) FCV 開発部 (平成21年4月 退任)
〃	小田島 真人	日産自動車(株) 燃料電池研究所 (平成21年4月 吉永委員から交代)
〃	篠原 幹弥	日産自動車(株) 燃料電池研究所 (平成21年4月 増員)

燃料標準化 WG

役職	名前	所属
主査	田村 浩明	(社)日本自動車工業会燃料電池自動車分科会 日産自動車(株) F C V開発部車両開発グループ主担 (平成 19 年 4 月 高圧水素標準化 WG 主査に転出)
〃	中田 圭一	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 19 年 4 月増員)
委員	高木 靖雄	武蔵工業大学 工学部環境エネルギー工学科教授 (平成 21 年 6 月 12 日付 東京都市大学に大学名称変更)
〃	石山 日出夫	(株)いすゞ中央研究所 車両研究第 1 部 (平成 19 年 7 月 退任)
〃	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) F C 技術部
〃	山本 修	トヨタ自動車(株) F C 技術部機能設計室 (平成 19 年 4 月 高圧水素標準化 WG に転出)
〃	植木 芳治	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター (平成 19 年 4 月 高圧水素標準化 WG に転出)
〃	宮川 一夫	(株)本田技術研究所 栃木研究所 R3 研究ブロック (平成 17 年 8 月 1 日増員・平成 19 年 4 月 高圧水素標準化 WG に転出)
〃	泉谷 尚秀	トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 19 年 4 月 増員)
〃	柳澤 政成	日産自動車(株) 総合研究所 燃料電池研究所 (平成 19 年 4 月 増員)
〃	植原 健二	(株)本田技術研究所 四輪開発センター 第 1 技術開発室 (平成 19 年 4 月 増員)
〃	安田 勇	(社)日本ガス協会 技術開発部 燃料電池・水素プロジェクトグループ (平成 19 年 4 月 増員)

性能標準化 WG

役職	名前	所属
主査	佐藤 桂樹	(社)日本自動車工業会燃料電池自動車分科会 トヨタ自動車(株) F C 技術部 (平成 18 年 1 月 退任)
〃	藤本 佳夫	トヨタ自動車(株) F C 技術部 (平成 18 年 1 月 佐藤主査から交代)
委員	池ヶ谷 精二	(社)日本自動車工業会ハイブリッド自動車分科会 トヨタ自動車(株) 第 4 開発センターエンジン統括
〃	清水 健一	(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門
〃	佐々木 正一	トヨタ自動車(株) HV システム開発部主査
〃	東倉 伸介	日産自動車(株) 総合研究所第二技術研究所
〃	渡辺 謙三	富士重工業(株) 技術本部要素技術開発 P T 主査 (平成 18 年 1 月 退任)
〃	植原 健二	(株)本田技術研究所 和光基礎技術研究センター
〃	横山 竜昭	トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 18 年 1 月 増員・平成 19 年 7 月 退任)
〃	中田 圭一	(社)日本自動車工業会 燃料電池自動車分科会 トヨタ自動車(株) F C 開発部 (平成 19 年 7 月 横山委員から交代)
〃	泉谷 尚秀	トヨタ自動車(株) F C 開発本部 F C 開発部 (平成 19 年 7 月 増員)

## 2. 5. 2. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### (1) 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

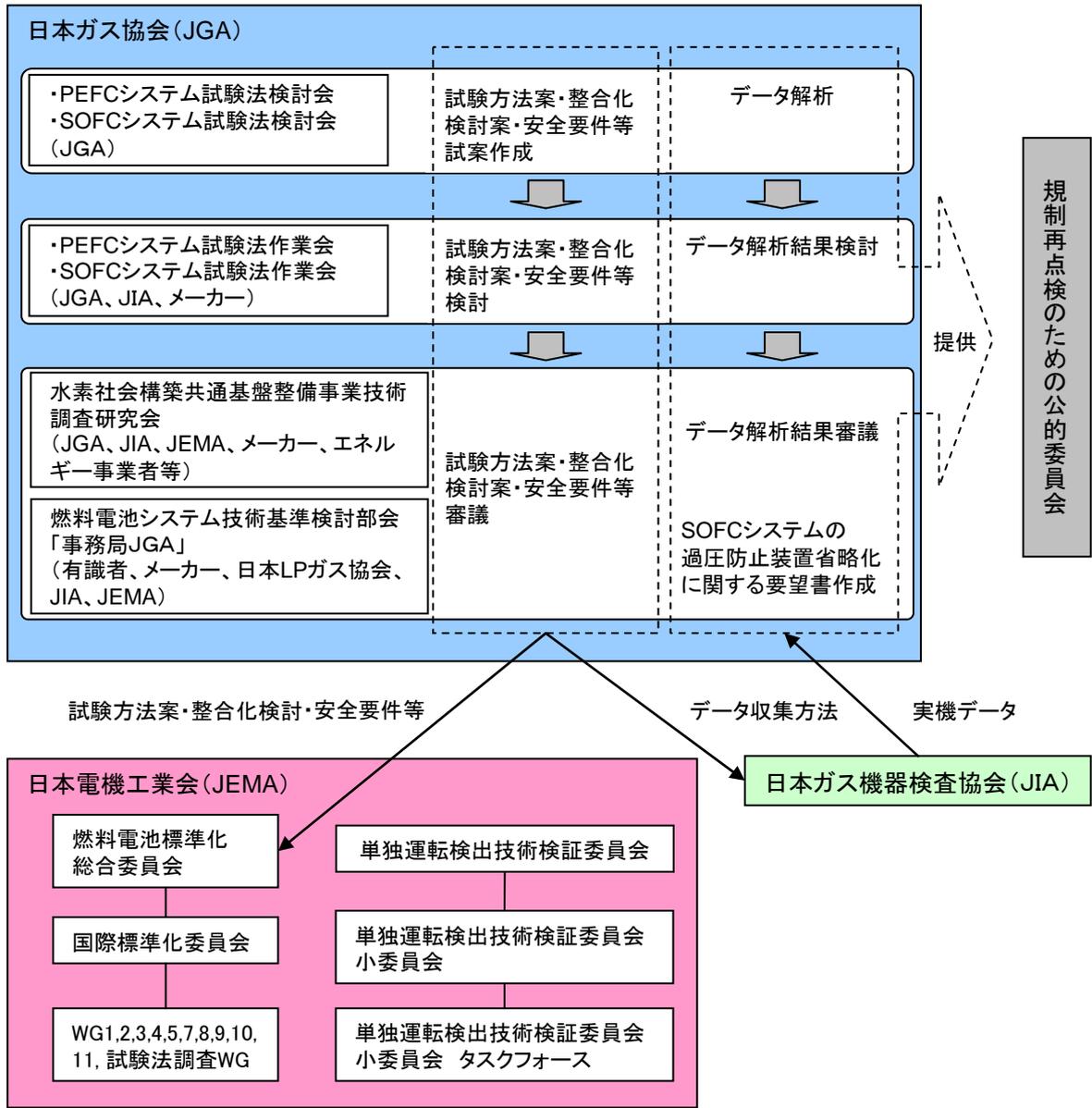
JGA は、本事業の全体計画策定、供試体調達、試験・評価方法の検討、安全・設置基準の検討等を行い、これらの検討に必要なシステム供試体のデータ収集に関しては、ガス消費機器に関する評価方法の検討、技術基準の作成、検査方法の確立に関する実績を持つ、JIA と共同で実施した。

試験方法の検討に当たっては、JGA 内に「PEFC システム試験法検討会議」、「SOFC システム試験法検討会議」、燃料電池メーカー10 社等を含む「PEFC システム試験法作業会」、「SOFC システム試験法作業会」及び燃料電池メーカー11 社、エネルギー事業者等を含む「水素社会構築共通基盤整備事業技術調査研究会」を組織し、データ収集方法の検討、収集データの解析、評価方法の検討・試験方法案作成を行った。さらに、SOFC システムの過圧防止装置省略化の要望検討に当たっては、有識者、燃料電池メーカー等を含む「燃料電池システム技術基準検討部会」を組織し、過圧防止装置省略に際して必要となる技術的安全要件の審議・検討及び日本電気技術規格委員会へ提出するための要望書作成を行った。

また、得られたデータについては規制再点検のための公的委員会に提供するとともに、作成した試験方法については JEMA にて国内外の標準化活動に活用した。JEMA には、燃料電池（自動車用、携帯用を除く）の国際標準化活動を実施するために燃料電池標準化総合委員会、実施案を審議・作成するための国際標準化委員会及び、その下に国際 WG に対応した国内 WG (WG1、WG2、WG3、WG4、WG5、WG7、WG11) と新規提案の準備を進める試験法調査 WG を設置した。平成 21 年度からは、携帯用燃料電池に関する国内 WG (WG8、WG9、WG10) も追加された。

さらに、単独運転検出技術の検証を行うため、単独運転検出技術検証委員会を設置し、その下に詳細検討を効率的に実施するための、単独運転検出技術検証委員会小委員会及び、単独運転検出技術検証委員会小委員会タスクフォースを設置した。

本事業で検討した試験及び評価方法や安全・設置基準等については、国内外の基準・標準作成に効率的かつ効果的に活用していくことが重要である。そこで、関連する行政や民間団体と密接に連絡をとり、各種委員会等にも積極的に参加し、本事業での基準・標準化に係る知見を提案した。



<事業の推進体制>

各研究会、委員会等委員構成

<水素社会構築共通基盤整備事業技術調査研究会>

主査	(社) 日本ガス協会
委員	(社) 日本電機工業会 石油連盟 日本 LP ガス協会 三洋電機 (株) 東芝燃料電池システム (株) トヨタ自動車 (株) 富士電機ホールディングス (株) パナソニック (株) 三井物産 (株) 京セラ (株) 住友精密工業 (株) TOTO (株) (株) ヒラカワガイダム 日本特殊陶業 (株) (財) 日本ガス機器検査協会 (財) 日本燃焼機器検査協会 東京ガス (株) (2名) 大阪ガス (株) (2名) 東邦ガス (株) (2名)

<PEFC システム試験法作業会>

主査	パナソニック (株)
委員	(株) ENEOSセルテック 東芝燃料電池システム (株) トヨタ自動車 (株) 富士電機ホールディングス (株) (財) 日本ガス機器検査協会 (社) 日本ガス協会 (4名)

<SOFC システム試験法作業会>

主査	京セラ (株)
委員	住友精密工業 (株) TOTO (株) (株) ヒラカワガイダム 日本特殊陶業 (株) (財) 日本ガス機器検査協会 (社) 日本ガス協会 (3名)

<燃料電池システム技術基準検討部会>

部会長	東北大学
副部会長	(財)電力中央研究所
委員	京セラ (株) 日本特殊陶業 (株) TOTO (株) 日本 LP ガス協会 (社) 日本電機工業会 (財) 日本ガス機器検査協会

<燃料電池標準化総合委員会>

委員長	燃料電池開発情報センター
副委員長	横浜国立大学
委員	燃料電池開発情報センター (独)産業技術総合研究所 (社)日本ガス協会 新日本石油(株) (財)電力中央研究所 電気事業連合会 (社)日本電気協会 (財)日本自動車研究所 (独)産業技術総合研究所 (財)電気安全環境研究所 (財)新エネルギー財団 東京ガス(株) (株)日立製作所 (財)エネルギー総合工学研究所 日本電信電話(株) (株)ENEOS セルテック (株)東芝 石油連盟 (出光興産 (株) ) (財) エンジニアリング振興協会 日本 LP ガス協会 (岩谷産業(株)) パナソニック 電工(株) 東洋鋼板株式会社

<国際標準化委員会>

委員長	燃料電池開発情報センター
委員	<p>横浜国立大学          東北大学          (独)産業技術総合研究所          パナソニック 電工(株)          東芝燃料電池システム(株)          富士電機ホールディングス (株)          トヨタ自動車(株)          (財)日本自動車研究所          (財)エネルギー総合工学研究所          燃料電池実用化推進協議会          日本 LP ガス協会 (三井丸紅液化ガス(株))          (社)日本ガス協会          (株)日立製作所          (株)東芝          新日本石油(株)          日本電気 (株)          パナソニック(株)          (財) エンジニアリング振興協会          (株)ENEOS セルテック          (株)日立製作所          消費科学連合会          (社)電子情報技術産業協会          (社)電池工業会          長岡技術科学大学          東洋鋼板株式会社</p>

<国際標準化委員会 WG1>WG1 用語と定義

主査	(独)産業技術総合研究所
委員	(財)電力中央研究所 東芝燃料電池システム(株) 三菱重工業(株) 三菱電機(株) 東京電機大学 (株)ENEOS セルテック (社)日本ガス協会 燃料電池開発情報センター

<国際標準化委員会 WG2>WG2 モジュール

委員	(独) 産業技術総合研究所 (社) 日本ガス協会 (財) エンジニアリング振興協会 パナソニック(株) (財)電力中央研究所 東芝燃料電池システム(株) 富士電機ホールディングス(株) (株)ENEOS セルテック (独) 産業技術総合研究所
----	---

<国際標準化委員会 WG3>WG3 定置用 安全要件

主査	東芝燃料電池システム(株)
委員	(社)日本ガス協会 三菱電機(株) 三菱重工業(株) パナソニック(株) 岩谷産業(株) 新日本石油(株) 燃料電池開発情報センター 富士電機システムズ (株) TOTO 株式会社

<国際標準化委員会 WG4>WG4 定置用 性能試験法

主査	富士電機ホールディングス (株)
委員	(株)ENEOS セルテック 東芝燃料電池システム(株) 東京ガス(株) (社)日本ガス協会 燃料電池開発情報センター 新日本石油(株) (財)日本燃焼機器検査協会 パナソニック 電工(株) (独) 産業技術総合研究所 TOTO 株式会社 パナソニック (株)

<国際標準化委員会 WG5>WG5 定置用 設置要件

主査	パナソニック(株)
委員	(社)日本ガス協会 電気事業連合会 東京ガス(株) 富士電機システムズ (株) 石油連盟 (出光興産(株)) 新日本石油(株) 燃料電池開発情報センター (財)日本燃焼機器検査協会 L P ガス協会 (アストモスエネルギー(株))

<国際標準化委員会 WG7>WG7 ポータブル

主査	パナソニック 電工(株)
委員	(株)栗本鉄工所 (社)日本ガス協会 燃料電池開発情報センター 東京貿易機械(株) ヤマハ発動機

<国際標準化委員会 WG8>WG8 マイクロ 安全

主査	日本電気(株)
委員	ソニー(株) (株)東芝 (株)日立製作所 日立マクセル (株) (株)日本製鋼所 パナソニック(株) NTTファシリティーズ総合研究所 シャープ(株) (株) 東海 東洋製罐 (株) 日本重化学工業 (株) セイコーインスツル (株) 栗田工業 (株) (社)電池工業会 (独)産業技術総合研究所 東洋鋼鋸株式会社

<国際標準化委員会 WG9>WG9 マイクロ 性能

主査	(株)日立製作所
副主査	シャープ(株)
委員	エフシー開発 (株) (株)東芝 日本電気(株) ソニー(株) (株)日立製作所 NTTファシリティーズ総合研究所 (株)日本製鋼所 東洋製罐 (株) (独)産業技術総合研究所 三菱電機(株) 東洋鋼鋸株式会社

<国際標準化委員会 WG10>WG10 マイクロ 互換性

主査	(株)東芝
副主査	パナソニック(株)
委員	(独)産業技術総合研究所 シャープ(株) 日本電気(株) (株)日立製作所 三洋電機(株) ソニー(株) (株) 東海 東洋製罐 (株) KDDI (株) NTTファシリティーズ総合研究所 (株)東芝 東洋鋼板株式会社

<国際標準化委員会 WG11>WG11 単セル試験法

主査	燃料電池開発情報センター
委員	(独) 産業技術総合研究所 (社) 日本ガス協会 (財)電力中央研究所 (社) 日本ファインセラミックス協会 (独) 産業技術総合研究所 (財) 日本自動車研究所 (独) 産業技術総合研究所 エフシー開発 (株) 旭硝子 (株)

<試験法調査 WG>試験法調査 WG

主査	東北大学
委員	京セラ(株) (独) 産業技術総合研究所 東京都市大学 京都大学 (財) 電力中央研究所 住友精密工業(株) 三菱重工業(株) (株)日立製作所 三菱マテリアル (株) 日本電信電話(株) (社) 日本ガス協会 (株) NTT ファシリティーズ TOTO 株式会社 東京ガス 東邦ガス

<単独運転検出技術検証委員会>

委員長	東京理科大学
委員	横浜国立大学 (財)電力中央研究所 電気事業連合会 (社)日本ガス協会 日本 LP ガス協会(新日本石油(株)) 石油連盟(出光興産(株)) (財)電気安全環境研究所 (財)日本ガス機器検査協会 (財)日本燃焼機器検査協会 (社)日本電機工業会((株)ENEOS セルテック)

< 単独運転検出技術検証委員会 小委員会 >

主査	横浜国立大学
委員	(財)電力中央研究所 東京電力(株) 中部電力(株) 関西電力(株) 東京ガス(株) 大阪ガス(株) 新日本石油(株) (財)電気安全環境研究所 (株)ENEOS セルテック 東芝燃料電池システム(株) (株)東芝 日本ガス機器検査協会

< 単独運転検出技術検証委員会 小委員会 タスクフォース (TF) >

主査	(財)電力中央研究所
委員	東京電力(株) 中部電力(株) 関西電力(株) 東京ガス(株) 大阪ガス(株) 新日本石油(株) (財)電気安全環境研究所 (株)ENEOS セルテック 東芝燃料電池システム(株) (株)東芝 日本ガス機器検査協会

## (2) マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

本事業においては、基本的に必要に応じて（社）日本電機工業会と連携をとって推進する体制を構築した。メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法については、事業内に「メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会」を設置し、外部有識者の協力および助言を得つつ推進した。

メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会

委員長	長岡技術科学大学
委員	(社) 日本電機工業会 (財) 日本自動車研究所 ヤマハ発動機 (株) 積水化学工業 (株) 三菱ガス化学 (株)

## 2. 5. 2. 3 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

#### ① 水素インフラに関する安全技術検討委員会

本事業のステアリング委員会であり、全体計画と結果の妥当性審議と承認を行う。

下表の委員に加え、経済産業省資源エネルギー庁燃料電池推進室、同原子力安全・保安院保安課、総務省消防庁危険物保安室、東京都環境局、NEDO、エン振協、石油連盟がオブザーバーとして参加した。

	氏名	所属	
委員長	田村 昌三	東京大学	
副委員長	小川 輝繁	(財)総合安全工学研究所	
	大塚 輝人	(独)労働安全衛生総合研究所	化学安全研究グループ
	山根 公高	東京都市大学 工学部	エネルギー化学科 兼 総合研究所 水素エネルギー研究センター
	横川 清志	(独)産業技術総合研究所	計測フロンティア研究部門
	杉本 秀夫	(社)日本ガス協会	天然ガス自動車プロジェクト部
	西野 正剛	大陽日酸㈱	開発・エンジニアリング本部 水素プロジェクト統括部
	河津 成之	(社)日本自動車工業会	燃料電池自動車分科会
	林 康郎	全国石油商業組合連合会	環境・安全対策グループ
	周布 兼定	コスモ石油株式会社	事業開発部
	上野 真	燃料電池実用化推進協議会	企画第1部
	安藤 憲雄	岩谷産業株式会社	環境保安部

### ②安全性評価専門委員会

(財)石油産業活性化センターが実施する安全性評価（リスク評価）に対して、その手法と結果の妥当性を審査した。下表の委員に加え、NEDO 担当者がオブザーバーとして参加した。

	氏名	所属	
委員長	薄 豊文	(株)ジャパンエナジー	精製部
	杉浦 澄	AMHEAラボ（前日本産業・医療ガス協会理事）	
	坂田 興	(財)エネルギー総合工学研究所	プロジェクト試験研究部
	三宅 淳巳	横浜国立大学	大学院 環境情報研究院
	石倉 威文	(社) 日本ガス協会	技術開発部燃料電池・水素プロジェクトグループ
	吉田 剛	出光興産(株)	新規事業推進室 FC事業グループ

### ③影響度評価 WG

三菱重工業(株)が実施する高圧水素の拡散・爆発・火災といった漏えい時の挙動に関する検討について審議を行った。下表の委員に加え、NEDO 担当がオブザーバーとして参加した。

	氏名	所属	
主査	内藤 正則	(財) エネルギー総合工学研究所 NUPEC(原子力工学センター)	
	和田 有司	(独)産業技術総合研究所	安全科学研究部門
	土橋 律	東京大学大学院	工学系研究科 化学システム工学専攻 (安全衛生管理室)
	松岡 美治	岩谷産業株式会社	水素エネルギー部

#### ④材料評価 WG

(株)日本製鋼所が実施する鋼製蓄圧器の対水素劣化特性の評価・検討に対し、審議を行った。下表の委員に加え、NEDO 担当者がオブザーバーとして参加した。

	氏名	所属	
主査	福山 誠司	(独) 産業技術総合研究所	
	東 茂樹	住友金属テクノロジー(株)	
	磯村 俊雄	高圧ガス保安協会	
	徳納 一成	(財)金属系材料研究開発センター	

#### ⑤蓄圧器製造・加工 WG

(株)日本製鋼所、住金機工(株)、高圧昭和ポンベ(株)で実施した蓄圧器の製造・加工技術検討に関して審議を行った。下表の委員に加え、NEDO 担当者がオブザーバーとして参加した。

	氏名	所属	
主査	岩本 隆志	(株)日本製鋼所	
	石垣 良次	(株)日本製鋼所	
	御厨 誠一郎	住金機工(株)	
	青柳 修二	高圧昭和ポンベ(株)	
	吉田 剛	出光興産株式会社	

⑥安全対策検討 WG

(社)日本産業・医療ガス協会が実施した水素スタンド構成機器の信頼性検討に関して審議を行った。下表の委員に加え、PEC 担当者が参加した。

	氏名	所属
主査	白根 義和	大陽日酸(株) 水素プロジェクト統括部長
	浦谷 明弘	エア・ウォーター(株) 水素ガス事業部 部長
	鯨井 寛司	東京ガスケミカル(株) 環境技術部 水素グループ グループ マネージャー
	児玉 孝徳	昭和電工(株) 化学品事業部門 川崎事業所 部長
	松岡 美治	岩谷産業(株) 水素エネルギー部 シニアマネージャー
	真鍋 岳史	日本エア・リキード(株) ジャパン・エア・ガシズ社 技術セ ンター 水素エネルギー技術グループ長

上記の各委員会の開催実績を下表に示す。

20年度 委員会	第1回	第2回	第3回	第4回
・水素インフラに関する安全技術検討委員会	9月17日	3月5日		
・材料評価WG	10月21日	12月17日	2月18日	
・蓄圧器製造・加工WG	8月6日	10月29日	12月10日	2月18日
・安全対策検討WG	9月25日	11月27日	3月11日	

21年度 委員会	第1回	第2回	第3回	第4回
・水素インフラに関する安全技術検討委員会	7月8日	12月10日	2月25日	
・安全性評価専門委員会	6月30日	10月23日	11月24日	2月16日
・影響度評価WG	6月18日	9月25日	12月17日	
・蓄圧器製造・加工連絡会	7月23日	10月29日	1月28日	
・安全対策検討WG	8月26日	12月2日	3月11日	

(2) 水素用材料基礎物性の研究 (代表委託先 (財)金属系材料研究開発センター)

学識経験者を委員長とする水素用材料開発委員会を設置した。対象材料を金属系と、非金属系にわけ研究開発を分担し、非金属系材料については、製造技術に立脚した検討が必要なため、炭素繊維メーカー及び学識経験者で、高圧ガス保安協会の下に研究委員会を設置した。

水素用材料の基礎物性に関する研究開発委員会およびWG会議における登録委員

氏名	所属・役職
柴田 浩司(委員長)	東京大学 名誉教授
菅野 幹宏(委員)	千葉工業大学 機械サイエンス学科 茂木研究室 専門研究員
野口 博司(委員)	九州大学 大学院 工学研究院 機械科学部門 教授 (平成19年度まで)
横川 清志(委員)	独立行政法人産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門 水素脆化評価研究グループ グループリーダー
緒形 俊夫(委員)	独立行政法人物質・材料研究機構 材料信頼性センター グループリーダー
工藤 赳夫(委員)	兵庫県立大学 大学院工学研究科 客員教授

水素用非金属材料の基礎物性に関する研究委員会における登録委員

氏名	所属・役職
吉川 暢宏(委員長)	東京大学 生産技術研究所 第1部 教授
福田 博(委員)	東京理科大学 基礎工学部 材料工学科 教授
川原 正言(委員)	元首都大学東京 客員教授 産学公連携コーディネーター
北野 彰彦(委員)	東レ株式会社 愛媛工場 複合材料研究所 所長
木場 久雄(委員)	三菱レイヨン株式会社 複合材料開発センター 複合材料G 主任研究員
前野 隆(委員)	豊田合成株式会社 開発部 部長
張 惟敦(委員)	株式会社IHI 技術開発本部 総合開発センター システムエンジニアリング部 部長

**(3) 水素用アルミ材料の基礎研究** (代表委託先 (社)日本アルミニウム協会)

代表委託者の社団法人日本アルミニウム協会に、「水素用アルミ材料の基礎研究推進委員会」およびその傘下に研究者で構成する「水素用アルミ材料の基礎研究調整ワーキンググループ」を設置し、研究体の円滑な事業展開を図った。

水素用アルミ材料の基礎研究推進委員会

氏名	所属・役職
菅野 幹宏	千葉工業大学 工学部機械サイエンス学科 専門研究員 (東京大学 名誉教授)
伊藤 吾朗	茨城大学 工学部 機械工学科 教授
大崎 修平	山口大学 大学院理工学研究科 教授 (特命)
奥田 浩司	京都大学 工学研究科 材料工学専攻 (協力講座)
堀川 敬太郎	大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 准教授
茂木 徹一	千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科 教授
堀内 省志	日本軽金属株式会社 技術・開発グループ 技術企画担当部長
杉下 幸男	株式会社神戸製鋼所 アルミ・銅カンパニー 技術部長
菅井 義裕	三菱アルミニウム株式会社 開発部 副主幹
熊谷 誠二	住友軽金属工業株式会社 技術部 担当部長
東海林 了	古河スカイ株式会社 技術部 主査
佐藤 昭一	昭和電工株式会社 アルミ事業企画部 主席
佐々木 侑髓	社団法人日本アルミニウム協会 理事
藪田 均	社団法人日本アルミニウム協会 部長

水素用アルミ材料の基礎研究調整ワーキンググループ

氏名	所属・役職
伊藤 吾朗	茨城大学 工学部 機械工学科 教授
大崎 修平	山口大学 大学院理工学研究科 教授（特命）
奥田 浩司	京都大学 工学研究科 材料工学専攻（協力講座）
堀川 敬太郎	大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 准教授
茂木 徹一	千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科 教授
趙 丕植	日本軽金属株式会社 グループ技術センター 主任研究員
中井 学	株式会社神戸製鋼所 技術部 基礎研究室 主任研究員
宇都 秀之	住友軽金属工業株式会社 研究開発センター 主任研究員
崔 祺	三菱アルミニウム株式会社 技術開発センター 副主任研究員
小山 克己	古河スカイ株式会社 技術研究所材料研究室 グループマネージャー
一谷 幸司	古河スカイ株式会社 技術研究所自動車材開発室 研究員
橋本 武典	昭和電工株式会社 加工技術開発センター 副主席研究員
藪田 均	社団法人日本アルミニウム協会 部長

#### (4) 水素基礎物性の研究 ((財)エネルギー総合工学研究所、三菱重工業(株))

「水素の有効利用ガイドブック」作成のため、編集方針、記載内容等を審議するための外部専門家による編集委員会や執筆内容の調整及び進捗管理するための編集WG及び編集幹事会を組織した。

##### a. 水素の有効利用ガイドブック編集委員会

学識経験者や産業界の代表から構成され、ガイドブックの目的、構成などガイドブック全体の精査・内容の承認、その他、ガイドブック作成に係る助言を行う。

水素の有効利用ガイドブック編集委員会名簿

	氏名	所属
委員長	平野 敏右	千葉科学大学
委員	松井 英憲	(社) 産業安全技術協会
	土橋 律	東京大学 工学部 化学システム工学科
	岩下 博信	岩谷瓦斯株式会社 技術部
	白根 義和	大陽日酸株式会社 技術本部水素プロジェクト統括部
	角館 洋三	(独)産業技術総合研究所 爆発安全研究センター 高エネルギー研究チーム
	永浜 洋	(財) 金属系材料研究開発センター
	横川 清志	(独)産業技術総合研究所 水素材料先端科学研究センター
	竹花 立美	高圧ガス保安協会 高圧ガス保安研究室
	西田 亮一	(社) 日本ガス協会 技術開発部
	三橋 弘忠	(財) 石油活性化センター 新燃料部 水素利用推進室
	渡辺 正五	(財) 日本自動車研究所 FC・EVセンター

##### b. 水素の有効利用ガイドブック編集WG(ワーキング)

委員会のコメントを受け、収録内容の範囲および執筆規定などの詳細な検討を行う。学識経験者や産業界の代表から構成される。

水素の有効利用ガイドブック編集WG名簿

	氏名	所属
主査	竹花 立美	高圧ガス保安協会 高圧ガス保安研究室
委員	椎名 拓海	(独) 産業技術総合研究所 爆発安全研究コア 気相爆発研究コア
	千歳 敬子	三菱重工業株式会社 原子力事業本部 原子力技術センター 原子炉安全技術部 安全審査統括グループ
	藤井 秀樹	新日本製鐵株式会社 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部

c. 水素の有効利用ガイドブック編集幹事会

章毎の編集幹事が章内の技術的内容の調整（項目の重複、抜けやもれの確認）を行う。  
ここでのコメントは、事務局にて集約し、各執筆担当者へ連絡される。水

水素の有効利用ガイドブック編集幹事会名簿

	氏名	所属
主査	平野 敏右	千葉科学大学
委員	椎名 拓海	(独)産業技術総合研究所 爆発安全研究コア 気相爆発研究チーム
	白根 義和	大陽日酸株式会社 技術本部 水素プロジェクト統括部
	武野 計二	三菱重工業株式会社 高砂研究所
	竹花 立美	高压ガス保安協会 高压ガス保安研究室
	永浜 洋	(財) 金属系材料研究開発センター
	松井 英憲	(社) 産業安全技術協会

(5) 水素安全利用技術の基盤研究

特になし。

## 2. 5. 3 委員会の開催実績

前記した本事業における委員会等の開催実績を以下に示す。

研究開発項目	研究開発テーマ	委託先	プロジェクト/委員会/有無	開催回数						
燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	水素燃料電池自動車の基準・標準化に係る研究開発	財団法人日本自動車研究所	FCV基盤整備委員会 (プロジェクト全体統括) FCV特別分科会(標準化WG統括) 標準化WG(5WG, 1SWG) 技術・解析WG(4WG)	2回/年  2回/年 各WG 10回/年 各WG 4回/年						
			<table border="1"> <tr> <td>社団法人日本ガス協会</td> <td rowspan="3">システム試験法作業会 技術調査研究会 燃料電池標準化総合委員会 燃料電池国際標準化委員会 燃料電池国際標準化委員会WG 単独運転検出技術検証委員会 単独運転検出技術検証小委員会</td> <td>16回</td> </tr> <tr> <td>財団法人日本ガス機器検査協会</td> <td>3回</td> </tr> <tr> <td>社団法人日本電機工業会</td> <td>7回</td> </tr> <tr> <td>29回</td> <td>3回</td> <td>2回</td> </tr> </table>	社団法人日本ガス協会	システム試験法作業会 技術調査研究会 燃料電池標準化総合委員会 燃料電池国際標準化委員会 燃料電池国際標準化委員会WG 単独運転検出技術検証委員会 単独運転検出技術検証小委員会	16回	財団法人日本ガス機器検査協会	3回	社団法人日本電機工業会	7回
社団法人日本ガス協会	システム試験法作業会 技術調査研究会 燃料電池標準化総合委員会 燃料電池国際標準化委員会 燃料電池国際標準化委員会WG 単独運転検出技術検証委員会 単独運転検出技術検証小委員会	16回								
財団法人日本ガス機器検査協会		3回								
社団法人日本電機工業会		7回								
29回	3回	2回								
水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	水素インフラに関する安全技術研究	財団法人石油産業活性化センター	委員会 安全委員会 評価WG	4回 7回 13回						
		三菱重工業株式会社								
		株式会社日本製鋼所								
		岩谷産業株式会社								
		日本産業ガス協会								
		株式会社タツノ・メカトロニクス								
		住友機工株式会社								
	高圧昭和ポンベ株式会社									
	水素用材料基礎物性の研究	財団法人金属系材料研究開発センター	委員会 WG その他ミーティング	2回/年 4回/年 4~5回/年						
		愛知製鋼株式会社								
		新日本製鐵株式会社								
		住友金属工業株式会社								
		高圧ガス保安協会								
水素用アルミ材料の基礎研究	社団法人日本アルミニウム協会	委員会 WG	1回/年 7回/年							
	住友軽金属工業株式会社									
	三菱アルミニウム株式会社									
	古河スカイ株式会社									
	日本軽金属株式会社									
	株式会社神戸製鋼所									
	昭和電工株式会社									
水素基礎物性の研究	財団法人エネルギー総合工学研究所	水素の有効利用ガイドブック 1. 編集委員会 2. 編集WG 3. 編集幹事会	2回/年 2回/年 3回/年							
	三菱重工業株式会社									
水素安全利用技術の基盤研究	独立行政法人産業技術総合研究所	その他 研究連絡会 基盤研究検討会 基盤研究講演会	2回/年 12回/年 1回/年							

### 3. 情勢変化への対応

- (1) 平成 20 年度に燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)が発表した燃料電池自動車普及シナリオに基づき、NEDO の実施する燃料電池システム等実証研究事業とも連携し、普及に向けた規制見直し課題の抽出を実施した。
- (2) 燃料電池自動車の普及に向けた日本自動車工業会や燃料電池実用化推進協議会等々 からの追加検討要望を受け、燃料電池自動車や水素スタンドの例示基準向け安全検証や材料候補探索の強化をおよび同評価方法の開発を実施した。
- (3) 「I.2 事業の背景・目的・位置づけ」において述べた FCV・水素インフラの国際動向を調査し、国毎の規制・基準の違いを明らかにすると共に、例えば水素供給圧力の高压化(35MPa→70MPa)といった大きな国際動向の変化に係る研究開発への対応を実施した。

#### 3. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

燃料電池自動車用 70MPa 級高压水素容器の安全性検討の一環として、高压水素標準化 WG の下に充填プロトコル SWG を設置し、水素充填時の充填プロトコルの国際標準 SAE J2601 をはじめとする燃料電池自動車と水素ステーションの共通領域・インターフェイスの国際標準化に資する係る研究開発を推進した。

また財団法人エンジニアリング振興協会への再委託により ISO/TC197(水素技術)の国際標準化の研究を実施した。

また 2008 年より、国連における UN-ECE/WP29/AC3 gtr (世界統一基準) 化活動の第 1 フェーズが開始され、自工会等の業界と連携して gtr 策定・見直しに向けた車両および水素安全に関するデータ取得を推進した。

#### 3. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

##### (1) 「定置用燃料電池システムに関する規制再点検及び標準化のための研究開発」

- ① 10kW 未満の定置用固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 向け規制再点検対応では、現在進行中の大規模実証研究を睨み、機器共通の安全性評価試験方法開発を加速すると共に、安全性検証データを補強した。
- ② 定置用燃料電池システムの既存電力供給系統への導入に関し、燃料電池実用化推進協議会からの要請を受け、複数台連系時の相互干渉対策 (インバーター方式) を追加検証することとした。(H17 年度)
- ③ 現在は戸建て住宅への設置が中心となっている固体高分子形、固体酸化物形、純水素駆動型の小規模定置用燃料電池システムについて、将来のマンションなど集合住宅への設置を見据えた小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に関する調査・机上検討を追加することとした。(H19 年度)
- ④ 単独運転検出技術の検証において、実証試験結果とシミュレーション解析の間に若干の差

異が生じており、「単独運転検出技術検証委員会」の審議の中で、負荷の電圧に対する非線形特性が影響していると推定され、この影響について解析する必要が生じたため、負荷の非線形特性の影響についてのシミュレーション解析を追加実施することとした。(H20年度)

⑤ 固体高分子形燃料電池については、本事業にて取得したデータを活用し、過圧防止装置の省略化が実現されたが、その当時、固体酸化物形燃料電池は一般用電気工作物に指定されておらず、過圧防止装置省略化の審議対象外であった。その後、平成19年9月に固体酸化物形燃料電池も一般用電気工作物に指定され、固体酸化物形燃料電池メーカー等より過圧防止装置の省略化要望が出されるようになってきたことなどを受け、過圧防止装置省略化の実現に向け、固体高分子形燃料電池と同様に、過圧防止装置省略における安全性に関するデータ収集を実施することとした。(H21年度)

## (2) 「マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

マイクロ燃料電池システムについては、別の NEDO 事業「新利用形態燃料電池標準化等技術開発」の1テーマとして、性能特性向上のための技術開発と標準化研究開発を平成21年度まで実施することが計画されていたが、1年前倒しで平成20年度に終了することになった。しかし、マイクロ燃料電池の標準化研究開発については、コストを下げる手段としての標準化を従来よりも推し進めていく必要があること、過剰な安全を求めている規制について安全性を担保しながら規制緩和を進めることにより、過剰品質によるコストアップを抑える必要があることから、平成21年度は本事業に組み入れて実施することとした。

なお、平成21年3月時点において、マイクロ燃料電池に関する国際規格では、性能についての第1版 IEC62282-6-200 が平成19年に発行されていたが、安全と互換性については、それぞれ CDV、FDIS の発行された段階であった。安全については、CDV が平成19年5月に発行されたものの、FDIS 発行を控え、ローカルイフェクトの課題に取り組む必要があり、今後見込まれる改定作業に向けて指針を得るため、平成21年度事業のメタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法を実施した。互換性については、平成21年度に FDIS に対する投票が行われ国際規格の成立の可否が問われる状況下で、燃料試験方法を含む燃料品質基準案の検証が課題として残されており、その検討のため、平成21年度事業のメタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法を実施した。

### 3. 3 「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- ① 第2期水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC)にて計画されている70MPa級水素供給インフラの検討にも反映させるために、安全確認検証(例70MPa級車載高圧水素容器 検証、実証終了プロジェクトから得た水素曝露機器の解体調査等)、70MPa級蓄圧器材料等物性補強データ取得等を実施した。
- ② 水素インフラの安全性検証データ取得に関わる3つのテーマ「水素インフラに関する安全技術研究」、「水素基礎物性の研究」、「水素安全利用技術の基盤研究」について、「水素基礎物性の研究」、「水素安全利用技術の基盤研究」を平成19年度で終了し、「水素インフラに関する安全技術研究」のみとした。
- ③ 水素の有効利用ガイドブックを作成・配布し、関係者間及び事業間の情報交流を進めた。

#### 4. 中間評価結果への対応

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義なら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平成 20 年度に、事後評価を平成 22 年度に実施する計画であったが、平成 19 年度の上期に前倒しにして中間評価を実施し、同評価結果や評価時のコメント等を平成 20 年度以降の本事業の推進・研究開発に反映させた。

総合評価：

水素社会実現に向け、産学官の連携体制で規制見直し、安全性確保、国際標準化を同時に目指している本事業はきわめて重要である。日本は産業戦略上、技術開発のみならず国際標準化においてもリーダーシップを発揮していくことが重要であり、本事業の位置付け及び成果は高く評価できる。また、研究開発成果は中間目標を概ねクリアしており、安全性検証、その裏付けデータ取得、新たな評価手法の確立および適用材料候補の新規探索に関しては世界をリードするような優れた成果も得られている。加えて、各開発テーマの実施者も高い意欲を持って取り組んでおり評価できる。しかし、【1】開発テーマ間あるいはサブテーマ間の横断的な連携体制を強化することにより、省力化、低コスト化、さらには迅速なデータ収集に繋げることが望まれる。また、【2】一部には類似した取り組みが見られるため、相互の情報共有をより活発にし、より効果的な事業展開が必要である。今後も、【3】規制再点検、コストダウンに偏ることなく、安全確保という大きな目標を常に持ち続けることが、本事業の成果を国際標準化に結びつけるためにも不可欠である。

	肯定的な指摘点	問題点・改善すべき指摘点	対処方針	計画等への反映
今後に対する提言	<p>本事業は水素エネルギー社会の構築に向けた基盤的な事業であり、成果も着実に上がっていることから、今後も本事業を力強く進めるべきである。</p> <p>将来、一般社会の中で水素エネルギーが大規模に利用されることを想定すると、<b>【4】水素インフラ</b>としては、水素スタンドだけでなく、水素の製造、輸送、貯蔵も含まれることになる。これらの水素供給インフラ全体を見据えた安全検証、データ取得及びこれを用いた基準化・標準化活動のあり方について、NEDOの他事業と相互の情報共有をより活発化させて欲しい。</p> <p>本事業は、国費を投入する必然性もあり、国際的にも広く告知しているので、<b>【5】事故情報等があったとしても工学的に管理を行い、社会的に受容されるように努力すべきである。</b>単に技術の長所のみを強調するよりは、<b>【6】限界のある技術をどのように社会の中で生かすか、問題点も含めて国際的に広報するほうが良いと考える。</b></p>		<p><b>【4】</b> 当該プロジェクトと関連の深い水素先端科学基礎研究等のプロジェクトに関しては、それぞれのプロジェクト推進委員会に他プロジェクトの委託先の出席を求めることにより、情報共有を円滑化する。</p> <p><b>【5】及び【6】</b> 技術情報の管理に留意しつつ、社会受容性及び国際的な情報交換について、推進委員会等を活用して、具体的な取組に関して有識者意見を聴取する。また、IEAの水素実施協定等の多国間協力の場を生かして、技術情報の交流に関して意見を交換する。</p>	<p>必要に応じて実施計画書に反映。</p> <p>NEDOのプロジェクトマネジメントに反映。</p>
事業の位置付け・必要性	<p>本事業は、燃料電池自動車、定置用燃料電池システム及び水素インフラ等の実用化研究を促進するために国内の規制見直しや国際標準化などを目指しているものであり、NEDO 事業として相応しい。国際市場における日本企業の産業競争力を高めるためにも本事業の妥当性は十分であり、また、日本のエネルギー需給状況、地球温暖化防止に向けた施策としても現在の事業内容は十分に評価される。</p> <p>技術基準や標準の策定に当たっては客観性、透明性が求められ、安全に係わるデータは公共財としての蓄積、活用が望まれることから、国並びにNEDO の関与が必要である。また、水素は次世代クリーンエネルギーの一つとして着目されているが、爆発性の高いガスであり、これまで一般社会の中で取り扱われた経験が少ないため、公共の安全を確保しながら規制緩和に向けた標準化を効率良く行うには、国家プロジェクトとして取り上げる必要がある。特に、国際標準への提案はNEDO の事業とすることが効率的である。</p>	特になし		

<p><b>研究開発 マネジメント</b></p>	<p>水素利用技術の規制緩和に向けた安全性検証とそれに不可欠な裏付けデータの取得および試験・評価法の確立という本事業の大目標は、燃料電池自動車、定置用燃料電池システムおよび水素供給インフラの普及促進に適合している。また、それぞれの開発テーマにおいて有力な団体・企業が参加しており、実用化に向けた取り組みがなされている。さらに、各開発テーマには産官学の専門家から構成される多くの分科会やWGが設置されて活動している。</p>	<p><b>【7】</b> 横断的な連携体制を強化して省力化、低コスト化、さらには迅速なデータ収集に繋げ、また、開発テーマ間や他のプロジェクトとの間の情報共有をより活発にすることが望まれる。<b>【8】</b> 安全に係わる開発テーマの目標設定については、「いつまでに」「どこまで」実施すべきかを客観的、定量的に示すことが望まれる。</p>	<p><b>【7】</b> 開発テーマを複数の企業等において実施している場合においては、当該テーマに係る委員会等において、一層の情報交換を進める。また、当該プロジェクト全体に係る推進委員会において、一層、情報交換・意見交換を進める。なお、特に関連の深いテーマ間については、NEDO が実施者間の意見交換の場を別途設けるものとする。</p> <p><b>【8】</b> 推進委員会において議論し、必要に応じて、一層の具体化を図る。</p>	<p>実施計画に反映</p>
<p><b>研究開発 成果</b></p>	<p>水素利用の安全・信頼性に係わる大切なデータが蓄積されていると共に、試験・評価法の提案と適用材料候補の探索も進んでおり、研究成果は中間目標を概ねクリアしていると評価される。得られた研究開発成果には世界最高レベルの優れた技術や知見も含まれており、学術的にも極めて重要なものであるといえる。国際標準化に関しては、日本の提案が採択される成果が幾つか出ており、今後も世界をリードすることが十分に期待できる。</p>	<p><b>【9】</b> 成果の受け取り手が明確になっていない例や、成果を適切に普及する状況になっていない例が散見される。成果がより多くの受け取り手に適切かつ十分に伝わるよう、論文発表、プレス発表、成果報告会などを通してさらに精力的な一般向けの情報発信を行っていく必要がある。常に国民にやさしくPRすることを心がけるべきである。特に、国際標準として提案するデータ等については、<b>【10】</b> 国際標準化作業で日本がリーダーシップを取れるように迅速に発表することが望ましい。</p>	<p><b>【9】</b> 技術情報の取扱に留意しつつ、論文発表及びプレス発表の活発化を委託先に懇諭するとともに、NEDO も成果報告会及びホームページ等による広報を引き続き進める。</p> <p><b>【10】</b> 我が国の産業競争力強化の観点から、国際標準活動を引き続き推進する。</p>	<p>実施計画に反映。</p>
<p><b>実用化の 見通し</b></p>	<p>水素の安全利用に欠かすことの出来ない基盤整備の見通しが示されており、開発テーマごとにはばらつきはあるものの、概ね国際標準化への道筋も示されている。また、JIS化など国内の基盤的波及効果についても配慮がなされており、天然ガス自動車やロケット等の他分野への波及効果も考えられる。さらに、本事業の成果がハンドブックやデータベースとしてまとめられることは特筆に値する。</p>			

## 5. 評価に関する事項

本事業に対し、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について評価を行うと共に、研究開発項目毎に、進捗及び成果達成状況、実用化の見通し等の中間評価を行い、今後の研究開発計画・実用化見通しに反映させることとした。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

##### 1. 1 「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」の成果概要

###### (1) 水素・燃料電池自動車の安全性評価

燃料電池自動車は国内市場のみではなく世界が市場であるため、圧縮水素を燃料とする燃料電池自動車の安全基準を定める道路運送車両法のみならず国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN-ECE/WP29）での世界統一基準（gtr：global technical regulation）を適正なものとして成立させなければならない。

そこで、特に重要となる水素貯蔵容器に関する安全性について検討した。圧縮水素容器や液体水素容器の安全性評価試験として各種の容器強度試験、火炎暴露試験等の安全性評価試験を行い、安全性向上に資するデータを取得すると共に、単一物差しで比較・評価が可能となる試験・評価手法を検討した。また、バルブ、センサ等要素部品についても安全性や信頼性を評価するための各種検証試験を行い、確認データを取得すると共に、評価手法を検討した。

具体的には、70MPa 自動車用圧縮水素容器の新基準策定に資するデータを取得するため、上・下限圧力、圧力媒体、加圧速度をパラメータとした液圧サイクル試験、極端温度環境下での液圧および水素ガスサイクル試験、水素ガス充填・消費試験、ガス透過試験およびシリーズ試験（使用環境負荷試験）を行い、Step1（容器の70MPa化と耐久性の適正化など）の策定に貢献するとともに、国内水素ステーションにおける充填手順の策定に貢献した。一方、車両の安全（UN-ECE/WP29 AC3 HFCV gtr など）関連では、容器の局所火炎暴露試験策定に資するデータを取得するとともに、水素漏洩引火試験による漏れ許容量の妥当性検証に貢献した。また、複数車両での火炎試験を実施し、より安全な水素放出系統の検討に資するとともに、水素・燃料電池自動車の安全な消火救助活動を行う上で必要なデータを取得するため、水素火炎の消炎性調査、消火放水時の容器強度状況、水素火炎規模などについて調査し、FCVの安全な消火方法手順の参考資料を完成させた。

###### (2) 燃料電池性能評価法の標準化

燃料電池新規材料（MEA 材料等）の違いに対する水素中不純物の影響を評価し、得られた知見を ISO/TC197/WG12（ワーキンググループ 12：水素燃料仕様）における国際標準策定のためのエビデンス提示や協議摺り合わせに活用した。WG12 はエンジニアリング振興協会が審議団体を務める ISO/TC197：水素技術（NEDO 水素安全等基盤技術開発の委託事業として実施）のひとつの活動であるが、JARI 燃料標準化WGの委員長が WG12 のコンビナーを務め TS14687-2（技術仕様書）が発行された。引き続き IS 化に向けた活動として、不純物の影響評価や加速試験方法の検討を行った。水素中の不純物による燃料電池の発電性能の低下について、長時間の運転、水素循環系での不純物の濃縮、複数の不純物の混合、MEA のアノード Pt 担持量の低減等の影響を調査し、燃料電池自動車用水素燃料仕様の国際規格（IS）化のためのデータを取得した。得られた結果を国際規格案（DIS）の原案に反映させた。

また、性能評価試験のひとつとして、燃費測定方法の開発を実施した。その結果である

3種類の流量計式燃費測定方法、具体的には熱式・超音波式・差圧式それぞれの燃費測定方法は流量が非定常状態であっても誤差±1%を達成し、ISO/TC22/SC21/WG2（DIS 23828）の規定として採用された。排気ガス組成から算出する酸素バランス法や電流法は燃料電池自動車の改造を必要としない手法として自動車業界から期待されており、高精度化に向けて検討した。

一方、燃料電池のMEA材料の耐久性評価プロトコルとして FCCJ（Fuel Cell Commercialization Conference of Japan）、USFCC（US Fuel Cell Council）、DOE（Department of Energy）等から提案されているプロトコルを検証し、これら評価法の協調・統一化のための基礎データを取得するとともに、評価法の基本案を作成した。

### (3) 基準・標準化活動

前記「(1)水素・燃料電池自動車の安全性評価」、「(2)燃料電池性能評価法の標準化」において取得される試験データの解析と審議のため、外部有識者、関連団体等により構成される4つのWGを組織した。また、審議の結果は国際標準を提案する組織として設置したFCV特別分科会と下部組織の5つのWGに提供され、国際標準案の審議を進めた。さらに、これらの活動全体を統括するため、外部有識者、関連団体等により構成されるFCV基盤整備委員会を設置し、当事業の実施を遂行した。

一方、ISO/TC197（水素技術）に係る国際標準化活動について、国内審議団体である財団法人エンジニアリング振興協会に再委託し、ISO/TC197および各WG（WG5、WG6、WG12は除く）への専門家派遣、およびISO/TC197水素エネルギー技術標準化委員会ならびに国内WG対応委員会開催等の標準化活動を実施した。

成果の概要と自己評価

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

項目	目標	成果	自己評価
①水素・燃料電池自動車の安全性評価			
a. 自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価	<p>業界ニーズを反映させた自動車用圧縮水素容器の基準合理化項目として、容器の高圧化、最小破裂圧力および圧力サイクル数の見直しおよび使用温度範囲の拡大などに資するデータ取得、および国際基準調和のためのデータ取得および安全情報のためのデータを取得する。</p>	<p>70MPa 化に伴う VH4 容器透過試験の合否閾値や、充填サイクルに関わる容器の不具合事象の把握、および環境温度や充填速度などをパラメータとした急速充填試験やガスサイクル試験を行い、容器の使用温度範囲に関わる課題を抽出した。さらに、新基準 Step1 (容器の 70MPa 化と耐久性の適正化など) 提案の使用環境負荷試験を行い、これらの成果は新基準 Step1 へ反映させた。</p> <p>国際基準調和の技術根拠に資するのためのデータ取得のため、国内業界が推奨するガスサイクル試験に代わる液圧サイクル試験の妥当性検討のデータを取得し、一部の容器に関してはシリーズ試験の合理化を図ることができた。また、各種条件での車両火災時の容器周囲の温度データを取得し、これらのデータは局所火炎暴露試験方法の温度プロファイルに活用された。また、水素燃料自動車の船舶輸送の消火対応等に関わる規制緩和のため、複数台の燃料電池自動車の延焼性のデータを取得し、IMO (国際海事機関) での規制緩和に関わる審議に活用した。</p> <p>また、安全な消火救助の対応方法として、消炎試験や容器放水試験などを行い、水素燃料自動車の緊急対応指針策定のためのデータを取得し、試験データ集をまとめた。</p>	◎
b. 高密度水素貯蔵技術の安全性評価	<p>高密度水素貯蔵に関わる安全性評価試験策定に向けたデータを取得する。</p>	<p>安全性評価試験策定に向けた液体水素容器のボイルオフなどの断熱性能試験や液体水素漏洩時の挙動に関わるデータを取得した。</p>	○
c. インターフェイスの標準化	<p>コネクタおよび通信に関する試験法を基に安全性、耐久性試験を実施し、インターフェイス</p>	<p>充填コネクタの耐久試験を行い、日本提案 70MPa 水素充填ノズルが DIS に採用された。また、非通信充填プロトコル標準化に係わるデータを取得し、国内水素ステーションにお</p>	◎

	の試験法案策定に向けたデータを取得する。	ける充填手順の策定に貢献した。	
d.要素部品の安全性評価	要素部品、および部品が複合化されたシステムでの安全確認試験データを取得し、試験法案策定に資する。	ガラス式安全弁の作動影響に関するデータ取得を取得し、新材質 PRD に対する試験法案策定に資するデータを取得した。	◎
②燃料電池性能評価法の標準化			
a.燃料電池新規材料の評価試験方法	MEA の仕様、特にアノードの白金担持量が水素中の不純物による性能低下に及ぼす影響度を把握し IS (国際標準 , International Standard) 化のための議論を提供する。	アノードの白金担持量を低減した場合の水素中不純物による性能低下が、不純物の種類により異なることを明らかにした。担持量の低減により性能低下が大きくなる成分については、結果を TS(技術仕様書: Technical Specification) の規格値の設定に反映させた。	◎
b.燃料電池耐久性評価試験方法	FCV の水素循環系における水素中不純物の濃縮挙動を把握し、IS 化のための議論を提供する。	水素中の不純物の水素循環系での濃縮挙動が不純物の種類により異なることを明らかにした。循環系で濃縮する不純物については、結果を TS の規格値の設定に反映させた。	◎
c. MEA 耐久評価法	MEA 材料の耐久性評価試験方法として、FCCJ, USFCC, DOE から提案されているプロトコルの協調のためのデータ取得を行う。	材料仕様の明らかな MEA を作製して各プロトコルで MEA 材料(触媒, 電解質膜)の耐久性を評価し、性能低下挙動と材料劣化状態を比較した。得られたデータは、今後のプロトコルの協調と簡素化のための基礎データとなった。	◎
d.スタック、システム、車両性能評価試験方法	FCV 燃費試験法 IS 化の議論に必要なデータを取得する。また、車両の改造を必要としない計測手法について調査検討する。	質量法や圧力法に加えて、高精度・高応答の水素流量計とともに脈動対策を講じた測定系を開発し、実際の燃費試験で流量法が目標精度を達成できることを実証した。国際規格 ISO23828 は日本案を十分に反映して 2008 年 5 月に発行され、目標を達成できた。	◎
e. 燃料電池自動車用水素燃料仕様	複数の不純物が水素中に存在する場合の発電性能の低下挙動の影響を把握し、IS 化のための議論を提供する。	代表的な不純物の複数添加した場合の影響を調査し、各不純物を単独で添加したときの影響の和になることを明らかにし、DIS 策定の議論を提供した。	◎
③ 基準・標準化活動			

a.国内での基準・標準化	解析・技術部門の各WG および各国内標準化WG において審議し、国際会議への対応を行う。	各解析・技術部門WG、標準化WG ともに的確に運営し、国際会議での積極的な議論に資するために有効な規格案の審議を得た。	○
b.海外での基準・標準化	ISO/TC22/SC21（電気自動車）、およびISO/TC197（水素技術）に出席し、議論を行う。	国内での活発な議論に基づき、当プロジェクトでの試験データをベースとして、ISOの審議において日本がリードして国際標準化を実施。 当プロジェクトが貢献した発行済み国際規格：IS 7件、TS 2件、TR 1件、その他改定も含めて4件が審議中。	◎

## 1. 2 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」 の成果概要

本事業では、定置用燃料電池システムを普及させるために必要な基盤を整備するため、平成 17 年度より定置用燃料電池の規制再点検に資するための安全性確認データの取得、基本性能・信頼性等に関する標準的な試験方法、集合住宅における安全要件や設置基準等に係わる検討、単独運転検出技術の確立及び国内外の標準化活動の推進に取り組んできた。

安全性検証及び性能試験方法の標準化については、PEFC システムの 5 試験、SOFC システムの 18 試験、純水素 PEFC システムの 13 試験について、計画通りデータ収集を完了した。また、実機試験を通じて妥当性検証や加筆変更を行い、安全性及び性能試験方法を確立した。

さらに、安全性確認データは必要に応じて規制適正化を検討している公的委員会である「小規模燃料電池保安技術検討委員会」や「固体酸化物型燃料電池発電設備等の安全対策の確保に係る調査検討会」等に提供し、規制再点検に活用された。その結果、PEFC システムについては過圧防止装置の省略について電気事業法の関連条文が改正された。

SOFC システムについては、常時監視の不要化、不活性ガス置換義務の省略及び小出力発電設備化の 3 項目について電気事業法関連法規の条文改正がなされるとともに、設置届出義務の不要化、設置保有距離の省略及び逆火防止装置の省略の 3 項目について消防法関連法規の条文改正がなされた。過圧防止装置の省略については、規制適正化を検討している公的委員会に提供するための安全性確認データの収集等を完了した。

一方、集合住宅における安全要件及び設置基準等に係わる検討についても同様に、集合住宅に特有のハザードの整理・分析等を行い、超高層向耐風試験等の 4 試験についてデータ収集を完了した。また、実機試験を通じて加筆変更及び妥当性検証を進め、集合住宅設置における安全要件及び試験方法の検討とともに、国際標準等への提案内容のとりまとめを完了した。とりまとめた試験方法や安全要件及び設置基準案については、国内外の基準・標準化検討の場へ提供した。具体的には、集合住宅設置等における安全要件及び安全確認試験方法の標準化を図ることを目的とし、日本工業会規格（JEM 規格）の発行に向け、本事業で得た知見を平成 22 年 1 月に（社）日本電機工業会に提案した。

単独運転検出技術の確立については、既存の能動的単独検出方式の中で他方式との相互干渉が起りにくいとして選定した方式について、シミュレーション解析と PCS 実機による実証試験によって有効性の検証を行った。その結果、PCS 単体での検出有効性に問題がないこと及び、選定方式を用いた 18 台までの複数台連系では、実運用上問題ないことなどを確認した。

マイクロ燃料電池システムにおける安全性評価試験方法では、平成 22 年 3 月に国際規格 IEC 62282-6-100 Ed.1.0 が発行された。これを基に平成 22 年に欧州規格 EN 62282-6-100 が発行された。ただし、ローカルイフェクト(LE；マイクロ燃料電池が消費者の口・鼻のごく近傍で使用される際の排気に関する局所的な効果)試験方法に関しては、十分な実験的データの集積が未了な中で LE に関する試験方法およびその判定基準が当該規格に盛り込まれた。このため、今回検討したギ酸のような高吸着性ガスでは活性炭捕集管法に比べてインピンジャー捕集法の方がより好適であることが示された。このような基盤データの収集により、LE の場合の望ましいガス分析技法が明確にされ、今後見込まれる IEC62282-6-100 改定作業に

向けた指針が得られた。

マイクロ燃料電池システムにおける性能評価試験方法では、最終国際規格案を経て平成 21 年 6 月、一部に未検証部分を残すものの、日本の意見が取り入れられた燃料カートリッジ互換性の国際規格 IEC 62282-6-300 Ed.1.0 が発行された。これを基に平成 21 年に欧州規格 EN 62282-6-300 が発行された。また、日本電機工業会にて、JIS 化作業が開始された。未検証であった低分子有機化合物の影響度の序列については、当該規格の燃料試験法に基づく評価試験で異なる結果が得られ、再検討の余地のあることが示唆された。不純物の入っていないレファレンス燃料による繰返し約 300 回、2000 時間超の断続運転試験で、10 % /1000 h 以下の性能低下率の結果が得られ、基本的に国際規格における燃料評価試験の実施可能性の見通しを得た。今後の改定作業に備えて、基盤データを取得することができた。

表Ⅲ1.2-1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

目 標	研究開発成果	達成度※
(1) 定置用固定高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応	<p>関連する 5 種類の試験方法を作成した。</p> <p>過圧防止装置省略時の安全性データは規制再点検に活用され、規制適正化が実現した。</p> <p>また、作成した電磁両立性試験は JIS 制定に活用された。</p>	◎
(2) 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応	<p>18 種類の安全性評価試験と 13 種類の性能試験（基本性能、環境性、耐環境性能）を作成した。</p> <p>安全性評価試験による安全性データは規制再点検に活用され、SOFC に関連する 7 項目の規制適正化が実現した。</p> <p>また、作成した SOFC や純水素 PEFC に関する性能試験等に基づき国際標準(IEC62282-3-1：安全要件等)との整合案を取りまとめ、国際標準改定検討の場（JEMA 委員会）に提供した。</p>	◎
(3) 単独運転検出技術の確立	<p>定置用燃料電池の PCS に備えられている、配電線への連系における単独運転を防止するための機能が、他の単独運転防止用の能動信号との相互干渉によって単独運転検出ができない可能性が懸念されており、この問題を解決するため、他の方式の間でも干渉が起こりにくいと評価されている「スリップモード周波数シフト方式」を選定し、その信頼性、安全性を評価・検証した。</p> <p>①主回路及び制御方式の異なる 6 社の PCS に選定方式を採用したが、PCS 単体での検出有効性に問題がないことを確認した。</p> <p>②選定方式を有する PCS を 3 社各 3 台計 9 台及</p>	◎

	び6社各3台計18台連系した実証試験において、全ての負荷条件で動作時限が1秒以内（系統連系規程）となったことから選定方式を用いた18台までの連系では、実運用上問題ないことを確認した。	
(4) 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討	<p>集合住宅設置に関する4種類の安全要件と試験方法を作成した。</p> <p>作成した試験方法に基づき国際標準(IEC62282-3-3：設置要件)との整合案を取りまとめ、国際標準改定検討の場（JEMA委員会等）に提供した。</p> <p>また、作成した試験方法を日本電機工業会規格（JEM規格）の発行に向け、JEMA委員会に提供した。</p>	◎
(5) 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進	<p>燃料電池発電システムの普及促進のための高信頼性化、コンパクト化、コスト低減等で、円滑な導入促進のための諸環境整備として規格策定を推進し、IEC/TC105における国際規格開発に寄与した。</p> <p>現在下記の規格等（IS, TS）が発行されている。</p> <p>(1) 燃料電池用語： IEC TS62282-1</p> <p>(2) 燃料電池モジュール規格： IEC 62282-2</p> <p>(3) 定置用安全性規格： IEC 62282-3-1</p> <p>(4) 定置用性能試験法規格： IEC 62282-3-2</p> <p>(5) 定置用設置要件規格： IEC 62282-3-3</p> <p>(6) 可搬型安全性規格： IEC 62282-5-1</p> <p>(7) マイクロ安全性規格： IEC 62282-6-100</p> <p>(8) マイクロ性能試験法規格： IEC 62282-6-200</p> <p>(9) マイクロ互換性規格（メタノール燃料カートリッジ）： IEC 62282-6-300</p> <p>(10) PEFC単セル試験方法： IEC TS62282-7-1</p>	◎
(6) 規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集	規制当局等の指摘に基づきSOFCに係わる3種類の安全性評価試験を作成した。収集した安全性データは、SOFCの規制適正化（一般用電気工作物化）の検討に活用された。	◎

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

表Ⅲ1.2-2 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

目 標	研究開発成果	達成度※
<p>(1) メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法</p> <p>メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法の排出特性に関する試験を実施し、ローカルイフェクト(LE)が存在する場合のLEの大きさ評価のため、時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法について検討を行う。それに基づいて基盤データを取得し、分析計測方法を確立する。得られたこれらの基盤データを、マイクロ燃料電池の安全性基準・標準案策定に活かす。</p>	<p>メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法では、平成22年3月に国際規格 IEC 62282-6-100 Ed.1.0 が発行された。</p> <p>ギ酸のような高吸着性ガスに対し、LEの場合の望ましいガス分析技法が明確にされた。これにより今後見込まれるIEC 62282-6-100改定作業に向けた指針が得られた。</p>	○
<p>(2) メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法</p> <p>メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法の燃料不純物特性に関する燃料評価試験方法について基盤データを取得しつつ検討を行い、安定動作可能となる基本的評価手法を確立する。エタノール、アセトアルデヒド、酢酸等の低分子有機化合物についての基盤データを取得し、その影響を評価し、メタノール燃料マイクロ燃料電池システム等の燃料品質基準・標準案策定に活かす。</p>	<p>メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法では、最終規格案を経て平成21年6月国際規格 IEC 62282-6-300 Ed.1.0 が発行された。</p> <p>未検証であった低分子有機化合物の影響度の序列について、現状のIEC 62282-6-300 Ed.1.0 は再検討の余地のあることが示唆された。レファレンス燃料による繰返し約300回、2000時間超の断続運転試験では、10%/1000h以下の性能低下率の結果が得られ、上記規格における燃料評価試験の実施可能性の見通しを得た。</p> <p>今後の改定作業に備えて、基盤データを取得することができた。</p>	○

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

### 1. 3 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の成果概要

#### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

クリーンな水素エネルギーを利用した水素社会を実現させるひとつの方策として、燃料電池自動車と水素スタンドの普及が期待されている。この水素スタンドを普及させるためには現行の規制を見直す必要がある。本研究では、水素スタンドの規制見直し案作成に資するデータの収集・解析・検討を行った。本研究成果の要約は以下の通りである。

- ① 70MPa 充てん対応水素スタンドについて、そのリスクを社会的に受容可能な程度まで低減するために必要な安全対策を検討した。検討にあたっては将来的に普及が見込まれる水素スタンドのモデルを作成し、当該モデルをベースにリスク評価手法を用いて検討し、水素スタンドに必要な安全対策の特定を行った。
- ② 35MPa 充てん対応水素スタンドについては、水素スタンドをセルフ給油取扱所へ併設、屋内給油取扱所へ併設、水素ガスエンジン自動車の給油取扱所への乗り入れなどの場合の安全性が確認された。
- ③ 液体水素スタンドについて想定事故シナリオの抽出、安全対策検討などを行ない、リスク評価を終了した。結果を技術基準案として取りまとめた。
- ④ 70MPa 充てん対応水素スタンドにおいて想定される事故時の影響を評価するために、水素漏洩時の拡散、爆風圧、火炎長さを実験及び CFD により算出した。
- ⑤ 水素ガスディスペンサー（70MPa 充てん対応）に使用される遮断弁、流量調節弁、流量計の安全性検証を実施し、定期点検を行うことで安全性が確保できることが分かった。
- ⑥ 蓄圧器（70MPa 充てん対応）については、35MPa 充てん対応で認められた SCM435 鋼を用いると、強度と焼入れ性の条件から板厚に限界があることが分かった。候補材料の一つである SNCM439 の強度低減材は、遅れ割れ試験、疲労試験、破壊靱性試験、疲労亀裂進展試験に優れた性能を有することを確認した。
- ⑦ 蓄圧器の絞り部に対する非破壊検査手法として、フェーズドアレイ超音波探傷法、TOFD 超音波探傷法を検討し、検出可能な精度を把握し、稼働中の蓄圧器の検査手法として AE 法について検討した。
- ⑧ 蓄圧器製造に関する課題（焼入れ性、絞り部のしわ低減）解決のため、絞り加工と鍛造加工による製造技術を開発した。
- ⑨ 圧縮水素運送自動車用容器の安全性検証として、運送用複合容器の落下試験、台車衝撃負荷試験および集合フレームによる衝撃負荷試験を実施し、問題となるような変形・ずれは生じていないことを確認した。
- ⑩ 実スタンドによる安全対策等検討と検証を目的に、日本初のガソリンスタンド併設型水素スタンドを市原市に設置した。実際の車両へ水素を充てんし課題を抽出するとともに、実機の圧縮機と遮断弁を連続運転させて耐久性を評価した。
- ⑪ 以上の検討結果をもとに、規制見直しに資する技術基準案を作成し、規制当局へ提出した。

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

項目	目標	成果	自己評価
①70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証	平成 21 年度までに必要なデータを取得し、基準見直し案を作成する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、基準見直し案をとりまとめた</li> <li>・平成 22 年 3 月に規制監督官庁へ同見直し案を提出した</li> </ul>	○目標達成
②液体水素スタンドの安全性検証	平成 18 年度までに必要なデータを取得し、基準見直し案を作成する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、基準見直し案をとりまとめた</li> <li>・液体水素スタンドの新規建設の計画が無いため、監督官庁への基準見直し提案はペンディング中</li> </ul>	○目標達成
③水素スタンドに関する消防法関係の規制見直し検討	消防法見直しのための検討とデータ取得・提供	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素スタンドに関する規制見直し(5 項目)の安全性検証データを提供した。</li> <li>・このうちの4項目について、その安全性が認められ消防庁の検討委員会報告書へ反映された。(1項目は机上検討における安全性が認められた)</li> </ul>	○目標達成

(2) 水素用材料基礎物性の研究 (財団法人金属系材料研究開発センター)

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

項目	目標	成果	自己評価
(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供	・70MPa級機器用材料データ取得  候補材である SUS316L、A6061-T6、A6061-HS等の評価	・99MPa高圧水素雰囲気下材料試験装置の導入他評価手法の充実 ・70MPa 機器用材料の基準化に向けた候補材・比較材の特性データ取得 ・ <b>車載容器に関する技術基準策定に貢献</b> <b>「70MPa圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」(KHK S 0128、H22.7.23制定)</b>	◎ 目標達成
(2)評価材料種の拡大(新規開発材料評価含む)	・上記候補材以外の材料データ取得	・各種SUS(含新鋼種STH1, STH2), Al合金, 合金鋼(含高Mo-V添加鋼), チタン・チタン合金 他のデータ取得	◎ 目標達成
(3)複合容器向け材料の評価	CFRPの特性データ拡充	CFRPのストレスラプチャー, 疲労データ蓄積 <b>METI FRP製水素用貯槽設計基準に関する調査委員会にデータ提供</b>	○ 目標達成
(4)材料特性簡易評価法の適用拡大	試験片内微小空隙に高圧水素環境を設定する方法の適用拡大	評価条件の拡大(低温～高温・高圧, 疲労など)	○ 目標達成

項目	目標	成果	自己評価
(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究	「(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価」の裏付けデータおよび関連基礎知見の取得	・試験周波数の疲労特性に及ぼす影響把握 ・ $\gamma$ 系SUSの水素環境脆化因子の解析 成分偏析, Ni,Cr量・Ni当量・N量の影響把握, すべり変形モード・マルテンサイト変態の影響把握など	◎ 目標達成
(6)その他活動,ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開	・長時間使用水素関連機器の劣化度調査 ・トライボロジー特性研究 ・液体水素用材料データ取得 ・取得データ、技術情報の関係者及び一般への開示、データベースの拡充等	・長期使用水素関連機器解体調査(高松stn., LH2ローリ, 有明水素stn. 他) ・トライボロジー特性研究 ・ <b>液体水素中材料特性評価</b> (STH1,2, $\gamma$ 系SUS溶接材疲労, 変形数値シミュレーション等) ・ <b>水素有効利用ガイドブック</b> の材料技術関連章項全70余頁の執筆 ・鉄鋼協会, 圧力技術誌等への組織的成果発信 ・データベースの拡充	○ 目標達成

(3) 水素用アルミ材料の基礎研究 (社団法人日本アルミニウム協会)

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、の発生要因の調査	6061および7075合金について、温度・速度との関係で、発生条件を調査し、粗大化試験材について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	発生条件および耐水素脆化性に及ぼす影響を明らかにした。	◎	他材種での同様な検討。一般原理の導出。
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	6061合金より高強度の8合金について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	6000系はすべて、また7000系の一部も十分な耐水素脆化性を持つと判断された。	◎	機構解明。高圧試験データ取得。
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査	高圧下で脆化する試験材(非実用)を調製し、高圧下での試験データと水蒸気制御大気環境下でのデータに対応付ける。	7000系の1材種について、25%RHの大気と70MPaの高圧水素が同等の環境であることを示した。	○	材種の拡大。
④水素挙動の解明	水素マイクロプリント法、昇温脱離分析などにより、アルミニウム中の水素の移動、トラップなどの挙動を解析する。	環境による材料内水素の挙動の差がないこと、水素侵入・放出において第二相の重要性を示した。	○	環境による水素侵入挙動の差の明確化。
⑤LBB性の評価	引裂き試験により得られる単位き裂伝播エネルギーにより、6061,7075、および前記8合金のLBB性を評価する。	7075を除く7000系で高く、6000系でやや低いことを示した。	◎	なし
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得	70MPa対応の例示基準策定のために必須となる試験材を見極め、量産規模で調製し、高圧を含めてデータ取得を行う。	高Si組成の6061(6061HS)合金を量産規模で調製し、例示基準策定に必要なデータ取得を行った。	◎	同コストでより高強度の材種への適用。

#### (4) 水素の基礎物性

##### ① 水素基礎物性の研究（財団法人エネルギー総合工学研究所、三菱重工業株式会社）

水素関連技術開発や規制の再点検、及び、これらに携わる水素取扱い関係者の安全確保に必要な水素の基礎物性データ取得、これら現象のシミュレーション技術の開発ならびに「水素の安全利用ガイドブック」の骨格策定を行った。

トンネル模擬の野外ダクト設備による実水素ガス漏えい・拡散・燃焼実験で、十分な換気風があることで水素濃度を低減できることがわかった。同様にトンネル模擬の模型ダクトによる模擬ガス拡散実験にて、車1台相当(60m<sup>3</sup>N)の水素漏えい量に対しても、換気風速を2m/s程度とすることで、無風条件に比べ大幅に可燃濃度域を減少できることを確認した。

また、建屋内での換気と水素拡散及び爆発に関する検討を行った。今後も更なる実験データの補強が望ましいものの、無次元化漏えい量(=q/Q)を指標として、水素残留量及び爆風圧を推定できる見通しを得た。

水素ガスの爆燃現象に関するシミュレーションについては、これまで高濃度域に適用範囲が限られていたモデルをベースとして、広濃度範囲で適用可能な燃焼速度モデルを構築した。本モデルによる計算結果を検討したところ、爆風圧予測時の必要実験ケース数を削減できる見通しを得ている。

液体水素の噴出・蒸発現象に関するシミュレーションについては、液滴剥離 CFD を開発し、これに新たに熱収支モデルを組み込むことにより、CFD による液体水素漏えい後の拡散挙動(可燃濃度範囲領域)の予測精度向上が期待できる。

本研究において取得した水素基礎物性や開発されたシミュレーション等の基盤技術は、規制見直しのためのベースデータとして用いられた。

さらには、本研究や他の NEDO 事業において取得された水素安全に関するデータをとりまとめ、技術開発や規制の見直しなどを遂行する水素取扱い者の安全確保を目的とした「水素の有効利用ガイドブック」の収録内容を決定した。

水素取扱い者の安全確保、水素にかかわる規制見直し作業に資することができる様に、平成 19 年度中に完成させ、公開、普及させてゆく。

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

研究開発項目	目的	実施内容・成果	達成度
ダクト内における水素の拡散・燃焼挙動の研究	災害リスクを低減対策を検討ために閉鎖空間や半閉鎖空間での水素の燃焼挙動データの取得を行う。	鋼鉄製の大規模ダクト(2.4mΦ×78m)を使用して、トンネル内を模擬した水素燃焼実験を実施した。水素濃度、水素放出量、換気速度等の水素拡散、爆燃に及ぼす影響を把握することを目的にトンネル内に設置したテント内に保持した均一濃度の水素空気混合気に点火する実験およびトンネル内で水素を放出、着火する実験を実施した。トンネル内での爆燃実験では開放空間より大きな圧力が発生した。トンネル内で混合気の外を圧力が伝播する過程で圧力の減衰はみられなかった。	○
閉鎖空間内での水素の拡散・燃焼挙動の研究	水素の漏えい量と換気が閉鎖空間内での水素濃度にごのような影響を与えるかを計測評価する。	幅3.7m、高さ2.8m、奥行き6.4mの半閉鎖空間において、自然換気及びダクトによって強制的に給排気される半閉鎖空間において、水素流量、換気速度をパラメータとした水素の拡散挙動、および燃焼挙動の把握を目的に実験を行なった。換気速度が等しい場合には、水素濃度は、水素流量とともに増加し、水素流量が等しい場合には、換気速度の増加とともに減少する傾向であった。	○
着火メカニズムの解明	水素が大気中に高速で噴出する際に起こる場合がある自然着火の着火メカニズムの把握を行う。	主として文献や専門家への聞き取り調査にて着火源の検討を行い、着火条件について考察を行なった結果、ダストによる静電気雲と接地金属物体との間の放電が着火原因である可能性が高いと推測される。	○
トンネル換気模擬ガス模型実験	トンネル内事故により水素ガスが漏洩した場合を想定し、水素ガス漏えい量とトンネル換気条件の違いがトンネル内水素ガス拡散与える影響の把握を行う。	<p>模擬ガスを用いた模型実験により、漏えい量やトンネル換気条件の違いがトンネル内水素ガス拡散に与える影響を把握した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・漏えい量300m<sup>3</sup>と大量漏えい(3000m<sup>3</sup>)の条件で、野外実験と模型実験の天井面の濃度分布を比較した結果、両者の傾向は概ね一致していることを確認できた。</li> <li>・トンネル内で水素の漏えいが発生した際、漏えい量が60m<sup>3</sup>(車1台相当)~200m<sup>3</sup>(車両搭載車1台相当)程度の場合、換気がない場合に比べ、通常の換気風速2m/s程度で、大幅に可燃濃度域が減少することを確認できた。</li> </ul>	○
閉鎖/半閉鎖空間における換気量の検討	閉鎖/半閉鎖空間における換気状況の検討のため、換気量と濃度場の関係を把握する。	蓄圧器室などのような半閉鎖空間で水素ガスが漏えいした場合の拡散挙動・換気状況を把握し、換気基準検討に資するデータを取得するため、数値シミュレーション及び模擬ガス模型実験を実施した。具体的には換気装置付きの半閉鎖空間を模擬した縮尺模型を用いて、水素の浮力をヘリウムで再現した実験を実施し、換気量と濃度場を把握するとともに、別途、拡散・燃焼に関する数値シミュレーションを実施し着火時の爆風圧を推定した。	○

爆燃・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上	数値シミュレーションの精度検証のため、対応する実験と計算結果の比較検討を行う。	爆燃・拡散・火炎コードの汎用性を高めるため、平成16年度に実施された実験データ及びエネルギー総合工学研究所で実施した水素爆発実験等により、コード検証を実施した。また、爆燃シミュレーションの精度および汎用性の向上を目指し、乱流燃焼モデルに関して検討を行った。	○
液体水素蒸発モデルの検討	液体水素状態で漏えいし、蒸発挙動を経て水素ガスが拡散する場合の漏洩事象を予測するための、高精度な数値モデル(蒸発モデル)の開発を行う。	既存の実験データを基に、蒸発挙動の支配因子を把握し、より精度の高い蒸発モデルを検討し、拡散時の濃度分布挙動の予測精度を向上させた。特に、噴流の表面から剥離・微粒化していく液滴の挙動のモデル化方法は、その後の水素拡散挙動に大きく影響するため、実験データに、数値シミュレーションを併用しながら、ピンホール漏えいを対象とした蒸発モデルの構築を図った。	○
水素の有効利用ガイドブックの作成	これまでに蓄積された水素に関する経験や知見を、今後の水素社会への移行へ向けて増加する、新たに水素を取り扱い始める関係者に提供し、技術開発や規制再点検、国際標準の提案に関する研究活動における安全を確保し、水素が有効に利用されることに貢献する。	想定利用者を、水素のインフラ機器、燃料電池等水素利用機器の設計・施工・運転者としこれまでに国内に蓄積された水素の安全な取り扱いに係るデータを集大成し、水素取り扱い者の安全確保に資する「水素の有効利用ガイドブック」を作成した。	○

(5) 水素安全利用技術の基礎研究

(※達成度 「◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達」)

項目	実施内容と目標	成果	自己評価
①高圧水素ガスの漏洩時の着火性に関する研究	<p>水素噴流の拡散濃度特性と着火性の計測</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素噴流の噴流特性と着火性の計測</li> <li>・水素噴流の着火性評価</li> <li>・高圧化に伴う着火現象のリスク評価</li> <li>・水素噴流による発火の実験とシミュレーション</li> </ul>	<p>水素噴出時の流動混合気の着火性について検討した結果、水素と空気の混合気の流速が大きくなると燃焼下限濃度が高濃度側にシフトすることを明らかにした。</p> <p>また、配管から水素が噴出した際の自然着火現象を実験的に再現し、着火条件を検討するとともに、数値計算で検証した</p>	○
②水素ガス漏洩時における静電気着火に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高圧水素の噴出による静電気の測定と解析</li> <li>・混入物の影響の検討</li> <li>・設備と静電気災害の関連性の評価</li> <li>・静電気測定の高精度化・高精度化</li> </ul>	<p>ベント配管などから水素が大気中に放出される際に、ダストなどを巻き込んだ場合の静電気耐電を計測し、静電気着火が起こりうるエネルギーが蓄積されることを明らかにした。</p>	○
③水素燃焼火炎特性に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴流火炎の吹き消え現象の解析</li> <li>・水噴霧効果・消火能力評価</li> </ul>	<p>火炎の特性については、水素の噴出圧力とノズル口径との関係から、水素噴出火炎の吹き消え範囲を明らかにした。</p>	○
④水素の着火による火炎伝搬と爆ごう転移に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開放空間における水素の着火と火炎伝搬に関する研究</li> <li>・トンネル内で水素が燃焼から爆ごうへの転移を起こす着火条件に関する研究</li> </ul>	<p>金属管内で水素が燃焼から爆ごうに転移する(DDT)条件を明らかにし、管径が大きくなると DDT を起こす濃度範囲が広くなり、DDT を起こす距離と管径との比が小さくなった。</p>	○
⑤化学反応論に基づく水素の着火・燃焼	<ul style="list-style-type: none"> <li>・素反応モデルにおける共存化学種の影響</li> </ul>	<p>水素と空気の混合気に水蒸気もしくは水ミストを混合</p>	○

<p>制御に関する研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モデルの検証と高精度化・水添加の基本的効果の確認</li> <li>・水添加時の着火・燃焼反応の詳細データ取得</li> <li>・水素ハイドレート合成と安定域の決定</li> <li>・水素ハイドレート安定域の共存化学種効果</li> </ul>	<p>すると火炎伝播速度, 爆風圧が減少した。</p> <p>水素の爆ごう限界を予測するための新しいモデルを開発し、爆ごう限界を精度よく予測することができるようになった。</p>	
-----------------	--	---	--

#### 1. 4 特許、口頭発表、投稿論文等の件数（事業全体）

本事業にて得られた特許件数及び成果普及の一環として実施した発表件数等は、下記の通りである。なお、テーマ毎の特許、論文については「Ⅲ2. 研究開発テーマ毎の成果」に記す。

テーマ	特許	論文	口頭発表	その他
A. 燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発	2	101	88	新聞報道 1 受賞 3
B「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」				
(1) 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	0	24	34	
(2) マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	0	5	0	
C「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」				
(1) 水素インフラに関する安全技術研究	4	76		受賞 1
(2) 水素用材料基礎物性の研究	7	35	128	受賞 10 プレス発表 3
(3) 水素用アルミ材料の基礎研究	3	14	84	受賞 5
(4) 水素基礎物性の研究	2	20		「水素の有効利用ガイドブック」
(5) 水素安全利用技術の基盤研究	0	21	58	

各件数は、いずれも平成 22 年 3 月現在。

## 2.3 研究開発項目C「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### 2.3.1 水素インフラに関する安全技術研究

#### (1) 水素スタンドに係る安全性評価と安全対策検討(石油産業活性化センター)

- ① 70MPa 充てん対応水素スタンドについて、P&ID を作成することによりその設備仕様を定義し、検討のベースとなる水素スタンドモデルとした。水素スタンドモデルでは、燃料電池自動車普及期に必要となるであろう水素供給能力を持つ水素スタンドとした。
- ② 設備構成としても各種のバリエーションを考慮し、新規建設スタンドを想定した 80MPa 蓄圧器による差圧充てん方式の「新設モデル」とともに、既設 35MPa 充てん対応スタンドからの改造を視野に入れた「改造モデル」(40MPa 蓄圧器と 80MPa 蓄圧器による差圧充てん方式及び 40MPa 蓄圧器をガス源とした圧縮機直充てん方式) 及び 70MPa 充てんに必要なプレクール設備を備えた水素スタンドモデルとした。
- ③ これらの水素スタンドモデルに対して、発生が想定される事故シナリオの抽出を HAZOP、FMEA 手法を活用して行った。想定事故シナリオ抽出にあたっては、ヒューマンファクター、天災、外乱などを含め、可能な限り網羅的な抽出を心がけた。抽出した想定事故シナリオ 1 件ごとに、その発生可能性と影響度を評価しリスクの大きさを推定した。
- ④ 可能性評価にあたっては、連名委託先・再委託先である (株) 日本製鋼所、(株) タツノ・メカトロニクス、(社) 日本産業・医療ガス協会、住金機工 (株)、高压昭和ボンベ (株) の検討結果を活用した。
- ⑤ 影響度評価にあたっては連名委託先である三菱重工 (株) の検討結果を活用した。(6) 推定した個々のリスクは、予め判断基準として作成したリスクマトリクスに照らして評価し、リスクが許容できない場合はリスクを低減する安全対策を検討した。これにより、水素スタンドにおいて安全性を確保するために必要な安全対策の特定を行った。

#### (2) 水素スタンドを想定した水素の拡散・着火・爆発の挙動確認と安全性評価(三菱重工業)

35MPa 充てん対応水素スタンド及び 70MPa 充てん対応水素スタンド規制見直しに関連し、以下の成果を得た。

- ① 新規安全対策(過流防止弁、圧力リリーフ弁)の有効性検討のための実験及び CFD によるデータ取得
  - ・ 35MPa 及び 70MPa 充てん対応の過流防止弁について作動確認試験を実施し、当初の所定流量範囲での正常な作動を確認し、過流防止弁を設置することで、爆風圧を低減可能
  - ・ また、過流防止弁に関しては、配管内の残留水素量(配管長さ)と着火タイミングの影響も把握
  - ・ 35MPa 充てん対応については圧力リリーフ弁の圧損計測により、当初目論見通りの機能を発揮することを確認
- ② 蓄圧器室等の地下室化検討のための CFD によるデータ取得
  - ・ 40MPa での 0.2mm φ ピンホール漏えいを対象に検討したところ、漏えい量の 100 倍の

- 換気量（CNG 相当）にて、定常状態に達した場合は、最大過圧は 8kPa
- ・漏えい 20 秒後で着火した場合は、2kPa であり、着火時間の影響は大きい。
- ③ 保炎性及び濃度変動による着火性と火炎伝播性の検討
- ・火炎が持続しない放出条件があり、保炎範囲の条件（圧力と流量の関係）を実験的に把握
  - ・平均濃度が 2% では、影響度としては無視できる程度となることを、限られた条件ではあるが確認
- ④ 70MPa 規制見直しのための拡散爆発実験装置に関する設計の一部実施
- 70MPa 充てん水素スタンド規制見直しのための拡散爆発実験の装置設計を実施し、仕様及び装置の概要を明確にした。
- ⑤ 70MPa 規制見直しのための CFD によるデータの一部取得
- ・拡散計算を実施し、40MPa 以下と同様に、ほぼ無次元距離で濃度が整理できることを確認し、圧力と口径が決まれば、風下地点の濃度を求めることができる見通しが得られた。
  - ・爆風圧計算によれば、本計算条件の範囲では、最大（80MPa, 1mm）の場合でも、6m において最大過圧は 700Pa 程度、最大インパルスは 4.5Pa・s 程度と推定される。
  - ・火炎計算によれば、60～80MPa における火炎スケールは、40MPa 以下と同じ近似式で表される。
- ⑥ 70MPa 充てん対応水素スタンド規制見直しのためのデータ取得・解析
- H15-16 年度に製作した 35MPa 充てん対応水素スタンドの規制見直しデータ取得用の実験設備を、70MPa 充てん対応に改造し、以下のデータを取得すると共に、数値シミュレーション（CFD）により補完を行った。
- ・80MPaにて0.2mmφからの漏えい時の1/4LFL距離は、実験式より7.6mとなり、40MPaと同様に、無次元距離で整理できる。
  - ・80MPaの水素の定常漏洩時には、最大過圧及びインパルスは、1mmφ，L（距離）=6mにおいて、それぞれ約400Pa及び約1.3Pa・sであり、0.2mmφではさらに小さく影響度としては小さい。
  - ・80MPaにおいても、40MPaと同様に、火炎長は流量Mの0.5乗に比例し、1mmφで火炎長は3.3mとなる。
  - ・火炎からの輻射熱流束を表す実験式を得るとともに、火炎の高温ガスからの対流熱伝達量をシミュレーションにより求めたところ、これらを合計した受熱量は、80MPa、1mmφ、距離6mにおいて、高さ2mの位置で約2870W/m<sup>2</sup>であり、10～20sで苦痛を感じるとされる熱量（4650W/m<sup>2</sup>）よりも小さい値である。
- ⑥ 蓄圧器の取り外し、梱包
- 株式会社日本製鋼所にて製作して拡散爆発着火実験に使用した蓄圧器 2 基を、実験終了後に、東邦ガス（株）へ供用換えを行った。

### (3) 水素スタンド構成機器の安全性検証及び性能検証

① 蓄圧器、配管等の安全性検証（日本産業・医療ガス協会）

- a. 70MPa 充てん対応水素スタンドの安全性検証においては、当初、プレクールを行わない新設スタンドの場合の想定事故シナリオ抽出、35MPa 充てん対応水素スタンドを改造する場合のスタンドモデルの検討および想定事故シナリオの抽出を行って、それぞれの事故シナリオに対して安全対策案を検討した。
- b. 安全対策の検討に当たっては、同じ圧力レベルの国内の高圧ガス設備、海外の 70MPa スタンド等、既設設備を対象にして使用機器、配管、材料を調査した。又、国内外のメーカーを調査して現状把握に基づいた安全対策を検討した。
- c. これらの結果はリスクマトリックスの可能性評価データとして使われ、別途検討された影響度評価データと組み合わせて、リスク評価が実施された。そこから抽出された安全対策は省令、例示基準見直しのための技術基準案としてまとめられた。

② 水素ガスディスペンサーの安全性検証（タツノ・メカトロニクス）

a. 各種機器の安全性検証について

- ・遮断弁もれモード解析（35MPa）では、3社の製品について解析し、適切な構造（グランドパッキンとOリング）と日常点検での漏洩検査の実施が有効であることがわかった。
- ・過流防止弁の安全性検証（30MPa）では、通常充てんでは作動せず、事故時には作動することを確認し、安全対策として有効であることを確認できた。
- ・コリオリ流量計の安全性検証（35MPa）では、圧力インパルスの繰り返しに対する耐久性を確認した。3万回（3年間）で精度は変化しなかった。
- ・安全弁の安全性検証（35MPa）では、3回の作動試験、3万回のシール性耐久試験を行い、安全弁の有効性を確認できた。ただし、シールは構造と加圧脱圧頻度に応じた検査及び維持管理が必要であることがわかった。
- ・コリオリ流量計の安全性検証（70MPa）では、95MPa 水素暴露下における指示精度変化、気密性、水素脆化影響を検証した。その結果、10年相当でも指示精度に大きな変化はなく、気密性の問題はなかった。また、フローチューブの内壁にも水素脆化による劣化はなかった。この結果、10年相当での事故に至るリスクは無いことが判明した。
- ・流量調整弁の安全性検証（70MPa）では、6万回（6年相当）の動作試験で漏れは微少であり、増し締め等による対応が可能であることを確認したが、1回/1年程度の点検等を行うことが望ましい。
- ・遮断弁の安全性検証（70MPa）では、9万回（9年相当）の動作試験で漏れは微少であり、増し締め等による対応が可能であることを確認したが1回/1年程度の点検等を行うことが望ましい。
- ・ホースの安全性検証では、プレクール設備使用時の安全性確認の為、使用温度を-30℃に設定し、低温応力繰返し試験、冷熱繰返し試験、低温屈曲繰返し試験及び試験後の破裂試験を行った。結果、低温応力繰返し及び低温屈曲繰返し試験では9万回（9年相当）の充てん回数相当で微少のもれに留まり、危険性は無いこ

とが確認されたが、1回/1年程度の点検等を行うことが望ましい。冷熱繰返し試験は、200回実施したが、微少な漏れであった。なお、供試ホースは、その後の破壊試験でも劣化は認められなかった。

b. 70MPa 充てんシステム及び機器調査について

- ・70MPa 対応機器の動向調査により、各機器の完成度、安全性等が確認でき、検証内容及び手法の検討に有益な情報入手ができた。
- ・特に、安全性に関する強度及び材質 SUS316L や SUS316 の使用状況を確認し、使用可能な材質の範囲拡大の必要性を確認し、今後の安全性検証内容の検討に有益な情報を得た。
- ・その他、トライボロジー、通信充てんでの課題等に関する情報を得た。

c. ディスペンサーの充てん制御基礎検証試験

70MPa 対応ディスペンサーにより 35MPa での充てんを実施し、70MPa 対応機器の動作を確認した。結果、最大流速から低流速で正常な充てんが行われ、70MPa ディスペンサーの基本的制御方法、各機器の作動状況を確認でき、検証試験方法が確立できた。

d. 高圧ガス設備法定検査

水素製造設備及び高圧ヘリウム設備に関し、自主検査を行うと共に、法定の保安検査を受け、検査結果が良好であることを確認した。

#### (4) 高圧水素圧縮機の安全性検証(日本製鋼所)

- ① 現状の設計法規、手法に基づく予測寿命の信頼性を検証するため、設計・解析と実機での運転検証を行った。
- ② 設計段階では疲労の形態を高サイクル疲労と低サイクル疲労に分けて、水素スタンド耐用年数を考慮して検討を行った。高サイクル疲労については、35MPa 充てん対応圧縮機の 2,500hr 定格運転と非破壊検査により亀裂の発生が無かったことを確認した。また、低サイクル疲労については、実機と同等の応力が負荷される模擬試験体を製作し、部材の断続運転を想定した 35,000 回の起動停止を模擬した加速試験を実施しその内面調査により部材の健全性を確認した。
- ③ 耐圧部適用材料に関する検討では、実機サイズブロック鋼材の熱処理調査を行い、焼入れ性と成分マクロ偏析を考察する高張力鋼 (SNCM439、SNC836) の特性データを取得し、強度と靱性のバランスのとれた調質条件として引張り強度 850~950N/mm<sup>2</sup>の特性データを取得した。
- ④ 水素圧縮機構成機器の安全性検討として運転した機器の評価を行った。累積 2,500 時間の定格運転に供した後の、自動弁と逆止弁を分解点検した結果、弁本体に異常は確認されなかったが、シール部には摺動シール部材の摩耗粉と考えられる汚 汚の付着を確認した。
- ⑤ その結果、長期的な運用における性能維持の観点から、圧縮機消耗品交換に合わせた定期的な分解点検・清掃が有効であるとの結果を得た。また、O リングブリストア対策とし

て金属製 C リングの評価を行い、適用部位によっては耐圧シールの有効な方法の一つであることとの結果を得た。

- ⑥ これらの結果をもとに 70MPa 充てん対応耐圧部のモデル設計、周辺構成機器の検討を行い、安全を維持するための設計課題の抽出を行った。

#### (5) 水素スタンド構成金属材料の評価(日本製鋼所)

- ① 45MPa までの金属材料健全性の検証(鋼製水素蓄圧器に要求される材料諸特性の検討結果)

高压化した場合の圧縮水素の蓄圧器鋼材を選択するためには、以下の手順により進める必要がある事が示された。

- 既存圧力容器用材料における高強度鋼のリストアップ
- 高压化にあたっての適用板厚上限の確認
- 水素脆化を防止する適切な鋼材強度上限の確認

候補材の選定にあたっては、既存圧力容器用材料について、高压ガス保安協会の特定設備検査規則別表第一表および、ASME B&PV Code における Materials Part D より高強度鋼をリストアップした。その結果、35MPa 充てん対応蓄圧器として既の実績のある SCM435 鋼に加えて、より高压化への対応が期待される SNCM439 鋼、および高強度であり、低温靱性に優れた SHY685NS-F 鋼、さらに米 ASME 規格によるニッケルクロムモリブデン鋼: SA723 鋼を候補材として挙げた。このうち SCM435 鋼、SNCM439 鋼および SHY685NS-F 鋼を当面優先的に試験・評価を行うこととした。

- ② 45MPa までの金属材料健全性の検証(水素蓄圧器候補材の大気中特性試験結果)

高压化した 70MPa 充てん対応蓄圧器の場合、SCM435 鋼を適用すると、板厚は 40mm 程度が限界であると結論された。したがって、焼入れ性に優れ、材料の適用板厚を満足可能な SNCM439 鋼などを候補材とする事とした。

- ③ 45MPa までの金属材料健全性の検証(水素蓄圧器候補材の 45MPa 水素雰囲気下における脆化感受性試験結果)

SNCM439 鋼等について強度上限を設定するための水素環境脆化感受性試験を実施した。その結果、大気中引張強さが約 1,000MPa を超えると水素中切欠引張強さが低下することが明らかとなり、45MPa 水素中で使用する候補材の強度上限は、大気中引張強さで 1,000MPa 前後が適切と考えられる。上記の結果より、SNCM439 強度低減材と SHY685 が 45MPa 水素環境中で優れた耐水素環境脆化特性を有することが明らかとなった。

- ④ 45MPa 蓄圧器の評価(口金部に認められるしわに関して)

蓄圧器口金部で検出された欠陥は熱間加工時に形成されたものであり、高压水素蓄圧器として供用中に進展したものではないが、有害なしわが発生しない様に製造するか、有害なしわは除去することが望ましい。

- ⑤ 45MPa 蓄圧器の評価(実機肌表面の水素脆化におよぼす影響に関して)

内面に酸化スケールを伴う実機内表面肌は、大気中、窒素ガス中或いは水素中に関わ

らず、機械加工表面肌と比較して疲労寿命が低下することが示された。また、水素雰囲気下では、応力振幅が大きくなると疲労き裂が早期に発生する傾向を示した。

⑥ 45MPa 蓄圧器の評価（水素雰囲気下における機械加工表面の影響）

研削加工されたままの表面層では、強い引張残留応力が発生しており、これにより疲れにおける平均応力が上昇し、水素雰囲気下における疲労寿命が大気中に比して著しく低下する事を明らかとした。したがって、熱処理が終了した後に機械加工を受ける部位については、焼鈍処理等により加工表面に生じている引張残留応力を低減させるか、自緊や研磨加工等、圧縮の残留応力を付与することが望ましい。

⑦ 45MPa 蓄圧器の評価（水素環境脆化におよぼす鋼中不純物の影響検討）

水素雰囲気下では介在物等の不純物が脆化起点として作用する事が示された。どの介在物が、水素環境脆化に有害かは現状で特定されていないが、硫黄の量については、MnSの形成は延靱性を損ない、異方性を増すので、できる限り低減することが望ましい。

⑧ 70MPa 充てん対応水素スタンド構成金属材料の評価（SNCM439 鋼強度低減材の 90MPa 水素雰囲気下での安全性の検証試験結果）

SNCM439 強度低減材について、90MPa までの水素雰囲気中の疲労試験を行った。その結果、想定される繰り返し使用変動応力下では、有害なき裂が発生しないことを確認した。また、90MPa までの水素雰囲気中における疲労き裂進展速度を測定した。その結果、SNCM439（強度低減材）は、SNCM439 鋼と比較すると疲労き裂進展速度は大幅に低下し、強度低減による効果が認められた。き裂進展解析に必要なき裂進展下限界応力拡大係数( $K_{IH}$ )を算定するために、金属ブロックに予き裂を導入した試験片(1T-WOL)に荷重を加えながら水素雰囲気中に 1,000 時間暴露させる試験を行った。その結果、試験荷重  $K_{Iapp}=35, 40$  および  $60\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  負荷した各条件において、試験暴露後において水素環境脆性のき裂進展は認められなかった。また、水素中でのき裂進展限界値を求めるために、ライジングロード試験法と遅れ割れ試験法の結果を比較した。その結果、何れのヒートにおいても、ライジングロード（荷重漸増）下におけるき裂進展限界： $K_{IH-R}$  が最も小さい値 ( $K_{IH-R} < K_{IH-H}$ ) を示すことから、容器の水素中破壊限界荷重を算定するには、ライジングロード試験法により得られる： $K_{IH-R}$  を採用することが最も安全側の評価であると考えられる。

⑨ 鋼製水素蓄圧器への水素侵入挙動の評価（長期高圧水素曝露による水素侵入量評価と機械的性質におよぼす影響の評価結果）

85°C、85MPa までの低温、超高压水素条件下における長期曝露試験の結果、SNCM439、SCM440 および SCM435 の各鋼種とも水素曝露前と比較して水素量が増加することが明らかとなった。さらに、温度依存性については温度が低くなるほど高温度域で求められている従来式の外挿値より高濃度側に曲がる傾向を示し、低温、超高压水素条件下における水素侵入挙動を更に詳細検討する必要性が示唆された。

さらに、SCM435 鋼について長期水素曝露を行い、水素未曝露材および水素曝露材について機械特性試験を行った。その結果、切欠引張試験の歪速度が  $1 \times 10^{-6}/\text{s}$  の条件においてのみ、切欠底のごく一部に水素脆性破面を特徴づける擬へき開破面が生じているのが認められた。したがって、蓄圧器が 85°C、85MPa の条件に長期間晒された場合、内部水素侵

入した水素によって、介在物などの応力集中が生ずる箇所などで水素脆化を起こす可能性が示唆された。

⑩ 鋼製水素蓄圧器への水素侵入挙動の評価（変形過程における鋼中への水素侵入挙動の評価結果）

鋼製水素蓄圧器への水素侵入挙動を評価するため、水素ガス中での引張変形に伴い鋼中に侵入する水素の挙動を調査した。本研究では侵入した水素の量や水素のトラップエネルギーを求め、鋼中における水素の存在状態を評価することを目的とした。その結果、転位が水素のトラップサイトとして機能していることを表している事が示された。また 33kJ/mol のエネルギーに対応するトラップサイトは、引張変形中に生成した空孔が有力である事が示された。

⑪ 非破壊検査・構造検討（45MPa 高信頼化蓄圧器製造方法の検討結果）

製造工程での内表面研磨処理、成形形状の改良によりしわの低減が確認された。また、従来型ポンベ形状の蓄圧器の危険部位の評価を実施し、口絞り部コーナーでの応力集中が確認された。

⑫ 非破壊検査・構造検討（70MPa 充てん対応水素蓄圧器の構造検討結果）

従来型ポンベ形状での応力解析を実施した結果、45MPa 蓄圧器と同様に、口絞り部コーナーで応力集中が確認された。70MPa 充てん用蓄圧器の構造として、両端の成形部分が無い、開放されたシンプルなシェル構造を提案した。 高圧化に伴う耐圧強度計算での厚肉化においても十分焼入性が確保でき、また成形後の内表面加工および検査が可能であり、有害な欠陥の確認除去が実施できる構造とした。

⑬ 非破壊検査・構造検討（非破壊検査の検討結果）

a. 70MPa 充てん蓄圧器の供試体検討結果(高圧昭和ポンベ)

ア. 口絞り部の超音波探傷および目視検査

フェーズドアレイ超音波探傷の斜角探傷を用い、口絞り部内面の探傷を実施したが、しわからの反射と思われる信号は検出されない。また、口金部とそれに繋がる機械加工の傾斜面は口金部の穴から挿入した CCD カメラによって検視を実施した結果、しわと判断されるものは認められなかった。

イ. 成型頭部および口絞り部の内面側からの目視検査、磁粉探傷検査

成型頭部を2分割にした後、内面の目視および磁粉探傷検査を実施した。その結果、目視ではむしれ等が観察されたが、しわと判断されるものは認められない。また磁粉探傷検査では微小な磁粉指示模様が検出された。検出された磁粉指示模様の部分は、黒皮の表面が除去された状態のため、黒皮下のしわに磁粉が付着したものであり、この磁粉模様をグラインダーで除去すると、0.1~0.2mm の深さで除去された。

b. 70MPa 充てん蓄圧器の供試体検討結果(住金機工)

ア. 口絞り部の超音波探傷検査および目視検査

フェーズドアレイ超音波探傷の斜角探傷を用い、口絞り部内面の探傷を行ったが、しわからの反射と思われる信号は検出されない。また、口金部とそれに繋がる傾斜面は胴部側から挿入した CCD カメラによって検視を行った結果、内面全周に起伏が認められたが、

しわと判断されるものは認められない。

#### イ. 成型頭部および口絞り部の内面側からの磁粉探傷検査、目視検査

成型頭部を2分割にした後、磁粉探傷検査を行った結果では、内面の絞り部に線状の起伏が見られ、これらに磁粉が付着している。磁粉指示の一部をグラインダーで黒皮が無くなるまで研削し、その後磁粉探傷を行うと起伏部に付着した磁粉模様がそのまま現れ、線状のしわが見える。磁粉指示模様の一部をグラインダーで研削した結果、最大深さ0.5mmで除去された。

### ⑮ 非破壊検査・構造検討（製造・稼動中の検査手法の検討結果）

#### a. 蓄圧器絞り部のしわ検出精度の検討

##### ア. フェーズドアレイ超音波探傷法の検討

深さ1mmからのしわの検出は70MPa 供試体蓄圧器の形状で可能であった。しわの深さと検出されるエコー高さには相関関係が見られ、適切な感度設定によっておよそのしわ深さの推定が可能となる。また内面の肌の程度、起伏の程度は検出可能なしわ大きさに影響し、起伏が大きいとしわエコーが低下し、内面反射エコーが高くなり、しわエコーをマスクする。このため、現状の70MPa 供試体蓄圧器内面状況を基準に管理する必要がある。

##### イ. TOFD 超音波探傷法の検討結果

スリットの探傷結果では0.8mmのスリットも検出可能であったが、底面エコーと重なりあった状態であり、スリットのように明瞭なエコーが検出されない自然きずでは底面との判別が困難と思われる。1.5mmのスリットではきず信号が底面と明瞭に分離しており、1.5mmからであればしわのようなきずでも検出可能である。

#### b. 蓄圧器の AE ノイズ計測調査結果

昇圧時、可変圧系、高圧系とも、AE計測を行う上で特に大きな支障となるノイズの発生は、認められなかった。水素の加圧および流入によるノイズも、計測されなかった。バルブ切替え時に、大振幅・大エネルギーのノイズが一瞬発生した(両系とも)。計測されたAEエネルギーの大半は、このバルブ切替え時のノイズによるものであった。

バルブ切替え時に発生するノイズは運転記録を参照することにより特定可能であり、AE計測上の支障とはならない。バルブ切替によるノイズ以外に計測されたノイズは主として風によるタグプレートの揺れによるもの等であると考えられ、それらは小振幅・小エネルギーであった。従って、風で揺れるもの(タグプレート等)がある場合は、事前に対策しておくことが望ましい。

#### c. AE 伝播特性および位置評定特性の調査結果

本位置標定試験からは、以下の結果が得られた。

外面に擬似 AE 源を設置した場合は、胴部・鏡部ともに良好な精度での位置標定が可能であった。適切な伝播速度を設定した場合、位置標定誤差は数 mm 程度であった。

胴部外面に設置した4個のAEセンサにより、内面鏡部ノズルネック部までの位置標定が可能であった。

上記から、実機蓄圧器にAE法を適用する場合、蓄圧器1基あたり8個のAEセンサを

取り付けることにより、両鏡部内面の位置標定が可能である。

内面に擬似 AE 源を設置した場合(内面に AE 発生源が存在する場合を想定)は、伝播速度を 10%程度小さめ(遅め)に設定することにより最適化され、ほぼ良好な精度での位置標定が可能であった。内面に擬似 AE 源を設置した場合、位置標定結果が多少ばらつくことがあったが、これは内面では曲率半径が小さいため擬似 AE 源を完全に固定できなかったことによる。外面に AE 源が存在する場合に適合するよう伝播速度の設定を行っている場合、内面に存在する AE 源に対しては位置標定誤差が発生することを考慮する必要がある。

#### (6) 保安関係等の検討(石油産業活性化センター)

保安関係等の検討について、以下の成果が得られた。

- ① 保安検査の周期延長に関して、非破壊検査による検査手法について実スタンドの蓄圧器を用い検討を行った。その結果、ボンベ型の絞部外表面からフェーズドアレイ検査をすることで、深さ 1mm 以上のしわは、シワの位置と有無について検出が可能である。

TOFD 法の計測精度は、蓄圧器の内・外表面の凹凸、内面外面形状、肉厚変化、しわ形状などの影響を受けることが懸念され、更に精度を向上させる必要がある。

- ② 改質装置の夜間無人暖気運転の検討については、平成 18 年度に総務省消防庁に設置された、「水素供給施設の安全対策に関する調査検討会」で、本調査と併せ「水素スタンドをセルフ給油所に併設」、「水素スタンドの単独設置」、「水素ガスエンジンの給油取扱所への乗り入れ」に関して、財団法人石油産業活性化センターでの検討結果を基に検討を行った。その結果「改質装置の夜間無人暖気運転」は、水素スタンドが少ない現状において規制を見直すことは、時期尚早と判断された。
- ③ 水素スタンドのリスクアセスメント技術の構築では、ハザード摘出部分への従来知見に加え、故障率データ作成手法の検討を行い、リスクアセスメント支援システムを構築した。

#### (7) 水素スタンド安全対策の追加検討(石油産業活性化センター)

水素スタンドの安全対策の追加検討について、以下の成果を得た。

- ① 計装安全関連の検討

35MPa 充てん対応水素スタンドモデルのリスク評価において、リスク H として残留した想定事故シナリオは 9 件存在した。その中で配管、ホースの破断による大量漏洩が 3 件と最も多かった。そこで、配管破断による大量漏洩を防止する安全対策案について調査することとした。

- ② 適応可能性評価

- a. 蓄圧器および圧縮機の屋上設置あるいは地下設置の適応可能性検討

地下設置については、蓄圧器室モデル 2 種類（コンパクトなモデル、メンテナンス性を考慮したモデル）、圧縮機室モデル 1 種類を作成し、リスク評価の実施ならびにコンピューターシミュレーション (CFD) を利用して水素漏えい時の水素拡散状況を把握した。蓄圧器室を閉鎖空間とせず、一部開放することで地下設置の可能性が示唆された。ただし、

規制見直しにむけて更なるデータの蓄積が必要であることが分かった。

屋上設置については、圧縮機と蓄圧器をキャノピー上に設置するタイプと事務所上に設置するタイプの2種類を想定し、地震に対する地盤非線形応答解析等の検討を行なった。

また、現状で認められている国内CNGスタンドや米国の水素スタンドを調査した。検討の結果、建築構造物に要求される機能は地震時に倒壊しないことが必要で、耐震構造や免震構造にする必要があることが分かった。その対策としては、圧縮機と蓄圧器を屋上に設置することを前提に現行の建築基準法で設計すればよいことが分かった。

**b. 配管系及び蓄圧器の最小化の適応可能性検討**

配管内径を1mmとすることで配管破断時の影響度を低減できるが、燃料電池自動車への充電時に流量が確保できない。このことから適用は不可能であると考えられる。

蓄圧器容量最小とした場合、改質器、圧縮機の増設、および複雑な運転制御が必要となった。蓄圧器を設置しない場合、水素ホルダーおよび圧縮機の増設、車両充電に対して圧縮機の制御が必要となった。エンジニアリング会社によると、どちらも運転制御の複雑さやコスト高が懸念されるとのことであった。現段階では、困難と考えられる。

**c. 水素スタンドを屋内給油取扱所に併設する可能性検討**

平成16年度までの検討で、水素スタンドを給油取扱所へ併設することが可能となった。しかし、これは屋根（以下、キャノピーという）の小さい屋外給油取扱所に限定されていて、キャノピーの大きい屋内給油取扱所には併設できないことが分かっていた。そこで、水素スタンドを屋内給油取扱所に併設するための検討を行ない、「水素供給施設の安全対策に関する調査検討会」（総務省消防庁）に提案し議論した。その結果、電気設備は防爆構造にするなどの安全対策を追加することによって、水素スタンドを屋内給油取扱所に併設することが可能との判断が示された。

**d. 水素スタンドをセルフ給油取扱所に併設する可能性検討**

平成16年度までの検討で、水素スタンドを給油取扱所へ併設することが可能となった。しかし、これは従業員が給油するフルサービスの給油取扱所に限定されていて、顧客が自ら給油するセルフサービスの給油取扱所には併設できないことが分かっていた。そこで、水素スタンドをセルフ給油取扱所に併設することを可能とするための条件検討を行い、上記の検討会へ提案して議論した。その結果、水素スタンドをセルフ給油取扱所に併設する場合は、水素充電車両のセルフ給油取扱所への誤侵入防止措置が必要となること以外は現行の安全対策で対応可能との判断が示された。

**e. 水素スタンドを単独設置する場合の離隔距離を短縮する可能性検討**

危険物を原燃料とする改質器を持つ水素スタンドを単独で設置する場合において、危険物の一日の取扱量が指定数量を超えると危険物施設となり、消防法上の一般取扱所として規制される。一般取扱所は、高圧ガス施設との距離を20m以上離すことや一般取扱所の周りに3~5mの保有空地を確保する必要がある。そこで、水素スタンドを単独設置する場合の離隔距離を短縮することを可能とするための検討を行なった。その結果、大型改質器を持つ水素スタンドを単独設置する場合においても一般則第7条の3第2項に従えば、高圧ガス施設との距離（20m）並びに保有空地は不要との判断が示された。

f. 水素ガスエンジン自動車の給油取扱所への乗り入れに関する可能性検討

消防法上、水素スタンド併設の給油取扱所において、燃料電池自動車への水素充てんは可能であるが、水素ガスエンジン自動車への水素充てんはできないことになっていた。そこで FCV のモーター部の到達温度や水素ガスエンジン自動車とガソリン自動車のエンジン部や排ガス出口の温度を比較するなどの検討を行なった。検討の結果、消防庁の調査検討委員会において、水素ガスエンジン自動車が給油のために給油取扱所および水素スタンド併設給油取扱所へ乗り入れることによる危険性は発生しないことが示された。さらに、本件は「危険物規制事務に関する執務資料の送付について」（消防危第 68 号 平成 19 年 3 月 29 日）において、各都道府県消防主管部長、東京消防庁・各政令指定都市消防長へ通知された。

g. 障壁を設置した場合の迂回距離を短縮する可能性検討

圧縮天然ガス（CNG）スタンドと液化天然ガススタンドに関する規制の中には、高圧ガス設備の周囲に有効な障壁を設置することにより、敷地境界距離（6m）を短縮させることができる考え方がある。そこで、CFD シミュレーションを使って検討を行ない、規制当局である経済産業省原子力安全・保安院保安課へ提案した結果、例示基準 56 の 2. 敷地境界に対し 6m 以上の距離を有することと同等の措置（特定圧縮水素スタンド）として採用された。

e. 前項にて抽出した安全対策の適応可能性検討

配管、ホースの破断時に大量漏洩を防止し、発災した場合の影響を低減させるための安全対策の設定条件を過流防止弁を使用して調査検討した結果、以下の通りとなった。

- ・破断して作動し遮断するまでの時間は、数ミリ秒以内とする。
- ・設置する場所は、必ず蓄圧器の出口に設置し、そこから 25m 毎とする。

(8) 圧縮水素運送自動車用容器の安全性検証(大陽日酸(日本産業・医療ガス協会との共同実施))

- ① 運送用複合容器の安全性検証として、容器と容器固定治具単体に衝撃が負荷された場合を想定し、落下試験及び台車衝撃負荷試験を実施した。
- ② 落下試験では試験体の落下高さ、容器と容器固定治具の取付け方向（上向き、横向き、下向き）をパラメーターとして試験を行った。落下高さ 3,000mm までの条件では、35MPa 水素ガス重点容器の二次的被害（容器の飛び出し、水素漏れ等）と考えられる現象は無いことが確認できた。
- ③ 台車衝撃試験では、時速 50Km 相当までの範囲において動的な衝撃負荷を与えても容器と容器固定部に問題となるような変位・ずれは生じていないことが確認できた。
- ④ 圧縮水素運送自動車用容器の輸送時の事故を想定した安全性を検証するため、容器単体容量 360L の複合容器 25 本を搭載できる集合容器フレームを供試体として作製した。集合フレームには、35Mpa 水素充填容器（高圧ガス保安協会が認証した実績の有る 205L 複合容器）、35MPa ダミー容器 4 本、ダミー鋼管 20 本の合計 25 本を搭載した。本供試体を用いて横転事故を想定した衝撃負荷試験を実施した。その結果、二次的被害(容器の損

傷、フレームからの飛び出し、水素漏洩など)が無いことが確認された。ただし、試験実施後の供試体からは、側面衝撃を受けた際のフレーム塑性変形の影響が認められた。

**(9) 車載容器用複合容器を利用した蓄圧器の安全性検証(大陽日酸(日本産業・医療ガス協会との共同実施))**

- ① 輸送用複合容器が蓄圧器として利用可能なことを蓄ガス時の圧力と温度の関係により示すため、既存の蓄圧器に関する充填データの収集・整理を行った。その結果、蓄圧器用の充てんデータとして複合容器への緩速充てんデータを収集する必要がある。
- ② 複合容器を蓄圧器として利用するための基準は現時点では制定されていない。そこで複合容器を用いた蓄圧器の試験方法について調査を実施した。
- ③ 70MPaでの蓄圧器への緩速充てん試験を実施し、急速充てんではガス温度の顕著な上昇により、容器表面温度の変化は着目されないが、緩速充てんではガス温度の上昇が緩やかであるため、容器表面温度の変化を検討することが必要であることが判った。
- ④ 技術基準案作成に向けての検討課題は下記のとおり。
  - a. 蓄圧器として使用する際の充てん圧力領域、繰り返し充てん回数の考え方の明確化と設計確認試験のサイクル試験回数、試験温度領域についての見直し
  - b. 蓄圧器の検査方法について水素スタンドにおける使用方法が加味された基準の検討
  - c. 設置スペースが限られた水素スタンドでは、スペースを有効利用するために天井設置や縦型固定による設置が考えられ、その安全性に関する検討が必要。

**(10) 実水素スタンドによる安全対策等の検討と検証(出光興産(石油産業活性化センターとの共同実施))**

平成18年7月に、千葉県市原市に給油所併設型水素スタンドを設置し、一般高圧ガス規則第7条の3第2項、危険物の規制に関する規則第27条ノ5、建築基準法別表第2及び建築基準法施行令第130条の9の4に準拠した国内初となる給油所併設型水素スタンドを設置した。このため、障壁、散水設備強化、SUS 316Lへの配管材料変更、過流防止弁設置等、新法令により追加された安全対策を設置し、保安検査等の簡素化のためのデータ収集、新たに追加すべきあるいは簡素化すべき安全対策の検討・検証を行った。

その結果、

- ① 過流防止弁は誤作動がなく安定した使用が可能であった。
- ② 圧力リリーフ弁は圧力リリーフ機能に問題は発生しなかった。放出量は、規定のオリフィス径では、50L/secであるが、理想気体からのずれの影響等により放出量は13.3L/secで規定量の1/3程度となった。オリフィスの形状によってチョーク現象が現れることも考慮し、オリフィス形状等について、更なる技術的検討が必要と考えられる。
- ③ バルブOリングの耐久性試験では、約315,000回の開閉をおこなった。初めに45,935回でかに泡状の極微小漏れが発生したが、大きくなることは無く微小漏れで安定した。漏れについては、グラウンドのまし締めにて漏洩を解消できた。その後、継続的に試験した結果、1.5年間の耐久性を確認した。微小漏れは約32,000～45,000回で発生しており、

年間1回の弁の点検が必要なことを確認した。

- ④ 圧縮機の長時間連続運転では、3,013 時間連続運転した。保安検査は、1,168 時間及び2,184 時間で行い、2 回目の検査でピストンリング等に摩耗があり交換した。6 ヶ月程度で摩耗が大きくなることが予想され、1 年間を通しての無点検は困難と思われる。
- ⑤ 蓄圧器の非破壊検査手法として、斜角超音波探傷試験を行った。0.3mm の切り欠き溝の検知が可能であったが、探傷作業の自動化の検討が必要である。
- ⑥ 保安全管理指針案の指針作成に向け、水素製造装置、PSA、圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー等について 故障項目と対策をまとめた。
- ⑦ 蓄圧器の直射日光防止措置として、蓄圧器の側面に直射日光防止シャッターを設置したところ、直射日光を受けている配管温度と蓄圧器表面との温度差が、秋~春においても2~3℃、夏場では5℃程度の温度差が生じ、効果があることを確認した。
- ⑧ 輻射熱防止効果と散水量の削減について、シャッター等は散水量の削減に対し有効であることが示唆された。
- ⑨ 改質器の無人運転において、3 日間の連続運転を2セット実施し、改質器の安全対策が支障なく機能することを確認した。尚、ガソリン・ナフサは可燃性ガス検知器による漏洩監視、緊急運転停止が可能であるが、灯油では困難であり、他の漏洩監視手段の検討が必要であると考えられる。

#### (11) 実水素スタンドによる規制見直しと適合性の検討（エンジニアリング振興協会(石油産業活性化センターとの共同実施))

実スタンドにおける見直された規制等の適合性を検証し、水素スタンドの更なる規制緩和を目的に、以下の調査・検討を行った。

- ① 供給水素純度と不純物分析法の検討として、現状 FCV 用に供給している JHFC ステーションの供給水素の純度と水素の分析法について調査を行った。なお、CO 濃度については連続監視、その他は年1回の分析を行っている。
- ② 水素純度測定方法の検証と制約緩和について、CO が ISO 基準 (0.2ppm) を満たしている限り、その他成分が JHFC 基準値を超えることは無いと考えられる。市原スタンドステーションでは、CO 濃度が ISO 基準を満足しており、制約を緩和する必要はなかった。不純物のうち、水素中の水分は ppm オーダーでは燃料電池のへの影響は無いが、プレクーラー充填時は相変化による影響に留意する必要があることから、外気温、圧力、露点をの関係を明らかにした。-40℃では、計算上 0.2ppm 以下にする必要であり、露点計の下限值 (0.5ppm) 以下とする必要があることがわかり、実際にも JHFC データで下限値未満であることを確認した。不純物の定量限界や測定間隔についても併せて調査を実施した。
- ③ PSA 切り替え時間の変更等による水素純度と製造コストへの影響について、市原ステーションで吸着時間を変化させ、CO ガス濃度を監視しながら数時間運転したが、ガス濃度に問題はなかった。
- ④ ディスペンサーの国内規格の根拠と適合性について、調査を実施した。

a. 緊急離脱カプラー、充填ホースの規格の適合性の検討

2 つともメーカー規格により製造されている。

緊急離脱カプラーは消防法、高圧ガス保安法で規定されているが、技術基準はない。類似基準として LPG の民間用バルクローリー製造基準があり、参考にされている。

b. 静電気除去接地アースの適合性の検討

車両の帯電と電位変化等を検討した結果、セルフサービス型ガソリンスタンドと同様に、静電気除去シートに触れることにより静電気着火を防ぐことができ、車両への接地作業は省略できるとの結論に至った。

(12) 絞り加工による蓄圧器の製造技術検討(住金機工(石油産業活性化センターから再委託))

① SCM435 の熱処理では、内面側の引張強度において規定値を満足させるべく、水焼入れによる熱処理を実施したが、絞り部の穴径寸法が内面側の焼入れ性能に大きく影響を及ぼすことが判明した。しかしながら、20mm φ の穴径においても外面と内面側の引張強度差は約 80N/mm<sup>2</sup>あり、内面の強度差を小さくするためには穴径を大きくする必要がある。

② SNCM439 (強度低減材)により、耐水素脆化特性に優れた 70MPa 充てん対応蓄圧器の製造技術確立の目途を得た。

③ SNCM439(強度低減材)及び市中材において、胴部全長を変更することで、同一加工条件、同一熱処理条件で 18l~120 l のボンベ型蓄圧器が製造できることを確認した。

(13) 鍛造加工による蓄圧器の製造技術検討(高圧昭和ボンベ(石油産業活性化センターから再委託))

① SNCM435 の熱処理結果から、蓄圧器の肉厚が最小 32mm までは、内面側の引張強さと靱性をともに所定の目標値にすることが可能なことが確認された。

② 熱処理後の蓄圧器外面側と内面側を比較すると、焼入時の冷却速度の違いによる、内面側の強度低下が確認された。外面からのみの冷却によらざるを得ないため、シャワー水冷方式で実施したが、やむを得ないものとする。

③ 70MPa 充てん対応蓄圧器では、35MPa 蓄圧器に比べ、外径に対する肉厚比が大きくなるため、頭部加工の絞り率は小さくなる。このため、シワの発生傾向は軽減されることが確認された。

④ SNCM439 (強度低減材) の水素雰囲気下での日本製鋼所の試験結果を引用し、疲労計算、き裂進展解析を行い、蓄圧器の安全性を検証した。これにより特定設備検査の事前評価を取得し工業製造を実施した。

(14) 液体水素スタンドに係る安全性評価と安全対策検討(石油産業活性化センター)

① リスクマトリクスによって影響度と可能性(頻度)を用いたリスク評価を実施した。

② HAZOP と FMEA を用いて事故シナリオを抽出し、機器の劣化・故障、ヒューマンファクター、天災等による事故のパターン化を図り、これらすべての事故シナリオに対して各

種安全対策を検討し、効果ありと判断した対策を実施した場合の評価結果を求めた。131件を評価した結果、リスクランク H レベルが 88 件から 13 件に減少した。

③ 液体水素の直接充てんするニーズは低いですが、輸送と貯蔵については、水素スタンドで気化して昇圧、FCV へ充てんすることが想定されるため、今後の活用が期待できる。

**(15) 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認と安全性評価(三菱重工業)**

① 液体水素の噴霧圧力を 0.3MPa、噴霧口径 0,2mm で水素漏洩量を測定した。また、5L の液体水素をコンクリート上で漏洩させ、拡散のベースデータを取得した。

② 水素放出条件（流速、温度）を変えて 1%及び 4%到達距離を計測し、解析結果と比較した。解析結果は、中心部の濃度がより高く、風下方向に広がった分布を示す傾向がある。

③ 火炎の最大到達距離(Lf)を計測し、流量と Lf はほぼ比例関係にあり、実験結果と計算結果は 10%程度の誤差範囲内でよく一致していることがわかった。

④ 爆発による着火点からの距離と最大過圧の関係を計測し、実験と解析の比較を行った。実験は、周囲の風が一定でなく拡散が進むためピーク値が低くなった。

**(16) 水素スタンド構成機器の安全性検証及び性能検証(日本産業・医療ガス協会)**

① 貯槽の耐震性能、ベント放出の検討、隣接火災の影響等の安全対策上の検討を行った。

② これによって、「液体水素スタンドに係る技術上の基準（案）」として技術基準案作成に資するデータをまとめた。

**(17) 保安関係等の検討(石油産業活性化センター)**

① 液体水素ローリーの保安距離の短縮のために、事故要因等の分析、安全対策の検討、対策後の事故の影響評価等を行った。

② 結果として、ベント距離を 10m、液体水素ローリーから敷地境界まで 6m 以上を確保することを提案した。

(18) 特許出願、成果外部発表、等

① 受賞実績

三菱重工業（株） 2008年12月4日 日本燃焼学会技術賞  
「40MPa 高圧水素の燃焼・爆発挙動およびリスク評価」

② 出願特許件数

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H17～H21年度
三菱重工業(株)	0	0	1	0	0	1
(株)日本製鋼所	0	0	2	1	0	3
合計	0	0	3	1	0	4

平成19年度

○三菱重工業株式会社

1) 高圧ガス流量計測装置及び流量計測方法、特願2008-043666号、三菱重工業(株)、  
平成20年2月25日

○株式会社日本製鋼所

2) 高圧水素耐圧部材の疲労設計方法、特願2007-190010号、(株)日本製鋼所、  
平成19年7月20日

3) 耐高圧水素環境脆化特性に優れた低合金鋼高強度鋼およびその製造方法、  
特願2007-214937号、(株)日本製鋼所、平成19年8月21日

平成20年度

○株式会社日本製鋼所

1) 耐高圧水素環境脆化特性に優れた高強度低合金鋼およびその製造方法、  
特願2008-125838、(株)日本製鋼所、平成20年5月13日

③ 論文・研究発表・講演

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H17～H21年度
(財)石油産業活性化センター	9	6	9	6	0	30
三菱重工業(株)	11	6	2	2	0	21
(株)日本製鋼所	3	2	5	6	5	21
出光興産(株)	0	0	3	1	0	4
合計	23	14	19	15	5	76

## 平成17年度

### ○三菱重工業株式会社

- 1) 岡林一木、武野計二、平嶋秀俊、千歳敬子、高圧水素ガス拡散爆発挙動及び液体水素の拡散挙動の研究開発、第19回技術開発研究成果発表会、石油産業活性化センター、平成17年5月16日
- 2) K. Okabayashi, T. Nonaka, N. Sakata and K. Chitose、Field Experiment and Numerical Simulation of Dispersion of High-pressurized Hydrogen Gas released to Atmosphere by Blow-down、PHYSMOD2005(International Workshop on Physical Modelling of Flow and Dispersion Phenomena)、平成17年8月24～26日
- 3) 岡林一木、河内昭紀、高圧水素ガス漏洩時の拡散挙動に関する野外実験と数値シミュレーション、第46回大気環境学会年会、平成17年9月7～9日
- 4) K. Takeno, K. Okabayashi, T. Ichinose, A.Kouchi, T.Nonaka, K. Hashiguchi, K. Chitose、Phenomena of Dispersion and explosion of high Pressurized Hydrogen、1<sup>st</sup> International Conference on Hydrogen Safety、平成17年9月8～10日
- 5) 坂田展康、岡林一木、野中剛、河野慎吾、千歳敬子、高圧水素タンクから漏洩した水素濃度場の非定常数値シミュレーション、日本航空宇宙学会西部支部、平成17年10月28～29日
- 6) 武野計二、岡林一木、橋口和明、野口文子、千歳敬子、40MPa高圧水素ガスの噴出火炎に関する実験的研究、環境管理、**41**(10)、(2005)、平成17年10月
- 7) 岡林一木、武野計二、水素インフラに関する安全技術研究、HES特別講演会水素・燃料電池の規制緩和と安全技術研究、平成17年10月6日
- 8) 岡林一木、水素安全評価技術研究への取り組み、福岡水素エネルギー近未来展、平成17年10月20日
- 9) 岡林一木、野中剛、坂田展康、武野計二、平嶋秀俊、千歳敬子、高圧水素ガスの漏洩拡散、安全工学、**44**(6)、398-397 (2005)、平成17年12月
- 10) 武野計二、橋口和明、岡林一木、千歳敬子、串山益子、野口文子、高圧水素噴流への着火および拡散火炎に関する研究、安全工学、**44**(6)、398-406 (2005)、平成17年12月
- 11) 武野計二、岡林一木、一ノ瀬利光、河内昭紀、野中剛、橋口和明、千歳敬子、高圧水素ガス漏洩時の拡散爆発現象について、水素エネルギーシステム、**30**(2)、78-82(2005)、平成17年12月

### ○株式会社日本製鋼所

- 12) 和田洋流、Evaluation of Metal Materials for Hydrogen Fuel Stations、ICHS-International Conference on Hydrogen Safety、平成17年9月8日
- 13) 和田洋流、水素スタンド機器用金属材料の安全研究（高圧水素雰囲気におけるCr-Mo鋼等の金属材料の水素環境脆性に関する研究）、水素エネルギー協会、平成17年10月6日
- 14) 和田洋流、水素スタンド構成金属材料の評価、日本機械学会 M&M2005材料力学カン

ファレンス、平成17年11月4日

○財団法人石油産業活性化センター

- 15) 菊川重紀、水素インフラに関する安全技術開発、石油産業活性化センター第19回技術開発研究成果発表会、平成17年5月16日
- 16) 菊川重紀、水素インフラに関する安全技術研究、NEDO燃料電池・水素技術開発報告会、平成17年7月12日
- 17) 菊川重紀、水素社会の未来予想図ー水素インフラの現状と将来ー、バイオサイエンスとインダストリー, **44**(8), 58-61(2005)、平成17年8月
- 18) 菊川重紀、Safety Study of Hydrogen Supply Stations for the Review of High Pressure Gas Safety Law in Japan、ICHS-International Conference on Hydrogen Safety、平成17年9月10日
- 19) 小森雅浩、The Review of High Pressure Gas Safety Law in Japan for Hydrogen Supply Stations、WHTC2005(World Hydrogen Technologies Convention 2005)、平成17年10月3日
- 20) 尾上清明、水素インフラ関連の法令見直しへの取組み、水素エネルギー協会 特別講演会、平成17年10月6日
- 21) 菊川重紀、水素インフラに関する規制の見直しと安全技術の開発、エンジンテクノロジー, **7**(6), 26-31(2005)、平成17年12月
- 22) 小森雅浩、水素ステーションの安全性検討ーリスク評価手法を使ってー、安全工学, **45**(1), 3-9(2006)、平成18年1月
- 23) 尾上清明、水素インフラ関連の法令見直しへの取組み、FC EXP02006 水素燃料電池展／専門技術セミナー、平成18年1月26日

**平成 18 年度**

○三菱重工業株式会社

- 1) K. Chitose, et.al., Risk Assessment Methodology for Hydrogen Refueling Station、第16回世界水素エネルギー会議、平成18年6月15日
- 2) 岡林一木、河内昭紀、高圧水素ガス漏洩時の拡散挙動に関する野外実験と数値シミュレーション(その2)、第47回大気環境学会年会、平成18年9月21日
- 3) 武野計二、岡林一木、千歳敬子、高圧(40MPa)水素噴流への着火現象及び定常火炎の特性、第44回燃焼シンポジウム、平成18年12月6日
- 4) 岡林一木、武野計二、平嶋秀俊、千歳敬子、野中剛、橋口和明、水素エネルギー利用における安全性評価技術の開発、三菱重工技報、Vol.44 No.1、2007、平成19年2月
- 5) K.Okabayashi, K.Takeno, H.Hirashima, K.Chitose, T.Nonaka and K.Hashiguchi、Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety、Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review Vol.44 No.1、平成19年3月(予定)
- 6) Takeno, K., Okabayashi, K., Kouchi, A., Nonaka, T., and Hashiguchi, K、Dispersion and Explosion Field Tests for 40MPa Pressurized Hydrogen、Special issue of "International

○株式会社日本製鋼所

- 7) 和田洋流、水素スタンド構成金属材料の評価、日本高圧力技術協会 平成18年度秋季講演会、平成18年11月16日
- 8) 服部公治、水素ステーション用圧縮機（安全性検証）、社団法人中国地域ニュービジネス協議会主催「水素利用システムの構築」研究交流会、平成19年2月15日

○財団法人石油産業活性化センター

- 9) 菊川 重紀、水素インフラに関する安全技術開発、石油産業活性化センター第20回技術開発研究成果発表会、平成18年6月7日
- 10) 山鹿 冬芽、水素インフラに関する安全技術研究、新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成17年度成果報告会、平成18年8月3日
- 11) 尾上 清明、水素インフラに関する安全技術研究、燃料電池実用化推進協議会 第2回標準化・規制見直し動向説明会、平成18年8月29日
- 12) 菊川 重紀、日本における水素スタンド規制見直し、IEA-HIA/Annex19（水素安全）、平成18年9月6日
- 13) 菊川 重紀、水素社会に向けたインフラ構築技術の現状と課題、日本エネルギー学会誌85(9), 745-751(2006)、平成18年9月号
- 14) 菊川 重紀、水素インフラの規制見直しへのCFD適用例、FLUENT社ユーザー会、平成18年11月17日

平成19年度

○三菱重工業株式会社

- 1) K. Takeno, et.,al., Dispersion and explosion field tests for 40MPa pressurized hydrogen, International Journal of Hydrogen Energy Vol.32、平成19年6月
- 2) A. Kouchi, et., al.,Dispersion tests on concentration and its fluctuations for 40MPa pressurized Hydrogen, International Conference on Hydrogen Safety, 2007, San Sebastian, Spain、平成19年9月11～13日

○株式会社日本製鋼所

- 3) K. Takasawa, et., al.、Internal Pressure Fatigue Test of CR-MO Steel in 45MPa Gaseous Hydrogen Environment、ASME PVP2007、平成19年7月23日
- 4) K. Takasawa, Y. Wada, R. Ishigaki, Y. Tanaka, T. Iwadate, K. Ohnishi、Internal Pressure Fatigue Test of CR-MO Steel in 45MPa Gaseous Hydrogen Environment、Proceedings of PVP2007
- 5) Y. Wada, et., al., Effect of Surface Machining on the Fatigue Life of Low Alloy Steel for Hydrogen Pressure Vessels、ASME PVP2007、平成19年7月23日

- 6) Y. Wada, et., al., Effect of Hydrogen Gas Pressure on the Mechanical Properties of Low Alloy Steel for Hydrogen Pressure Vessels, ASME PVP2007、平成19年7月23日
- 7) 高澤 孝一、和田 洋流、石垣 良次、田中 泰彦、高強度鋼低合金鋼の水素中塑性変形に伴う水素侵入挙動、2008 日本鉄鋼協会春季講演大会、平成 20 年 3 月 26 日

○出光興産株式会社

- 8) 吉田 剛、給油所併設水素ステーションの設置と法規制、第14回燃料電池シンポジウム（燃料電池開発情報センター）、平成19年5月17日
- 9) 吉田 剛、S S 併設型市原水素ステーションの開設と法規制、石油産業活性化センター第 21 回技術開発研究成果発表会、平成 19 年 7 月 10 日
- 10) 中村 直由、市原水素ステーションにおける水素センサー設置例、雑誌：Material Stage10月号（技術情報協会）、平成19年7月30日

○財団法人石油産業活性化センター

- 11) 結城 正、液体水素スタンドのリスク評価、石油産業活性化センター第 21 回技術開発研究成果発表会、平成 19 年 7 月 10 日
- 12) 菊川 重紀、水素インフラに関する安全技術研究、新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成 17 年度成果報告会、平成 19 年 7 月 13 日
- 13) 三橋 弘忠、水素スタンド規制見直しに対するPECの取り組み、(財)日本産業工業会、平成19年7月26日
- 14) S. Kikukawa, Risk Management Approaches to the Japanese Regulations Hydrogen Supply Stations, International Conference on Hydrogen Safety, 2007, San Sebastian, Spain, 平成19年9月12日
- 15) S. Kikukawa, Consequence Analysis and Safety Verification of Hydrogen Station Using CFD Simulation, International Journal of Hydrogen Energy, 平成19年10月12日
- 16) H. Mitsuhashi, The Activity in the Safety Identification of Hydrogen Infrastructure, 2<sup>nd</sup> NEDO-KEMCO Seminar, 平成19年10月11日
- 17) 菊川 重紀、水素スタンドに関する安全技術研究、HPI技術セミナー、平成19年12月21日
- 18) 菊川 重紀、水素スタンドの安全管理、セイフティ・エンジニアリング、平成 20 年 2 月 29 日
- 19) S. Kikukawa, Risk Assessment for Liquid Hydrogen Fueling Stations, 7<sup>th</sup> International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions, 平成20年3月1日

**平成 20 年度**

○三菱重工業株式会社

- 1) 河内昭紀、三坂直行、岡林一木、武野計二、岩渕宏之、濃度変動による着火性及び火炎伝

播の検討実験、 第22回PEC技術開発研究成果発表会、平成20年6月3日

- 2) 河内昭紀、岡林一木、高圧噴出水素ガスの濃度変動と着火性に関する実験、第49回大気環境学会年会、平成20年9月17～19日

○株式会社日本製鋼所

- 3) 石垣良次、高澤孝一、和田洋流、田中泰彦、70MPa充てん用蓄圧器材料の評価、第22回 PEC 技術開発研究成果発表会、平成20年6月3日
- 4) 高澤 孝一、高強度低合金鋼の水素中引張変形に伴う水素侵入挙動、日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同 平成20年度夏季講演大会、平成20年7月24日
- 5) Y. Wada、Material testing in high pressure gaseous hydrogen for storage vessels steel、17th Meeting of the BPV Project Team on Hydrogen Tanks、平成20年8月6日
- 6) K. Takasawa、Hydrogen Penetration Behavior of High Strength Low Alloy Steel with Plastic Deformation in Gaseous Hydrogen、2008 International Hydrogen Conference、平成20年9月8日
- 7) K. Takasawa、Y. Wada、R. Ishigaki、Y. Tanaka、Hydrogen Penetration Behavior of High Strength Low Alloy Steel with Plastic Deformation in Gaseous Hydrogen、Proceedings of the 2008 International Hydrogen Conference
- 8) 高澤 孝一、石垣 良次、和田 洋流、SNM439鋼の水素中引張変形に伴う水素侵入挙動、日本鉄鋼協会第157回春季講演大会、平成21年3月30日

○出光興産株式会社

- 9) 吉田 剛、市原水素ステーション、口頭発表、平成21年2月25日

○財団法人石油産業活性化センター

- 10) 山鹿 冬芽、水素社会基盤整備関連技術の開発、第22回PEC技術開発成果発表会、平成20年6月3日
- 11) 田上 博康、水素インフラに関する安全技術研究、平成19年度NEDO研究成果報告シンポジウム、平成20年6月24日
- 12) S. Kikukawa、International Journal of Hydrogen Energy、Risk assessment of Hydrogen fueling stations for 70MPa FCVs、平成20年7月25日
- 13) S. Kikukawa、IEA HIA Task19 Experts Meeting in Oslo,Norway、Approach to reduction of safety distances in Japan、平成20年9月10日
- 14) 菊川 重紀、水素スタンドのリスクアセスメント、化学工学会第74年会シンポジウム「先端化学産業技術プログラム」、平成21年3月18日
- 15) 菊川 重紀、水素スタンドのリスクアセスメント社団法人 日本化学会、平成21年3月28日

平成 21 年度

○株式会社日本製鋼所

- (1) K. Takasawa, Y. Wada, R. Ishigaki, R. Kayano、Effects of Grain Size on Hydrogen Environment Embrittlement of High Strength Low Alloy Steel in 45 MPa Gaseous Hydrogen、Materials Transactions
- (2) K. Takasawa, R. Ishigaki, Y. Wada, R. Kayano、Penetration of Hydrogen in High-Strength Low-Alloy Steel with Tensile Deformation in Gaseous Hydrogen、ISIJ International(投稿中)
- (3) 高澤孝一, 和田洋流, 石垣良次, 茅野林造、高強度低合金鋼の 45 MPa 水素中における水素環境脆化に及ぼす結晶粒径の影響、日本金属学会誌(投稿中)
- (4) 高澤孝一, 和田洋流, 石垣良次, 茅野林造、高強度低合金鋼の 45 MPa 水素下における水素環境脆化感受性に及ぼす結晶粒径の影響、溶接構造シンポジウム 2009
- (5) 高澤孝一, 石垣良次, 和田洋流, 茅野林造、SNCM439 鋼の水素中引張変形に伴う水素侵入挙動に及ぼす強度の影響、2010 年日本鉄鋼協会春季講演大会

## 2. 研究開発テーマ毎の成果

### 2.1 研究開発項目 A「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

#### (1) 水素・燃料電池自動車の基準・標準化に係る研究開発

##### ① 水素・燃料電池自動車の安全性評価

###### a. 自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価

2004年、我が国では燃料電池自動車の実用化を図ることを目的に、圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準（JARI-S001）および附属品の技術基準（JARI-S002）が公布された。しかし、普及促進を図るには、安全性を前提とした技術基準を合理化する必要がある。さらに、圧縮水素を燃料とする燃料電池自動車の安全基準を定める道路運送車両法の見直し、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム（UN-ECE/WP29）での世界統一基準（gtr: global technical regulation）の調和も重要課題である。これらの技術基準改訂に向けたデータを取得する上で、以下の課題について検討し、基準・標準化に資する基礎データを取得した。

##### 圧縮水素自動車燃料装置用容器技術基準（JARI-S001）の合理化検討

- ・試験サイクル数の見直し
- ・使用温度範囲の見直し
- ・シリーズ試験の導入検討と最高充填圧力試験の見直し
- ・その他（ガンファイヤ試験・静電気帯電試験）
- ・充填シミュレーションの開発

##### 道路運送車両法の基準見直し・国際基準調和活動（UN-ECE gtrなど）対応

- ・水素漏れ許容量の安全確認
- ・長尺容器および局所火炎暴露試験
- ・水素火災の周囲影響
- ・消火活動に対する安全情報
- ・駐車場や船舶輸送に関わる課題

#### ア. 圧縮水素自動車燃料装置用容器技術基準（JARI-S001）の合理化検討

##### (A) 試験サイクル数の見直し

現在、使用実態に合った合理的な基準改定のため、常温圧力サイクル試験の加圧回数を11、250回から5、500回に、応力比（＝最小破裂圧力/最高充填圧力）を2.25から1.8（end of life）に見直すかが検討されている。そこで、サイクル回数や応力比の適正化を図るため、以下の5項目を調査した。

- i) 圧縮水素容器の疲労寿命に及ぼす上限圧力の影響
- ii) VH3 容器の疲労寿命に及ぼす下限圧力の影響

- iii) VH3 容器の疲労寿命に及ぼす圧力媒体の影響
- iv) VH3 容器の疲労寿命に及ぼす加圧速度の影響
- v) VH4 容器の残留破裂強度に及ぼす圧力サイクルの影響

i) 圧縮水素容器の疲労寿命に及ぼす上限圧力の影響

<目的>

応力比とサイクル数の関係についての知見があまりない。そこで、常温圧力サイクル試験で定められるサイクル回数および破裂試験の応力比（＝最小破裂圧力/最高充填圧力）の適正化を図るために、上限圧力を最高充填圧力の 100%、125%、150%、175%、200%として常温圧力サイクル試験を実施し、圧力サイクル試験の上限圧力が容器疲労過程にどのような影響を与えるかを調査した。

<方法>

**試験容器の概要**

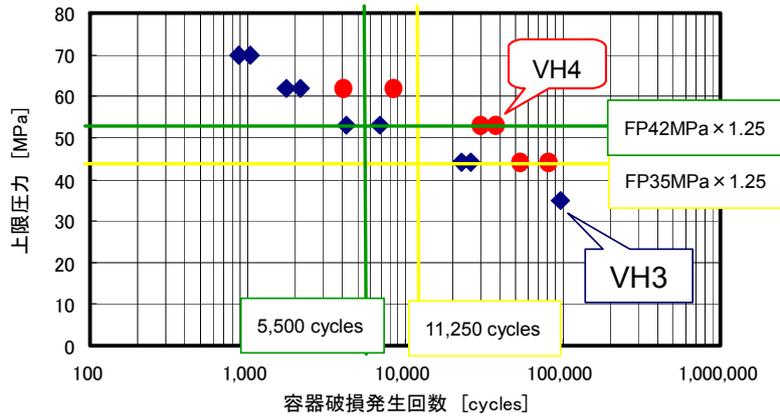
容器仕様	VH3 容器	VH4 容器
最高充填圧力 (FP) [MPa]	35	35
内容積 [L]	34	64
外径×長さ [mm]	φ280×830	φ400×832
ライナー材料	Al (A6061-T6)	HDPE

<結果>

上限圧力を最高充填圧力の 100%、125%、150%、175%、200%として常温圧力サイクル試験を実施し、圧力サイクル試験の上限圧力が容器疲労過程にどのような影響を与えるかを調査した。その結果、以下のことが分かった。

- 1) 圧力サイクル試験の上限圧力が高いほど、疲労寿命は短くなる傾向がある。
- 2) 供試 VH3 容器（アルミニウム合金ライナー製複合容器）の寿命はライナー材料の疲労曲線に似た傾向を持つ。
- 3) 供試 VH4 容器（プラスチックライナー製複合容器）の疲労寿命は供試 VH3 容器よりも長い。その寿命形態はリークではなく、破裂するケースがある。

よって、常温圧力サイクル試験の加圧回数を 11、250 回から 5、500 回に、応力比（＝最小破裂圧力/最高充填圧力）を 2.25 から 1.8 (end of life) に見直すかどうか検討されている基準を満たす容器の設計は可能であるといえるが、寿命形態とその要求されるサイクル数の規定には、さらに検討が必要である。



上限圧力-容器の損傷発生サイクル数線図

	FP35MPa × 1.25 43.75MPa	FP35MPa × 1.50 52.5MPa*	FP35MPa × 1.75 61.25MPa*
VH3	 リーク発生	 リーク発生	 リーク発生
VH4	 リーク発生(経路不明)	 容器破裂	 容器破裂

\*設計圧力を超える圧力

サイクル試験終了時の状況

ii) VH3 容器の疲労寿命に及ぼす下限圧力の影響

<目的>

部分充填によって寿命がどのように変化するか解明されていないため、適正な安全率の根拠を見出す必要がある。そこで本報告では、自動車用圧縮水素容器 (VH3) に、下限圧力を変えた圧力サイクル試験を実施して、下限圧力が圧縮水素容器の疲労寿命にどのような影響を与えるかを調査することを目的とした。

<方法>

供試容器の仕様

Type	Filling Pressure	Volume	Diameter	Liner Material	Appearance
VH3	35 [MPa]	28 [L]	φ280×730 [mm]	Aluminum Alloy (A6061-T6)	

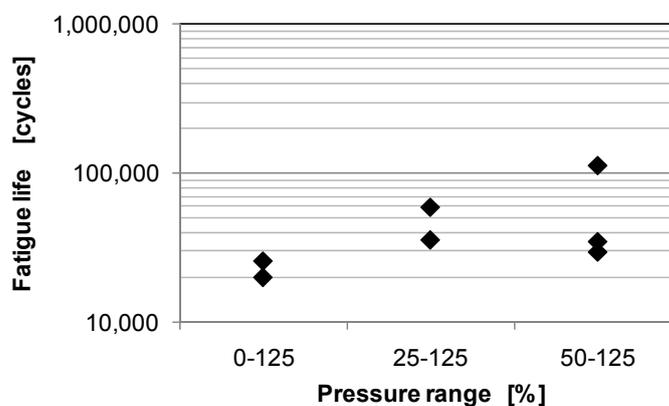
圧力サイクル試験条件

	0-125%	25-125%	50-125%
Minimum Pressure	0 MPa (FP* × 0%)	8.75 MPa (FP × 25%)	17.5 MPa (FP × 50%)
Maximum Pressure	44MPa (FP × 125%)		
Temperature	20 ± 5 °C		
Fluid (Medium)	Deionized Water		
Frequency	15 sec/cycle		
Waveform	Sine Curve		
Termination	Occurrence of Leak Before Break		

\*FP : Normal Filling Pressure = 35 MPa

<結果>

下限圧力が高くなると、寿命が伸びる傾向が得られた。しかし、寿命が伸びるレベルは圧力に比例するわけではなかった。25-125%設定と 50-125%設定を比較すると、N=2 以上で実施した各条件で、寿命の短かかった容器の寿命はほとんど同じだが、50-125%設定では、寿命が伸びる側にばらつきが大きくなった。



下限圧力と疲労寿命の関係

iii) VH3 容器の疲労寿命に及ぼす圧力媒体の影響

<目的>

JARI S001 (2004) 第 11 条常温圧力サイクル試験では、圧力媒体となる液体の種類は規定されていない。そこで本報告では、自動車用圧縮水素容器 (VH3) に、圧力媒体をイオン交換水およびフッ素系媒体 (Perfluoropolyether) を使用した圧力サイクル試験を実施して、圧力媒体が圧縮水素容器の疲労寿命にどのような影響を与えるかを調査することを目的とした。

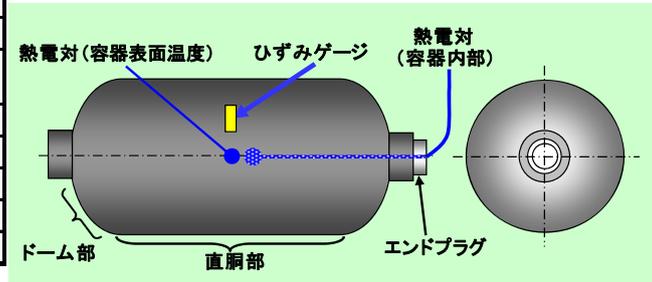
<方法>

圧力サイクル試験条件

	イオン交換水	フッ素系液体
試験温度	15~25℃	15~25℃
試験湿度	-	-
充填媒体	イオン交換水	フッ素系液体 (Perfluoropolyether)
上限圧力	FP (70MPa) × 125% = 87.5MPa以上	
下限圧力	1.0MPa以下	
加圧頻度	15 sec/cycle	
加圧波形	サイン波	
加圧回数	破損発生まで	

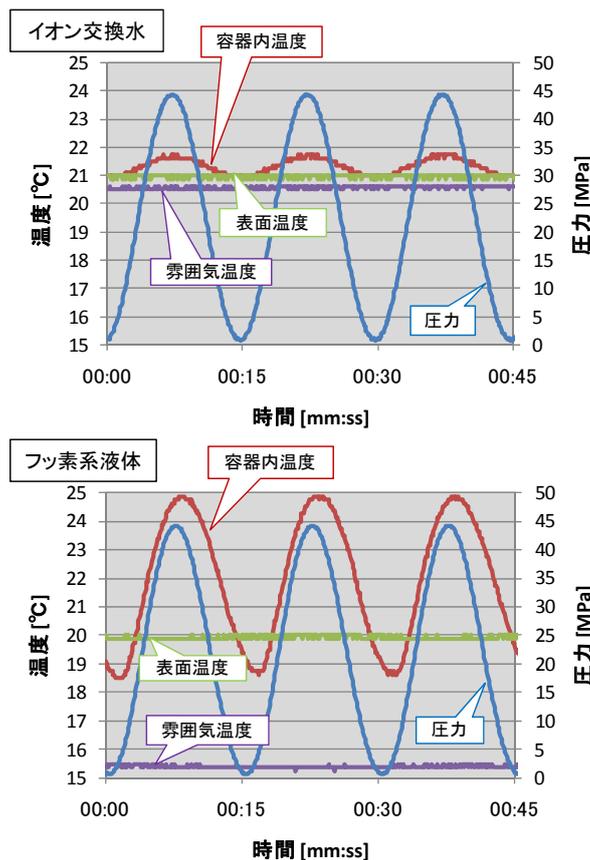
\*FP: Filling Pressure

試験容器の温度・ひずみ測定方法



<結果>

イオン交換水の場合は、雰囲気温度を 20℃設定とし、容器内温度が 21℃±1℃となった。一方、フッ素系液体の場合、水よりも圧縮係数が高く、圧縮による発熱が大きいいため、雰囲気温度を 15℃と設定して、容器内温度は 18~25℃の間を振幅した。



VH3 容器の圧力サイクルおよび温度変化一例

圧力媒体をイオン交換水およびフッ素系液体としたときの圧力サイクル試験を実施した結果、イオン交換水の場合、19,994回および25,569回でLBBが発生した。一方、フッ素系

液体の場合、17、934 回および 18、081 回で LBB が発生した。よって、不活性液体であるフッ素系液体とイオン交換水のどちらを使っても同等の寿命となることがわかった。つまり、不活性液体であるフッ素系液体と比べて、イオン交換水は VH3 容器の疲労寿命に悪影響を及ぼさないと考えられる。以上より、常温圧力サイクル試験の圧力媒体を規程する必要がないことが分かった。

#### iv) VH3 容器の疲労寿命に及ぼす加圧速度の影響

##### <目的>

JARI S001 (2004) 第 11 条常温圧力サイクル試験では、加圧速度は、1 分間あたりのサイクル数=10 回以下 (6 秒/サイクル以上) と定義されている。しかし、1 分間あたりのサイクル数がどの程度劣化に影響を及ぼすのかの根拠データが得られていない。そこで、自動車用圧縮水素容器 (VH3) に、加圧速度を変えた圧力サイクル試験を実施して、加圧速度が圧縮水素容器の疲労寿命にどのような影響を与えるかを調査した。

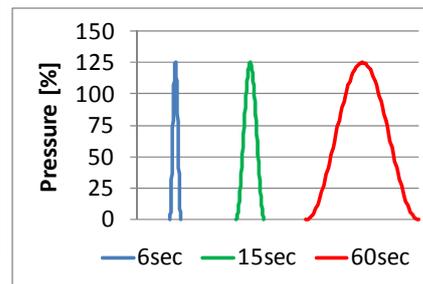
##### <方法>

本試験では、VH3、35 MPa、28 L の圧縮水素容器を使用した。

各試験温度での圧力サイクル試験条件

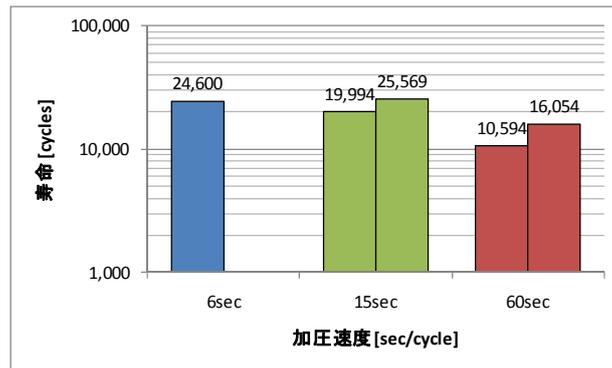
	6sec	15sec	60sec
試験温度	室温		
上限圧力	43.75 MPa (FP × 125%)		
下限圧力	0 MPa (FP × 0%)		
充填媒体	イオン交換水		
加圧速度	6 sec/cycle	15 sec/cycle	60 sec/cycle
加圧波形	サイン波		
加圧回数	破損発生まで		

\*FP : Normal Filling Pressure = 35 MPa



##### <結果>

6 sec/cycle と 15 sec/cycle を比較すると疲労寿命は変化しなかった。一方、加圧速度を 60 sec/cycle にした場合の寿命は、10、594 cycles および 16、054 cycles であり、やや疲労寿命が低下する傾向が得られた。60 sec/cycle の場合、試験期間が長くなることから、水や酸素等が亀裂進展に影響を与えた可能性が考えられる。



疲労寿命に及ぼす加圧速度の影響

v) VH4 容器の残留破裂強度に及ぼす圧力サイクルの影響

<目的>

圧力サイクルが破裂圧力に与える影響は明らかにされておらず、問題点が抽出できていない。このため、常温圧力サイクル試験後に破裂圧力がどれだけ低下するか、また、常温圧力サイクル試験の上限圧力を変えた場合の影響を調査した。

<方法>

常温圧力サイクル試験は、「JARI S001」第 11 条（設計確認試験における常温圧力サイクル試験）を参照して実施した。未使用容器および設定した圧力サイクル数が終了した容器について、水加圧試験装置（破裂用）を用いて破裂試験を実施した。

供試 VH4 容器

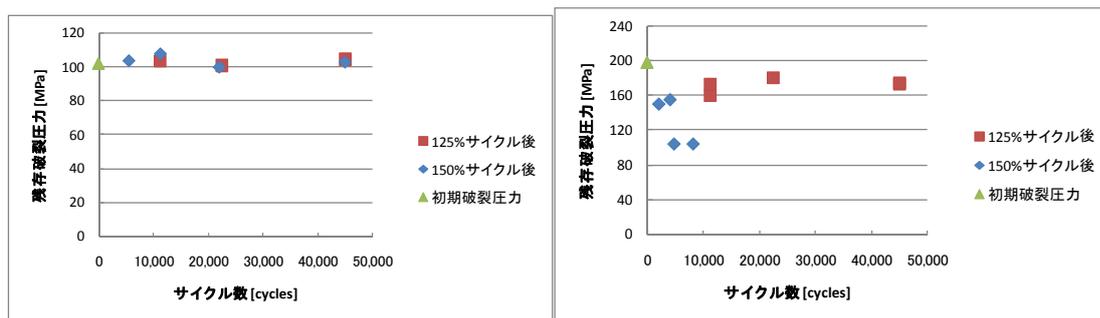
容器仕様	VH4	VH4
最高充填圧力 [MPa] (Filling pressure:FP)	35	70
内容積 [L]	40	40
外径 [mm]	φ287	φ310
長さ [mm]	884	884

常温圧力サイクル試験条件

圧力媒体	イオン交換水
媒体温度	24±14℃
下限圧力	0 MPa
上限圧力	パラメータ A (FP×125%~150%)
加圧頻度	4 cycles/min.
加圧回数	パラメータ B (2,000~45,000 回)

### <結果>

上限圧力およびサイクル回数を変えて常温圧力サイクル試験を行った後、破裂試験を行い、残存破裂強度を調査した。35MPa 供試容器について、サイクル後の残存破裂圧力は初期破裂圧力と変わらなかった。つまり、圧力サイクルによる残存破裂強度の低下は起こらなかった。70MPa 供試容器については、125%サイクルによって、サイクルの初期に若干破裂圧力が低下したが、その後は、長期間サイクルを行っても破裂強度の低下は起こらなかった。150%サイクルでも、サイクルの初期に破裂強度が低下した。また、サイクル中に容器破損による漏洩が起こった。70MPa 供試容器は、圧力サイクルによって残存破裂強度が低下したと考えられる。以上より、最高充填圧力が高い容器ほど、圧力サイクルによる残存破裂強度の低下が起こりやすい傾向があることがわかった。



35MPa VH4 供試容器

70MPa VH4 供試容器

### 圧力サイクルと残存破裂強度の関係

#### (B) 使用温度範囲の見直し

##### <目的>

圧縮水素容器に急速充填する際、条件によっては、現行基準で定められている容器の使用上限温度 85°Cを超えることがある。また、車両動力が高負荷時における水素消費時では、自動車用圧縮水素容器は著しい温度低下を伴うことが想定される。そこで、急速充填や消費時などによる容器の使用温度に対する適正化を図るため、以下の試験を行った。

(i) 急速充填試験

(ii) 水素消費試験

(iii) その他

極端温度圧力サイクル試験

VH3 容器の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響

VH4 容器の残存破裂圧力に及ぼす圧力サイクル試験温度の影響

(i) 急速充填試験

<目的>

容器の急速水素充填試験を実施し、容器への水素充填時における容器内の急激な温度上昇現象を詳細に調査し、容器の温度特性などの基礎データを構築することを目的とする。急速充填時の容器の温度上昇に影響を与える要因として、以下について調査を実施した。

- i-①充填時間
- i-②圧力上昇パターン
- i-③容器への充填方法（容器内部でのガス噴出ノズルの口径、噴出方向）
- i-④充填ガス温度

また、ステーションにおける自動車への充填を想定すると、充填時の容器や設備の状況がベンチテストとは異なるため、上記の試験で得られた結果との相違の検証や、容器の温度特性の、より詳細な調査を行う必要があり、以下の試験を実施した。

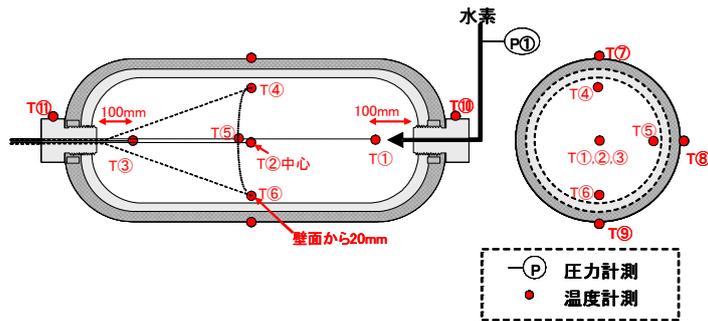
- i-⑤ノズル／レセプタクルにおける絞りの影響
- i-⑥ライナー温度とガス温度の関係
- i-⑦容器内ガス代表温度計測位置の影響
- i-⑧複数容器による急速充填
- i-⑨充填数値シミュレーションの開発

<方法>

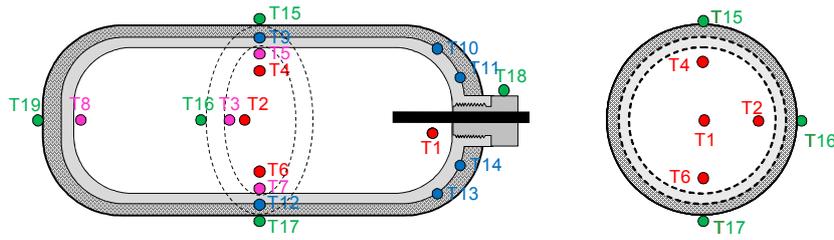
**試験容器**

使用圧力	35[MPa]		
容器種類	VH3(Aluminum Liner)		VH4(Plastic Liner)
内容積	34[L]	74[L]	65[L]
外径－全長[mm]	D280-L830	D400-L910	D400-L832

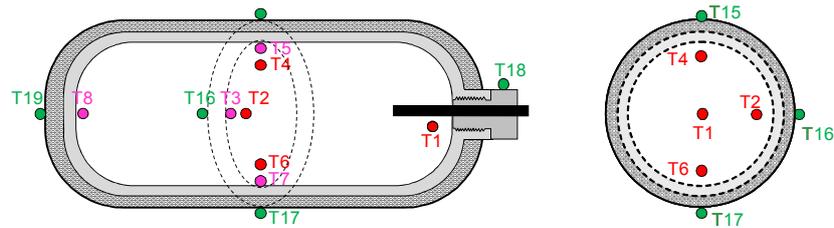
使用圧力	70[MPa]				
容器種類	VH3(Aluminum Liner)		VH4(Plastic Liner)		
内容積	41[L]	125[L]	31[L]	40[L]	51[L]
外径－全長[mm]	D290-L1030	D600-L1000	D360-L600	D300-L900	D400-L750



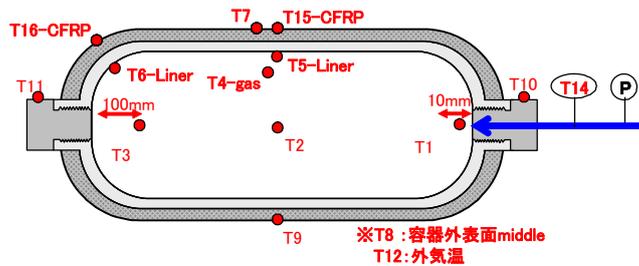
容器温度計測位置(35MPa 容器、70MPa-VH3-41L 容器、70MPa-VH4-31L 容器)



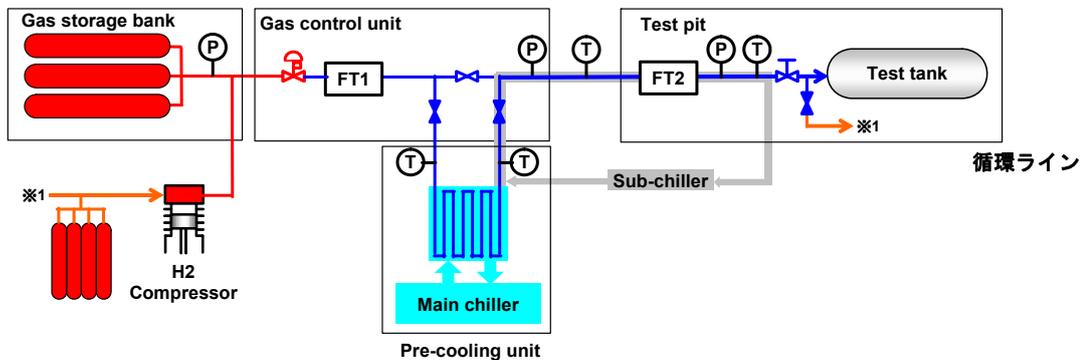
容器温度計測位置(70MPa-VH4-40L 容器)



容器温度計測位置(70MPa-VH3-125L 容器、70MPa-VH4-51L 容器)



容器温度計測位置(ライナー温度とガス温度の関係調査)



充填試験設備

<結果>

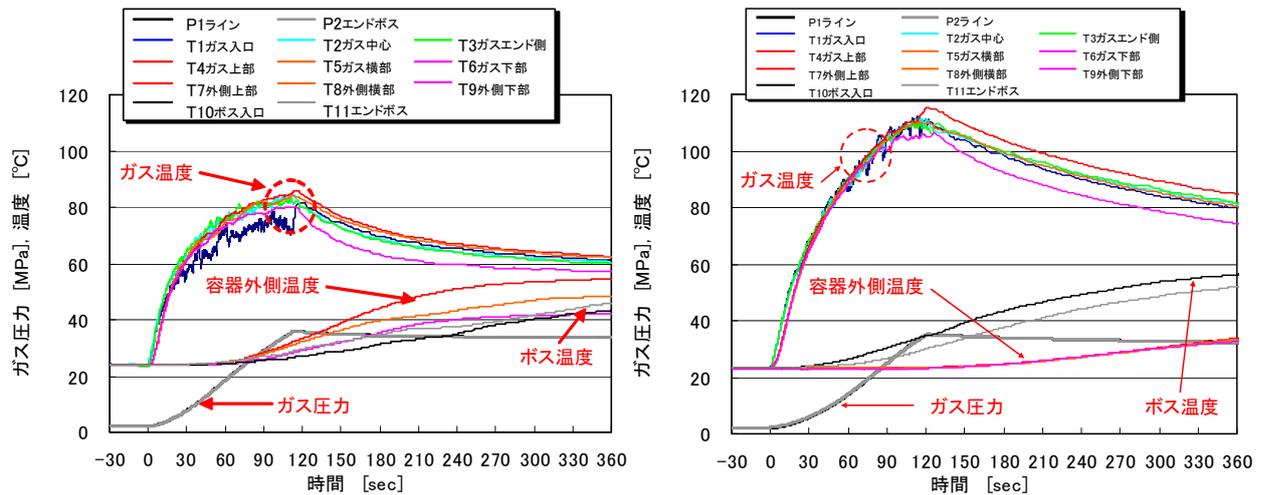
i-① 充填時間が容器内温度上昇度に及ぼす影響

試験条件

試験は、初期圧力を 2[MPa]として、充填時間を変えて 35[MPa]および 70[MPa]まで水素を充填した。それぞれの試験において、圧力上昇率は一定になるよう制御した。35[MPa]試験容器は、VH3 容器の 34[L]と 74[L]及び VH4 容器の 65[L]の 3種類を使用した。

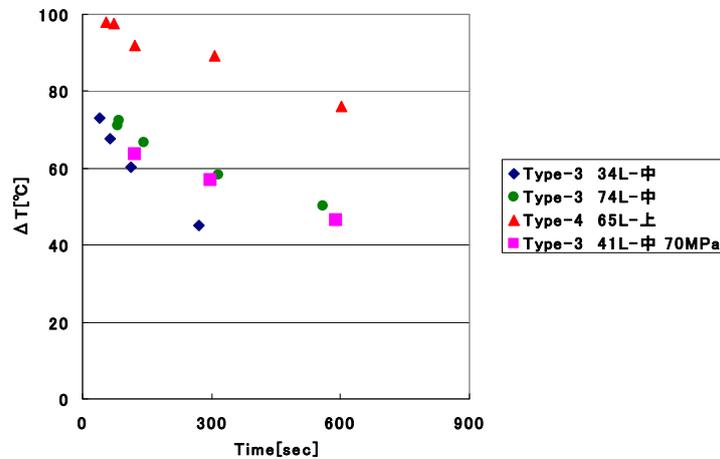
試験結果

VH4 容器の容器内上部ガス温度は、充填時間 79[sec]の時に最高温度 120[°C]（温度上昇度 98[°C]）に達した。一時的ではあるが、環境温度によっては容器内温度が容器設計確認試験温度である 85[°C]を超えるケースもあることから、改めて充填時の容器内温度上昇には注意が必要であることがわかった。また、試験の結果、試験条件により容器内各部の温度上昇に温度差が見られ、その傾向は特に上下方向に顕著であることがわかった。



VH3 35[MPa]114[sec]充填

VH4 35[MPa]122[sec]充填

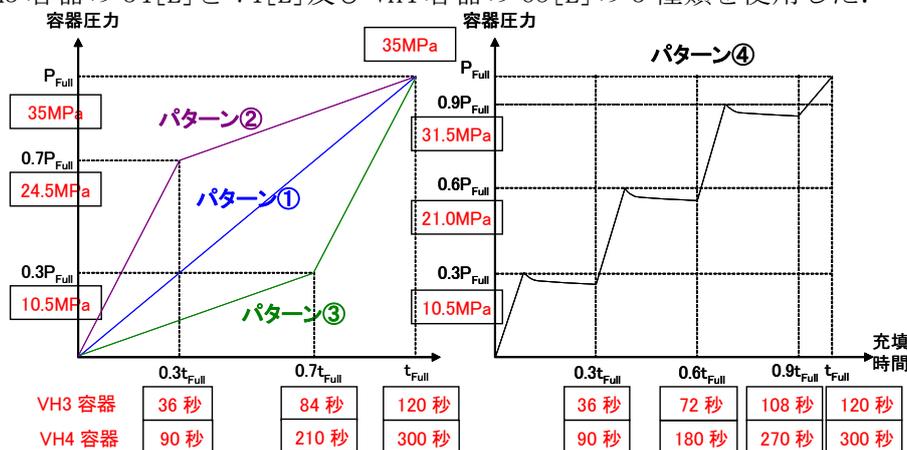


充填速度の違いのまとめ

i-② 圧力上昇パターンが容器内温度上昇度に及ぼす影響

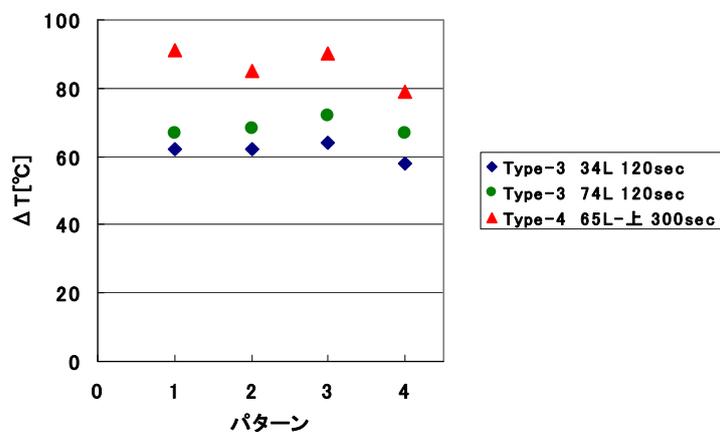
試験条件

初期圧力を 2[MPa]として、圧力上昇パターンを変えて 35[MPa]まで水素を充填した。試験容器は、VH3 容器の 34[L]と 74[L]及び VH4 容器の 65[L]の 3 種類を使用した。



試験結果

同じ容器では圧力上昇パターンの違いによる著しい温度差は見られなかったが、容器の違いによって温度上昇度が異なり、特に VH4 容器では、300[sec]充填においても一時的ではあるが、容器設計確認試験温度である 85[°C]を超えるケースもあった。



35[MPa]圧力上昇パターン充填のまとめ

i-③ 充填流速と充填方向の影響

これまでの試験により、充填中の局所的な温度上昇により容器内ガス温度には分布がみられることが確認されている。そこで、充填時の容器内温度分布を抑える方法として、容器内部への水素ガスの噴出方法に着目し、VH4 容器への充填流速および噴出方向をパラメータとする充填試験を行い、容器内ガス温度分布との関係について調査した。

イ) 充填流速の影響

試験条件

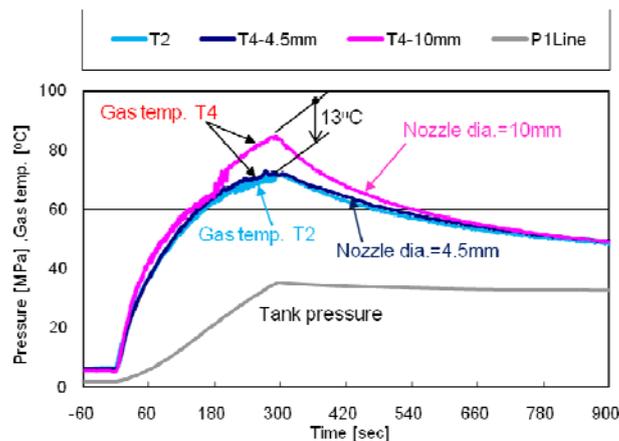
試験容器は、VH4 容器 2 種類（35MPa-65L、70MPa-40L）を使用した。温度計測位置は、容器内ガス温度 2 点（中心部 T2 および上部 T4）および充填ガス温度とし、また、充填圧力の計測は、容器入口の配管圧力の計測を行った。また、本試験では充填時の容器内部への噴出流速も計測した。噴出流速の計測は、容器入口直前の圧力計および温度計の上流に設置した流量計によって瞬時流量（質量流量）を計測し、計算によって求めた。

試験条件

Tank Type	VH4-35MPa-65L	VH4-70MPa-40L
Filling pressure[MPa]	35	70
Filling Pattern	Constant rate of pressure rise	
Nozzle diameter [mm]	10 / 8.5 / 7 / 4.5	7 / 5 / 3
Filling rate [MPa/min]	2.5 / 6.6 / 12.5	4.5 / 6.9 / 11.5

試験結果

VH4-35MPa-65L 容器の充填速度 6.6[MPa/min]における、噴出口径 10[mm]と 4.5[mm]の、容器内ガス温度挙動を比較した。噴出口径 4.5[mm]では、これまでみられた上部ガス温度（T4）の局所的な温度上昇がなくなり、温度上昇度は 13[°C]低下する結果となった。

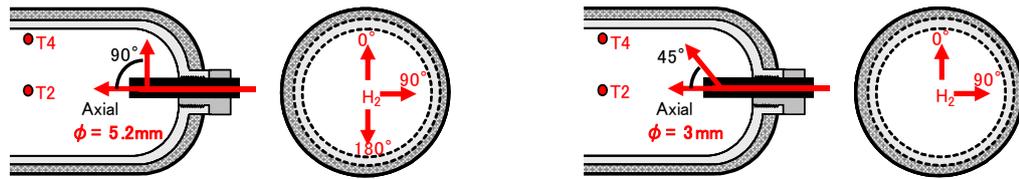


容器内ガス温度挙動の比較(6.6[MPa/min])

ロ) 充填方向の影響

試験条件

ガス噴出方向を変える方法として、噴出方向変更用の治具を製作し、充填する水素ガスの流れの向きを変えて容器内に噴出させるようにした。噴出方向は上方向の場合を 0°、横方向を 90°、下方向を 180° とし、水素ガス導入方向と同じ容器長手方向に噴出する場合を Axial とした。



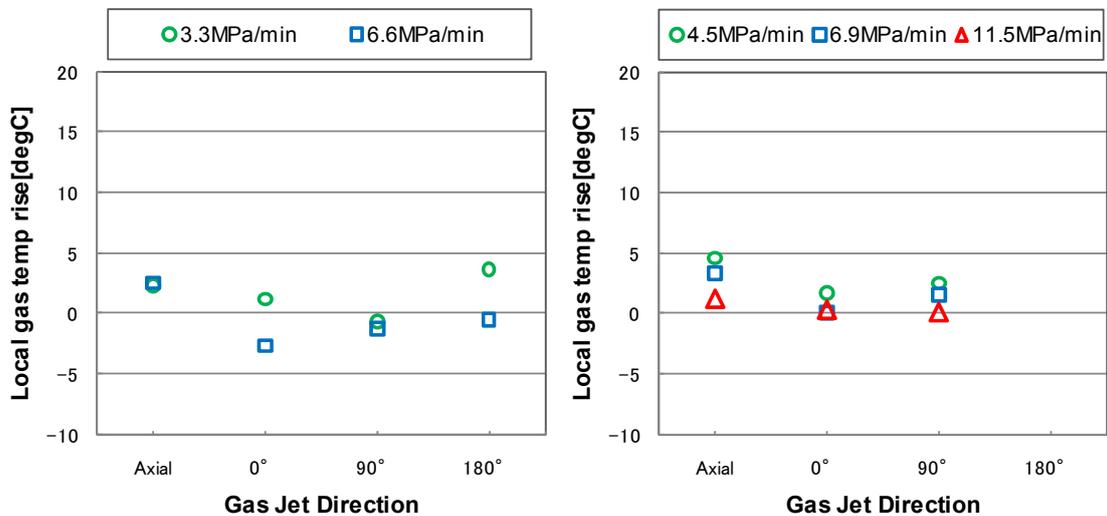
水素ガス噴出方向: 左)35MPa-65L 容器 右)70MPa-40L 容器

### 試験条件

Tank type	VH4-35MPa-65L	VH4-70MPa-40L
Filling pressure[MPa]	35	70
Filling pattern	Constant rate of pressure rise	
Filling Rate[MPa/min]	3.3 / 6.6	4.5 / 6.9 / 11.5
Nozzle diameter[mm]	5.2	3

### 試験結果

本試験ではいずれの場合も大きな局部温度上昇は見られず、噴出方向による大きな相違はなかった。噴出口径が細く、もともと局部温度上昇が生じない場合には、いずれの噴出方向でも容器内部の攪拌効果はほぼ同じで、容器内の局部温度上昇に対する噴出方向の影響は殆どないことがわかった。



35MPa-65L 容器

70MPa-40L 容器

噴出方向と局部温度上昇度の関係( $\Delta T4 - \Delta T2$ )

#### i-④ 充填ガス温度の影響

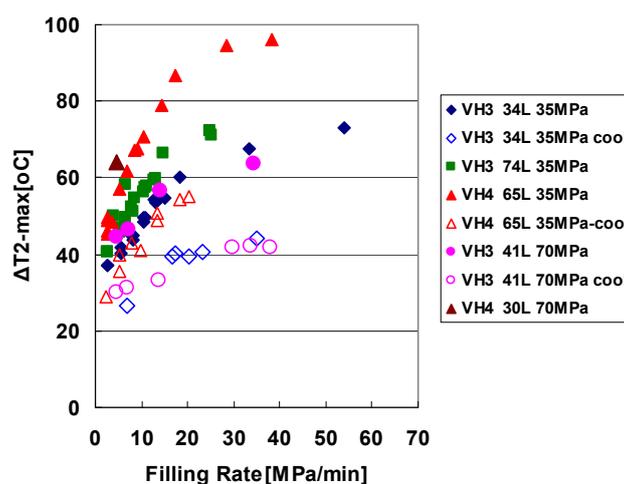
充填時の容器内ガス温度上昇を抑え、かつ短時間での充填を達成する充填方式として、予め充填ガスの温度を冷却するプレクール充填方式が検討されており、プレクール充填方式による流入ガス温度の違いが容器温度上昇に与える影響について調査した。

## 試験条件

試験容器は、35[MPa]-VH3 容器 (内容積 34[L]及び 74[L])、35[MPa]-VH4 容器 (内容積 65[L]) 及び 70[MPa]-VH3 容器 (内容積 41[L]) を使用した。試験は、充填時間の違い及び圧力上昇パターンの違いによる充填方法でプレクール試験を実施した。充填時間の違いでは、初期圧力を 2[MPa]とし、充填時間を変えて 35[MPa]及び 70[MPa]まで水素を充填し、圧力上昇率は一定になるよう制御した。また、圧力上昇パターンの違いでは、圧力上昇度を変化させた場合のデータ比較を行った。パターン充填における充填時間は、35[MPa]容器は 2 分、70[MPa]容器は 5 分とした。容器への供給水素ガス温度は $-5\sim-22[^\circ\text{C}]$ であり、試験時の環境温度は約 $7\sim25[^\circ\text{C}]$ であった。

## 試験結果

各容器への充填において、常温充填とプレクール充填による容器の温度上昇度をまとめた。 $\Delta T2\text{-max}$  は、充填開始時の容器内温度と充填中の容器内最高温度との差であり、温度測定箇所は容器内中央部ガス温度(T2)である。このように、プレクール充填を行うことで、容器内ガスの最高温度を低く抑えて充填することが計測された。また、プレクールの効果は、充填速度が速いほど大きいことが分かった。



充填速度の違いによるプレクール効果のまとめ

### i-⑤ノズル／レセプタクルにおける絞りの影響

本試験では、ノズル・レセプタクルをガス流路に設置した状態で急速充填試験を行い、急速充填時の容器内ガス温度上昇度に及ぼすノズル・レセプタクルの影響を調べるとともに、これまで蓄積したデータの有効性について検証した。

## 試験条件

試験容器は、VH3-35[MPa]容器 (内容積 34[L]) を使用した。また、ガス流路に設置したノズル・レセプタクルは 35[MPa]用 (日本製) を使用した。試験は、従来の試験フローに加え、試験容器の手前に 35[MPa]用ノズル／レセプタクルを設置し、その前後に挿入した温度計に

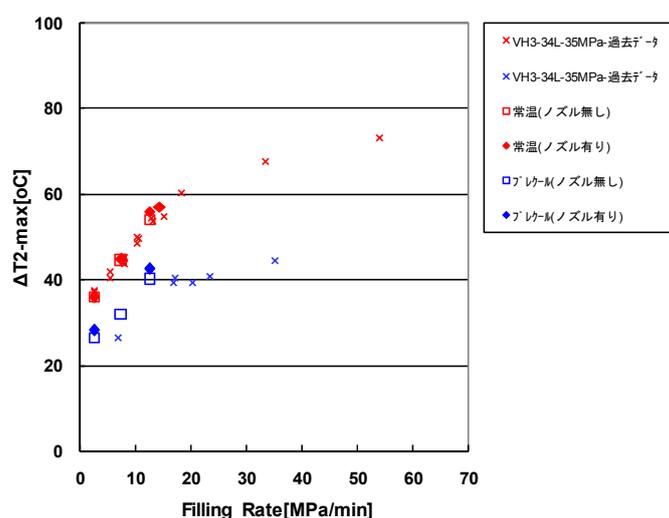
よりノズル／レセプタクル前後の温度挙動を確認した。

試験条件

初期圧力	2 [MPa]
充填圧力	35 [MPa]
充填速度	2.5、7.5、12.5[MPa/min]
充填温度	常温、プレクール

### 試験結果

試験の結果、常温充填時においては、充填速度に関わらずノズル／レセプタクル部前後での温度上昇は見られず、ノズル／レセプタクルの有無による容器内温度上昇の差は見られなかった。よって、ノズル／レセプタクル部の絞りの影響による温度上昇は無いものと考えられ、また、従来の試験フロー(ノズル／レセプタクルが無い状態)で蓄積されたデータも十分に活用できることが確認された。



容器内ガス温度上昇度(ΔT2) まとめ

### i-⑥ライナー温度とガス温度の関係

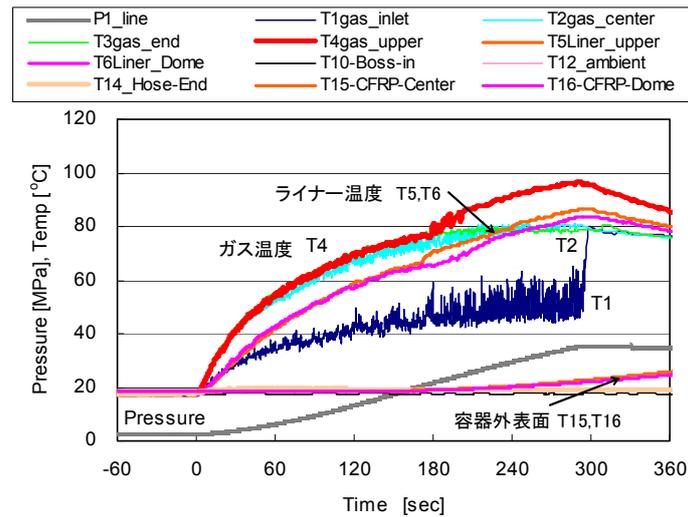
容器内のライナー温度を直接計測する手法によって、VH3 容器における容器内ガス温度とライナー温度の関係を調査した。

### 試験条件

容器は、35[MPa]-VH3 (内容積 34[L]) 及び VH4 容器 (内容積 65[L]) を使用した。ライナー内表面温度は、容器中央上部と容器肩上部の 2 ヶ所を計測し、対応する容器外表面温度も計測した。また、試験容器のライナー内表面温度計測は、アルミニウムテープを用いて熱電対をライナー内表面に貼り付ける方法で実施した。

## 試験結果

容器内ガス温度は充填開始とともに急激に上昇するが、容器内ライナー表面温度はガス温度の上昇に伴って緩やかに上昇した。充填終了時、容器内ガス温度、容器内面ライナー温度はともに最高温度に達するが、充填後すぐに容器内ガス温度が緩やかに下降するのに伴い、ライナー温度も下降を始めた。また、VH4 容器では、上部ライナー温度が、充填途中に中心ガス温度(T2)を上回る傾向がみられ、容器内部温度を中心ガス温度で規定することが、必ずしも妥当ではないことが確認された。



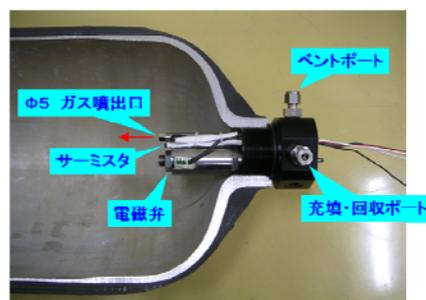
35[MPa]-VH4-65[L]ライナー温度計測結果(295[sec])

### i-⑦容器内ガス代表温度計測位置の影響

車載容器においては、容器の温度計測は通常容器内ガス温度 1 点のみである。そのため、充填時にこのガス温度が、容器内のガス温度を代表しているか、検証するため、市販のインタンクバルブ付属の温度計で急速充填時の温度計測を実施し、これまでのデータと比較した。

## 試験条件

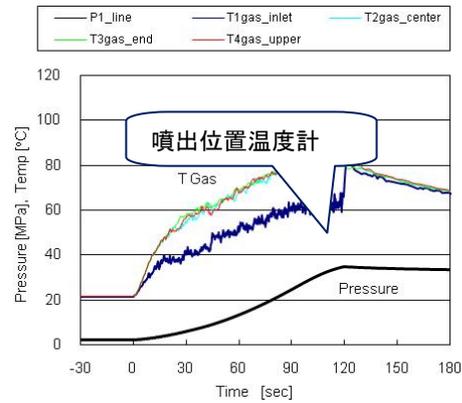
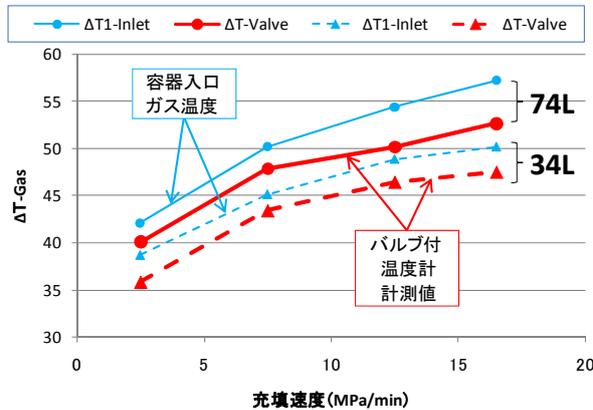
試験容器は、VH3-35[MPa]容器（内容積 34[L]、74[L]）を使用した。いずれの容器にも同じバルブを使用し、その形状は、噴出口、温度計、電磁弁が容器内部に突出した形となっている。温度計はサーミスタである。試験条件は、圧力一定上昇制御充填とした。



インタンクバルブ

## 試験結果

バルブ付温度計は、その付近の熱電対よりも2～5 [°C]程度低い温度を示した。この温度差は、充填速度が速く、容器内ガス温度の温度上昇勾配が大きい場合に、最も大きくなった。充填時の容器内ガス代表温度の計測は、容器内への噴出ガスが直接温度計に当たらない位置が望ましいことが分かった。



バルブ付温度計の容器入口ガス温度との比較

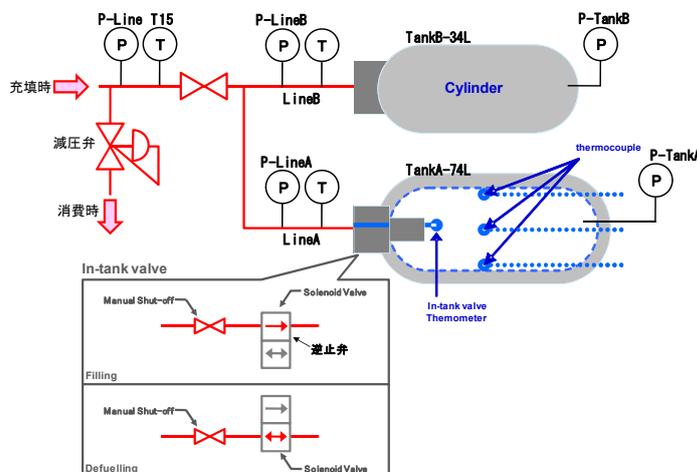
温度計位置の比較(噴出位置)

### i-⑧複数容器による急速充填

実際に車両へ搭載される燃料システムは、複数本の高圧水素容器および逆止弁、バルブ類がシステム化された状態で搭載される。本試験では、それらの機器および機器の構成が及ぼす影響について調査した。

## 試験条件

容量の異なる2本のVH3容器(74[L]、34[L])およびインタンクバルブにより燃料システムを構成した。



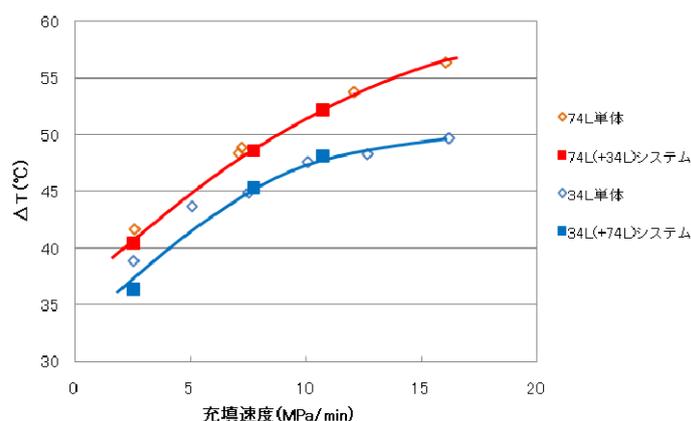
燃料システムの構成

## 試験条件

容器内初期圧力	2 [MPa]
充填圧力	35 [MPa]
充填速度	2.5 [MPa/min]
(圧力一定上昇制御)	7.5 [MPa/min]
	12.5 [MPa/min]
充填温度	常温

## 試験結果

燃料システムへの急速充填試験の結果、容器ごとの容器内ガス温度上昇度は従来の急速充填（容器単体の急速充填）と同じ傾向を示すことがわかった。また急速充填中の圧力挙動に関しても、燃料システムを構成する機器間における圧力差は無いことがわかった。したがって、容器単体への急速充填試験データを有効に活用できることが確認された。一方、温度挙動の異なる複数本の容器にインタックバルブを装着し燃料システムとして使用する場合、充填終了後の温度変化が異なることで容器間に圧力差が生じ、容器残圧がアンバランスになることが懸念される。



容器内中心温度上昇度(ΔT)と充填速度の関係

### i-⑨充填数値シミュレーションの開発

#### <目的>

本研究では、安全、かつ高効率で充填する方法を導くことを目的とし、容器内の温度分布や時間変化、そして流れの挙動を熱流体数値解析 (CFD 解析) によって3次元的に詳細に調査し、充填時における温度上昇に関するメカニズムの解明を行う。

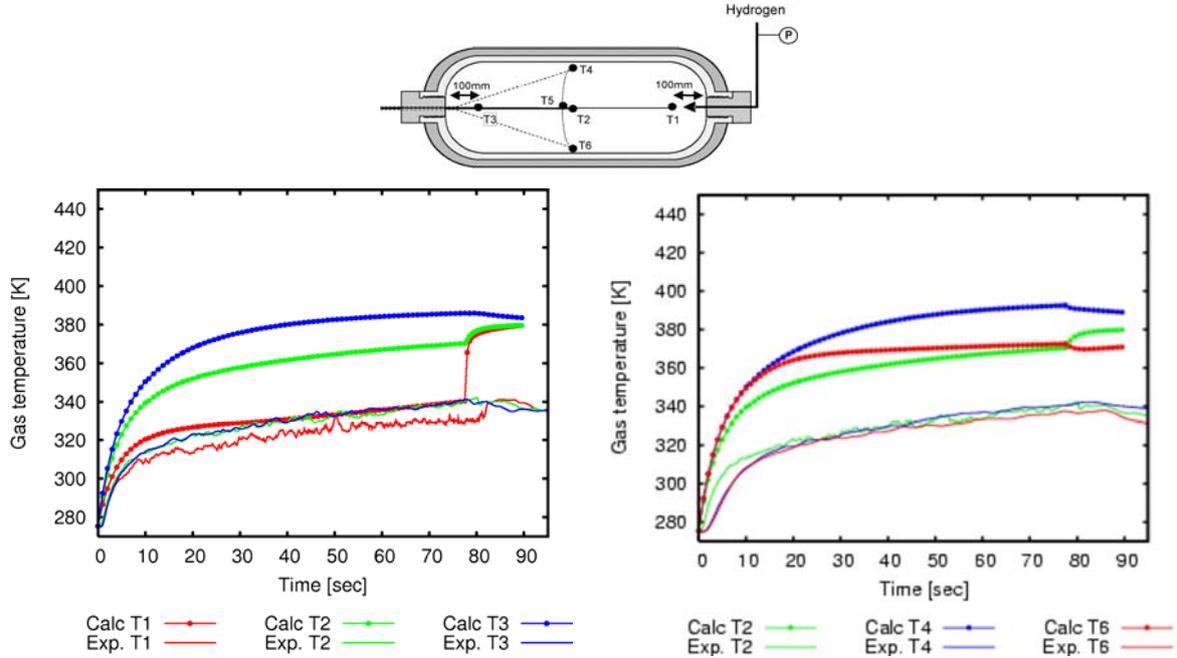
#### <解析手法>

本解析では有限体積法を用いた。ソルバーは FLUENT を用いた。計算の安定性、CFL 制約条件の緩和の理由から、基礎方程式の空間方向には陰的に離散化を行なう (陰解法)。また、移流項の離散化についても計算の安定性を最優先して一次精度風上差分を用いた。時間方向も計算の安定化の目的で、1 次の陰解法を採用した。このようにして得られた各離散化セルにおける物理量に関する連立一次方程式はブロック型 Gauss-Seidel 法を用いて解く。また、これに代数マルチグリッド法 (Algebraic Multi-Grid method、AMG) を組み合わせることで計算の高速化を図っている。乱流モデルには圧縮性流体解析で一般的に用いられる Spalart-Allmaras モデルを採用した。実在気体モデルとして、Modified Redlich & Kwong モデル<sup>6)</sup>をユーザー定義関数として導入した。容器壁面は non-slip 条件とした。

<結果>

イ. 断熱容器における温度挙動解析

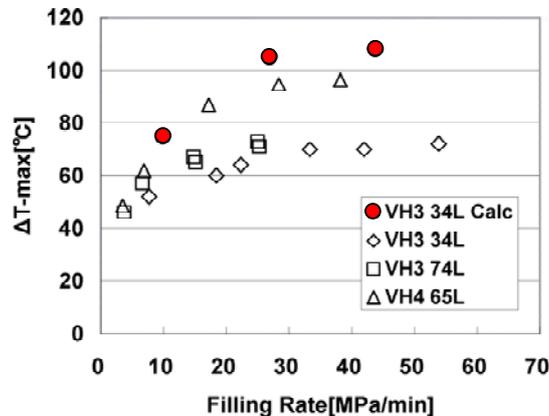
検証の結果、圧力上昇の挙動、充填終了時間については試験計測と良い一致をしたが、容器内温度分布については試験計測と定性的に一致した。



温度の時間履歴

ロ. 充填速度の影響

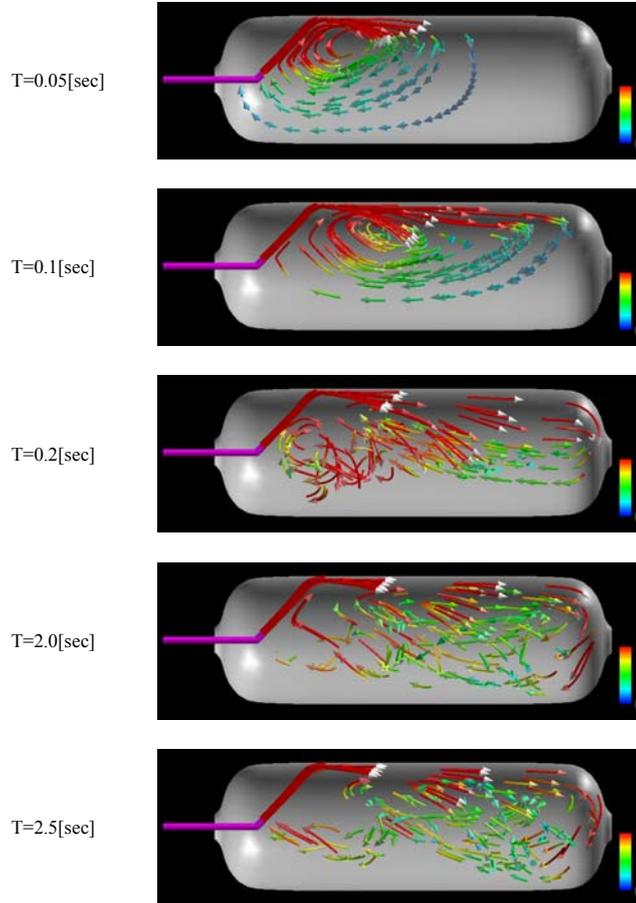
充填速度（流量）をこれまでの 500 [g/min]に加え、300、1100 [g/min]の解析を実施した。容器内ガスの温度上昇度  $\Delta T_{max}$  を充填速度で整理した結果、充填速度が増すと温度上昇度の傾きが穏やかになる特性については一致した。



容器内ガス温度上昇度  $\Delta T$  と充填速度の関係

#### ハ. 充填方向の影響

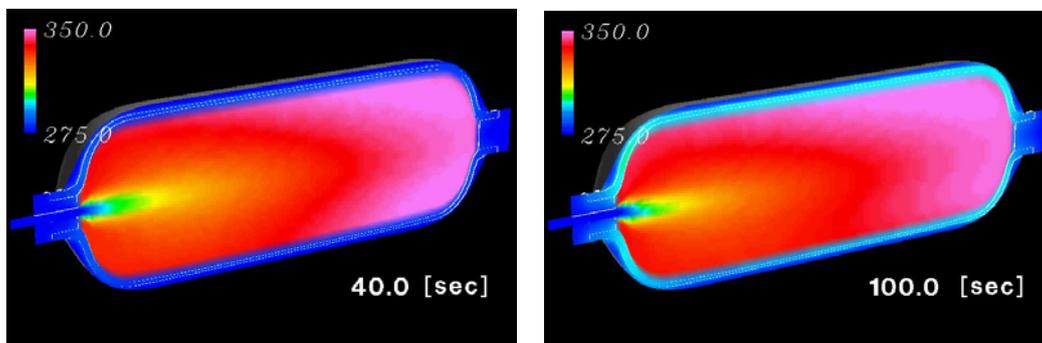
充填初期の流れの様子をみると、流れは上部壁面に衝突し、流れの方向が曲げられる。時間進行するに従い、タンクの奥まで流れは到達し次第に複雑な流れとなった。



流れの様子：パーティクル・シミュレーション

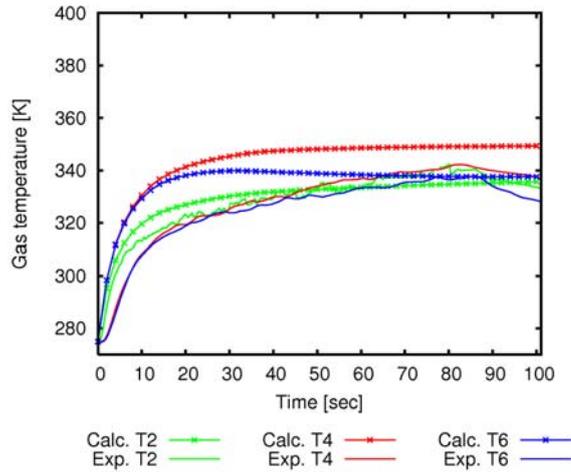
#### ニ. 周囲への熱伝達を考慮した温度挙動解析

解析結果の結果、充填ノズル近傍は流入ガスにより冷却されるため、エンド部の温度が高いこと。および鉛直方向に温度分布が生じた。



代表的な瞬時温度分布(全容器形状解析、VH3)

また、各位置での温度も実験に整合する結果が得られた。



容器内ガス温度の時間履歴

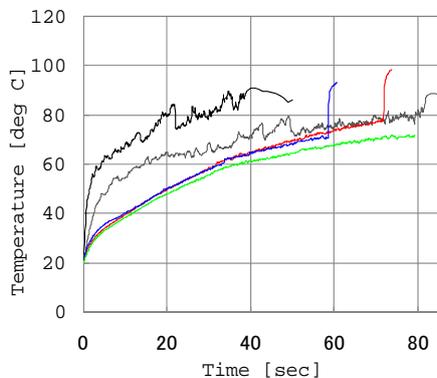
### ホ) 実在気体モデルによる温度挙動解析

解析モデルに実在気体モデルを導入した．容器壁面には境界層を解像するための格子を貼り、格子セル数は約 104、000 個である．解析条件は実験条件と合わせるため、初期温度は 298.15 [K]、初期圧力は 2 [MPa] とした．水素の流入条件には一定の質量流量を与え、500 [g/min] の設定に関しては、実在気体モデルと理想気体モデルの解析を実施した．容器外表面 (CFRP 層) から外気への熱放出には、熱伝達係数 4.5 [W/m<sup>2</sup>K] を与え、外気温度は 298.15 [K] とした．

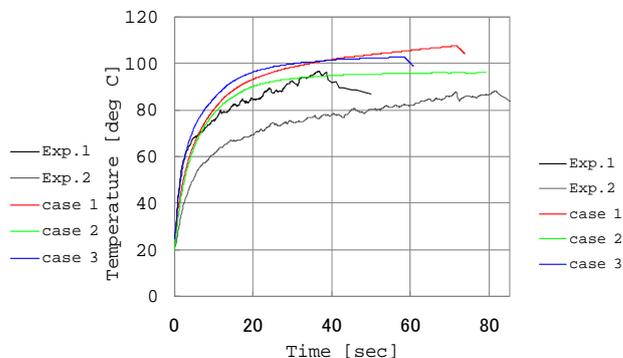
#### 解析条件

ケース	状態方程式	充填の質量流量 [g/min]
1	real gas	500
2	ideal gas	500
3	ideal gas	750

この結果、実在気体モデルと理想気体モデルの結果には差異が現われ、実験値との比較では、タンク中央部の温度は一致傾向を示したが、タンク内の温度差はより大きくなった。



T1 における温度の時間変化



T3 における温度の時間変化

ii) 水素消費試験

<目的>

容器に充填された水素を消費した場合の容器および付属品等の温度特性などの基礎データを収集・解析するため、以下の調査を実施した。

- ii-①低温環境下における水素消費
- ii-②複数容器からなる燃料システムからの水素消費

ii-① 低温環境下における水素消費

使用状況における下限温度を調査するため、想定される最悪条件下である-40℃環境下において水素消費（放出）試験を実施し、容器各部の温度データの取得・解析を行った。

<方法>

**試験容器**

<b>使用圧力</b>	70[MPa]	
<b>容器種類</b>	VH3(Aluminum Liner)	VH4(Plastic Liner)
<b>内容積</b>	125[L]	40[L]
<b>外径—全長</b>	約 D600[mm]—L1000[mm]	約 D300[mm]—L900[mm]

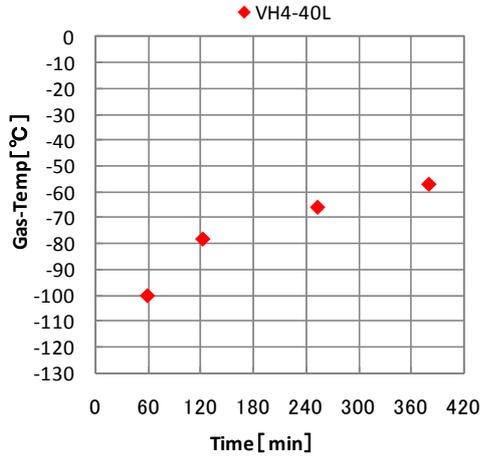
**試験条件**

<b>充 填 量</b>	70MPa @15℃相当量
<b>環境温度</b>	-40[℃]
<b>容器初期温度</b>	-40[℃]
<b>容器初期圧力</b>	約 56[MPa]
<b>放出終了圧力</b>	1[MPa]
<b>放出時間</b>	1、2、4、6[h]

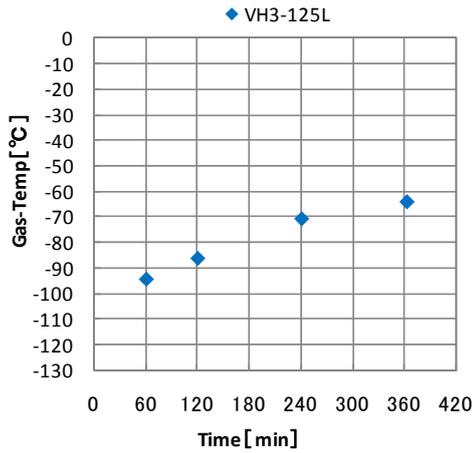
<結果>

試験の結果、放出時間が短いほど温度降下は大きくなることが確認され、最低到達温度は、VH4-40L 容器では-100[℃]、VH3-125L 容器では-94[℃]に達した。

水素ガス消費時には容器内ガス温度が低下するため、低温環境下（-40℃を想定）に静置された状態から水素ガスが消費される場合、容器設計確認試験温度である-40℃を大きく下回る温度に到達することが確認された。



a) VH4-40L 容器



b) VH3-125L 容器

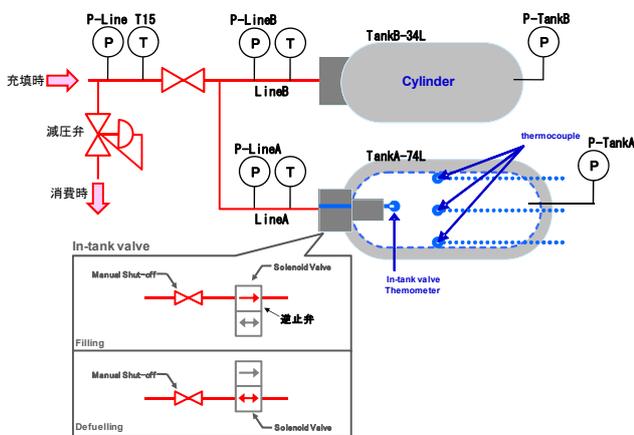
最低到達温度まとめ(T6:容器内下部ガス温度)

ii -② 複数容器からなる燃料システムからの水素消費

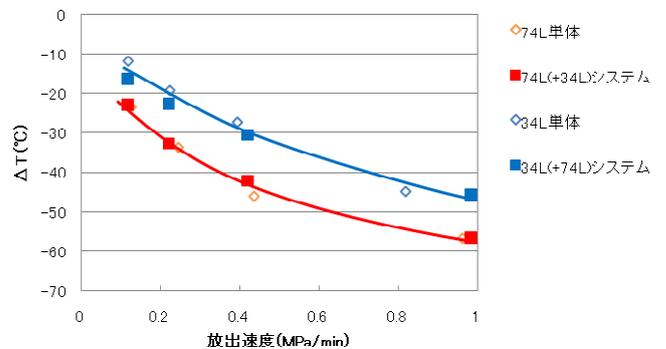
複数本の高圧水素容器および逆止弁、バルブ類がシステム化された状態で搭載された燃料システムからの消費試験を行い、それらの機器および機器の構成が及ぼす影響を調査するとともに、前述の容器単体消費試験データ使用にあたっての問題点の有無等の抽出を行った。

<方法>

車両に搭載される燃料システムは、以下に示すように、容器の本数・種類・容量、インタックバルブの構成（逆止弁、バルブ類、減圧弁有無）等により、種々の形状が想定される。その中で今回は、容量の異なる2本のVH3容器（74L、34L）および市販のインタックバルブにより燃料システムを構成した。消費試験時に使用する減圧弁は、容器個別ではなく、集合配管に1台設置した。試験は、燃料システムから水素を放出させ、容器内ガス温度および圧力を計測した。



燃料システムの構成



容器内中心温度降下度(ΔT2)と放出速度の関係

<結果>

燃料システムからの消費試験の結果、容器ごとのデータと容器単体での試験結果を比較すると、容器内ガス温度降下度はほぼ同じ傾向を示すことがわかった。また圧力挙動に関しても、燃料システムを構成する機器間における圧力差は無いことがわかった。したがって、消費試験に関しても、容器単体での試験データを有効に活用できることが確認された。

一方、容器により温度降下度が異なることが確認され、急速充填時同様、容器残圧がアンバランスになることが懸念される。

iii) その他

iii-① 極端温度圧力サイクル試験

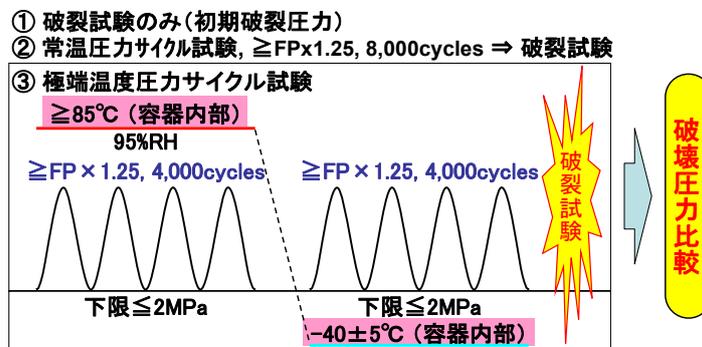
<目的>

使用限界温度(極端温度)での圧力サイクル試験が、容器寿命にどのような影響を及ぼすかといった事項に対する調査結果はほとんど公表されていない。

そこで本報告では、自動車用圧縮水素容器 (VH3、VH4) に極端温度圧力サイクル試験 (Extreme temperature pressure cycle test) を実施して、本試験が圧縮水素容器の容器寿命にどのような影響を与えるか調査することを目的とした。

<方法>

以下の3ケースの試料を作成し、各々破裂圧を調べて比較検討する。



極端温度圧力サイクル試験の試験条件

供試容器

容器種類・仕様	VH3容器 KHK別添9特認品	VH4容器 ANSI/IAS NGV2-1998品
最高充填圧力 [MPa]	35	35
内容積 [L]	39	65
外径×長さ [mm]	φ 280 × 906	φ 400 × 832
FRP種類	C-FRP	C-FRP (表面G-FRP)
ライナー材質	Al (A6061-T6)	高密度ポリエチレン(HDPE)
外観		

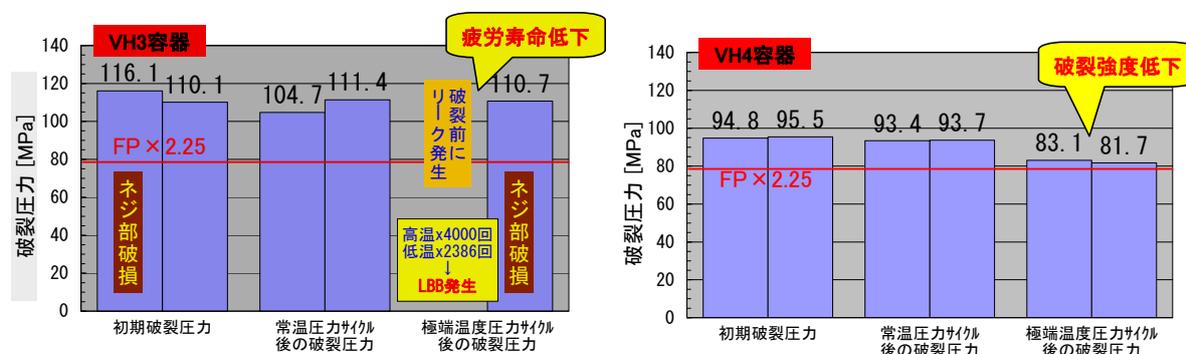
圧力サイクル試験条件

	極端温度圧力サイクル試験	常温圧力サイクル試験
試験の方式	非水槽式(大型恒温槽内)	非水槽式(ビット内)
充てん媒体	フッ素系熱媒体 (パーフルオロポリエーテル)	イオン交換水
試験条件	下限圧力	1.0MPa以下の圧力
	上限圧力	FP (35MPa) × 125% ≒ 44.0MPa以上
	加圧頻度	VH3 : 40 sec/cycle, VH4 : 50 sec/cycle
	加圧波形	サイン波
測定項目	加圧回数	85°C × 4000回 -40°C × 4000回
		RT × 8000回
測定項目	圧力, 歪み, 温度 (測定周期10Hz)	

\*FP : Filling Pressure

<結果>

極端温度サイクル試験を実施し、使用温度が容器寿命に及ぼす影響を調査した結果、容器種類 (VH3、VH4) で比較すると、供試 VH3 容器の破裂強度への影響は小さいが、疲労寿命は低下する。しかし、供試 VH4 容器の場合では、疲労寿命は規定を満足するが、破裂強度は低下することが明らかになった。



極端温度圧力サイクル試験後容器の破裂圧

iii-② VH3 容器の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響

<目的>

常温圧力サイクル試験では、環境温度や圧力媒体温度などが規定されていない。また、容器の疲労寿命は環境温度の影響を受けると考えられるが、その程度やメカニズムは解明されていない。そこで、自動車用圧縮水素容器 (VH3) の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響を調査することを目的とし、環境温度を変えて、容器が疲労寿命を迎えるまで、圧力サイクル試験を行った。

<方法>

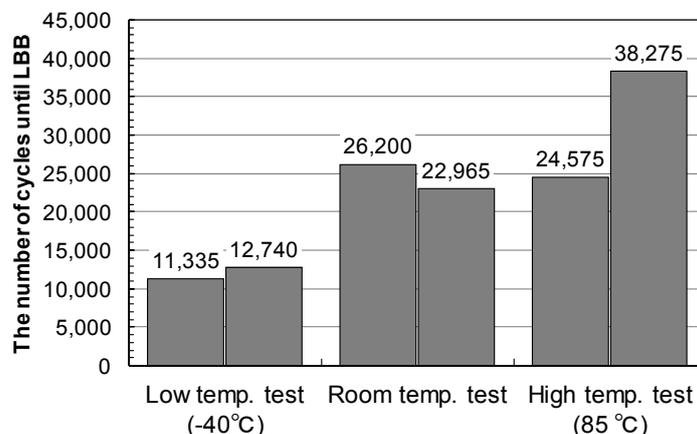
本試験では、VH3、35 MPa、34 L の圧縮水素容器を使用した。

各試験温度での試験方式および圧力サイクル試験条件

	低温試験	高温試験	常温試験
試験の方式	非水槽式 (大型恒温槽内)		非水槽式 (ピット内)
試験温度	-40°C	85°C	室温 (20~35°C)
試験湿度	-	95%	-
充填媒体	フッ素系熱媒体 (パーフルオロポリエーテル)		イオン交換水
上限圧力	44 MPa (Filling Pressure x 125%)		
下限圧力	0MPa		
加圧頻度	15 sec/cycle		
加圧波形	サイン波		
加圧回数	Occurrence of Leak Before Break		

<結果>

環境温度を変えて圧力サイクル試験を実施した。室温試験と比べて、低温試験では疲労寿命が約半分に低下した。一方、高温試験では疲労寿命のばらつきが大きく、一本は室温試験と同等、もう一本は室温試験より向上する結果が得られた。よって、VH3 容器の疲労寿命は、環境温度の影響を受けることが示唆された。



VH3 容器の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響

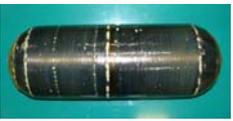
iii-③ VH4 容器の残存破裂圧力に及ぼす圧力サイクル試験温度の影響

<目的>

VH4 容器は極端温度圧力サイクル試験により残留破裂強度の低下が確認された。そこで、VH4 容器の極端温度圧力サイクル試験後の残留破裂圧力のサイクル数依存性を調査した。

<方法>

供試 VH4 容器概要

容器種類・仕様	VH4容器	VH4容器
最高充填圧力 [MPa]	35	70
内容積 [L]	40	40
外径×長さ [mm]	φ287×884	φ310×884
FRP種類	CFRP	CFRP
ライナー材質	PA(ポリアミド)	PA(ポリアミド)
外観		

圧力サイクル試験条件

		低温試験	高温試験	常温試験
試験の方式		非水槽式(大型恒温槽内)		非水槽式(ピット内)
充てん媒体		フッ素系熱媒体 (パーフルオロポリエーテル)	イオン交換水	
試験条件	上限圧力	FP (35MPa or 70MPa) × 125%		
	下限圧力	1.0MPa以下の圧力		
	加圧頻度	15 sec/cycle		
	加圧波形	サイン波		
	試験温度	-40°C	85°C	常温(推定:20~35°C)
	試験湿度	-	95%	-
	加圧回数	4000回, 11250回, 22500回予定 (常温圧力サイクル試験後の残留破裂強度調査結果で調整)		
測定項目	圧力, 歪み, 温度(測定周期10Hz)		圧力, 歪み(測定周期10Hz)	

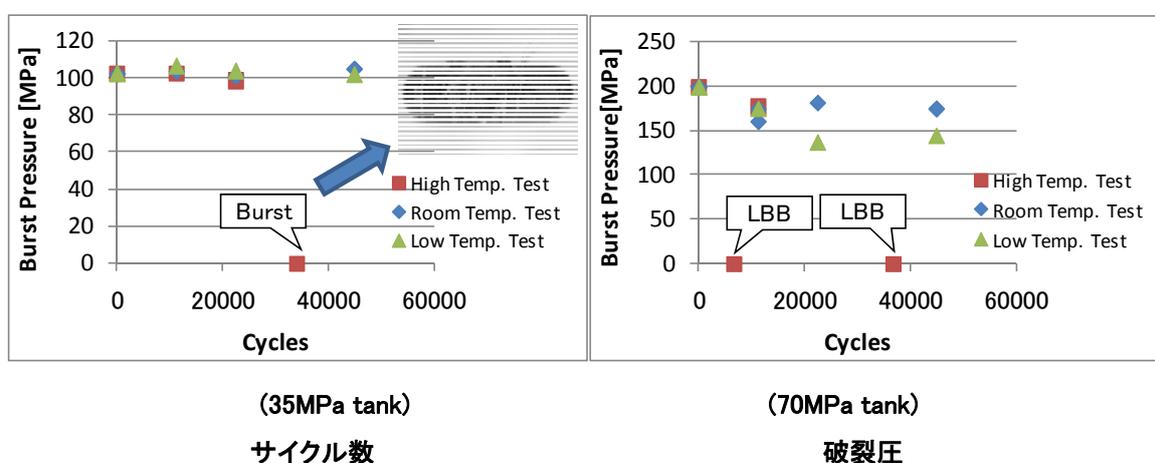
\*FP: Filling Pressure

## 破裂試験条件

設定回数まで圧力サイクル試験を実施した後に、JARI S001 に準拠した破裂試験を実施し、圧力サイクル試験後の容器の残留破裂圧力を測定した。

### <結果>

試験の結果、35MPa 供試 VH4 容器は、室温環境および低温環境にて 45、000 回の圧力サイクルを実施しても破裂強度はほとんど低下しなかったが、70MPa 供試 VH4 容器は、低温環境にて 20、000 回以上圧力サイクルを実施すると、30%程度の破裂強度が低下する傾向が見られた。また、35MPa および 70MPa 供試容器ともに、高温環境では容器破損の発生が早まる傾向が見られた。



## C) シリーズ試験の導入検討と最高充填圧力試験の見直し

### <目的>

車両上での容器寿命を評価する試験方法として、シリーズ試験が提案されている。シリーズ試験では、液圧サイクルかガスサイクルによる疲労試験が含まれる。また、項目の一つに VH4 容器（プラスチックライナー製複合容器）の水素ガス透過試験が含まれている。そこで、最適なシリーズ試験の検討のため、以下の4項目を調査した。

- (i) 液圧サイクル試験の妥当性検証
- (ii) ガスサイクル試験（充填放出サイクル時の温度変動挙動把握）
- (iii) ガス透過試験
- (iv) 新基準案における使用環境負荷試験

### (i) 液圧サイクル試験の妥当性検証

#### <目的>

自動車用圧縮水素容器は、充填・消費の繰り返しによって疲労を受けるため、疲労寿命の評価は必須である。その方法として、液圧サイクル試験と水素ガスサイクル試験が挙げられる。液圧サイクルは数日で完了するが、水素ガスサイクルの場合、1サイクルあたり1~2時

間必要で、試験完了まで数ヵ月を要する。このため、液圧サイクルで疲労寿命を評価することが望ましい。ただし、液圧サイクルでは容器温度が一定だが、水素ガスサイクルの場合は容器内ガス温度が圧力と同時に変化するため、容器温度が一定にならない。また、圧縮水素容器に一定質量の水素を充填する場合、温度によって充填圧力を変えなければならない。15°Cで35MPaとなる質量の水素を充填した場合をSOC (State of Charge) 100%充填とすると、-40°Cでは約28 MPa、85°Cでは約44 MPaのときSOC 100%になる。

容器の疲労寿命評価法を策定するためには、これらの違いを踏まえて、水素ガスサイクル試験を液圧サイクル試験に代替できるかどうか検討する必要がある。そこで、環境温度と圧力条件を変えることで、SOC 100%充填を想定した液圧サイクル試験を実施し、VH3 容器の疲労寿命に及ぼす影響を調査した。また、ライナー内面ひずみ計測によりライナー応力を調査し、環境温度と圧力が変化したときのライナー応力を把握した。

### <方法>

#### 供試容器

Specification	VH3 tank
Filling pressure	35 MPa
Volume	28 L
Diameter x Length	280 x 730 mm
Liner material, Coefficient of thermal expansion	Aluminum alloy (JIS A6061-T6), 24.3 ×10 <sup>-6</sup> /°C
Reinforcing material, Molding method, Coefficient of thermal expansion	CFRP, Filament winding, 0~1 ×10 <sup>-6</sup> /°C



圧力サイクル試験は、環境温度と上限圧力をパラメータとし、低温条件 (LT:-40°C、28 MPa)、室温条件 (RT:15°C、35 MPa) および高温条件 (HT:85°C、44 MPa) の SOC100%を想定した3条件と、JARI S 001 の常温圧力サイクル試験で規程されている条件 (NT: Normal temp. (15~35°C、温度制御なし)、44 MPa) について、各条件容器2本ずつ実施した。

#### サイクル試験条件

	LT	RT	HT	NT
Temperature	-40 °C	15 °C	85 °C	15°C~35 °C
Maximum pressure	28 MPa (FP×80%)	35 MPa (FP×100%)	44 MPa (FP×125%)	44 MPa (FP×125%)
Minimum pressure	0 MPa (FP×0%)			
Fluid (medium)	Perfluoro-polyether	Deionized water		
Frequency	15 sec/cycle			
Waveform	Sine curve			
Termination	Occurrence of leak before break			

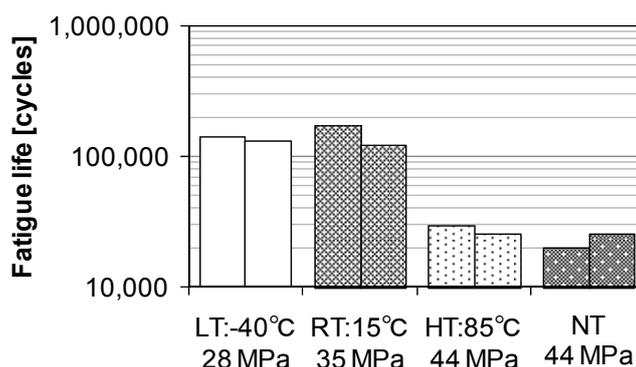
\*FP : normal Filling Pressure = 35 MPa

VH3 容器に加わる応力には、残留応力、内圧による応力、熱応力がある。正確なライナー応力を把握するため、ライナー内表面にひずみゲージを貼付し、計測ケーブルを容器外に取り出す方法を用いて、ライナー内表面ひずみを直接計測した。

## <結果>

SOC 100%充填を想定した液圧サイクル試験による疲労寿命

低温条件 (LT:-40°C、 28 MPa) と室温条件 (RT:15°C、 35 MPa) の寿命はほぼ等しく、長寿命であった。一方、高温条件 (HT:85°C、 44 MPa) は他よりも寿命が短かった。ただし、JARI S 001 の常温圧力サイクル試験で規程されている条件 (NT: Normal temp. (15~35°C、温度制御なし)、44 MPa) よりやや長寿命であった。供試 VH3 容器の場合、常温圧力サイクル試験の条件 (NT、 44 MPa) は、今回実施したすべての SOC 100%条件よりも寿命に厳しく、常温圧力サイクル試験で SOC 100%想定 of 疲労寿命を担保可能であることがわかった。

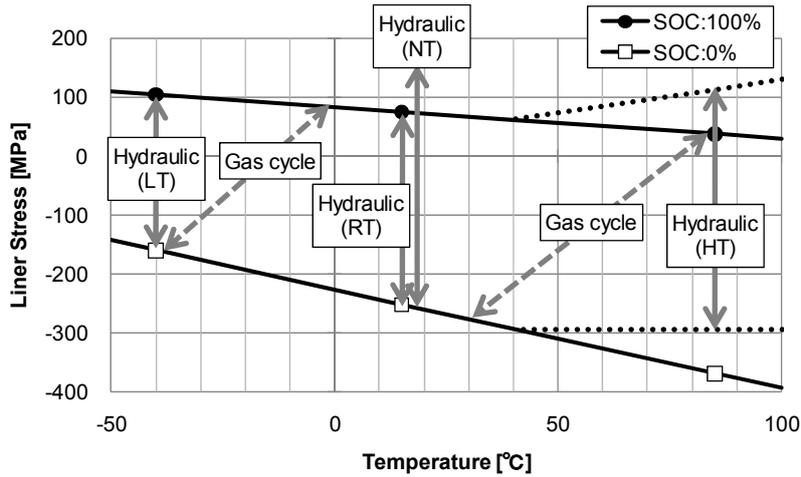


各種条件での疲労寿命

以上の残留応力、内圧による応力、熱応力の測定結果から、SOC100%時の温度と圧力の関係を総合して、SOC0%と SOC100%時の VH3 容器のライナー応力と温度の関係にまとめた。

高温環境の液圧試験では、残留応力による圧縮応力に加えて、熱応力による圧縮応力が負荷され、ライナーが圧縮側で塑性変形するため、応力範囲が引張側にシフトすることがわかった。また、常温圧力サイクル試験 (NT) の応力は、どの SOC100%条件よりも引張応力が大きく、応力範囲も大きい。よって、常温圧力サイクル試験は SOC100%条件より厳しい試験であると考えられる。

液圧サイクルは温度があまり変化しないが、ガスサイクルの場合、圧力上昇時に温度が上昇し、圧力低下時に温度が低下する。このため、ガスサイクルの応力範囲は、液圧サイクルよりも熱応力分小さくなることがわかった。よって、ライナーの応力範囲を比較すると、ガスサイクルよりも液圧サイクルの方がより厳しい試験となると考えられる。なお、国内基準では疲労寿命評価に液圧サイクル試験が採用されており、その妥当性を示す結果となっている。



SOC0%と SOC100%時の VH3 容器のライナー応力と温度の関係

(ii) ガスサイクル試験（充填放出サイクル時の温度変動挙動把握）

<目的>

水素ガスの充填・放出を単発で行う場合と比べ、連続で繰り返す場合における容器内ガスの到達温度の挙動についてガスサイクル試験により調査した。

<方法>

本試験では 70MPa 自動車用圧縮水素容器である VH3 容器（内容積 120L）および VH4 容器（内容積 40L）を使用した。容器内ガス温度および容器表面温度を測定するために T 型シース熱電対を設置した。容器内ガスの代表温度は、ガス放出時に最も温度変化が大きい容器内下部温度（T6）とした。充填ガス温度は、実使用環境を想定して設定した容器の環境温度に等しい場合と温度コントロールした場合の計 6 条件を設定した。試験のスタート条件は充填からスタートまたは放出からスタートの 2 通りを行い、放出時は 1 時間および 2 時間で容器内の減圧速度が各々一定になるよう流量を調整した。一方、充填時は VH3 および VH4 容器で同じ昇圧速度とし、VH4 容器内ガス温度が 85°C を超えない速度、または設備最大流量（VH3 容器において 16MPa/min）で行った。

### 試験条件一覧

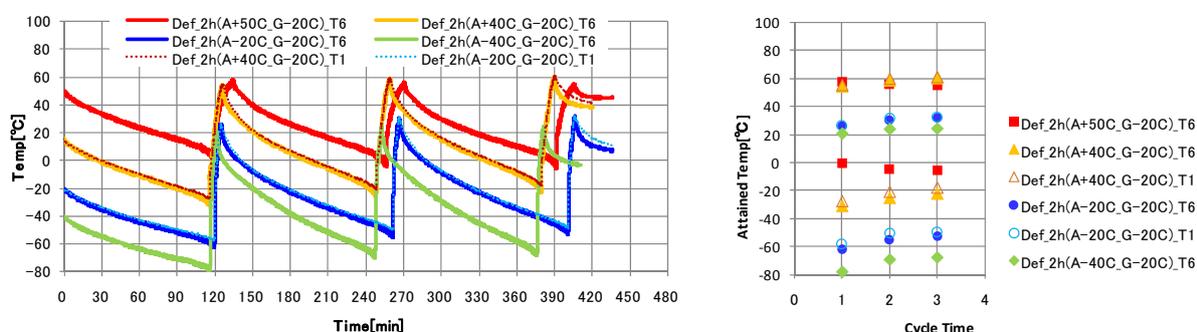
	温度条件[°C]		試験スタート時の 容器内初期圧力[MPa]		放出速度 [MPa/min]	充填速度 [MPa/min]
	環境温度	充填ガス 温度	放出 スタート	充填 スタート		
i	15	15	56.3	1.0	0.58 (2 h 放出時) または 1.16 (1 h 放出時)	7.0
ii	25	25	58.3	1.0		7.0
iii	50	-20	63.2	1.0		5.0
iv	40	-20	61.2	1.0		12.0
v	-20	-20	49.5	1.0		16.0
vi	-40	-20	45.6	1.0		16.0

<結果>

#### ii -① 環境温度および充填ガス温度の影響

充填・放出サイクルを繰返すと、2 サイクル以降の恒温側および低温側への到達温度の変化は、環境温度および充填ガス温度条件に因らず安定する傾向を示した。また到達温度は、充填ガス温度が同一でも環境温度が高いほど高温側に推移するなど、環境温度などの条件によって異なる傾向を示した。

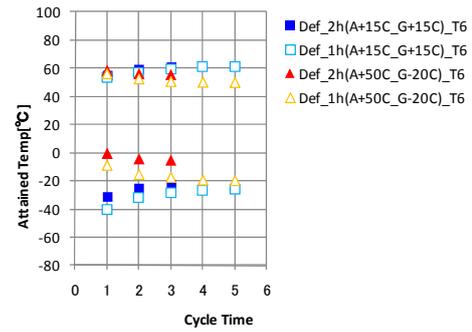
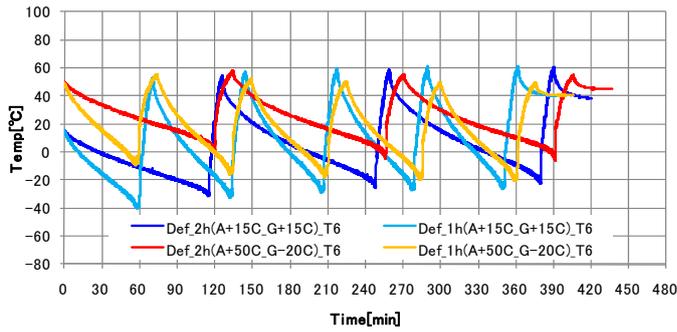
同一条件において、VH3 容器と VH4 容器の試験結果は、同様の温度挙動を示した。



各温度条件における容器内ガス温度(T6、T1)挙動および到達温度一覧(VH3)

#### ii -② 放出時間が変化した場合の影響

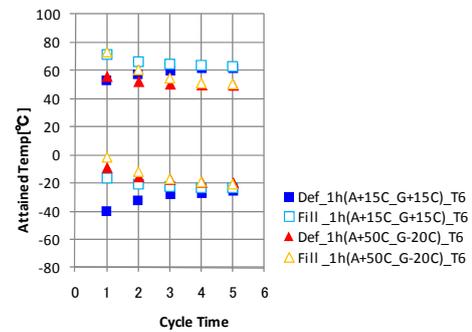
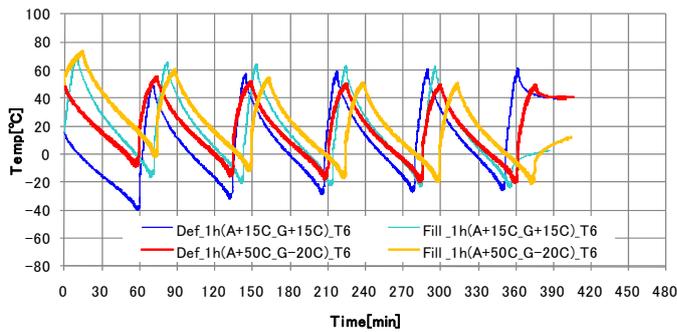
各サイクルにおける温度挙動は、放出時間を 1 時間に短縮しても、2 時間放出の場合と同様に 2 サイクルで到達温度が安定する傾向を示した。また VH3 容器と VH4 容器の試験結果は同様の傾向を示した。



### 放出時間を変化させた場合の容器内ガス温度(T6)挙動および到達温度一覧(VH3)

#### ii-③ 試験スタート条件を変化させた場合の影響

得られた結果を同一温度条件で比較すると、初期の到達温度に差が現われるが、数サイクル経過後にはほぼ同一温度となり、安定する傾向を示した。また VH3 容器と VH4 容器の試験結果は同様の傾向を示した。



### スタート条件を変化させた場合の容器内ガス温度(T6)挙動および到達温度一覧(VH3)

実使用を想定した条件における容器内ガス温度は、条件により到達温度に違いが現れるが、その挙動は安定することが示された。このことは容器の安全性の面から、水素ステーションでの水素補給と走行を連続して行っても不安全な温度にならないなど、大変重要な知見であると考えられる。

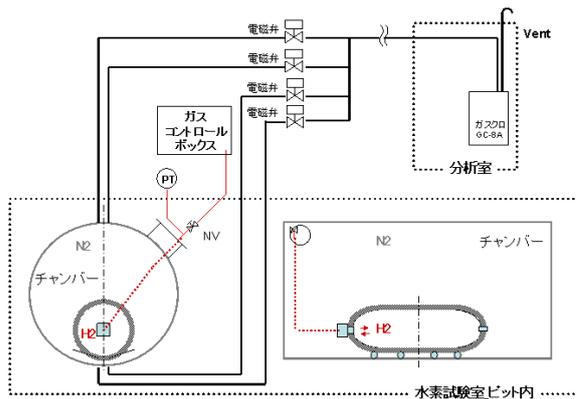
#### (iii) ガス透過試験

##### <目的>

ガス透過試験では、試験環境温度（15℃以上）が厳密に規定されていない。そこで、シリーズ試験および 70MPa への高圧化対応の取り組みとして、ガス透過試験の環境温度における依存性を調査した。

##### <方法>

ガス透過試験は、水素を試験圧力まで充填した圧縮水素容器を透過チャンバー内に設置して同チャンバー内の水素濃度をガス分析することにより行う。



ガス透過試験装置フロー図（左）および ガス透過試験装置外観写真（右）

ある経過時間の前後における透過チャンパー内の水素濃度の差から、ガス透過率  $\text{cm}^3/\text{hr}\cdot\text{L}$  を算出する。2点間の間隔は約 24hr から 72hr の間とする。

水素ガス透過率  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{hr}\cdot\text{L}$ )

$$Q = \frac{\Delta(C_{H_2} V_c P_c / P_a)}{\Delta T \cdot V_t}$$

ここで  $C_{H_2}$  はチャンパー内水素濃度、 $V_c$  はチャンパー内容積、 $P_c$  はチャンパー内圧力、 $P_a$  は大気圧力、 $\Delta T$  は経過時間、 $V_t$  は VH4 容器内容積である。

2種類の VH4 容器を用いて環境温度 (15°C、20°C、40°C、85°C の 4 条件) と充填圧力 (35MPa、70MPa の 2 条件) をパラメータとしたガス透過試験を実施する。今回の試験ではガス透過率が一定値となるまでの時間を考慮し、試験時間を約 200~300hr とした。

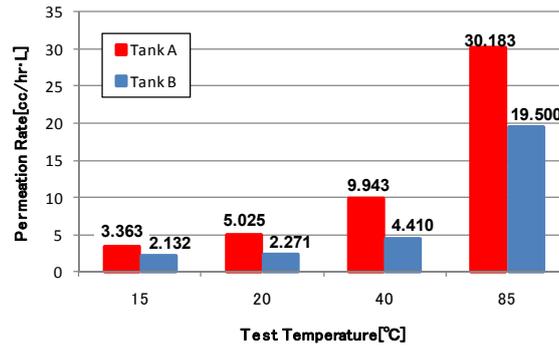
#### 供試容器

	Tank A	Tank B
容器形状	VH4	
最高充填圧力 [MPa]	70	
内容積 [L]	31	40
外形寸法 [mm]	$\phi 356 \times 584$	$\phi 310 \times 884$
プラスチックライナー材質	HDPE	PA

#### < 結果 >

##### iii-① 環境温度の影響

Tank A、Tank B の各環境温度におけるガス透過率を比較した。Tank A、Tank B ともに環境温度が高温になるに従ってガス透過率も大きくなっている。本試験では、環境温度 15°C における Tank B のガス透過率約  $2.1 \text{cm}^3/\text{hr}\cdot\text{L}$  が最小となったが、これは現規定量である  $2.0 \text{cm}^3/\text{hr}\cdot\text{L}$  を超える結果となった。

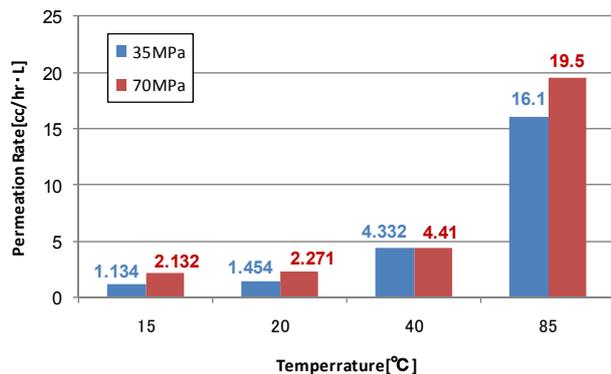
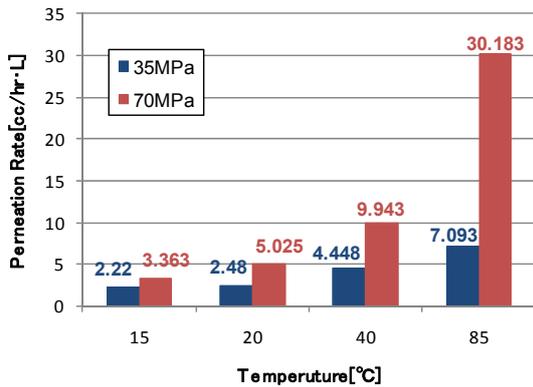


各環境温度試験時のガス透過率

iii-② 充填圧の影響

次に、容器への充填圧力がガス透過へ与える影響を確認するため、最高充填圧力の 50%の水素を充填した状態で透過率を確認した。

充填圧力と環境温度がガス透過率におよぼす影響を比較すると、Tank A、Tank Bともに環境温度に関わらず、充填圧力が高いほどガス透過率も大きくなっている。充填圧力比（70MPa : 35MPa = 2 : 1）とガス透過率を比較してみると、Tank Aは圧力比以上に透過率に差が生じるケースがあるが、Tank Bでは圧力比ほど透過率に差は生じなかった。



各環境温度試験時のガス透過率(TankA) 各環境温度試験時のガス透過率(TankB)

iii-③ ガス透過係数の算出

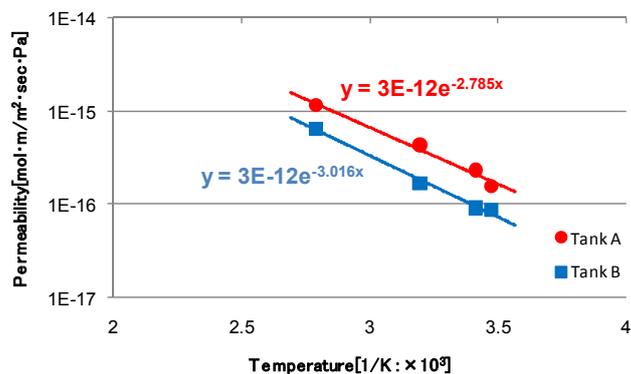
今回得られたガス透過試験データをもとに、VH4 容器への水素ガス透過現象についてガス透過係数を算出することを試みる。

ガス透過係数  $P$  ( $\text{mol}\cdot\text{m} / \text{m}_2\cdot\text{sec}\cdot\text{Pa}$ )<sup>3)</sup> は次式により算出する。

$$P = \frac{Q_m L}{\Delta p S t} \quad Q_m = \frac{V_{H_2} \rho}{M}$$

$Q_m$  は透過量 (mol)、 $L$  はプラスチックライナー厚さ、 $\Delta p$  は VH4 容器内外の圧力差、 $S$  は透過面積、 $t$  は経過時間である。 $Q_m$  は容器内から容器外へ透過した水素量  $V_{H_2}$ 、密度  $\rho$  および分子量  $M$  から求めた。ガス透過係数のアレニウスプロットで表した結果、Tank A、Tank Bともにアレニウスプロットで直線性を示し、アレニウスプロットで温度影響を推測するこ

とができることが分かった。



透過係数のアレニウスプロット

(iv) 新基準案における使用環境負荷試験

<目的>

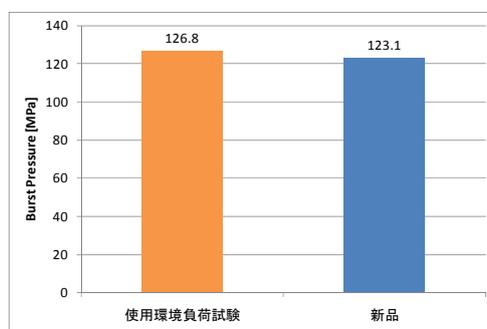
KHK/JAMA 新基準 (Step1) では、新たにシリーズ試験 (使用環境負荷試験) が提案されている。そこで、現行 JARI S001 を満たした容器を使用し、新基準で提案されている使用環境負荷試験を実施し、試験上の問題点の把握および現状容器の実力値把握を行った。

<方法>

現行 JARI S001 を満たした 35 MPa、28 L 容器を使用した。使用環境負荷試験は、「振り子式衝撃試験」「加速応力試験」「環境暴露試験」「破裂試験」を1つの容器に連続して行う試験である。

<結果>

35MPa-VH3 供試容器について、使用環境負荷試験を実施した。実施上の不具合は特に無かった。供試容器の場合、使用環境負荷試験後の破裂圧力は、新品容器と比べて劣化していなかった。



破裂圧力の比較

#### (D) その他

##### i) ガンファイヤ試験

###### <目的>

国際規格で規定されているガンファイヤ試験の国内での試験実施体制を整えるために、35MPa 加圧状態での貫通弾発射装置を用いたガンファイヤ試験について調査する。

###### <方法>

ガンファイヤ試験には貫通弾発射装置を使用した。



貫通弾発射装置本体と供試銃弾(FEDERAL LE308T1)

海外規格や海外機関と同等の水準で試験を実施するため、貫通力の高い30口径(7.62mm)の徹甲弾(FEDERAL LE308T1)を入手し試験を実施した。試験は旭化成ケミカルズ(株)あいはらの試験所の鉄板壁で覆われたケーシング内で実施した。銃弾発射の操作および各種計測は別室にて行った。試験は水素ガスを圧力35MPa充填した、容積約39LのType3容器(アルミニウムライナーCFRPフルラップ容器)2本を使用した。試験はISOドラフト等に規定されている圧縮水素容器の試験方法に準拠して実施した。

###### <結果>

試験前容器内水素圧力は34.2MPaであった。銃弾発射後、容器は破裂せず両側壁に貫通孔が開くと同時に水素ガスが放出され、2秒以内に容器内圧力は0MPaとなった。

今回実施したガンファイヤ試験は、圧縮水素容器のISOドラフト等のガンファイヤ試験法に準拠した、日本国内で初の試験であった。試験を実施した旭化成ケミカルズ(株)の協力のもと、容器の破裂リスクを出来るだけ抑える様々な安全対策を施し試験を行うことにより、安全にガンファイヤ試験を実施する上で重要な事項を把握することが出来た。

##### ii) 静電気帯電試験

###### <目的>

本研究では、①VH4容器の静電気特性、②CNGおよび水素ガスのガス放出時の容器帯電調査を行い、既存するVH4容器の静電気特性を把握するとともに、ガス種が異なることによつて帯電量が異なるのかを調査した。

## ii-① VH4 容器の静電気特性調査

現在、市販されているある VH4 容器の静電気に関わる電気的な特性を把握するため、VH4 容器の表面抵抗測定、および帯電試験を行った。

### 表面抵抗測定

#### <方法>

供試 VH4 容器（35MPa、容積 65 リットル、高密度ポリエチレン製樹脂ライナー）の各部の導電性の有無を把握するため、以下の三箇所での表面抵抗を測定した。

- ・プラスチックライナー（40cm 間）
- ・CFRP（炭素繊維強化プラスチック、40cm 間）
- ・容器両端のエンドボス間（80cm 間、未充填）

#### <結果>

樹脂ライナーの表面抵抗は 10kV の印可電圧で  $15.5G\Omega$  となり、極めて抵抗が高い。CFRP 層は炭素繊維の方向に沿って測定すれば導電性を有するが、繊維に対して垂直な方向（容器の肉厚方向）で測定すると、測定箇所や測定クランプの接触圧力によって大きく測定値が変動するため、定まった抵抗値を得ることができない。一方、容器両端のエンドボス間では、印可電圧 250V 以上であれば CFRP 層を介して導電性を有した。

### 帯電試験（容器カットモデル）

#### <方法>

ライナーの内面（充填ガスとライナーが接触する面）が何らかの理由で帯電したと仮定し、容器の接地状態によってどのように帯電電圧が変化するかを把握するため、以下の 3 ケースについて試験を実施した。

試験#1：非接地の状態をライナーを帯電させ、その後にエンドボスを接地した場合

試験#2：エンドボス部を接地した状態で、ライナーを帯電させた場合

試験#3：非接地の状態をライナーを帯電させ、放置した場合

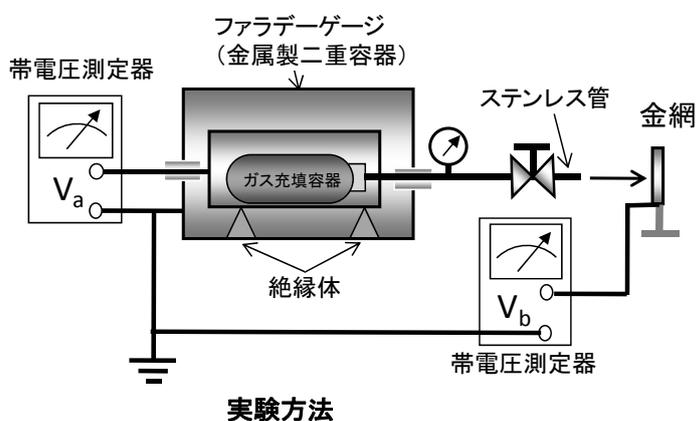
#### <結果>

ライナー内側面を帯電させると、非接地状態では次第に帯電した。しかし、エンドボスを接地すれば、直ちに帯電電圧は減少した。エンドボスを接地した際に、ライナーとエンドプラグ間での放電による発光や損傷の有無を調べたが、それらは確認できなかった。

非接地状態での帯電状況を比較すると、ライナーは極めて帯電しにくくなり、かつ、帯電終了後も緩やかに除電した。非接地状態であっても、帯電停止後は自然に除電した。しかし、その減衰は緩やかであり、200 秒後において  $-5kV$  を保持した。また、350 秒後、エンドプラグ部にて接地させると、電位が急激に下がった。このことから、仮に非接地状態でライナーが帯電しても、時間経過とともに帯電は除去されると推定される。

ii-② 充填ガスの違いによるガス放出時の容器帯電  
 <方法>

供試容器は、最高充填圧 70MPa の VH4 容器（容積 31L、ライナ材質：高密度ポリエチレン製）である。この容器に水素ガスあるいは CNG（メタン 99.5%）を充填し、ガスを放出させた際の帯電電圧を測定した。



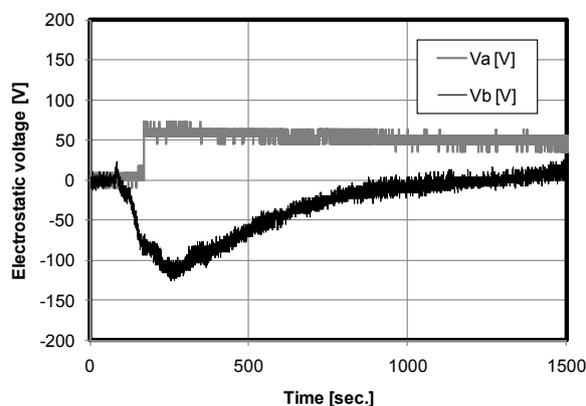
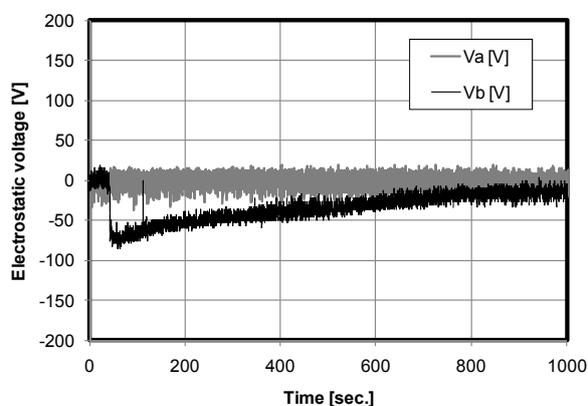
実験方法

実験状況写真

VH4 容器は、ファラデーゲージ内に納めた。水素および CNG の大気中への放出流量は、それぞれの満充填環境下から同一時間で容器内の燃料を消費した場合を想定し、水素では 268NL/min 約 20 分（満充填 70MPa で 45 分相当の放出）、CNG では 120NL/min 約 20 分（満充填 20MPa で 45 分相当の放出）とした。この時の容器と放出部を含めた全体系での帯電電圧  $V_a$  と、放出部 10cm 位置においてステンレス金網による捕集した噴出ガス周囲の帯電電圧  $V_b$  を測定した。なお、測定系を含めた容器とアース間の静電容量は、0.355nF である。また、CNG の成分はメタンガス 99.5% の純度（残り 0.5% は窒素）のものを使用した。

<結果>

水素の放出時において、容器全体系の帯電電圧  $V_a$  は、ほとんど生じなかった。一方、同じ容器を用いても CNG 放出時においては、容器全体系は+側に帯電した。よって、水素と CNG の帯電電圧を比較すると、CNG の方が高く、帯電しやすい結果となった。



水素を放出させた際の帯電電圧 CNG を放出させた際の帯電電圧

#### イ.圧縮水素自動車燃料装置用容器の安全性実証試験

国内容器メーカーの開発容器の安全性実証試験を行い、新基準緩和検討のデータに活用するとともに、国内メーカーの自動車用圧縮水素容器の開発を促進させた。

#### ウ.水素容器搭載車両の安全性評価

##### (A)水素漏れ許容量の安全確認に関する調査

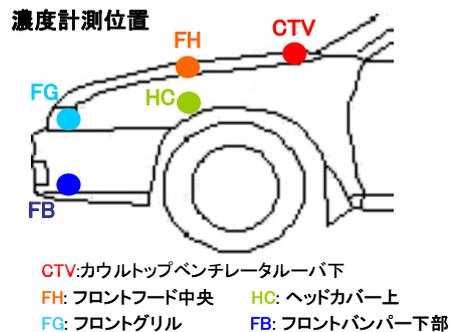
###### <目的>

我が国の水素燃料自動車の衝突時の燃料漏れ許容量は、ガソリン車のそれと等価発熱量となる 131 NL/min で規定される。この燃料漏れ許容量に十分な安全が確保されているかを検証するために、以下の試験を行った。

- i) 車体形状の違いによる水素濃度計測
- ii) 燃料漏れ許容量を超えた（最大 1000 NL/min）場合の水素濃度計測
- iii) 燃料漏れ許容量を超えた（最大 1000 NL/min）場合の引火試験

###### <実験方法>

水素はマスフローコントローラを用いて流量制御し、車幅方向中心線上のホイールベース中央下およびフロントサスペンションメンバ下（以下、それぞれを WB、SM という）から、直径 4、1、0.7 mm のノズルを用いて上方向に 600 秒間漏えいさせ、フロントコンパートメント内に進入する水素濃度を計測した。フロントコンパートメント内の濃度は、熱伝導式水素濃度計および接触燃焼式水素濃度計を用いて、サンプリング周期 100 ms で計測した。また、引火時の車両周囲の温度は、熱電対（K 形、0.5 mm）を用いて計測した。



###### 水素濃度計測位置

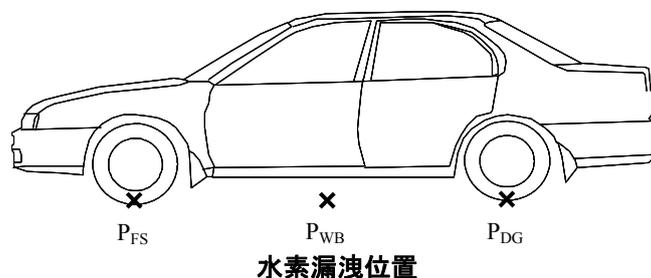
- i) 車体形状の違いによる水素濃度計測

FF 車および FR 車の計 2 台を調査した。



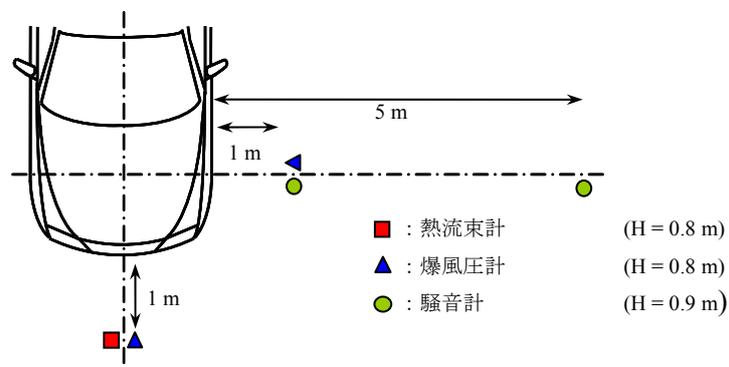
ii) 燃料漏れ許容量を超えた（最大 1000 NL/min）場合の水素濃度計測

試験は、供試車両に B 車（FR 車-セダントタイプの乗用車）を用いて実施した。水素の漏洩箇所は、車幅方向中心線上のホイールベース中央下およびフロントサスペンションメンバ下、ディファレンシャルギア下（以下、それぞれを  $P_{WB}$ 、 $P_{FS}$ 、 $P_{DG}$  という）の 3 水準とした。



iii) 燃料漏れ許容量を超えた（最大 1000 NL/min）場合の引火試験

濃度分布と逸散状況を確認した後に、最もエンジンコンパートメント内の定常濃度が高くなる条件（漏洩位置： $P_{WB}$ 、漏洩方向：上向き）に関して引火試験を実施した。水素漏洩時間は 600 秒とし、点火は、エンジンコンパートメント内フード中央 10 mm 下方に設置したスパーク源により、水素の漏洩を停止した直後に行なった。引火時の周囲へ及ぼす影響を評価するため、周囲圧力、熱流束、音圧レベルを計測した。

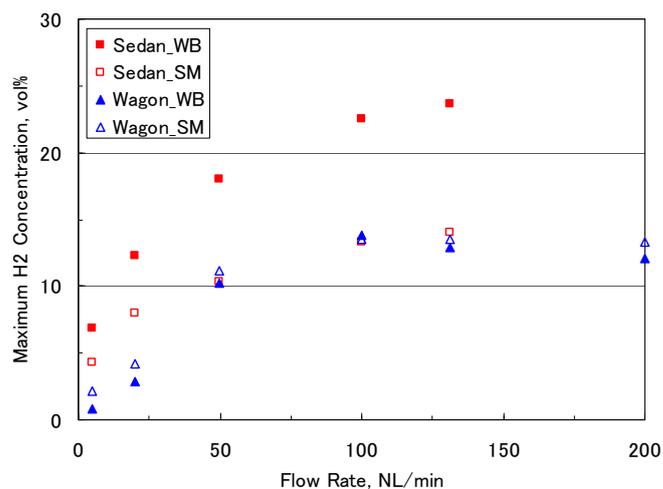


車両周囲の計測系設置位置（図中の H は地上高を示す）

## <結果>

### i) 車体形状の違い (FF 車および FR 車)

- 1) 車体形状が異なっても、フロントコンパートメント内の水素濃度は定常になる。
- 2) 車底部にプロペラシャフトトンネルがあり、大きな窪みを有している FR 車 (B 車) の方が、フロントコンパートメント内の水素濃度は高くなる。
- 3) 同一のノズル径の場合、流量が大きいほど濃度が高くなる。
- 4) フロントコンパートメントの形状が異なる 2 種類の供試車両の水素の逸散時間は大きく、同程度の水素逸散性能を有している。



### 車種による最高濃度の比較(ノズル径 4mm の場合)

#### ii) 燃料漏れ許容量を超えた (最大 1000 NL/min) 場合の水素濃度計測

##### ii-① 水素をエンジンフード中央下から下向き (地面に向かって) へ放出させた場合

- 1) エンジンコンパートメント内の上部空間の濃度差は小さい。
- 2) 流量が大きくなれば、定常濃度も高くなる。
- 3) FB 位置では、水素濃度が上昇し、1000 NL/min では最小可燃範囲内になり、エンジンコンパートメント内の広範囲で可燃混合気形成される。

##### ii-② 水素を車両後方から下向き (地面に向かって) へ放出させた場合

- 1) 全流量域で定常濃度は低い。

##### ii-③ 水素を車両底面中央から下向き (地面に向かって) へ放出させた場合

- 1) 全流量域でエンジンコンパートメント内上部空間に濃度差が生じやすい。
- 2) 同位置の上向きへ漏洩させた場合と比較すると、全計測点の定常濃度が低い。
- 3) 必ずしも、流量が大きくなれば、定常濃度は高くない。

##### ii-④ 車底部を平坦に加工した場合

- 1) 全流量域で、平面加工していない場合よりも定常濃度が低い
- 2) 200~400NL/min の範囲における定常濃度の低下は起こらない
- 3) 流量の大きい範囲では、流量を増しても定常濃度は変わらない

##### ii-⑤ 車両中央部から上方向に放出

- 1) 流れ流量が小さいと、エンジンコンパートメント内の上部に位置する空間の水素濃度

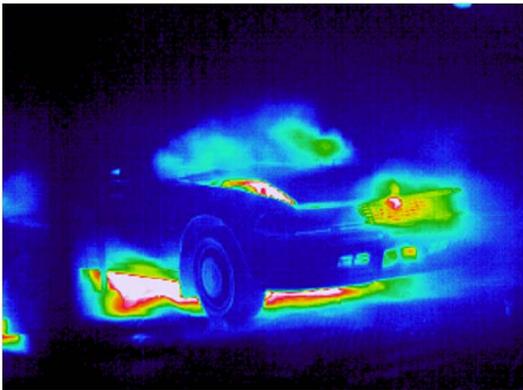
は不均一でなるが、流量が大きくなると、均一になる。

2) 同位置から下向きに漏洩させた場合よりも定常濃度が高くなる。

iii) 燃料漏れ許容量を超えた（最大 1000 NL/min）場合の引火試験

1) エンジンコンパートメント内の最高温度は、流量によらず 300℃程度となったが、プラスチック部品等に溶融はみられなかった。

2) 最大の熱流束は 14.2 kW/m<sup>2</sup>、車両周囲（車両側方および前方 1 m）の圧力上昇は車両側方で 1.5 kPa、前方で 1.1 kPa の圧力上昇を記録した。これらの値は、人体への重大な影響を及ぼさない程度であった。ただし、引火後の車両の破損はフロントフードに変形がみられた。この結果、水素が 1000 NL/min 以下の流量で車底部から漏洩し引火に至っても、周囲の人には重大な影響を及ぼさなかった。以上のことから、圧縮水素燃料自動車の衝突燃料漏れ許容量（131 NL/min）は十分な安全が確保されていることが明らかになった。



引火での火炎最大時における赤外線熱画像



引火後の車両の損傷程度

(B) 長尺容器および局所火炎暴露試験の検討

<目的>

近年、火災時においてCNG自動車の容器の破裂事故例があった。これらの原因は局所的に容器が炙られたことから、北米では、局所火炎暴露試験方法（案）が提案された。

そこで本研究では、長尺容器の火炎暴露試験および北米で提案されている局所火炎暴露試験を検証するために、以下の試験を実施した。

- i) 長尺容器の火炎暴露試験
- ii) 局所火炎暴露試験の調査
- iii) SAE 提案の温度プロファイルの妥当性検証試験
- iv) 容器搭載箇所での温度把握のための車両火災試験

i) 長尺容器の局所火炎暴露試験

<方法>

試験条件は以下の2通りである。

**実験条件**

#	充填ガス	目標圧力	PRD シールド	容器	火源ガス流量
1	窒素	1MPa	装着なし	Type4、180L	300NL/min
2	CNG	20MPa	装着あり	↓	350NL/min

供試容器は、自動車用圧縮天然ガス容器 Type4、20MPa（容器容積 180L、406mm（外径） x 1、803mm（長さ） x 56kg（重量））を用いた。安全弁は作動温度 110℃±10℃を用い、複合バルブ（主止弁+安全弁）と安全弁（エンドボスに装着されるもの）の2種類を用いた。火源の端から安全弁までの距離は約 359mm である。安全弁のシールドは、試験#1-2 のみ装着し、厚さ 0.3mm のブリキ板を用いた。

<結果>

安全弁のシールドを装着しなかった場合（試験#1-1）、試験開始 387 秒後に安全弁が作動し、容器は破裂しなかった。しかし、シールドを装着させた場合（試験#1-2）、試験開始 385 秒（容器内圧 22.18MPa）に安全弁は作動しなかった。その後、火源の停止、およびガスを放出（1/4”配管）させたが容器は自己燃焼を続け、試験開始 440 秒に容器（残圧約 10MPa）は破裂した。以上のことから、

- 1) 容器の両端に安全弁が装着された長尺容器の容器中央部を局所火炎で暴露させた場合、安全弁が作動せずに、破裂に至ることがあること。
- 2) 安全弁の放出管径が小さい場合、放出時間が長くなり、破裂のリスクが高くなる。ことが分かった。

今後、局所火炎や安全弁放出管のレイアウト（配管径の縮小）によって容器が破裂する可能性は十分あるため、システムレベル（容器周囲の遮熱物や複数容器のコンテナなど）での安全確認のためのさらなるデータの構築が必要である。



破裂 10/30 秒前



破裂 8/30 秒前



破裂 6/30 秒前



破裂 4/30 秒前



破裂 2/30 秒前



破裂 1/30 秒前

**容器破裂前の連続写真**

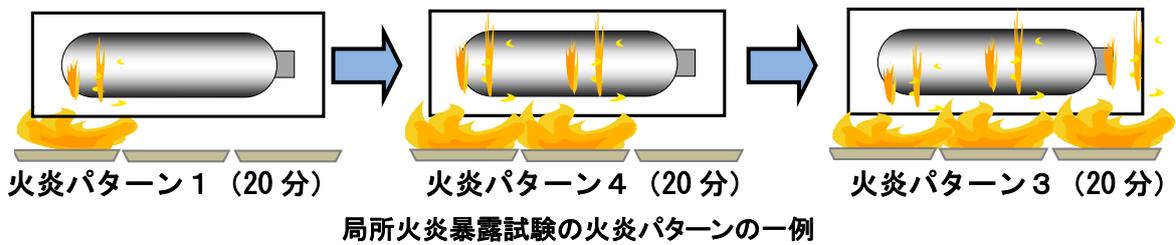
ii) 局所火炎暴露試験

<目的>

業界から提案された局所火炎暴露試験方法を行い、容器周囲の温度分布を把握する。

<実験方法>

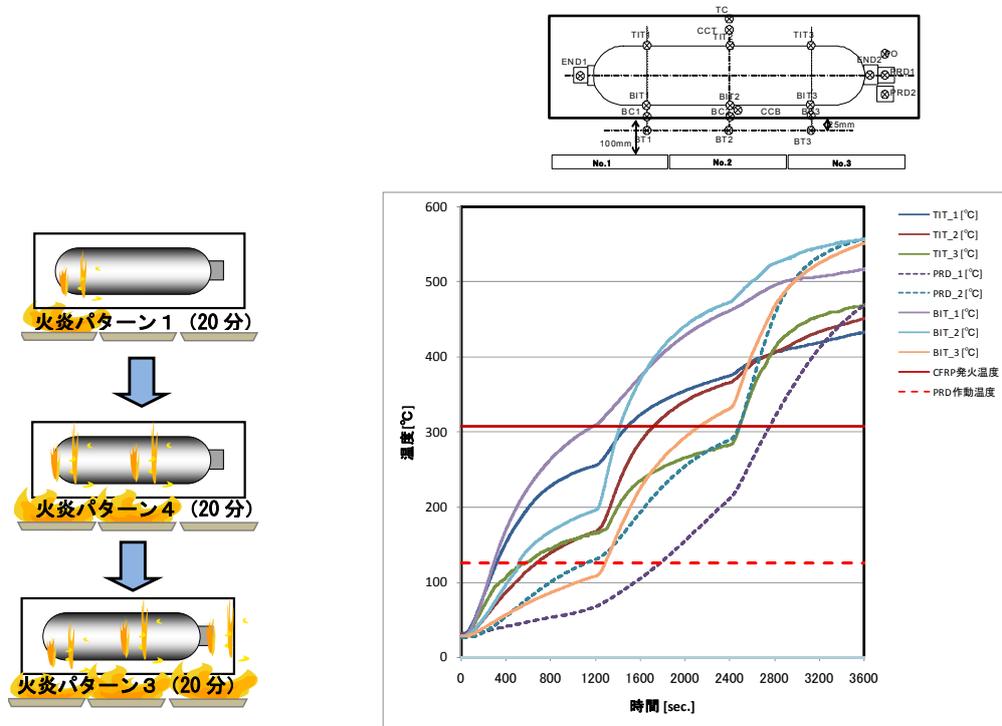
以下の図で示されるような様々な火炎パターンにより容器を火炎暴露させ、容器周囲の温度を測定した。



火炎パターンの可変は、3つのプロパンバーナの切り替えによって行う。容器長さ方向に対する各バーナの大きさは400mm、幅500mmとし、各バーナ間の移動によってバーナ長を1200~1650mmに変化することができる。各バーナの流量は、火源がケーシングを包み込んでいる状態になるように（流量：100NL/min）とした。

<結果>

試験結果の一例（容器表面温度と模擬安全弁の温度）を示す。



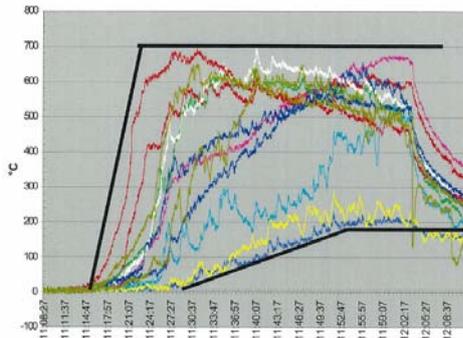
容器表面温度と模擬安全弁の温度（試験結果の一例）

提案された様々な火炎パターンのうち、PRD が作動するまでの間、容器表面温度が 300°C を上回る時間が最も長いものは、上記に示した火炎パターン（火炎パターン1→4→3）のケースであり、この試験が、最も容器に対して過酷な試験であると推定される。

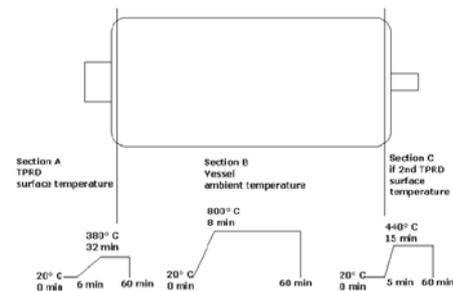
iii) SAE提案の温度プロファイルの妥当性検証試験

<目的>

北米で提案された局所火炎暴露試験の温度プロファイルを検証するため、各種類の車両火災試験を行い、容器が搭載される箇所相当位置での車両底部の温度を調べる。



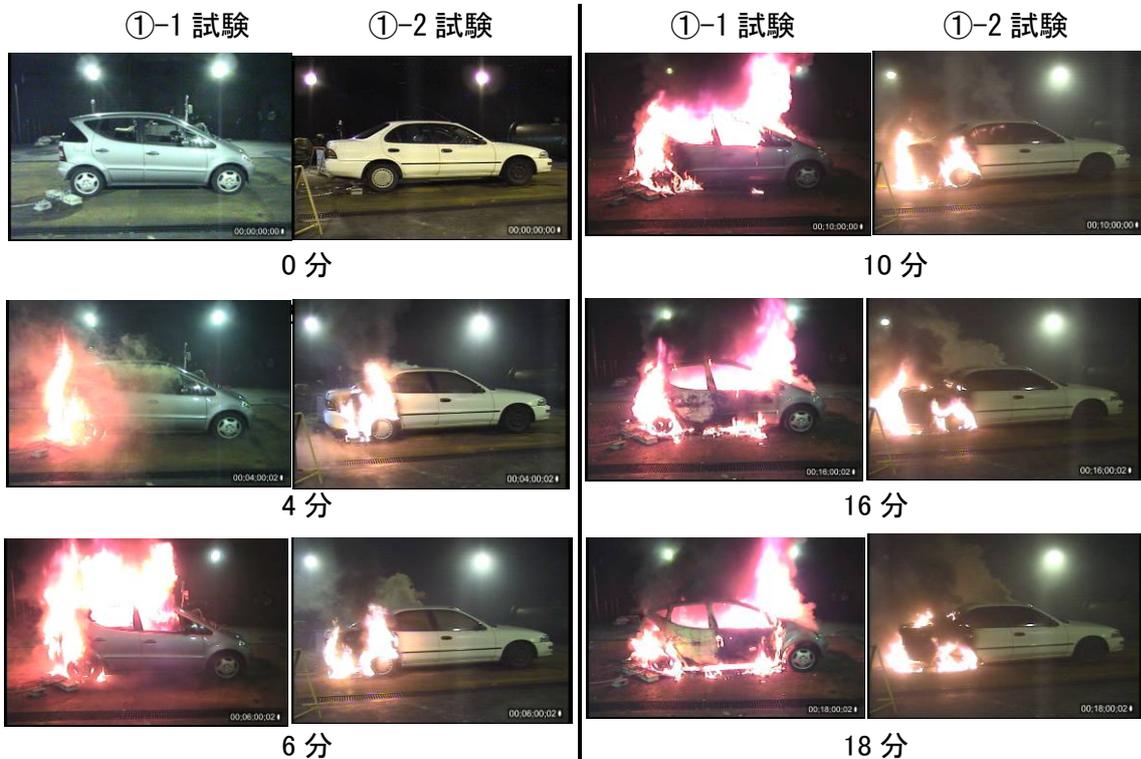
車両底部の温度データ(ガソリン車)



北米提案局所火炎暴露試験温度プロファイル

<試験方法>

火災試験の試験車両①-1 と 2 の延焼状況を示す。このような車両計 8 台のデータを用い、車両底部の温度を整理した。

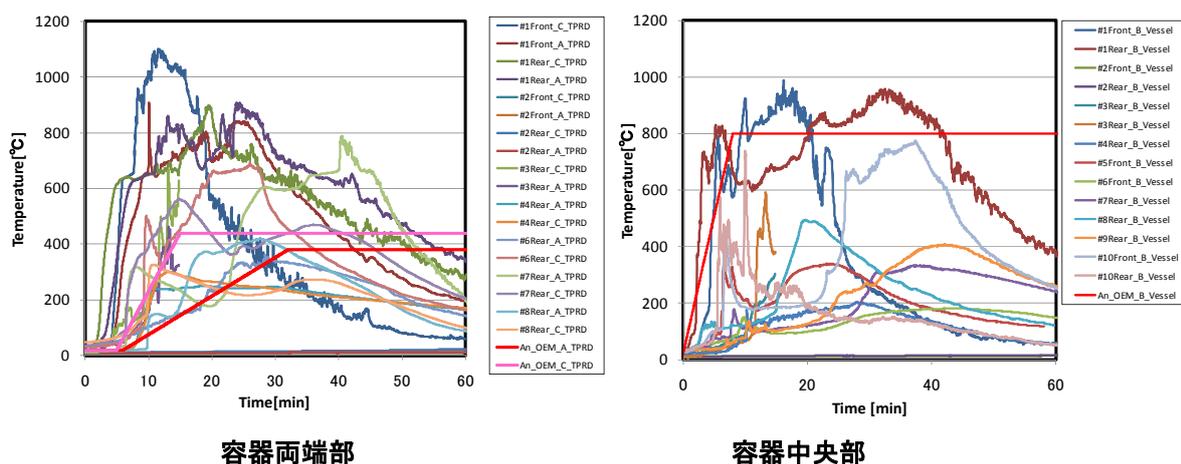


車両右側延焼状況比較

## <結果>

SAE で提案されている温度-時間プロファイルの妥当性を検証するため、計8台の火災時における車両底部の温度分布を調べた結果、以下のことが分かった。

1. 車両および着火形態によって床下の温度プロファイルは大きく異なり、SAE で提案されている温度-時間プロファイルも代表的な温度プロファイルとは言い難い。
2. 車室内および後輪からの着火形態で、床下部の燃焼を助長するものとして共通しているのは、リアバンパーの燃焼（特に、熔融滴下燃焼）であった。
3. 水消火の直後、一時的に床下温度が上昇する場合がある。
4. 床下においては、110°C以上に到達しない箇所があった。この原因は、タイヤバーストとサスペンションの破損によって、ボディが落下し、車底部の部位によっては地面に近づく、あるいは接してしまっただため、火炎が進入できなかったためと推定される。
5. 安全弁の作動によるベントからの水素噴出火炎により、タンク周囲の温度が上昇した。そのため、複数容器を搭載した場合の床下の温度プロファイルを想定するには、安全弁の作動による水素放出の影響についても考慮する必要があると考える。



北米で提案された温度プロファイルと本試験データとの比較

iv) 容器搭載箇所での温度把握のための車両火災試験

<目的>

容器が片炙りされる時間を求めるために、容器および安全弁を搭載させた車両での火災試験を行う。

<試験方法>

**試験条件**

#	車両	出火箇所	窓開口	車両の姿勢	
#1	セダン	車室内	安全弁反対側	正常	
#2	↓	後部タイヤ	安全弁反対側	↓	
#3		後部タイヤ	全閉		
#4		リアバンパー	全開		車両横状態での直立姿勢
#5		1BOX	車室内		安全弁反対側
#6	↓	後部タイヤ	安全弁反対側	↓	



局所火炎暴露試験時間を算出するにあたり、以下の仮定をした。

- PRD の温度は 25mm 角金属ブロック（アルミニウム合金製）中心部の温度であり、容器の両端部位に相当する車両左右 2 箇所での計測点（PRD1、PRD2）を用いる。
- タンクの計測点は多数有るが、その中で最も早く 320 °C 以上に温度が到達し、かつその後、長時間 320 °C 以上を継続した計測箇所をタンクの温度とする。
- 片炙りされた状態とは、容器の一部が直接、炎によって接炎され、CFRP 自体が燃焼した状態になっている状態であると定義する。
- CFRP の発火温度は 320 °C @50kW/m<sup>2</sup>であったことから、容器表面が 320 °C に到達した時、CFRP 自体が燃焼しているため、この温度を片炙り開始温度と定義する。
- 一方、安全弁の作動については、安全弁近傍において 25mm 角金属ブロック（アルミニウム合金製）中心部の温度が平均 228 °C（141～356 °C）を超える、安全弁が作動していることから、228 °C に到達した時を安全弁の作動開始温度とする。

局所火炎暴露時間は以下の式で定義する。

$$\text{局所火炎暴露時間} = \text{容器が } 320 \text{ }^\circ\text{C} \text{ を超えた時} - \text{安全弁作動想定時間}$$

$$\text{(双方の安全弁の中で最も遅く } 228 \text{ }^\circ\text{C} \text{ に到達した時間)}$$

ただし、安全弁作動前に容器温度が 320 °C 以下に下降してしまった場合、片炙り時間は安全弁が作動する前に容器温度が 320 °C 以上を継続した時間とする。

<結果>

以下の表に局所火炎暴露時間を示す。

局所火炎暴露時間

TEST No.	車両型式	出火位置	窓	容器箇所	局所火炎暴露時間
TEST#1	セダン	車室内	開	トランクルーム内容器	5分
				床下前側容器	1分
				床下後方容器	1分
TEST#2		後タイヤ	開	トランクルーム内容器	1.5分
				床下前側容器	—
				床下後方容器	2.5分
TEST#3	後タイヤ	閉	トランクルーム内容器	—	
			床下前側容器	—	
			床下後方容器	—	
TEST#4	後バンパ—	開	トランクルーム内容器	6分	
			床下前側容器	0分	
			床下後方容器	5分	
TEST#5	1Box	車室内	開	床下前側容器	5分
				床下後方容器	11分
TEST#6		後バンパ—	閉	床下前側容器	9.5分
				床下後方容器	0.5分

これらの結果、片炙り時間＝容器が 320℃ を超えた時—安全弁作動想定時間（双方の安全弁の中で最も遅く 228℃ に到達した時間）と定義すると、最大 11 分であること。および車両が同一であっても、容器搭載位置、出火位置、窓開口条件、車両の姿勢（ロールーバーなど）により、容器の温度のプロファイルは異なることが明らかになった。

(C)水素噴出火炎の周囲影響の調査

<目的>

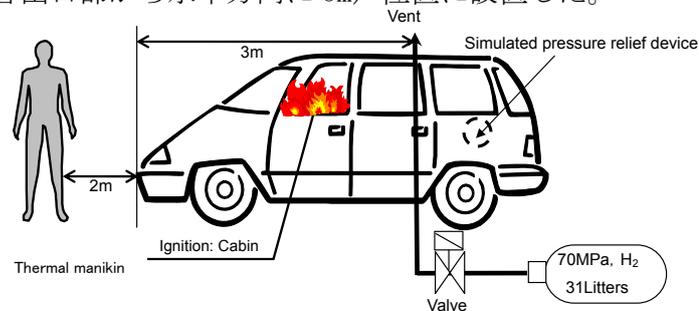
安全弁の作動時には、水素噴出火炎が形成されるため、消火救助などによる安全指針策定には、周囲の人への影響を調査する必要がある。そこで、サーマルマネキンによる水素噴出火炎の周囲影響を調査する。

<方法>

本実験では、マネキンに国内の消防署にて使用されている耐火服(メタアラミド 95%+パラアラミド 5%)、下着(綿 100%)、耐熱グローブ、靴(消防用ブーツ)、ヘルメットを着用させ、火傷傷害を評価した。

安全弁の作動による水素の放出は、以下の方法で行った。水素は、火炎に暴露されない位置に設置した水素容器(約 68MPa、容積 31L)から供給し、エア—駆動弁により放出管から放出させる。放出のタイミングは、車室内の後方に設置した模擬安全弁(純アルミニウム A1100 製 25mm 角ブロック)の中心部温度が 110℃以上になった時点とした。放出管(内径 4mm)は車両中央部のルーフ上に固定し、その噴出方向は上方へ向けた。なお、放出配管ライン上で

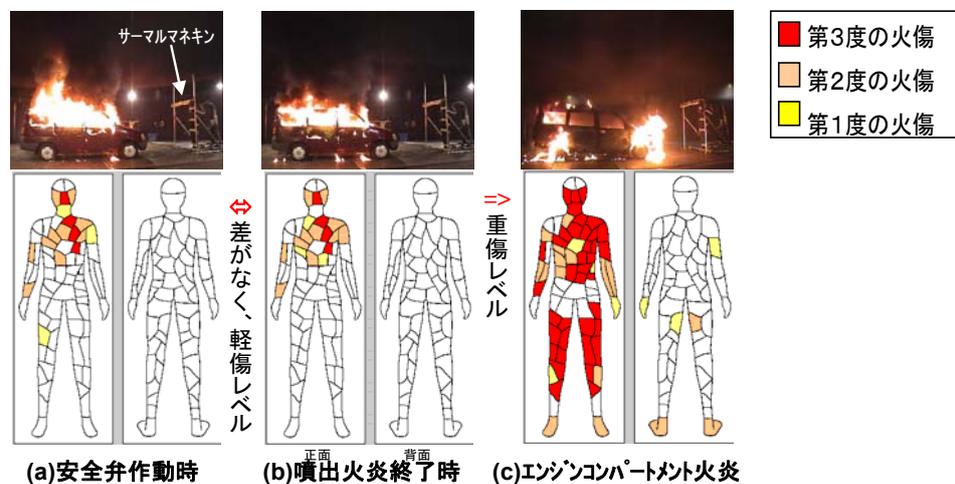
の最小絞り部の内径は直径 2.8mm である。車両は、ガソリンタンクを取り外したバン形状のガソリン自動車を用い、車室内のダッシュボード内に収納された灰皿内に設置した固形アルコール燃料によって着火させた。車両の窓ガラスは前席側の左右のみを開口させた。サーマルマネキンには、国内の消防署にて使用されている耐火服(メタアラミド 95%+パラアラミド 5%)、下着(綿 100%)、耐熱グローブ、靴(消防用ブーツ)、ヘルメットを着用させ、車両前方から 2m (放出管出口部から水平方向に 5m) 位置に設置した。



試験方法の概要

<結果>

水素噴出火炎形成時 (PRD 作動時) および噴出火炎が形成されていない安全弁作動後の 2 分間暴露の火傷分布を比較すると、傷害を負っている部位や火傷傷害もほとんど差がない。一方、マネキンから近距離位置にあるエンジンルームが火勢期である間においては、上半身と大腿部に大きな傷害が見られる。



サーマルマネキンによる水素火炎の周囲影響調査(車両前方 2m 位置)

これらの結果から、上方向へ水素噴出させた際での火傷被害は、従来の自動車火災と同等レベルであることなどが明らかになった。

#### (D) 消火・救助活動での安全情報調査

##### <目的>

安全弁作動時の噴流火炎への消防の対応として、California Fuel Cell Partnership の水素燃料電池自動車の緊急対応ガイドでは、水素噴流火炎が消炎すると爆発の恐れがあるので、噴流火炎のベント部に向けて放水すべきではないとされる。一方、一般の建造物などの火災では、火災熱による鋼製ガス容器の破裂を防ぐために、放水によって圧力容器を冷却する処置がとられる。しかし、近年、自動車で用いられている炭素繊維(CFRP)複合容器では、鋼製容器と同様の対応方法で良いのかの知見がない。

そこで、圧縮水素容器搭載自動車の消火・救助時に危惧される事象や問題点ならびにそれに対応する具体策を検討するための調査・研究のひとつとして、

- i) 水素噴流火炎の消炎の可能性
- ii) 放水の冷却による容器の強度や安全弁への影響を調査する。

##### i) 水素噴流火炎の消炎の可能性

##### <試験方法>

水素ガス容器(約 15MPa、47L)からのガスを、安全弁作動時のガス放出孔を模擬したベント管(直径 4.2mm)から大気中に噴出し、電気スパークによって着火する。形成された水素噴流火炎基部に向けて、水または粉末消火剤(自動車用 ABC 消火剤)を散布し、噴流火炎が消炎するかを試みる。水消火で使用した散水ノズルには最大放水量 500L/min・m<sup>2</sup>、呼び径 50A を使用した。試験は、模擬車両を製作し、その車両にベント管を取付け、アスファルト舗装路面を敷いた上で実施した。

ガスの噴出方向は上方、および斜め下方 45° の 2 通りとした。ベント管は上方に向けた場合、模擬車両のルーフ後部中央に、斜め下後方 45° に向けた場合、車両の後輪軸の床下に設置した。消炎の有無は、熱電対および赤外線熱画像装置によって判断した。

##### <試験結果>

計 8 ケースの消炎試験を行った結果、水素噴流火炎は、上方向に放出した場合、故意にベント孔へ向けて水または粉末消火器で消火を試みても、消炎することはなかった。斜め下 45° に向けた場合も容易に消炎しなかったが、一部、試験#4 ではベント部の噴出圧が 0.9MPa まで低下した際に消炎した。しかし、噴出圧 0.9MPa 程度の火炎長は 50cm 以下であり、かつ容積 50L 程度では、残り数十秒で残圧がゼロになる。また、試験#7、#8 においては、噴出圧がそれぞれ 0.3、0.2MPa になった際に火炎が消炎したが、加熱されたアスファルトによって数秒後に再着火した。しかし、本試験の場合では、開放空間での試験ケースであり、水素ガスが閉じ込められるような条件下にはならないので、再着火しても、爆発などの危害を及ぼすような事象は生じなかった。このことから、実際の車両における安全弁の作動時の水素噴流火炎は放水や粉末消火による消火を試みても容易に消炎せず、かつ噴出圧の小さい状態で消炎後に再着火しても、車両周囲の人に対して危害を加えることはないと考えられる。

## ii) 消火放水による容器・安全弁への影響調査

### < 試料作成および試験方法 >

火災で加熱された容器と安全弁が消火放水を受けた際の事象把握、および容器の強度に及ぼす影響を調査した。供試容器にはアルミライナー複合容器（VH3、最大充填圧 35MPa、容積 39L）を用い、以下の 6 つの条件で試料を作成した。

「試料#1」：安全弁（作動温度  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）を装着した容器に 35MPa の水素を充填し、横置きにした容器の底部からプロパンバーナ火炎で暴露する。安全弁の作動と同時にバーナを停止し、ただちに容器全体に放水した。

「試料#2」：水素を充填していない供試容器を、試料#1 と同一時間で火炎に曝し、その後、バーナを停止し、自然放置した。

「試料#3、4」：水素を充填していない供試容器を 5 分間火炎に曝す。試料#3 は放水による冷却、試料#4 は自然放置した。

「試料#5、6」：水素を充填していない供試容器を 8 分間火炎に曝す。試料#5 は放水による冷却、試料#6 は自然放置した。なお、本容器に 35MPa の水素を充填し、安全弁を装着せずに火炎暴露試験をした場合、416 秒（約 7 分）で破裂した。よって 8 分間の火炎暴露は、確実に容器が強度劣化している条件である。

また、上記の試料以外に、容器の強度劣化の指標のため、火炎暴露していない供試容器の耐圧も調べた。火炎暴露時には、容器周囲温度を把握するために、容器には計 14 点の熱電対を装着した。これらの各条件で作成した容器は、圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S-001 に準じた水破裂試験によって、破裂圧力を調べた。

### < 試験結果 >

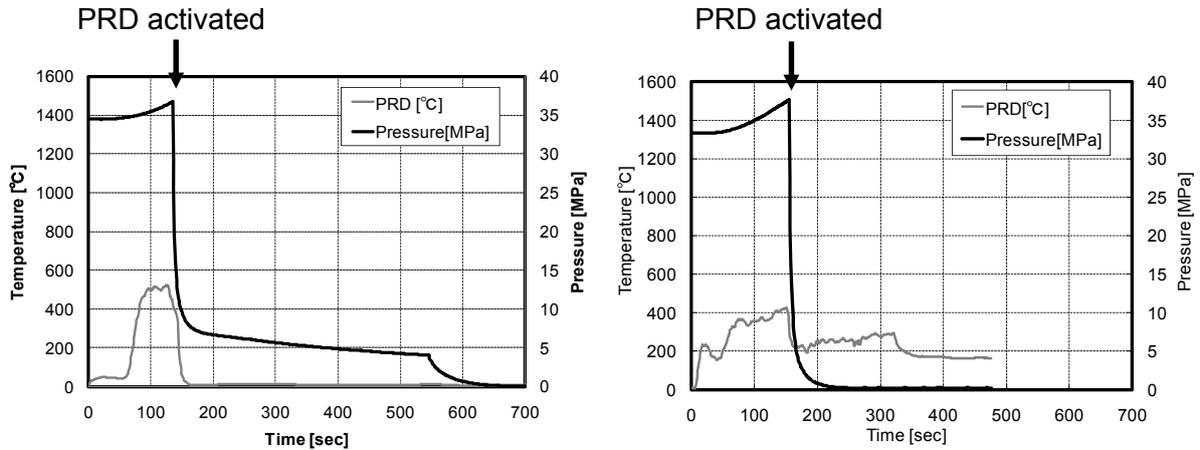
#### ii -① 容器の焼損状態

35MPa の水素を充填し、容器を火炎暴露させると、2 分 15 秒で安全弁が作動した。その後、直ちにバーナ火炎を消すと、水冷却および自然放置では容器自体は燃えずに、かつ容器自体の温度変化においても双方、大差なかった。

水で冷却すると、容器のほとんどの箇所は冷却されるが、放水していない自然冷却の場合、火源を停止しても容器自体が約 4 分間自己燃焼を継続し、容器が加熱され続けた。

ii-② 安全弁作動の状態

試験#1 の容器内圧と安全弁周囲温度を示す。



試験#1(PRD 作動後にただちに水で冷却)

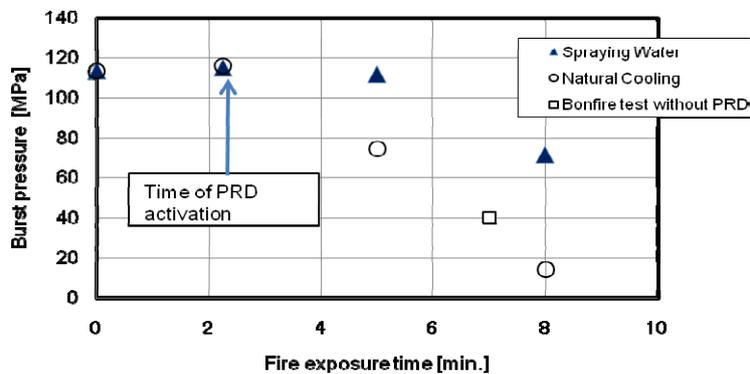
PRD 作動後にそのまま放置

容器の内圧と PRD 温度

安全弁作動時に容器全体を水で冷却すると、水素の放出時間は 4 分以上になった。そのため、試験の安全性を配慮し、別途、設けた緊急放出弁により、容器内のガスを強制放出させた。一方、安全弁が作動すると、水素ガスの放出は約 1 分で完了する。安全弁の作動時に水で冷却されたことにより水素の放出が遅延した理由は、融点の低い金属で構成された安全弁の溶栓が冷却によって再凝固し、水素を放出する流路を一部閉塞させたためと考えられる。なお、現在の規定では、安全弁の再閉塞に対して規制されていないが、再閉塞しない構造の安全弁は既に開発され、実際に使用されている。

ii-③ 火炎暴露試験後の水破壊試験の結果

火炎暴露時間と水破壊試験の破裂圧力の関係を示す。ここで、火炎暴露時間 0 分で示されている破裂圧は、本供試容器自体の耐圧 (110.3~116.2MPa) である。また、□の印は、安全弁を装着しない状態で 35MPa の水素ガスを充填した本供試容器の火炎暴露試験による破裂圧と破裂時の時間を示している。



火炎暴露時間と容器の破裂圧の関係

安全弁作動時まで火炎暴露を継続させた場合（火炎暴露時間：2分15秒）、水消火および自然放置した場合でも、容器の耐圧は供試容器自体の耐圧と同じであり、破裂強度は低下していない。5分間の火炎暴露では、自然放置させた場合のみ、耐圧が低くなった。さらに、8分間の火炎暴露では、両者ともに耐圧が小さくなったが、この場合も、水消火させた方が強度は高かった。

以上のことから、

- 1) 安全弁作動時の水素噴流火炎は、水消火および粉消火では容易に消炎しない。
- 2) 安全弁作動時に容器や安全弁へ直接消火放水すると、安全弁が閉塞することがある。
- 3) 自動車用の炭素繊維(CFRP)複合容器の強度は消火放水した方が保たれる。

よって、水による消火により再閉塞しない安全弁を車両が採用していれば、開放空間での噴流火炎の消炎による大きな爆発や、容器が強度的に劣化することはないと考える。

#### (E) 駐車場や船舶輸送に関わる課題

##### <目的>

水素燃料電池自動車普及に至る過程では、事故や放火あるいは震災などにより、ガソリン車などの水素以外の燃料自動車とともに火災に至る可能性がある。このような燃料種の異なる自動車同士が混焼した場合の火災性状は、ほとんど報告されておらず、これらの把握は将来の駐車場やトンネルあるいはフェリーや車両運搬専用船などの船舶輸送の火災安全設計に必要である。これらの研究の第1歩として、

- i) ガソリン自動車と水素燃料自動車の混焼
- ii) 海上輸送を想定した複数台の水素燃料自動車火炎試験

を行い、水素燃料自動車が存在した場合の隣接車両への着火や延焼性に及ぼす影響を調べる。

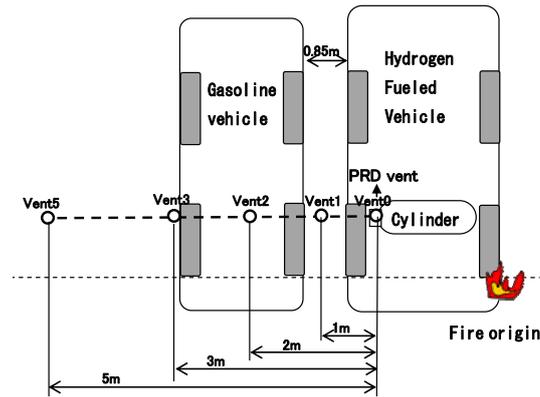
- i) ガソリン自動車と水素燃料自動車の混焼

##### <試験方法>

この試験では、シナリオを以下のように設定した。

- 1) 駐車場での放火を想定、2) 安全弁からの放出管側にガソリン車が駐車、3) ガソリン車と反対側の後輪タイヤ部位から出火、4) 窓はすべて全閉

このシナリオを想定し、車両周囲の温度や延焼状況および安全弁の作動タイミングを調べる。ガソリン車（排気量2000cc、SUV）の燃料タンクを取り外し、圧縮水素容器や主止弁などの高圧燃料配管系を搭載する改造を施し、水素燃料自動車を模擬した。



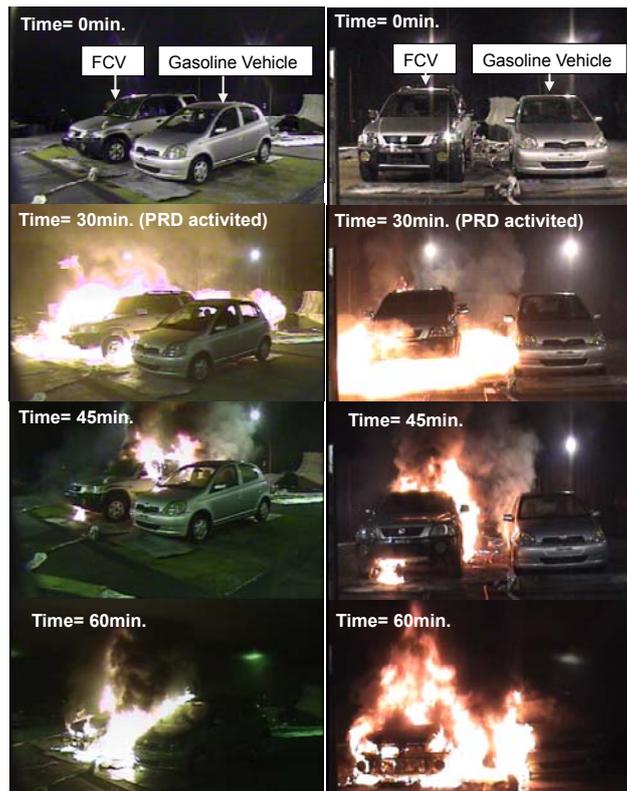
実験概要図

搭載した容器は、水素を満充填した 70MPa 容器（容積 36L）1 本であり、取り外したガソリン燃料タンクの部位に装着した。安全弁の作動は、容器の端部に設置したアルミニウム合金製の 25mm 角ブロックの中心部の温度が 110℃に到達した時点で、外部から強制的に弁を開くことにより模擬した。ベント管（内径 4.2mm）のガスの放出方向は、ガソリン車側の容器端部から地面に垂直に向けた。一方、ガソリン車（排気量 1000cc、ハッチバック、金属製燃料タンク）には、ガソリンを 10L 程度入れた。双方の車両間隔は約 0.85m とし、双方の後輪車軸がほぼ同位置になるように、駐車させた。出火箇所は、ガソリン車と反対側の水素燃料自動車の後輪タイヤとした。着火は、プロパンガスバーナを用い、接炎時間は 2 分とした。実験は、風雨の影響を受けない（財）日本自動車研究所の耐爆火災試験設備にて実施した。

#### <結果>

試験開始から 30 分後、容器の端部に設置した金属ブロック中の温度が 110℃に到達したため、安全弁の作動時期と判断し、水素ガスをベント管から放出させた。安全弁を作動させると、水素燃料自動車の床下全面は火炎で覆われ、水素燃料自動車自体の延焼範囲は拡大した。しかしながら、この時点では、隣接したガソリン車には着火しなかった。

ガソリン車に着火した時期は、試験開始から 57 分 26 秒後であり、安全弁を作動させてから約 28 分後であった。ガソリン車の着火箇所は、水素燃料自動車側の車両側面の前タイヤ付近であり、この時、水素燃料自動車はすでに全焼に至った状態であった。



### 実験結果

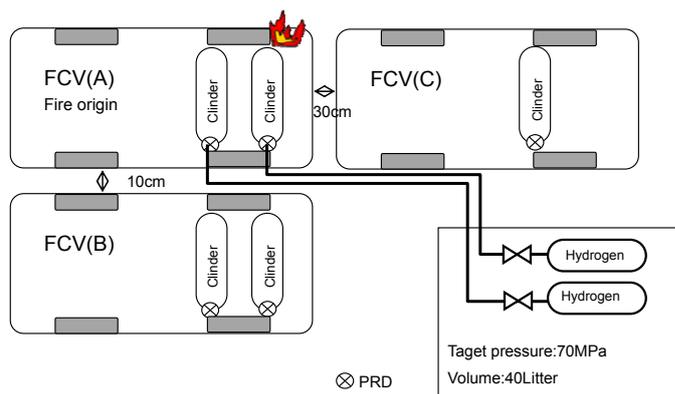
以上の結果、本試験条件では、隣接したガソリン車への着火は、直接的に安全弁作動時の水素噴出火炎が関与せず、その後の水素燃料自動車に全焼に至った際の内・外装品類による火炎によるものであることが分かった。

#### ii) 海上輸送想定での複数台水素燃料自動車火災試験

##### <試験方法>

本試験では、シナリオを以下のように設定した。

- ・ 自動車運搬専用船での車両輸送を模擬（駐車間隔、隣接車両も同一車両、窓は全閉）
- ・ 同一階層での火災
- ・ 出火位置は隣接車両に対して遠い箇所と想定される箇所で、かつ安全弁の作動も遅いと想定される後部タイヤ部位近傍（リアバンパ）からのもらい火火災を想定
- ・ 車両はステーションワゴン車（全長 4.685×全幅 1.695×高さ 1.96m）  
ただし、換気条件は輸送船内のように半密閉状態ではなく、大気開放状態（当研究所の耐爆火災試験場）での試験とした。



### 実験方法概要

隣接車両は出火源となる車両（A車）の横側に1台（B車）、後側に1台（C車）の合計3台である。自動車運搬専用船での駐車間隔とし、横方向は10cm、前後方向は30cmの間隔で駐車させた。車両はすべて同一のガソリン車ベースに、ガソリン燃料タンクおよびマフラー類を取り外し、その床下に鋼製の模擬容器（直径318×全長800mm：40L相当の圧縮容器を想定）を搭載する改造を施した。模擬容器は、A車およびB車には後輪車軸の前後に1本ずつ（計2本）を、C車には後輪車軸の前に1本を搭載した。これらの模擬容器には、端部に作動温度104℃の金属溶栓式安全弁を装着した。これらの安全弁は、約8～10MPaの小容量のヘリウムガス源で加圧しておき、安全弁の作動状況を確認する。A車については、安全弁が作動した際、車両の外部から水素を供給（70MPa・容積40Lの容器×2本に水素を充填）し、安全弁作動時によるベント管（内径4mm）からの水素の放出を模擬した。水素の放出は、容器安全弁が設置されている箇所から斜め後方に45°、ベント管端部から地面までの距離30cmとした。温度計測は、車両周囲および床下の容器周りの72カ所をK型熱電対（シース径1.6mm）により計測した。

### <結果>

試験開始から約109分後、側面に駐車したB車の右後部側面が着火した。114分後、A車はほぼ全焼に至り、後部に駐車したC車のフロントバンパとエンジンフードが着火した。試験開始約117分後、A車の後側タンク部位に装着したPRDが作動した。水素（充填圧力59.1MPa、容積40L）を後部タンクのベント管から放出させると、火炎はB車の車両中央部まで、C車の車両底部の後輪部まで及んだ。放出した水素は約2分間で、圧力が1MPa以下となり、水素の放出が終了した。試験開始119分47秒後、側面に駐車したB車の後側タンクの安全弁が作動した。ただし、B車には水素放出させる装置を取り付けていないので、水素放出はしていない。試験開始122分14秒後、A車前側タンクの安全弁が作動した。水素（充填圧力65.4MPa、容積40L）を前側タンクのベント管から放出させた。これにより、車両3台は全焼状態に至った。試験開始約144分後、その間までの間、出火車両の後方に駐車したC車の前側タンクの安全弁は作動しなかった。しかし、B車の後軸の後側のタンクの容器周囲の温度およびC車の後軸の前側のタンクの容器周囲の温度をみると、A車のPRDの作動による火炎によって、

急速に温度が上昇した。よって、本試験条件では、隣接車は車両内外装品類による火炎で着火したが、その後の安全弁の作動による水素火炎により、隣接車両の床下部の温度が上昇し、床下に設置した安全弁の作動を誘発させる可能性があることが分かった。



延焼の様子

i) ガソリン自動車と圧縮水素容器搭載車両との混焼、および ii) 海上輸送を想定した複数台の水素燃料自動車火炎試験を実施した結果、両試験とも、隣接車が着火した要因は安全弁作動時の水素噴出火炎が直接的には関与せず、車両内外装品類による火炎によるものであった。ただし、海上輸送などの接近した駐車間隔では、安全弁の作動による水素火炎により、床下に設置した安全弁の作動を誘発させる可能性があり、安全弁が作動する前に、迅速かつ適切な火災検知と消火活動を行うことが重要であると考えられる。

#### b. 高密度水素貯蔵技術の安全性評価

##### 7. 液体水素容器の安全性評価

液体水素容器の安全性評価試験法策定に向けた基礎データを取得するために、以下の2項目を実施した。

(A) 車載用液化水素容器の基礎特性調査

(B) 液体水素漏洩試験

##### (A) 車載用液化水素容器の基礎特性調査

<目的>

車載用液化水素容器の安全性評価試験を実施する上での基礎データとして、断熱性能試験を実施し、静置状態でのボイルオフガス量や浸入熱量、および蒸発率などを調べた。

### <方法>

試験用液化水素容器に液化水素を充填した後、容器内圧力を大気圧にし、静置状態のボイルオフガス発生流量を湿式流量計により測定した。得られたボイルオフガス発生流量より以下の式を用いて、試験容器の断熱性能を算定した。浸入熱量は、高压ガス保安法容器保安規則（以下、容器則という）を参照し、以下の式を使用して算出した。なお、本試験では、試験ガスに液化水素を使用し、気化潜熱は、「水素との物性と安全ガイドブック（NEDO）」より446000J/kgとした。さらに、ISO/DIS13985.3にタンク断熱能力の指針として定義づけされている「サーマルオートノミー試験を実施する。サーマルオートノミーとは、容器内圧力が大気圧状態から第一安全弁の設定圧力に到達するまでの時間である。本試験では、充填後に静置したタンク液面が50%に達した段階を測定開始とし、第一安全弁（以下、リリース弁という）の設定圧力である0.6MPaに達するまでの時間を測定した。

試験用液化水素容器の概要

内容積	68L
満充填水素量	4.4kg(90%充填、大気圧として)
最高充填圧力	1.00MPa
容器寸法	1000mm×φ400mm

### <試験結果>

液化水素を容器液面77%まで充填した後、容器内圧力を大気圧にし、ボイルオフガス流量の測定を開始した。容器全体が冷却されるまで瞬時流量は若干高くなっているが、安定後のボイルオフガス流量は、2.0～2.1NL/min程度であった。また、液面の変化は外気温に大きく依存することがうかがえる。試験用容器の浸入熱量及び蒸発率を算定すると、浸入熱量は0.28-0.29J/h<sup>o</sup>CL、蒸発率は5.57～5.96%/dayの結果を得た。

液化水素を56%まで充填した後、容器内圧力を大気圧にし、液面が50%となった時点より測定を開始した。容器内圧力が、大気圧からリリース弁開放圧力である0.60MPaに到達するまでの時間は、29時間であった。また、リリース弁開放後、ボイルオフガス放出は連続的に放出され、その瞬時流量は、2.2～2.9NL/minであった。以上の結果から、本液化水素68L容器の静置状態でのボイルオフガス量は2.0～2.1NL/minであり、浸入熱量は0.28-0.29J/h<sup>o</sup>CL、蒸発率は5.57～5.96%/dayと算定した。また、サーマルオートノミー測定を実施し、液面50%、大気圧の状態からリリース弁が放出する圧力0.60MPaに達するまでの時間は29時間であった。

## (B) 液体水素漏洩試験

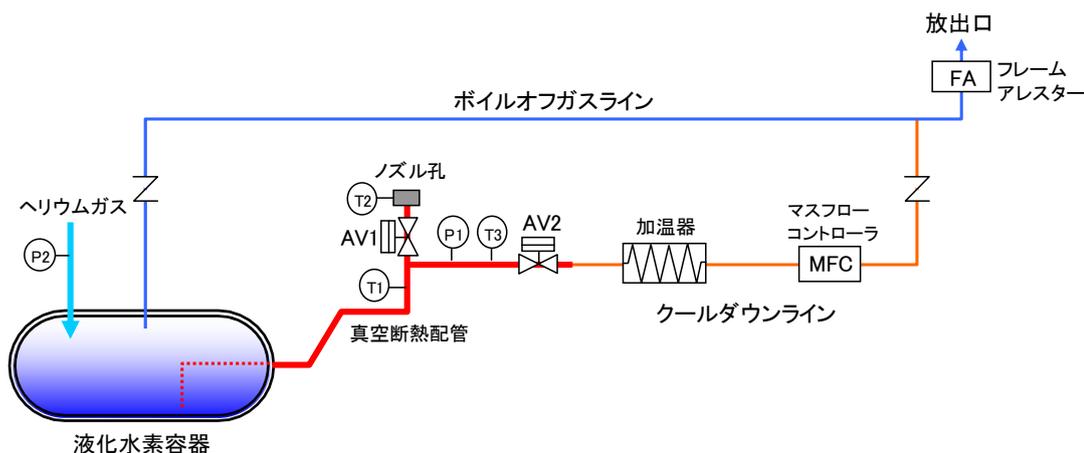
### <目的>

自動車用液化水素容器が衝突等の外力を受けた際、損傷を受けた配管部等から液化水素が漏洩する可能性がある。自動車用圧縮水素容器では、衝突時の水素漏れ許容量が規定されているが、自動車用液化水素容器に関してはその様な規定が無いのが現状である。そこで、圧

縮水素容器の水素漏れ許容量と同等の液化水素が漏洩した場合、漏洩時の周囲水素濃度や引火時の影響など、気体水素と挙動が異なるかどうか調査するため、液化水素漏洩試験を実施する。

### <方法>

液化水素容器からのボイルオフガスはボイルオフガスラインより、真空断熱配管クールダウン時に利用される水素ガスはクールダウンラインよりドーム外へ設置した放出管から排出する構造となっている。また、真空断熱配管（内管外側表面）、ノズル孔（外側表面）の温度測定には白金・コバルト側温抵抗体を使用した。



液化水素漏洩部 配管系統図

試験時の水素流量は、容器へのヘリウムガス加圧圧力やノズル径を変えることにより調節する。また、気体水素でも同一流量で試験する。

### 試験水素流量

水素流量[g/min]	
約 12	圧縮水素容器の水素漏れ許容量(131NL/min)
約 50~150	液化水素が噴出する条件で試験を実施

水素濃度センサは測定範囲の広い気体熱伝導式を使用し、高濃度用および低濃度用を試験流量によって適宜使用する。

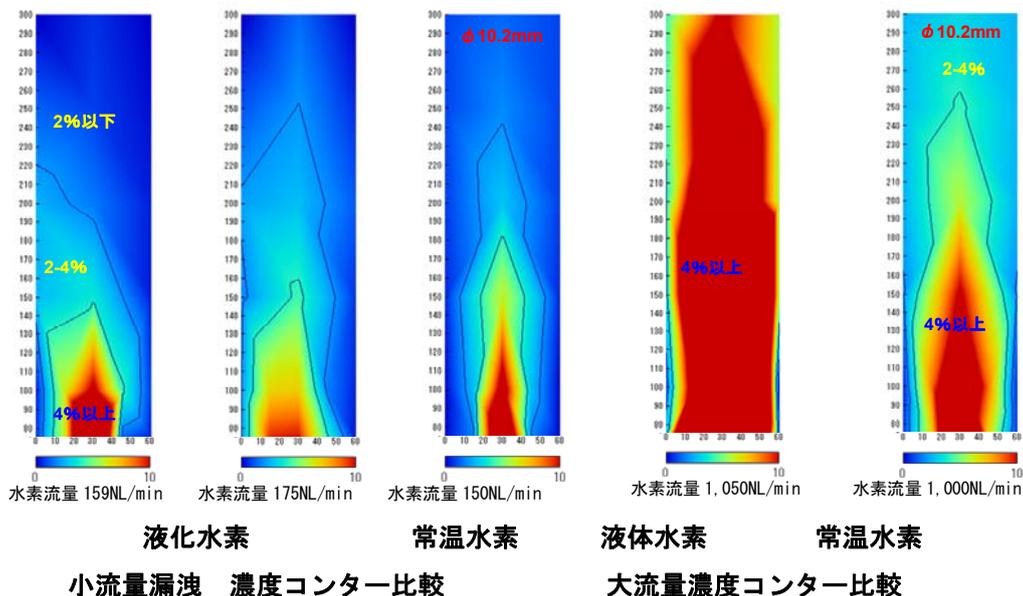
ノズル孔はブラインドガスケットに穴開け加工して作製した。また、ノズル孔から大気への放出は内径φ10.2mm、高さ25mmの配管を通り放出される。

### <結果>

液化水素と常温ガス水素の小流量漏洩時の水素濃度を比較すると、水平方向の水素濃度は液化水素の方が2%あるいは4%以上の濃度範囲が若干広い傾向となっている。し

かし、両者に水素濃度範囲の大きな違いは見られない結果となった。

液化水素と常温ガス水素の大流量漏洩時(約 1,000NL/min)の水素濃度を比較すると、垂直方向、水平方向ともに液化水素漏洩時の方が常温ガス水素漏洩時よりも高濃度範囲が広がる結果となった。



また、

- ・本試験では、配管等による液化水素の気化を抑制するため、出来るだけ熱損失を抑えた試験装置を使用した。その結果、水素流量 150NL/min 程度の液化水素漏洩でも、ノズル噴出部直近では液体水素として噴出することを確認した。
- ・ノズル径 1.0mm による水素流量 1,500NL/min 程度の液化水素漏洩では、高さ約 300mm まで液体水素状態で噴出するが、地面には液体水素が全く溜まらず、殆ど全て上方に噴出し拡散することを確認した。
- ・液化水素の影響によりノズル孔周りには固体空気が発生し付着した。その影響で液化水素の噴出方向が鉛直上方向からずれ、水素濃度を計測できない場合があった。
- ・大流量漏洩では、液化水素と常温ガス水素の濃度分布に大きな差が見られた。水素の噴出速度や空気への拡散速度の差が影響していると推察される。
- ・今回、液化水素容器のボイルオフガス等による水素漏洩に対処した試験装置を使用することにより、屋内での液化水素漏洩試験を安全に実施することが出来、屋内で液化水素を扱う試験を実施する上で必要な技術を習得することが出来た。

### c. インターフェイスの標準化

#### ア. 高圧水素充填コネクタの安全性評価

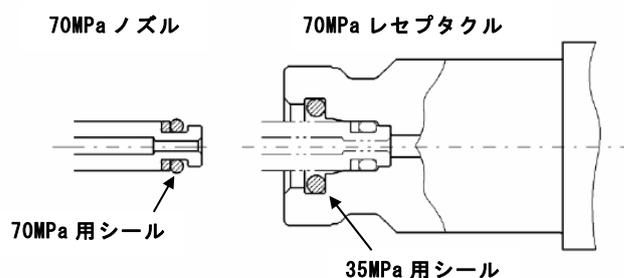
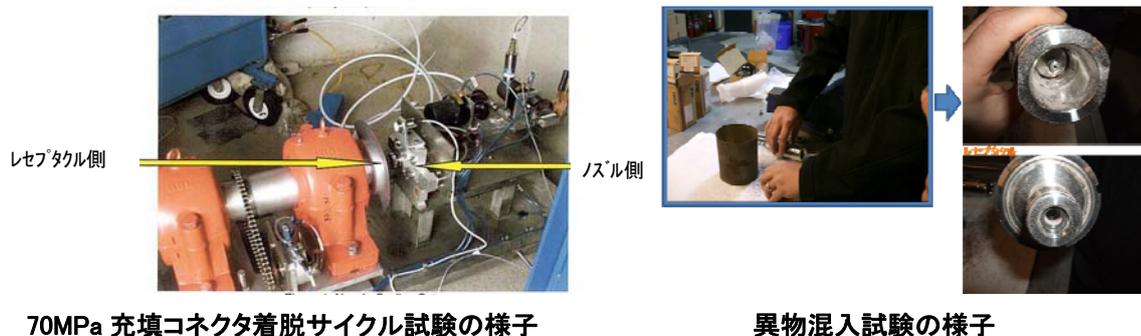
##### (A) 充填コネクタの耐久試験

###### <目的>

燃料電池自動車の普及促進には、水素充填コネクタの構造ならびに車両と水素ステーションとの通信に関する国内関連法規を整備し、国際標準化を推進する必要がある。そこで本事業では、日本仕様の70MPaコネクタの耐久試験を実施した。

###### <結果>

日本提案方式70MPaレセプタクルの耐久試験はすべて合格した。この結果から、この構造はISO-17268のベースとなるSAE（米国自動車技術会）にて、DISに採用された。また、平成19年度以降でのJHFC（水素・燃料電池実証プロジェクト）実証試験に用いる標準コネクタとして選定された。



日本提案の70MPaノズルの構造

##### (B) 微量充填試験

###### <目的>

非通信充填プロトコルの一つとして検討されている質量基準充填方式は、充填を行う前に微量の充填を行い、その際の充填量および圧力上昇から容器容積を推定し、充填量や充填速度の決定を行うという手法であり、安全かつ効率良く充填するためには、容器容積推定の精度が求められる。本試験では、質量基準充填方式で行う微量充填時の容器内温度上昇度を把握し、容器容積推定精度の向上に資するデータの取得、および最適な微量充填条件の

検討を行うため、容器内温度上昇度に及ぼす容器初期圧力や充填流量の影響を調査する。

<試験方法>

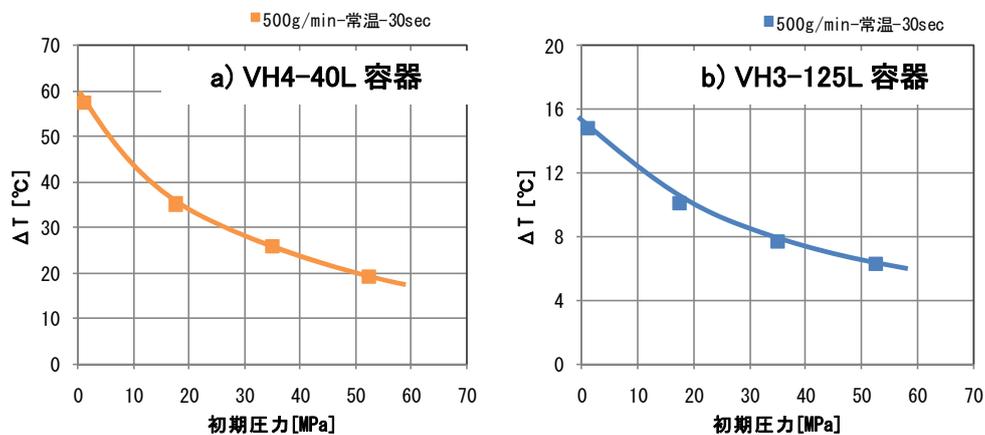
試験容器は、70[MPa] の VH3 容器（容量 125L）および VH4 容器（容量 40L）の 2 種類を使用した。

**試験条件**

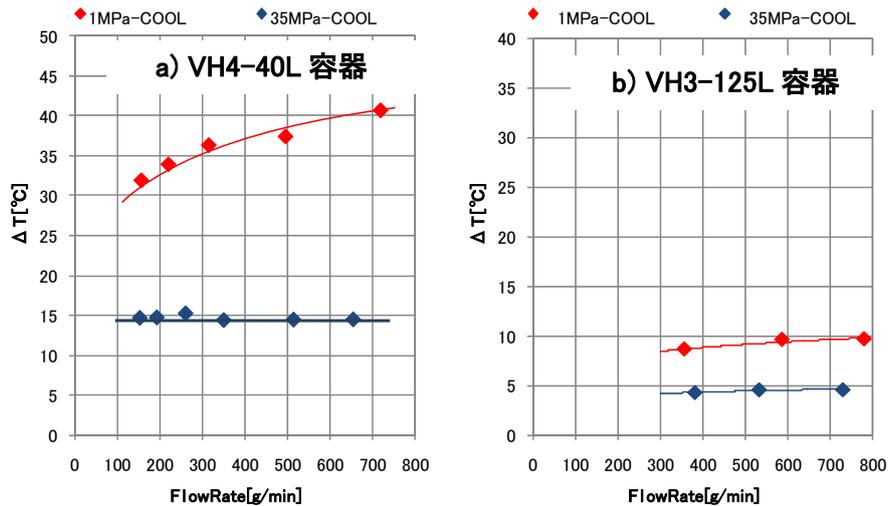
Filling pattern	Constant rate ofFlow
Initial Pressure	1、17.5、35、52.5 [MPa]
Flow Rate	150~700[g/min]
Filling Gas Temperature	Normal temperature Pre-Cool (Ambient-25°C)
Filling Time	60[sec]

<試験結果>

試験の結果、初期圧力により温度上昇度が異なる（初期圧力が高くなると温度上昇度が小さくなる）こと。初期圧力が低い場合、充填流量により温度上昇度が異なる（充填流量が大きくなると充填量に対する温度上昇度が大きくなる）。初期圧力が高い場合、充填流量の影響は確認されなかったこと・容器により温度上昇度が異なること。充填流量を小さくすると、容器による温度上昇度の差は小さくなる傾向があることが分かった。



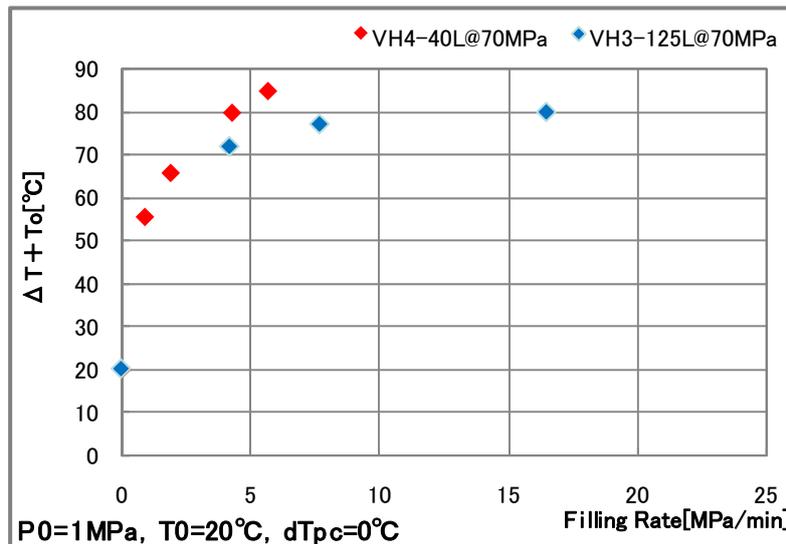
初期圧力の影響



### 充填流量の影響

#### (C) 充填プロトコルおよび充填マップ検証試験

非通信充填プロトコルの一つである圧力基準充填方式では、安全に充填を実施するための充填マップ（各初期条件に応じた充填速度/充填圧力マップ）を水素ステーション側に用意し、指定された充填速度で停止圧力まで充填を行う。充填マップでは、環境温度、充填ガス温度、初期圧力に応じて充填速度および充填圧力が決定される。本研究では、充填マップは、SAEの場で議論されている Look-up Table（70MPa@15°Cを基準量とし、87.5MPa@85°Cまでの充填を目標）を日本国内用に修正（70MPa@35°Cを基準量とし、充填圧力上限を70MPaに設定）したものを作成した。



#### 試験結果一例 ～充填速度とΔTの関係～

(初期圧力：1MPa, 環境温度：20°C, プレクール無し (dT = 0°C))

また、充填コネクタの有無による容器内温度上昇度の変化は、主に充填ガス温度、充填圧力挙動等の変化によって引き起こされるものと推察される。そこで、実規模レベルで検証を行うため、充填による温度上昇度の変化量の大きい小容量の VH4 容器を用いて-20°Cプレクール充填を行い、充填コネクタの有無による比較を行った。絞りが容器内温度へ及ぼす影響の度合いは充填コネクタの内径に依ることになることから、本試験では、今後国内の水素ステーションでの使用が見込まれる内径 2.2 mm の充填ノズルを用いた（充填コネクタ前後の配管内径は 5.2 mm）。なお、圧力および温度の計測は充填コネクタの前後近傍に取り付けた圧力センサー（ $P_{us}$  と  $P_{ds}$ ）および温度センサー（同  $T_{us}$  と  $T_{ds}$ ）にて行った。



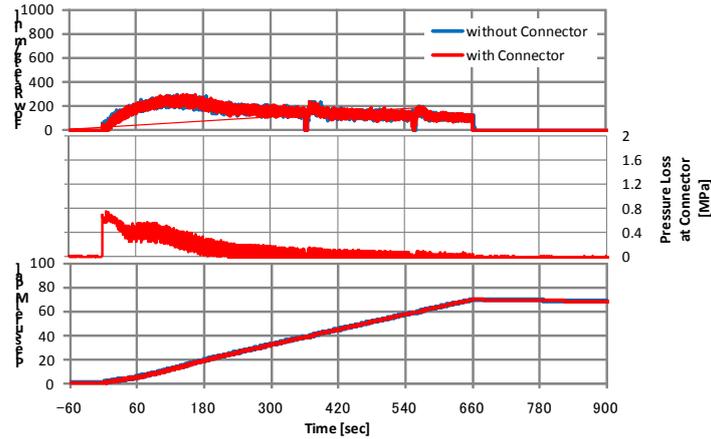
充填コネクタ外観

Lookup Table (70MPa, Cap ≤ 6kg, -20°C)

Ambient Temperature (°C)	Avg Ramp Rate (MPa/min)	Ref: Fill Time for Empty Tank (min)	Target Fill Pressure (MPa)													
			Initial Tank Pressure (MPa)													
			2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70			
> 50	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling
50	1.2	58	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	69.9	68.9	68.4	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	no fueling
45	1.6	43	70.0	70.0	70.0	70.0	69.9	69.4	68.4	68.4	67.9	67.4	67.4	67.4	67.4	no fueling
40	2.2	30	70.0	70.0	70.0	69.9	69.4	68.9	68.4	68.4	67.9	67.4	67.4	67.4	67.4	no fueling
35	2.9	24	70.0	70.0	69.9	69.9	69.4	68.9	68.4	68.4	67.9	67.4	67.4	67.4	67.4	no fueling
30	3.6	19	70.0	69.9	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	67.4	66.9	66.4	66.4	66.4	66.4	no fueling
25	4.6	15	69.9	69.4	68.9	68.4	67.9	66.9	66.4	65.9	65.4	65.4	65.4	65.4	65.4	no fueling
20	6.3	11	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	66.4	65.9	64.9	64.4	64.4	64.4	64.4	64.4	no fueling
10	8.8	8	68.9	68.4	67.4	66.9	65.9	64.9	64.0	63.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	no fueling
0	10.9	6	67.9	67.4	66.4	65.4	64.9	63.5	62.0	60.5	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	no fueling
-10	12.5	5	66.9	66.4	65.4	64.4	63.5	61.5	59.6	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1	no fueling
-20	12.5	5	65.9	64.9	63.5	62.5	61.5	59.6	57.6	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	55.2	no fueling
-30	12.5	5	63.0	62.0	61.0	59.6	58.6	56.6	54.7	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	no fueling
-40	12.5	5	61.0	60.5	59.6	58.6	57.6	55.7	54.2	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	no fueling
< -40	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling

試験した充填速度と充填終了圧力

充填流量とコネクタ部の圧力損失および充填圧力挙動をみると、充填コネクタ部における圧力損失は最大でも 0.8MPa 以下と比較的小さく、また、充填コネクタの有無による充填流量の変化は見られなかった。そのため、充填圧力挙動についても双方に差はほとんど生じていない。この試験条件では充填コネクタを取り付けることによって昇圧速度が不安定になるなどといった、充填圧力挙動への影響はほぼないことが確認された。



流量および充填圧力の比較とコネクタ部圧損

d. 要素部品の安全性評価

ア. 附属品の安全性評価

<目的>

燃料電池自動車の普及に伴い、バルブ、センサーなどの要素部品の技術が促進され、現行基準の範囲に含まれない材料、作動機構などを備えた部品が開発されている。これらの要素部品の安全性や信頼性の評価には、試験法の整備および現行基準の見直しが必要である。本事業では、(A) 安全弁作動試験における作動媒体や圧力の影響、(B) 輻射熱による安全弁作動試験について調査し、試験法案策定に資するとともに、国際基準調和のためのデータにも活用する。

(A) 安全弁作動試験

<目的>

現行では認められていない作動機構を有するガラス式安全弁を含めた作動試験を実施し、作動媒体や圧力の影響を調査した。

<方法>

3種類の温度作動式 PRD を試験した。

供試PRD

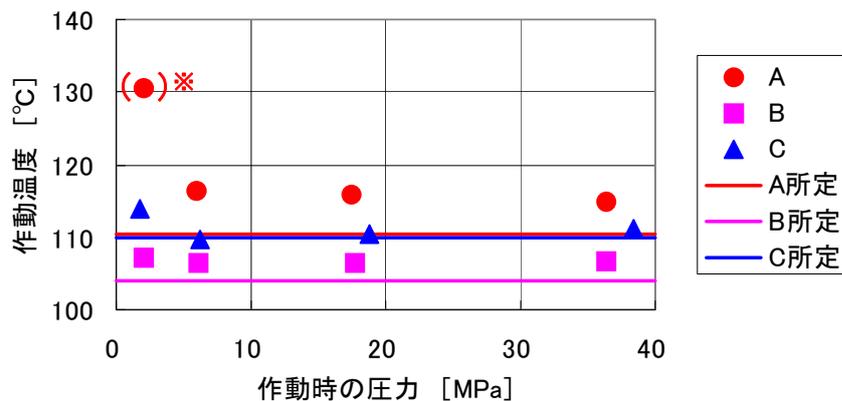
供試 No.	最高充填圧力 [MPa]	所定作動温度 [°C]	方式	作動原理
A	35	110	溶栓式	軟化した溶栓(ボタン形状)がバネ力で押されピストンが移動
B	35	104	溶栓式	軟化した溶栓(リング形状)がガス圧で拡がりピストンが移動
C	35	110	ガラス管式	ガラス管中の液体が熱膨張してガラス管が破壊しピストンが移動

PRD を取付けた加圧系に、室温で圧力媒体を充填して加圧した。ストップバルブを閉じた加圧系を熱媒体のグリセリン浴中に浸漬・昇温して PRD を作動させた。圧力媒体に不活性

ガス(N<sub>2</sub>ガス)を用いた。

<結果>

圧力媒体に N<sub>2</sub> ガスを用いた供試 No. A の PRD 作動試験では、PRD が作動すると内圧は瞬時に 2~4MPa 程度まで低下するが、以降は圧力低下速度が遅くなり、数分経過後も 2MPa 前後の内圧を保持した。充てん圧を 1.5MPa とした場合は、PRD 作動が明確に確認されなかった。しかし、供試 No. B、C では、PRD 作動によって充てんガスが瞬時に全放出された。以上の結果、現行で認められている溶栓式の安全弁は、作動媒体圧力が 5MPa 以下であると、所定の作動温度では作動しないものがあることが分かった。



\*:PRD作動が確認できないので、圧力低下開始時の温度を  
作動温度とした。

安全弁作動試験における作動時の圧力と作動温度の関係

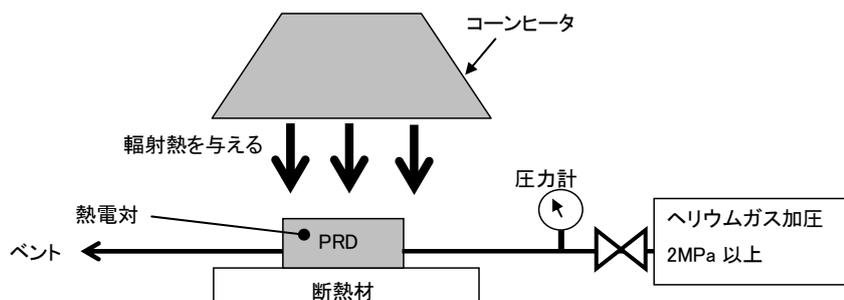
(B) 輻射熱による安全弁作動試験

<目的>

安全弁を作動させる上での熱形態のひとつである輻射熱を取り上げ、輻射熱による安全弁の作動影響について調査を行った。

<方法>

供試体は、2種類の温度作動式 PRD (複合式バルブを含む) とこれらの黒体塗料で塗った PRD の計 4 種類である。安全弁には 2MPa 以上のヘリウムガスを加圧させ、コーンヒータにより一定の輻射熱を与え、安全弁の作動に至る時間を測定した。

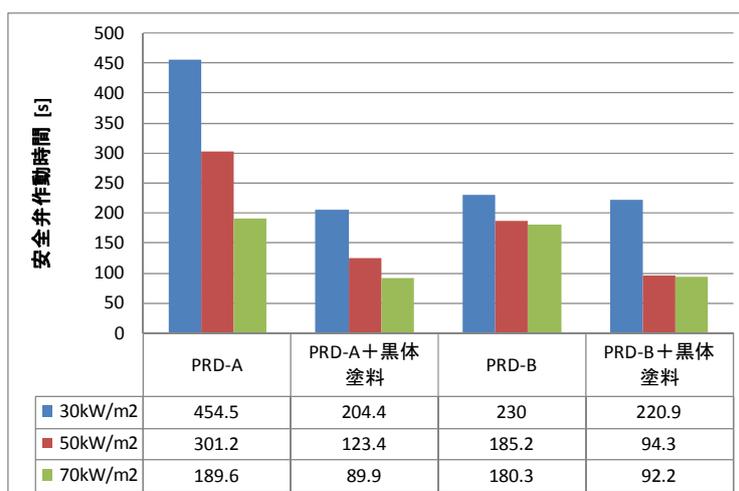


実験方法

### <結果>

- 1)安全弁に与える輻射熱が大きいほど、安全弁の作動時間が早くなる。
- 2)PRD-A(金属溶栓式)とPRD-B(ガラス式)を比較すると、PRD-Bの方が早くなる。
- 3)同じ安全弁であっても黒体塗料を塗った方が安全弁の作動時間は早くなる。
- 4)双方の安全弁の作動時間は、輻射熱が小さいほど、差が大きい。
- 5)安全弁の作動時間が長いほど、安全弁作動時の溶栓近傍での安全弁本体の温度は低い。

以上のことから、安全弁の作動には、溶栓を取り巻く安全弁本体にも影響することが考えられ、火炎からの輻射熱も安全弁の作動に大きく影響することが分かった。なお、これらのデータは燃料電池自動車の船舶輸送の規制緩和のためのデータにも活用した。



各 PRD の輻射熱と安全弁作動時間

(C)水素消費による主止弁、減圧弁などの附属品類の温度測定

### <目的>

附属品の高圧化対応、使用温度範囲拡大に資するデータを取得するため、水素放出条件による容器および附属品等の温度変化量を把握した。

### <方法>

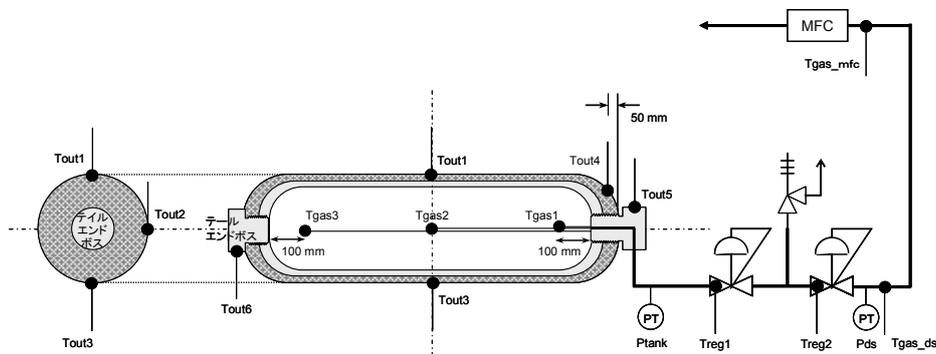
試験は内容積 41 LのVH3 容器を使用し、常温環境下から水素を容器の外部へ放出した。水素の放出開始圧は主に 70 MPaとした。放出流量は 200 NL/minを基準に減量・増量した 4 水準 (50、100、200、400 NL/min) とした。水素放出時の容器姿勢は横向きおよび縦向き (放出口が上・下) の 3 水準とした。

### 試験条件

放出開始圧 [MPa]	容器姿勢	水素放出流量 [NL/min]			
		50	100	200	400
70	横	○	○	○	○
	縦-放出口上	○		○	
	縦-放出口下	○		○	○
35	横			○	

○: 試験実施条件

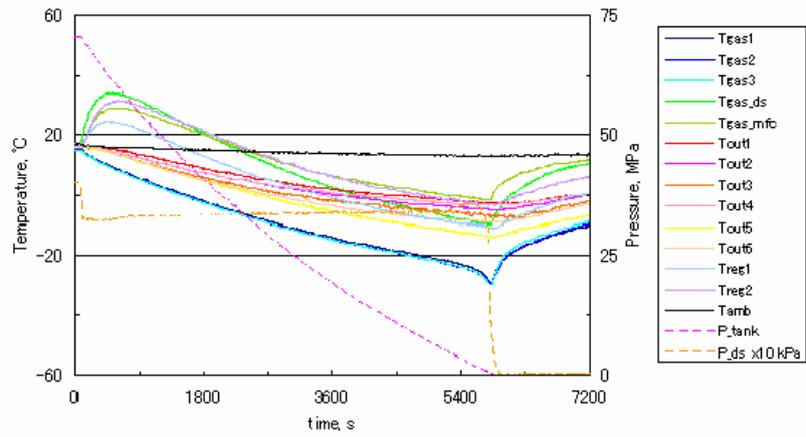
本試験では、T形シース熱電対および圧力トランスデューサを用いて容器および水素放出時の流路上の温度および圧力を計測した。また、試験時の容器の外観の様子は赤外線熱画像装置により記録した。



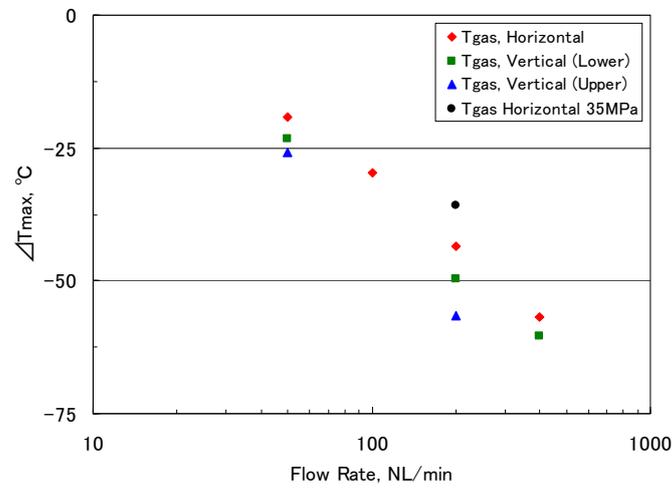
計測系設置位置(容器横置き)

#### <結果>

供試容器・附属品等については、常温環境下で容器から流量 400 NL/min で水素を消費した場合、初期温度に対し容器内ガスでは 50℃以上、附属品については 30℃以上の温度降下が起き、容器が縦置きの場合には横置きの場合よりも変化量大きいことが確認された。50～400 NL/min の範囲では流量を対数でとると最大温度変化量は直線的に変化することがわかる。また、流路に絞りがある場合、絞りの効果（ジュール・トムソン効果）でガス温度が上昇し、近傍の機器類も昇温することになるが、その変化量は+20℃程度であり、容器・附属品やその他の機器類へ深刻な影響を与えるものではないものと推察される。



容器横置き時の温度および圧力の経時変化  $Q = 200 \text{ NL/min}$



容器内ガス(Tgas)の最大温度変化量

## ②燃料電池性能評価法の標準化

燃料電池自動車の普及促進を図っていくためには、性能評価法の標準化、燃料品質の規格化などソフトインフラの整備が不可欠である。近年は ISO/TC197/WG12（水素燃料仕様）や ISO/TC22/SC21/WG2（電動車両の性能・燃費）等において、国際標準（IS: International Standard）策定に向けた審議が活発化している。標準化活動は原案作成の目標期間が定められており、これに従って審議・投票、規格の制定が行われる。積極的な取り組みをアピールして主導的な立場を担うには、定量的かつ客観的なデータを提出して意見を述べることが重要であり、以下の研究開発を進めた。

### （ア）燃料電池新規材料の評価試験方法

#### a) 新規 MEA への水素中不純物の影響評価

##### <目的>

水素中の不純物の中には燃料電池の触媒や膜などに影響を及ぼすことで発電性能を低下させるものがあり、その影響の度合いは触媒や膜材料の仕様により異なるものと考えられる。MEA 材料の違いに対する水素中の不純物の影響を評価し、ISO/TC197/WG12（水素燃料仕様）における IS 策定に資するデータを取得する。

平成 19 年度までに水素の品質規格策定のための評価に適用してきた MEA は限られた仕様であった。特に、MEA のアノード側の触媒担持量（0.4mg-Pt/cm<sup>2</sup>）の設定値は、将来の燃料電池スタックを考慮した値よりも大きいものであった。限られた種類の MEA、限られた触媒担持量での評価結果では、品質規格を策定するために十分なものとはいえない可能性がある。そこで、アノードの Pt 担持量を低減した場合に、水素燃料中の不純物が燃料電池の発電性能の低下に及ぼす影響を調査した。さらに、使用する触媒や電解質膜を任意に設定可能な、従来とは異なるメーカーの MEA（以下 A 社製 MEA と記述）を入手し、水素燃料中の不純物が単セルの発電性能に及ぼす影響の調査を進めた。

##### <方法>

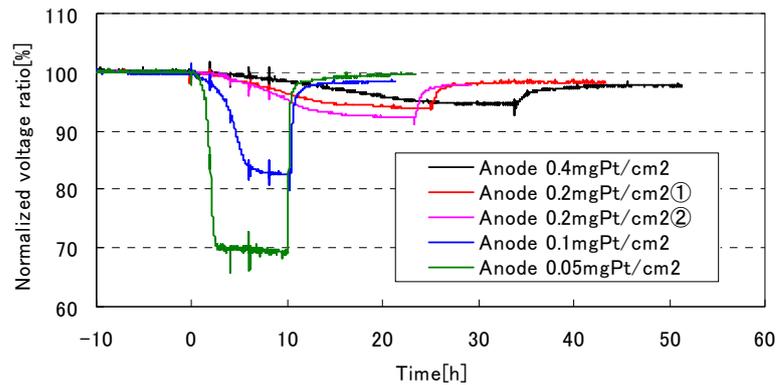
高純度水素（純度 $\geq 99.99999\%$ ）を燃料として、1000mA/cm<sup>2</sup>の定電流制御でセル電圧を安定させた（以下、初期電圧とする）。セル電圧が安定した後、不純物を添加した水素を燃料として 10 時間の電圧変化を測定し、初期電圧に対する電圧変化を測定した。

##### <結果>

アノードの Pt 担持量が水素中の CO、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> によるセル電圧の低下に及ぼす影響について調査してきた。その結果、Pt 担持量の影響は不純物の種類によって異なる可能性が高いことがわかった。CO については、Pt 担持量の低減に伴ってセル電圧の低下量は大きくなった。H<sub>2</sub>S については、Pt 担持量の低減に伴って電圧低下が早くあらわれた。NH<sub>3</sub> については、Pt 担持量がセル電圧の低下に及ぼす影響は観察されなかった。

また、両極の Pt 担持量を揃えた MEA について、Pt 担持量が不純物による性能低下に及ぼす影響を調査した。性能低下の挙動は不純物の種類によって異なり、評価した Pt

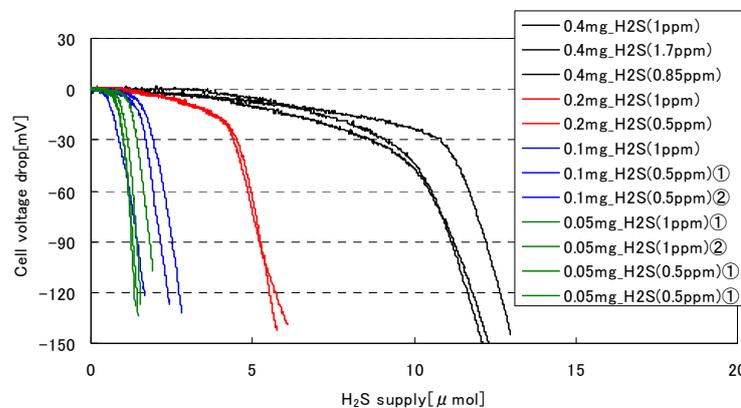
担持量の範囲では、CO によるセル電圧の低下には Pt 担持量の影響は小さく、NH<sub>3</sub> や H<sub>2</sub>S による性能低下には Pt 担持量が影響することがわかった。カソードの Pt 担持量を一定にし、アノードの Pt 担持量のみを低減させた上記の検討結果もあわせて考慮すると、CO および H<sub>2</sub>S についてはアノードの Pt 担持量が、NH<sub>3</sub> についてはカソードの Pt 担持量が、発電性能の低下に影響を及ぼしている可能性が高い。不純物の種類によっては、アノードの Pt 量のみではなく、カソードの Pt 量も考慮して、許容濃度を議論する必要があると考えられる。



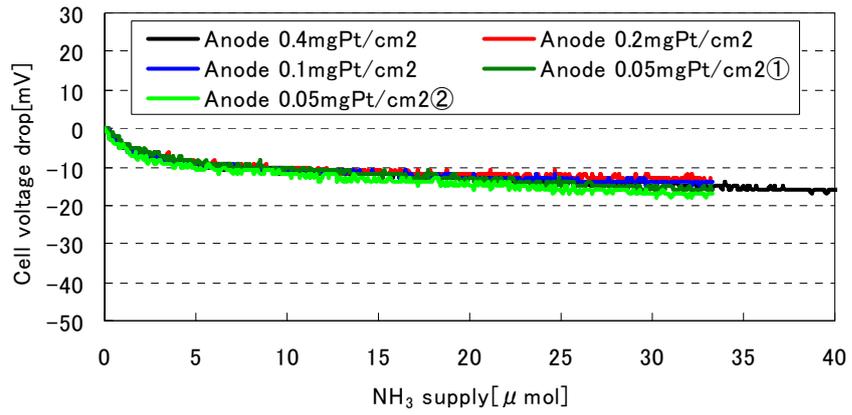
アノード Pt 担持量とセル電圧維持率(CO 1ppm 添加水素)

Pt 担持量が CO による電圧低下に及ぼす影響

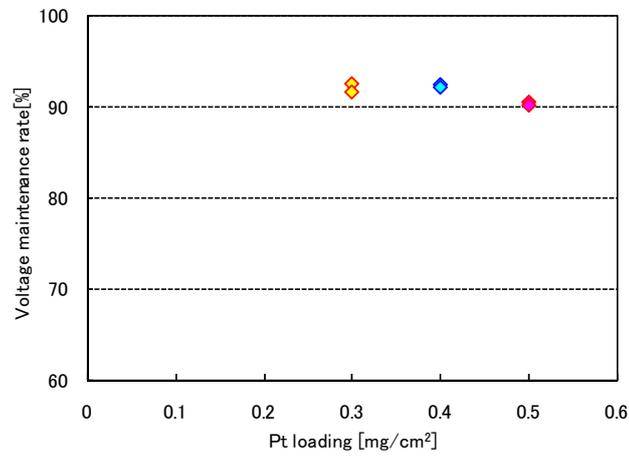
Pt 担持量 [mg/cm <sup>2</sup> ] (Anode / Cathode)	CO 濃度 [ppm]		
	0.2 (許容濃度)	0.5 [ppm]	1.0 [ppm]
0.05 / 0.4	96.4%(21mV) 96.8%(19mV)	88.4%(70mV)	69.5%(185mV)
0.1 / 0.4	97.2%(17mV)	96.9%(19mV) 96.4%(22mV)	82.6%(105mV)
0.2 / 0.4	-	96.6%(21mV)	93.6%(39mV) 92.4%(46mV)
0.4 / 0.4	-	-	94.5%(32mV)



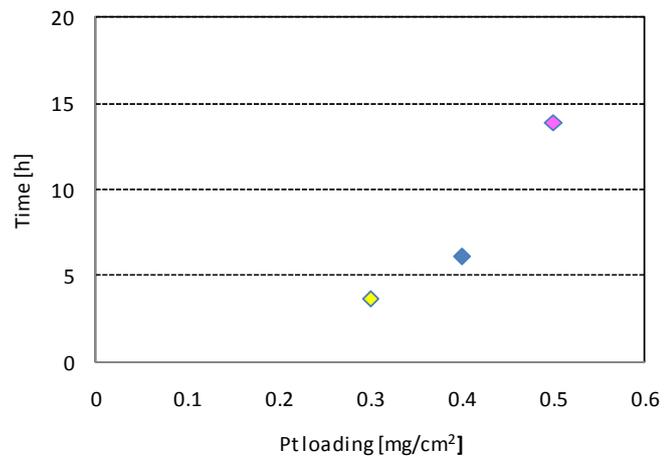
アノードの Pt 担持量が H<sub>2</sub>S の供給量と電圧低下に及ぼす影響



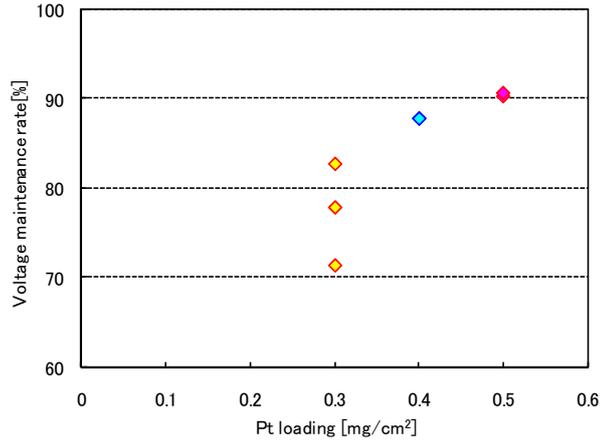
NH<sub>3</sub> 供給モル数とセル電圧低下量の関係



CO(2ppm)添加 10 時間後の電圧維持率



H<sub>2</sub>S(3ppm)添加後電圧が 10%低下するまでの時間



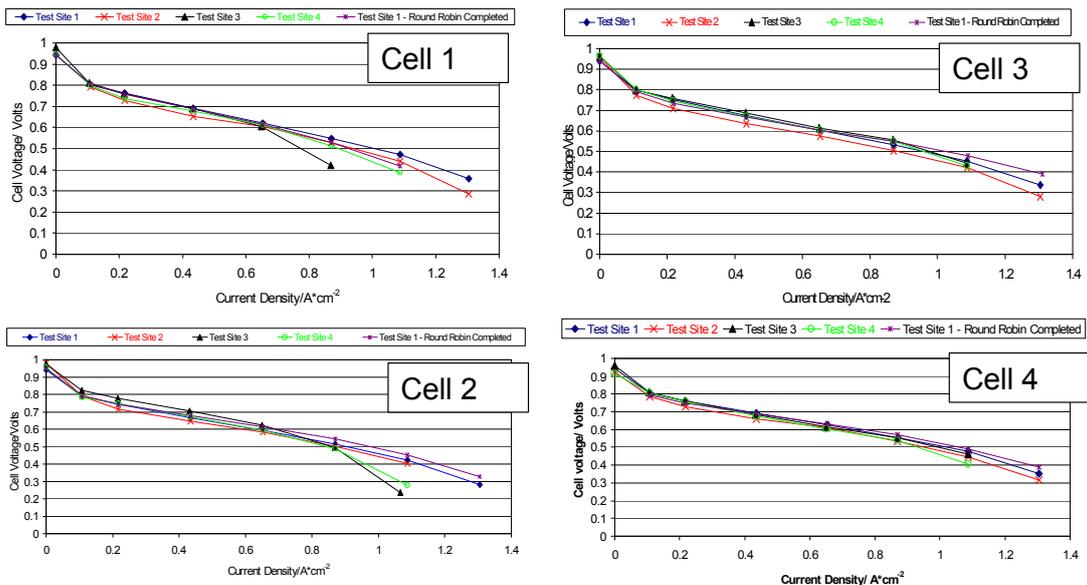
NH<sub>3</sub>(10ppm)添加 10 時間後の電圧維持率

b) 参照極付き JARI 標準セルの開発

・単セル試験方法

<目的>

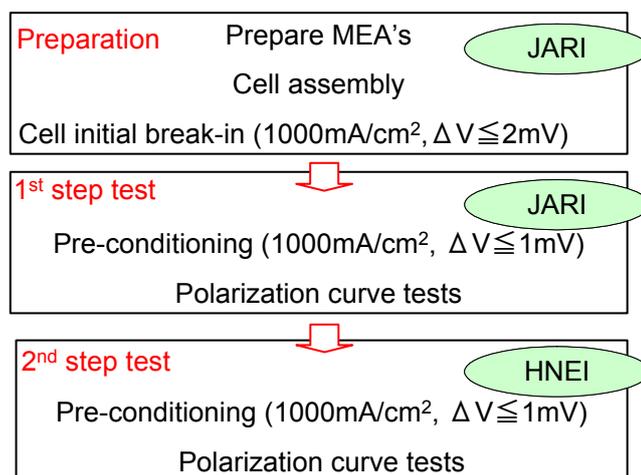
水素燃料中の不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響を再現性よく評価するために JARI 標準セルによる発電性能評価試験方法を開発してきた。一方、米国 USFCC と JARI の研究協力の中で、燃料電池単セル試験法の整合が必要との認識で一致し、JARI 標準セルを用いたラウンドロビテスト (RRT) の実施も検討されている。また、米国で実施された Teledyne 社製単セルを使用した RRT では、試験条件・手順等の統一がなされていなかったため、各研究機関の間で大きなばらつきを示す結果となった。JARI 標準セルおよびこれを用いた JARI 単セル試験方法の信頼性を確認するために、Hawaii Natural Energy Institute (HNEI) との単セル性能のクロスチェックを実施した。



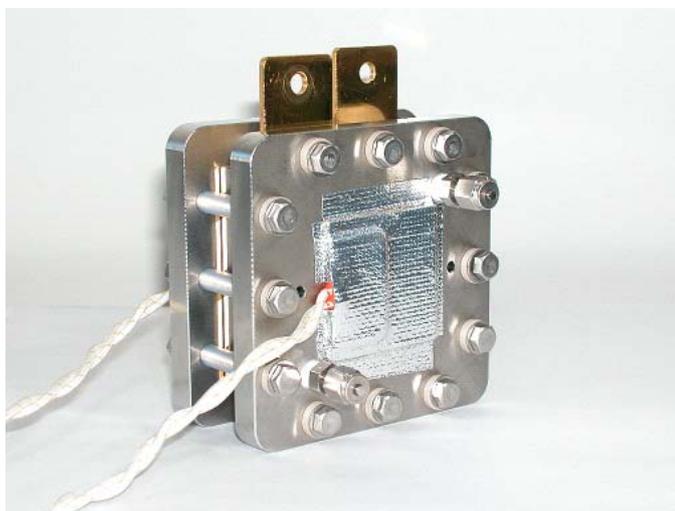
USFCC\_RRT(セル温度 80°C)の結果 (207th EGS meeting)

<方法>

HNEI (Hawaii Natural Energy Institute) および JARI にて同一のセルと発電試験条件で電流-電圧特性を評価することで、燃料電池単セル性能のクロスチェックを実施し、得られた性能評価結果がどの程度一致するかを調査した。試験手順・試験条件を統一して、両研究機関にて IV 性能を測定した。



HNEI-JARI クロスチェック試験手順



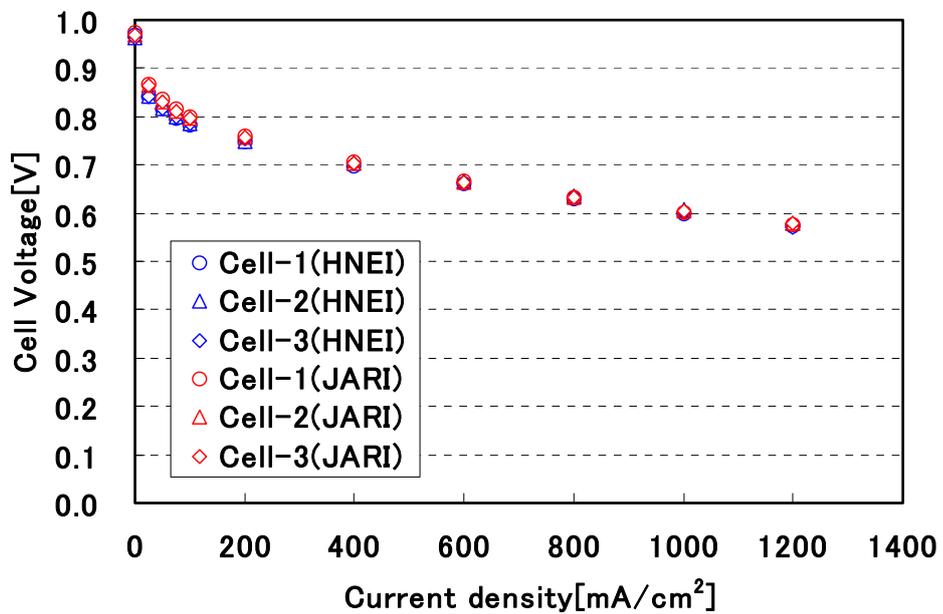
JARI standard single cell



Polarization curve test in HNEI

<結果>

JARI 製 MEA、JARI 標準セル、JARI 単セル試験方法を用いた単セル性能評価のクロスチェックを Hawaii Natural Energy Institute (HNEI) との間で実施した結果、単セル性能（電流-電圧特性）の測定結果に高い再現性がみられた。燃料電池自動車用水素規格 (ISO/DTS 14687-2) 策定のために提供してきたデータも含め、JARI における単セル性能評価結果の信頼性を確認した。

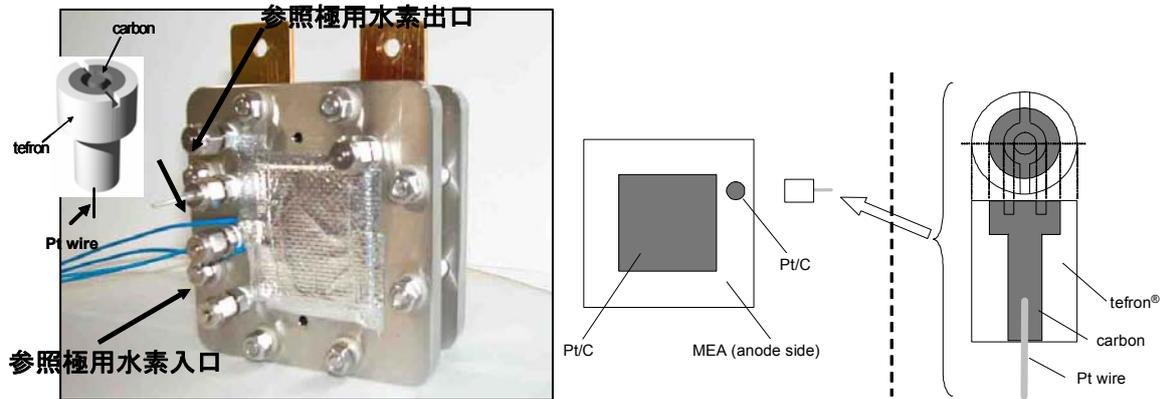


HNEI-JARI 単セル性能クロスチェック結果

・参照極付き J A R I 標準セル

<目的>

燃料電池用材料特性評価、水素中不純物および付臭剤のセル性能への影響メカニズム解析の必要性に対応する。

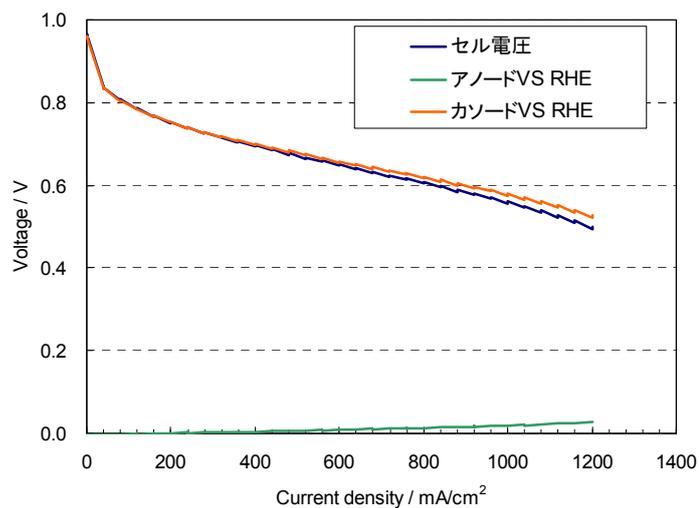


参照極付き JARI 標準セル

<方法>

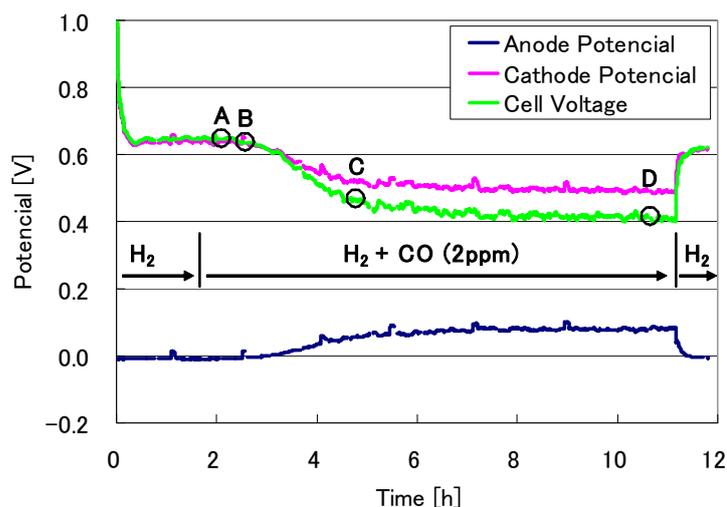
MEA のアノード側に両極の電位の基準となる参照極 (RHE;可逆水素電極) を設置した。

<結果>



両極での分極特性の評価例(H2)

参照極(RHE)に対するカソード電位とアノード電位の差がセル電圧に一致. 両極電位を分離できていることを確認した。



両極での分極特性の評価例(H<sub>2</sub>+CO 2 ppm)

### (イ) 燃料電池耐久性評価試験方法

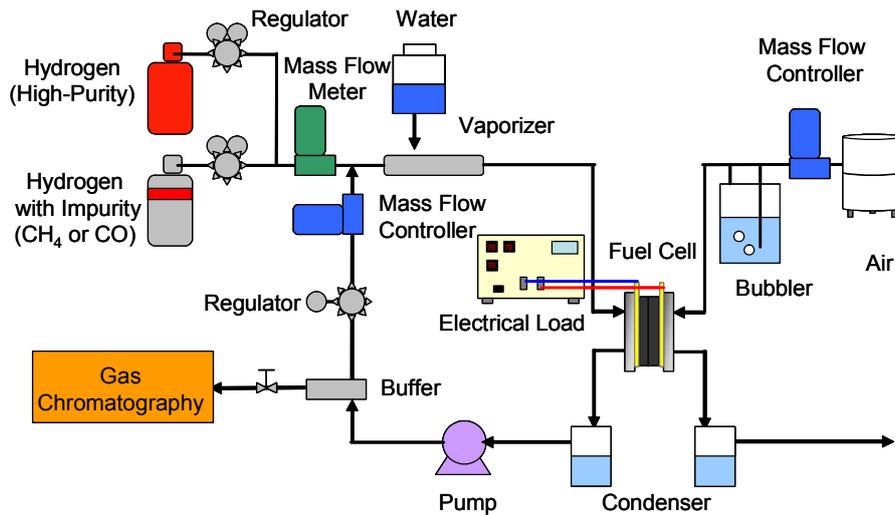
#### ・水素循環系での不純物濃縮の評価

##### <目的>

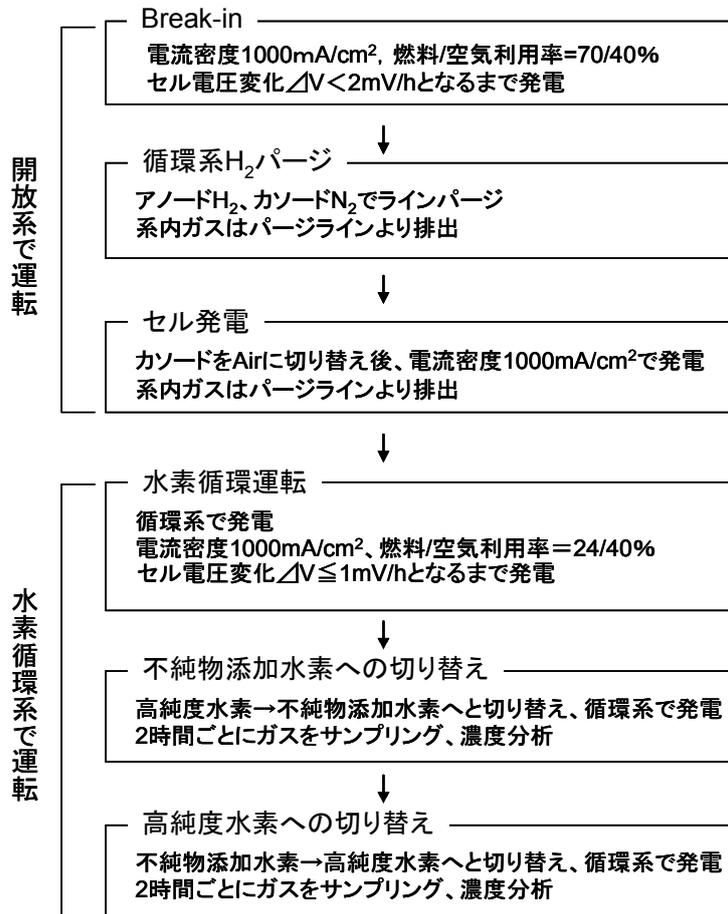
TS案における各不純物の許容濃度は、水素循環系で不純物成分が濃縮することを前提として、10時間での評価において影響を与えない最大濃度よりも小さい値(例：1/500)としている場合がある。この許容濃度の妥当性を検証するため、水素循環系における不純物濃縮挙動について調査する。不純物の濃縮を考慮して策定した燃料電池自動車用水素のTS: Technical Specification (技術仕様書)の妥当性を確認するために、CH<sub>4</sub>とCOの水素循環系での濃縮挙動を調査した。CH<sub>4</sub>の濃度変化は、クロスリーク、物質変化、吸着、水溶性の影響がないと仮定して予測した濃度変化と一致したが、COについては予測式があてはまらず、CO<sub>2</sub>が増大することを明らかにした。他の不純物も含めて循環系での挙動を調査し、今後のIS: International Standard (国際標準)化のための議論の基礎データとする。

##### <方法>

まずセルのBreak-inを、高純度水素 249mL/min(U<sub>F</sub>=70%)、空気 1037mL/min (U<sub>A</sub>=40%)、電流密度 1000mA/cm<sup>2</sup>の条件で、セル電圧変化がΔV<2mV/hとなるまで行った。Break-in終了後、アノードにH<sub>2</sub>、カソードにN<sub>2</sub>を流し、水素循環系のラインパージを行った。パージ終了後、カソードガスを空気に切り替え、電流密度が1000mA/cm<sup>2</sup>となるまで負荷電流を段階的に増大させた。その後循環運転へと切り替え、セル電圧変化ΔV≤1mV/hとなるまで発電を行った。セル電圧安定後に、高純度水素から不純物(COまたはH<sub>2</sub>S)添加水素へと切り替え、発電を行った。不純物添加水素による試験終了後に再び高純度水素に切り替え、循環運転のまま発電を行った。

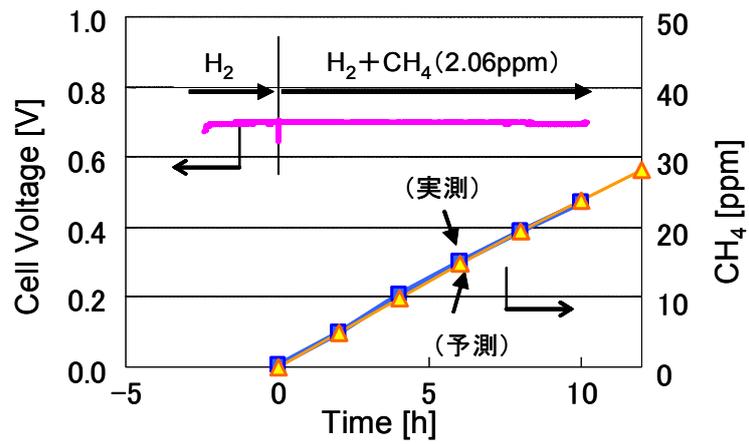


水素循環系の装置構成

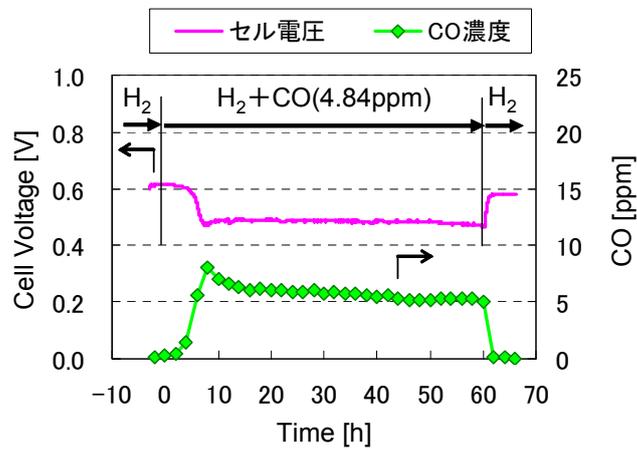


水素循環系での不純物濃縮挙動の評価試験手順

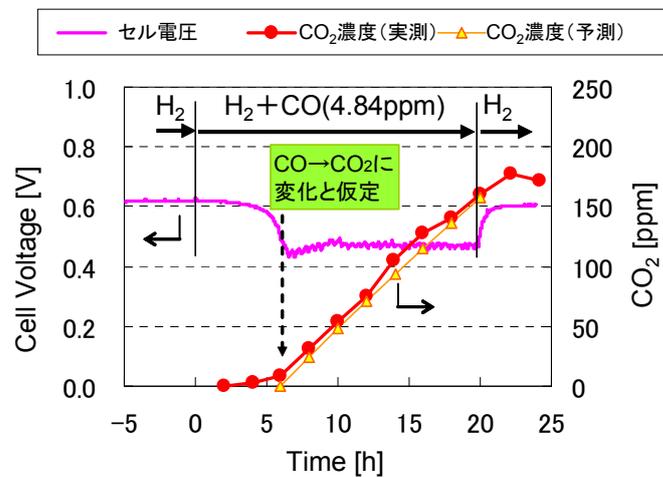
<結果>



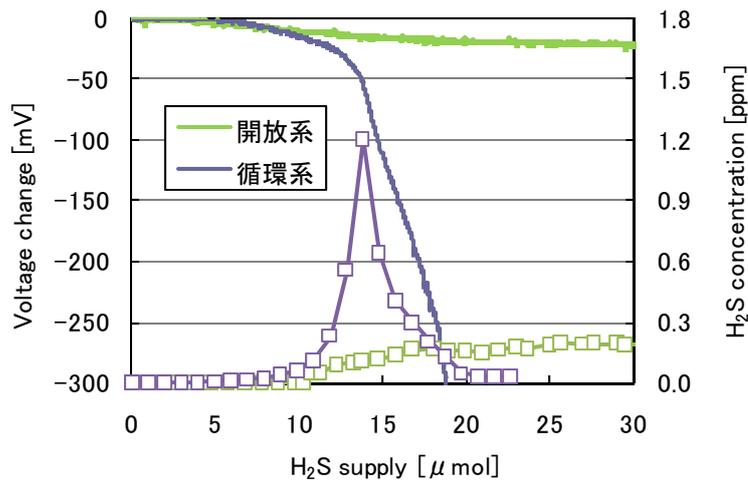
CH<sub>4</sub>の濃度変化 (500mA/cm<sup>2</sup>)



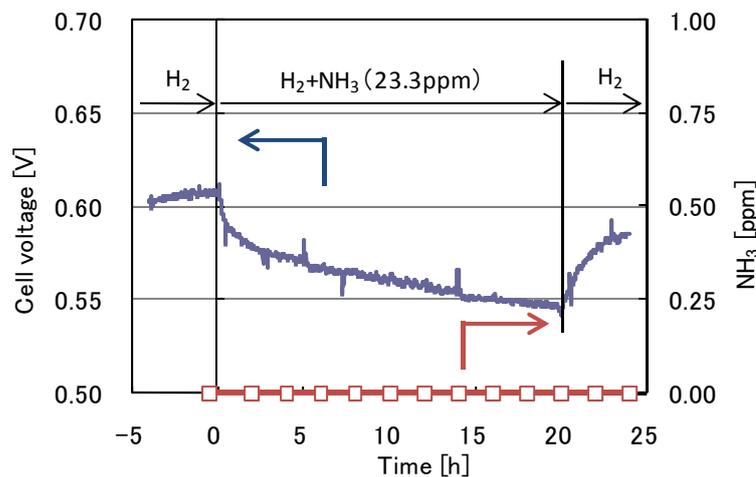
CO 添加水素を用いた循環発電での CO 濃度  
(1000mA/cm<sup>2</sup>、、パーセント率 0.5%)



CO 添加水素を用いた循環発電での CO<sub>2</sub> 濃度 (1000mA/cm<sup>2</sup>、パーセント率 0.5%)



H<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>S(1.6ppm)でのセル電圧と H<sub>2</sub>S 濃度



H<sub>2</sub>+NH<sub>3</sub>(23.3ppm)でのセル電圧と NH<sub>3</sub> 濃度

CH<sub>4</sub> は膜中クロスリーク、物質変化、吸着、水溶性の影響が小さいため、これらの仮定が成り立つ不活性ガスに対して求めた予測式により算出した濃度変化と一致した。CO 濃度は一定の値に収束し、予測式と一致しなかった。膜クロスリーク、物質変化、吸着、水溶性の影響が一つでも考えられる不純物については、予測式が成り立たないことがわかった。水 CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>、He など燃料電池の発電性能に影響を及ぼさない物質は濃縮し、CO、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> のような発電性能に影響を及ぼす物質は濃縮しなかった。濃縮挙動は、それぞれの物質がもつ吸着性、反応性、水溶性、クロスリーク性などが影響を及ぼすことがわかった。現在の ISO/TS14687-2 は不純物が最大で 500 倍まで濃縮すると仮定して作成されており、今回得られた個々の不純物の濃縮挙動を ISO の規格（不純物の許容濃度）に反映していく予定である。

### 水素中不純物の濃縮挙動まとめ

対象物質	試験濃度	濃縮	触媒吸着	物質変化	クロスリーク	水溶性	アノードの水素循環系での濃縮挙動
CH <sub>4</sub>	2 ppm	○	×	×	—	×	カソードへのクロスリークの影響は小さいため、予測濃度に近い濃縮挙動を示す。
He	100 ppm	○	×	×	○	×	カソードへのクロスリークがあるため、予測濃度ほどは濃縮しない。
N <sub>2</sub>	0 ppm (カソードからのリークを測定)	○	×	×	○	×	カソードからのクロスリークの影響は、水素中の100ppmの窒素よりも大きい。
CO	1-5 ppm	×	○	○	—	×	COのままでは濃縮せず、COが酸化されて生成したCO <sub>2</sub> が濃縮する。
H <sub>2</sub> S	1,10ppm	×	○	—	—	○	触媒Ptへ吸着・蓄積が進行する間はガス中では濃縮しないが、吸着・蓄積が進行しなくなった後(性能の低下レベルとしては許容できない)は濃縮する。
NH <sub>3</sub>	5-23.3 ppm	×	—	—	○	○	触媒上での吸着・反応、膜への溶解やクロスリークの可能性がある。カソード側でもNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> を検出。

#### ・ 加速試験条件の検討

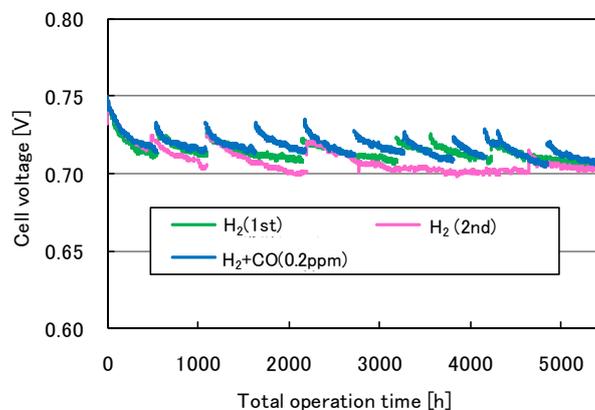
<目的>

不純物による性能低下の短時間での加速試験方法を検討する。

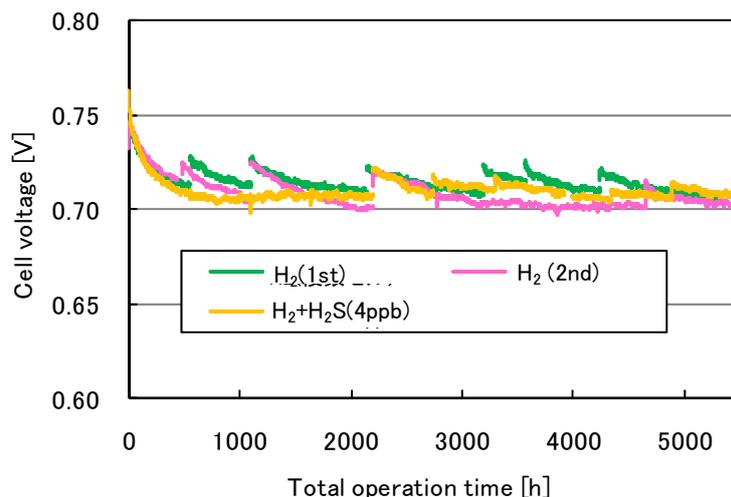
<方法>

不純物導入試験に用いるセルの前処理として、高純度水素 249mL/min(U<sub>f</sub>=70%)、空気 1037mL/min (U<sub>a</sub>=40%)、電流密度 1000mA/cm<sup>2</sup> の条件で、セル電圧変化が△V<2mV/h となるまで発電を行った。前処理終了後、各運転条件における慣らし運転として、不純物を添加するときの電流密度において水素利用率・空気利用率を一定としてセル電圧が安定するまで発電を行った。以上の前処理、慣らし運転終了後、燃料に不純物(NH<sub>3</sub>=10ppm)を添加した水素に切り替え、セル電圧の変化を測定した。

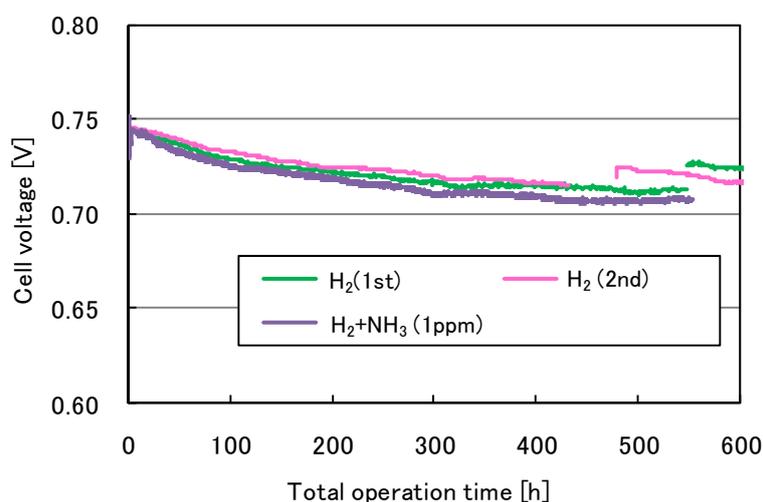
<結果>



H<sub>2</sub>+CO(0.2ppm)での 5000 時間影響評価 ( 0.4mgPt/cm<sup>2</sup>、250mA/cm<sup>2</sup>)



H<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>S(4ppb)での 5000 時間影響評価 ( 0.4mgPt/cm<sup>2</sup>、250mA/cm<sup>2</sup>)



H<sub>2</sub>+NH<sub>3</sub>(1ppm)での 500 時間影響評価 ( 0.4mgPt/cm<sup>2</sup>、250mA/cm<sup>2</sup>)

水素中の不純物が単セルの発電性能に及ぼす影響について、長時間発電による影響評価を行った。CO については、ISO/TC197/WG12 (水素燃料仕様) の技術仕様書 TS14687-2 の許容濃度 0.2 ppm で 5000 時間評価した結果、明確な性能低下がみられなかった。H<sub>2</sub>S については、セルへの H<sub>2</sub>S の供給総量がある一定値 (10 μmol) に到達するまでは、濃度にかかわらず性能低下量が決まることを明らかにした。また TS の許容濃度 4 ppb で 5000 時間評価した結果、明確な性能低下が見られなかった。NH<sub>3</sub> については、NH<sub>3</sub> 濃度を TS の 10 倍である 1.0 ppm として 500 時間試験を行った。すなわち、TS で定められた NH<sub>3</sub> 濃度 0.1 ppm で 5000 時間試験を行った時と同じ供給量とした。その結果 NH<sub>3</sub> による電圧への影響はほとんど見られないことを確認した。そのことから CO、H<sub>2</sub>S、および NH<sub>3</sub> が TS で定められた濃度で 5000 時間供給されても、燃料電池の発電性能に対する影響はほぼないものと想定される。

## ・混合不純物の影響調査

### <目的>

これまでに CO、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> などの不純物ごとに燃料電池の発電性能に及ぼす影響を調査し、得られた結果を品質規格における不純物の許容濃度の設定のための議論に提供してきた。しかし、実際の水素燃料中には不純物が複数含まれていることが想定される。不純物が単独でセル内に供給された場合と、複数の不純物が同時に供給された場合とでは、不純物によるセル電圧の低下に及ぼす影響が異なる可能性がある。

### <方法>

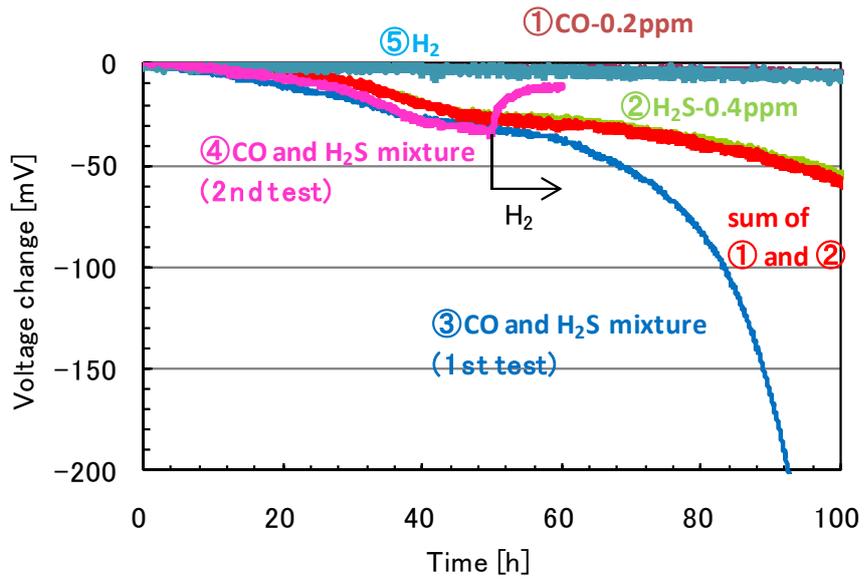
水素燃料中に不純物を複数添加した場合の影響を調査した。水素燃料中に CO、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> のうち 2 種類の不純物を同時に添加して発電試験を実施し、単一不純物を添加した場合の性能低下と比較した。

### <結果>

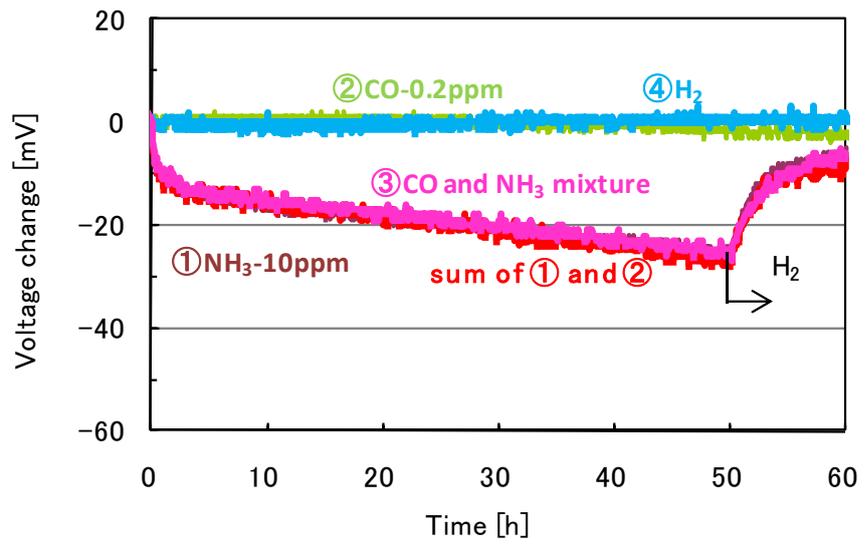
NH<sub>3</sub> と H<sub>2</sub>S を混合した試験では、H<sub>2</sub>S 濃度を 0.4 ppm、NH<sub>3</sub> 濃度を 10 ppm として発電試験を行った。この時の電圧低下量は、各不純物を単独で添加したときの和で表されることが分かった。今回の条件では NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S 濃度がともに TS で定められた濃度の 100 倍であり、試験時間は燃料電池自動車の耐久性の目安である 5000 時間の 1/100 (50 時間) とした。このことから、H<sub>2</sub>S および NH<sub>3</sub> 濃度が TS で定められた範囲内であれば、各不純物を単独で添加したときの和となると考えられる。

CO と NH<sub>3</sub> を混合した試験では、CO 濃度を 0.2 ppm、NH<sub>3</sub> 濃度を 10 ppm として発電試験を行った。この時の電圧低下量も H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub> を同時に添加したときと同様に、各不純物を単独で添加したときの和で表されることが分かった。CO によるセル電圧への影響は濃度で整理できることがわかっており、今回の試験での NH<sub>3</sub> 濃度は TS で定められた濃度の 100 倍として、50 時間試験を行った。このことから、NH<sub>3</sub> と CO を混合したことによる大きな電圧低下は起こらないと考えられる。

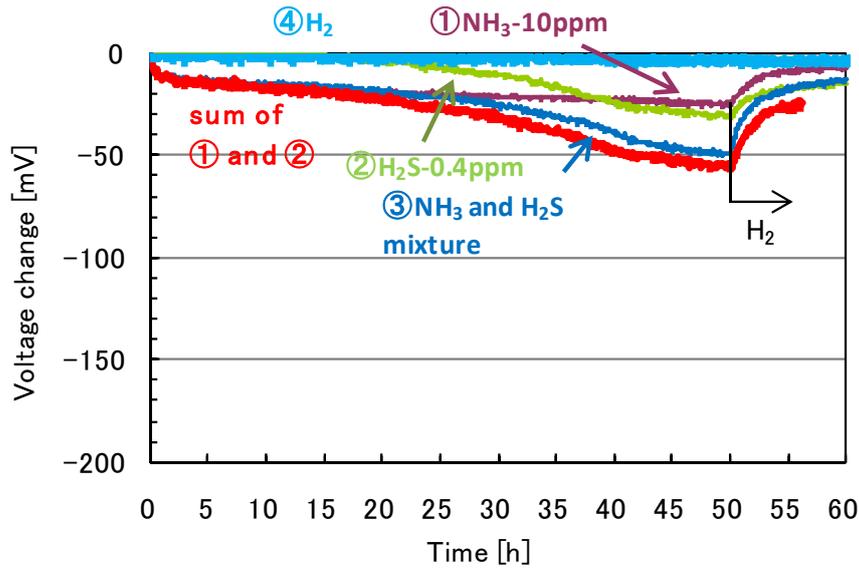
CO と H<sub>2</sub>S を同時に添加した試験では、H<sub>2</sub>S 濃度を 0.2~0.8 ppm の間で変化させ、CO 濃度 0.2 ppm の条件でのセル電圧の挙動を調査した。この結果、電圧低下量は CO と H<sub>2</sub>S が共存している場合でも H<sub>2</sub>S を単独で添加したときと同様に、H<sub>2</sub>S の供給量で整理できることがわかった。



セル電圧低下量の時間変化(CO+H<sub>2</sub>S)



セル電圧低下量の時間変化(CO+NH<sub>3</sub>)



セル電圧低下量の時間変化 (H<sub>2</sub>S+NH<sub>3</sub>)

水素燃料中の代表的な不純物の影響まとめ

○:あり, ×:なし

不純物	CO	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>
発電性能への影響	電圧は低下するが比較的短時間で安定する。電圧低下は可逆的である。	電圧は低下し続け、供給量が一定値を超えると低下速度が大きくなる。電圧低下は不可逆である。	電圧は低下し続け、低下速度に大きな変化はない。電圧回復に時間を要する。
推定されるメカニズム	短時間で触媒Ptへの吸着が飽和する。純水素や運転パターンによる電位変動によって脱離する。	触媒Ptへの吸着・蓄積が進行する。純水素や運転パターンによる電位変動によって一部脱離する。	溶解、物質変化してカソードにも影響する。
濃度依存性	○	○	○
試験時間(供給量)依存性	×	○	○
循環燃料中での濃縮の有無	× (CO <sub>2</sub> が濃縮)	× <sup>注)</sup> (触媒Ptに蓄積)	× (水溶性あり)
アノード担持量の影響	○	○	×
電圧低下への混合の影響	TSあるいはDIS一次案レベルの許容濃度では単独での低下量の和になる		
許容濃度の設定について	MEAのアノードPt担持量(触媒表面積)の影響を考慮する必要がある	MEAのアノードPt担持量(触媒表面積)とFCVの総走行距離・燃費を考慮する必要がある	FCVの総走行距離・燃費を考慮する必要がある
その他必要な検討	温度・湿度などの影響など	温度・湿度などの影響など	温度・湿度などの影響 カソードPt担持量の影響など

注) 許容できる性能低下レベルまでの供給量における濃縮の有無を示した

・付臭剤の適用性評価

現在のところ水素の漏洩に関しては、嗅覚により感知することは法的には求められていない（車両では水素センサによる検知が代用として認められている）が、水素が一般に普及した場合を想定すると、安全性確保の観点から都市ガス、LPG 相当の漏洩検知方法が必要であり、付臭剤添加は有力な手段の一つである。

燃料電池自動車用水素付臭剤の候補化合物

付臭剤候補化合物		推定基準 濃度 <sup>a)</sup> / ppm	発電性能への影響 <sup>b)</sup>		充填 可能圧 <sup>c)</sup> / MPa	臭質	課題
化合物 (略称)	構造		推定基準 濃度	推定基準 濃度以上			
5-ethylidene- 2-norbornene (5E2NB)		17	○	△	34	石炭ガス臭	・高添加濃度での発電性能低下 ・充填可能圧がやや低い
2,3-butanedione (23BD)		5.0	○	△	> 70	バターの 腐敗臭	・高添加濃度での発電性能低下 →Pt-Ru触媒, エアブリード有効
ethyl isobutyrate (EIB)		2.2	○	△	> 70	フルーツ臭	・高添加濃度での発電性能低下 →Pt-Ru触媒, エアブリード有効
5-ethyl-3-hydroxy-4- methyl-2(5H)-furanone (ethylsugarlactone:ESL)		$1.0 \times 10^{-4}$	○	○	> 70	キャラメル臭	・臭質

a) 検知閾値の10<sup>5</sup>倍で定義した濃度で、水素用付臭剤として使用される場合に必要となる添加濃度の推定値。

b) ○:電圧低下なし, △:電圧低下するが濃度を下げると回復 (両電極ともPt触媒)

c) 推定基準濃度で添加する場合に、凝縮させずに充填できる充填圧。

<目的>

当研究所で選定してきた4種の燃料電池自動車用水素付臭剤候補化合物(5E2NB、23BD、EIB、ESL)について、より実用的な観点から燃料電池自動車用水素付臭剤としての適用性の評価を進めた。

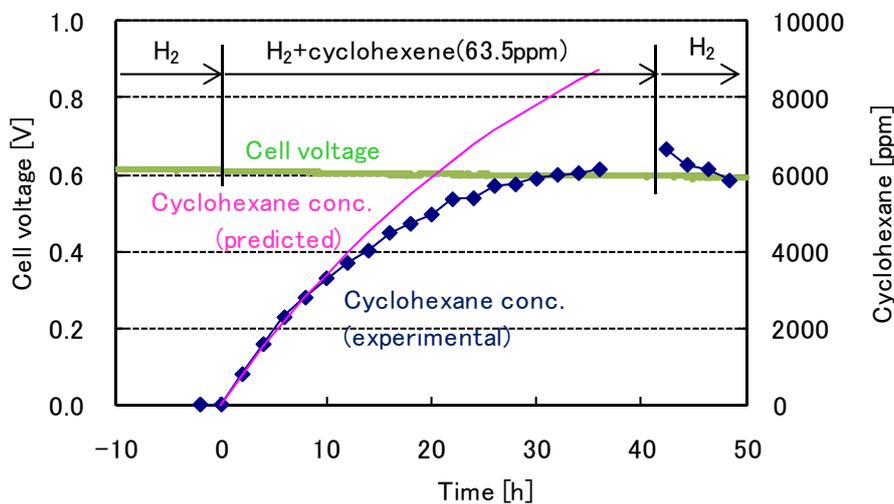
<方法>

水素循環系での濃縮挙動を燃料循環系を備えた単セル試験装置で調査した。

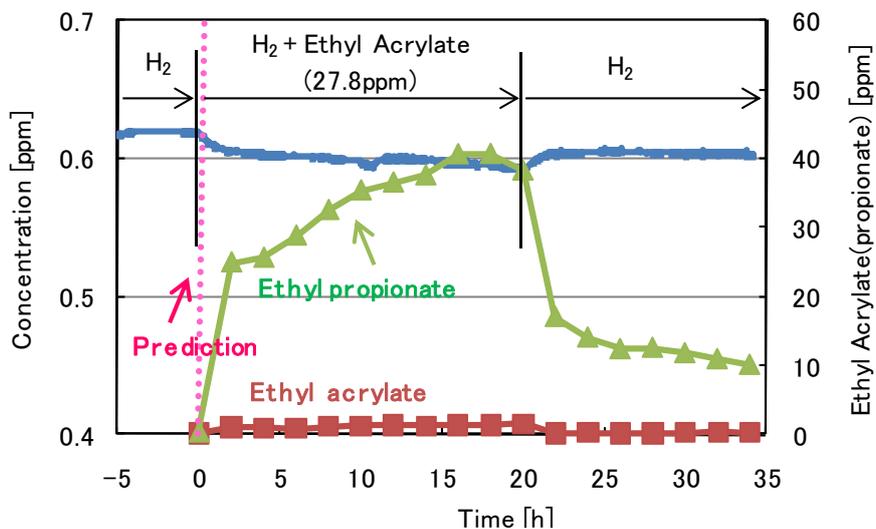
<結果>

当研究所で選定してきた4成分については、各付臭剤候補化合物の推定基準濃度（検知閾値の10<sup>5</sup>倍）で添加した場合には、100時間の運転を実施した場合でも顕著な性能低下は見られないことが確認できた。また水素循環系での濃縮挙動評価の結果、EIBや23BDなどの含酸素化合物では顕著な濃縮は見られず、燃料電池性能への影響は軽微であることがわかった。炭化水素である5E2NBの場合には、5E2NBの水素化物が濃縮するものの、数千ppmでも燃料電池性能への影響は見られないことがわかった。また、EIBや23BDは、万が一濃縮した場合でも、エアブリードやPt-Ru触媒により濃縮時の被毒を軽減できることがわかった。ガス協会からの提案成分であるシクロヘキセンについては、臭気強度がやや弱いことから添加濃度が高くなり、充填可能圧が低くなるという課題があるが、燃料電池性能への影響は観察されなかった。トヨタ自動車らの研究グループでの提案成分についてはアクリル酸メチルとアクリル酸エチルについて燃料電池性能への

影響を評価した。アクリル酸メチルは推定基準濃度での燃料電池性能への影響が大きく、アクリル酸エチルの場合でも約4%の性能低下が観察された。またアクリル酸エチルは燃料電池へ供給する前の段階で一部水素化しているなど、化合物としてやや不安定であった。これらの結果から、燃料電池自動車用水素付臭剤への適用性の高い成分として選定した5成分とその特性をまとめた。いずれの成分も万能というわけではなく、一長一短がある。炭化水素系の5E2NBやシクロヘキセンの場合には、臭気強度が弱かったり充填可能圧がやや低いという課題がある。一方含酸素有機化合物の23BDやEIB、ESLの場合には、臭質や水溶性（土壌透過性）に課題がある。本事業では、主に燃料電池性能への影響という観点から付臭剤候補化合物の影響を評価し、適用性の高い成分を選定してきた。燃料電池自動車用水素付臭剤の実用化に当っては、車載の高圧水素用器や水素配管材料への影響評価、水素充填時の冷却環境下での充填可能圧の確保、水素パーージ時の脱臭技術の開発などの課題についての取り組みが今後必要になると考えられる。



水素循環系でのシクロヘキセンの濃度変化



水素循環系でのアクリル酸エチルの濃度変化

表 3.3-1 燃料電池自動車用酸素付臭剂候補化合物の適用性まとめ

付臭剂候補化合物 化合物名 (略称)	分子構造	臭気強度 [ppm]			臭質	推定基準温度 での燃料電池 性能への影響	水素循環系での 濃縮挙動	充填 可能圧 MPa	高压下で の化学的 安定性	水溶性 (土壌透過性)
		検知閾値	認知閾値	推定基準濃度						
5-ethylidene-2-norbornene (5E2NB)		0.00017	0.0026	17	石炭ガス臭	影響なし	水素化合物が濃縮するが燃料電池性能には影響なし。	34	—	0.0089g/L (@25°C)
Cyclohexene		—	0.0615	615	石油臭	影響なし	水素化合物が濃縮するが燃料電池性能には影響なし。	14	—	0.317g/L (@20°C)
2,3-butanedione (23BD)		0.00005	—	5	バター の腐敗臭	影響なし	濃縮せず。 燃料電池性能への影響なし。	>70	35MPa では変化 なし。	200g/L (@15°C)
Ethyl isobutyrate (EIB)		0.000022	0.0061	2.2	フルーツ 臭	影響なし	濃縮せず。 燃料電池性能への影響なし。	>70	—	3.17g/L (@15°C)
5-ethyl-3-hydroxy-4-methyl-2(5H)-furanone (ethylsugarlactone:ESL)		$1 \times 10^{-9}$	$6.3 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-4}$	キャラメル臭	影響なし	濃縮せず。 燃料電池性能への影響なし。	>70	—	—
Ethyl acrylate		0.00026	0.0005	26	シンナー 臭	軽微な影響 (純水素供給で 回復)	水素化合物に変化する。 燃料電池性能 に影響あり。	>70	—	15g/L (@20°C)

— : データなし

■ : 付臭剂への適用性を満たしていないと考えられる項目

### (ウ) MEA 耐久性評価法

#### <目的>

燃料電池材料の性能や耐久性は MEA の状態で評価することが重要であるので、FCCJ (Fuel Cell Commercialization Conference of Japan)、USFCC (US Fuel Cell Council)、DOE (Department of Energy) などから、MEA 耐久評価法が提案されている。これらのプロトコルは、触媒や電解質膜などの MEA 材料の耐久性を評価するという同じ目的の評価プロトコルであるが、それぞれ異なった評価条件が指定されている。そこで、提案されている MEA 耐久評価法の検証し、テストプロトコルの基本案を作成する。

#### <方法>

JARI で MEA 材料を入手して作製した MEA と JARI 標準セルを用いてこれらプロトコルで MEA の耐久性評価を行い、性能の低下挙動や実際の材料の劣化状態を比較した。

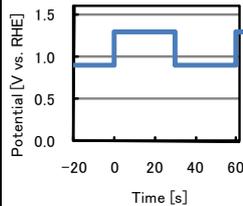
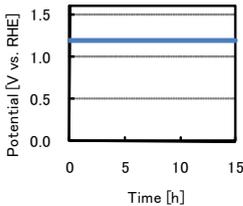
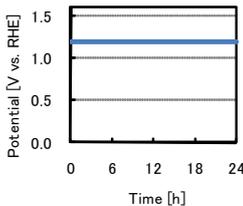


本研究で行った評価の流れ

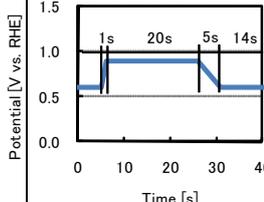
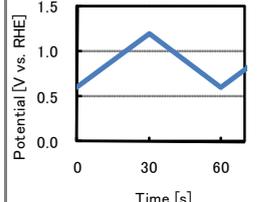
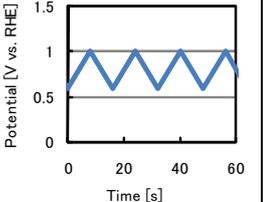
電解質膜耐久性(OCV)試験の各プロトコル

OCV (membrane)	FCCJ	USFCC		DOE
<b>試験条件</b>				
温度	90°C	←		←
相対湿度	30%RH	←		←
ガス種 (anode / cathode)	H <sub>2</sub> /Air	H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> / 40%O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> /Air
流量	829/829 mL/min	240/250 mL/min	240/250 mL/min	350/829 mL/min (stoics of 10/10 @ 200mA/cm <sup>2</sup> )
入口圧力	Atmospheric	Atmospheric		Anode250, Cathode200 kPa (inlet)
<b>診断</b>	F <sup>-</sup> release(24h), Hydrogen crossover, OCV, IV, (and high-frequency resistance)			
<b>試験時間</b>	500hr	250hr → 200hr		200hr → 500hr

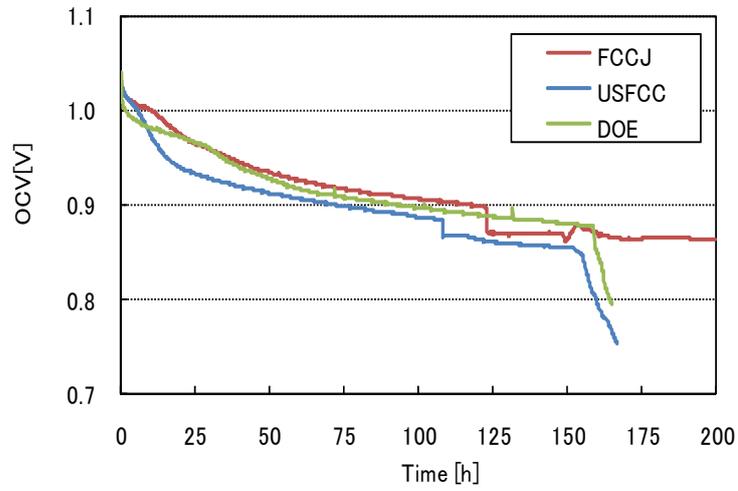
起動停止プロトコルの比較

担体腐食 (Carbon corrosion)	FCCJ	USFCC (Protocol 1)	DOE
<b>試験条件:</b>			
温度	80°C	80°C	80°C
相対湿度	95%RH	100%RH	100%RH
ガス種 (anode / cathode)	H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	←	←
電位	1.3V (30s)-0.9V (30s) 	1.2V hold (15h) 	1.2V hold (24h) 
圧力	(atmospheric pressure)	50kPaG outlet	50kPaG outlet
<b>試験終了</b>	-	100h or 10% peak load loss	400h
<b>診断</b>	CO <sub>2</sub> release, I-V and ECA		

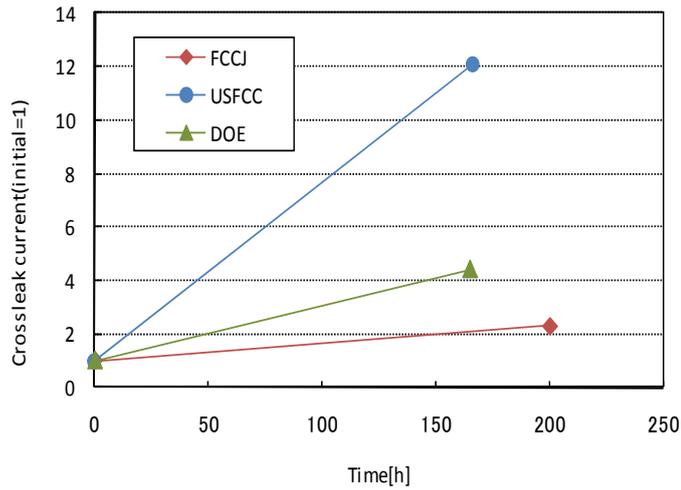
FCCJ、USFCC および DOE の負荷変動プロトコルの比較

負荷変動 (Catalyst stability)	FCCJ	USFCC (Protocol 2)	DOE
<b>試験条件:</b>			
温度	80°C	←	←
相対湿度	95%RH	100%RH	←
ガス種 (anode / cathode)	H <sub>2</sub> / N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> / N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> / N <sub>2</sub>
電位	0.9V - 0.6V 40s = 1 cycle 	linear sweep 1.2-0.6(20mV/s) 60s = 1 cycle 	linear sweep 0.6-1.0(50mV/s) 16s = 1 cycle 
圧力	(atmospheric pressure)	50kPaG outlet	(atmospheric pressure)
<b>試験終了</b>		30000cycle (500h) or 50% loss in ECA	30000cycle
<b>診断</b>	I-V and ECA		

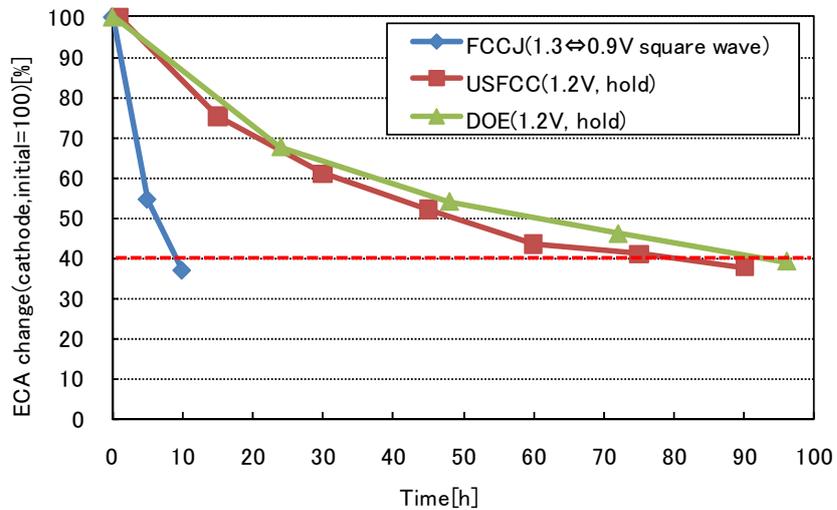
<結果>



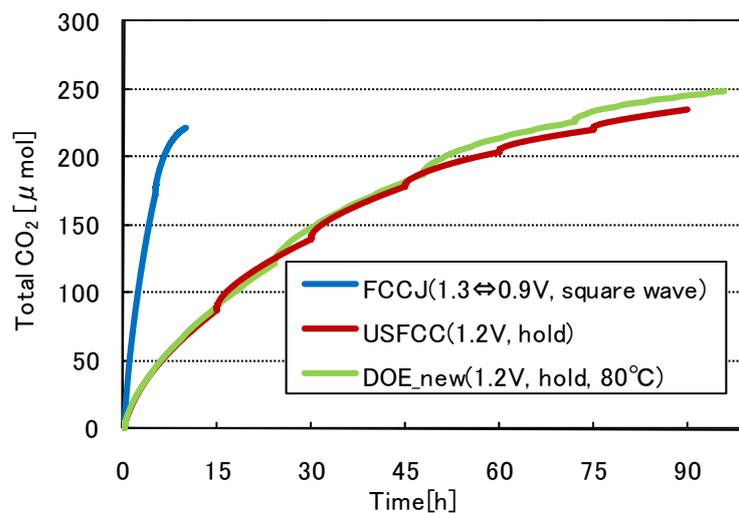
OCV の変化



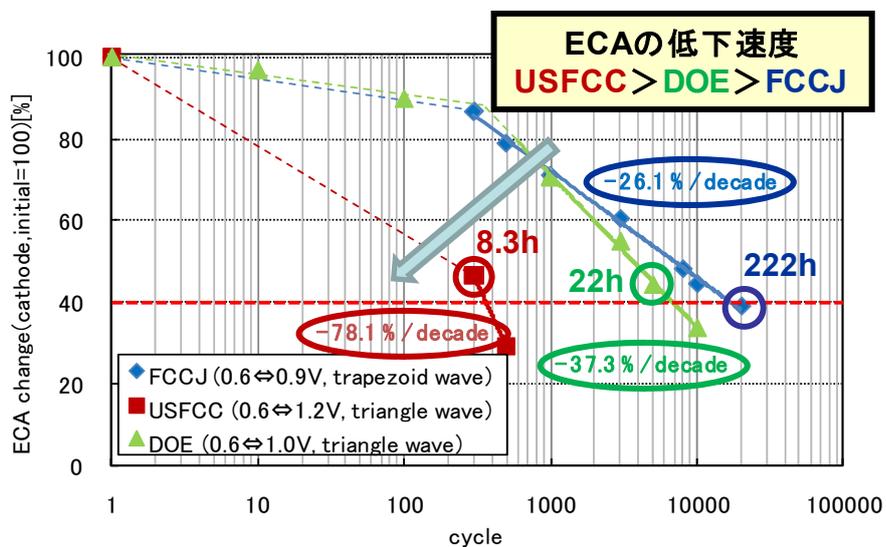
OCV 試験によるクロスリーク電流の変化



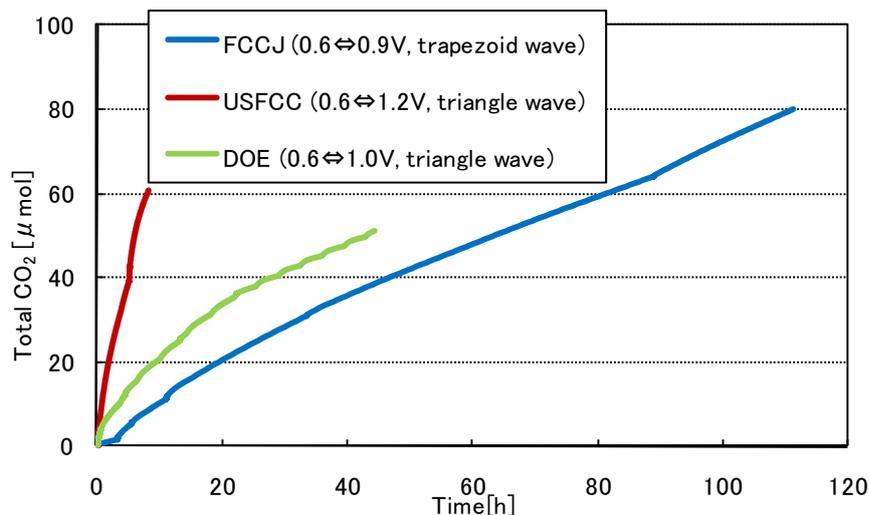
担体腐食試験(起動停止試験)におけるECA の変化



担体腐食試験(起動停止試験)における CO<sub>2</sub> の発生量



Pt 安定性試験(負荷変動試験)による ECA の変化



負荷変動試験中の CO<sub>2</sub> の発生量

JARI で市販の MEA 材料を入手して作製した MEA と JARI 標準セルを用いてこれらプロトコルで MEA の耐久性の評価を行い、性能の低下挙動や実際の材料の劣化状態を比較した。

耐久評価プロトコル間のわずかな試験条件の差が MEA の性能低下や劣化状態の差に及ぼす影響を調査するためには、再現性や信頼性の高い MEA を適用する必要があると考えた。そこで、MEA の作製条件の検討から研究を開始した。特に、触媒と電解質イオノマーの配合比や混合方法など、触媒ペーストの作製条件が発電性能の安定性に及ぼす影響を調査し、電流密度 1000mA/cm<sup>2</sup> の高い電流密度で 100 時間以上安定した発電が可能な MEA を用意した。また、MEA の発電性能や耐久性は使用する単セルによっても異なってくるので、セルについてはこれまでに他の研究機関とのクロスチェックなどでも信頼性が確認されている JARI 標準セルを使用した。

耐久評価試験については、試験終了の判断項目や基準、途中診断のタイミングや条件もプロトコル間で統一されていなかったり指定されていなかった。プロトコル間での性能低下や劣化状態を比較するためには、統一された基準や条件が必要と考え、途中診断や終了の判断基準についても検討した。診断として実施する CV 測定、LSV 測定の条件が測定結果に及ぼす影響を調査し、各プロトコルによるすべての診断を同一条件で実施した。これにより各プロトコルでの評価結果を条件を揃えて比較することが可能になった。

耐久評価試験の結果については、触媒担体の劣化加速試験では CO<sub>2</sub> の発生や触媒層の多孔構造の潰れ、触媒 Pt の劣化加速試験では Pt 粒子径の増大、電解質膜の劣化加速試験では電解質膜の薄膜化などの現象が観察された。しかし、評価に必要な試験時間や材料の劣化挙動に関しては各プロトコルで多少の差があることがわかった。

以上から、今後の試験方法の共通化に向けた有意義な基礎データを提供したが、評価プロトコルの協調と統一化のためにはさらに多くの材料を評価することでプロトコルの適用性の検証を進める必要がある。

今回の評価試験の結果、評価法としての基本的な手法として以下のように考えている。

- MEA化 ……作製条件(触媒層組成 etc)の検討  
連続運転での発電安定性の調査  
作製ロット間での性能ばらつきの調査
- 初期診断 ……IV(発電性能), CV(触媒表面積), LSV(クロスリーク量), 酸素ゲイン
- 初期状態解析 ……SEM(触媒層厚さ, 電解質膜厚さ)  
TEM(担体空隙構造, Pt分散状態・粒径  
MEAのロット, セル内の位置によるばらつき・違い
- 耐久評価試験 ……電位変動試験(発生CO<sub>2</sub>量の測定), OCV試験(放出F<sub>2</sub>量の測定)
- 途中診断(電位サイクル試験のみ)  
…… IV(発電性能), CV(触媒表面積), LSV(クロスリーク量)  
酸素ゲイン(終了時のみ)
- 劣化状態解析 ……SEM(触媒層厚さ, 電解質膜厚さ)  
TEM(担体空隙構造, Pt分散状態・粒径  
MEAのロット, セル内の位置によるばらつき・違い

#### 耐久性評価試験法の基本フロー

(ウ) スタック、システム、車両性能評価試験方法

a) 燃料電池自動車性能試験法の検討

- ・燃料電池自動車の燃費計測手法 流量法の開発

<目的>

燃料電池自動車の燃費試験法案は2002年10月にISO/TC22/SC21(電気自動車)/WG2へ提出され、2004年12月には新規作業項目提案(New Work Item Proposal: NWIP)として承認された。しかし、水素流量計を用いた計測手法である流量法は試験車両によって誤差が大きくなることが判明し、「normative(規定)」もしくは「informative(参考)」とすべきか検証データが求められてきた。そこで流量法の高精度化を進め、国際規格案の裏付けとなるデータを提供する。

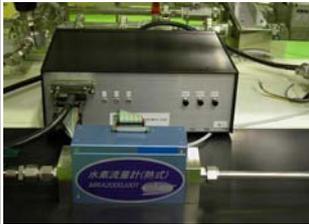
<方法>

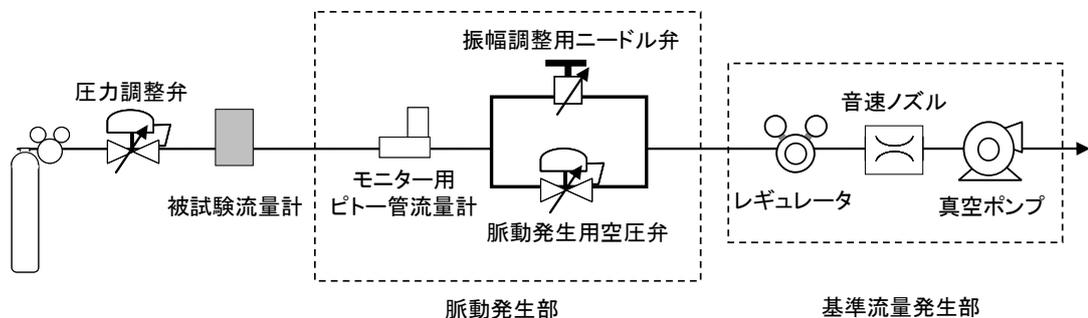
これまでの試験結果を解析した結果、燃料流量の脈動が誤差要因となっている可能性が高いことがわかった。そこで脈動条件下でも高精度が期待できる高応答・高分解能の水素流量計を開発するとともに、誤差低減策検討のために脈動振幅や周波数を可変とする評価装置を試作し、水素流量計への影響や脈動減衰器の特性を調査した。得られた知見をもとに測定系を構築し、実際に燃料流量波形に脈動を有する燃料電池自動車を用いて燃費試験を実施し、対策効果を確認した。

<結果>

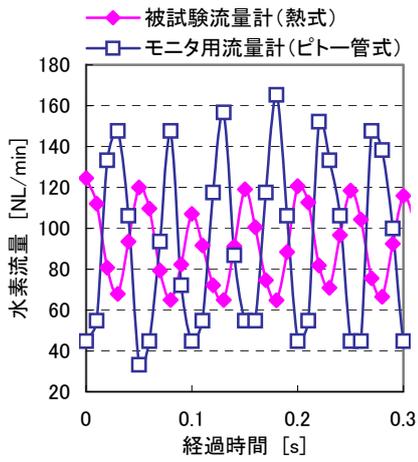
2005年度に、熱式、超音波式、差圧式の3種類の水素流量計を開発し、燃費試験に使用できる目処を得た。2006年度には、これらの流量計について脈動振幅や周波数の影響、種々の脈動減衰器の特性について調査した。その結果、脈動振幅が大きい場合に誤差が増大すること、バッファやレギュレータ等により脈動振幅を減衰させることが精度維持に効果的であることがわかった。国内外の燃料電池自動車6車種について燃費試験を実施した結果、全ての車両、種々の試験モードにおいて質量法に対する相対誤差は±1%以下となり、質量法や圧力法と同様に安定して計測可能なことを実証した。国際規格案の裏付けとなるデータをタイムリーに取得し、流量法が「normative (規定)」として国際規格ISO23828に盛り込まれることに寄与した。

燃料電池自動車燃費試験用に開発した水素流量計

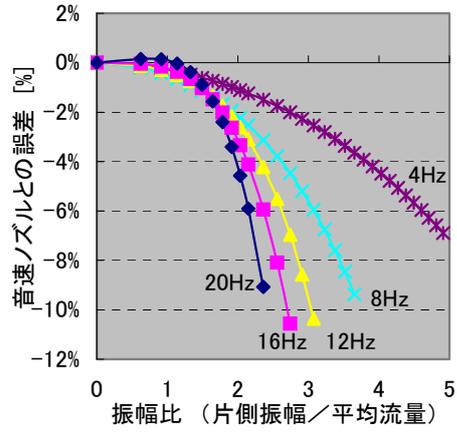
Type	Thermal	Ultrasonic	Diff. pressure
Range	0-2000 NL/min	0-900 NL/min	0-1500 NL/min
Accuracy	±1 %RD (8-2000 NL/min)	±1 %RD (13-900 NL/min)	±1 %RD (10-1500 NL/min)
Sampling rate	5 ms	20 ms	20 ms
Pressure drop	≤50 kPa (@2000 NL/min)	≤25 kPa (@900 NL/min)	≤20 kPa (@1500 NL/min)
Pressure range	0-1 MPaG (cap. 1.5 MPaG)	0-1 MPaG (cap. 1.5 MPaG)	0.5-1 MPaG (cap. 1.5 MPaG)
Photo			
Note	Three sensor equipped #1: 0-20 NL/min #2: 20-200 NL/min #3: 200-2000 NL/min	Small pipe(φ5.7mm) configuration and axial sensor design	Two sensor equipped #1: 0-100 NL/min(1kPa FS) #2: 100-1500 NL/min (20kPa FS)



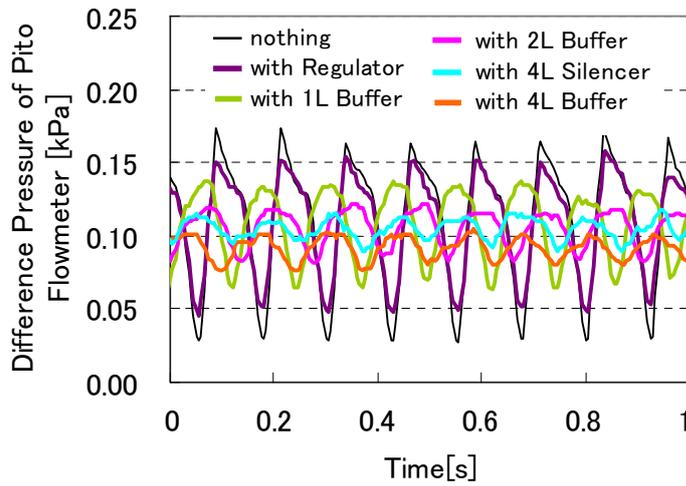
脈動影響評価装置の概念図



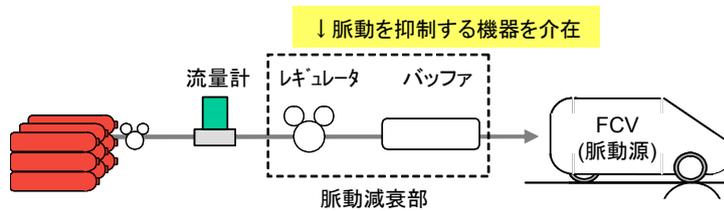
熱式流量計の脈動波形



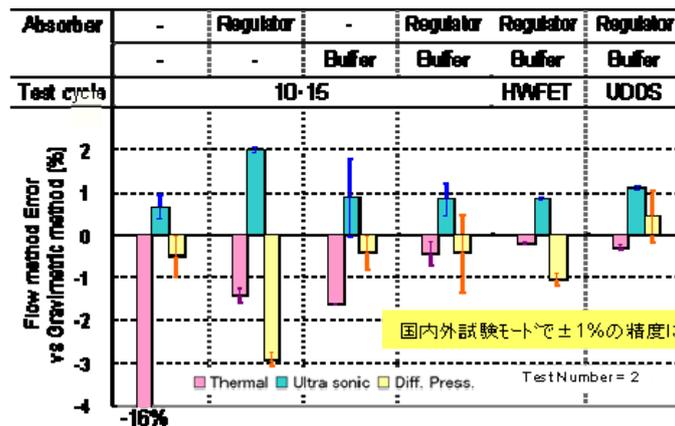
熱式流量計の脈動影響



脈動減衰器による脈動抑制効果



脈動抑制による流量法の精度検証試験レイアウト



バッファ、レギュレータの有無による各種流量計を用いた流量法精度検証結果

- ・ 車両改造不要な燃費計測手法の開発

<目的>

ISO にて標準化を進めている燃料電池自動車の燃費計測手法（質量法、圧力法、流量法）は、燃料となる水素を車外から供給するために試験車両の燃料配管や安全装置に改造が必要となる。このため、内燃機関自動車のカーボンバランス法のように排気組成から燃費を算出できる計測手法が望まれている。そこで、ISO への追加提案に向けて、車両改造不要な燃費計測手法を開発する。

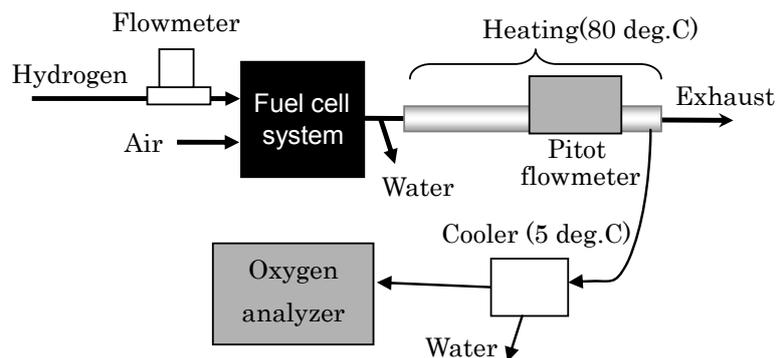
<方法>

排気組成から燃費を算出・補正する手法として酸素バランス法と電流法を検討した。2005年度は計測理論を構築し、試験機器を一部導入した。酸素バランス法は直接連続測定法（モーダルマス法）をベースとしており、排出ガス濃度と排出ガス流量の計測が基幹技術となる。2006年度は計測機器の改良と高精度化・簡便化のための演算手法の検討を進めた。2007年度は燃料電池自動車や燃料電池システムを用いて計測精度や実機への適用性の確認、課題抽出を進めた。

<結果>

酸素バランス法では、国内外の燃料電池自動車 4 車種を用いて台上燃費試験を実施した結果、試験車両や試験モード、演算手法により燃費値に誤差・ばらつきがみられ、特に吸気流量を直接計測した場合に大きな誤差を生じた。燃料電池システムの燃費試験から要因を検証した結果、計測方法や演算手法が結果に大きく影響を及ぼすこと、計測系の配管容量の低減、流量計とガス分析計の計測位置の近接化、分析むだ時間の補正等により計測精度が向上することがわかった。課題は残されているものの、計測方法や演算手法の改良により精度を向上できることを明らかにし、その可能性を示した。電流法に

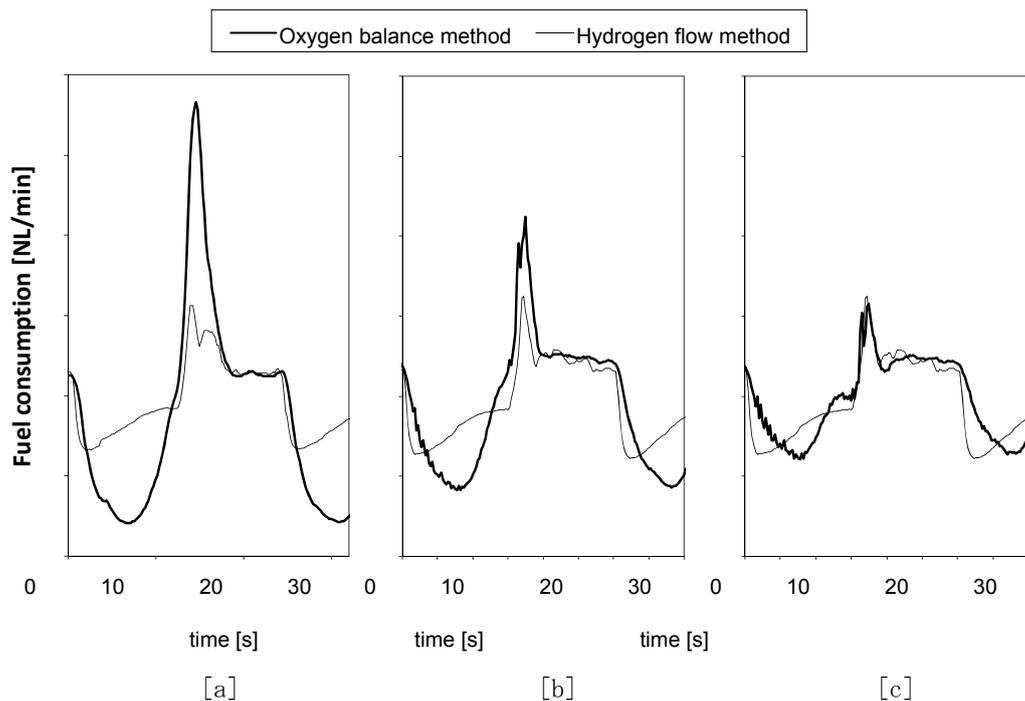
関しては試験車両や試験モードにより誤差・ばらつきがみられ、質量法に対し少ない燃費値となった。計測誤差の要因としては、電流計、排気流量計ならびに水素分析計などの各計測機器の誤差に加え、直接計測することができない燃料電池内部のクロスリーク、外部リークなどの水素消費が考えられる。また、車両改造を避ける観点から電流計測では車載センサを使用した。センサの精度やデータ出力の仕様は試験車両でさまざまであり、実用化に向けては課題があることが明らかとなった。



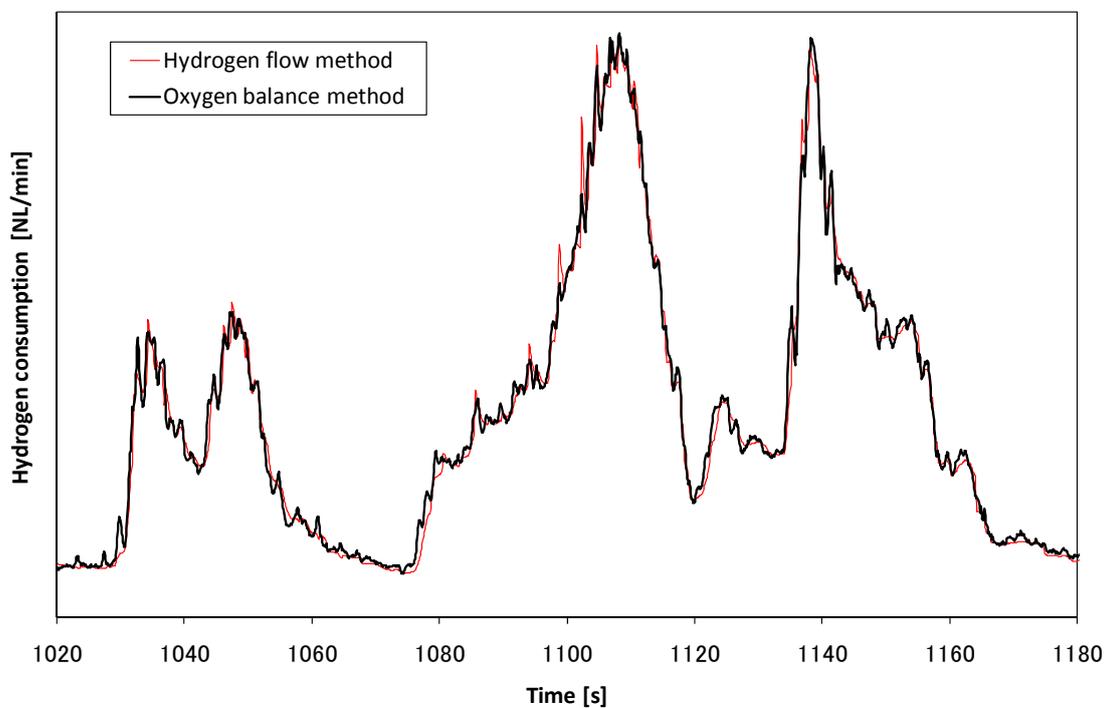
酸素バランス法の試験レイアウト



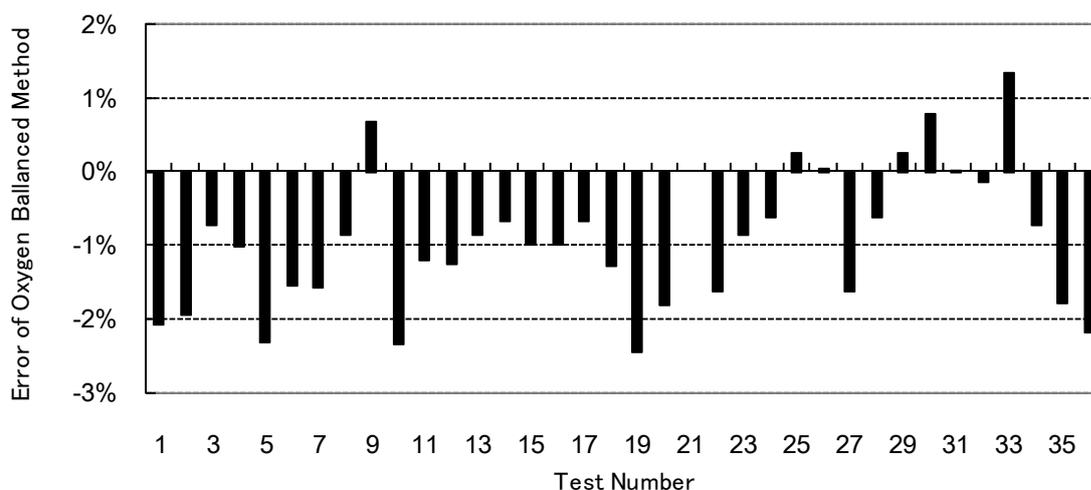
酸素バランス法の計測部



[a] 排気管容量大(9L)、[b] 排気管容量小(3L)、  
 [c] 排気管容量小(3L)かつ酸素濃度の時間補正  
 燃料電池システムの燃料消費量計測における酸素バランス法の改良効果確認



改良した酸素バランス法による燃料電池システムの燃料消費量計測  
 (JC08 モード)



改良した酸素バランス法による燃料電池システムの燃料消費量計測  
(JC08 モード)

b) 燃料電池システム、燃料電池スタック性能試験法の検討

<目的>

燃料電池スタックや燃料電池システムについて評価試験を行い、試験法検討のためのデータを蓄積する。

<結果>

燃料電池自動車の燃費計測手法の開発において、燃料電池システム台上試験を実施して流量法、酸素バランス法、電流法の開発を進めた。また、燃料電池システム単体の試験法として、負荷追従性や起動・停止特性などの過渡性能を検討可能なよう試験装置を構築した。

### ③ 基準・標準化活動

#### (ア) FCV にかかる標準化

a. 国内での基準・標準化活動、および b. 海外での基準・標準化活動として、FCV 基盤整備委員会で構成される、解析・技術部門の各 WG での技術審議と共に、標準化部門の各 WG において活動範囲毎に活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国際会議への対応を行った。

#### a) ISO/TC22/SC21 (電動車両)

ISO/TC22/SC21 (電動車両) に関しては、年 2 回の国際会議に出席し、用語、安全、性能試験法のドラフト審議に日本の意見を反映させた。SC21/WG1 (安全) に関しては FCV の安全規格について、日本がドラフトを作成し審議の結果、2006 年に ISO23273 として発行した。それに引き続き ISO 6469 (電気自動車の安全仕様) 改正が行われている。これは、従来のバッテリー電気自動車 (BEV) に加えて FCV、HEV (Hybrid Electric Vehicle) を加えるもので、これも日本がドラフトを作成し、パート 1 (電池安全) 及び 2 (運転・操作安全) は、2009 年 9 月に発行された。現在、パート 3 (電気安全) が、DIS 投票を終えたところである。

日本が幹事国を務める SC21/WG2 (電動車両の燃費・走行性能) に関しては、ISO 23828 (FCV 燃費測定法) の中に、本事業の成果である圧力、質量、及び電流法の水素測定法が記載され、2008 年に発行された。

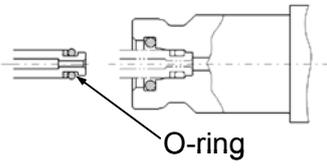
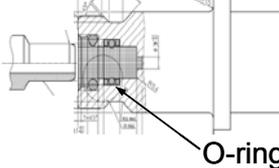
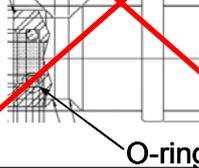
用語に関しては、ISO/TC22/SC21 (電動車両) に用いられている用語集を TR (Technical report) にまとめる作業が行われているが、本件は 2010 年 10 月開催の国際会議で最終的にまとめ、その後、SC21 内での投票を行い、ISO/TR8713 として発行する予定。

#### b) ISO/TC197 (水素技術)

##### <ISO/TC197/WG5 (水素充填コネクタ) >

2006 年 6 月に発行された 35MPa 仕様の水素充填コネクタ規格の改正作業として、70MPa 仕様の水素充填コネクタ規格審議に移行した。70MPa 仕様の実質審議は米国 SAE の場で行われ、従来は、独 2 社 (B 社・C 社) の提案が先行していたが、日本も独自提案 (A 社) を行い、詳細な技術データを開示することにより受理された。その結果、日独 3 社の競合審議となったが、2007 年 3 月の投票にて独 1 社提案 (C 社) が排除された。最終的には、日本提案 (A 社) と独 1 社提案 (B 社) について日 (JHFC) ・米で比較実証試験を行い、2009 年を目処に最終選考することで合意された。2009 年 9 月バンクーバー会議において、日本提案が採用され DIS17268 として投票に付されたものの、独提案 (B 社) の実績を有する欧米自動車業界の合意が得られず否決となった。本件の打開策として、TC197 事務局主導で関係者によるワークショップを開催し、合意形成を図る模様。

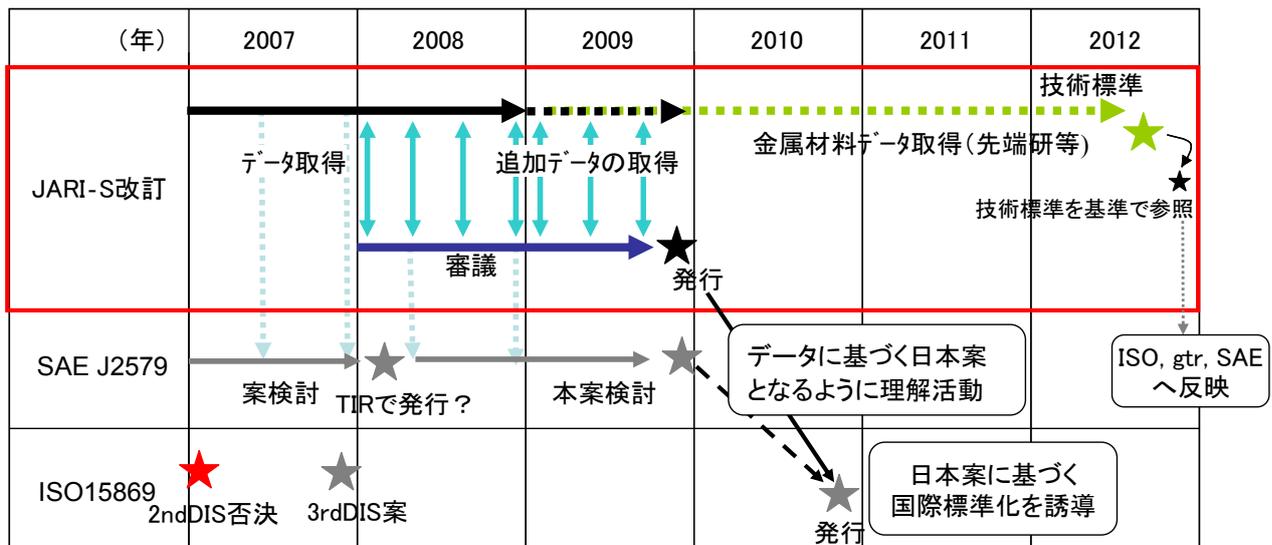
70MPa 仕様として提案されたレセプタクル構造

Seal on Nozzle	Dual Seal	Single Seal
<b>A 社(日本)</b>	<b>B 社(ドイツ)</b>	<b>C 社(ドイツ)</b>
 <p>O-ring</p>	 <p>O-ring</p>	<div style="border: 2px solid red; width: 100%; height: 100%; position: relative;">  <p>O-ring</p> <div style="position: absolute; bottom: 5px; right: 5px; border: 1px solid black; padding: 2px;">2007年3月に排除</div> </div>

< ISO/TC197/WG6 (高圧水素容器) >

TC197 事務局から 2nd DIS (DIS15869.2) が回付され、2006 年 11 月締切で投票に付されたが、日・米・独・英・ノルウェー5 カ国の反対があり否決された。否決結果を受け、TC197 事務局から 2008 年 3 月に 3rd DIS を回付するスケジュール変更が通知され、2008 年 3 月に再度 DIS 投票に付されたが、日本は技術議論のベースとなるデータ取得に時間が必要であり時期尚早と判断し、関係諸国の合意を取り付け否決投票とした。反対投票には TS 化を指向するコメントが多数付されたことから、TC197 事務局は TS 発行プロセスに移行し、2009 年 2 月 1 日付けで TS15869 が発行された。一方、車載容器の国際規格に関しては gtr 議論が先行しており、日本自動車業界としては、国内基準の改訂と gtr 内容を整合させ、将来的に整合のとれた ISO 発行を企図している。以下に ISO/TC197/WG6 の進捗及びスケジュール、併せて国内外基準・標準についての取り組みについて示す。

高圧ガス保安法「容器および附属品の技術基準」の見直し及び国際標準化活動  
—スケジュール—



JARI-S: 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準、圧縮水素自動車燃料装置用附属品の技術基準  
 SAE: Society of Automotive Engineers, gtr: global technology regulation  
 DIS: Draft International Standard, TS: Technical Specification

<ISO/TC197/WG12 (FCV 用水素燃料仕様) >

2003年10月に、FCV用の燃料に関する日本提案のNWIP (Amendment) が承認され、日本を議長国 (議長：東京都市大学、高木先生) としてが発足。日本提案のベースとなったデータは、2000年度より2004年度までの自動車用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 (ミレニアム事業) にて得られたものである。国際会議における審議により、FCVおよび水素製造プロセスが未だ発展途上の技術であることから導入期の規格を目論み TS (Technical Specification) としてプロジェクトを立ち上げ、投票の結果承認され、ISO/TS14687-2として、2008年3月に発行された。

その後2回の国際WGの審議を経てまとまったCD (Committee Draft) 原案を2009年5月にTC197に提出、2009年8月にCDが2ヶ月回付でコメントの収集された。さらにその後2回の国際会議において、米国からの、CO、H<sub>2</sub>Sに関するデータの総括が報告され、JARIにて実施した長時間暴露試験等の結果総括と総合して審議、米国・フランスからのインフラ側のコメントも検討し、DIS原案を策定した。2010年10月にはTC197に提出予定

スケジュールはDIS:2010年10月、FDIS:2011年10月、IS:2012年4月との決議がTC197総会にてなされている。

水素燃料仕様の国際標準化-ISO/TC197 (水素技術) /WG12 (水素燃料仕様)  
-スケジュール-

年度	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
ISO/TC197/WG12 (水素製品仕様)	Hydrogen Fuel – Product Specification Part2:PEM fuel cell applications for road vehicles						
	WD		DTS		TS	CD	DIS FDIS
	<b>不純物の影響評価</b> 単セル試験法 セル性能への影響評価(長時間, 加速試験条件) 水素循環系での不純物濃縮 MEA仕様(Pt担持量)の影響 混合不純物の影響 運転条件の影響 メカニズム, 被毒低減技術						
水素関連技術	<b>水素用付臭剤</b>						

WD: Working Draft, DTS: Draft Technical Specification, TS: Technical Specification, CD: Committee Draft  
DIS: Draft International Standard, FDIS: Final Draft International Standard, IS: International Standard

表一 FCV 用水素規格 TS と ISO/DIS14687-2 の比較（下線部が変更点）

特性 (定量分析)	ISO/TS 14687-2 Grade D	ISO/DIS 14687-2 (案) Grade D
水素純度 (最小モル分率) <sup>a</sup>	99.99 %	<u>99.97 %</u>
許容最大不純物組成 (指定ない限り最大モル分率)		
全ガス (Total gases) <sup>b</sup>	100 μmol/mol	<u>300 μmol/mol</u>
水 (H <sub>2</sub> O)	5 μmol/mol	5 μmol/mol
全炭化水素 (C <sub>1</sub> 換算) <sup>c</sup>	2 μmol/mol	2 μmol/mol
酸素 (O <sub>2</sub> )	5 μmol/mol	5 μmol/mol
ヘリウム(He)、 窒素 (N <sub>2</sub> )、 アルゴン(Ar)、	100 μmol/mol	<u>ヘリウムのみ 300 μmol/mol</u> <u>他 100 μmol/mol</u>
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	2 μmol/mol	2 μmol/mol
一酸化酸素 (CO)	0.2 μmol/mol	0.2 μmol/mol
硫黄化合物 <sup>d</sup>	0.004 μmol/mol <sup>f</sup>	0.004 μmol/mol <sup>f</sup>
ホルムアルデヒド (HCHO)	0.01 μmol/mol	0.01 μmol/mol
蟻酸 (HCOOH)	0.2 μmol/mol <sup>f</sup>	0.2 μmol/mol <sup>f</sup>
アンモニア (NH <sub>3</sub> )	0.1 μmol/mol <sup>f</sup>	0.1 μmol/mol <sup>f</sup>
ハロゲン化物	0.05 μmol/mol	0.05 μmol/mol
最大粒子状物質サイズ <sup>e</sup>	10 μm	—
最大粒子状物質組成 <sup>e</sup>	1 μg/L at 20 °C and 101.325 kPa	<u>1 mg/kg</u>

<sup>a</sup> 水素純度は表 1 記載のガス状不純物の総和（全ガス）を 100 モル分率パーセントから差し引いた数字である。

<sup>b</sup> 全ガスは、表 1 中の粒子状物質を除いた不純物の総和である。表 1 中の成分個々の規格値（許容最大不純物組成）の総和より、全ガスの規格値は少ない値となっている。

<sup>c</sup> 全炭化水素は含酸素炭化水素も含んでいる。また、C1 換算にて測定される。ただし、メタンのみはこの規定値（2 μmol/mol）を超えることが出来るが、その際、全ガス成分値（100 μmol/mol）を超えてはならない。

<sup>e</sup> 少なくとも、通常天然ガスにも含まれる H<sub>2</sub>S、COS、CS<sub>2</sub>、メルカプタン等については、測定する必要がある。

<sup>e</sup> 粒子状物質についてはサンプリング法、分析手順等について今後の向上が必要である。

<sup>f</sup> 測定機器の検出下限および分析手順について今後の向上が必要である。特にこれらについて今後の標準化が求められている。

b) その他

また、水素・燃料電池自動車の国際標準・基準と関連の強い SAE (米国自動車技術会)、IPHE (International Partnership for Hydrogen Economy)、FCTESQA (Fuel Cell TEsting, Safety and Quality Assurance)、IEC/TC69 (電気自動車および電動車両産業) の会議に出席し、関連 ISO との整合を図り、情報交換を行った。

(再委託先：財団法人エンジニアリング振興協会)

(イ) 水素技術に係る標準化

a) ISO/TC197(水素技術)国際標準化の基盤造り

<国際標準化提案活動の推進>

【WG14－日本からの新規提案】：WG3 (FCV 以外の水素仕様) は ISO14687-1:1999 として IS 発行されているが、2007 年の見直し投票 (「存続」、「改定」、「廃止」のいずれか) の結果、「改訂」となり、日本から ISO-14687-Part3 として「定置式燃料電池用水素仕様」の新規提案を行なった。2009 年 (H21 年) 11 月に採択され、WG14 として発足した。

<国際標準化活動の支援>

【活動中の WG と内容】

WG	カテゴリ	文書番号	議長国
WG5	水素充填コネクタ	ISO/CD17268 (Rev)	カナダ
WG6	車載用ガス水素容器	ISO/TS15869	カナダ
WG8	水電解水素製造装置 Part1:工業用 Part2:家庭用	ISO22734-1 ISO/CD22734-2	カナダ
WG9	改質器 Part1:安全性 Part2:性能・効率	ISO16110-1 ISO/DIS16110-2	オランダ
WG10	水素吸蔵合金 (MH) 容器	ISO16111	米国
WG11	水素ステーション	ISO/TS 20100	カナダ
WG12	FCV 用水素仕様	ISO/CD14687-2	日本
WG13	水素検知器	ISO/DIS26142	日本
WG14	定置式燃料電池用水素仕様	ISO/WD14687-3	日本
Ad-Hoc	水素部品		米国

①各 WG 国内委員会における平成 20 年度の国際標準及びドラフトに対する審議活動と対応について経緯を含めて下記の進捗状況となっている。(FCV に関連する WG : WG5、WG6、

WG12 については、財団法人日本自動車研究所にて実施されている)

- 【WG8 (水電解装置)】: Part 1(工業用・業務用) 2008 年 6 月に ISO22734-1 が発行された。Part2(家庭用)CD22734-2 に対して、日本からコメント 46 件を提出し、2008 年 6 月ブリスベン会議にて審議され、21 件が採用された。2008 年 11 月ハーグ会議にて日本から屋内の水素パージには換気条件を明記することを提案した結果受理された。IS 化は 2010 年 5 月目標。
- 【WG9 (水素発生装置-改質器)】: Part 1(安全性) 2007 年 3 月 ISO16110-1 が発行された。Part 2(性能・効率)は 2008 年 10 月に DIS16110-2 が投票に回付され、日本はコメント付賛成とした。開票の結果採択されたがコメントが多く、その審議の為 2009 年 1 月米国(ワシントン)にて WG9 会議が開催され、FDIS に追加すべきデータ等日本側のコメントの多くが採用された。IS は 2009 年 10 月を目指す。
- 【WG10(水素吸蔵合金容器)】: 2006 年 10 月に TS16111 が発行された。その後 IS 化を目指し 2008 年 7 月に FDIS 投票に付され日本は賛成投票とした。開票の結果採択され、2008 年 11 月に ISO16111 が発行された。2008 年 6 月の ISO/TC197 ブリスベン総会にてカナダより 120ml 以下の水素吸蔵合金容器の国際標準を Part2 として新規提案したい旨発表された。国際標準となった ISO16111 は国連の危険物輸送委員会(2008 年 12 月)にて正式に引用された。
- 【WG11 (水素ステーション)】: 2008 年 4 月に TS20100(番号変更)が発行された。IS 化に向けて作業が継続され、2008 年 6 月ブリスベン会議、同年 11 月のハーグ会議ではスコープの変更について審議された。CD:2009 年 5 月に回付され、DIS:2010 年 12 月、IS 化は 2011 年 6 月を目指す。
- 【WG13(水素検知器)】:産総研松原氏がコンビナーを勤めており、2008 年 9 月 DIS26142 が投票に回付され、(2009 年 2 月)開票の結果反対ゼロにて採択された。ただし、コメントが約 170 件と多数あり、FDIS に反映する為、2009 年 3 月ベルリン会議を開催し、コメント審議を行った。FDIS 発行は 2009 年 12 月、IS 化は 2010 年 5 月を目指す。
- 【WG14 (定置式燃料電池用水素仕様)】: 日本からの新規提案として 2009 年 11 月採択され、ENEOS セルテックの田島氏がコンビナーとして WG14 が発足。2010 年 3 月東京にてキックオフ国際ワークショップ会議を開催し、WD14687-3 の Scope(範囲)を審議した。
- 【Ad Hoc (水素部品)】: 事務局(米国)は水素部品 (Dispenser、Hose、Valve、Gauge、etc) について既存の国際規格の適用可否を調査し、四区分 (aa: 既存 IS を無修正で適用可能、bb: 既存 IS を修正することにより適用可能、cc: 既存 IS に関して多数の

変更が必要、dd：新規標準化が必要)に分類され、2007年12月に回付された。2008年6月のISO/TC197ブリスベン総会にてフランスよりこのAd-Hocの中から水蓄圧器の国際標準化新規提案を行ないたい旨表明があった。2010年1月にフランス(Air Liquid)より蓄圧器の新規提案投票結果、正式に採択された。WG15として2010年5月に発足予定。

②学識専門家、業界団体代表者等からなるISO/TC197「水素エネルギー技術標準化委員会」を2008年度及び2009年度に各2回(合計4回)開催し、各WGの進捗状況を報告すると共に新規提案、投票案件など重要事項について審議を行った。

#### <国際標準化関連審議団体との連携>

ISO/TC197国内WG会議を通じてISO/TC22/SC21、IEC/TC105、ISO/TC58の審議団体であるJARI(日本自動車研究所)、JEMA(日本電機工業会)、KHK(高圧ガス保安協会)や水素ステーションの基準案の策定を行っているPEC(石油活性化センター)との情報交換を行い、積極的に連携を図った。その他、委員会へ相互に登録し連携を図っている。

#### <国際標準と日本基準・規格との比較>

国際標準化された下記文書の英文和訳を完了した。今後、日本の関連規則(高圧ガス保安法等)との照合作業の予定。(平成21年度へ持越し)

- ・ISO16111(2008年11月15日発行)：水素吸蔵合金(MH)容器 (WG10)
- ・ISO22734-1(2008年07月01日発行)：水電解水素製造装置 Part 1 工業用 (WG8)
- ・ISO16110-1(2007年03月15日発行)：改質器 Part 1 安全性 (WG9)
- ・ISO/TS20100(2008年4月発行)：水素ステーション (WG11)

#### <国際標準に関する国際活動の支援>

IPHE-ILC(実行連絡委員会の2007年1月の英国会議で「Regulation、Code & Standard」の分化会(RCSWG)が実施され、IPHE/RCSWG事務局からは「RCSWGは基準標準のドラフト作業に直接関わるのではなく、促進触媒又は関係者へのフォーラム機能を果たすものである」との認識を示された。2008-2009年のIPHE-ILC会議では「Regulation、Code & Standard」の分化会(RCSWG)は実施されず、特に進展はない。

#### b) 国際的技術情報交換などの実施

【WHEC 17 (第17回世界エネルギー会議)】(2008年6月豪州・ブリスベン)

- ・約1000名参加(日本から約100名)各国から水素技術開発に関する発表が300件ほど成された。外にポスタ発表が約250件あり。各国の報告の骨子は下記の通り。
- ・米国：水素社会への政策、水素製造・貯蔵・輸送技術システム開発状況
- ・EU：エネルギーセキュリティ、大気汚染、温室ガス低減、産業競争力確保など
- ・日本：水素ステーション、燃料電池、技術ロードマップなど

- ・ その他、カナダ、韓国、中国、豪州など（省略）

【AHWC (Asian Hydrogen Energy Conference)】(2009年4月韓国 Daegu)

- ・ 参加者日中韓3国より約100名参加。各国の水素に関する国際標準活動の動向について、発表・情報交換を行なった。

また、別紙に特許・論文等についてリストを記載する。

別紙

研究開発項目毎の成果

年度	特許出願			論文発表			新聞報道	受賞
	出願済	登録	実施	査読付き	その他	口頭発表		
H17	2	0	0	6	10	27	1	0
H18	0	0	0	8	22	21	0	0
H19	0	0	0	9	11	156	0	2
H20	0	0	0	5	14	7	0	0
H21	0	0	0	5	11	18	0	1
計	2	0	0	33	68	88	1	3

特許出願リスト

出願に係る特許等の標題	出願人	受付番号	出願日
燃料電池単セルとその組立用治具	財団法人日本自動車研究所	実用新案出願 整理番号:UC127320JR	05.06.17
燃焼試験装置	財団法人日本自動車研究所 石川島播磨重工業株式会社	P2005-369605	05.10.01

論文発表リスト

17年度

査読付き

件名	掲載者	発表媒体	日付
衝突時の水素漏れ許容量の検討	高橋昌志	自動車技術会論文集 Vol.36, No.5	05.09.15
Diffusion and Ignition Tests for Preventing Hydrogen Gas Retention	前田安正	Review of Automotive Engineering Vol.26, No.4	05.10.01
自動車用高圧水素容器の火炎暴露試験の検討ー代替充填用ガスの可能性ー	田村陽介	自動車技術会論文集 Vol.36, No.6	05.11.15
Exploration of Hydrogen Odorants for Fuel Cell Vehicles	今村大地	Journal of Power Sources Volume 152	05.12.01
Investigation of the Allowable Amount of Hydrogen Leakage Upon Collision	高橋昌志	SAE 2005 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	06.03
CFD Analysis of Fire Testing of Automotive Hydrogen Gas Cylinders With Substitutive Gases	田村陽介	SAE 2005 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	06.03

その他

査読なし

件名	掲載者	発表媒体	日付
燃料電池関連の試験方法及び試験設備の紹介	鈴木仁治	自動車技術 Vol.59, No.7	05.06.30
水素燃料電池自動車の燃費計測手法および	黒田英二	自動車研究 第27巻	05.07.01

試験機器の開発		第7号 2005年7月	
参照極付き JARI 標準セルによる発電性能の評価	今村大地	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
燃料電池システム性能評価試験方法の検討	守谷憲造	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
単セルとスタックとの性能相関の検討 ー電極面積の影響ー	橋正好行	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
自動車用高圧水素容器の許容欠陥確認試験 (第一報) ー破裂前漏洩の状況とひずみの挙動ー	飯島考文	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
自動車用高圧水素容器の破裂試験	飯島考文	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
高圧水素ガス容器の動的外力破裂試験	三石洋之	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
自動車用高圧水素ガス容器の火炎暴露試験 方法の検討：第2報ー火炎規模および火源の燃料種類の影響ー	田村陽介	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01
トンネル内水素漏洩拡散シミュレーション ートンネル内事故時の漏洩水素の安全性評価ー	向井新治	自動車研究 第27巻 第7号 2005年7月	05.07.01

口頭発表

件名	掲載者	発表媒体	日付
Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen FCV	酒井孝之	ISO/TC22/SC21/WG2/TF1 Meeting	05.04.22
燃料電池システム評価試験方法の検討	守谷憲造	第12回燃料電池シンポジウム	05.05.11
CFD Simulation on Diffusion of Hydrogen Leakage Caused by Fuel Cell Vehicle Accident in Tunnel, Underground Parking Lot and Multistory Parking Garage	向井新治	ESV 2005	05.06.08
JARI's Plans for Long term H2 Specification	赤井泉明	ISO/TC197/WG12 Meeting	05.06.30
Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen FCV	酒井孝之	SAE FCSC Emission and Fuel Consumption WG	05.07.20
CFD Simulation on Diffusion of Leaked Hydrogen Caused by Vehicle Accident in Tunnels	向井新治	International Conference for Hydrogen Safety	05.09.08
Dynamic Crush Test on Hydrogen Pressurized Cylinder	三石洋之	International Conference for Hydrogen Safety	05.09.08
The New Facility for Hydrogen and Fuel Cell Vehicle Safety Evaluation	渡辺正五	International Conference for Hydrogen Safety	05.09.08
水素・燃料電池自動車安全性評価試験施設	渡辺正五	燃料電池開発情報センター 第97回研究会	05.09.20
「圧縮水素自動車燃料装置用容器・付属品」 技術基準策定の概要	三石洋之	日本機械学会 2005年度年次 大会ワークショップ「燃料電池 自動車用 75MPa 容器の実用化への課題」	05.09.22
JARI Stack Testing Methodology	渡辺正五	National Research Council of Canada FC Testing Workshop	05.09.29
ガス充填口水素漏れ許容量の検討	高橋昌志	自動車技術会 2005年秋季学術講演会	05.09.30

精度・信頼性向上のための自動車用圧縮水素容器の火炎暴露試験	田村陽介	自動車技術会 2005年秋季学術講演会	05.09.30
水素ガス漏えいを想定した車両引火試験	前田安正	自動車技術会 2005年秋季学術講演会	05.09.30
燃料電池自動車用水素付臭剤の探索	今村大地	自動車技術会 2005年秋季学術講演会	05.09.30
高圧水素容器の安全性研究 車載用コンポジット水素容器の各種安全性試験結果とその評価	渡辺正五	HESS 特別講演会「水素・燃料電池の規制緩和と安全技術研究」	05.10.06
水素・燃料電池自動車の安全性評価	渡辺正五	自動車技術会関東支部 第1回講演会「燃料電池車の普及に向けて」	05.10.11
水素・燃料電池自動車の安全性	渡辺正五	科学技術交流財団「燃料電池の実用化に関する研究会」 第2回研究会	05.10.13
Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen FCV	黒田英二	HFCV gr Informal Group Meeting	05.10.21
燃料電池自動車普及のための基盤技術	渡辺正五	東京モーターショー シンポジウム	05.10.31
燃料電池自動車普及のための基盤技術	渡辺正五	JARI/IEA シンポジウム	05.10.31
Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen FCV	黒田英二	ISO/TC22/SC21/WG2/TF1 Meeting	05.11.07
単セルとスタックとの性能関連の検討－電極面積の影響－	橋正好行	電気化学会第46回電池討論会	05.11.16
Exploration of Hydrogen Odorants for Fuel Cell Vehicles	今村大地	Journal of Power Sources	05.12
Development of JARI Single Cell and Testing Protocol	赤井泉明	USFCC/JARI Meeting	06.01.20
水素・燃料電池自動車の安全性評価	渡辺正五	FC EXPO 2006 第2回国際水素・燃料電池展 専門技術セミナー	06.01.25
燃料電池自動車の安全性	渡辺正五	燃料電池開発情報センター 第98回研究会	06.01.24

18年度  
査読付き

件名	掲載者	発表媒体	日付
Study of Fuel Cell Structure and Heating Method Development of JARI's Standard Single Cell	橋正好行	Journal of Power Sources, 155(2),182 (2006)	06.04.21
自動車用圧縮水素容器の火炎暴露試験精度・信頼性向上	田村陽介	自動車技術会論文集 Vol.37, No.3	06.05.01
Adaptability of Sulfur-free Odorous Compounds to Hydrogen Odorants for Fuel Cell Vehicles	今村大地	Review of Automotive Engineering (2006/7)Vol.27, No.3	06.07.01
自動車用圧縮水素容器の常温圧力サイクル試験－容器の疲労におよぼす上限圧力の影響－	富岡純一	自動車技術会論文集 Vol.38, No.2	07.03
Development of Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen Fuel Cell Vehicles	黒田英二	SAE 2006 Transactions Journal of Engines, Vol.115, Section3	07.03
Fire Safety Evaluation of a Vehicle Equipped with Hydrogen Fuel Cylinders: Comparison	鈴木仁治	SAE 2006 Transactions Journal of Passenger Cars -	07.03

with Gasoline and CNG Vehicles		Mechanical System	
Improvement of Flame Exposure Test for High Pressure Hydrogen Cylinders to Achieve High Reliability and Accuracy	田村陽介	SAE 2006 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	07.03
Test of Vehicle Ignition Due to Hydrogen Gas Leakage	前田安正	SAE 2006 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	07.03

その他  
査読なし

件名	掲載者	発表媒体	日付
Development of Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen Fuel Cell Vehicles	黒田英二	Applications of Fuel Cells in Vehicles 2006 SP-2006	06.04
Fire Safety Evaluation of a Vehicle Equipped with Hydrogen Fuel Cylinders: Comparison with Gasoline and CNG Vehicles	鈴木仁治	Vehicle Fire 2006 SP-1990	06.04.03
Improvement of Flame Exposure Test for High Pressure Hydrogen Cylinders to Achieve High Reliability and Accuracy	田村陽介	Vehicle Fire 2006 SP-1990	06.04.03
Test of Vehicle Ignition Due to Hydrogen Gas Leakage	前田安正	Vehicle Fire 2006 SP-1990	06.04.03
燃料電池自動車燃費試験用の水素流量計の開発	黒田英二	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
燃料電池自動車用水素付臭剤の適用性評価ー化学的安定性と拡散性ー	今村大地	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度依存性に関する研究	糸井裕彦	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
車両火災を伴う水素噴出火炎のサーマルマネキンによる熱的影響評価	田村陽介	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動：第1報	広谷龍一	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
自動車用圧縮水素容器への急速充填の数値解析	伊藤裕一	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
圧縮水素容器搭載自動車の火災安全性評価ーガソリンおよびCNG自動車との比較ー	鈴木仁治	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
実車両における水素漏洩時の逸散・引火挙動	前田安正	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
自動車用圧縮水素容器の常温圧力サイクル試験:第1報ー容器寿命におよぼす上限圧力の影響ー	飯島孝文	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
自動車用圧縮水素容器の常温圧力サイクル試験:第2報ー疲労過程におよぼす上限圧力の影響ー	大居利彦	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
トンネル内水素漏洩拡散シミュレーション:第2報ートンネル内事故時の漏洩水素の安全性評価ー	向井新治	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
JARI Standard Single Cell Testing Protocol	富岡秀徳	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
JHFCステーション充填コネクタ調査	福本紀	自動車研究 第28巻 第7号 2006年7月	06.07.01
日本自動車研究所 水素・燃料電池自動車安全評価ー耐爆火災試験設備の紹介ー	鈴木仁治	火災学会誌 Vol.56,No.5	06.10.01

Fuel Cell Stack Testing Methodology	黒田英二	EVS-22 Proceeding	06.10
Study of Performance Reproducibility of JARI Standard Single Cell – Cell Performance Crosscheck between HNEI and JARI –	橋正好行	自動車研究 第29巻 第1号 2007年1月	07.01.01
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動	広谷龍一	自動車技術会論文集	07.03
自動車用圧縮水素容器の破裂試験	飯島孝文	自動車技術会論文集	07.03

口頭発表

件名	掲載者	発表媒体	日付
Development of Fuel Consumption Measurement Methods for Hydrogen Fuel Cell Vehicles	黒田英二	2006 SAE World Congress	06.04.03
Fire Safety Evaluation of a Vehicle Equipped with Hydrogen Fuel Cylinders: Comparison with Gasoline and CNG Vehicles	鈴木仁治	2006 SAE World Congress	06.04.03
Improvement of Flame Exposure Test for High Pressure Hydrogen Cylinders to Achieve High Reliability and Accuracy	田村陽介	2006 SAE World Congress	06.04.03
Test of Vehicle Ignition Due to Hydrogen Gas Leakage	前田安正	2006 SAE World Congress	06.04.03
Development of Hydrogen Flowmeter for Fuel Consumption Measurement of FCV	黒田英二	ISO/TC22/SC21/WG2/TF1 Meeting	06.05.18
自動車用圧縮水素容器のガス透過試験の温度依存性について	向井新治	自動車技術会 2006年春季学術講演会	06.05.24
自動車用圧縮水素容器の破裂試験	飯島孝文	自動車技術会 2006年春季学術講演会	06.05.26
自動車用圧縮水素容器の許容欠陥確認試験	大居利彦	自動車技術会 2006年春季学術講演会	06.05.26
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動	広谷龍一	自動車技術会 2006年春季学術講演会	06.05.26
Hydrogen Pressure Burst Test and Pressure Cycling Test of Compressed Hydrogen Tanks	押野幸一	16th World Hydrogen Energy Conference	06.06.13
Thermal Behavior in Hydrogen Storage Tank for Fuel Cell Vehicle on Fast Filling	広谷龍一	16th World Hydrogen Energy Conference	06.06.15
ISO/TC197/WG12 標準化動向－水素燃料製品仕様－	富岡秀徳	FCCJ 第2回標準化・規制見直し動向説明会	06.08.29
容器基準合理化に向けた自動車業界の動向	福本紀	FCCJ 第2回標準化・規制見直し動向説明会	06.08.29
自動車用圧縮水素容器の技術基準およびその評価法	三石洋之	プラスチック成形加工学会 第93回講演会 燃料電池を支える要素技術を考える－高圧圧力容器の現状－	06.09.08
自動車用圧縮水素容器の常温圧力サイクル試験－容器の疲労におよぼす上限圧力の影響－	富岡純一	自動車技術会 2006年秋季学術講演会	06.09.27
70MPa 自動車用圧縮水素容器の火炎暴露による破裂試験	田村陽介	自動車技術会 2006年秋季学術講演会	06.09.27
自動車用圧縮水素容器における急速充填の数値解析	伊藤裕一	自動車技術会 2006年秋季学術講演会	06.09.27

燃料電池自動車の水素漏洩箇所と引火時の 周囲影響の関係	前田安正	自動車技術会 2006 年秋季学術講演会	06.09.27
Fuel Cell Stack Testing Methodology	黒田英二	EVS-22 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exposition	06.10.01
Adaptability of Sulfur-free Smelling Compounds to Hydrogen Odorants for Fuel Cell Vehicles	今村大地	H2 Expo 2006 (International Conference and Trade Fair on Hydrogen and Fuel Cell Technologies)	06.10.25
Development of Flow Method for Fuel Consumption Measurement of FCV	矢野勝	ISO/TC22/SC21/WG2/TF1 Meeting	06.10.30

19年度  
その他  
査読付き

件名	掲載者	発表媒体	日付
自動車用圧縮水素容器の破裂試験	飯島孝文	自動車技術会論文集 Vol.38, No.2	07.03
自動車用圧縮水素容器の急速充填における 容器内温度挙動	広谷龍一	自動車技術会論文集 Vol.38, No.2	07.03
自動車用圧縮水素容器の常温圧力サイクル 試験－容器の疲労におよぼす上限圧力の影 響－	富岡純一	自動車技術会論文集 Vol.38, No.2	07.03
Fire Safety Evaluation of a Vehicle Equipped with Hydrogen Fuel Cylinders: Comparison with Gasoline and CNG Vehicles	鈴木仁治	SAE 2006 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	07.04
Improvement of Flame Exposure Test for High Pressure Hydrogen Cylinders to Achieve High Reliability and Accuracy	田村陽介	SAE 2006 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	07.04
Test of Vehicle Ignition Due to Hydrogen Gas Leakage	前田安正	SAE 2006 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	07.04
自動車用圧縮水素容器の許容欠陥確認試験	大居利彦	自動車技術会論文集 Vol.38, No.3	07.05
The new facility for hydrogen and fuel cell vehicle safety evaluation	渡辺正五	International Journal of Hydrogen Energy	07.06
Effect of Sulfur-Containing Compounds on Fuel Cell Performance	今村大地	ECS Transactions, Vol.11 (1), 853 (2007)	07.09

査読なし

件名	掲載者	発表媒体	日付
JARI 標準セルを用いた単セル標準試験法の 検討	富岡秀徳	燃料電池, Vol.6, No.4, 78 (2007)	07.04
燃料電池自動車の燃費計測手法 (脈動に対 応した流量法)	矢野勝	自動車研究 29 巻 6 号	07.06.01
燃料電池の水素循環系における不純物の濃 縮調査 -CH <sub>4</sub> 、CO の濃縮挙動について	松田佳之	自動車研究 29 巻 6 号	07.06.01
燃料電池自動車に係る標準化活動への FC・EV センターの取り組み	富岡秀徳	自動車研究 29 巻 6 号	07.06.01
自動車用圧縮水素容器の常温圧力サイクル 試験－VH4 容器の寿命におよぼす上限圧 力の影響－	富岡純一	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01

自動車用圧縮水素容器の極端温度圧力サイクル試験－試験温度による性能劣化－	山崎義男	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動（第 2 報）	寺田利宏	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01
液化水素漏洩挙動の調査	高橋昌志	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01
水素消費による容器および附属品の温度変化の研究	糸井裕彦	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01
自動車用圧縮水素容器の静電気特性	田村陽介	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01
水素吸蔵合金タンクの安全性評価試験 水素サイクル試験法の調査	高橋昌志	自動車研究 29 巻 7 号	07.07.01

口頭発表

件名	掲載者	発表媒体	日付
Ambient Temperature Pressure Cycling Test of Compressed Hydrogen Tanks for Vehicles ~ Influence of Maximum Pressure on Tank Fatigue	富岡純一	2007 SAE World Congress	07.04.16
Diffusion and Ignition Behavior on the Assumption of Hydrogen Leakage From a Hydrogen-Fueled Vehicle	前田安正	2007 SAE World Congress	07.04.16
Numerical Study of the Thermal Behavior on Fast Filling of Compressed Gaseous Hydrogen Tanks	伊藤裕一	2007 SAE World Congress	07.04.16
Safety Evaluation on Fuel Cell Stacks Fire and Toxicity Evaluation of Material Combustion Gas for FCV	鈴木仁治	2007 SAE World Congress	07.04.16
Thermal Behavior in Hydrogen Storage Tank for Fuel Cell Vehicle on Fast Filling	広谷龍一	2007 SAE World Congress	07.04.16
燃料電池自動車関連の標準化動向	富岡秀徳	第 95 回燃料電池研究会セミナー	07.05.24
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動（第 2 報）	広谷龍一	自動車技術会 2007 年春季学術講演会	07.05.25
The Standardization of the Hydrogen Quality for Fuel Cell Vehicles	富岡秀徳	ISO197/IEC105 Seminar on the International Standards of Hydrogen & Fuel Cell Technologies	07.06
Study of Performance Reproducibility of JARI Standard Single Cell	橋正好行	The Fifth International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology	07.06
Impact of Hydrogen Fuel Impurities Impurities on PEMFC Performance	今村大地	2007JSAE/SAE International Fuels and Lubricants Meeting	07.07
Development of Fuel Consumption Measurement Method for Fuel Cell Vehicle -Flow Method Corresponding to Pressure Pulsation of Hydrogen Flow-	矢野勝	2007JSAE/SAE International Fuels and Lubricants Meeting	07.07
Hydrogen Flowmeter and Flow Oscillation Absorber for Fuel Consumption Measurement of FCV	黒田英二	4th Annual International Fuel Cell Testing Workshop	07.09.13
Effect of Air Quality on the Fuel Cell Performance	渡辺正五	International Workshop on Degradation Issues of Fuel Cells	07.09
燃料電池の水素循環系における不純物の濃	松田佳之	第 48 回電池討論会	07.11

縮調査			
燃料電池単セル性能の測定法に関する検討	橋正好行	第 48 回電池討論会	07.11

20年度  
査読付き

件名	掲載者	発表媒体	日付
Diffusion and Ignition Behavior on the Assumption of Hydrogen Leakage From a Hydrogen-Fueled Vehicle	前田安正	SAE 2007 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	08.04
Safety Evaluation on Fuel Cell Stacks Fire and Toxicity Evaluation of Material Combustion Gas for FCV	鈴木仁治	SAE 2007 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	08.04
Impact of Hydrogen Fuel Impurities Impurities on PEMFC Performance	今村大地	SAE 2007 Transactions Journal of Fuel and Lubricants, Vol.116, Section4	08.08
Development of Fuel Consumption Measurement Method for Fuel Cell Vehicle-Flow Method Corresponding to Pressure Pulsation of Hydrogen Flow-	矢野勝	SAE 2007 Transactions Journal of Fuel and Lubricants, Vol.116, Section4	08.08
燃料電池の水素循環系における不純物の濃縮挙動	松田佳之	自動車技術会論文集	09.01

その他  
査読なし

	掲載者	発表媒体	日付
自動車圧縮水素容器（VH3）の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響	富岡純一	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
水素技術に係わる国際標準化の動向 — 高压水素技術関連 —	福本 紀	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
自動車圧縮水素容器（VH4）の破裂強度に及ぼす圧力サイクルの影響	富岡純一	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
自動車圧縮水素容器（VH3）の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響	富岡純一	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動（第3報）	吉村大士	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度、圧力および材質依存性に関する研究（第1報）	糸井裕彦	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
多孔質可燃物下での水素ガス漏洩による拡散と燃焼挙動	田村陽介	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
自動車用圧縮水素容器の急速充填シミュレーション—実在気体の影響—	木枝香織	自動車研究 30 巻 6 号	08.06.01
車両改造不要な FCV 燃費計測手法の開発 — 酸素バランス法の検証実験 —	矢野勝	自動車研究 30 巻 7 号	08.07.01
JARIにおけるFCV燃費計測法開発	黒田英二	自動車研究 30 巻 7 号	08.07.01
燃料電池の水素循環系における不純物の濃縮挙動	松田佳之	自動車研究 30 巻 7 号	08.07.01
水素技術に係る国際標準化の動向— 水素燃料仕様について	富岡秀徳	自動車研究 30 巻 7 号	08.07.01
電気自動車に関する国際標準化の動向と見通し	富岡秀徳	自動車技術 Vol.62 No.103	08.10
燃料電池車の国際標準化の現状	富岡秀徳	OHM	09.01

口頭発表

件名	掲載者	発表媒体	日付
Calculation of Hydrogen Consumption for Fuel Cell Vehicles by Exhaust Gas Formulation	黒田英二	2008 SAE World Congress	08.04.14

Investigation of the Allowable Flow Rate of Hydrogen Leakage on Receptacle	高橋昌志	2008 SAE World Congress	08.04.15
Thermal Behavior in Hydrogen Storage Tank for Fuel Cell Vehicle on Fast Filling (2nd Report)	寺田利宏	2008 SAE World Congress	08.04.15
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動(第3報) —水素噴出口径・噴出方向の及ぼす影響—	吉村大士	自動車技術会 2008年春季学術講演会	08.05.21
燃料電池の水素循環系における不純物の濃縮挙動	松田佳之	自動車技術会 2008年春季学術講演会	08.05
Fatigue Strength Degradation of Type IV Compressed Hydrogen Tanks under High Temperature	富岡純一	Duracosys2008 8Th International Conference on Durability of Composite System	08.07.17
水素燃料性状が燃料電池に与える影響	赤井泉明	再生可能エネルギー世界フェア「水素・燃料電池」フォーラム	08.07

21年度  
査読付き

件名	掲載者	発表媒体	日付
Investigation of the Allowable Flow Rate of Hydrogen Leakage on Receptacle	高橋昌志	SAE 2009 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	09.04
Accumulation of Impurities in Hydrogen Circulation System of PEFC	松田佳之	Review of Automotive Engineering, 2009.4 Vol.30 (2009)	09.04
Effects of Platinum Loading on PEFC Power Generation Performance Deterioration by Carbon Monoxide in Hydrogen Fuel	橋正好行	ECS transactions, 26(1), 131 (2010)	10.01
自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響	富岡純一	自動車技術会論文集 Vol.41, No.2	10.03
自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度,圧力及び材質依存性に関する研究	糸井裕彦	自動車技術会論文集 Vol.41, No.2	10.03

その他  
査読なし

	掲載者	発表媒体	日付
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動(第4報)	吉村大士	自動車研究 31 巻 6 号	09.06.01
圧縮水素容器(VH3)の容器寿命におよぼす下限圧力の影響	富岡純一	自動車研究 31 巻 6 号	09.06.01
自動車用圧縮水素容器(VH4)の疲労特性に及ぼす環境温度の影響	木口和博	自動車研究 31 巻 6 号	09.06.01
圧縮水素容器搭載車両の火災対応に関する一考察	田村陽介	自動車研究 31 巻 6 号	09.06.01
自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度,圧力および材質依存性に関する研究(第2報) —充填圧力 70MPa でのガス透過データの拡充—	糸井裕彦	自動車研究 31 巻 6 号	09.06.01

燃料電池自動車用水素付臭剤の適用性評価 －被毒低減手法の検討と水素循環系での濃縮挙動の評価－	今村大地	自動車研究 Vol.31, No.7 (2009)	09.07.01
Pt 担持量が CO による PEFC 発電性能の低下に及ぼす影響	橋正好行	自動車研究 Vol.31, No.7 (2009)	09.07.01
混合不純物 (CO, H <sub>2</sub> S) が燃料電池の発電性能へ与える影響	松田佳之	自動車研究 Vol.31, No.7 (2009)	09.07.01
水素貯蔵システムの最新技術動向	三石洋之	「Motor Ring No.29」自動車技術会	09.10
燃料電池自動車の実用化と安全性		標準化と品質管理	09.11
燃料電池自動車の普及に向けた最近の動向	富岡秀徳	高速道路と自動車	10.02

口頭発表

件名	掲載者	発表媒体	日付
水素中の不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響	赤井泉明	固体高分子形燃料電池先端基盤センター (FC-Cubic) ワークショップ	09.04
自動車用燃料電池 MEA の耐久性評価法の検討	赤井泉明	自動車技術会 2009 春季大会	09.05
Influence of Temperature on the Fatigue Strength of Compressed Hydrogen Tanks for Vehicle	富岡純一	ICHS 3rd ICHS, International Conference on Hydrogen Safety	09.09.16
自動車用燃料電池 MEA の耐久性評価法の検討	橋正好行	燃料電池基盤技術研究懇話会	09.09
Impurities accumulation due to hydrogen recirculation	松田佳之	International Workshop on Fuel and Air Quality Issues in Fuel Cells	09.09
Influence of Pt Loading on Fuel Cell Performance	橋正好行	International Workshop on Fuel and Air Quality Issues in Fuel Cells	09.09
多孔質の天井材が装備された空間での水素漏洩による燃焼挙動について	田村陽介	自動車技術会 2009 年秋季学術講演会	09.10.07
自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度, 圧力及び材質依存性について	田村陽介	自動車技術会 2009 年秋季学術講演会	09.10.07
自動車用圧縮水素容器 (VH3) の疲労寿命に及ぼす環境温度の影響	富岡純一	自動車技術会 2009 年秋季学術講演会	09.10.07
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動 (第 4 報) - 容器システムへの急速充填 -	吉村大士	自動車技術会 2009 年秋季学術講演会	09.10.07
Accumulation behavior of impurities in fuel cell hydrogen circulation system	松田佳之	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	09.11
Effects of Pt loading on power generation performance decrease by CO	橋正好行	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	09.11
自動車用燃料電池 MEA の耐久性評価法の検討	橋正好行	第 3 回燃料電池部門委員会	09.11
多孔質の天井材空間下での水素漏洩による拡散と火炎の振る舞い	田村陽介	第 47 回燃焼シンポジウム	09.12.03
自動車用圧縮水素容器 (VH3) の疲労寿命に及ぼす下限圧力の影響	富岡純一	第 29 回水素エネルギー協会大会	09.12.03

自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度,圧力及び材質依存性に関する研究	糸井裕彦	第 29 回水素エネルギー協会大会	09.12.03
自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動 (第 3 報)	前田安正	第 29 回水素エネルギー協会大会	09.12.03
海外学会における燃料電池関連の発表紹介	橋正好行	第 106 回燃料電池研究会セミナー	09.12

#### 新聞報道

日刊工業新聞 2005 年 6 月 2 日「燃料電池のサムライ達⑧」  
安全基準づくり「水素燃料の規格化柱に防爆施設をフル活用」

#### 受賞実績

- ・ 自動車技術会 技術開発賞、鈴木仁治、渡辺正五、水素・燃料電池自動車安全性評価試験設備 (Hy-SEF) を完成 (2007 年)
- ・ 浅原賞学術奨励賞、今村大地、Adaptability of Sulfur-free Odorous Compounds to Hydrogen Odorants for Fuel Cell Vehicles (2007 年)
- ・ 浅原賞学術奨励賞、松田佳之、Accumulation of Impurities in Hydrogen Circulation System of PEFC (2010 年)

以 上

## 2.2 研究開発項目 B「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### 2.2.1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

#### 2.2.1.1 定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応

##### 2.2.1.1.1 供試体の調達

定置用で小形（発電出力 10kW 未満、最高使用圧力 0.1MPa 未満）の PEFC システムについて、国内及び海外のメーカーの開発状況を調査した結果を踏まえて、データを収集する PEFC システムの供試体（以下「PEFC 供試体」とする）は、納入時に発電効率 30%（HHV）以上、総合効率 65%（HHV）以上を満たすことを条件として選定を行った。

選定した 7 機種種の PEFC 供試体の外観を図Ⅲ2.2.1.1.1-1 に示す。これらはいずれもコージェネレーション仕様のものである。供試体は（財）日本ガス機器検査協会（JIA）の東京事業所或いは名古屋検査所に設置して試験を行った。尚、試験装置の整備及び試験装置や分析機器の保守・点検は（財）日本ガス機器検査協会が実施した。



図Ⅲ2.2.1.1.1-1 PEFC 供試体の外観状況

## 2.2.1.1.2 安全性に係わる課題対応

### 2.2.1.1.2.1 過圧防止装置省略時の安全性試験

#### (1) 目的

過圧防止装置を省略した際の安全性を評価する試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

測定項目：送電端出力、耐圧部分圧力、燃料改質装置温度、燃料流量、耐圧部分の変形、破損の目視確認、異常音、異常臭の確認

測定周期：1 秒<sup>※1</sup>

※1：燃料電池システムからのデータ出力周期が1秒以上の場合は、メーカーが規定する最短の出力周期で行うこととする。

##### ②データ収集方法

###### 1) 試験準備

- a) 改質器を含む燃料系統の耐圧部分において、通常運転時及び停止時に最も圧力が高くなる部位に圧力計を設置しておく。
- b) 当該耐圧部分の過圧防止装置の動作圧力を耐圧設計値に設定する。
- c) 過圧防止装置の動作圧力を耐圧設計値に設定できない場合は、メーカーが推奨する実験可能耐圧の範囲内で試験を行う。
- d) フェールオープン等の過圧防止装置代替機能を備えているものは、当該機能を生かした状態で試験を行う。

###### 2) 制御電源異常試験

- a) 定格出力到達後 30 分以上経過していることを確認し、測定開始 10 分後に制御装置の電源を遮断する。このとき、異常音、異臭等が発生しないか注視し、結果を記録する。
- b) 制御装置の電源を遮断してから 6 時間経過後にデータ収集を終了する。
- c) 耐圧部分の変形、損傷を確認し、結果を記録する。

注 1) 制御装置の電源遮断に伴ってデータ出力が喪失する機器は、他の機器が動作しない措置を講じた上で制御電源を再投入し、データ出力を継続させること。

注 2) 試験中は耐圧部分の圧力推移に注意し、メーカーの判断により、試験を中止しても良い。

###### 3) プロセス系経路出口閉塞試験

- a) 定格出力到達後 30 分以上経過していることを確認し、測定開始 10 分後にプロセス系経路の出口側にある遮断弁を閉止する。当該遮断弁が設置されていないシステムの場合は、排気口などの排気系統を閉塞することとする。このとき、異常音、異臭等が発生しないか注視し、結果を記録する。
- b) 遮断弁を閉止（排気口などを閉塞）し、システムが異常を検知して停止動作に移行して

から6時間経過後にデータ収集を終了する。

c) 耐圧部分の変形、損傷を確認し、結果を記録する。

### ③判定方法

耐圧部分の最大圧力及び試験時の外観異常を確認して記載する。

### (3) データ収集の実施

制御電源異常試験およびプロセス系経路出口閉塞試験の結果、過圧防止装置を省略したPEFC 供試体について、試験後の耐圧部分に変形や破損等の外観異常も発生せず、当該異常時には過圧にならないことを確認した。

### (4) 評価方法の検討

測定終了までの時間について、異常操作後「6時間」としているが、圧力が最も高くなるのは定格運転中か異常操作直後であり「耐圧部の圧力が低下することを確認できたらデータ収集を終了」あるいは「PEFCシステムが停止してから1時間後にデータ収集を終了」とすることも考えられたが、PEFCシステム停止後に数10分してから、バルブ動作等によって急激に20kPa以上圧力が上昇しているPEFC供試体もあり、今後市場に出る新たな仕様のPEFCシステムも適正に評価できるように、測定終了までの時間を異常捜査後「6時間」とすることとした。

## 2.2.1.1.2.2 可燃性ガス検知器省略時の安全性試験

### (1) 目的

可燃性ガス漏洩検知器を省略した際に、可燃性ガス漏洩に伴うプロセス内での熱収支異常などの代替手法の有効性について、技術的検証を行う試験方法を提供する。

### (2) 代替手法の有効性検証ロジック

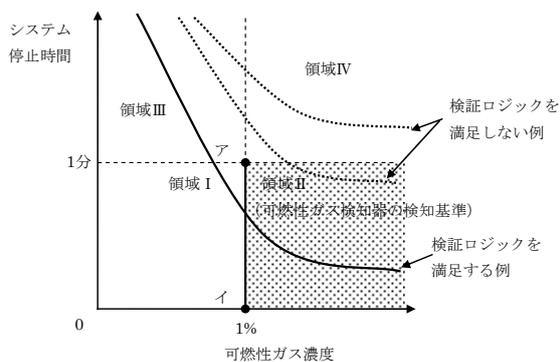
#### ①前提条件

- 1) 可燃性ガス検知器を省略したPEFCシステムにおいて、可燃性ガスを通じる配管のある場所から可燃性ガスが漏洩したとする。この際、例えばスタックの入口付近で改質ガスを漏洩させると、発電に使用する燃料流量が減少することによりセル電圧の低下、あるいはオフガスの流量低下による改質器の温度低下などが発生し、可燃性ガス検知以外のインターロック項目（代替手法）によってPEFCシステムは停止する。
- 2) ある可燃性ガス漏洩流量において可燃性ガスを漏洩させ、この際にある測定点（可燃性ガス検知器設置場所、パッケージ換気の出口など）における「可燃性ガス濃度」を横軸に、代替手法によってPEFCシステムが停止した「システム停止時間」を縦軸にプロットする。可燃性ガス漏洩流量を変化させながら両者の関係をプロットしていくと、ひとつの曲線（システム特性曲線）となる。
- 3) システム特性曲線は、図Ⅲ2.2.1.1.2.2-1のように単調減少の曲線となる。これは、可燃性ガスの漏洩量が増加（可燃性ガス濃度も増加する）すれば、熱収支などの異常がより顕著となるため、システムは早期に停止することを表している。実際のPEFCシステムにおいて予備測定を行った結果（図Ⅲ2.2.1.1.2.2-2）、上記仮説の通り、システム特性曲線

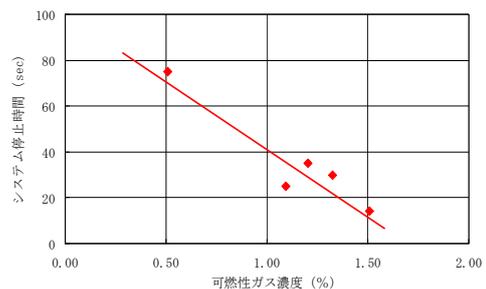
は単調減少の曲線となっていることが確かめられた。

②代替手法が有効であると考えられる条件

- 1) 可燃性ガス検知器の検知基準は、「爆発下限界の 1/4 (1%) 以上のときに 60 秒 (1 分) 以内に信号及び警報を発する」ことである。これは代替手法においては、「可燃性ガス濃度が 1%以上のときに 1 分以内でシステムが停止する」と解釈され、図Ⅲ2.2.1.1.2.2-1 の領域Ⅱに相当する。
- 2) 曲線が単調減少であることを考慮すると、領域Ⅱにおいて条件的に最も厳しいのは、濃度が最も低い 1%において 60 秒以内に停止することであり、代替手法が領域Ⅱを満足するためには、システム特性曲線が図Ⅲ2.2.1.1.2.2-1 に示す線分ア-イを通過すればよい。これにより、「可燃性ガス濃度が 1%以上のときに 1 分以内でシステムが停止する」といえる。
- 3) 曲線が単調減少であることを考慮すると、システム特性曲線が線分ア-イを通過するためには、領域Ⅰを通過する必要がある。
- 4) 以上から、代表的な漏洩箇所それぞれにおいて、システム特性曲線の 1 点でも領域Ⅰ (可燃性ガス濃度 1%以下において、1 分以内でシステムが安全に停止する領域) に存在することを示せばよい。また、以上の考察の逆を考えれば、領域Ⅳに 1 点でも通過点があることを示されれば、代替手法が有効であるとは言えない。
- 5) メーカー規定の定格時のガス流量を漏洩させても可燃性ガス濃度が 1%未満となるケースも想定されるが、これは「パッケージ換気量が十分に大きく滞留しない構造となっている」といえることから、可燃性ガス検知器は不要であると考えられる。但し、実際には可燃性ガスが大量に漏洩すればシステムは燃料不足により運転を継続することができず、いずれは停止する。



図Ⅲ2.2.1.1.2.2-1 システム特性曲線



図Ⅲ2.2.1.1.2.2-2 予備測定結果 (システム特性曲線)

③データ収集方法

①で述べた検証ロジックに基づくと、代替手法による PEFC システムの停止時間と実際の可燃性ガス濃度を実機 PEFC システムで確認する必要がある。このため、データ収集

として、ある可燃性ガス漏洩流量における PEFC システムの停止時間を測定する「ガス漏洩試験」（ガス漏洩量とシステム停止時間を測定）とその際の可燃性ガス濃度を測定する「可燃性ガス濃度確認試験」（ガス漏洩量と可燃性ガス濃度を測定）の 2 段階で試験を行うこととした。

ここで、可燃性ガス濃度の測定において、実際の可燃性ガスをパッケージ内に漏洩させると試験時の安全上の問題があることから、可燃性ガスの代替ガスとしてヘリウムを使用することとした。なお、ヘリウムガスを使用するに当たって、予備的なシミュレーション検討で、ヘリウムガスは可燃性ガス（改質ガス、オフガス）よりも安全サイドの評価になることを確認している。

### (3) データ収集方法の検討

#### ① ガス漏洩試験

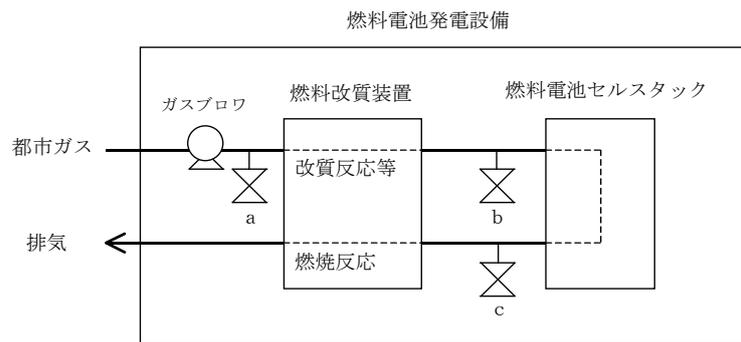
##### 1) ガス漏洩方法

プロセス系経路にガスサンプリングポートを設置し、可燃性ガスを漏洩させる。

#### 【サンプリングポート設置箇所の例】

b 点：プロセスガス系統 燃料改質装置（改質器、CO 変成器、CO 除去器）出口

c 点：プロセスガス系統 燃料電池セルスタック出口



図Ⅲ2.2.1.1.2.2-3 可燃性ガスの漏洩箇所

\*a 点は都市ガス配管であり信頼性が高く、また付臭がされていることから本試験の対象外とする。

#### 2) 試験条件

a) PEFC システムが定格運転にて 30 分以上経過していることを確認する。

b) サンプリングポートを開け、可燃性ガスをプロセス系外に漏洩させる。

c) 漏洩を開始してからシステムが停止するまでの時間（漏洩を検知できない場合は最長 30 分間まで）保持する。

なお、可燃性ガスを十分にプロセス系外へ漏洩させることが出来ない場合は、定格時の可燃性ガス流量を上限として、吸引ポンプ等を使用して強制的に漏洩させる。

### 3)測定項目

- ・測定項目：炎検知温度もしくはフレイムロッド電流、燃料改質装置各部の温度、流量、圧力、燃料電池セルスタック電圧
- ・測定周期：1秒周期

### ②ガス検知器周辺での可燃性ガス濃度確認試験

#### 1)濃度確認方法

「①ガス漏洩試験方法」のガス漏洩箇所近傍で外部から配管供給するヘリウムガスをパッケージ内に漏らし、可燃性ガスの漏洩を模擬する。

- a)ヘリウムガス流量ヘリウムガス配管の途中に取付けた流量計にてヘリウムガス流し込み流量を測定する。
- b)ヘリウム濃度

可燃性ガス検知器の検知部、パッケージ換気口出口にヘリウムガス採集管を設置するか、シリンジ等を用いて各部のガスをサンプリングし、ヘリウム濃度をガスクロマトグラフにて分析する。採集管は固定し、閉切り用のコックを設けるとともに、機器パネルの配管貫通部は内部の換気が漏れないようにシールする。

#### 2)試験条件

- a)PEFCシステムが定格運転にて30分以上経過していることを確認する。
- b)ヘリウムガス閉切り用のコックを徐々に開け、「①ガス漏洩試験方法」のガス漏洩箇所近傍にヘリウムガスを流し込む。このときのヘリウムガス流量は「①ガス漏洩試験方法」で設定した漏れ量とする。
- c)流し込み開始後、「①ガス漏洩試験方法」で可燃性ガス検知器の代替機能が、漏洩を検知し停止するまでの時間経過した時点で、可燃性ガス検知器の検知部、パッケージ換気口出口のガスをサンプリングし、ガスクロマトグラフでヘリウム濃度を測定する。
- d)ヘリウム濃度に漏洩ガスの可燃性ガスの割合を乗じて、可燃性ガス濃度を算出する。

#### ③判定方法

パッケージに既設の可燃性ガス検知器が動作する前（検知部の可燃性ガス濃度が爆発下限界の1/4以下で60秒以内）に、ガス検知器代替手法が有効に動作すること。または、可燃性ガスを全量漏洩しても可燃性ガス濃度が1%以下であること。

### (3) データ収集の実施

今回検討したデータ収集方法で、今回検討した検証ロジックに従って、代替手法の有効性の検証に必要なデータが過不足なく収集できていることを確認できた。

なお、漏洩箇所のb点（改質器出口）、c点（スタック出口）ともに検証ロジックを満たすことが確認できたのは4社であった。

### (4) 評価方法の検討

可燃性ガスの流量の測定については、石鹼膜流量計や膜式流量計などの適用が考えられ

るが、電気出力によって流量に大きな違いが有り、それぞれの PEFC システムに最適の測定方法があると考えられることから、流量計の種類は特に限定しないこととした。

また、ヘリウム濃度から可燃性ガス濃度への換算方法として、「ガス漏洩試験」で漏洩させた改質ガス・オフガスの流量と同じ流量のヘリウムを「可燃性ガス濃度確認試験」で流し、得られたヘリウム濃度に改質ガス・オフガス中の可燃性ガスの割合を乗じて可燃性ガス濃度とした。

### 2.2.1.1.2.3 電磁両立性試験

#### (1) 目的

PEFC から発生する放射妨害について評価する試験方法を提供する。

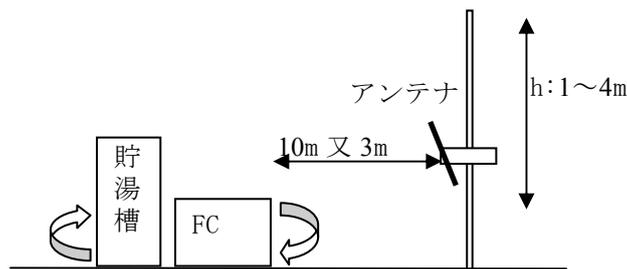
#### (2) データ収集方法の検討

##### ① データ収集方法

- 1) 燃料電池システムの交流出力電源ポートは、擬似電源回路網を介して交流電源に接続する。電源ケーブルが製造業者の取扱説明書で指示されている場合、それに従った 1 m の長さのケーブルで供試装置と擬似電源回路網とを接続する。
- 2) 燃料電池システムは、製造業者の取扱説明書の指示のとおり、端末処理されたケーブルと接続する。
- 3) 燃料電池システムが定格出力にて運転している状態で実施する。
- 4) 交流電源は、定格電圧及び定格周波数で運転する。
- 5) 周波数範囲 30 MHz から 1 000 MHz では、測定は、準尖頭値検波器付き受信機で行う。放射妨害の測定は、供試燃料電池システムの境界から規定された距離で行う。

注 1) アンテナは CISPR 16-1、第 2 節の 15. の要求事項に準拠する。

- ・アンテナとの距離：10m
- ・アンテナ高さ：1～4m
- ・アンテナ偏波：水平、垂直



図Ⅲ2.2.1.1.2.3-1 放射妨害測定例

#### ② 評価基準

表Ⅲ2.2.1.1.2.3-1 放射妨害限度値

周波数範囲 (MHz)	クラス A (工業環境) (IEC61000-6-4)	クラス B (住宅・商用・軽工業環境) (IEC61000-6-3)
	準尖頭値 ( $\mu$ V/m)、at10m	準尖頭値 ( $\mu$ V/m)、at10m

30-230	40dB	30dB
230-1000	47dB	37dB
備考1. dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) は、1 $\mu\text{V}$ を 0 dB としたときの値。 2. 周波数の境界では、限度値の小さい値を適用する。		

\*参考 CISPR 22 の 11.2.1 抜粋

### (3) データ収集の実施

#### ①システムの試験結果

放射妨害測定では、規定の周波数範囲を尖頭値（ピーク値）で測定し、その結果から準尖頭値で測定する周波数領域を絞り込み、絞り込んだ周波数領域にて準尖頭値の最大値を確認した。この結果、供試体 A の放射妨害波電界強度は 60Hz モードでは定格運転時が最大であったものの、50Hz モードでは 75%負荷運転時が最大であった。しかし、試験データの誤差範囲が  $\pm 3\text{dB}$  であり、有意差と認められない。また、供試体 B については、定格運転時が最大であった。なお、供試体 B については、停止時の強度が定格運転時の強度とほぼ同等であった。②で述べるように、パワーコンディショナ単体ではこのような現象が見られず、パワーコンディショナ以外からも放射妨害が生じていることが推測されるが、停止時のみに作動する補機はなく、その発生源は不明であった。

#### ②パワーコンディショナ単体の試験結果

PEFC 供試体のシステムではなく、パワーコンディショナ単体で試験できないか検討することを目的とし、システムと同様の手順にて、アンテナとの距離 10m でパワーコンディショナ単体（筐体内取付け状態）の測定を行った結果、全体としてパワーコンディショナ単体のほうがシステムよりも放射妨害電界強度が高くなった。この要因の一つとして、筐体外からパワーコンディショナへ DC 電力を供給しているため、その配線にシールドを施しているものの、配線等からの妨害波が影響してシステムよりも電界強度が高くなったものと考えられる。

#### ③アンテナとの距離の影響の評価結果

アンテナとの距離 3m における測定の結果と、前述したアンテナとの距離 10m における測定結果と比較すると、測定値が一致していないことが分かった（10m の場合の結果と一致すれば 0dB となる）。

### (4) 評価方法の検討

PEFC システムの出力条件として、測定誤差の範囲内で定格運転状態での放射量が最も大きく、定格運転状態で測定すれば放射量の評価ができることが分かった。

また、パワーコンディショナ単体（外部電源から DC 電力を供給しパッケージ内のパワーコンディショナのみを運転）での測定について、直流電源等からのノイズ対策に課題があるため、システムとして評価すべきであることが分かった。但し、今後ノイズ源を特定でき、それに対する対策が施されるようになればパワーコンディショナ単体での評価ができる可能性もある。さらに、アンテナとの距離が 3m の場合も検討したが、測定値の補正方法

に課題があるため、CISPR22 で規定されているように、10m を基本とすべきであることが分かった。

### 2.2.1.1.3 普及拡大のためのデータ収集

#### 2.2.1.1.3.1 耐久性評価試験

##### (1) 目的

家庭等に設置した場合の PEFC システムに求められる耐久性を評価するための試験方法を検討する。特に、こういった指標値が耐久性評価に有効かなどについて検討をおこなった。

##### (2) データ収集方法の検討

###### ① データ収集方法

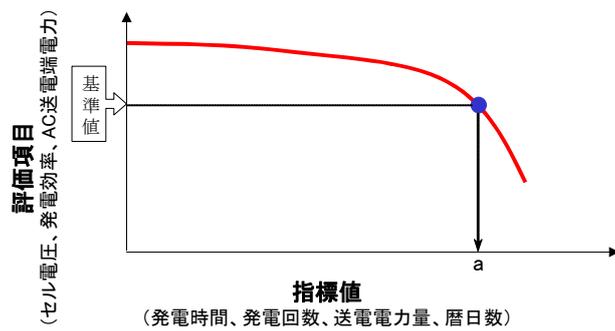
- 1) 模擬電源装置、模擬負荷装置を準備し、所定の位置に接続・設置する。また貯湯ユニットが満蓄停止する事の無いよう、自動給湯装置やラジエータ等を準備する。
- 2) 発電時間で 100 時間相当のサイクル毎に、定格到達後 30 分経過後から 3 時間のデータを用いて発電効率を算出する。発電効率が初期値から 10%低下するまで、表Ⅲ2.2.1.3.1-1 の運転ケースを繰り返す。

表Ⅲ2.2.1.3.1-1 運転ケース及びデータ収集方法

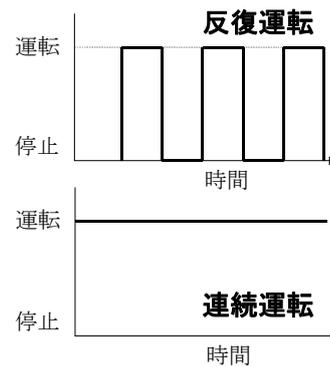
	運 転 ケ ー ス	運 転 方 法 及 び デ ー タ 収 集 方 法
1	定 格 連 続 試 験	運 転 方 法 : 起 動 指 令 → 定 格 出 力 → 停 止 指 令 ----- デ ー タ 収 集 方 法 : 停 止 指 令 2 時 間 後 に 起 動 指 令 に よ り 起 動 し、定 格 出 力 で 運 転 す る。起 動 指 令 100 時 間 後 に 停 止 指 令 に よ り 停 止 す る。以 下、発 電 時 間 1500 時 間 到 達 ま で 繰 り 返 す。1500 時 間 到 達 後 は 運 転 ケ ー ス 2 へ 移 る。
2	定 格 起 動 停 止 試 験	運 転 方 法 : 起 動 指 令 → 定 格 出 力 → 停 止 指 令 ----- デ ー タ 収 集 方 法 : 停 止 指 令 2 時 間 後 に 起 動 指 令 に よ り 起 動 し、定 格 出 力 で 運 転 す る。起 動 指 令 10 時 間 後 に 停 止 指 令 に よ り 停 止 す る。以 下、発 電 時 間 1500 時 間 到 達 ま で 繰 り 返 す。1500 時 間 到 達 後 は 運 転 ケ ー ス 3 へ 移 る。
3	最 低 負 荷 連 続 試 験	運 転 方 法 : 起 動 指 令 → 最 低 出 力 → 停 止 指 令 ----- デ ー タ 収 集 方 法 : 停 止 指 令 2 時 間 後 に 起 動 指 令 に よ り 起 動 し、最 低 出 力 で 運 転 す る。起 動 指 令 100 時 間 後 に 停 止 指 令 に よ り 停 止 す る。以 下、発 電 時 間 1500 時 間 到 達 ま で 繰 り 返 す。1500 時 間 到 達 後 は 運 転 ケ ー ス 1 へ 移 る。

###### ② 判定方法

図Ⅲ2.2.1.1.3.1-1 に示すように、「指標値」に対して「評価項目」の経時変化をプロットした場合、(評価項目ごとの) 基準値を下回る時点での指標値 a を (その指標値に対する) 耐久性と定める事を考えた。図Ⅲ2.2.1.1.3.1-2 に示すように、試験を行う「運転パターン」を加えて、これら 3 者の関係を試験により確認した。



図III 2.2.1.1.3.1-1 耐久性の考え方



図III 2.2.1.1.3.1-2 運転パターン

(3) データ収集の実施

データ収集結果を表III 2.2.1.1.3.1-2 に示す。試験場所でのユーティリティ関連の不具合が数回発生したが、両 PEFC 供試体とも、システムには大きなトラブルは発生せず、当初計画どおりの運転を完了した。

表III 2.2.1.1.3.1-2 データ収集状況

	供試体A	供試体B
設置	平成17年12月	平成18年02月
試験開始	平成18年01月	平成18年03月
試験終了	平成19年10月	平成19年09月
累積発電時間	約9,800時間 (追加検証含む)	約8,800時間 (3パターン×2サイクル)
累積発電回数	407回 (追加検証含む)	391回
備考	ユーティリティ不具合あり (断水、停電、ガスメーター故障)	ユーティリティ不具合あり (電圧上昇、接地抵抗絶縁不良)

今回設定した3つの試験パターンそれぞれについて、各評価指標に対する影響度合の違いを調べたところ、各運転パターンと指標値とは明確な相関が見られないことがわかった。即ち、同一の試験パターンであっても、1サイクル目と2サイクル目とで特定の指標値の劣化傾向に違いが見られるなど、明確な相関が確認できていない。これは、初期劣化の影響や、外気温、水温など外部条件の違いなどが要因の一つであると思われる。

(4) 評価方法の検討

今回取得したデータの中では、メーカーによる傾向の違いがみられなかった「発電効率」を耐久性評価項目とみなせる可能性があると考えられる。ただし、今回の試験結果をみると発電効率が10%低下した後も発電出力が初期値と変わっていない。従って、本指標値をもって真のシステム耐久性を定義付けるとまでは言い切れない可能性がある。現時点においては、あくまでも耐久性に関係した「指標値」として捉えるべきと判断する。

### 2.2.1.1.3.2 寒冷地性能評価試験

#### (1) 目的

特に寒冷地は熱需要が大きいため燃料電池システムの導入効果が大きく、寒冷地仕様として開発されている PEFC システムが、凍結や機器故障を発生させることなく起動・運転・停止できるか確認する耐寒性能（寒冷地仕様であることを明記する際の根拠とする）について評価する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.1.3.2-1 RF式に関するデータ収集項目

	屋内設置 FF 式	屋外設置 RF 式
試験内容	発電試験	・発電試験 待機試験 停電試験
計測/確認項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電試験で異常なき事</li> <li>・給排気部の温度</li> <li>・給排気トップ周辺の着氷状況</li> <li>・給気によって温度低下が懸念される箇所</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電、停止待機、停電中の各試験に異常なき事</li> <li>・製造業者の指定する耐寒性能上懸念されるシステム内部温度（例：電子基盤、スタック、脱硫器、FPS、冷却水ポンプ、燃焼エアブロウ、冷却水系イオン交換樹脂塔、ドレン水筐体配管、温水循環系配管等）</li> <li>・給排気部の温度</li> <li>・排気口周辺の着氷状況</li> <li>〔発電効率（燃料消費量、発電出力：ヒーター等による低下確認）〕※</li> <li>・〔排熱回収（低温による低下確認）〕※</li> </ul>

※安全性評価の際には不要な項目（性能評価時には必要）

##### ②データ収集方法

#### 1) 発電試験（FF式、RF式）

- a) 燃料電池発電ユニットを指定の温度になるように設置環境を整え、製造業者が指定する要領で設置する。（FF式においては給排気延長最大、曲がり最大数とすること）
- b) 各種データ収集のための測定機器を、所定の位置に接続・設置し、データ収集の準備をする。熱電対は、測定対象の表面に密着させて設置する。
- c) 運転方法は、「冷起動→最低負荷発電（3時間）→定格発電（3時間）→通常停止（停止工程終了まで）」とする。
- d) 起動操作10分前から測定を開始し起動から発電開始までと、最低負荷運転と定格出力運転をそれぞれ到達後3時間維持する。その後通常停止操作においても、凍結の恐れがある部分が平衡温度に達するまで測定する。

#### 2) 待機試験（RF式のみ）

- a) 発電試験の（1）（2）と準備は同様。
- b) 試験時間は最大5時間とする。ただし、機器内部の温度低下が1時間以上平衡状態になったことを確認した場合は終了とする。

### 3) 停電試験 (RF式のみ)

a) 発電試験のa)およびb)と準備は同様。

b) 停止している状態で電源の供給を断ち、凍結の恐れがある部分が0℃に達するまで測定する。試験時間は最大1時間とする。

## ③ 判定方法

### 1) 発電試験

起動時、各運転ケース、停止行程時の測定期間について、各収集データが規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、異常停止や排気部の凍結、外観異常もなく安全に運転及び停止すること。

また、定期的に排気トップの先端の状況を観察し、排気ドレンが着氷しないか状況を記録する。着氷が生じる場合は、氷の成長状況と排気トップの閉塞状況を観察し、閉塞に至った場合には安全に停止することを確認する。

### 2) 待機試験並びに停電試験

各収集データが製造業者の設計許容温度範囲内であり、凍結等による破損の無きことを確認する。

## (3) データ収集の実施

屋内設置のFF式について、上記データ収集方法に従って、実機データ収集（給排気筒延長3m、3曲り、外気温度-15℃、無風）を実施した結果から、データ収集すべき項目について、過不足なくデータ収集できていることが確認できた。

## (4) 評価方法の検討

### ① 発電試験

運転方法としては最低負荷時が条件的に厳しいことが確認できたため、冷起動状態から最低負荷状態を経て定格状態まで達することができるかどうかを確認することとした。具体的には、「冷起動→最低負荷発電（3時間）→定格発電（3時間）→通常停止（停止工程終了まで）」とした。

### ② 待機試験並びに停電試験

屋外設置式（RF式）の寒冷地仕様機については、発電中のみならず、停止中での耐寒性能が重要な要素となる。具体的には、燃料電池システム内部の保温ヒーター等が動作可能な「待機試験」と、電力系統事故等により保温ヒーター等の動作ができない「停電試験」とを、RF式に特有の試験とした。また、待機試験での保持時間は最大5時間、停電試験での試験時間は最大1時間とすることなど、試験条件をまとめた。

#### 2.2.1.1.4 成果の活用

##### (1) 安全性評価試験方法の検討

多様な PEFC 供試体を調達し、PEFC システムの安全性に関するデータ収集を実施して、平成 18 年度までに安全性試験に関する検討を完了した。

これらの成果を公的委員会「小規模燃料電池保安技術検討委員会」（事務局：社団法人日本電気協会）や規制当局に提供し、規制再点検の議論に活用された。

出力 10kW 未満で常圧型(燃料ガスを通ずる部分の圧力 0.1MPa 未満)の PEFC システム過圧防止装置省略時の安全性試験の検討の際に得られたデータは、過圧防止装置の省略に関する規制適正化を検討していた「小規模燃料電池保安技術検討委員会」（事務局：社団法人日本電気協会）に提供した。平成 18 年 3 月 15 日に本委員会における審議が完了し、一定の要件を満たす PEFC システムに関して、過圧防止装置を省略しても安全性を確保できるとの結論が出された。これを受けて、平成 18 年 10 月 27 日に電気事業法関連法規の条文改正がなされた。

可燃性ガス検知器省略に関しては、経済産業省殿から、現状の条文においても「可燃性ガス検知器の代替手法の適用を否定していないため、条文改正は不要であり、可燃性ガス検知器を省略しても安全であると判断した根拠をメーカーが保有していればよい」との見解をいただいた。なお、可燃性ガス検知器を省略しても安全であると判断するための根拠とするための統一の物差しとなる試験方法を標準化しておく必要があるとの判断から、可燃性ガス検知器省略時の安全性評価試験の作成を実施した。

EMC 試験については、小形 PEFC システムの JIS 制定案作成に活用された。

##### (2) 普及拡大のためのデータ収集

耐久性評価試験については、システムでの試験結果、ならびにシステム試験終了後に実施したセルスタックの調査結果を、「固体高分子形燃料電池スタックの劣化解析基盤研究」事業に提供し、加速劣化などの検討に役立てられた。本件は、同事業で平成 19 年度までの事業成果をまとめた報告書にも記載された。

また、耐寒性能試験については、燃料電池の新しい設置形態として今後の普及拡大が期待される寒冷地仕様機に求められる要素を、性能試験の形にまとめたものである。本件については現状、IEC/TC105 で定める国際標準においても対応する記述が無く、国際標準に先んじて検討をおこなったという位置付けである。

#### 2.2.1.2 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応

##### 2.2.1.2.1 固体酸化物形燃料電池に係わる基準・標準化検討

###### 2.2.1.2.1.1 供試体の調達

定置用で小形(発電出力 10kW 未満、最高使用圧力 0.1MPa 未満)の SOFC システムについて、国内及び海外のメーカーの開発状況を調査した結果を踏まえて、データを収集する SOFC システムの供試体(以下、SOFC 供試体と示す)の選定を行った。選定した SOFC 供試体の外観を図 III.2.2.1.2.1.1-1 に示す。なお、上記 SOFC 供試体はいずれもコージェネレーション仕様のものである。上記の SOFC 供試体は JIA 東京事業所に設置した。



京セラ



住友精密工業／東邦ガス



アキュメントリクス  
／新日鉄エンジニアリング



TOTO



HEXIS AG／ヒラカワガイドム



日本特殊陶業

図III.2.2.1.2.1.1-1 SOFC 供試体の外観状況

## 2.2.1.2.1.2. 安全性評価試験の検討

### 2.2.1.2.1.2.1 試験項目の選定

通常運転時において火災や火傷等の危険がないかどうか、また燃料電池の内部や外部で異常が発生したときに、安全に停止動作等に移行できるかどうか、という観点から、以下に示す7項目の試験を抽出した。

- 設置離隔距離検討のための試験
- 高温部における安全性試験
- 燃料遮断試験
- 制御電源異常時の安全性試験
- 制御機能喪失時の安全性試験
- 漏洩電流限度試験
- 停電試験

また、電気事業法関連の規制再点検をおこなう公的委員会「小規模燃料電池保安技術検討委員会」や、経済産業省殿からの指摘などにもとづき、以下に示す5項目の試験も併せて抽出した。

- 不活性ガス置換省略時の安全性試験
- システム内部の安全性試験
- 排ガスの安全性に関する試験
- 改質ガス漏洩時の安全性評価試験
- 過圧防止装置省略時の全性能試験

これら 12 項目の試験について、実機データ収集結果を踏まえた試験手法の見直しなどをおこない、安全性評価試験方法としてまとめた。

以下、上記各試験項目について、それぞれ具体的に記述する。

### 2.2.1.2.1.2.2. 不活性ガス置換省略時の安全性試験

#### (1) 目的

不活性ガスパージ実施時、不活性ガスパージ省略時、及び性能維持措置等の実施時における運転データを収集し、不活性ガスパージを省略した場合の安全性を評価する試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
燃料の瞬時流量、窒素ガス流量、燃料昇圧器出口圧力、脱硫器温度、改質器温度、セルスタック（温度・電圧）、パッケージ表面温度、発電ユニット内部のガス組成（H <sub>2</sub> 濃度、CO濃度、CH <sub>4</sub> 濃度、O <sub>2</sub> 濃度、N <sub>2</sub> 濃度）、周囲大気温度	パッケージ表面温度の許容値： 140℃以下 <sup>※1</sup> 周囲大気温度：5～35℃ <sup>※2</sup>

※1：JIS S 2122（家庭用ガス暖房機）の「操作時に手を触れおそれのある部分の表面温度」の規定による。

※2：試験室の温度条件、JIS Z 8703（試験場所の標準状態）に準ずる。

##### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-2 の各運転ケースについて、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-3 及び図Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-1 のデータ収集方法に従い、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-1 に記載のデータを収集する。なお、これらの条件は PEFC システムでデータ収集を行った条件と同じである。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-2 運転ケースと不活性ガスパージ方法等の詳細

No.	パージ方法	パージ方法の詳細
1	不活性ガスパージ実施	現行基準（火技省令第 35 条）に準じた不活性ガスパージを行う。 不活性ガス：窒素、二酸化炭素など ※窒素・水素混合気などの可燃性ガスを含むガスは不可
2	不活性ガスパージ省略 （性能維持措置等異常） <sup>※1</sup> 時	不活性ガスパージを実施しない（性能維持措置を動作させない）状態を人為的に作り出し、不活性ガスパージ省略時の安全性を検証する。
3	性能維持措置等 <sup>※2</sup> 実施時	不活性ガス以外の性能維持措置（代替パージ手法）等を実施する仕様の場合は、これを実施する。

※1：不活性ガスパーズ省略方法の例

ポンプ、ブロワの強制停止、可燃性ガス通路等の締め切り弁を強制開放、など

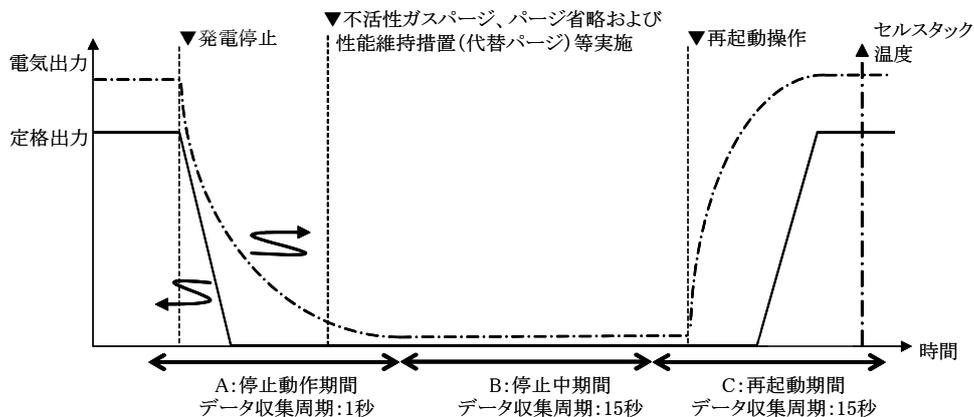
※2：性能維持措置等の実施例

不活性ガス以外のガス（空気、水蒸気など）によるパーズ、可燃性ガス通路等の締め切り等

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-3 SOFCシステムの状態とデータ収集期間・測定周期

記号	システム状態	システム状態の詳細及びデータ収集期間	測定周期
A	停止動作期間	定格発電にてパッケージ表面温度が安定 <sup>※1</sup> し、1時間経過してから停止操作を行い、表2に示す各パーズ方法によりシステム停止に至るまで。（停止操作開始10分前から、パーズ実施後1時間経過するまで）	1秒
B	停止中期間	パーズ実施によるシステム停止から、次の起動までの間。（停止動作期間終了後、12時間以上）ただし排ガス組成の分析は、停止動作期間終了後3時間とする。	15秒
C	再起動期間	12時間以上の停止中期間に続き、再起動操作から定格発電状態に移行するまで。（再起動操作開始10分前から、定格発電状態到達後、パッケージ表面温度が安定するまでの期間）	15秒

※1：「温度が安定」とは、温度上昇が30分間あたり0.5℃以下になった状態とする。



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-1 SOFCシステムの運転状態

### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.2-2に示す各運転ケースについて、停止動作期間から再起動期間が終了するまでの状態における各収集データが規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内で、外觀異常もなく安全に停止及び再起動することとした。

#### (3) データ収集の実施

不活性ガスパーズ実施時、省略時及び、性能維持措置として空気パーズ実施時について、停止動作期間における運転データを確認した結果、全データ収集項目について目的としたデータが取得できていることを確認した。また、不活性ガスパーズ省略時と性能維持措置

実施時の各ケースについて、SOFC システム内部の温度や圧力、排ガスのデータ推移は、不活性ガスパージ実施時と同様な変化を示し、安全上の問題なく停止及び再起動できることを確認した。

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法で、性能維持措置を含む不活性ガスパージの省略時の安全性について、適切に評価できることが確認された。

### 2.2.1.2.1.2.3 設置離隔距離試験

#### (1) 目的

燃料電池パッケージからの輻射熱により、燃料電池パッケージ周辺の建物壁など、可燃物の温度が異常に上昇しないことを確認するための試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
燃料の瞬時流量、ガス閉止弁表面温度、燃料昇圧器出口圧力、改質器温度、セルスタック（温度・電流・電圧）、パッケージ表面温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、周囲木壁温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、周囲大気温度	ガス閉止弁表面温度：85℃以下 <sup>※2</sup> パッケージ表面温度：95℃以下 <sup>※3</sup> 周囲木壁温度：100℃以下

※1：貯湯槽に熱源機が備わるものについては、その筐体についてJIS S 2109の温度上昇試験を適用する。

※2：85℃以下または耐熱試験によるガス通路の気密の項に適合し、かつ操作に支障なきことが確認された温度以下

※3：発電用火力設備の技術基準の解釈の「燃料電池の構造」の温度規定による。

##### ② データ収集方法

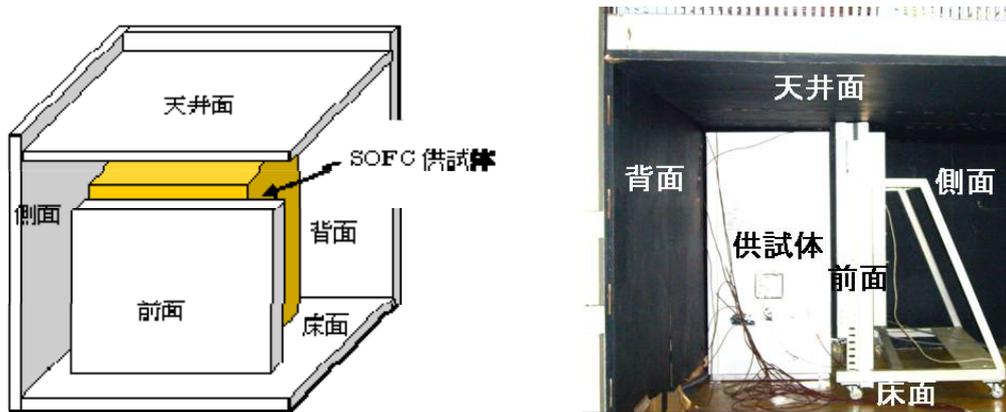
1) SOFC 発電ユニットを、周囲木壁（測温板 図 3.1.2.3-1 参照）と SOFC 発電ユニットの離隔距離が製造業者の指定する距離となるように、製造業者が指定する要領で設置する。ここで離隔距離は、製造業者の指定が無い場合は原則としてパッケージ外面から 10mm の距離とし、測温板の仕様は JIS S 2109（家庭用ガス温水機器）に従うこととする。

2) 表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2 の 2 つの運転ケースにおいて、同じく表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2 に記載のデータ収集方法に従って温度を測定する。ここで各データの測定周期は、通常運転ケースについては起動開始から通常停止完了まで常に 15 秒としたが、強制高温運転ケースについては異常発生操作開始 10 分前から異常停止後 3 時間までは過渡的な変化を的確に捉えるために 1 秒、その後の変化は緩慢であることから 15 秒とした。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2 運転ケースとデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及び測定方法
1	正常運転ケース	運転方法：冷起動→定格発電→通常停止操作→通常停止 測定方法： 起動操作 10 分前から測定を開始し、定格発電にて木壁面の温度が安定してから 3 時間経過後、通常停止操作を行って、セルスタックの温度が 100℃ 以下となるまで測定する。
2	異常運転ケース（強制高温運転）	運転方法：定格発電→異常運転（強制高温運転）操作※1→異常停止 測定方法： 定格発電にて木壁面の温度が安定してから 1 時間経過後、異常運転操作を行う。データは異常運転操作 10 分前から、異常停止後 12 時間測定する。ただし排ガス分析は、異常発生操作 10 分前から異常発生後 3 時間までとする。

※1: 正常運転ケースと比較し、より高温状態を引き起こすと考えられる異常運転操作とは、例えば燃料利用率を人為的に低下させたり、オフガス燃焼量を強制的に増加させることである。



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-1 設置離隔距離試験方法における測温板の配置

### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2 に示す各運転ケースのデータ収集期間において、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-1 に示す各収集データが規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転及び停止すること。

#### (3) データ収集の実施

通常運転ケースと異常運転ケースそれぞれについて、周囲木壁（最高 62.3℃）、パッケージ表面（最高 66.5℃）の温度が許容値（表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-3 参照）の範囲内であることを確認した。なお、今回調達した全ての SOFC 供試体についても同様に、目的としたデータが取得できており、また各温度が許容値の範囲内であった。

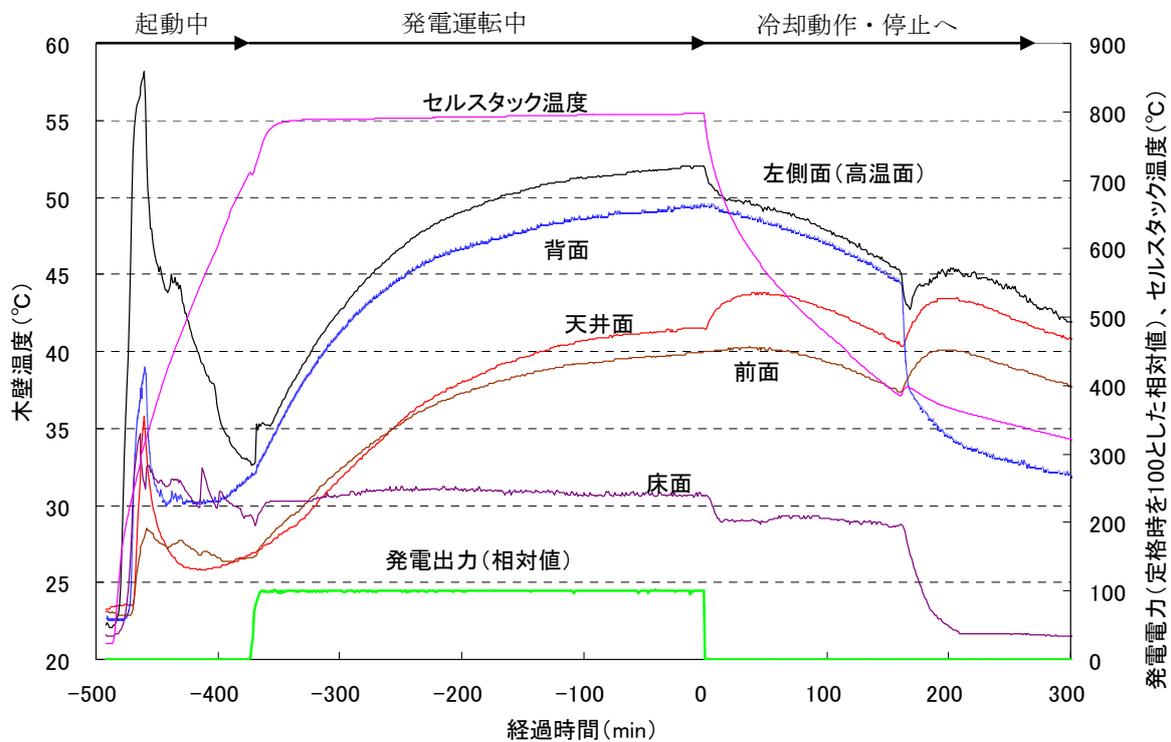
また図Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2 に通常運転ケースについてデータ収集した一例をそれぞれ示す。図の横軸は経過時間であるが、停止操作時をゼロとしている。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-3 試験結果の一例

	測定点	定格到達後の最高温度 (°C)		許容値
		正常運転ケース	強制高温運転ケース	
パッケージ表面	天井面	49.5	66.5	140°C <sup>*1</sup> (操作部は 60°C)
	背面	47.1	53.9	
	右側面	51.8	53.2	
	左側面	55.6	62.6	
	前面	48.4	51.1	
	床面	—	26.9	
周囲木壁	天井面	43.8	53.3	・正常運転ケース 100°C <sup>*2</sup> ・異常運転ケース 135°C <sup>*2</sup> (室温 35°C基準)
	背面	49.5 <sup>※4</sup>	57.2	
	右側面	38.0	43.0	
	左側面	52.0 (58.2)	62.3	
	前面	40.3	52.0	
	床面	31.2 (34.7)	37.6	
参考	排気温度	68.4	53.2	260°C
	セルスタック温度	797.4	836.0	—
	大気温度	20.8	24.9	—

※1： JIS S 2109(家庭用ガス温水機器)の「操作時に手を触れるおそれがある部分の表面」温度の規定による

※2：「対象火気設備等及び対象火気器具等の離隔距離に関する基準」の規定による



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2 データ収集結果の一例 (通常運転ケース、周囲木壁温度など)

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法で、SOFC システムの設置離隔距離を評価できることが確認された。

### 2.2.1.2.1.2.4 制御機能喪失時の安全性試験

#### (1) 試験方法検討の目的

システムが制御機能を失った場合における燃料電池の挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

なお、ここでは制御機能喪失の実施手法として、ウォッチドッグタイマの出力を停止させることによる通信異常を例とする測定方法を記載するが、これと同様な状態を模擬できれば、制御機能喪失の実施方法はこの例に限定されない。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.4-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
燃料の瞬時流量、燃料昇圧器出口圧力、改質器温度、セルスタック（温度・電流・電圧）、パッケージ表面温度、ウォッチドッグタイマ出力、周囲大気温度	ウォッチドッグタイマ出力：オシロスコープでの測定周期は 1ms

##### ②データ収集方法

1) 表Ⅲ2.2.1.2.1.2.4-2の運転ケースについて、同じく表Ⅲ2.2.1.2.1.2.4-2のデータ収集方法に従って表Ⅲ2.2.1.2.1.2.4-1に記載のデータを収集する。なお、各データの測定周期は、異常発生操作開始10分前から異常停止後3時間までは過渡的な変化を的確に捉えるために1秒、その後の変化は緩慢であることから15秒とする。

2) データ収集後に、目視等により外観異常等が無いことを確認する。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.4-2 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース（制御機能喪失）	運転方法：定格発電→異常発生（制御機能喪失）操作※1→異常停止 測定方法： 定格発電にて、パッケージ表面温度が安定してから1時間経過後、異常発生操作を行う。データは異常発生操作10分前から、異常停止後12時間測定する。 ただし排ガス分析は、異常発生操作10分前から異常発生後3時間までとする。

※1：制御機能喪失の異常発生操作は、次の手順で行うこととする。

- 1) ウォッチドッグタイマの出力を人為的に停止することにより、制御装置異常を模擬する。
- 2) 補機電源遮断後、（補機は動作しないようにした上で）制御用電源を再投入し、データ収集を継続する。

### ③判定方法

データが規定の許容範囲内、かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に停止すること。

#### (3) データ収集の実施

ウォッチドッグタイマ出力停止以外の異常操作方法でも御機能喪失状態を適切に模擬してシステム挙動を把握できることを確認した。また、本 SOFC 供試体は制御機能喪失してから数秒以内に、異常な温度上昇や圧力上昇などなく安全に停止することも確認された。

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、運転中に制御機能が喪失した場合の安全性について、ウォッチドッグタイマを有しない SOFC システムも含めて適切に評価を行なうことができた。

## 2.2.1.2.1.2.5 高温部における安全性試験

### (1) 試験方法検討の目的

パッケージ内の温度が異常に上昇しないこと及び、インバーター等の電気部品が耐熱温度以上にならないことを確認することで、安全性を評価する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.5-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
セルスタック（温度）、セルスタック断熱材表面※1、改質器断熱材表面※1、パッケージ表面温度、点火装置表面温度、操作時に手を触れる部分の温度（起動・停止スイッチなど）、周囲大気温度、インバーター制御基板周辺温度、インバータースイッチング素子近傍	<ul style="list-style-type: none"> <li>セルスタック断熱材表面温度：製造業者規定の耐熱温度以下であること（例えば 80℃）</li> <li>操作時に手を触れる部分の温度（起動・停止スイッチなど）：60℃以下または 70℃以下</li> <li>インバーター制御基板周辺温度：製造業者規定の耐熱温度以下であること（例えば 60℃）</li> </ul>

※1：改質器とセルスタックが同一の断熱ケースに収納されている場合は、改質器断熱材表面温度とセルスタック断熱材表面温度を、一箇所で測定しても良い。

#### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.5-2 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
1 正常運転ケース	運転方法：冷起動→定格発電→通常停止操作→通常停止 測定方法： 起動操作 10 分前から測定を開始し、定格発電にてパッケージ表面の温度が安定※6 してから 3 時間経過後、通常停止操作を行って、セルスタックの温度が 100℃以下となるまで測定する。

2	異常運転ケース (強制高温運転)	運転方法：定格発電→異常運転（強制高温運転）操作 <sup>※1</sup> →異常停止 測定方法： 定格発電にてパッケージ表面の温度が安定してから 1 時間経過後、異常運転操作を行う。データは異常運転操作 10 分前から、異常停止後 12 時間測定する。ただし排ガス分析は、異常発生操作 10 分前から異常発生後 3 時間までとする。
---	---------------------	--

※ 1：表Ⅲ2.2.1.2.1.2.3-2の強制高温運転と同じ。

### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.5-2に示す各運転ケースの測定期間について、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.5-1に示す各収集データが、規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転及び停止すること。

#### (3) データ収集の実施

SOFC システムには、プロセス制御基板等を高温部と同一のパッケージ内に内蔵する発電ユニット内蔵型と、別パッケージの補機ユニット内に内蔵する補機ユニット内蔵型があるため、本検討では両方のタイプについて試験方法の妥当性を確認した。また、電気部品周辺温度は 50℃以下であり、電気部品の仕様の点から、安全性に関する問題の無い範囲内に保たれて運転されることを確認した。

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、発電ユニット内蔵型、補機ユニット内蔵型ともに、適切に高温部の安全性を評価することができた。

## 2.2.1.2.1.2.6 漏洩電流限度試験

### (1) 試験方法検討の目的

システムから漏洩する電流量を把握して、安全性を確認する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

- 1) PEFC システムでの試験方法案を参考に測定項目の検討を行い、SOFC システムの定格発電中に SOFC システムの接地端子と大地間に 1 k $\Omega$  の抵抗を含んだフィルター回路を接続し、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.6-1 に示す漏洩電流量及び参考データを測定することとした。
- 2) 漏洩電流値は特に試験時における湿度の影響を受けるため、試験室の温度及び湿度の条件は JIS Z 8703(試験場所の標準状態)に準ずることとした。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.6-1 データ収集項目

測定項目	測定細目	測定機器	測定周期	許容値など
漏洩電流	フィルター回路の端子電圧 (漏洩電流)	電圧計	15 秒	フィルター回路の端子電圧 5V 以下または漏洩電流が 5mA 以下
参照温度・湿度	周囲大気温度 周囲大気湿度	温度計 湿度計		温度：5～35℃

## ②データ収集方法

- 1) 供試体の配管接続部分を絶縁性のものに換え、器体据付部を床面から絶縁する。  
ただし、燃料電池本体と貯湯槽の間の循環ラインは、設置状況のままとする。
- 2) 供試体の接地端子と大地間に、1kΩの抵抗を含んだフィルター回路を接続する。
- 3) 燃料電池システムを起動し、定格発電到達から30分以上経過した後、排熱回収を行っている状態にて、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.6-1に記載の各データを収集する。

## ③判定方法

太陽光発電システム用インバータの認証基準である「漏洩電流が5mA以下であること。または、フィルターの出力端子電圧が5V以下であること」のレベルが担保できるかを確認する。なお、直流発電部分と燃料配管が電氣的に絶縁されていることを考慮すれば、漏洩電流による燃料配管の腐食は起こり難いことから、上記基準を満足すれば十分安全性を担保できると考えられる。

### (3) データ収集の実施

全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることを確認した。また、今回調達したいずれのSOFCシステムにおいても、太陽光インバーターに対する認証基準のレベルが担保できることを確認した。

### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、適切にSOFC供試体の漏洩電流を評価することができた。

## 2.2.1.2.1.2.7 燃料遮断試験

### (1) 目的

燃料の供給に異常が起きた場合における燃料電池発電ユニットの挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

燃料遮断による燃料供給配管への影響も確認するため、燃料配管の入口圧力も測定することとした。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
送・受電電力（受電端及び送電端の各電圧、電流及び電力）、燃料の瞬時流量、燃料導入部圧力、燃料昇圧器出口圧力、改質器温度、セルスタック（温度・電圧・電流）、パッケージ表面温度、排熱回収（貯湯槽往）温度、排熱回収媒体流量、貯湯槽上部温度、周囲大気温度	送・受電電力： 製造業者規定の設計値 以下であること

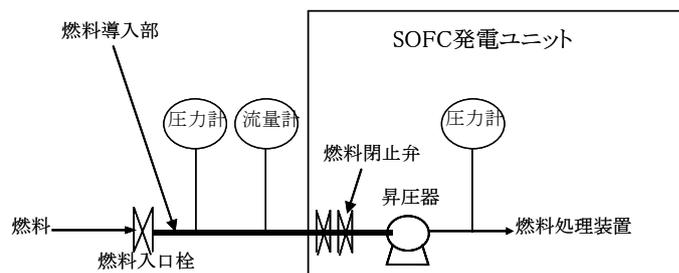
## ②データ収集方法

- 1) 各種データ収集のための測定機器を所定の位置に接続・設置し、データ収集の準備をする。(図Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1参照)
- 2) 表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-2の運転ケースについて、同じく表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-2のデータ収集方法に従い、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1に記載のデータを収集する。なお、データ収集の周期は、燃料遮断操作開始10分前から異常停止後3時間までは、過渡的なデータ変化を的確に捉えるために1秒、その後は15秒とする。
- 3) データ収集後に目視等により外観異常等が無いことを確認する。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-2 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース(燃料供給停止)	<p>運転方法：定格発電→異常発生(燃料供給停止)操作<sup>※1</sup>→異常停止</p> <p>測定方法：            定格発電にてパッケージ表面の温度が安定してから1時間経過後、異常発生操作を行う。データは異常発生操作10分前から、異常停止後12時間測定する。            ただし排ガス分析は、異常発生操作10分前から異常発生後3時間までとする。</p>

※1：燃料入口栓を閉止する。



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1 燃料供給フローと測定位置

## ③判定方法

- 1) 燃料ガス供給の停止により、製造業者規定の状態に移行し、確実に燃料の流入が遮断され、燃料電池発電ユニット内部及び表面の温度、排ガスの温度及び成分などが許容範囲内であり、外観異常もなく安全に停止すること。
- 2) 燃料ガス供給の停止後、排熱回収温度に異常な温度上昇が認められないこと。

### (3) データ収集の実施

データ収集の結果、燃料遮断後に排ガス温度が約 20℃上昇するが、最高でも 140℃程度であり、基準値である 260℃と比較して十分に低く、その他異常な温度上昇、圧力上昇は見られなかった。なお、停止後に燃料供給配管内が-2kPa 程度の負圧となるが、燃料供給配管に影響を及ぼすほどの圧力変化ではなく、外観異常等も認められなかった。

なお、他の SOFC 供試体についてもデータ収集を行った結果、今回調達した全ての SOFC 供試体について、目的としたデータが取得できており、安全かつ速やかに停止することが

確認された。

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、運転中に燃料が遮断された場合の安全性について、適切に評価を行なうことができた。

### 2.2.1.2.1.2.8 停電試験

#### (1) 試験方法検討の目的

停電が起きた場合における燃料電池発電ユニットの挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

データ収集項目は、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1 と同じ。

##### ②データ収集方法

1) 必要に応じ、停電に至る外乱の影響を防ぐ措置を施す。

(例えば排熱回収・貯湯ユニットの沸き上げ停止を防ぐために、貯湯槽から出湯を行う、など)

2) 表Ⅲ2.2.1.2.1.2.8-1 の運転ケースについて、同じく表Ⅲ2.2.1.2.1.2.8-1 の測定方法に従い、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1 に記載のデータを収集する。

3) データ収集後に、目視等により外観異常等が無いことを確認する。

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.8-1 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース(停電)	運転方法：定格発電→異常発生(停電)操作 <sup>※1</sup> →3分後に復電操作 測定方法： 定格発電にてパッケージ表面の温度が安定してから1時間経過後、異常発生操作及び復電操作を行う。 データは異常発生操作10分前から、異常発生操作後12時間測定する。 ただし排ガス分析は、異常発生操作10分前から復電操作後3時間までとする。

※1：燃料電池発電ユニット及び排熱回収・貯湯ユニットに接続される送受電回路を同時に開放する。

##### ③判定方法

- 送受電回路の開放により運転を停止する燃料電池発電ユニット及び排熱回収・貯湯ユニットは、製造業者規定の状態に移行し、確実に燃料の流入が遮断され、燃料電池発電ユニット内部及び表面の温度などが許容範囲内であり、外観異常もなく安全に停止すること。また、送受電回路復電後も、製造業者規定の状態に移行し、燃料の流入、燃料電池発電ユニット内部及び表面の温度などが許容範囲内であり、外観異常も起こらないこと。
- 送受電回路を開放しても運転を継続する燃料電池発電ユニットは、製造業者規定の状態

に移行し、燃料電池発電ユニット内部及び表面の温度などが許容範囲内であることを維持しつつ、外観異常もなく、安全かつ確実に運転を継続すること。

3) 停電及び復電後、排熱回収温度に異常な温度上昇が認められないこと。なお、バックアップボイラ付属の排熱回収・貯湯ユニットは、別途 JIS S 2093 に従い、停電時の安全性を確認すること。

### (3) データ収集の実施

データ収集の結果、製造業者規定の通り、停電発生後に系統解列状態のもとで運転を継続し、復電後には再起動して再系列することが確認された。さらに、この一連の工程において、異常な温度上昇、圧力上昇は見られなかった。さらに、停電時に停止工程に移行する仕様の SOFC 供試体を含む他の全ての SOFC 供試体についてもデータ収集を行った結果、目的としたデータが取得できており、安全かつ速やかに製造業者規定の工程に移行することが確認された。

### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、停電発生時の安全性について、SOFC システムの仕様に係らず、適切に評価を行なえることを確認した。これにより、停電時の安全性を評価する試験方法を確立することができた。

## 2.2.1.2.1.2.9 制御電源異常時の安全性試験

### (1) 目的

制御電源に異常が起きた場合における燃料電池発電ユニットの挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

データ収集項目は、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.7-1と同じ。

#### ② データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.9-1 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース(制御電源異常)	<p>運転方法：定格発電→異常発生（制御電源異常）操作→異常停止</p> <p>測定方法：            定格発電にてパッケージ表面の温度が安定してから1時間経過後、異常発生操作を行う。データは異常発生操作10分前から、異常停止後12時間測定する。            ただし排ガス分析は、異常発生操作10分前から異常停止後3時間までとする。</p>

### ③判定方法

- 1) 制御装置電源の遮断により、製造業者規定の状態に移行し、確実に燃料の流入が遮断され、燃料電池発電ユニット内部及び表面の温度などが許容範囲内であり、外観異常もなく安全に停止すること。
- 2) 異常発生操作後、排熱回収温度に異常な温度上昇が認められないこと。

### (3) データ収集の実施

データ収集の結果、過渡的な変化を含めて全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることを確認した。また、SOFCシステムの制御電源が異常を起こした場合に、異常な温度上昇や圧力上昇は見られず、安全かつ速やかに停止することが確認された。

### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、制御電源の異常が発生した場合の安全性について、適切に評価を行なうことができた。

## 2.2.1.2.1.2.10 システム内部及びパッケージ表面の温度に関する安全性の試験

### (1) 目的

SOFC システム内部及び表面の温度に関する挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

尚、本試験ならびに「2.2.1.2.1.2.11 排ガスの安全性に関する試験」、「2.2.1.2.1.2.12 改質ガス漏洩時の安全性評価試験」については、SOFC システムの規制適正化を検討していた「小規模燃料電池保安技術検討委員会」（事務局：社団法人日本電気協会）にて、SOFC システムに特有の追加検討課題としてとりまとめられたことから試験方法を確立した。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
燃料の瞬時流量、燃料昇圧器出口圧力、改質器温度、セルスタック（温度・電流・電圧）、オフガス燃焼部温度、パッケージ表面温度、インバータ制御基板周辺温度、プロセス制御基板周辺温度、排気口直後の排ガス温度、周囲大気温度	排気口直後の排ガス温度：260℃以下

#### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2 運転ケース及びデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及び測定方法
1	正常運転ケース	表 3.1.2.5-2 と同じ。
2	異常運転ケース(強制高温運転)	
3	異常発生ケース(制御機能喪失)	表 3.1.2.4-2 と同じ。
4	異常発生ケース(燃料ガス停止)	表 3.1.2.7-2 と同じ
5	異常発生ケース(停電)	表 3.1.2.8-2 と同じ
6	異常発生ケース(制御電源異常)	表 3.1.2.9-1 と同じ

### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2に示す各運転ケースの測定期間について、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-1に示す各収集データが、規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転または停止すること。

#### (3) データ収集の実施

データ収集の結果、通常運転時、強制高温運転時ともに、異常な温度上昇は見られなかった。表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2 記載の他の異常発生ケース（制御機能喪失ケース、燃料遮断ケース、停電ケース、制御電源異常ケース）においても同様に、異常な温度上昇は見られなかった。

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、SOFC システムが異常となった時だけでなく、通常運転時も含めて、システム内部及びパッケージ表面の安全性に関し、適切に評価できることを確認した。

### 2.2.1.2.1.2.11 排ガスの安全性に関する試験

#### (1) 試験方法検討の目的

SOFC システムは発電ユニットの排ガスが高温となったり、高濃度の CO を含む排ガスが排出される恐れがあるため、排ガスの温度及び組成に関する挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.11-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
セルスタック（温度）、パッケージ表面温度、排気口直後の排ガス温度、排気口直後の排ガス濃度（CO 濃度、H <sub>2</sub> 濃度、THC 濃度、NO <sub>x</sub> 濃度、SO <sub>x</sub> 濃度、O <sub>2</sub> 濃度、CO <sub>2</sub> 濃度）、周囲大気温度	CO 濃度：0.14%以下 <sup>※1</sup> (O <sub>2</sub> =0%換算値)

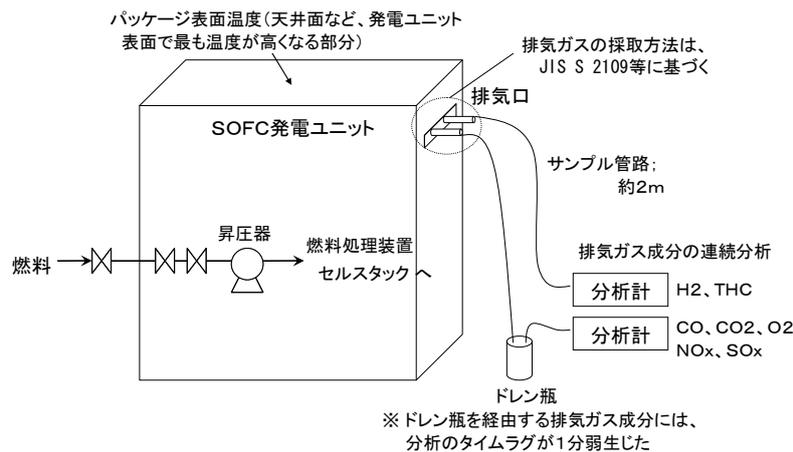
※1：ガス用品の技術上の基準等に関する省令（平成20年1月28日 通商産業省令第5号）の規定による。

##### ②データ収集方法

- 1) 運転ケース及びデータ収集方法は表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2と同じ。
- 2) 各種データ収集のための測定機器を、所定の位置に接続・設置し、データ収集の準備をする。熱電対は、測定対象の表面に密着させて設置する。（図Ⅲ2.2.1.2.1.2.11-1 参照）
- 3) 必要に応じ、異常運転及び異常停止を実施する際に伴う外乱の影響を防ぐ措置を施す。  
（例えば排熱回収・貯湯ユニットの沸き上げ停止を防ぐために、貯湯槽から出湯を行う、

など)

- 4) 表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2 に示す 6 つの運転ケースにおいて、同じく表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2 に記載されたデータ収集期間の間、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.11-1 に記載の全てのデータを収集する。また、外観異常（異常音、異臭等）の無いことを確認し、結果を記録する。
- 5) 異常発生操作を行う際は、それぞれの操作を実施から 15 分経過しても、製造業者規定の状態が確認できない場合は、製造業者との取り決めによる時間（最大 30 分）経過後に測定を終了する。



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.11-1 SOFCシステムのデータ収集

### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2 に示す各運転ケースの測定期間について、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.11-1 に示す各収集データが、規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転または停止すること。

#### (3) データ収集の実施

データ収集の結果、正常運転時、制御機能喪失時ともに排ガスの温度が異常に上昇したり、排ガス中の微量有害成分の濃度が異常に上昇しないことを確認した。特に CO に関しては、屋内設置の開放燃焼式を除くガス機器の安全基準（2800ppm O<sub>2</sub>=0%換算値）を超えることはないことを確認した。表Ⅲ2.2.1.2.1.2.10-2 記載の他の異常発生ケース（制御機能喪失ケース、燃料遮断ケース、停電ケース、制御電源異常ケース）においても同様に、異常な温度上昇や異常な濃度の CO の排出は見られなかった。

#### (4) 評価方法の検討

排ガス成分の測定に関しては以下の知見が得られた。

JIS 規格では、起動工程、定格運転、停止工程等の各工程の平均値を記録することとあるが、例えば起動工程期間全体で平均値をとると、瞬時最大値の CO 濃度は同じでも、起動時間の長短によって平均値が大きく変動する。

また、JIS 規格に基づく試験方法では、測定した CO 濃度について、同じ排ガス中の O<sub>2</sub>

濃度による O2=0%換算値を算出することとなっている。

この換算方法について、SOFC システムの運転状態(特に起動工程や停止工程)によっては排ガス中の酸素濃度が 21%に近くなることがあり、この時に換算係数が大きくなって見かけの O2=0%換算値も大きくなる傾向がある。

これらの知見に関しては、後述の排ガス測定試験においてさらに検討を行った。

## 2.2.1.2.1.2.12 改質ガス漏洩時の安全性評価試験

### (1) 試験方法検討の目的

改質ガスが改質器の下流から漏洩した場合における排ガスや換気ガスの組成等を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

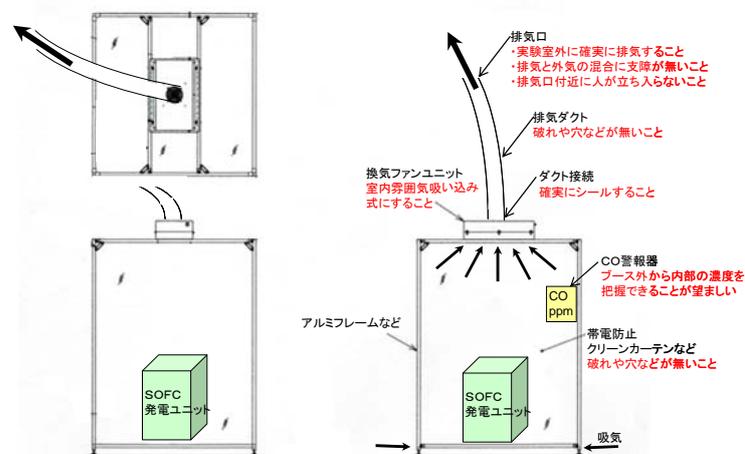
表Ⅲ2.2.1.2.1.2.12-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
セルスタック(温度)、パッケージ表面温度、排気口直後の排ガス温度、排気口直後の排ガス濃度、パッケージ換気ガス濃度(CO濃度、NOX濃度、O2濃度、CO2濃度)、周囲大気温度	CO濃度:0.14%以下 (O2=0%換算値)

#### ②データ収集方法

SOFC 発電モジュール内の改質ガス流路に分岐管を設け、運転中に流量を調整して改質ガスを漏洩させることは極めて困難であるため、カソード空気に改質ガス漏洩量に相当する CO を含む混合気を供給することで、改質ガス漏洩状態を模擬することとした。具体的な手順は以下のとおり。

試験を行なう SOFC 発電ユニットから、CO を含む排気や換気が排出されるリスクに備え、SOFC 発電ユニットを図Ⅲ2.2.1.2.1.2.12-1 に示すようなクリーンブース内に設置する。



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.12-1 試験実施時のクリーンブース

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.12-2 運転ケース及び測定方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
改質ガス漏洩ケース	<p>運転方法：            定格発電→微量漏洩操作<sup>※1</sup>→多量漏洩操作<sup>※1</sup>→大量漏洩操作<sup>※1</sup>→通常停止</p> <p>測定方法：            ・定格発電にてパッケージ表面の温度が安定してから1時間経過後、微量漏洩操作を行い、微量漏洩状態を3時間模擬する。            ・安全な範囲内で運転が継続していることを確認し、微量漏洩操作から3時間後に多量漏洩操作を行い、多量漏洩状態を5分間模擬する。            ・安全な範囲内で運転が継続していることを確認し大量漏洩操作から5分後に大量漏洩操作を行い、大量漏洩状態を5分間模擬する。            ・安全な範囲内で運転が継続していることを確認し、大量漏洩操作から5分後に大量漏洩操作を停止し、システムを停止する。            ・データは微量漏洩操作10分前から、システム停止後3時間測定する。</p>

※1：例えば、カソード空気吸気口に空気及び各漏洩ケースに相当するCOを含むCO/空気混合気のポンペを準備し、各漏洩ケースに応じて漏洩を模擬する混合ガス等を切り替え供給する。

- ・ 起動→定格発電及び大量漏洩操作停止後：空気供給ラインから空気を供給
- ・ 微量漏洩ケース：システム保護装置が作動する漏洩量の1/4相当以下のCO濃度を含むCO/空気混合気を供給
- ・ 多量漏洩ケース：システム保護装置が作動する漏洩量相当のCO濃度を含むCO/空気混合気を供給
- ・ 大量漏洩ケース：システム保護装置が作動する漏洩量相当の2倍以上のCO濃度を含むCO/空気混合気を供給

なお、同様の漏洩状態を模擬できれば、漏洩の具体的手法はこれに限定されない。具体的な模擬漏洩の発生方法と安全対策等については、製造業者に確認すること。

### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.12-2に示す各運転ケースの測定期間について、表Ⅲ2.2.1.2.1.2.12-1に示す各収集データが、規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転を継続すること。

#### (3) データ収集の実施

データ収集の結果、過渡的な変化を含めて全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることを確認した。また、排ガス、換気ガス中のCO濃度は屋内設置の開放燃焼式を除くガス機器の許容値（2800ppm O<sub>2</sub>=0%換算値）を超えることはないことを確認した。

なお、表に示した大量漏洩ケースだけでなく、微量漏洩ケースや多量漏洩ケースについても、排気口や換気口から許容値を上回るCOが排出されることはないことを確認した。

#### (4) 評価方法の検討

今回検討したデータ収集方法により、改質ガスが漏洩した場合のSOFCシステムの排ガスに関する安全性を適切に評価できることを確認した。

## 2.2.1.2.1.2.13 過圧防止装置省略時の安全性試験

### (1) 試験方法検討の目的

過圧防止装置を省略した際の安全性を評価する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

PEFC システムでの過圧防止装置省略に向けた安全性試験を参考に、SOFC システムの特徴を考慮し、データ収集方法の検討を実施した。

#### ①データ収集項目

- 1) 耐圧部分圧力、送電端出力、セルスタック温度、燃料流量、窒素ガス流量（不活性ガスパーシタージュ実施の場合）
- 2) 耐圧部分の変形、破損の目視確認、異常音、異常臭の確認

#### ②データ収集方法

##### 1) 通常運転試験

各燃焼部分の温度が所定の点火温度以下になった状態から起動し、出力が定格出力（最大燃料消費量による運転状態）到達後 3 時間運転状態を保持する。その後停止操作を行い、1 時間経過後、かつ、圧力降下を確認できた後にデータ収集を終了する。起動、定格、停止の一連の運転工程の中で最も運転圧力の高い状態を確認する。

##### 2) 制御電源異常試験

- a) 定格出力到達後 30 分以上経過していることを確認し、測定開始 10 分後に制御装置の電源を遮断する。このとき、異常音、異臭等が発生しないか注視し、結果を記録する。
- b) 定格出力時よりも高い運転圧力が確認された場合は、最大圧力の運転状態において制御装置の電源を遮断する。このとき、異常音、異臭等が発生しないか注視し、結果を記録する。
- c) 制御装置の電源を遮断してから 1 時間経過後、かつ、圧力降下を確認できた後にデータ収集を終了する。
- d) 耐圧部分の変形、損傷を確認し、結果を記録する。

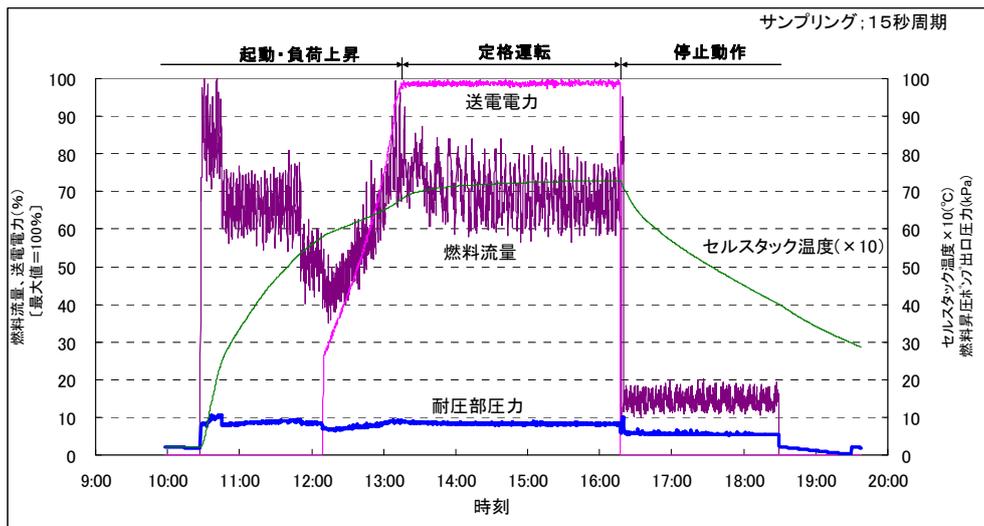
#### ③判定方法

耐圧部分の最大圧力及び試験時の外観異常を確認して記載する。

### (3) データ収集の実施

#### 1) 通常運転試験

燃料電池システムの起動から定格運転、停止の一連の運転動作において、可燃性ガスが流通する耐圧部分の圧力等を測定した。運転圧力測定結果を表Ⅲ2.2.1.2.1.2.13-1、供試体①の運転データを図Ⅲ2.2.1.2.1.2.13-1 に示す。可燃性ガスが流通する耐圧部分の圧力が高くなる工程は、供試体①及び供試体②ともに、起動工程時と定格工程時であることを確認した。



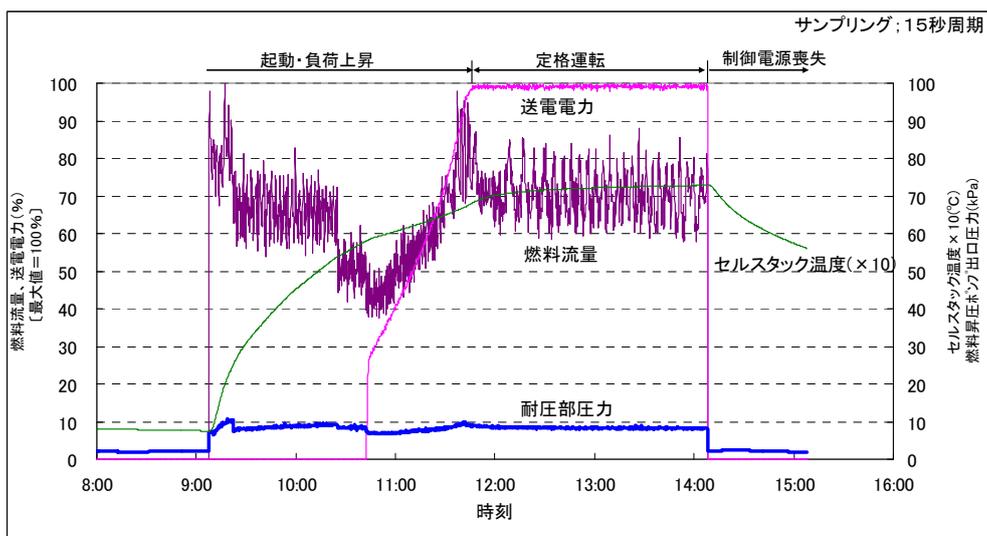
図Ⅲ2.2.1.2.1.2.13-1 起動～停止時の運転データ（供試体②）

表Ⅲ2.2.1.2.1.2.13-1 運転圧力測定結果

メーカー	電気出力 (定格)	最高使用圧力 (kPa)	圧力測定 箇所	運転圧力の最大値 (kPa)		
				起動時	定格運転時	停止時
供試体①	1 kW 級	100 未満	燃料昇圧 ポンプ出口	27	19	20
供試体②	1 kW 級	100 未満	燃料昇圧 ポンプ出口	12	9	10

## 2) 制御電源異常試験

供試体②（定格運転時）の制御電源異常試験の運転データを図Ⅲ2.2.1.2.1.2.13-2 に示す。制御電源の喪失により正常な運転制御が行われない場合の異常な圧力上昇の有無を確認したが、耐圧部分の異常な圧力上昇や変形や破損は観測されず、安全であることが確認された。



図Ⅲ2.2.1.2.1.2.13-2 起制御電源異常時の運転データ（供試体② 定格時の異常操作）

#### (4) 評価方法の検討

SOFC システムにおいては、起動状態から定格状態への移行時などの過渡状態において、数秒程度の過渡的な圧力上昇を示す SOFC 供試体もあり、データ収集のサンプリング周期は PEFC システムと同様に「1 秒」とする必要がある。

また、測定終了までの時間について、PEFC システムでは、異常操作後「6 時間」としているが、SOFC システムでは異常操作や停止操作直後に圧力変化が観測されるため、操作後、圧力変化が収束すれば、測定を終了してよいと考える。

### 2.2.1.2.1.3 性能試験方法の検討

#### 2.2.1.2.1.3.1 試験項目の選定

PEFC システムについては、「定置用固体高分子形燃料電池の標準化に関する調査研究」事業において各種性能試験方法が JIS 規格としてまとめられている（表Ⅲ2.2.1.2.1.3.1-1 参照）。これら性能試験方法について、SOFC システムの構成や運転特性等の相違点を踏まえて平成 19 年度に検討すべき 6 つの試験項目を抽出した。抽出した試験項目を表Ⅲ2.2.1.2.1.3.1-2 に示す。

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.1-1 PEFC システムの JIS 規格にて規定される性能試験の項目

基本性能	燃料消費量試験	電気出力試験
	気密性試験	発電効率試験
	点火・燃焼試験	排熱回収効率試験
	起動試験	負荷変動特性試験
	停止試験	負荷追従特性試験
環境性	騒音試験	排水測定試験
	排ガス測定試験	
耐環境性	耐風試験	温湿度サイクル試験
	耐雨試験	

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.1-2 抽出した試験項目

基本性能	点火・燃焼試験	負荷追従特性試験
	負荷変動特性試験	
環境性	排ガス測定試験	
耐環境性	耐風試験	耐雨試験

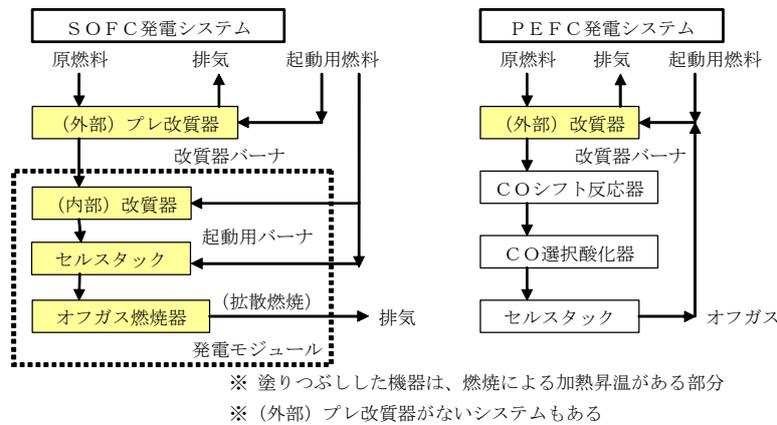
#### 2.2.1.2.1.3.2 点火・燃焼試験

##### (1) 目的

SOFC システムは、燃焼過程において以下（図Ⅲ2.2.1.2.1.3.2-1 参照）のように PEFC システムと相違する点があるので、この特徴を踏まえて起動昇温時から発電運転時を経て停止降温時までの燃焼状態を確認する必要がある。

また、SOFC システムのセルスタック部材は熱衝撃に弱いセラミックであるため、PEFC システムのように停止降温時に原燃料の供給を直ぐに断ってしまうのではなく、微量の燃料を流し燃焼加熱を継続しながらセルスタック部を時間をかけてゆっくりと降温させることが多い。（ある程度の温度レベルまで降温したら、その後は燃料供給を断ち自然降温させ

る。)



図Ⅲ2.2.1.2.1.3.2-1 SOFC システムと PEFC システムの相違

(2) データ収集方法の検討

①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.2-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
改質器温度、セルスタック (温度)、オフガス燃焼部温度、改質器バーナ燃焼火炎 <sup>※1</sup> 、セルスタック部バーナ燃焼火炎 <sup>※1</sup> 、オフガス燃焼部燃焼火炎 <sup>※1</sup> 原燃料流量、排気口直後の排ガス温度、排ガスの成分ガス濃度、周囲大気温度	改質器バーナ燃焼火炎など： 火炎を検知すること。 火炎検知設備を設備しないシステムにあっては、セルスタックなどの温度上昇及び排ガス成分の濃度変化により点火・燃焼を確認すること

※1：火炎検知器（フレームセンサーなど）が設置されてなく、温度測定による燃焼管理を行っている場合には、測定除外としてもよい。

②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.2-2 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及びデータ収集方法
1 正常運転ケース	<p>運転方法： 冷起動→定格発電→最低負荷運転→通常停止操作→通常停止 なお、点火試験の回数は3回以上とし、1回目の点火は冷起動後、着火を確認して停止する。2回目以降は、引き続きこの試験を行う。</p> <p>データ収集方法： 起動操作10分前から測定を開始し、先ず起動昇温時の点火確認を行う。点火確認試験の後に、起動昇温を継続して発電状態にする。 定格出力発電を1時間継続した後、最低出力までの出力変動を行い、最低出力発電を1時間継続させる。その後、通常停止操作を行って、セルスタック（セルバンドル）温度が100℃以下になるまで測定する。</p>

### ③試験の方法

#### 1) 点火試験

製造業者の示す点火の方法によって繰り返し点火操作を行い、点火の回数及び爆発的に点火しないことを確認する。第1回目の点火については、停止状態において起動を行い、着火を確認し、運転を停止する。第2回目以降は、引き続きこの試験を実施する。点火試験の回数は3回以上とする。点火の確認は、燃焼検知手段、製造業者の示す方法などによる。(フレームセンサー等火炎を直接検知するもの以外でも、燃焼開始による炉内温度上昇を熱電対で確認するものも製造業者が温度上昇プロファイルの標準データベースを持っており、それと比較することで点火を判断することによりよい。改質器を部分燃焼で温度上昇させる場合も同様とする。)

#### 2) 燃焼試験

- a) 着火の確認：各燃焼部分の温度が所定の点火温度以下になった状態から起動し、この試験を実施する。起動開始からオフガス切替完了後炉内（改質器バーナ炉内、又はオフガス燃焼器炉内）温度が安定する状態までにおいて、炉内（すべてのバーナを対象とする。バーナのない拡散燃焼の場合も含む。）に設置した燃焼検知手段などによって燃焼状態を確認する。
- b) 燃焼及び運転状態の確認：オフガス切替完了後炉内（改質器バーナ炉内、又はオフガス燃焼器炉内）温度が安定した状態から定格出力到達後30分以上経過後以上経過後、最低出力まで出力変動を行い、炉内に設置した燃焼検知手段などによって燃焼状態を確認する。
- c) 停止時の確認：発電状態から停止操作を行い、降温過程での燃料供給停止ステップの後に炉内（改質器バーナ炉内、又はオフガス燃焼器炉内）に設置した燃焼検知手段など、確実に消火することを確認する。
- d) 理論乾燥燃焼ガス中のCO濃度(体積%)：気体燃料の場合、試験ガスの条件をJIS S 2093表2又は表3に示す1-1又はB-1とし、起動から停止までの状態で、機器の燃焼ガス排出部全面にわたって可能な限り、平均に燃焼ガスを採取する。乾燥燃焼ガス中のCO濃度及びO<sub>2</sub>又はCO<sub>2</sub>濃度を測定し、式(7)及び式(8)によって算出した値を15分間単純移動平均処理し、その最大値を理論乾燥燃焼ガス中のCO濃度とする。なお、試験に際しては、必要に応じて燃焼空燃比などの調整を行ってもよいこととする。

$$CO = CO_a \times \frac{O_{2t}}{O_{2t} \times O_{2a}} \dots\dots\dots(7)$$

又は

$$CO = CO_a \times \frac{CO_{2max}}{CO_{2a} - CO_{2t}} \dots\dots\dots(8)$$

ここに、 CO： 理論乾燥燃焼ガス中CO濃度(体積%)  
CO<sub>a</sub>： 乾燥燃焼ガス中のCO濃度測定値(体積%)  
O<sub>2t</sub>： 給気口雰囲気中(乾燥状態)のO<sub>2</sub>濃度測定値(体積%)  
(新鮮空気の場合は、O<sub>2t</sub> = 21 %)

$O_{2a}$  : 乾燥燃焼ガス中の $O_2$ 濃度測定値(体積%)

ただし、発電運転中の安定状態を除いては、 $O_2$ 濃度が 20%を超える場合には 20%とする。

※ 大気汚染防止法施行規則 別表第 2 を準用

$CO_{2max}$  : 理論乾燥燃焼ガス中の $CO_2$ 濃度(体積%)

$CO_{2a}$  : 乾燥燃焼ガス中の $CO_2$ 濃度測定値(体積%)

$CO_{2t}$  : 給気口雰囲気中(乾燥状態)の $CO_2$ 濃度測定値(体積%)

e) 逆火の確認:a)の状態において、炉内(すべてのバーナを対象とする。)に設置した燃焼検知手段などによって、炎がバーナ内部で燃焼しているような状態にならないこと及び逆火による消火がないことを確認する。

### (3) 評価方法の検討

SOFC システムでは火炎検知器を有しないシステムも存在する。そのため、火炎検知器を有しないシステムにあっては、対象とする温度測定部が確実に点火・燃焼状態を確認できるものとなっているかについて、製造業者が明示することを条件に、点火・燃焼部の温度上昇によっても燃焼状態の確認を行なえる内容とした。

さらに、起動・昇温工程に長時間かかる機種も存在するが、安全確認という趣旨からは、時間がかかっても点火試験を 3 回行うべきである。そこで、2 回目以降の点火試験においては、冷機状態と同等とみなせる「各燃焼部分の温度が所定の点火温度以下になった状態」から起動させるとすることで、試験趣旨を損なわず所要時間を短縮できる規定とした。

一方、燃焼試験に関して、SOFC システムではセルスタック手前に CO 除去器がないため、起動時だけでなく、オフガス燃焼に切り替わった後もオフガス燃焼が確実に安定して行われているかを確認する必要がある。そのため、CO 濃度は起動から停止までの全工程で測定するように規定した。

PEFC システムでは、CO 濃度を測定する燃焼ガスの採取時点を「バーナ点火後 15 分又はオフガス切替前までのいずれか早いほうの時間まで」などと規定されているのに対し、SOFC システムでは、「起動から停止までの状態で」と規定されており、運転中は常時排ガスを採取することとなっているものの、CO 濃度の算出は、全工程において測定したどのような値とするかが明確ではなかった。そこで、式(7)及び式(8)によって算出した値を 15 分間単純移動平均処理し、その最大値を理論乾燥燃焼ガス中の CO 濃度として評価することとした。

## 2.2.1.2.1.3.3 排ガス測定試験

### (1) 目的

PEFC システムと異なりセルスタック手前に CO シフト反応器及び CO 選択酸化器がないため、排ガス性状を確認する。

## (2) データ収集方法の検討

### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.2-1 のデータ収集項目（「改質器バーナ燃焼火炎」を除く）に準じて測定する。

### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.3-2 運転ケース及びデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及びデータ収集方法
1	正常運転ケース	運転方法： 冷起動→定格発電→部分負荷運転→通常停止操作→通常停止 データ収集方法： 起動操作 10 分前から測定を開始する。起動昇温を経て発電状態にする。 定格出力運転、75%出力運転、50%出力運転、最低出力運転の 4 ステップの順に、各々目標負荷の運転状態到達の 30 分後から 1 時間測定を継続する。 その後、通常停止操作を行って、セルスタック（セルバンドル）温度が 100℃以下になるまで測定する。

### ③試験の方法

- 1) JIS C 8824 7. 排ガス測定試験の7.3試験の方法に基づき、試験を実施する。
- 2) 排ガス中の各成分濃度については、測定した O<sub>2</sub> 濃度を用いて換算するが、発電運転中の安定状態を除いては、O<sub>2</sub> 濃度が 20%を超える場合には 20%とする。  
※ 大気汚染防止法施行規則 別表第 2 を準用

### (3) データ収集の実施

得られたデータをもとに、作成した試験方法案に対する加筆修正及び改善案等の検討や、点火・燃焼試験における CO 濃度算出方法の検討を行った。

### (4) 評価方法の検討

点火・燃焼試験と同様に、システム内部の点火・燃焼部の状態を適切に把握できるようにして、起動から停止までの全工程で排ガス測定を行う内容とした。

一方、起動工程や停止工程等では、システムによって排ガス中の O<sub>2</sub> 濃度が 20%前後となり、O<sub>2</sub>=0%換算値が極端に大きくなり、換算値の精度が落ちる。そこで、大気汚染防止法施工規則の別表第 2 における NO<sub>x</sub> 濃度換算の規定等を参考に、O<sub>2</sub>=0%換算を行なう際に、排ガス中の O<sub>2</sub> 濃度が 20%以上である場合は O<sub>2</sub> 濃度を 20%と固定して換算を行なうよう規定した。

## 2.2.1.2.1.3.4 耐風試験

### (1) 目的

排気口、給排気筒から風が吹き込んだ場合でも、正常に点火・起動でき、また燃焼状態を維持し発電を継続できるかどうかを確認する。

## (2) データ収集方法の検討

### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.2-1 のデータ収集項目に準じて測定する。

### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-2の耐風試験項目に従って、データを収集する。

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-2 耐風試験項目

	測定細目
(1) 点火試験	点火回数(回)、爆発的点火回数(回)
(2) 燃焼試験	システムの状態(起動～定格発電)、燃焼状態、警報、異常停止、緊急停止の有無

### ③試験の方法

#### 1) 点火試験

屋外設置式のものにあつては、図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1に示す2方向のそれぞれについて、5m/sの風を送り、「点火・燃焼試験」に記載された点火試験方法のとおり試験を実施する。

#### 2) 燃焼試験

a) 着火の確認:屋外設置式のものにあつては、図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1に示す2方向について、5m/sの風を送った状態で、「点火・燃焼試験」に記載された燃焼試験方法のとおり着火の確認を行う。

b) 燃焼及び運転状態の確認:機器をa)の定格出力到達後、30分以上経過した段階で、屋外設置式のものにあつては、図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1に示す2方向のそれぞれについて、2.5m/sの風を3分間及び15m/sの風を1分間送り、それぞれの状態において、「点火・燃焼試験」に記載された燃焼試験方法のとおり燃焼及び運転状態の確認を行う。

#### c) 起動/運転状態の確認

a) 及びb)の全試験中において、警報又は異常停止・緊急停止が発生しないことを確認する。

## (3) データ収集の実施

### ①点火試験

屋外設置式タイプでは点火直後に燃焼部の温度が急激に上昇しており、点火が確実に行われていることを確認した。また、排気温度の上昇で間接的に燃焼が起こっていることも確認した。

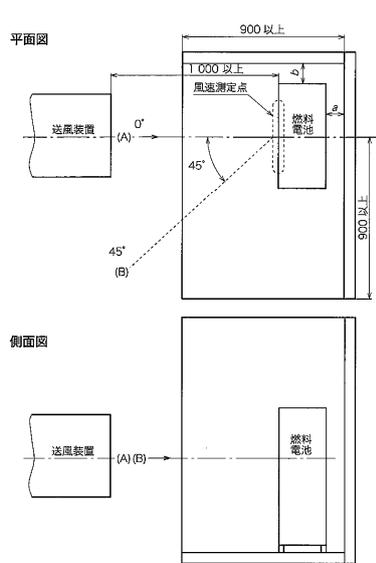
一方密閉式タイプはあらかじめ電気ヒータでスタックを800℃以上に昇温し、ガスを投入することで点火させる仕組みであった。システムの仕組み上連続点火試験ができなかったため、一旦点火時の温度以下(概ね800℃以下)に下げた後、2回目の点火試験を実施し、3回目の点火試験も同様に行った。正常着火したことを、排ガス中のO<sub>2</sub>濃度の減少や、CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>濃度の増加で間接的に確認した。

## ②燃焼試験

屋外設置式及び密閉式の両タイプの供試体も定格発電中に所定の風速の風を当てても消火及び逆火がなく安定した燃焼状態であることを確認した。

### (4) 評価方法の検討

点火・燃焼試験方法の検討で得られた知見を反映させ、点火・燃焼試験方法に記載された方法のとおり実施・確認する規定とした。



単位 mm

注記1 a及びbは、取扱説明書などによる最小指定寸法。

注記2 風は、送風装置と機器の給気部及び排気部との距離を1000mm以上隔離し、給気部及び排気部に一様に当てるものとする。ただし、送風装置の吹出し口と機器の給気部及び排気部との関係から、同時に当てられない場合は、排気部に当てるものとする。

注記3 風の測定前の校正は、機器及び障害物がない状態において、送風装置の吹出し口の前方1000 mm以上の実際の位置で、送風装置側から見て、給気部及び排気部に外接する長方形の中心点を中央風速とし、長方形の各頂点を含む5点を測定する。ただし、開口部の下端が地面から200mm未満のときは、地面

図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1 屋外耐風試験装置

## 2.2.1.2.1.3.5 耐雨試験

### (1) 目的

屋外降雨条件下に設置されても、正常に点火・起動でき、また燃焼状態を維持して発電を継続できるかどうか、また発電終了後に絶縁耐力が低下していないかを確認する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
改質器温度、セルスタック (温度)、オフガス燃焼部温度、改質器バーナ燃焼火炎 <sup>※1</sup> 、セルスタック部バーナ燃焼火炎 <sup>※1</sup> 、オフガス燃焼部燃焼火炎 <sup>※1</sup>	漏洩電流: 5mA 以下
原燃料流量、排気口直後の排ガス温度、排ガスの成分ガス濃度、漏洩電流、周囲大気温度	

②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-2 耐雨試験項目

	測定細目
(1) 点火試験	点火回数(回)、爆発的点火回数(回)
(2) 燃焼試験	システムの状態(起動～定格発電)、燃焼状態、警報、異常停止、緊急停止の有無
(3) 絶縁耐力試験	定格出力(送電端)(kW)、漏洩電流値(mA)

③試験の方法

1) 点火試験

図Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-1に示す方法で各方向5分間散水した後に、「点火・燃焼試験」に記載された点火試験方法のとおり試験を実施する。

2) 燃焼試験

a) 着火の確認

図Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-1の試験装置に示す方法で各方向5分間散水した後に、「点火・燃焼試験」に記載された燃焼試験方法のとおり、燃焼部の点火から定格出力まで安定した燃焼状態であることを確認する。

b) 燃焼及び運転状態の確認

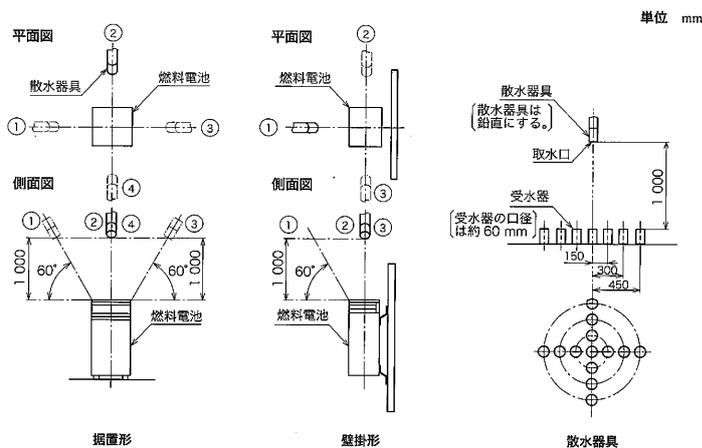
a)の定格出力到達後30分以上経過した段階で、機器の正面に散水しながら、「点火・燃焼試験」に記載された燃焼試験方法のとおり、消火しないことを確認する。

c) 起動/運転状態の確認

a) 及びb)の全試験中において、警報、異常又は緊急停止が発生しないことを確認する。

3) 絶縁耐力試験方法

JIS C8823 20.2「絶縁耐力試験」の方法に準じる。



注記1 散水器具は、上図右側に示す方法で降水量を測定したとき、全受水器の平均が $3 \pm 0.5 \text{ mm/min}$ で、各全受水器の降水量の平均値に対する偏差が $\pm 30\%$ のものとする。

注記2 貯湯槽を試験する場合も、同様に設置する。

図Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-1 屋外設置式の耐雨試験装置

### (3) データ収集の実施

#### ①点火試験

耐風試験と同様に、屋外設置式タイプでは点火直後に燃焼部の温度が急激に上昇しており、点火が確実に行われていることを確認した。また、排気温度の上昇で間接的に燃焼が起こっていることも確認した。

一方密閉式タイプは、正常着火したことを、排ガス中の  $O_2$  濃度の減少や、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $SO_x$  濃度の増加で間接的に確認した。

#### ②燃焼試験

定格出力到達後 30 分以上経過した段階で、屋外設置式タイプはシステム本体に、密閉式タイプは排気筒先端に 10 分間散水しても消火しないことを、屋外設置式タイプでは各部温度の低下が起こらなかったことで、密閉式タイプでは排ガス濃度に変化がないことで確認した。

#### ③絶縁耐力試験

絶縁耐力試験の結果、漏れ電流の値は十分小さく、絶縁抵抗は規定の  $1M\Omega$  以上を満たしており、耐雨試験終了後絶縁破壊はみられなかった。

### (4) 評価方法の検討

耐雨試験時における点火時の機器の状態や、点火・燃焼状態の確認方法については、点火・燃焼試験方法の検討で得られた知見を反映させた。

## 2.2.1.2.1.3.6 負荷変動特性試験

### (1) 目的

SOFC システムにおける能動的な負荷変化特性を評価するため負荷変化速度を測定する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.6-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
発電ユニット送電/受電（電力・電流）、模擬負荷電力、送電周波数、受電周波数、セルスタック（温度・電流・電圧）、パッケージ表面温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、周囲木壁温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、周囲大気温度	セルスタック温度：製造業者規定の設計値以下

#### ②試験の方法

- 固体酸化物形燃料電池発電ユニットが定格発電中で、かつセルスタック部の温度安定していることを確認する。
- 負荷変動値を設定し、負荷下降または上昇動作の開始時刻と出力電力を記録する。
- 固体酸化物形燃料電池発電ユニット出力電力( $P_{net}$ )を見て、負荷下降または上昇動作の

完了時刻と出力電力を記録する。

d) 負荷下降または上昇動作の開始時刻と完了時刻の差から負荷下降または上昇所要時間 ( $T_{1cdwn}$ 、 $T_{1cup}$ ) を算出し、また開始時刻と完了時刻の出力電力の差から負荷変動幅 ( $P_d$ ) を算出する。

e) 負荷変化速度の計算 負荷変化速度(下降時:  $V_d$ )及び負荷変化速度(上昇時:  $V_u$ )は、式(1)及び式(2)によって計算する。

$$V_d = P_d / T_{1cdwn} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_u = P_d / T_{1cup} \dots\dots\dots (2)$$

負荷変動幅 ( $P_d$ ) 負荷下降所要時間 ( $T_{1cdwn}$ ) 負荷上昇所要時間 ( $T_{1cup}$ )

(3) データ収集の実施

負荷到達条件を、負荷設定値の 10%以内と定格値の 2%以内として収集データを比較した。また、同一機で安定時間を変えた際の負荷変動速度を測定し、作成した試験方法案に対する加筆修正及び改善案等の検討を行った。

(4) 評価方法の検討

負荷到達条件については、設定値の 10%以内と定格値の 2%以内とでは、各社とも傾向は類似していたが、設定値の 10%以内は、最低負荷が小さいシステムほど、基準が厳しくなり、高性能のために不利となる問題が生じる。そのため、負荷到達条件は定格値の 2%以内とした。

さらに、SOFC システムは、同一機でも安定時間により負荷変動速度が変わることを確認した。そのため、セルスタック部の温度が安定する条件として、国際標準の熱平衡条件を追加した。

2.2.1.2.1.3.7 負荷追従特性試験

(1) 目的

この試験は、発電ユニットの負荷追従性を指標するための試験である。負荷追従とは、電力需要の変化とともに、システムの出力電力が自動的に変化することをいう。

(2) データ収集方法の検討

①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-1 データ収集項目

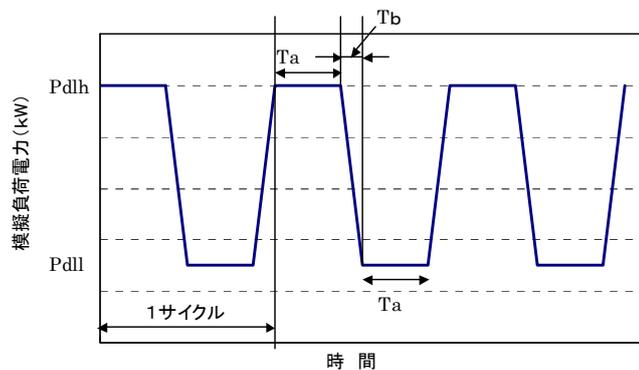
主な測定項目	許容値など
発電ユニット送電/受電(電力・電流)、模擬負荷電力、送電周波数、受電周波数、セルスタック(温度・電流・電圧)、改質器温度、セルスタック(温度)、オフガス燃焼部温度、排気口直後の排ガス温度、都市ガス流量、排ガスの成分濃度(CO、THC、NOx、SOx、O2、CO2)、周囲大気温度	CO 濃度: 0.14%以下 (O2=0%換算値)

②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-2 の負荷パターン条件に従って、表Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-1 に記載のデータを収集する。（図Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-1 負荷変動パターン参照）

表Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-2 負荷パターン条件

試験条件番号	Ta (min)	Tb (min)	最高負荷	最低負荷	試験条件番号	Ta (min)	Tb (min)	最高負荷	最低負荷
1	0	1	定格の120%	定格の50%	21	0	1	定格の120%	最低出力
2	0	5			22	0	5		
3	0	10			23	0	10		
4	0	20			24	0	20		
5	0	30			25	0	30		
6	1	1			26	1	1		
7	1	5			27	1	5		
8	1	10			28	1	10		
9	1	20			29	1	20		
10	1	30			30	1	30		
11	5	1			31	5	1		
12	5	5			32	5	5		
13	5	10			33	5	10		
14	5	20			34	5	20		
15	5	30			35	5	30		
16	10	1			36	10	1		
17	10	5			37	10	5		
18	10	10			38	10	10		
19	10	20			39	10	20		
20	10	30			40	10	30		



$T_a$  :  $P_{d1h}$  及び  $P_{d1l}$  の保持時間、 $T_b$  :  $P_{d1h}$  から  $P_{d1l}$  への負荷変動時間

図Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-1 負荷変動パターン

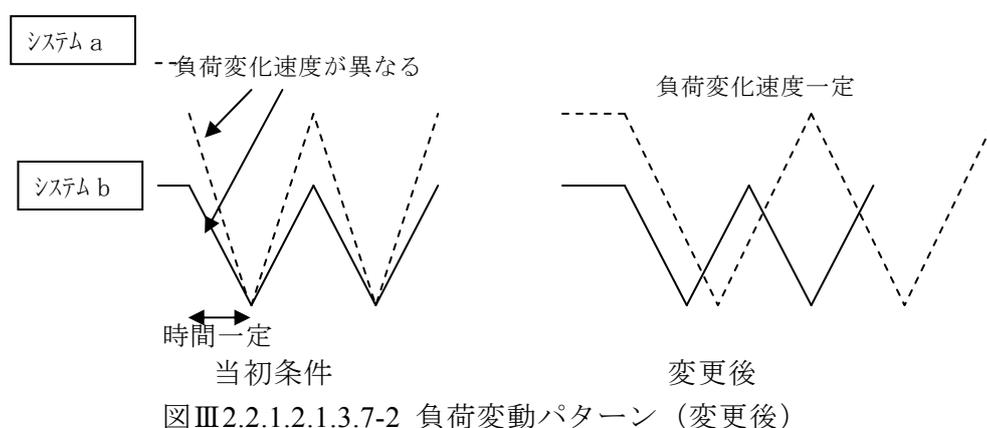
(3) データ収集の実施

収集データを解析し、負荷変動パターンの妥当性や負荷追従性の指標の1つである「電力寄与率」の算出方法について検討を行った。

#### (4) 評価方法の検討

当初案による負荷パターン（表Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-2）の場合、出力範囲が大きいシステムほど、負荷変化速度が大きくなる事を意味するため、負荷追従条件が厳しくなる。システムにかかわらず同一の負荷変化速度で評価できるように、時間ではなく、負荷変化速度を条件として定めるように変更した。

さらに、データ分析からは、負荷変化速度の大きい負荷パターン条件になるほど、システム間で負荷追従性能に差異が生じやすいという結果が得られた。その結果を踏まえ、当初案に比べ、評価試験装置で実行可能な範囲で負荷変化速度の大きい条件を追加し、負荷変化速度の小さい条件を減少させた負荷パターンに変更した。変更後の負荷パターンを図Ⅲ2.2.1.2.1.3.7-2 に示す。



試験負荷がシステム出力の 100%を超えている期間のデータを計算に含めると、負荷追従性の指標の 1 つである「電力寄与率」が低下することになるため、計算に含めないように変更した。さらに、もう 1 つの負荷追従性能の指標である「電力過剰率」についても、常にマイナス値になる計算式となっていたが、電力過剰率（%）をマイナス値とする表現は奇異と考えられるため、計算式を変更した。

#### 2.2.1.2.1.4 成果の活用

##### (1) 安全性評価試験方法の検討

発電出力やセル形状、改質方式などが異なる多様な SOFC 供試体を調達し、SOFC システムの安全性に関するデータ収集を実施して、平成 18 年度末までに「小規模燃料電池保安技術検討委員会」（事務局：社団法人日本電気協会）や規制当局からの要請項目（2.2.1.6 章「規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集」参照）も含めた安全性評価試験に関する検討を完了した。

また、試験方法の検討に際して、SOFC システムのシステム構成や運転特性、各種安全対策や安全装置作動時のシステム挙動など、多様な仕様の SOFC システムについて安全性に係る知見を得た。

これらの成果を公的委員会や規制当局に提供し、規制再点検の議論に活用された。

この結果、以下の通り SOFC システムの市場導入や普及に係る電気事業法及び消防法上

の各種規制適正化に貢献した。

①常時監視の不要化（電気事業法関連）

SOFCシステムの安全性に関する調査・机上検討、SOFC 供試体の設置検討などを行なって得られた知見を、規制適正化を審議する「技術基準適合評価委員会」（事務局：社団法人日本電気協会）に提出した。この結果、一定の要件を満たす SOFC システムについては、発電出力に係らず常時監視義務を不要化（随時巡回化）できるとの結論が得られ、平成 18 年 12 月 14 日に条文改正（電気設備の技術基準の解釈 第 51 条）されて即日施行されている。

②不活性ガス置換義務の省略（電気事業法関連）

平成 17 年度から平成 18 年度にかけて調査・机上検討を行なって得られた知見と、実機試験を通じて得られた安全性データや知見（2.2.1.2.1.2.2「不活性ガス置換省略時の安全性試験」参照）を、規制適正化を審議する「小規模燃料電池保安技術検討委員会」（事務局：社団法人日本電気協会）に提出した。この結果、平成 19 年 3 月 5 日に「10kW 未満で一定の要件を満たす SOFC システムにおいては、不活性ガスパージを省略した場合でも法令等が要求する安全性が確保される」との結論が得られ、平成 19 年 9 月 3 日に条文改正された。

③小出力発電設備化（電気事業法関連）

不活性ガス置換省略と同様に、平成 17 年度から平成 18 年度にかけて調査・机上検討を行なって得られた知見と実機試験を通じて得られた安全性データや知見（例えば 2.2.1.2.1.2.4「制御機能喪失時の安全性試験」、2.2.1.2.1.2.11「排ガスの安全性に関する試験」、2.2.1.2.1.2.12「改質ガス漏洩時の安全性試験」など）を、規制適正化を審議する「小規模燃料電池保安技術検討委員会」に提出した結果、平成 19 年 3 月 5 日に「PEFC システムについて現行規定されている一般用電気工作物化の技術基準を適用することにより、屋内設置の開放燃焼式を除く SOFC システムについても安全性を確保できる」との結論が得られ、平成 19 年 9 月 3 日に条文改正された。

④設置保有距離の省略、設置届出義務の不要化、逆火防止装置の省略(消防法関連)

平成 17 年度から平成 18 年度にかけて調査・机上検討を行なって得られた知見と、実機試験を通じて得られた安全性データや知見（例えば 2.2.1.2.1.2.3「設置離隔距離試験」、2.2.1.2.1.2.5「高温部における安全性試験」など）を、規制適正化を審議する「固体酸化物型燃料電池発電設備等の安全対策の確保に係る調査検討会」（事務局：消防庁）に提出した。この結果、平成 19 年 2 月 21 日に「燃料改質型の小規模(10kW 未満) SOFC システムについて、PEFC システムの技術基準に適合した安全対策を遵守するとともに高温部を適切に断熱することによって、同等の安全性が確保されることを確認した」との結論が得られ、平成 22 年 3 月 30 日に条文改正された。

⑤過圧防止装置省略時の安全性試験(電気事業法関連)

SOFC システムの過圧防止装置省略に係わる技術的安全要件については、学識経験者、

燃料電池製造事業者、燃料供給事業者等からなる「燃料電池システム技術基準検討部会」を JGA に設置して平成 22 年 1 月～平成 22 年 3 月にかけて検討を行った。

検討部会での議論を踏まえ、過圧防止装置省略した際の安全要件として以下のようにまとめられた。

「今回要望の過圧防止装置をもたない小規模の SOFC システムは、燃料ガスを通ずる部分が大気に開放された構造であること、さらに現状の技術基準に規定されている安全要件に加えて、PEFC システムと同様に燃料ガスを通ずる部分に接続するポンプの吐出圧力制限を設けることにより、安全を確保できる。」

過圧防止装置の設置に関する技術基準は、電気事業法の発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 32 条等に規定されているが、検討部会での上記結論を踏まえて、技術基準省令等の改正案についても併せて検討を行い、「燃料電池発電設備に関する技術基準省令改正の要望書」としてとりまとめた。

この要望書は本事業の終了後に日本電気技術規格委員会機構に提出し、その委員会の中で行政当局への技術基準省令の改正要請に向けた審議、評価が行われる予定である。

## (2) 性能試験方法の検討

各種性能試験については、現行の PEFC システムの JIS 規格をベースに、国際標準との整合化も見据えて SOFC システムの性能試験方法標準化に資する検討を行ない、実機試験検証を通じて国内外標準の変更に資する知見や実機データを蓄積した。そして、PEFC-JIS 規格をベースに作成した SOFC システムの試験方法案の妥当性検証や加筆変更を進め、これまでの検討内容を反映した SOFC システムの試験方法変更案を作成した。表 III 2.2.1.2.1.4-1 に SOFC システム試験方法変更案に関する検討結果の一例を示す。

点火・燃焼試験の点火確認においては、繰り返し点火による確認時間を短縮するため、点火・燃焼部の温度を PEFC-JIS 規格で規定する冷機状態での起動に対し、冷機状態と同等の条件を前提としてメーカー指定の所定の点火温度に変更した。また、PEFC システムとは異なり、燃料改質後の CO 除去を必要としないといった SOFC システムの特徴を踏まえ、オフガス中の CO を考慮した試験方法とするため、CO 濃度測定を PEFC-JIS 規格で規定する起動時のみに対し、起動から停止までの全工程とし、CO 濃度測定値は 15 分間単純移動平均で算出することに変更した。

表 III 2.2.1.2.1.4-1 SOFC システム試験方法変更案の検討結果の一例  
(PEFC-JIS 規格ベースからの変更)

試験	PEFC-JIS 規格ベースの SOFC 試験方法案の内容	SOFC 試験方法変更案の内容	変更のポイント
点火・燃焼試験	メーカー指定の状態（冷機状態）より起動	各燃焼部分の温度が所定の点火温度（メーカー指定）以下になった状態から起動。	繰り返し点火時間の短縮
	定格到達 30 分以上経過後に測定	定格出力到達後の安定時間を検討した結果、定格到達 30 分以上経過後に測定（変更なし）	定格到達 30 分以上経過で、燃焼状態が安定することを確認済み

	炉内（全てのバーナを対象とする）に設置した燃焼検知手段で確認	炉内（全てのバーナを対象とする。バーナのない拡散燃焼の場合も含む。）に設置した燃焼検知手段で確認。	多様な燃焼方法への対応
	停止操作を行い、消火を確認	停止操作後、燃料供給が停止するまで監視。	より確実な停止の確認
	「バーナ点火後 15 分又はオフガス切替前までのいずれか早い方の時間まで」で採取	・起動から停止までの状態で採取 ・15 分間の単純移動平均で濃度を算出	濃度の算出方法
排ガス測定試験	O <sub>2</sub> 濃度実測値で 0% 換算	O <sub>2</sub> 濃度が 20% 以上の場合は、O <sub>2</sub> 濃度を 20% として換算	0% 換算値の精度向上
負荷変動特性試験	定格到達 1 時間経過後に測定	定格発電中かつセルスタック温度が安定後に測定（安定条件は IEC に準拠）	温度安定までの非定常状態に対する安定条件の追加
	定格→50%出力→定格→最低出力→50%出力の順で測定	最低出力→定格での測定を追加。	試験条件による負荷変化速度の違いに対応
	設定値の±10%以内	定格出力の±2%以内	国際標準改訂内容を検証
負荷追従試験	1 秒	1 秒以下	負荷変化速度が速いことへの対応
	サンプリング周期を 1 秒として計算	サンプリング周期を加味した計算式に変更	
耐風・耐雨試験	メーカー指定の状態（冷機状態）より起動	各燃焼部分の温度が所定の点火温度（メーカー指定）以下になった状態から起動	「点火・燃焼試験」の修正を反映

さらに、作成した SOFC システム試験方法変更案の内容と国際標準の内容を比較検討し、国際標準との整合化案を取りまとめた。これら SOFC システム性能試験方法の検討成果については、2.2.1.5 章に記載の定置用燃料電池の国際標準（IEC）改訂検討の場へ提供した。

表Ⅲ2.2.1.2.1.4-2 に、国内 WG3 へ提案した整合化案の一例を示す。国内 WG 審議の結果、点火・燃焼試験に関するバーナ部分の点火確認手段の追加や、SOFC システムに限定した冷機起動条件の定義変更等が承認され、これらの内容は、国際標準改定の審議を行う国際 WG の場において、日本からの提案として審議される予定である。

一方、作成した性能試験方法から得られた各知見を、「家庭用燃料電池の技術上の基準および検査の方法」第 5 版や、SOFC システムに係わる JIS 規格原案作成の場へ提供し、国内標準にも活用された。

表Ⅲ2.2.1.2.1.4-2 国際標準（IEC）との整合化案の一例（国内 WG3 への提案内容）

提案項目	国際標準（IEC）の規定内容	整合化案	整合化のポイント
点火・燃焼試験	バーナ等の点火確認手段を火炎検出器に限定	点火確認手段として、火炎検出器以外に、「その他の適切な手段」を追加	多様な燃焼方法への対応（起動用バーナ、部分酸化燃焼、オフガス燃焼、排ガス触媒燃焼等）
	バーナ試験にて、冷機起動と暖機起動の両方の試験を規定	SOFC の場合は、各燃焼部の温度が所定の点火温度以下（メーカー指定の温度）であれば冷機起動とみなす。	繰り返し点火時間の短縮
	バーナ点火確認のみの	起動から定格発電、停止ま	安定した燃焼の確認と、起

	規定。また、CO 測定は通常安定状態で実施	での工程での燃焼性の確認と CO 測定を追加。CO 測定値は 15 分単純移動平均処理した値で算出。	動や停止の過渡的な状態を含めた全工程での CO 測定を追加
耐風試験	54 km/h の試験風速での点火確認のみ規定	風条件下において、定格出力での安定状態にて消火しないことを追加。	風条件下において、起動時の点火確認だけでなく、定格発電での安定した燃焼の確認を追加

## 2.2.1.2.2 純水素駆動型燃料電池に係わる基準・標準化検討

### 2.2.1.2.2.1 供試体の調達

定置用で小形（発電出力 10kW 未満、最高使用圧力 0.1MPa 未満）の純水素 PEFC システムについて、国内及び海外のメーカーの開発状況を調査した結果を踏まえて、データを収集する純水素 PEFC 供試体を選定した。選定した純水素 PEFC 供試体の外観を図 III 2.2.1.2.2.1-1 に示す。

なお、上記純水素 PEFC 供試体はいずれもコージェネレーション仕様のものである。上記の純水素 PEFC 供試体は JIA 東京事業所に設置した。



荏原バラード

東芝燃料電池システム

図 III 2.2.1.2.2.1-1 純水素 PEFC 供試体の外観

### 2.2.1.2.2.2 安全性評価試験の検討

#### 2.2.1.2.2.2.1 試験項目の選定

通常運転時において火災や火傷等の危険がないかどうか、また燃料電池の内部や外部で異常が発生したときに、安全に停止動作等に移行できるかどうか、という観点から、以下に示す 6 項目の試験を抽出した。これらについて、実機データ収集結果を踏まえた試験手法の見直しなどをおこない、安全性評価試験方法として作成した。

- 設置離隔距離検討のための試験
- 高温部における安全性試験
- 停電試験
- 制御機能喪失時の安全性試験
- 燃料遮断試験
- 制御電源異常時の安全性試験

以下、上記各試験項目について、それぞれ具体的に記述する。

## 2.2.1.2.2.2.2 設置離隔距離試験

### (1) 目的

燃料電池パッケージからの輻射熱により燃料電池パッケージ周辺の建物壁など、可燃物の温度が異常に上昇しないことを確認する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.2.2-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
操作時に手を触れる部分（起動・停止スイッチなど）、ガス閉止弁表面温度、排気口直後の排ガス温度、パッケージ表面温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、周囲木壁温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、周囲大気温度	操作時に手を触れる部分（起動・停止スイッチなど）： 60℃以下 70℃以下

#### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.2.2-2 運転ケース及びデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及び測定方法
1	正常運転ケース	運転方法：冷起動→定格発電→通常停止操作→通常停止 測定方法： 起動操作 10 分前から測定を開始し、定格出力にてセルスタックの温度が安定してから 3 時間維持し、その後、通常停止操作から各温度が低下するのを確認できるまで測定する。
2	異常運転ケース （強制高温運転）	運転方法：定格発電→異常運転（強制高温運転）操作→異常停止 測定方法： 定格出力にてセルスタックの温度が安定してから 30 分経過後に異常運転操作を行う。データは異常運転操作 10 分前から、異常停止後各温度が低下するのを確認できるまで測定する。

#### ③判定方法

改質型 PEFC システムと同様に、「表Ⅲ2.2.1.2.2.2.2-1 などに示す各収集データが、規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転及び停止すること」、とした。

### (3) データ収集の実施

通常運転ケースと異常運転ケースそれぞれについて、今回調達した全ての純水素 PEFC 供試体について、目的としたデータが取得できた。なお、周囲木壁の温度は表Ⅲ2.2.1.2.2.2.2-1 などに示す許容値の範囲内であった。

### (4) 評価方法の検討

異常操作開始を「未燃ガス処理器温度及びセルスタック温度が安定して 30 分」としていたが、未燃ガス処理器温度は、定格運転時においても安定性が悪くシステム安定性の判断

の指標とはならないことが分かったため、異常操作開始を「セルスタック温度が安定して30分」とすることとした。

また、今回のデータからも排ガスの成分、温度に異常は見られず、改質型 PEFC システムと同様に、設置離隔距離試験時の排ガスの測定は不要とすることとした。

### 2.2.1.2.2.3 制御機能喪失時の安全性試験

#### (1) 目的

システムが制御機能を失った場合における燃料電池の挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
受電端及び送電端（各電圧・電流・電力）、未燃ガス処理器温度、燃料の瞬時流量、燃料昇圧器出口圧力、セルスタック（温度）、ウォッチドッグタイマ出力、貯湯槽出湯温度、出湯温水流量、貯湯槽（上部・中部・下部）温度、周囲大気温度	未燃ガス処理器温度：製造業者規定の設計値以下であること

##### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.3-2 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース(制御機能喪失)	<p>運転方法：定格発電→異常発生(制御機能喪失)操作→異常停止</p> <p>測定方法：            定格発電にて、セルスタック温度が安定<sup>※1</sup>し、30分以上経過してから異常発生操作<sup>※1</sup>を行う。データは異常発生操作10分前から、各温度が低下するのを確認できるまで測定する。</p>

※1：「温度が安定」とは、測定位置における温度上昇が、30分間あたり0.5℃以下になった状態とする。

##### ③判定方法

収集データが規定の許容範囲内、かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に停止すること。貯湯槽は、出湯温度に異常な温度上昇がないこと。

#### (3) データ収集の実施

データ収集結果から、過渡的な変化を含めて全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることが確認できた。また、制御機能喪失とともに速やかに停止動作に移行し、外観異常もなく安全に停止した。その他、データ蓄積用に収集した機器内部のパラメータ推移（未燃ガス処理器温度、セルスタック電圧等）に異常な上昇等がみられないことや、排ガス組成についても通常停止時の結果と同様であった。なお、他の純水素 PEFC

供試体についてもデータ収集を行った結果、今回調達した全ての純水素 PEFC 供試体について、目的としたデータが取得できており、安全かつ速やかに停止した。

#### (4) 評価方法の検討

制御機能喪失の方法として、今回はウォッチドッグタイマの出力を停止する手法を検討したが、制御機能の喪失方法としては、例えばマイコン自体に本試験用の特別なプログラムを搭載するなど、他の手法も考えられるため、ウォッチドッグタイマの出力停止に限定しないこととした。

### 2.2.1.2.2.4 高温部における安全性試験

#### (1) 目的

パッケージ内の温度が異常に上昇しないこと及び、インバーター等の電気部品が耐熱温度以上にならないことを確認することで、安全性を検証する試験方法を提供する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.4-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
送電端瞬時電力、セルスタック表面温度、未燃ガス処理器表面温度、インバーター制御基板周辺温度、インバータースイッチング素子近傍、周囲大気温度	セルスタック表面温度、未燃ガス処理器表面温度： 製造業者規定の耐熱温度以下であること (例えば 80℃)

##### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.4-2 運転ケース及びデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及び測定方法
1	正常運転ケース	運転方法：冷起動→定格発電→通常停止操作→通常停止 測定方法： 起動操作10分前から測定を開始し、定格出力にてセルスタックの温度が安定してから3時間維持し、その後、通常停止操作から各温度が低下するのを確認できるまで測定する。
2	異常運転ケース (強制高温運転)	運転方法：定格発電→異常運転(強制高温運転)操作→異常停止 測定方法： 定格出力にてセルスタックの温度が安定してから30分経過後に異常運転操作を行う。データは異常運転操作10分前から、異常停止後各温度が低下するのを確認できるまで測定する。

##### ③判定方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.4-2 に示す各運転ケースの測定期間について、表Ⅲ2.2.1.2.2.4-1 などに示す各収集データが、規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転及び停止すること。

### (3) データ収集の実施

データ収集結果、強制高温運転ケースでは、強制高温運転開始後に各部の温度が上昇を開始し、約5分で異常を検知して停止していることや、過渡的な変化を含めて全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることが確認できた。

また、正常運転では起動から定格運転を経て停止に問題なく移行すること、異常運転では停止動作に移行し、外観異常もなく安全に停止した。その他、インバーター等電気部品の各部温度のパラメータ推移について、強制高温運転時に未燃ガス処理器断熱材表面温度が約5℃上昇し、プロセス制御基盤周辺温度も約7℃上昇しているが、いずれの許容値の範囲内であり、異常な温度上昇等がみられなかった。

### (4) 評価方法の検討

機器内部の異常の確認は 2.2.1.2.2.2.3 制御機能喪失時の安全性試験と同様とした。

## 2.2.1.2.2.2.5 燃料遮断試験

### (1) 目的

燃料の供給に異常が起きた場合における燃料電池発電ユニットの挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

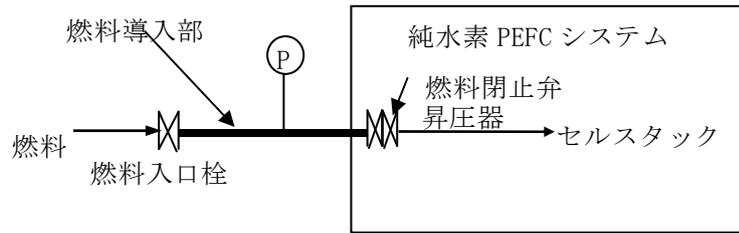
表Ⅲ2.2.1.2.2.2.5-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
送・受電電力（受電端及び送電端の各電圧、電流及び電力）、燃料の瞬時流量、燃料導入部圧力、燃料昇圧器出口圧力、改質器温度、セルスタック（温度・電圧・電流）、未燃ガス処理器温度、パッケージ表面温度、排熱回収（貯湯槽往）温度、排熱回収媒体流量、貯湯槽上部温度、周囲大気温度	未燃ガス処理器温度：製造業者規定の設計値以下であること

#### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.2.5-2 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース（燃料供給停止）	運転方法：定格発電→異常発生（燃料供給停止）操作→異常停止 測定方法： 定格発電にて、セルスタック温度が安定して30分以上経過してから異常発生操作を行う。データは異常発生操作10分前から、異常停止後15分測定する。



図Ⅲ2.2.1.2.2.2.5-1 燃料導入部フロー図

③判定方法

製造業者規定の状態に移行し、外観異常もなく、安全に停止すること。また、燃料導入部に変形や破損がないこと。貯湯槽は、出湯温度に異常な温度上昇がないこと。

(3) データ収集の実施

燃料入口栓閉止とともに送電電力が速やかにゼロになり（停止動作に移行）、外観異常もなく安全に停止した。また、燃料導入部に変形等は確認されていない。その他、データ蓄積用に収集した機器内部のパラメータ推移（未燃ガス処理器温度、セルスタック温度等）に異常な温度上昇等がみられないことや、排ガス組成についても通常停止時の結果と同様であった。

(4) 評価方法の検討

機器内部の異常の確認は 2.2.1.2.2.2.3 制御機能喪失時の安全性試験と同様とした。

2.2.1.2.2.2.6 停電試験

(1) 目的

停電が起きた場合における燃料電池発電ユニットの挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

(2) データ収集方法の検討

①データ収集項目

データ収集項目は 2.2.1.2.2.2.5 燃料遮断試験と同じ。

②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.2.6-1 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース(停電)	<p>運転方法：定格発電→異常発生（停電）操作→3分後復電</p> <p>測定方法：            定格発電にて、セルスタック温度が安定して30分以上経過してから送受電回路（貯湯槽を含む）を同時に開放する。送受電回路を開放してから3分経過時点で復電（貯湯槽を含む）する。データは送受電回路開放の10分前から、復電後15分測定する。</p>

### ③判定方法

- 1) 送受電回路開放により停止するシステムは、製造業者規定の状態に移行し、確実に燃料の流入が遮断され、外観異常もなく、安全に停止すること。また、送受電回路復電後も製造業者規定の状態に移行し、燃料の流入及び外観異常が発生しないこと。
- 2) 送受電回路開放により、運転を継続するシステムは、製造業者規定の状態に移行し、外観異常や異常停止が発生しないこと。また、送受電回路復電後も製造業者規定の状態に移行し、外観異常や異常停止が発生しないこと。
- 3) 貯湯槽は、出湯温度に異常な温度上昇がないこと。なお、バックアップボイラ付属の貯湯槽は別途、JIS S 2093 に従い、停電時の安全性を確認すること。

#### (3) データ収集の実施

データ収集結果、過渡的な変化を含めて全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることが確認できた。また、停電とともに発電電力が速やかにゼロになるなど、外観異常もなく安全に系統解列した。その他、データ蓄積用に収集した機器内部のパラメータ推移（未燃ガス処理器温度、セルスタック温度等）に異常な温度上昇等がみられないことや、排ガス組成についても通常停止時の結果と同様であった。

#### (4) 評価方法の検討

今回の試験においては、純水素 PEFC システム本体と同時に貯湯槽も停電操作を実施したが、実際の停電時にも同様となるものと思われることから、貯湯槽も停電処理することを明記することとした。

## 2.2.1.2.2.7 制御電源異常時の安全性試験

### (1) 目的

制御電源に異常が起きた場合における燃料電池発電ユニットの挙動や、燃料電池コージェネレーションシステム全体としての挙動を把握し、安全性を確認する試験方法を提供する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ①データ収集項目

データ収集項目は 2.2.1.2.2.2.5 燃料遮断試験と同じ。

#### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.2.7-1 運転ケース及びデータ収集方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
異常発生ケース（制御電源異常）	運転方法：定格発電→異常発生（制御電源異常）操作→異常停止 測定方法： 定格発電にて、セルスタック温度が安定し、30分以上経過してから異常発生操作を行う。データは異常発生操作10分前から、各温度が低下するのを確認できるまで測定する。

### ③ 判定方法

- 1) 制御装置電源の遮断により、製造業者規定の状態に移行し、確実に燃料の流入が遮断され、純水素 PEFC 発電ユニット内部及び表面の温度、排ガスの温度及び成分などが許容範囲内であり、外観異常もなく安全に停止すること。
- 2) 排熱回収・貯湯ユニットは、出湯温度に異常な温度上昇がないこと。

#### (3) データ収集の実施

データ収集結果、過渡的な変化を含めて全データ収集項目について目的とするデータが取得できていることが確認できた。また、本純水素 PEFC 供試体は送電電力が速やかにゼロになるなど制御電源異常とともに速やかに停止動作に移行し、外観異常もなく安全に停止した。その他、データ蓄積用に収集した機器内部のパラメータ推移（未燃ガス処理器温度、セルスタック温度等）に異常な温度上昇等がみられないことや、排ガス組成についても通常停止時の結果と同様であった。

#### (4) 評価方法の検討

機器内部の異常の確認は 2.2.1.2.2.2.3 制御機能喪失時の安全性試験と同様とした。

### 2.2.1.2.2.3 性能試験方法の検討

#### 2.2.1.2.2.3.1

試験項目の選定改質型 PEFC システムに関する基本性能試験、環境性試験、耐環境性能試験方法については、「定置用固体高分子形燃料電池の標準化に関する調査研究」事業において、各種性能試験方法が JIS 規格としてまとめられている。これら性能試験方法について、純水素 PEFC システムの特徴を踏まえ、追記、修正等が必要と思われる試験項目として以下の 6 試験項目を抽出し、性能評価試験方法の素案作成をおこなった。

- 点火・燃焼試験
- 耐雨試験
- 気密性試験
- 耐風試験
- 負荷変動・負荷追従性能試験
- 排ガス測定試験

#### 2.2.1.2.2.3.2 点火・燃焼試験

##### (1) 目的

純水素 PEFC システムは、燃料改質用の燃焼部を搭載しない点において燃料改質型のシステムと異なるが、オフガスを処理するための燃焼部は搭載している。そのため、点火試験・燃焼試験とも、燃料改質型のシステムと基本的な考え方は同様となる。また、燃料が純水素であること、発電部での水素利用率が高くできること等の特徴がある。これらの特徴を踏まえて、起動昇温時から発電運転時を経て停止降温時までのオフガス燃焼部の燃焼状態を確認する必要がある。

(2) データ収集方法の検討

① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.2-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
送電端電力、オフガス燃焼部温度、オフガス燃焼部燃焼火炎 <sup>※1</sup> 、原燃料流量、電源電圧、排気口直後の排ガス温度、排ガスの成分ガス濃度（H2 濃度）、周囲大気温度	排ガスの成分ガス濃度（H2 濃度）： 1%以下 オフガス燃焼部燃焼火炎 <sup>※1</sup> ： 火炎を検知すること

※1：火炎検知器（フレイムセンサーなど）がなく、温度測定による燃焼管理を行っている場合は、測定除外としてもよいものとする。

② データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.2-2 運転方法及びデータ収集方法

項目	内容
運転方法	冷起動→定格発電→最低出力→通常停止操作→通常停止
データ収集方法	起動操作時から測定を開始し、先ず起動昇温時の点火確認を行う。点火確認試験の後に、起動昇温を継続して発電状態にする。 定格出力発電を 30 分継続した後、最低出力までの出力変動を行い、最低出力発電を 30 分継続させる。その後、通常停止操作を行って、燃焼プロセス（水素供給弁が閉じ、燃焼室のアフターパーージを行う）が終了してから 60 分経過するまで測定する。

③ 試験の方法

1) 点火試験

JIS C 8823「小形固体高分子形燃料電池システムの安全性及び性能試験方法」の 8.1c)の方法に準じる。

2) 燃焼試験

a) 着火の確認 停止状態から起動を行う。起動開始から水素供給弁が開き、炉内温度が一定の温度<sup>※1</sup>以上となる状態までにおいて、炉内<sup>※2</sup>に設置した燃焼検知手段などによって燃焼状態を確認する。

※1：「一定の温度」とは、製造業者が着火判定に用いる燃焼部の炉内温度とする。

※2：「炉内」とは、オフガス処理器（触媒燃焼の場合も含む。）など燃焼部がある部分の全てを対象とする。

b) 燃焼及び運転状態の確認：発電システムが定格出力到達後 30 分以上経過後、最低出力まで出力変動を行い、炉内に設置した燃焼検知手段などによって燃焼状態を確認する。

c) 停止時の確認：発電状態から停止操作を行い、炉内に設置した燃焼検知手段など、確実に消火することを確認する。

d) 逆火の確認：a)の状態において、炉内(すべてのバーナを対象とする。)に設置した燃焼

検知手段などによって、炎がバーナ内部で燃焼しているような状態にならないこと及び逆火による消火がないことを確認する。ただし、燃焼部が触媒燃焼によるもののみの場合には、本確認は不要とする。

### (3) 評価方法の検討

点火、燃焼を、オフガス燃焼部での触媒燃焼の有無として評価することが、純水素 PEFC のシステム構成上適切であると判断した。検討の結果、オフガス燃焼部温度を評価項目とすることで、点火、燃焼状態を把握できることがわかった。また、燃焼状態把握の観点から、排ガス中の水素濃度についても評価項目に加えることが適切である。

また、触媒燃焼では原理的に逆火が生じないことから、オフガス燃焼が触媒燃焼のみの場合には逆火の確認は不要であると判断した。

## 2.2.1.2.2.3.3 排ガス測定試験

### (1) 目的

純水素 PEFC システムの排ガス成分を測定し、安全性を確認する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.2-1 のデータ収集項目（「オフガス燃焼部燃焼火炎」を除く）に準じて測定する。

#### ② データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.3-1 運転方法及びデータ収集方法

項目	内容
運転方法	冷起動→定格発電→部分負荷発電→通常停止操作→通常停止
データ収集方法	起動操作10分前から測定を開始し、定格発電にて目標負荷到達の30分後から3時間測定する。その後、75%出力、50%出力、最低出力について、それぞれ目標負荷到達の30分後から3時間の測定をおこなったうえで、通常停止操作を行う。停止操作後、60分経過した時点で測定を終了する。

#### ③ 試験の方法

JIS C 8824「小形固体高分子形燃料電池システムの環境試験方法」の7.3の方法に準じる。但し、各工程における各測定成分の平均値を記録するとともに、水素濃度については1分移動平均値の最大値も併記する。

### (4) 評価方法の検討

水素濃度については、一定の空間に高濃度での水素ガスが滞留することが危険性の要因となる。従って、瞬時値のみで評価するのではなく、時間の要素を考慮した基準値が適切

と考える。ただし、システムによって起動時間などが異なることを踏まえ、各工程での平均値とするよりは、一定時間の平均値という考え方の方がより実用に適していると考えた。具体的には、1分間(当該時間の前後30秒)平均値という考え方にてまとめることとした。これは、ガス漏れ警報器の漏洩検知手法にならったもので、ガス漏れ警報器では、基準値を超えてから1分以内に発報する規定になっていることを参考としたものである。

#### 2.2.1.2.2.3.4 耐風試験

##### (1) 目的

強風の環境下においても良好な点火、燃焼が行われることを確認する必要がある。

##### (2) データ収集方法の検討

###### ① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.2-1 のデータ収集項目に準じて測定する。

###### ② データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.4-1 運転ケース及びデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及びデータ収集方法
1	正常運転ケース	<p>運転方法： 冷起動→定格発電→最低負荷運転→通常停止操作→通常停止</p> <p>データ収集方法： 機器を耐風試験に準ずる試験装置に設置し、耐風試験環境とする。 起動操作時から測定を開始し、先ず起動昇温時の点火確認を行う。点火確認試験の後に、起動昇温を継続して発電状態にする。 定格出力発電を30分継続した後、最低出力までの出力変動を行い、最低出力発電を30分継続させる。その後、通常停止操作を行って、燃焼プロセス（水素供給弁が閉じ、燃焼室のアフターパージを行う）が終了するまで測定する。</p>

##### ③ 試験の方法

###### 1) 点火試験

屋外設置式のものにあつては、図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1 に示す2方向のそれぞれについて、5m/sの風を送り、2.2.1.2.2.3.2「点火・燃焼試験」に記載された点火試験方法のとおり試験を実施する。

###### 2) 燃焼試験

a) 着火の確認：屋外設置式のものにあつては、図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1 に示す2方向のそれぞれについて、5m/sの風を送った状態で、2.2.1.2.2.3.2「点火・燃焼試験」に記載された燃焼試験方法のとおり着火の確認を行う。

b) 燃焼及び運転状態の確認：機器をa)の定格出力到達後、30分以上経過した段階で、屋外設置式のものにあつては、図Ⅲ2.2.1.2.1.3.4-1 に示す2方向のそれぞれについて、2.5m/sの風を3分間及び15m/sの風を1分間送り、それぞれの状態において、炉内に設置した

燃焼検知手段などによって、消火及び逆火がなく安定した燃焼状態であることを確認する。

c) 起動/運転状態の確認 a) 及び b) の全試験中において、警報又は異常停止・緊急停止が発生しないことを確認する。

### (3) データ収集の実施

改質型の PEFC システムと同様の風速、風向にて耐風環境下に置いた場合でも、供試体 A、B ともに、点火・燃焼試験時と同様のデータ傾向が見られることを確認した。

### (4) 評価方法の検討

点火・燃焼試験方法の検討と同様、オフガス燃焼部での点火、燃焼の評価方法を準用することで、耐風試験においても適切な評価が可能と考える。

## 2.2.1.2.2.3.5 耐雨試験

### (1) 目的

大雨の環境下においても良好な点火、燃焼が行われることを確認する必要がある。また、雨の侵入や湿度の影響により、機器の絶縁が低下していないか確認する必要がある。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.2-1 のデータ収集項目に加え、漏洩電流を測定する。

#### ② データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.5-1 運転ケース及びデータ収集方法

	運転ケース	運転方法及びデータ収集方法
1	正常運転ケース	<p>運転方法： 冷起動→定格発電→最低負荷運転→通常停止操作→通常停止</p> <p>データ収集方法： 機器を耐雨試験に準ずる試験装置に設置し、耐雨試験環境とする。起動操作時から測定を開始し、先ず起動昇温時の点火確認を行う。点火確認試験の後に、起動昇温を継続して発電状態にする。 定格出力発電を 30 分継続した後、最低出力までの出力変動を行い、最低出力発電を 30 分継続させる。その後、通常停止操作を行って、燃焼プロセス（水素供給弁が閉じ、燃焼室のアフターパージを行う）が終了するまで測定する。</p>

### ③ 試験の方法

#### 1) 点火試験

屋外設置式ののものにあつては図Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-1（屋外設置式の耐雨試験装置）の試験装置に示す方法で各方向 5 分間散水した後に、2.2.1.2.2.3.2「点火・燃焼試験」に記載された

点火試験方法のとおり試験を実施する。

## 2) 燃焼試験

- a) 着火の確認: 屋外設置式のものにあつては図Ⅲ2.2.1.2.1.3.5-1 の試験装置に示す方法で各方向 5 分間散水した後に、2.2.1.2.2.3.2「点火・燃焼試験」に記載された燃焼試験方法のとおり着火の確認を行う。
- b) 燃焼及び運転状態の確認: a) の定格出力到達後 30 分以上経過した段階で、機器の正面に散水しながら、炉内に設置した燃焼検知手段などによって、消火しないことを確認する。
- c) 起動/運転状態の確認 a) 及び b) の全試験中において、警報、異常又は緊急停止が発生しないことを確認する。

## 3) 絶縁耐力試験

2.2.1.2.1.3.5「耐雨試験」に記載された試験方法のとおり試験を実施する。

### (3) データ収集の実施

改質型 PEFC システムと同様の降雨条件にて耐雨環境下に置いた場合でも、供試体 A、B ともに、点火・燃焼試験時と同様のデータ傾向が見られることを確認した。

### (4) 評価方法の検討

点火・燃焼試験方法の検討と同様、オフガス燃焼部での点火、燃焼の評価方法を準用することで、耐雨試験においても適切な評価が可能である。

一方、降雨試験後の漏洩電流計測についても、改質型 PEFC システムと同様の手法、手順にて適切に計測できることを確認した。

## 2.2.1.2.2.3.6 負荷変動・負荷追従性能試験

### (1) 目的

この試験は、純水素 PEFC 発電ユニットの負荷変動性及び負荷追従性を指標するための試験である。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.6-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
受電端電力、送電端電力及び模擬負荷電力、原燃料流量、排ガスの成分ガス濃度 (H <sub>2</sub> 濃度、O <sub>2</sub> 濃度)、周囲大気温度	排ガスの成分ガス濃度 (H <sub>2</sub> 濃度): 1%以下

#### ② データ収集方法

- 1) 負荷変動パターンが事前にプログラミングされている自動負荷変動式模擬負荷を準備し、所定の位置に接続・設置する。
- 2) 電力計を電力送電端の純水素 PEFC 発電ユニット直近に接続し、送電電力を測定する。  
また、電力計を電力受電端の純水素 PEFC 発電ユニット直近に接続し、受電電力を測定

する。

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.6-2 試験項目及びデータ収集方法

	試験項目	運転方法及びデータ収集方法
1	負荷変動特性試験	運転方法： 定格発電→50%出力→定格発電→最低出力 →50%出力→最低出力→定格発電 ----- データ収集方法： 各出力状態において、30分以上経過してから次の出力状態への変更動作を行う。変更動作開始時刻及び変更動作完了時刻*1 を記録する。
2	負荷追従特性試験	運転方法： 定格発電→負荷変動パターンでの負荷追従運転（5サイクル） ----- データ収集方法： 定格発電にて、30分以上経過してから自動負荷変動式模擬負荷のプログラミング運転*2を開始する。自動負荷変動式模擬負荷のプログラミング運転が終了するまで、燃料電池ユニットの運転を継続させる。

※1：負荷上昇動作の場合、燃料電池発電ユニット出力電力が設定値の90%以上に達した時刻とする。負荷下降動作の場合、燃料電池発電ユニット出力電力が設定値の110%以下に達した時刻とする。

※2：定格出力の1.2倍の負荷電力と、50%出力もしくは最低負荷の負荷電力とを一定時間毎に交互に繰り返す。

### ③試験の方法

#### 1)負荷変動特性試験

2.2.1.2.1.3.6 負荷変動試験の方法に準じる。

#### 2)負荷追従特性試験

JIS C 8823「小形固体高分子形燃料電池システムの安全性及び性能試験方法」の17d)の方法に準じる。但し、サンプリング周期1秒以下で測定する。

#### (3) データ収集の実施

負荷変動特性試験のデータ収集結果より、負荷上昇時及び負荷低下時のいずれにおいても、定格～最低負荷間の変動が30秒程度以内でおこなわれており、一般の改質型PEFCシステムより負荷変動速度が速い傾向にあることが確認された。

#### (4) 評価方法の検討

各出力状態での保持時間について、改質型PEFCシステムのJIS規格で規定されている「設定出力到達後60分経過後」と、他の試験でも一般に用いられている「設定出力到達後30分経過後」との2ケースを比較検討したところ、実機試験結果において、その後の負荷変動速度において両者に違いが見られないことを確認した。

セルスタック温度や触媒燃焼器温度、排ガス温度なども併せて計測したが、負荷変動速度は設定出力の管理のみに影響されることが確認できている。従って本事業では、各出力

での保持時間を「設定出力到達後 30 分経過後」とした。

### 2.2.1.2.2.3.7 気密性試験

#### (1) 目的

純水素 PEFC システムの燃料系統及び燃料電池セルスタックの気密性を確認し、燃料水素の漏洩が発生しない構造となっていることを確認する。

#### (2) データ収集方法の検討

##### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.7-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
試験ガス圧力、漏れ量（内部漏れ流量、圧力降下、外部漏れ）セルスタック温度、周囲大気温度	試験ガスの圧力： ・燃料入口閉止弁まで：システムで規定する供給圧力の1.5倍 ・昇圧器以降：最高使用圧 内部漏れ流量：70mL/h以下（JIA規程） 外部漏れ：漏れなきこと

##### ②データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.2.2.3.7-2 運転ケース及びデータ収集方法

項目	内容
運転方法	①停止状態（燃料入口閉止弁まで、及び昇圧器以降） ②定格発電（ガスを内包する部分）
データ収集方法	停止状態にて、燃料入口閉止弁まで、及び昇圧器以降の測定を行う。その後、起動操作を行い、定格発電到達から30分以上経過後、ガスを内包する部分の検査を行う。

##### ③試験の方法

a)燃料入口閉止弁までの通路は、閉止弁を閉じた状態で、入口部に精密ガス流量計を接続し、その入口側から空気又は窒素によって標準供給圧力の 1.5 倍の圧力を加えて、漏れ量を測定する、若しくは圧力計を接続し、標準供給圧力の 1.5 倍の圧力で安定してから空気又は窒素の導入を遮断し、圧力降下を測定する。また、昇圧器以降について、空気又は窒素によって最高使用圧力の 1.1 倍の圧力を加えたとき、漏れ量を測定する。

b)ガスを内包する部分にあっては、ガスを通じた上で、発泡液、検知器などで各部からの外部漏れがないことを確認する。

#### (3) データ収集の実施

窒素ガス及びヘリウムガスにて圧力変化から漏れ量を算出した結果、ともに漏れ量は 0.178mL /h となり、基準の「70mL/h 以下」より少ないため、漏れなしと判断した。

#### (4) 評価方法の検討

燃料入口閉止弁までの区間について、改質型 PEFC システムの JIS 規格では、都市ガス、LP ガスの供給基準をベースに、気密性試験時の圧力を 4.2kPa と明記している。これは、LP ガスの標準供給圧力である 2.8kPa の 1.5 倍として定められたものとされている。純水素 PEFC システムにおいては、燃料ポンプからの供給形態が考えられるため、システムによってはより高い圧力での燃料供給が想定される。今回実機試験をおこなった供試体でも、小出力発電設備の上限圧力(0.1MPa)に近い圧力で燃料供給する設計のものがみられた。こういった状況を踏まえ、気密性試験時の圧力を標準供給圧力の 1.5 倍とした。

### 2.2.1.2.2.4 成果の活用

#### (1) 安全性評価試験方法の検討

純水素 PEFC システムの安全性に関するデータ収集を実施して、平成 18 年度までに当初予定していた 6 項目の安全性評価試験について、検討を完了した。

また、試験方法の検討に際して、純水素 PEFC システムのシステム構成や運転特性、各種安全対策や安全装置作動時のシステム挙動など、多様な仕様の純水素 PEFC システムについて安全性に係る知見を得た。

これらの成果を消防法関連法規の規制見直しについて審議する総務省消防庁の検討委員会に提供し、規制再点検の議論に活用された。

電気出力 10kW 未満で常圧型(燃料・改質系統設備の最高使用圧力 0.1MPa 未満)の PEFC システムの設置離隔距離の短縮、設置届出の不要化、逆火防止装置の不要化(消防法関連)に関する調査・机上検討を行なって得られた知見と、実機試験を通じて得られた安全性データや知見(例えば 2.2.1.2.2.2.2 「設置離隔距離試験」、2.2.1.2.2.2.4 「高温部における安全性試験」など)を、規制適正化を審議する「固体酸化物型燃料電池発電設備等の安全対策の確保に係る調査検討会」(事務局：消防庁)に提出し、安全性に関する審議に付された。

この結果、平成 19 年 2 月 21 日に本検討会における審議が完了し、純水素 PEFC システム本体については、改質型 PEFC システムと同等レベルの安全性を有しているとの審議結果を得た。一方で、システム本体へ原燃料として供給する純水素の供給配管等を含めた「全体システムも考慮したより詳細な火災予防上の安全性の検討が必要と考えられ、継続して検討していくことが求められる。」と結論されており、条文改正については保留となった。

#### (2) 性能試験方法の検討

各種性能試験については、純水素 PEFC システムに特有の仕様や運転形態などをまとめたうえで、重点的に検討すべき試験項目を抽出した。そして、これらについて、実機試験による検討も含め、PEFC-JIS 規格をベースに作成した純水素 PEFC システムの試験方法案の妥当性検証や加筆変更を進め、これまでの検討内容を反映した純水素 PEFC システムの試験方法変更案を作成した。表 III 2.2.1.2.2.4-1 に純水素 PEFC システム試験方法変更案に関する検討結果の一例を示す。

さらに、作成した純水素 PEFC システム試験方法変更案の内容と国際標準の内容を比較検討し、国際標準との整合化案を取りまとめた。これら純水素 PEFC システム性能試験方

法の検討成果については、2.2.1.5 章に記載の定置用燃料電池の国際標準（IEC）改訂検討の場へ提供した。

表Ⅲ2.2.1.2.2.4-1 純水素 PEFC システム試験方法変更案の検討結果の一例  
（PEFC-JIS 規格ベースからの変更）

試験	PEFC-JIS 規格ベースの純水素 PEFC 試験方法の内容	純水素 PEFC 試験方法変更案の内容	変更のポイント
点火・燃焼試験	燃焼検知手段、製造業者の示す方法による測定	オフガス燃焼部温度、オフガス燃焼部火炎による測定	改質器がないため、オフガス燃焼部での触媒燃焼で判断
	起動開始からオフガス切替後、炉内温度が安定するまで	起動開始から水素供給弁が開き、炉内（オフガス処理機など燃焼部含む）が一定温度以上となるまで	
	水素濃度測定の記載なし	水素濃度測定を追加	オフガス燃焼部の燃焼スリップの確認
負荷変動特性試験	定格発電1時間以上経過後に測定	定格発電30分以上経過後に測定	純水素機のシステム安定特性を反映
負荷追従特性試験			
気密性試験	4.2kPaの試験圧力	システムで規定する水素供給圧力の1.5倍の試験圧力	配管供給、ボンベ供給等の多様な水素供給圧を勘案した試験圧力
排ガス測定試験	排ガス中のNO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> を測定	NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 削除。水素濃度測定を追加	オフガス燃焼部の燃焼スリップの確認
	工程ごとに各成分の平均値を記録	水素濃度は、全行程の平均値と1分間移動平均値の最大値を併記	
耐風・耐雨試験	燃焼検知手段、製造業者の示す方法による測定	オフガス燃焼部温度、オフガス燃焼部火炎による測定	改質器がないため、オフガス燃焼部での触媒燃焼で判断
	水素濃度測定の記載なし	水素濃度測定を追加	オフガス燃焼部の燃焼スリップの確認

表Ⅲ2.2.1.2.2.4-2 に、国内 WG3 及び WG4 へ提案した整合化案の一例を示す。国内 WG3 では、純水素燃料電池の定義を明確にした上で、純水素 PEFC システム特有のセルスタック出口のオフガスを処理するオフガス燃焼部に関わる安全規定として、点火・失火判定に係わる規定や、燃焼不具合時の水素スリップを想定した水素濃度排出基準値の規定を追加することが承認された。また、気密性試験の整合化検討では、純水素型や改質型を含めて燃料供給バルブの内部リークに関する安全要件が IEC に規定されていないため、日本の PEFC-JIS 規格や技術基準等を参考に出力 10kW 未満の燃料電池に限定した上で、燃料供給圧力が 2.8kPa 以上の場合は、その 1.5 倍を気密試験の圧力とし、漏れ基準値は日本の技術

基準に準じた 70mL/h 以下とする内容で承認された。

一方国内 WG4 では、水素燃料を使用する燃料電池に限定して、排ガス測定項目を見直し、不要な測定項目の省略を可とすることが承認された。これらの国内 WG3 及び WG4 にて審議・承認された内容は、国際標準改定の審議を行う国際 WG の場において、日本からの提案として審議される予定である。

表Ⅲ2.2.1.2.2.4-2 国際標準 (IEC) との整合化案の一例  
(国内 WG3 及び WG4 への提案内容)

提案項目	国際標準 (IEC) の規定内容	整合化案	整合化のポイント
点火・燃焼試験	純水素 PEFC のオフガス燃焼部に相当する安全規定がない	オフガス燃焼部の点火及び失火判定に係わる安全要件を追加	改質器がないため、オフガス燃焼部での触媒燃焼で判断
	排ガス中の水素の排出濃度基準値に係わる規定がない	純水素 PEFC の場合は、CO の代わりに水素濃度 1%未満 (LFL の 25%) の排出基準値を追加	オフガス燃焼部の燃焼スリップの確認
負荷変動特性試験	定格発電 1 時間以上経過後に負荷変動を実施※	定格発電 30 分以上経過後に負荷変動を実施	純水素 PEFC のシステム安定特性を反映
気密性試験	システム内部の燃料供給弁の内部リークに関する安全規定がない	純水素 PEFC の場合は、燃料供給圧力の 1.5 倍での試験圧力	配管供給、ボンベ供給等の多様な水素供給圧を勘案した試験圧力
排ガス測定試験	排ガス測定項目として、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、THC 等が規定※	純水素 PEFC の場合は、排ガス測定項目は水素と酸素のみ。	水素燃料を使用するため、排ガス測定項目の見直し
耐風試験	風条件下において CO 濃度 300ppm の排出濃度が規定	純水素 PEFC の場合は、CO の代わりに水素濃度 1%未満 (LFL の 25%) の排出基準値を追加	オフガス燃焼部の燃焼スリップの確認

※WG4 の小形 PEFC 性能試験法 (IEC62282-3-201) の規格原案 (WD) に規定された内容

### 2.2.1.3 系統連系時の課題対応

#### 2.2.1.3.1 単独運転検出技術の確立

##### 2.2.1.3.1.1 研究の概要

家庭用 PEFC システムは、普及を促進するための大規模実証事業や研究開発が実施されている。本格的な商用化にあたり同一トランス下に多機種の燃料電池が設置されることが予想され、燃料電池システムを商用電力系統から解列する PCS の単独運転検出機能の相互干渉による遅延の問題が顕在化してきた。本研究では、複数台時に干渉が起こりにくい検出方式を選定し、その方式による単独運転検出機能の信頼性を評価するため、シミュレーション解析と PCS 実機試験の 2 つの観点から技術的な検証を行った。

##### 2.2.1.3.1.2 背景

既に出荷台数が20万台以上となっている太陽光発電（以下、「PV」とする）用PCSは10数社で製品化されており、その能動的単独運転検出方式は各社異なる方式を採用しており、その合計は約20種類に達している。そのような状況において、FC用PCSも各社別々の方式を採用して出荷された場合は、異なる単独運転検出方式の組合せ数が飛躍的に増加し、相互干渉により単独運転が検出できない可能性が高まり、電力系統の信頼性・安全性の維持に問題が生じる恐れがある。

燃料電池は、平成17年度からの3ヶ年での大規模実証事業を経て、平成20年度から商用期を迎える計画であり、現時点でFC用PCSだけでも単独運転技術を標準化することができれば、電力系統の信頼性・安全性の維持に貢献することができる。

しかし、FC用PCSの開発現場においては、より低コスト、コンパクト化が要求されており、PCSのソフト変更だけで対応するなど要求を満たし、かつ干渉が最も起こりにくいとする方式が必要である。

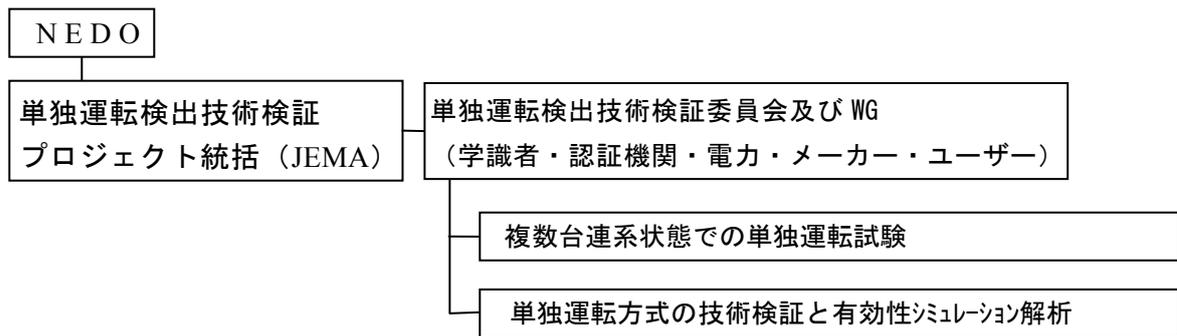
##### 2.2.1.3.1.3 研究目的

分散電源である定置用燃料電池には、配電線への連系における単独運転を防止するための機能として、能動信号方式による検出機能がPCSに備えられているが、配電線に複数台の分散電源が集中連系した場合には、単独運転防止機能が、他の単独運転防止用の能動信号との相互干渉によって単独運転検出ができない可能性が懸念されている。

この問題を解決するため、既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式との相互干渉が起こりにくい方式を調査選定し、その信頼性、安全性を評価・検証し、燃料電池の複数台の配電線への連系における技術的な問題を解決することを目的とする。

##### 2.2.1.3.1.4 研究体制

JEMAに関係者からなる検討委員会を設置し、成果のとりまとめ評価・確認と実運用に際しての認識の共通化を図る。選定方式の技術検証シミュレーションおよび実機検証試験は専門機関・企業等にて実施する。体系図を以下に示す。



図Ⅲ2.2.1.3.1.4-1 研究体制

#### 2.2.1.3.1.5 研究内容

##### (1) 能動的単独運転検出方式の選定

既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式との相互干渉が起こりにくいと評価されている選定方式を評価し、本研究の検出方式の選定を行う。

##### (2) 単独運転検出機能の評価・検証

選定方式によるシミュレーション解析と PCS 実機試験の 2 つの観点から技術的な検証を行ない、単独運転検出機能の信頼性、安全性を評価する。

##### ①選定方式の検出有効性の解析・検証

原理上系統連系時に周波数変動が無ければ能動信号を出さない方式であるため、各所の検証試験で他方式との相互干渉が起こりにくいと評価されている選定方式について、単独並びに複数台連系を想定した検出有効性についてのシミュレーション解析と理論的評価を行う。(平成 18 -20 年度)

##### ②選定方式の PCS 搭載複数台連系での実証試験・研究

PV 関連プロジェクトの検討分科会での複数台連系試験方法の検討結果や、複数台連系試験方法の JIS 化分科会での検討結果に基づき、選定方式を組み込んだ 1 社及び 2 社の PCS による 10 台 (平成 19 年度実施) 並びに数社の PCS による 20 台程度 (平成 20 年度実施) の複数台連系試験を実施し、相互干渉しないことを検証・確認する。(平成 19-20 年度)

##### ③評価・検証方法の検討

上記、①、②の研究を行うこととするが、①の理論研究により、完全に相互干渉が起こらないことが完全に確認できた場合には、②の実証研究を変更する。

#### 2.2.1.3.1.6 まとめ

他方式と相互干渉が起こりにくいと評価した方式を、A~F 社 (計 6 社) の PCS に組み込んだ複数台連系におけるシミュレーション解析と PCS 実機による実証試験によって有効性の検証を行った。

(1) 能動的単独運転検出方式の選定

① 選定対象

「系統連系規定 JEAC9701-2006」に記載されている既存の能動的単独運転検出方式の中で相互干渉が起こりにくい方式を対象に選定した。

調査対象とした方式は、以下の通り。

- ア. 周波数シフト方式
- イ. 有効電力変動方式
- ウ. 無効電力変動方式
- エ. 負荷変動方式
- オ. スリップモード周波数シフト方式

能動的単独運転検出方式の例を表Ⅲ2.2.1.3.1.6-1 に示す。

② 選定結果

原理上系統連系中に周波数変動が無ければ能動信号を出さない方式であるため、他の方式との間でも干渉が起こりにくいと評価されている「スリップモード周波数シフト方式(以下、「S方式」とする)」を選定した。

表Ⅲ2.2.1.3.1.6-1 能動的単独運転検出方式の代表例

周波数シフト	無効電力変動(Q変動)	スリップモード周波数シフト
<p>系統周波数に対して、一定周期で出力周波数をシフトさせ、系統周波数に変化があればシフト方向を固定し、これが0.5秒以上継続したら、ゲートブロックおよび連系リレーを解列する。(能動信号：有)</p>	<p>皮相電力に対する無効電力の割合に応じた位相で、進相と遅相を交互に変動させる。系統周波数の定格周波数からのずれに応じて変動の中心をずらす。0.4Hz以上の周波数変化が生じた場合、単独運転と判断し、ゲートブロック処理後、連系リレーの解列を行う。(能動信号：有)</p>	<p>定格周波数からの周波数変化に対して、出力電流位相をシフトさせる特性を持たせることにより、有効・無効電力平衡時にも生じる微小な周波数変化を正帰還して、周波数異常で検出するように周波数を発散させる。(能動信号：無)</p>
<p>(2) 制御動作例</p>		

(2) 本プロジェクトの成果総括 (シミュレーション)

本プロジェクトのシミュレーション関係の成果を総括すると以下のとおりとなる。

① 検出有効性に関するシミュレーション解析

- 1) S方式を採用した場合、最初にPCS 1台の場合について、負荷種別による周波数変化の挙動の差異について解析した。次に、PCSの台数を10台まで増やしたが、検出時間が伸びていく現象は認められなかった。台数が変化しても、連系点の有効電力・無効電力

および負荷の相対的な比率が変わらなければ、ほぼ同じ周波数の挙動となり、複数台の PCS はほぼ同一の動きとなると考えられる。

- 2) また、PCS 出力が定格に比べて小さい場合には、周波数の変化が緩やかになり、受動方式の周波数変化率が動作するケースが見られた。出力が異なる PCS を組み合わせても相互に干渉することは発生しないが、周波数変化の挙動はそれぞれ単独の場合との中間的な結果となる。
- 3) 異機種との組合せを想定した場合、定格容量と主回路定数が異なっても、相互干渉による影響は認められなかった。ただし、条件の変更範囲は限定されているので、さらに広い範囲で変更した場合（検証試験での組合せを想定して）の動作確認は②の実証試験を想定したシミュレーション解析の中で評価した。
- 4) 高圧系統を介して複数台の燃料電池が単独運転状態となった場合にも、単独運転検出の相互作用に伴い周波数変化の挙動が変化する現象は認められなかった。これは、S 方式の原理上、各 PCS の能動信号の注入量は周波数のみに依存するが、周波数は 1 つの系統内では同一の値であり、低圧系統内の相互接続でも高圧系統を介した接続でも違いは生じないためである。

#### ②実証試験を想定したシミュレーション解析

- 1) 最初に PCS 1 台の場合について①で実施したシミュレーション解析と同じ傾向が得られることを確認した。また、PCS の台数を 3 台まで増やした場合や、モータ負荷との組合せ台数を変化させた場合の挙動を評価したが、単独運転検出の相互作用により、周波数変化の挙動が大きく変化して検出時間が長くなるといった現象は認められなかった。
- 2) 実証試験との比較結果より、周波数が上昇する場合、低下する場合を例に、系統電圧の上昇／低下の変化方向や PCS の有効電力・無効電力の変化方向は一致することを確認したが、周波数が低下するケースでは実証試験の方が相対的に変化速度が遅くなることを確認した。これを踏まえ、モータ負荷の磁気回路飽和特性をシミュレーションモデルに反映することで、周波数低下時に変化速度が緩やかになる現象が再現することを確認した。
- 3) さらに、A社+B社～F社の2台の組合せ、および、3社9台、6社18台までの多数台連系についてもシミュレーションを行い結果を評価した結果、PCS の挙動はメーカーにより差異が生じるものの、単独運転の検出時間が伸びる現象は認められなかった。
- 4) PCS 台数が増加した場合や、複数メーカーの組合せの場合でも平均の単独運転検出動作時間が増加していないことより、18 台を超える場合であっても、選定方式の単独運転検出方式は能動信号の相互干渉が原因で動作時間が変わらない可能性が高いことを示唆している。

#### ③動作メカニズムの解析

- 1) 単独運転検出の有効性を理論的に確認するために、最初に、燃料電池システムと定インピーダンス負荷から構成される単独系統について、定常的な動作メカニズムの整理を行い、安定性（不安定であること）の評価結果を示した。
- 2) さらに、負荷モデルとして、LCR 負荷のみでなくモータ負荷が存在する場合も含めて、

線形モデルを構築して解析を行った結果、不安定である（周波数が発散傾向を示す）ことを確認した。

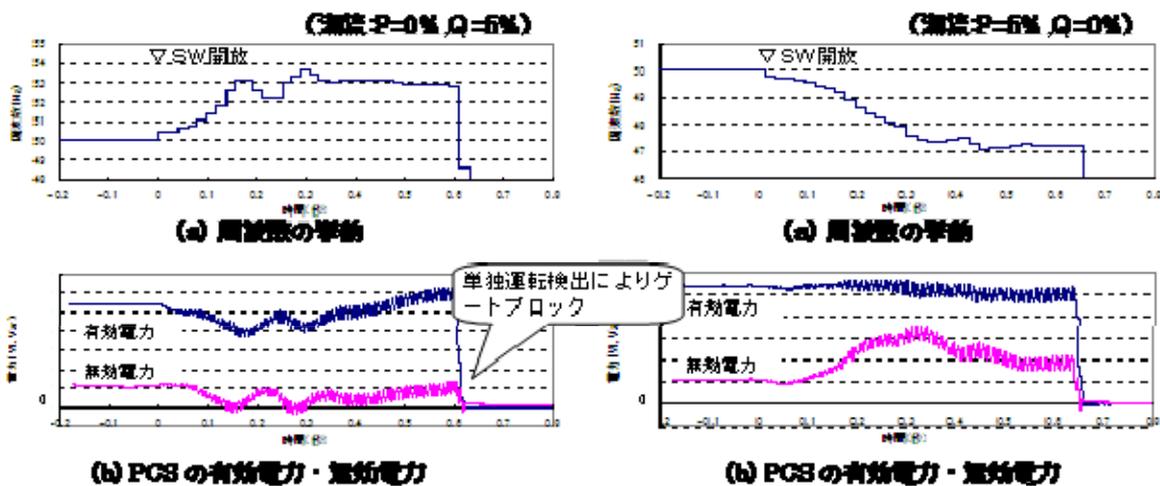
(3)本プロジェクトの成果総括（実証試験）

本プロジェクトの実証試験の成果を総括すると以下の通りとなる。

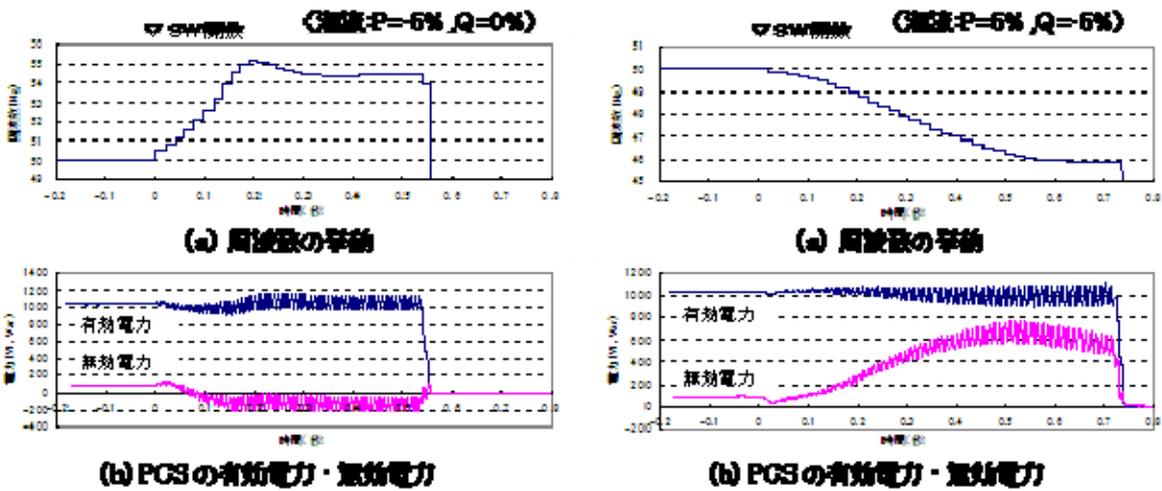
- ① 主回路構成や制御方式の異なる 6 社の PCS に周波数-位相特性を統一した S 方式を組み込んだが、単独運転検出特性に大きな差はなく、PCS 単独での検出有効性は問題ないことを確認した。図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-1 と図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-2 にそれぞれ B 社と D 社の PCS1 台の単独運転検出特性を示す。なお、A 社 PCS1 台についてはここでは省略するが、図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-3 と同様な傾向を示している。

B 社単独時の PCS 無効電力は、A 社のみの場合と概ね同じ動きであるが、スイッチ開放後 0.05~0.1 秒程度遅れてから無効電力の動きが大きくなる傾向が見られる。

D 社単独時の PCS 無効電力も、A 社のみの場合と概ね同じ動きであるが、D 社のほうが全般的に滑らかに変化する一方、変化のスピードが遅く見え、特に周波数が低下方向で顕著である。このようにメーカー間で挙動の違いが見られるのは、周波数検出時のフィルタリング処理や、位相シフト操作における平均化処理などについては、今回指定せず各社の仕様としたために位相シフト(=周波数変化)のスピードに差が生じたものと考えられる。ただし、挙動の違いは瞬時瞬時で比較した場合に生じるもので、単独運転検出の性能面に対しては問題が生じていない。



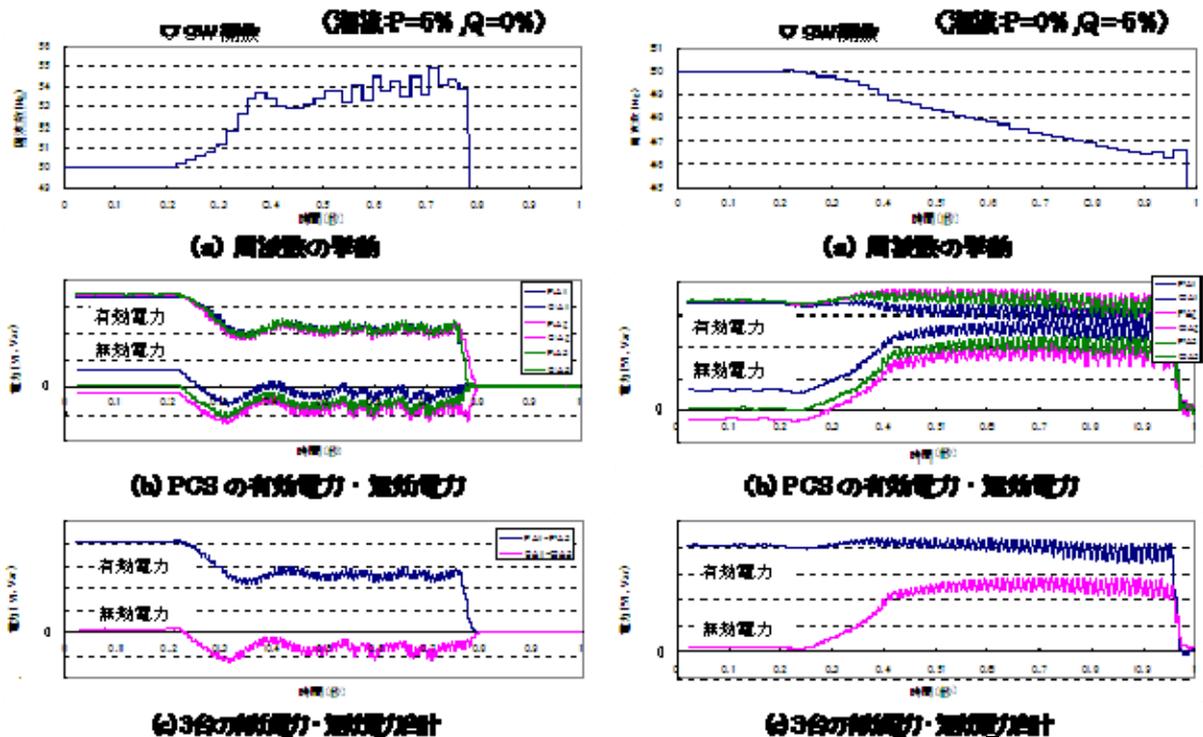
図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-1 B 社 PCS 単独運転時の周波数・無効電力の挙動



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-2 D社 PCS 単独運転時の周波数・無効電力の挙動

② 同一メーカーの PCS2 台並びに 3 台での試験においても、全ての負荷条件での動作時間は 1 秒以内となった。同一メーカー (A 社) の PCS3 台の組合せ試験時の周波数と各 PCS 無効電力の挙動を図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-3 に示す。各図の無効電力の挙動に着目すると、複数台の PCS の無効電力は若干の初期値の違いはあるものの、SW 開放により単独運転に移行した後は同期して変化している。

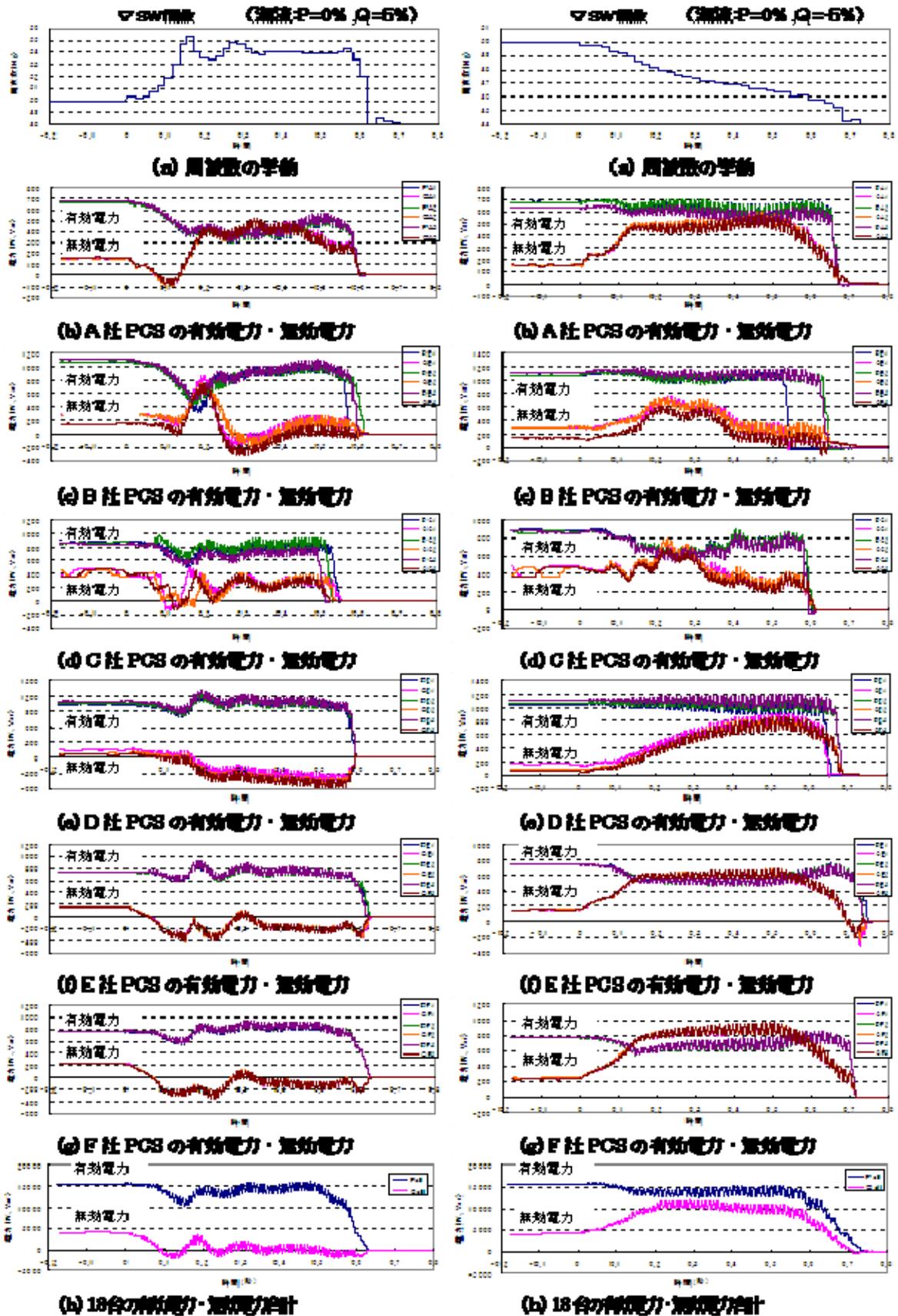
従って、同一メーカーの PCS が複数台連系された場合は、個々の S 方式の能動機能が干渉する傾向は認められない。



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-3 A社 PCS3 台単独運転の周波数・無効電力の挙動

③ 異メーカーの PCS を 1 台ずつの組合せにおいても、全ての負荷条件での動作時間は 1 秒以内である。異なる 2 社 (A 社+D 社) の PCS 2 台の組合せ試験時の周波数と各 PCS 無効電力の挙動を図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-4 に示す。

異メーカーの PCS 組み合わせでは、スイッチ開放により単独運転に移行直後に周波数の変化に伴う無効電力の大まかな挙動 (増加方向か減少方向か) はメーカーが異なっても一致しているが、瞬時瞬時で比較してみると 2 台の動きは異なるように見える。しかし、無効電力出力が異なる理由は、各 PCS が出す能動信号が阻害するように動作しているためではなく、(3)①項でも述べたように S 方式の動作に関わる周波数の検出遅れや、平均化処理によって各社の PCS の制御スピードが異なるために生じているものであると推定される。これを確認するために、PCS 出力の合計を算出してみると各図(c)に示すように、それぞれ 1 社のみで試験した場合の平均的な挙動を示している。単独システムの周波数の挙動はここで示した合計の無効電力と負荷との相互作用で決まることより、異メーカーの PCS 間で無効電力出力の差があっても全体としての単独運転検出時間に影響せず、現状の能動方式に要求される 0.5~1.0 秒で検出している。

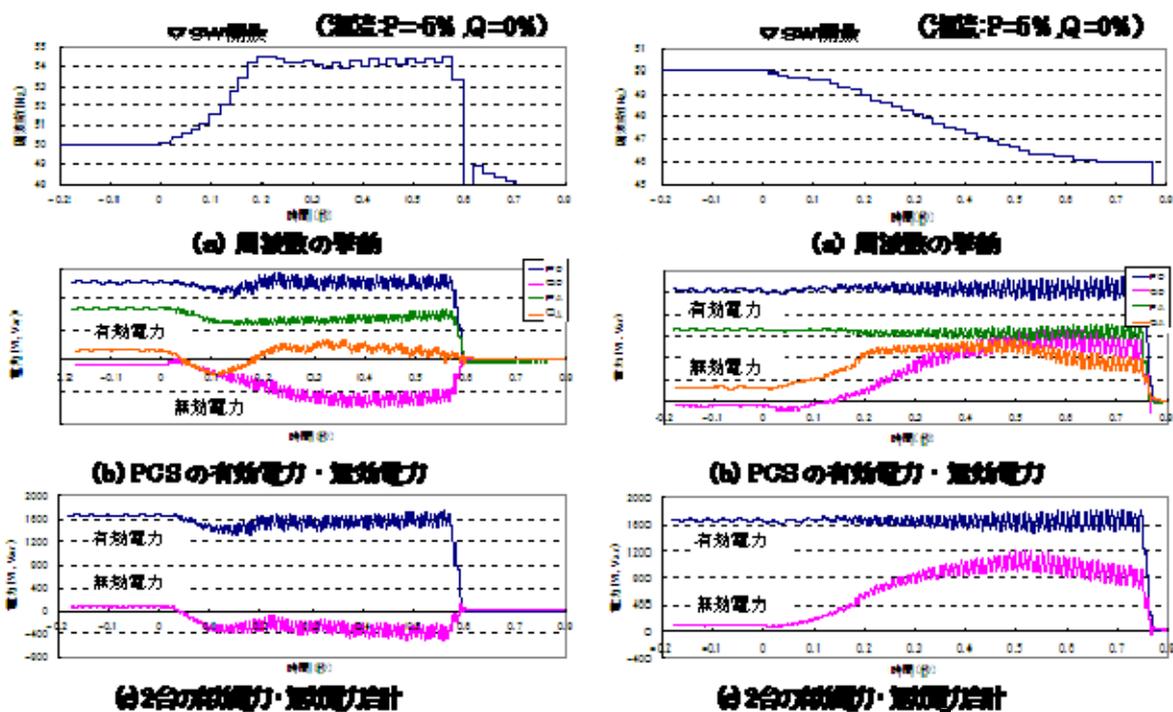


図Ⅲ.2.2.1.3.1.6(3)-4 A社、D社のPCS2台の単独運転時の周波数と無効電力の挙動

④ 3社各3台計9台での試験，並びに6社各3台計18台の試験においても，全ての負荷条件での動作時間は1秒以内であり，かつ連系台数の増加により動作時間が長くなる傾向も認められなかった。PCS 18台（6社各3台計18台）の組合せ試験時の周波数と各PCS無効電力の挙動を図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-5に示す。

(b)～(g)より，各社の3台のPCSは，初期値の違いを除いてほぼ同じ動きをしていると言える。また，6社間では一見違いがあるように見えるが，18台の合計の無効電力を見ると，各社PCS単独で試験した場合の結果の平均とほぼ同じ挙動であることが確認できる。

以上より，異メーカーのPCSが多数台連系された場合でも，制御応答の相違により無効電力のやり取りは部分的に生じるが全体としては同じ方向に無効電力が変化するので周波数の変化速度には影響しないといえる。従って，単独運転検出に対しては問題ないといえる。



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-5 6社PCS各3台計18台連系時の周波数・無効電力の挙動

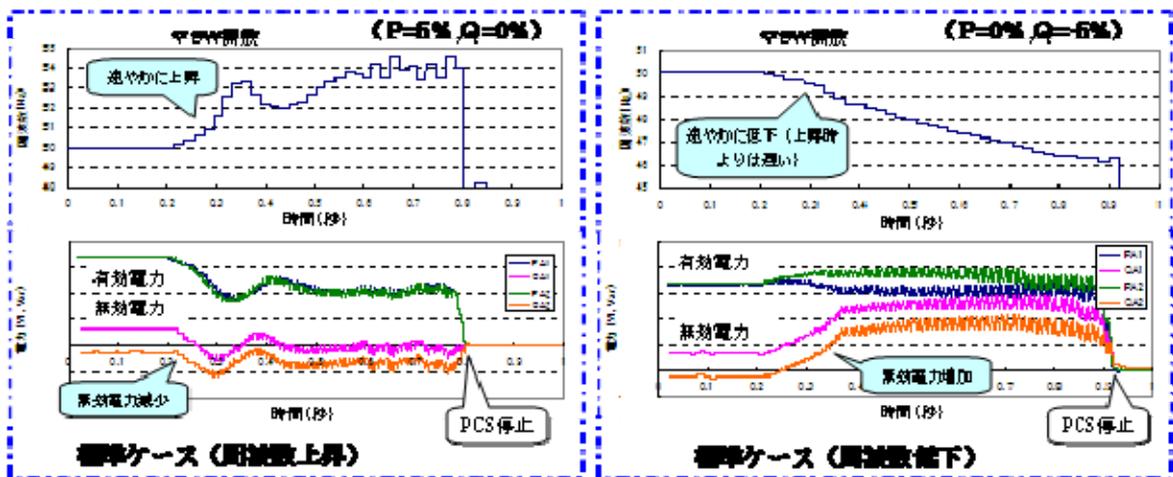
⑤ S方式を組み込んだPCS1台と，異なる能動的単独運転検出方式を持つ太陽光用PCS1台との組合せ試験においても，全ての負荷条件において1秒以内に検出されており，今回試験した2種類の他方式のどちらについてもS方式と組合せにより検出時間が延びることがないことが確認できた。

⑥ S方式を組み込んだPCSの1台から18台までの組合せ試験並びに太陽光用PCSとの組合せ試験結果において，開放点の潮流条件により周波数が上昇するケースと低下するケースがあるが，周波数低下時の検出時間が相対的に長くなる傾向があることが判明した。各組み合わせ試験における25点の各負荷条件での単独運転移行から検出までの間の周

波数の挙動は、表Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-1 単独運転試験の負荷条件の領域Aにおいては上昇方向となり、領域Bにおいては低下方向となる。その間の領域は元々周波数が変わりにくい領域であることから周波数が上昇するケースと低下するケースが混在する。

表Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-2 単独運転試験の負荷条件

		送電 P 受電				
		-10%	-5%	0%	5%	10%
遅れ Q 進み	10%	23	18	3	8	13
	5%	22	7	2	7	12
	0	21	16	1	6	11
	-5%	24	19	4	9	14
	-10%	25	20	5	10	15



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-6 周波数上昇時の挙動

図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-7 周波数低下時の挙動

領域Aでの周波数上昇時及び領域Bでの周波数低下時の標準的な周波数挙動を図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-6 と図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-7 に示す。図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-6 では、単独運轉移行後に無効電力が減少し、それに伴い周波数は速やかに上昇しており、5 サイクル程度で閾値である 51Hz を超え、保護時限 (0.5 秒) 経過後に PCS 停止に至っている。本図の周波数が上昇するケースでの単独運転検出時間は 0.6 秒前後となっている。

一方、図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-7 のように周波数が低下する場合は、無効電力増加に伴い、周波数が低下するが、上昇時より遅いレートで周波数が低下している。これは本プロジェクトの単独運転試験に使用している回転機負荷が単独運轉移行後の電圧上昇により磁気飽和し、以下のように作用するためである。即ち、回転機負荷は磁気回路の飽和により無効電力の消費量が増加する。一方、スリップモードの作用により PCS から注入する無効電力は周波数低下に伴い注入量を増加するように変化する。本来は無効電力の注入量増加は電圧位相を遅らせて周波数の低下を加速する方向に作用するはずであるが、回転機負荷の無効電力消費が増大することにより電圧位相の変化が小さくなり周波数の変化が阻害されるためである。

この回転機磁気飽和により周波数変化レートが小さくなることに加え、周波数低下時の単独運転検出閾値と定格周波数との差が上昇時の差よりも大きいため、閾値(48.5Hz)を下回るまでの時間が10サイクル程度と長くなり、周波数が低下するケースでの単独運転検出時間は保護時限も含めて0.7秒前後となり、周波数上昇時よりも検出時間が長くなっている。

図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-8は回転機負荷の飽和の影響を確認するために、周波数が低下する負荷条件において、回転機負荷を除外した時の試験結果であり、回転機負荷有りの場合に比べて周波数低下速度が早まり、上昇時とほぼ同じレベルとなっている。

また、図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-9に示すようにA社PCS3台と回転機負荷1台との組合せ試験でも周波数低下時の変化速度が影響をほとんど受けていないことから、回転機負荷容量とPCS出力容量との比が大きいくほど、回転機負荷の磁気飽和による単独運転検出特性への影響が大きくなると考える。

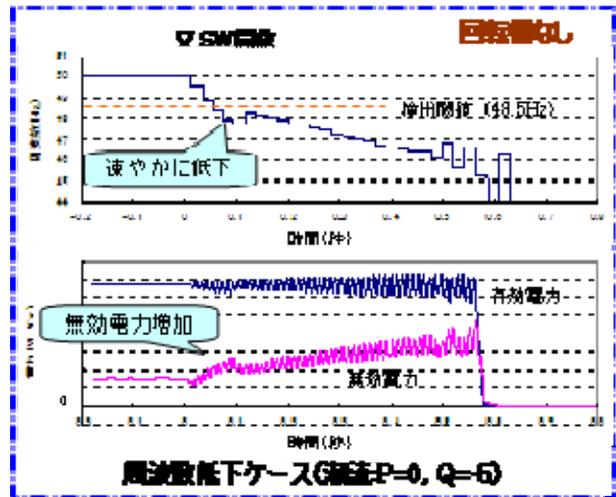
なお太陽光用PCSの場合は定格容量が燃料電池用よりも3-5倍程度に大きいため、磁気飽和の影響は受けにくいと推定される。

⑦ 周波数が上昇するケースと低下するケースにおいて、回転機負荷の飽和と保護検出閾値の差により、検出時間が異なるが、周波数の変化方向に関係なく、定格周波数からの動き出しが遅くなる場合と一旦ある方向に動いた後で逆方向に周波数が変化する場合が特異ケースとして図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-10のように発生している。

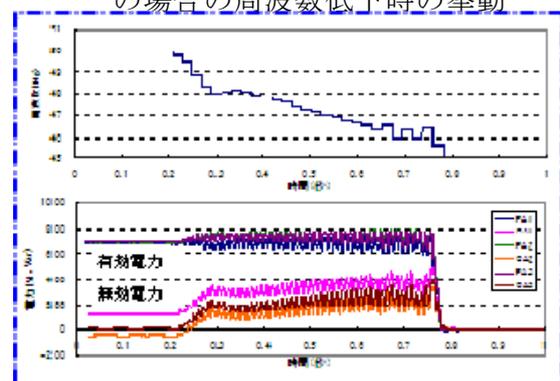
この現象は、負荷条件19, 25などの周波数が変化しにくい点で、かつQが進みの場合に発生している。しかし一度逆方向に動いた場合でも、1サイクルで戻っており、動き出しが遅いケースでも長くても10サイクル程度で通常の周波数上昇、低下の変化レートで変化するようになっている。

これらの現象が、回転機負荷の磁気飽和により周波数変化レートが遅くなり、かつ保護閾値の差が大きい周波数が低下するケースで同時に発生した場合に検出時間が最長となる。本現象は試験ケースの連系台数に関わらず、1台でも18台の場合でも発生している。

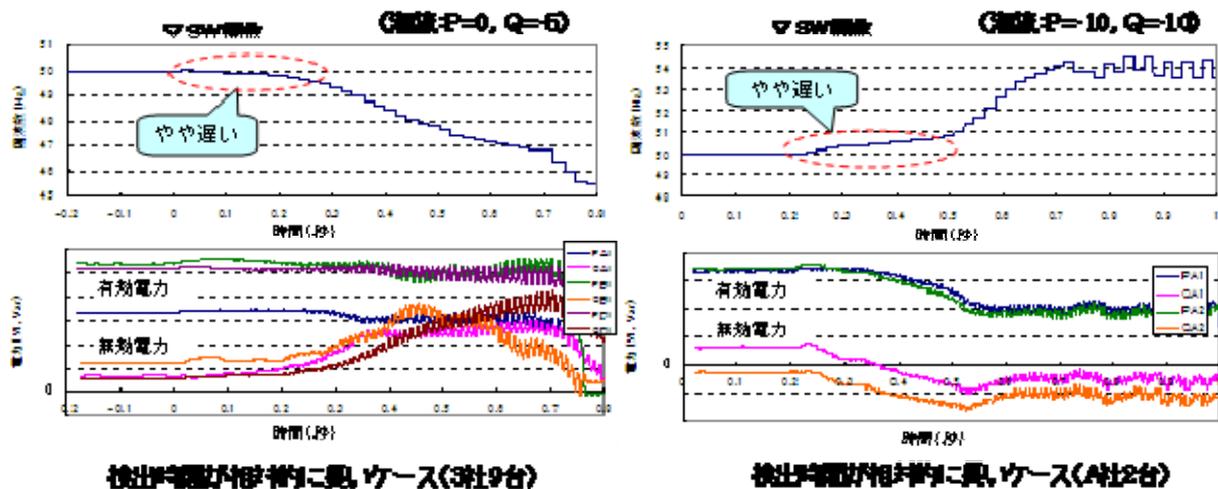
本プロジェクトでPCSの組合せ、台数を変えて負荷条件25点の試験をトータル30回実施した中で、それぞれの検出時間が1秒を超えることはなく、最長でも0.9秒程度で検出している。



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-8 回転機無しの場合の周波数低下時の挙動



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-9 A社PCS3台、回転機負荷1台での周波数低下ケース(P=0, Q=-5)



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-10 周波数の動き出しが遅いケースでの挙動

(4) 考察

本プロジェクトの成果から以下のことが考察としてまとめられる。

- ① S方式を組み込んだ同一PCSが複数台連系されても、各PCSの出力無効電力は同期しており、相互干渉はしない。また主回路構成や制御方法の異なるPCSが複数台連系された場合も、各PCS無効電力の挙動に差が生じているが、全体としては、保護閾値を十分に越えるレベルの周波数変化を生じさせるS方式の基本能動機能(無効電力を出力して周波数を変化させる機能)が働くことが各連系台数における全体の無効電力の挙動から確認できた。従って、S方式を有するPCSだけの複数台連系の場合は、18台までであれば連系台数やメーカーの違いに関わらずS方式の有する基本能動機能は同等に作用し、単独運転検出有効性は良好であり、実用的には問題がないと考えられる。なお、異なるメーカーのPCSが連系している場合の各PCSの無効電力の動きに差が見られるが、全体としてはそれらの変動が平均化されることから、複数台連系において動作速度の異なるPCSが混在し、かつ動作遅れが大きいものが支配的な場合(連系台数の割合が多い場合など)には、その分周波数の変化も遅くなり、検出時間が相対的に長くなるが、その場合でも単機での試験により動作時間が検証されていれば、組み合わせた場合でもそれ以上伸びることは無いので、現状能動方式に要求される0.5~1.0秒の検出には問題ない。ただし、将来的に能動方式の検出時間が短くなる場合には、制御応答速度が問題になる可能性が考えられる。
- ② 今回の単独運転試験は、太陽光用PCSの試験と同じ方法、同じ仕様の回転機負荷を使用して実施している。07年度に実施したPCS台数/回転機負荷台数の比をパラメータとした試験において、PCS1台に対して、回転機負荷を2,3台と増やしていく、即ち相対的に慣性モーメントを大きくすることにより、検出時間が伸びることが確認された。また08年度の試験結果から回転機負荷容量/PCS容量の比が太陽光に比べて大きい燃料電池用PCSの場合は、太陽光用PCSよりも回転機負荷の磁気飽和による影響を受けやすいこと

が判明した。即ち太陽光 PCS よりも厳しい試験条件の下で、18 台までの試験結果として検出時間が 1 秒を超えるケースが皆無であったことと、S 方式を有する PCS が複数台連系された場合の能動機能の動きは台数によらず同じであることを合せて考えると、太陽光用と同じ回転機負荷及び台数で試験した本 PJ での 18 台での連系試験結果は、S 方式を有する PCS 台数での 18 台を超える試験結果と変わらない可能性が高いことを示唆している。

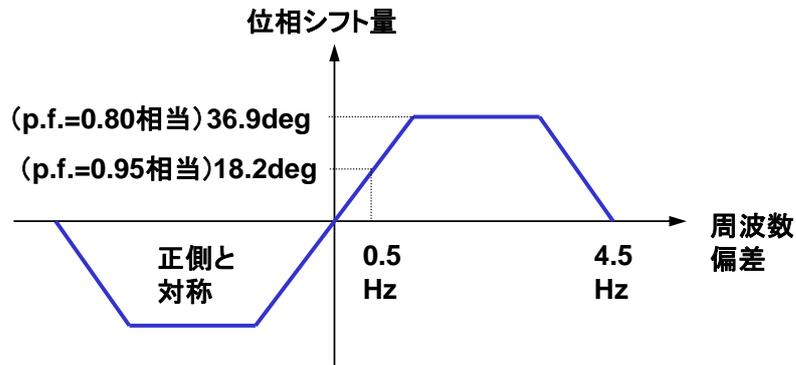
- ③ また太陽光用 PCS のように、今回試験した燃料電池用 PCS に比べて定格容量が 3-5 倍と大きい PCS に S 方式が採用された場合を考えると、定格容量が S 方式の基本能動機能に影響を与えないことから本 PJ の結果と同等であると考えられる。さらに、回転機負荷の慣性モーメントや磁気飽和の影響が軽減されることから、検出時間としては定格容量が小さい場合に比べて短縮される可能性が高い。
- ④ S 方式を有する PCS が複数台連系された場合の能動機能の動きは台数によらず同じであることが確認できたことから、今回の太陽光用 PCS との 1 台同士の組合せでは干渉しないという試験結果は、S 方式を有する複数の PCS 群と太陽光用 PCS 1 台との組合せ試験においても同等の結果になると考えられる。
- ⑤ 本 PJ で実施した検証試験は連系システムの周波数を 50Hz として実施したが、60Hz の場合は、保護閾値が異なるだけで、S 方式の能動機能、回転機負荷の磁気飽和の影響等には差異がない。このため図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-11 に示す周波数偏差に対する位相シフト量の特性カーブにおいて、定格周波数の±1%の範囲内で力率を 0.95 以上に維持するために、原点を通る直線の傾きを変えることにより、今回の 50Hz での検証試験結果は、60Hz の場合でも同等となると考える。
- ⑥ シミュレーションモデルに回転機の飽和特性モデルを追加することにより、実証試験と同じ周波数上昇/下降速度となることが確認でき、パワコン単体から 18 台までの連系試験結果とほぼ同等の結果がシミュレーション解析で得られた。  
今回 1 台から 18 台までの単独運転検出特性が変わらないことが解析並びに実証試験結果で確認できたことから、18 台を超える台数についても本 PJ で開発したシミュレーションモデルで十分検証できると考えられる。

#### (5) 今後の課題

##### ① S 方式を規定するための仕様の明確化

今回のプロジェクトでは 6 社の PCS に S 方式を組み込んだが、統一条件としたのは位相シフト特性(図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-11)だけであり、基本的な制御方式等は各社の標準のままとした。そのため周波数変化に影響を与える定格周波数 50Hz (周波数偏差=0) 付近の周波数検出分解能は統一できていないが、各社の周波数分解能は 0.02Hz 以内となっている。前述のように各社独自の PCS に S 方式を組み込んだ結果として、単独運転検出特性は有効であり、かつ複数台の組合せ状態でも単体と同等の能動機能を有することから、位相シフト

特性と周波数検出分解能を規定することで S 方式の統一仕様としては実用上十分であると考えられる。但し、メーカーの異なる S 方式を有する PCS が混在する場合は、他の制御仕様(応答性等)を統一することで、異なるメーカーの PCS 間で生じる無効電力の横流を防止でき、複数台連系時の S 方式の検出特性の更なる改善が図れると考えられることから、S 方式仕様として規定する項目とその内容について規格化されることが望ましい。



図Ⅲ2.2.1.3.1.6(3)-11 周波数偏差に対する位相シフト特性

## ② 18 台以上の高密度連系状態における技術要件の整理

本 PJ の目的である高密度連系時の課題を解決するためにも、本 PJ の成果を、18 台超の高密度連系時に適用できる要件を整理することが望ましい。(5) ①項の S 方式仕様の規格化により、単独運転移行後の各 PCS の出力無効電力が同期して変化するようになれば、18 台以上でも S 方式間の干渉はないと考えられるが、設置場所の条件等も加味した適用要件の整理が必要である。

## ③ 太陽光用 PCS との組合せについて

今後の太陽光ならびに燃料電池の更なる普及加速を考えると、(イ) S 方式を有する燃料電池用 PCS 群と太陽光用 PCS1 台の組合せ、また(ロ) S 方式を有する燃料電池用 PCS1 台と複数台の太陽光用 PCS 群の組合せ、さらに(ハ)複数台の燃料電池用 PCS 群と複数台の太陽光用 PCS 群の組合せによる高密度連系状態が発生するケースが想定される。

考察(4) ④項で述べたように(イ) S 方式を有する複数台の PCS 群と太陽光用 PCS1 台の組合せにおいては、干渉による問題発生の可能性は極めて低いと考えられるが、(ロ)(ハ)のケースについては、S 方式を有する PCS と太陽光用 PCS のそれぞれの定格容量(複数台の場合は合計容量)の比率が、本 PJ の試験に使用した S 方式を有する PCS 定格容量(700W)と太陽光用 PCS の定格容量(3kW)との比率に比べて、太陽光用 PCS の容量が少ない比率であれば、(イ)のケースと同様の評価が可能と考えられるが、太陽光用 PCS の容量が多い比率の場合については検証・確認が必要である。

## 2.2.1.4 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討

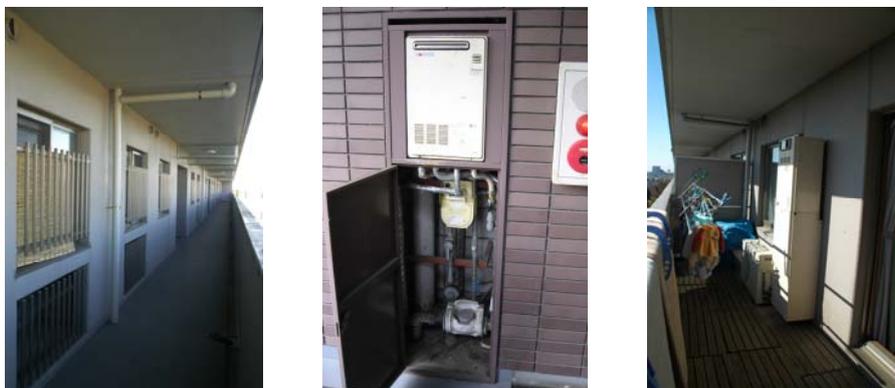
### 2.2.1.4.1 はじめに

定置用小型燃料電池システムは、現状では戸建て住宅への設置が中心となっているものの、近年マンションのバルコニーやパイプシャフトなど、集合住宅への設置に対応したシステムの開発が一部メーカーで検討され、あるいは試作システムが実際に設置されて導入効果の評価等が行なわれている。

(財)建築物価調査会がまとめた建築統計年報平成17年度版によれば、平成7年から平成16年の10年間の住宅着工件数について、集合住宅の着工数は戸建て住宅数とほぼ同水準と高い上、都心部では集合住宅の割合が高まるため、定置用小型燃料電池システムが集合住宅等に設置可能となれば、市場規模は従来の2倍以上に広がるものと期待される。そしてこのように市場が拡大すれば、生産台数の増加に伴うコストダウンが促進され、戸建て住宅設置も含めてより一層市場が拡大するという好循環を期待できる。

一方、これまで定置用燃料電池システムが導入・設置されることのなかった設置環境下に導入される場合、それぞれの機器仕様あるいはそれぞれの設置環境に応じた安全担保が確保される必要がある。これら安全担保のための設置基準や安全要件は、国内での更なる普及に向けて重要であるだけでなく、こうした新しい仕様の燃料電池システムを将来、海外に導入していくにあたって国際標準化活動を主導的な立場で推進できれば、国内の燃料電池システムの国際競争力向上という点で、極めて有意義な取り組みとなる。

そこで本事業では、平成19年度からの新規実施事項として「小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に関する調査・検討」を提案した。



図Ⅲ2.2.1.4.1-1 集合住宅で想定されている設置環境の例

### 2.2.1.4.2 調査・机上検討の内容

#### (1) 設置形態の特定

集合住宅における現状のガス機器設置形態は、大まかには開放（共用）廊下側への設置、バルコニー側への設置、ダクトへの設置と3つに分類されるが、それぞれの分類でユニットの設置場所や設置方法等により、図Ⅲ2.2.1.4.2-1に示す通り更に細かく分類される。しかし、各設置形態における設置可能スペースや設置環境と、定置用小型燃料電池システムの寸法、給排気仕様などの物理的な制約条件を勘案して検討した結果、図Ⅲ2.2.1.4.2-1の中で色をつけた6つの設置形態が優先的に検討すべき範囲であると判断した。

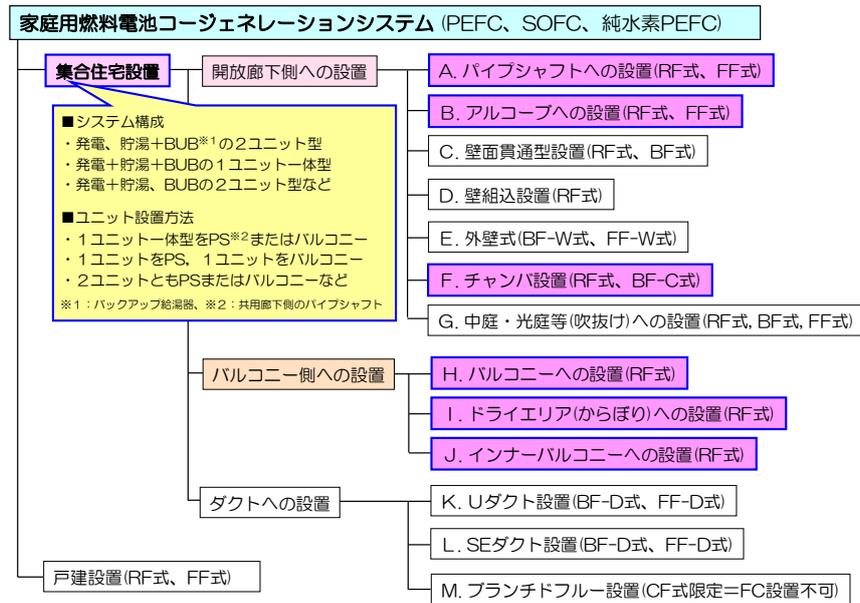


図 III 2. 2. 1. 4. 2-1 設置形態の検討範囲特定結果

## (2) 家庭用ガス温水機器及びコージェネレーションシステムとの相違点整理

特定された設置環境を勘案して安全要件等の素案を検討するにあたっては、既に集合住宅に広く導入され、普及している家庭用ガス温水機器等の基準や標準が有益な参考情報として活用できるものと考えられる。そこで各種燃焼機器と PEFC システム、SOFC システム及び純水素 PEFC システムの各種類の定置用小型燃料電池システムについて、実機による運転データの収集を行ない、各種燃焼機器と燃料電池システムの技術上の相違点の有無を調査した。

一般的に定置用小型燃料電池システムは、排ガスの温度や組成、筐体表面温度など、使用者の安全担保や火災予防上の安全担保といった観点で、他の各種燃焼機器と殆ど相違点は無く、各種燃焼機器と同等以上の安全性を有している。

ただし以下に示す通りの相違点があり、特に集合住宅設置を検討する場合には、半密閉空間であるパイプシャフトや高層住宅での強風など、集合住宅特有の設置環境も踏まえた上で、安全担保のための設置基準や要件を検討する必要がある。

- 部分負荷運転を行う時間帯もあり、1日当りの総運転時間が長時間化する傾向にある。
  - また SOFC システムなど、燃料電池システムの種類等によっては連続運転での運用も考えられる。
- 排ガスの温度と吐出風速が低い。
- 燃料電池システムの種類によって、温度や排ガス組成などのハザードとその重要度が異なる。

(3) ハザード分析と実機検証の要否・試験方法等の検討

集合住宅設置(共用廊下側への設置及びバルコニー側への設置)について、実際の設置環境から想定し得るハザードを抽出し、それぞれのハザードがもたらすリスク分析を行った。

表Ⅲ2.2.1.4.2-1に共用廊下側への設置に関連したハザード分析検討項目、表Ⅲ2.2.1.4.2-2にはバルコニーへの設置に関連したハザード分析検討項目を示す。それぞれのハザードについて実機試験の要否を検討した結果、パイプシャフト温度上昇試験、排気還流試験、超高層向耐風試験、給排気閉塞試験の4試験を選定した。これらについて、標準的な試験法と安全担保に資する設置基準等の素案の妥当性を検証するとともに、必要に応じて国際標準等への追加・改善提案として取り纏めることとした。

表Ⅲ2.2.1.4.2-1 ハザード分析検討結果(共用廊下側への設置)

ハザード項目	ハザード詳細	試験要否	実機試験の概要
パイプシャフト(P S)内の空間や内壁など	長時間運転に伴うP S内空間及びP S内壁の異常な温度上昇による火災/火傷リスク	○	①パイプシャフト温度上昇試験 燃料電池特有の長時間連続運転や、パイプシャフト特有の閉鎖環境を考慮した実機検証を実施
	長時間運転に伴うP S内設置したメーター類の温度上昇による誤作動リスク	○	
	長時間運転に伴うP S内配管、ケーブル類の異常温度上昇・延焼による火災リスク	○	
	地震による配管の外れ等によるP S内への可燃性ガス漏洩、爆発、火災リスク	×	実機試験は不要(現行の国内外の基準・標準・実務指針で対応可能)
	昆虫、小動物等の侵入による誤作動リスク	×	
排気ガス(温度・組成)	不完全燃焼による可燃性ガスの排出・滞留による火災/爆発リスク(超高層物件特有の強風、通常風、微風、上昇風、下降風も検討)	○	②超高層向耐風試験 集合住宅共用廊下側設置特有の強風環境も想定し、様々な風速・風向条件を考慮した実機検証を実施
	不完全燃焼によるCOの排出・滞留による中毒リスク(超高層物件特有の強風、通常風、微風、上昇風、下降風も検討)	○	
	据置型ユニットの排気口接触による火傷リスク	○	上記①試験にて同時実施
	据置型ユニットからの高温排ガス吹き出しによる火傷リスク	○	
	給排気口閉塞(障害物、異物混入等)による不完全燃焼、可燃性ガス滞留による中毒/爆発リスク	○	③給排気閉塞試験 人為的もしくは偶発的な閉塞環境も考慮した実機検証を実施
パッケージ換気	(筐体内部漏洩など不具合時に)PS内へ可燃性ガスを含む換気ガスが滞留することによる火災/爆発リスク	×	実機試験は不要(現行の国内外の基準・標準・実務指針で対応可能)

(管体内部漏洩など不具合時に)PS内へCOを含む換気ガスが滞留することによる中毒リスク	×	
揮発性材料(殺虫剤等)の噴霧による腐食、爆発、不完全燃焼による中毒リスク	×	
換気口閉塞(障害物、異物混入等)による不完全燃焼、可燃性ガス滞留による中毒/爆発リスク	○	上記③試験にて同時実施

表Ⅲ2.2.1.4.2-2 ハザード分析検討結果(バルコニー側への設置)

ハザード項目	ハザード詳細	試験要否	実機試験の概要
周囲壁など	長時間運転に伴って温度上昇したバルコニー壁面や避難扉等への接触による火傷リスク	×	実機試験は不要(現行の国内外の基準・標準・実務指針で対応可能)
	昆虫、小動物等の侵入による誤作動リスク	×	実機試験は不要(現行の国内外の基準・標準・実務指針で対応可能)
	揮発性材料(殺虫剤等)の噴霧による腐食、誤作動リスク	×	
	地震による誤作動/転倒リスク	×	実機試験は不要(現行の国内外の基準・標準・実務指針で対応可能)
	エアコン室外機等の隣接電気製品との電氣的干渉(イミュニティ、エミッション)による誤作動リスク	×	
排気ガス(温度・組成)	不完全燃焼による可燃性ガスの排出・滞留による火災/爆発リスク(超高層物件特有の強風、通常風、微風、上昇風、下降風も検討)	○	② 超高層向耐風試験 集合住宅のバルコニー設置特有の強風環境も想定し、様々な風速・風向条件を考慮した実機検証を実施
	不完全燃焼によるCOの排出・滞留による中毒リスク(超高層物件特有の強風、通常風、微風、上昇風、下降風も検討)	○	
	据置型ユニットの排気口接触による火傷リスク	×	実機試験は不要(現行の国内外の基準・標準・実務指針で対応可能)
	据置型ユニットからの高温排ガス吹き出しによる火傷リスク	×	
	災害避難時における高温排ガス吹き出しによる火傷リスク	×	
		給排気口閉塞(正面風、上昇風、下降風、障害物、浸水、異物混入等)による不完全燃焼、可燃性ガス滞留による中毒/爆発リスク	○
排気還流	バルコニー壁との干渉(排気還流)による不完全燃焼(可燃性ガス滞留)による火災リスク	○	④ 排気還流試験 集合住宅のバルコニー特有の閉鎖環境や、バルコニー壁との離隔距離条件等を考慮した実機検証を実施
	バルコニー壁との干渉(排気還流)による不完全燃焼(COの排出・滞留)による中毒リスク	○	

#### 2.2.1.4.3 供試体の調達

前項で選定した4試験を実施するため、集合住宅設置タイプの供試体として、発電ユニットと貯湯槽が別置き純水素PEFCシステム（分離型）、発電ユニットと貯湯槽が一体となった純水素PEFCシステム（一体型）及びSOFCシステムの3機種を選定した。選定した集合住宅設置タイプの供試体の概観を図Ⅲ2.2.1.4.3-1に示す。なお、また、PEFCシステムの評価も行うため、本事業で調達した戸建仕様のを1台選定した。



純水素PEFCシステム  
（分離型）



純水素PEFCシステム  
（一体型）



SOFCシステム

図Ⅲ2.2.1.4.3-1 集合住宅設置タイプ供試体の概観状況

#### 2.2.1.4.4 集合住宅における安全要件及び設置基準等の検討

実機検証試験項目として選定した4試験について、国際標準や現行JIS規格等を参考に試験方法案を作成し、実機検証試験を通じ、集合住宅設置等における安全要件及び試験方法を検討するとともに、とりまとめた試験方法や安全要件及び設置基準案を国際標準(IEC)改定検討の場等へ提供した。

##### 2.2.1.4.4.1 超高層向耐風試験

###### (1) 目的

超高層住宅（高さ60メートル以上）で想定される厳しい強風環境下においても、燃料電池システムが正常に起動（点火）し、また燃焼状態を維持し発電が継続できるかどうかを確認する。

###### (2) データ収集方法の検討

###### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.4.4.1-1 データ収集項目

主な測定項目	許容値など
送電端出力、オフガス燃焼部温度、改質器温度、セルスタック（温度）、オフガス燃焼部火炎、燃料ガス流量、電源電圧、排気口直後の排ガス温度、排ガスの成分ガス濃度（H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO、THC、SO <sub>x</sub> 、CO <sub>2</sub> ）、周囲大気温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CO濃度：0.14%以下 （酸素ゼロ%換算値）</li> <li>・水素を燃料とし、改質器を持たないものはH<sub>2</sub>濃度：1%以下</li> </ul>

## ②データ収集方法

### 1) 機器の状態及び試験環境

- a) 機器の状態：機器を、屋外設置式のものにあつては図Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-1 に示す試験装置に設置する。
- b) 電源：定格周波数で定格電圧の90%の電圧とする（点火試験時のみ）。
- c) 排ガス採取：供試体毎に、製造業者と協議し、データに影響与えることがなく確実に採取できる最適排ガス採取方法を採用する。

### 2) 点火試験

屋外設置式のものにあつては図Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-1 に示す4方向について、10 m/sの風を送った状態で、取扱説明書などに示す点火の方法によって点火操作を繰り返し、点火の回数及び爆発的に点火しないことを確認する。いずれの機器も腰壁の有無に対してそれぞれ試験を行う第1回目の点火については、停止状態において起動を行い、着火を確認し、運転を停止する。第2回目以降は、引き続きこの試験を実施する。点火試験の回数は3回以上とする。点火の確認は、燃焼検知手段、製造業者の示す方法などによる。

### 3) 燃焼試験

#### a) 着火の確認

屋外設置式のものにあつては図Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-1 に示す4方向について、10 m/sの風を送った状態で停止状態から起動する。このとき、起動開始から負荷が定格出力（最大燃料消費量による運転状態）到達後30分以上経過するまでの状態において、炉内（システム内全ての燃焼部を対象とする）に設置した燃焼検知手段などによって、安定した燃焼状態であることを確認する。いずれの機器も腰壁の有無に対してそれぞれ試験を行う。

#### b) 燃焼及び運転状態の確認

a) の定格出力到達後、30分以上経過した段階で、屋外設置式のものにあつては図Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-1 に示す4方向について、5 m/sの風を3分間及び30 m/sの風を1分間送る。このとき、それぞれの状態において、炉内に設置した燃焼検知手段などによって、消火及び逆火がなく安定した燃焼状態であることを確認する。いずれの機器も腰壁の有無に対してそれぞれ試験を行う。

#### c) 起動/運転状態の確認

a) 及び b) の全試験中において、警報又は異常停止・緊急停止が発生しないことを確認する。

### (3) データ収集の実施

実施したケースの一部で点火シーケンスに進まないケースが見られたが、そうした場合でも全て通常の停止動作に移行しており、安全上問題となるケースは無かった。また正常に運転を継続した供試体では、点火・燃焼状態の把握が適切にできており、超高層向耐風試験方法の試験条件としては適切な範囲内である事が示唆される結果となった。

(4) 評価方法の検討

超高層住宅（高さ 60 メートル以上）で想定される必要な風速の検討にあたり、地表面からの高さとの関係について、考察を行った。

一般に地表付近の風速は、地表面の摩擦の影響で上空に比べて弱い。どの程度弱くなるかは大気安定度や地表の粗度によって異なるが、大まかには次式で表される「べき法則」に従うと言われている。

$$VZ = VR (Z / ZR)^{1/n}$$

ここで、VZ、VR はそれぞれ地上からの高さ Zm、基準の高さ ZRmにおける風速を表わす。これまでの観測結果から、地表面の状態と n との関係は表Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-2 のようになる。

表Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-2 地表面の状態と n との関係

地表面の状態	n
平野、草原	7
森林、高い建物のない市街地、住宅地	4
大都市の郊外周辺、市街地	3
大都市の中心付近	2

(自然科学研究機構 国立天文台編 理科年表オフィシャルサイトより)

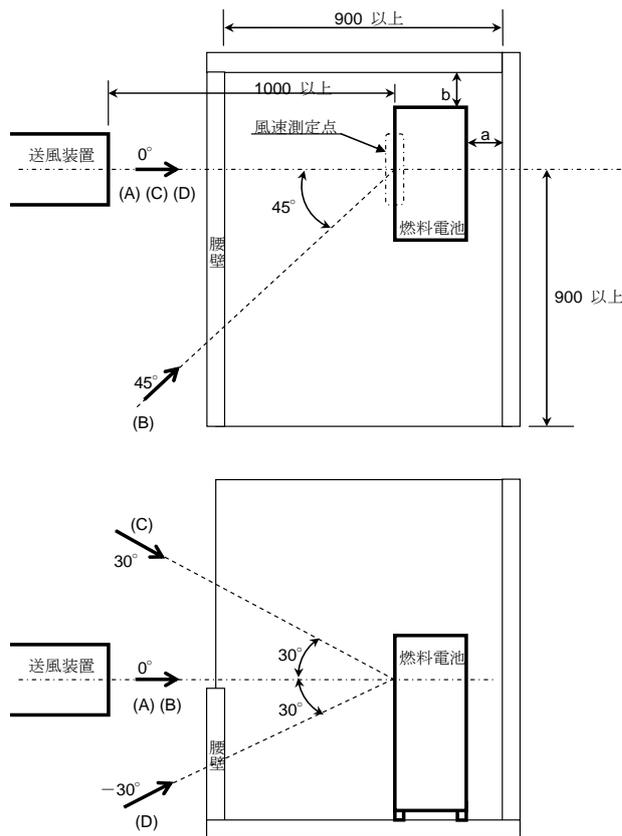
[http://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/kisyo/kisyo\\_011.html](http://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/kisyo/kisyo_011.html)

近年日本においても 200m を超える超高層マンションは存在するが、ここでは 60m～150 m 程度の建築物で、建設場所の地表面の状態は「大都市の郊外周辺、市街地」と想定した。例えば基準の高さを地上 10m とし、そこでの風速が 15m/s であった場合、換算風速は 27 m/s～37m/s となる。これは基準の高さとした地上 10m で風速 15m/s であった場合の 1.82 倍～2.47 倍となる。

そこで超高層住宅における耐風性能試験の風速については、一般的な耐風試験の 2 倍程度の風速にて実施することが望ましいと考えた。以上の考察から、耐風試験による風速条件を表Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-3 の通り整理した。

表Ⅲ2. 2. 1. 4. 4. 1-3 耐風試験による風速条件

	IEC	JIS	超高層向耐風試験方法
点火試験	4.4m/s	5m/s	10m/s
着火試験	—	5m/s	10m/s
燃焼試験	①	2.5m/s (3分)	5m/s (3分)
	②	15m/s (1分)	30m/s (1分)



図Ⅲ2.2.1.4.4.1-1 屋外耐風試験装置 (バルコニー、PS 設置)

注記1 a及びbは、取扱説明書などによる最小指定寸法。

注記2 風は、送風装置と機器の給気部及び排気部との距離を1000mm隔離し、給気部及び排気部に一様に当てるものとする。ただし、送風装置の吹出し口と機器の給気部及び排気部との関係から、同時に当てられない場合は、排気部に当てるものとする。

注記3 風の測定前の校正は、機器及び障害物がない状態において、送風装置の吹出し口の前方1000mm以上の実際の位置で、送風装置側から見て、給気部及び排気部に外接する長方形の中心点を中央風速とし、長方形の各頂点を含む5点を測定する。ただし、開口部の下端が地面から200mm未満のときは、地面から200mmの点を測定点とする。

注記4 試験風速は、5点の平均風速とし、各測定点の風速は、試験風速に対して±10%以内とする。

## 2.2.1.4.4.2 排気還流試験

### (1) 試験方法検討の目的

燃料電池を設置し運転している際、壁などの影響を受け、排気口からの排気が再度、給気口より給気され、燃料電池の運転状態が不安定になり、危険な状態が継続しないかどうかを確認する。

### (2) データ収集方法の検討

#### ① データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.4.4.2-1 データ収集項目

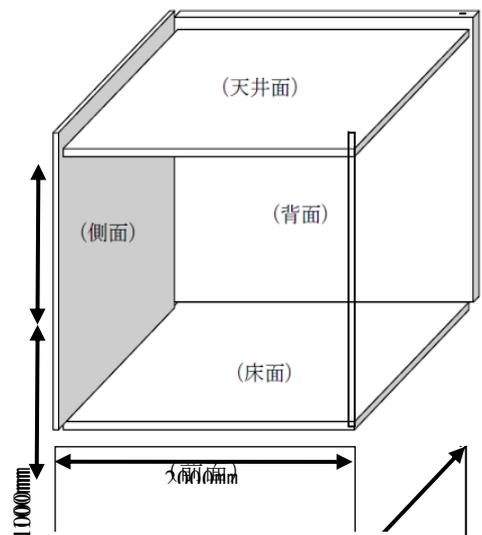
主な測定項目	許容値など
送電端出力、オフガス燃焼部温度、改質器温度、セルスタック(温度)、オフガス燃焼部火炎、燃料ガス流量、電源電圧、排気口直後の排ガス温度、排ガスの成分ガス濃(H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO、THC、SO <sub>x</sub> 、CO <sub>2</sub> )、給気口直後の給気ガス温度、給気ガスの成分濃度(CO、CO <sub>2</sub> 、THC、O <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、H <sub>2</sub> )、周囲大気温度	給気ガスの濃度： ・CO濃度：0.14%以下 (酸素ゼロ%換算値) ・水素を燃料とし、改質器を持たないものはH <sub>2</sub> 濃度：1%以下

## ②データ収集方法

### 1)測定機器の設置

a)燃料電池発電ユニットを、図Ⅲ2.2.1.4.4.2-1に示す設置環境に製造業者が指定する要領で、製造業者の指定する距離となるように設置する。前面は床面より1100 の高さとし、前面の横幅は2000 、開口高さ1000 とする。設置環境の奥行きは、燃料電池発電ユニットの排気口から前面までの距離を2000 と300 の2通りの設置状況で試験を実施する。製造業者の指定する距離が無い場合は、測定機器のパッケージを背面及び側面に防火上必要最小限の距離を確保して設置する。

b)燃料電池発電ユニットの給気・排気口周囲から、平均的に給気・排気ガスを採取できるよう、燃料電池発電ユニットの給気・排気口の形状に応じたガス採取器を取り付ける。排ガス採取器は、JIS S 2109 による。



図Ⅲ2.2.1.4.4.2-1

排気還流試験測定機器設

### 2)測定の方法

a)燃料電池発電ユニットを起動させ、バーナの点火有無を確認する。

b)定格発電時の定常時（目標負荷到達の30分後以降）において、給気及び排気ガス成分その他各測定項目の測定を24時間実施する。

### (3) データ収集の実施

SOFC システム、純水素 PEFC システム、PEFC システム（改質型）のデータ収集結果では、排気還流の影響でシステムの運転状態が不安定になることはなかった。

### (4) 評価方法の検討

国際標準や国内標準には排気還流試験の記載はないため、「ガス機器の設置基準及び実務指針」に記述されている、所定のインナーバルコニー設置環境において長時間運転を行い、給排気ガス成分の濃度変化を確認する試験として、新たに試験方法を検討した。

排ガス組成の測定だけでなく、給気ガス組成の測定も実施することとし、給気ガス CO 濃度（水素を燃料とし改質器を持たないものは H<sub>2</sub> 濃度）については、排ガスの許容濃度と同じとした。

測定機器の設置に関しては、「ガス機器の設置基準及び実務指針」を参考に、燃料電池発電ユニットの排気口から腰壁までの距離を2000 とした場合と、腰壁までの距離が短い方が排気還流の影響を受けやすい可能性があること考慮し、最低限度のメンテナンススペースとして、腰壁までの距離を300 とした場合の2種類とした。

#### 2.2.1.4.4.3 給排気閉塞試験

##### (1) 目的

給気口もしくは排気口が、人為的もしくは偶発的に閉塞状態となったとき、燃料電池システムの運転状態が不安定になるなどして危険な状態が継続しないかどうかを確認する。

##### (2) データ収集方法の検討

###### ①データ収集項目

表Ⅲ2.2.1.4.4.1-1 の収集項目（オフガス燃焼部火炎は除く）に準じる。

###### ②データ収集方法

###### 1) 給気閉塞試験

- a) 定格発電時の定常時（目標負荷到達後 15 分以上かつ熱的平衡が達成されるまで）において、給気口並びに排気口をともに全開とした状態にて、15 分以上運転を行う。
- b) 給気口を徐々に閉塞させ、定格発電にて燃料電池発電ユニット内の各部温度、圧力等が安定して運転できる最大閉塞状態を決定する。この状態で、排ガス成分その他各測定項目の測定を 30 分間実施する。

###### 2) 排気閉塞試験

- a) 定格発電時の定常時（目標負荷到達後 15 分以上かつ熱的平衡が達成されるまで）において、給気口並びに排気口をともに全開とした状態にて、15 分以上運転をおこなう。
- b) 排気口を徐々に閉塞させ、定格発電にて燃料電池発電ユニット内の各部温度、圧力等が安定して運転できる最大閉塞状態を決定する。この状態で、排ガス成分その他各測定項目の測定を 30 分間実施する。

##### (3) データ収集の実施

SOFC システム、純水素 PEFC システムのデータ収集結果では、給排気閉塞の影響で燃料電池システムの運転状態が不安定になるなどして危険な状態が継続することはなかった。

##### (4) 評価方法の検討

国際標準（IEC62282-3-1）では、給気閉塞試験については、①給気口を点火可能な最小開度から起動させる試験と②定格運転時に給気口を全開から徐々に閉塞させる試験の 2 種類を規定しているが、実試験での作業性等を踏まえ、②のみを実施することにした。さらに、排ガス CO 濃度の許容値については、他の試験同様 1400ppm 以下（水素を燃料とし改質器をもたないものは H<sub>2</sub> 濃度 1%以下）とした。

#### 2.2.1.4.4.4 パイプシャフト温度上昇試験

##### (1) 目的

燃料電池システムは、ガス燃焼機器などと比べて長時間の連続運転をおこなうことが想定される。そこで、燃料電池システムからの輻射熱によりパイプシャフト（PS）内空間及び PS 内壁等の温度が異常に上昇しないかどうかを確認する。

(2) データ収集方法の検討

①データ収集項目

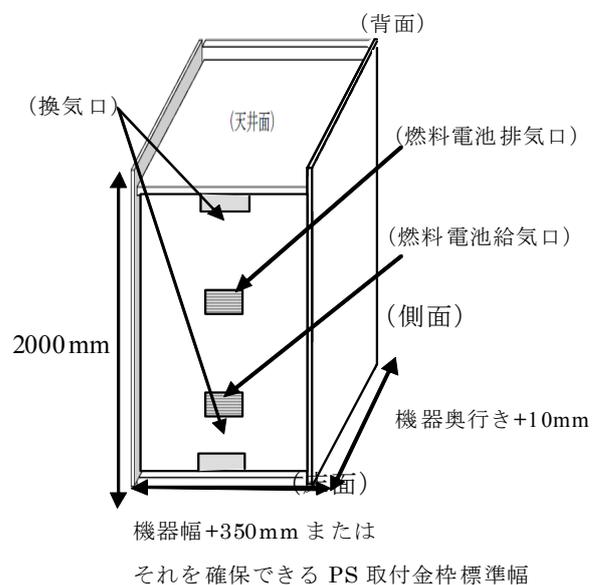
表Ⅲ2.2.1.4.4.4-1 データ収集項目（周囲木壁・空間内温度以外は参考データ）

主な測定項目	許容値など
送電端出力、操作時に手を触れる部分（起動・停止スイッチなど）、 、ガス閉止弁表面温度、パッケージ表面温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、セルスタック（温度・電流・電圧）、改質器温度、オフガス燃焼部温度、排気口直後の排ガス温度、周囲木壁温度（天井面、背面、側面、前面及び床面）、空間内温度、周囲大気温度	空間内温度： 燃料電池と同一空間内に設置される他設備（計量メーター等）に影響を与える温度としないこと

②データ収集方法

1)測定機器の設置

燃料電池発電ユニットを、図Ⅲ2.2.1.4.4.4-1 に示す測温板と燃料電池発電ユニットの離隔距離が、製造業者の指定する距離となるように、製造業者が指定する要領で設置する。製造業者の指定が無い場合は、天井面までの高さ 2000mm、幅は燃料電池発電ユニット幅+350mm またはそれが確保できる PS 取付金枠標準幅、奥行きは機器奥行き+10mm とし、燃料電池発電ユニットは片側に詰め、メータを設置できる空間を確保して設置する。測温板の仕様は JIS S 2109 に従うこと。



図Ⅲ2.2.1.4.4.4-1 温度上昇試験の測温板配置

2)データ収集方法

表Ⅲ2.2.1.4.4.4-2 運転ケース及び測定方法

運転ケース	運転方法及び測定方法
1 正常運転ケース	<p>運転方法：冷起動→定格発電→通常停止操作→通常停止</p> <p>測定方法： 起動操作10分前から測定を開始し、定格出力にて24時間以上運転した後、木壁面の温度が安定してから3時間維持する。その後、通常停止操作から各温度が低下するのを確認できるまで測定する。</p>
2 異常運転ケース（強制高温運転）	<p>運転方法：定格発電→異常運転（強制高温運転）操作→異常停止</p> <p>測定方法： 定格出力にて24時間以上運転した後、木壁面の温度が安定してから30分経過後に異常運転操作を行う。データは異常運転操作10分前から、異常停止後各温度が低下するのを確認できるまで測定する。</p>

### (3) データ収集の実施

試験を行った供試体は、確認のため、PS を想定した閉空間内で長時間運転時の筐体表面温度等のデータも収集した。

### (4) 評価方法の検討

供試体の配置については、片側に詰めて配置することで、他設備を設置できる最低限の空間を確保できるようにした。

純水素 PEFC システム及び SOFC システムの正常運転ケース、異常運転ケース共に天井面空間内温度が最も上昇し、PS 内の上部に行くほど温度が高いという結果となった。そのため、他設備に影響を与える温度とならないこととするほか、他設備の設置位置についても、なるべく低い位置にするなど考慮すれば、温度の影響を回避することが可能であるとの知見が得られた。

#### 2.2.1.4.5 成果の活用

集合住宅に特有のハザードの整理・分析等を行い、実機検証が必要と判断した 4 項目について試験方法案を作成し、純水素 PEFC システムや SOFC システム等の多様な仕様の供試体を用いて集合住宅設置における安全要件及び設置基準等の検討に資するためのデータ収集を完了した。また、試験方法案に基づく実機試験を通して国際標準との整合化も見据えながら試験方法案の妥当性検証や加筆変更を進め、集合住宅設置等における安全要件及び安全評価試験方法について検討を完了した。表Ⅲ2.2.1.4.5-1 に検討結果を示す。

表Ⅲ2.2.1.4.5-1 集合住宅設置等における安全要件及び安全評価試験方法の検討結果

試験	安全要件	安全評価試験方法
超高層向耐風試験	JIS の 2 倍の風速である 10m/ の風を送った状態で点火し、30 m/ の風を送った状態で安定した燃焼状態であること。	耐風試験としては JIS、国際標準に記載があるが、超高層住宅の強風環境下は想定していないため、試験風速は JIS の 2 倍、風向条件は腰壁の有無を組み合わせた 8 ケースに条件分けした試験方法。
排気還流試験	所定のインナーバルコニー設置環境において、排気口から腰壁までの距離が 2000 と 300 の 2 条件で運転した場合、給排気ガスの CO 濃度が 1400ppm を超えないこと。	JIS、国際標準に排気還流試験の記載はないため、所定のインナーバルコニー設置環境において長時間運転を行い、給排気ガス成分の濃度変化を確認する新たな試験方法。
パイプシャフト温度上昇試験	所定のパイプシャフト設置環境において、パイプシャフト内の空間温度が、併設された他設備に影響を与える温度とならないこと。	JIS、国際標準にパイプシャフト温度上昇試験の記載はないため、所定のパイプシャフト設置環境において長時間運転を行い、パイプシャフト内空間温度変化を確認する新たな試験方法。
給排気閉塞試験	給気口もしくは排気口が運転し	国際標準には給排気閉塞試験の記

	得る最大閉塞状態での定格運転時に排ガスのCO濃度が1400ppmを超えないこと。	載はあるが、JISには記載はないため、国際標準をベースとした閉塞運転時の排ガス濃度変化を確認する試験方法。
--	--	---

また、これまでの検討結果や知見をもとに、国際標準への改善・新規提案内容を取りまとめ、2.2.1.5章に記載の定置用燃料電池の国際標準（IEC）改訂検討の場へ提供した。

国際標準（IEC62282-3-3）には集合住宅特有の設置環境を想定した規定がないことから、新規に集合住宅設置に関する章を追加することを検討するとともに、日本の国内設置基準「ガス機器の設置基準及び実務指針」で規定された内容の中から国際標準に提案すべき項目についても検討を行った。表Ⅲ2.2.1.4.5-2に、国内WG5（定置用燃料電池／設置要件）へ提案した検討案の一例を示す。

国内WG5での審議の結果、国内基準・標準にあるもので、提案すべきものは国際WGへ提案するが、集合住宅の設置要件のような国内基準・標準にないものは、まずは国内基準・標準への反映を優先し、その動向を踏まえて国際標準への展開を図るべきとの結論となった。そこで、国内基準・標準への反映に注力し、「日本電機工業会規格（JEM規格）」等への反映を目指した取り組みを進め、JEM規格の審議等を行う「燃料電池発電システム技術専門委員会」では、JEM規格化を進めていくことが承認され、現在JEM規格の策定中である。今後は、その動向を踏まえつつ国際標準化への展開を進めていくことになる。

表Ⅲ2.2.1.4.5-2 国際標準（IEC）への検討案の一例（国内WG5への提案内容）

提案項目	国際標準（IEC）の規定内容	検討案
超高層向耐風試験	集合住宅特有の強風環境を想定した規定がない。	建物の高層階など、地上に比べより強い風が想定される場所に燃料電池システムを設置する際は、強風への対応を特に考慮する規定を追加。
排気還流試験	集合住宅特有の狭小空間への設置を想定した規定がない。	アルコーブやインナーバルコニーに設置する際は、自然換気が十分行われるよう考慮する規定を追加。
パイプシャフト温度上昇試験	集合住宅特有の閉鎖的な空間への設置を想定した規定がない。	パイプシャフト等の閉鎖的な空間に設置する際は、温度上昇等による他設備への影響を考慮する規定を追加。
給排気閉塞試験	機器の給気口閉塞に対する注意 起はあるが、排気口に対してはなし。	排気口の閉塞に対する規定を追加。
防火上の離隔距離	排気口との防火上の離隔距離の規定がない。	排気口との離隔距離の規定を追加。
ドレン処理	ドレン処理の規定がない。	ドレン処理の適切な措置を追加。

一方、給排気閉塞試験については国際標準（IEC62282-3-1）に記載されている試験方法について、2.2.1.4.4.3の検討結果に基づく提案内容を取りまとめ、検討の場へ提供した。表Ⅲ2.2.1.4.5-3に、国内WG3（定置用燃料電池／安全性）へ提案した給排気閉塞試験の

検討案を示す。

表Ⅲ2.2.1.4.5-3 国際標準（IEC）への給排気閉塞試験検討案の一例  
（国内WG3への提案内容）

提案項目	国際標準（IEC）の規定内容	検討案
給排気閉塞試験	<排気閉塞試験> 定格運転時の安定条件として15分と規定	「15分以上かつ熱的平衡が達成された時点」に修正
	<給気閉塞試験> 給気口を最小開度から起動させる試験と、全開状態から徐々に閉じる試験が規定	給気口を全開状態から徐々に閉じる1種類の試験に変更（排気閉塞試験と整合させる）

国内WG3での議論として、給気閉塞試験では給気口を全開状態から徐々に閉じる試験と、点火可能な最小開度から起動させる2種類の試験が規定されているが、両方の試験をする必要性はないとの意見等もあり、排気閉塞試験と整合をとり、給気閉塞試験も給気口を全開状態から徐々に閉じる1種類の試験に変更する内容で了承された。この内容は日本からの提案として、国際WGの場において審議される予定である。

## 2.2.1.5 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進

### 2.2.1.5.1 概要

燃料電池は本格的な実用化が進みつつあり、先行して開発されたりん酸形燃料電池（PAFC システム）や熔融炭酸塩形燃料電池（MCFC システム）はすでに商用化され、業務用途用として販売されている。また PEFC システムも家庭での電気と熱の需要に応えられるコージェネレーション用として商用化段階にあり、日本においては、平成 20 年度末までに 3352 台の 1kW 級 PEFC システムが各地でフィールドテストされた後、平成 21 年度からは家庭用燃料電池「エネファーム」の統一名称で、一般家庭向けに販売が開始された。SOFC システムも家庭用途用に開発が急ピッチで進められており、日本では出力 700W のコージェネ燃料電池が、平成 21 年度末で 127 台、各地で実証試験に入っている。

定置用燃料電池の商品化は、日本以外の各国においても活発に進められている。米国では PEFC システムが主に非常用電源や通信用電源として使われ始めている。また、インドの通信会社に 1 万台の通信施設用電源として輸出する契約を交わした。欧州では Callux Lighthouse Project の一環として、SOFC システムを含め 800 セットの家庭用 PEFC システムを実証試験する計画がある。欧州は特に数 kW 規模の SOFC システムを実用化する動きが活発で、年間 1 万台規模で製造できる工場がドイツで建設中である。アジアでは韓国が、Monitoring Project の中で、平成 20 年までに 210 台の 1kW 級家庭用 PEFC システムの実証試験を実施している。また平成 24 年までに 1 万台弱の実証試験を計画している。

マイクロ燃料電池の分野では、平成 21 年に日本で携帯電話充電用などの用途に直接メタノール形(DMFC)のモバイル燃料電池が本格的販売を開始した。一方海外のメーカーでは米国、ドイツのベンチャー企業 10 社以上が開発にしのぎを削っており、最近では韓国、台、中国などのアジアの企業が欧米をしのぐ勢いで、ノートパソコン用電源、野外軍用電源などを対象に開発を進めている。

このような各国間の実用化に向けての激しい競争の一方で、技術開発の国際協力の必要性も強く、平成 15 年(2003 年)11 月水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE: International Partnership for the Hydrogen Economy)が発足し、日本を含め 17 カ国が参加して国際的な活動を進めている。

以上のように国際的な開発競争や技術協力が推進される状況において、燃料電池に関する国際標準を作る活動も活発化している。燃料電池発電システムの普及促進を図っていくためには、高信頼性化、コンパクト化、コスト低減等の技術開発の努力を続けて行くことは論であるが、これと相まって、円滑な導入促進のための諸環境整備として、燃料電池発電システムに関する用語の定義、安全性や性能に関する試験法、保守・保安に関する基準などの標準化が望まれている。しかも WTO/TBT 協定にあるように、国内の規格・規準は国際標準を基礎とすることが求められており、国際標準の位置づけは極めて重要になってきている。

そうした背景のもと、平成 17 年度から「水素社会構築共通基盤整備事業」において、規制再点検、標準化に反映されるデータ取得、試験方法の検討を JGA で実施してきた。そうしたデータや試験方法は JEMA に設けられている燃料電池国際標準化委員会などに提供され、それらのデータに基づいて国際規格案の審議を実施してきた。

燃料電池の国際標準化については、平成 10 年(1998 年)10 月に IEC (International

Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）の中に燃料電池発電技術の標準化に関する TC105（Technical Committee 105：第 105 専門委員会）が設立され、活動が進められている。平成 22 年（2010 年）3 月現在では表 III 2.2.1.5.1-1 に示すように 11 の Working Group（以下、WG）が設置されている。

表 III 2.2.1.5.1-1 IEC/TC105/WG の分類

WG	内容	コンビーナ	WG	内容	コンビーナ
WG1	用語	米国	WG7	ポータブル用FC	米国
WG2	FCモジュール	ドイツ	WG8	マイクロFC・安全	米国
WG3	定置用FC・安全要件	米国	WG9	マイクロFC・性能	日本
WG4	定置用FC・性能試験方法	日本	WG10	マイクロFC・互換性	日本 / 韓国
WG5	定置用FC・設置要件	ドイツ	WG11	PEFC単セル試験	日本
WG6	移動用FC・動力源	止中			

一方、国内では JEMA に IEC/TC105 に対応する国際標準化委員会およびそれぞれの国際 WG に対応した国内 WG（Japan Working Group）を設けて、国際標準の調査活動を進めるとともに国際標準に対する国内意見の集約、反映を行ってきた。

#### 2.2.1.5.2 IEC TC105 における活動

燃料電池の国際標準化活動は、平成 10 年（1998 年）10 月に IEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）の中に燃料電池発電技術の標準化に関する TC105（Technical Committee 105：第 105 専門委員会）が設立され平成 17 年（2005 年）5 月より活動が開始された。IEC/TC105 の概要を表 III 2.2.1.5.2-1 に示す。

表 III 2.2.1.5.2-1 IEC/TC105 の概要（平成 22 年 3 月現在）

TC105	燃料電池技術
スコープ	定置用、移動体用、可搬用（ポータブル）など全ての燃料電池の適用形態に係る国際標準を検討する。 りん酸形、固体高分子形など燃料電池の種別は区分せず、全てを対象とするよう努める。
議長国	平成 10 年～平成 17 年 9 月：カナダ 平成 17 年 9 月～平成 23 年 8 月：日本
幹事国	ドイツ
参加国	カナダ、中国、チェコ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、イスラエル、イタリア、日本、韓国、オランダ、スペイン、イギリス、アメリカ（15 カ国）、オブザーバー 14 カ国
リエゾン（連携）	Internal IEC Liaison：TC 8, TC 31 Liaison ISO：ISO/TC 21, ISO/TC 22, ISO/TC 197 Liaison A：EC
国内審議団体	社団法人 日本電機工業会（JEMA）

平成 22 年 3 月現在の TC105 の WG（作業グループ）構成、及び各 WG の担当規格を図

Ⅲ2.2.1.5.2-1 に示す。全体で 11 の WG で構成され、りん酸形、固体高分子形など燃料電池 (FC) の種類による区分はなく、WG1：用語、WG2：FC モジュール、WG11：単セル試験法、WG3～WG10 は利用形態によって分類されている。定置用とマイクロ (携帯用) については 3 つの WG に分けて審議が進められており、また、WG6 (移動体用) については、ISO/TC22/SC21 (電動自動車) のもとで ISO/IEC の合同 WG として活動することが決定されているが、国際規格作成は時期尚早として現在 止中である。日本は、TC105 の議長および WG4、WG9、WG10 および WG11 のコンビナを務めている。燃料電池の開発・実証で日本が世界の先頭を走っていることから、強い発言力となって国際標準に反映されている。

なお、マイクロ燃料電池は、日本の提案に基づいてポータブル燃料電池から独立したもので、その定義の区分としては、「出力 240W 以下かつ電圧 60V 以下で、人が容易に手で持ち運ぶことができるもの」をマイクロ燃料電池、それ以外の可搬形燃料電池をポータブル燃料電池として定義されている。



図Ⅲ2.2.1.5.2-1 IEC/TC105 の審議体制 (平成 22 年 3 月現在)

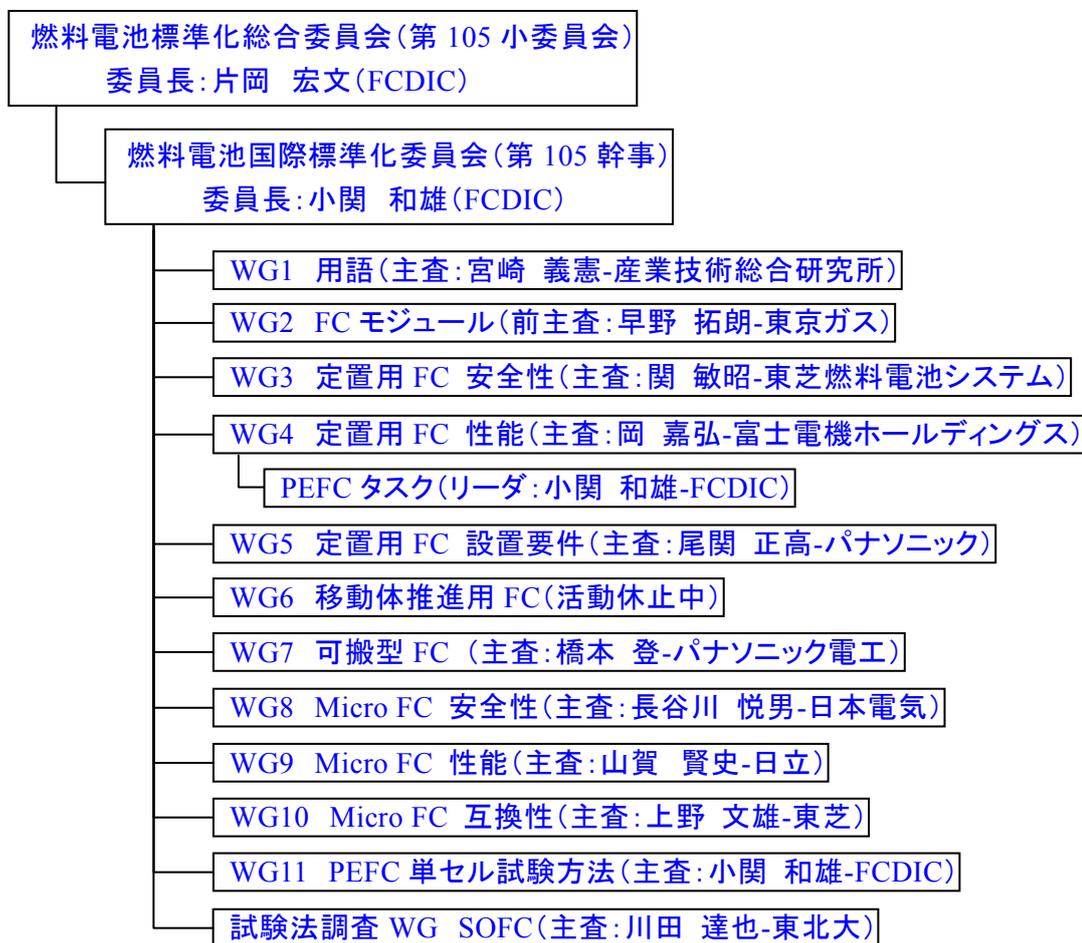
### 2.2.1.5.3 研究開発の実施体制

メーカー、ユーザ、関連団体および大学・研究機関等の学識経験者により編成される燃料電池標準化総合委員会を組織し、定置用・可搬型・マイクロ燃料電池に関して、独立行政法人 産業技術総合研究所（以下産総研と略称）との連携により、エンドユーザである消費者の安全性と利便性の確保のため、安全性評価試験ならびに性能試験方法の確立等を積極的に進め、これらの成果を国際標準ならびに国内への反映を図ることとする。

国際標準策定にあたり、我が国が主導権を取り、標準化活動を推進する体制とする。

国内外における燃料電池に関する法令・法規を調査・検討し、規制適正化に必要な試験方法・基盤データを産総研から得て、これら国内外の規制の適正化を図る。

以上の活動により、定置用・可搬型・マイクロ燃料電池の普及実用化の基盤整備を推進し、燃料電池の早期実用化に資する。研究開発の実施体制を図Ⅲ2.2.1.5.3-1 に示す。



図Ⅲ2.2.1.5.3-1 研究開発の実施体制

### 2.2.1.5.4 IEC TC105 全体会議の概要

全体会議は、1年半以内の期間毎に議長、セクレタリ、IEC 中央事務局の TC105 担当、各 WG のコンビナーが集まり、各 WG 及びリエゾン会議の報告や TC105 の活動方針に係る審議、各国のプレゼンテーション、が行われている。本事業期間の5年間の間に4回開催さ

れており、開催場所・/時期は、以下の通り。

第6回：平成17年12月 フランクフルト

－ 藤澤裕道氏（日立）が新しく TC105 議長に 任

第7回：平成18年10月 東京

－ 日本より「PEFCのシングルセル試験方法」について新規提案・採用

－ CEN/CENELEC より「燃料電池ガスヒーティング機器規格」を紹介

第8回：平成19年10月 パリ

－ WG6（移動体推進用FC）の活動方針検討の Ad hoc グループ立上げ

第9回：平成21年6月 ソウル

－ 藤澤前議長の IEC 副会長への 任に伴い、WG10 コンビナーであった上野文雄氏（東芝）が TC105 の議長に 任。WG10 の後任コンビナとして森 俊典氏（東洋製罐）が 任。

－ 日本の新規提案「小形 PEFC 性能試験法の規格」の審議状況報告（WG4）

－ WG6/AHG1 の作業遅延対応のためセクレタリに柴田和男氏（JEMA）が 任，活動スケジュールを決定。

－ 韓国より「マイクロ FC-デバイスとのデータ互換性」について新規提案紹介。

#### 2.2.1.5.5 IEC TC105 各 WG の活動（成果と概要）

IEC/TC105 の下に設置された各 WG での規格文書の審議状況及び国内での対応状況の概要を表Ⅲ2.2.1.5.5-1 に示す。

表Ⅲ2.2.1.5.5-1 IEC TC105 各 WG の活動成果と概要（平成22年3月現在）

WG	項目	幹事国	進捗状況
WG1 JWG1	用語	米国	<u>IEC TS62282-1</u> （第2版審議中） 日本から JIS C8800（燃料電池発電用語）改訂案を提出（用語数：200）2010年に第2版（TS）発行予定。
WG2 JWG2	モジュール	ドイツ	<u>IEC 62282-2</u> （第2版審議中） 2004年7月に燃料電池関係の最初の IEC 規格として発行。 2007年2月に部分改正版（Amendment）発行。 2009年6月から WG で第2版のための改定作業を開始。2010年に CDV 発行予定
WG3 JWG3	定置用・安全要件	米国	<u>IEC 62282-3-1</u> （第2版審議中） 2007年4月に <u>IEC62282-3-1</u> として第1版発行 2009年12月に 1stCD を回 。その結果で 2ndCD (105/280/CD) を審議中。 主な変更予定内容は、電気安全性、リーク試験、強度試験 日本から純水素形の安全要件を追加提案予定
WG4	定置用・	日本	IEC 62282-3-2（第2版審議中）

表Ⅲ2.2.1.5.5-1 IEC TC105 各 WG の活動成果と概要（平成 22 年 3 月現在）

WG	項目	幹事国	進捗状況
JWG4	性能試験法	橋本	2006 年 3 月に IS（国際規格）として第 1 版発行。 現在委員会投票用原案（105/281/CDV）を審議中。 主な改正点：ASME PTC50 との整合 規格番号：IEC 62282-3-200 に変更 IEC 62282-3-201（第 1 版審議中） 並行して小形 PEFC 性能試験法について日本からの新規提案が承認され、JIS をベースとしたドラフトを作成審議中
WG5 JWG5	定置用・設置要件	ドイツ	IEC 62282-3-3（第 2 版審議中） 2007 年 11 月に IS（国際規格）として第 1 版発行。 現在第 2 版の投票用委員会原案を作成中。 日本から、集合住宅向けの設置要件について追加提案の準備中であることを紹介済み。
WG7 JWG7	可搬型・安全要件	米国	<b>IEC 62282-5-1</b> 2007 年 2 月に安全要件についての国際規格第 1 版発行。第 2 版案を審議中。主な変更点は、 ①衝撃環境での使用を想定した要件の追加 ②バッテリーとの組み合わせを想定した要件の追加
WG8 JWG8	マイクロ FC 安全要件	米国	<b>IEC 62282-6-100（2010 年 3 月第 1 版発行）</b> 2006 年 2 月の PAS 発行から 4 年かけて審議が行われ、2010 年 3 月に IS（第 1 版）が発行された。 (1) ICAO（国際民間航空機関）の安全要求に対応 (2) IS（国際規格）の成立後、その補完作業を継続 (3) 発行された IS の分割化作業を開始
WG9 JWG9	マイクロ FC 性能試験法	日本 横山	<b>IEC 62282-6-200（第 2 版審議中）</b> 2007 年 11 月 マイクロ燃料電池初の国際規格発行 2010 年 2 月 第 2 版案審議中 規格発行後の新規提案事項など次期改定（2013 年）を目標として審議を開始
WG10 JWG10	マイクロ FC 互換性	日本 森 韓国 Cho	<b>IEC 62282-6-300（第 2 版審議中）</b> 2009 年 6 月:マイクロ燃料電池 2 番目の国際規格発行 2009 年 6 月以降:メタノール以外の燃料,新規カートリッジ,デバイス間の互換性などについて、次期改定（2012 年）を目標として審議を開始
WG11	単セル試	日本	<b>IEC TS62282-7-1（第 1 版発行準備中）</b>

表Ⅲ2.2.1.5.5-1 IEC TC105 各 WG の活動成果と概要（平成 22 年 3 月現在）

WG	項目	幹事国	進捗状況
JWG11	験方法	小関	日本から新規提案を行い、2007 年 3 月に NP が承認された。日本案をベースとしたドラフトを、各国からの要求を一部取り入れて修正し、TS として第 1 版を発行予定。引き続き「SOFC 単セル試験方法」について規格化提案（2010 年 12 月提案予定）を準備中。

#### 2.2.1.5.6 国際間輸送対応

現在審議中のマイクロ燃料電池国際規格（IEC 62282-6-100）の前身の IEC PAS62282-6-1（2006）は、ICAO 技術仕様書で引用され、規制緩和（燃料カートリッジの航空機内持込承認）に寄与した。

ICAO にて、現時点で考えられる全ての燃料カートリッジ（メタノール、ギ酸、ブタン、水素吸蔵合金、ボロハイドライド）の航空機内持込み規制が緩和された。（表Ⅲ2.2.1.5.6-1）

表Ⅲ2.2.1.5.6-1 燃料カートリッジの航空機内持込み規制緩和

マイクロ FC 燃料タイプ	燃料カートリッジ UN 番号	UN 危険物輸送 専門家小委員会	ICAO 危険物輸送 <sup>パネ</sup> ル (客室内持込)	国内航空法規 (客室内持込)
メタノール	3473	◎	◎	◎
水素 (吸蔵合金)	3479 (3468)	◎	◎	◎
ギ酸	3477	◎	◎	◎
ボロハイドライド <sup>パ</sup>	3476	◎	◎	◎
ブタン	3478	◎	◎	◎

#### 2.2.1.5.7 国際間輸送対応

##### 【マイクロ燃料電池の市場化展開調査】

マイクロ FC の事業化展開のための問題点や規制のあり方など国際・国内市場の基盤整備に資することを目的に、各国の実態を調査し、台、韓国、カナダについては現地調査を実施した。その結果、事業化展開にあたっての方向性をつかむことができた。詳細結果については、報告会を開催し、調査結果を関係者に紹介・提供した。

#### 2.2.1.5.8 国内外の基準・標準調査と標準化活動の推進

本事業において燃料電池に係わる国際標準の作成を実施している。国内標準案の作成は別の事業で実施しており、事業間で連携し、内容的に が生じないように、情報交換を行

って活動した。

#### 2.2.1.6 規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集

10kW 未満の PEFC システム、SOFC システムを審議対象として、平成 17 年度から 18 年度まで「小規模燃料電池保安技術検討委員会（事務局：社団法人日本電気協会）」が開催され、電気事業法関連の規制適正化に関する審議が実施された。この中で、SOFC システムに特有の課題をふまえ、以下の 3 項目が安全性を検証するうえで追加検討すべき事項として取りまとめられた。

##### (1) システム内部及びパッケージ表面の温度に関する安全性試験

通常運転時及び異常発生時における、SOFC システムのパッケージ表面や内部の各部温度が異常に上昇しないかどうかを確認する。

##### (2) 排ガスの安全性試験

通常運転時及び異常発生時における、SOFC システムからの排ガスの温度や組成が、適切であるかどうかを確認する。

##### (3) 改質ガス漏洩時の安全性試験

SOFC システム内で CO を高濃度に含む改質ガスが配管から漏えいした場合に、システム外への CO 漏洩がないかどうかを確認する。

上記 3 項目の試験については、2.2.1.2.1.2.10～2.2.1.2.1.2.12 に既にそれぞれ記載のとおり、実機試験でのデータ収集を行って試験方法を確立した。

本試験データについては、2.2.1.2.1.4「成果の活用」で既に述べたように、当初予定の試験項目とともに小規模燃料電池保安技術検討委員会に提出し、平成 19 年 3 月 5 日開催の委員会において、規制適正化しても問題ないとの結論が得られた。

特許、口頭発表、投稿論文等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H17FY	0件	0件	0件	0件	3件	2件
H18FY	0件	0件	0件	0件	4件	9件
H19FY	0件	0件	0件	0件	4件	9件
H20FY	0件	0件	0件	1件	4件	10件
H21FY	0件	0件	0件	1件	7件	4件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 2.2.2 マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

### 2.2.2.1 メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法

#### 2.2.2.1.1 研究の目的

メタノールを燃料とするタイプのマイクロ燃料電池(携帯用燃料電池)発電システムから排出される可能性のあるガス状の各種有機および無機成分中には生体に対して有害となりうるものがあり、当該燃料電池発電システムの使用にあたっては安全性確保の面でこれらの化学種の排出濃度が問題のない範囲内にあるか否かの確認が必要である。そのような化学種とは、メタノール、ホルムアルデヒド、一酸化炭素、二酸化炭素、ギ酸およびギ酸メチルである(表Ⅲ 2.2.2.1-1)が、許容濃度が非常に高くかつ測定も容易な二酸化炭素を除く他の5物質についてはこれまでにその測定方法についての検討を行い、実際に試作セルを用いた試験を行う等した結果、一定の考え方に基づいた上での測定方法としてはほぼ確立されていると考えられる。

ただし、その測定の際の考え方としては、排出試験を行う空間内では空気が十分に混合されており空間内のどこで測ってもガス濃度は同一であるとのモデル(完全混合モデル)に基づいていた。しかし現実には完全混合とみなせる条件がいつでも成り立っているとは限らないので、人体に非常に近い位置で使用されるマイクロ燃料電池の場合では人体近傍での排出ガス濃度は離れた位置で測定するよりも高濃度となっている可能性がある。そのようなマイクロ燃料電池の場合では上記のような人体近傍での局所効果(このような効果のことをここでは便宜上ローカルイフェクト(Local effect; LE)と称する)に対する考慮を別途設定すべきであるとの議論が平成22年3月に発行された国際規格(IEC 62282-6-100 Ed.1.0: INTERNATIONAL STANDARD: Fuel cell technologies –Part 6-100: Micro fuel cell power systems –Safety (マイクロ燃料電池発電システム–安全))の策定過程で提起された。しかし規格の速やかな発行が求められたためLEに対する十分な実験的データの集積が未了な中でLEに関する試験方法およびその判定基準が当該規格に盛り込まれた。

このため、メタノール燃料を用いるマイクロ燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法の排出特性に関する試験を実施することとした。ここでは、LEが無視できない場合のLEの大きさ評価に関し時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法についての検討を行う。それに基づいて基盤データを取得し、マイクロ燃料電池の安全性基準・標準案策定に活かすことを目指した。

表Ⅲ 2.2.2.1-1 IEC 62282-6-100 Ed.1.0 におけるマイクロ燃料電池からの排出成分の各許容限界値

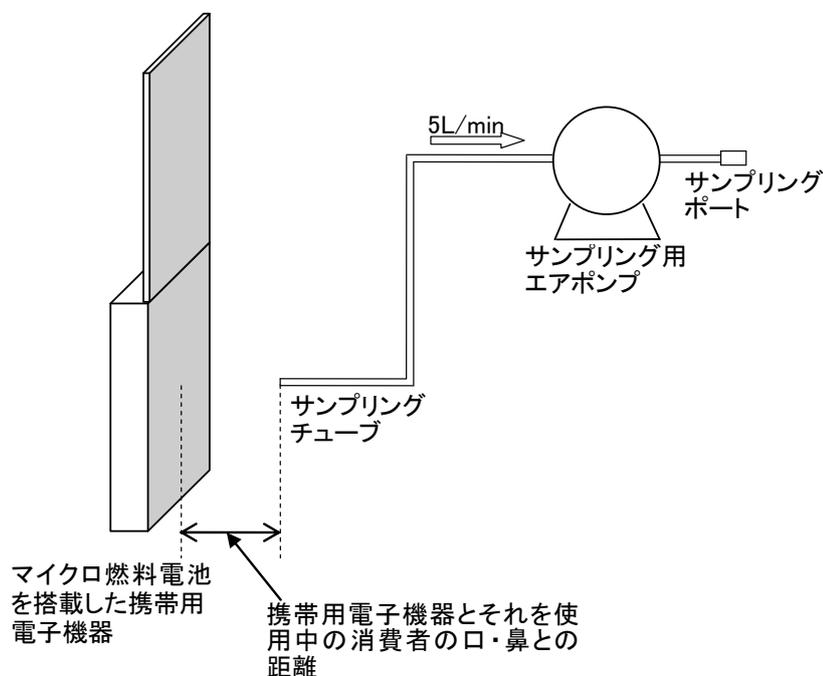
化合物名	濃度限界値 /g・m <sup>-3</sup>	排出速度限界値 /g・h <sup>-1</sup>
メタノール	0.26	2.6
ホルムアルデヒド	0.0001	0.0006
一酸化炭素	0.029	0.29
二酸化炭素	9	60
ギ酸	0.009	0.09
ギ酸メチル	0.245	2.45

### 2.2.2.1.2 研究内容

#### 従来からの経緯等

携帯電話機等顔のごく近傍で使用する機器用のマイクロ燃料電池では、排気ガスの排出源から至近距離において呼吸が行われることで排気中に含まれる化学物質に対する曝露リスクが高くなることが考えられ、これを適切に評価するための特別な測定方法および合否判定基準が国際規格IEC 62282-6-100 Ed.1.0に盛り込まれた。このような局所的な効果すなわちLEが無視できない場合のマイクロ燃料電池の排出特性の試験方法として、IEC 62282-6-100 Ed. 1.0では概略以下のように定めている(図III 2.2.2.1-1)。

- ・排出試験を「排出速度試験」と「排出濃度試験」の2種類に区別する。
- ・LEの無視できない機器では排出速度試験、排出濃度試験の両方とも実施する。
- ・排出濃度試験はチャンバーを用いず、大きくて障害物のない部屋(large open room)内で、静止雰囲気(still air)中で実施する。
- ・その部屋の換気は、通常の住居や商業用途建築設計に見合った最小値 (<1ACH (Air changes per hour; 時間当たりの換気回数))とする。
- ・外気の動きが部屋内の空気の静止を乱さないようにして測る。
- ・バックグラウンドによる影響を除くため、空試験の実施を推奨する。
- ・分析試料サンプリングの位置は機器と口・鼻との離隔距離相当とし、吸引速度は5 L/min とする。
- ・マネキンまたはモックアップを用いて試験の正確性を向上させてもよい。



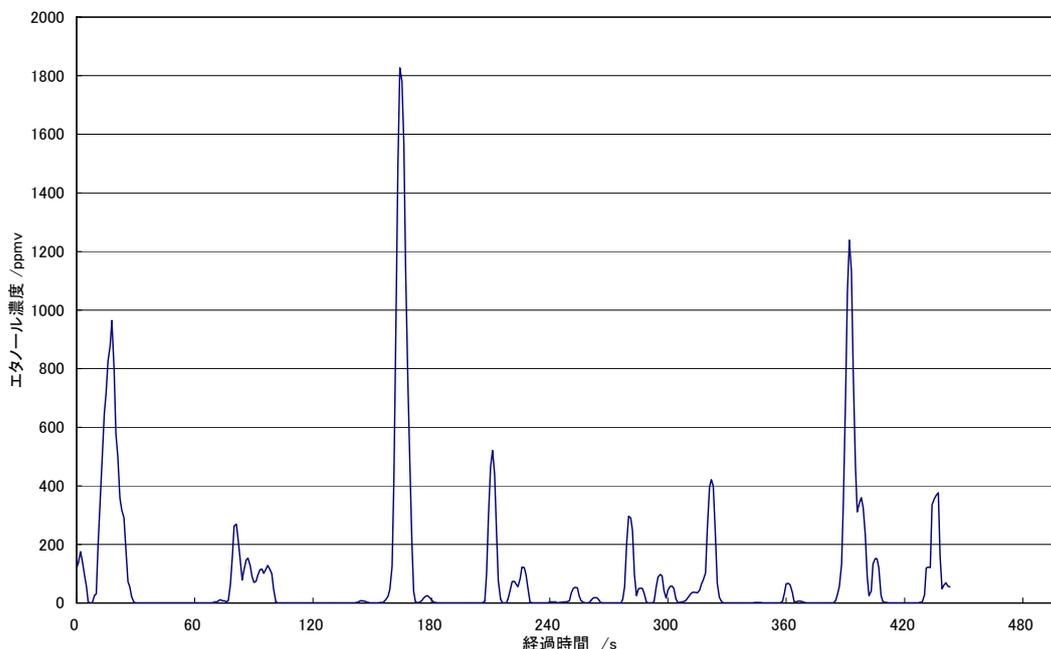
図III 2.2.2.1-1 IEC 62282-6-100 Ed.1.0の記載に基づいて構成したLEが無視できないマイクロ燃料電池に対する排出濃度試験の実施態様例

## 研究計画検討にあたっての背景

現状のIEC 62282-6-100 Ed.1.0にあるようなLE試験方法においては、観測される排ガス濃度の時間的変動が極めて激しいと考えられる。これは図Ⅲ 2.2.2.1-2に示した実験例から推察される。

このような時間的濃度変動の激しい排ガスを測定する際、ガスサンプリングバッグやキャニスター等の容器に排ガス含有空気試料を取り貯めた後ガス分析を行うことで所定時間内の平均濃度を求めることができる。しかし吸着性の強い物質では容器内壁への吸着が生ずるためこのような方法は適切でない。表Ⅲ 2.2.2.1-1中の化合物中ではギ酸がそれに該当すると思われる。ギ酸はホルムアルデヒドに次いで許容濃度基準値が低く(9 mg/m<sup>3</sup> (=5 ppmv))かつこのような吸着性のため測定が難しい。そこで今回はギ酸ガスの測定方法に焦点を絞って検討することとした。

ホルムアルデヒドの場合のような国際的な公定測定法(ISO 16000-3)はギ酸の場合には定められていないが、米国の職業安全衛生局(Occupational Safety and Health Administration; OSHA)、国立職業安全衛生研究所(National Institute of Occupational Safety and Health; NIOSH)等の定める公定測定法では固体捕集剤への捕集→溶離液による溶離→イオンクロマトグラフによる測定という方法を採用している。このうちNIOSHではギ酸ガス濃度の測定方法としてMethod 2011(1994)においてシリカゲル捕集管を用いる方法を定めているが、シリカゲルは空気中に湿分が多い場合吸着能力が低下しやすいとされていることから、燃料電池からの排気の測定には好適でないと考えられる。一方、OSHAのMethod ID-186SG (1994)では活性炭捕集管を用いる方法を定めているが、同Method末尾に所載の



図Ⅲ 2.2.2.1-2 模擬排ガス(5000 ppmvエタノール含有空気)を模擬携帯電話機から500 mL/minで排出させたときの排出面の直上30 mm位置におけるエタノール濃度(90%応答時間3 sのPID方式VOCモニターによる検出で測定)の時間変動例  
(ただし、このモニターではガス種に対する選択性がないため、型式試験に必要となる実排ガス中に共存する各成分毎の定量分析には使用できない。あくまでも単独ガス(エタノール)の挙動をモデル的に追跡するために使用したものである。)

Table IIIのデータによれば、ギ酸の平均回収率は $0.5 \times \text{PEL}$  (Permissible exposure limit; 許容曝露限界)  $\sim 2.0 \times \text{PEL}$ の範囲において120.7% $\sim$ 92.6%とかなりの変動が見られている。これは捕集するギ酸ガス濃度によって回収率が変動するということであるが、定常濃度のギ酸ガスを測定する場合には予め種々の濃度で回収率を評価しておいてから実ガス測定を行えば活性炭捕集法でも真値に近い値を求めることができる。これに対し、濃度が時間的に変動している場合にはこのような方法は有効ではないだろう。従ってこのような固体捕集法により時間的濃度変動の激しいギ酸ガスを正確に定量分析することが可能であるか検証しておくことが必要である。また固体捕集法以外に、インピンジャー(ガス吸収瓶の一種)を用いた液体捕集法についても検討し、その定量特性を固体捕集法の場合と比較を試みることにした。

#### 試験装置等

##### ・イオンクロマトグラフ (IC)

ギ酸を捕集した活性炭捕集管から塩基性溶離液にて溶離されたギ酸イオン、またはインピンジャー内でギ酸を捕集した塩基性捕集液中のギ酸イオンの定量のため、オートサプレッサー方式イオンクロマトグラフを使用した。

##### ・VOCモニター

濃度が短時間内に変動するギ酸の単独ガス発生系において、その濃度変化の様子をモニターする目的に使用した。このような時間的変動の激しいガス濃度をモニターするためにはガスクロマトグラフ等の通常のラボ用分析機器は不向きであり、PID (Photoionization detector; 光イオン化検出器)方式のVOC (Volatile organic compounds; 揮発性有機化合物)モニターを使用した。

##### ・パーミエーター

一定濃度のガスを連続的に発生させ、標準ガスとして供するために使用した。液だめの上部に一定内径の円筒が接続されたガラス製ディフュージョンチューブ内に調製したいガス(常温で液体であるもの: 今回はギ酸)の液体を入れこのチューブを一定温度に保持すると、液体から揮発拡散する速度は一定であるのでそこに希釈空気を一定流量流すことにより所要の低濃度標準ガスが連続的に調製できる装置である。

#### 2.2.2.1.3 研究結果

##### ■活性炭捕集管法およびインピンジャー捕集法を用いた定常濃度のギ酸ガスの測定

活性炭捕集管法およびインピンジャー捕集法それぞれにおいて、濃度変動がない定常濃度のギ酸ガスが精度よく測定できるかについて評価を行った。

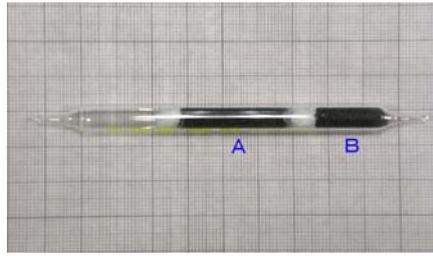
定常濃度ギ酸ガスの発生と捕集にはパーミエーターによりギ酸ガスを一定濃度(5.16 ppmvまたは58.2 ppmv (注: 気中濃度の許容限界値は5 ppmv (=9 mg/m<sup>3</sup>)である)で連続発生しているラインからガス試料を200 mL/minで60 min活性炭捕集管またはインピンジャー内捕集液に捕集して行った。

##### ・活性炭捕集管法による測定 メーカーの異なる2種類の活性炭捕集管(I)、(II)

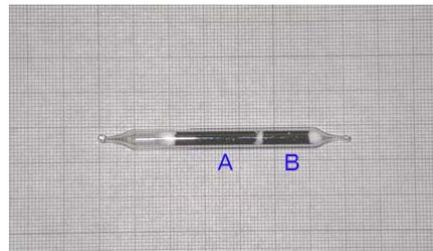
活性炭捕集管(I): SKC(米国), Cat.No. 226-09, Anasorb CSC, Lot No.2000, 20/40 Mesh, Section A:400 mg /Section B:200 mg

活性炭捕集管(II): ジーエルサイエンス, Cat.No. 3008-68111, 20/40 Mesh, Section A:100 mg/Section B:50 mg

を用いた(図III 2.2.2.1-3)。捕集後活性炭を取り出し1.5 mM 四ほう酸ナトリウム水溶液10 mLを加え10 min超音波照射してギ酸イオンを抽出しICにより測定した。



活性炭捕集管(I)



活性炭捕集管(II)

図Ⅲ 2.2.2.1-3 2種類の活性炭捕集管の外観(いずれも未使用時)

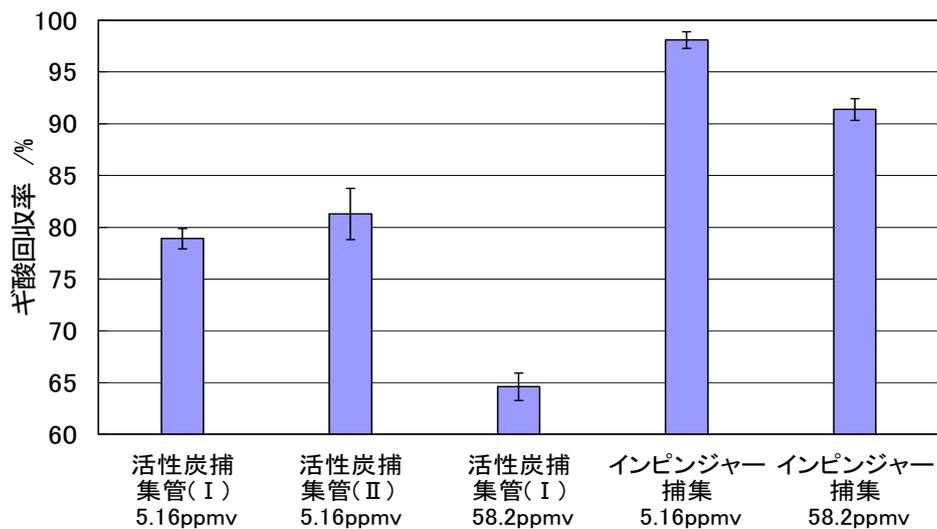


図Ⅲ 2.2.2.1-4 パーミエーターにより調製された定常濃度ギ酸ガスのインピンジャーによる捕集

・インピンジャー捕集法による測定：1.5 mM四ホウ酸ナトリウム水溶液30 mLを入れたミゼットインピンジャー2本を直列に接続して捕集し(図Ⅲ 2.2.2.1-4)、液中のギ酸イオンをICにより測定した。

各測定の結果、ギ酸の回収率は活性炭捕集管(I)、(II)ともに80%前後(5.16 ppmv時)となり、高濃度(58.2 ppmv)においてはさらに低下した(図Ⅲ 2.2.2.1-5)。定常濃度のガスを測定する場合は、定量値と回収率の関係を予め評価しておくことにより活性炭捕集管でのより正確な測定も可能と考えられるが、LEの場合は時間的に激しい濃度変動が生じていることから、活性炭捕集管法はあまり好適な方法ではないと思われた。

これに対し、インピンジャー捕集法では高濃度においても90%以上の回収率が得られた(図Ⅲ 2.2.2.1-5)。

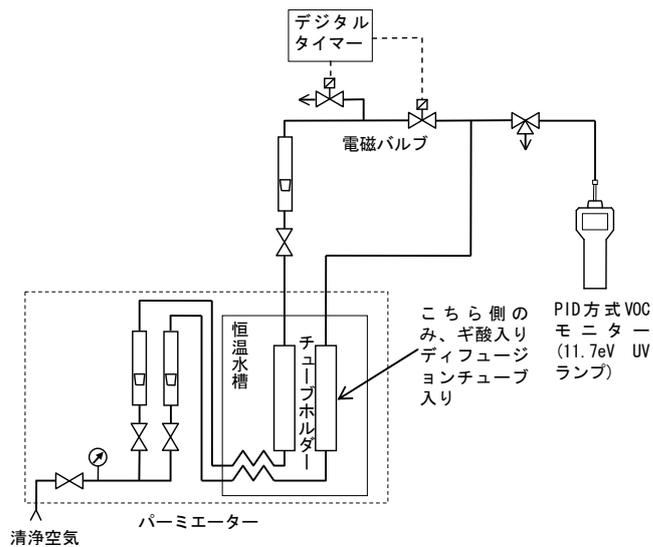


図Ⅲ 2.2.2.1-5 活性炭捕集管法およびインピンジャー捕集法を用いた定常濃度ギ酸ガス測定結果

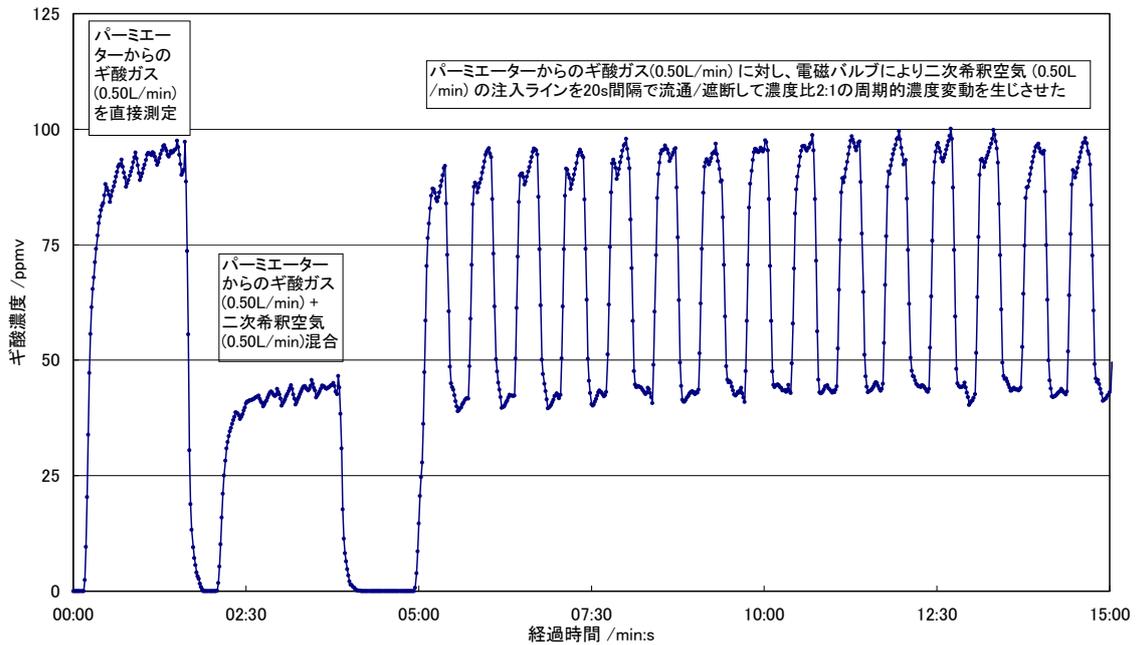
■ギ酸ガス濃度が周期的時間変動している系における活性炭捕集管法、インピンジャー捕集法による測定

LE試験時に想定されるようなギ酸ガス濃度が激しく変動する系(今回一例として、ガス濃度が10:1で20s間隔にて周期的に変動する系とした)を構成し、それに対して各捕集法を適用しギ酸ガス測定特性の比較を試みた。

パーミエーターによりギ酸ガスを一定濃度で連続発生させているラインに間欠的に希釈用空気を送り込み、濃度に規則的な時間的な変化(ガス濃度10:1(58.2 ppmv:5.82 ppmv)で20s間隔にて周期的に変動)を付与した。その際、デジタルタイマーおよび電磁バルブを用いて希釈空気の送り込み時間(閉止20s, 流通20s)をコントロールした(図Ⅲ 2.2.2.1-6)。



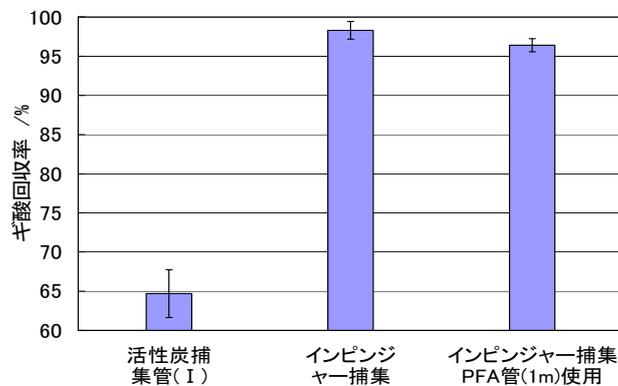
図Ⅲ 2.2.2.1-6 濃度が周期的に時間変動するギ酸ガス発生系



図Ⅲ 2. 2. 2. 1-7 パーミエーターと電磁バルブシステムを用いた周期的濃度変動を有するギ酸ガス発生

PID方式VOCモニターによる測定の結果、ギ酸ガス濃度にはほぼ設計通りの周期的濃度変動を生じさせることができた(図Ⅲ 2. 2. 2. 1-7)。

この周期的ギ酸ガス濃度変動系に対し、活性炭捕集管法を適用した場合のギ酸回収率の平均値は64.7%で、かなり低い値となった。これに対し、インピンジャー吸収法測定においては回収率の平均値98.3%の測定ができた(図Ⅲ 2. 2. 2. 1-8)。一方、インピンジャーは実体的にかなりかさばるため、LE試験への適用を考えた場合測定ポイント直近に設置すると気流を妨害する懸念がある。このため、インピンジャーを離して設置するため長さ1.0 mの6 mmφのPFA製吸引チューブにて測定ラインを延長した場合、回収率等への影響は殆ど見られなかった(図Ⅲ 2. 2. 2. 1-8)。



図Ⅲ 2. 2. 2. 1-8 ギ酸ガス濃度が58.2 ppmvと5.82 ppmvとの間で20 s間隔で周期的濃度変動する系に対する活性炭捕集管法、インピンジャー捕集法によるギ酸測定時の回収率

以上の結果と、活性炭捕集法による結果を比較した場合、回収率の面や測定の際のばらつきの面からLE測定時にはインピンジャー吸収法を適用した方がより好ましい測定特性を得られると考えられる。

#### 2.2.2.1.4 まとめ

メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法の排出特性に関する試験を実施し、ローカルイフェクト(LE)が存在する場合のLEの大きさ評価のため、時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法について検討を行った。これは、現状のLE試験方法では、観測される排ガス濃度の時間的変動が極めて激しいと考えられるためである。このような変動の激しいガス濃度を測定する際、各種公定測定法にあるような固体捕集法で正確な定量分析が可能であるか検証した。分析対象成分の中でホルムアルデヒドに次いで許容濃度基準値が低く(9 mg/m<sup>3</sup> (=5 ppmv))かつ強い吸着性のため計測が難しいギ酸の計測方法に焦点を絞って検討した。

ギ酸ガス濃度についてはホルムアルデヒドの場合のような国際的な公定測定法は定められていないが、米国における公定測定法(OSHA, NIOSH等)は固体捕集剤への捕集→溶離液による溶離→イオンクロマトグラフ(IC)による測定法を採用している。固体捕集法による測定においてギ酸ガス濃度の激しい変動がある場合、回収率が低濃度側と高濃度側で差があると分析精度に影響が出る可能性が考えられる。このような場合でも定常濃度のギ酸ガスを測定する場合では予め回収率を評価しておいてから実ガス測定を行えば固体捕集法でも真値に近い値を求めることができようが、濃度が時間的に変動している場合ではこのような方法は有効ではないだろう。

本研究の結果、活性炭捕集管法を用いたギ酸イオンのIC測定による回収率はギ酸ガス濃度5.16 ppmv時で80%前後となり、同58.2 ppmv時にはさらに低下した。またLEがある場合の試験を模擬した、ギ酸ガス濃度が58.2 ppmv⇔5.82 ppmvで20 s毎に周期的に変動する系に対して活性炭捕集管法を用いたギ酸イオンのIC測定での回収率は64.7%と低い値であった。

これに対し、固体からの溶離操作を伴わない液体捕集法であるインピンジャー捕集法についても検討した。ギ酸イオンのIC測定での回収率はギ酸ガスが高濃度(58.2 ppmv)時においても90%以上の回収率が得られた。また、ギ酸ガス濃度が58.2 ppmv⇔5.82 ppmvで20 s毎に周期的に変動する系に対してインピンジャー捕集法を用いたギ酸イオンのIC測定での回収率は98.3%であった。さらに、LE測定の観点からインピンジャー自体の体積が大きいため測定ポイントの直近に設置すると気流を乱して測定結果に影響を与えるかもしれないという懸念に対しては、今回の結果から少なくとも1 mは隔離して設置できるという見通しが得られた。

以上の結果、LEを考慮する場合のギ酸ガスの排出試験に際しては活性炭捕集管法よりインピンジャー捕集法の方がより好適であるとの示唆が得られ、今後見込まれるIEC 62282-6-100改定作業に向けた指針が得られた。

## 2.2.2.2 メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法

### 2.2.2.2.1 研究の目的

本項目では、マイクロ燃料電池（携帯用燃料電池）の普及時において、燃料電池に悪影響を及ぼして消費者やメーカーが不利益を被るような粗悪な燃料・燃料カートリッジが出現する事態を未然に防ぎ、燃料基準の必要性等を検討し、標準化に資することを目的に、燃料不純物のダイレクトメタノール燃料電池（DMFC）に対する発電影響を検証する性能評価試験方法の検討と基盤データ取得を行うことを目的とする。

社団法人日本電機工業会と密接な連携により、マイクロ燃料電池の国際標準化活動に参画し、安全性及び性能評価法作成及びそのための実データ取得のための研究を行ってきた。その中で、International Electrotechnical Commission/ Technical Committee 105/ Working Group 10（IEC/TC105/WG10、マイクロ燃料電池 互換性）及び関連する分科会において、DMFCの燃料基準のための試験法作成や燃料不純物に対する指標の検討に参画し、単セルによる性能評価法検討のための運転研究および燃料不純物の運転性能への影響度を把握するための実データ取得などを行ってきた。これらの一連の活動は、未検証部分を残しながらも、最終国際規格案（FDIS）作成に寄与した。平成21年度は、FDISに対する投票が行われ国際規格の成立の可否が問われることになるが、燃料試験方法を含む燃料品質基準案の検証が課題であるので、これに取り組んだ。

燃料基準を検討するに当たり、燃料不純物については、流通段階を含む燃料由来の不純物やカートリッジからのコンタミネーションが想定されるが、燃料電池の発電性能に対して、どれほどの影響を与えるものかについては、よく知られておらず実験によって調べる必要がある。そこで、実際に影響を調べるに当たり、流通段階を含む燃料由来の不純物について可能性のある物質を想定して、これまで数時間レベルの単発試験によって燃料電池の性能挙動を調べるとともに実データを取得してきた。一方で、不純物を導入しない場合に繰り返し数時間レベルの断続運転試験を実施すると、運転中に電圧が低下しても次の運転再開時にはほぼ前回の電圧に復帰し、長期に亘り性能が変わることもわかってきたので、単発試験で、無機イオン、酸の効果を調べるとともに、有機化合物としてエタノール、無機イオンとして  $\text{Na}^+(\text{NaCl})$  については、断続運転における燃料電池発電性能に対する影響も調べてきた。<sup>1)~4)</sup>

無機化合物の燃料不純物候補例として  $\text{Na}^+(\text{NaCl})$  を選択してその効果を調べたところ、断続運転により部分的な性能回復が見られること、繰り返し長期断続運転試験においては性能低下の蓄積が起こることを示すとともに、運転継続に伴う加速的な性能低下がみられるために、長期的性能を評価する場合には、各断続運転開始時値に基づく評価と運転開始後の定時値に基づく評価とでは、長期性能評価に違いが生じる可能性があることがわかった。<sup>2),3)</sup> これに基づく議論や試験データ再現性の議論などにより、国際標準ドラフトにおいては、運転開始後 4 時間値を取得することが定められた。いくつかの無機酸の影響も調べ、試験結果例を示すとともに、無機化合物の影響評価試験において不純物原料物質に原子吸光用試薬を用いた報告例などでは大過剰の酸の影響を考慮しなければならない場合もあることを示した。

燃料カートリッジからのコンタミネーションの検討においては、不純物を特定しにくいことに加えて、各メーカーが燃料カートリッジを開発中であり、その開発を阻害しないよう、燃料基準の策定においては燃料電池の発電試験に基づく燃料評価試験法が検討されてきた。そこで、比較的長時間の断続運転により影響評価をすること、試験燃料と不純物を入れないリファレンス燃料による運転性能を比較対照することが必要になったため、単セルを用いた断続リファレンス運転を定電流モードで実施し、試験方法検討のための基盤データを取得してきた。

DMFCでは、不純物を加えないリファレンス燃料においても、6~8時間程度の定電流モードにおける運転で数%の性能低下が起こり、その後も徐々に性能低下していくが、断続運転とすることで性能回復すること、断続運転を繰り返すことによる性能低下の蓄積は少ないことを示した。<sup>2,3)</sup>

IEC/TC105/WG10でのドラフト審議が進むにつれて、燃料カートリッジからの燃料基準を検討するに当たり、長期にわたる運転試験データが必要となった。さらに、リファレンス燃料による長期運転試験結果も要求され、その試験結果に対しても試験成立のための制限が加えられるようになってきた。これまで、短期的な運転試験においては、リファレンスとして、燃料不純物を混ぜていない燃料による運転を実施するなど、試験開始時に発電性能を確認してきたが、当該事業におけるリファレンス燃料における長期断続運転試験結果からは、試験法そのものについても検討を加える必要があると考えられた。

これまで数時間レベルの定電流モード運転に基づき、ほぼ1日1回の室温から70℃までの温度サイクルと起動停止を含む断続運転を実施し、3セルで約400~500時間経過後に性能低下率数%レベル、ばらつき数ポイント程度の実データを得て、数百時間レベルでの断続運転試験における再現性と信頼性を取得できる見通しを得たが、<sup>2)</sup>ドラフト審議においてはさらなる長時間データや再現性、信頼性などについての議論があり、平成21年度は、さらに断続運転試験を継続し、検討することとした。

これまでに有機化合物としての不純物候補であるエタノールについて性能挙動に与える影響を調べたところ、運転初期に性能低下度の大きいこと、濃度約10ppm~1000ppmの範囲における電圧低下度は、濃度の対数におよそ比例すること、運転中にセル電圧が低下しても運転を断続させた場合に性能回復が起こり、燃料中の不純物濃度が一定であれば、繰り返し断続運転を行うことによる性能低下の蓄積効果はほとんど見られないことなどがわかった。<sup>2,3)</sup>さらに、燃料不純物としてのエタノールについて定電流モード運転中の性能低下挙動を調べるため電気化学インピーダンス法を適用したところ、セル内の反応サイトへの障害が起こることが示唆された。<sup>4)</sup>平成21年度は、カソードを水素極として運転することにより、アノードとカソードに与える影響を調べることにした。

FDISでは、いくつか例示された指標があるが、未だにこれら不純物がどのくらい影響するかを示す公開された運転データが整っているわけではなく未検証であるため、例示している低分子有機化合物について、基盤データを取得し影響評価することとした。

文献等)

- 1) 西村靖雄, 松山恵, 石井みどり, 太田智宏, 山根昌隆, 柳田昌宏, 永井功, 宮崎義憲, 第14回燃料電池シンポジウム講演予稿集, 262, 2007.
- 2) 西村靖雄, 松山恵, 山根昌隆, 柳田昌宏, 永井功, 宮崎義憲, 第15回燃料電池シンポジウム講演予稿集, 111, 2008.
- 3) Y. NISHIMURA, M. MATSUYAMA, I. NAGAI, M. YAMANE, M. YANAGIDA, Y. MIYAZAKI, *ECS Trans.*, 17, 511, 2009.
- 4) 西村靖雄, 松山恵, 山根昌隆, 柳田昌宏, 永井功, 宮崎義憲, 第16回燃料電池シンポジウム講演予稿集, 243, 2009.

#### 2.2.2.2.2 試験方法等

燃料不純物評価セルの主な仕様

アノード : Pt 1mg/cm<sup>2</sup> + Ru (Pt:Ru=1:1)/C、カソード : Pt 1mg/cm<sup>2</sup>/C

イオン交換膜 : Nafion 117、電極面積 : 10 cm<sup>2</sup>

燃料 : 1 M メタノール (MeOH) 水溶液

燃料調製用メタノール : JIS 特級同等以上品

超純水 : 比抵抗値 18 MΩcm 以上

試験方法 : 燃料電池の不純物影響発電試験には、運転モードは定電流発電モードとし、電流密度は 150 mA/cm<sup>2</sup>、運転温度は 70 °C とした。各物質の燃料電池性能に対する影響度比較の方法はいくつか考えられ、燃料循環システム運転においては不純物が濃縮されての影響度の加速的効果なども考えられるが、まずは燃料ストイキオメトリーや不純物濃度が一定条件での比較検討を行うこととして、燃料は再循環しない流通式で試験した。試験条件で上記の共通的なもの以外については、各項目の試験結果とともに記載する。

#### 2.2.2.3 試験結果

##### 2.2.2.3.1 レファレンス燃料断続運転における燃料濃度および流速の影響

これまで IEC/TC105/WG10 においては、燃料試験法条件の燃料濃度と流速についてはごく一般的な条件であろうとされて、あらわに実データを基にした議論は為されなかった。そのため、それらの燃料電池運転性能に与える影響について検討を加えた。国際規格では、セル面積を約 10cm<sup>2</sup>、燃料濃度を 1 mol/L (M) とし、燃料流速 1 mL/min を推奨している。燃料濃度 1 M 流速 1 mL/min (1 M-1 mL/min) での運転性能とともに条件を変えた試験結果を比較し結果例を図 III 2.2.2.2-1 に示す。燃料濃度 1 M で燃料流速を 1 mL/min、1.5 mL/min とした場合の性能は、6 時間程度の運転時間においてはさほど違いが生じず、挙動も安定していた。流速 0.3 mL/min とした場合は、初期性能はあまり変わらないものの、時間経過とともに性能にゆらぎが生じて、挙動が不安定になりつつ、運転時間 3 時間以降はセル電圧の低下が顕著になった。長期運転の場合には、流速の影響が徐々に効いてくることが示唆された。1/3 M - 3 mL/min とした場合、約 20 mV 性能が向上するとともに安定な挙動を示した。これは、メタノールクロスオーバーの影響が小さくなったことや燃料の局所的な不足が起こりにくくなったためと考えられた。同濃度で 1.5 mL/min の場合には、約 1 時間で 30mV 程の性能低下がみられ、セル電圧の揺らぎが大きくなり、不安定となった。2 M - 1 mL/min とした場合には、約 20mV 強の性能低下が生じたが挙動は安定していた。メタノールクロスオーバーの影響が大きくなるものの燃料の局所的な不足が生じにくかったためと考えられた。これらの結果より、数時間レベルの性能評価であれば、現条件で十分であるかもしれないが、長期的な安定性をなどを考慮するとさらなる検討が必要であると示唆された。

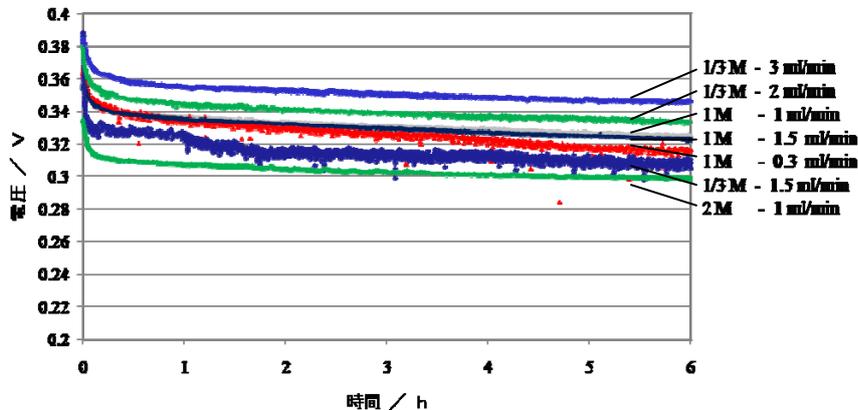


図 III 2.2.2.2-1 レファレンス燃料断続運転における燃料濃度と流速の影響

### 2.2.2.2.3.2 長期断続リファレンス運転試験

燃料不純物の影響を初期評価およびスクリーニングするための試験としては、従前は比較的短時間での電流－電圧特性や数十分レベルの定電流モードでの運転評価試験を計画していたが、IEC/TC105/WG10 での議論を経るにつれ、燃料基準検討において不純物成分すべてを特定することが難しいことから、燃料カートリッジから取り出された燃料の適否を判定するために、1日あたり数時間レベルでの断続運転を繰り返しての数百～1千時間の長期にわたる運転試験が必要とされる意見や燃料電池セル寿命を1万時間と推定する意見が出された。燃料可否判定試験には、並行してレファレンス燃料による運転試験も義務付ける意見も出され、その性能如何によって試験成立かどうか問われるようになり、試験そのものについても成立性の検討と検証が必要となった。

長期断続リファレンス運転試験では、起動停止を含む約6～8時間程度の繰り返し断続運転を実施し、複数のセルを用いて、それぞれに約2000時間のデータを積み上げた。図 III 2.2.2.2-2 に試験の経過を、各断続運転における開始時値、1時間値、2時間値など定時値で代表させデータを示した。なお、試験途中における温度等条件の異なる試験のデータは省略した。

各回の断続運転において数時間で約20～30mV（数%）の電圧低下を示したが、次回の運転再開時に性能はほぼ復帰していた。

長期に亘る性能の挙動については4時間値で示すと、運転初期数十時間は除いて、約100～300時間程度までは約20mV/1000h、その後約400～700時間までは約120～200mV/1000hで電圧が降下したが、その後に電圧降下は見られなくなり、約800～1300時間までは約50mV/1000hで上昇していった。約2000時間での試験時間に対する電圧降下度(4時間値)は、約20～40mV/1000h（約5～10%/1000h）であった。

数百時間経過した際の性能の揺らぎなど多少の検討課題は残るが、現行の国際規格における基準である性能低下率10%/500hの水準を上回る性能が得られた。また、IEC/TC105/WG10でのドラフト作成時に意見である、性能低下率10%/1000h以内とする燃料不純物試験案についても基本的に実施可能性の見通しが得られたと考えられる。

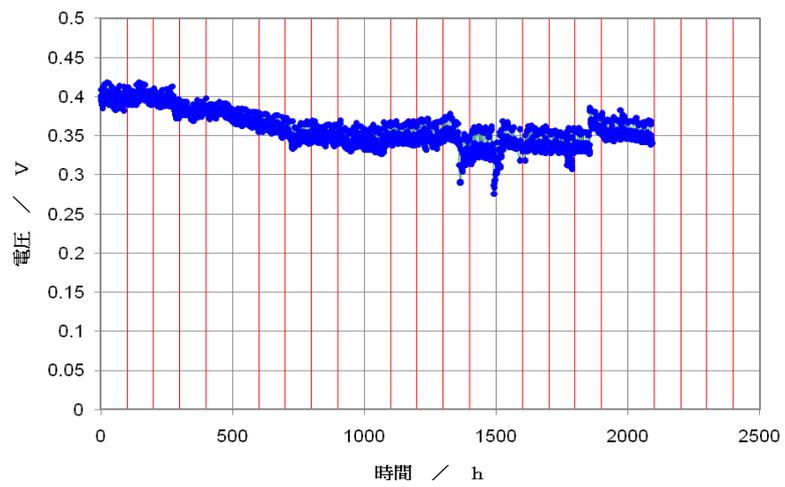
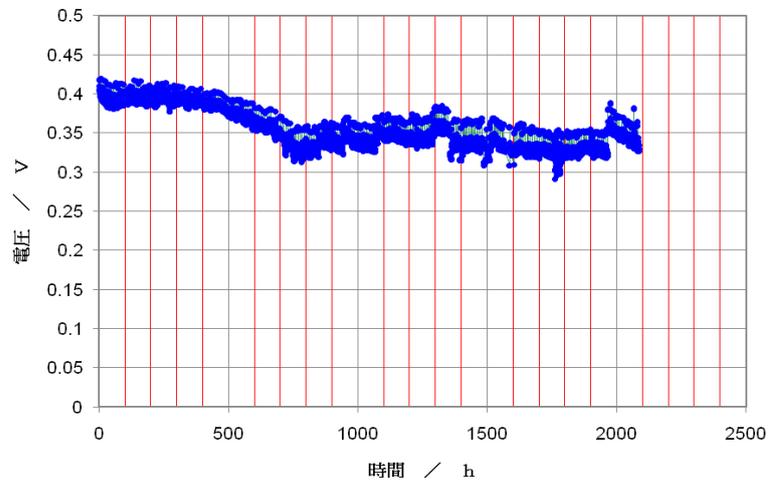
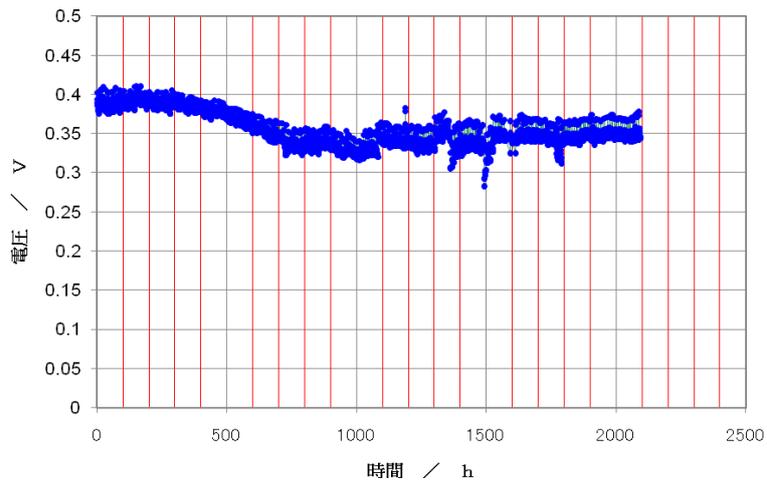


図 III 2.2.2.2-2 レファレンス燃料長期断続運転試験結果例

### 2.2.2.2.3.3 断続運転における不純物影響調査(低濃度エタノール)

従前の議論に基づいてエタノールの影響調査してきた濃度領域は、10 ppm ~ 1000 ppm であったが、FDIS における 1 M メタノール水溶液に対する許容濃度は、数 ppm レベルであるため、さらに低濃度領域まで拡張して実データ取得を行った。レファレンス燃料 (0 ppm) による断続運転 7 回において性能が安定化するのを確認した後、0.1 ppm については、0 ppm の運転開始から 1 時間後に実施してから計 4 回、1 ppm において、3 回試験した結果を図 III 2.2.2.2-3 に示した。約 100 ppm 以下の濃度領域におけるセル電圧降下度は、およそエタノール濃度の平方根に比例することが分かった。

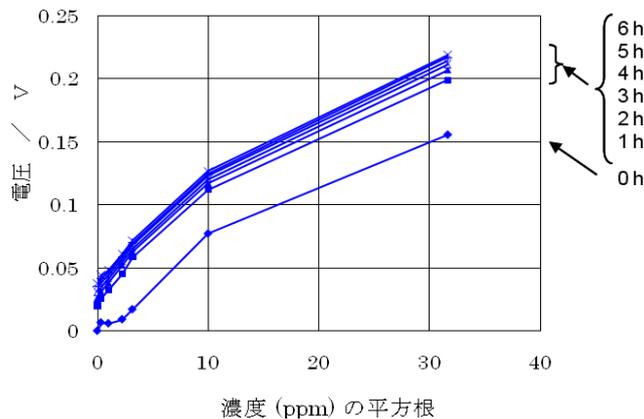
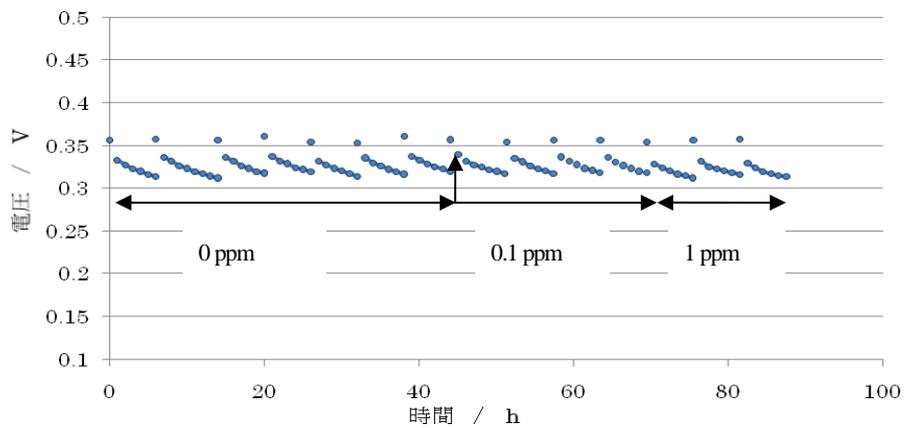


図 III 2.2.2.2-3 DMFC 断続運転性能に対するエタノールの影響

上図は、セル性能の経時変化を示す。各プロットは、各断続運転における開始時値、1、2、3、4、5、6時間値を示す。下図は、不純物エタノール濃度の平方根とセル電圧降下度との関係を示す。

#### 2.2.2.2.3.4 断続運転によるC<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>有機化合物の影響評価

これまで、有機化合物としてはエタノールなどを候補例として選択し、断続運転等において燃料電池発電性能に対する影響を調べ、運転時に性能が低下するものの、不純物濃度が一定の場合には次回運転開始時にほぼ性能が回復することなどわかってきた。また不純物エタノール濃度を  $2 \times 10^2$  mol/L (1000ppm に相当)まで変えて試験したところ、いずれの濃度の場合も、運転開始直後に急速に電圧降下が起こるが、その後は、電圧降下は緩やかになり、不純物を入れていない場合の電圧降下の挙動に近づいていく傾向があることや、濃度約  $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^2$  mol/L 程度の範囲での電圧降下度は、およそ濃度の対数に比例する傾向があることなど報告した。また、無機イオン、酸、それらの混合物などいくつかの物質についての影響を調べてきた。

FDIS では、いくつかの低分子有機化合物について指標 IV として 10000 未満と与えられており、H~K まで3つにグループ分けして次のように例示されている。

$$IV = 100 \times (6 \times H + 38 \times J + 8 \times K) / Y$$

Y: メタノール濃度 (重量%)

H: エタノール、アセトアルデヒド、酢酸 の合計 ( $\mu$ mol/L)

J: 1-プロパノールとプロピオン酸 の合計 ( $\mu$ mol/L)

K: 2-プロパノールとアセトン の合計 ( $\mu$ mol/L)

この指標が DMFC への運転性能への影響度を反映しているとすれば、許容値の大きい H グループの物質の影響度は最も低く、次に K グループ、J グループへと高くなるように考えられる。一方で、指標は設定されたものの、未だにこれら不純物がどのくらい影響するかを示す公開された運転データが整っているわけではない。ここでは、国際規格において例示されている7種の低分子有機化合物について、影響調査を試みた。

各物質の燃料電池性能に対する影響度比較の方法はいくつか考えられ、燃料循環システム運転においては不純物が濃縮されての影響度の加速的効果なども考えられるが、まずは燃料ストイキオメトリーや不純物濃度が一定条件での比較検討を行うこととして、燃料は再循環しない流通式で試験した。不純物濃度については、一定濃度での比較検討から始めることとして規格における基準よりも多少高い値であるが  $2 \times 10^3$  mol/L とした。

燃料に不純物を入れていない場合と不純物低分子有機化合物を含む場合のセル性能を図 III 2.2.2.2-4 に示す。

これら低分子有機化合物が燃料不純物として含まれていた場合、運転開始直後から不純物に応じて発電特性に差が生じた。2-プロパノールとアセトンの電圧降下度は数 mV で同程度であった。また酢酸とプロピオン酸は 50~60mV、エタノール、アセトアルデヒドは約 80mV でそれぞれほぼ同程度の電圧降下度を示した。1-プロパノールは約 110mV であった。その序列を国際規格 IEC62282-6-300 Ed.1.0 の指標 IV における分類とともにまとめると、K (2-プロパノール≒アセトン) < H (酢酸) ≒ J (プロピオン酸) < H (エタノール≒アセトアルデヒド) < J (1-プロパノール) であった。

定電流運転を続けていくと、初期の1時間程度での電圧降下度が大きく、その後の降下速度は低下する傾向を示した。いずれの場合もさらに電圧が降下していく傾向が見られたが、それぞれの燃料不純物による電圧降下度は多少異なり、不純物の無い場合との電圧差については、酢酸を除いて大きくなる傾向を示した。さらに、長時間運転した場合を想定すると、それぞれの化合物の影響度の序列に入れ替わりなどが起こりうる可能性も示唆された。そこで国際規格における燃料試験法にならって、運転開始後4時間値で代表させて性能比較を行うと、電圧降下度については、2-プロパ

ノールに対して約 20 mV、1-プロパノールで約 150 mV などと算出され、不純物のある場合と不純物の無い場合の電圧降下度の差について、2-プロパノールの場合を基準に比率を求めると、アセトンはほぼ同程度、酢酸は約 2.5 倍、プロピオン酸は約 3.5 倍、エタノールは約 4 倍強、アセトアルデヒドは 4 倍強、1-プロパノールは 7 倍強であり、その序列を整理すると、K (2-プロパノール $\div$ アセトン) < H (酢酸) < J (プロピオン酸) < H (エタノール $\div$ アセトアルデヒド) < J (1-プロパノール) となった。

今回の試験はあくまで一つの例であり、データ数の少ないことや、国際規格に掲げられている基準値とは異なる濃度での比較試験であることなどから、その取扱いには注意を要するが、仮に低濃度領域においても、これらの低分子有機化合物の影響度の序列が変わらないとするならば、エタノール、アセトアルデヒド、酢酸に対する許容値と、アセトン、2-プロパノールに対する許容値の比には、多少変わる余地が残されると示唆された。また、酢酸に対する許容値については、エタノール、アセトアルデヒドと同じグループとして扱うのではなく、分けて考えても良いかもしれないことなども示唆された。

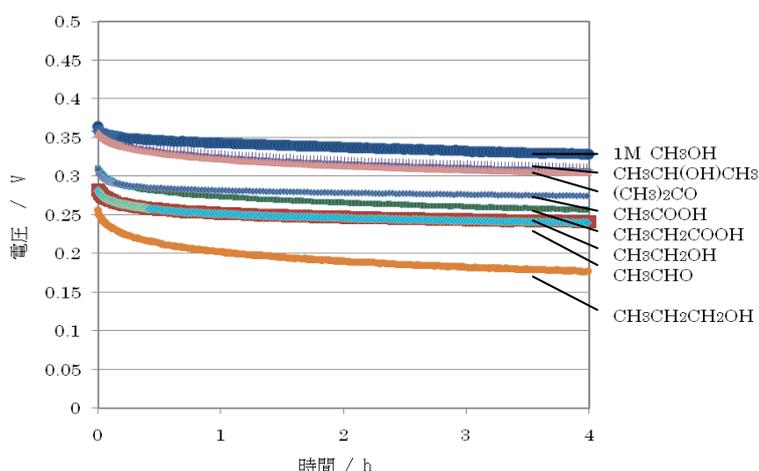


図 III 2.2.2.2-4 低分子有機化合物の DMFC 運転に対する影響試験結果例

#### 2.2.2.2.3.5 断続運転中の電気化学インピーダンスによる不純物影響調査(エタノール)

燃料不純物がセル内にどのように影響するかを調べるために、電気化学的インピーダンス測定を適用した。燃料の不純物エタノール濃度を 1000ppm まで変化させて調べてきたが、本年度は、カソード側に水素を流して同様の測定を行い、アノードとカソードのスペクトルを得た。測定については、DMFC の定電流モードによる運転において、電圧降下が緩やかになった時点で、電気化学的インピーダンス測定を行った。

測定されたセルインピーダンススペクトルの Cole - Cole プロットを図 III 2.2.2.2-5 (左図) に示す。インピーダンススペクトルは、吸着中間体が反応に関与していることを示唆する容量性の円弧と誘導性の円弧が観測された。燃料中の不純物エタノールの濃度が高くなった場合、容量性の円弧の高周波数側の部分にはほとんど変化が見られないものの、容量性の円弧の低周波数側の部分と誘導性の円弧の部分が大きくなった。高周波数側で最初に実軸を切る切片には、エタノールの濃度依存性はあまり認められなかった。高周波数側から次に実軸を切る切片と、低周波数側で実軸を切る切片 (もしくは近づく点) については、エタノール濃度が大きくなるにつれて、大きくなっていくことがわかった。

アノード側のインピーダンススペクトルの Cole - Cole プロットを図 III 2.2.2.2-5 (右図) に示す。アノード側のインピーダンススペクトルでは、セルインピーダンスに比較して、誘導性の円弧がより明瞭に観察された。この場合も、以下に示すような挙動を示した。燃料中の不純物エタノールの濃度が高くなった場合、容量性の円弧の高周波数側の部分にはほとんど変化が見られないものの、容量性の円弧の低周波数側の部分と誘導性の円弧の部分が大きくなった。高周波数側で最初に実軸を切る切片には、エタノールの濃度依存性はあまり認められなかった。高周波数側から次に実軸を切る切片と、低周波数側で実軸を切る切片（もしくは近づく点）については、エタノール濃度が大きくなるにつれて、大きくなっていくことがわかった。このアノードのスペクトルの挙動は、セルインピーダンスの挙動の大半を説明すると考えられた。

カソード側のインピーダンススペクトルを図 III 2.2.2.2-5 (右図) に示す。カソード側におけるインピーダンスは、通常の DMF C 運転モードのセルインピーダンスとカソード側に水素を導入した運転モードとの差によって求めることができると仮定した。主として容量性円弧が観測され、エタノールの濃度の増大により弧の大きさが大きくなっていった。この変化については、エタノールやその反応生成物がクロスオーバーしてカソード側にも影響していたことを示唆すると考えられた。

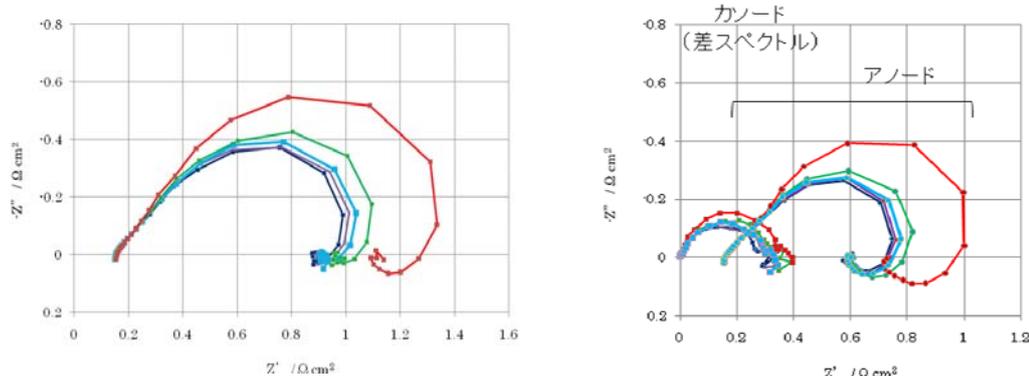


図 III 2.2.2.2-5 DMF C 運転中のセルインピーダンスにおけるエタノールの影響

それぞれのスペクトルにおいて弧の小さい方から、エタノール濃度 0, 1, 10, 100, 1000 ppm のデータを示す。

#### 2.2.2.2.3.6 メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会

本事業においては、燃料不純物特性評価等については「メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会（委員長：梅田実 長岡技術科学大学教授）」を設置し、外部有識者の協力および助言を得つつ推進した。システムを想定した燃料循環による不純物・生成物等の濃縮、他物質も含めて系統的に影響を検討するためのメカニズムの研究、運転モードの影響の検討、加速試験、酸化剤の試験法に与える影響を調べることなどが今後の取り組むべき課題として抽出された。以下に開催日時、場所、委員名簿を示す。

第 1 回 開催日：平成 21 年 10 月 20 日

場所：産業技術総合研究所

第 2 回 開催日：平成 22 年 2 月 5 日

場所：産業技術総合研究所

メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会 名簿  
(燃料不純物特性検討会)

(敬称略)

<u>委員</u>	<u>所属</u>
梅田 実	長岡技術科学大学 物質・材料系
柴田 和男	社団法人日本電機工業会 新エネルギー部
富岡 秀徳	財団法人日本自動車研究所 FC・EV研究部 標準化グループ
安達 修平	ヤマハ発動機株式会社 技術本部 研究開発統括部 システム研究部
加納 正史	積水化学工業株式会社 R&Dセンター 開発推進センター NEグループ
谷口 貢	三菱ガス化学株式会社 新潟研究所
<u>オブザーバ</u>	
大山 敦智	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 燃料電池・水素技術開発部
菅原 早奈子	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 燃料電池・水素技術開発部
<u>事務局</u>	独立行政法人産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門 マイクロ燃料電池連携研究体

#### 2.2.2.2.4 まとめ

これまで、IEC/TC105/WG10、日本電機工業会と連携し、国際標準化に向けた活動を行ってきた。平成21年度にFDISに対する投票が行われ国際規格の成立の可否が問われることになったが、燃料試験方法を含む燃料品質基準案の検証が課題であったため、以下のように実施した。

メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法の燃料不純物特性に関する燃料評価試験方法について基盤データを取得しつつ検討を行い、レファレンス燃料により安定動作可能となる基本的評価手法の実施可能性の見通しを得た。エタノール、アセトアルデヒド、酢酸等の低分子有機化合物の燃料不純物特性についての基盤データを取得ならびに評価し、メタノールを燃料とするマイクロ燃料電池システム等の国内外燃料品質基準・標準案策定（今後の改定作業）に備えた検討および基盤データ整備を行った。

なお、これまでの一連の活動は、国際規格（IEC 62282-6-300 Ed.1.0: INTERNATIONAL STANDARD: Fuel cell technologies –Part 6-300: Micro fuel cell power systems – Fuel cartridge interchangeability, 2009）の平成21年6月発行に寄与した。

本項目の推進にあたり、メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会（燃料不純物特性検討会）を設置し、長岡技術科学大学、日本電機工業会、日本自動車研究所、ヤマハ、積水化学、三菱ガス化学(敬称略)の協力を得て、燃料不純物特性評価等について検討を行った。国際規格の検証、システムを想定した燃料循環による不純物・生成物等の濃縮、他物質も含めて系統的に影響を検討するためのメカニズムの研究、運転モードの影響の検討、加速試験、酸化剤の試験法に与える影響などを調べることなどが今後の取り組むべき課題として抽出された。

特許、口頭発表、投稿論文等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT <sup>※</sup> 出願	査読付き	その他	
H21FY	0件	0件	0件	0件	5件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 2.3(2) 水素用材料基礎物性の研究

### 2.3(2)1 高圧水素タンク用ライナー材の研究開発（新日本製鐵株式会社、新日鉄住金ステンレス株式会社（新日本製鐵株式会社と共同実施））

前プロジェクトで平成16年度までに採取した SUS316L ステンレス鋼および A6061-T6 アルミニウム合金の 45MPa 高圧水素ガス中における材料特性データは、燃料電池自動車の 35MPa 級高圧水素ガス燃料タンク用ライナーやその付属部品の材料基準策定に活用された。一方、これら高圧水素ガスに曝される部品には、SUS316L や A6061-T6 だけでなくさらに多種の材料を使用したいという強い市場ニーズがあり、45MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置を用いて、A6061-T6 や SUS316L 鋼に加え、チタン、耐熱鋼、各種ステンレス鋼など様々な材料について数多くの特性データを採取した。

さらに平成19年度からは、燃料電池自動車の航続距離を伸ばすためさらに高圧の 70MPa 級車載容器用材料の評価ニーズに応えるべく、99MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置の設計～導入を行い、35MPa 級高圧機器の規準材として認定された SUS316L や A6061-T6 を中心に、70MPa 級車載容器および関連部品用材料の例示基準策定のためのデータ採取を実施した。併せてこれら取得データの信頼性検証のため、様々な金属学的解析を実施した。これら研究成果により 70MPa 級車載容器及び付属品の例示基準が H22 年に策定された。

#### (1) 99MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置の導入

既導入 45MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置の運転経験を基に技術改良を加え、平成18年に、最高圧力 99MPa の高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置を導入した（図 III 2.3(2)1-1）。この装置は、70MPa 級機器に使用する材料を総合的に評価することのできる世界初の総合機械試験装置で、国内に導入された数台の後続設備のモデル装置である。主な仕様は、最高圧力 99MPa、試験温度 -45～+90℃、最大静的荷重 100kN、内部ロードセル制御による疲労試験が可能であるなど、70MPa 級機器の想定最高圧力（定常 70MPa×1.25=約 90MPa）、使用温度（厳冬期 -40℃、水素充填時 85℃）に十分対処可能な試験機である。



図 III 2.3(2)1-1 99MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置

#### (2) 高圧水素ガス環境下における材料特性評価

45 および 99MPa 級材料試験装置を用いて、財団法人日本自動車工業会などの関係機関の要望をベースに、様々なデータ採取を実施した。その主な材料を以下に示す。

ステンレス鋼： SUS316L 溶体化処理材、 水素チャージ処理材、 冷間加工材  
SUS316,316L の Cr,Ni 変化材、 SUS304L 溶体化処理材、 SUS302、SUS303

低 Ni 省 Mo 鋼 (STH1,STH2)

耐熱鋼 : SUH660 溶体化時効材、水素チャージ処理材

アルミニウム合金 : A6061-T6、同 Si 増量材(A6061HS)

チタン・チタン合金 : 純チタン 焼鈍材、水素チャージ処理材

Ti-6Al-4V 焼鈍材、水素チャージ処理材

Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo  $\beta$ -C 焼鈍材、水素チャージ処理材

これらの中から、特に 70MPa 機器の例示基準策定のために行った、SUS316L 溶体化処理材、A6061-T6、A6061HS、比較材の SUS304L 溶体化処理材、SUS316L に替わる水素用材料として期待される低 Ni 省 Mo 鋼 (STH1:15Cr-9Mn-6Ni-2Cu 鋼) の疲労試験結果を以下に示す。

図 III 2.3(2)1-2 は SUS316L 厚板 (溶体化処理材) の疲労亀裂伝播特性である。ロット A は大気中、45MPa および 90MPa 高压水素中でほとんど差はなく、水素による疲労亀裂伝播速度の加速は認められないが、ロット B では 90MPa 高压水素中で、わずかながら疲労亀裂伝播速度が速くなっている。これは、厚板のような厚肉のステンレス鋼の中心部に存在する Ni のミクロ負偏析の影響によるものである。その低下率は僅かであり、実用上特に問題となるようなものではないが、正確な SUS316L (17Cr-12Ni-2Mo 鋼) の特性を評価するには、偏析の小さい部分から試験片を採取することが重要である。

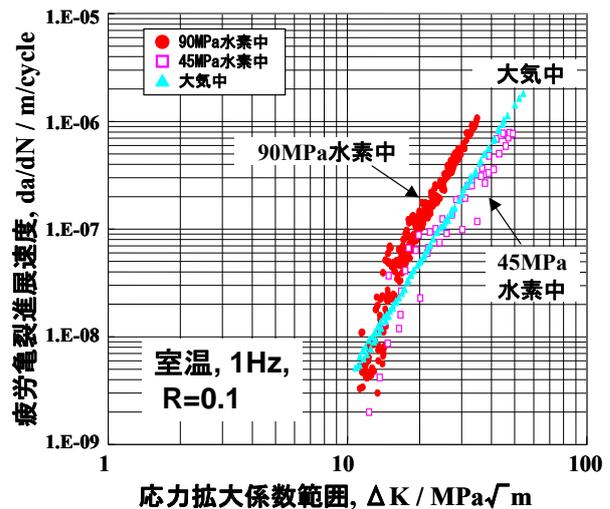
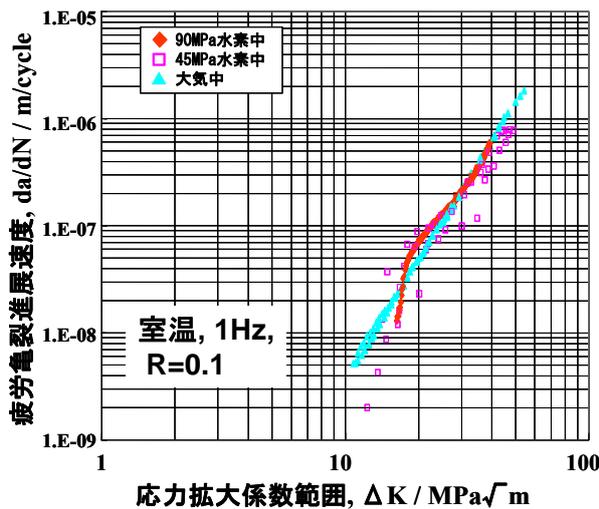


図 III 2.3(2)1-2 SUS316L 鋼厚板 (溶体化処理材) の室温における疲労亀裂伝播特性。左は同一厚板 (ロット A) から採取した試験片を用いた試験結果。右の 90MPa 水素中データは別ロット (ロット B) から採取した試験片を用いた試験結果

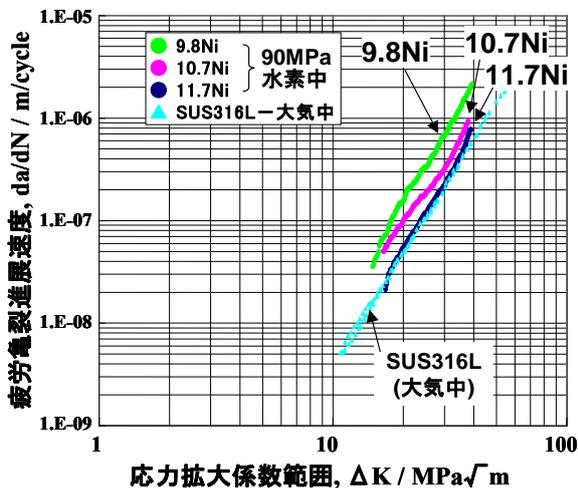
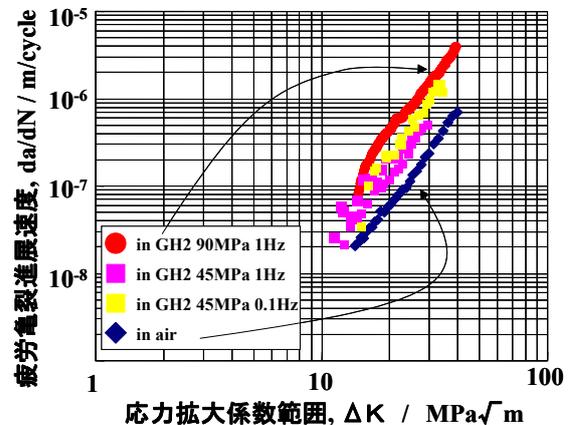


図 III 2.3(2)1-3 Mo=2%、Cr=17%に固定し、Ni 含有量を 9.8~11.7%の範囲で変化させた SUS316 系ラボ製造鋼 (溶体化処理材) の室温、90MPa 高压水素中における疲労亀裂伝播特性

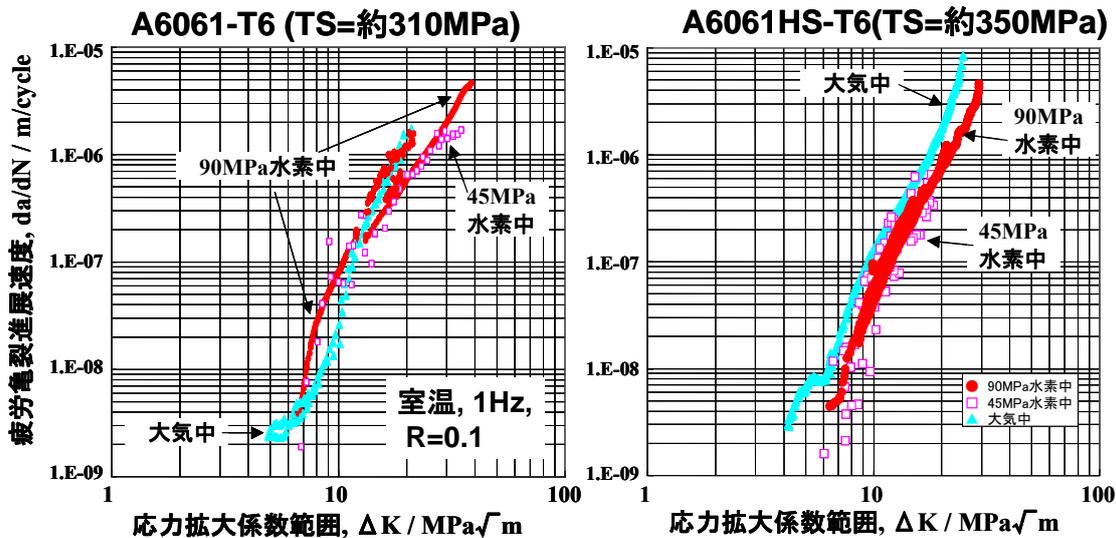
このマイクロ偏析の影響は、図Ⅲ 2.3(2)1-3 に示した Ni 量を 9.8～11.7%の範囲で変化させた SUS316 系材料の疲労亀裂伝播特性に明瞭に示されている。すなわち、Ni 量が SUS316L の下限値の 12%に近い 11.7Ni 材の疲労亀裂伝播速度は SUS316L の大気中のそれに近いが、Ni 量が減るに従って亀裂伝播速度は速くなっている。

図Ⅲ 2.3(2)1-4 は SUS304L 鋼厚板溶体化処理材の疲労亀裂伝播特性である。この材料は高圧水素中で明瞭な脆化を示す材料であり、疲労亀裂伝播速度も高圧水素中で加速している。また、僅かではあるが、45MPa 水素中のデータから、試験周波数の影響も伺える。

図Ⅲ 2.3(2)1-5 は、A6061-T6 (引張強さ=約 310MPa) および A6061 の Si 量を高め高強度化した A6061HS (調質は同じく T6、引張強さ=約 350MPa) の室温における疲労亀裂伝播特性である。ステンレス鋼に比べややばらつきが大きい、両アルミニウム合金とも 90MPa の高圧水素中で、疲労亀裂伝播速度の加速は認められない。また両材料は、S-N 疲労試験にも供したが、高圧水素中で疲労寿命特性の低下は認められなかった。



図Ⅲ 2.3(2)1-4 SUS304L 鋼厚板 (溶体化処理材) の室温、高圧水素ガス中における疲労亀裂伝播特性 (R=0.1)

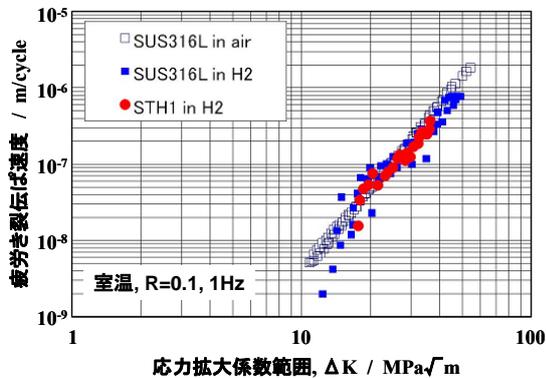


図Ⅲ 2.3(2)1-5 A6061-T6 (左)および Si を増量した A6061HS(右)の室温、高圧水素ガス中における疲労亀裂伝播特性

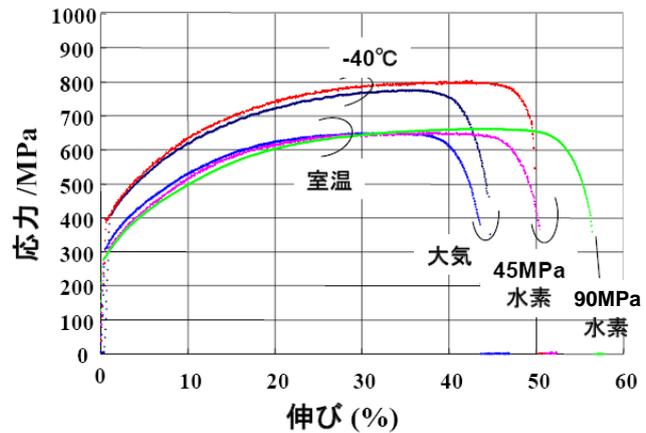
図Ⅲ 2.3(2)1-6 は、Ni 含有量が SUS316L の半分の 6%であるにもかかわらず高圧水素ガス雰囲気下でも脆化をほとんど示さないことから、低コスト・省資源の観点から SUS316L に替わる新しい水素用ステンレス鋼として期待されている STH1 鋼の室温、45MPa 水素ガス中における疲労亀裂伝播特性である。SUS316L の大気中および 45MPa 水素中の疲労亀裂伝播速度と同等であり、45MPa までの圧力下では、水素による疲労亀裂伝播速度の加速は無いことが確認された。

なお、この STH1 は SUS316L と同等の強度特性を有しているが、高圧水素配管等では、よ

り高強度の材料が求められている。そこで、より高強度の SHT2 が設計されている。これは STH1 の窒素含有量を 0.15~0.2% に高めた材料で、260MPa 程度であった STH1 の 0.2% 耐力が約 400MPa にまで向上している。図Ⅲ 2.3(2)1-7 は SHT2 の室温および-40℃ の高圧水素ガス中における応力-曲線である。室温はもとより-40℃ の高圧水素ガス環境下でも脆化することなく高い延性を示している。なお、高圧ガス中の方が高延性を示したのは静水圧の影響である。



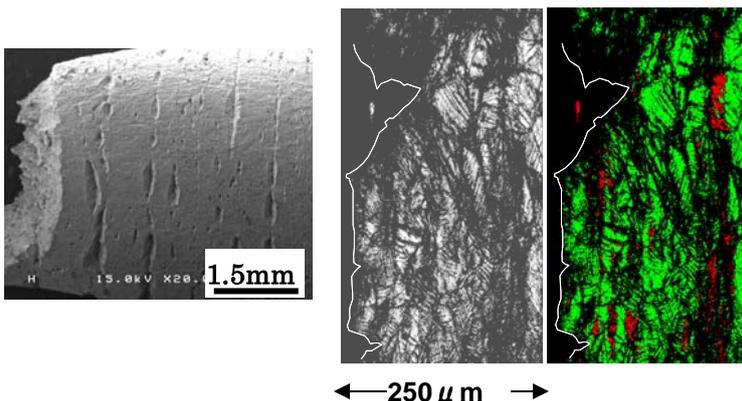
図Ⅲ 2.3(2)1-6 STH1 鋼および SUS316L 鋼（溶体化処理材）の室温、高圧水素ガス中における疲労亀裂伝播特性



図Ⅲ 2.3(2)1-7 SHT2 鋼の室温および-40℃、大気中及び高圧水素中における応力-伸び曲線

### (3) $\gamma$ 系ステンレス鋼の水素脆化影響因子の解析

(2)で紹介したように、SUS316L は偏析がなければ水素中で脆化や疲労特性の低下は示さないが、SUS304L など加工誘起マルテンサイト変態する材料は一般に高圧水素中で脆化し、疲労特性も低下する。今後、材料コストの低減や材料選択の自由度拡大の観点から、水素脆化しても脆化の程度が軽微であれば水素機器への使用が許容される可能性があるが、そのためには、脆化の程度・条件とともに脆化を引き起こす影響因子を明確化しておく必要がある。このような観点から、SUS304L を中心に、水素脆化影響因子の解析を行った。

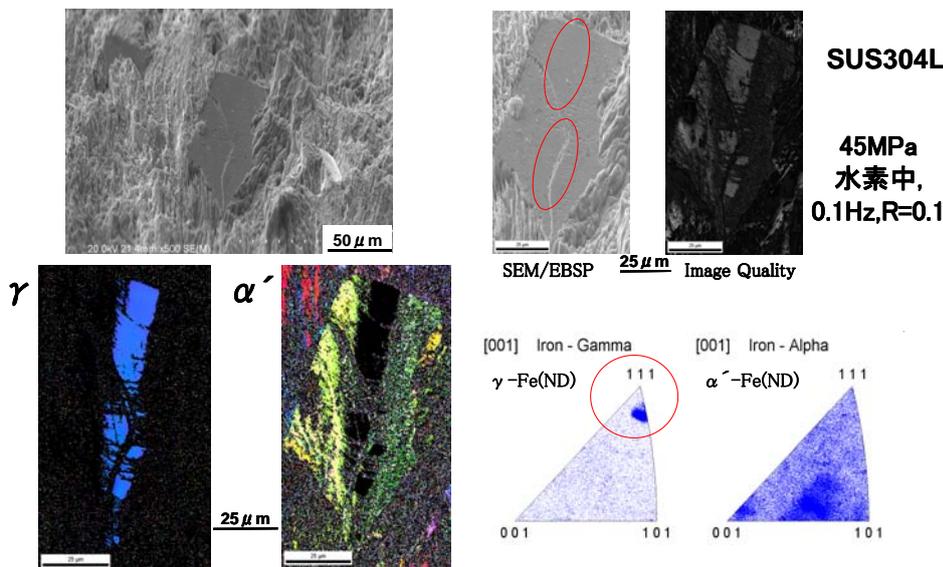


図Ⅲ 2.3(2)1-8 85℃、45MPa 水素中で引張破断させた SUS304L の破断部近傍側面 SEM 写真(左)および断面に対して実施した EBSD 解析結果 (中 Image Quality Map, 右 Phase Map — 赤;  $\alpha'$  マルテンサイト相、緑;  $\gamma$  相 CI>0.1)。

図Ⅲ 2.3(2)1-8 は、SUS304L を 85℃、45MPa の水素ガス中で引張試験した破断試験片の破断部近傍断面に対して行った EBSD (Electron Back Scattering Diffraction; 電子線後方散乱回折) 解析結果である。この試験環境でこの材料は顕著な脆化を示し、試験片側面には割れが多数生成している。しかし、割れ近傍には明瞭な  $\alpha'$  加工誘起マルテンサイト相は認められず、 $\alpha'$  相が生成していたとしても脆化せず大きな塑性加工を受けている (図Ⅲ 2.3(2)1-8(右))

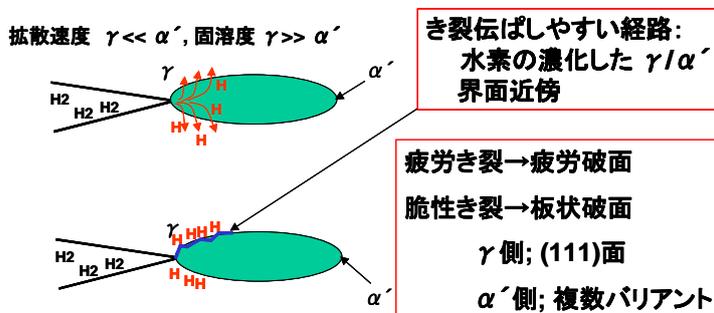
図 割れ近傍の黒色部＝塑性加工量の大きい部分)。すなわち、従来説の「 $\alpha'$ 相が生成することで脆化する」という機構で割れが発生しているのではないことを示している。

図Ⅲ 2.3(2)1-9 は、SUS304L を室温、45MPa 水素中で疲労亀裂伝播試験した試料の破面に生じた平板状脆性破面の一例である。多数の同様の破面に対して EDS 解析した結果、いずれも破面は母相  $\gamma$  相の  $\{111\}$  面で、一部  $\alpha'$  相も混在する破面であった。すなわち、疲労亀裂は  $\gamma$  相と  $\alpha'$  相の界面近傍を伝播していることが明らかとなった。



図Ⅲ 2.3(2)1-9  
室温、45MPa 水素  
中疲労亀裂伝播し  
試験後の SUS304L  
破面に現れた板状  
脆性破面解析結  
果。赤円は  $\gamma$   $\{111\}$   
面。  
(0.1Hz, R=0.1)

このような水素ガス中特有の平板状破面は、図Ⅲ 2.3(2)1-10 に示す機構により生じていると推定される。まず亀裂先端部の歪集中で  $\alpha'$  相が生成する。水素がここに外部から侵入すると固溶度の大きい  $\gamma$  相に向かって拡散する。しかし、 $\gamma$  相中の拡散速度は  $\alpha'$  相中より極端に遅いため、 $\gamma/\alpha'$  界面近傍に水素が濃化しこの部分で脆化がおこる。 $\gamma$   $\{111\}$  面は、 $\epsilon$  相が生成し、この  $(0001)$  面に沿って割れた後、除荷されて  $\gamma$  相に逆変態したことで生じた可能性が考えられる ( $\epsilon$   $(0001)$  と  $\gamma$   $\{111\}$  は等価面)。もしこのような機構で脆化しているのであれば、 $\alpha'$  マルテンサイト変態を抑制するのではなく、 $\epsilon$  相の生成を抑制する (あるいは積層欠陥エネルギーを制御する) ことで脆化を抑制できる可能性があり、この知見は、将来の新しい水素用材料開発の重要なシーズとして活用が期待される。



図Ⅲ 2.3(2)1-10  $\gamma/\alpha'$   
マルテンサイト界面近傍に  
生ずる平板状脆性破面の形  
成機構の模式図

その他、疲労周波数の影響についても SUS304L (図Ⅲ 2.3(2)1-4) のほか、水素チャージした SUS316L に対し極低周波数試験を行い、0.02Hz 程度まで疲労亀裂伝播速度の加速は認められないことを明らかにした。

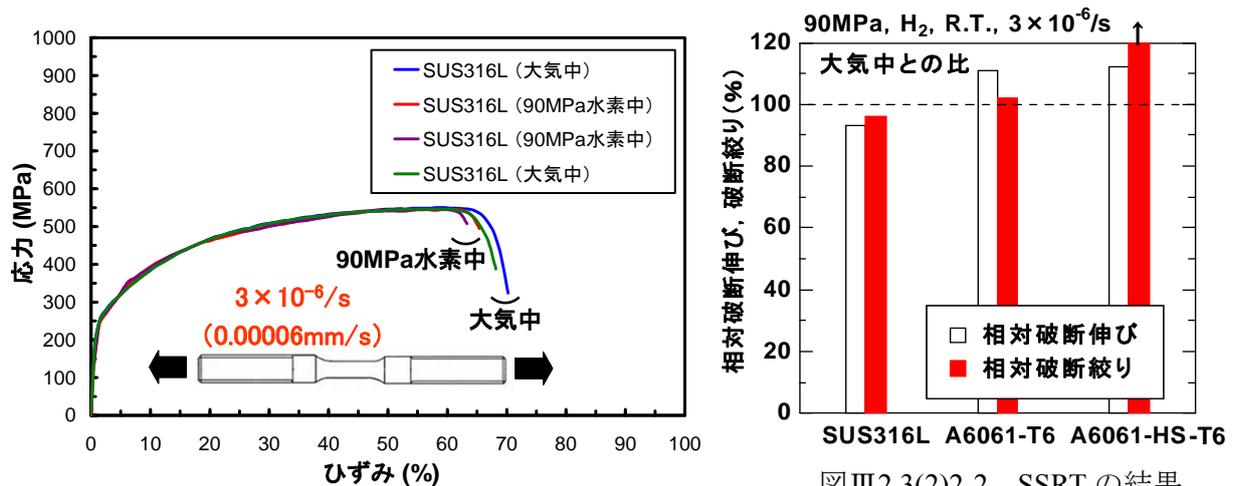
## 2.3(2)2 高圧水素配管材料の研究開発（住友金属工業株式会社）

本研究では、高圧水素ガス中の低ひずみ速度引張特性と脆化機構評価、高圧水素ガス中における内外圧疲労特性評価、ステンレス鋼管材の高強度化手法の検討などを推進した。

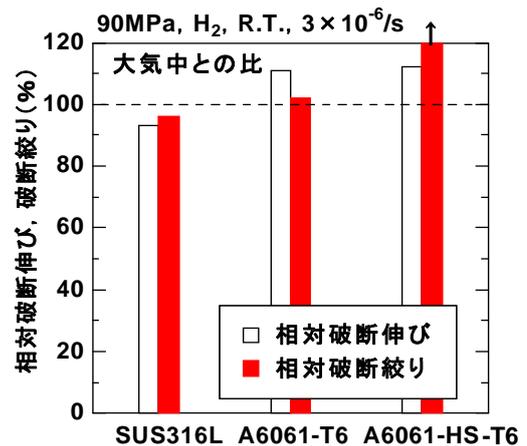
### (1) 高圧水素ガス中の低ひずみ速度引張特性と脆化機構評価

最大 90MPa の水素ガス環境下における低ひずみ速度引張試験(Slow Strain Rate Test, SSRT) 技術を確立し、この試験方法により 45MPa 水素中の各種材料の機械的特性に関するデータを蓄積した。アルミニウム合金 A6061-T6、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L・SUS304L に加えて、析出強化型ステンレス鋼 A286(SUH660)、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS420、低合金鋼 SCM435 等を評価した。A6061-T6、SUS316L、A286 では顕著な脆化は認められなかったが、SUS304L、SUS420、SCM435 では大気中に比べて破断伸びや絞りが大きく低下した。

SUS316L、アルミニウム合金(A6061-T6、A6061-HS-T6)、A286 については 90MPa 水素中のデータを取得した (図Ⅲ.2.3(2)2-1、図Ⅲ.2.3(2)2-2)。アルミニウム合金および SUH660 については大気中の値に対して引張強度、破断伸び、絞りの低下は認められなかったが、SUS316L については水素により僅かに破断伸びならびに絞りが低下し、偏析の影響の可能性が考えられた。



図Ⅲ.2.3(2)2-1 SSRT における応力-ひずみ曲線の例

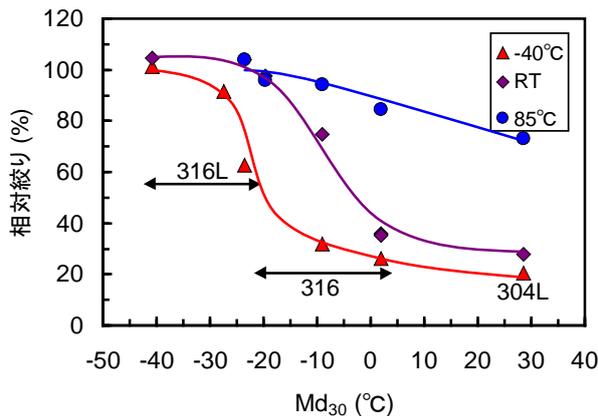


図Ⅲ.2.3(2)2-2 SSRT の結果

(90MPa 水素環境)

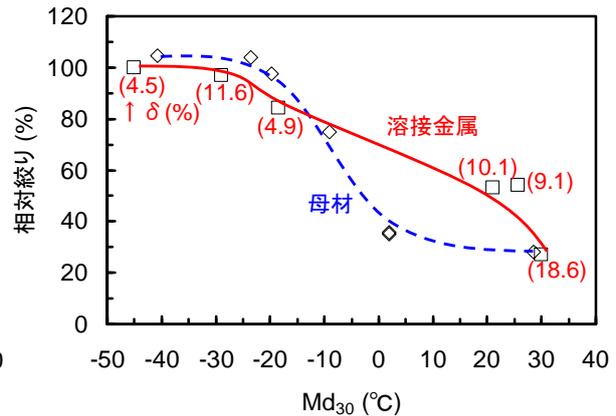
SUS316、316L 系ステンレス鋼について、水素中で使用できる成分範囲の明確化とその拡大の検討を行うため、水素環境脆化特性に及ぼす化学組成の影響について検討した。SUS316、316L 系で成分(主に Ni 量)を変化させた材料の SSRT を -40℃、室温、85℃の 45MPa 水素ガス中で実施した。各試験温度での相対絞りと成分から決まる  $Md_{30}$  値の関係(図Ⅲ.2.3(2)2-3)を用いて、脆化の起こらない成分範囲を決定できる。SUS316、316L 系ステンレス鋼の水素環境脆化は加工誘起マルテンサイト( $\alpha'$ )相の生成が主原因と考えられ、脆化の防止には -40℃では  $Md_{30}$  を -40 以下、室温(RT)~85℃の環境では  $Md_{30}$  を -20 以下の組成にする必要がある。また、同様の検討を成分範囲と  $\delta$  フェライト量を変化させた SUS316L および 308L 系溶接金属についても実施した。この結果、溶接金属中に生成した  $\delta$  フェライト相は今回の検討範囲内では脆化特性に影響せず、溶接金属の脆化特性は母材の場合と同様に  $\alpha'$  相の生成で決定されてい

ると推定された (図Ⅲ2.3(2)2-4)。



図Ⅲ2.3(2)2-3 水素環境脆化に及ぼす  
Md<sub>30</sub> 値の影響  
(45MPa 水素環境)

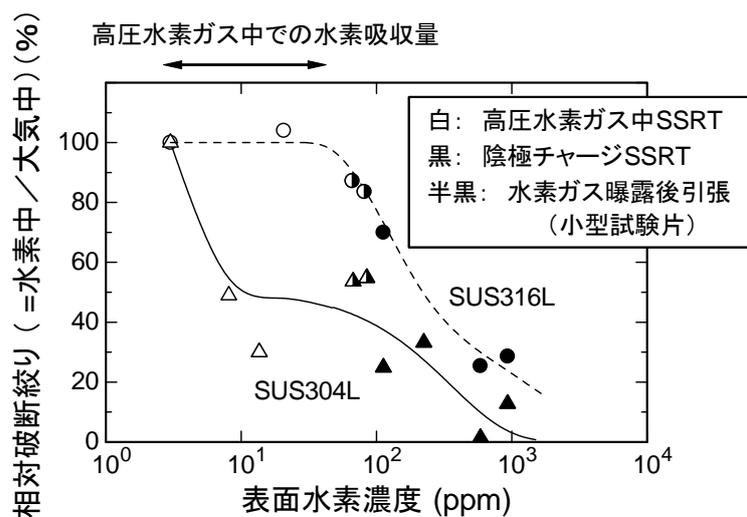
Md<sub>30</sub>=413-462(C+N)-9.2Si-8.1Mn  
-13.7Cr-9.5Ni-15.5Mo



図Ⅲ2.3(2)2-4 溶接金属の水素環境脆化  
に及ぼす Md<sub>30</sub> 値、 $\delta$  フェライトの影響  
(45MPa 水素環境)

Md<sub>30</sub>=413-462(C+N)-9.2Si-8.1Mn  
-13.7Cr-9.5Ni-15.5Mo

実機器で長時間使用した場合には、材料試験時よりも多量の水素が吸収される可能性があり、実機器の安全性を評価するためには、脆化が生じる限界水素濃度を把握する必要がある。SUS316L、304L について、高圧水素ガス中 SSRT、ガス中よりも多量に水素が吸収される陰極チャージ SSRT、小型試験片(厚さ 0.3mm、平行部 1mm)を用いた高圧水素ガス曝露後引張試験を行い、表面水素濃度と相対破断絞りの関係を整理した(図Ⅲ2.3(2)2-5)。SUS304L は 10ppm 以下の水素濃度で脆化を生じるのに対して、SUS316L が脆化を生じる限界水素濃度は 100ppm 程度と推定され、限界水素濃度の観点からも SUS316L の方が水素脆化に対して余裕度の大きい材料であることを確認した。



図Ⅲ2.3(2)2-5 相対絞りに及ぼす水素濃度の影響

水素侵入に及ぼす環境・材料因子の影響を評価するため、オーステナイト系またはフェライト系ステンレス鋼を用いて、酸化皮膜が水素侵入に及ぼす影響について検討した。無ひずみでは  $\text{Al}_2\text{O}_3$  皮膜、不動皮膜、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  皮膜ともに水素侵入抑制効果を有したが、ひずみ付与により酸化皮膜は破壊され、水素吸収量は増大した。さらに、実使用状態に近い応力負荷条件下での水素透過量を測定しうる試験装置を導入し、SUS316L、低合金鋼について水素透過係数の測定を行い、水素透過係数は温度および水素圧の上昇に伴って大きくなることを確認した。

関連業界から低コスト材、機器の軽量化のための高強度材を使用したいとの要望があることを考慮し、低コスト材として低 Ni 省 Mo 高 Mn 新ステンレス鋼、高強度材として SUS316L 冷間加工材、析出強化型ステンレス鋼 A286(SUH660)、SUS316 あるいは SUS310 をベースに N による固溶強化+冷間加工、VN による析出強化で高強度化した材料などを供試材とし、室温の 90MPa 水素ガス中において、 $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  のひずみ速度で SSRT を実施した。いずれの鋼種も水素による破断伸び、絞り、引張強さの顕著な低下は認められなかった。

## (2) 高圧水素ガス中における内外圧疲労特性評価

最大 88MPa の高圧水素ガスを用い、鋼管状試験片の圧力変動による疲労試験(外圧、内圧疲労試験)を実施した。この試験方法により、ステンレス鋼の水素中の疲労特性に及ぼす各種因子(サイクルタイム、試験温度、冷間加工、溶接施工、材料の強化手法など)の影響を調査した。

長周期の内圧疲労試験を行い、SUS304、SUS316L ともサイクルタイムの増加に伴い疲労寿命は低下するが、所定の時間以降は飽和する傾向が確認され、装置設計上重要な知見が得られた(図 III.2.3(2)2-6)。

高強度材の外圧疲労試験を初期き裂材、平滑材を用いて実施した。供試材は析出強化型ステンレス鋼 A286(SUH660)、SUS310 をベースに VN 析出強化により高強度化した材料などであり、試験結果の例を図 III.2.3(2)2-7 に示す。

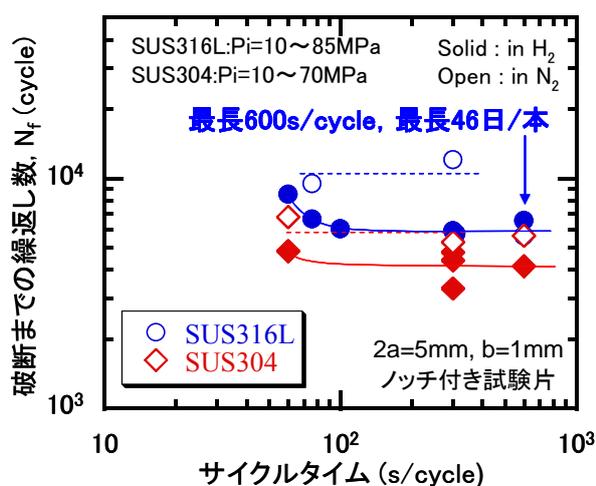


図 III.2.3(2)2-6 SUS316L、SUS304 の水素中疲労寿命に及ぼすサイクルタイムの影響

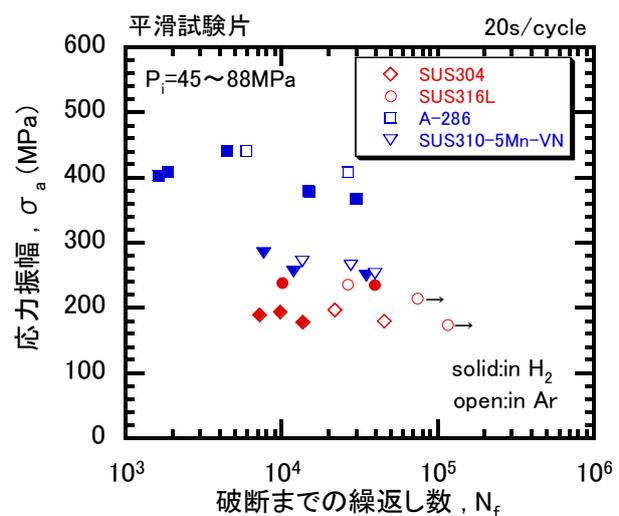
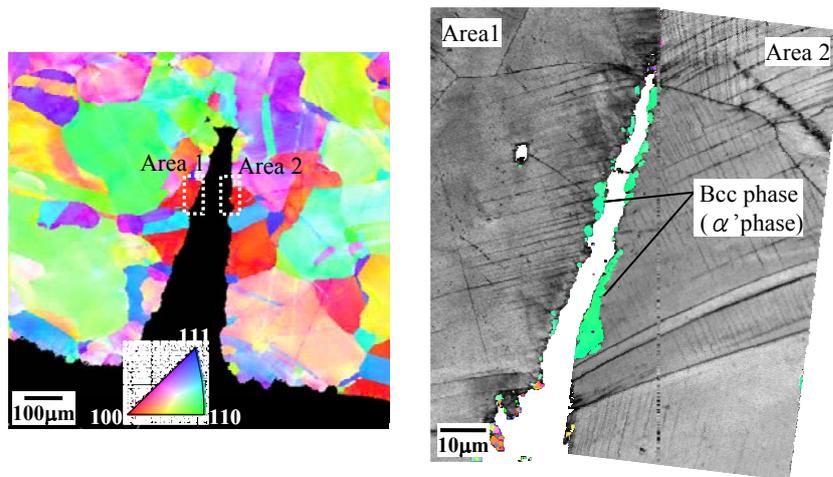


図 III.2.3(2)2-7 高強度材の水素中疲労寿命

-40℃、室温での内圧疲労試験を SUS316L、304 について実施した。SUS316L については試験温度の影響は小さく、水素中と窒素中の寿命差も小さい。SUS304 については水素中、窒素中のいずれでも-40℃の方が室温よりやや低寿命となる傾向が認められた。

水素中の疲労試験で発生した加工誘起マルテンサイト( $\alpha'$ )相とき裂との相関を明らかにするため、EBSD(Electron Back Scatter Diffraction Pattern)法により疲労試験途中止め材のき裂先端を観察した(図Ⅲ.2.3(2)2-8)。き裂先端近傍には加工誘起マルテンサイト相の生成が確認され、加工誘起マルテンサイト相はき裂の片側に多く存在していることが確認された。マルテンサイト相とオーステナイト相の界面をき裂が進展する理由には、低固溶度で水素拡散速度が高いマルテンサイト相を通して供給される水素が高固溶度で水素拡散速度が低いオーステナイト相との界面で過飽和状態になり、その界面を選択的にき裂が進展する機構が考えられる。



図Ⅲ.2.3(2)2-8 SUS304 水素中疲労き裂進展経路の EBSD 観察

### (3) ステンレス鋼管材の高強度化手法の検討

水素ガス高圧化に対応して高強度鋼が使用されることを想定し、ステンレス鋼の高強度化手法について検討した。固溶強化、冷間加工、析出強化(窒化物、金属間化合物)などで強化したステンレス鋼や比較鋼として低合金鋼 SCM435 の水素中 SSRT、疲労試験を行い、これらの強化手法が水素ガス中の強度特性に及ぼす影響を評価するとともに、破面・組織観察によって水素中での脆化や疲労特性劣化の原因を調査した。

実鋼管での材料特性データを蓄積するため、低 Ni 省 Mo 高 Mn 新ステンレス鋼、A286(SUH660)、SUS316L 等について実鋼管を製造した(図Ⅲ.2.3(2)2-9)。水素環境脆化特性を SSRT や内外圧疲労試験により評価し、水素による劣化は無いことを確認した。



図Ⅲ.2.3(2)2-9 鋼管材の外観  
(34.0 φ × 6.5t)

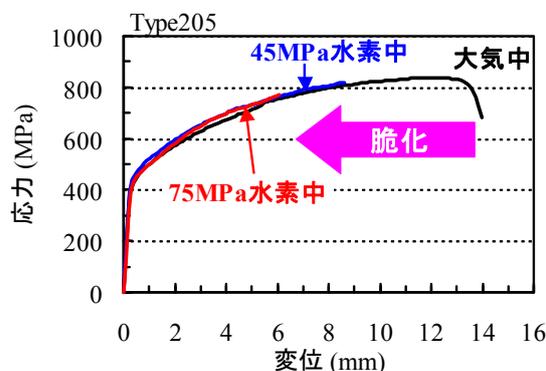
### 2.3(2)3 高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発（愛知製鋼株式会社）

高圧水素ガス環境下のバルブ・継手用材料としての利用が期待される素材として、ステンレス鋼を中心に上げ、高圧水素ガス環境下における引張特性を調査するとともに、長期間の使用を想定し、高圧水素ガス環境に長時間曝されたステンレス鋼等の水素吸収特性および引張特性を調査した。

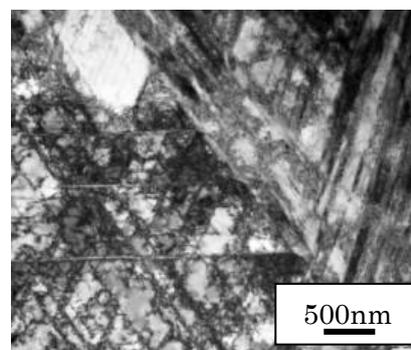
#### (1) バルブ・継手用材料の高圧水素ガス環境における引張特性

車載用高圧水素ガスタンクに接続されるバルブ・継手用材料としての利用が期待されるステンレス鋼および銅合金を 45MPa および 70MPa 高圧水素ガス環境下で引張試験に供し、引張特性に及ぼす高圧水素ガス環境の影響を調査した。その結果、C3771 銅合金は、水素ガス環境脆化を示さないこと、SUS630 析出硬化型ステンレス鋼は著しい水素ガス環境脆化を示すことが明らかとなった。また、ステンレス鋼では、従来の知見どおり、SUS304<SUS316<SUS316L の順で水素ガス環境脆化が低減されることが確認された。

高耐力を有する Type205 オーステナイト系ステンレス鋼および SUS329J4L 二相系ステンレス鋼と汎用の SUS316L および SUS304 オーステナイト系ステンレス鋼および

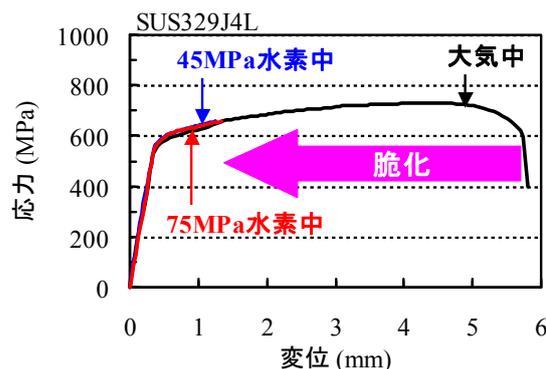


図Ⅲ 2.3(2)3-1 Type205 の大気中および高圧水素中の引張特性



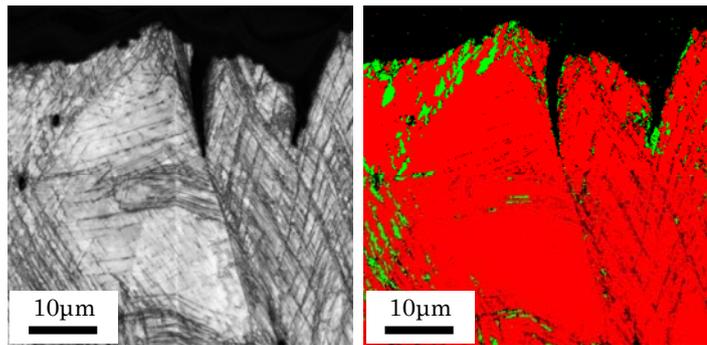
図Ⅲ 2.3(2)3-2 Type205 の30%引張加工材の内部組織

C3771 銅合金を供試材として、高圧水素ガス環境における引張特性を調査した。その結果、SUS316L および C3771 は、高圧水素ガス環境においても、大気環境と同様な引張特性を示すことが確認された。一方、Type205(17Cr-1.5Ni-15Mn-0.35N)、SUS329J4L(25Cr-6Ni-3Mo-0.2N)、SUS304 は、顕著な水素ガス環境脆化を示すことが確認された。破面観察と各種分析の結果から、Type205 の水素ガス環境脆化は、プラナーな転位すべりに起因するすべり面分離によるものと推察された (図Ⅲ 2.3(2)3-1、2)。一方、SUS329J4L の水素ガス環境脆化は、フェライト相の水素ガス脆化に起因するものと推察された (図Ⅲ 2.3(2)3-3)。また、SUS304 の水素ガス環境脆化は、加工誘起マルテンサイト相の生成のみでなく、プラナーなすべり帯の形成など他の要因にも起因している可能性が示唆された (図Ⅲ 2.3(2)3-4)。



図Ⅲ 2.3(2)3-3 SUS329J4L の大気中および高圧水素中の引張特性

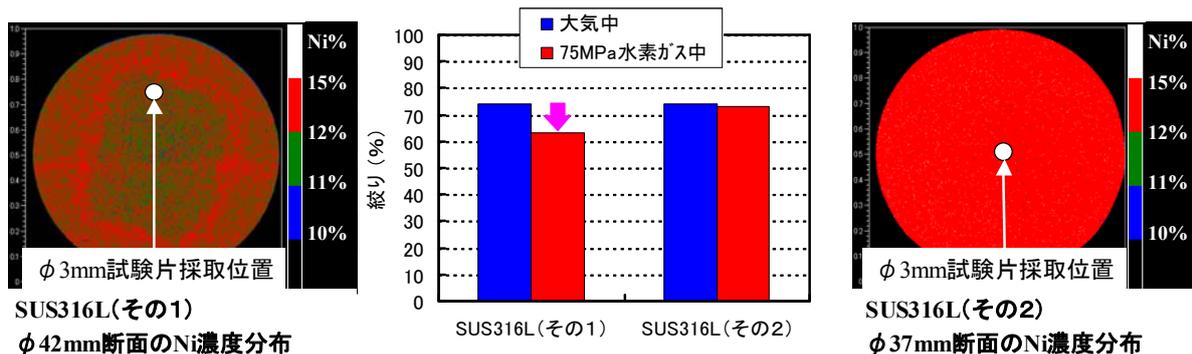
SUS316L を供試材として、高圧水素ガス環境における引張特性に及ぼす表面仕上げの影響を調査した。SUS316L の高圧水素ガス環境における引張試験の絞りは、試験片の表面仕上げを平滑にするほど、大気環境や高圧アルゴンガス環境と同様の高い値を示した。すなわち、試験片の表面仕上げを粗くするほど水素ガスの影響が現われることが確認された。



イメージオリティ像 相マップ(赤:FCC, 緑:BCC)

図Ⅲ 2.3(2)3-4 45MPa 水素ガス中で引張破断させた SUS304 試験片の破断面直下の EBSD (Electron Back Scattering Diffraction : 電子線後方散乱回折) 分析結果

これまでに得られた試験結果から、“SUS316L でも水素ガス環境脆化示す場合がある”と判断されることから、この原因について調査した。その結果、それらの水素ガス環境脆化が、素材断面内の Ni 濃度が 12.0%を下回るような負偏析に起因していることが推察された(図Ⅲ 2.3(2)3-5)。このことから、偏析が小さく、Ni 濃度が素材断面内で均一かつ断面内の Ni 濃度が 12.0%を上回

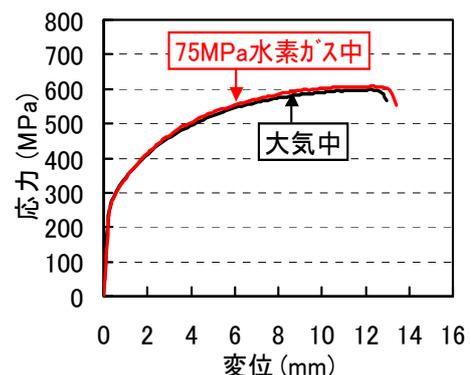


図Ⅲ 2.3(2)3-5 12.09%Ni の SUS316L(その 1)と 13.20%Ni の SUS316L(その 2)の丸棒断面における EPMA (Electron Probe MicroAnalyser : 電子線マイクロアナライザ) 分析結果およびそれらの大気、水素ガス中引張試験による絞りの比較

る SUS316L を高圧水素ガス用途に適用することが好ましいと考えられる。

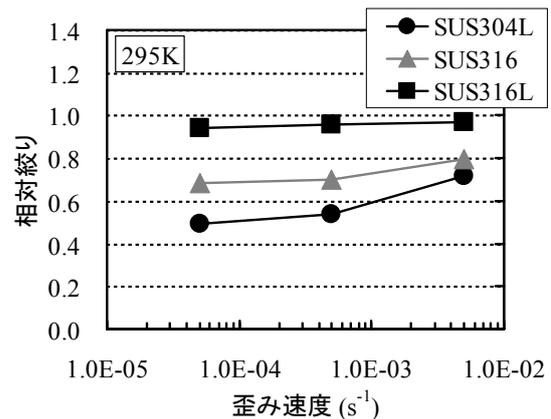
SUS316L 系の加工性向上 (加工コストの低減) を目的に、SUS316L の高圧水素ガス環境の引張特性に及ぼす S 添加の影響を調査することにより、切削性向上を目的とした S 添加 SUS316L の高圧水素ガス環境への適用の可能性を検討した。その結果、SUS316L に 0.3%S 添加した SUS316L 供試材においても、水素ガス環境脆化はほとんど認められないことが明らかとなった(図Ⅲ 2.3(2)3-6)。また、SUS316L への S 添加量の増加に伴い、切削性の向上が顕著であることも明らかとなった。

(2) 高圧水素ガス環境に長時間曝されたステンレス鋼等の引張特性



図Ⅲ 2.3(2)3-6 0.3%S 添加 SUS316L の水素ガス中と大気中

高圧水素ガス環境に長時間曝されたステンレス鋼の水素吸収と引張特性について調査した。その結果、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは、素材種類、ひずみ速度、試験温度の影響を受けることが明らかとなった（図Ⅲ 2.3(2)3-7）。具体的には、今回の試験条件の範囲内においては、素材種類では、SUS316L<SUS316<SUS304Lの順で高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いが大きくなった。また、ひずみ速度が小さいほど、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは大きくなった。さらに、試験温度では、253K~233K付近で最も高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いが大きくなるものの、それより高温および低温側では、その絞りの低下度合いは小さくなった。



図Ⅲ 2.3(2)3-7 温度 358K の 85MPa 水素中に 1000 時間曝された引張試験片の相対絞り（暴露材の絞り／未暴露材の絞り）に及ぼす素材種類、ひずみ速度の影響

これら一連の高圧水素ガス曝露材の引張特性は、水素吸収量、加工に伴うマルテンサイト変態量、水素の拡散係数の視点から整理できると考えられる。

車載用高圧水素ガスタンクに接続されるバルブ・継手用材料としての利用が期待されるステンレス鋼および銅合金を取り上げ、高圧水素ガス環境に長時間曝された、それら材料の水素吸収と引張特性について調査した。その結果、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは、素材種類、試験温度の影響を受けることが明らかとなった。具体的には、今回の試験条件の範囲内においては、素材種類、曝露圧力によらず、試験温度が低いほうが、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いが大きくなった。ただし、曝露圧力によらず、C3771 の試験温度 296K および試験温度 233K、SUS316L の試験温度 296K においては、その絞りの低下度合いが小さいことを確認した。一方、それ以外の素材種類、試験温度、曝露圧力においては、高圧水素ガス曝露による絞り低下が顕著であり、この絞りの低下度合いは、C3771<SUS316L<SUS316<SUS304 の順で大きくなることを確認した。

SUS316 系ステンレス鋼として Ni 濃度と Cr 濃度を変化させた 9 種類の素材を製作し、高圧水素ガス環境に長時間曝された、それら素材の水素吸収と引張特性について調査した。その結果、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは、素材種類、試験温度、曝露圧力の影響を受けることが明らかとなった。具体的には、今回の試験条件の範囲内においては、オーステナイト安定度が低い素材ほど、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは大きくなり、また、試験温度が低いほど、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは大きくなり、さらに、曝露圧力が高いほど、高圧水素ガス曝露による絞りの低下度合いは大きくなることを確認した。

#### 2.3(2)4 液体水素用構造材料の研究開発（新日本製鐵株式會社）

燃料電池自動車を中心とした水素エネルギー社会では、車載水素燃料タンクに高压水素ガスを搭載する方法が主として検討されており、水素を供給する水素ステーションも高压水素ガスの供給施設として安全性の検討が行われている。しかし大量の水素の輸送・貯蔵を行う場合、液体水素は優れたエネルギーの輸送・貯蔵媒体であり、特に再生可能エネルギーを一次エネルギーとして活用した水素の製造、輸送、貯蔵を考えると、この極低温環境に十分耐性のある材料の抽出・開発を行っておくことは人類にとって極めて重要な課題である。

このような観点から、古くは WE-NET プロジェクト以来進めてきた液体水素中における材料評価を本プロジェクトでも実施し、最汎用ステンレス鋼 4 鋼種 (SUS304、304L、316、316L) に加え、SUS310S、SUS305、STH1 鋼などの新しい材料について、液体水素中を含む極低温環境下における特性評価を実施し、データを蓄積した。

なお、本研究結果は平成 8 年度に WE-NET プロジェクトで導入した液体水素雰囲気下材料試験装置を駆使して行ったものである。また、国産ロケットは主に液体水素を燃料として使用しており、その貯蔵や輸送など本プロジェクトと共通の課題を有していることから、JAXA(宇宙航空研究開発機構)や NIMS(物質材料研究機構)が中心となって組織・運営されている「宇宙関連材料強度特性データ整備委員会」等の関連委員会にも参加し、情報交換・相互協力を推進した。

##### (1) 最汎用ステンレス鋼 (SUS304、304L、316、316L) 溶接金属の液体水素中を含む極低温環境下における材料特性評価

5mm 厚の上記 4 鋼種中板を TIG (3 パス) および MIG 溶接 (2 パス) し、溶接継手引張試験片(2mmt)および曲げ疲労試験片(2mmt)を切り出し、室温大気中と液体水素中 (-253℃) にて引張試験および曲げ疲労試験 (両振り R=-1) を実施した。その結果、融合不良などの溶接欠陥部を除いた健全部は、低温脆化することなく十分高い 0.2%耐力、引張強度、伸びを示した。また、0.2%耐力の 90%の最大応力を付与しても  $10^6$  回の繰り返し数では疲労破壊しないことを確認した。 $\gamma$ 系ステンレス鋼溶接部は、溶接熱サイクルの影響が大きくなると延縮性が低下する可能性があるが、2~3 パス溶接ではそのような傾向は現れず、液体水素容器、配管として好適な材料であることが確認できた。

##### (2) その他 $\gamma$ 系ステンレス鋼 (SUS310S、SUS305、STH1) 母材の液体水素中を含む極低温環境下における材料特性評価

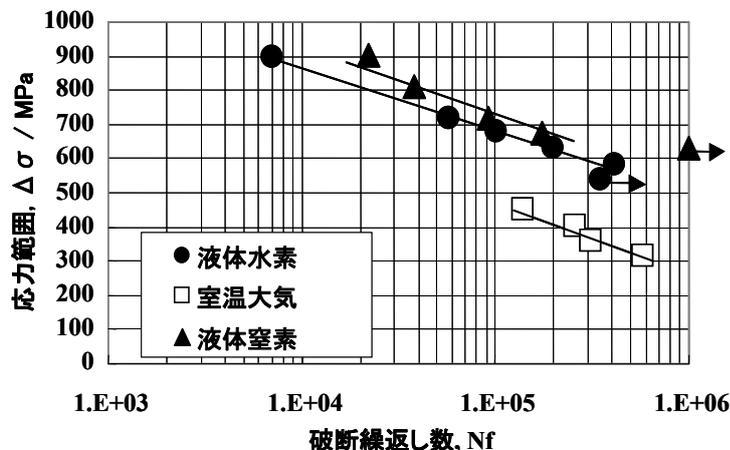
極低温環境用としては標準的な材料ではないが、安定  $\gamma$ 系ステンレス鋼の SUS310S、Mo を含まず SUS316L よりも安価な SUS305、低 Ni 省 Mo で高压水素用材料として注目される STH1 鋼 (Fe-15Cr-9Mn-6Ni-2Cu) についても、液体水素中を含む極低温環境下で引張試験を行い使用性能を評価した。

表 III 2.3(2)4-1 は STH1 鋼の試験結果である。SUS304L や 316L などの標準材とほぼ同等の強度特性を示しており、かつ各環境下でも十分な延性を示しており、これら標準材料の代替として十分使用できることを示した。SUS305、SUS310S も同様に優れた引張特性を示した。

	試験片番号	0.2%PS(MPa)	TS(MPa)	伸び(%)	絞り(%)
室温	L-1	280	618	74.0	79.1
室温	L-2	261	611	73.5	74.0
77K	L-5	501	1443	59.6	33.8
77K	L-6	487	1413	66.7	65.8
20K	L-3	591	1554	38.7	22.4
20K	L-4	595	1476	38.2	21.2
4K	L-7	599	1487	59.9	62.4
4K	L-8	625	1466	63.3	51.8

表Ⅲ 2.3(2)4-1 STH1 鋼の室温大気中、液体窒素中(77K)、液体水素中(20K)、液体 He 中(4K)における引張特性

STH1 鋼については、丸棒試験片を用いた軸力疲労試験（片振り R=0.1）も実施した。図Ⅲ 2.3(2)4-1 に示すように、室温、液体窒素中（77K、-196℃）、液体水素中（20K、-253℃）とも、繰返し数  $10^6$  回における疲労強度（最大応力=応力範囲/0.9）は、0.2%耐力を上回っており、SUS304 など他の標準ステンレス鋼同様、高い S-N 疲労特性を有していることが確認された。



図Ⅲ 2.3(2)4-1 STH1 鋼の室温大気中、液体窒素中(77K)および液体水素中(20K)における疲労試験結果 (S-N 線図)。R=0.1。

### (3) 極低温環境下における材料の変形挙動シミュレーション技術の適用

液体水素中を含む極低温環境における変形挙動のシミュレーション技術の適用を、本手法の開発者の東大名誉教授柴田先生のご指導のもと実施し、SUS304L、316L、316LN、純チタンの液体水素中および 20K ヘリウムガス中の応力-歪み曲線を検討した。この方法は、変形中の発熱、熱伝導、冷媒への熱伝達（液体冷媒では沸騰状態も考慮）などを各種熱物性データを基に総合的に取り込み、低温域での応力-歪み曲線に特徴的なセレーション(応力-歪曲線上に現れる急激な応力変動の繰返し)を再現する目的で開発された手法である。

一例を紹介すると、直径 3、5、7mm の SUS304L 丸棒引張試験片を用いて、20K の He ガス中で引張試験を行った際の応力-歪み(変位)曲線および温度変化を計算したところ、極低温環境における基本物性値が不足しているなどの制約があり、完全に計算と実験の一致には至っていないが、急激な温度上昇/低下や、太径試験片では応力の上昇/低下（セレーション）が現れるなど、実験結果を再現することができ、20K の He ガス中では冷媒中への熱伝達が小さくその分試料中の熱伝導が大きくセレーションが発生しやすいことや試験片寸法（径）のセレーション発生に及ぼす影響など、一定の実験事実をシミュレーションにより説明することが可能となった。チタンでも同様のシミュレーションを行い、実験結果との対比から、その有効性を確認した。

なお、本技術確立の基盤となった極低温環境下評価試験とシミュレーション技術は、ICMC-2003 Best Structural Materials Paper を受賞した。

## 2.3(2)5 水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発（高圧ガス保安協会）

平成 17 年度～19 年度は、例示基準に示された FRP（Fiber Reinforced Plastics）の安全率の根拠を検討し、見直しを行うために、既に導入した疲労試験機及びストレスラプチャー試験機（静的荷重を与えて破断までの時間を計測する、破断強度の時間依存性試験機）により、縦弾性率 230GPa 及び縦弾性率 295GPa 級炭素繊維の物性データを取得した。また、モデル容器による損傷き裂進展試験を行った。さらに、マトリックス材、シール材等の水素暴露、高温暴露、及び不活性ガス暴露試験等を行い、その後引張試験を実施することにより、水素の影響について評価した。

自動車業界から高温における CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）の機械的特性データ取得の要望（水素の急速充てんに伴う上限温度の決定）から、85℃における CFRP の疲労特性データを取得した。追加試験の詳細内容としては、平成 17 年度の高温高圧水素暴露試験により、マトリックス材についてはわずかであるが劣化の傾向を示す結果も見られており、マトリックス材の劣化の原因について調査するため、マトリックス材について 85℃での大気中暴露試験および常温常圧水素暴露試験を実施した。

平成 20 年度～平成 21 年度は、既に導入した疲労試験機及びストレスラプチャー試験機により、縦弾性率 230GPa 及び縦弾性率 295GPa 級炭素繊維の物性データを引続き取得し、得られたデータを評価した後、FRP 複合構造製圧力容器の技術基準検討機関に提供した。

### (1) 疲労試験

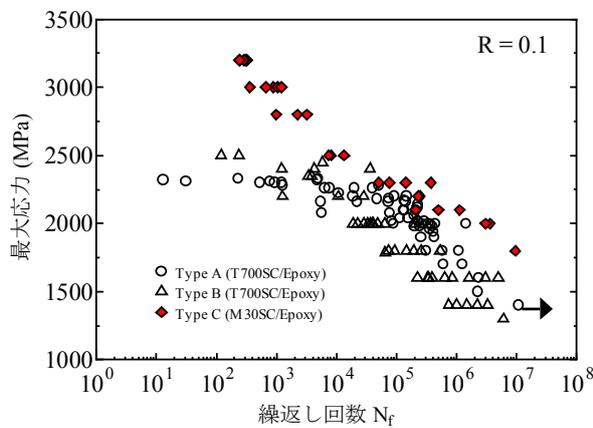
グリップをテープ状にした CFRP のプリプレグ材（一方向に引き揃えた炭素繊維に樹脂を含浸させて半硬化させたシートを 10 枚重ねて硬化させた試験片）の疲労試験を実施した（表 III 2.3(2)5-1）。グリップをテープ状にしたことにより今までグリップの中で起こっていた破断の影響が少なくなった。

高強度の CFRP の疲労は、炭素繊維本来の疲労特性と考えられるものの他、繊維と樹脂のはく離（または割れ）に伴うと考えられる疲労特性が存在することが明らかになった（図 III 2.3(2)5-1）。繊維と樹脂のはく離（または割れ）に伴う疲労が LBB（Leak Before Burst）の成立しない容器の疲労寿命を推定できると考える。また、繊維と樹脂のはく離（または割れ）が残存強度の低下につながることを確認した。

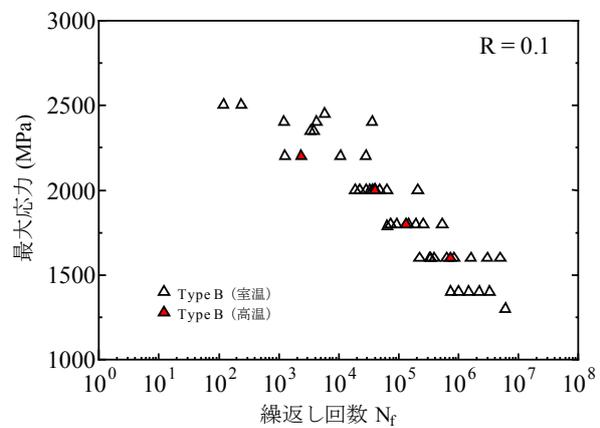
$T_g$ （ガラス転移点、133℃）以下の温度 120℃において CFRP のプリプレグ材の引張試験及び疲労試験を実施した。高温引張試験では室温における引張強さの 15%の低下を示したが、疲労特性においては室温での試験結果と差が生じなかった（図 III 2.3(2)5-2）。

表Ⅲ 2.3(2)5-1 疲労試験片・疲労試験条件

試験方法	一軸、引張-引張
試験機	Servohydraulic, 50kN
荷重条件	荷重制御、軸荷重片振り (R=0.1) 試験波形：サイン波
試験温度	室温、大気中
試験速度	2Hz
試験片材質	CFRP
試験片形状	



図Ⅲ 2.3(2)5-1 疲労試験結果



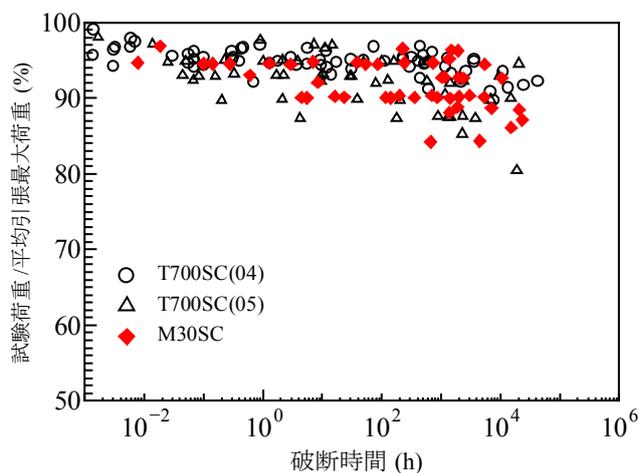
図Ⅲ 2.3(2)5-2 高温疲労試験結果

(2) ストレスラプチャー試験

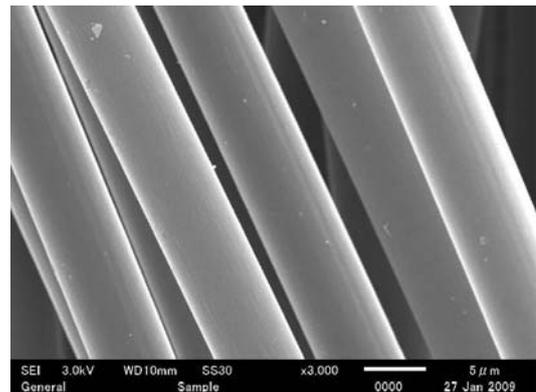
CFRP の平均引張破断荷重 90%以上のストレスラプチャー試験では、破断時間の最長値と最短値は 40,000 時間以上の差を生じることを確認した (図Ⅲ 2.3(2)5-3)。また、機械的特性の異なる炭素繊維を用いていてもマトリックス材が同一の場合は、一方向 CFRP のストレスラプチャー試験結果に明確な違いは現れないことを確認した (図Ⅲ 2.3(2)5-3)。CFRP のストレスラプチャー試験における破断時間の最長値と最短値の差は、引張強度のバラツキの他にマトリックス材であるエポキシ樹脂の常温クリープ及び吸水・乾燥にともなう応力の配分状態が変化することが原因と考えられる。

CFRP の平均引張破断荷重 92%のストレスラプチャー試験では、24,000 時間で破断したストレスラプチャー試験片の炭素繊維表面には、ストレスラプチャーの起点となるような応力腐食の痕跡は確認されない (図Ⅲ 2.3(2)5-4)。よって、CFRP は GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) とは異なり、ストレスラプチャー特性が強化材の劣化現象に無関係であることを明らかにした。

30MPa 120°Cの水素雰囲気中で1000時間保持した後にスリーブ（つかみ部）を接着し、ストランド材（一方向に引き揃えた炭素繊維を樹脂で結合させた線状の試験片）のCFRPの引張試験を実施した結果、水素による引張強度の低下が起っていないことを確認した。また、120°Cの大気中で1000時間保持後のCFRPのストランド材の引張試験を実施し、120°C保持による引張強度の低下は示さなかった。



図Ⅲ 2.3(2)5-3 ストレスラプチャー試験結果



図Ⅲ 2.3(2)5-4 試験後の炭素繊維表面

### (3) 損傷き裂進展試験

プラスチックライナー製複合容器に切り傷を付けサイクル試験を実施した。容器は積層構成の影響を調べるため多層巻きと単層巻きの容器の2種類にて試験を行った。積層構成に関係なく、サイクル一回目から傷は層間はく離により周方向に進展し、数回目までに全周はく離に至るケースがほとんどだった。

破裂試験および落下後サイクル試験においてライナー口金付近から漏えいした金属ライナー製複合容器のライナーについて調査を実施した。いずれも断熱せん断変形帯と思われる破面を示しているが、原因については、ライナー成形条件について明らかにされていない部分が多く、成形中の結晶粒度、加工度、温度など様々な機械的特性に与える要因が不明であるため特定できていない。

### (4) 暴露引張試験

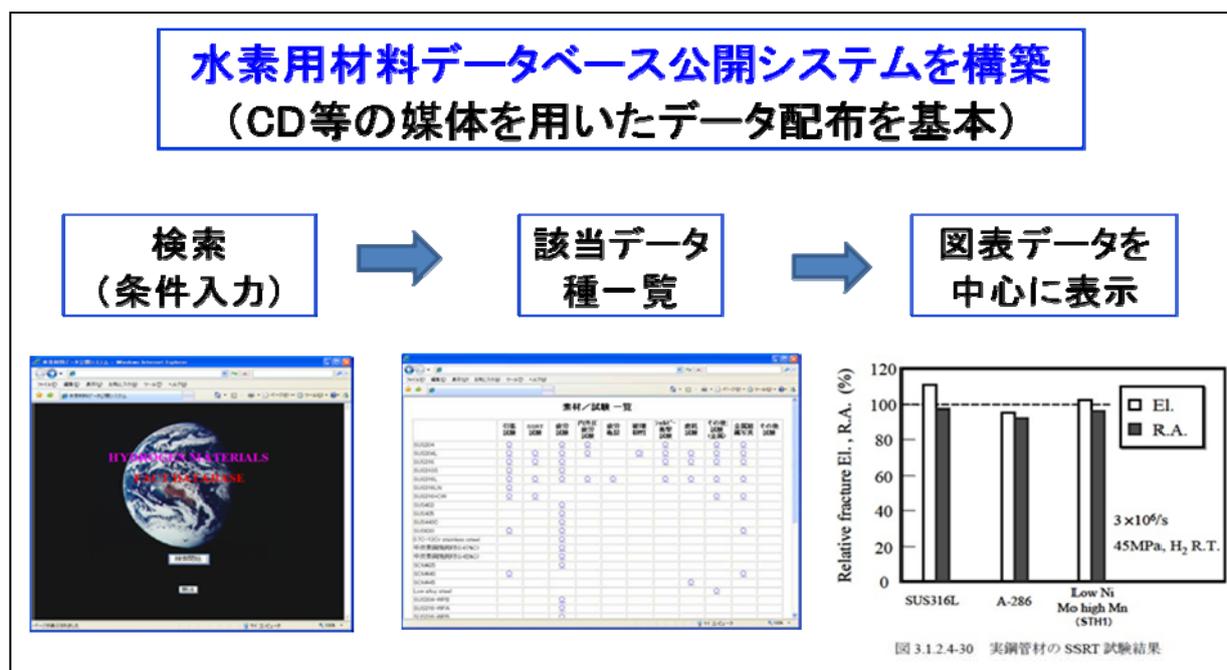
エポキシ、不飽和ポリエステル及びポリイミドは水素暴露後に引張強度及び伸びの低下を示した。ゴム材料はいずれも引張試験からは水素暴露は確認できなかったが、ブリスタ（表面に現れる袋状又はへこみ状の欠陥）の影響については注意が必要である。

## 2.3(2)6 水素用材料物性調査およびデータベース化（財団法人金属系材料研究開発センター（JRCM））

### (1) データベース化

近年、燃料電池自動車の燃料積載方式として高圧水素ガス方式が有力になってきており、今までに蓄積してきた高圧水素ガス利用のための材料試験データの公開を希望する声が高まっている。このような要請を受けて、平成 20 年度では、公開のためのコンテンツ編集方法、サーバなどシステムの方式、CD を利用したデータ伝達方法についてシステム設計を行い、「水素用材料データベース公開システム（公開システム）」（図Ⅲ 2.3(2)6-1）を作成した。

高圧水素タンク用ライナー材料、配管材料、バルブ・継手用材料について、高圧水素ガス雰囲気中での材料特性試験を行い、試験結果を水素用材料データベースに登録した。基本的には、引張試験、SSRT、疲労試験、内外圧疲労試験、疲労き裂進展試験の 5 種類の特性試験を、35MPa 対応、70MPa 対応の高圧水素ガス中で実施した。また、必要に応じて、実用時を想定した材料の加工や溶接などを考慮した材料についても、特性評価試験を行った。水素安全利用等基盤技術開発プロジェクト（平成 15 年度～平成 16 年度）のデータも含めた。



図Ⅲ 2.3(2)6-1 水素用材料データベース公開システムの概要

### (2) 水素材料に関する技術調査

車載用燃料電池が注目を浴びるようになって久しいが、燃料とする水素の供給方式については、燃料改質、水素吸蔵合金、圧力容器の方式があり、本命となる供給方式が定まっていなかった。そこで、特許動向調査を行い、それに基づく水素材料に関する文献調査を平成 19 年度に実施した。

結果、圧力（高圧）容器が水素供給方式の本命と考えられるようになり、具体的な検討が始まりつつあることを示唆され、本研究の方向性に齟齬がないことを改めて確認できた。

## 2.3(2)7 水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価（独立行政法人産業総合研究所（JRCM より再委託））

### (1) 研究の目的

70MPa 級高圧水素貯蔵は国際的潮流の中で各国で開発が進められているが、これらを常用圧力でみると、車載容器が70MPa、蓄圧器が103MPa、圧縮機が蓄圧器よりも更に高い圧力が検討されている。これらの高圧ガス機器では、更に圧力計、安全弁、弁、配管等の高圧ガス関連部品が装備され、各々使用圧力によって安全のための品質保証圧力が決められている。そのような100MPa を超える高圧水素ガスに対する材料技術の基盤を構築するために、水素特性試験装置を開発すると共に、高圧水素貯蔵関連のオーステナイト系ステンレス鋼やニッケル基合金等の候補材料の高圧水素ガスに関する基礎物性を評価し、水素用材料の技術的指針に資するデータを取得した。また、例示基準材料の拡張に当たり、材料特性に及ぼす水素の影響の一次評価指標（修正Ni当量）の高精度化を図ると共に、含有水素量迅速測定装置を導入し、材料外への水素拡散を十分に考慮しながら含有水素量を計測しつつ内部可逆水素脆化の影響を調べた。

### (2) 水素用材料の基礎物性評価

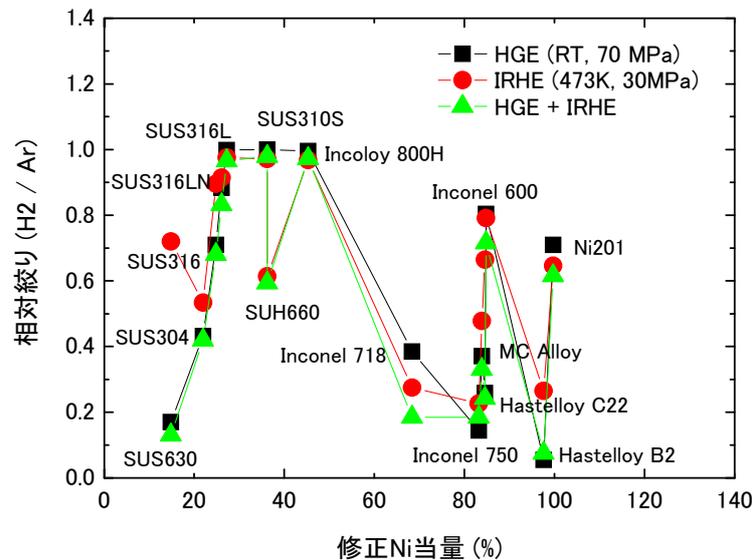
高圧水素貯蔵技術用候補材料の水素脆化特性を調べるために、供試材として析出硬化型マルテンサイト鋼としてSUS630、オーステナイト系ステンレス鋼としてSUS304、SUS316、SUS316LN、SUS316L、SUS310S、鉄基合金としてSUH660、ニッケル基合金として、Incoloy 800H、Inconel 718、Inconel 750、MC Alloy、Hastelloy C22、Inconel 600、Hastelloy B2、Ni 201の標準材について水素脆化試験を実施した。水素脆化試験には、室温70MPaの高圧水素ガス脆化試験と、水素チャージしたもの（内部可逆水素脆化）の試験とを歪み速度 $4.2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ の低歪み速度引張試験で併せて実施した。その結果を相対絞りに及ぼす修正Ni当量の影響として図III 2.3(2)7-1に示す。修正Ni当量は次式を用いて算出した。

$$\text{修正Ni当量} = \text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.98\text{Mo} + 1.05\text{Mn} + 0.35\text{Si}$$

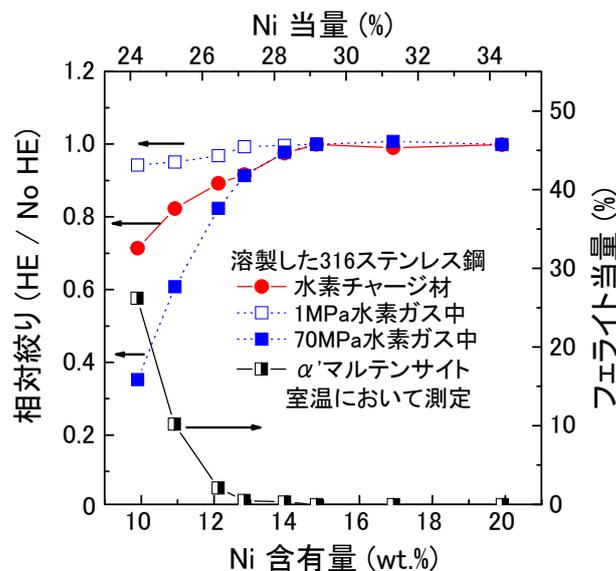
オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化の修正 Ni 当量依存性が、ニッケル基合金まで拡張できるかどうかは理論的根拠を必要とするために議論があるところだが、図の合金群の結果から、高圧水素ガス脆化が大きいものと内部可逆水素脆化が大きいものとに分類できることが示される。材料の強化機構に関連して、例えば析出硬化型と固溶強化型とか水素チャージによるトラップサイトの問題とかによる議論があり得る。一般的に水素ガス脆化は化学成分依存性を特徴とし、内部可逆水素脆化は組織依存性を特徴とすることが、材料選定上重要な要因であると考えられる。なお今後、更に多くの事例を集めて材料選定として利用できるようにしたいと考えている。

Ni含有量を変化させた316型オーステナイト系ステンレス鋼の70MPaアルゴン中および70MPa水素中の相対絞りに及ぼすNi当量の影響を図III 2.3(2)7-2に示す。水素チャージ材、1MPa水素中および70MPa水素中で試験した何れの材料においても、相対絞りはNi当量の増加と共に増加し、水素の影響は小さくなった。Ni当量29%以上では、相対絞りはほぼ1.0になり、

水素の影響は認められなくなった。一方、引張破断後のひずみ誘起マルテンサイトの生成量は、Ni当量29%以上では殆ど生成されなくなり、水素脆化とひずみ誘起マルテンサイトの関連が注目される。また、水素ガス圧の増加と共に水素ガス脆化は大きくなった。水素チャージ材の内部可逆水素脆化は1MPa水素ガス中より大きく、70MPa水素中の水素ガス脆化より小さかった。



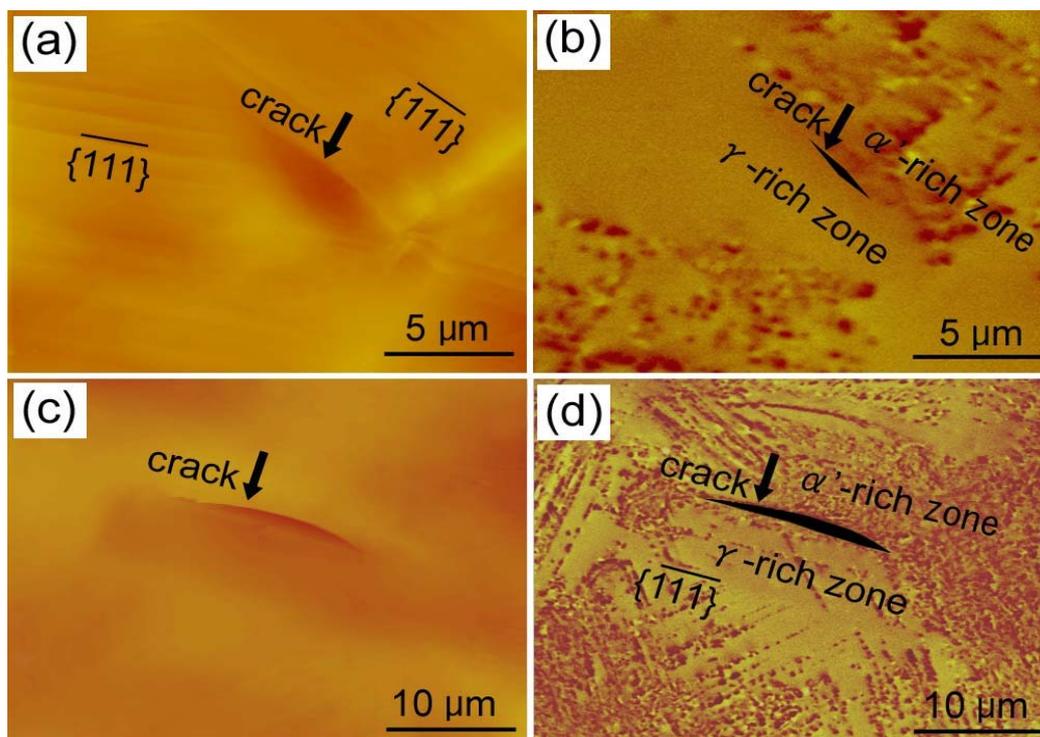
図III 2.3(2)7-1 高压水素脆化(HGE、Hydrogen Gas Embrittlement)及び内部可逆水素脆化(IRHE、Internal Reversible Hydrogen Embrittlement)に及ぼす修正Ni当量の影響



図III 2.3(2)7-2 溶製したSUS316型オーステナイト系ステンレス鋼の70MPa水素中の水素ガス脆化および内部可逆水素脆化に及ぼすNi含有量の影響

この他、316LN型オーステナイト系ステンレス鋼の水素ガス脆化および内部可逆水素脆化に及ぼす窒素量の影響についても調べ、Niとは異なる窒素の効果を認めた。

このように、オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化は加工誘起マルテンサイトと密接な関係があることが分かったので、更に水素脆化とマルテンサイトとの関係を調べるために、磁気力顕微鏡 (MFM、Magnetic Force Microscopy) を用いてマルテンサイト相の微視的観察を実施し、水素脆化の要因解析を実施した。当所に保有している走査プローブ顕微鏡にMFM用スキャナーおよびトップビュー光学顕微鏡を増設し、MFM装置として使用した。供試材としてSUS304鋼を30MPa水素中200°Cで250時間水素暴露した試料を用いた。引張試験を行い、水素脆化評価を行うと共に、亀裂を観察した。SUS304の水素による亀裂の生成・成長のMFM測定結果を図III 2.3(2)7-3に示す。亀裂は $\alpha'$ 加工誘起マルテンサイトとオーステナイトの界面近くの $\gamma$  {111} 向き面に沿って生成・成長した。これらの観察結果から、オーステナイトとマルテンサイトにおける水素の溶解度差とマルテンサイト中の水素の拡散はオーステナイトに較べて速いことを考慮すると、水素はマルテンサイト/オーステナイト界面に一旦集積し、そこからオーステナイトへ向かって拡散する。このため、水素はオーステナイトの $\gamma$  {111} 向き面に亀裂を生成させるものと考えられる。



図III 2.3(2)7-3 原子間力顕微鏡 (a, c)および磁気力顕微鏡 (b, d)によるSUS304水素チャージ材の亀裂の観察

## 2.3(2)8 極低温ガス環境下での材料特性に関する研究（独立行政法人 物質・材料研究機構（JRCM より再委託））

### (1) 概要

水素エネルギーの社会への普及のためには、実際に用いる材料について 70 MPa 以上の超高压化での水素の材料への侵入による水素環境脆化を十分に評価する必要がある。近年、燃料電池車用の水素ステーションでの高压水素充填法として、液体水素の急速気化による高压水素の充填が検討され、数 10 MPa の高压水素かつ極低温環境下での材料特性取得と水素脆化感受性の評価が求められているが、従来法では困難であった。

そこで本研究では、まずオーステナイト系ステンレス鋼の室温から液体ヘリウム温度にかけての引張試験を行い、77 K 以下での荷重－伸び曲線と試験片の発熱挙動を把握するとともに、塑性変形量とマルテンサイト変態量の関係を求めた。次に、極限環境下での材料試験を簡便に実施する方法を考案し、オーステナイト系ステンレス鋼の高压水素環境下の試験に適用し、試験法の有効性を検証するとともに、水素環境脆性を評価した。さらに、タンクの充填時の昇圧環境の特性を把握するため、120°Cでの高压水素環境試験を実施した。

### (2) 試験方法

#### (a) 低温でのオーステナイト系ステンレス鋼の加工誘起マルテンサイト変態

供試材は、市販の SUS304L 及び SUS316L の厚さ 28 mm の溶体化処理済み材であり、試験片は平行部直径 6.25 mm の丸棒引張試験片である。試験片平行部のフェライト量を、フェライトスコープにより測定した。引張試験時はクロスヘッド速度を 0.81 mm/min (約  $4 \times 10^{-4}$ /s) とした。試験温度は、4, 20, 40, 60, 77 K 及び 193, 223, 233, 243, 263 K と室温(296 K)で行った。4, 20, 40, 60 K においては塑性変形量 5 %, 10 %, 15 %でのフェライト量を、フェライトスコープのプローブを冷却状態の試験片に数点押し当てて測定した。193, 223, 233, 243, と 263 K では、引張試験を中断せずに、負荷中の試験片にプローブをあてて測定した。

#### (b) 極低温水素ガス環境下の材料特性評価

簡便な高压水素下材料試験法として試験片内の微小空隙に高压水素環境を設定する方法（特開 2007-286036 : 「材料試験装置と材料試験片」）の概略図を図 III 2.3(2)8-1 に示す。本試験法の特徴は、試験片を極限環境に設定した容器内に入れて試験をするのではなく、試験片内の微小空隙に環境設定することにより、試験片外部に環境設定した場合と同様の結果が簡便に得られることである。

試験片の平行部直径は 6.25 mm で、内径 1 mm または 2 mm の穴であり、空隙断面積を試験片断面積と比べて約 10 分の 1 以下とすることで、得られる引張特性などの基本的材料特性への影響は小さい。また、試験片内のジョイント部を含めた空隙の体積をおよそ 0.5 cm<sup>3</sup> 以下にできるので、封入するガス量は 10 MPa の試験で大気圧での 50 cm<sup>3</sup> 程度で済み、取扱いも容易である。なお、ボンベ圧以上の圧力の試験を行う場合には、小型増圧器を用いた。

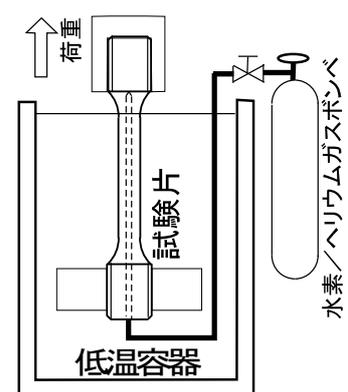
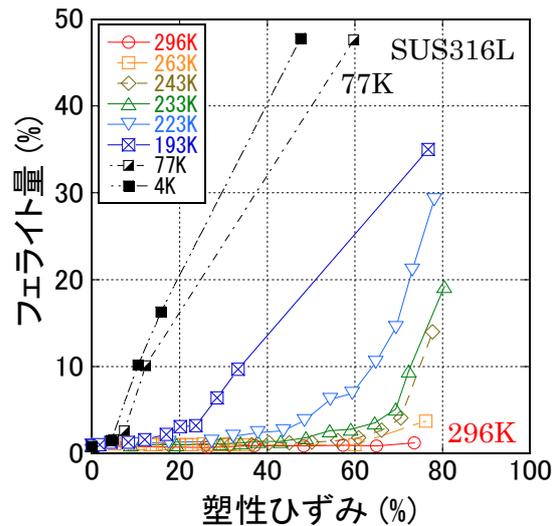
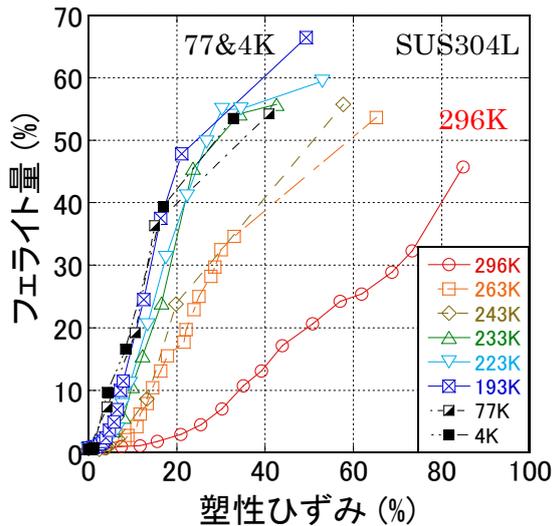


図 III 2.3(2)8-1 簡便な高压水素試験法



図Ⅲ 2.3(2)8-2 SUS304L と SUS316L の 293～193 K 及び 77 と 4K におけるフェライトスコープで測定した  $\alpha$  相の量と塑性ひずみの関係

水素環境脆化を、水素環境中で得られた絞りの値をヘリウム環境中で得られた絞りで除することで評価し、これにより得られる相対絞りの変化を従来の報告と比較することで、考案した本試験法の有効性を検証した。設定したガス圧力は、10 MPa と 70 MPa 級とした。10 MPa 級というのは、試験片に直結したポンベの圧力の変動があるため、11～14 MPa であった。引張試験のクロスヘッド速度は 3.6 mm/h (初期歪み速度で  $2.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) とした。試験温度は、室温(298 K)、190 K、及び液体窒素温度(77 K)とした。77 K の試験は液体窒素中に、190 K の試験は冷凍器により温度制御されたアルコール中に試験片を漬けて行った。

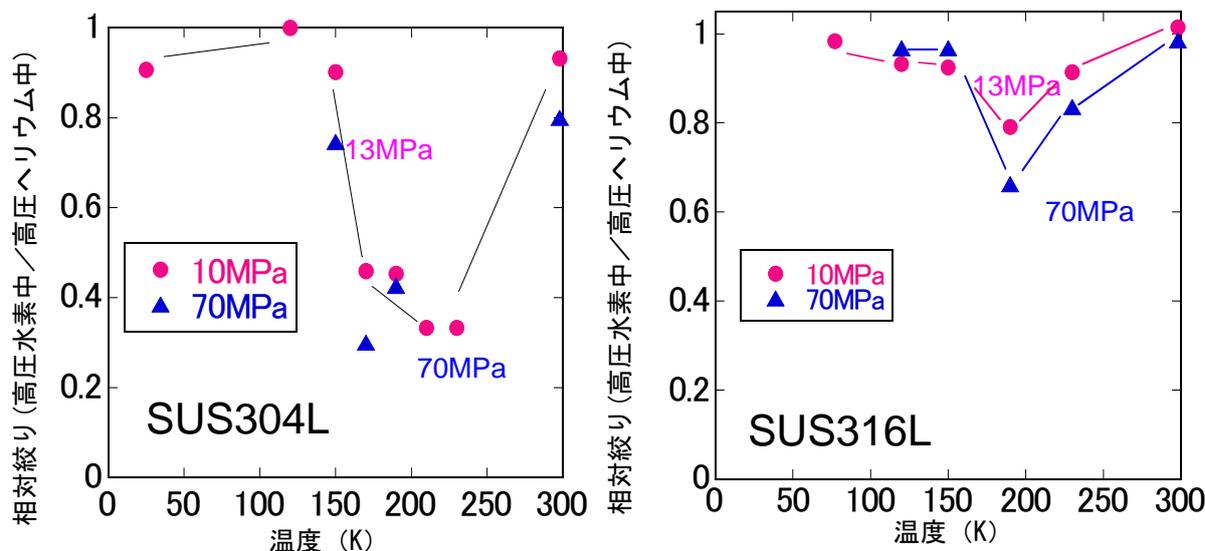
### (3) 結果

#### (a) 低温でのオーステナイト系ステンレス鋼の加工誘起マルテンサイト変態

図Ⅲ 2.3(2)8-2 に、SUS304L と SUS316L の 293K から 193K における塑性変形に伴うフェライト量の変化を 77K と 4K の変化とを併せて示す。263K と 243K におけるフェライト量は、塑性変形範囲全体で、193K や 77K、4K より少なかった。77K、4K より温度が高い 263K、243K 及び 193K では、オーステナイト相が安定で、フェライトの生成が遅れている。SUS304L では温度の低下とともに、フェライト量の増加の立ち上がりが早まっているが、SUS 316L は 293K から 193K では塑性歪み量 10%までは、ほとんどフェライトが生成されず加工誘起マルテンサイト変態が起きていないことが分かる。

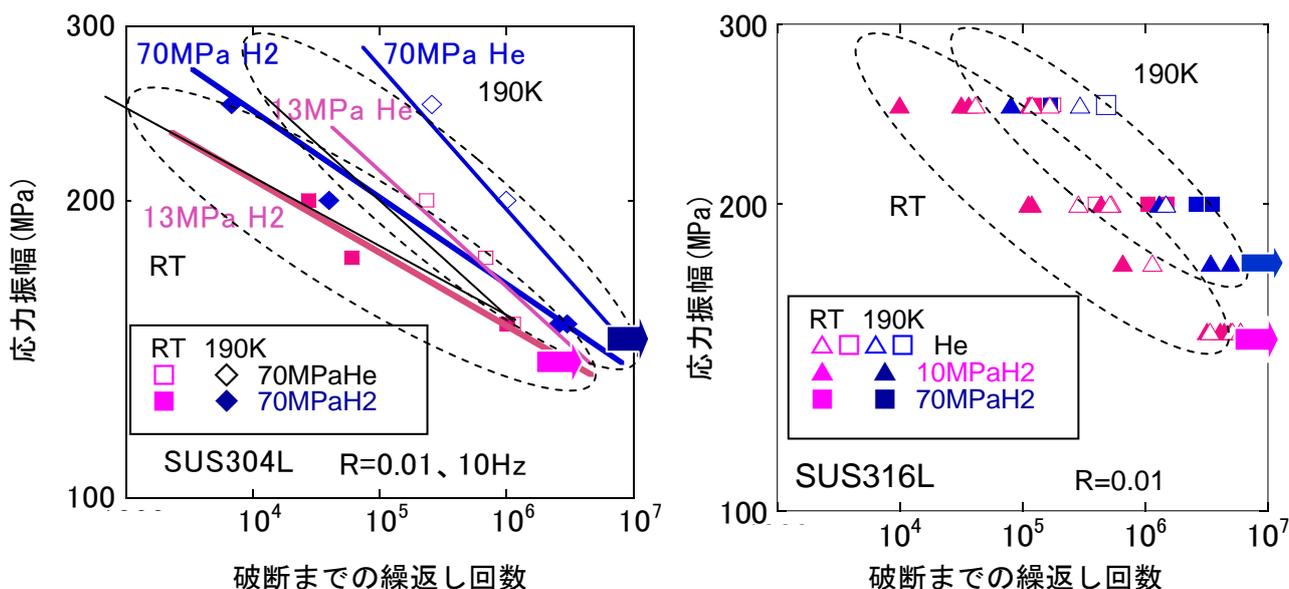
#### (b) 極低温水素ガス環境下の材料特性評価

引張試験において、従来の高圧容器中の試験と同様に、SUS304/304L では水素中の荷重-伸び曲線は、He 中の荷重-伸び曲線の途中で破断に至り、水素中試験で得られる伸びと絞りも減少した。水素圧が大きいほど減少度が大きかった。低温で脆化の度合いが大きくなったが、77K では延性的に破断した。SUS316L では、水素の影響は小さかった。図Ⅲ 2.3(2)8-3 に、SUS304L と 316L の 10MPa 級及び 70MPa 水素中における相対絞りの温度による変化を示す。低温で脆化の度合いが大きくなり 200K 付近で脆化が最大となり 77K ではほぼ延性的に破断したが、この評価においては荷重-伸び曲線で見られたほどの圧力の差は見られなかった。



図Ⅲ 2.3(2)8-3 SUS304LとSUS316Lの高圧水素中における相対絞りの温度による変化

SUS304Lと316Lの室温13MPa及び190K70MPa高圧水素環境中とヘリウム中で得られたS-N曲線を図Ⅲ 2.3(2)8-4に示す。SUS304Lの室温及び190Kの0.2%耐力は、それぞれ約200MPaと230MPaであり、応力振幅の150MPaはピーク応力で300MPaになり、0.2%耐力を超え塑性変形域ではあるが、室温でも190Kでも水素による影響は小さかった。試験応力が高く、すなわち塑性変形量が大きくなると、水素の影響が見られ、水素環境の方が寿命が短くなり、見かけ上、S-N曲線の傾きが小さくなった。両鋼種とも、190Kでの疲労寿命は室温よりも増加しており、試験応力が小さいときは水素による影響は小さく、試験応力が高いときは水素中の方が寿命が短くなったが、SUS316Lでは水素圧の影響が若干小さかった。引張特性では190K付近で伸びと絞りが極小となり顕著な水素環境の影響が見られたが、疲労特性では、低温において材料の強度が増加することから疲労特性は室温より増加し、引張の絞りで見られた低温での水素の影響の増加は、疲労特性では見られなかった。



図Ⅲ 2.3(2)8-4 SUS304LとSUS316Lの疲労特性に及ぼす高圧水素環境と温度の影響

## 2.3(2)9 水素用材料の疲労・トライボロジー特性研究（九州大学（JRCM より再委託））

### (1) はじめに

高圧水素用バルブ、レギュレータ、コンプレッサー、タンクに使用される材料（ステンレス鋼、ばね鋼、アルミ合金など）の寿命疲労特性における、材料中の水素、繰返し応力、繰返し数、破損時間の影響を明らかにする。疲労試験で得られた結果を、国内外の学会や委員会で報告、議論するとともに、製品の強度設計基準や関連法律の規制緩和等の根拠データとして提示する。またバルブ内可動部品の水素環境での疲労強度を評価する。このデータを、バルブ等の定期点検検査期間延長などの判断資料として役立てる。

### (2) 実施内容

#### (a) 高圧バルブ、レギュレータ、コンプレッサーに使用される材料の疲労特性の評価

①疲労寿命データ取得、②疲労き裂伝ば特性データ取得

#### (b) バルブ内可動部品の水素環境の疲労強度

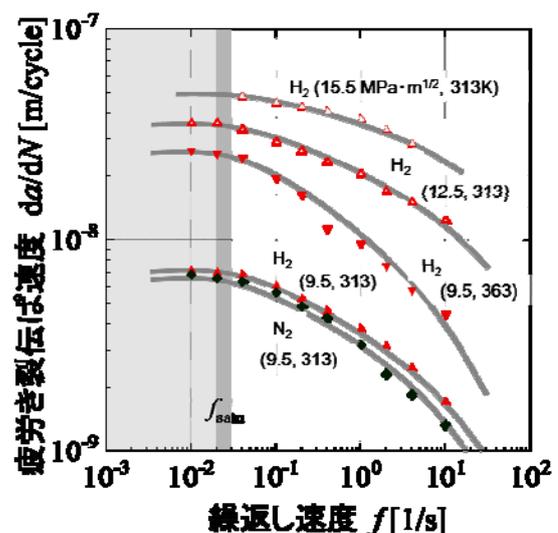
①長期使用模擬実態バネの疲労データ取得

②弁体摺動部品材料のフレットング疲労データ取得

### (3) 結果まとめ

時効硬化アルミニウム合金 A6061-T6、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304、SUS316L、SUS310S を対象に、水素ガス雰囲気における疲労き裂伝ば速度の繰返し速度依存性に関するデータを採取し（例：図Ⅲ 2.3(2)9-1）、さらにオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 および SUS316L を対象に、疲労限度近傍の疲労強度に及ぼす水素ガス雰囲気の影響を調査することによって、疲労強度設計基準の根拠を示した。また、工業用純チタンを対象に、材料内水素の疲労強度特性におよぼす影響を調査し、材料内水素が疲労強度に対して有利に働く場合があることを示した。

ステンレス鋼製ばねの疲労強度に及ぼす水素チャージの影響評価、表面処理による強度向上に関する調査を行い、水素ガス環境中でばねを安全に使用する場合の根拠を示した。さらに、SUS304 に 30%の単軸引張予ひずみを付与した材料で水素ガス環境中フレットング疲労試験を行い、各種表面処理による水素ガス環境中でのフレットング疲労強度低下防止を調査することによって、弁体摺動部品などの安全向上案を示した。



図Ⅲ 2.3(2)9-1 A6061-T6 の水素ガス中疲労における繰返し速度依存性

## 2.3(2)10 長期使用水素設備の解体調査結果

本プロジェクトでは、液体水素や高圧水素などの水素関連機器に用いられる材料の耐久性を把握するために様々な材料特性評価を実施したが、実際に長期間使用した機器を調査し、その使用期間における材料の劣化度を把握しておくことも、個々の材質特性評価とともに有益な知見を得る有効な方法である。過去には、10年間使用した液体水素ローリー容器（水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）サブタスク6低温材料技術の開発 平成10年度成果報告書）や新日本製鐵株式会社総合技術センター内に設置されている液体水素雰囲気下材料試験装置の一部部品に対し解体調査を実施し、水素社会構築に向けた有益な知見が得られている。

そこで本プロジェクトでも、下記の水素関連機器・設備を解体し、採取した材料を調査し、水素中で使用することによる特性劣化の有無や施工・製作時の注意事項の抽出を行った。

- (1) WE-NET 高松水素ステーション（約3年使用）：40MPaの高圧水素に曝された蓄圧器、配管類、弁・計器類など
- (2) 液体水素コンテナ（約18年使用）：3,400リットル液体水素容器厚板
- (3) 液体水素ローリー（約22年使用）：18,000リットル液体水素容器厚板、配管類、計器類
- (4) JHFC 君津液体水素製造設備（約3年使用）：配管類

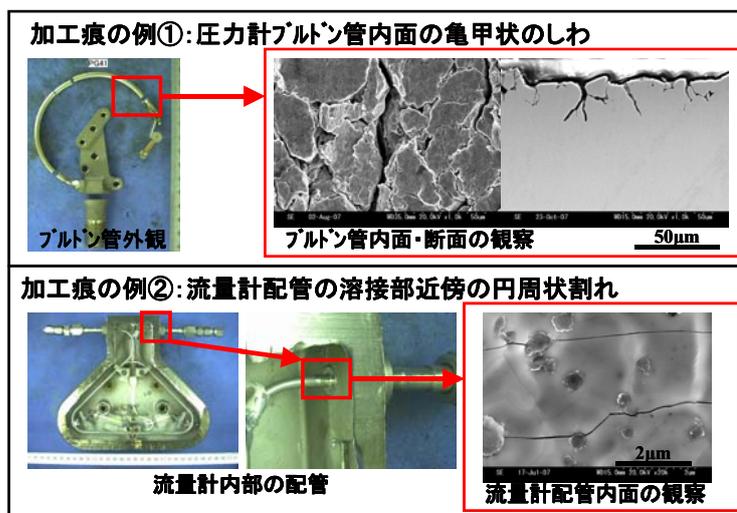
### (1) WE-NET 高松水素ステーションの解体調査

調査した範囲では、蓄圧器（蓄ガス器）、弁・計器類、配管類とも、水素ガスを用いた運転中に発生したと考えられる割れや亀裂、材質特性劣化は認められなかった。

しかし、蓄厚器の口金部内面側には、製造工程で生じた最大深さ3mmのしわ疵が多数確認され、弁・計器類でも製造工程で形成されたと考えられる加工痕などの表面欠陥が観察された（図Ⅲ 2.3(2)10-1）。蓄圧器に関しては破壊力学的な解析を実施しその安全性を検討したところ、しわ疵周辺の脱炭軟化した部分に使用中に亀裂発生する可能性は否定できないが、本設備の使用条件範囲では、直ちに破断に至るような大きな亀裂進展は無いと考えられた。

このように、製造時に導入された表面欠陥は、直ちに危険と判断されるものではないが、高圧水素環境下で使用することを考えると、できるだけ水素脆化しない材料を選択・使用するとともに、応力が集中する切欠きとして作用するこれら欠陥は極力低減あるいは除去することが望ましいとの提言を行った。

なお、本調査結果は、本プロジェクトの成果報告書とは別に、平成20年3月に調査担当機関の共著で540余頁の報告書に取りまとめた。



図Ⅲ 2.3(2)10-1 圧力計(上)及び流量計(下)内部の表面疵例

## (2) 液体水素コンテナ容器

液体水素に主に曝された部分及び低温水素ガスに主に曝された部分から、SUS316L 厚板母材および溶接部を含む試料を採取し、断面組織観察（含硬度分布測定、含有元素分布測定）、シャルピー衝撃試験（室温、 $-196^{\circ}\text{C}$ ）、引張試験（ $-40^{\circ}\text{C}$ の低温水素ガス中、液体水素中）などを実施した。その結果、使用中の劣化と思われるような特性低下がないことを確認した。SUS316L は液体水素用の容器材として極めて安定な材料であることが示唆された。

ただし、溶接部の当て板に SUS304 を使用しており、溶接部に C の濃化に起因したと思われる軽微な鋭敏化が認められた。直接液体水素や低温水素ガスに触れていないため実用上大きな支障はないと思われるが、SUS316L でも鋭敏化すると低温水素ガス中でわずかながら延性低下を示すことから、より低 C 量の L 材を使用することが望ましいとの提言を行った。

## (3) 液体水素ローリー

15ton トラックに搭載された 18,000 リットル容器及び車台後部の付属部品（配管・弁・計器類）の液体水素あるいは低温水素ガスに曝された部分から試料採取し（SUS304 または 304L）、表面観察（浸透探傷試験、SEM 観察）、断面組織観察（含硬度分布測定、含有元素分布測定）、シャルピー衝撃試験（ $-196^{\circ}\text{C}$ ）、引張試験（液体水素中）、水素分析などを実施した（図 III 2.3(2)10-2 参照）。その結果、水素中あるいは極低温環境にて長期間使用されたことによる特性劣化やそれを示唆するような現象は検出されなかった。

ただし、一部表面に、酸洗により生じたと思われる窪みや溶接ビードに沿った線状被さり疵が見つかった。いずれも軽微であり実使用に際して特に問題となるようなものではないが、SUS304 は低温水素ガス環境脆化を起こすことが知られており、低温水素ガスに接する部分では、これら欠陥の発生原因と考えられる酸洗や溶接余盛り除去を行う際に、一定の注意が必要であること、SUS304L や SUS316L などの鋭敏化しにくい低 C 材の使用が推奨されるなどの提言を行った。

## (4) 君津液体水素製造設備

水素ガス導入配管から各液化工程を経て液体水素払出し管まで、種々の温度・状態の水素と接する配管、弁類を、内表面観察を中心に調査した。使用中に生じたと思われる欠陥は確認されなかったが、施工上の課題が見つかっており、関係者への報告会を提案した。



図III 2.3(2)10-2 上から、解体調査に供した液体水素ローリー（15ton トラック）、ステンレス鋼製内容器、台車後部の付属部品

### 2.3.(2)11 研究成果のまとめと今後の展望

本事業は、「水素社会構築共通基盤整備事業」として、既存規制の見直し等に資するデータ、高度な技術基準及び標準化案を国内及び国際標準に提案するためのデータ取得及びそれに係わる技術開発を実施することにより、燃料電池自動車を中心とした水素関連技術を広く安全に一般社会へ普及させた水素エネルギー社会を実現し、我が国エネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題・地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出等を図ることを目的とする。

本研究開発は、「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」を対象とした「水素用材料基礎物性の研究」として、燃料電池車用車載水素燃料タンクおよび関連部品、水素供給ステーションの各種部品に使用される材料に関して、規制再点検及び標準化の根拠となる材料特性を評価し、裏付けデータおよび関連基礎知見を取得・提供することを目標とするものである。

具体的には、車載水素燃料タンク、配管、バルブ・継手類、水素貯蔵・輸送容器など高圧水素および液体水素機器用材料を安全に使用するための特性データの取得と研究開発を実施した。即ち、①高圧水素タンク用ライナー材の研究開発、②高圧水素配管材料の研究開発、③高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発、④液体水素用構造材料の研究開発、⑤水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発、⑥水素用材料物性調査およびデータベース化、⑦水素特性試験装置の開発およびそれを用いた水素用材料の基礎物性評価、⑧極低温ガス環境下での材料特性に関する研究、⑨水素用材料の疲労・トライボロジー特性研究、を課題とする研究開発に取り組んだ。

その結果、90MPa 級の高圧水素ガス中での引張特性、疲労に関するデータをはじめとする多くのデータを取得し、以下の成果をあげることにより、目標を達成した。

#### (1) 例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供

候補材 (A6061-T6、A6061HS-T6 (Si 増量材)、SUS316L) と比較材(SUS304、304L、STH1、STH2 等)の高圧水素ガス中特性評価(SSRT、疲労試験、疲労き裂伝ば試験)を実施し、70MPa 機器用材料の標準化に向けた特性データを取得した。そして、車載容器に関する技術基準である「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」(KHK S 0128、H22.7.23 制定)の策定に貢献した。

#### (2) 高圧水素用材料種の拡大に向けた各種材料の評価

(1)で評価した材料以外に、各種ステンレス鋼(含む STH1、STH2)、合金鋼、耐熱鋼(SUH660 等)、アルミニウム合金、チタン等の評価を高圧水素中で実施し、材料特性データを蓄積した。

#### (3) 複合容器向け材料の評価

CFRP のストレスラプチャー試験データ及び疲労試験データを拡充した。

#### (4) 水素環境脆化簡便評価法の展開

極低温かつ高圧の水素ガス環境等、特殊な極限環境下における材料特性評価技術を確立し、材料特性データ簡易評価技術の適用範囲を拡大した。

#### (5) 標準化の技術的根拠とするための金属学的基盤解析・研究

低周波数の内外圧疲労試験による試験周波数の疲労特性に及ぼす影響把握、オーステナイト系ステンレス鋼の水素環境脆化影響因子の解析（偏析、すべり(転位組織)の性格、Ni 当量の影響など）、被削性向上元素である S の影響調査、等を実施し、数多くの新たな知見を得た。

(6) その他活動、ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開

各種高圧水素使用試験技術の習熟、液体水素中材料特性評価、WE-NET 高松水素ステーションや 20 年以上使用した液体水素ローリーなど長期使用水素関連機器の解体調査、トライボロジー特性研究、鉄鋼協会討論会・圧力技術誌への組織的発表、水素の有効利用ガイドブック（エネルギー総合工学研究所編集）の材料技術関連章項全 70 余頁の執筆およびデータベースの拡充等を実施した。なお、WE-NET 高松水素ステーション解体調査結果については、全 540 余頁の報告書を別途作成した。

2015 年には本格的な普及開始期に入ると予測されている燃料電池自動車をはじめとする水素の利用においては、高い信頼性と安全性の下に様々な材料を使用する必要がある。しかし、高圧水素ガス雰囲気における材料特性に関するデータと材料使用に関する経験の蓄積はまだ十分なものとは言えず、今後明らかにしなければならない課題も少なからず残されている。使用可能な材料のさらなる拡大、使用条件範囲（組成、履歴、脆化の程度等）をより明確にする材料データが必要である。加えて、現行の高 Ni、Mo 含有材（SUS316L、SUH660 等）に替わる、低コスト・高強度・高耐水素脆性・高利用加工性・省資源等の特徴を具備した新しい高機能水素用材料の開発等の研究開発も望まれるところである。

2.3.2.12 特許出願、論文、外部発表等の状況

(1)特許出願、論文、外部発表

区分 年度	特許出願			論文		その他 外部発表
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H17FY	6 件	0 件	0 件	8 件	1 件	51 件
H18FY	1 件	0 件	0 件	5 件	件	32 件
H19FY	0 件	0 件	0 件	11 件	1 件	28 件
H20FY	0 件	0 件	0 件	3 件	1 件	10 件
H21FY	0 件	0 件	0 件	8 件	件	7 件

(※Patent Cooperation Treaty：特許協力条約)

特許出願と論文の概要については、「Appendix 特許出願と論文リスト」に記載した。

## (2) 受賞実績

- ①独立法人 物質・材料研究機構：緒形俊夫、日本金属学会 功績賞 工業技術部門（2006年3月）
- ②独立法人 物質・材料研究機構：緒形俊夫、平成20年度科学技術分野 文部科学大臣表彰科学技術賞研究部門、「極低温下での材料試験法の開発と材料特性解明に関する研究」（2008年4月）
- ③独立法人 物質・材料研究機構：緒形俊夫、由利哲美、小野嘉則、低温工学協会 論文賞、「オーステナイト系ステンレス鋼の低温での引張変形挙動と発熱及び加工誘起マルテンサイト変態」、低温工学会誌、vol.42 No.1、10～17、2007年1月発表（2008年5月）
- ④独立法人 物質・材料研究機構：緒形俊夫、2007 国際低温材料会議～構造材料最優秀論文賞、“Hydrogen Embrittlement Evaluation in Tensile Properties of Stainless Steels at Cryogenic Temperatures”（2009年7月）
- ⑤独立法人 物質・材料研究機構：緒形俊夫、日本鉄鋼協会 浅田賞（2010年3月）
- ⑥新日本製鐵株式會社：CEC-ICMC Best Structural Materials Paper 2003, ICMC, (2005年9月)  
「Notch Effect on Tensile Deformation Behavior of 304L and 316L Steels in Liquid Helium and Hydrogen」 K.Shibata, H.Fujii
- ⑦新日本製鐵株式會社：日本機械学会 関西支部賞 技術賞（2008年3月） 「高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置の開発」（（株）神戸製鋼所と共同受賞）
- ⑧住友金属工業株式会社：中村潤、日本材料学会第56期学術講演会（2007年5月）優秀講演発表賞 「外圧疲労試験による高圧水素ガス中の疲労特性評価と劣化機構の検討」
- ⑨住友金属工業株式会社：大村朋彦、腐食防食協会 H20 年度進歩賞 「腐食環境および高圧水素環境における鉄鋼材料の水素脆化に関する研究」
- ⑩住友金属工業株式会社：大村朋彦、宮原光雄、仙波潤之、平田弘征、五十嵐正晃、日本高圧力技術協会 H21 年度科学技術振興賞 「高圧水素ガス環境における SSRT および外圧疲労試験によるステンレス鋼の水素脆性評価」

## (3) その他の公表（プレス発表等）

- ①H18年4月：『エコマテリアルハンドブック』（丸善）の3-③-3.4節「水素貯蔵（高圧水素，液体水素）」の執筆
- ②H20年3月26日掲載：鉄鋼新聞 「70MPaの高圧水素中でステンレスなどの材料特性データの取得に成功」
- ③H20年3月：『水素有効利用ガイドブック』（平成20年3月、NEDO）の水素用材料関連の章・節の執筆

### 2.3.2.13 実用化の見通し

70MPa級用使用材料の拡大のため、既存の高圧水素ガス環境下での試験装置を用い、簡易試験装置による一次探索試験も併行しつつ、現行材料・新候補材料の使用可能範囲の明確化、業界要望材の材料特性評価、高強度化候補材、安価候補材等の材料特性評価等を実施してきた。70MPa 級用材料特性データの取得では、最高圧力99MPa級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置を導入し(平成18年度)、それまでに導入した高圧水素用試験装置 (SSRT (低ひずみ速度引張試験装置) 等) を活用した評価結果と合わせることで、例示基準や技術標準の策定ための技術的根拠として提示することを進めてきた。これらの成果は、(社)日本自動車工業会、(財)日本自動車研究所、(財)石油産業活性化センターや高圧ガス保安協会等にて、70MPa 級機器の基準・標準化に向けた一連の活動に対し、技術データとして活用・反映される予定である。加えて、(財)石油産業活性化センターが進めている液体水素スタンドの基準・標準化に対しても、同様に、本研究で取得した材質特性データが技術データとして活用される。

さらには、上記の材料特性データの提示に当たり、取得した材料特性データに関する考察・評価では、同材料に発生した水素脆化現象に対する科学的考察や基礎的な現象解析も行っており、材料選択の根拠となる化学成分依存性や金属組織依存性等に関する知見も合わせて提示してきた。加えて、水素中の疲労き裂進展速度に及ぼす周波数依存性についての技術整理と試験方法・試験手順等への反映の検討も行っており、平成17年3月に施行された例示基準 (JARI基準、JIGA基準)、平成22年7月に制定された技術基準 (KHK技術基準) に反映した際と同様に、今後ともこれらの基礎解析も含めた一連の研究開発を推進することにより、関係産業界による水素社会構築に向けた基準・標準化の進展が図られることと理解している。

なお、本研究開発成果として得られた評価結果により、新たに水素中で使用可能な材料候補として、低Ni省Mo新ステンレス鋼 (STH1、STH2) やチタンなどが有効であることが判明し、近い将来に、現行材料に比べ耐水素脆化材料として優れた特性面およびコスト・製造性などの工業的観点から、利点の多い新規材料が実用化される見通しである(新日本製鐵(株)、他)。

また、高圧ガス保安協会にて実施されたCFRPのストレスラプチャー試験及び疲労試験結果は、車両搭載用容器の基準化を計画している(社)日本自動車工業会や水素用FRP製貯槽の基準化のための調査研究を行っている高圧ガス保安協会関連委員会に提供されており、CFRPの疲労特性には繊維材料とマトリックス材料の界面の接着強度がCFRPの寿命に重大な影響を与え、 $1 \times 10^5$ 回程度に限界があることから、FRP容器設計の安全率と寿命決定に必要な重要な根拠データとして、同結果を考慮した車両搭載用容器の設計や水素用FRP製貯槽の設計に反映される。

これらを通じて2015年に普及開始期を迎えるとされる水素燃料電池自動車の実用化、普及に直接的に貢献できるものと考えている。

Appendix 特許出願と論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)イオン工 学研究所、 (財)金属系材 料研究開発セ ンター	特願 2004-34800	国内	2004.2.12	取下	ステンレスパイプ および容器類にお ける水素バリア被 覆物品及びその製 造方法	日比野豊、 水野忠彦、 手塚真俊、 田村元紀
2	(株)イオン工 学研究所	特願 2005-19145 9	国内	2005.6.30	取下	ステンレスパイプ および容器類にお ける水素バリア被 覆物品及びその製 造方法	中山明、 水野忠彦、 田村元紀、 日比野豊
3	(独)物質・材 料研究機構	特願 2005-34739 7	国内	2005.12.1	取下	環境雰囲気制御に よる材料試験法	緒形俊夫
4	(独)物質・材 料研究機構	特願 2005-34739 8	国内	2005.12.1	取下	環境雰囲気制御に よる材料試験法	緒形俊夫
5	(独)物質・材 料研究機構	特願 2006-06002 7	国内	2006.3.6	審査 請求	材料試験片及びそ の製造方法	緒形俊夫
6	(独)物質・材 料研究機構	特願 2006-06005 6	国内	2006.3.6	審査 請求	耐圧室付き試験機 とこれを使用した 試験方法	緒形俊夫
7	(独)物質・材 料研究機構	特願 2006-32028 1	国内	2006.11.28	審査 請求	材料試験装置と材 料試験片	緒形俊夫

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年度
1	藤井秀樹	新日本製鐵(株)	極低温環境下におけるチタンの機械的性質	チタン, Vol.53-3 (2005), 210-216	無	2005 FY
2	大村朋彦	住友金属工業(株)	圧縮水素ガス輸送・貯蔵材料	工業材料, Vol.54, No.1(2006), 84-85	有	2005 FY
3	Yasuji ODA, Hiroshi NOGUCHI, et al	九州大学	Fatigue Characteristics of a Type 304 Austenitic Stainless Steel in Hydrogen Gas Environment	International Journal of Fracture, Vol.133, No.3, 277-288.	有	2005 FY
4	Yasuji ODA, Hiroshi NOGUCHI, et al	九州大学	Effects of Hydrogen Gas Environment on Fatigue Behavior of Austenitic Stainless Steel	Key Engineering Materials Vol. 297(2005), 927-932.	有	2005 FY
5	村上敬宜, 他	九州大学	マルテンサイト系ステンレス鋼の疲労強度に及ぼす水素チャージの影響	材料, 54(2005), 1217-1224.	有	2005 FY
6	峯洋二, 村上敬宜, 他	九州大学	炭素鋼の繰返し応力-ひずみ特性および疲労挙動に及ぼす水素チャージの影響	材料, 54 (2005), 1225-1230	有	2005 FY
7	久保田祐信, 栄中, 近藤良之, 他	九州大学	フレット疲労に及ぼす水素ガス環境の影響	材料, 54(2005), 1231-1236	有	2005 FY
8	久保田祐信, 栄中, 近藤良之, 他	九州大学	高強度鋼の疲労き裂進展下界条件に及ぼすき裂寸法, 応力比および水素の影響	材料, 54(2005), 1237-1243	有	2005 FY

9	村上敬宜, 他	九州大学	材料組織の異なるステンレス鋼の疲労強度に及ぼす水素チャージの影響	日本機械学会論文集(A編), 72, 106-113.	有	2005 FY
10	大村朋彦, 小林憲司, 宮原光雄, 工藤赳夫	住友金属 工業(株)	高圧水素ガス環境におけるステンレス鋼の脆化特性	材料と環境, Vol.55, No.4(2006), 139-145	有	2006 FY
11	大村朋彦, 小林憲司, 宮原光雄, 工藤赳夫	住友金属 工業(株)	ステンレス鋼の水素脆化感受性に及ぼす表面水素濃度の影響	材料と環境, Vol.55, No.12(2006), 537-543	有	2006 FY
12	緒形俊夫, 由利哲美, 小野嘉則	(独)物質・ 材料研究 機構	オーステナイト系ステンレス鋼の低温での引張変形挙動と発熱及び加工誘起マルテンサイト変態	低温工学会誌, vol.42 No.1, 10~17	有	2006 FY
13	尾田安司, 野口博司, 他	九州大学	水素ガス雰囲気におけるSUS316L鋼の疲労き裂伝ば特性	日本機械学会論文集(A編), 72, 1525-1523	有	2006 FY
14	Yasuji ODA, Hiroshi NOGUCHI, I, et al	九州大学	Effect of Hydrogen Gas Environment on Fatigue Crack Growth of a Stable Austenitic Stainless Steel	Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 1, 263-274.	有	2006 FY
15	大村朋彦	住友金属 工業(株)	圧縮水素ガス輸送, 貯蔵材料	工業材料, Vol.56, No.1(2008), 40-41	有	2007 FY
16	大村朋彦, 平田弘征, 宮原光雄, 工藤赳夫	住友金属 工業(株)	高圧水素環境におけるステンレス鋼の脆化挙動に及ぼす化学組成の影響	材料と環境, Vol.57, No.1(2008), 30-36	有	2007 FY
17	大村朋彦, 宮原光雄, 仙波潤之, 五十嵐正晃, 平田弘征	住友金属 工業(株)	高圧水素ガス環境におけるSSRTおよび外圧疲労試験によるステンレス鋼の水素脆性評価	圧力技術, Vol.46, No.4(2008), 205-213	有	2007 FY
18	今出政明, 飯島高志,	(独)産業 技術総合	オーステナイト系ステンレス鋼の高圧水素ガス脆	日本金属学会誌, 72 (2008), 139-145	有	2007 FY

	福山誠司, 横川清志	研究所	化に及ぼす熱処理の影響			
19	緒形俊夫	(独)物質・ 材料研究 機構	試験片内の高圧水素環境 による水素脆化評価法の 検証	Advances in Cryogenic Engineering, vol.5 4, 124-131	有	2007 FY
20	緒形俊夫	(独)物質・ 材料研究 機構	Hydrogen embrittlement evaluation in tensile properties of stainless steels at cryogenic temperatures	圧力技術, vol.46, No.4(2008), 200-204	有	2007 FY
21	Yasuji ODA, Hiroshi NOGUCH I, et al	九州大学	Fatigue Crack Growth Characteristic and Effects of Testing Frequency on Fatigue Crack Growth Rate in Hydrogen Gas Environment in a Few Alloys	Materials Science Forum, Vol.567-568, 329-332.	有	2007 FY
22	Yasuji ODA, Hiroshi NOGUCH I, et al	九州大学	Influence of Testing Frequency on 6061-T6 Aluminum Alloy in Hydrogen Gas Environment	Key Engineering Materials, Vol.353, 174-177	有	2007 FY
23	尾田安司, 野口博司, 藤井秀樹, 他	九州大学	2次イオン質量分析法お よび水素マイクロプリン ト法によるSUS304 鋼の疲労き裂先端近傍の 水素濃度分布の分析	日本機械学会論文集 (A編), 73, 788-795	有	2007 FY
24	尾田安司, 野口博司, 他	九州大学	SUS316L平滑材の10 <sup>7</sup> 回 時間強度に及ぼす水素ガ ス環境の影響(微視的疲労 き裂の挙動に注目して)	日本機械学会論文集(A 編), 73, 1343-1350	有	2007 FY
25	久保田祐信 , 栄中, 近 藤良之,	九州大学	フレット疲労に及 ぼす水素ガス環境の影響	材料, 56(2007), 1231-1236	有	2007 FY

	他					
26	久保田祐信 ， 栄中， 近藤良之， 他	九州大学	高強度鋼の疲労き裂進展下 界条件に及ぼすき裂寸法， 力比および水素の影響	材料， 56(2007)， 1237-1243	有	2007 FY
27	中川英樹	愛知製鋼 (株)	次世代エネルギーの水素 を使いこなす（耐水素脆 性）	特 殊 鋼 ， Vol.58， No.2(2009)， 12-13	有	2008 FY
28	中川英樹	愛知製鋼 (株)	各種ステンレス鋼の高圧 水素ガス環境下における 引張特性	愛知製鋼技報， Vol.26， No.1(2009)， 15-20	無	2008 FY
29	M. Imade, S. Fukuyama ， K. Yokogawa	(独)産業 技術総合 研究所	Apparatus for material tests using an internal loading system in high-pressure gas at room temperature	Review of Scientific Instruments, Vol.79 (2008),073903	有	2008 FY
30	緒形俊夫	(独)物質・ 材料研究 機構	簡便な水素環境試験法に よる構造用鋼の低温での 特性評価	圧 力 技 術 ， vol.46， No.4(2008)， 200-204	有	2008 FY
31	藤井秀樹， 大宮慎一	新日本製 鐵(株)	316系ステンレス鋼の高圧 水素環境脆化特性におよ ぼすNiおよびCr量の影響	圧力技術， vol.47(2009)， 85-94	有	2009 FY
32	大宮慎一， 藤井秀樹	新日本製 鐵(株)	オーステナイト系ステン レス鋼の高圧水素中環境 脆化におよぼすNiおよび Cr量の影響	配 管 技 術 ， Vol.51-No.13(2009)， 46-50	無	2009 FY
33	大村朋彦	住友金属 工業(株)	腐食環境および高圧水素 環境における鉄鋼材料の 水素脆化	材料と環境， Vol.58， No.4(2009)， 120-126	有	2009 FY
34	大村朋彦	住友金属 工業(株)	圧縮水素ガス 輸送， 貯蔵材料	工 業 材 料 ， Vol.58， No.1(2010)， 18-19	有	2009 FY
35	山田敏弘， 竹花立美	高圧ガス 保安協会	FRP 複合容器用一方向炭 素繊維複合材料の疲労特 性	圧 力 技 術 ， Vol.47， No.3(2009)， 171-177	有	2009 FY
36	山田敏弘， 竹花立美	高圧ガス 保安協会	FRP 複合容器用一方向炭 素繊維複合材の静的引張 特性	圧 力 技 術 ， Vol.47， No.6(2009)， 369-377	有	2009 FY

37	柴田浩司, 緒形俊夫, 由利哲美, 藤井秀樹, 大宮慎一	(独)物質・ 材料研究 機構	液体水素中における 300 系ステンレス鋼の引張変 形挙動の計算機シミュレ ーション	圧力技術 Vol.47 , No.2(2009), 70-77	有	2009 FY
38	Y.Oda, H.Noguchi , H.Fujii, et al	九州大学	Investigation of Local Hydrogen Distribution Around Fatigue Crack Tip of a Type 304 Stainless Steel with secondary Ion Mass Spectrometry and Hydrogen Micro-Print Technique	J. of Solid Mechanics and Materials Engineering, 3 (2009) , 898-909	有	2009 FY

2.3(3) 水素用アルミ材料の基礎研究 ((社)日本アルミニウム協会、住友軽金属工業(株)、三菱アルミニウム(株)、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所、昭和電工(株))

平成 15、16 年度の前事業で、水素の安全利用の拡大および高圧水素容器のライナー材などに使用するアルミニウム材料の標準化を目的として、高圧水素環境下での試験の代替として、安全かつ簡便な水蒸気分圧制御大気環境下低ひずみ速度 (SSRT) 試験法を開発するとともに、本試験法により水素脆化感受性評価データを取得したが、本事業ではこれを受けて、実際にアルミニウム合金がライナー材として使用されることを目指し、さらに詳細かつ多くのデータを取得した。この開発した試験法により得られたデータと高圧水素ガス実環境下での SSRT 試験データとを比較することにより、代替評価法としての有用性を示すとともに、本試験による脆化感受性データと水素の侵入・集積挙動との関係を調査し、基礎的な裏付けを行った。さらに、平成 22 年 3 月に予定されていた最高充填圧力を 35MPa から 70MPa に増加させるための新しい例示基準策定に対応し、自動車業界、容器メーカー、基準策定機関からのニーズ・情報を収集した。それを基に、容器の軽量化を目指し、最高充填圧力 35MPa の例示基準 JARI S-001,002 で定められた 6061 合金よりも高強度の 6000 系・7000 系合金について、湿潤環境下での引張および疲労試験により耐水素脆性を、大気中での引裂き試験により LBB(Leak Before Burst)に直結する靱性を評価した。一方、これら取得データの基礎的バックグラウンドとして、水素マイクロプリント法、昇温脱離法、拡散の計算機シミュレーションなどにより、各条件下における材料中の水素の侵入・移動経路、水素侵入量、水素の状態の考察を行った。

その結果、水蒸気分圧制御大気環境下と高圧水素ガス環境下での試験結果を比較することにより、70MPa 水素ガス環境は相対湿度約 25%の環境に相当する考えられた。水素の挙動を昇温脱離分析により基礎的に調査した結果、湿潤大気環境下で SSRT 引張変形することにより、水素が侵入すると考えられた。強度、耐水素脆化性、LBB 性を総合的に評価した結果、6061 合金よりも過剰 Si 組成として高強度化した合金が、多くの 6000 系・7000 系合金の中でライナー材として有望であると結論された。それを受けて、それに当たる試験材 6061HS-T651 を量産規模で作製し、JRCM グループの協力による 90MPa 高圧水素中での試験を始めとして、必要特性の評価を実施した。そして評価結果を平成 22 年 3 月の新例示基準策定に資するデータとして関係機関に提供し、意見公募実施に大きく貢献した。

表Ⅲ2.3(3)-1 各種アルミニウム合金試験材の作製及び組織と機械的特性の調査分担

	試験材	加工形態	材料パラメータ	担当
平成 17 年	6000 系合金	押出	合金組成(Mg/Si)、不純物量、微量添加元素等	三菱アルミ
		圧延	結晶粒径、微量添加元素等	日本軽金属
			合金組成(高 Mg・Si、Cu 増減)、結晶粒径、板厚等	古河スカイ
		素材	微量添加元素、熱処理等	日本アルミニウム協会／千葉工業大学

度	7000 系合金	押出・圧延	7050 合金・7N01 合金標準材、熱処理等	神戸製鋼所
		接合継ぎ手	—	昭和電工
	5000 系合金	接合継ぎ手	—	昭和電工
18 年 度	6000 系合金	押出	合金組成、温度・加工度等	住友軽金属
	7000 系合金	押出・圧延	合金組成、結晶粒径等	神戸製鋼所
		圧延	結晶粒径、微量添加元素等	日本軽金属
			合金組成(Zn,Cu,Mn)、結晶粒径等	古河スカイ
19 年 度	高強度 6000 系合金	圧延	6066-T6 合金等高強度 6000 系合金の板 厚 1mm 材および 5mm 材	日本軽金属
	7000 系合金	圧延	7175,-T736,7075-T736, 7N01-T5,T6,T7, 7003-T5,T6,T7 合金の 板厚 1mm 材および 5mm 材 (7N01 および 7003 合金については、中心 組成および上限組成)	神戸製鋼所

表Ⅲ2.3(3)-2 試験項目と試験実施分担（平成 17 年度～平成 19 年度）

試験項目		試験実施担当
S S R T 引張試験	(1)水蒸気分圧制御下 SSRT [板厚 1mm] [平滑・表面欠陥(切欠き)] ((社)日本自動車工業会要請 材料)	日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施 日本アルミニウム協会／千葉工業大学（再委託） 古河スカイ(株) (日本軽金属、三菱アルミニウム、神戸製鋼所、昭 和電工)
	(2)水蒸気分圧制御下 SSRT [板厚：5mm]	日本アルミニウム協会／茨城大学との共同実施 (三菱アルミニウム)
	(2)陰極電解水素チャージ下 SSRT	神戸製鋼所
	(3)高圧水素ガス下 SSRT	日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施
疲労試験（水蒸気分圧制御下） ((社)日本自動車工業会要請材料)		古河スカイ 日本アルミニウム協会／千葉工業大学（再委託） (日本軽金属、三菱アルミニウム、神戸製鋼所)
き裂進展抵抗評価試験 サイクル負荷によるき裂進展特性評 価試験		日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施
引裂き試験による靱性の評価 [板厚 5mm]		住友軽金属
水素の移動経路の解析 水素の侵入量の分析評価		日本アルミニウム協会／茨城大学との共同実施
容器ライナー加工時の結晶粒粗大化 抑制試験		住友軽金属（押出材） 日本軽金属（圧延材） 日本アルミニウム協会／千葉工業大学（押出素材）

備考：試験実施担当欄の（ ）内の企業は、一部現地試験に従事するか、或いは自社作製の共通試験材の基本データと対比して試験後の破面観察や評価試験結果の解析・評価を行う。

表Ⅲ2.3(3)-3 試験項目と試験実施分担（平成20年度～平成21年度）

試験項目	試験実施担当
SSRT試験による水素脆化感受性評価 （水蒸気分圧と温度制御下）	日本アルミニウム協会／山口大学・茨城大学との共同実施 古河スカイ（株）（日本軽金属（株））
疲労試験（水蒸気分圧制御下）	日本アルミニウム協会／千葉工業大学（再委託） 古河スカイ（株）（日本軽金属（株））
疲労き裂進展特性評価 （水蒸気分圧と温度制御下）	日本アルミニウム協会／山口大学との共同実施 （日本軽金属（株））
引裂試験による靱性評価	住友軽金属工業（株）
水素拡散挙動の理論解析	日本アルミニウム協会／京都大学との共同実施
疲労き裂進展速度と局所的水素濃度の解析	日本アルミニウム協会／大阪大学との共同実施
水素侵入量の分析評価	日本アルミニウム協会／茨城大学との共同実施
高圧水素容器ライナー材料の基本特性評価 《引張試験, 水素分析, 切欠特性, 耐食性試験, SSRT 試験（一部共通試料のスクリーニング評価）, 結晶粒組織観察》	日本軽金属（株）,（株）神戸製鋼所, 住友軽金属工業（株）, 古河スカイ（株） 三菱アルミニウム（株）

表Ⅲ2.3(3)-4 成果表

目標	研究開発成果	達成度
①水素用アルミニウム材料の試験結果の評価とデータベース化及び研究開発の展開方針の検討と関連業界団体等との連携	「水素用アルミ材料の基礎研究推進委員会」及び「水素用アルミ材料の基礎研究調整 WG」を開催し、研究計画の調整、進捗状況のチェックなどを行った。データ取得の主体である水蒸気分圧制御下での水素脆化感受性の試験条件、及び水素の侵入・移動経路の観察条件について協議し、高圧水素環境下での試験結果との比較を通して、何れも試験条件として適切であることを確認した。また、社団法人日本自動車工業会の圧縮水素容器 WG をはじめ、JRCM、高圧ガス保安協会など関連団体との連携を図ることにより、70MPa 対応例示基準の作成に資するデータを蓄積することができた。	達成
②6000系アルミニウム合金の水素脆化に及ぼす結晶粒微細化添加元素の影響調査	6000系アルミニウム合金組織の結晶粒微細化添加元素の影響調査では、最も結晶粒が微細化した Zr 添加した合金では、水素脆化を示さないことを SSRT 試験によって明らかにした。高強度 6000 系合金の	達成

<p>研究ならびに高強度 6000 系合金の疲労特性調査研究</p>	<p>疲労特性調査研究では、高湿度・低湿度試験雰囲気下で疲労試験を行い、6061, 6066 及び 6069 合金の疲労寿命は低湿度下と比べて高湿度下では短くなっていること、しかしより高強度の 6066 及び 6069 合金の高湿度下での疲労寿命は、6061 合金とほとんど同等かそれ以上であることを確認した。3 合金の疲労破面において、高湿度下では低湿度下より多数の割れが観察でき、湿度が疲労亀裂頻度に大きく影響することが明らかにすることができた。6061 合金の高湿度下 (95%R. H. 以上) において応力振幅 ; 110, 150MPa、周波数 ; 0.5, 5, 50Hz の条件で試験を実施し、周波数が低下するほど疲労寿命が減少する傾向であることを明らかにした。高湿度雰囲気下での 6061 合金の SSRT 試験では、応力集中させるために円弧状ノッチ、V ノッチを付与したいずれの試験片においても、高湿度下の断面減少率は低湿度下のそれより大となる事が示された。このことは 6061 合金の高湿度下 SSRT において、水素による延性増加の存在を裏づけるものと考えられる。そして、6061 合金組成範囲で Si を増大させた 6061HS 合金では SSRT 試験 (V ノッチを付与した試験片) で水素脆化することは無く、断面減少率の差が 1%程度であることを確認した。さらに 6061HS 合金の疲労試験では 6061 合金より疲労寿命が延命し、目標値を確保していることを確認した。また転位組織に著しい差異が無いことを確認された。</p>	
<p>③水素脆化および水素移動経路に及ぼす板厚,合金組成,加工,熱処理条件の影響調査研究ならびに材料中の水素挙動調査研究</p>	<p>水素脆化に及ぼす試験片板厚の影響では、板厚増加に伴い、応力 3 軸度増加の影響(脆化促進要因)よりも、水素拡散深さの相対減少の効果(脆化軽減要因)のほうが強く表れることを明らかにした。7075 合金の水素の移動経路に及ぼす合金組成 (不純物量)、加工履歴 (回復・再結晶の程度)、調質条件 (T6 (ピーク時効)と T7(過時効) の差) の影響では、不純物量が少ないほど、回復・再結晶が進展していないほど、ピーク時効より過時効の場合のほうが、水素が侵入・移動しにくいことを明らかにした。調質条件については水素脆化挙動に及ぼす影響も調査し、応力腐食割れに対する感受性と同様に、亜時効が最も敏感で、ピーク時効、過時効の順に鈍感になることを明らかにした。湿潤雰囲気中で引張変形を与えることにより導入される水素の挙動では、水素が晶出第二相をサイトとして侵入する一方で、もともと材料中に存在していた不純物水素が変形により、転位とともに移動し外部に放出されるため、水素量の変化により捉えることが困難であることを明らかにした。6066, 6069M, 6061HS などの 6000 系新規試験材の耐水素脆化性を湿潤雰囲気中での SSRT 試験により評価し、脆化をほとんど示さないと結論した。マイクロプリント法の検出効率の改善では、効率に及ぼすイオンプレーティング(IP)処理</p>	<p>達成</p>

	の影響を調べたが、IPにより検出効率が高くなるのか、IPにより他の要因の水素が検出されやすくなるのか結論できなかった。材料中の水素の挙動の総合解析では、脆化に関与する水素は晶出第二相などをサイトとして侵入するが、侵入量はもともと存在する不純物水素量に比べて少なく、き裂先端に集中して存在すると推察した。	
④SSRT試験による水蒸気分圧制御環境下および高圧水素ガス環境下における水素脆化感受性の評価ならびに水素脆化評価簡便試験法の標準化研究ならびに疲労き裂進展特性評価研究	SSRT試験による水素脆化感受性評価試験では、主として6061-T6と7075-T6材について水素脆化感受性に及ぼす高湿度空気と高圧水素ガスの影響を調査し、前者環境が後者を超える厳しい水素脆化環境であることを明らかにした。次いで、前者環境中のSSRT特性に及ぼす表面欠陥(切欠き)、結晶粒サイズ、試験温度の影響を調査し、両材における各脆化応答と特徴、6061-T6は上記影響因子に依らず脆化に非鋭敏であることを明らかにした。併せて、7075-T6のSSRT試験中断・放置による脆化・回復挙動を調査し、水素脆化過程の考察を行った。また、中強度7000系合金7N01、7003について水素脆化感受性に及ぼす合金組成、調質の影響を調べ、良好な水素脆化抵抗と強度の組合せを見出し、マイクロ組織との関係を明らかにした。疲労き裂進展特性評価試験では7000系および6000系合金各種調質材の疲労き裂進展速度 $da/dN-\Delta K$ 特性および乾燥窒素ガスに対する高湿度空気中の $da/dN$ 増速比の評価ならびに高圧水素ガス環境、温度、周波数の影響を調査し、各応答特性を明らかにした。さらに、高湿度空気-長時間暴露による水素脆化評価試験では強化6061HS合金および各種7000系合金厚板の水素脆化割れ応答を調べ、7000系合金T7材および6061HS-T6材はその発生がなく、高い水素脆化割れ抵抗を有することを示した。	達成
⑤拡散シミュレーションによる多相組織中の水素拡散に及ぼす組織因子の明確化	現象論的なパラメータとして複数の種類のサイト(バルク、粒界など)のそれぞれに異なった分配係数と拡散定数を割りつけて拡散方程式を解く、組織因子の影響を定量的に確認するプログラムを作成し、バルク拡散と粒界拡散、吸着の強度変化によるふるまいの違いを調べた。	達成
⑥水素導入環境での疲労特性評価および水素吸放出特性のミクロ的解析	6061および7075合金に対して高湿度大気環境から水素を導入した後の疲労特性の調査を行い、疲労変形時の水素放出挙動を質量分析計付き超高真空材料試験機で計測した。疲労変形時の水素放出が応力変動と連動すること、周波数によって放出量が変わること、などを示した。	達成
⑦6061系アルミニウム合金押出材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および	6061系アルミニウム合金押出材について容器ライナー加工時の結晶粒粗大化を抑制するため、加工条件と溶体化処理後の結晶粒組織の影響を調査した。結晶粒組織に及ぼす加工度と加工温度およびひず	達成

<p>び容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度試験材の引裂試験による靱性の評価</p>	<p>み速度の影響から結晶粒の粗大化を抑制する加工条件を得ることができた。また、容器ライナーの候補となる高強度試験材の靱性を引裂試験によって評価した。破壊靱性の指標となる単位き裂伝播エネルギー(UIE)は 6061-T6、7003-T5、7003-T6 が大きいことがわかった。ただし、ライナー用の高強度材料選定に当たっては破面観察等の結果も考慮する必要があることも確認した。さらに、6066-T6 で鉄量を変化させて破壊靱性に及ぼす鉄量の影響を引裂試験によって評価した。最大試験力、き裂発生エネルギー、き裂伝播エネルギー、引裂強さ、引裂強さ-降伏強さ比(TYR)、単位き裂発生エネルギー(UIE)、単位き裂伝播 エネルギー(UPE)、靱性(引裂試験)の評価に関するいずれの指標も鉄量の増加に伴って低下する傾向が有った。</p> <p>また、容器ライナー材の例示規定改定に向けて実機で 6061(過剰けい素側)-T651 を作製し、比較として実機で作製した 6061(バランス成分)-T6 と共に引裂試験で破壊靱性の評価を行った。破壊靱性の指標となる単位き裂伝播エネルギー(UIE)や引裂強さ-降伏強さ比(TYR)は 6061(バランス成分)-T6の方が大きく、6061 で過剰けい素側を選択する場合には破壊靱性も考慮する必要があることがわかった。</p>	
<p>⑧水素脆化に及ぼす 6000 系アルミニウム合金押出材の成分、不純物および組織の影響に関する研究</p>	<p>主成分 Mg,Si 添加量,不純物 Fe,Zn の量を変えた合金の押出材を 9 種類作製し、機械的性質,結晶粒組織,析出組織等を調べ,合金成分と不純物の影響を評価した。水蒸気雰囲気中での SSRT 試験による水素脆化の評価を行い、合金成分,不純物量の変動しても水素脆化は認められなかった。さらに、水素脆化の有無を厳しく評価するために 90% 相対湿度環境中での疲労寿命、特に低応力側の疲労寿命は、一部の合金においては、窒素環境中より若干低下する現象が認められた。晶出物粒子の多い合金については、この疲労寿命の低下はほとんど認められなかった。</p>	<p>達成</p>
<p>⑨水蒸気分圧制御環境と高圧水素ガス環境の相関についての基礎調査ならびに各種アルミニウム合金の水蒸気分圧制御環境下での試験</p>	<p>水蒸気分圧制御環境と高圧水素ガス環境の相関調査用の候補材料として、水素脆化感受性が異なる複数の 7000 系合金 (Al-Zn-Mg 合金および Al-Zn-Mg-Cu 合金の亜時効・ピーク時効・過時効材) を作製して、種々の湿度雰囲気中 SSRT 試験を実施して、相関調査に必要な基礎的データを収集するとともに、相関調査用の最適合金を選択した。また、共通試料である 7075 および 6061 合金について、水蒸気分圧制御環境下での疲労試験 (千葉工大と共同実施) および SSRT 試験 (山口大学と共同実施) を実施して、各種特性に及ぼす水素の影響を評価した (試験結果については、各研究機関にて総括する)。</p> <p>さらにこれまで本プロジェクトで得られた研究成果をドイツで開催された国際会議(ICAA-11)にて発表するとともに、関連分野における</p>	<p>達成</p>

	最新の技術を調査して、技術動向を把握した。	
⑩6000 系および 7000 系アルミニウム合金圧延材の水素脆化に及ぼす粗大結晶粒の影響調査および容器ライナー加工時の結晶粒粗大化抑制指針の検討ならびに高強度 6000 系合金試験材の作製と基本特性調査	6061 合金および 7075 合金について、高温圧縮試験を用いて容器ライナーの加工条件をシミュレートし、加工条件(温度・歪み速度)と結晶粒組織との関係について詳細な検討を行った。その結果、粗大粒が発生しない加工条件が明確になり、容器ライナー加工時の粗粒発生抑制指針を与えることができた。さらに、粗粒材・細粒材を作製し、水素模擬環境における特性を調査し、粗粒材は水素脆化する可能性があることがわかった。一方、6061 合金 J I S 規格範囲内の組成で過剰 Si を含有する高強度タイプの 6061HS 合金を実機試作し、90MPa 水素環境における特性を評価した結果、特性が良好であり、70MPa 水素容器例示基準作成のための基礎データが得られた。さらに、高強度の 6XXX 系合金板は、ラボ試作して基本特性を調査した結果、現行 6061 と比べ、静的引張強度・疲労強度は高く、今後の高強度ライナー材として期待される。	達成
⑪高圧水素ガス環境下での高強度 7000 系アルミニウム合金の基礎物性と評価法に関する研究ならびに高強度 7000 系合金試験材の作製と基本特性調査	高圧水素容器部材への材料選定範囲拡大を目的に、(社)日本自動車工業会より、7000 系合金規格材での特性調査要望があり、共通試料の作製、試験をグループ内で分担し進めた。高湿潤中環境下での SSRT 試験ならびに疲労試験、陰極電解中での SSRT 試験より、7N01(中心組成)は優れた脆化抵抗を示すことが判った。また、SSRT 試験のみではあるが、より高強度な 7175-T74 も高い抵抗を示した。高圧水素ガス中での各種特性試験の実施が必須となるが、これらは有力な候補材の一つになりうる材料と考える。一方、高強度 6000 系規格合金では、押出材で 6066-T6 ならびに 6061HS(Si 量規格上限値)-T6 を、また板材で 6066-T6 を作製し、高湿潤中環境下で SSRT 試験を行ったところ、これらは脆化に結びつく引張特性の低下を生じないことが判った。なお、6066-T6 板材を用いて、Fe 量が脆化感受性に及ぼす影響を調査したところ、規格上限値の Fe 量では、伸び値の低下、またそれらのバラツキは大きくなる傾向を示した。高圧水素ガス中での特性確認は必要ではあるが、特性の低下が生じるようであれば、Fe 量の規制も考慮する必要があるものとする。	達成
⑫各種アルミニウム合金の FSW (Friction Stir Welding : 摩擦攪拌溶接) 接合継ぎ手の作製及び接合部の水素の影響に関する研究	各種合金 (6000 系,5000 系,7000 系) の FSW 継手において、接合部の組織及び機械的性質に対する水素の影響を調査した。その結果、固相接合である FSW では、水素の影響は母材と同程度であり、接合技術として有効であることが確認できた。また、実際に加工したタンク (容器) を評価し組織的な状況も確認できた。	達成

添付資料

(1) 研究発表・講演

★は論文

発表年月 日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成17年 5月15日	軽金属学会第 108回春期大会 講演概要	6061 アルミニウム合金の疲労特性に 及ぼす試験湿度の影響	古河スカイ：一谷幸 司、小山克己
平成17年 5月15日	軽金属学会第 108回春期大会 講演概要	アルミニウム合金における水素透過 挙動に及ぼすマイクロ組織の影響	茨城大学：赤木隆 介、伊藤吾朗ほか
平成17年 5月15日	軽金属学会第 108回春期大会 講演概要	アルミニウム合金押出材における水 素透過挙動	茨城大学：遠山拓 史、伊藤吾朗ほか
平成17年 5月15日	軽金属学会第 108回春期大会 講演概要	アルミニウム合金における水素ガス 圧と水素透過挙動の関係	茨城大学：泉 孝 裕、伊藤吾朗ほか
平成17年 11月13 日	軽金属学会第 109回秋期大会 講演概要	アルミニウム合金における水素環境 における塑性誘起と破壊	山口大学：大崎修 平、池田 淳ほか
平成17年 11月13 日	軽金属学会第 109回秋期大会 講演概要	7075 アルミニウム合金の水素透過に 及ぼすマイクロ組織の影響	茨城大学：遠山拓 史、伊藤吾朗ほか
平成18年 1月25日	FC EXPO 2006 大 学・国立研究所 による研究フォー ラム	高圧水素ガス容器アルミニウムライ ナー材料に関する基礎研究	茨城大学：伊藤吾朗
★平成18 年2月28 日	軽金属学会誌「 軽金属」Vol.56 No.2 P.12	過剰Si型Al-Mg-Si合金のSCC過程 における水素脆化の関与	山口大学：大崎修 平、近藤秀樹、木下 勝之
★平成18 年4月	Mater. Trans.	Contribution f Hydrogeon Embrittlement to SCC rocess in Excess Si Type Al-Mg-Si Alloys	S. Osaki, H. Kondo, K .Kinoshita
平成18年 5月14日	軽金属学会第 110回春期大会 講演概要	湿潤雰囲気中実用アルミニウム合金 における水素の挙動解析	阿島 亘、遠山 拓 史、泉孝裕、伊藤吾 朗、伊藤伸英、佐々 木侑慥

平成18年 5月14日	軽金属学会第 110回春期大会 講演概要	6061 アルミニウム合金押出材の水素 脆化感受性	三菱アルミ：中西茂 紀、崔 祺、坂上 武、渡部 晶 山口大学：大崎修平
平成18年 5月14日	軽金属学会第 110回春期大会 講演概要	5754-O、6061-T4 板材の 90%RH 環境 における引張挙動	日本軽金属：趙 丕 植、小林達由樹、土 田孝之 山口大学：大崎修平
平成18年 5月14日	軽金属学会第 110回春期大会 講演概要	6061 アルミニウム合金板の疲労特性 に及ぼす試験湿度の影響	古河スカイ： 一谷幸司、小山克己
★平成18 年6月	Materials Science Forum	Hydrogen permeation behavior in Aluminum alloys	T. Izumi, G. Itoh, N. Itoh, And Y. Sasaki
平成18年 9月19日	日本機械学会 2006年度年次大 会講演論文集	高湿度空気中におけるアルミニウム 合金の低ひずみ試験応答	大崎修平、池田 淳、木下 勝之、一 谷幸司、竹島義雄、 佐々木 侑慥
平成18年 10月	Proceedings of The 2nd International Student Conference At Ibaraki University	EFFECT OF SPECIMEN THICKNESS ON SENSITIVITY TO HYDROGEN EMBRITTELEMENT IN SOME ALUMINUM ALLOYS	T. Izumi, Y. Arai, G. Itoh, S. Osaki, N. It oh and T. Inami
平成18年 11月18 日	軽金属学会第 111回秋期大会 講演概要	水素容器ライナー用 6061 合金の結晶 粒組織に及ぼす加工条件、Cr、Zr 含 有量の影響	日本軽金属：趙 丕 植、小林達由樹、土 田孝之
平成18年 11月18 日	軽金属学会第 111回秋期大会 講演概要	湿潤大気中アルミニウム合金におけ る水素進入挙動	鹿川隆廣、鈴木智 弥、泉 孝裕、伊藤 吾朗、伊藤伸英、佐 々木侑慥
平成18年 11月18 日	軽金属学会第 111回秋期大会 講演概要	湿り空気中のアルミニウム合金切欠 き板の水素助長割れ	大崎修平、池田 淳、木下 勝之、一 谷幸司、竹島義雄、

			佐々木 侑髄
平成18年 11月18日	軽金属学会第 111回秋期大会 講演概要	水素環境における6061-T6板材の SSRT引張特性に及ぼす結晶粒サイズ の影響	原野 徹、大崎 修 平、木下勝之、趙 丕植、竹島 義雄、 佐々木 侑髄
★平成18 年12月	軽金属	湿潤空気中における7075および6061 アルミニウム合金の水素脆化特性	大崎 修平、池田 淳、木下 勝之、佐 々木 侑髄
平成18年 12月	イノベーション ジャパン2006	高圧水素容器用アルミニウム合金の 水素脆化感受性評価試験法	伊藤 吾朗
平成19年 1月	未来を拓く高圧 力科学技術セミ ナーシリーズ	燃料電池自動車搭載圧縮水素容器ラ イナー用アルミニウム材料	伊藤 吾朗
★平成19 年2月	軽金属	湿潤空気中におけるアルミニウム合 金切欠き板材の水素脆化特性	大崎 修平、池田 淳、木下 勝之、一 谷幸司、竹島義雄、 佐々木 侑髄
平成19年 5月12日	軽金属学会第 112回春期大会 講演概要	6061アルミニウム合金の低ひずみ速 度 引張変形挙動に及ぼす湿潤空気環境 の 影響	大崎 修平、池田 淳、原野 徹、一谷 幸司、趙 丕植、竹 島 義雄
平成19年 5月12日	軽金属学会第 112回春期大会 講演概要	6000系アルミニウム合金板の雰囲気 湿度制御環境中での疲労破面形態	古河スカイ：一谷 幸司、小山 克己
平成19年 5月12日	軽金属学会第 112回春期大会 講演概要	水素容器ライナー7075合金の結晶粒 組織に及ぼす加工条件、CrとZr含 有量 の影響	日本軽金属：趙 丕 植、小林達由樹、 土田 孝之
平成19年 5月12日	軽金属学会第 112回春期大会 講演概要	水蒸気環境中での6061系アルミニウ ム 合金押出材の疲労挙動	三菱アルミ：中西茂 紀、崔 祺、坂上 武渡部 晶、古河ス カイ：一谷 幸司
平成19年 5月12日	軽金属学会第 112回春期大会 講演概要	昇温脱離法による中強度アルミニウ ム合金中の水素の解析	茨城大学：伊藤吾 朗、鈴木智弥、泉孝 裕、伊藤伸英、三菱

			アルミ：崔 祺、他
平成19年 7月13日	(社)日本航空 宇宙工業会素材 専門委員会	アルミニウム合金の水素脆性—燃料 電池自動車水素容器ライナー材に関 する最近の研究成果	茨城大学：伊藤吾朗
平成19年 10月5日	静岡燃料電池技 術研究会	燃料電池自動車の高圧水素ボンベラ イナー用アルミニウム合金の基礎研 究	日本軽金属：趙 丕 植、小林達由樹、 土田 孝之
平成19年 10月24 日	Proceedings of The 5 <sup>th</sup> International Conference on Physical and Numerical Simulation of Materials Processing At Zhengzhou, Chin a	Effect of Fabrication Conditions and Cr, Zr Contents on the Grain Structures of 7075 and 6061Alloy	Pizhi Zhao, Takayuki Tsuchida
平成19年 10月26 日	軽金属学会中国 四国支部 2007 年度第2回研究 会	アルミニウム合金の高圧水素分野へ の応用	茨城大学：伊藤吾朗
平成19年 11月7日	The 6th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing	Behavior of Hydrogen as a Function of Processing Condition in 7075 Aluminum Alloys Deformed under Moist Air	Goroh Itoh, Yuichi Arai, Takahiro Izumi Nobuhide Itoh, Takao Inami
平成19年 11月7日	The 6th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and	THERMAL DESORPTION SPECTROSCOPY STUDY ON THE HYDROGEN	Goroh Itoh, Tomoya Suzuki, Takahiro Izumi, Nobuhide Itoh, Qi Cui, Shuuhei Horikawa and Hitoshi Yabuta

	Processing		
平成19年 11月10日	軽金属学会第 113回秋期大会 講演概要	7075 アルミニウム合金中の水素挙動 に 及ぼす調質条件の影響	茨城大学：伊藤吾朗 荒井優一、五十嵐駿 泉 孝裕、伊藤伸英
平成19年 11月10日	軽金属学会第 113回秋期大会 講演概要	6061 アルミニウム合金における水素 の存在状態に及ぼす塑性加工の影響	茨城大学：伊藤吾朗 鈴木智弥、渡壁尚仁 泉 孝裕、伊藤伸英 藪田 均
平成19年 11月11日	軽金属学会第 113回秋期大会 講演概要	6061 アルミニウム合金の疲労き裂進展 挙動に及ぼす湿潤空気環境の影響	山口大学：大崎修平 原野 徹
平成19年 11月11日	軽金属学会第 113回秋期大会 講演概要	水素容器ライナー用 6061 と 7075 合 金 板の疲労特性に及ぼす結晶粒径の影響	日本軽金属：趙丕植 小林達由樹、住友軽 金属 竹島義雄、古 河スカイ 一谷幸 司
★平成20 年1月	軽金属	7075 系アルミニウム合金における水 素挙動に及ぼすマイクロ組織の影響	茨城大学：伊藤吾 朗、泉孝裕、遠山拓 史
平成20年 3月7日	日本機械学会 中国四国支部 第46期総会・ 講演会	高湿度空気中における 6000 系アルミ ニウム合金の疲労き裂進展	山口大学：大崎修平 原野 徹 日軽金：趙 丕植
★平成20 年4月	軽金属	6061 アルミニウム合金の水素脆化特 性 に及ぼす結晶粒サイズの影響	山口大学：大崎修平 原野 徹、池田 淳 古河スカイ：一谷 幸司 日軽金：趙 丕植、住友軽金属 竹島 義雄
★平成20 年4月	軽金属	6061 アルミニウム合金の結晶粒度に 及ぼす熱間加工条件および Cr と Zr 含有量の影響	日本軽金属：趙丕 植、小林達由樹、土 田孝之
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	6061 合金押出材の疲労挙動に及ぼす 合金成分と試験環境の影響	三菱アルミ：中西茂 紀、崔祺 古河スカイ：一谷幸

			司
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	A1-Mg-Si系アルミニウム合金の疲 労挙動に及ぼす湿度の影響	千葉工大：田辺郁， 茂木徹一，菅野幹 宏， (院) 青木翼
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	各種二元および三元アルミニウム合 金の湿度制御雰囲気中での低ひずみ 速度引張 特性	古河スカイ：一谷幸 司，小山克己 山口大学：大崎修平 原野 徹
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	高強度6000系合金における水素の存 在状態に及ぼすSSRT引張変形の影響	茨城大学：伊藤吾 朗，(院) 鈴木智弥， (学) 渡壁尚仁，五 十嵐駿 日本軽金属：趙丕植
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	高圧水素ガス中における7075および 6061アルミニウム合金のSSRT特性	山口大学：大崎修 平，(院) 前田悦宏， 木下 勝之 古河スカイ：一谷幸 司 茨城大学：伊藤吾朗
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	純アルミニウムにおける水素の侵 入・放出挙動に及ぼすイオンプレー ティング処理の影響	茨城大学：伊藤吾 朗， (学) 中津巖，(院) 鹿川隆廣，(院) 泉 孝裕，伊藤伸英
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	7075アルミニウム合金への水素の侵 入挙動に及ぼす調質条件の影響	茨城大学：伊藤吾 朗， (院) 荒井優一， (学) 五十嵐駿，伊 藤伸英 日本アルミ協会： 藪田 均
平成20年 5月10日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	湿度制御によるアルミニウム合金の 水素 脆性評価における試験湿度と水素ガ	古河スカイ：一谷幸 司，小山克己 茨城大学：伊藤吾朗

		ス圧の相関	山口大学：大崎修平
平成20年 5月11日	軽金属学会第 114回春期大会 講演概要	水素容器ライナー用高強度6000系アルミニウム合金の組織と特性	日本軽金属：趙丕植，平山智将，土田孝之
平成20年 9月23日 研究発表	ICAA11 11 <sup>th</sup> International Conference On Aluminium Alloys	Effect of Humidity in Air on Fatigue Behavior of Al-Mg-Si alloys	Fumi Tanabe, Tesuichi Motegi, Motohiro Kanno, Hitoshi Yabuta
★平成20 年9月	Proceedings of the 11 <sup>th</sup> International Conference On Aluminium Alloys.	Effect of Humidity in Air on Fatigue Behavior of Al-Mg-Si alloys	Fumi Tanabe, Tesuichi Motegi, Motohiro Kanno, Hitoshi Yabuta
★平成20 年9月	軽金属、第58巻 第9号(2008) 456-461	6061 アルミニウム合金の湿潤空気中における疲労き裂進展特性	山口大学：大崎修平 (院) 原野 徹 藪田 均
平成20年 9月	日本機械学会	湿潤大気中での変形によるアルミニウム合金への水素侵入挙動	茨城大学：伊藤吾朗 荒井優一、永安明、伊藤伸英、藪田均
平成20年 9月	日本機械学会	6000系アルミニウム合金中の水素挙動に及ぼす引張変形の影響	茨城大学：伊藤吾朗 河金 慧、鈴木智弥 伊藤伸英、藪田 均
平成20年 9月22日	11 <sup>th</sup> International Conference on Aluminum Alloys	Slow strain rate tensile properties of Several kinds of aluminum alloys under Controlled experimental humidity	古河スカイ：一谷幸司，小山克己 山口大学：大崎修平 原野 徹
平成20年 9月22日	11 <sup>th</sup> International Conference on Aluminum Alloys	Effect of environmental hydrogen on impact tensile properties of 6061 and 7075 aluminum alloys	大阪大学：堀川敬太郎，(院) 山田浩之， (院) 谷垣健一，小林秀敏

平成20年 9月22日	11 <sup>th</sup> International Conference on Aluminum Alloys	Behavior of Hydrogen in Aluminum Alloy Affected by Alloy Composition and Deformation.	G. Itoh, T. Suzuki, T. Watakabe, N. Itoh,
平成20年 9月25日	11 <sup>th</sup> International Conference on Aluminum Alloys	Amount of Hydrogen in a 7075 Aluminum Alloy with Different Tempers.	G. Itoh, Y. Arai, S. Igarashi, N. Itoh , H. Yabuta
平成20年 11月15日	軽金属学会第 115回秋期大会 講演概要	低ひずみ速度引張変形による6000系アルミニウム合金への水素の侵入	茨城大学：伊藤吾朗，鈴木智弥，河金慧，伊藤伸英 日本アルミ協会： 藪田均
平成20年 11月16日	軽金属学会第 115回秋期大会 講演概要	湿潤雰囲気中での変形による6061および7075アルミニウム合金への水素侵入挙動	茨城大学：伊藤吾朗 荒井優一、永安明、 伊藤伸英
平成20年 11月16日	軽金属学会第 115回秋期大会 講演概要	高湿度空気中における中強度7000系アルミニウム合金の水素脆化特性	山口大学：大崎修平，(院)前田悦宏 (元学)森田到 神戸製鋼：中井学
平成20年 11月16日	軽金属学会第 115回秋期大会 講演概要	6061および7075アルミニウム合金の衝撃変形中の水素集積の可視化	大阪大学：堀川敬太郎 (院)山田浩之 (院)谷垣健一 渡辺圭子、小林秀敏
平成20年 11月16日	軽金属学会第 115回秋期大会 講演概要	アルミニウムでの水素マイクロプリント 検出に及ぼすイオンプレーティング条件の影響	茨城大学：伊藤吾朗 (院)鹿川隆廣 鈴木佑得、中津巖 伊藤伸英
平成20年 11月16日	軽金属学会第 115回秋期大会 講演概要	Al-Mg-Si系合金のノッチ付試験片を用いた低歪速度引張試験	千葉工業大学：茂木徹一、田辺郁、菅野基宏(院)青木翼、

平成21年 1月	Material Science and Engineering A499, P. 78-82	Effect of fabrication conditions and Cr, Zr contents on the grain structures of 6061 and 7075 aluminum alloys.	P. Z. Zhao, T. Tsuchida
★平成21 年3月	日本機械学会 論文集 A 編、第 75 巻 751 号 (2009), 366-372.	高圧水素ガス中におけるアルミニウム合金 7075 および 6061 の脆化特性	山口大学：大崎修平，(院) 前田悦宏，木下勝之，古河スカイ：一谷幸司，茨城大学：伊藤吾朗
平成21年 3月7日	日本機械学会関東支部第15期総会講演会講演論文集	水素マイクロプリント法によるアルミニウム中の水素の可視化——検出効率に及ぼす試料表面イオンプレATING処理の影響	茨城大：伊藤吾朗，(院) 鹿川隆廣
平成21年 3月7日	日本機械学会関東支部第15期総会講演会講演論文集	水素燃料電池自動車用アルミニウム合金	茨城大：伊藤吾朗
成21年4 月1日	Furukawa-Sky Review No. 5	湿度制御雰囲気中におけるアルミニウム合金の低ひずみ速度引張り変形特性	古河スカイ：一谷幸司，小山克己
平成21年 5月21日	軽金属学会第116回春期大会講演概要	イオンプレATINGしたアルミニウムからの水素放出挙動に及ぼす被膜組織の影響	茨城大：伊藤吾朗，(院) 鹿川隆廣，(学) 鈴木佑得，(院) 中津巖，伊藤伸英
平成21年 5月21日	軽金属学会第116回春期大会講演概要	高湿度空気中における 6061 および 7075 アルミニウム合金の疲労き裂進展特性に及ぼす周波数の影響	山口大学：大崎修平，(院) 前田悦宏，日本アルミ協会 藪田 均
平成21年 5月22日	軽金属学会第116回春期大会講演概要	環境水素の影響を受けた 6061 および 7075 アルミニウム合金からの水素放出挙動	大阪大学：山田浩之，松本武史，堀川啓太郎 小林秀敏
平成21年 5月22日	軽金属学会第116回春期大会	6000系アルミニウム合金の雰囲気湿度制御環境中での疲労特性に及ぼす	古河スカイ：一谷幸司，小山克己

	講演概要	添加元素の影響	
★平成 21 年 7 月	軽金属、第 59 巻 7 号 (2009)、 407-411.	アルミニウム材料の水素環境助長割 れの 破壊様相と感受性の制御	山口大学：大崎修 平
平成 21 年 8 月 25 日	2009 日本機械学 会茨城講演会	高 Si 組成の 6061 アルミニウム合金 の耐水素脆化特性	茨城大学：伊藤吾 朗，(学) 黒柳和弥， (院) 渡辺雅貴 日本軽金属：趙丕植
平成 21 年 8 月 25 日	2009 日本機械学 会茨城講演会	イオンプレーティング処理を施した 純アルミニウムの引張変形中の水素 の挙動解析	茨城大学：伊藤吾 朗，(学) 岩橋秀樹， (院) 鹿川隆廣，伊 藤伸英
平成 21 年 8 月 26 日	THERMEC' 2009 (6th International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials)	Behavior Of Hydrogen In Aluminum-Based Materials.	Goroh Itoh
平成 21 年 8 月 27 日	THERMEC' 2009 (6th International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials)	Analysis On The Behavior Of Hydrogen In Ion-plated Pure Aluminum By Means Of Thermal Desorption Spectroscopy.	T. Sikagawa, G. Itoh, Y. Suzuki, I. Nakatsu, N. Itoh
平成 21 年 11 月 15 日	軽金属学会第 117 回秋期大会 講演概要	高圧水素貯蔵用 6061 アルミニウム合 金の機械的特性に及ぼすひずみ速度 の影響	大阪大学：山田浩 之，渡辺剛史，堀川 啓太郎 渡辺剛史，小林秀敏
平成 21 年 11 月 15 日	軽金属学会第 117 回秋期大会 講演概要	高湿度空气中長時間暴露によるアル ミニウム合金の水素環境助長割れ特 性評価	山口大学：大崎修 平，(院) 前田悦宏， 日本アルミ協会

			藪田 均
平成21年 11月15日	軽金属学会第 117回秋期大会 講演概要	高湿度空気中におけるアルミニウム合金のSSRT試験応答に及ぼす温度の影響	山口大学：大崎修平，(院)中島優太郎， 古河スカイ：一谷幸司
平成21年 11月15日	軽金属学会第 117回秋期大会 講演概要	6061および7075アルミニウム合金の疲労変形，破壊時の水素放出挙動	大阪大学：山田浩之，渡辺剛史，堀川啓太郎 渡辺剛史，小林秀敏
平成21年 11月15日	軽金属学会第 117回秋期大会 講演概要	高Si組成の6061アルミニウム合金における耐水素脆化特性および水素挙動	茨城大学：伊藤吾朗 (院)渡邊雅貴 (学)黒柳和也 日本軽金属：趙丕植
★平成21年 11月	日本機械学会論文 集A編、第75 巻752号(2009)	環境水素の影響を受けた6061, 7075アルミニウム合金の衝撃引張特性	大阪大学：(院)山田浩之，堀川敬太郎，(院)谷垣健一， 小林秀敏
平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Research on Aluminum Alloys for High-pressure Hydrogen Container in Japan.	G. Itoh, H. Yabuta

平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Interpretation of Hydrogen Peaks in the Thermal Desorption Spectra of Pure Aluminum.	G. Itoh, T. Izumi
平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Effect of Si Content on the Resistance to Hydrogen Embrittlement in 6061 Aluminum Alloys.	G. Itoh, M. Watanabe, K. Kuroyanagi, P. Z. Zhao
平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Effect of humidity on the results of SSRT and Fatigue of an A6061 alloy.	Fumi Tanabe, Motohiro Kanno, Tetsuichi Motegi
平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Analysis on the Behavior of Hydrogen in Ion-plated Aluminum Foil by Means of Thermal Desorption Spectroscopy and Hydrogen Micro-print Technique.	G. Itoh, T. Sikagawa, Y. Suzuki, I. Nakatsu, N. Itoh

平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Technology in the VH3 Hydrogen Gas Cylinder for Fuel Cell Vehicles.	T. Takehana, G. Itoh
平成21年 12月12日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Microstructures and properties of high strength 6XXX series aluminum alloy sheets for hydrogen gas container liners.	P. Z. Zhao, T. Hirayama, T. Tsuchida, F. Tanabe, S. Osaki, G. Itoh
平成21年 12月13日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	The Fracture Features of Hydrogen Environmental Assisted Cracking of Aluminum Alloys and Control of Sensitivity to the Cracking	Koji Ichitani and Shuhei Osaki
平成21年 12月13日	International Symposium, “Processing and Fabrication of Advanced Materials XVIII”	Visualization of Hydrogen during Tensile or Fatigue Deformation of Aluminum Alloys	Keitaro Horikawa, Hiroyuki Yamada and Hidetoshi Kobayashi

★平成 22 年 1月	軽金属、第 60 巻 1号 (2010)	高湿度空気中における中強度 7000 系 アルミニウム合金の水素脆化特性	山口大学：大崎修平，(院) 前田悦宏， (学) 森田到，神鋼：中井学，日本アルミ協会：藪田均
平成 22年 3月	日本機械学会 中国四国支部 第 48 期講演論 文集	高湿度空気中の 7000 系アルミニウム 合金の疲労き裂進展特性	山口大学：大崎修平， (院) 前田悦宏，木下 勝之，日本アルミ： 藪田均

## (2) 特許等

番号	出願者	出願番号	国内 外国	出願日	状態	名称	発明者
1	古河スカイ(株)	特願 2007-189277	国内	2007.7.20	出願	貯蔵容器用合金	小山 克己 他
2	(株)神戸製鋼所	特願 2008-36755	国内	2008.2.19	出願	クラッド材	中井 学 他
3	古河スカイ(株)	特願 2008-69683	国内	2008.3.18	出願	容器用合金	小山 克己 他

## (3) 受賞実績

千葉大学（千葉市）西千葉キャンパスで千葉大学広橋光治教授実行委員長主催での軽金属学会第 113 回秋期大会で優秀ポスター賞を受賞。

題目 “6061 アルミニウム合金における水素の存在状態に及ぼす塑性加工の影響”

発表者 茨城大学大学院 鈴木智弥

共著者 茨城大学 伊藤吾朗，(学)渡壁尚仁，(院)泉 孝裕，伊藤伸英  
日本アルミニウム協会 藪田 均

愛媛大学（松山市）城北キャンパス共通教育棟で愛媛大学仲井清眞教授実行委員長主催での軽金属学会第 114 回春期大会で優秀ポスター賞を受賞。

題目 “Al-Zn-Mg 合金の低ひずみ速度引張特性に及ぼす試験雰囲気の影響：湿度制御大気と高圧水素ガス”

発表者 古河スカイ(株) 一谷幸司 小山 克己

共著者 茨城大学 伊藤吾朗

山口大学 大崎 修平

日本アルミニウム協会 藪田 均

工学院大学（新宿区）新宿キャンパス高層棟で工学院大学丹羽直毅教授実行委員長主催での軽金属学会第115回秋期大会で優秀ポスター賞を受賞。

題目 “低ひずみ速度引張変形による6000系アルミニウム合金への水素の侵入”

発表者 茨城大学大学院 鈴木智弥

共著者 茨城大学 伊藤吾朗, (学)河金 慧, 伊藤伸英

日本アルミニウム協会 藪田 均

東北大学（仙台市）片平キャンパス内さくら会館で東北大学新家光雄教授実行委員長主催での第18回PFAM国際会議（The 18th International symposium on Processing and Fabrication of Advanced Materials）でBEST POSTER AWARDを受賞。

題目 “Effect of Humidity on the Results of SSRT and Fatigue of an A6061 Alloy”

発表者 千葉工業大学 田辺 郁

共著者 千葉工業大学 菅野幹宏, 茂木徹一

東北大学（仙台市）片平キャンパス内さくら会館で東北大学新家光雄教授実行委員長主催での第18回PFAM国際会議（The 18th International symposium on Processing and Fabrication of Advanced Materials）でBEST POSTER AWARDを受賞。

題目 “Analysis on the Behavior of Hydrogen in Ion-plated Aluminum Foil by Means of Thermal Desorption Spectroscopy and Hydrogen Micro-print Technique.”

発表者 茨城大学大学院 鹿川隆廣

共著者 茨城大学 伊藤吾朗, (学)鈴木祐得, (院)中津 巖, 伊藤伸英

(4) 水素基礎物性の研究（実施体制：(財)エネルギー総合工学研究所、三菱重工業(株)）

① 水素の拡散・燃焼挙動の研究（実施担当：(財)エネルギー総合工学研究所）

a. 円筒状半閉鎖空間での水素の拡散・燃焼挙動の研究

ア. 実験設備

図 2.3(4)①a-1 に示すような鋼鉄製のダクト(2.4mΦx 74m)を使用して、トンネル内を模擬した水素燃焼実験を実施した。ポリエチレンシートを用いてダクト中央に一定濃度の水素空気混合気を保持し電気スパークで着火する場合（水素均一濃度実験）と、ポリエチレンシートは用いず、ダクト中央に設置したノズルから水素を放出し着火（水素放出実験）する 2 通りの実験を行った。

ダクト内の側面には、内壁と同じ高さになるように 14 個の圧力計を設置した。ダクト両端部の外側には合計 4 個の圧力計を設置している。このうち 2 つは地面と同じ高さに設置され、残りの 2 つは、地面から 0.75m の高さに設置されている。これらの圧力計は、混合気に着火した際の爆風圧とインパルス（力積）の計測に用いた。ダクトの天井部分には、時間応答の早い熱電対を設置し、混合気に着火した際の火炎伝播速度の計測に用いた。また、ダクトの外から可視および赤外カメラで記録を行なった。

水素放出実験の場合には、ダクト中央に床面から 0.15m の位置にノズルを設置し、音速で上向きに水素を放出した。ダクト内に一定速度の換気風を作り出すために、ダクトの端部にファンを設置した。風速の計測には、抵抗に供給する電力と風による冷却の熱バランスで風速を求める熱線式風速計を用いた。天井には、水素濃度計測用のサンプリングチューブを換気風の下流側に 10 箇所設置した。このガスサンプリングシステムは、3 つの真空引きされた容積 1 リットルのボトルとバルブから構成されており、指定した時刻にバルブが開き、サンプリングチューブ近傍のガスを収集するものである。実験後にボトルを回収し、水素濃度計で収集したガスの分析を行なった。

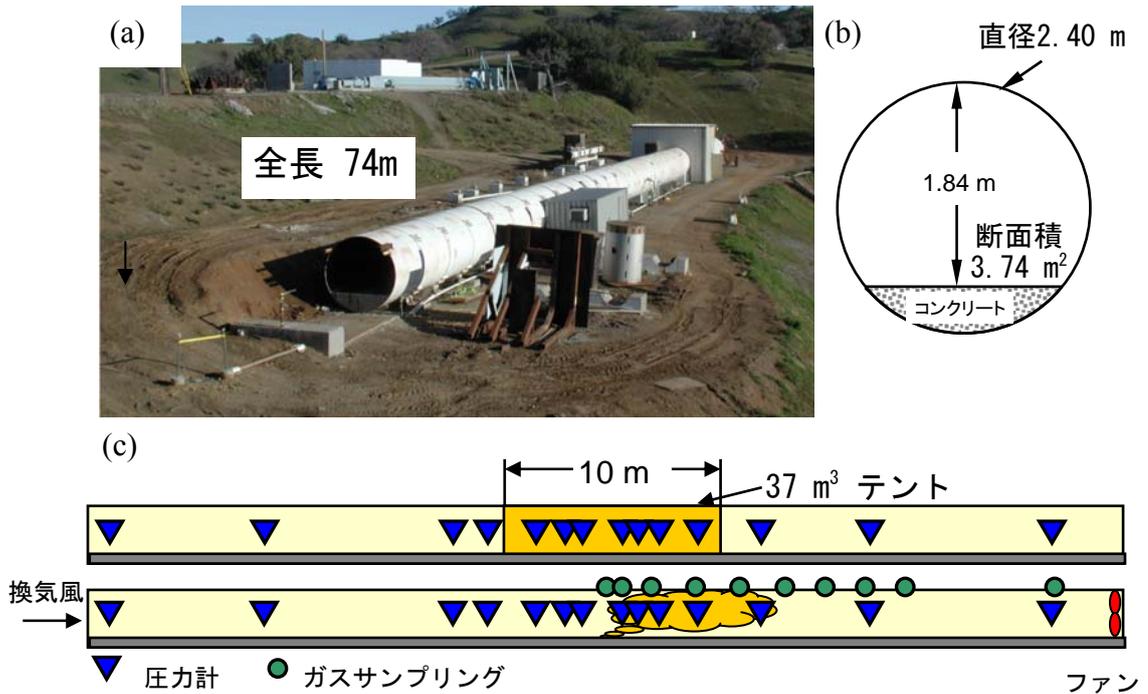


図 2.3(4)①a-1 鋼鉄製ダクト((a) 外観、(b) 断面図、(c) 計測器配置図)

#### イ. 水素均一濃度実験

これまでに実施したダクト内水素 30%、20%、9.5%均一濃度、混合気体積  $37 \text{ m}^3$  の爆燃を補足するため、15%水素濃度についても  $37 \text{ m}^3$  混合気をダクトに設置したテント内に保持して、電気スパークで点火、爆燃させた。ダクト内で観測された最大の爆風圧と火炎伝播速度を混合気の濃度で整理したものを表 2.3(4)①a-1 に示す。

また、ダクト内の最大爆風圧、インパルスの分布を図 2.3(4)①a-2 及び図 2.3(4)①a-3 に示す。30%、20%の水素濃度と同様に 15%水素の場合も、ダクト内での爆燃では開放空間より大きな圧力が発生した。9.5%水素の実験では、着火は確認されたが、爆風圧は圧力計の検出限界以下であった。図 2.3(4)①a-2 からわかるように、各濃度とも、ダクト内で混合気の外を圧力が伝播する過程で圧力の減衰はみられなかった。水素濃度が 30%の場合は 9.5%の場合の爆風圧より約 1 桁大きい値となり、水素濃度が発生する爆風圧に大きく影響していることがわかる。また、表 2.3(4)①a-1 に示すように混合気中での火炎伝播速度がダクト内では開放空間より高かった。

表 2.3(4)①a-1 ダクト内での水素漏洩の結果 (水素均一濃度)

	水素濃度(%)	9.5	15	20	30	(参考) 天然ガス 9.5%
トンネル内	ピーク過圧 (kPa)	0.3 以下	22	35	150	17
	火炎伝播速度 (m/s)		98		163	89
(参考) 開放空間	ピーク過圧 (kPa)	—	0.5	2.1	9	0.5 以下
	火炎伝播速度 (m/s)	—	5	29	42	7.5

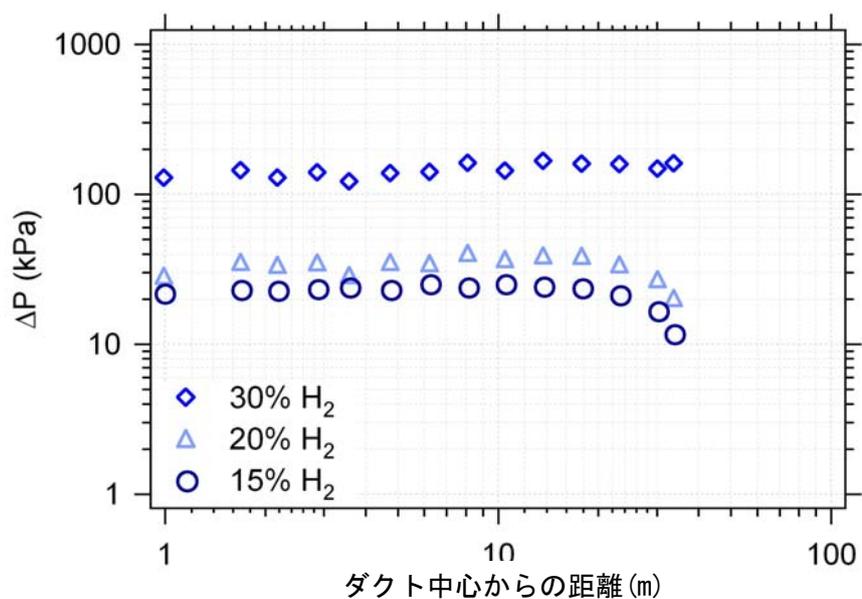


図 2.3(4)①a-2 ダクト内の最大爆風圧の分布 (水素濃度 30, 20, 15%)

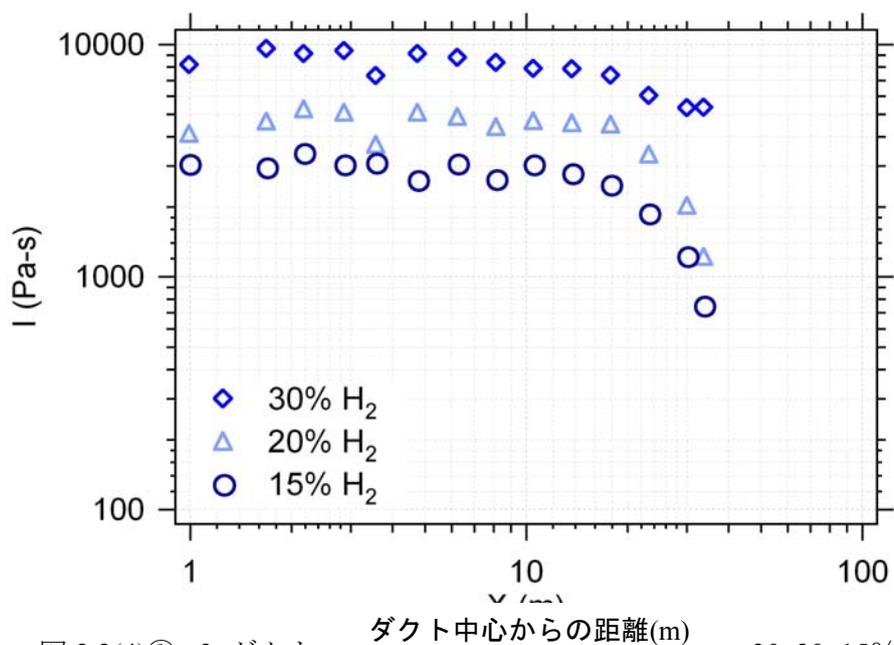


図 2.3(4)①a-3 ダクト内の最大爆風強度の分布 (水素濃度 30, 20, 15%)

ウ. 水素放出実験

この実験では、燃料電池自動車、燃料電池バス、輸送用容器 1 本、輸送容器 2 0 本からの漏えいを想定し、ダクトを 1/5 スケールのトンネルとして、濃度分布が実際の分布と相似となるよう、水素放出速度と換気速度を設定した。安全側に評価をするため、実際に想定される条件より、水素放出速度を大きめ、トンネル内風速を小さめに設定している。水素は音速で天井に向けて放出した。実験条件と結果を表 2.3(4)①a-2 に示す。いずれのケースでもトンネル内水素濃度は 10% 以下であり、

スパークで着火しないか、着火した場合でも最大過圧が $\sim 0.07\text{kPa}$  と十分に小さかった。トンネル内で水素が放出されても、空気と急速に混合希釈されるならば大きな被害は発生しないことが予想される。

この実験では、着火を抑制する、もしくは着火後の発生する爆風圧等を低減するために換気速度が水素濃度に与える影響を詳細に調べた。換気速度を変化させた場合のダクト内の水素濃度の分布を図 2.3(4)①a-4～図 2.3(4)①a-6 に示す。

図 2.3(4)①a-4 は、実験開始から 200 秒後の水素濃度分布であるが、換気速度の違いによる濃度の大きな差はない。一方、図 2.3(4)①a-5 に示すように、換気風速がない場合は下流側で水素濃度が 6 %程度に増えているが、換気速度が  $0.43\text{m/s}$  の場合には、水素を放出している中心近傍以外は、着火下限濃度の 4 %以下の値となっている。さらに図 2.3(4)①a-6 では、換気風速の効果はさらに顕著になり、換気風速のある場合は、中心部を除くダクト全域にわたって着火下限濃度以下となることがわかった。また、これら 3 種の実験では、換気速度が  $0\text{ m/s}$  のみ着火することが確認されており、十分な時間がたった後は、換気風が着火抑制に効果があることが示された。但し、図 2.3(4)①a-4 で得られた結果から、放出直後に水素濃度を低下させるには、さらに大きな換気風速が必要であると考えられる。

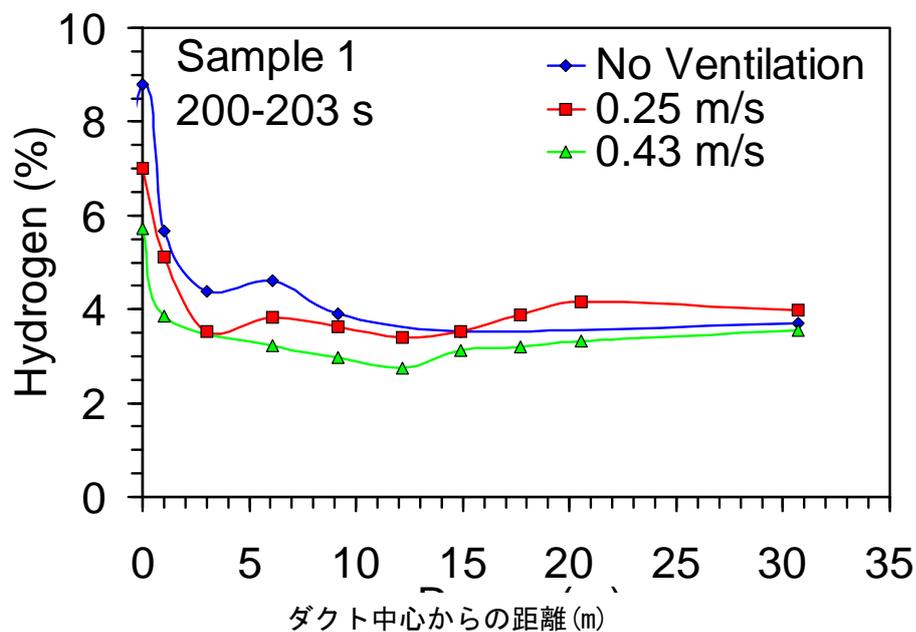


図 2.3(4)①a-4 換気速度を変化させた場合の水素の濃度分布  
(実験開始から 200 秒後、換気速度  $0, 0.25, 0.43\text{m/s}$ )

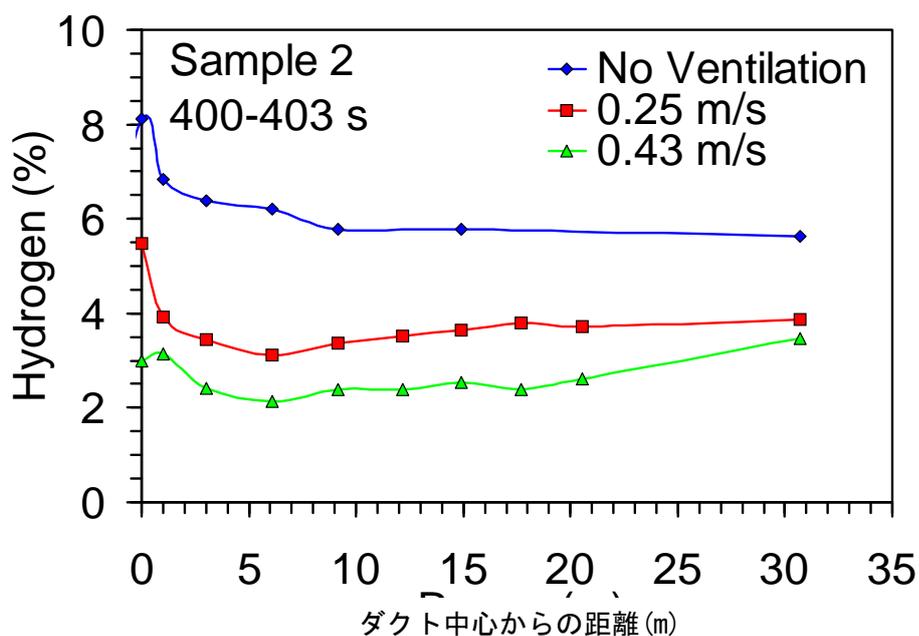


図 2.3(4)①a-5 換気速度を変化させた場合の水素の濃度分布  
(実験開始から 400 秒後、換気速度 0, 0.25, 0.43m/s)

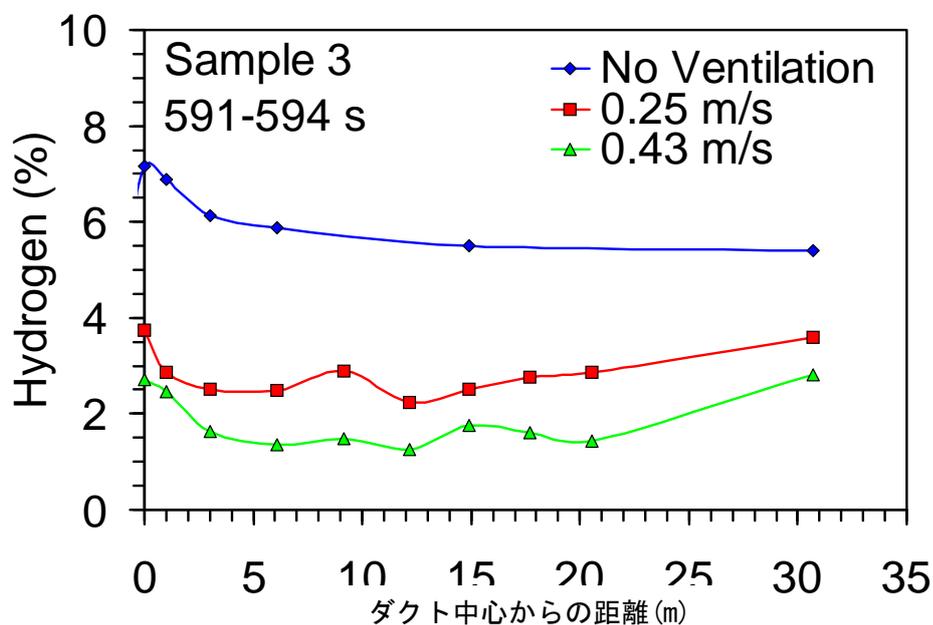


図 2.3(4)①a-6 換気速度を変化させた場合の水素の濃度分布  
(実験開始から 591 秒後、換気速度 0, 0.25, 0.43m/s)

表 2.3(4)①a-2 ダクト内水素放出実験 条件と最大ピーク過圧

車両 模型	H <sub>2</sub> 放出速度* <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> NTP/sec)	点火 時期* <sup>2)</sup> (sec)	換気速度 (m/sec)	実機の 漏えい 想定* <sup>3)</sup>	最大ピーク過圧 (kPa)	最大水素 濃度 (vol%) (計測時刻)
なし	(初) 0.085 (6.8 sec) 0.026	6.8	0	①	非着火	6.3 (3-5 sec)
なし	(初) 0.085 (34 sec) 0.026	34	0	②	非着火	9.5 (20-30 sec)
なし	(初) 0.049 (594sec) 0.015	594	0	④	0.07	8.8 (200-203 sec)
なし	(初) 0.085 (34 sec) 0.026	34	0.21	②	0.016	8.4 (10-13 sec)
なし	(初) 0.049 (594sec) 0.015	594	0.25	④	非着火	7.0 (200-203 sec)
なし	(初) 0.195 (6.9sec) 0.058	6.9	0.22	③	非着火	9.6 (1-3 sec)
なし	(初) 0.049 (594sec) 0.015	594	0.43	④	非着火	5.7 (200-203 sec)
バス 模型	(初) 0.049 (594sec) 0.015	594	0	④	着火 ΔP 検出限界以下* <sup>4)</sup>	9.5 (200-203 sec)
なし	(一定) 0.028	594	0.26	④	着火 ΔP 検出限界以下* <sup>4)</sup>	6.7 (400-403 sec)

\*1) 水素放出速度：放出に伴うタンク内圧低下を反映させて漸減

\*2) タンク内貯蔵水素量の70%放出時に着火することを想定

\*3) 実機の漏えい想定

① FCV, 35MPa/60m<sup>3</sup>NTP, 開口 5mmΦ, 水素漏えい量 42m<sup>3</sup>NTP/15.2sec

② FCBus, 35MPa/300m<sup>3</sup>NTP, 開口 5mmΦ, 水素漏えい量 210m<sup>3</sup>NTP/75.9sec

③ 20MPa/140m<sup>3</sup>NTP, 1本カートリッジ, 開口 10mmΦ, 水素漏えい量 98m<sup>3</sup>NTP/15.5sec

④ 20MPa/3,000m<sup>3</sup>NTP, 20本カートリッジ, 開口 5mmΦ, 水素漏えい量 2100m<sup>3</sup>NTP/1329sec

\*4) 圧力センサー検出限界：～0.02kPa

## b. 建屋内での水素の拡散・燃焼挙動の研究

### 7. 実験設備

この実験では、幅 3.7m、高さ 2.8m、奥行き 6.4m の閉鎖された空間内で水素を放出し、着火を試みた。図 2.3(4)①b-1 及び図 2.3(4)①b-2 に実験設備外観および内部を示す。設備は鋼鉄の I ビームで骨組みを作り、その内部に鋼板を溶接して作成されている。鋼板の継ぎ目からガスが漏れることがないように鋼板の継ぎ目には樹脂を埋め込んで、気密を保つようにした。

天井部分に 1 放電あたりのエネルギーが 15mJ の電気スパークを設置し、混合気への着火を試みた。実験設備の内部 4 箇所には圧力計を設置し、着火した際の爆風圧を計測した。また、実験設備の外部には、開口部側の地面と同じ高さに圧力計を設置している。天井には、火炎伝播速度を計測するための熱電対を設置した。実験時には設備の前面はポリエチレンのシートで覆い、実験設備の外部から可視・赤外カ

メラを用いて内部を計測できるようにした。赤外カメラで火炎を計測した場合には、このデータから垂直方向の火炎伝播速度を見積もった。前節のダクト実験で使用したガスサンプリングシステムを用い、実験中の天井付近の水素濃度を測定した。

車庫を模擬した実験では、水素は自動車の給油口近傍から漏えいすると想定した。水素は音速で上向きに放出され、水素の流量は、音速ノズルと上流側の圧力で制御している。

強制換気の効果調べる実験では、水素は床面中央から音速で上向きに放出した。換気は、防爆のファンを使って行い、換気ダクト内の風速の径方向分布を測定し、分布が対称であると仮定して、換気風速を算出した。



図 2.3(4)①b-1 実験設備外観

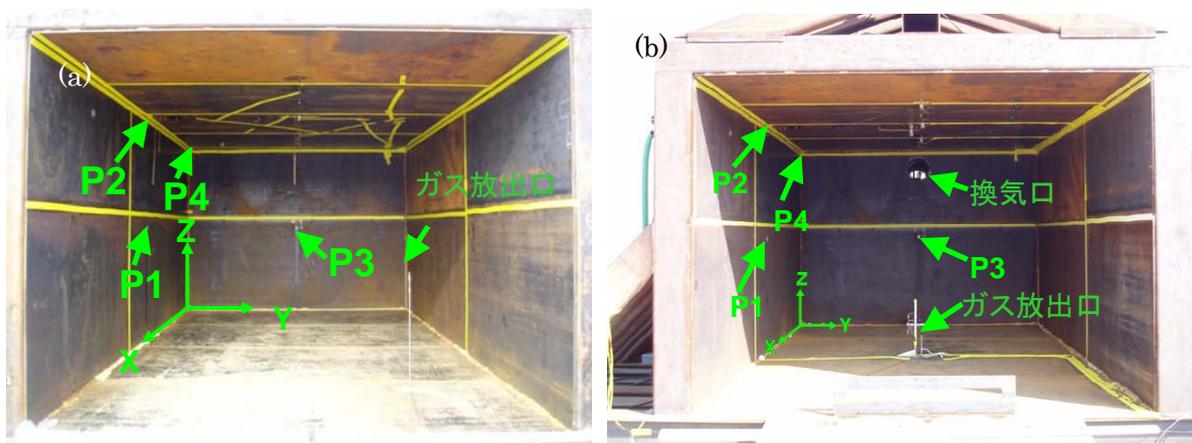


図 2.3(4)①b-2 実験設備内部

- (a) (左側) 自然換気実験: P1~P4 は圧力計、ガス放出口は、車庫を模擬した実験の場合の水素ガス放出口である。
- (b) (右側) 強制換気実験: 圧力計の位置は自然換気実験と同じである。水素ガス放出口は、床面中央である。後部壁上部に排気口を設置した。

#### 4. 自然換気の場合

前面のポリエチレンシートの上下にあけられた2箇所の換気口 (0.11m<sup>2</sup>) からの

自然換気のみで水素を放出し、天井付近の水素濃度を計測するとともに電気スパークで点火を試みた。障害物は、乗用車（フォードエクスペローラー）である。

水素を流速 6.1 リットル/秒で放出したとき最高水素濃度は約 7%で、着火はしたが発生圧力は検出限界以下であった。車庫内に障害物を収納し 38 リットル/秒で水素を放出すると、最高水素濃度は約 24%と障害物の効果はなかったが、この爆燃で場所により最大約 30 kPa のピーク過圧が観測された。表 2.3(4)①b-1 に実験条件と結果を示す。

表 2.3(4)①b-1 建屋内水素放出実験 条件と結果（自然換気）

車両模型	水素流量 (m <sup>3</sup> N/分)	点火時間 (分)	最大過圧 (kPa)	最大水素 濃度(vol%)
なし	0.038	20	7.0	23.0
有り	0.0061	30	<0.02	7.6
有り	0.0061	20	<0.02	N/A
有り	0.038	20	30	24.1

#### ウ. 強制換気の場合

ダクトによって強制的に給排気される半閉鎖空間において、水素流量、換気量をパラメータとした水素の拡散挙動、および燃焼挙動の把握を目的に実験を行なった。この実験では、障害物は使用していない。0.1、0.2、0.4m<sup>3</sup>/s の換気量、および 0.002、0.005、0.01、0.015m<sup>3</sup>/s で水素を放出し、天井付近の水素濃度を計測するとともに天井に設置した電気スパークで点火を試みた。

図 2.3(4)①b-3 に水素流量 0.002 m<sup>3</sup>/s、換気量 0.2 m<sup>3</sup>/s の場合の天井付近の水素濃度の時間変化を示す。この実験では、水素濃度の時間変化を詳細に調べるため、2 分毎にガス分析を行なった。水素濃度は、放出開始から数分で約 1.5%に達し、30~40 分まで漸増し、その後の濃度上昇は見られなかった。この結果に基づき、これ以後の実験における水素放出時間は 40 分と設定した。

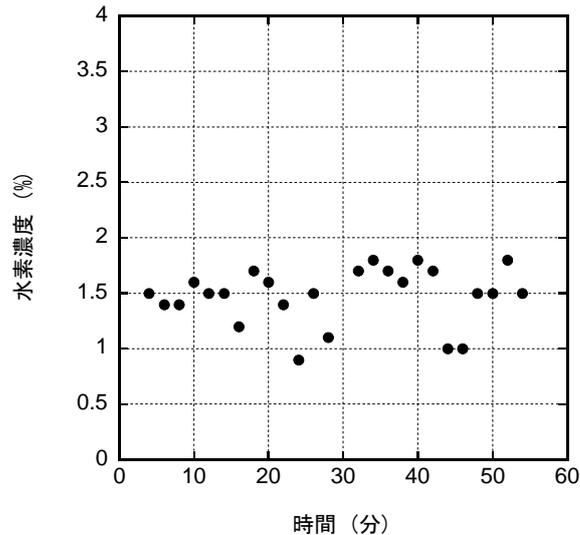


図 2.3(4)①b-3 実験設備天井付近の水素濃度の時間変化  
(水素流量  $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 、換気量  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ )

最大の水素濃度および爆風圧のまとめを表 2.3(4)①b-2 及び表 2.3(4)①b-3 に示す。表 2.3(4)①b-2 より換気量が等しい場合には、水素濃度は、水素流量とともに増加し、水素流量が等しい場合には、換気量の増加とともに減少する傾向であることがわかる。表 2.3(4)①b-3 に示すように、過圧が測定されたのは、水素流量が  $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$  の場合のみであり、その他は水素流量が小さくなるか、換気量が大きくなるとともに、着火した場合でも発生過圧が測定下限以下か、着火しなくなることがわかった。

ここで、水素放出量( $q$ )と換気量( $Q$ )の比を無次元化漏えい量( $q/Q$ )と定義する。最大の水素濃度を無次元化漏えい量で整理したものを図 2.3(4)①b-4 に示す。ばらつきはあるものの、様々な換気量と水素漏えい量の組み合わせにおいて、無次元化漏えい量と実験設備天井付近の最大水素濃度がほぼ比例していることがわかった。したがって想定される漏えい量が与えられれば、必要な換気風量を見積もることができる見通しを得た。但し、これは十分に時間が経過した後の濃度であるので、漏えい直後などの過渡的な状態の濃度分布を知るには、CFD (数値流体力学) などのシミュレーション技術を利用した評価が必要である。

図 2.3(4)①b-5 に無次元化漏えい量で整理した最大の爆風圧の関係を示す。ここで混合気に着火しなかったものについては  $0 \text{ kPa}$  とし、計測に用いた圧力計の測定下限が  $0.02 \text{ kPa}$  であるため、熱電対で着火が確認されたが、有意な爆風圧が計測できないものを  $0.02 \text{ kPa}$  としてプロットした。図 2.3(4)①b-5 に示すように、今回の実験条件では、無次元化漏えい量が  $0.03$  近傍で着火・非着火が分かれることがわかった。

以上の結果から、閉鎖空間において水素漏えいが発生したとしても、無次元化漏えい量から見積もられる換気量を確保することで、濃度を低く抑えることができ、着火した場合においても、発生する過圧を小さくできるといえる。

表 2.3(4)①b-2 最大濃度データまとめ

水素濃度(%) (最大値)		水素流量			
		0.002 m <sup>3</sup> /s	0.005 m <sup>3</sup> /s	0.01 m <sup>3</sup> /s	0.015 m <sup>3</sup> /s
換気量	0.1 m <sup>3</sup> /s	/	5.2	8.6	13.1
	0.2 m <sup>3</sup> /s	1.8	3.6	7.2	8.6
	0.4 m <sup>3</sup> /s	/	4.0	7.2	7.3

表 2.3(4)①b-3 最大過圧データまとめ (着火源：天井)

爆風圧(kPa) (最大値)		水素流量			
		0.002 m <sup>3</sup> /s	0.005 m <sup>3</sup> /s	0.01 m <sup>3</sup> /s	0.015 m <sup>3</sup> /s
換気量	0.1 m <sup>3</sup> /s	/	測定下限*以下	測定下限*以下	0.053
	0.2 m <sup>3</sup> /s	着火せず	着火せず	測定下限*以下	0.041
	0.4 m <sup>3</sup> /s	/	着火せず	測定下限*以下	測定下限*以下

\*測定下限：0.02kPa

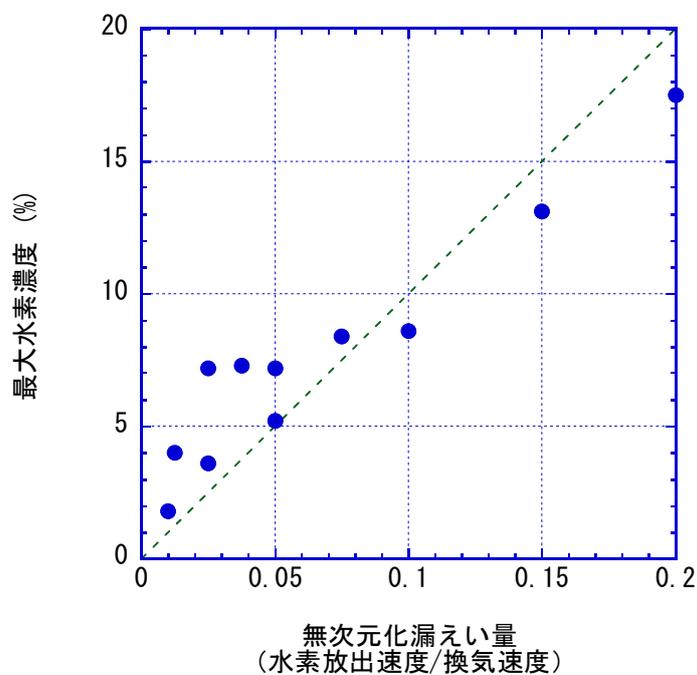


図 2.3(4)①b-4 無次元化漏えい量と天井付近の最大水素濃度の関係

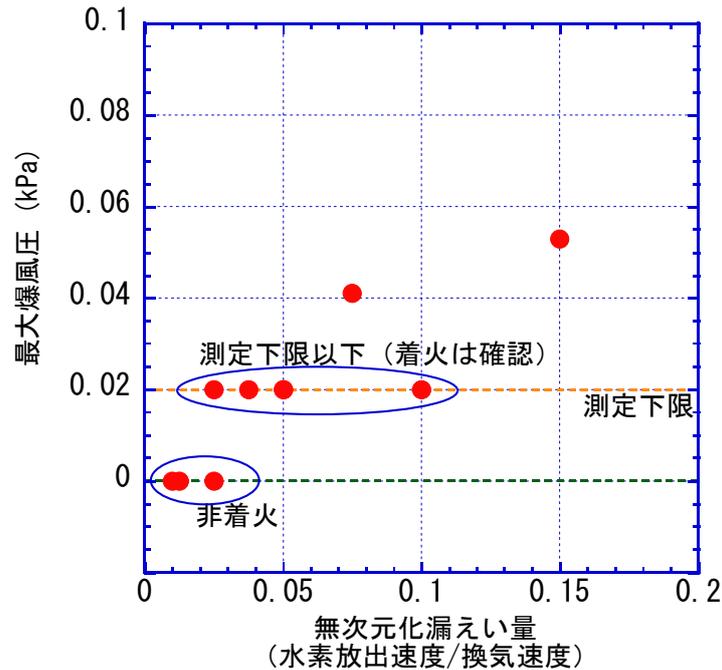


図 2.3(4)①b-5 無次元化漏えい量と爆風圧の関係

c. 着火メカニズムの解明

本研究所は、米国 S R I インターナショナルの実験場で一定量の水素ガスを大気中に放出した後、電気スパークによって着火し、燃焼挙動や火炎によって発生する爆風圧や熱流束の計測を計画していた。しかし、図 2.3(4)①c-1 に示すように、放出開始後約 0.36 秒後に高さ 5m 付近で自己着火するという結果となった。着火源については、原因を断定することはできなかった。そこで、主に文献や専門家への聞き取り調査にて着火源の検討を行い、着火条件について考察を行なった。

混合気に着火するには、着火源が必要であるが、火炎を除く一般的な着火源としては、以下が考えられる。

- (a) 触媒燃焼もしくは、ガス放出の際にパイプ内面から剥離したダスト同士、ガス分子同士の衝突による発熱
- (b) 断熱膨張によって生成された水滴・氷滴の帯電による静電気放電
- (c) 空気中のダストの帯電による静電気放電

ここで、(a)については、大気中に反応を促進する触媒が存在しないこと、実験を行う前に、配管中のダストを取り除くフリーブローを行なっていること、ガス分子の質量が小さいことから、ガス分子同士およびガスと実験装置との接触・摩擦によっても発熱体が生成された可能性は極めて小さいと推測される。(b)については、水素は実験を行った温度では、ジュールトムソン係数は負であり、断熱膨張の際には、わずかではあるが発熱するため、水滴が生成されたとは考えにくい。これらのことから、(a)および(b)の因子は、着火源になった確率が極めて小さい。しかし、実験場は砂漠地帯にあり、ガスが放

出された空間には、塵埃のような浮遊微粒子、パイプおよびノズルから剥離されたダスト、あるいは雨天では水蒸気・雨滴(以下、これらを総称してダストという)が存在していた可能性は否定できない。

このような背景から、ガスの放出空間にダストが存在していたと仮定すれば、放出されたガスのエネルギーが大きいために、ダストの衝突、摩擦、分裂・破壊等が引き起こされて帯電し、それらの集合体が帯電雲を形成、これからの放電が着火源になった可能性が考えられる。

以上のことから、着火が帯電雲と設置された金属との間で放電がおき、着火源になったと仮定して解析を進めた。着火に必要な電場から、空間電荷密度、ダストの濃度を見積もったところ、直径 20cm の帯電雲によって水素が着火する可能性があることが示唆された。これらのことから、ダストによる静電気雲と接地金属物体との間の放電が着火原因である可能性が高いと推測される。これは、SRI の実験において、着火位置が、ガスサンプリングチューブ(銅製、接地されている)の位置とほぼ同じ高さであることと一致している。

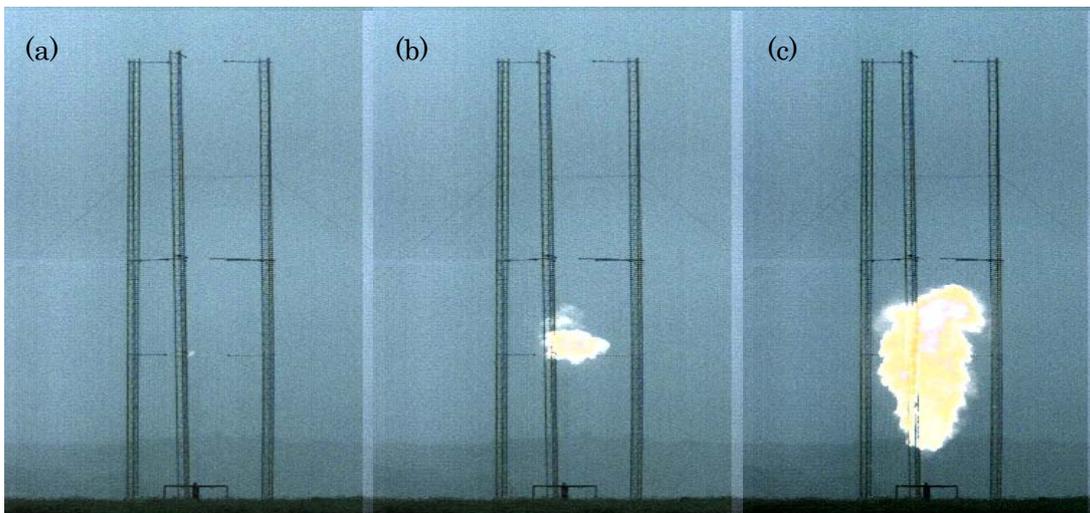


図 2.3(4)①c-1 大量水素放出実験の自然着火 (a) 水素ガス放出開始後 361ms, (b)380ms, (c)414ms

#### d. 水素有効利用ガイドブックの作成

既に述べたように現在、産学官を挙げて水素関連技術の研究開発が行なわれている。これまで、水素は特定の分野(石油精製や化学工業など)において用いられており、その取り扱い方法については長年の経験が蓄積されている。一方、定置用燃料電池、水素ステーションや燃料電池自動車に関連する分野において、新たに水素を取り扱う関係者が増加し、今後の水素社会への移行へ向けて、その数はますます増えるものと考えられる。平成 14 年度には「水素の物性と安全ガイドブック」がまとめられているが、平成 17 年度に行われた規制再点検の反映や昨今の技術開発から明らかになった水素の基礎物性ならびに水素関連設備の取り扱いに関する安全技術の情報データを含めた「水素の有効利用ガイドブック」を編集・作成することとした。このガイド

ブックの目的は、水素の安全に関する技術情報をまとめ、提供することで、技術開発や規制再点検、国際標準の提案に関する研究活動を行なっている水素を取り扱い関係者の安全を確保し、水素が有効に利用されることに貢献することである。

学識経験者や業界団体からなるガイドブック収録内容検討委員会を設置し、本ガイドブックの位置付け、全体構成等についての助言を受けた。またワーキンググループを設置し、執筆者選定、ページレイアウトの策定、編集手続き等の具体的作業にかかわる議論を行なった。

本書の主たる利用者を、装置の取扱者・施工者（プラント・水素ステーションの従業員）、大学・企業の研究者（材料開発など）、企業・研究所の技術開発担当者（燃料電池自動車・水素スタンドの設計者）、政府の政策担当者と想定した。

想定される利用場面としては、作業や実験を行なう際の留意事項の確認だけではなく、開発を行なう際の基礎データ参照、水素の取り扱いに関する講習会での教材としての利用も想定し、収録内容を検討、決定した。委員会、ワーキンググループでの議論に基づき、本年度決定された目次の概要を、表 2.3(4)①d-1 に示す。ガイドブックは、本編と付録からなり、本編では、水素の安全に係わる内容を中心に収録し、付録には、主として専門家向けのデータを収録した。

本ガイドブックは平成 20 年 3 月に発行され、産業界をはじめ水素を取り扱う業界を中心に配布され、また、PDF 版を NEDO ホームページ上で公開している。

表 2.3(4)①d-1 水素の有効利用ガイドブック概要

目次		主な収録内容
第1章	はじめに	本書の目的、利用方法
第2章	水素の基本特性	物理化学的性質、データシート
第3章	水素技術関連材料について	金属・非金属材料、水素脆性
第4章	水素の安全な取り扱い	安全について、教育訓練
第5章	取り扱い上の留意点	法令に基づく必要な届出、日常点検
第6章	水素取り扱い設備・装置・操作における技術	製造・輸送・貯蔵・供給・利用に関する技術
第7章	水素に係る技術確立のためのわが国の取り組み	NEDO 事業と個々のプロジェクト概要
第8章	水素に係る規制	国内規制と国際標準・基準への展開
第9章	トラブル・事故から学ぶ	事例から得られる教訓
付録 A	海外における水素安全技術確立のための取り組み	米国、EUの動き
付録 B	水素基礎物性計測に係る要素技術	ガス検知器、材料試験
付録 C	水素基礎物性に係わる実験データ・解析結果	水素の圧縮・液化、着火・爆燃・爆ごう
付録 D	水素に係わる安全解析・評価技術	FCV、定置用燃料電池、水素ステーションの安全に関する評価技術

## ② 水素基礎物性の取得と予測研究（実施担当：三菱重工業(株)）

### a. トンネル換気模擬ガス模型実験

#### ア. 実験目的と概要

トンネル内事故により水素ガスが漏えいした場合の安全性を確保するためには、拡散を促進させ濃度程度まで下げる必要がある。そこで、漏えい量やトンネル換気条件の違いがトンネル内水素ガス拡散にどのような影響を与えるかを、模擬ガスを用いた模型実験により把握した。

#### イ. 模型実験

##### (a) 実験方法概要

換気機能がついたトンネルを模擬した模型内に、漏えい水素を模擬したガス（ヘリウム+メタン）を放出し、定常状態になった時点での濃度を計測し、水素濃度に換算した。これにより、トンネル内の水素濃度分布を把握した。

また、別途、可視化実験（模擬ガスに白煙を混入させ放出）を実施し、内部の流動の状況を定性的に把握した。

なお、相似則については、漏えい模擬ガスの浮力を再現できるように、排気フルード数を一致させた。（排ガスの浮力と、換気流の慣性力の比を模型と実機で一致させた。）

##### (b) 実験装置

モデルとしたトンネルは、別途実施した前述の野外実験の形状である。このトンネルの形状を図 2.3(4)②a-1 に示す。このトンネルの縮尺模型を縮尺 1/30 で作成し、実験に用いた。なお、模型は可視化実験に対応できるようにアクリルにて製作した（図 2.3(4)②a-2 参照）。模擬ガスは浮力を模擬するためにヘリウムをベースにし、その中に濃度を計測するためのトレーサガスとしてメタンを少量混入した。模擬ガスは、トンネル模型床面の中央に設けられたエリアより、面源として放出させた。なお、面源の大きさや放出時間は仮想的な放出形態に基づいて、以下のように設定した。

##### (ア) 非定常漏えい（仮想対象車両：FCV、完成車両搭載車、FCBus）

所定体積分を、所定の時間内で一定量放出する。（流量は一定）

面源の大きさは以下のとおり

- ・ FCV : L4.7m×W1.8m（模型 L157mm×W60mm）
- ・ 完成車両搭載車 : L12m×W2.5m（模型 L400mm×W83mm）
- ・ FCBus : L10.5m×W2.5m（模型 L350mm×W83mm）

##### (イ) 定常漏えい（仮想対象車両：水素ローリー）

所定流量にて、連続的に放出する。面源の大きさは以下のとおり

- ・ 水素ローリー車 : L12m×W2.5m（模型 L400mm×W83mm）

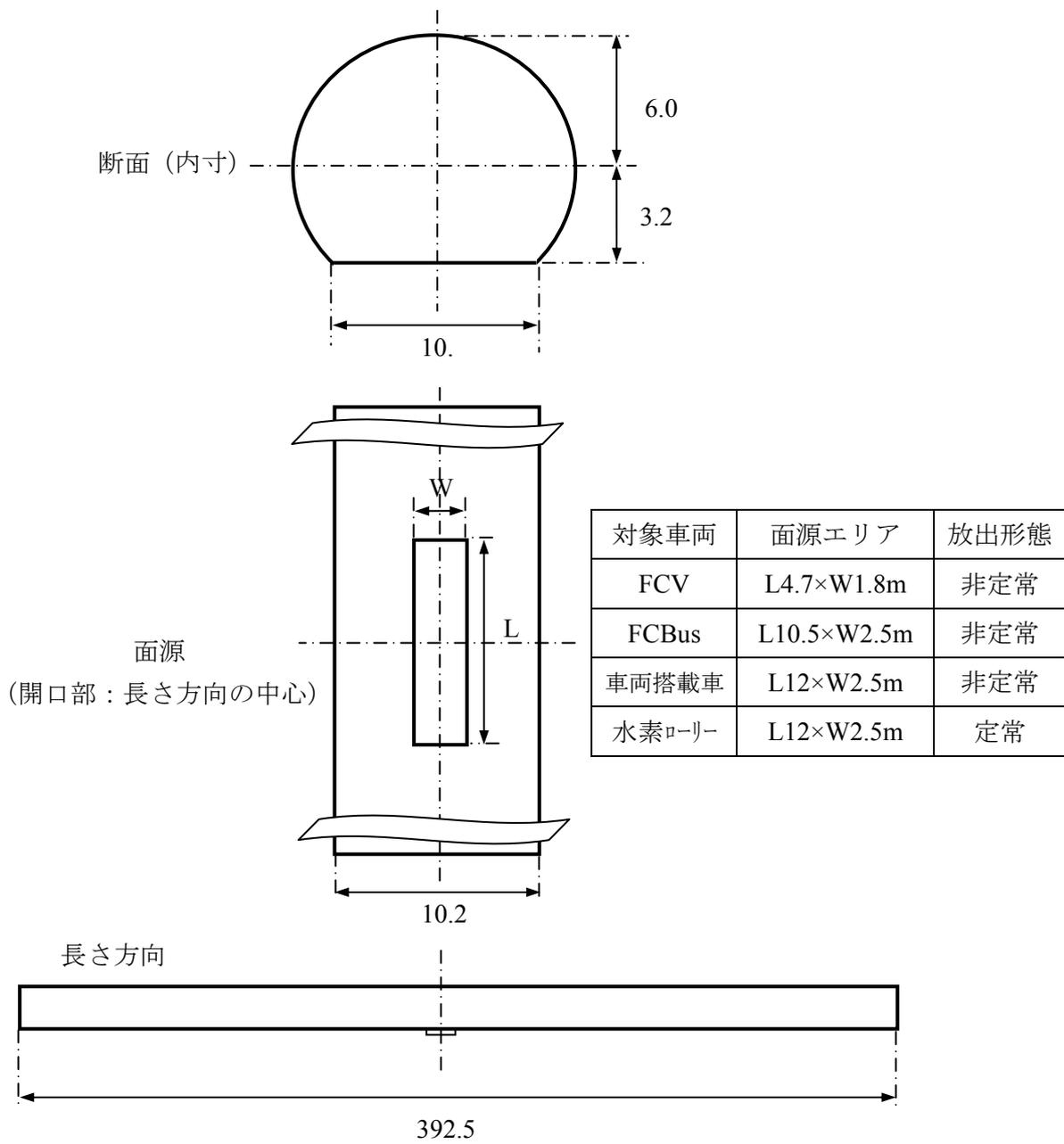


図 2.3(4)②a-1 トンネル形状(実機相当, 単位: m)

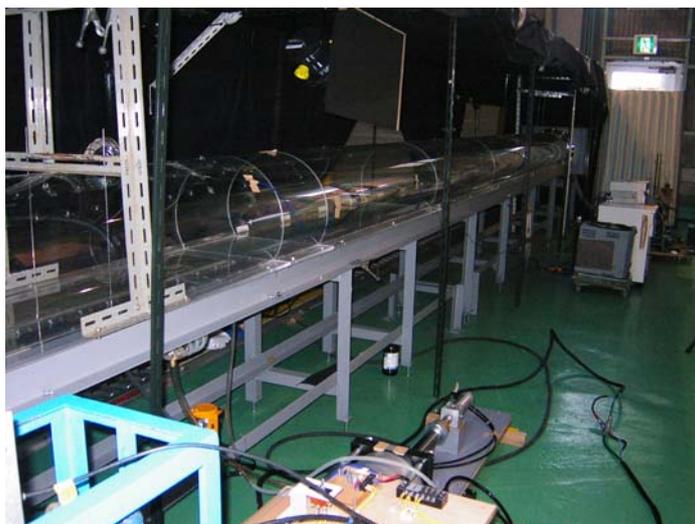


図 2.3(4)②a-2 トンネル模型の外観

トンネル内の換気風速は、トンネル中心位置で所定の換気風速が再現できるように、トンネル端に設置したブローによって調整した。

トレーサーガスの濃度測定は、高応答性の炭化水素濃度分析計 HFR400（非定常放出時）及びガスクロマトグラフ装置（定常放出時）を用いて実施した。計測箇所はトンネルの長さ方向に 10 箇所程度、高さ方向に 5 点程度設けた。

(c) 実験条件

想定した仮想漏えい対象ごとの実験条件を表 2.3(4)②a-1 に示す。

表 2.3(4)②a-1 トンネル換気模型実験条件

仮想漏えい源	漏えい量	放出時間	換気風速	漏洩面積 (長さ×幅)	漏えい 形態	備考
	Vp(m <sup>3</sup> )	Tp(sec)	Up(m/s)	(m)		
FCV	60	60	0.0	4.7×1.8	非定常 放出	漏えい量 Vp を放 出時間の間、一定 流量で放出
	60	60	2.0			
車両搭載車	200	60	0.0	12×2.5		
	200	60	1.0			
	200	60	2.0			
FCBUS	300	76	0.5	10.5×2.5		
ローリー車	3000	—	0.6	12×2.5		

(d) 実験結果

漏えい量  $60\text{m}^3\text{N}$  相当の場合について、換気風速有無による濃度分布の差異をとりまとめた。結果を濃度コンター図 2.3(4)②a-3 (トンネルの中心位置[Y=0]における鉛直断面濃度コンター図) に示す。なお、ガスの放出が非定常であるため、濃度は、各計測点が経験した最大濃度と、実機相当での各時刻の瞬時濃度について記載している。図中、風向は右向きである。

各計測点が経験した最大濃度値のコンター図を見ると、換気風速無しの場合には、4%以上の濃度領域が、長さ方向は  $X=150\text{m}$  程度まで到達し、面源付近を除くと、床面から約  $6\text{m}$  以上の高さに存在することがわかる。一方、換気風速  $2\text{m/s}$  時は 4%以上の濃度領域は、長さ方向に  $X=15\text{m}$  程度となり、換気風速無し時に比べると  $1/10$  程度短くなる。

また、各時刻の濃度コンター図で比較すると、換気風速無しの場合には漏えい開始から  $180\text{sec}$  経過して濃度が全領域でほぼ 4%以下になるのに対して、換気風速  $2\text{m/s}$  時は  $90\text{sec}$  が経過した時点で、濃度が 4%以下になっている。このように、漏えい量が車 1 台相当 ( $60\text{m}^3\text{N}$ ) の場合、換気風速を  $2\text{m/s}$  程度にすることにより、無風時よりも大幅に可燃濃度域を減少できることを確認することができた。

面源中心付近での排煙可視化状況を図 2.3(4)②a-4 に示す。写真は、漏えい開始から約  $50\text{sec}$  後の瞬間の画像であるが、換気風速が  $2\text{m/s}$  になると、排煙は大きく倒されている状況が分かる

同様に、漏えい量  $200\text{m}^3\text{N}$  の場合の結果を図 2.3(4)②a-5 及び図 2.3(4)②a-6 に示す。最大濃度値のコンターを見ると、換気無しの場合及び換気風速  $1\text{m/s}$  の場合は、4%以上の濃度領域は、長さ方向は  $X=190\text{m}$  程度まで到達している。換気風速  $2\text{m/s}$  になると、4%以上の濃度領域は、長さ方向は  $X=190\text{m}$  程度まで到達し、換気風速 0 の場合と大差ないが、4%以上の領域の大きさ(厚さ)は、換気風速 0 に比べて小さくなっている。また、換気風速  $1.0\text{m/s}$  と比較した場合、4%以上の濃度領域は大差ないが、6%以上の濃度領域は、換気風速  $2.0\text{m/s}$  の方が大幅に小さくなっている。このように、漏えい量が車両搭載車 1 台相当 ( $200\text{m}^3\text{N}$ ) の場合、換気風速を  $2\text{m/s}$  程度にすることにより、無風時よりも可燃濃度域を減少できることを確認することができた。

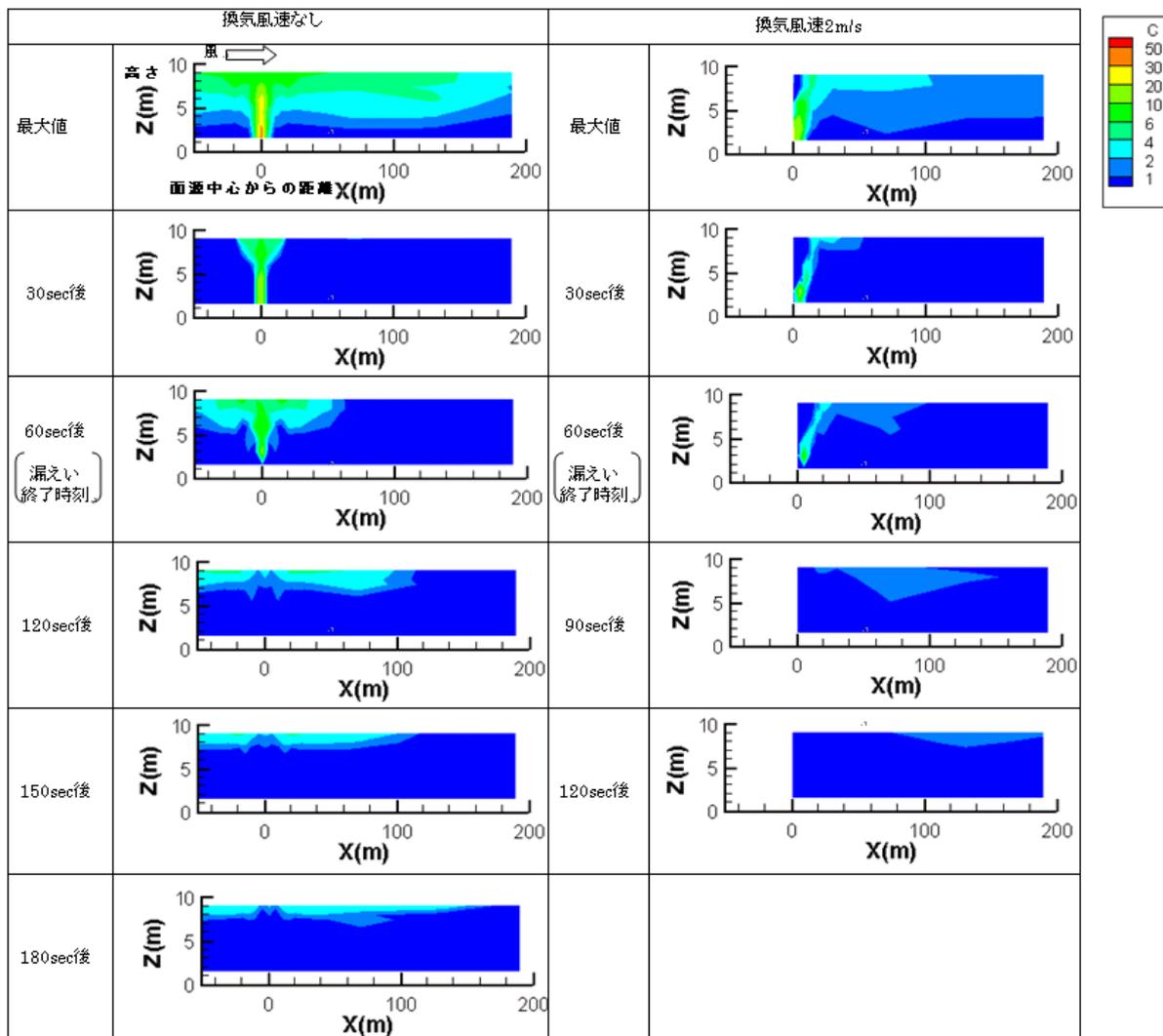


図 2.3(4)②a-3 鉛直断面濃度コンター図 (60m<sup>3</sup>N漏えい時)

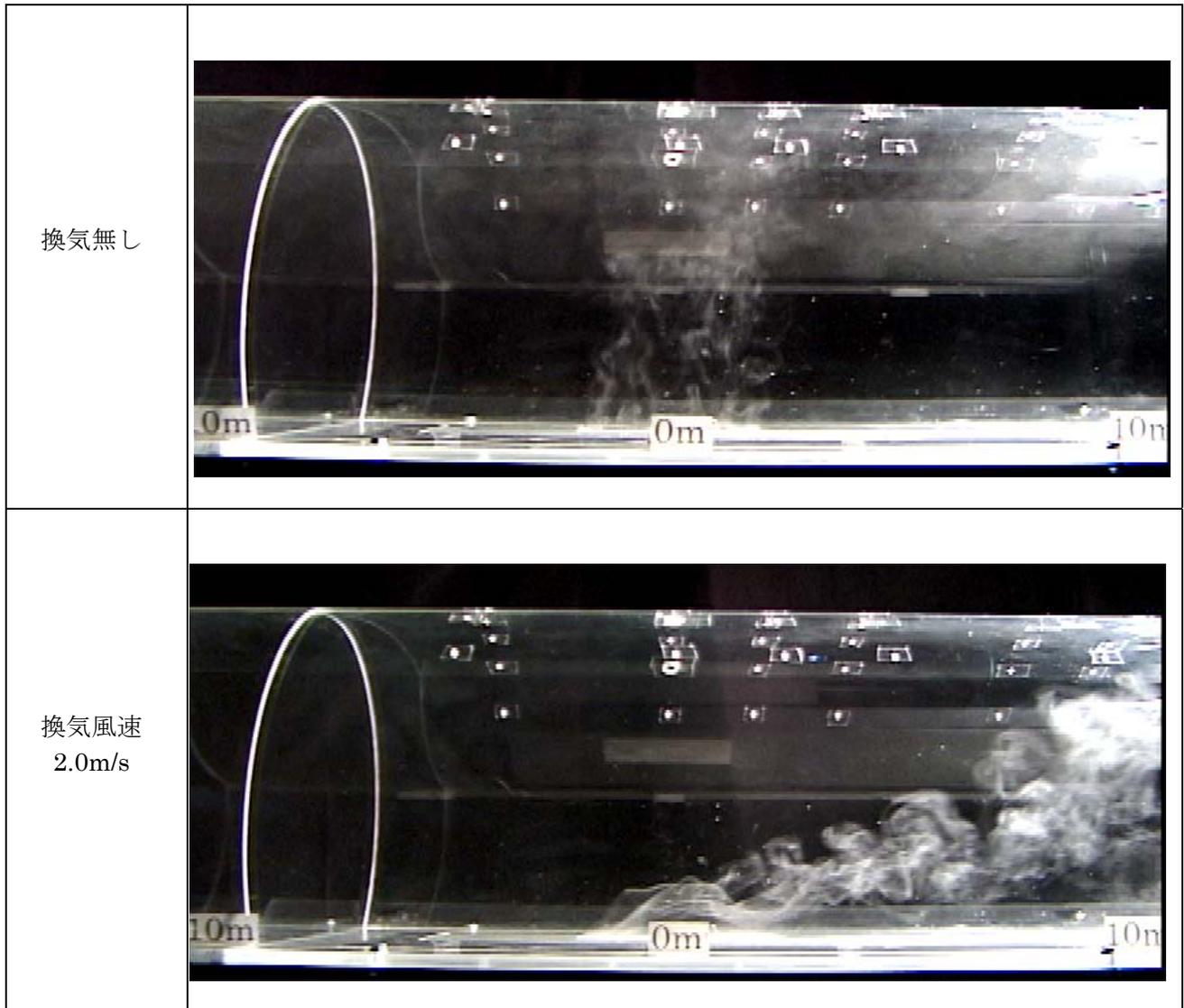


図 2.3(4)②a-4 漏えい源付近の排煙可視化状況  
(漏えい量  $60\text{m}^3\text{N}$ 、漏えい開始から約 50sec 後)

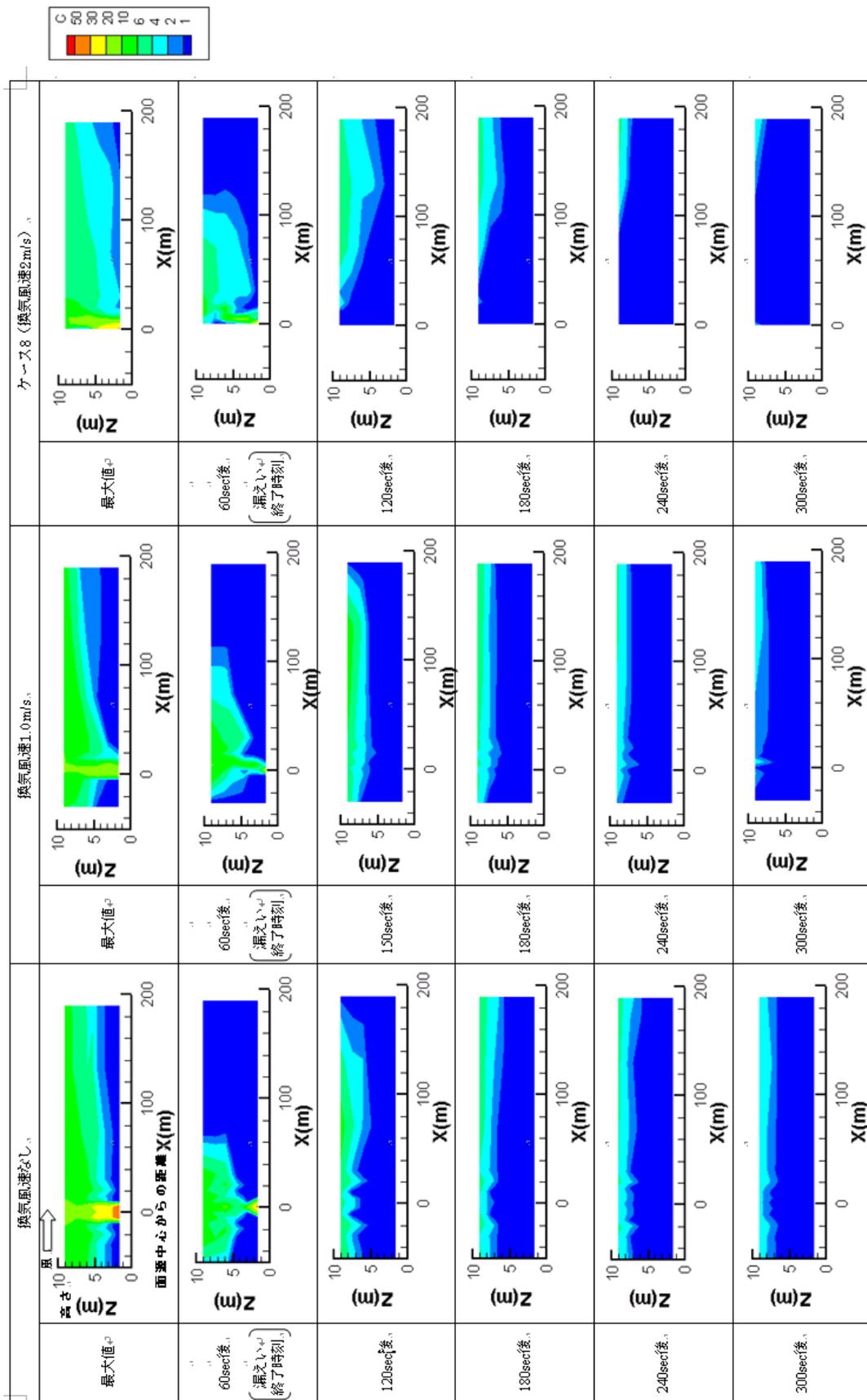


図 2.3(4)②a-5 鉛直断面濃度コンター (200m<sup>3</sup>N漏えい時)

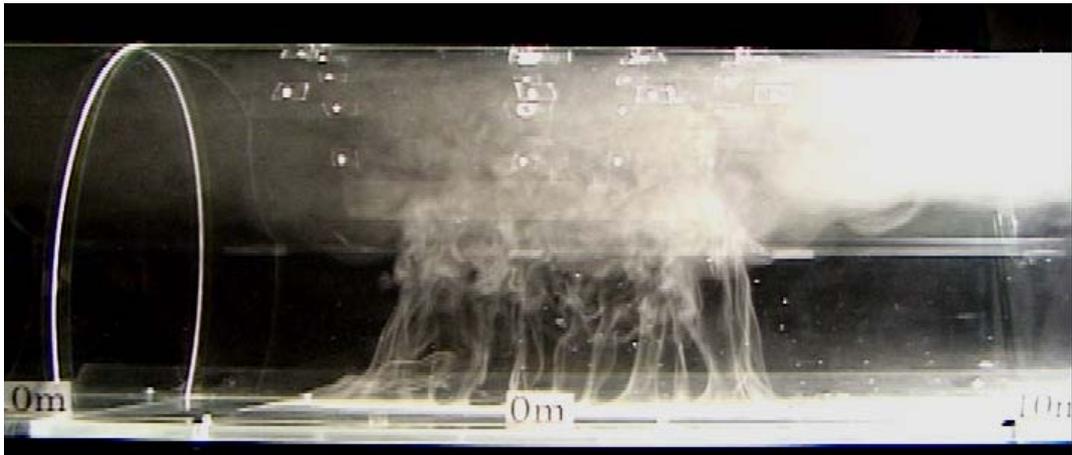
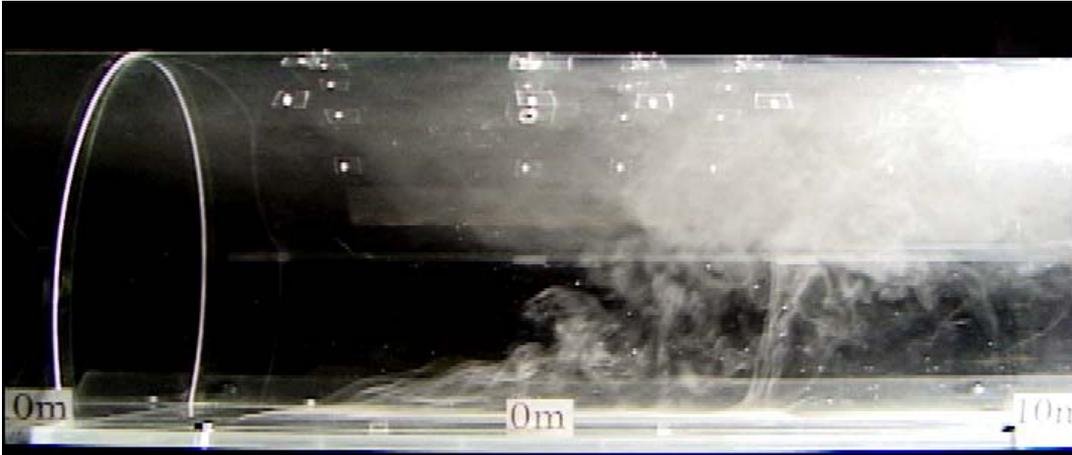
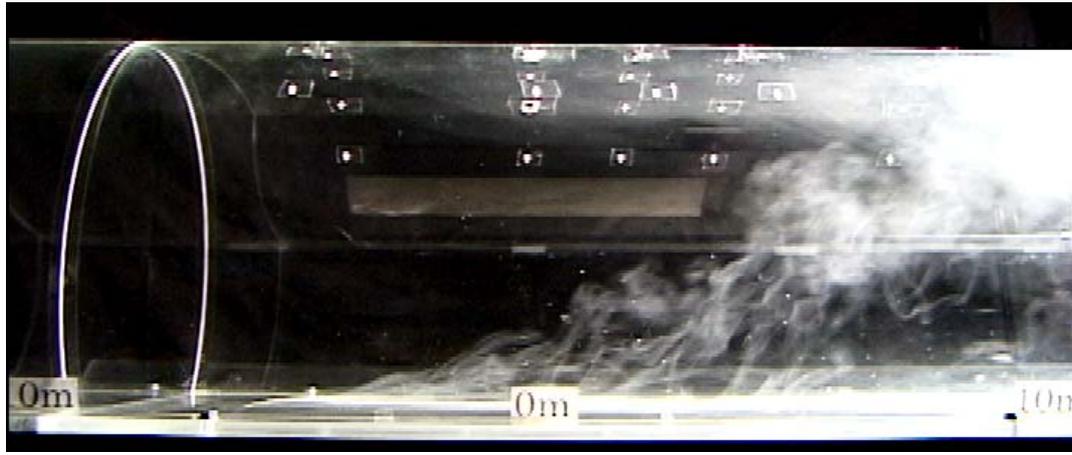
<p>換気2風なし</p>	
<p>換気風速 1.0m/s</p>	
<p>換気風速 2.0m/s</p>	

図 2.3(4)②a-6 漏えい源付近の排煙可視化状況  
(漏えい量  $200\text{m}^3\text{N}$ 、漏えい開始から約 50sec 後)

次に大量漏えい時の結果について述べる。

まず、 $300\text{m}^3\text{N}$ 相当の漏えい（換気風速  $0.5\text{m/s}$ ）を想定した実験結果を図 2.3(4)②a-7 に示す。最大濃度値のコンターを見ると、4%以上の濃度領域は、トンネルの長さ方向は  $X=-70\sim 190\text{m}$  以遠まで到達していることがわかる。

各時刻の濃度コンターの変化、漏えい開始から  $360\text{sec}$  経過すると、濃度は4%未満になる。なお、この実験条件は、別途実施した前述の野外での爆燃実験の条件と同条件である。野外実験と模型実験で天井付近での濃度分布を比較した結果を図②a-8 に示す。模擬ガス模型実験の結果は野外実験の結果より若干大きめの濃度になっているものの<sup>(\*)1</sup>、両者の傾向は概ね一致していることがわかる。

さらに、 $3000\text{m}^3\text{N}$ 相当の漏えいを想定<sup>(\*)2</sup>した実験結果を図 2.3(4)②a-9 に示す。換気風速が比較的小さい ( $0.6\text{m/s}$ ) ため、面源付近から放出された密度の軽いガスは、トンネルの天井に達した後、浮力の効果によって風下だけでなく風上にも移流する。4%以上の濃度領域はほぼトンネル端まで達している。

(\*1) 野外実験ではガスが高圧 ( $20\text{MPa}$ ) で放出されるため、ガスは高速で天井面にぶつかり、その後トンネルの長さ方向や横方向に拡散していくのに対し、模擬ガス実験では、ガスは面源から低速で放出されるため、天井面に到達した後の拡散効果が、SRI の実験に比べて若干小さかったためと考えられる。

(\*2) ただし、大量漏えいのため定常的な漏えいとみなし、実験上はピンホール漏えい ( $20\text{MPa}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ 相当) の漏えい量が定常的に継続すると想定して模擬ガスを放出させた。

#### (e) 成果

(ア) トンネル内で水素の漏えいが発生した際に、通常の換気風速である  $2\text{m/s}$  程度の風速で、大幅に可燃濃度域を減らすことができることを確認した。

(イ) 取得した実験データは、換気基準検討に用いるだけでなく、トンネル内の爆燃現象予測を CFD (数値流体力学) で行う際の基礎データとしても使用した。

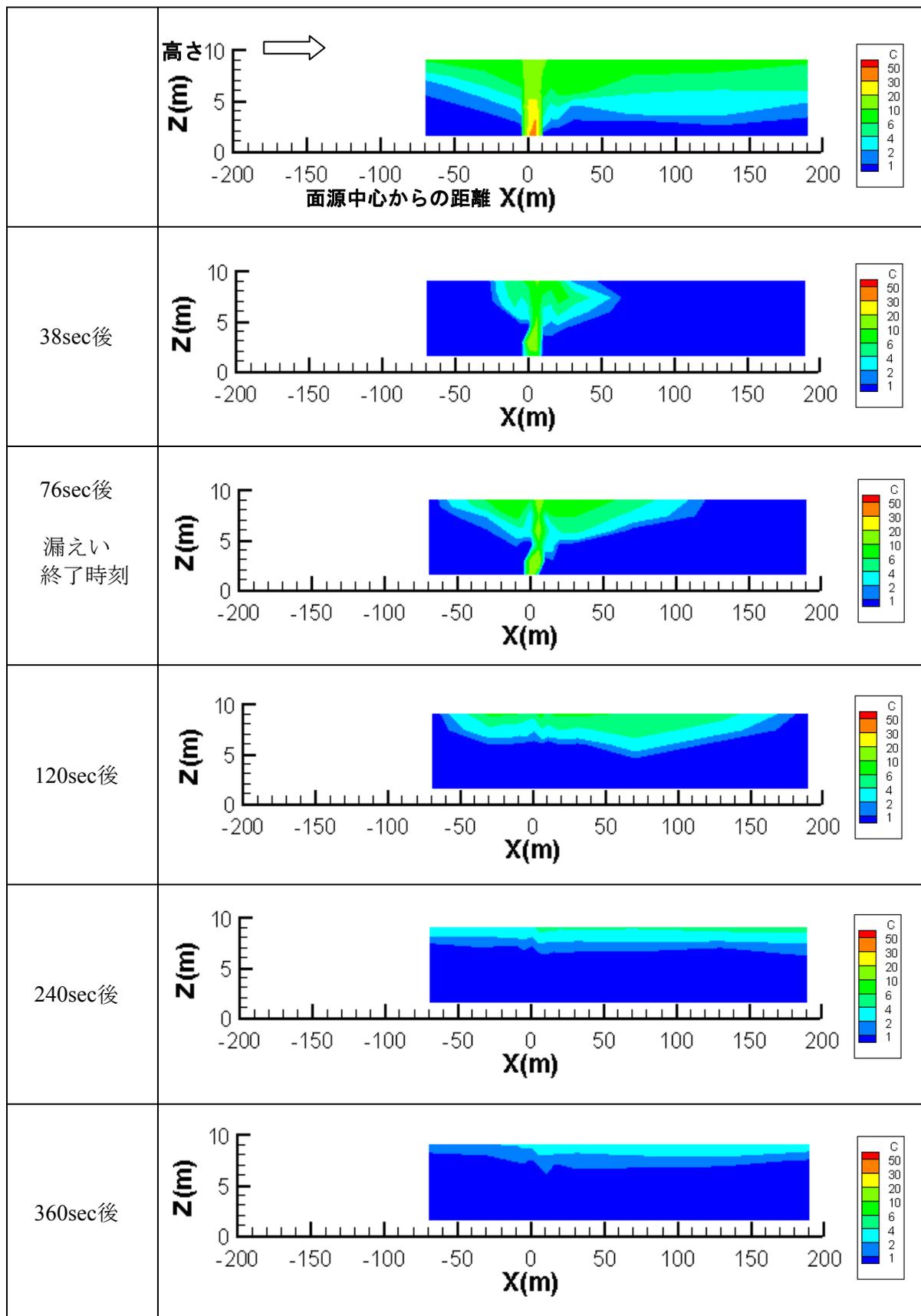


図2.3(4)②a-7 鉛直断面濃度コンター図（漏えい量 $300\text{m}^3\text{N}$ 、換気風速 $0.5\text{m/s}$ ）

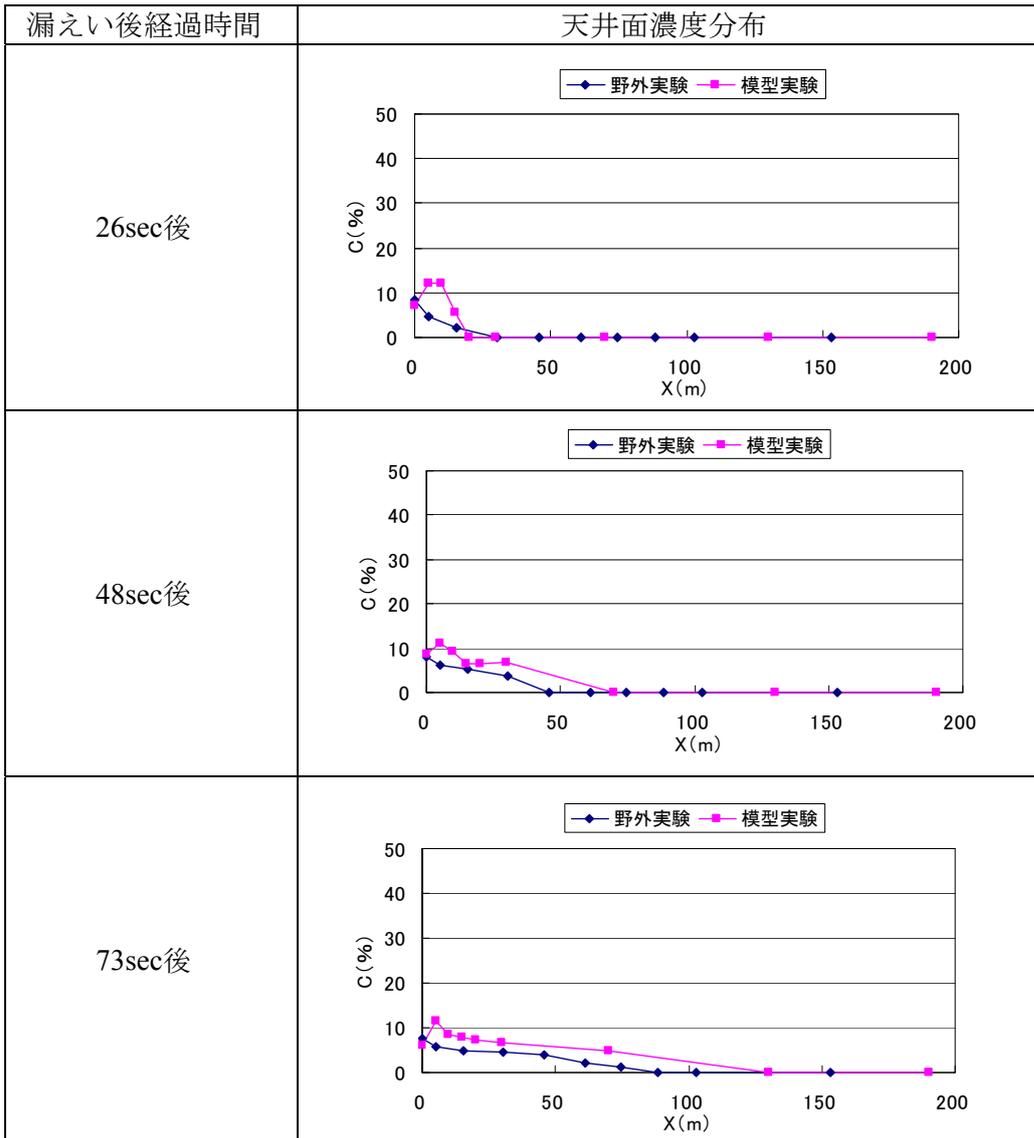


図 2.3(4)②a-8 野外実験と模型実験におけるの天井面濃度比較

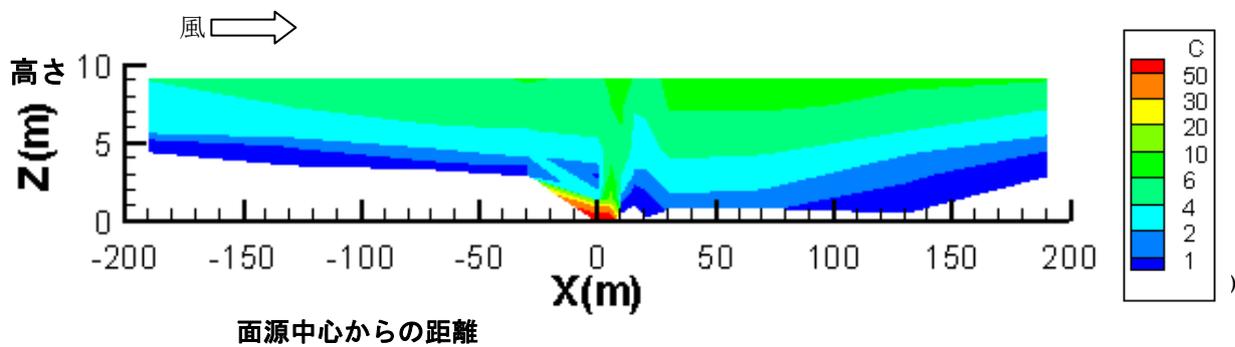


図 2.3(4)②a-9 鉛直断面濃度コンター図 (漏えい量 定常漏えい、換気風速 0.6m/s)

## b. 閉鎖／半閉鎖空間における換気の検討

### ア. 検討内容概要

閉鎖/半閉鎖空間における換気基準検討のため、模擬ガス模型実験を実施した。これまでの検討は、主に開放空間での拡散挙動を対象としていたもので、平成 17 年度以降は、半閉鎖空間や閉鎖空間で水素ガスが漏えいした場合の拡散挙動・換気状況を把握するための検討を行っている。平成 18 年度は換気装置付きの半閉鎖空間を模擬した縮尺模型（縮尺 1/5）を用いて、水素の浮力をヘリウムで再現した実験を実施し、換気量と濃度場の関係を把握した。

### イ. 模擬ガス模型実験

#### (a) 実験方法概要

換気機能がついた（半）閉鎖空間を模擬した模型内に、漏えい水素を模擬したガス（ヘリウム+メタン）を放出し、定常状態になった時点での濃度（メタン濃度）を計測し、水素濃度に換算した。これにより、空間内の水素濃度分布及び残留水素量を把握した。

また、別途、可視化実験（模擬ガスに白煙を混入させ放出）を実施し、内部の流動の状況を定性的に把握した。

なお、相似則については、漏えい模擬ガスの浮力を再現できるように、排気フルード数を一致させた。（排ガスの浮力と、換気流の慣性力の比を模型と実機で一致させた。）

#### (b) 実験装置

実験装置の概要は以下のとおりである。

- (ア) 閉鎖空間模型：幅 6.4m×奥行き 7.86m×高さ 3.7m のサイズの閉鎖空間（内部に蓄圧ボンベ 8 本×2 基設置：図 2.3(4)②b-1 参照）を縮尺 1/5 で作成した。（図 2.3(4)②b-2、図 2.3(4)②b-3）。
- (イ) 模型装置の排気口側に、流量を制御できるフロアを設置し、閉鎖空間内の換気を模擬した。
- (ウ) 模型内には、予め、模型の天井部よりトレーサガス吸引用のサンプリング管を挿入（平面上に 16 点、高さ方向に 5 点の計 80 点）し、模型内の換気及びトレーサガスの流れが定常状態になった後、サンプリング管よりガスを吸引し、ガスクロマトグラフを用いて、メタンガスの濃度を計測した。

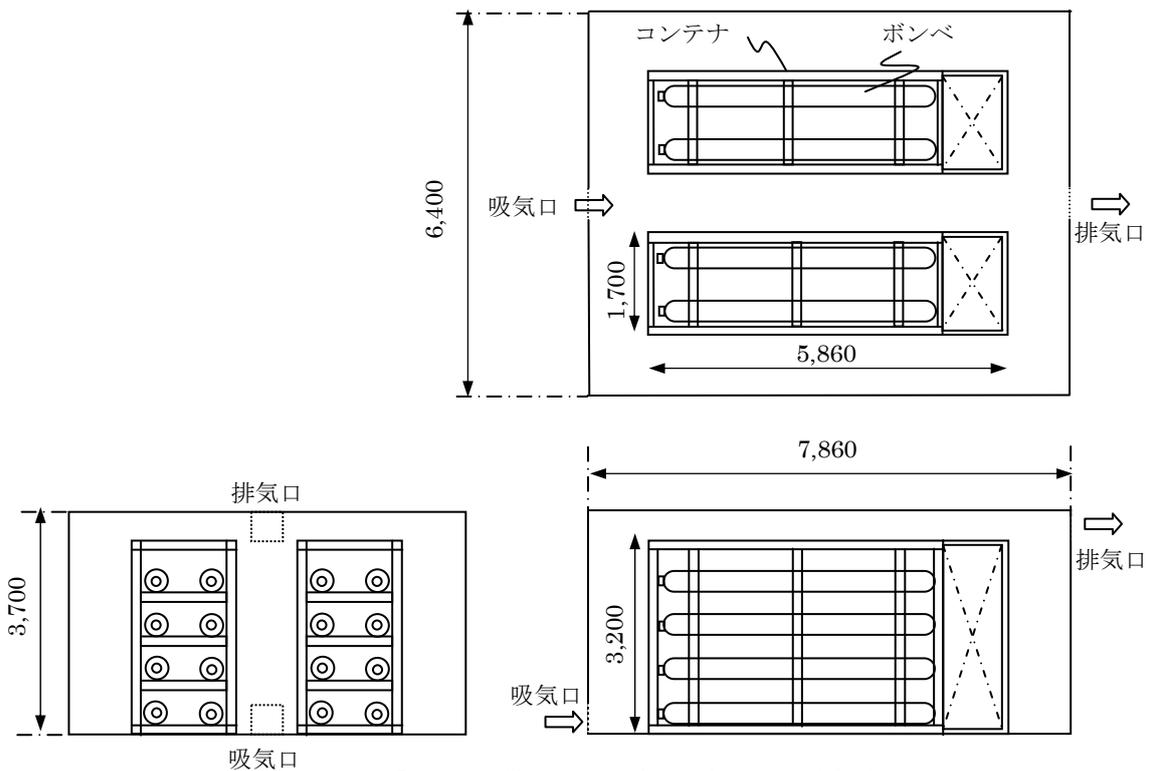


図 2.3(4)②b-1 閉鎖空間モデルの概要図 (実機寸法)

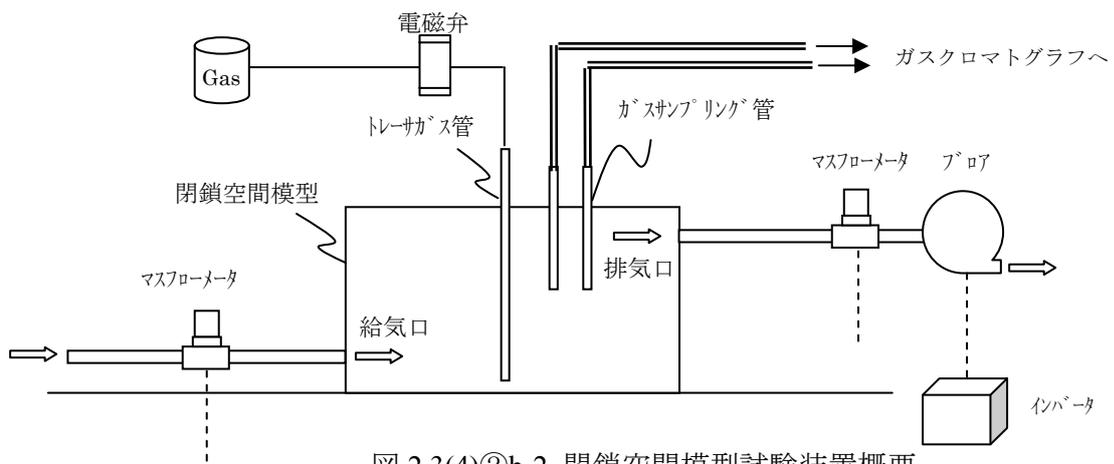


図 2.3(4)②b-2 閉鎖空間モデル試験装置概要

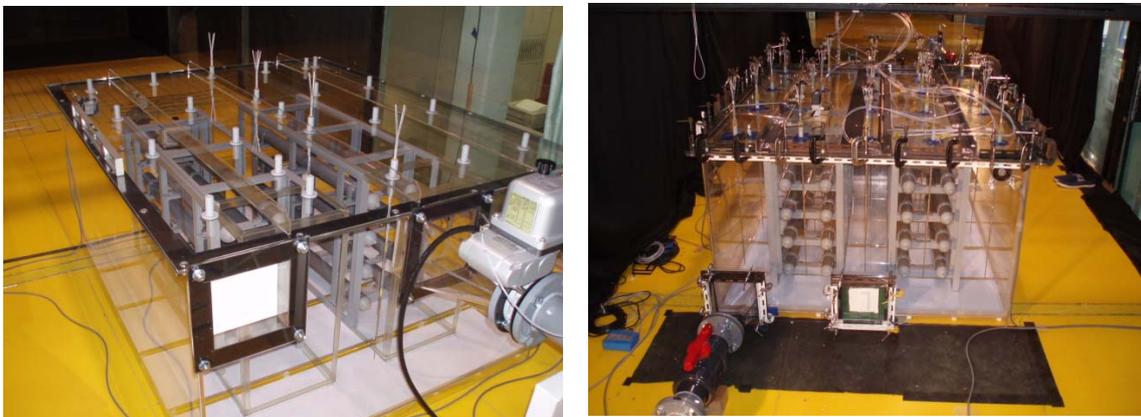


図 2.3(4)②b-3 閉鎖空間モデル試験装置外観

(c) 実験条件

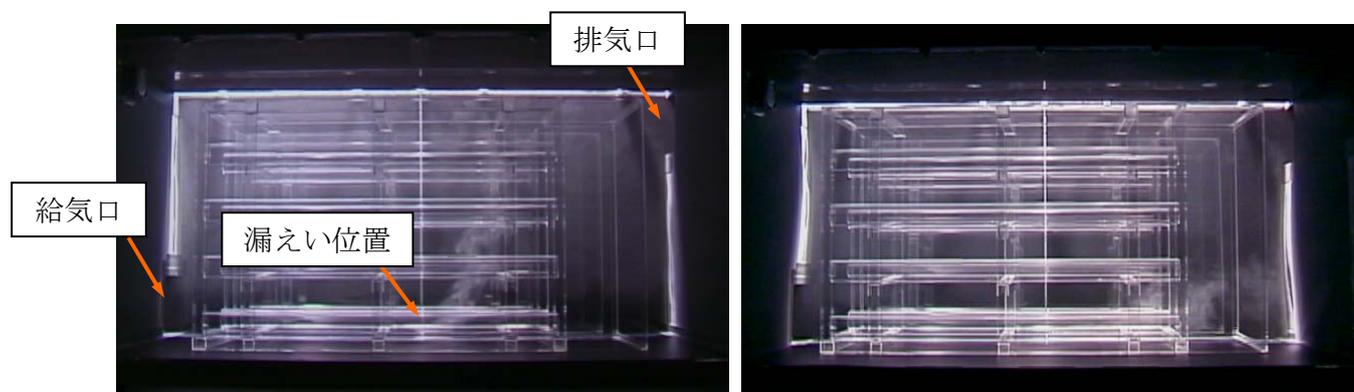
主な実験条件を表 2.3(4)②b-1 に示す。

表 2.3(4)②b-1 実験条件の設定

大項目	項目	条件
蓄圧器室	寸法	幅 6.4m×奥行 7.86m×高さ 3.7m
	障害物	ポンベ 8 本×2 基 及び 障害物なし
換気方法	換気流量 Q	350m <sup>3</sup> /h、700m <sup>3</sup> /h、1500m <sup>3</sup> /h、3190m <sup>3</sup> /h、5350m <sup>3</sup> /h (既存の CNG 規制では 700m <sup>3</sup> /h)
漏えい形態	漏えい流量 q	0.002m <sup>3</sup> /s、0.0089m <sup>3</sup> /s、0.02m <sup>3</sup> /s (40MPa で 0.1,0.2,0.3mm のピンホールからの漏えい量に相当)
	漏えい向き	下向き (最も換気に不利と考えられる向き)
	漏えい位置	中央部
	漏えい高さ	Z1 (下段) Z2 (上段)

(d) 実験結果

図 2.3(4)②b-4 に模型実験の可視化状況例を示す。この図は換気量の違いによる可視化状況の差異を示している。換気量が小さい場合は、水素の浮力により、中央下部で漏えいした水素ガスが、上方に移流した後に換気されているが、換気量が大き 경우에는、換気の効果が強いため、漏えい源から換気口の方にガスが倒されながら移流している様子が観える。



(a) 換気量 350m<sup>3</sup>/h

(b) 換気量 1500m<sup>3</sup>/h

図 2.3(4)②b-4 可視化実験状況 (漏えい量 0.0089m<sup>3</sup>/s 相当)

図 2.3(4)②b-5 には残留水素の平均濃度（室内に残留している水素量を室内空間で平均化した濃度）と換気量の関係を示す。

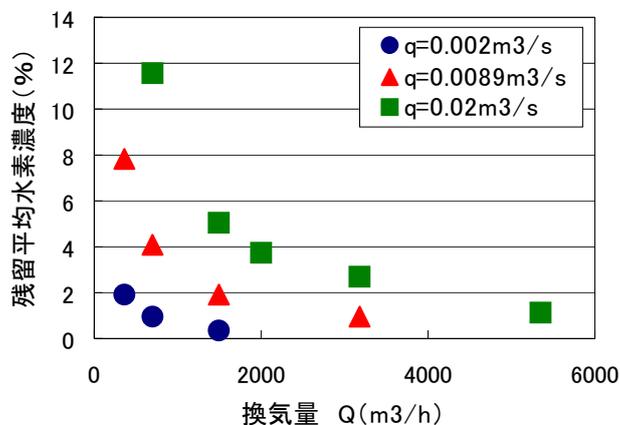


図 2.3(4)②b-5 換気量と残留水素量の関係

また、図 2.3(4)②b-6 は残留水素量を無次元化漏えい量( $q/Q$ )で整理した結果を示す。このように、残留水素濃度はおおよそ、無次元化漏えい量で表現できることがわかった。

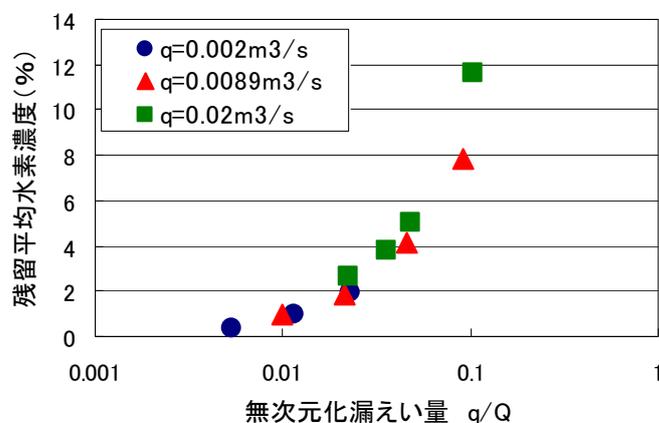


図 2.3(4)②b-6 無次元化漏えい量と残留水素の平均濃度の関係

図 2.3(4)②b-7 及び図 2.3(4)②b-8 に、漏えい量  $0.0089\text{m}^3/\text{s}$ 、換気量  $700\text{m}^3/\text{h}$  時の、漏えい高さで残留水素量との関係を示す。漏えい高さが低いほど、残留水素量が多いことがわかる。これは、上部から漏えいした場合は、比較的短時間で天井面に到達するため、ガスが薄められにくく、その分、効率的に換気が行われるためである。

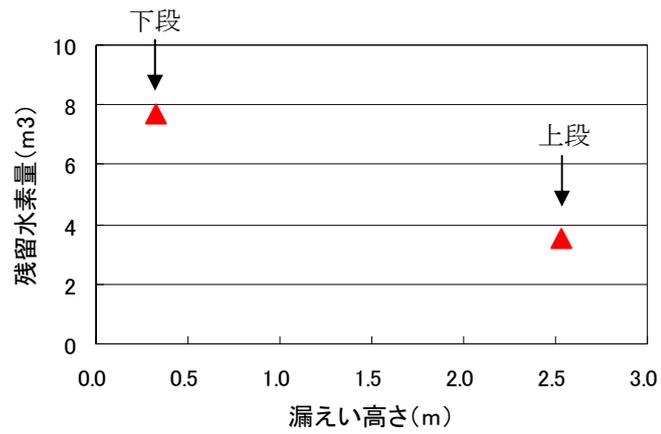
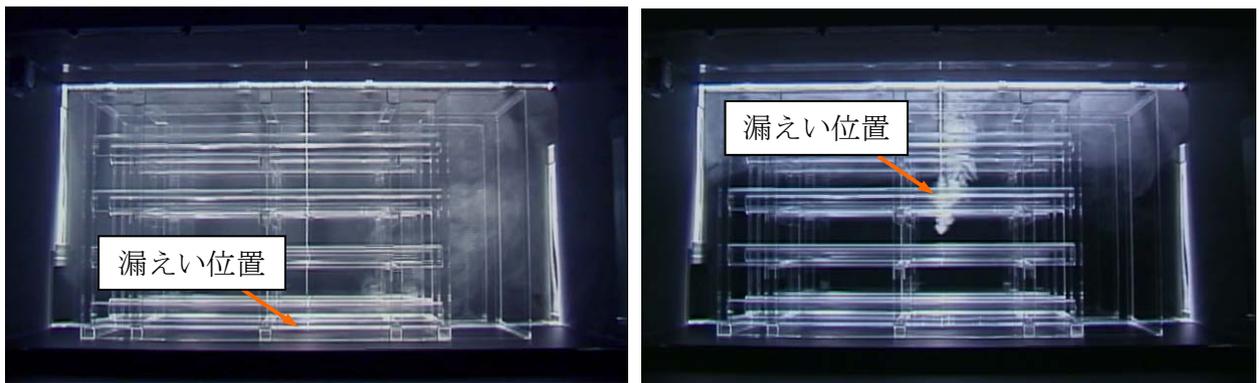


図 2.3(4)②b-7 漏えい高さと残留水素量の関係  
(漏えい量  $0.0089\text{m}^3/\text{s}$ 、換気量  $700\text{m}^3/\text{h}$  相当)



(漏えい高さ：下段)

(漏えい高さ：上段)

図 2.3(4)②b-8 可視化実験状況  
(漏えい量  $0.0089\text{m}^3/\text{s}$ 、換気量  $700\text{m}^3/\text{h}$  相当)

#### ウ. 爆燃シミュレーション

典型的な  $q/Q$  のケース（漏えい量  $0.0089\text{m}^3/\text{s}$  相当、換気量  $700\text{m}^3/\text{h}$ 、 $1500\text{m}^3/\text{h}$  及び  $3190\text{m}^3/\text{h}$ ）において爆燃シミュレーションを実施した結果を図 2.3(4)②b-9～図 2.3(4)②b-11 に示す。なお、解析には後述する爆燃シミュレーションコード AutoReaGas を用いた。図に示す様に、天井付近が高濃度となっており、着火時の最大過圧 ( $\Delta P_{\text{max}}$ ) も天井付近が大きい。また  $Q=700\text{m}^3/\text{h}$  では  $\Delta P_{\text{max}}$  は  $50\text{kPa}$  程度と高かったが、 $Q$  を  $1500\text{m}^3/\text{h}$  とすると、 $\Delta P_{\text{max}}$  も  $20\text{kPa}$  以下に低下することが確認できた。

また、図 2.3(4)②b-12 は漏えい量  $0.0089\text{m}^3/\text{s}$  の条件下において、無次元化漏えい量と発生した最大爆風圧の関係をとりまとめたものである。他の漏えい条件（漏えい量、漏えい位置など）におけるデータ補強が必要であるものの、漏えい量・換気量と爆風圧の関係をおおよそ把握することができた。

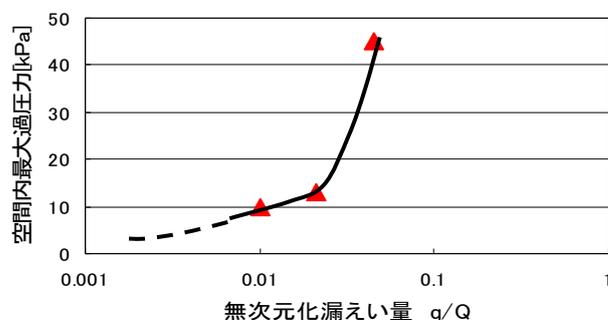


図 2.3(4)②b-12 無次元漏えい量と換気空間内最大爆風圧の関係

#### エ. 成果と課題

- 漏えい量が変わっても、室内に残留する水素の量は、無次元化漏えい量（漏えい流量/換気量）で表すことができる見通しが得られた。また、無次元化漏えい量が  $0.01$  になれば爆風圧を  $10\text{kPa}$  程度まで低減できる見通しを得た。
- ただし、爆風圧に関しては、今回の実験条件の一部の条件下（漏えい量  $0.0089\text{m}^3/\text{s}$ ）における知見であるため、他の漏えい条件（漏えい量、漏えい位置など）におけるデータ補強を行うことが望ましい。
- 得られたデータはH19年度、エネルギー総合工学研究所がとりまとめる（一部、当社も執筆）「水素の有効利用ガイドブック」に反映させた。

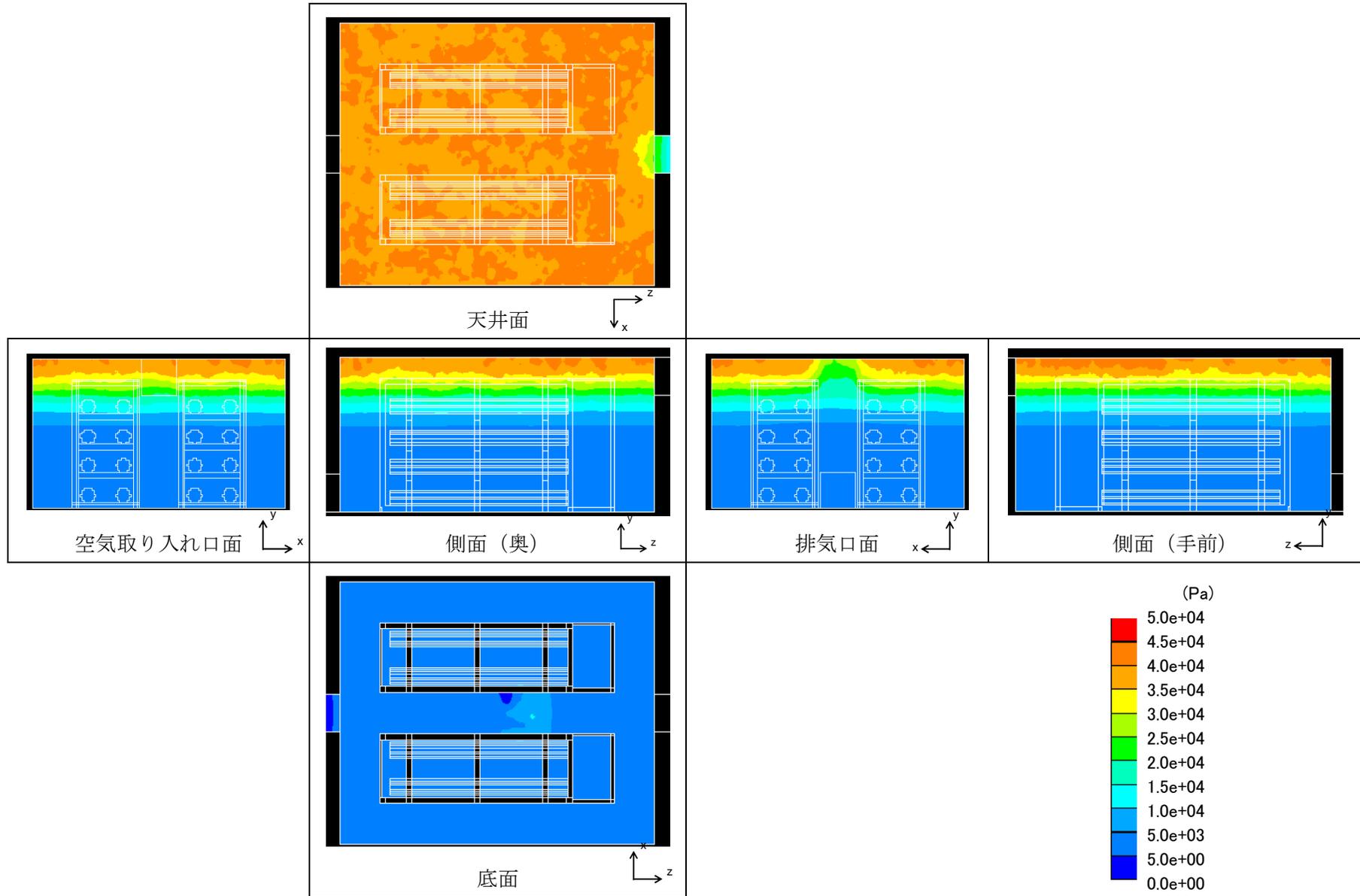


図 2.3(4)②b-9 各壁面の圧力分布 (換気量 700 m<sup>3</sup>N/h) (着火後 13ms)

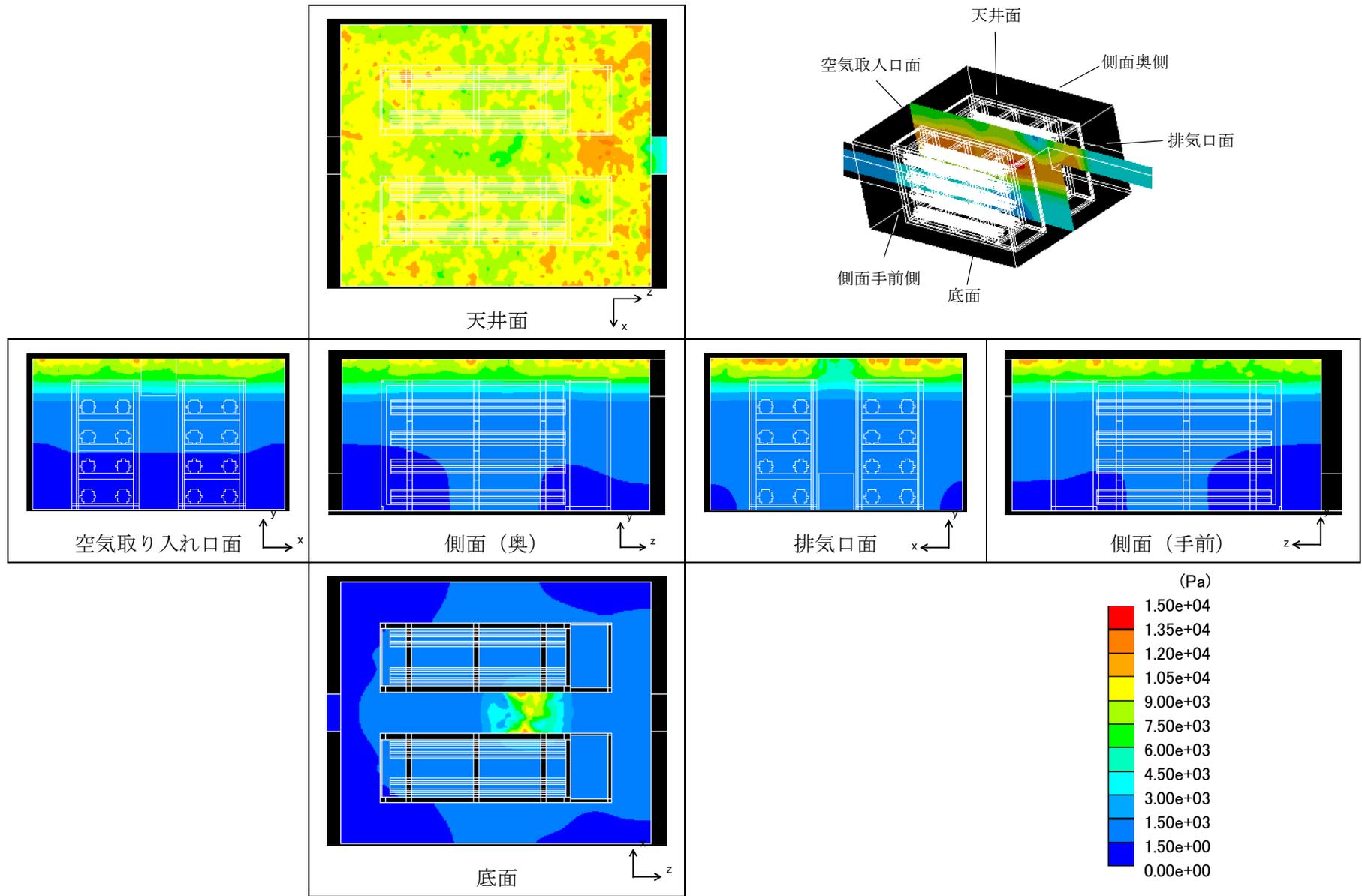


図 2.3(4)②b-10 各壁面の圧力分布 (換気量  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ ) (着火後 12ms)

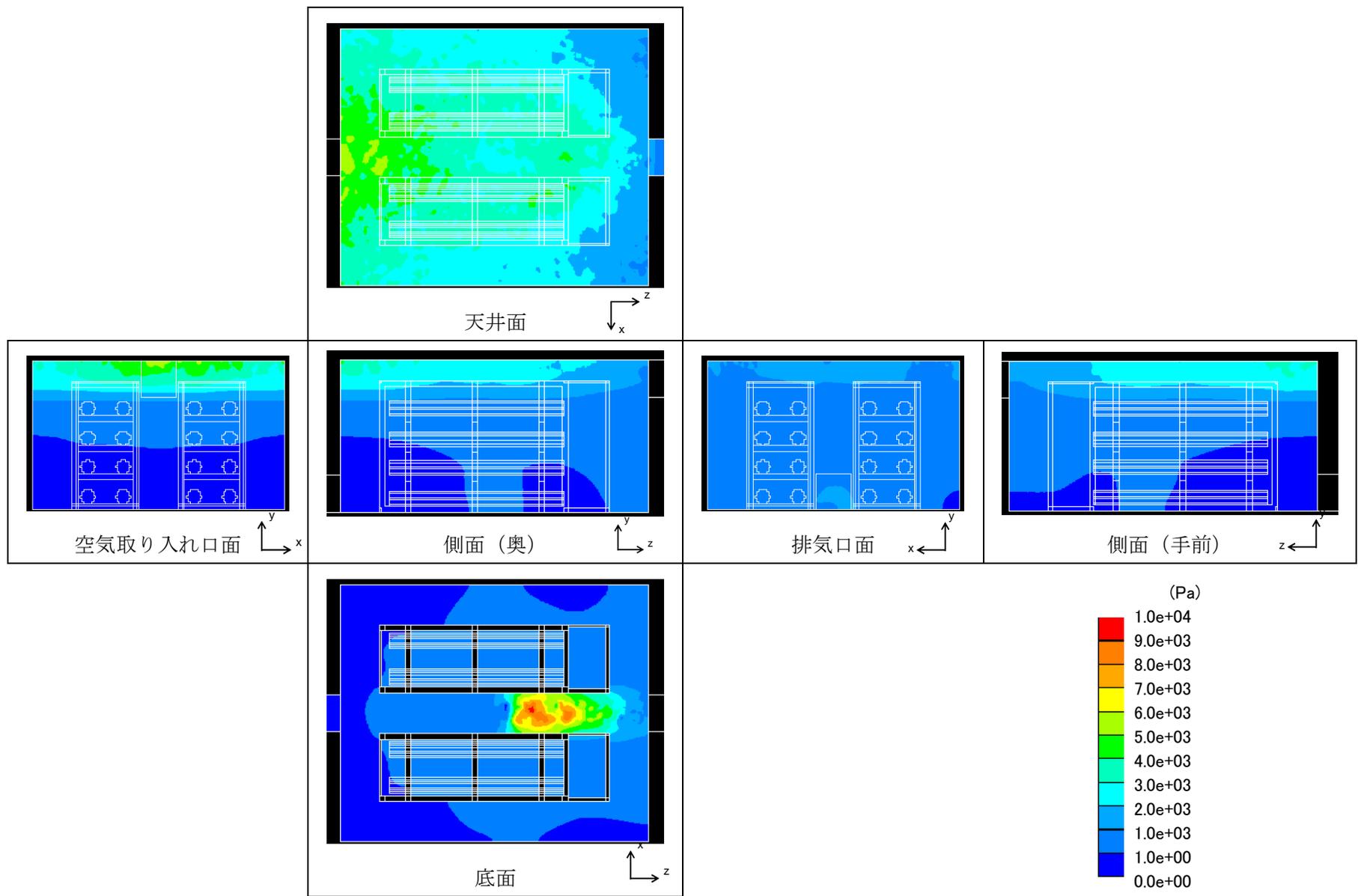


図 2.3(4)②b-11 各壁面の圧力分布 (換気量 3190 m<sup>3</sup>N/h) (着火後 12ms)

c. 爆燃・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上

7. 検討目的

特に爆発現象は実スケールの実験が非常に困難なことから、シミュレーションの構築、および実験結果による検証が非常に重要である。ここでは、トンネルにおける爆発解析、および水素火炎からの輻射解析について述べる。

イ. トンネル内の水素拡散・爆発シミュレーション

爆燃コードの汎用性を高めるため、平成 16 年度に実施された実験データ及びエネルギー総合工学研究所で実施したトンネルを模擬した体系での水素爆発実験によるコード (AutoReaGas) 検証を実施した。図 2.3(4)②c-1 には、SRI で実施したトンネル内での爆発実験結果との比較を示す。AutoReaGas で計算した結果は爆発実験結果をよく再現していることが確認された。

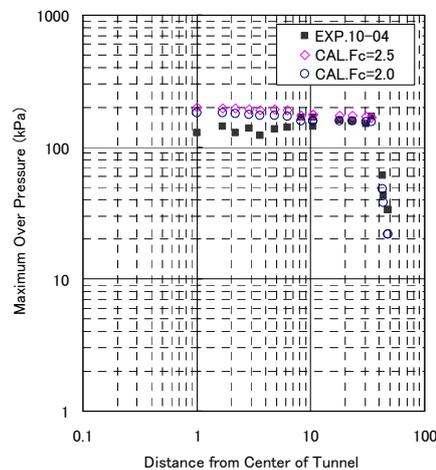
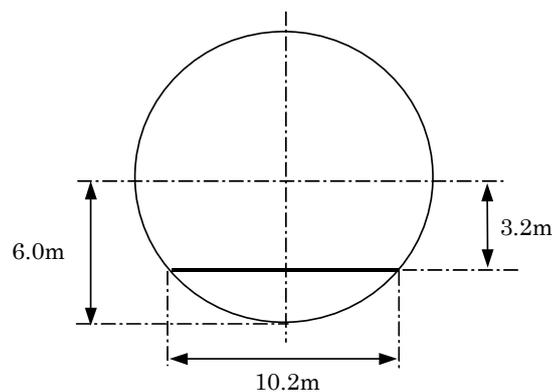


図 2.3(4)②c-1 SRI の爆発実験と AutoReaGas による計算結果の比較

次に、総漏えい量を  $60\text{m}^3\text{N}$  で一定としたケースについて、漏えい時間（漏えい速度）を変化させた拡散爆発解析を行った。トンネル断面は下図のように実機スケールをモデル化した。

トンネル断面形状（トンネル長さ 392.5m）



爆発解析では、別途実施した非定常解析の濃度分布を初期条件とする。換気風速は0としている。解析条件を表 2.3(4)②c-1 に示す。

表 2.3(4)②c-1 AutoReaGas の解析ケースと初期濃度

Case	漏えい量	漏えい時間	着火タイミング
Case1-1	60m <sup>3</sup> N	60 秒	30 秒後 (漏えい途中)
Case1-2	60m <sup>3</sup> N	60 秒	60 秒後 (漏えい終了時)
Case4-1	60m <sup>3</sup> N	30 秒	15 秒後 (漏えい途中)
Case4-2	60m <sup>3</sup> N	30 秒	30 秒後 (漏えい終了時)
Case5-1	60m <sup>3</sup> N	15 秒	7.5 秒後 (漏えい途中)
Case5-2	60m <sup>3</sup> N	15 秒	15 秒後 (漏えい終了時)

着火点の位置はトンネル中央、底面 ( $x=0, z=0$ ) とした。また、初期流速は拡散解析同様に0とした。爆発解析の初期濃度分布のトンネル中央噴出し付近を図 2.3(4)②c-2～図 2.3(4)②c-4 に示す。図 2.3(4)②c-5 には、計算結果例 (Case1) として着火タイミングによる圧力波形の比較を、図 2.3(4)②c-6 には着火点からの水平距離と最大過圧の関係を示す。これらの計算結果より、以下のことが判った。

- (a) 最大過圧は、短時間で全量が漏えいする場合 (漏えい速度が大きい場合) が大きくなる。
- (b) 着火点から 10m 位置において、トンネル側面および底面での最大過圧は、15s で全量が漏えいする場合において、20～40kPa 程度である。
- (c) 距離に対する最大圧力の減少率は、漏えい速度が小さい場合に大きく、漏えい速度が大きい場合には小さい傾向がある。これは、トンネル断面における水素ガスの充満率に起因すると考えられる。

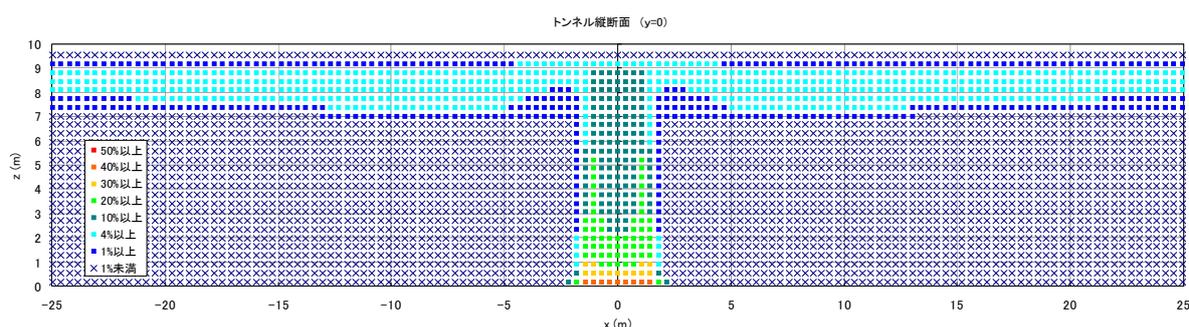


図 2.3(4)②c-2 Case1-2 (60m<sup>3</sup>N-60sec、低圧、風速 0) 60 秒後における水素濃度分布

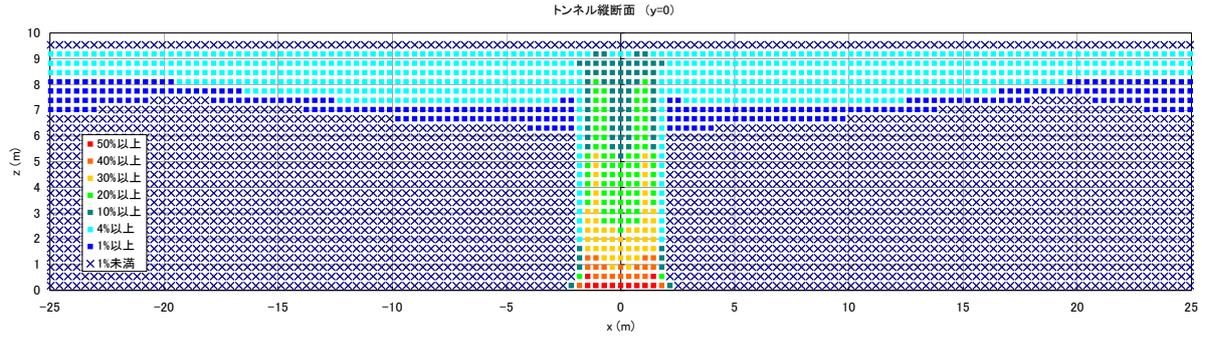


図 2.3(4)②c-3 Case4-2 (60m<sup>3</sup>N-30sec、低圧、風速 0) 30 秒後における水素濃度分布

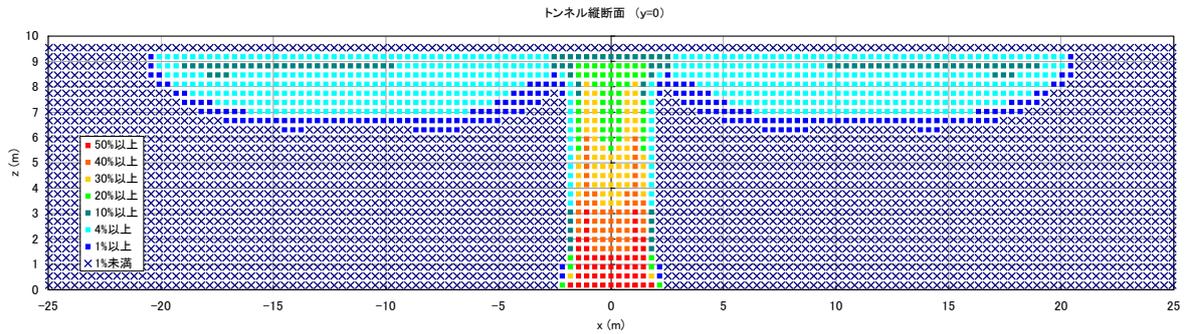


図 2.3(4)②c-4 Case5-2 (60m<sup>3</sup>N-15sec、低圧、風速 0) 15 秒後における水素濃度分布

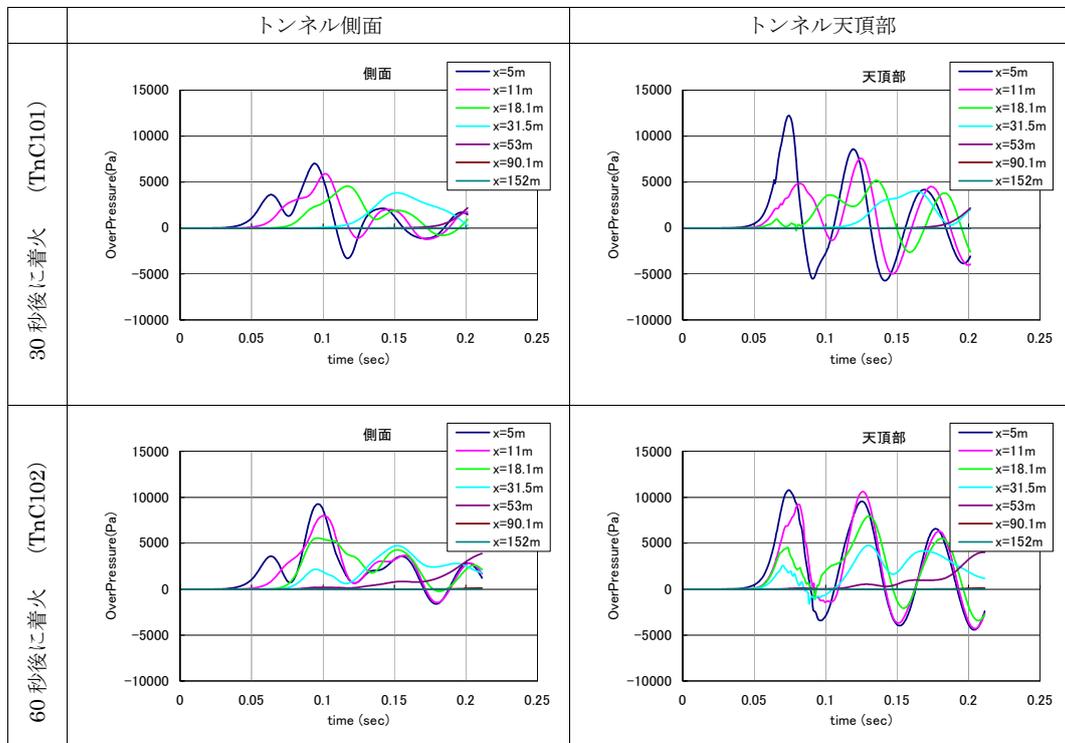
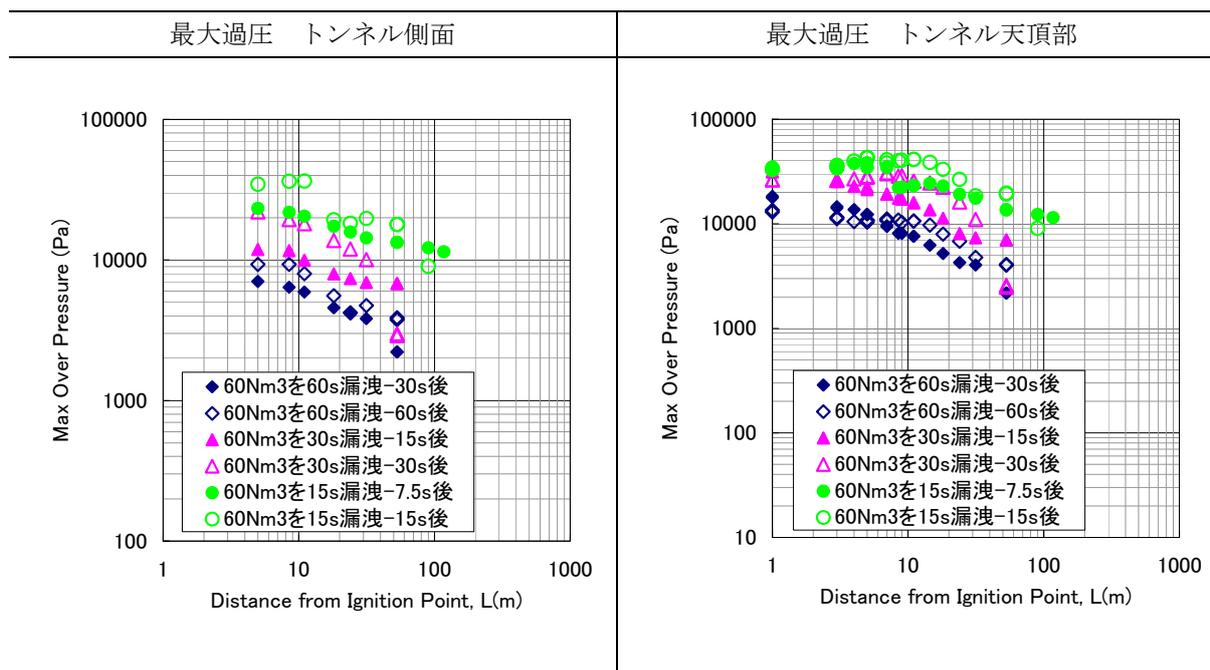


図 2.3(4)②c-5 計算結果例 (Case1) 着火タイミングによる圧力波形の比較



図②c-6 着火点からの水平距離と最大過圧の関係

次に、有効性が確認された計算方法を用いて、ローリーからの漏えいを想定し実スケールのトンネル内における着火爆発解析を行った。条件は20MPa、3000m<sup>3</sup>Nの水素が定常的に5mmの開口から流出するとの想定である。

まず拡散解析を行い、爆発計算に必要な水素濃度分布を計算した。その結果(図2.3(4)②c-7)、流出水素の約80%は天井付近を下流側に拡散してトンネル外に排出され、残りの20%が爆発に寄与することがわかった。

図2.3(4)②c-8に示した爆発解析結果によると、トンネル内における最大過圧は15kPa程度であり、着火点から離れるに従い減衰し、トンネル出口(着火点から300mm)では5kPa程度となった。このように、最大過圧はトンネル内を均一30%濃度とした図2.3(4)②c-1の結果の1/10程度であり、トンネル内爆発は水素濃度に大きく依存することがわかった。

また、乱流火炎計算部分は九州大学に一部再委託し、乱流燃焼速度モデルの高度化を図った。

なお、爆燃計算に先立って、数値計算に基づいた水素ガスの拡散濃度の設定が必要となるため、トンネル内を対象として前述の模型実験結果を用いて、拡散数値計算の検証も実施した。模型実験結果と数値計算結果の比較を図2.3(4)②c-9に示す。

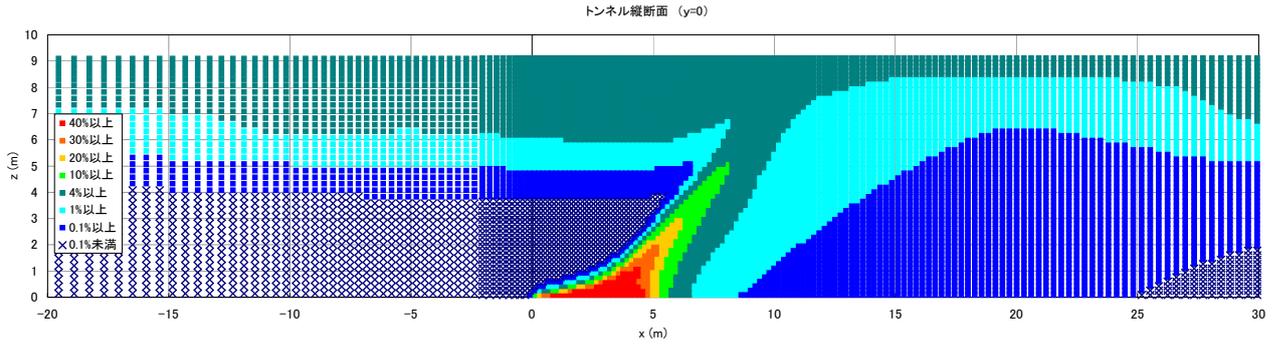


図 2.3(4)②c-7 トンネル内における水素濃度 (計算結果)

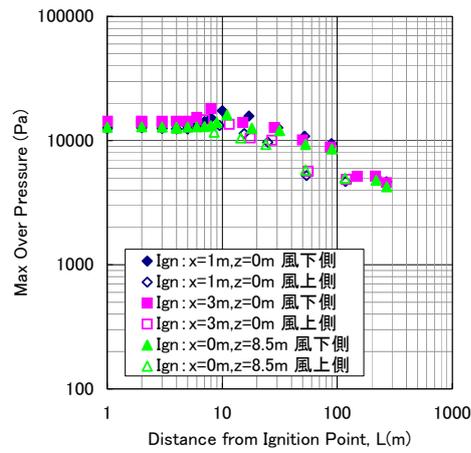
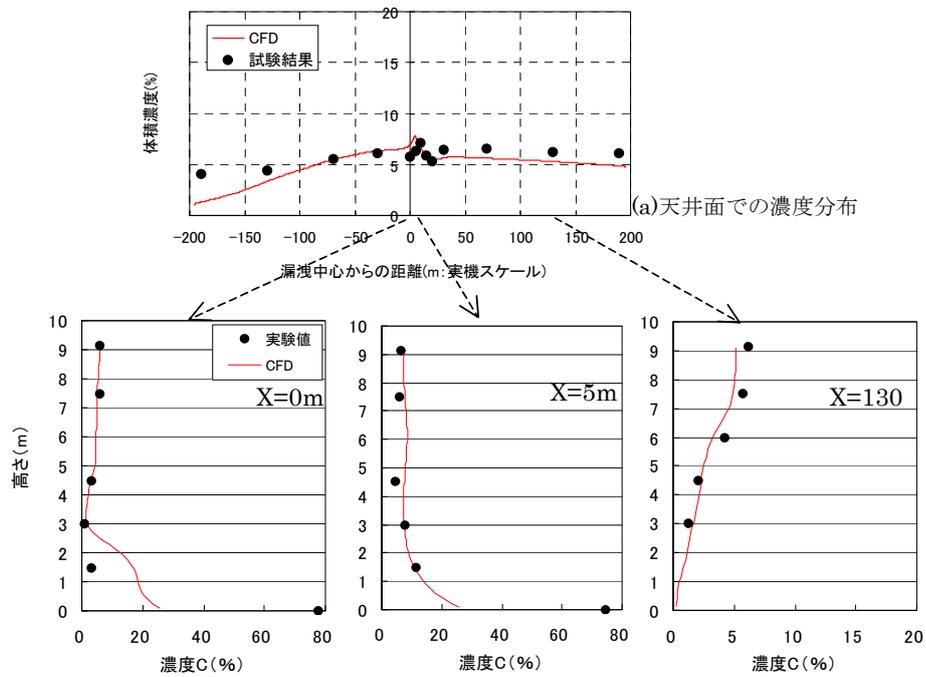


図 2.3(4)②c-8 着火時の最大過圧と距離の関係 (計算結果)



(a) 天井面での濃度分布  
(b) 高さ方向の濃度分布  
図2.3(4)②c-9 模型実験と拡散CFDの比較(3000m<sup>3</sup>N 漏えい時)

#### ウ. 水素火炎輻射に関するシミュレーションの精度向上

次に、水素火炎からの水蒸気輻射熱の解析結果を示す。水素の火炎は無色透明であり一般に輻射熱流束は通常の輝炎よりも小さいと言われている。しかし、これまでの実験や解析から明らかのように、例えば直径 10mm、圧力 40MPa の水素配管自体が破断すると、20m を超える火炎が形成されるため、周囲への輻射評価は重要な安全評価であると考えられる。

輻射解析の目的は、水蒸気濃度と温度分布を与えると、あらゆる指定した場所での輻射熱流束を計算することであり、本年度作業ではその変換プログラムを整備し、如何なる空間体系や火炎形状であっても解析が可能ないように一般化した。図 2.3(4)②c-10 に水素火炎からの輻射解析例として、 $d=0.5\text{mm}$   $\phi$ 、 $P=40\text{MPa}$  火炎の輻射解析結果（ノズル端から 4m 側方および前面位置）を、図 2.3(4)②c-11 に火炎長と輻射熱流束の関係を示す。これらの結果より、圧力 40MPa において  $0.5\text{mm}$   $\phi$  からの漏えいでは、漏えい口から 4m 程度離れると短時間での火傷被害は回避できること、火炎側面からの輻射熱流束 ( $Q$ ) は、 $Q (\text{W/m}^2) = 1120 (L2/L1)^{-2}$  で近似できることが明らかにされた。ここで、 $L1$  は火炎長を、 $L2$  は火炎軸から垂直側方の距離を表す（火炎長は、噴出口径と圧力によって既に実験式が得られている）。図 2.3(4)②c-12 に、3次元空間での輻射解析例として、40MPa、10mm  $\phi$  火炎の黒体換算温度を示す。防護壁を用いた場合に、火炎や輻射から回避されていることが判る。なお、ここで開発したプログラムは、あらゆる複雑な空間の状況に対応可能である。

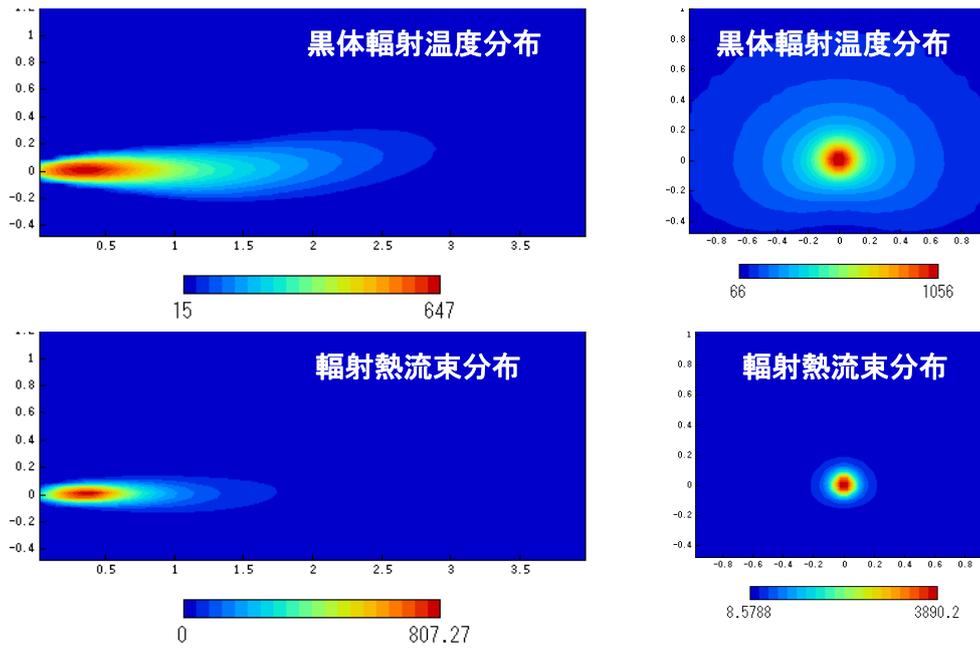


図 2.3(4)②c-10  $d=0.5\text{mm } \phi$ 、 $P=40\text{MPa}$  火炎の輻射解析結果  
(ノズル端から 4m 側方および前面位置)

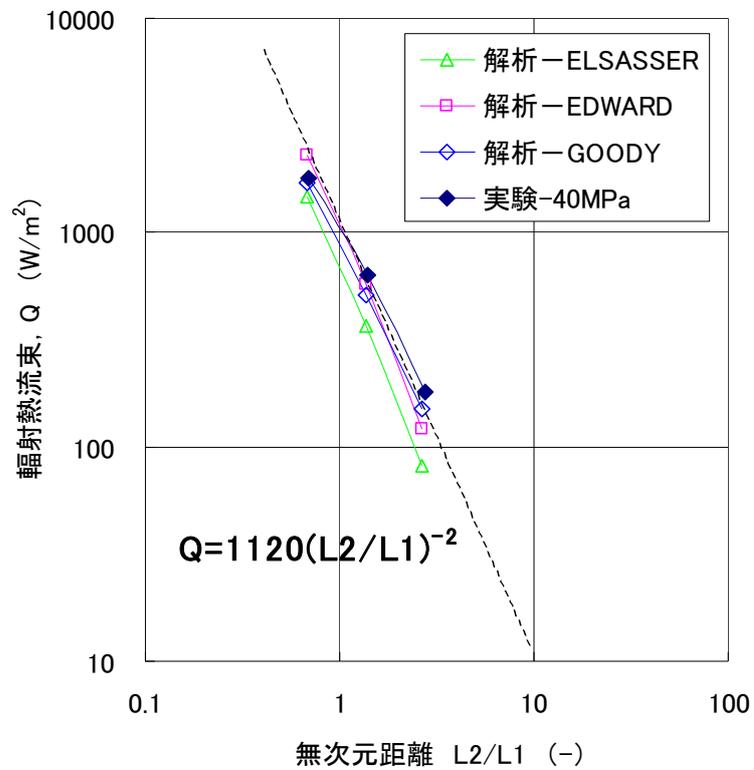
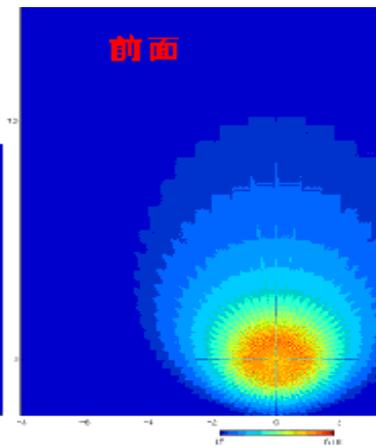
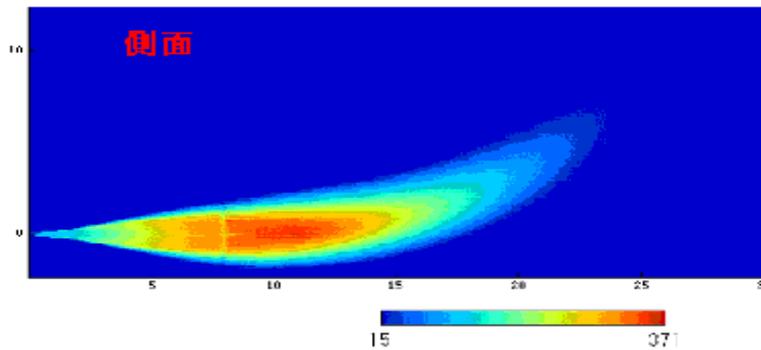


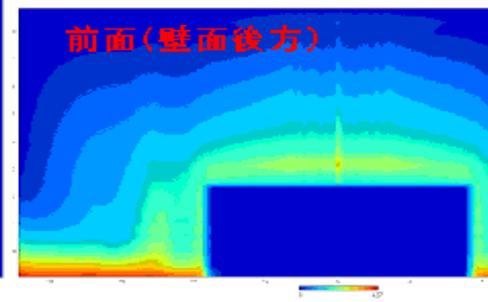
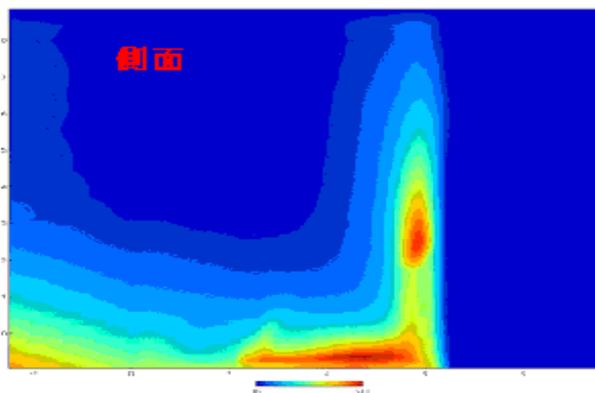
図 2.3(4)②c-11 火炎長 ( $L1$ ) と輻射熱流束の関係 ( $L2$ : 火炎軸から垂直側方の距離)



PEC/MHI による実験<sup>(\*)</sup>  
(秋田県 田代試験場)



同上  
6m 位置に 3mH × 6mW の壁有り



(\*) 出典 H15～H16 年度成果報告書 水素安全利用等基盤技術開発 ―水素インフラに関する安全技術研究一、04000473-0.

図 2.3(4)②c-12 水素火炎からの輻射解析 (40MPa、10mm φ 火炎の黒体換算温度)

また、爆燃シミュレーションの精度および汎用性の向上を目指し、乱流燃焼モデルに関して検討を行った。主な成果を次に示す。

九州大学（再委託先）らが提案する乱流燃焼モデルの精度向上を図るため、水素－酸素－窒素系混合気に関して希薄混合気での火炎表面積の影響について検討した。その結果、希薄水素混合気では、火炎表面積が希薄な（当量比  $\lambda$  が 1 より小さい）ほど、その影響が増加する傾向にあることがわかった。希薄混合気では、この火炎表面積の増加を考慮することにより、乱流燃焼速度の予測精度を向上させることができることが明らかになった。

また、水素－炭化水素－酸素－窒素系混合気での局所燃焼速度特性および乱流燃焼モデルを検討するため、乱流燃焼速度特性の計測・評価、2次元火炎断層写真撮影法による局所火炎変位速度の計測・評価を実施した。その結果、水素－炭化水素系二成分燃料では、希薄と過濃混合気で炭化水素（メタンまたはプロパン）の添加割合に伴う乱流燃焼速度に差異があること、この原因として局所燃焼速度特性が重要であることが明らかになった。さらに、希薄混合気については、提案する推定法による二成分燃料の平均局所燃焼速度 SL により、乱流燃焼速度の推定が可能であることがわかった。

狭い空間での火炎伝ば現象を把握するため、爆ごう下限界濃度近傍の当量比  $\lambda=0.3, 0.35, 0.4$  の水素－空気混合気について、上端開放の厚さ 10mm 幅 150mm 高さ 500mm の狭隘空間燃焼器を使用して実験的検討を実施した。その結果、ほぼ静止混合気中にもかかわらず、全ての混合気で火炎の伝ばに伴い火炎面に凹凸が発生し（いわゆるセル状火炎に移行）、火炎伝ば速度が加速され、 $\lambda$  の大きい混合気ほど増大する傾向が明らかになった。ただし、断面  $10 \times 10\text{mm}$  で長さ約 2000mm の両端開放のチャンネル内（火炎伝ば方向は水平方向）を伝ばする  $\lambda=0.4$  予混合火炎で見られた、開放端近傍に至っても伝ば速度が加速する現象は、本狭隘空間では観測されず、上端開放近傍では全ての混合気で伝ば速度が低下することがわかった。

#### エ. 成果と課題

爆燃・拡散現象に関するシミュレーション構築では以下の成果が得られた。

- (a) トンネル内に漏えいした水素の爆発に関して、濃度分布や風速を入力条件として、爆発評価が可能となった（実験による検証済み）。
- (b) トンネルにおける爆発威力は、トンネル断面における充満度に大きく依存する。即ち、換気によってトンネル内に流れがあると、水素は天井を伝わって外部に拡散されるので、着火した場合でも、火炎はトンネル上部を伝播するのみである。一方、漏えい速度が非常に大きいと、断面における充満度が増し、大きな爆発威力となる。
- (c) 輻射解析プログラムを整備し、水蒸気濃度と温度分布を与えると、あらゆる指定した場所での輻射熱流束を計算することが可能となった。
- (d) 水素火炎の側面における輻射熱流束は、実験および解析の結果、

$Q \text{ (W/m}^2\text{)} = 1120 \text{ (L2/L1)}^{-2}$ で近似できることが明らかになった。

また、課題として以下の点が残された。

- (e) トンネル解析における各種パラメータの影響。それらの結果とリスク評価から、トンネルにおける安全対策の基準を明確にし、活用できる資料としてまとめる。
- (f) 水素スタンドで想定される事故時の影響度把握用に輻射解析を適用し、保安距離を明確にする（現状では輻射の影響は小さいものとされ、詳細な評価が行われていない）。
- (g) 狭隘空間に形成された水素-空気予混合火炎を伝播する火炎の特性が、実験的に得られたが、限られた混合比と空間幅のデータのみなので、シミュレーションの検証に用いるためには、さらにデータの蓄積が必要である。
- (h) また、水素-空気の希薄予混合気における乱流火炎特性についても、実験的にかなりの部分が明らかにされた。これらを現状の爆燃シミュレーションに組み込み、広い濃度範囲において精度良い解析が可能なように整備する必要がある。

#### d. 液体水素蒸発モデルの検討

##### ア. 検討目的

水素漏えい事象の中には、液体状態で漏えいし、蒸発挙動を経て水素ガスが拡散する場合がある。この拡散挙動を予測するためには、蒸発挙動を正確に把握する必要があり、種々の漏えい状況に適用するには、蒸発部分に関する高精度な数値モデル（蒸発モデル）の開発が不可欠である。そこで、既存の実験データを基に、蒸発挙動の支配因子を把握し、より精度の高い蒸発モデルを検討し、拡散時の濃度分布挙動の予測精度を向上させる。これらの評価ツールを、今後水素に関する規制見直し作業時に必要となる、データ収集に資することを目的とする。

液体水素の蒸発は

- (a) 大量に漏えいした液体水素がプールを形成してプール表面から蒸発する場合
- (b) 地面近傍に流出した液体水素が地面や周辺の大気と熱交換をしながら、一部は液滴となって剥離し、蒸発・拡散する場合
- (c) ピンホール相当の小口径から漏えいした液体水素が、液柱を形成し、表面から液滴を剥離させながら蒸発・拡散する場合

等が想定される。まずは、ピンホール相当の漏えい口から噴出する液体水素の蒸発挙動のモデル化に着目し、実験データを基に液体水素の極近傍の界面における流力学的な液滴剥離挙動を解明し、液体水素蒸発拡散モデルの構築を図る。

#### 4. 液滴剥離モデル

平成 17 年度には、これまでに得られた知見を基に、蒸発モデル開発のための課題整理とその課題解決のための具体的な方法や今後の調査計画を取り纏めた。検討の一部は東北大へ再委託し、液体水素既往研究におけるモデル調査、ノズルから噴出する液体水素の噴霧流 CFD（数値流体力学）モデルの構築を行った。平成 18 年度は、平成 17 年度に検討に着手した液体水素微粒化プロセス解析用ソルバーに二相エネルギー式をカップリングさせ、液体水素噴霧と極低温熱流動場の同時解析が可能な CFD モデルの構築と専用ソルバーの開発を行った。

開発した CFD ソルバーは、液体水素（液相）と周囲流体（気相）の非圧縮性微粒化噴霧乱流を温度場も含めて統一的に扱うことが可能な LES-VOF モデルでシミュレーションするソルバーである。さらに、計算領域内における微粒化液滴粒径分布算出プログラムコードの開発を行った。本解析におけるエネルギー式考慮型 LES 微粒化ソルバーは元のソルバーの仮定に基づいて、温度変化に伴う物性値の計算機能を追加したソルバーである。

##### (a) 解析モデル

直径 1mm のピンホールノズルから噴出する液体水素に関し、噴霧流動特性と極低温熱流動場に関する大規模数値解析を行った。本解析コード開発に当たっては、従来東北大が開発した、表面張力を有する非混合非圧縮性 LES 乱流モデルに基づくインジェクターノズル噴霧微粒化解析用ソルバー にエネルギー式を導入し、噴霧流動と温度場の同時解析が可能な極低温液体水素噴霧流解析専用ソルバーを新たに開発した。さらに、本ソルバーは温度変化に伴う物性値変化の計算機能を有し、水素の温度変化に伴う密度変化の影響が考慮されている。

液体水素ジェットの液柱から液滴への分裂へ至るまで一連の気相—液滴混相流動場に関し、LES-VOF 法を用いた一体型非定常 3 次元混相乱流解析を行い、液体水素噴出時液滴剥離のメカニズムに関する詳細な数値予測を行った。

##### (b) 境界条件および初期条件

計算領域に対し以下の図 2.3(4)②d-1 のような境界条件を設定する。Gamma は体積分率で、Gamma=1 が液相、Gamma=0 が気相を表す。

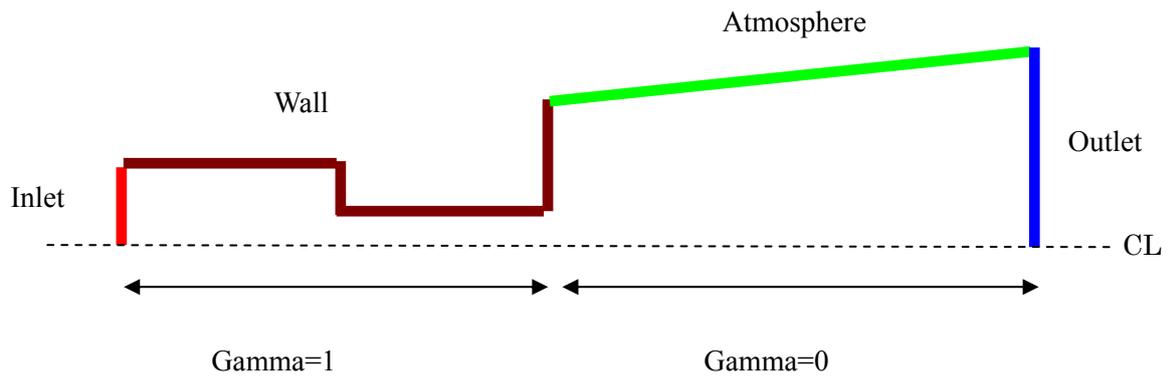


図 2.3(4)②d-1 境界条件および初期条件の設定

(c) 計算結果

解析結果の例を図 2.3(4)②d-2 に示す。

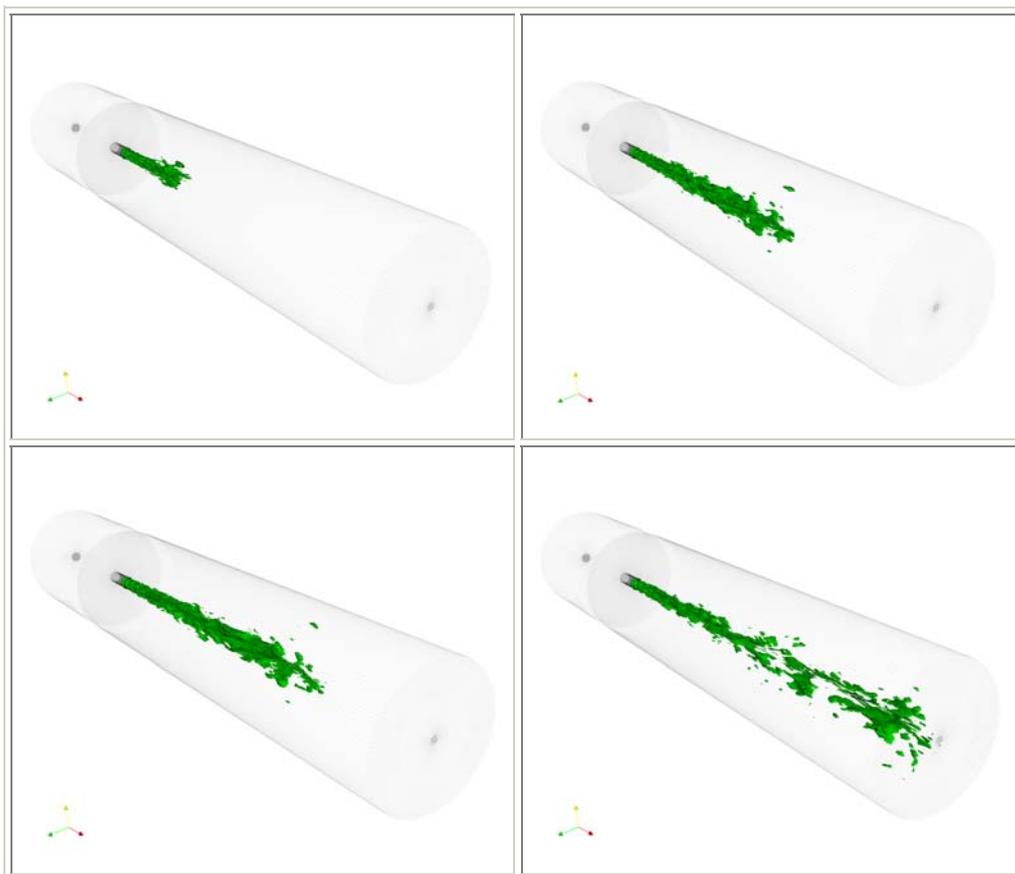


図 2.3(4)②d-2 液体水素微粒化ソルバーによる液相体積分率 ( $\gamma=0.5$ ) の等値面に関する時間発展数値計算例

液体水素微粒化流れにおける液相体積分率  $\gamma$  ( $\gamma=0.5$ ) の等値面に関する非定常数値計算例を示す。ノズル出口から噴出する液体水素に関し、①液柱の不安定変形から分裂、②液膜の形成と液膜フラグメントへの分裂、③微粒化液滴の形成までの一連の極低温流体微粒化プロセスに関する混相流動場の数値予測が効果的に達成されていることが分かる。

図 2.3(4)②d-3 に液体水素微粒化ソルバーによる噴霧流温度分布に関する時間発展を示す。図 2.3(4)②d-2 及び図 2.3(4)②d-3 より、計算時間進行に伴い水素微粒化が活発となる状態に達した場合、あるいは液滴分裂が活発に行われている気液界面において、極低温噴霧流における温度拡散が強力に促進されることがわかる。すなわち、極低温流体においては液柱分裂時、気液界面における熱伝達特性が向上し温度拡散に及ぼす噴霧微粒化の影響が、常温流体に比較して大きく現れると言える。図 2.3(4)②d-4 は液体水素微粒化噴霧流の流速ベクトルである。気液界面近傍において流速ベクトルの逆流域が見られ、この逆流の影響により気液界面において Kelvin-Helmholtz 不安定が誘起されることにより液柱界面は波状に変形する。やがて気液界面には界面せん断力の増大に基づく微小乱流渦が生成し、変形面の巻き込み現象が生じ、曲率がある一定値を超えると液滴への分裂が生じることが分かる。

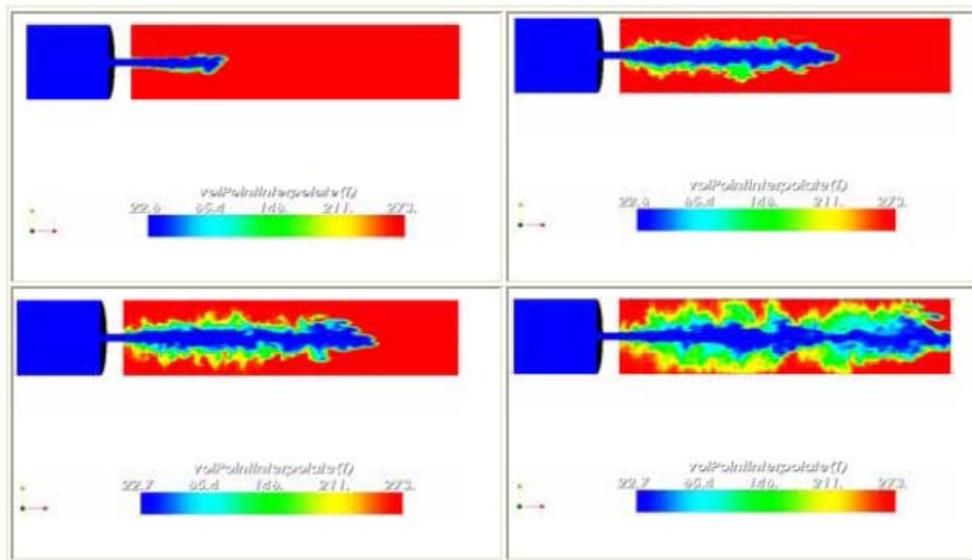


図 2.3(4)②d-3 液体水素微粒化ソルバーによる噴霧流温度分布に関する時間発展

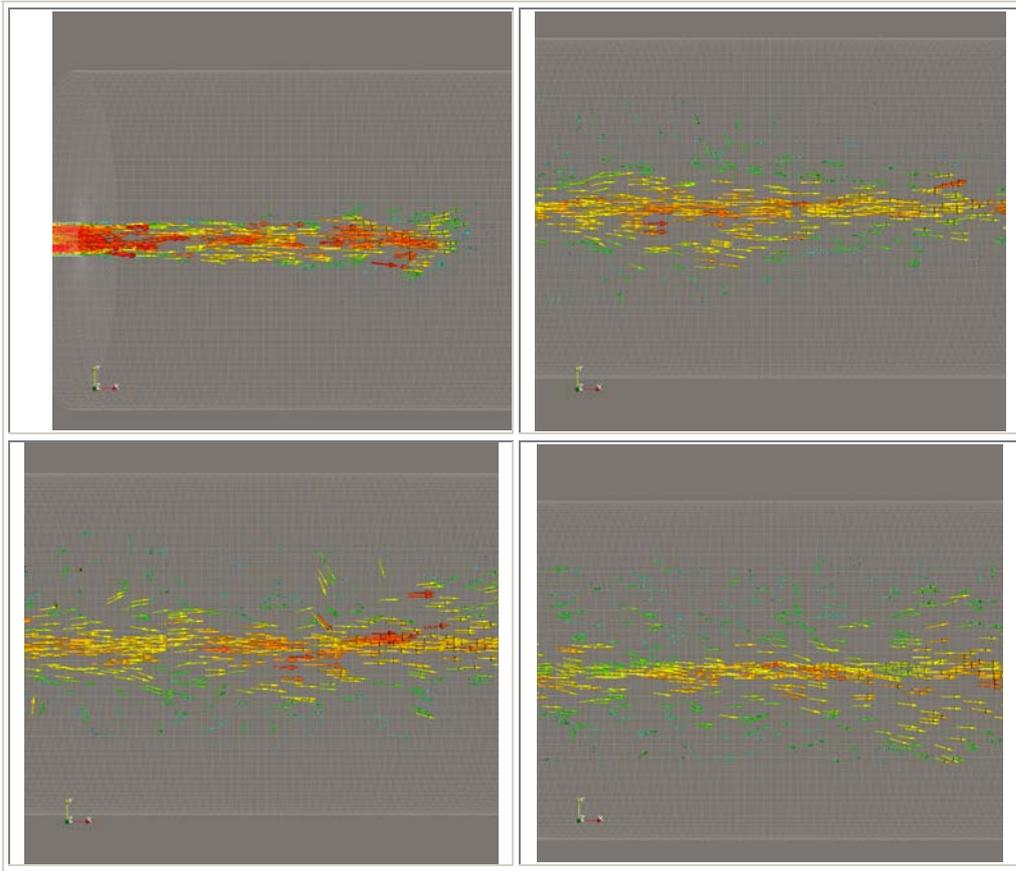


図 2.3(4)②d-4 液体水素微粒化ソルバーによる噴霧流速ベクトル分布に関する時間発展

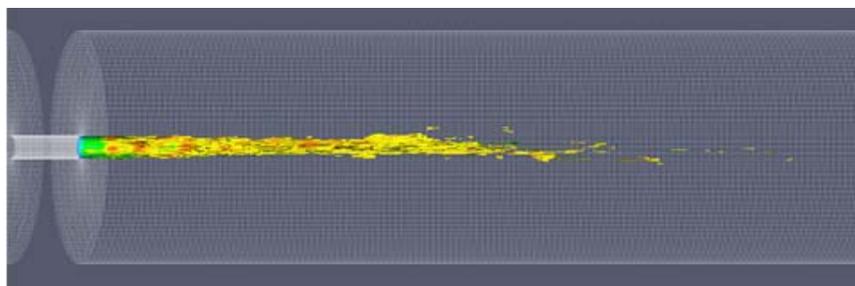
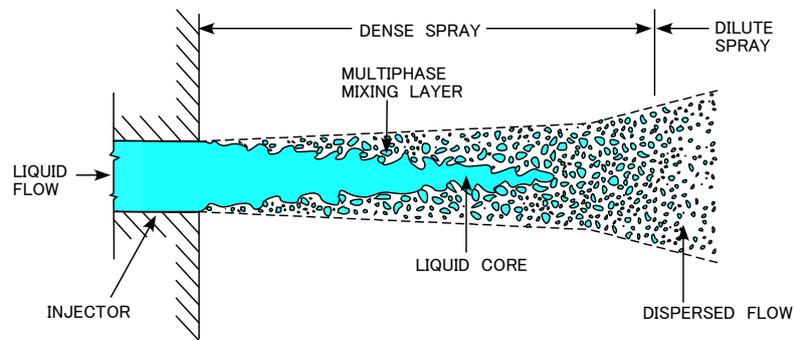
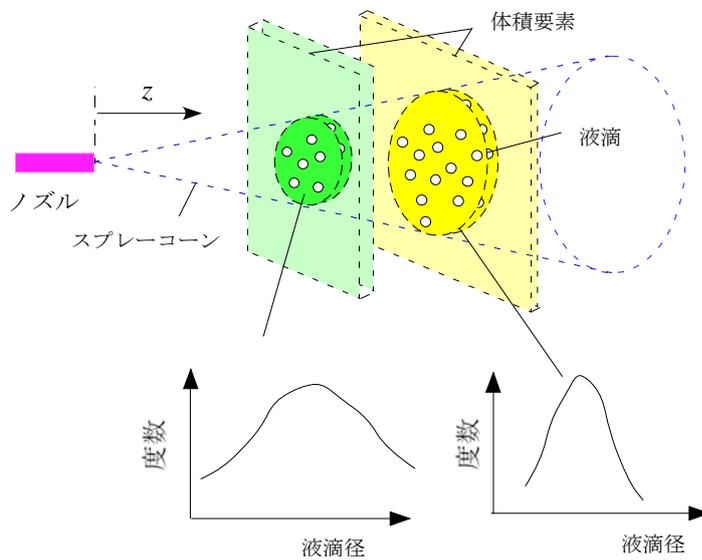


図 2.3(4)②d-5 液体水素ジェットのパテンシャルコア(分裂長さ)

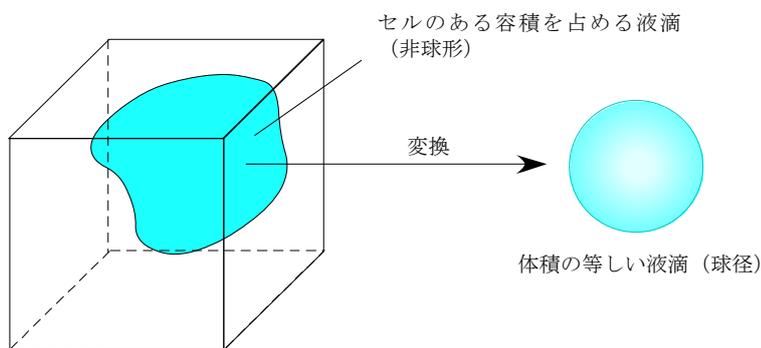
図 2.3(4)②d-5 は液体水素ジェットのポテンシャルコア  $La$  (分裂長さ)である。ポテンシャルコアは全時間ステップにおける  $\Gamma=1$ (液相のみ)の等値面を抽出してスーパーインポーズし重ね合わせたものである。水のノズル噴霧においては  $La=7d$  ( $d$ :ノズル径)程度であるが、液体水素の場合  $La=16d$ にも達する。これは、液体水素等の極低温流体が低粘性であり、ノズル部通過の際に発生するせん断応力が小さく、常温流体ジェットに比較して界面不安定性が誘起されにくいいため、液柱から液滴への分裂に要する距離が長くなると考えられる。

(d) 粒径分布の算出

上記の解析モデルを用いて、剥離して生成される液滴の粒子径分布を算出した。具体的な方法は図 2.3(4)②d-6 に示す通りである。



(a)液柱から剥離した液体水素の液滴径分布



(b) セル内液滴の直径の算出方法

図 2.3(4)②d-6 液体水素液滴粒径分布算出に要する具体的な手順

図 2.3(4)②d-7 に液体水素液滴粒径分布に関する計算結果を示す。噴孔直下における液滴径のピーク値は下流側へゆくに従い減少し、微粒化が促進されていることが分かる。特に下流側においては  $D_p=20 \mu\text{m}$  近傍の粒径生成頻度が増大し、下流側に行くに従い微粒化促進が効果的に行われていることが分かる。

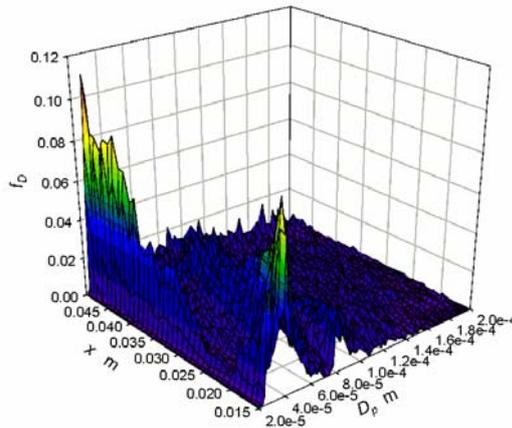


図 2.3(4)②d-7 液体水素液滴粒径分布に関する計算結果（液相体積分率  $\gamma=0.1$ ）

また、水素液滴粒径分布の噴霧主流方向分布の統計解析用ソルバーを開発し、水素微粒化液滴の粒径分布は噴孔出口から下流側へ離れるに従い微粒化が促進され最大粒径が減少する傾向にあることを明らかにした（図 2.3(4)②d-7）。今回検討したモデルによって、液体水素噴出時の液滴剥離挙動のメカニズム、発生する液滴径分布等が求められるようになった。

今後、本解析ソルバーに対して蒸発モデルを組み込むことにより微粒化液体水素の気相変化過程の予測と蒸気相生成量の算出が可能になると考えられる。

#### c. 液体水素の蒸発拡散モデル

多次元・多相熱流動解析コード CHAMPAGNE を用いて、液体水素の蒸発拡散挙動を精度良く模擬するモデル・解析手法を構築する。

CHAMPAGNE では、

- ア. 液体水素から水素ガスへの蒸発による質量移行
- イ. 液体と気相との相間摩擦損失による運動量移行
- ウ. 気相と液体水素の熱交換と液体水素の蒸発によるエネルギー移行
- エ. 2相流動様式（噴霧流、気泡流）

が考慮できる。これまでは、1mm 口径の噴出口から漏えいした液体水素の液滴発生挙動データをチューニングデータとして、モデルのパラメータを設定し、蒸発後の拡散挙動を求めていた。図②d-8 に例として、剥離した液滴径の分布を考慮した解析と液滴径は一様であると仮定した解析における、軸方向の濃度分布の差異を示す。

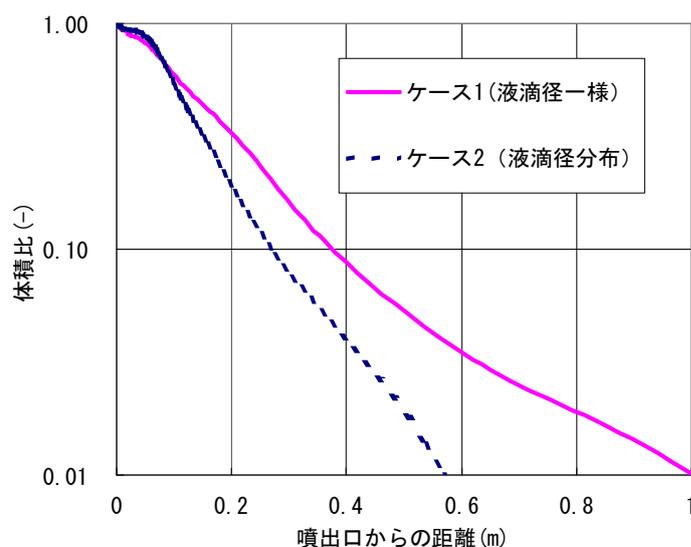


図 2.3(4)②d-8 液体水素蒸発拡散時の噴出口からの距離と到達濃度

今後は、これらの実験データに上記の液滴剥離モデルによる解析結果のデータもチューニング用データとして、さらに蒸発挙動の模擬精度を確認した上で、低温水素ガスの拡散解析を実施し、それらの予想精度も向上させていく必要がある。

#### エ. 成果と今後の課題

液体水素の漏えい口近傍における、液滴剥離挙動の詳細解析用ツールが整備された。今後は、液滴剥離モデルへの相変化モデルの組み込み、蒸発モデルを使った解析による液滴分布挙動に関するデータの取得、これらを踏まえた蒸発拡散解析の追加実施によって、種々の液体水素漏えいモードに対する蒸発・拡散モデルの構築が可能となる。

#### e. 水素基礎物性に関わる実験データ・解析結果の整理

b～d で検討した液体水素蒸発挙動、及び水素の拡散・爆発現象に関して実験、数値シミュレーション結果、及びその手法をまとめる、現状での数値シミュレーションの限界及び課題、今後必要とされる検討項目をまとめる。

ア. トンネル内で水素の漏えいが発生した際に、通常の換気風速 2m/s 程度の風速で、大幅に可燃濃度域を減らすことができることを確認（検討の過程で取得した実験データは、換気基準検討に用いるだけでなく、トンネル内の爆燃現象予測を CFD で行う際の基礎データとしても使用）。

イ. トンネル解析における各種パラメータの影響は未だ全てが明らかではない。検討結果とリスク評価の観点から、トンネルにおける安全対策の基準を明確にし、活用

できる資料としてまとめる必要がある。

- リ. 閉鎖／半閉鎖空間においては、水素漏えい量に変化しても、室内に残留する水素の量は、無次元化漏えい量（漏えい流量/換気量）で表すことができる見通しが得られた。また、無次元化漏えい量が 0.01 になれば爆風圧を 10KPa 程度まで低減できる見通しを得た。ただし、爆風圧に関しては、今回の実験条件の一部（漏えい量 0.0089m/s）における知見であるため、他の漏えい条件（漏えい量、漏えい位置など）におけるデータ補強を行うことが望ましい。また、これらの得られたデータは H19 年度、エネルギー総合工学研究所がとりまとめる（一部、当社も執筆）「水素の有効利用ガイドブック」に反映させた。
- エ. 想定するスタンドモデルに対して輻射解析を適用し、保安距離を明確にする（現状では輻射の影響は小さいものとされ、詳細な評価が行われていない）。
- オ. 狭隘空間に形成された水素-空気予混合火炎を伝播する火炎の特性が、実験的に得られたが、限られた混合比と空間幅のデータのみなので、シミュレーションの検証に用いるため、さらにデータを蓄積する。また、水素-空気の希薄予混合気における乱流火炎特性についても、実験的にかなりの部分が明らかにされた。これらを現状の爆燃シミュレーションに組み込み、広い濃度範囲において精度良い解析が可能になるように整備する必要がある。
- カ. 液体水素の蒸発拡散解析技術が整備されたが、今後は実験に加えて、これらの解析ツールによるデータも踏まえて、種々の漏えいモードに適用できるように、予測精度を向上させる必要がある。

③ 研究発表・講演（口頭発表も含む）

本事業で行った成果の外部発表は20件である。その内訳を以下に示す。

国内学会での発表 : 7件                      国際学会での発表 : 7件  
 国内雑誌での発表 : 3件                      海外雑誌での発表 : 2件  
 国内書籍の共著 : 1件

これらの外部発表は、学会誌「安全工学」および“World Hydrogen Energy Conference” “NHA Annual Hydrogen Conference”, “International Conference on Hydrogen Safety”, “International Symposium on Combustion” 等、当該分野の研究者からの注目度が高い雑誌・学会での発表を含む。

また、水素の基本的性質から、利用技術動向、将来展望までの全体像を包括的、系統的に解説した「水素エネルギー読本」の作成に協力し、「水素安全」に関連した部分の執筆を担当した。

表 2.3(4)③-1 に、全発表の年月日、媒体、タイトル、発表者を示す。

表 2.3(4)③-1 研究発表・講演リスト

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成17年 5月26～27日	8 <sup>th</sup> Asian Hydrogen Energy Conference	Experiments on Hydrogen Deflagration	Y. Sato, H. Iwabuchi, M. Groethe, J. Colton and S. Chiba
平成17年 7月3～8日	3 <sup>rd</sup> International Conference on Materials for Advanced Technologies	Experiments on Hydrogen Deflagration	Y. Sato, H. Iwabuchi, M. Groethe, J. Colton, and S. Chiba
平成17年 9月8～10日	1 <sup>st</sup> International Conference on Hydrogen Safety	Large-scale Hydrogen Deflagrations and Detonations	M. Groethe, E. Merilo, J. Colton, and S. Chiba, Y. Sato, and H. Iwabuchi
平成17年 12月	安全工学, 44(6), 407-411 (2005)	水素の爆燃野外実験	佐藤保和
投稿中	International Journal of Hydrogen Energy, in press	Large-scale Hydrogen Deflagrations and Detonations	M. Groethe, E. Merilo, J. Colton, and S. Chiba, Y. Sato, and H. Iwabuchi
平成18年 3月12～16日	NHA Annual Hydrogen Conference 2006	Hydrogen Deflagrations in a Sub-scale Tunnel	Y. Sato, E. Merilo, M. Groethe, J. Colton, and S. Chiba, and H. Iwabuchi

平成17年 9月7～9日	第46回大気環境学会 年会	水素ガス拡散時の濃度 変動と着火確率に關する 風洞実験	河内昭紀、岡林一木
平成17年 12月14～15 日	第25回水素エネルギー協 会大会	風洞実験による水素ガ ス拡散時の濃度変動特 性と着火確率に關する 研究	河内昭紀、岡林一木、 武野計二、千歳敬子
平成18年 6月13～16日	16 <sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2006	Hydrogen Release Deflagrations in a Sub-Scale Vehicle Tunnel	Yasukazu Sato, Erik Merilo, Mark Groethe, James Colton, Seiki Chiba, Hiroyuki Iwabuchi, Yuki Ishimoto
平成18年 7月24日	Journal of Power Sources, Volume 159 (2006) 144-148	Experiments on Hydrogen Deflagration	Y. Sato, H. Iwabuchi, M. Groethe, J. Colton, and S. Chiba
平成18年 9月21日	第47回大気環境学会年会	半閉鎖空間における水 素ガス拡散挙動に關する 模型実験及び数値計 算	河内昭紀、岡林一木
平成19年1月	水素エネルギー読本 水素エネルギー協会編	第6章「水素の安全を 支える技術」	岡林一木、武野計二、 千歳敬子
平成18年6月	16 <sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2006	A Model for Turbulent Burning Velocity of Hydrogen Mixtures based on Local Burning Velocity	Masaya Nakahara, Hiroyuki Kido
平成18年8月	31 <sup>th</sup> international Symposium on Combustion	Influence of Stretch on Local Burning Velocity of Premixed Turbulent Flames	M. NAKAHARA, H. KIDO 、T. SHIRASUNA、K. HIR ATA.
平成18年9月	日本流体力学会年会2006	予混合乱流火炎の局所 火炎伝ぱ特性に關する 実験的検討	中原 真也、城戸 裕之 、白砂 貴盛、平田 耕 一
平成18年9月	日本機械学会講演論文集 (2006 年度年次大会)	水素添加プロパン予混 合乱流火炎の局所火炎 伝ぱ特性に關する実験 的検討	中原 真也、城戸 裕 之、白砂 貴盛、平田 耕 一

平成18年9月	日本機械学会講演論文集 (2006年度年次大会)	水素混合気の乱流燃焼速度に及ぼす局所燃焼速度の影響	中原真也、城戸裕之
平成18年12月	第44回燃焼シンポジウム	予混合乱流火炎の局所燃焼速度特性に及ぼす火炎伸長の影響	中原真也、城戸裕之、白砂貴盛、平田耕一、上田俊二
平成18年12月	第26回水素エネルギー協会大会	トンネル状空間を伝ばする水素予混合火炎の基礎燃焼特性	中原真也、城戸裕之、原裕二郎、安川哲平
平成19年1月	第 19 回内燃機関シンポジウム	水素予混合乱流燃焼速度モデルに関する研究	中原真也、城戸裕之

④ 特許等

表 2.3(4)④-1 に、出願特許リストを示す。

表 2.3(4)④-1 出願済特許リスト

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
平成17年12月08日	特願2005-354630号	着火確率予測実験装置	三菱重工業
平成18年11月20日	特願2006-312802号	着火確率予測実験装置	三菱重工業

(5) 水素安全利用技術の基礎研究 ((独)産業技術総合研究所)

① 高圧水素ガスの漏洩時の着火性に関する研究 (産業技術総合研究所、青山学院大学)

a. 水素噴流の拡散濃度特性と着火性の計測

水素と空気の流動混合気および水素噴流の着火性を明確にするために、噴流中の濃度分布と速度分布を解析した。また、均一な水素-空気の流動混合気の爆発下限界を実験的に計測し、流動状態の爆発下限界に及ぼす影響を調べた。その結果、流動状態においては爆発下限界濃度が高濃度側にシフトすることが明らかになり、静止状態での爆発下限界濃度の4分の1を基準として定められている火気離隔距離の見直しに役立つ成果が得られた。

高圧水素ガス配管等が破断して瞬間的に大量の水素が漏洩噴出した場合の拡散挙動の測定は野外実験で行ったが、高圧水素ガスが微小漏洩を続けた場合の水素の拡散挙動については、風洞内での漏洩実験とともに流体解析ソフト FLUENT を用いた計算を行い、水素圧、放出口及び周囲風速の影響について整理した。実験データとシミュレーションによって、例えば図 2.3(5)①a-1 に示すように水素圧 35MPa、放出口 0.8mm で風速 0.5 および 3.0m/s の時に風下に向けて放出した場合の水素の濃度分布は、風速が増加すると高濃度領域が短くなる傾向が一致した。また、風速 0.5m/s の場合、計算では上方への拡散が認められた。

流体解析ソフトを用いて、様々なノズル径の大きさについて、圧力 40MPa の貯槽から漏洩した場合のシミュレーションを行い、拡散濃度特性を評価した。ノズル径で整理すると 6m の位置で可燃範囲以下の濃度になるのはノズル径が 0.8mmφ 以下であった。また、周囲の空気流速が速くなると希釈が促進されるが、ノズル径が小さくなると周囲の空気流速の影響が小さくなることがわかった。噴出圧力の依存性については、圧力が小さくなると噴出流量が減少し、高濃度領域も縮小することがわかった。

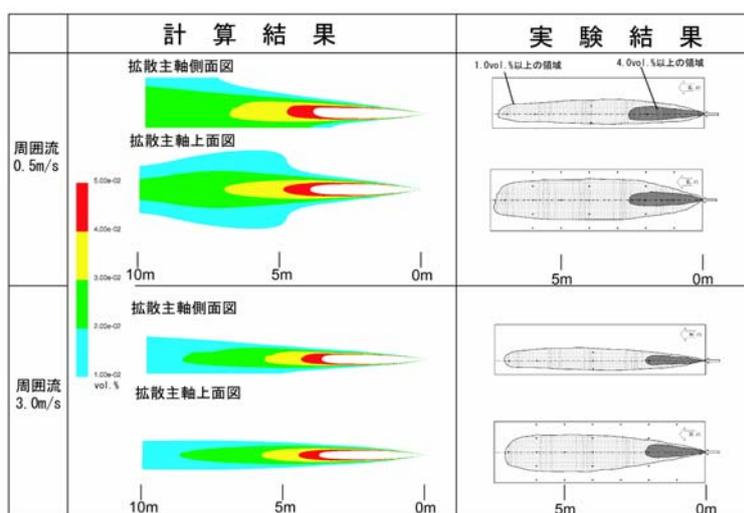


図 2.3(5)①a-1 漏洩噴出水素の拡散挙動  
(実験結果と計算結果の比較)

一方、高圧水素ガスが漏洩噴出した場合高速の噴流となるため、水素の爆発下限界以上の濃度になっても着火しないことが予想される。そこで、水素濃度および流速と着火性との関係を解析するために、ダクト中を流れる一定流速の混合気流中の爆発下限界濃度の測定を行った。結果を図 2.3(5)①a-2 に示す。静止混合気の場合は、爆発下限が 4.1vol%(上方伝播火炎)および 8.9vol.%(下方伝播火炎)であるが、実験の結果低流速条件においても、混合気流中では上方伝播火炎の下限界は高濃度側へシフトし、下方伝播火炎では低濃度側へシフトした。実際の漏洩で爆発下限界と予想される地点での流速に近い条件で爆発下限界濃度を測定した結果、流速が 25m/s の場合では爆発下限界濃度が 6vol.%になることがわかった。このことから水素濃度だけでなく混合気流速も考慮することにより、着火危険領域の縮小が期待できる。

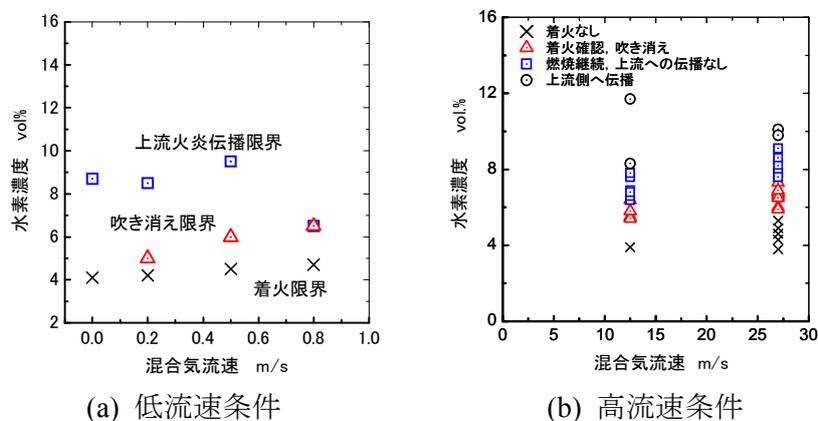


図 2.3(5)①a-2 爆発下限界と上流側火炎伝播限界

#### b. 水素噴流の噴流特性と着火性の計測および数値解析

高圧水素ガスが急激に噴出すると自然着火を起こす場合があることが知られているので、着火条件を明確にすることを試みた。これまでに急激な噴出を実験的に再現し、実際に自然着火することを確認するとともに着火条件を実験的に、また数値計算によって明らかにした。今後、自然着火しない条件を明確化することにより、ベント配管などの安全な水素放出口の形状の提案が可能になると考える。

実際の水素スタンドの設備を想定して水素の噴出圧力、噴出口径およびノズル長さなどの噴出条件の違いによる自然着火への影響を実験的に検討し、着火の起こりやすい条件を明らかにした。また、着火した場合の水素噴流への火炎伝播挙動も観測した。

実験は、配管内に水素を供給し徐々に圧力を高くしていき、破裂板を破膜させることによって水素を大気中へ急激に噴出させた。実験結果の例を図 2.3(5)①b-1 に示す。水素の圧力が高くなると破裂板の破膜とともに自然着火し、大きな音を伴って火炎が広がった。自然着火が起きた場合、噴流火炎になるケースと、火炎の吹き飛びが見られるケースがあった。噴流火炎が形成される場合は、ノズル内で形成された火炎が噴流の外側の流速の遅い部分で保炎された。

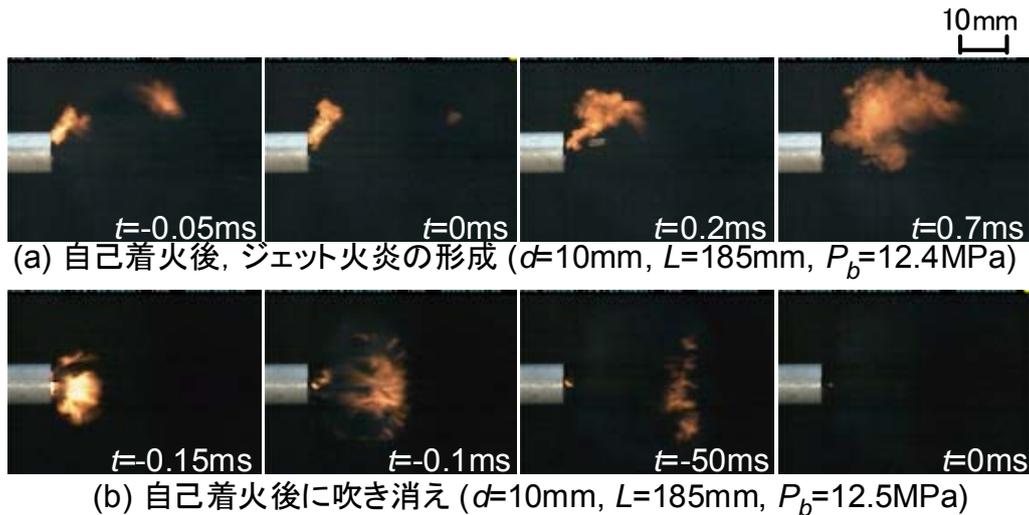


図 2.3(5)①b-1 ノズル出口における自然着火

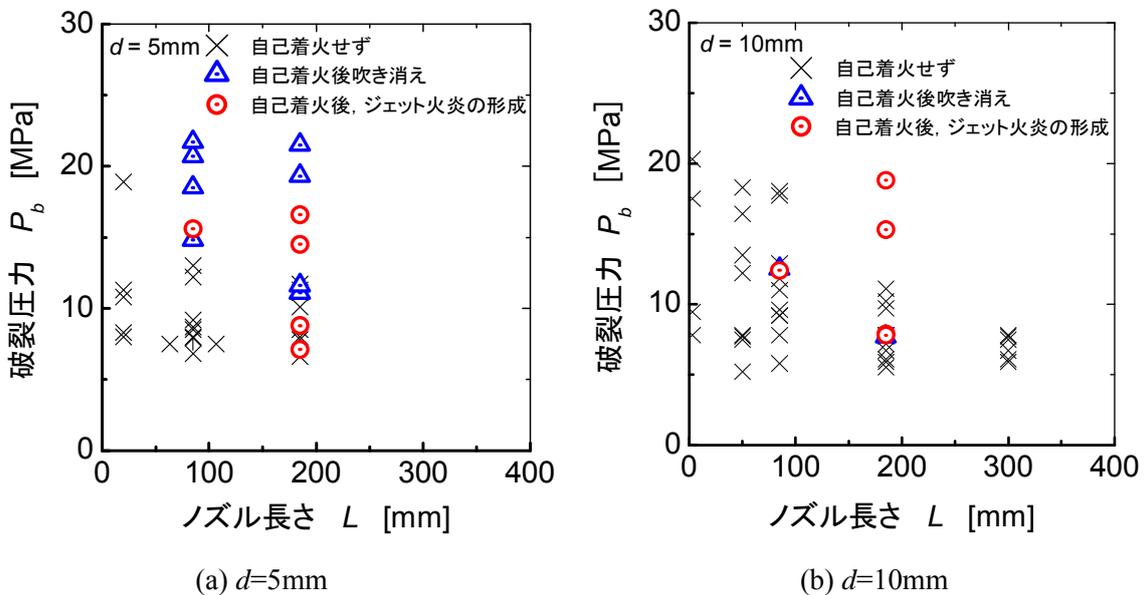


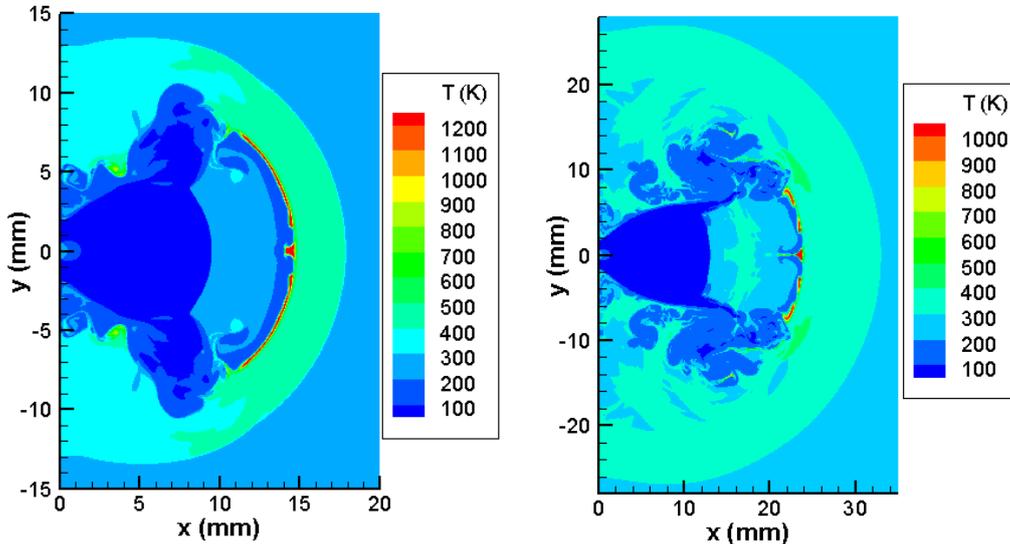
図 2.3(5)①b-2 水素の噴出による自然着火に及ぼす破膜圧力とノズル長さの影響

自然着火した場合のノズルの長さとの関係を図 2.3(5)①b-2 にまとめた。ノズルが短い場合は自然着火が起こりにくく、ノズルが長くなると低い圧力でも自然着火が起こる可能性が高くなることがわかった。

高圧タンクにあいた小さい穴から漏洩する水素噴流とノズルから噴出する水素噴流の数値解析を行った。解析結果の一例を図 2.3(5)①b-3 に示す。

図 2.3(5)①b-2(a)に示すように、高圧タンクから噴出した水素ジェットによって、ジェット先端に先行衝撃波が生じ、その背後の高温になった空気と水素ジェットとの接触面で自然着火が起こることが示された(図の赤い部分)。1mm、3mm、5mmの小孔を用いた場合に、この自然着火は、ジェットの脇の部分でも見られた。しかしながら、この自然着火による火炎は非常に薄く、そこで発生する生成物によって、

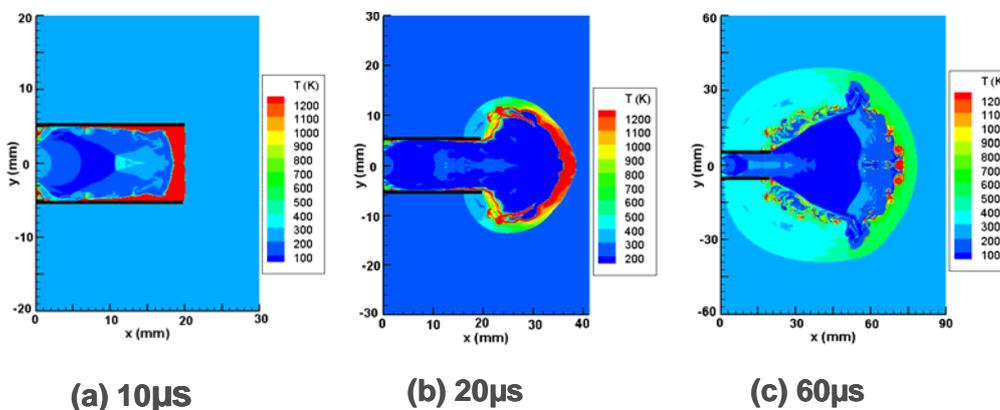
また急速に弱まった先行衝撃波によって弱められ、図 2.3(5)①b-2(b)に示すように、非常に短い時間に消炎する。この消炎現象は、水素圧力が約 70MPa まで上昇しても起こることが予測された。



(a) 噴出から 20 $\mu$  秒後の温度分布 (b) 噴出から 50 $\mu$  秒後の温度分布

図 2.3(5)①b-3 噴出着火の数値解析結果(圧力: 40MPa、噴出口径: 1mm $\Phi$ )

ノズルを用いた場合の解析結果を図 2.3(5)①b-4 に示す。高压水素の噴流はノズル内でも先行衝撃波を作るが、この衝撃波はノズル内を伝播している間は減衰せず、むしろ強化され、その背後の空気は非常に高温になる。この高温空気とさらに背後の水素噴流が混合し自然着火を誘発する(図 2.3(5)①b-4(a)の赤い部分)。この自己着火による火炎は、ノズル出口に浮き上がり火炎を生み出し、管出口で着火を継続する(図 2.3(5)①b-4(b))。この事実は実験結果と定性的に一致しており、ノズルから噴出した水素は着火するという現象を解明できたことになる。



(a) 10 $\mu$ s

(b) 20 $\mu$ s

(c) 60 $\mu$ s

図 2.3(5)①b-4 ノズルからの噴出着火の数値解析結果(圧力: 40MPa、ノズル径: 4.8mm $\Phi$ )

② 水素ガス漏洩時における静電気着火に関する研究（産業技術総合研究所、東京大学大学院工学系研究科）

a. 水素ガス漏洩時における静電気着火の実験的解明

水素が大気中へ放出される場合、水素ガスのみが単独で噴出した場合には帯電は発生しないが、例えばベント放出口付近や配管・ホース亀裂付近にダストが蓄積していて、それを巻き込んで噴出した場合は、ダストの導電率によらず多量の静電気を発生することが知られている。そこで、水素供給用ディスペンサー配管に発生した亀裂から水素が噴出漏洩した場合を想定して、帯電機構の把握及び着火危険性の有無について、実験的に検討した。今後、ベント配管などの水素放出口において、静電気着火が発生しない条件を明らかにすることにより、安全な水素放出口の形状の提案が可能になると考える。

ダストのモデルとして、酸化鉄および赤土を用い、水素と一緒に噴出させる実験の様子を図 2.3(5)②a-1 に、測定装置の概略を図 2.3(5)②a-2 に示す。水素と酸化鉄がともに噴出すると、酸化鉄は帯電し、水素を着火させるエネルギーを有した静電気を発生し、実際に水素が着火する場合があった。実験中に着火した例を図 2.3(5)②a-3 に示す。酸化鉄と赤土の混合ダストを使用した場合も、水素を着火させるエネルギーを有した静電気が発生した。帯電量の鉛直方向の分布を帯電量の最大値との比で整理すると図 2.3(5)②a-4 が得られた。水素とダストによって形成される帯電雲の分布は、ノズル径、噴出圧力といった噴出条件に依存せず相似であり、ダストの種類に依存しないことが明らかになった。また、水素と酸化鉄が噴出する場合に電荷雲の形成に大きな影響を及ぼす要因は、ノズル部分での酸化鉄の衝突帯電であった。すなわち、水素放出口において衝突帯電が起こらないような形状にすることにより静電気着火の可能性を低くすることが可能と考えられる。



図 2.3(5)②a-1 水素による酸化鉄の噴出実験の様子

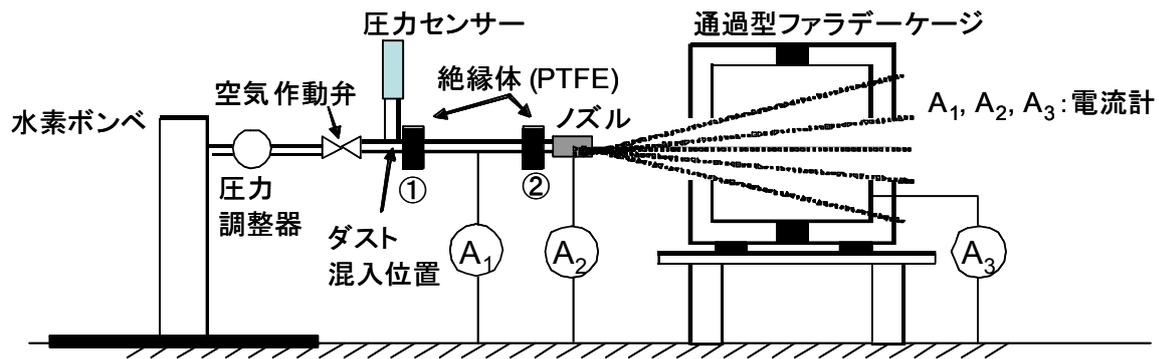


図 2.3(5)②a-2 静電気計測装置の概要と写真

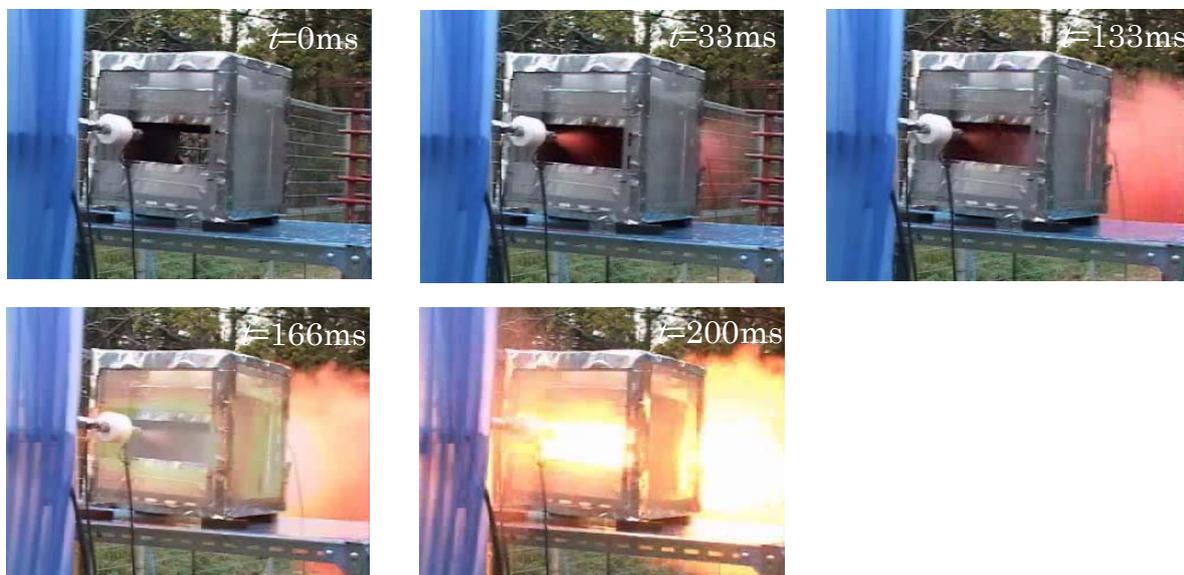
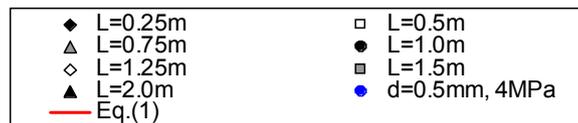
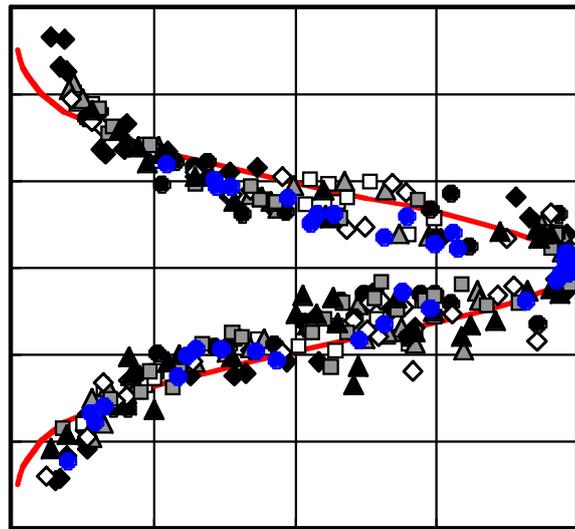


図 2.3(5)②a-3 実験中の静電気着火の例



Lは噴出口からの水平距離、

横軸:  $q/q_{\max}$  は各点の帯電量と最大帯電量との比、

縦軸:  $r/b$  は鉛直方向の位置を示す無次元数、噴出口の高さが 0

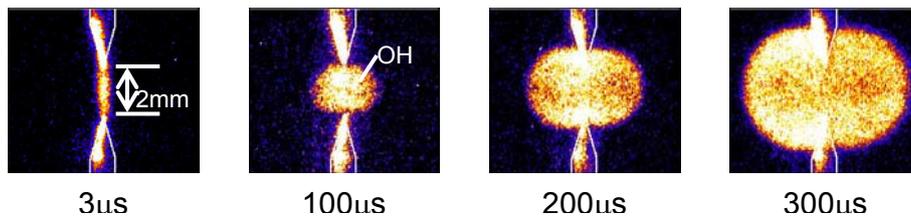
図 2.3(5)②a-4 帯電量の鉛直分布の測定結果

#### b. 水素の静電気着火過程における OH ラジカル密度およびガス温度計測

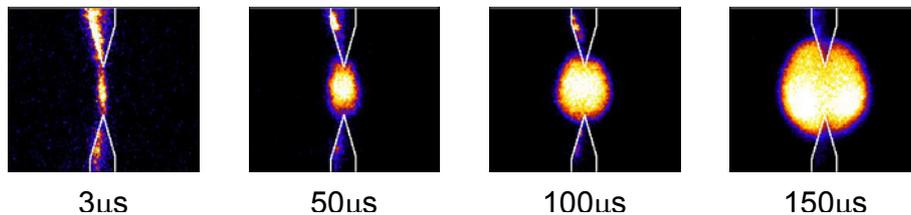
水素を含め、様々な可燃性ガスの放電着火機構が、これまで実験的計測、反応モデル、数値計算などにより調べられてきた。しかし放電着火過程における二つの重要な要素、ラジカル（化学活性種：化学的に非常に活発に反応する分子や原子）密度とガス温度を定量的に計測した例はなく、着火反応モデルを構築する上で実験データが不足しているのが現状であった。本研究では水素の静電気着火に対する基礎過程の検証を目的とし、水素-空気混合気中で放電が発生してから火炎が形成されるまでの  $10\mu\text{s}$  オーダの時間領域において、OH ラジカル密度とガス温度をレーザー誘起蛍光法（LIF: laser-induced fluorescence）で計測することを試みた。本研究で得られた基礎データは、水素の静電気着火をモデル化するうえで必要不可欠であり、水素の静電気安全性の評価に対して大きく寄与するものである。

OH の二次元 LIF の測定の結果を図 2.3(5)②b-1 に示す。水素濃度 50% と 30% では、放電のフィラメント状に発生した OH が、時間の経過とともに球状に進展している様子が観測された。一方水素 15% では、針電極先端の微小領域で発生した OH が、

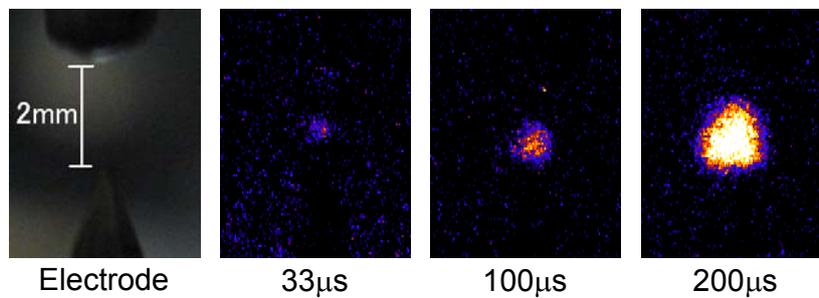
時間とともに進展する様子が観測されている。このように水素濃度 15%では、30%や 50%と比べて非常に小さい領域で火炎核が形成されることが観測された。これが水素濃度の変化に対する本質的なものか、あるいは電極形状を変えたために生じたものかは、今後検討の必要がある。また、OH 密度は放電後減少もしくは一定を保っているが、この間に火炎核の体積が増加しているため、火炎核に含まれる OH ラジカルの総数は放電後に増加していることが明らかになった。



(a)  $\text{H}_2(50\%)\text{-air}$ ,  $E = 3.0E_{\min}$  ( $E_{\min} = 0.075\text{mJ}$ )

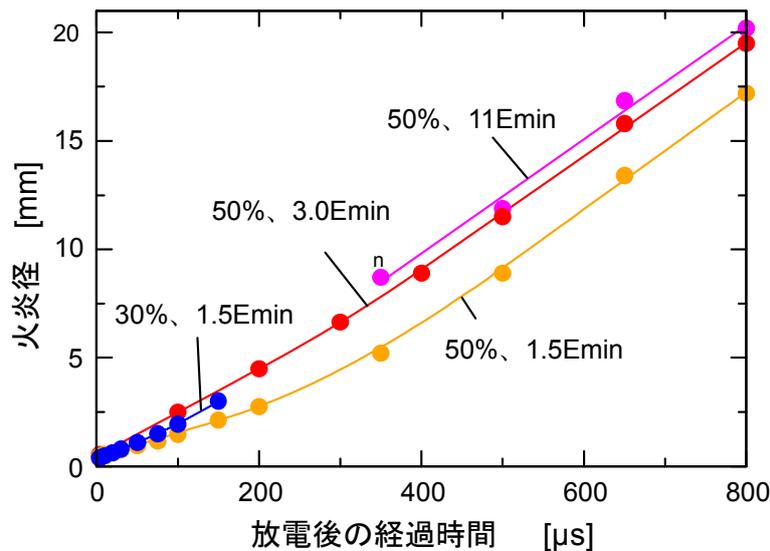


(b)  $\text{H}_2(30\%)\text{-air}$ ,  $E = 1.5E_{\min}$  ( $E_{\min} = 0.048\text{mJ}$ )



(c)  $\text{H}_2(15\%)\text{-air}$ ,  $E = 1.4E_{\min}$  ( $E_{\min} = 0.070\text{mJ}$ )

図 2.3(5)②b-1 OH ラジカルの二次元 LIF 測定結果



横軸：着火後の時間、縦軸：火炎の直径

図中の%は水素濃度、着火エネルギーは  $E_{min}=0.075\text{mJ}$  の倍数で表示

図 2.3(5)②b-2 火炎進展速度の計測結果

さらに、放電着火直後に火炎球の直径が増加する様子を観察した。その結果を図 2.3(5)②b-2 に示す。着火エネルギーが大きいほど火炎の進展速度は速いが、その後は着火エネルギーによらず直線の傾きは同じになり、進展速度は一定になった。すなわち火炎進展速度が着火エネルギーの影響を受けるのは、放電後のわずかな時間だけであることが分かる。どの水素濃度においても、着火エネルギーが最小着火エネルギーに近づくと、急激に着火遅れ時間が増加した。このように最小着火エネルギー付近での着火では、着火・不着火を分ける大きな要素が潜んでおり、今後この領域の着火現象を詳細に調べることにより、水素の着火と不着火を分ける要因が分かるものと期待できる。

### ③ 水素燃焼火炎特性に関する研究（産業技術総合研究所、横浜国立大学）

#### a. 水素噴出火炎の吹き消え現象の解明

高圧水素の噴出で着火した火炎の場合、ある条件では消炎(吹き消え)することが知られているが、その詳細は明らかになっていない。高圧水素の噴出時のノズル口径と放出圧力による吹き消え領域を明らかにすることにより、ジェット火炎による影響度を再評価し、保安距離の見直しに役立つ可能性がある。

水素の噴流火炎の状態について、ノズル口径と放出圧力とを変化させて水素を噴出させ、点火する実験を行った。結果を図 2.3(5)③a-1 に示す。火炎を維持できる領域と吹き消える領域が明らかになった。ノズル口径が約 1mm 以上の大きになると

吹き消えは起こらず放出圧力によらず火炎は維持されるが、例えば水素ステーションのリスク評価においてピンホール漏洩の代表口径である 0.2mm のノズル口径では 0.1MPa 以上では火炎を維持することはできず、実験を行った 40MPa までの範囲で火炎を維持できないという結果となった。今後さらに着火位置、着火方法の影響などを評価して、火炎を維持できる条件との境界を明確にすることにより、リスク評価の見直しに資するデータを蓄積する。

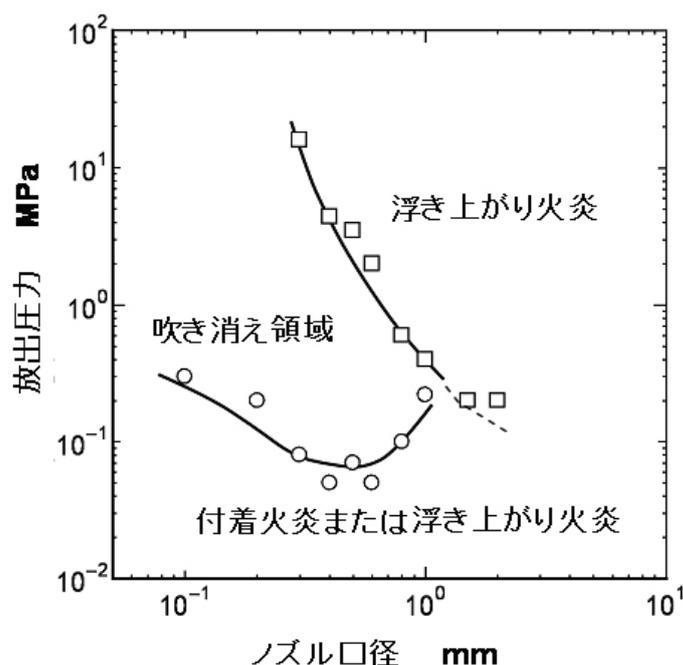


図 2.3(5)③a-1 ノズル口径と火炎の状態との関係

#### b. 水噴霧による水素火炎の熱影響の低減効果に関する実験

消火用に使用される既存の水噴霧設備を用いて、水素火炎の大きさ及び水素火炎下流側の熱影響の低減効果を把握することを目的として実験的な検討を行った。この成果は、水素ステーションの設置時の住民とのリスクコミュニケーションにおいて、事故の際に緊急遮断弁が作動しなかった場合などにも、隣接家屋などへの放射熱などによる影響を低減する効果的な防火設備の配置設計の提案に資するものである。

水素の噴出火炎に対する水噴霧実験の配置図を図 2.3(5)③b-1 に示す。今回用いた水噴霧方法で、火炎に直接水を噴霧しても火炎の大きさ自体を大きく低減することはできなかったが、火炎下流側の放射強度、温度上昇については有意な低減効果がみられ、特に放射強度については火炎先端から下流側に水噴霧を行うとより有意な低減効果がみられた。

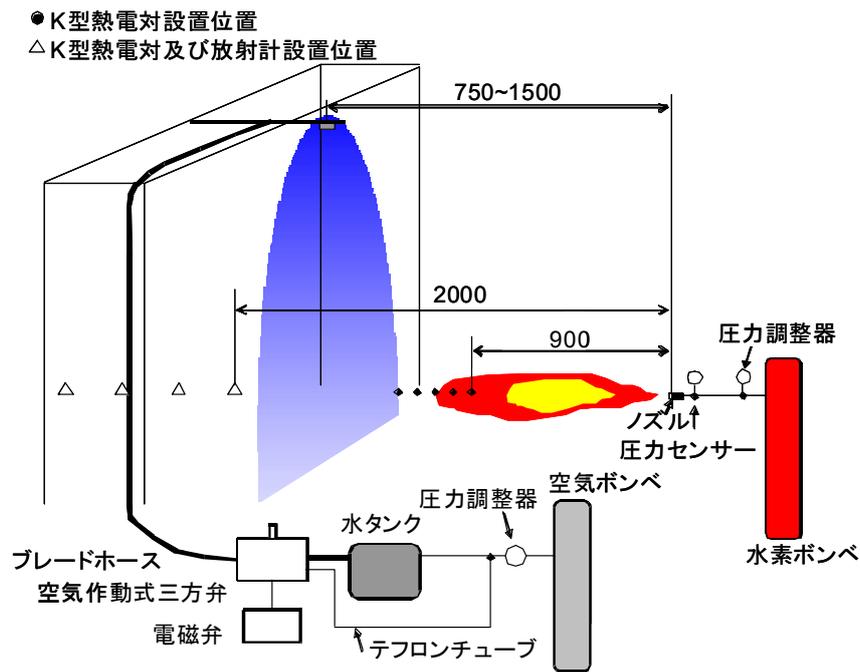
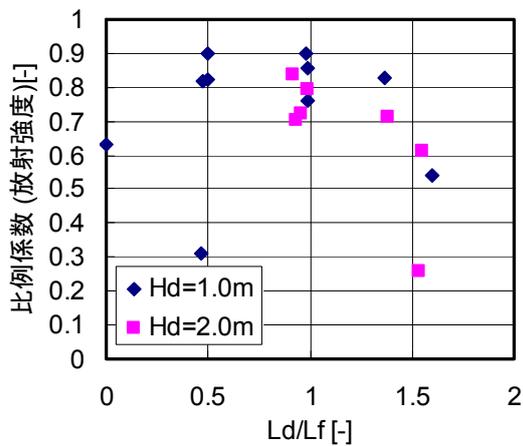


図 2.3(5)③b-1 水噴霧実験の配置図

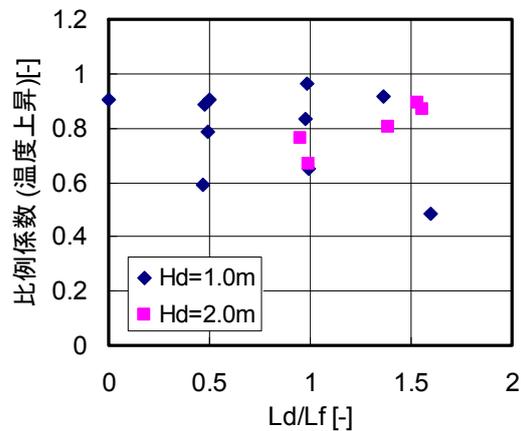
c. 水噴霧による火炎・熱影響の抑制効果の解析

上記実験結果を用い、より効果的な水噴霧方法についての知見を得ることを目的として定量的な解析を行った。

水噴霧の散水分布について解析した結果、今回用いた水噴霧設備では中心部よりも周縁部に散水量が多いことが明らかになり、より効果的な水噴霧のためには設備の再検討の必要性が示された。水噴霧による火炎の大きさ(火炎長および火炎幅)の変化を火炎画像より解析した結果、火炎大きさの低減効果は5%から10%で、水を火炎に直接噴霧させてもその効果はあまり大きくないことが明らかになった。火炎の放出方向のさらに下流への熱影響について解析した結果、火炎の先端よりも遠い位置に水噴霧した場合に40%から70%の放射熱の低減効果が認められた。これらをまとめた結果を図2.3(5)③C-1に示す。今後、放射熱と対流熱の効果を検討し、より効果的な防火設備の提案に資するデータを蓄積する。



(a) 放射強度に対する効果



(b) 温度上昇に対する効果

Hd : 水噴霧位置の高さ

横軸 : Ld/Lf は水素放出口からの火炎の長さに対する水噴霧の位置の比

Ld/Lf=1 の位置が火炎の先端位置で噴霧していることを示す

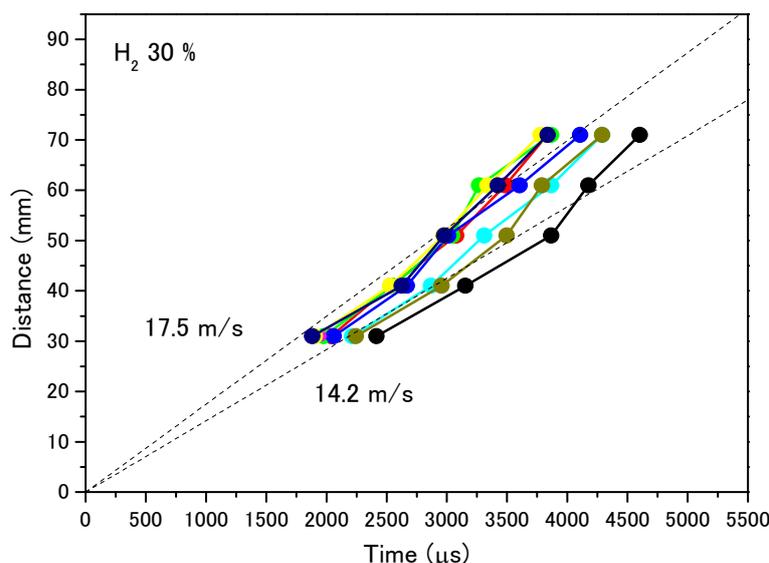
図 2.3(5)③c-1 水噴霧による火炎の影響の低減効果

④ 水素の着火による火炎伝搬と爆ごう転移に関する研究

a. 開放空間における水素の着火と火炎伝播に関する研究 (産業技術総合研究所)

火炎の伝搬速度は、爆発により発生する爆風圧と相関があると考えられていることから、火炎面を高速度で検出する手法を検討した。そのために、一般的なガラス製光ファイバと高速応答性を持つ赤外線検出器を組み合わせた水素火炎面検出方法 (火炎検出ピン) を開発した。小型の水素ハウス(0.016 m<sup>3</sup>)の中に、火炎検出ピン 5 本を 15 mm 間隔で並べ、水素濃度 30%の水素/空気混合気を着火し、火炎伝搬速度を計測した。結果を図 2.3(5)④a-1 に示す。比較のため高速度カメラで火炎伝搬状況を計測した結果、火炎検出ピンによる方法は、高速度カメラによる方法 (高速度カメラ法) と良く一致し火炎伝搬速度として 14 m/s~18 m/s を得ることができた。高速度カメラ法の空間分解能は 0.5mm 程度であることから、本方法は空間分解能の点で高速度カメラ法より優れていることが確認された。構造物により火炎が擾乱を受けて火炎が加速されることが知られているが、構造物の影になる領域でも本方法は適用可能である。本方法は、このような場合の火炎伝搬挙動の解明のためのツールとして活用されることが期待できる。さらに、高速度カメラ法では、撮影の直前に、水素ハウスの内部に塩化ナトリウムの水溶液を噴霧し、その炎色反応により火炎を可視化している。水噴霧した場合に火炎伝搬速度が影響を受ける場合にも、本方法

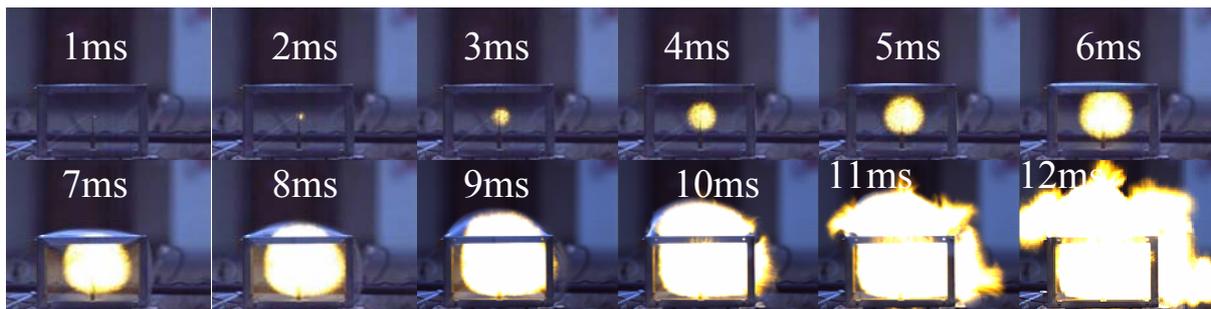
は有用な計測方法となる。



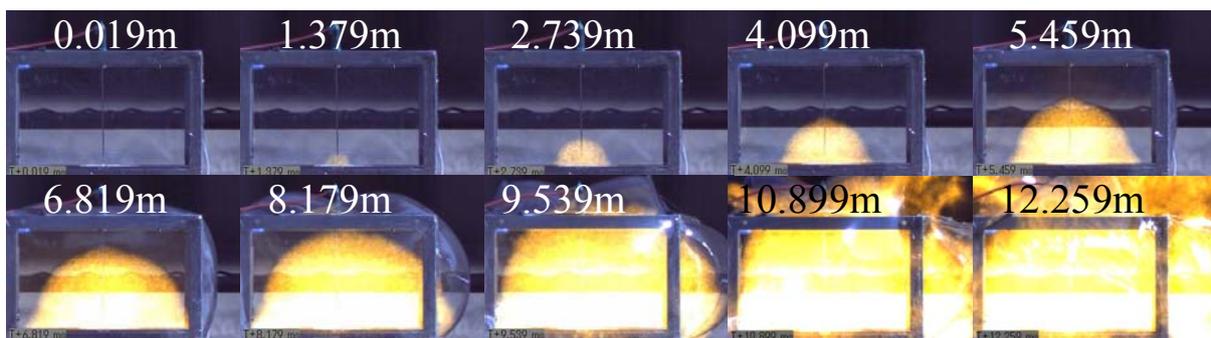
横軸：時間(μ秒)、縦軸：着火点からの距離

図 2.3(5)④a-1 火炎検出ピンによる水素火炎の距離と時間との関係

火炎伝搬に及ぼす着火位置の効果については、小型水素ハウス(0.016 m<sup>3</sup>)の中心または床面で電気放電し、水素/空気混合気を着火した。側面の1箇所は壁を設置し、その他の側面と天井には薄いビニールシートを設置した。火炎の伝搬状況は高速度カメラ法により計測した。結果を図 2.3(5)④a-2 に示す。水素ハウスの中心で着火した場合、火炎は球状に広がった。しかし、床面着火した場合は、火炎伝搬速度の速い順に、底面シート側>上方向、シート側45度>壁側となった。これは、底面平板に沿った方向では、床面の存在のため、壁側は燃焼面に先行する混合気の堰きとめの影響があったためと考えられる。さらに、床面着火の火炎伝搬速度は中心着火のそれよりも総じて大きかった。火炎伝搬速度と爆風圧の間に相関関係があることから、床面着火の場合は、中心着火と比較して爆発の威力が増すことが示唆される。これは、構造体近傍で着火された場合の火炎伝搬は、自由空間の場合より速くなることに相当する。水素ハウスが障壁で囲まれたコーナー部で着火された場合、その火炎伝搬速度は増加することが予想される。今後、着火位置と爆風圧との関係を明らかにすることが重要であると考えられる。

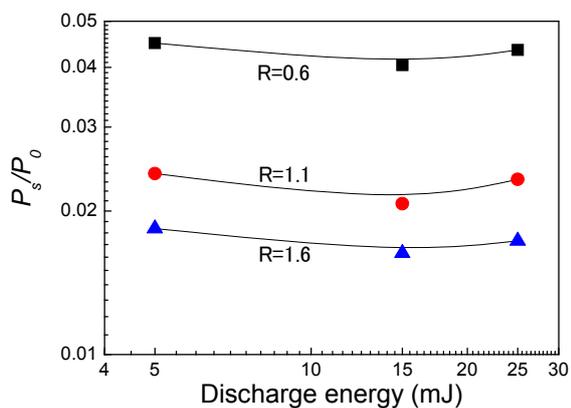


(a) 水素ハウスの中心で着火、左端面はステンレス板壁、端面はシート

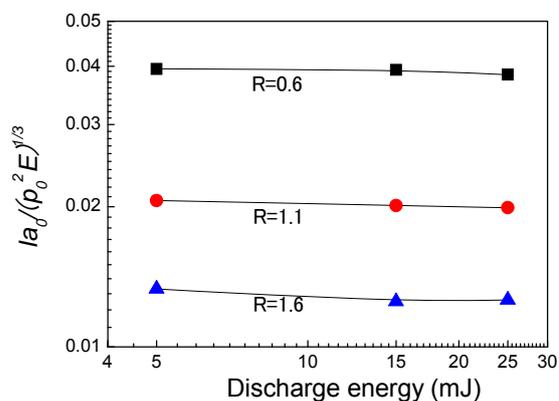


(b) 水素ハウスの床面で着火、左端面はステンレス板壁、右端面はシート

図 2.3(5)④a-2 燃焼状況の撮影結果



(a) ピーク圧への影響



(b) インパルスへの影響

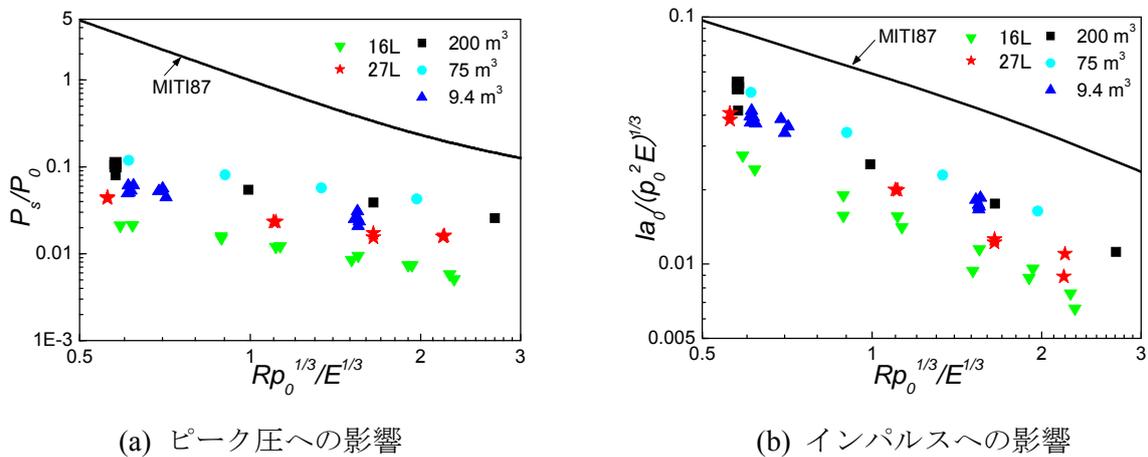
R:容器中心からの距離、横軸：着火エネルギー

縦軸： $P_s/P_0$ はピーク圧と大気圧との比、 $I_{a0}/(\rho_0^2 E)^{1/3}$ はインパルスを無次元化した値

図 2.3(5)④a-3 着火エネルギーの効果

火炎伝搬に及ぼす着火エネルギーの効果については、小型水素ハウスを使用して、放電エネルギーを 1mJ から 1000mJ まで変化させて実験を行った。結果の一部を図 2.3(5)④a-3 に示す。着火エネルギーが 3 桁程度変化しても、爆風のピーク圧やインパルスに及ぼす影響は小さいことが確認された。着火源の種類の効果については、同じ水素ハウスを使用して、電気火花着火と細線加熱着火の場合の爆風圧と火炎伝搬速度を計測した。その結果、火炎伝搬速度は、電気火花着火の場合が 13.1m/s、細線加熱着火の場合が 14.2-15.1m/s となり、細線加熱着火の方が若干速いことが確認された。しかしながら、爆風のピーク圧やインパルスは、ほぼ同等であることが確認された。着火エネルギーそして着火源の種類を変えても、爆風圧に与える影響は小さいことが明らかとなった。本結果は、水素の取り扱いの際の安全性を考慮する際に重要な知見と考える。

水素ハウスの体積と爆風圧の関係については、過去の結果を含めて図 2.3(5)④a-4 にまとめた。小型水素ハウス(0.016 m<sup>3</sup> と 0.027 m<sup>3</sup>)を使用し、ハウス中心で電気火花着火し、内外の圧力や音圧を計測した。27 リットル規模の爆発によって発生した爆風のピーク圧ならびにインパルス (圧力を時間積分した値) は、16 リットル規模の値を上回ることが確認された。これまでに野外において水素ハウスの体積が 9.4m<sup>3</sup> ~200m<sup>3</sup> の実験を行ってきた。これらの結果を今回の 27リットル規模と比較すると、同様に体積の効果が確認された。本実験結果は、実規模での爆風圧を予測するための数値シミュレーション手法を開発する際の検証用データとして活用されることが期待される。



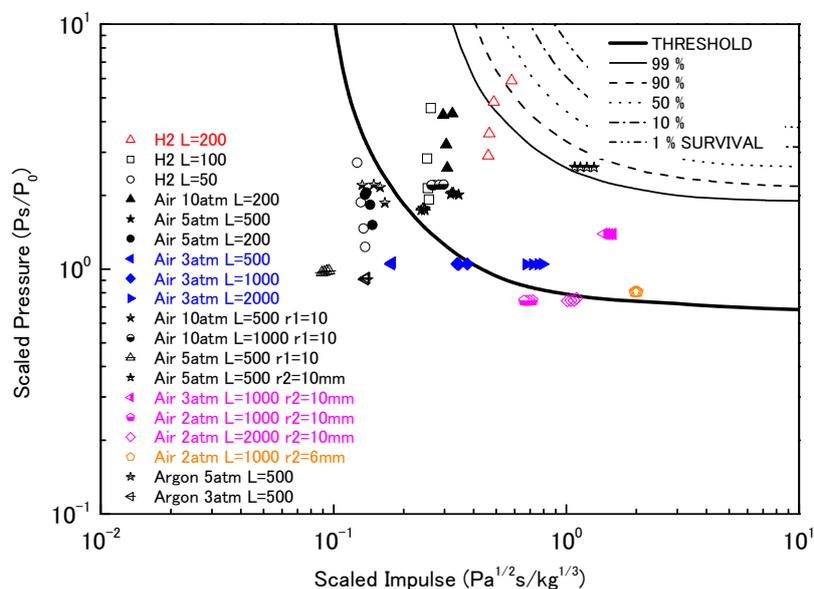
横軸：無次元化された距離

縦軸： $P_s/P_0$  はピーク圧と大気圧との比、 $I_{a0}/(p_0^2 E)^{1/3}$  はインパルスを無次元化した値

図 2.3(5)④a-4 着火エネルギーの効果

気相爆発に特徴的な被害の指標として爆風のインパルスに着目し、肺損傷に関する基礎的なデータを収集するために、モデル気泡群に爆風を作用させて、その変形・

崩壊挙動と爆風のインパルス値の関係について検討することを開始した。その準備段階として、爆燃波管の性能を検討するために、2次元軸対称の衝撃波管問題として数値解析を行った。水素/酸素混合気の爆轟と高圧気体の膨張による爆風のインパルスを解析した。火薬類の爆発に関しては肺損傷の閾値（文献値）が知られている。本解析で得られた爆風のピーク圧とインパルスをその文献値と比較した。その結果を図 2.3(5)④a-5 に示す。本方法は、肺損傷の閾値を含めてある程度広い範囲のインパルスを有する爆風を生成できることが明らかとなった。特に、高圧室に水素/酸素混合気を使用しなくても、高圧室の長さや内径の細い低圧室を選択することなどで、インパルス値の高い爆風を生成できる見通しが得られた。これらの解析結果は、爆風インパルスの効果を実験的に検討する際の設定条件として活用される。



横軸：無次元化されたインパルス値、縦軸：無次元化されたピーク圧値

図 2.3(5)④a-5 実験値(各種点)と肺損傷文献値(各種線)との比較

b. トンネル内で水素が燃焼から爆ごうへの転移を起こす着火条件に関する研究  
(産業技術総合研究所)

本研究は、トンネル内で水素タンクローリが事故に遭遇し、水素が漏洩してトンネル内部に拡散し、燃焼した場合の危険性を予測し、安全対策を提案することを目的としている。そのために、トンネルを模した直径 25mm、50mm、100mm の金属製の管(デトネーションチューブ)を用いて、水素と空気の可燃性混合気が管内を流通している状態あるいは空気が流通している管の途中から水素が噴き出している状態の実験を行い、可燃性混合気に点火して燃焼させ、燃焼が加速されて高い圧力の衝撃波を伴う激しい燃焼(爆ごう)に転移する条件について検討した。この燃焼から爆ごうへの転移を DDT(Deflagration to Detonation Transition)と呼ぶ。

実験装置図を図 2.3(5)④b-1 に示す。また、野外実験の写真を図 2.3(5)④b-2 に示す。

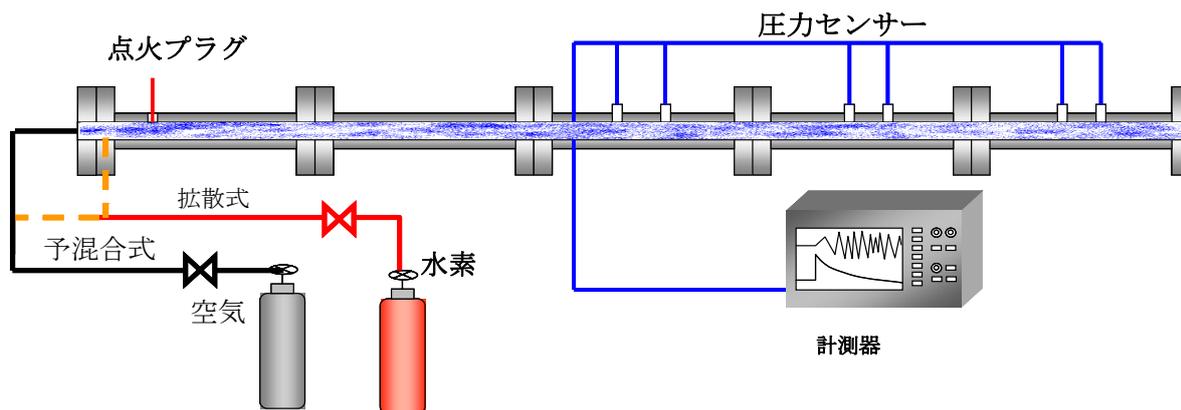


図 2.3(5)④b-1 DDT 実験装置の配置 (予混合式の場合)



図 2.3(5)④b-2 100mm 径デトネーションチューブの野外実験の配置図

平成 17-18 年度に実施した実験結果より、図 2.3(5)④b-3 に示すように、DDT を起こす下限界の水素濃度は、管径 25mm では約 24vol.%であったのに対し、管径 50mm では約 19vol.%となり、管径が大きくなるとより低い水素濃度で DDT を起こすことが明らかになった。また、同じく図 2.3(5)④b-3 より、デトネーションチューブの直径(管径： $D$ )が大きくなると、燃焼から爆ごうに転移するために必要な距離(DDT 距離： $L$ )は長くなったが、図 2.3(5)④b-4 に示すように管径が大きくなると DDT 距離と管径との比( $L/D$ )は小さくなり、例えば、管径 25mm では DDT が起こるためには管径の約 100 倍の距離が必要であったのが、管径 100mm では管径の約 60 倍の距離で DDT が起こるといのように、管径が大きくなるとスケール効果によって DDT が起こり易くなることが明らかになった。流量の効果については、現在実験中であるが、これまでの結果からは、直径 50mm のデトネーションチューブで流量を 10L/min から 140L/min に増加させた場合に 20cm 程度 DDT 距離が短くなり、流量が多くなると DDT 距離が短くなる傾向がみられた。

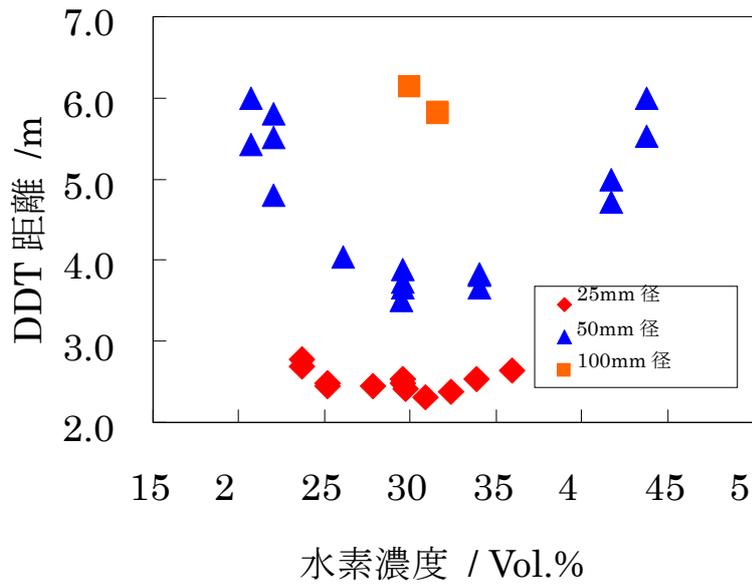


図 2.3(5)④b-3 DDT 距離と水素濃度との関係

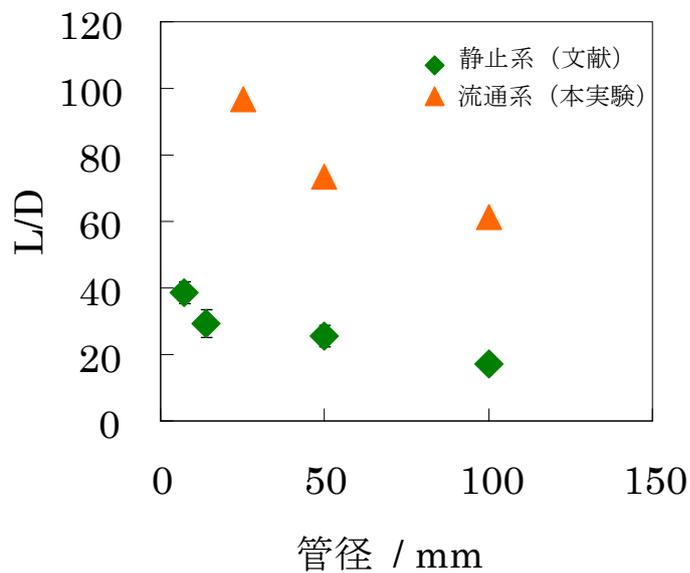


図 2.3(5)④b-4 L/D と管径との関係

以上の結果は、いずれも実規模トンネルの事故を想定する際に、スケール効果によってより危険になる、といったことを示す結果であるが、実験を進めていく中で水素濃度が下限界濃度に近い領域では DDT が起こる確率が小さくなるという現象が起きている。このことは、例えば、実規模トンネルで DDT が起こりうると想定され

る距離よりも短い距離で、局所的にでも水素濃度の薄い部分を作り出せれば、DDTの発生を防止できる可能性があることを示しており、DDT 距離をきちんと予測することができれば、効果的な安全対策を立案する際のヒントになると考えている。

⑤ 化学反応論に基づく水素の着火・燃焼制御に関する研究（産業技術総合研究所、東京大学大学院工学系研究科）

水蒸気や水ミストが存在する場合の水素－空気化学量論組成混合気の燃焼挙動への影響を調べるために、開放空間で燃焼実験を行った。50cm 立方のビニールシート容器に混合気を入れ、水蒸気は温水中での混合気のパブリング、またミストは容器内に設置したノズルから水を噴霧（水滴の直径は数十  $\mu\text{m}$ ）することにより供給した。着火方法は、線爆発方式、ニクロム線溶断方式、ニクロム線加熱方式の3方式で行い、火炎の伝搬を見るために容器内に極細熱電対を設置し、また容器外での圧力波の伝搬を見るためにピエゾレジスタンス方式の圧力センサーを使用した。着火時にガスに与えるエネルギーは、線爆発、ニクロム線溶断、ニクロム線加熱の各方式の順に小さくなり、火炎や圧力波の伝搬挙動から求めた着火遅れ時間はこの順番に大きくなる。ニクロム線加熱方式で着火した時、乾燥混合気の場合と比較して、高湿度あるいは水ミストが存在する場合には、乾燥混合気の場合と比較して着火遅れ時間が数倍大きくなること、また着火に必要なニクロム線で発生するジュールエネルギーも、数倍大きくなることを見いだされた。一方、線爆発方式で着火した場合には、乾燥混合気と高湿度の混合気の着火遅れ時間には大きな差はみられなく、水蒸気あるいは水ミストが水素の燃焼に与える効果は、着火時に与えるエネルギーに大きく依存することが示唆された。

さらに、水素－空気混合気の水素濃度を 15%から 40%の範囲で変化させた混合気を、乾燥状態および高湿度状態にすることにより水添加効果の水素濃度依存性を調べた。着火方式は、ニクロム線加熱方式である。その結果（図 2.3(5)⑤-1～⑤-3）、火炎伝搬速度と爆風圧／爆風インパルスは組成変化に対して同じような変化を示した。また、乾燥ガスに比べ、高湿度状態では、火炎伝搬速度、爆風圧、爆風インパルスとも有意に小さくなる傾向が見られた。

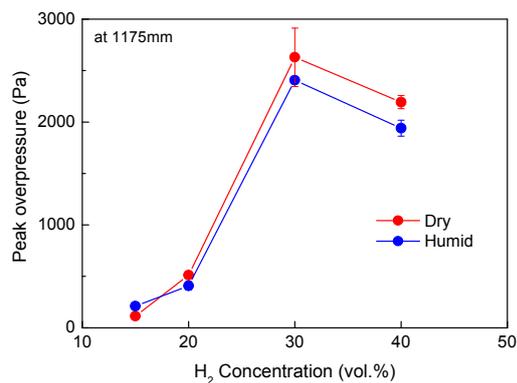
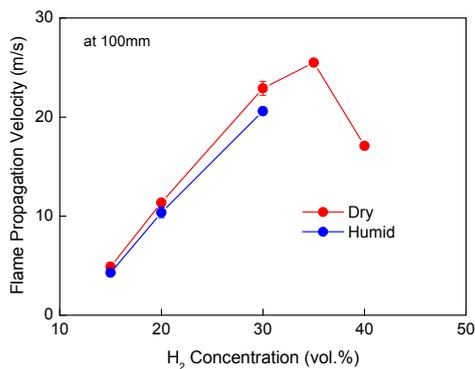


図 2.3(5)⑤-1 火炎伝搬速度（区間平均）  
の水素濃度依存性

図 2.3(5)⑤-2 爆風圧の水素濃度依存性

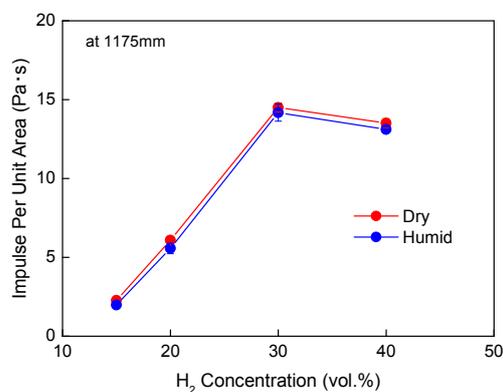


図 2.3(5)⑤-3 爆風インパルスの水素濃度依存性

水素に水などの分子を共存させる方法として、水素－水クラスレート化合物（水素ハイドレート）が本質的に有望と思われる、そのため高圧下での合成を試みた。圧力発生にはダイヤモンドアンビルセル法、またはより試料体積が大きくすることができるモアッサナイト(SiC)アンビルセル法を用いた。これらの方法では試料空間の圧縮比を大きくすることは難しいので、圧縮前の水素の密度を高くするため、低温下で液体水素を水（氷）とともに試料空間に封入する方法および装置を開発した。封入後、常温下で加圧することにより、水素ハイドレートの合成を確認した。

水素の着火挙動に関する数値計算精度を改善することを目的として、水素－空気混合気の着火挙動を熱対流の影響がない微小重力下で精密測定を開始した。有効高さ 10m の落下塔（微小重力持続時間 1.4 秒）を使用して水素－空気混合気の着火遅れ時間を測定する装置を試作した（図 2.3(5)⑤-4）。着火は着火電極を一定温度まで加熱して行う方式である。微小重力下で予備的な実験を行い、微小重力下では着火遅れ時間が明らかに小さくなる挙動を示し、熱対流の効果が無視できないことが分かった（図 2.3(5)⑤-5）。

現在予備的なデータを得たばかりであるが、今後より詳細な実験を継続して行うことにより、熱対流の影響と化学反応過程を分離して考察することが可能になるため、数値計算の精度を高めることや水添加効果の化学反応における効果を明確にすることが可能になると期待される。



図 2.3(5)⑤-4 微小重力実験落下カプセル (二重構造) とその中に組込まれた燃焼実験装置

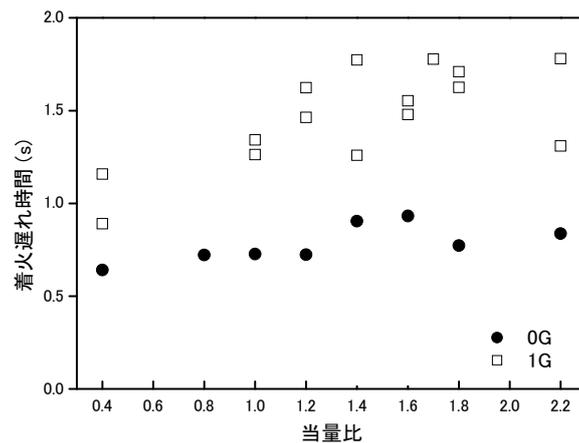
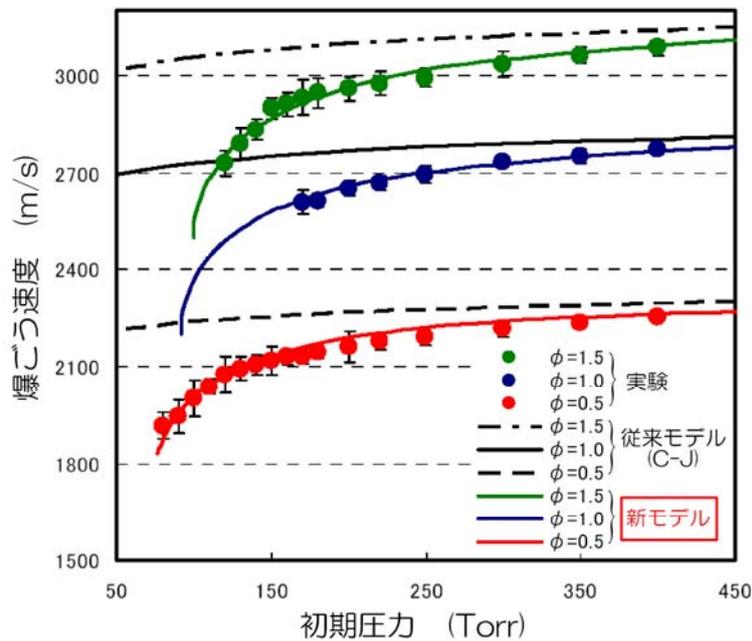


図 2.3(5)⑤-5 着火遅れ時間—当量比の関係における重力効果 (着火電極温度：742°C、圧力：100kPa)

水素の爆発性の制御を目指し爆ごう限界に及ぼす添加物の効果を明らかにすることを目的として、爆ごう限界の着火エネルギーの効果および圧力限界を測定した。爆ごう波面の伝搬は、ガラス管中を伝播する爆ごう波の自発光を多点で検出することにより計測した。着火エネルギーを 0.1 - 5mJ の間で可変して、その効果を調べた結果、定常爆ごうに至るまでの距離は影響を受けるが、定常になったときの爆ごう速度は添加エネルギーには依存しないことが見出された。また、爆ごうの圧力限界を計測した結果、予想されるように管径が細いほど爆ごう限界圧力は高くなること、限界付近の定常爆ごう速度は管径が細いほど遅いことがわかった。爆ごう限界に対する添加効果を調べるため、酸素—水素混合気アルゴン及窒素を添加した。爆ごう限界がどのように変わるかを調べた結果、初期圧力の低下とともに爆轟伝播速度は低下するが、C-J 速度の 85%程度が伝播限界であることが明らかになった。

爆ごう限界を一次元 ZND (Zel'dovich, von Neumann, Döring) モデルで予測するためのプログラムを開発し、詳細反応機構に基づき、熱損失および運動量損失を考慮して圧力限界を予測し、実験値と比較した。運動量損失をあらゆる抵抗係数の値はレイノルズ

数だけに依存するとするブラウジウスの式が従来よく用いられていたが、新しいモデルでは抵抗係数のマッハ数に対する依存性を考慮した。その結果、従来のモデルでは爆ごう伝播速度の限界付近での挙動は実験結果と大きく異なり、爆ごう限界を予測することは不可能であったが、このモデルにより爆ごう限界を精度よく予測することができるようになった（図 2.3(5)⑤-6 参照）。抵抗係数のマッハ数依存性の理論的意味を明確にすることは未だできていないが、爆ごう波の三次元的構造と関係がある可能性がある。そこで、限界付近での爆轟波の三次元構造を観測するために煤模様の観測を行い、爆燃から爆ごうへの転移や、多頭構造からシングルスピンへの遷移など、興味ある現象が観測できた。



※「新モデル」は運動量損失のマッハ数依存性を考慮

図 2.3(5)⑤-6 定常爆ごう速度の初期圧力依存性 (H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>、ガラス管径 6mm)

⑥ 研究発表・講演・論文投稿等

a. 発表件数

年度毎の研究発表等の件数は以下の通りである。

平成 17 年度

誌上発表 5 件 国際誌 1 件、国際会議プロシーディングス 1 件

口頭発表 15 件 国際会議 4 件

- ・水素安全国際会議(International Conference on Hydrogen Safety)での発表 1 件を含む

平成 18 年度

誌上発表 4 件 国際誌 4 件

口頭発表 23 件 国際会議 4 件

- ・静電気の国際誌(Journal of Electrostatics)の論文 1 件を含む
- ・国際燃焼シンポジウム(Symposium on Combustion)での発表 3 件を含む

平成 19 年度

誌上発表 4 件(投稿中) 国際誌 2 件

口頭発表 7 件(予定) 国際会議 5 件

- ・損失防止の国際誌(J. Loss Prevention in the Process Industries)の論文 2 件を含む
- ・アジア太平洋安全シンポジウム(Asia Pacific Symposium on Safety)の発表 2 件を含む

講演会の開催

平成 19 年 3 月 29 日に「水素の安全基盤研究に関する講演会」を開催し、自動車関係業界、ガス関係業界、地方自治体、警察関係、大学および研究機関などから約 180 名の参加があった。

b. 研究発表・講演・論文投稿

年度毎のリストを表 2.3(5)⑥-1～⑥-6 に示す。

表 2.3(5)⑥-1 研究発表・講演等リスト (平成 17 年度)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
(誌上発表)			
2005 年 9 月	Proceedings of International Conference on Hydrogen Safety	A field explosion test of hydrogen-air mixtures	若林邦彦、茂木俊夫、金東俊、安部尊之、石川 弘毅、黒田英司、松村 知治、中山良男、堀口 貞茲、大屋正明、藤原 修三
2005 年 12 月	安全工学, vol.44(6), pp.412-420	水素爆発を事例研究とした大規模野外爆発実験 高圧水素ガスの大規模漏	中山良男
2005 年 12 月	安全工学, vol.44(6), p.440	高圧水素ガスの大規模漏洩拡散実験に関する野外実験	茂木俊夫、西田啓之、堀口貞茲
2006 年 2 月	Sci. Tech. of Energetic Materials, vol.67, p.1	Numerical Simulation on Hydrogen Fuel Jetting from High Pressure Tank	刘云峰, 佐藤博之, 坪井伸幸, 東野 , 林光一
2006 年 3 月	日本機械学会論文集 B 編、vol.72(715)	水素／空気予混合気の爆風圧の計測 (熱影響低減の検討)	西田啓之、堀口貞茲、茂木俊夫、金東俊、中山良男
(口頭発表)			
2005 年 5 月 26 日	2nd Int. Symp. on Energetic Materials and their Applications	Numerical Simulation on Hydrogen Fuel Jetting from High Pressure Tank	刘云峰, 東野 , 佐藤博之, 林 光一
2005 年 7 月 8 日	第 35 回安全工学シンポジウム	高圧水素の噴出と着火に関する実験	茂木俊夫、金東俊、西田啓之、若林邦彦、松村知治、中山良男、堀口貞茲

2005年7月 8日	第35回安全工学シン ポジウム	水素・空気混合気爆 発からの爆発音(ス ケール効果)	黒田英司、石川弘毅、 金東俊、若林邦彦、 松村 知治、中山良男、 堀口 貞茲、吉田正典、 藤原 修三
2005年7月 8日	第35回安全工学シン ポジウム	水素の小規模爆燃 実験による威力評 価	中山良男、茂木俊夫、 若林邦彦、松村知治、 水田有人、三宅淳巳、 小川輝繁
2005年7月31 日	20th Int. Colloq. on Dynamics of Explosions and Reactive Systems	Direct Numerical Simulation on Hydrogen Fuel Jetting from High Pressure Tank	刘云峰, 坪井伸幸, 佐 藤博之, 東野 , 林 光一
2005年9月8 日	1st International Conference on Hydrogen Safety	Flame Characteristics of High-Pressure Hydrogen Gas Jet	茂木俊夫、西田啓之、 堀口貞茲
2005年9月9 日	1st International Conference on Hydrogen Safety	A field explosion test of hydrogen-air mixtures	若林邦彦、茂木俊夫、 金東俊、安部尊之、 石川 弘毅、黒田英司、 松村 知治、中山良男、 堀口 貞茲、大屋正明、 藤原 修三
2005年11月 17日	2005年火薬学会秋季 大会	水素空気混合ガス の爆薬点火による 爆風	中山良男、若林邦彦、 金東俊、茂木俊夫、 松村 知治、堀口貞茲
2005年11月 17日	2005年火薬学会秋季 大会	光ファイバと赤外 線ディテクターを 用いた水素ガス爆 燃時の火炎伝播 速度計測	保前友高、黒田英司、 若林邦彦、松村知治、 中山良男
2005年11月 25日	第38回安全工学研究 発表会	水素ガス漏洩時に 形成される帯電雲 の電荷分布特性に 関する実験的考察	今村友彦、荷福正治、 茂木俊夫、西田啓之、 堀口貞茲

2005年12月5日	第43回燃焼シンポジウム	高圧水素噴流の燃焼特性に関する研究	茂木俊夫、西田啓之、椎名拓海、堀口貞茲
2005年12月5日	第43回燃焼シンポジウム	高圧タンクからの水素漏洩による着火のシミュレーション	林光一、劉云峰、坪井伸幸、相澤圭介、佐藤博之
2006年1月27日	第2回国際水素・燃料電池展、研究成果発表フォーラム	水素安全のための大規模燃焼・爆発実験	中山良男、堀口貞茲
2006年3月6日	第7回静電気学会春季講演会	ダストを含む水素ガス噴出時の静電気発生現象	今村友彦、荷福正治、茂木俊夫、西田啓之、堀口貞茲
2006年3月17日	平成17年度衝撃波シンポジウム	大規模な水素/空気混合気体の爆発により発生する爆風の可視化	若林邦彦、黒田英司、石川弘毅、保前友高、松村知治、中山良男、茂木俊夫、西田啓之、堀口貞茲

表 2.3(5)⑥-2 研究発表・講演等リスト (平成18年度)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
(誌上発表)			
2007.1	AIAA Paper 2007-1426	Ignition of hydrogen suddenly leaked from a high pressure tank	相澤圭介、D. Pinto、劉云峰、佐藤博之、林光一
2007.2	Journal of Electrostatics、vol.65、p.87	Minimum ignition energy of hydrogen-air mixture: Effects of humidity and spark duration	小野 亮、荷福正治、藤原修三、堀口貞茲、小田哲治

2007. 2	Journal of Science and Technology of Energetic Materials, Vol.68, p.25.	Experimental study on blast wave generated by deflagration of hydrogen-air mixture up to 200 m <sup>3</sup>	若林邦彦、中山良男、茂木俊夫、金東俊、安部尊之、石川弘毅、黒田英司、松村知治、堀口貞茲、大屋正明、藤原修三
2007. 3	Journal of Science and Technology of Energetic Materials	Blast waves generated by detonation of 31 m <sup>3</sup> hydrogen-air mixtures	若林邦彦、中山良男、茂木俊夫、金東俊、安部尊之、石川弘毅、黒田英司、松村知治、堀口貞茲、大屋正明、藤原修三
(口頭発表)			
2006.5.11.	火薬学会 2006 年度年会	トンネルを模擬したデトネーションチューブ内での水素の DDT について	吉野悟、相澤圭介、茂木俊夫、椎名拓海、和田有司、緒方雄二
2006.5.12	火薬学会 2006 年度年会	熱電対による水素火炎伝搬特性の測定	金東俊、椎名拓海、茂木俊夫、薄葉州、角舘洋三
2006.6.6.	ESA/IEEE-IAS/IEJ/SFE Conference on Electrostatics 2006	Minimum Ignition Energy of Hydrogen-Air Mixture: Influence of Humidity and Spark Duration	小野 亮、荷福正治、藤原修三、堀口貞茲、小田哲治
2006.7.7.	第 36 回安全工学シンポジウム	水素-空気希薄混合気流れの着火特性	茂木俊夫、西田啓之、椎名拓海、今村友彦、堀口貞茲
2006.7.7.	第 36 回安全工学シンポジウム	水素ガス噴出時の静電気発生特性に及ぼすダスト種類の影響	今村友彦、荷福正治、茂木俊夫、西田啓之、堀口貞茲
2006.8.7.	31st Symposium on Combustion	Ignition of High Pressure Hydrogen by a Rapid Discharge	茂木俊夫、金東俊、椎名拓海、堀口貞茲

2006.8.7.	31st Symposium on Combustion	The Effect of Water Vapor on the Blast Wave Pressures in the Explotions of Hydrogen-Air Mixtures	椎名拓海、金東俊、大屋正明、藤原修三
2006.8.7.	31st Symposium on Combustion	A Numerical Analysis of the Auto-ignition of a High Pressure Hydrogen Jet into Air	劉云峰、佐藤博之、坪井伸幸、林光一
2006.9.25.	第30回静電気学会全国大会	水素-空気混合気の放電着火：レーザー誘起蛍光法によるOH密度とガス温度計測	小野亮、小田哲治
2006.10.28.	日本機械学会流体工学部門講演会	空气中漏洩した高圧水素噴流の着火に関する実験研究	相澤圭介、劉云峰、佐藤博之、林光一
2006.11.30.	第39回安全工学研究発表会	高圧水素ガス噴出時の着火・燃焼危険性	茂木俊夫、金東俊、堀口貞茲、中山良男
2006.11.30.	第39回安全工学研究発表会	ダストを含む水素ガス噴出時の帯電要因の分離	今村友彦、小野亮、茂木俊夫、堀口貞茲
2006.12.1	第39回安全工学研究発表会	流通状態の管状構造物内における水素漏洩時のDDTの可能性について	相澤圭介、吉野 悟、茂木俊夫、椎名拓海、和田有司、緒方雄二
2006.12.8.	第44回燃焼シンポジウム	水素-空気混合気の放電着火：レーザー誘起蛍光法によるOH密度とガス温度計測	小野亮、小田哲治

2006.12.8.	第 44 回燃焼シンポジウム	高圧水素ガス放出時の自己着火および爆発現象	茂木俊夫、金東俊、椎名拓海、今村友彦、堀口貞茲
2006.12.8.	第 44 回燃焼シンポジウム	流通状態のデトネーションチューブ内での水素の DDT について	相澤圭介、吉野 悟、茂木俊夫、椎名拓海、和田有司、緒方雄二、林光一
2006.12.6-8	第 44 回燃焼シンポジウム	水素空気予混合爆発の爆風圧に対する水の添加効果の研究	椎名拓海、金東俊、大屋正明、藤原修三
2006.12.6-8	第 44 回燃焼シンポジウム	H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> 燃料のデトネーションの伝播限界の測定	深尾将士、高西研多、須佐秋生、越光男
2006.12.6-8	第 44 回燃焼シンポジウム	数値シミュレーションによる水素／酸素の爆轟限界の予測	富塚孝之、毛利昌康、吉田正典、越光男
2006.12.14.	平成 18 年度宇宙航行の力学シンポジウム	高圧水素漏洩の着火条件について	林光一、D.Pinto、相澤圭介、劉云峰、坪井伸幸、佐藤博之
2006.12.15-16	第 20 回数値流体力学シンポジウム	数値シミュレーションによる水素／酸素の爆轟限界の予測	富塚孝之・毛利昌康・吉田正典・越光男
2006.12.18.	第 20 回数値流体力学シンポジウム	空気中に噴出する高圧水素の自着火の数値シミュレーション	林光一、劉云峰、坪井伸幸、相澤圭介、佐藤博之

表 2.3(5)⑥-3 研究発表・講演等リスト（平成 19 年度）

(誌上発表)			
2007.6	安全工学, 46, pp.188-189	水素の安全基盤研究に関する講演会	茂木俊夫, 今村友彦
2007.7	Proceedings of the 21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, pp.1-4	Study on Detonation Initiation in Hydrogen/Air Flow	相澤圭介, 吉野 悟, 茂木俊夫, 椎名拓海, 和田有司, 緒方雄二, 林 光一
2007.7	Proceedings of the 21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems	The Effect of Water Vapor on the Blast Wave Pressures in the Explosions of Hydrogen-Air Mixtures	椎名拓海, 金 東俊, 大屋正明, 藤原修三
2007.7	Proceedings of the 21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems	Auto-ignition of high pressure hydrogen release	D.Pinto, 相澤圭介, 劉 云峰, 佐藤博之, 林光一, 坪井伸幸
2007.10	Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety, pp.273-276	Experimental Investigation on Thermal Characteristics of Hydrogen Jet Flame at Downstream Region - Part I Dependence of Flame Shape and Thermal Characteristics on the Spouting Conditions	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2007.10	Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety, pp.385-388	Experimental Investigation on Thermal Characteristics of	濱田祥大, 今村友彦, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁

		Hydrogen Jet Flame at Downstream Region - Part 2 Influence of Water Spray on the Reduction of Thermal Radiation -	
2008.3	Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 21, pp.199-204	Self-ignition and explosion during discharge of high-pressure hydrogen	茂木俊夫、金東俊、椎名拓海、堀口貞茲
(口頭発表)			
2007. 7. 6	安全工学シンポジウム 2007	水素ガス噴出時の帯電を支配する主要因の一考察	今村友彦, 茂木俊夫, 堀口貞茲, 小野 亮
2007. 7. 6	安全工学シンポジウム 2007	水噴霧による水素火炎抑制効果の検討	濱田祥大, 今村友彦, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2007.7.24	The 21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems	Study on Detonation Initiation in Hydrogen/Air Flow	相澤圭介, 吉野 悟, 茂木俊夫, 椎名拓海, 和田有司, 緒方雄二, 林 光一
2007.7.24	The 21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems	The Effect of Water Vapor on the Blast Wave Pressures in the Explosions of Hydrogen-Air Mixtures	椎名拓海, 金 東俊, 大屋正明, 藤原修三
2007.7.24	The 21st International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems	Auto-ignition of high pressure hydrogen release	D.Pinto, 相澤圭介, 劉 云峰, 佐藤博之, 林光一, 坪井伸幸

2007.11.1	Asia Pacific Symposium on Safety 2007	Experimental Investigation on Thermal Characteristics of Hydrogen Jet Flame at Downstream Region - Part I Dependence of Flame Shape and Thermal Characteristics on the Spouting Conditions	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2007.11.1	Asia Pacific Symposium on Safety 2007	Experimental Investigation on Thermal Characteristics of Hydrogen Jet Flame at Downstream Region - Part II Influence of Water Spray on the Reduction of Thermal Radiation	濱田祥大, 今村友彦, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2007.12.5	第 45 回燃焼シンポジウム	水素・空気混合気において管内流れがデトネーションへ与える影響	相澤圭介, 茂木俊夫, 椎名拓海, 和田有司, 林 光一
2007.12.6	第 27 回水素エネルギー協会大会	水噴霧による水素火炎下流側の熱負荷低減効果	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2007.12.7	第 40 回安全工学研究発表会	水素火炎下流側の熱気流性状に対する水噴霧の影響	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁

2008.3.18	平成 19 年度衝撃波シンポジウム	流通状態の管内流れ場が水素の DDT に与える影響	茂木俊夫, 相澤圭介, 椎名拓海, 和田有司, 林 光一
-----------	-------------------	---------------------------	------------------------------

表 2.3(5)⑥-4 研究発表・講演等リスト (平成 20 年度)

発表年月日 (誌上発表)	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.4	安全工学, 47, pp.77-83	ダストを含む水素ガス噴出時の噴出系統での帯電特性の考察	今村友彦, 茂木俊夫, 堀口貞茲, 小野 亮
2008.5	水素エネルギーシステム, 33, pp.54-59	水素イオンセンサ	能美 隆, 前川麻弥, 茂木俊夫
2008 年 06 月	Proc. of 7th ISHPMIE, 322 頁 ~ 329 頁	Study on Consequence Analyses of Blast Wave Generated by Gaseous Deflagrations	土橋 律, 河村 智史, 中山 良男
2008.6	セイフティダイジェスト, 54, pp.2-8	水素の静電気着火危険性とその対策	今村友彦, 堀口貞茲
2008.6	高圧ガス, 45, pp.439-446	高圧水素ガス漏えい時の拡散特性と着火および火炎特性	茂木俊夫, 堀口貞茲
2008.9	Shock Waves, 18-4, pp.299-305	Study on Detonation Initiation in Hydrogen / Air Flow	相澤圭介, 吉野 悟, 茂木俊夫, 椎名拓海, 緒方雄二, 和田有司, 林 光一
2008.7	International Journal of Hydrogen Energy, 33-13, pp.3426-3435	Experimental Investigation on the Thermal Properties	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳,

		of Hydrogen Jet Flame and Hot Currents in the Downstream Region	小川輝繁
2009.2	International Journal of Hydrogen Energy, 34-6, pp.2815-2823	Control of the Ignition Possibility of Hydrogen by Electrostatic Discharge at a Ventilation Duct Outlet	今村友彦, 茂木俊夫, 和田有司
2008.7	Proceedings of 7th ISHPMIE, 3, pp.256-266	Reduction Effects of Water Spray to the Thermal Hazard of Hydrogen Jet Flame	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2009.1	Journal of Loss Prevention in The Process Industries, 22, pp.45-51	Experimental study on the hazards of high-pressure hydrogen jet diffusion flames	茂木俊夫, 堀口貞茲
2009.2	火災, 59, pp.42-47	水素の着火危険性と火炎性状	今村友彦
(口頭発表)			
2008.4.28	International workshop on Detonation / Detonation Engine	Ignition and Flame Propagation during Discharge of High-pressure Hydrogen Gas	茂木俊夫
2008.5.22	平成 20 年度日本火災学会研究発表会	水素噴流火炎前方に形成される熱気流の温度性状	今村友彦, 濱田祥大, 堀口貞茲, 和田有司, 三宅淳巳, 小川輝繁

2008年07月 07日	Seventh International Symposium on Hazards, Prevention,and Mitigation of Industrial Explosions(ISHPMIE)	Study on Consequence Analyses of Blast Wave Generated by Gaseous Deflagrations	土橋 律、河村 智史、 中山 良男
2008.7.8	7th International Symposium on Hazards, Prevention,and Mitigation of Industrial Explosions	Reduction Effects of Water Spray to the Thermal Hazard of Hydrogen Jet Flame	今村友彦, 濱田祥大, 茂木俊夫, 和田有司, 堀口貞茲, 三宅淳巳, 小川輝繁
2008.7.10	7th International Symposium on Hazards, Prevention,and Mitigation of Industrial Explosions	Ignition and Flame Propagation during Discharge of High-pressure Hydrogen Gas	茂木俊夫, 椎名拓海, 今村友彦, 和田有司
2008.9.18	静電気学会大会	水素放出口形状が 静電気着火危険性 の低減に及ぼす効 果	今村友彦, 茂木俊夫, 和田有司, 緒方雄二
2008.11.27	第41回安全工学研究発 表会	水幕による水素火 炎熱影響の低減に 関する水噴霧条件 の検討	濱田祥大, 今村友彦, 和田有司, 三宅淳巳, 小川輝繁

表 2.3(5)⑥-5 研究発表・講演等リスト（平成 21 年度）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
(誌上発表)			
2009.7	International Journal of Hydrogen Energy, 34-14, pp.5810-5816	Self-Ignition and Flame Propagation of High-Pressure Hydrogen Jet During Sudden Discharge from a Pipe	茂木俊夫, 和田有司, 緒方雄二, 林 光一

表 2.3(5)⑥-6 研究発表・講演等リスト（平成 22 年度）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
(口頭発表)			
2010年8月 3日	第33回国際燃焼シンポジウム	Consequence analysis of blast wave from accidental gas explosions	土橋 律、河村 智史、中山 良男

## IV. 実用化の見通しについて

### 1. 「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の実用化見直し

本事業では、自動車用圧縮水素容器および附属品の基準合理化項目として、容器については高圧化、最小破裂圧力および圧力サイクル数の見直しおよび使用温度範囲の拡大などに資するデータ取得を、また、附属品に関しては、高圧化対応、使用温度範囲拡大に資するデータ取得を、業界団体がニーズを明確にする 2007 年 3 月以前から自主的に計画立案し実施してきた。

容器および附属品の合理化に関しては、本事業の高圧容器技術 WG にて、技術基準適正化シナリオ策定の必要性が指摘され、業界団体である燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)ならびに社団法人日本自動車工業会に対し、技術基準適正化のシナリオ作成を推進させてきた。その結果として、2007 年 3 月に自動車業界内で 2009 年度の技術基準発行を目標とする技術基準適正化シナリオが合意され、これまで本事業で自主的に計画立案しながら進めてきた技術基準改訂に向けたデータ取得項目がより明確になったことから、基準適正化シナリオに沿った自動車用圧縮水素容器の安全性評価試験データを取得し、Step 1 策定に貢献した。

道路運送車両法に関連して、UN-ECE/WP29/AC3 gtr（世界統一基準）化活動の第 1 フェーズが、日本の道路運送車両法の技術基準ベースで進められることが合意された。また、2010 年以降の第二フェーズでは、さらに国際基準調和と燃料電池自動車に特化した基準の見直しが計画されている。本事業では、gtr 策定・見直しに向けた車両および水素安全に関するデータ取得を推進しており、継続して gtr 策定および見直しに資するデータ取得を進める。

燃料電池自動車用水素品質規格に関しては、FCV 用を新たに Part2 (ISO/TS14687-2) TS として策定、2008 年に発行され、導入期の FCV のための仕様書として実用化された。また、2012 年までの IS 化に向けた各国研究協力を進め、DIS 原案が策定された。今後の燃料中の不純物影響評価に資する。

燃料電池自動車の燃費試験法に関しては、本研究開発の成果である圧力法、質量法、流量法、電流法が ISO/DIS 23828-1 に採用された。2008 年度に IS が発行され、一般の利用に広く供される見込みである。

今後も、水素・燃料電池自動車の普及促進のために、各種基準・標準化活動を継続して推進する必要がある。

## 2. 「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の実用化見通し

定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発については、電気出力10kW未満の小形燃料電池システム（PEFCとSOFCシステム）の一般家庭への普及に必要とされている13項目の規制再点検に向けた安全性データ取得は終了し、データを公的委員会に提供した。その結果、3項目が改正され、残り10項目については、公的委員会での審議が終了し規制緩和の見通しを得た。標準化に資する安全性試験法案と性能試験法案の策定は順調に推移しており、前者の安全性試験法案は完成し、性能試験法案の策定は平成19年度より実施する計画である。これらは、日本の現状製品を評価する上で開発されたもので、今後日本の不利とならないよう国際標準策定の場で活用される。更に、系統連携時の単独運転防止方法のひとつである「スリップモード周波数シフト方式」の「系統連携関連規程」等への反映の道筋ができつつある。

本事業の成果である安全性評価データ、試験方法、性能試験方法及び単独運転防止にかかる各種試験は平成19年末に2000台を超える10kW未満の小形燃料電池システム（PEFCとSOFCシステム）の国内でのさらなる普及促進効果および国際競争力確保に向けた活動に使用されつつある。

マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発については、発IEC TC105 WG8（マイクロ燃料電池 安全）では、平成22年3月に国際規格（IS）第1版が発行された。これを基に欧州規格が発行された。しかし現状では、消費者の口・鼻の近傍で使用されるローカルイフェクト（LE）機器に応用される燃料電池からの排出物濃度に対する試験方法に関しては、試験条件の細部において必ずしも明確な記述がなされていない点が残されている。例えば、現状のLE試験方法に関し、ギ酸のような高吸着性ガスでは今回の研究により活性炭捕集管法に比べてインピンジャー捕集法の方がより好適であることが示された。このような基盤データの収集により、LEのある場合の望ましいガス分析技法が明確にされ、今後見込まれるIEC62282-6-100改定作業に向けた指針が得られた。また、試験チャンバー内の気流（風速）の値が試験結果にどのように影響するか等、実際に型式試験を行う上で残されていると思われる課題についての検討も必要と考えられる。

IEC TC105 WG10（マイクロ燃料電池 互換性）では、平成21年6月にIS第1版が発行された。一部、未検証部分を残すものの、日本の意見が取り入れられた燃料カートリッジ互換性の国際規格第1版が完成した。これを基に欧州規格が発行された。また、日本電機工業会にて、JIS化作業が開始された。燃料基準に関する未検証部分、メタノール燃料基準案における長期間にわたる試験方法等については、妥当性や再現性等がある方法であるかなどを検証する必要があると考えられる。さらに実用性の有る試験方法の確立を目指して試験期間等についても性能低下機構を含めて検討を加えられれば望ましいと考えられる。

本事業の成果の実用化見通しとしては、現在行われているマイクロ燃料電池の国際規格の改定作業（第2版の作成）への反映が期待される。それらを通じてマイクロ燃料電池の市場導入を促進し、早期の燃料電池市場の創生に寄与し、さらに、認証にも影響を及ぼすと考えられる国際規格が我が国主導で作成でき、国際競争力強化につながると期待される。

### 3. 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」の実用化見通し

#### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

##### ① 成果の実用化見通し

- a. 70MPa 充填対応水素スタンドについては、収集したデータを基に安全性検証検討を実施し、水素スタンドの安全性を確保するために必要な安全対策を取りまとめた。高圧ガス保安法関連の省令及び例示基準見直し案を作成し、規制監督官庁に提出し受理された。今後、規制監督官庁による審査を経て、早期の規制見直しが期待される。
- b. 液体水素スタンドの安全性検証が終了し法令案が完成していることから、業界団体（FCCJ等）と連携し業界ニーズを見極めた上で、官庁折衝を行う。

##### ② 波及効果

- a. 安全性を確保しつつ、水素スタンド設置者、機器開発者の意見を反映しており、当然のことながら水素スタンド導入・普及への効果は大きい。
- b. 本成果に基づき、省令・例示基準作りが進展することから、規制当局側の動きとして、消防法、建築基準法にも反映されると考えられる。
- c. 本事業を実施することにより、水素インフラに関連する研究開発が進展しており、実験検証実績を重ねることにより、関係者の人材育成も促進している。また培った実験技術や安全手法は、たとえば、本事業内の「水素基礎物性の研究」にて推進中の「水素の有効利用ガイドブック」反映された。
- d. 燃料電池自動車と水素スタンドの普及を一層促進させるために、更なる規制見直し検討が関連業界で行なわれているが、本研究結果は今後の規制見直し検討の基礎データとして大いにその活用が見込まれる。

#### (2) 水素用材料基礎物性の研究

##### ① 鉄鋼材料を中心とした金属材料に関して

- a. 本研究開発の成果は、(社)日本自動車工業会、(財)日本自動車研究所、(財)石油産業活性化センター、高圧ガス保安協会等にて検討されている 70MPa 級機器の基準・標準化に向けた一連の活動に対し、技術的な裏付けデータとして活用、反映される。(車載容器に関しては KHK 基準制定済み H22.7)
- b. さらに、基礎解析も含めた一連の研究開発を継続することにより、関係産業界による水素社会構築に向けた基準・標準化の進展が図られるものと考えられる。
- c. 加えて本研究開発で得られた基礎知見を活用し、近い将来、耐水素脆性に優れ、特性面およびコスト・製造性などの工業的観点から利点の多い新しい水素用材料が実用化される見通しである。

##### ② 非金属複合材料に関して]

本研究開発の成果は、容器設計の安全率・寿命決定に必要な根拠データとして、車両搭載用容器や FRP 製水素貯槽の設計に反映される見込みである。

以上、本研究開発成果は、2015 年に普及開始期を迎えるとされる水素燃料電池自動車の実用化、およびその後の本格普及に直接的に寄与することができる。

### (3) 水素用アルミ材料の基礎研究

- a. ライナー用アルミ材として有望な 6061 系合金の水素脆性感受性データを取得し、高圧ガス保安協会による 70MPa 用車載用高圧水素用容器の基準・標準の策定に活用された。
- b. 加えて(社)自動車工業会及び容器メーカーから要請のあった 7175, 7N01、7003、7050 及び高強度 6000 系合金 (6061HS、6066、6069) について水素脆性感受性データを取得しており、燃料電池車普及に向けて、軽量・低コストの高圧水素容器および附属品への採用に向けた基準・標準化に資するデータとして今後活用される見込みである。
- c. また高圧水素環境の代替評価法 (たとえば高圧水素環境下と同等の過酷さとなる代替評価条件 (静的負荷条件) など) の可能性を見出した。これは水素用材料評価技術を普及させる重要技術と期待される。

### (4) 水素基礎物性の研究

- a. 本事業において取得した「水素ガスの拡散・爆発挙動、液体水素の蒸発・拡散挙動のデータ」や開発したシミュレーション技術等の基盤技術は、規制見直しのためのデータとして、広く用いられている。
- b. また、これらのデータと安全基礎データの調査において収集した「水素安全に関するデータおよび水素インフラ関連技術の現状」を平成 19 年度作成の「水素の有効利用ガイドブック」として取りまとめ、関係者に公開・配布している。これは水素取扱者の安全確保および水素の有効利用に関する知見の集大成として水素関連技術開発の現場において活用されている。

### (5) 水素安全利用技術の基礎研究

#### ①成果の実用化可能性

水素噴出時の流動混合気の着火性についての検討の結果は、水素と空気の混合気の流速が大きくなると燃焼下限界濃度が高濃度になり、一般に燃焼下限界濃度として用いられる 4%では着火せず、着火可能性範囲はより高い濃度で拡散する範囲、すなわち、より狭いエリアに限定される。このことは、燃焼下限界濃度の 4 分の 1 の濃度を基準に定められている火気離隔距離の短縮化、すなわち、水素ステーションのコンパクト化に役立つと期待されている。

また、水素放出配管などから水素を放出する際の静電気着火や自然着火の条件とメカニズムを明らかにすることにより、着火可能性の小さい、より安全な水素放出配管の放出口の形状の設計が可能となり、このような技術は水素ステーションの社会的受容性の向上のために、すぐにでも実用化される見通しである。

水素噴出時の吹き消え条件を明確にし、水噴霧による水素火炎の熱影響の低減化のための防火設備を提案することは、水素ステーションのリスク評価の見直しや住民とのリスクコ

コミュニケーションの際の影響度緩和措置として有効であり、水素ステーションの社会的受容性の向上のために、役立つものである。

水素が燃焼から爆ごうに転移する条件を明らかにし、実規模トンネルで水素タンクローリが事故に巻き込まれた際の危険性を予測することは、被害を軽減するための安全対策の立案に役立ち、水素の輸送インフラの構築の際にやはり社会的受容性を向上するために役立つものである。

また、爆風インパルスを指標として用いた被害予測に関しては、国際エネルギー機関(IEA)の水素安全専門家会議において、国際標準化に向けての議論が行われているところである。

一般向けの広報に関しては、平成 18 年度末に「水素の安全基盤研究に関する講演会」を開催した。自動車関連業界、ガス関連業界、地方自治体などから 180 名の参加者があった。安全工学会、火薬学会、日本燃焼学会、日本エネルギー学会、を通じて案内を出したため、参加者以外に資料集の入手に関する問い合わせも多く、本研究について広く社会に知られるきっかけとなった。

## 事前評価書

		作成日	平成16年10月20日
1. 事業名称 (コード番号)	水素社会構築共通基盤整備事業		
2. 推進部署名	燃料電池・水素技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：固体高分子形燃料電池システム等の普及・促進のためには、実用化に必要な要素技術開発を行うとともに製品の普及を側面から支援する共通的なソフト基盤整備(評価試験・評価手法の確立、国内外における標準化、技術基準設定等)が必要である。</p> <p>本事業においては、今後、実用化を目指す燃料電池自動車、定置用燃料電池、水素インフラ等に必要な下記のソフト基盤整備事業を実施する。</p> <p>1. 燃料電池自動車基盤整備</p> <p>燃料電池自動車の実用化のためには、様々な角度からの安全性・信頼性の確保が重要である。このため、安全・信頼性に係わるデータ取得や、評価手法の提案を行うとともに、当該データを法規制の技術基準案や国際基準案に反映し、安全性に係わる国際的ルールを確立すること等により、燃料電池自動車の安全性や信頼性を確保する。</p> <p>具体的には、70 MPa レベルの高圧水素利用に係わるデータ取得を行い、燃料電池自動車の燃料となる水素の貯蔵技術の安全性を確認して、必要な技術基準に反映したり、国際標準化する等、燃料電池自動車の安全に係る法規制の技術基準案及び国際基準案への反映を行う。</p> <p>2. 定置用燃料電池システム基盤整備</p> <p>定置用燃料電池の本格的普及のためには、一般利用者を念頭に置いた安全性、信頼性、環境性、経済性のデータを取得し、及び、試験評価手法を確立することにより、適切な法規制の技術基準や規格の制定を促し、円滑な定置用燃料電池の市場導入環境を整備することが必要である。具体的には、燃料利用率、耐久性等の定義・指標の標準化やシステムの簡素化、過剰な安全装置の省略等低コスト化のための基準・標準の整備のために必要な試験データ取得、基準案の作成等を行う。</p> <p>3. 水素インフラ等に係わる基盤整備</p> <p>燃料電池自動車の導入・普及を推進するためには、水素ステーション等の水素供給・輸送インフラ普及のための各種基準を整備する必要がある。そのために、70 MPa レベルの高圧水素を利用する燃料電池自動車に対応できる水素インフラの安全性の評</p>		

	<p>価、拡散・漏洩・燃焼などに関する基礎物性データの取得及び水素雰囲気下で使用可能な材料の評価等を行う。</p> <p>(2) 事業規模：平成17年度事業費 35.8億円</p> <p>(3) 事業期間：平成17年度～21年度(5年間)</p>
<p>4. 評価の検討状況</p>	
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>新エネルギー技術の実用化によって、我が国のエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・地域環境問題(NO<sub>x</sub>、PM等)の解決、新規産業・雇用の創出等を図ることが必要。</p> <p>燃料電池は、エネルギー自給率の向上や地球温暖化対策に資するほか、分散型エネルギーシステムとしても期待できる次世代エネルギーであり、経済産業省の「新産業創造戦略」においても重点7分野の1つに挙げられているが、現時点では、耐久性、信頼性、高コスト等に課題を抱えており、その技術開発には産学官等関係者が協力して戦略的に取り組むことが必要である。一方、確実な実用化のためには、技術開発とともに、法規制や規格化等の導入環境整備が重要であり、燃料電池市場形成に向けて早期の基準・標準等の基盤的な整備を行う必要があることから、本事業は極めて重要な事業として位置付けられる。</p> <p>なお、本技術開発は、新エネルギー技術開発プログラムに則って推進する。</p>	
<p>(2) 研究開発目標の妥当性</p> <p>本事業の研究開発目標は、現状において推進すべき基準・国際標準、規制の再点検の項目に対応したデータ取得を2007年度までを目途に行い、そのデータを基に2009年までに国際標準の提案、規制の例示基準案の作成等を行うことであり、2007年度末時点での目標は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基準、(国際)標準：国際標準提案のためのデータ取得。 (例：燃料電池車の燃費や走行性能、燃料電池の特性試験方法、水素の純度)</li> <li>・ 規制の再点検：電気事業法、高圧ガス保安法関連のデータ取得。</li> </ul> <p>本事業は、これまでに行ってきた規制再点検や標準化について、さらに推進するだけでなく、現状における国内の規制再点検の作業見通しや国際的な標準化活動の動向を踏まえて、現状の35MPaレベルから70MPaレベルの高圧水素の利用を検討するなどしており、目標として妥当である。</p>	

### (3) 研究開発マネジメント

本整備事業で行う基準・標準の整備、法規制の見直しは、1社、1業界によってなし得るものではなく、関係業界の参加を得て、官民共同で推進していく必要があることから、燃料電池自動車、定置用燃料電池、水素供給インフラ等の各分野の関係業界にて推進する。

また、担当部である燃料電池水素技術開発部が、燃料電池の普及動向及び技術開発の進捗を見つつ、国内外の産官学の知見を活用し、積極的に関与して推進する。プロジェクト開始後に外部有識者を含めて評価を実施し、その結果を反映して全体の進め方を見直す予定。

### (4) 研究開発成果

固体高分子形燃料電池の早期導入・普及のためには、燃料電池自動車、定置用燃料電池システム、水素供給等のインフラを統一的・体系的に基準化・標準化し、ソフト基盤を整備することが必要である。これらの実用化環境整備が確実に実施されるとともに、飛躍的な技術の進展によって燃料電池の実用化技術及び水素供給インフラが確立し、水素エネルギー社会が実現した場合には、社会におけるエネルギー利用の大転換をもたらす、その波及効果は図りしれないほど大きい。

また、70 MPa レベルの高圧水素利用により燃料電池車の航続距離が2倍になる等、技術の進展がもたらす効果に着目して、常に先端分野で、積極的な国際標準化活動を展開することにより、国際的なリーダーシップを発揮し、国際マーケットで有利な立場を確保できると考えられる。

ちなみに、燃料電池自動車については、2010年には5万台、2020年には500万台、2030年には1,500万台を、定置用燃料電池については、2010年には220万kW、2020年には1,000万kW、2030年には1,250万kWの導入が政府の目標であり、経済省の「新産業創造戦略」によれば、燃料電池の市場規模は2020年で8兆円と試算されている。

### (5) 実用化・事業化の見通し

本整備事業は、固体高分子形燃料電池の早期導入のための基盤整備を行うものであり、燃料電池の実用化に直結するものではないが、着実に実施することによって、固体高分子形燃料電池の円滑な実用化に大きく資するものである。

### (6) その他特記事項

特になし。

## 5. 総合評価

燃料電池の導入・普及には、燃料電池の技術の確立、評価手法等の基準・標準の整備、実用化に向けた課題調査・広報活動、水素・燃料電池に関する法整備、導入支援策としての補助金・税制、財政投融資等様々な政策手段があるが、本事業の実施による法規制や規格化等の燃料電池導入環境整備は、燃料電池市場形成に向けて極めて重要な事業として位置付けられ、NEDOとして実施することが妥当であると考えられる。

# NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010

平成 22 年 6 月

NEDO燃料電池・水素技術開発部

# 目次

・燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 について	3
・燃料電池・水素技術開発ロードマップ 改訂ポイント	4
・はじめに	5
・燃料電池分野	7
・水素分野	26

## 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 について

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題、地域環境問題等の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性や性能の向上に積極的に取り組むことが必要です。

燃料電池技術及び水素技術(水素を製造・輸送・貯蔵・供給する技術)は省エネルギー、環境負荷低減、エネルギー多様化、新規産業創出等に資する水素エネルギー利用社会を構築するための中核となる技術であり、地球温暖化問題の深刻化等によりその重要性が増しております。2008年3月5日に策定された「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」において当該技術が重要技術に選定される等、政策的な位置付けも高いです。

NEDOは研究開発等の事業を産学官連携の体制の下で推進しておりますが、常にステークホルダー(利害関係者)間で「技術開発シナリオ」を共有することが、事業を効率的、効果的に推進する上で不可欠だと考えております。

上記を踏まえ、我が国燃料電池・水素技術開発において取り組むべき技術課題を明確にし、技術開発の方向性を示すとともに、本分野における産業界・学术界の効率的かつ的確な研究開発への取り組みを先導するために、燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 を策定いたしました。

なお、NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップは 2005 年に第一版を作成し、今回は 3 回目の改訂となります。

## 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 改訂ポイント

### 【ロードマップ全体】

- 前回のロードマップ策定時(2008年6月)以降に達成された技術開発成果、及び産業界から公表された事業化シナリオ等をロードマップに反映
- 燃料電池分野／水素分野ともに、技術のコスト構造分析及びコスト予測を実施し、(発電効率や耐久性等の向上に加え、)コストダウンを図るために解決すべき技術課題を洗い出し、ロードマップに反映
- 時間軸の変更(2010年(現在)、2015年、2020年、2030年に設定)、及び概要版と詳細版の時間軸を整合
- 標準化、規制見直しに係る内容を追記
- ロードマップにおける目標設定の考え方、目標達成に向けた各技術開発の関連等を説明した「解説書」を作成

### 【燃料電池分野】

- 前回のロードマップ詳細版において「マイクロ・ポータブル・小型移動体用FC」に係る技術課題等を個別に記載していたが、全体に統合

### 【水素分野】

- 「オンサイトステーション」と「オフサイトステーション」の区分けをなくし、「水素の製造・輸送・供給」に係るロードマップを1枚絵にまとめ、両方式の共通項目と個別項目を明確化
- 燃料電池自動車(FCV)の普及期における水素供給コスト(以前は「水素価格」と表記)は、FCVのハイブリッド自動車に対する燃費優位性、原油の将来の価格上昇を考慮した上で、FCVとハイブリッド自動車の走行燃費が等価になるよう設定
- 水素供給コストとステーション建設・運用に係るコストの相関を明確化し、それに基づきあるべきステーションコスト等を算出

## <はじめに>

### 燃料電池の優れた特徴

燃料電池は水素と酸素の化学的反応から直接電気を発生させる画期的な発電装置であり、「高効率」、「クリーン」、「静粛」、「コンパクト」、「水素を介した多様なエネルギー源の活用」という優れた特徴を持っている。

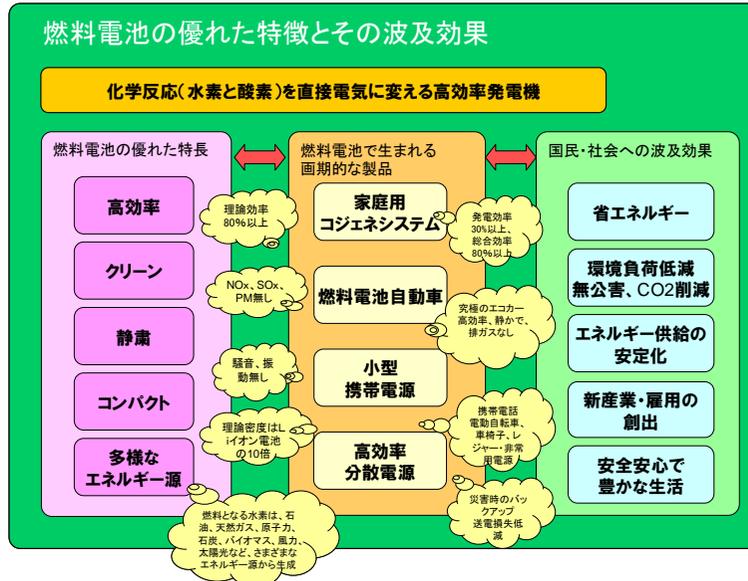


図1 燃料電池の優れた特徴と波及効果

この特徴を生かして、発電効率30%以上、総合効率80%以上の高効率な「家庭用燃料電池(エネファーム)」や、走行時に環境負荷が一切ない究極のエコカー「燃料電池自動車(FCV)」等の画期的な製品の開発が進められており、CO2削減効果、省エネ効果、エネルギー多様化等の観点から、地球環境保全と安全安心で豊かな市民生活を両立させる技術として期待されている。

### 水素エネルギーの優れた特徴

水素は多様なエネルギーから製造することが可能な二次エネルギーである。燃料電池に利用することで、高効率で電力を生産できる上、排出されるのが水のみであることから、究極のクリーンエネルギーとされる。

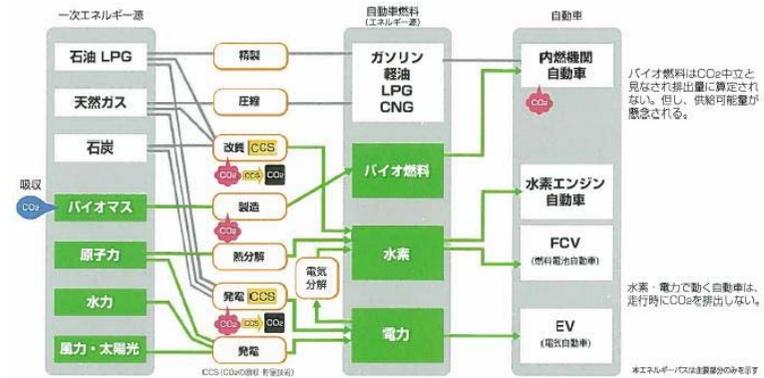


図2 多様な水素源の可能性

### 政策上の位置付け

経済産業省が2008年3月に発表した「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」において、2050年までに世界の温室効果ガス排出量の現状比半減を図るため、重点的に取り組むべき21の重要技術が選定されたが、その中に燃料電池・水素が取り上げられるなど、政策的な位置付けは極めて高い。



図3 Cool Earth—エネルギー革新技術計画

### 次世代自動車に係るFCVの位置付け

経済産業省が2010年4月に発表した「次世代自動車戦略2010」では、新車販売に占める次世代自動車の割合を2020年で最大50%、2030年で最大70%と目標を定め、中長期的には自動車の棲み分けが進展することも考えられるとしている。FCVに関しては、水素由来のメリット(燃料多様化に寄与、EVと比較しての航続距離・充填時間の優位性、総合効率の高さ)とともに、インフラ整備のコストや各種規制等に係る課題も指摘している。

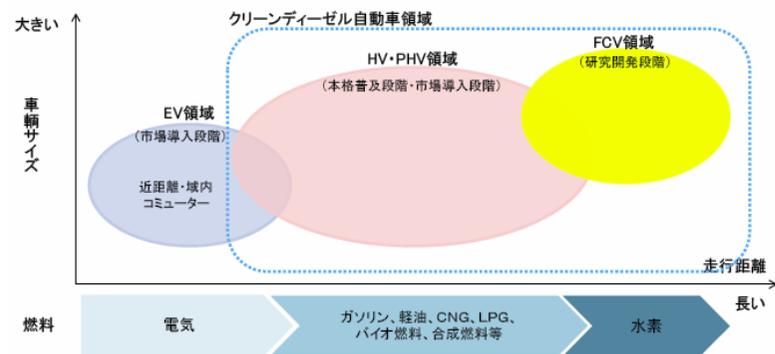


図4 車両毎の棲み分け観念図(次世代自動車戦略2010より)

## 固体高分子形燃料電池 (PEFC) と固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の特徴

燃料電池は電解質の種類によっていくつかの種類が存在するが、NEDOでは現在、その中で特に固体高分子形燃料電池 (PEFC) と固体酸化物形燃料電池 (SOFC) に注目して研究開発を進めている。それぞれの特徴を表1に示す。

PEFCは固体高分子を電解質に用いるもので、70～80℃前後の低温で作動し、起動性等の操作性と小型軽量であることが主な特徴である。このことからFCVと定置用 (家庭用) コージェネシステムに用いられ、前者はガソリン車と遜色ない商品性を実証し、後者は総合効率 80% を実証してエネファームとして商品化されている。エネファームの本格普及、FCVの実用化に向けてはコストダウンが最大の課題である。

一方、SOFCは固体酸化物 (セラミックス) を電解質に使い、およそ700～1000℃で作動させるもので40%以上の高い発電効率が得られることが最大の特徴である。このことから家庭用から大型事業用まで高効率の発電システムとして期待されている。SOFCは現在、信頼性・耐久性を含めた性能の開発・実証段階であるが、一部、家庭用 (小容量) システムは発電効率 45% (LHV) でPEFCに迫る4万時間の耐久性の見通しを得るなど発展はめざましく、これによって中大容量が進展することも期待されている。

表1 PEFC と SOFC の主な特徴

	PEFC	SOFC
電解質 動作温度	固体高分子 約 70～80℃	固体酸化物 (セラミックス) 約 700～1000℃
特徴	起動性、操作性、小型軽量	高発電効率
主な用途	燃料電池自動車 (FCV) 家庭用コージェネシステム (定置用システム)	家庭用 (小容量) 発電システム (1kW) 中容量発電システム (数 10kW ～数 MW) 大容量コンバインド発電システム (数 10MW 以上)
開発進展 レベル	FCV: 商品性能を実証完了 定置用: エネファームとして 商品化	開発・実証段階 (耐久性、信頼 性実証中)
主な性能の ポテンシャル	都市ガス改質型: 発電効率 33%前後 (コージェネ時の総 合効率 80%前後) 直接水素型: 発電効率 50%以 上 燃料電池自動車: 車両効率 60%	発電効率 40～50% コンバインドシステム: 60% 低い材料コスト (貴金属使用なし) 燃料多様性 (CO、CH <sub>4</sub> の直接 利用)
当面の課題	普及に向けたコストダウン	耐久性、信頼性の実証、効率 向上、製造プロセスの確立

## PEFC のこれまでの研究開発成果と普及のシナリオ

### - 定置用 PEFC システム

定置用PEFCシステムについては、2005年度～2008年度の大規模実証事業において累計3307台（都市ガス1379台、LPG1614台、灯油314台）の家庭用燃料電池を設置して実証試験を行い、省エネ性、信頼性、耐久性などを実証した。これより、トップランナー機種で年間平均での発電効率33.4%HHV、熱回収効率46.1%HHV、一次エネルギー削減量11,580MJ/年、CO<sub>2</sub>削減量1160kg-CO<sub>2</sub>/年という良好なデータが得られている。また、耐久性についても、各種材料の改善、作動条件の最適化などにより、2008年度に導入された機種では商品化に向けた一つのマイルストーンである4万時間の寿命を達成した。さらに、一部機種に関しては、4000回の窒素レス起動停止への対応が可能となっている。信頼性（故障発生率）についても、大規模実証事業を活用しつつ向上が図られ、着実に改善された。

こうした成果を受け、家庭用燃料電池の業界統一ネーミングが「エネファーム」と定められ、2009年度より経済産業省の導入補助金の下、世界初の一般販売がスタートし、2009年度は5258台の補助金申請を受付けた。今後の導入・普及シナリオとしては、2020年度に累積導入250万台、CO<sub>2</sub>削減年間300万トンを目指している。

エネファームのシステム価格は2009年の初期導入時点で200万円（システムメーカー出荷価格）を超えるが、本格的な製造設備を導入した量産効果と技術革新によって普及期の2015年頃には50～70万円（10万台/年/社 生産ケース）を目指している。なお、普及拡大期である2020年頃には40万円台（20万台/年/社 生産ケース）、本格普及期である2030年頃には40万円以下（100万台/年/社 生産ケース）

を目標とした研究開発が進められている。

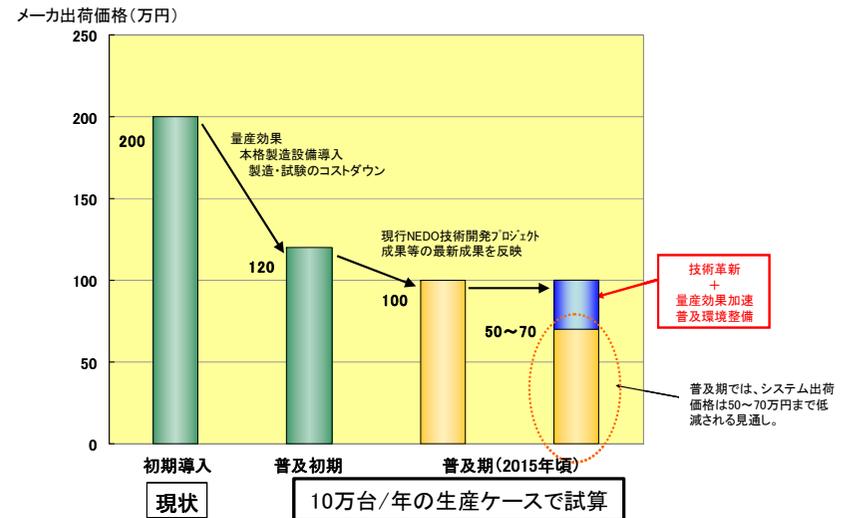


図5 定置用PEFCシステムのコスト見通し

### - 燃料電池自動車 (FCV)

燃料電池自動車開発の動きは90年第後半に活発化し、国内自動車メーカーでは2007年後半から2008年にかけて、新型モデルの発表や、新型セルスタックの発表が行われた。トヨタは2008年6月にFCHV-advを発表した。FCHV-advはエネルギー効率を向上した新型のPEFCシステムと70MPa水素貯蔵システムを搭載し、1充填の航続距離で830km（10・15モード）を達成している。また、本車両は-30℃の低温環境でも始動・走行が可能であり、電極触媒の劣化抑制などを織り込み、耐久性も向上している（50万km相当の走行でも出力低下は30%にとどまる）。ホンダは2007年11月のロサンゼルスモーターショーで

FCXクラリティを発表した。FCXクラリティはFCV専用ボディの車両であり、搭載するPEFCは小型化がはかられている。水素貯蔵システムは35 MPaの大型の水素貯蔵タンク1個を搭載し、その航続距離は620 km（10・15モード）を得ている。FCXクラリティは2008年8月から米国で、11月から日本でリース販売が開始され、日米を合わせた販売計画台数は、3年間で約200台である。

以上の成果も踏まえ、2010年3月、FCVの普及のシナリオが主要な自動車メーカー、水素インフラメーカー等が参加するFCCJから公表されている（図6）。2015年に一般ユーザーへのFCVの普及と商用水素ステーションの設置を開始し、2025年よりFCVと自立的拡大を目指している。目標規模として、2025年頃のFCVの累積普及台数は200万台程度、水素ステーションは1000箇所程度となっている。

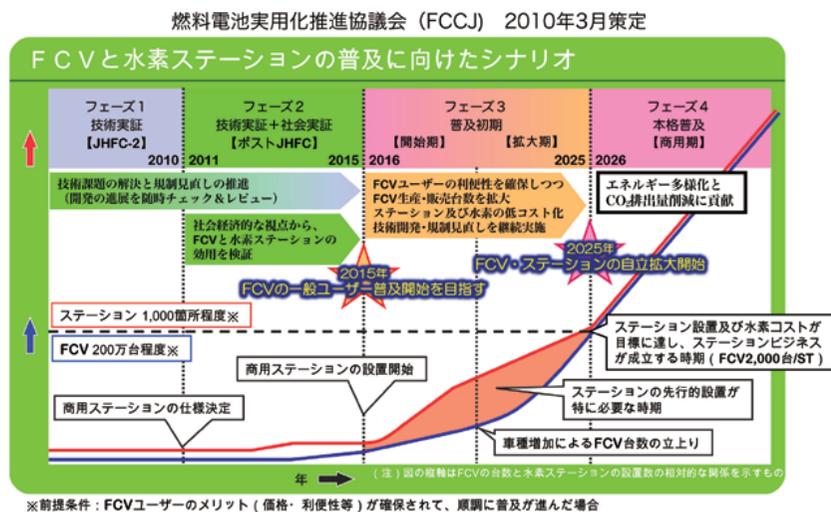


図6 FCCJの改訂シナリオ

なお、FCVについても普及に向けての最大の課題はコストダウンである。システムメーカーからのヒアリングによると、メーカー毎にシステム構成が違う等により幅を持った回答であるが、概ね現状の燃料電池システムの製造コストは数千万円である。2015年頃の初期導入のコストとして現状技術ベースで量産化技術の導入（量産50万台）を仮定すると100万円程度、本格商用化に向けた2025年頃には同一の量産規模で50万円以下を目標としている（図7）。

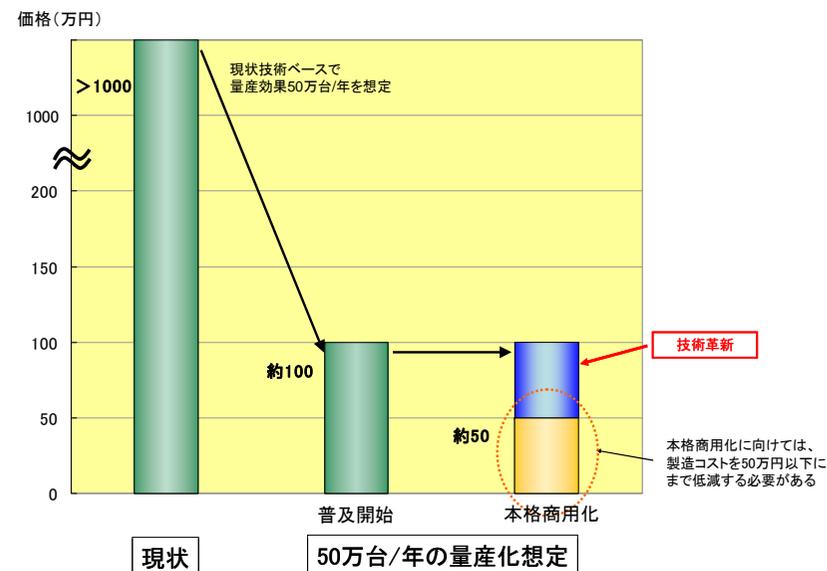


図7 燃料電池自動車(FCV)のコスト見通し

## SOFC のこれまでの研究開発成果と普及のシナリオ

SOFCの研究開発の歴史は古く、1960年代にWestinghouse Electric Corporation（現Siemens Westinghouse Power Corporation：SWPC）が1000℃の作動温度で1mA/cm<sup>2</sup>の発電を行うことに成功し、1970年代の石油危機の後には、すべての燃料電池の中で潜在的に最も安いコストで発電できる燃料電池として、米国DOEの2000年までの長期開発計画が立案された。また、2001年から米国のSiemens、GE、Delphiなどのメーカーと国立研究機関によって、SECA(Solid State Energy Conversion Alliance)プロジェクトが立ち上った。

欧州においてもRolls Royce、Hexis、BMWなど民間による開発も進展し、1kW～数kW級の小容量（家庭用コージェネ）システムから数百kW中容量システム、さらにガスタービン、蒸気タービンなどと組み合わせて発電効率60～70%の超高効率発電を目指す数百kW～数MW級中容量ハイブリッドシステム、数10MW級事業用大容量コンバインドシステムまで幅広い範囲で研究開発が行われている。

日本でも1981年から当時の工業技術院によるムーンライト計画が始まり、これまでに継続的かつ精力的な研究開発が行われてきている。2008年度からは早期の市場導入に向けて、小容量システムを対象とした実証研究とともに、中・大容量システムを含めて、耐久性・信頼性向上のための基礎研究、原料・部材・セルスタック・モジュールの低コスト化技術の開発、運用性向上のための起動停止技術、超高効率運転のための高圧運転技術などが、NEDOプロジェクトで進められている。

小容量システムの実証研究として2009年までに132台が一般家庭

を想定して設置され、都市ガスを用いた700Wシステムのトップランナーでは、高効率化対応により45%(LHV送電端)の発電効率を達成するとともに、負荷変動の大きい実住宅において、発電効率42%、熱回収効率40%、電力カバー率75%の高い運用結果が報告されている。耐久性・信頼性については実証段階ではあるが、現在、最長運転時間は2万時間(連続運転)となり、4万時間が見通せる状況になってきている。また、燃料多様化への対応として、LPGと灯油による運転も開始し、LPGでは6000時間、灯油では5000時間の運転実績を蓄積してきている。

これらの進展によって小容量定置用システムについては、速やかな商用化に向けての取り組みが始まっている。普及のための課題は耐久性・信頼性の実証、および量産化に向けた製造プロセスの確立である。2015年前後の初期導入期において50～100万円/kWへのコストダウン（生産ケースを年間数十MW規模と仮定）を目指し、将来的には9万時間（連続運転）の耐久性の見通しと40万円/kWのコストダウンによる本格普及を目指した研究開発が進められている。

一方、分散型電源、発電事業用の中・大容量システムについても、200kW級の中容量コンバインドシステムにおいて高圧運転技術の開発等により発電効率52%(LHV送電端)、3000時間の運転時間を達成するなど、着実に開発が進展している。小容量システムと同様に、耐久性・信頼性の実証、セルスタック・モジュールの発電性能向上、部材の低コスト化等が今後の課題であるが、耐久性・信頼性の実証は小容量システム以上の高いレベルが要求される。加えて複合発電システム制御技術等、取り組むべき課題は多いが、2015年以降の初期導入を目指して研究開発が進められている。さらに、大容量発電

システムに向けては、高効率天然ガス火力発電所にSOFCを設置する「部分トッピングシステム」の検証、将来的には天然ガス焼きSOFC-コンバインドサイクル発電の検証が検討されており、さらに、燃料多様化への対応として、将来のIGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）への適用を睨んだ研究開発についても検討が進められている。

## ＜PEFC の実用化・普及に向けての課題＞

### 材料コスト低減とシステム簡素化によるコストダウンの重要性

PEFCの実用化・普及に向けた課題を図8に示す。定置用PEFC及び燃料電池自動車は反応・劣化現象の理解の進展によって、低加湿、高温、高電流密度、高電位、高負荷変動、不純物影響など、劣化しやすい環境条件の抽出が進み、劣化対策を含めてシステムを最適化することによって、先に述べた実用性能を実証するに至っている。

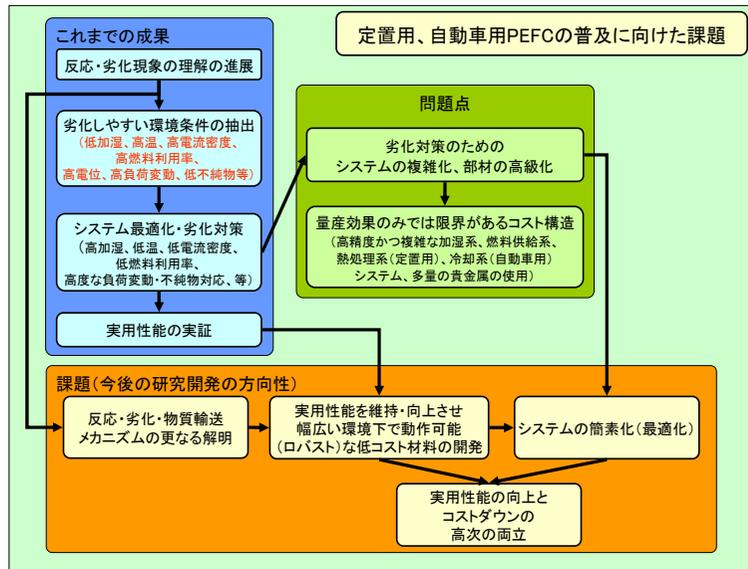


図8 定置用、自動車用PEFCの普及に向けた課題

しかし、劣化対策含めた性能向上のためにセルスタック、加湿系、

燃料供給系、熱処理系（定置用）、冷却系（自動車用）は高精度な制御を行う複雑なシステムになり、また多量の貴金属を用いるなど材料コストが大きくなっている。このことから、現状価格は普及価格を大幅に超えており、量産効果だけでは市場競争力を持つ価格実現へのコストダウンに限界がある。

コストダウンのためには、実用性能を維持向上させながら幅広い環境下で動作可能なロバストかつ低コストな部材が必要であり、反応・劣化・物質輸送などの動作メカニズムの更なる解明に裏打ちされた革新的な材料の開発が不可欠である。それらによるシステムの簡素化と最適化により、信頼性・耐久性・発電効率の更なる向上と、燃料多様化・寒冷地対応・自立形対応等の市場拡大に向けた付加価値向上が可能となる。

### コスト構造の分析と必要な技術開発課題

#### － 定置用PEFCシステム

図9に示す定置用PEFCシステムを対象として主要システムメーカーのヒアリング等により収集した情報をもとに、定置用PEFCシステム（量産10万台を想定）のコスト分析を実施した（図10）。

この結果から分かるように、スタック、燃料改質装置、熱交換・水処理系、インバータ、給湯ユニットの各モジュール、組立て等その他のコスト割合が均衡しており（スタックのコスト割合は20%程度）、スタックのコスト低減と同時に、周辺機器も含めて総合的にコストを低減することが必要である。そのためには、スタックのロバ

スト性を向上させ、周辺機器への依存を軽減し、システムを簡素化するための技術開発が必要である。

具体的には、低加湿作動化（加湿関連機器や制御の簡素化）、高温作動化（排熱温水高温化による貯湯槽サイズ低減）、一酸化炭素（CO）耐性向上（CO処理関連触媒使用量軽減、選択酸化器の削減）、不純物耐性向上（各種フィルター簡素化、メンテナンスサイクル伸長）等を可能にするMEAの高性能・高耐久化技術が求められる。さらに、白金等の使用量削減等によるセルスタック材料低コスト化、作動電圧向上（セル積層枚数低減）等が具体的な技術開発課題となる。表2～表7に、NEDOプロジェクト等による基盤技術の強化、メーカー主体の実用化技術開発の技術開発課題に分類して示す。また、コスト低減と技術開発課題の相関を図11に示す。

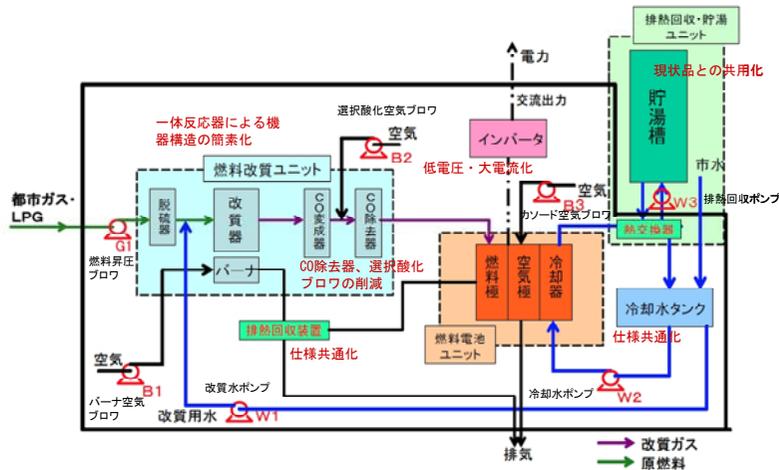


図9 定置用PEFCシステム構成

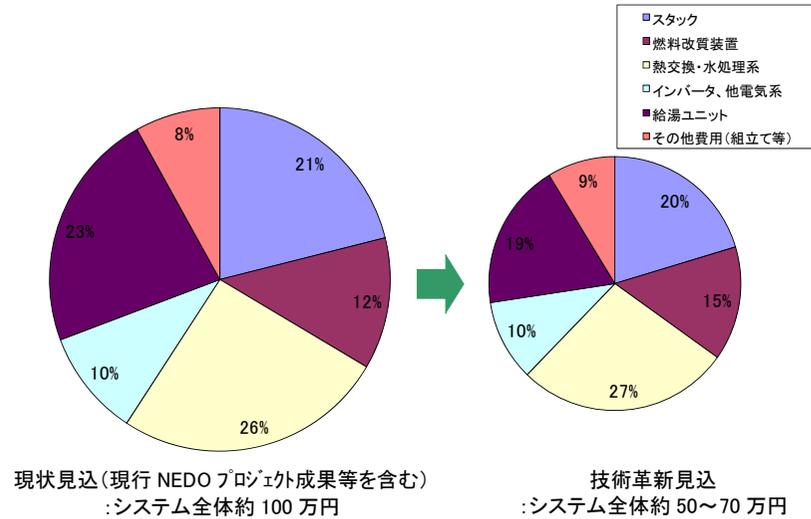


図 10 定置用 PEFC システムのコスト構造

これらの技術革新によって、10万台量産時には50～70万円までコスト低減が達成される見込みである。更なるコスト低減のためには、MEAのロバスト性と耐久性、発電効率の向上に加え、FCVの普及に応じた部材の高性能化・大量生産によるコスト低減効果、純水素型システム等が必要である。

表 2 セルスタック低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
電極触媒	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低白金化</li> <li>・非白金化(酸化物系・カーボンアロイ)</li> <li>・構造・反応・物質移動機構解明・解析</li> <li>・高電流密度化(セル数低減)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低コスト触媒層プロセス技術</li> <li>・触媒量低減技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・白金使用量 0.2mg/cm<sup>2</sup> に低減</li> <li>・白金リサイクル技術確立</li> <li>・電流密度現行比 25～50% アップ</li> </ul>
電解質膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高耐久・低コスト膜開発</li> <li>・高電流密度化(セル数低減)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低コスト量産技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・膜形成技術革新による低コスト化必要(コスト低減効果に含めず)</li> </ul>

	・構造・物質移動機構説明・解析		・FCV 実用化による量産効果 (コスト低減効果に含めず)
GDL	・高電流密度化 (セル数低減)	低コスト製造技術	・FCV 実用化による量産効果 (コスト低減効果に含めず)
セパレータ・ガスケット等	・高電流密度化 (セル数低減)	・低コストセパレータ製造技術 ・大面積セパレータ構造 ・低コストガスケット材料探索、形成方法 ・低廉材料適用、部品点数低減	

表 3 燃料改質装置低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
断熱材	・高機能・超熱伝導断熱材開発	・反応器小型化 ・外層温度低減	・安価な断熱材
触媒	・改質系触媒開発 (低コスト/高耐久、CO メタン化)		
構造部材	・改質系触媒開発 (低コスト/高耐久、CO メタン化)	・シフト/CO メタン化一体反応器	・一体反応器による機器構造の簡素化、中間冷却熱交換器の削減 ・CO 除去器、選択酸化空気フローの削減
	・改質器クリープ挙動説明	・小型化・低廉材料適用	

表 4 熱交換器・水処理装置低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
低コスト機器開発	・熱交換器開発 ・水処理装置開発		・凝縮器単体コスト低減と他熱交換への展開考慮 ・仕様共通化 ・10 年のライフサイクルコストでコスト低減 ・仕様共通化
配管・部材		・配管・材料見直し	・SUS 材料の見直し、等
システム・パッケージ		・モジュール化推進	・複合配管化等の採用を大幅加速
		・センサー追加削減	・システム簡素化

表 5 インバータ・電気装置低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
共通機器開発	・電極変換器開発		・低電圧・大電流インバータ開発に伴うスタックコスト

検査		・組立、検査の合理化加速	低減
その他部品		・部品共通化	・SUS 材料の見直し、等

表 6 給湯ユニット低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
エコウィル共用化	・高耐久膜 (高温、低加湿作動) の開発	・エコウィルとの共通化	・現状エコウィルレベルへのコスト低減 ・スペック、機能の最適化
FC 本格普及による量産効果		・給湯器メーカーの製造・材料コスト低減 ・システムメーカーのコスト低減	・給湯ユニットの量産規模がエコウィルの 10 倍と想定
競争原理加速		・FC-給湯ユニットの標準化	・競争原理によるコスト低減

表 7 その他 (組立て等) 低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
全体組立		・モジュール化推進	・組立工数大幅低減、部品数削減 ・制御、センサーの簡素化

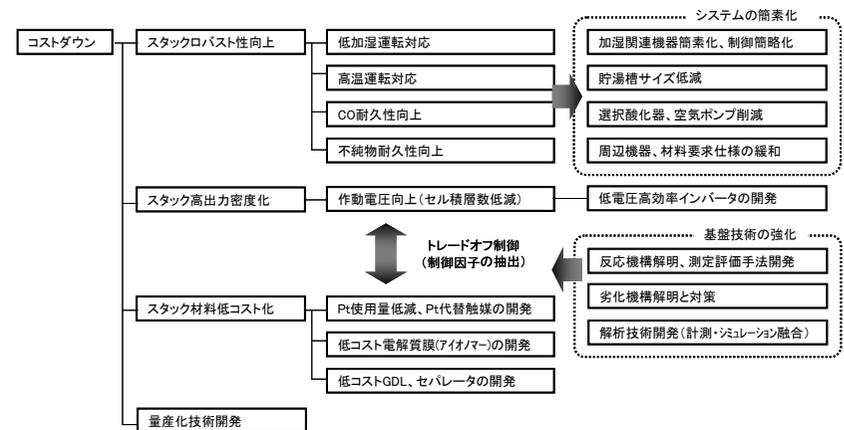


図11 定置用PEFCシステムのコスト低減と技術開発課題の相関マップ

## － 燃料電池自動車(FCV)

図12に示すスタックと周辺機器（高圧水素タンク、駆動モーター、バッテリー等を除く）（システム出力100kW）について、2008年度DOE調査報告結果を参考として、主要な自動車メーカーのヒアリング等により収集した情報をもとに、自動車用燃料電池システムのコスト分析を実施した。ここでは、現状技術ベースで量産効果（量産50万台／年）を見込んだ場合のコストと本格商用化に向けた技術革新によるコストを試算した。コスト分析は各社のシステム構成が違うなど幅を持った回答ではあるが、平均的なコスト構造を図13に示す。

システム全体のコストのうち、現状技術ベースではスタックが約60%、その中で電極触媒のコストが半分以上を占める。現状の触媒における白金使用量は0.5～1.0g/kWとなっており、大きなコスト高となっている。一方で、燃料電池作動を制御する周辺機器のコストも全体で約40%を占め、この部分のコストを下げなければ大幅なコスト低減は実現しない。したがって、定置用PEFCシステムと同様、スタックの低コスト化と同時に、スタックのロバスト性を向上させ、システムを簡素化するための技術開発が必要である。

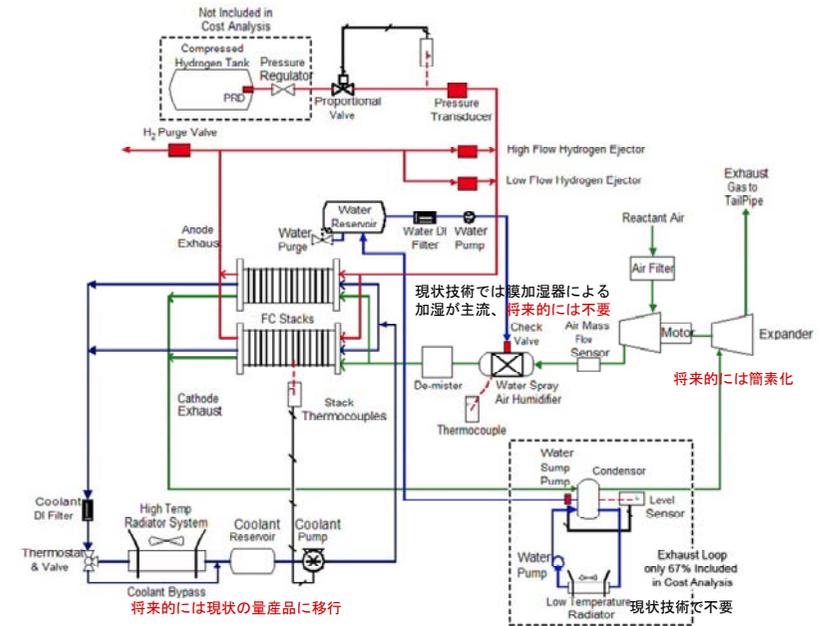


図12 FCVシステム構成

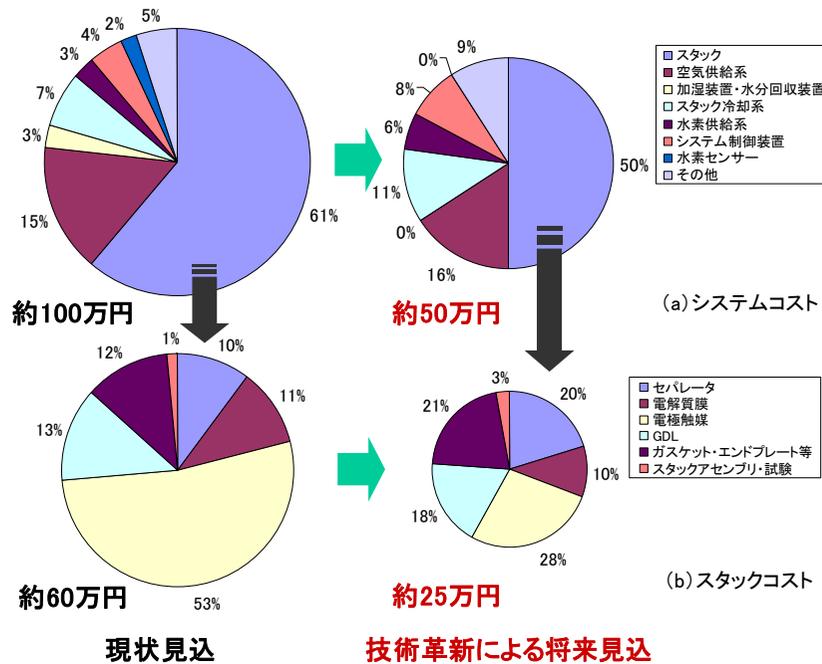


図13 FCVのシステム・スタックコスト構造

具体的には、耐久性を確保しつつ白金の触媒活性、利用率を高めて白金使用量を現状の1/10レベル（～0.1g/kW）まで大幅低減する低白金化技術、白金を全く使用しない新規触媒（白金代替触媒）の開発をはじめ、高耐久性かつ低コストな新規電解質材料の開発、高温作動化（ラジエータ等の小型化、現状品への移行）、加湿器レス作動化（加湿装置の削減）を可能にするMEA内水分管理技術等が求められる。また、スタックの高出力密度化による電解質・GDL・セパレータ等の部材使用量の低減も重要である。

表8と表9に、NEDOプロジェクト等による基盤技術の強化、

メーカー主体の実用化技術開発の技術開発課題に分類して示す。また、コスト低減と技術開発課題の相関を図14に示す。

表8 セルスタック低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
電極触媒	・低Pt化 ・非白金化(酸化物系・カーボンアロイ) ・構造・反応・物質移動機構解明・解析 ・高電流密度化(セル数低減)	・低コスト触媒層プロセス技術 ・触媒量低減技術	・アノード、カソード合わせて白金使用量を0.1mg/cm <sup>2</sup> に低減(現状レベルはFCV1台あたり50～100g、本格商用化までの中間目標では約半減) ・電流密度現行比約40%アップ ・原材料コストのみでなく、要求性能に応じた電極構造とその製造技術にコストが依存
電解質膜	・高温・低(無)加湿対応膜開発 ・高電流密度化(セル数低減) ・構造・物質移動機構解明・解析	・低コスト量産技術	・量産時2000円/m <sup>2</sup> 目標(エンブラ系樹脂の市場価格等を想定) ・機械強度、MEA製造方法とのトレードオフの解決が必要
GDL	・高電流密度化(セル数低減)	低コスト製造技術	・量産時2-3000円/m <sup>2</sup> 目標 ・GDL製造工程の自動化、製造方法の改善が必要
セパレータ	・高電流密度化(セル数低減)	・低コストセパレータ製造技術	・表面処理を含めて100円/枚前後目標
ガスケット等	・高電流密度化(セル数低減)	・低コストガスケット材料探索、形成方法 ・低廉材料適用	・高温化とのトレードオフの解決が必要
スタックアセンブリ・試験		・組立て、検査の自動化 ・性能試験の高速化、自動化	

表9 周辺機器低コスト化への技術課題

項目	基盤技術強化	実用化開発(メーカー主体)	補足
水素循環系		・低ストイキ作動化による簡素化	・左記課題の解決等により量産時2-3万円程度が目標
水素センサー		・安全性評価	・量産時2-3000円/個が目標 ・安全性に関する部品のため、個数削減には法整備が必要(コスト低減効果として含む)
システム制御装置		・セルスタックロバスタ性向上による簡素化	・FCの電圧計測装置等を含む
空気供給系		・低圧、低ストイキ作動化による簡素化	・構成上、コンプレッサ等の駆動モーターとインバータを含む
スタック冷却系	・高温対応MEA開発	ラジエータ、ファン等の小型化、現状品への移行	

加湿装置	・加湿器レスを可能とする 新規電解質材料の開発	・加湿器レスを可能とする MEA 水分管理技術	
その他部品		・部品点数低減	・搭載車両、システム形状によ って部品構成が決定

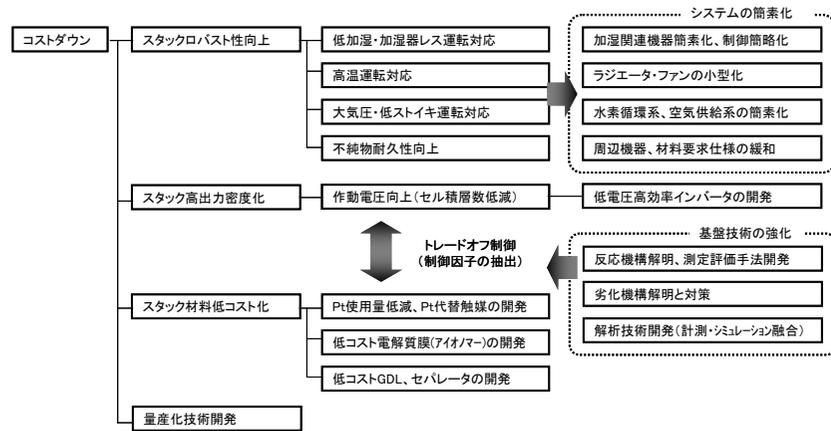


図 14 FCVのコスト低減と解決すべき研究開発課題の関連マップ

## － 部材開発の課題

自動車燃料電池、定置用 P E F C システムともに、広温度範囲・低湿度で高性能な電解質膜材料及び低白金若しくは非貴金属で高活性な電極触媒の開発が鍵を握っており、最も開発が期待される項目である。

### (1) 電解質膜・アイオノマー

現状最も実用的で主に用いられているフッ素系電解質膜は、性能や耐久性の向上が進み P E F C の実用性を高めてきた。低湿度下で

のプロトン伝導性や耐久性についても進歩してきている。しかしながら、さらなる高温・低加湿条件下での高性能化や耐久性向上、低温でのプロトン導電率の向上が強く求められている。特に自動車用には120℃での作動や氷点下起動が求められ、一層の技術的な飛躍が望まれる。さらに、空気や水の浄化装置を簡素化し廉価な部材を使用できるようにするため、不純物耐性の向上も望まれる。

一方、種々の炭化水素系膜も性能が高まってきており、コストが比較的安い、ガス透過性が小さい等の利点があり期待が持たれている。

電解質膜・アイオノマーは、高温低加湿や無加湿、低温等といった広範囲の運転条件において現状のフル加湿運転時と同等以上の性能と耐久性を有する材料の開発が強く求められている。また、長期的な視野で革新的な新材料探索を行うことも重要である。

### (2) 電極触媒・担体

将来の燃料電池自動車や定置用 P E F C システムの広範な普及には、資源量とコストの両面から白金使用量の大幅な削減が不可欠である。これにはまず合金化をはじめ、種々のアプローチによる触媒活性の飛躍的向上に向けた試みが必要であるとともに、触媒利用率を極限まで向上させる取り組みが求められる。尚、これには耐久性との両立が必須である。耐久性については特に白金溶解・凝集の抑制技術、耐食性担体開発、不純物耐性の向上等が求められる。

また、資源的に豊富で安価な材料を用いて白金代替触媒を開発することは、技術難度は高いが実用化できれば効果は極めて大きい。この分野では最近、カーボンアロイや酸化物系材料で期待の持てる

シーズが出てきており、性能向上と反応機構解明を行うとともに実用化を視野に入れた研究開発の促進が望まれる。

なお、改質ガスを燃料とする定置用システムでは、白金触媒のCO被毒耐性を大幅に向上すれば燃料処理システムの簡素化につながり、そのコスト削減効果は大きい。

### **一基盤技術の強化**

上記の部材を実用化するには、燃料電池の反応・劣化・物質移動現象の解明を図ることが必要不可欠である。具体的には、大型放射光施設や高強度中性子全散乱装置等を活用した高度な実験解析、及び数値解析手法を駆使し、電解質の分子構造、電極触媒の原子構造・電子状態、触媒層内の物質輸送（プロトン・水・ガス）といった現象の解明に取り組むことが必要である。また、新規材料開発を効率的に推進するため、各方面で開発される新規 MEA 材料の共通的な評価基準・手法を構築し、燃料電池セルとして適切に評価することも重要である。

## <SOFC の実用化・普及に向けての課題>

### SOFC の研究開発の特徴と普及に向けた課題

SOFCの実用化・普及に向けての課題は①耐久性・信頼性の向上、②低コスト化、③高性能化（高効率化）、④利便性の向上、である。なお、SOFCについては高効率の発電システムとして競合技術（ガスエンジン、ガスタービン、等）が多く、これらの課題を同時に高いレベルで解決することが求められている。

これらを解決するためには、(I)材料・製造プロセス、(II)セルスタック、(III)システム、(IV)アプリケーションに対する総合的な取り組みが必要となるが、SOFCは、「セルがすべて固体で構成されるため形状の自由度が高い」、「低温で作動する電解質などの新規材料の開発が進み材料の選択岐が多い」など、最適化の自由度が大きく、問題解決の潜在性が高い。

例えば、小容量定置用のシステム開発では、運転条件・起動停止特性・負荷追従性・システムサイズなどアプリケーションに求められる仕様を決めた上で、低温で高電流密度が得られる材料の選択、アノード支持・平板型採用による電解質薄膜化、熱管理の最適化など、材料からセルスタック・システム設計までの総合的な取り組みが行われている。

このようにSOFCの研究開発は、①～④の高い要求課題に対応するために、その最適化の自由度を生かし、(I)～(IV)のテーマに総合的に取り組みながら螺旋的に研究開発が進展することが特徴である。これによって小容量から中容量まで多様なシステムに対応した技術の蓄積が進んでいる。一方、これまで、SOFCは高温の特徴を活

かす観点から、中容量以上の定常運転システムを中心に研究開発が行われてきた。しかしながら、中容量以上のシステムの試作には多大な費用が必要であり、また、(I)～(IV)のサイクルを1回まわすのに数年を要すること等、種々の課題があった。

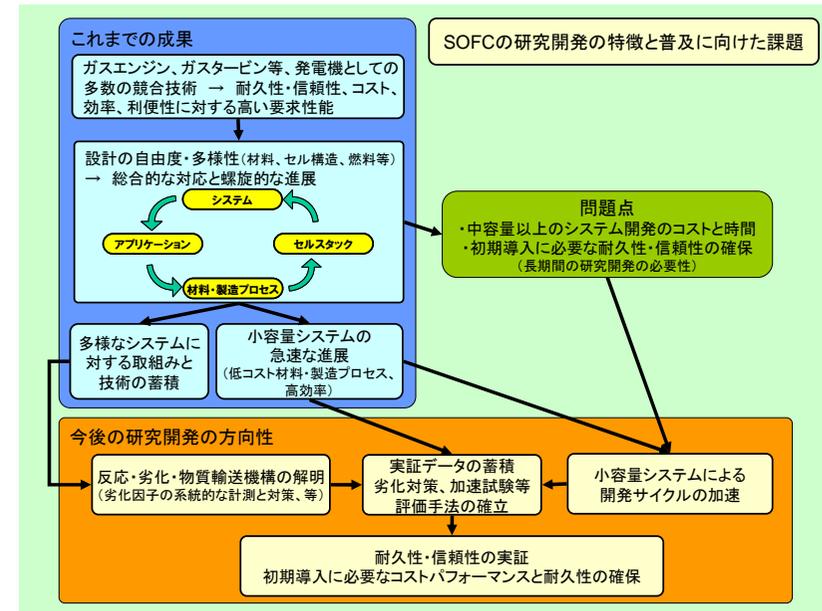


図 15 SOFC の研究開発の特徴と普及に向けた課題

これに対して、近年の家庭用コージェネシステムに焦点を当てた小容量システムの急速な進展は、他のシステムに先駆けて①～④の課題が高いレベルで満足される可能性を示している。小容量システ

ムは試作コストが小さいために(I)～(IV)のサイクルが速く、ここで検討される材料技術、システム化技術などの成果を中容量以上のシステム開発へフィードバックして開発を加速できる可能性も出てきている。

### 実用化に向けて必要な技術開発課題

表 10 に示す実用化・普及に向けての目標性能に対して、現在、発電効率などの基本的な性能は達成されている。また、SOFCは他の燃料電池に比べて貴金属を用いず、製造プロセスも大量生産が可能な湿式法の採用に成功するなど、コストダウンへの可能性が期待される。

このような現状で、初期導入段階に向けて最も優先順位が高い課題は耐久性・信頼性の確保と実証であり、本格普及に向けてはコストダウン、効率向上、利便性が課題となる。これらに向けた主な研究開発課題の概要を表 11 に示す。耐久性とコスト、効率、利便性はトレードオフの関係にあり、これらの課題解決のためには、反応・劣化・輸送機構の解明などの基盤技術開発、熱管理や燃料供給・排出の最適化などシステム関連技術の開発、さらに、利便性・運用性向上のための取組みが必要である。以下、耐久性向上、コストダウンを軸に技術開発課題についての概要を示す。

表 10 実用化・普及に向けての SOFC システムの目標性能

＜小容量定置用システム＞			＜中容量定置用システム＞		
	初期導入	普及～本格普及		初期導入	普及
システム価格	50～100万円/kW	40万円/kW以下	システム価格	約100万円/kW	20万円/kW以下
出力密度	0.2kW/L	0.4～1kW/L	出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	40%HHV/45%LHV以上	50%HHV/55%LHV以上	発電効率	40%HHV/45%LHV以上	50%HHV/55%LHV以上
総合効率	75%HHV/82%LHV以上	80%HHV/89%LHV以上	総合効率	75%HHV/82%LHV以上	80%HHV/89%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し	耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	負荷追従性、低負荷運転特性が良好であること	同左	その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

＜中容量ハイブリッドシステム＞			＜大容量コンバインドシステム＞		
	初期導入	普及		初期導入	普及
システム価格	約100万円/kW	15万円/kW以下	システム価格	数10～100万円/kW	15万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L	出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	50%HHV/55%LHV以上	55%HHV/60%LHV以上	発電効率	60%HHV/55%LHV以上	65%HHV/70%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し	耐久性	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上	その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

表 11 SOFC の研究開発課題の概要

研究開発課題 (耐久性向上、他、基盤技術開発)	効果			対象アプリケーション				対象部位			備考	
	耐久性向上	低コスト化	高効率化	利便性向上	小容量 定置用	中容量 定置用	中容量 ハイブリッド	大容量 コンパインド	システム	セルスタック		部材
反応・劣化・物質輸送機構の解明	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	基盤的技術
不純物、熱サイクル耐久性の把握、対応 熱力学的・化学的・機械的解析による劣化 機構の解明、加速試験法の開発	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	基盤的技術、要総合対応 システムメーカー・大学・国研連携
システム評価手法の確立 劣化の非破壊検査 セルスタックの標準的な試験方法	○	△	△	-	○	○	○	○	○	○	○	基盤的技術、要総合対応 システムメーカー・大学・国研連携
モデリング・シミュレーション技術の開発 (温度、電流密度、熱応力解析技術の開発)	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	基盤的技術(他の研究課題と平行して横断的に開発)
新規材料開発(電解質、電極、インターコネク ト)	○	○	○	△	○	○	△	△	△	△	○	基盤的技術、要中長期対応 要、関連劣化対応

研究開発課題 (高性能と低コストの両立)	効果			対象アプリケーション				対象部位			備考	
	耐久性向上	低コスト化	高効率化	利便性向上	小容量 定置用	中容量 定置用	中容量 ハイブリッド	大容量 コンパインド	システム	セルスタック		部材
システム最適化(運転条件、熱管理の最適 化)	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△	△	共通課題、要総合対応
高出力密度化	☆	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	共通課題、要総合対応 (基盤的技術の活用) 要、関連劣化対応
システム簡素化	☆	○	☆	○	○	○	○	○	○	△	△	共通課題、要総合対応 要、関連劣化対応
量産のための低コスト製造プロセスの確立 (乾式法から湿式法への転換)	☆	○	△	☆	○	○	○	○	○	○	○	共通課題、普及対応 要、関連劣化対応

研究開発課題 (利便性・運用性の向上)	効果			対象アプリケーション				対象部位			備考	
	耐久性向上	低コスト化	高効率化	利便性向上	小容量 定置用	中容量 定置用	中容量 ハイブリッド	大容量 コンパインド	システム	セルスタック		部材
起動停止、負荷変動対応	☆	☆	△	○	○	△	△	△	○	○	○	小容量システムにける重要性大 要、関連劣化対応
部分負荷運転対応	☆	☆	○	○	○	△	△	△	○	○	○	小容量システムにける重要性大
高圧運転	☆	☆	○	○	-	-	○	○	○	△	△	コンパインドサイクル対応 要、関連劣化対応
高温排熱の高度利用	-	△	○	-	△	△	○	○	○	△	△	コンパインドサイクル対応中心
大容量化	☆	☆	△	○	-	△	△	○	○	△	△	コンパインドサイクル対応中心
コンパクト化	-	△	△	○	○	○	○	△	○	○	△	共通課題、要総合対応
耐振動、耐衝撃対応	△	☆	-	○	○	△	△	△	○	○	○	移動体用、小容量システムにける 重要性大
燃料多様化	☆	☆	☆	○	○	○	○	○	○	○	○	共通課題、普及対応 要、関連劣化対応
自動車用搭載補助電源(APU)等、移動体 用への対応	☆	☆	☆	○	○	-	-	-	○	○	○	トラック、鉄道、船舶などの電源の 効率化に加えて、電気自動車(EV) の航続距離拡大への検討が進行中

(○:直結する技術課題、△:間接的に寄与する技術課題、☆:トレードオフ関係にある技術課題)

## - 耐久性・信頼性の向上

SOFCは全て固体で構成されるため、本来劣化要因は少ない。Siemens-Westinghouse PC社がEVD法で作成したセルは定常運転下で7万時間以上の耐久性を示した。しかしその後、製造方法の低コスト化(湿式法の採用)、低温形セルとそのための新規材料の開発、負荷変動運転、燃料多様化など、コストダウンと性能向上のためのさまざまな研究開発が行われており、トレードオフの関係にある耐久性・信頼性の向上が重要な課題となっている。図16に劣化の出現と対策について模式的に示す。劣化については、金属インターコネクト、シール材、新規材料(セリア系、等)の材料起因、湿式法採用などによる製造方法起因、燃焼ガスへの空気混入、熱サイクル、負荷追従運転などのスタック運転状況起因、気相に存在する微量な不純物や原材料内の不純物起因など、様々な要因が存在する。これらに対して実システムの実証試験によって劣化に関するデータを蓄積するとともに、熱力学的・化学的・機械的解析、三相界面の微細構造変化の解析などの基礎研究を平行して行う必要がある。基礎研究では劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにすることが重要である。さらに、劣化対策を立案し、システム開発と連携してその効果の検証を行うとともに、劣化の加速試験方法を確立することが必要である。

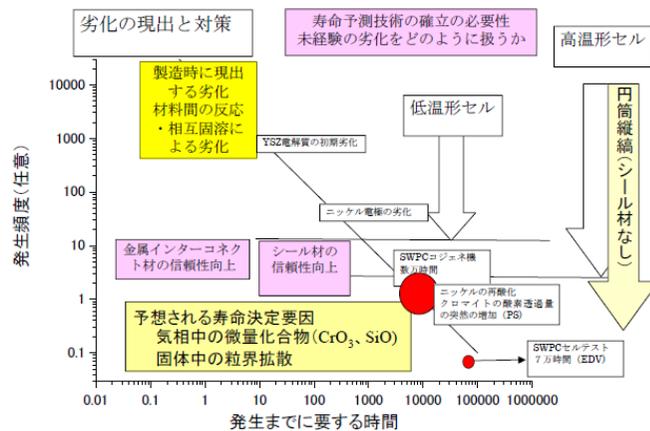


図 16 劣化の出現と対策

## - コストダウン

SOF Cは貴金属等を用いないため、原材料コストに関しては他の燃料電池と比べて低く抑えられる。また、当初は製造コストが問題になったが、日本では既に高価な EVD などの乾式法から低価格で大量生産に適した湿式・焼結法を採用することに成功しており、耐久性が確保されれば、初期導入に向けてのコスト目標のハードルは高くない。しかし、本格普及に向けての更なるコストダウンについては、ランタン等、原料価格の高い成分を含む部材の薄膜化、湿式法を用いてさらに焼結回数を削減するなどの製造プロセスの低コスト化、出力密度の向上によるセル材料の大幅削減などの取組みが必要である。コストダウンに関するほとんどの取組みは耐久性とトレードオフの関係にあるため、前述の耐久性・信頼性向上に関する取

組みと並行して進める必要がある。

## - 高効率化・出力密度の向上(システム最適化)

出力密度の向上は、材料使用量の削減によるコストダウンに繋がるだけではなく、高効率化、利便性の向上など全てに共通する課題であり、耐久性とはトレードオフの関係にある。したがって、その向上のためには、運転条件・熱管理の最適化からセルスタック構造・部材の最適化まで、総合的なシステム最適化への取組みが必要である。

そのためには、温度分布、電流密度分布、熱応力分布など把握と解析が重要であり、内部状態の計測技術とともにモデリング・シミュレーション技術が重要となる。また、先に述べたように中容量以上のシステムではシステム最適化のための試作回数はコストと時間から限られてくるため、システム構築の最小単位（大型基本スタック）の最適化等の検討も重要である。さらに、コストダウンと性能をより高いレベルで両立させるためには、電解質・電極・インターコネク トなどの新規材料の開発も中長期的課題として取組む必要がある。

## -運用性の向上、燃料多様性、ほか

運用性向上のためには起動停止・負荷変動対応が必要である。起動停止・負荷変動については、運転制御や熱管理などのシステム最適化に加えて、耐久性とトレードオフの関係にあることから、耐久性の向上が不可欠である。

燃料多様化については、LPG や灯油への対応に向けた取組みが始まっており、小容量システムで現在実証データが蓄積されつつある。今後は、炭素の析出、不純物元素による劣化の克服が課題となる。また、将来的な IGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）への適用に向けたセル・スタック開発、高圧運転のデータ整備等も重要である。

なお、小容量システムの進展によって、トラック、鉄道、船舶などの移動体への応用の可能性が出てきている。特に自動車用については補助電源（APU）の用途に加えて、電気自動車（EV）の航続距離拡大を狙った適用が検討されている。移動体用にはコンパクト化、耐振動・耐衝撃対応が課題である。

## ＜標準・規格・基準＞

### － 定置用 PEFC システム

燃料電池の国際標準化活動は、1998年10月にIEC(International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議)の中に設置されたTC105(Technical Committee 105: 第105専門委員会)において進められており、これまでに7件のIEC規格(IEC62282シリーズ: 燃料電池用語、燃料電池モジュール、定置用燃料電池システム(安全要件/性能試験法/設置要件)、ポータブル燃料電池システム(安全要件)、マイクロ燃料電池(性能試験法))が発行されている。これらの規格は、TC105の中に設置された11の作業会(WG)の中で検討が行われ、4つのWGで日本からコンビナを出していること、TC105の議長が日本人であることから、この分野で我が国は中心的な役割を果たしてきている。また、国内の標準規格であるJIS規格については、2008年7月に安全基準など8件のJIS規格が発行され、一通り規格体系として整備された。現在は、国際認証制度なども念頭に入れながら、より詳細な内容を盛り込んだ技術内容を国際標準化していくことが重要となっており、2008年12月には小形PEFC性能試験法のJIS規格の内容をIECに新規提案した。

将来、国際市場での優位性確立、国際間取引の円滑化を図るためには、IEC62282シリーズの改訂作業の実施、国際標準化(IEC/TC105への新規提案)等に資する基準案の作成に取り組むことが必要である。

また、将来的なコスト低減に向けた燃料電池の新規材料開発を加

速するため、標準的MEA評価手法(標準的なMEA試作手法、標準セル構成、性能・耐久性評価プロトコル等)の構築、新規材料の技術課題を明らかにするためのセル解析評価技術と組み合わせた標準現象解析フローチャートの構築が必要である。

### － 燃料電池自動車(FCV)

FCV普及のためには、FCVに関わる技術開発と並行して、国際規格の整備が重要である。FCVの安全性、燃費などの性能測定方法、燃料品質などの標準化により、FCVの開発と普及を促進することができる。これまで、ISO/TC22/SC21「電気自動車」の国内審議団体として(財)日本自動車研究所(JARI)内にWG体制が構築され、また、これまでNEDOの関連プロジェクトにおいて燃料電池性能評価方法、FCVの安全性評価等に係る研究開発を推進してきた。具体的には、安全分野に関しては、自動車用圧縮水素容器(70MPa対応)の基準の合理化、車両火災や水素漏洩引火といった車両安全(UN-ECE/WP29 AC3 HFCV gtr)関連の試験等が実施され、性能分野に関しては、ISO23828(FCV燃費試験方法)の発行、FCV水素規格の技術仕様書ISO/TS14687-2の発行(ISO/TC197/WG12「水素燃料仕様」、PEM形単セル標準試験法の提出(IEC/TC105/WG11「単セル標準試験法」)等、日本が先導的な役割を果たしてきた。

今後は、一般ユーザーへの普及に備えた基盤整備として、安全分野に関しては、破裂強度、寿命、充填量の最適化(87.5MPa@85℃)

等の自動車用圧縮水素容器の次期基準の合理化や充填プロトコルの整備に資するデータ、事故や火災時等のさらなるデータ取得、性能分野に関しては、車両改造不要な燃費測定方法の開発と標準化、国際規格（ISO/TC22/SC21/WG2）維持・改定、未調査の不純物成分の影響や材料仕様や運転条件が不純物による性能低下に及ぼす影響等の調査に取り組むことが必要である。さらに、前述の標準的 MEA 評価手法および標準現象解析フローチャートの構築により、材料単体特性、MEA 特性のデータベース、水素燃料等の国際標準対応およびセル評価に必要な燃料電池に関する不純物データベース等を構築していくことが必要である。

## - SOFC

定置用 P E F C システムについては既に標準化が進んでおり、安全基準等の JIS 規格が既に発行されている。S O F C についても規格整備が必要となっており、10kW 未満の小容量 S O F C の JIS 規格開発および関連 JIS 規格の見直し（7 件）を行う目的で、日本電機工業会（J E M A）「定置用燃料電池標準化委員会」の下に「S O F C 標準化分科会」を設置して S O F C 標準化に向けた活動を開始し、2010 年度末までに規格審議が終了する予定である。規格体系は基本的に定置用 P E F C に準ずるが、P E F C では安全に係わる内容が C8822（安全基準）と C8823（安全性及び性能試験方法）の二つの規格に分かれて規定されているのに対して、S O F C では、IEC 規格に合わせる形で一本化する方向で検討が進められている。また、EMC（電磁両立性）及びパワコンに関する規格については、P E F C と S O F C でほとんど相違点がないと思われるため、P E F C の規格

を S O F C も適用範囲に含むような形に改定する方向で検討されている。

さらに、国際競争力を維持する観点から、J E M A 「燃料電池国際標準化委員会」の下に「試験法調査 WG」を設立し、標準化で先行する定置用 P E F C の標準化を参考に、小容量 S O F C の安全試験法及び性能試験法の国際標準化に向けた検討を行い、2009 年度末に国際標準との整合化原案を提示した。今後も引き続き国際標準化を推進し、将来の国際市場での優位性を確立することが必要である。

## <研究開発課題の解説>

### 水素貯蔵技術ロードマップ

今回のロードマップでは、2030年までの水素貯蔵技術（水素車載技術）を俯瞰し、その技術の現状・成果と主な課題、さらに実用化時期を特定した。表12にロードマップにおける目標値を示す。

なお本ロードマップは主にFCVへの水素車載のための技術を研究開発対象としているが、その成果は水素ステーションでの水素貯蔵（例、蓄圧器）や水素輸送容器にも応用することが可能である。

表12 水素貯蔵技術ロードマップの目標

	現状 (技術実証)	2015年 (普及開始)	2020年 (普及初期)	2030年 (本格商用化)
システム貯蔵密度	5 wt%	5.5 wt%	6 wt%	7.5 wt%
システム体積(5kg 搭載)	178L	125 L	100 L	70 L
貯蔵容器コスト	約300～ 500万円	100～200 万円	数10万円	10万円 程度

注：本ロードマップでは、システム貯蔵密度は「wt%」で、水素貯蔵材料の貯蔵密度は「mass%」で表記する。

#### － 水素貯蔵技術の概要

水素貯蔵技術は以下のように分類することができる。

- ・ 圧縮水素容器（水素を高圧で貯蔵）
- ・ 液体水素容器（水素を液体で貯蔵）

- ・ 水素貯蔵材料容器（水素を固体または液体の貯蔵材料で貯蔵）
  - ・ 水素吸蔵合金
  - ・ 無機系貯蔵材料
  - ・ 革新的貯蔵材料
    - ・ MOF、炭素系吸着材料、クラスレート、など（車載のまま水素充填が可能）
    - ・ 有機ハイドライド、オフボード再生式水素充填技術、など（再水素化をオフボードで行うなどのシステム的アプローチが必要）

#### － 技術の全体的課題

水素貯蔵技術は、FCV用燃料として水素を活用するために、以下のような視点から技術の実用性を判断する必要がある。

- ・ FCVが要求する水素貯蔵量：

最新のFCVは水素1kgで141kmを走行するので（2009年度JHFCプロジェクトでのトップランナー、JC08台上燃費測定）、700kmを走行するには水素搭載量は5kgでよいことになる。

将来的には、FCVの更なる効率向上によって車載水素量が少なくてすむようになる可能性もあるが、その一方で開発の優先度がシステムコストの低減に移る可能性もある。

今回のロードマップでは水素貯蔵量5kgを前提に検討を行い、水素貯蔵目標を2015年時点で5.5wt%、2020年時点で6wt%、

2030年時点で7.5 wt%と設定した<sup>1</sup>。

・ F C V搭載のための貯蔵密度：

水素貯蔵システム全体としての貯蔵密度は重要な指標である。システム重量密度も重要な視点であるが、限られた車両スペースに水素を貯蔵するという点では、システム体積密度も重要である。本ロードマップでも、システム重量密度、システム体積密度、また水素貯蔵量を記載した。

・ 水素充填に係る特性：

水素充填では、ガソリン給油に匹敵する3分以内での充填（充填速度5kg/3分）が望まれる。このためには、水素ステーション側ではより高圧での充填が必要であると同時に、プレクールにより車載容器温度は85℃以下に抑えるようにしなければならない。

・ 水素放出に係る特性：

水素放出では、F C Vの負荷に合わせた水素の放出（負荷追従性）が重要であるとともに、車両で得られる適切な温度範囲で速やかに水素が放出できることが重要である。水素貯蔵材料では水素放出に熱を必要することが多いが、150℃以下（できれば100℃以下）で放出できることが望ましい。

<sup>1</sup> 米国DOEは2009年に水素貯蔵目標を見直し、水素密度（システム）目標を2015年で5.5 wt%（55 g-H<sub>2</sub>/k）および40 g-H<sub>2</sub>/L、また究極目標を7.5 wt%（75 g-H<sub>2</sub>/kg）および70 g-H<sub>2</sub>/Lに設定した。なお700気圧の水素の密度は40g/L（5kgで125L）なので、将来的にはよりコンパクトに水素貯蔵ができる水素貯蔵材料の開発が必要である。

・ システム寿命・耐久性：

水素貯蔵システムのサイクル寿命と耐久性が、F C V自体の寿命よりも十分に長いことが重要である。水素貯蔵材料ではサイクル寿命が一応の目安として1000回以上が示されている。

・ コスト：

水素貯蔵システムコストはF C V価格に直結するため、大幅なコスト低減が必要である。現状の700気圧容器は300～500万円だが、2015年には100～200万円に、2020年には数10万円に、さらに2030年には10万円程度まで低減させる必要がある。

・ 安全性の確保：

水素を車載する以上、安全性の確保は最優先されるべきである。特に水素リークへの対応、衝突安全性の確保、容器の水素脆化への対応や劣化・損探傷検知などが重要である。

## － 個別技術

### （1） 圧縮水素容器

#### 【特徴・現状】

圧縮水素容器は、水素を高圧で貯蔵するもので、複合容器（コンポジット容器）とも呼ばれる。現状では、F C V用水素貯蔵技術として最も一般的である。

水素圧力で区分すれば350気圧容器と700気圧容器に分けることができ、またライナー材料で区分すれば、アルミ合金ライナー（Type3）と高密度ポリエチレンライナー（Type4）に分けることができる。なおType3、Type4ともに、水素圧力に対抗するために高強

度材料である炭素繊維が樹脂とともに容器表面に巻かれている。

#### 【技術課題】

最大の課題は炭素繊維のコストであり、現状で 350 気圧容器コストの 65%、700 気圧容器コストの 80%が炭素繊維コストとされる。炭素繊維使用量の大幅な低減や安価な炭素繊維材料の利用、システムの最適設計、さらに生産性向上によるコスト低減が望まれる。また Type3 では、ライナー材に高強度材料（高強度アルミなど）を用いることで炭素繊維の削減が図れる可能性がある。強度や水素脆化耐性などの点での広範なライナー材の検討が必要である。

現在高圧ガス保安法の常圧圧力サイクル試験基準は 11,250 回であるが、これを 5,500 回に見直すことが行われており、その場合は炭素繊維使用量が 1 割程度低減するとされる。合わせて、安全性を担保するための容器劣化診断・探傷検知技術の開発も必要となる。

将来的には、複合容器のリサイクル技術の確立、容器付属品（減圧弁や安全弁、等）の高性能化と低コスト化、さらに量産技術の開発が必要となる。

なお複合容器は、水素ステーション用の蓄圧器（700 気圧級）への適用が検討されている。これはステーション用の 700 気圧級鋼製蓄圧器がコスト高であるため、すでに米国などでは利用され始めている（主に Type4）。また軽量であることから、水素の輸送用容器（400 気圧級）への適用も検討されている（今後の課題）。

#### 【実用化時期】

すでに F C V では 350 気圧容器と 700 気圧容器が実用化されている。2015 年（F C V 普及開始）から 2020 年にかけては、本技術が F

C V における水素貯蔵技術の主流になると見られている。2030 年に向けては、さらなるコスト低減が求められる。

ただし 2030 年の貯蔵目標（7.5wt%、貯蔵量 5kg で 70L 以下）は圧縮水素容器では達成が困難と考えられ、将来的にはその他の貯蔵技術との複合化も開発課題である。

### （2）液体水素容器

#### 【特徴・現状】

水素は液化すると体積が約 1/800 程度になるため、5kg の水素の体積は 80L ほどになり、既存のガソリン容器に近い体積となる。このコンパクトさが液体水素貯蔵の最大の利点である。しかし車両用液体水素容器の開発や、車両への応用例はわが国では少ない。また海外でも一時期 GM や BMW が液体水素貯蔵容器の車載を研究していたが、現状では積極的に液体水素貯蔵を採用する動きは少ない。

#### 【技術課題】

極低温（-253℃）で水素を貯蔵するため、積層真空断熱（スーパーインシュレーション）などの効率的な断熱技術が必要となる。

また液体水素の気化速度（ボイルオフ速度）は現状で 3~6%/日であり、停車時でも 30 時間程度で脱圧のために気化した水素（ボイルオフガス）を排出しなくてはならない。このボイルオフガス量の低減が必要で、2015 年頃には 1~2%、2020 年頃には 0.5~1%までの低減が望まれる。

また車載に適した扁平型液体水素容器の開発も課題である。

#### 【実用化時期】

液体水素貯蔵技術は、液体水素コンテナ・ローリーによる輸送技術として確立した技術である。ただしボイルオフガスの課題もあり、F C V用としての実用化は2020年以降と考えられる。

液体水素は小型・少量貯蔵より大型・大量貯蔵に適した技術であるため、バスなどの大型車両用から実用化が始まると見られる。

### (3) 水素貯蔵材料容器

#### 【特徴・現状】

水素貯蔵材料容器で30気圧程度のものは水素吸蔵合金を主体に水素を貯蔵するもので、小型車両などに使用される。一方350気圧程度の高圧のものは「ハイブリッド容器」とも呼ばれ、F C V用である。高圧部分と水素吸蔵合金部分が半分ずつの水素貯蔵を分担する。

このハイブリッド容器の利点はコンパクト性であり（複合容器と比較して高い体積密度）、車載の点では有望な技術である。さらに水素貯蔵量4mass%以上の水素吸蔵合金が開発されれば、システム重量の点でも700気圧級複合容器に対して競合性を持つようになる。

#### 【技術課題】

ハイブリッド容器をF C Vに車載するための技術的な研究課題は多い。最大の課題はコストである（基本的に水素吸蔵合金のコストで決まる）。また、複合容器に匹敵する耐久性と安全性が求められるとともに、高圧容器内に熱交換器を設置することから、その安全・振動対策、熱交換器の性能向上（特に熱交換流路の改善）、さらに、衝突・落下時の耐久性確保や火炎暴露時の安全性確保も課題である。

そのような特徴から、容器付属品（減圧弁や安全弁、等）も複合容器とは異なる仕様が求められる。

また現状で法的には「反応器（高圧ガス保安法での特定設備）」であるが、これを「車載容器」に変更することも課題でもある。

#### 【実用化時期】

F C V用ハイブリッド容器は、重量貯蔵密度的には複合容器に劣るが、体積貯蔵密度が高い（コンパクト）ことがメリットである。2015年まではシステム技術と水素吸蔵合金の技術開発を進め、その後にはコストダウンが進むことが期待される。

また実用化は2020年以降と想定されるが、それまでに安全性の確認や運用面での検討が必要である。

### (4) 水素貯蔵材料

#### 【特徴・現状】

水素貯蔵材料には多様なものがあるが、水素の吸放出が可能な材料としては水素吸蔵合金と無機系水素貯蔵材料がある。

水素吸蔵合金は可逆的に水素を急増して金属水素化物を生成するもので、3mass%以下級のBCC構造合金や、4mass%級のMg系合金がある。基礎研究レベルでは6mass%級合金の開発も行われている。

無機系水素貯蔵材料は、錯イオンが水素貯蔵能力を担い、アルカリ金属やアルカリ土類金属とともにイオン性結晶を形成しているもので、アラネート系(3~3.5mass%)、アミド・イミド系(4~9mass%)、ボロハイドライド系(5~13%)などがある。

現在、貯蔵メカニズムの解明や、計算科学を用いた新規材料の探

索も進められている。

#### 【技術課題】

一般に高貯蔵量な系ほど水素放出温度が高い（水素吸蔵合金：80～300℃程度、無機系水素貯蔵材料：100～400℃程度）。車内でそのような高温を得ることは難しく、水素放出温度の低減が必要である。

また放出された水素の純度を確保するための副反応の抑制や、負荷追従性の向上が必要である。特に車載で水素を吸蔵・放出するため、サイクル寿命の確保と劣化抑制も課題である。

水素吸蔵合金では、第一にコストが課題である。長期的には1000円/kg以下を達成することが望まれる。

さらに水素貯蔵材料容器の高圧容器に対する優位性を確保するために、4mass%級貯蔵材料の開発が望まれる。

#### 【実用化時期】

水素吸蔵合金では、3mass%以下級は試用段階にあり、水素貯蔵材料容器に組み込んでテストが実施されている。

しかし水素貯蔵システムとして優位性を有する水素貯蔵材料の実用化は2020年以降、本格的な利用拡大は2030年以降と考えられる。

### （5）革新的貯蔵材料

#### 【特徴・現状】

革新的貯蔵材料としてはMOF、炭素系吸着材料、クラスレート、カーボンナノチューブなどがある。

#### 【技術課題】

理論的水素貯蔵量が高いものもあるが、現状では低貯蔵量であり、

その貯蔵量向上が望まれる。また極限条件（液体窒素温度や高圧）での貯蔵研究が行われているものが多いが、FCV使用環境でも利用できるように改良を行うことも必要である。

#### 【実用化時期】

現状では基礎研究レベルであり、本格実用化は2030年以降と考えられる。

## 水素製造・輸送・供給技術ロードマップ

前回のロードマップでは「オンサイト方式水素ステーション技術」と「オフサイト方式水素ステーション技術」に分けているが、今回は両者を統合し、1つで水素製造・輸送・供給技術を包括して示すこととした。表13にロードマップにおける目標値を示す。

表13 水素製造・輸送・供給技術ロードマップの目標

	現状 (技術実証)	2015年 (普及開始)	2020年 (普及初期)	2030年 (本格商用化)
水素供給コスト <sup>注1</sup>	120 円/Nm <sup>3</sup> <small>オンサイト 5 億円ステーション (300Nm<sup>3</sup>/h) での水素供給コスト (ステーションコストから計算)</small>	90 円/Nm <sup>3</sup> <small>オンサイト 3 億円ステーション (300Nm<sup>3</sup>/h) での水素供給コスト (ステーションコストから計算)</small>	約 60 円/Nm <sup>3</sup> <small>目標: HEV と競合しうるコスト (ガソリン等価燃費)、オンサイト 2 億円ステーション (500Nm<sup>3</sup>/h) で達成</small>	約 60-40 円 /Nm <sup>3</sup> <small>目標: 大幅低減 (ガソリン等価燃費以下)</small>
オンサイトステーション ステーションコスト				
300 Nm <sup>3</sup> /h (充填圧力)	10~5 億円 (700、350 気圧)	4~3 億円 (700、350 気圧)	1.5 億円 (最適充填圧)	さらなる 低コスト 化
500 Nm <sup>3</sup> /h (充填圧力)	—	—	2 億円 (最適充填圧)	
うち水素製造 装置コスト				
300 Nm <sup>3</sup> /h	1.8 億円	約 0.9 億円	約 0.5 億円	—
500 Nm <sup>3</sup> /h	—	—	約 0.8 億円	—
オフサイトステーション <sup>注2</sup>				
水素輸送コスト				
圧縮水素	約 20 円/Nm <sup>3</sup>	約 15 円/Nm <sup>3</sup>	約 10 円/Nm <sup>3</sup>	—
液体水素 (液化コスト除く)	約 6 円/Nm <sup>3</sup>	約 3~6 円 /Nm <sup>3</sup>	約 3 円/Nm <sup>3</sup>	—

オフサイト水素 製造コスト	約 30 円/Nm <sup>3</sup>	—	20~30 円 /Nm <sup>3</sup>	—
------------------	------------------------	---	--------------------------	---

注1: 水素供給コストは、オンサイトステーションとオフサイトステーションに共通。ただしオフサイトステーションの場合、水素輸送コストとオフサイト水素製造コストを含む。

注2: 本ロードマップではオフサイトステーションコストは明示しないが、オンサイトステーションコストからオンサイト水素製造装置コストを除外したコストと同程度と考えられる。

### 水素インフラ技術の概要

#### 水素供給技術:

水素供給技術は、基本的にオンサイトステーションとオフサイトステーションにおける共通技術であり、水素充填機（ディスペンサ）、蓄圧器、圧縮機、プレクーラー、水素ステーションシステム化技術（システム構成、配管、センサー類）から構成される。

#### オンサイト水素製造技術:

オンサイト水素製造技術は、天然ガス、ナフサ、軽油等の改質装置や水電気分解装置が含まれる。またメンブレンリアクターなどの新規の技術も開発されている。さらにオンサイトでのCO2分離技術の適用も検討されている。

#### オフサイト水素製造技術:

オフサイト水素ステーション向けには、プラントで大規模に水素を製造する必要がある。その場合天然ガスやナフサの改質（将来的には炭素回収を併用）に加え、大規模水電解（将来的

には再生可能エネルギー由来電力利用)の利用が考えられる。さらに 2030 年に向かっては、原子力熱利用やバイオマス由来のような低炭素の水素製造技術も可能性がある。

- ・ オフサイト水素輸送技術：

オフサイトで水素を製造した場合、各水素ステーションに輸送する技術が必要である。現状では高圧水素輸送（トレーラー）と液体水素輸送が主な方法であるが、将来は欧米のような水素パイプラインも可能性がある。また水素輸送技術には、プラントでの水素の高圧化・液化技術や設備も含まれる。

## 一技術の全体的課題

- ・ 最適充填方式・最適充填圧力の検討：

現在までに 350 気圧充填と 700 気圧充填が実施されている。特に現在は 700 気圧充填の必要性が強調されており、それに適した構成要素技術の開発が必要となってきた。

さらに最近では、充填後に F C V 車載容器が室温付近まで冷却された後でも「満タン」を確保するために、700 気圧フル充填や 350 気圧フル充填のための技術開発の必要性が指摘されている。

その一方で、2020 年に向かっては水素貯蔵材料の開発により、充填圧力が低下する可能性もある。基本的に低圧ほどインフラ関連の部品・装置コストは低減するので、水素ステーションコスト低減さらに水素供給コスト低減の点では望ましい。

- ・ トータルシステムとしての耐久性等確認と最適性：

ステーションは個別要素だけでなく、統合システムとして最適化されなければならない。たとえば 700 気圧充填用ステーションでも、高圧用蓄圧器（700 気圧級）での貯蔵を主体とすべきなのか、それとも低圧蓄圧器（400 気圧級）を主体にして、直接圧縮充填で 700 気圧まで充填を行うのか、といったシステム仕様の検討が考えられる。

また水電解ステーションでも、高圧水電解装置は単体としては効率が高いが、圧縮機を用いるほうが全体効率は高くなるとも指摘されている（その一方で 700 気圧級では高圧水電解を用いて圧縮機を不要化したほうが、全体コストが低減するとの意見もある）。

さらに稼働率を高めて水素価格を低減させるためには、水素製造装置の DSS (Daily Start and Stop) 運転の採用に加えて、熱サイクル耐久性の向上が必要となる。

このようにステーションは、あらゆる水素技術要素とその組合せ方が全体のコスト・効率に影響するので、総合的なシステムとして捕らえ、全体としての最適化を目指す必要がある。

## 一個別技術

(1) 水素供給技術：水素充填機（ディスペンサ）

【特徴・現状】

わが国の水素ステーションでも 350 気圧用充填機と 700 気圧用充填機が開発され、すでに実用化されている。

また現状の JHFC ステーションでも、5kg/3 分の充填速度確保のた

めにプレクール（-20℃レベル）が実施されている。またFCV車載容器の状況をリアルタイムに把握しつつ、充填速度を向上させるために通信充填（赤外線通信利用）の必要性が指摘されている。

#### 【技術課題】

すでにわが国でも700気圧用充填機が開発されているが、FCVに望まれる流量が確保できていないという問題が指摘されている。これは主に、配管などに使用される材料に制限があるためである。これまでに水素脆化に強いとして水素ステーションに利用されているのはSUS316Lであるが、SUS316等に比べて強度が劣るため、肉厚が増大する分だけ内径が細くなり、圧力損失が発生するためである。よって今後、ステーション用に使用できる材料の拡大が望まれる。

通信充填では、現在国際規格としてSAE TIR J2601（プロトコル）、同TIR J2799（通信方式）が定められており、わが国もこれに準拠した水素充填方式の採用と国際基準に準拠した製品（ノズル・レセプタクル）の開発が必要である。さらに充填機においては、通信用の電装品・制御装置を充填機内で格納する防爆ボックスの開発が必要である。

プレクールに関しては、SAE TIR J2601では-40℃までの冷却が求められているうえ、700気圧級ステーションでの5kg/3分の流量確保のためには必須と考えられている。よって-40℃級のプレクーラー装置を開発する必要があり、電氣的に冷却する方法や、液体窒素を使う方法が提案されているが、それぞれに一長一短があるので、ステーション規模やエネルギー効率、液体窒素の入手可能性などを考えて最適なシステムとする必要がある。またプレクール温度でも作動

できる緊急離脱カプラの開発や、ノズルとホースの霜・氷対策も必要となる。

なお、700気圧フル充填のためには、現状で700気圧用に設計されている充填機を、875気圧で再設計する必要がある（特にホース、流量計、ノズル・レセプタクル、緊急離脱カプラ、配管等）。配管等の材料には、依然として強度の低いSUS316Lのみが耐水素脆化材料として推奨されているが、875気圧（設計圧100気圧以上）では強度計算式に乗らない（無限の厚さになる）ことも知られている。875気圧システムを実現するには、利用できる材料の拡大あるいは利用する材料の法的な位置づけを明確にする必要がある。なお、充填圧力が極めて高いことから、充填時に容器温度が上限温度近くまで上昇する可能性が高く、通信充填の採用（車載容器温度の計測）が不可欠とされる。また、350気圧フル用充填機も設計見直しとなるが、現状では適切な材料がないのが課題である（700気圧用の材料はもちろん使用できるが、オーバースペックになるとされる）。

なお、現状で水素は課金されていない場合が多いが、将来の課金の場合には、水素充填量の正確な把握が必要となる（ホースやノズルでの残水素量も影響してくる）。計量法が定める2%以内の精度を担保するために、充填機としては1%程度の流量精度が求められる。

水素ステーションの規模拡大（300Nm<sup>3</sup>/h→500Nm<sup>3</sup>/h、それ以上）に関しては特に充填機としての対応項目はないが、バスなどの大型車両に水素を充填する場合は大容量（5kg/3分以上）が必要となる可能性がある。その場合は新規の設計が必要となる可能性がある。

#### 【実用化時期】

通信充填は、現在 JHFC で 2010 年半ばから日本でも実証が行われる予定である。基本的に通信充填は国際規格であるため、今後設置されるステーションには必須と考えられる。

700 気圧フル充填は、その必要性が指摘されたばかりであり、今後技術実証等を行い、基本的に 2015 年までには整備されることが望ましい（ただし、700 気圧フル充填が、700 気圧級水素ステーションの標準仕様となるか、あくまでステーションのオプションの一つとするかは、検討は必要である）。

## （2）水素供給技術 蓄圧器

### 【特徴・現状】

蓄圧器は高圧水素を貯蔵するもので、350 気圧級また 700 気圧級とも実用化されている。

次世代技術として、FCV 車載用に開発されている複合容器（Type3）を長尺化し、蓄圧器に利用することが研究されており、鋼製容器よりも軽量となると期待されている。なお米国ではすでに Type4 蓄圧器での運用が始まっている。

また将来的には、水素吸蔵合金も搭載したハイブリッド容器技術の適用も考えられる。

### 【技術課題】

鋼製蓄圧器では材料開発が課題である。現状で、350 気圧級でクロムモリブデン鋼（SCM435）が使用されており、700 気圧級ではニッケルクロムモリブデン鋼（SNCM439 リテンパー材など）が利用されているが、水素脆化耐性と耐久性の確保が必要である。

また非破壊検査技術の確立も望まれる。現状でアコースティックエミッション法などが提案されているが、まだ実証段階である。さらに商用ステーション向けに大容量化も必要であるが、長尺化は製造・輸送・設置が困難になるという問題もある。

複合容器製蓄圧器はまだ研究開発段階であり、今後実証が必要である。基本的には車載用高圧水素容器と同じ技術であり、ステーションに設置するために車載容器よりも安全性や耐久性の技術要求は低い（ほぼ最高圧力付近を常時維持するため、圧力サイクル的にも車載容器よりも負荷は低いと考えられている）。その一方で長尺ライナーの製造技術（熱処理技術）、CFRP のワインディング技術の開発が必要となっている。また車載容器と同様に、広範なライナーの検討も必要と考えられる。特に蓄圧器は固定設置されるため、重量面での制約が低いことから、鋼製ライナーの複合容器も検討される可能性がある。

金属吸蔵合金を用いてハイブリッド化する場合は、内部に搭載する大型カートリッジと熱交換器の開発、さらに熱マネジメント技術の開発も必要となる。

鋼製蓄圧器、複合容器製蓄圧器とも、低コスト化は共通の課題である。特に 700 気圧級水素ステーションでは、圧縮機を持った直接充填方式が提案されていることもあり、蓄圧器のコスト低減の可能性を十分に見極める必要がある。

### 【実用化時期】

鋼製蓄圧器はすでに実用化されているが、さらなる低コスト化が求められる。特に材料面の開発が望まれている。

複合容器製蓄圧器は開発段階であり、今後、実証が進み、本格利用は2015年以降と考えられる。

また将来は車載用ハイブリッドタンクの開発の進展によっては蓄圧器にも展開が可能であろう。

### (3) 水素供給技術：水素圧縮機

#### 【特徴・現状】

400気圧級圧縮機はすでに実績が多くあり、1000気圧級圧縮機も開発され、いくつかのステーションで試用されている。

2009年度以降、700気圧水素ステーションのコスト低減のために、大容量高压用蓄圧器を設置するかわりに、800～1000気圧級圧縮機による直接充填（400気圧蓄圧器を元圧とし、1000気圧レベルに加圧すると同時にFCVに充填する）ことが提案されており、それに対応した圧縮機の開発の必要性が高まっている<sup>2</sup>。

直接充填用圧縮機としては、従来のレシプロ式圧縮機とともに、ドイツで実績のあるイオニックコンプレッサ（ピストンの代わりにイオン液体を利用して加圧する）の開発も検討されている。

#### 【技術課題】

レシプロ式圧縮機では、さらなるコストダウンと耐久性向上が必要である。耐久性については、装置として1万時間以上が望ましい

<sup>2</sup> 直接充填では、高压蓄圧器を持たずに圧縮機のみで充填するパターンや、ある程度まで高压蓄圧器による差圧充填を行い、最後だけ圧縮機による直接充填を行う（押し込み充填）などのパターンが考えられており、今後最適なシステム構成に関する検討が進むと期待される。

が、可動部（ピストンリングなど）はあえて消耗品と考え、メンテナンスで対応するという考え方もある。

また効率（圧縮効率・圧縮エネルギー）という指標も重要であるが、同時に寿命やコストともトレードオフがある。

最近提案されている直接充填用圧縮機は、既存のレシプロ式圧縮機でも対応できるとも考えられるが、それでも負荷変動対応、高耐久性の確保が課題である。また、FCVが急に発進してしまった場合の安全対策の検討が必要である。

わが国にもイオニックコンプレッサのための基本的な要素技術はあるが、水素圧縮に適したイオン液体の開発が課題となっている。

#### 【実用化時期】

レシプロ式圧縮機はすでに実用化されているが、2015年～2020年に向かって、更なるコストダウンが望まれる。

わが国におけるイオニックコンプレッサの実用化は2015年以降になると考えられる。

また直接充填方式に適した圧縮機の開発・実証は商用ステーションの展開前には完了することが期待される（2015年頃）。

将来（2020年～）においては、低コスト化とコンパクト化、さらに圧縮効率の向上が不可欠である。

### (4) オンサイト水素製造技術：水蒸気改質・膜反応器

#### 【特徴・現状】

天然ガスやLPGを水素ステーションで改質して水素を製造するオンサイト水蒸気改質（PSAを含む）は、現状で小型（100Nm<sup>3</sup>/h）のも

のが実用化されている。

またメンブレンリアクターのように、改質と同時に水素精製を行う水素製造技術装置も開発中である。

#### 【技術課題】

まずは水素製造効率の向上とコスト低減が望まれる。コストは、現状の 50Nm<sup>3</sup>/h 規模のシステムで約 8 千万～1 億円と言われているが、その大幅な削減が望まれる。水素製造効率は現状で 70%HHV 程度であるが、将来は 75～85%HHV 以上が望まれる。

また、商用ステーションとしては 300Nm<sup>3</sup>/h レベルの能力が必要とされており、スケープアップとともにコンパクト化が必要である。

なお、現状では夜間など低需要時には水素製造装置を停止させずにアイドル状態で運転を持続させているが、ステーションとしての正味効率が低下する。そのため DSS (Daily Start and Stop) 運転の実施が求められているが、熱サイクルに対する耐久性やスタートアップ時間の短縮が必要である。

次世代技術であるメンブレンリアクターは、実用化のための実証が必要であるとともに、低コスト化と耐久性の確保が必要である。

さらに、低炭素水素の供給の点ではオンサイト二酸化炭素回収技術も必要であり、低コストな水素分離技術が望まれる。

#### 【実用化時期】

現状の水素製造装置に関しては、コスト・製造効率面での改良が今後とも必要である。本格商用ステーション (300Nm<sup>3</sup>/h) 用として、コンパクト・高効率・DSS 対応機も 2015～2020 年には実用化されると考えられる。

次世代技術であるメンブレンリアクターの本格実用化は 2015 年以降と考えられるが、引き続きコストダウンが望まれる。

オンサイト二酸化炭素回収は今後実証が行われる予定で、2020 年～2030 年には本格運用が開始されると考えられる。

#### (5) オンサイト水素製造技術：水電解

##### 【特徴・現状】

水電解 (アルカリ水電解) は工業的に実績のある技術である。また水素ステーション用では、すでにわが国の相模原水素ステーションで運用が行われている。

将来技術として固体高分子型 (PEM 型) 水電解装置の開発も進められている。

##### 【技術課題】

水電解は電力を利用するため、まずは高効率化が最大の課題であり、同時に低コスト化が必要である。

高効率性のためには、高圧水電解方式も検討されているが、システムの耐久性の確保とともに、高圧で発生する水素・酸素を適切に制御する技術の確立が必要である。なお、高圧の場合、効率向上とともにコスト高になるとも考えられ、外部加圧 (圧縮機利用) とのコストバランスを検討する必要がある。また、水素ステーションの DSS 運用に適した耐久性も必要である。

再生可能エネルギー由来電力を直接利用して、低炭素排出の水素を製造することも期待されているが、その場合は揺らぎの大きい電力を使うことになるため、膜・電極の耐久性向上とともに、補機の

定常運転を確保する必要がある。

#### 【実用化時期】

アルカリ水電解は大型プラントで実用化されており、水素ステーション用にコンパクト化・高効率化・低コスト化が必要である。

一方、固体高分子型水電解は現在技術開発が進められており、水素ステーション用システムの実用化は2020年頃と考えられる。

さらに再生可能エネルギー由来電力を利用する技術の確立も2020年以降に望まれる。

#### (6) オフサイト水素製造技術：水蒸気改質

##### 【特徴・現状】

オフサイトの水蒸気改質は、すでに製油所などで商業運転されている。

##### 【技術課題】

製油所で使用される水素の純度は97%程度であるため、そのままでは水素ステーションには適さない。よって新たにPSAなどの水素精製装置を設置して99.99%以上の純度を確保する必要がある。さらに大規模出荷のために、輸送用トレーラへの積み込みのための出荷設備（200気圧級あるいは400気圧級の圧縮機と、蓄圧器）をプラントに設置することが必要となる。

さらに将来に向かっては水素製造の低炭素化が求められ、大規模プラントの利点を生かした炭素隔離も行う必要がある。一方、それは水素供給コスト（出荷コスト）の上昇要因となるため、今後炭素隔離技術のコスト検討が必要である。

#### 【実用化時期】

すでに技術的には完成しているが、2015年に向かっては規模の拡大による低コスト化が望まれる。また炭素隔離による低炭素水素の供給は2020年以降と予測される。

#### (7) オフサイト水素製造技術：水電解、その他の製造技術

##### 【特徴・現状】

将来の低炭素社会に貢献するためには、水素製造における再生可能エネルギーの利用は不可欠と思われる。そのための技術としては、大規模水電解、バイオマスガス化、バイオ利用（水素生産酵素など）、光化学的生産などがある。また、再生可能エネルギーではないが、原子力由来電力を利用した水電解や、第四世代原子炉の排熱を利用した水直接熱分解などが考えられる。

ただし、2015～2020年を見据えた大規模な低炭素水素の製造技術としては、基本的に水電解が本命といえる。

##### 【技術課題】

アルカリ型水電解はすでに産業規模で実現されており、実用レベルの技術である。また将来的には固体高分子型水電解の技術も実現されると考えられる。

再生エネルギーとの組合せでは、特に電力変動への対応が不可欠である。アルカリ水電解の場合は電解槽や電極自体には特に工夫は不要だが、制御系や補機の電力変動対応（あるいは系統電力利用）が必要である。固体高分子型水電解は、制御系や補機の対応に加えて、変動電力が電極触媒に与える影響についての評価が必要である。

### 【実用化時期】

アルカリ型水電解はすでに実用化されているが、再生エネルギーとの組合せによる大規模水素製造は2020年以降と考えられる。固体高分子型水電解は2015年にかけて実証が進み、2020年に商用化され、再生エネルギーとの組合せによる大規模水素製造も可能になると思われる。

水電解以外では、第四世代原子炉の排熱を利用した水直接熱分解は2030年以降に実現されると考えられるが、わが国の原子力政策とも足並みをそろえて展開される必要がある。

## (8) 水素輸送技術

### 【特徴・現状】

集中的に製造された水素は効率よく各ステーションに輸送する必要がある。輸送技術としては

- ・ 高圧水素輸送
- ・ 液体水素輸送
- ・ パイプライン輸送
- ・ 有機ハイドライド輸送

などが考えられる。

### 【技術課題】

高圧水素輸送は確立した技術であるが、最近では車載用複合容器技術を用いた軽量輸送用容器の開発が検討されている。その場合には複合容器製蓄圧器と同様に、長尺ライナーの製造技術（熱処理技術）、CFRPワインディング技術が必要である。高圧水素輸送では、現

状の200気圧での輸送に加え、400気圧での輸送技術も開発されているが、鋼製容器では重量が大きくなってしまうので、より軽量の複合容器を利用した輸送技術の開発が必要である。

液体水素輸送も大規模水素輸送では実績がある技術であるが、水素の液化で、それ自身が有するエネルギーの1/3程度を失うことが最大の問題である。LNGの冷熱を使える場合はより効率よく冷却できるが、常に冷熱の利用が可能とは限らない。今後、高効率液化装置（磁気冷却技術）などの開発が望まれる。また、液体水素輸送のコスト面での優位性は、液化コストも加味して評価さえる必要がある。

なお、液体水素容器でも、よりボイルオフガスが少ない液体水素コンテナの開発も行われている。特に運用圧力が1気圧G<sup>3</sup>程度と低圧であるため、CFRP（ガラス繊維強化プラスチック）を用いた複合容器の研究開発が進められている。

パイプラインは、低圧のものはプラントなどで我が国でも実績がある。欧米では高圧のパイプラインの例もあるが（例、フランクフルト水素ステーションでの1000気圧パイプライン）、基本的には設置に係る法規制のみで、技術的ハードルは低い。

有機ハイドライドはまだ基礎研究レベルである。発がん性の問題がないメチルシクロヘキサン＝トルエン系の採用が有力だが、今後

---

<sup>3</sup> ゲージ圧（大気圧との差圧）。

はリアクタの開発、エネルギー効率の検討、本技術を適用するための水素インフラの構築などの課題を検討する必要がある。

水素の輸送は、輸送規模が大きくなり、また輸送距離が大きくなれば、圧縮水素輸送よりも液体水素輸送のほうが低コストになる。しかし水素製造設備での水素液化が必要となるため、将来的には液化コストの低減（液化装置の低コスト化）が必要である。基本的には液化コストは、圧縮水素輸送コストと液体水素輸送コストの差に収まることをめざすべきである。ただし液体水素式オフサイトステーションを低コストで実現できれば、輸送段階での液化コスト目標を緩和することもできると考えられる。

#### 【実用化時期】

高圧水素輸送における複合容器の実用化は、2020年以降と想定されるが、FCV普及と車載用容器の量産によって、技術が進展し、導入が促進される可能性もある。

液体水素輸送はすでに実用化段階技術であるが、高効率な液化装置の実用化による低コスト化の実現は2020年以降になると思われる。

有機ハイドライド輸送は基礎研究レベルであり、実用化は2030年以降と思われるが、特に超長距離（海外）からの輸送ではコストメリットが出てくると思われ、2015年以降に技術実証が行われると期待される。

## ＜水素供給コストとステーションコストの考え方＞

### 水素供給コストとステーションコストの目標

(1) 水素供給コストとステーションコストの関係

水素供給コストは、ステーションの年間固定費と年間変動費、さらに年間水素供給量から、以下の計算式で算出することができる(図17)。

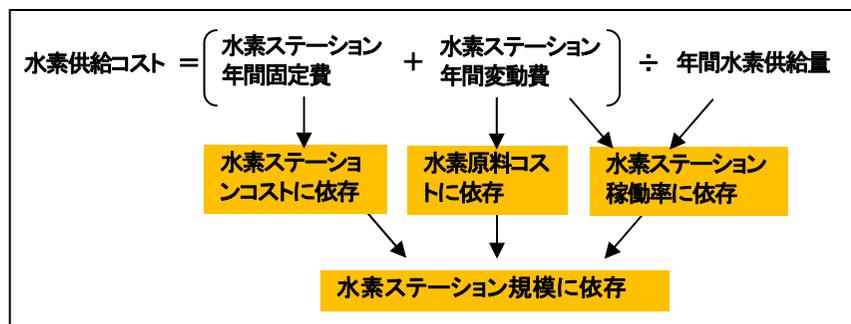


図17 水素供給コストと水素ステーションコスト・規模との関係

また水素供給コストと水素ステーションコストに関しては、水素ステーションコストから水素供給コストを求める方法(ボトムアップアプローチ)と、水素供給コストからそれを実現可能な水素ステーションコストを求める方法(トップダウンアプローチ)がある(図18)。本ロードマップでは、現在と2015年に関してはボトムアップアプローチを、2020年以降に関してはトップダウンアプローチを採用した。

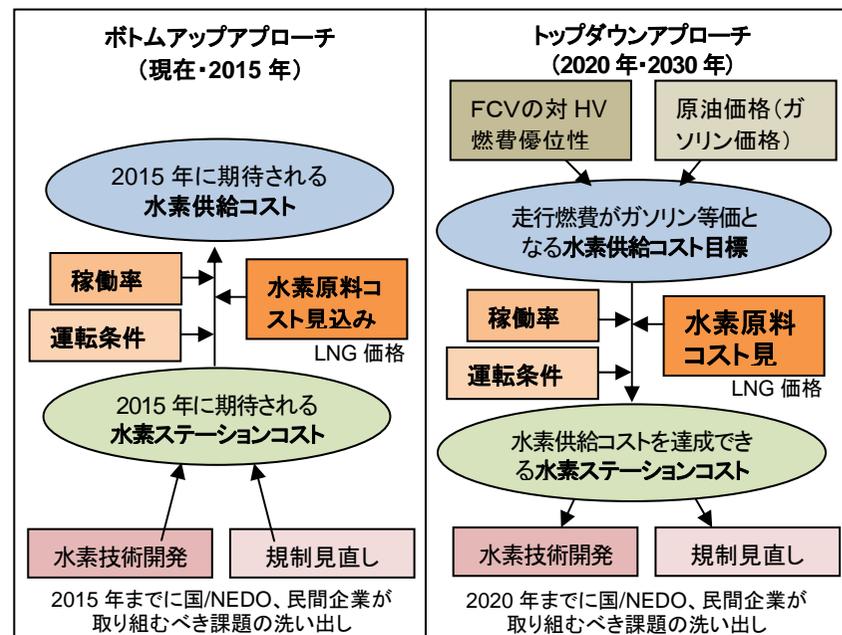


図18 水素供給コストと水素ステーションコストの考え方

以上の考えに基づき、ステーションコストと水素供給コストの関係を試算した。試算では以下の仮定を設定した。

- ・ ステーションコスト：  
ステーションコストは装置コストとエンジニアリング費用の合計とし、充填圧力、充填方式(差圧、直接)、プレクールの

有無などの仕様の違いは全てコストに反映されるとした。

・ 水素ステーション年間固定費：

固定費は、以下のものを考慮した。

- ・ 減価償却（10年）
- ・ 修繕費（建設費の3%）
- ・ 保険料（建設費簿価の0.77%）
- ・ 固定資産税（建設費簿価の1.4%）
- ・ 人件費（700万円×人数）
- ・ 労務費（人件費の20%）
- ・ 土地代（1万円/Nm<sup>2</sup>×ステーション敷地面積）

・ 水素ステーション年間変動費：

変動費は以下のように計算される。

**オンサイト変動費＝都市ガス代＋電気代＋上水道代＋下水道代**

**オフサイト変動費＝電気代**

ここで、各項目の消費量については、JHFC 商用インフラ WG における 300Nm<sup>3</sup>/h ステーションの試算（稼働率 100%）を参考にした（オンサイトの場合：都市ガス使用量 54.6 万 kg/年、電気使用量 153 万 kWh/年、上水道使用量 3400 トン/年、下水道使用量 1700 トン/年。オフサイトの場合：電気使用量 110 万 kWh/年）。なお、500Nm<sup>3</sup>/h ステーションの試算は十分に行われていないため、300Nm<sup>3</sup>/h から 500Nm<sup>3</sup>/h への拡大率として、都市ガス代は 5/3 倍、電気代・上水道代・下水道代は 1.3 倍を仮定した。また、各項目の価格については、都市ガス料金は LNG 価格に比例して上昇すると仮定し、電力料金・上水道料金・下水道料金

は、2020 年には 1 割、2030 年には 2 割上昇すると仮定した。

・ 年間水素供給量：

年間水素供給量は規模、稼働率、運用時間に依存する。ここでは稼働率 80%（参考で 100%）、運用時間 13～15 時間とした。

表 14 に、試算における仮定を整理する。

表 14 水素供給コスト、水素ステーションコストの試算の仮定

エネルギーにおける仮定	現状・2015年	2020年	2030年	注
原油価格（ドバイ）	85 ドル/バレル	95 ドル/バレル	105～120 ドル/バレル	IEA、DOE/EIA、エネ研の予測を勘案。
輸入LNG 価格	520 ドル/トン	800 ドル/トン	1075 ドル/トン	エネ研の予測による。
都市ガス価格	50 円/kg	75 円/kg	100 円/kg	LNG 価格に連動。
電気代	12 円/kWh	13 円/kWh	14 円/kWh	現状に比較し、2015年は同等、2020年は1割高、2030年は2割高。
上水道	300 円/トン	330 円/トン	360 円/トン	
下水道	200 円/トン	220 円/トン	240 円/トン	
稼働時間	13 時間	14 時間	15 時間	セルフ充填により稼働時間は増え、作業員人数は減少する。
作業員人数	2.0 人	1.5 人	1.0 人	
オンサイト水素製造効率	75%	80%	85%	
敷地面積				2015年以降、年間5%程度のコンパクト化を想定。
300Nm <sup>3</sup> /h規模	600 m <sup>2</sup>	450 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>	
500Nm <sup>3</sup> /h規模	800 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	

試算されたステーションコストと水素供給コストとの関係を図 19～図 22 に示す。本グラフが示すように、水素供給コストに与える稼働率の影響は大きい。なおオフサイトステーションでは、別途プラントでの水素製造コスト、水素輸送コストを加味する必要がある。

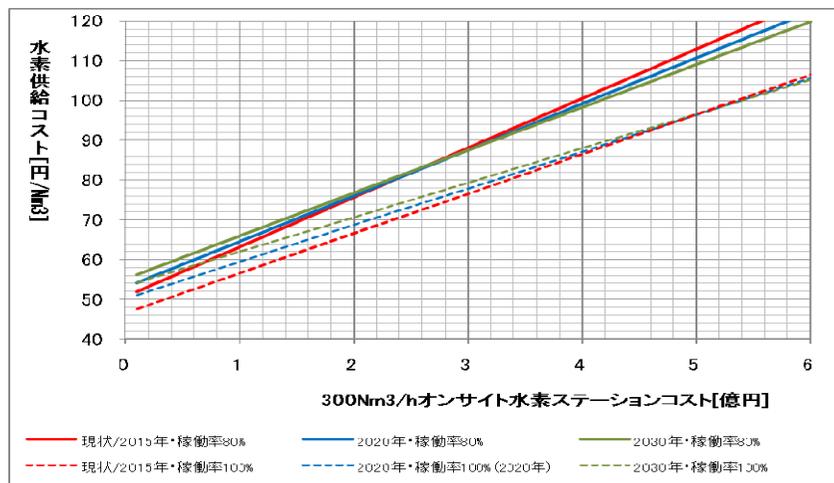


図 19 水素供給コストとステーションコストの関係  
(オンサイト、300Nm<sup>3</sup>/h の場合)

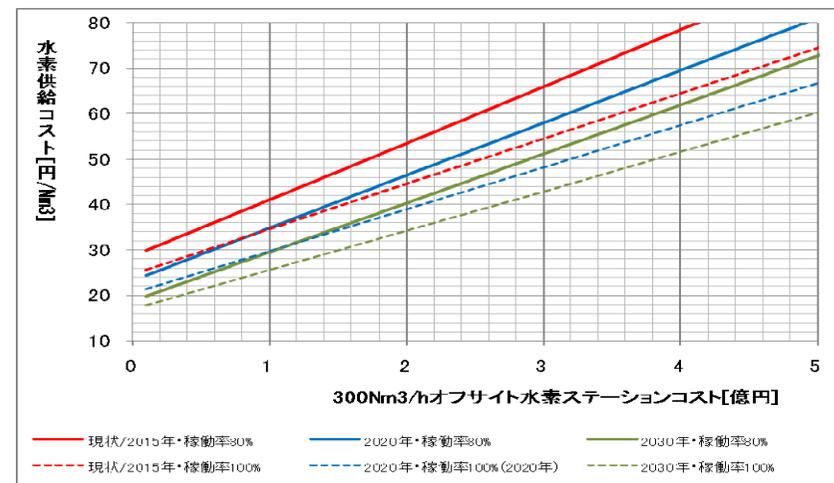


図 21 水素供給コストとステーションコストの関係  
(オフサイト、300Nm<sup>3</sup>/h の場合)

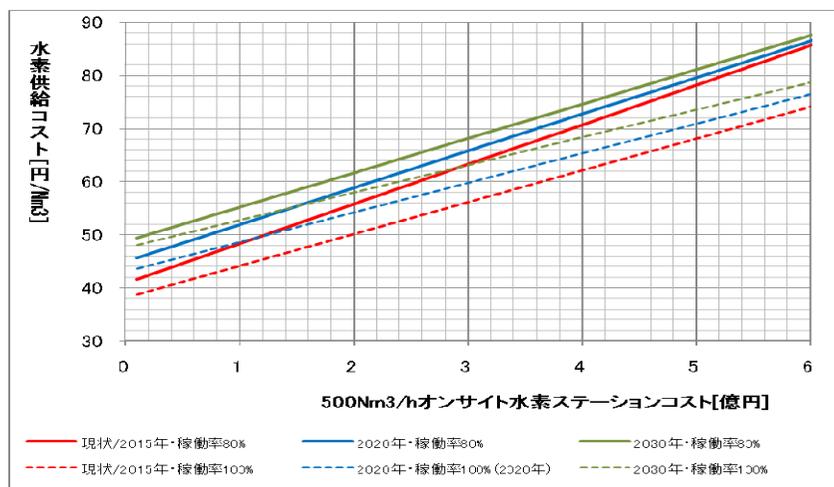


図 20 水素供給コストとステーションコストの関係  
(オンサイト、500Nm<sup>3</sup>/h の場合)

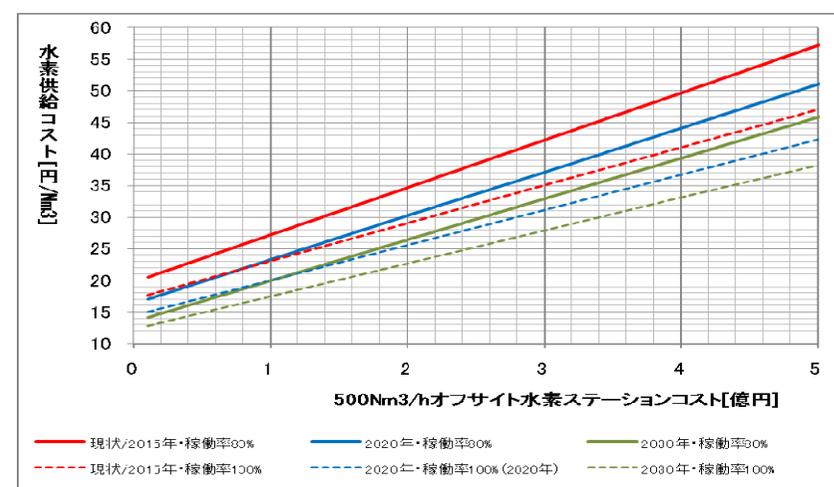


図 22 水素供給コストとステーションコストの関係  
(オフサイト、500Nm<sup>3</sup>/h の場合)

(2) 現状・2015年（ボトムアップアプローチ）

JHFC プロジェクトにおいて、商用規模の水素ステーションのコストが試算されている。

本試算では、商用規模（300Nm<sup>3</sup>/h）のオンサイトステーションにおいて、現状の 350 気圧ステーションで 5 億円程度、700 気圧ステーションで 6～10 億円と試算されており、2015～2020 年の本格商用化時期の 350 気圧ステーションで 3 億円程度、700 気圧ステーションで 4～7 億円と試算している。またそのステーションコストから試算される水素供給コスト（稼働率 100%を想定）は、現在で 90 円/Nm<sup>3</sup>（350 気圧）～140 円/Nm<sup>3</sup>（700 気圧）、将来で 70 円/Nm<sup>3</sup>（350 気圧）～80 円/Nm<sup>3</sup>（700 気圧、直接充填）と試算されている。

水素ステーション コスト		35MPa		70MPa			
		(差圧充填)		(差圧充填)		(直接充填)	
		現在	将来	現在	将来	現在	将来
オンサイト ステーション 建設費(億円)	300Nm <sup>3</sup> /h オンサイト水素 ステーション	4.8→2.9		10→6.8		6.3→3.8	
水素コスト (円/Nm <sup>3</sup> )	フル稼働 (13h、365日)	90→70		140→110		100→80	

\*原料都市ガス:44円/Nm<sup>3</sup> \*将来:2015-2020の間 \*オフサイトステーションコスト検討中

図 23 JHFC プロジェクト商用インフラ WG における  
試算結果（2009 年度）

出所：2009 年度 JHFC セミナーにおける報告

このような試算を参考に、本ロードマップでは現状と 2015 年のオンサイト水素ステーションコストと水素供給コストを表 15（図 24）

のように定めた。水素供給コストは、稼働率 80%、変動費は現状のコスト（例、都市ガス価格：50 円/kg）を想定した。

表 15 オンサイト水素ステーションコスト目標と水素供給コスト  
目標（現在・2015 年）

年度	現状	2015 年
オンサイト水素ステーションコスト (300 Nm <sup>3</sup> /h の場合)	10 億円 (700 気圧、差圧充填) ～5 億円 (350 気圧、差圧充填)	4 億円 (700 気圧、直接充填) ～3 億円 (350 気圧、差圧充填)
	↓	↓
水素供給コスト ・稼働率 80% ・変動費は現状のコストを適用	120 円/Nm <sup>3</sup> 〔5 億円ステーションの場合〕 〔図中の A 点〕	90 円/Nm <sup>3</sup> 〔3 億円ステーションの場合〕 〔図中の B 点〕

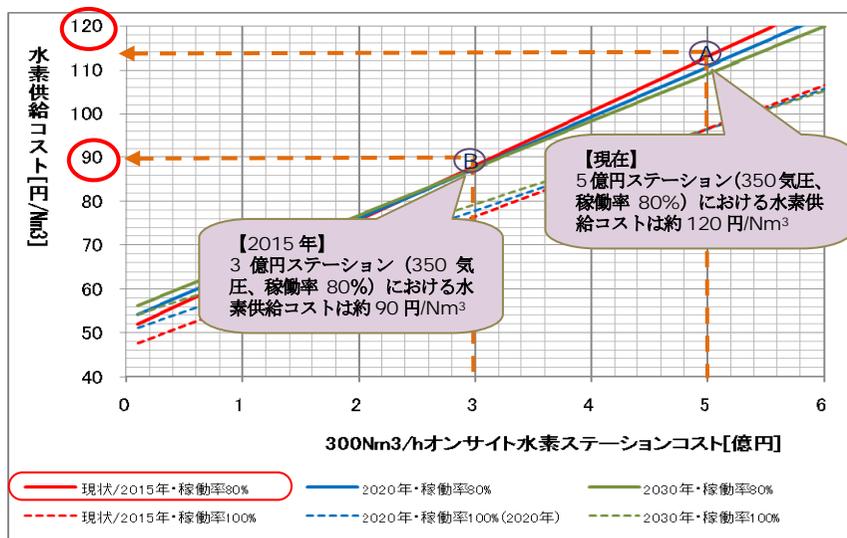


図24 オンサイト水素ステーションコスト目標と水素供給コスト目標(現状と2015年)

300Nm³/h オンサイト水素ステーション(コスト3億円)に関して、主要な条件の変動が水素供給コストに与える影響を図25にまとめる。最も水素供給コストに影響を与えるのは稼働率であり、80%から60%に低下すると水素供給コストは90円/Nm³から108円/Nm³に上昇する。営業時間の影響も大きく、2時間延長すると水素供給コストは78円/Nm³に低下する。都市ガス価格が50円/kgから60円/kgに上昇すると、水素供給価格は94円/Nm³に上昇する。また比較的影響が大きいのが人件費であり、スタッフが2名(700万円/年×2)から3名(700万円/年×3)に増えると、水素供給コストは約1割上昇する。電気代や土地代の影響は比較的小さいと言える。

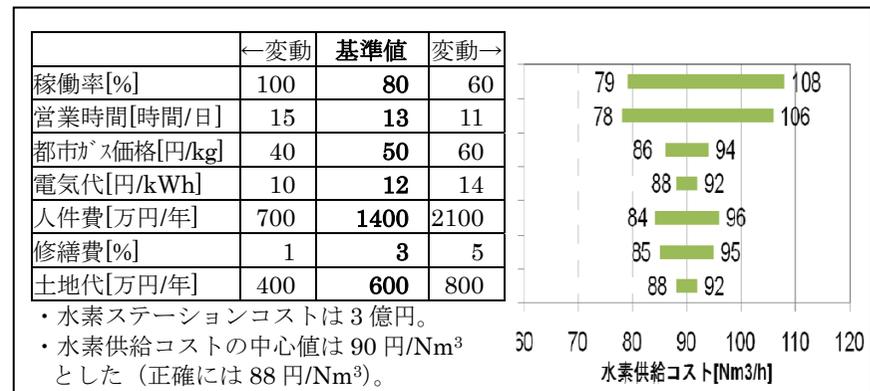


図25 感度分析：各要素が水素供給コストに与える影響

### (3) 2020年の水素供給コストと水素ステーションコスト

2020年に関しては、トップダウンアプローチ(水素供給コスト目標から水素ステーションコストを求める方法)を採用した。まずFCVの燃費優位性を考慮した上でのガソリン等価となる水素供給コスト(走行燃費がガソリン等価となるコスト)を求める(次式)。

$$\text{水素供給コスト} = \text{ガソリン価格} \times \text{水素/ガソリンの熱量比} \times \text{競合車両に対するFCVの燃費優位度}$$

さらにガソリン価格とFCVの燃費優位度を以下のように仮定した。

- ・ 2020年時点でのガソリン価格(税抜)：  
2020年における輸入原油価格(ドバイ原油)を95ドル/バレル

ルと想定、その時の税抜ガソリン価格を 100 円/L と設定した<sup>4</sup>。  
 なお水素供給コストは、当面は税込ガソリン価格と比較すべき  
 との意見もあるが、本格商用化時期では水素もガソリン同様に  
 課税される可能性も高いため、税抜ガソリン価格と比較した。

- ・ 2020 年時点での競合車両に対する F C V の燃費優位度：  
 2020 年時点での F C V の対抗車種はハイブリッド車と仮定し、  
 F C V の対ハイブリッド車燃費優位度を 1.7~2 と仮定した<sup>5</sup>。

この結果、2020 年のガソリン等価水素供給コストは 55~65 円/Nm<sup>3</sup>  
 と試算されるので<sup>6</sup>、目標を中間値の約 60 円/Nm<sup>3</sup>に設定した。さらに  
 図 26 に基づき、水素供給コスト 60 円/Nm<sup>3</sup>を実現できるオンサイト  
 ステーションコスト目標を約 2 億円 (500 Nm<sup>3</sup>/h 規模) と定めた。ま  
 た約 2 億円で 500Nm<sup>3</sup>/h ステーションを実現できた場合には、300Nm<sup>3</sup>/h  
 ステーションは約 1.5 億円程度で実現可能と考えられる<sup>7</sup>。

<sup>4</sup> 2006~2009 年における税抜ガソリン価格 (y、円/L) とドバイ原油価  
 格 (x、ドル/バレル) の実績データの回帰分析より、両者の関係を  $y = 0.621x + 43.3$  ( $R^2=0.67$ ) とした。

<sup>5</sup> 2009 年度 JHFC セミナーにおける報告では、F C V 最新車両の燃費は  
 32~43.6 km/L (ガソリン等価燃費) であり、現状の同等車種のハイ  
 ブリッド車の燃費の 2~2.4 倍である。しかし今後中大型ハイブリッ  
 ドも燃費向上する余地もあるため、燃費優位度を 1.7~2 倍と設定し  
 した。

<sup>6</sup> 水素供給コスト=税抜ガソリン価格(100 円/L)×F C V の燃費優位度(1.7  
 ~2)= 170~200 円/L= 55~65 円/Nm<sup>3</sup>。なおガソリン 1 L=3.07  
 Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> とした (熱量はガソリン 45.1MJ/kg、水素 120MJ/kg)。

<sup>7</sup> 一般にプラントの規模拡大時のコスト上昇では 0.7 乗則が当てはまる  
 (300Nm<sup>3</sup>/h→500Nm<sup>3</sup>/h でのコストアップは  $(5/3)^{0.7}=1.4$ )。よって：

2020 年の水素供給コスト目標とオンサイト水素ステーションコス  
 ト目標を表 16 にまとめる。なお 2020 年の水素供給圧力は定めない。

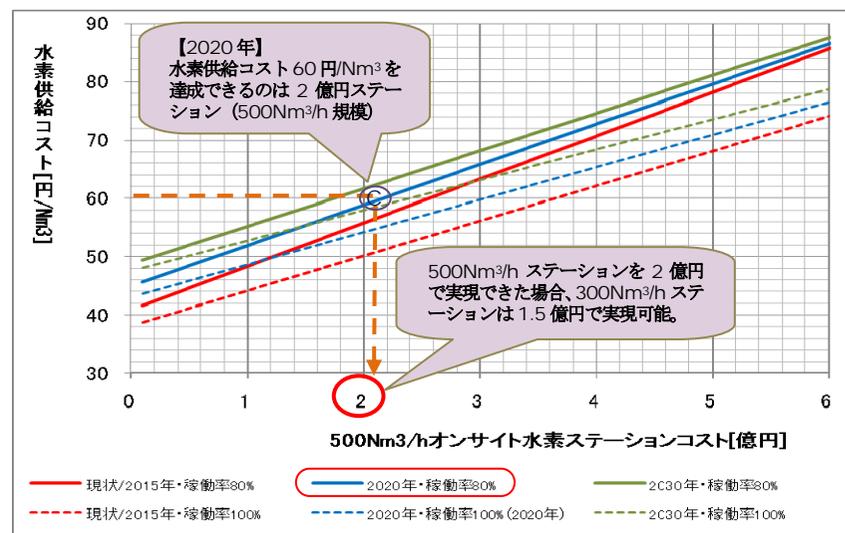


図 26 水素供給コスト目標とオンサイト水素ステーションコスト  
 目標 (2020 年)

$$300\text{Nm}^3/\text{h ステーションコスト} = 500\text{Nm}^3/\text{h ステーションコスト} \div 1.4 \\
 = 2 \text{ 億円} \div 1.4 = \text{約 } 1.4 \text{ 億円。}$$

表 16 水素供給コスト目標とオンサイト水素ステーションコスト  
目標 (2020年・2030年)

年度	2020年	2030年
水素供給コスト	60 円/Nm <sup>3</sup> (ガソリン等価燃費 による目標値)	60~40 円/Nm <sup>3</sup> (ガソリン等 価燃費以下)
	↓	
オンサイト水素ステーションコスト ・500 Nm <sup>3</sup> /h の場合 ・300 Nm <sup>3</sup> /h の場合	2 億円 (図中のC点) 1.5 億円	(さらなる低 コスト化)

水素供給コスト約60円/Nm<sup>3</sup>を実現できるオフサイトステーションの試算を図に示す。仮に500Nm<sup>3</sup>/h規模のオフサイトステーションコストを1.2億程度とした場合(水素製造設備コストを0.8億円程度と想定)、ステーションでの水素供給コストは約25円/Nm<sup>3</sup>程度となり、許容される水素製造コスト(プラント)・輸送コストの目標は約35円/Nm<sup>3</sup>となる。

本ロードマップでは、2020年におけるプラントでの集中型水素製造コスト目標を20~30円/Nm<sup>3</sup>、また水素輸送コスト目標を高圧水素輸送の場合で10円/Nm<sup>3</sup>(液体水素輸送の場合は3円/Nm<sup>3</sup>)としており、前述の許容される製造・輸送コスト目標に収まっている。

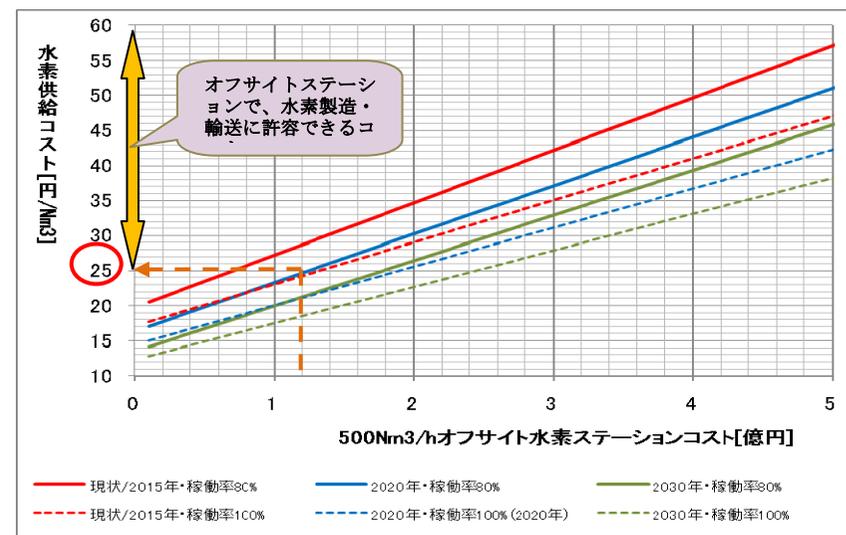


図 27 オフサイトステーション (500Nm<sup>3</sup>/h) での  
水素供給コスト試算結果

## 規制見直し等の必要性

2020年に向けての技術開発目標を達成するには、水素技術(水素貯蔵、水素製造、水素輸送、水素供給)の技術開発に加え、規制見直しの推進によって水素インフラや水素車載容器の大幅なコストダウンを進める必要がある。

これまでに FCCJ において規制見直し項目(44項目)が整理され、またこの見直し項目を元に、JHFC 安全性・規制見直し検討会にて緊急性の高い重点項目が整理されている(表 17)。

表 17 水素ステーションに関する規制見直しの重点項目

ランク	重点課題	法令	
特A	70MPa法整備	高圧ガス保安法	
	・保安距離の見直し	高圧ガス保安法	
	・保安統括者の常駐義務見直し	高圧ガス保安法	
	・ガソリンスタンドとの併設許可	消防法	
	・水素スタンドの建設可能地域拡大	建築基準法	
	使用可能鋼材の拡大	鋼材規制 の見直し	高圧ガス保安法
	設計基準(耐圧安全係数)の見直し		高圧ガス保安法
	容器則の複合容器の範囲拡大(輸送用)		高圧ガス保安法
	市街地における水素保有量の増加		建築基準法
	CNGと水素スタンドの保安距離不整合見直し		高圧ガス保安法
A	開放検査の周期延長、保安検査の簡略化	高圧ガス保安法	
	容器則の複合容器の範囲拡大(スタンド用)	高圧ガス保安法	
	保安距離の更なる見直し	高圧ガス保安法	
	改質器の無人暖気運転の許可	消防法	
	防爆性能の見直し	高圧ガス保安法	
B	蓄圧器、圧縮機等のキャノピー上設置	高保法、消防法	
	ディスペンサー並列設置	消防法	
	公道でのFCVへの充填	高保法、道交法	
	基準温度の見直し/海外との整合	高圧ガス保安法	
注)ハッチング部; 新たな試験法およびデータ取得が必須と思われる項目			

出所: JHFC 安全性・規制見直し検討会

また、エンジニアリングコスト（工事・設計費）は 700 気圧ステーションで現在3億円程度であるが、将来はステーションの規格化、スキッド化によって、2015年には1億円程度に、2020年には数千万円レベルに低減させることが必要である。

# 固体高分子形燃料電池 (PEFC) ロードマップ (定置用燃料電池システム)

～世界最先端の、家庭での高効率発電・給湯システムを早期に実用化し、CO2削減へ貢献～

	現在 (2010年時点)	2015年頃 普及期	2020年頃 普及拡大期	2030年頃 本格普及期
発電効率*	約33%/37%	33%/37%	33%/37%	>36%/40%
耐久性** (起動停止回数)	4万時間	6万時間(起動停止4000回)	9万時間(起動停止4000回)	9万時間(起動停止4000回)
最高作動温度	約70℃	約90℃	約90℃	約90℃
システム価格***	200～250万円	約50～70万円 (10万台/年/社**** 生産ケース)	約40～50万円 (20万台/年/社 生産ケース)	<40万円 (100万台/年/社 生産ケース)

## 定置用PEFCシステムの現状・成果

- 家庭用燃料電池システム「エネファーム」の一般販売開始 (2009年度販売実績5258台)
- 発電効率約33%/37%  
総合効率約79%/85%達成
- 耐久性4万時間達成(起動停止4000回)
- スタック・部材低コスト化の進展
- 周辺機器の共通仕様化・連携開発によるシステム低コスト化の進展
- 反応・劣化機構解明、各種基礎解析・評価手法の進展

## 普及期に向けた技術課題

- MEAの高温・低加湿運転対応 (電解質・イオンマー高性能化)  
・最高作動温度90℃  
・相対湿度<30%RH
- MEAのCO耐性向上 (高CO濃度耐性アノード触媒)  
・改質ガスCO濃度500ppmで運転可
- MEAの不純物耐性向上 (性能への影響度データベース化)
- 低白金化技術 (1g/kW)
- 白金代替の電極触媒 (カーボンアロイ触媒、酸化物系非金属触媒、等)
- 燃料改質系触媒の高性能化 (CO変性触媒、CO選択メタン化触媒)
- 適用分野の拡大  
・燃料多様化 (国産/海外天然ガス、一般灯油、等)  
・用途拡大 (自立型システム、防災対応システム、等)

## 普及拡大に向けた技術課題

- MEAのロバスト性・耐久性 更なる向上

## 本格普及期に向けた技術課題

- 発電効率の向上 (スタック性能向上)
- 適用分野の拡大 (純水素型システム\*\*\*\*、等)

## 基盤技術強化

- MEA材料の構造・反応・物質移動解析技術
- 劣化機構解析技術 (連続運転・起動停止・負荷サイクル、等)
- セル評価解析技術 (共通基盤的な評価・解析技術)

## 実用化技術開発 (民間主体)

- システムコスト低減
- セル大面積化、スタック低積層化、周辺機器の開発  
コスト低減のための生産技術開発
- システム大幅簡素化、低廉材料・部品の採用  
量産技術開発
- システムコスト大幅低減

## 標準・規格・基準

- 国際標準化推進中 (TC105、IEC62282シリーズ7件発行)
- MEA耐久評価試験方法の標準化
- 国際標準 (IEC62282シリーズ) の改訂
- 国際標準規格への反映
- 国際市場での優位性確立、国際間取引の円滑化

反応・劣化・物質移動現象の解明によるMEA開発の加速

**備考**

\*「発電効率」は、HHV/LHVで記載。  
\*\*「耐久性」は、連続運転時間に加え、括弧内に記載の起動停止を含めた運転時における運転可能時間を示す (メーカー各社の試験方法に基づく)。

**備考**

\*\*\*「システム価格」は、1kW級家庭用燃料電池システムのメーカー出荷額。  
(価格に関するカッコ内の生産ケースは、システム価格試算のためのものであり、各年度での市場規模を指すものではない)

\*\*\*\* 10万台/年/社 生産ケースでのメーカー出荷価格である。  
実市場価格については販売戦略も含めて価格設定がなされると考えられる

\*\*\*\*\*純水素型システムでは発電効率50%以上、更なる低コスト化が達成される見込み

# 固体高分子形燃料電池(PEFC)ロードマップ (燃料電池自動車(FCV))

～究極の次世代クリーン自動車である、FCVを将来的に普及し、CO2削減へ貢献～

	現在 (2010年時点)	2015年頃 普及開始	2020年頃 普及期	2030年頃 本格商用化
車両効率*	約55～60% (45～51%)	60% (51%)	60% (51%)	60% (51%)以上
耐久性**	約2000時間	5000時間(15年)	5000時間(15年)	5000時間(15年)以上
作動温度 (始動温度含む)	約-30～80℃	-30℃～約90-100℃	-30℃～約100℃	-40℃～約100-120℃
システムコスト スタックコスト 周辺機器コスト (***量産50万台生産ベースの試算)	数千万円	約100万円 約60万円 約40万円	約80万円 約45万円 約35万円	<50万円 <25万円 <25万円
FCシステム仕様		・作動温度-30～90-100℃、30%RH ・作動圧力1.2atm、水素ストイキ****1.1	・作動温度-30～100℃、30%RH ・作動圧力<1.2atm、水素ストイキ<1.1	・作動温度-40～120℃、加湿器レス ・大気圧作動、水素循環なし

## 燃料電池自動車の現状・成果

- スタックの軽量化・コンパクト化・高出力化等の高性能化が進展
- JHFCでは2002年からこれまで約120台が登録・参加し、約60万km走行とデータを着実に蓄積。  
FCVの車両効率は、シャシダイナモ燃費測定で約50%('04)→約56%('07)、約61%('08)へ向上。(実証事業トプランナー値)
- 低温始動性の向上(-30℃始動の技術確立)
- 航続距離の向上(最高830km/70MPaタンク、最高620km/35MPaタンク、10・15モード)
- 反応・劣化機構解明、各種基礎解析・評価手法の進展

## 初期導入に向けた技術課題

## 普及初期に向けた技術課題

## 本格商用化に向けた技術課題



## 基礎技術強化

## 成果の適用

## 成果の適用

## 成果の適用



## 備考

\*「車両効率」は、LHVであり、HHVは参考値として記載。

また、2007年度より燃費測定モードが、10・15モードからJC08モードへの移行が始まったところであるが、現時点では、両モードの数値換算に関するデータが十分に揃っていないことから、10・15モードで表記。

## 備考

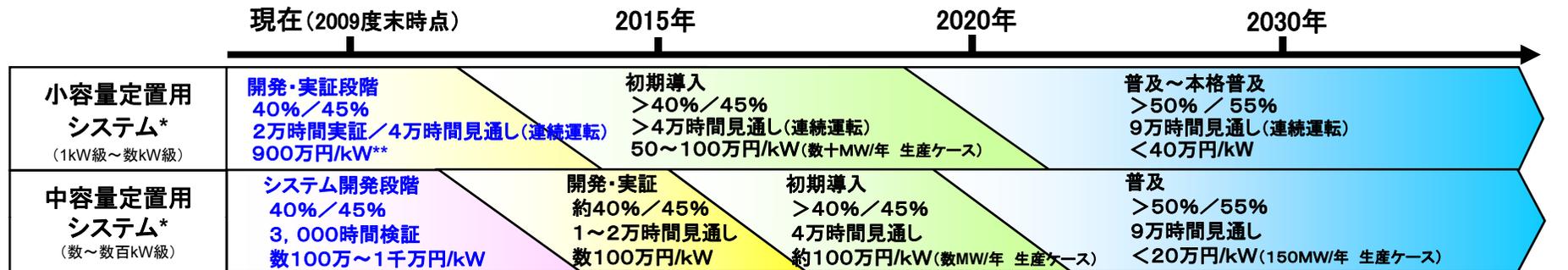
\*\*「耐久性」には、必要とされる運転条件に応じた起動停止回数に対応することも含まれる。(メーカー各社の試験方法に基づく)

\*\*\*「システムコスト」、「スタックコスト」、「周辺機器コスト」は生産台数を50万台(システム出力100kW、水素タンクを除く)と想定した場合の製造コストを示す。

\*\*\*\*「ストイキ」とは電池反応における理論上の燃料消費量に対する燃料供給量の比率を示す。(余剰燃料は再循環することで利用率を100%近くにする)

# 固体酸化物形燃料電池(SOFC)ロードマップ

～小容量システムでの技術確立から中・大容量システムへの展開により最高効率発電を実現～



小・中容量定置用システムの**現状・成果**とSOFCシステムの**共通技術課題**

- ・1kW級の小型SOFCシステム実証の進展 → 平成21年度まで累計132台設置、最長運転時間は2万時間
- ・数10kW級システムで3,000時間運転試験 → 耐久性等の技術課題を抽出
- ・劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための産学官連携基礎研究開始

**開発・実証段階**

- 耐久性・信頼性の向上
- セルスタック・モジュールの発電効率向上
- セルスタック原料・部材の低コスト化
- 運用性向上 (起動停止技術、負荷追従性、等)
- 燃料多様化技術確立 (都市ガス、LPG、灯油)

**初期導入時**

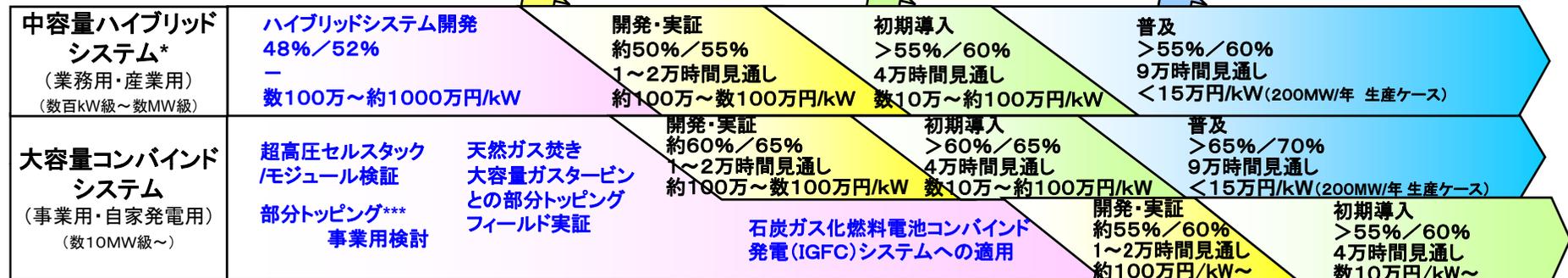
- スタック高耐久化対策技術の適用
- セルスタック・モジュールの高性能・低コスト化 (高出力密度化、等)
- システム構成の最適化・周辺機器簡素化によるコスト低減

**普及時**

- 次世代スタックに向けての高性能・高耐久化
- 大量生産技術確立 → コスト低減

**備考**

\* 小容量定置用システム、中容量定置用システムおよび中容量ハイブリッドシステムにはコージェネを含む  
\*\* システム価格の範囲は、熱利用設備は含まず、発電装置部の範囲の価格。(家庭用は貯湯槽等を含む想定価格。) また、カッコ内の「OMW/年 生産ケース」は、システム価格試算のためのものであり、各年度での市場規模を指すものではない



中容量ハイブリッド・大容量コンバインドシステムの**現状・成果**と**技術課題**

- ・200kW級の複合発電システムの進展 → 発電効率52.1%、3000時間運転達成

**開発・実証段階**

- 高压\*\*\*運転技術、複合発電システム制御技術の確立
- 超高压\*\*\*\*運転技術の確立

**初期導入時**

- 燃料多様化技術確立 (石炭ガス、バイオガス)
- 大容量複合発電システム最適化

**普及時**

- 石炭ガス化ガス クリーンアップシステム最適化

**備考**

\*\*\* 部分トッピングとは、既設発電設備のGTCCに、SOFCを部分的に追加することにより、その分だけ増出力・効率アップを図るレトロフィット改造

\*\*\*\* 中容量のマイクロGTとのハイブリッドシステムにおける運転圧力レベル0.3～0.4MPaを高压運転、事業用大型GTとのコンバインドシステムにおける運転圧力レベル2～3MPaを超高压運転と定義

**備考**

各システムにおける矢印内の記載説明は次のとおり  
研究・事業段階  
送電端効率(HHV/LHV)  
耐久性(運転時間)  
システム価格

**スタック・システムの展開**

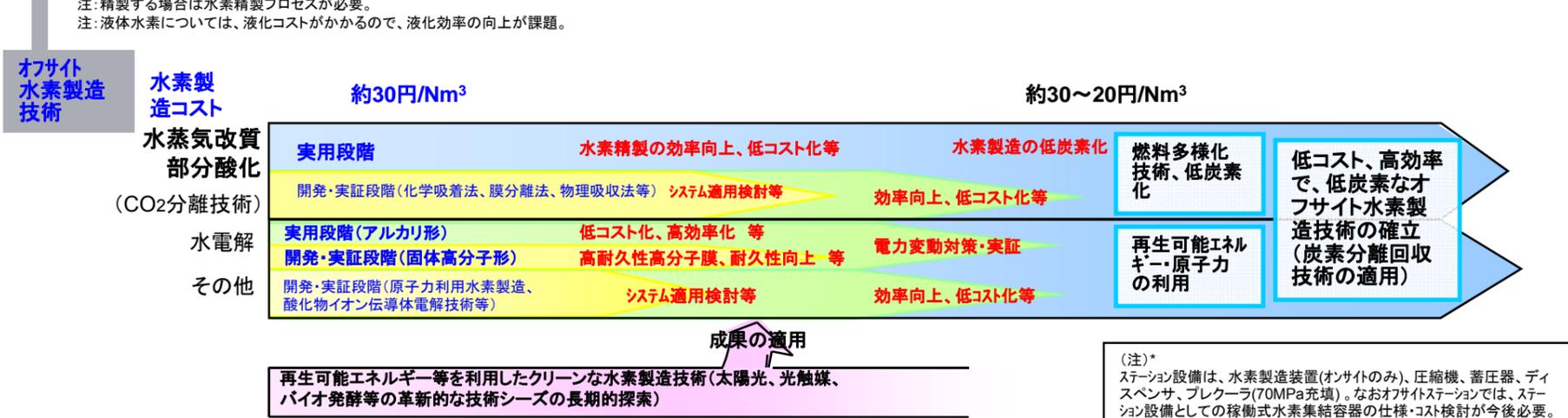
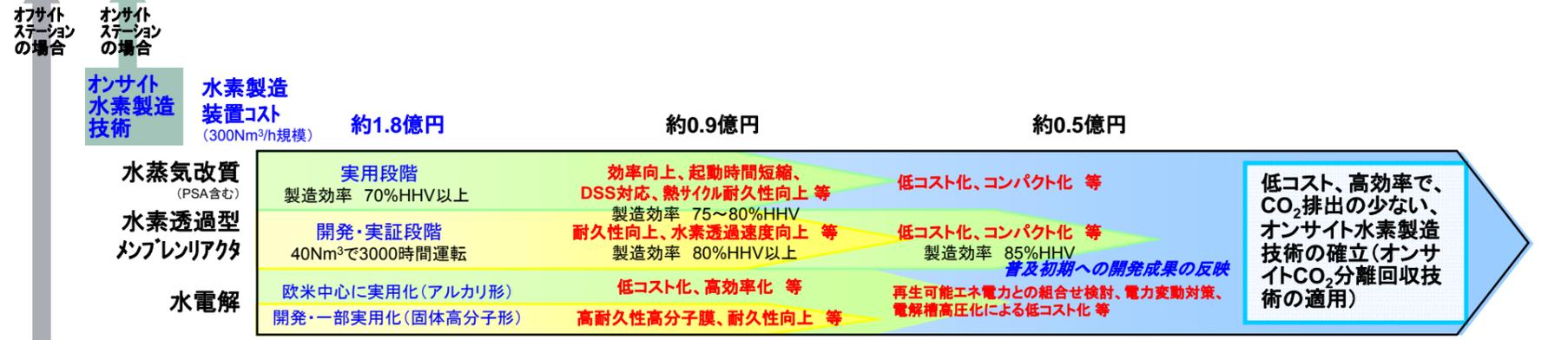
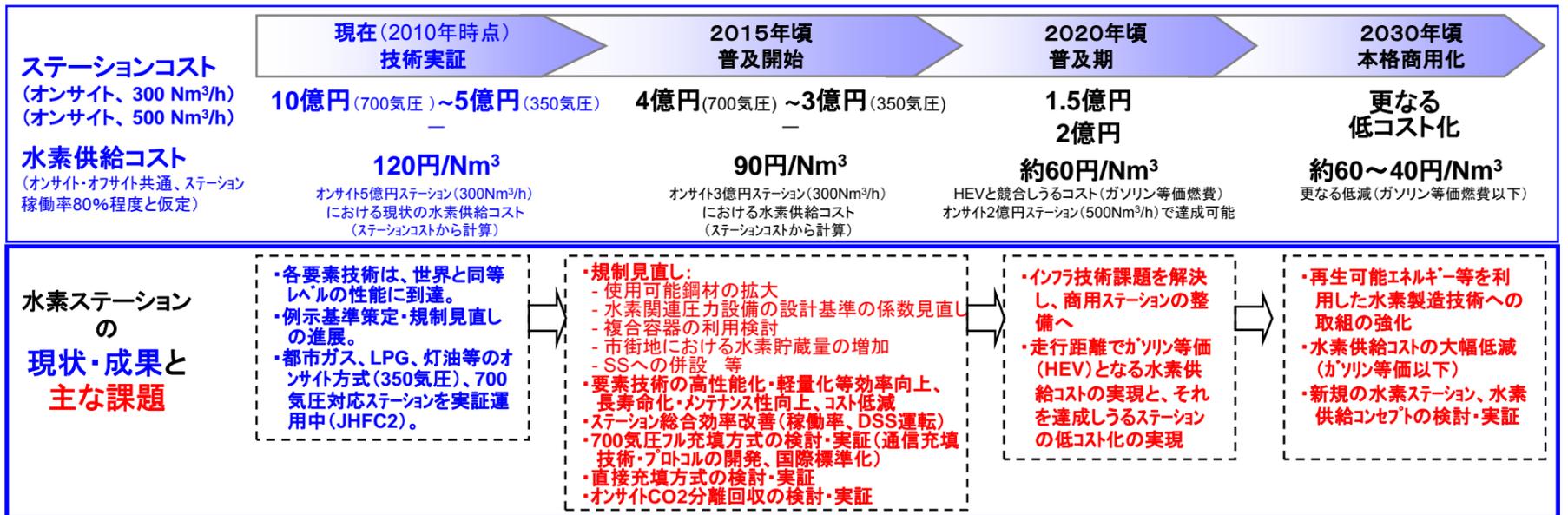
- 大容量化(小容量から中容量、中容量から大容量)、1kWシステム開発サイクルの加速、等
- 基盤技術の強化  
劣化機構解明(熱力学的・化学的・機械的課題・三相界面の集学的解析)  
加速劣化試験法・耐久性向上・寿命評価方法・解析手法、不純物・燃料種影響対策、等

**標準・規格・基準**

- SOFC標準化 JIS原案提示
- 定置用PEFCシステムとの共通化 国際標準(IEC62282シリーズ)の改訂
- 国際標準規格への反映 国際市場での優位性確立、国際間取引の円滑化

# 水素製造・輸送・供給技術ロードマップ

想定:原油価格 \$85/バレル(2010)→\$95/バレル(2020)  
LNG価格 \$520/トン(2010)→\$805/トン(2020)



(注)\*  
ステーション設備は、水素製造装置(オンサイトのみ)、圧縮機、蓄圧器、ディスペンサ、プレクラ(70MPa充填)。なおオフサイトステーションでは、ステーション設備としての稼働式水素集結容器の仕様・コスト検討が今後必要。

## 2. 分科会における説明資料

本資料は、分科会において、プロジェクト実施者がプロジェクトを説明する際に使用したものである。

## 水素社会構築共通基盤整備事業

2005年度～2009年度（5年間）

### 議題5. プロジェクトの概要（公開）

- I. 事業の位置づけ・必要性
- II. 研究開発マネジメント
- III. 研究開発成果
- IV. 実用化の見通し

NEDO 新エネルギー部

2010年12月3日

1

公開

## 発表内容

### <午前の公開セッション>

- I. 事業の位置づけ・必要性
- II. 研究開発マネジメント
- III-1. 研究開発成果の概要
- IV-1. 実用化、事業化の見通しの概要

発表：NEDO細井主研

発表：NEDO森主査

### <午後の公開セッション>

- III-2. 研究開発成果
- IV-2. 実用化、事業化の見通し

個別テーマ毎に  
実施者より報告

2

## 水素エネルギー社会実現の意義

☆我が国のエネルギー供給の安定化・効率化

☆CO<sub>2</sub>の排出削減

☆都市部等地域環境問題(例 NOx、粒子状物質等)の解決

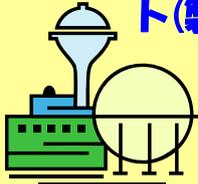
水素トレーラー  
(輸送)



水素スタンド  
(貯蔵・充填)



水素製造プラント  
(製造)



燃料電池自動車  
定置用燃料電池システム  
(利用・貯蔵)



燃料電池の導入・普及による  
水素エネルギー社会の実現

二次エネルギーである水素の活用

### 「燃料電池」のエネルギー政策上の位置付け

新・国家エネルギー戦略	2006年5月	燃料電池を基幹技術として位置付け。 石炭ガス化燃料電池複合発電を総合資源戦略として位置付け。
Cool-Earth エネルギー革新技術計画	2008年3月	燃料電池をCO <sub>2</sub> 排出量の大幅削減を可能とする革新技術として選定。
環境エネルギー技術革新計画	2008年5月	燃料電池を低炭素社会実現に必要な技術と位置づけ。
低炭素社会づくり行動計画	2008年7月	2020～2030年に定置用燃料電池を本格普及を目指す。
エネルギー基本計画	2010年6月	低コスト化を進めて、燃料電池普及による天然ガスシフトを推進。 FCV等の低コスト化の技術開発を推進すると共に、供給インフラ整備のための規制適正化のための安全性の検証や技術開発を推進。
新成長戦略	2010年6月	日本がイニシアティブを取り、国際標準化を推進。

「燃料電池」は継続して、政策上の重要な技術分野となっている。

「燃料電池・燃料電池自動車」の政策上の位置付け

「Cool Earthーエネルギー革新技術 技術開発ロードマップ」  
【出典：経済産業省】

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO2大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



FCV、定置用燃料電池、水素製造・輸送・貯蔵技術が重点的に取り組むべきエネルギー革新技術に選定されている。

研究開発政策上の位置付け

「エネルギーイノベーションプログラム」  
 ・資源の乏しい我が国は、革新的なエネルギー技術の開発、導入普及により、次世代型のエネルギー利用社会の構築が不可欠。  
 ・政府が長期を見据えた技術進展の方向性を示し、官民が共有することで長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能。  
 ⇒ 本事業はこのプログラムの一環として実施。

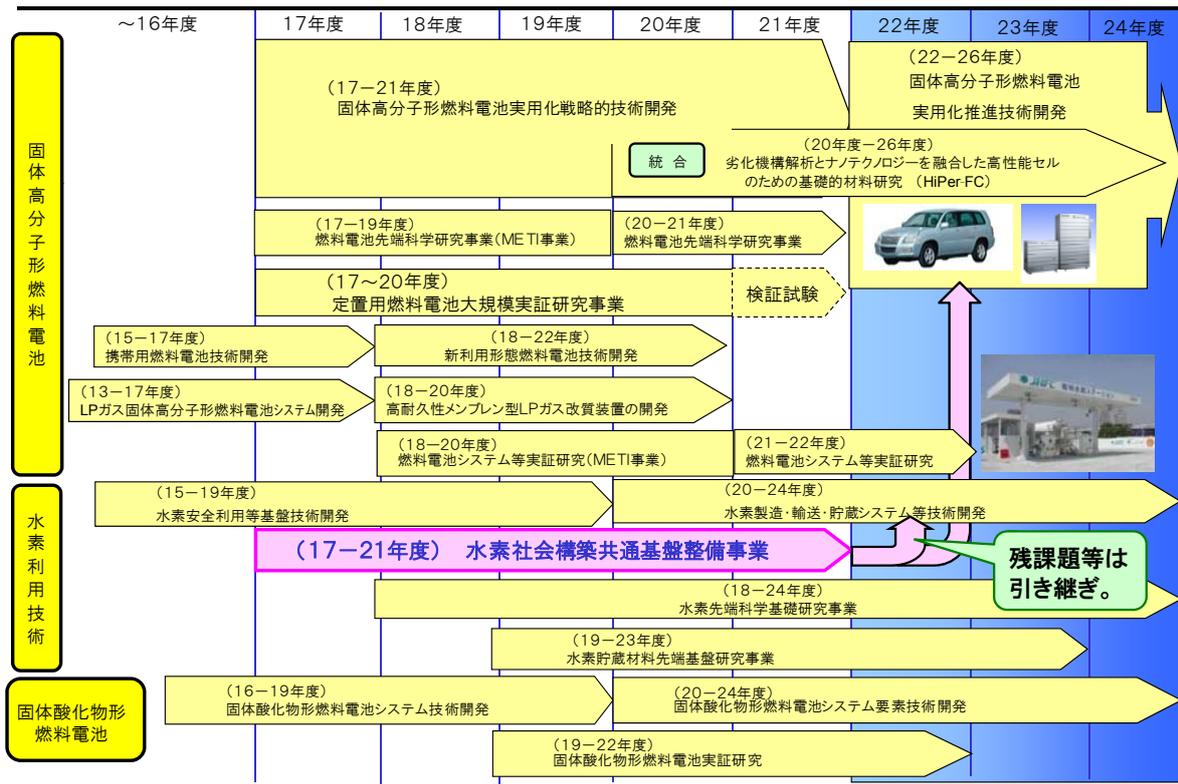
- エネルギーイノベーションプログラムの5つの柱
- ① 総合エネルギー効率の向上
  - ② 運輸部門の燃料多様化
  - ③ 新エネルギー等の開発・導入促進
  - ④ 原子力等利用の促進とその大前提となる安全の確保
  - ⑤ 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用



本事業では、FCV・水素インフラ、定置用燃料電池に関して「規制の再点検(適正化)」、「共通試験・評価技術の確立」、「国際標準の提案」を行うためのデータの取得、およびそのデータ取得時に必要となる試験・評価技術の開発を実施。  
 ⇒ 本事業は、上記②、③、⑤の目標達成に寄与するものである。

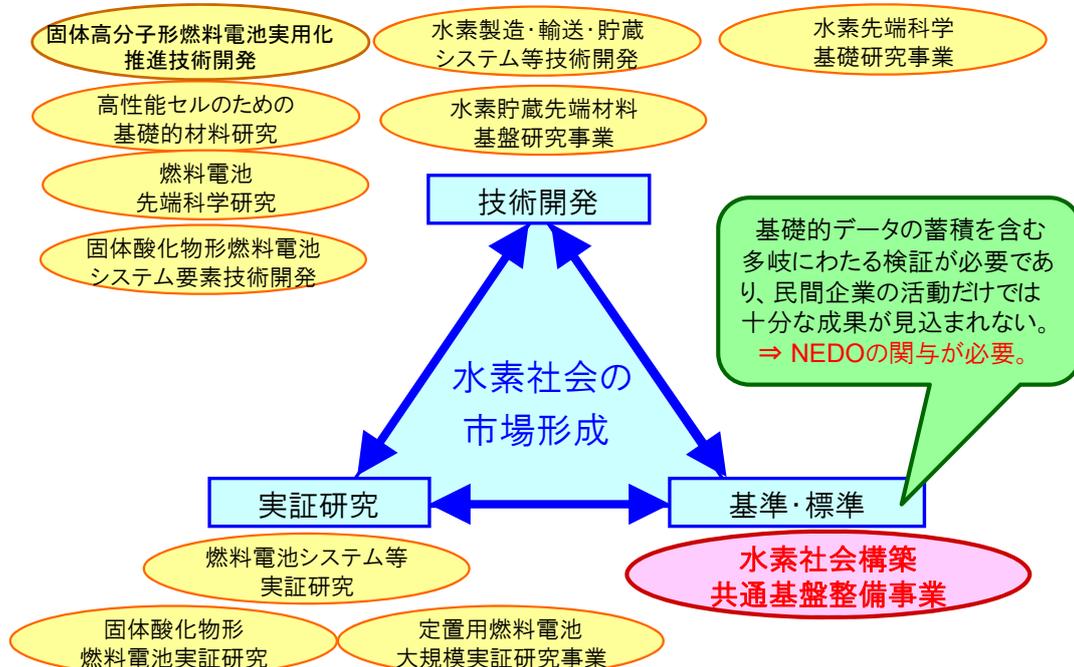
## NEDOの関与の必要性(1)

### NEDOにおける燃料電池・水素技術開発の年度展開



## NEDOの関与の必要性(2)

FCV・水素インフラ、定置用燃料電池はこれまでにない製品・エネルギーの普及であり、技術開発、実証研究、基準・標準化のプロジェクトは三位一体の関係にあり、これら複数のプロジェクトを連携・整合させ、効果的・効率的に進める必要が有る。⇒ NEDOマネージメントが不可欠である。



## 実施の効果

### 【経済効果】

燃料電池・水素分野の国内市場規模は、2015年で1,823億円、2025年で2兆3,433億円と予測されており、我が国の経済効果への期待は大きく、本事業はその一翼を担う。

	2015年		2025年	
	市場規模 (百万円)	数 量	市場規模 (百万円)	数 量
家庭用PEFC	90,000	15,000台	273,000	700,000台
家庭用SOFC	9,600	8,000台	234,000	600,000台
マイクロFC	34,500	5,400,000台	52,000	17,300,000台
ポータブルFC	2,750	6,000台	33,750	210,000台
FCV	9,750	1,500台	990,000	450,000台
車載用高圧水素容器	750	1,500台	38,000	450,000台
車載用水素圧力調整器	244	1,500台	24,750	450,000台
水素ステーション	3,400	10件	38,000	400件
水素ステーション用蓄ガス器	140	200台	1,800	18,000台
燃料電池用水素燃料	31,200	780百万m <sup>3</sup>	658,000	16,450百万m <sup>3</sup>
市場規模合計 (百万円)	182,334		2,343,300	

出典：(株)富士経済「2010年度版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」

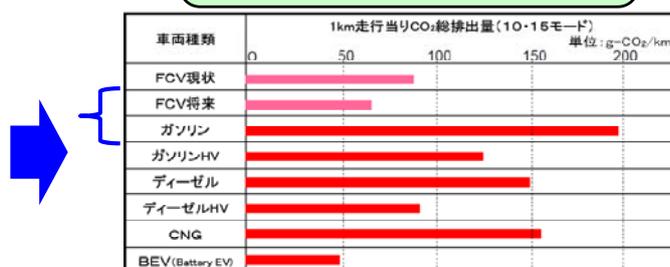
## 実施の効果

### 【CO<sub>2</sub>削減効果】

2025年の市場規模(FCV、定置用燃料電池)に対応したCO<sub>2</sub>削減量は252万トン/年。

- FCV: 1台当たり約2トン- CO<sub>2</sub>/年 \*1 × 45万台 = 90万トン/年  
\*1: 「燃料電池システム等実証研究」での実測データに基づく試算値。

各種車両のWell to WheelのCO<sub>2</sub>排出量



- 家庭用PEFC: 1台当たり約1.2トン- CO<sub>2</sub>/年 \*2 × 70万台 = 84万トン/年  
\*2: 「定置用燃料電池大規模実証研究」での実測データ。
- 家庭用SOFC: 1台当たり約1.3トン- CO<sub>2</sub>/年 \*3 × 60万台 = 78万トン/年  
\*3: 「固体酸化物形実証研究」での実測データ。

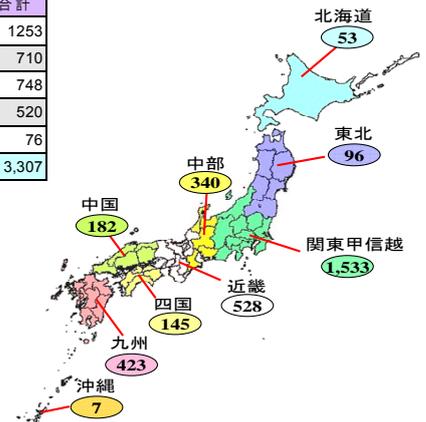
## 定置用燃料電池の開発・普及動向(1) 日本/PEFC

### NEDO 定置用燃料電池大規模実証研究(H17~H21年度)

- ・ 17の事業者により累計3,307台の1kW級家庭用PEFCシステムを設置し実証運転。
- ・ 様々な条件下(寒冷地/温暖地、住宅内負荷の大小及びパターン等)で運転。
- ⇒ 最適仕様の検討、省エネルギー性・環境保全性の確認、使用者ニーズの抽出等。

実施者	燃料種	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	計
東京ガス	都市ガス	150	160	210	276	796
大阪ガス	都市ガス	63	80	81	141	365
東邦ガス	都市ガス	12	40	33	34	124
西部ガス	都市ガス	10	10	13	10	43
北海道ガス	都市ガス	-	10	10	5	25
日本瓦斯	都市ガス	-	3	4	3	10
	LPガス	-	7	6	7	30
新日本石油	都市ガス	-	-	-	11	11
	LPガス	134	226	250	403	1328
	灯油	-	75	148	83	306
出光興産	LPガス	33	40	50	28	151
ジャパンエナジー	LPガス	30	40	34	40	144
岩谷産業	LPガス	10	34	29	10	83
コスモ石油	LPガス	10	19	14	13	66
	灯油	-	-	5	5	10
太陽石油	都市ガス	-	-	-	2	2
	LPガス	8	13	18	9	50
九州石油	LPガス	8	10	12	10	40
昭和シェル石油	LPガス	6	10	10	10	36
レモンガス	LPガス	6	-	-	-	6
エネアージュ	LPガス	-	-	-	10	10
サイサン	都市ガス	-	-	-	2	2
	LPガス	-	-	-	8	8
計		480	777	930	1120	3307

システムメーカ	LPG	都市ガス	灯油	合計
ENEOSセルテック	1062	191	0	1253
荏原製作所	0	396	314	710
東芝燃料電池システム	554	194	0	748
パナソニック	0	520	0	520
トヨタ自動車	0	76	0	76
合計	1,614	1,379	314	3,307

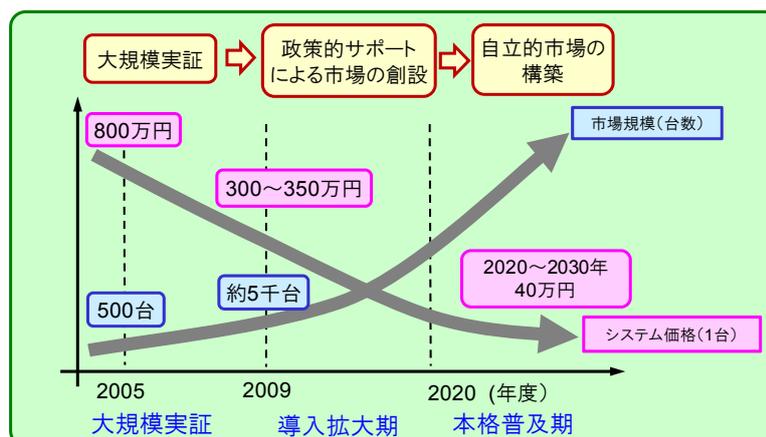


## 定置用燃料電池の開発・普及動向(2) ~日本/PEFC~

### エネファームの一般販売開始と普及シナリオ

2009年度より経済産業省の導入支援補助金制度の下、世界初の一般販売がスタートしている。市場導入初年度の販売実績は5,258台であり、今後5年間で4万台以上が導入される見込みである。

将来は販売価格を40万円まで下げ、2020年度までに累積導入250万台、年間約300万トンのCO<sub>2</sub>削減を目指している。



定置用燃料電池の開発・普及動向(3) ～日本/SOFC～

NEDO 固体酸化物形燃料電池実証研究(H19～H22年度)

SOFCシステムを一般家庭等の実負荷環境下に設置。取得された各種運転データの評価・分析を行い、PEFCに引き続く市場エントリーに向けた技術課題を抽出中。

- ・過去3年間で0.7kW～8kW級のシステム132台が運転。
- ・今年度は0.7kW級システム101台が設置される予定。
- ・今年度助成額は0.7kW級システム1台あたり約600万円。

設置運転事業者	システム提供者	設置台数				燃料	定格出力
		H19	H20	H21	H22(予定)		
大阪ガス	京セラ	20	25	12	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	23	41		
	TOTO	0	0	0	2		
東京ガス	京セラ	3	2	12	0	都市ガス	0.7kW
	ガスター・リンナイ	0	0	2	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	4	11		
	TOTO	0	0	0	1		
北海道ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
西部ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
東京電力	京セラ	0	1	1	0	都市ガス	0.7kW
東北電力	京セラ	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
新日本石油	新日本石油	1	2	14	27	LPG 灯油	0.7kW
		1	1	1	1		
東邦ガス	トヨタ・アイシン	0	0	1	2	都市ガス	0.7kW
	日本特殊陶業	0	0	0	2		
TOTO	TOTO	0	2	6	10	都市ガス	0.7kW
		2	0	0	0		2kW
		0	1	0	0		8kW
合計		29	36	67	101		

定置用燃料電池の開発・普及動向(4) ～海外～

米 国	<p>(1)DOEは2008年から“Market Transformation Activities”政策を打ち出し、国、州、軍関係で各種燃料電池を積極的に導入して市場の育成を図っている。</p> <p>(2)2009年のオバマ政権の経済活性化政策では、燃料電池の商品化を進める企業に4,190万ドルの支援。</p> <p>(3)米国における住宅用PEFC導入台数は500台程度(2008年度)。 ⇒ 2001～2004年のDODプロジェクトで1～20kW級のPEFCが91台導入。 システムメーカー: Relion、Plug Power、Ballard、IdaTech、Nuvera</p> <p>(4)バックアップ電源用の1～5kW級純水素PEFCの市場が拡大している。 ⇒ Relion、Plug Power、Ballard、IdaTech、Hydrogenics、Altergy、UTC Powerの販売実績は数千台以上。</p> <p>(5)フォークリフト電源用の3～30kW級純水素PEFCも大きな市場(20万台/年)として期待されている。 ⇒ Ballard、Plug Power、Hydrogenics、Nuveraがフォークリフト車両メーカーにPEFCを供給。</p> <p>(6)Jadoo Powerが移動用電源としての100W級PEFCシステムを商品化している。</p>
ドイツ	<p>(1)“Callux Lighthouse”プロジェクト(総予算8,600万ユーロ)で、天然ガス利用の1～5 kW級家庭用燃料電池(PEFCおよびSOFC)について実証試験を実施中。2012年までに800台を設置する計画。 ⇒ 2010年9月までに71台が設置。 システムメーカー: Baxi Innotech(スタック: 米Ballard製)、Vaillant(スタック: 米Plug Power製)、Viessmann</p> <p>(2)Smart Fuel CellはDMFCによる25～250W級の移動電源を軍用、レジャー用、産業用の分野で商品化。 ⇒ 欧州キャンピングカーメーカーから1万台を受注。ドイツ軍からも携帯用、車両搭載用、兵舎用等の多数を受注。</p>
韓 国	<p>(1)“Million Green Home2020”プロジェクトで、2020年までに家庭用燃料電池を10万台の導入が計画されている。 ⇒ 2010年度は200台の導入を予定。 システムメーカー: GS Fuel Cell、Fuel Cell Power、Hyosung</p> <p>(2)韓国での導入補助率は90%と高い。売電(系統への逆潮流)も可能。ただし、自国の市場規模は小さいため国産化を加速しての海外展開を指向している。</p>

FCV・水素インフラの開発・普及動向(1) ~日本~

【JHFCプロジェクト】

2002年よりJHFCプロジェクトで、FCVの公道走行試験や水素ステーションの運用等が行われている。

その結果、FCVの改良が進み、航続距離は500km以上、最高速度150km/h以上となり、性能は内燃機関車と遜色ないレベルにまで到達している。

**燃料電池システム等実証研究**  
JHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)

JHFC参加車両 合計60台(2007年度)

JHFC水素ステーション 合計12ヶ所(2007年度)

FCV、水素インフラ等に係る実証研究及びその成果普及を展開。

- 実使用状態のデータを取得し、水素エネルギー社会の実現に向けたFCV、水素インフラ等の有用性を検証。
- 実用化の課題抽出、FCV等の社会受容性向上を図る。

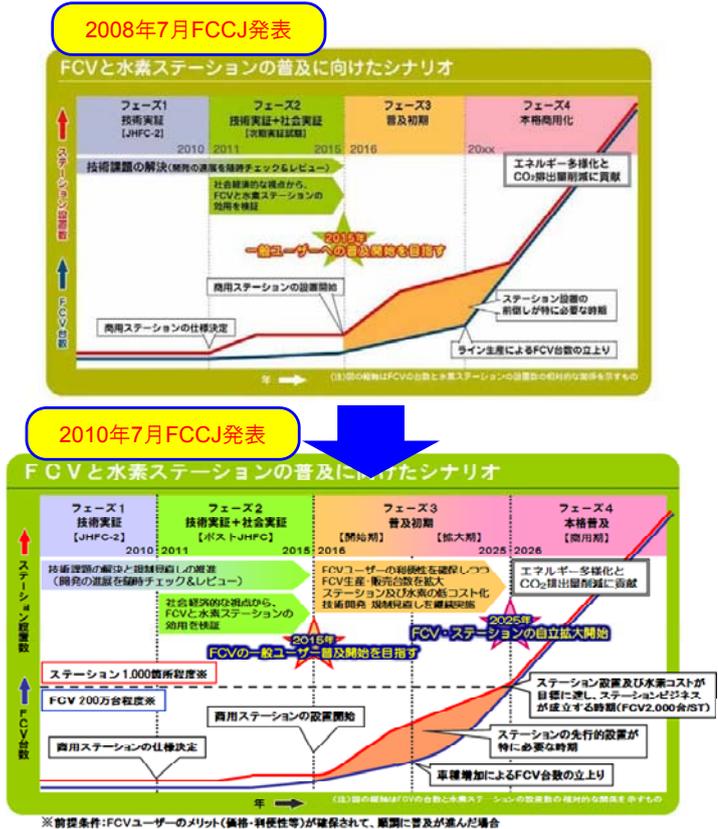
	トヨタ FCHV-adv	ホンダ FCX Clarity	ニッサン X-TRAIL FCV 2005モデル	GM Chevrolet Equinox	Daimler B-class F-cell
車両重量	1,880 kg	1,625 kg	1,860 kg	2,010 kg	
航続距離	830 km	620 km	500 km以上	320 km	400 km
最高速度	155 km/h	160 km/h	150 km/h	160 km/h	174 km/h
燃料電池出力	90 kW	100 kW	90 kW	93 kW	80 kW
水素充填圧力	70 MPa	35 MPa	70 MPa	70 MPa	70 MPa

FCV・水素インフラの開発・普及動向(2) ~日本~

【日本の普及シナリオ】

我が国の主要な自動車メーカー、エネルギー関係企業等が参加する燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)によって、「2015年に商用の水素ステーションの設置を開始し、FCVの一般ユーザーへの普及開始を目指す」という普及シナリオが発表されている。

2025年時点での普及目標は、FCVが200万台程度、水素ステーションを1,000箇所程度となっている。



FCV・水素の開発・普及動向(3) ~海外~

米 国	(1)DOE Fuel Cell Vehicle and Infrastructure Learning Demonstration 2004年に開始され、FCV122台の走行試験、水素ステーション20ヶ所の建設が行われている。 (2)カリフォルニア燃料電池パートナーシップ(CaFCP) ・これまでに26ヶ所の水素ステーションが建設され、250台のFCVが導入。 ・今後の計画は次の通り。 ～2014年:46カ所の水素ステーションと4,300台のFCVの導入 ～2017年:49,600台のFCVと150台の燃料電池バスの導入
欧 州	(1)Clean Urban Transport for Europe (CUTE) ・2001年～2005年に欧州7ヶ国9都市において様々な水素サプライチェーンの検証を実施。 ・ダイムラーのFCバス「シターロ」27台が導入。 (2)Ecological City Transport System (ECTOS) ・2001年～2005年にアイスランドのレイキャビックにおいて実施。 ・FCバス「シターロ」3台、水電解方式の水素ステーションが導入。 (3)Zero Regio ・水素ステーションは天然ガスオンサイト改質方式がイタリア、副生水素方式がドイツに各1ヶ所に建設。 ・FCVは8台(ダイムラー5台、フィアット3台)が導入。
ドイツ	(1)Clean Energy Partnership (CEP) ・ベルリン市とハンブルグ市の公共交通機関、国内主要自動車メーカ、エネルギー事業者が参加。 ・49台の水素動力車両(FCV、水素ICE)が導入。 内訳:BMW10台、ダイムラー10台、フォード2台、GM10台、VW3台、MAN14台(水素ICEバス)。 ・水素ステーションはベルリン郊外に1ヶ所(圧縮水素と液体水素が供給可能)。 (2)H2 -Mobility ・2009年に立ち上げられた水素インフラ整備のためのコンソーシアム。 ・ダイムラー、EnBW、Linde、OMV、Shell、TOTAL、VanttenfallおよびNOWが参加。 ・今後の計画は次の通り。 ～2013年:主要都市(ベルリン等)を中心にクラスターを形成。 ～2015年:主要都市間を結ぶコリドーを形成(100～1,000ステーションを建設)。 ～2017年:全国レベルのネットワークを形成。
ノルウェー他	(1)HyNor ・水素ステーションはスタンバングル～オスロ間の7都市に設置される計画。 ・水素ICEに改造したトヨタのプリウス15台、マツダRX-8ハイドロジェンRE30台が導入。 (2)スカンジナビア水素ハイウェイ構想 ・ノルウェー、スウェーデン、デンマークの3国を結ぶ水素ハイウェイを建設する構想。 ・2009年に5ヶ所、2015年に35ヶ所の水素ステーションの建設を計画。

国内規制再点検・適正化の状況 ~定置用燃料電池(1)~

本事業で取得したデータが活用され、規制適正化が推進。

SOFC :「過圧防止装置の省略」については審議中であるが、他事項は規制適正化を完了。

純水素PEFC :消防法関連の3項目については適正化要望を保留。他事項は規制適正化を完了。

PEFC :一般家庭に広く普及するための規制適正化は完了した。

	規制適正化項目	SOFC	純水素PEFC	PEFC
電気 事業法 関連	常時監視の不要化	◎(H18年12月)	○	○
	不活性ガス置換義務の省略	◎(H19年9月)	○	○
	一般用電気工作物化 ・電気主任技術者選任義務の不要化 ・保安規定届出義務の不要化	◎(H19年9月)	○	○
	過圧防止装置の省略	◇(見直し要請済)	◎(H18年10月)	◎(H18年10月)
消防法 関連	設置届出義務の不要化	◎(H22年3月)	□	○
	設置保有距離の省略	◎(H22年3月)	□	○
	逆火防止装置の省略	◎(H22年3月)	□	○

◎:本事業の成果を活用し、規制適正化を完了。カッコ内は条文改正年月を示す。

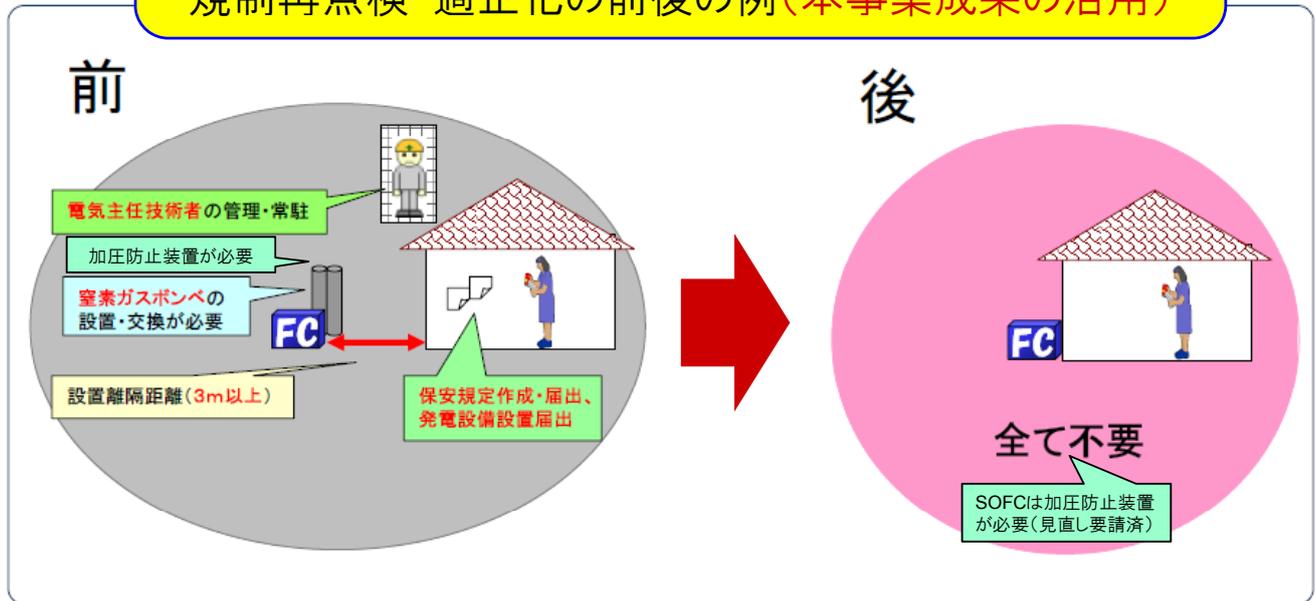
○:H16年度以前に規制適正化を完了。

◇:本事業の成果を活用し、規制当局へ規制見直しを要請済。

□:適正化要望を一旦保留

国内規制再点検・適正化の状況 ~定置用燃料電池(2)~

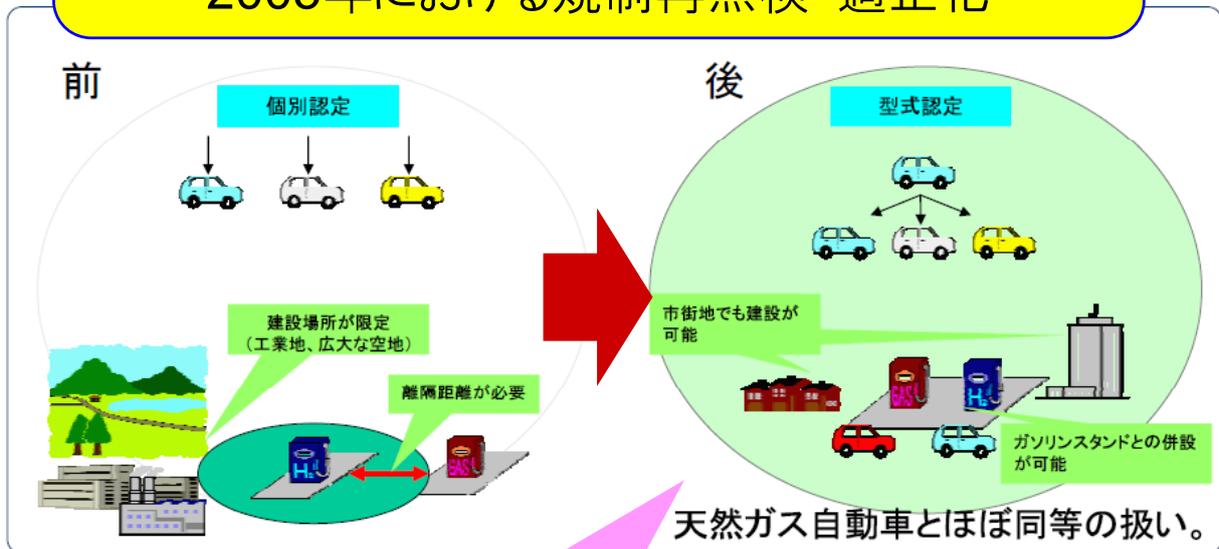
規制再点検・適正化の前後の例(本事業成果の活用)



家庭用PEFC、SOFCの導入・設置が格段に容易かつ円滑になると共に、設置  
 運転費用やシステム価格の低減が進んだ。

国内規制再点検・適正化の状況 ~FCV・水素インフラ(1)~

2005年における規制再点検・適正化



ただし、これらは水素充填圧35MPaのFCV、水素インフラが対象。

⇒ 本事業において、70MPa対応のためのデータを取得すると共に、  
 商業ベースの水素ステーション設置のためのデータ取得も進めた。

## 国内規制再点検・適正化の状況 ～FCV・水素インフラ(2)～

## 【FCVの状況】

本事業において、FCVの高圧水素容器・附属品に係る新基準策定のためのデータが取得され、H22年発行予定の新基準案の作成に活用された。

	現行基準(JARI S)	新基準Step1	新基準Step2
発行年月	2005年3月	ハブコメ終了。 発行作業中	(2012年度発行予定)
最高充填圧力	35MPa	70MPa	(87.5MPa@85℃)
寿命:試験サイクル数	11,250回	5,500回	5,500回
温度範囲	-40℃~85℃	-40℃~85℃	-40℃~85℃
試験	平行、初期性能	使用環境負荷試験	累積、使用環境負荷

最高使用圧の70MPa化、および設計確認試験の適正化(使用可能材料は、A6061-T6、SUS316Lのまま)

国際調和活動結果を国内基準へ反映するとともに、使用可能材料を拡大(「高圧水素環境化での材料の標準評価法」による材料選定の自由度拡大)

## 国内規制再点検・適正化の状況 ～FCV・水素インフラ(3)～

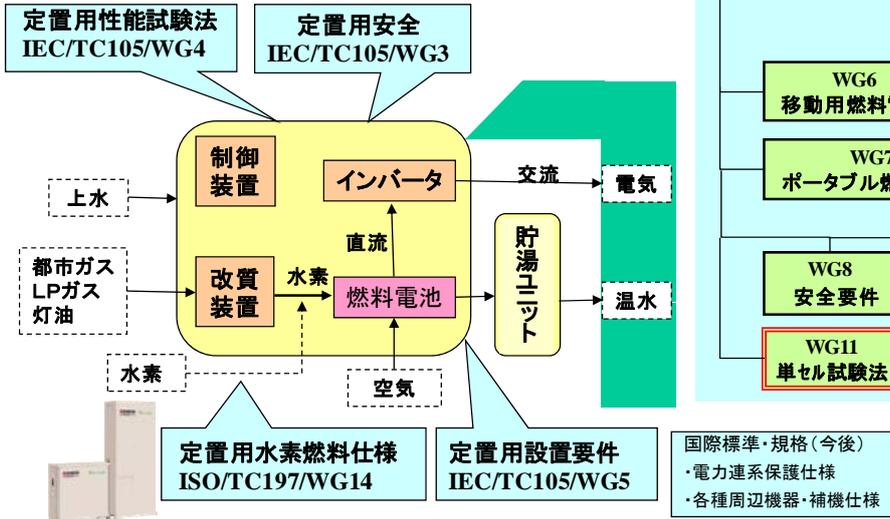
## 【水素インフラの状況】

本事業において70MPa充填対応の技術基準策定のためのデータが取得され、H22年3月に関係省庁に提出された新基準案の作成に活用された。

		35MPa水素スタンド*	70MPa水素スタンド*
高圧ガス保安法	法整備	一般則「7条の3」が2005年4月に発行、例示基準案は審議中	省令案、例示基準案を提出済み
	・保安距離の見直し	6m(公道、敷地境界から等)	【案】6~10m
	・保安統括者、常駐義務の見直し	保安監督者の選任(常駐不要)	【案】35MPa同様
	・LH2輸送容器の充填率見直し	充填率の増加(98%)	
建築基準法	・水素スタンドの建築可能地域拡大	準工業、商業、準住居地域等に建設可能	【案】35MPa同様
	・水素貯蔵量制限の見直し	準工業(3500m <sup>3</sup> )、商業(700m <sup>3</sup> )、準住居(350m <sup>3</sup> )に拡大	(35MPa水素スタンド並みでは普及に支障)
消防法	・水素スタンドとガソリンスタンドの併設見直し	併設可能	【案】併設可能

国際標準化の状況 ~燃料電池(1)~

IEC/TC105では、形式・種類を区別せずに、種々の用途の燃料電池を対象として規格化が進められている。



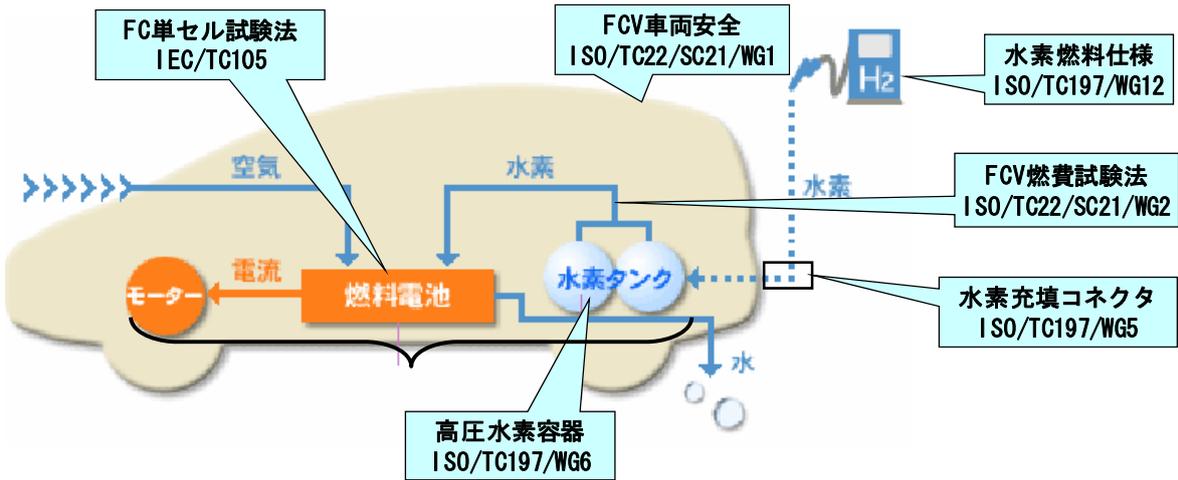
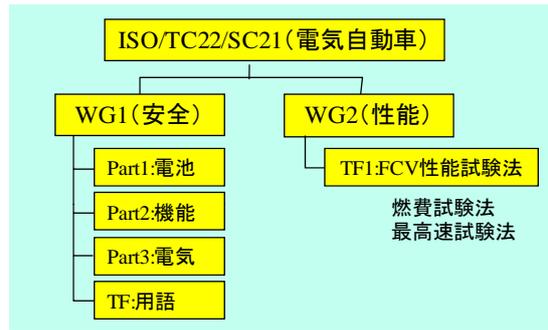
国際標準化の状況 ~燃料電池(2)~

これまで国際規格(IS)が8件、技術仕様書(TS)が2件が発行されている。本事業で取得されたデータが活用され、日本が主導的な役割を果たしている。

対象	審議WG	名称(内容)	規格番号	種別	発行年月	コンビナ	進捗状況
共通	WG1	用語と定義	IEC TS62282-1	TS	2010年4月	米国	改定作業完了 日本提案も取入れて大幅に用語の数を増やした第2版を発行(平成22年4月)
	WG2	FCモジュール	IEC62282-2	IS	2004年7月	ドイツ	改定作業中 日本からは、SOFCの内容を中心に17件のコメントを提出。
定置用	WG3	安全要件	IEC62282-3-1	IS	2007年4月	米国	改定作業開始 日本および米国から、それぞれ国内規格との整合を取るためのコメントを提出し、国際WGで審議中。
	WG4	性能試験法	IEC62282-3-200	IS	2006年3月	日本	改定作業中 第2版ドラフト(CDV)照会中。
		性能試験法(小型PEFC)	IEC62282-3-201	CD	-	日本	日本からJIS規格をベースとして新規提案 平成21年5月のTC105国際会議から審議を開始しており、第1版ドラフト(CD)審議中。
WG5	設置要件	IEC62282-3-3	IS	2007年11月	ドイツ	改定作業中 委員会原案(CD)に対する各国意見の審議を終了。CDV発行準備中。	
ポータブル	WG7	安全要件	IEC62282-5-1	IS	2007年2月	米国	改定作業中 CDIに対する各国意見の審議を終了。CDV発行準備中。
マイクロ	WG8	安全性	IEC62282-6-100	IS	2010年3月	米国	規格分割化の作業を開始 前身のIEC PAS62282-6-1は国際間輸送規制での安全性確保のためのICAO技術仕様書で引用規格として採用されており、発行されたIEC 62282-6-100は、IEC PAS62282-6-1との置き換えを予定。 (現在保留事項審議中) ICAO (International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関)
	WG9	性能試験法	IEC62282-6-200	IS	2007年11月	日本	改訂作業中 第2版ドラフト審議中(CD照会中)。
	WG10	互換性	IEC62282-6-300	IS	2009年6月	日本/韓国	改訂作業中 互換性カートリッジの新規追加のためのドラフト審議中。なお、別規格として「デバイスとの互換性」の規格化を計画。
共通	WG11	単セル試験法	IEC62282-7-1	TS	2010年6月	日本	PEFCの単セル試験方法を発行。SOFCの単セル試験方法を日本から提案予定(2010年12月予定)

国際標準化の状況 ~FCV(1)~

FCVの国際標準化の活動は、ISO/TC22/SC21 (電気自動車)の中に設置されているWG1(安全)とWG2(性能)、およびTC197(水素技術)の中に設置されたWG5(水素充填コネクタ)、WG6(車載用圧縮水素容器)、WG12(FCV用水素製品仕様)で行われている。



国際標準化の状況 ~FCV(2)~

本事業で取得した試験データが活用され、ISOの審議を日本がリードし国際標準化が進んでいる。日本が貢献した発行済み規格はIS7件、TS2件、TR1件である。

対象	WG	名称(内容)		規格番号	発行	コピナ	進捗状況	
ISO/TC22/SC21 (電気自動車)	WG1	安全	EVの運用	Part1:電池	ISO23273-Part1	2009.9	ドイツ	2007年2月より改正作業開始、パート1&2は2009年9月に発行。そのうち、パート2機能安全は、日本がPLを務めた。パート3は2ndDISの発行を予定。 2004年11月にTR化に合意。ISO6469改正の動きに合わせて継続審議中
				Part2:機能	ISO23273-Part2	2009.9		
				Part3:電気	ISO23273-Part3	2006		
				TF:用語 (TR化)				
	WG2	性能	TF1: FCV性能試験法	燃費	ISO23828	2008.5	日本	
最高速 (TR化)				TR11954	2008.10	JARIの試験成果を盛り込み、質量法、圧力法、流量法を用いた燃費測定法が発行された。 2006年11月つくば会議での審議の結果、TRとして議論をまとめ、2007年10月WGで内容合意。投票の結果、承認され、2008年10月に発行		
TF3:EV排ガス・燃費試験法				ISO23274(外部充電ナシ) NWIP(外部充電アリ)	2007.6	・外部充電無しHEVの排ガス燃費試験法は2007年6月に発行済み。 ・現在は、日本がPLで、外部充電有りの原案作成中。2009年10月、日本からのNP提案が承認		
ISO/TC197 (水素技術)	WG5	水素充填コネクタ		ISO17268(35MPa)	2006.6	カナダ	2006年6月に迅速法により、SAE J2600をベースとしてIS17268が発行した。引き続き改訂審議に移行し、2009年9月バンクーバー会議において70MPa標準構造として日本提案が選定され、DIS17268に記載された。(2010年6月否決)	
	WG6	車載用圧縮水素容器		TS15869	2009.2	カナダ	国内では、経年劣化を想定した新基準案策定作業を進めており、2008年8月の投票においてDIS15869.3を否決した結果、TS化に賛成するコメント多数であり、2009年2月にTS15869が発行された。	
	WG12	FCV用水素製品仕様		TS14687-2	2008.3	日本	日本が幹事国となり、先ずは小規模導入段階用としてTS化を目標に活動。2006年12月の投票の結果、承認され、2008年3月TS発行。今後、IS化に向け、各国が協力して試験研究を実施し、2012年を目処にIS化の予定。現在CD回付が終了し、DIS策定の審議中	

国際標準化の状況 ~水素インフラ(1)~

水素インフラ関連の国際標準化は、ISO/TC197(水素技術)で進められている。



国際標準化の状況 ~水素インフラ(2)~

ISO/TC197では3つのWGで日本がコンビナとなっている。

WG9(改質器)では、効率計算式の日本提案が採用され、Part2(効率)のISが発行された。また、WG13(水素検知器)でも日本の意見を反映したISが発行された。

審議WG	名称(内容)	規格番号	種別	発行年月	コンビナ	進捗状況
WG5	水素充填コネクタ	IISO17268(35MPa)	IS	2006年6月	カナダ	2006年6月に迅速法により、SAE J2600をベースとしてIS17268が発行された。引き続き改訂審議に移行し、2009年9月バンクーバー会議において70MPa標準構造として日本提案が選定され、DIS17268に記載された。(2010年6月否決)
WG6	車載用圧縮水素容器	TS15869	TS	2009年2月	カナダ	国内では、経年劣化を想定した新基準案策定作業を進めており、2008年8月の投票においてDIS15869.3を否決した結果、TS化に賛成するコメント多数であり、2009年2月にTS1が発行された。
WG8	水電解水素製造装置	ISO22734-1(工業用) DIS22734-2(家庭用)	IS	2008年6月	カナダ	Part1(工業用)は2008年7月ISが発行され、Part2(家庭用)は現在DIS案審議中。2010年9月に東京会議にて審議予定。FDIS案2010年11月予定。
WG9	改質器	ISO16110-1(安全性) ISO16110-2(効率)	IS	2007年3月 2010年2月	オランダ	Part1(安全性)は2007年3月にISが発行。Part2(効率)は日本からの効率計算式についての提案が採用され、2010年2月にISが発行された。
WG10	MH容器	ISO16111	IS	2008年11月	米国	2008年11月にISが発行され、UN国連危険物輸送委員会に引用された。Part 2として120ml以下のマイクロMH容器の国際標準化の提案(カナダ)が検討中。
WG11	水素ステーション	TS20100 CD20100	TS/CD	(TS)2008年4月	カナダ	先ずTS化を目指し、2008年4月にTS20100が発行され、その後IS化に向けて作業中。CD20100への各国コメントを集約し、現在DIS原案策定中。2010年9月東京会議にて審議予定。
WG12	FCV用水素製品仕様	TS14687-2 CD14687-2	TS	(TS)2008年3月	日本	日本が幹事国となり、先ずは小規模導入段階用としてTS化を目標に活動。2006年12月の投票の結果、承認され、2008年3月TS発行。今後、IS化に向け、各国が協力して試験研究を実施し、2012年を目処にIS化の予定。現在、DIS策定の審議中
WG13	水素検知器	ISO26142	IS	2010年6月	日本	日本が幹事国となり、日本メーカーの意見を反映させ、順調に作業され、2010年6月にISが発行された。IEC/TC31との重複標準化が懸念されたがTC議長間の調整により、TC197WG13にて国際標準化が進められた。
WG14	定置用FC水素製品仕様	CD14687-3	CD		日本	日本が幹事国となり、2009年11月に新規提案が採択され、2010年3月東京にてキックオフ会議実施。スコープ(範囲)・対象について議論。2010年9月にカナダにて第2回会議を開催して、CD案を作成予定。
WG15	蓄圧器	WD15399	WD		フランス	2010年1月仏提案にて発足。2010年5月にエッセンにてキックオフ会議実施。スコープ(範囲)・対象について審議。2010年秋に第2回会議実施予定。

本事業の目的

本事業は以下に示す①～③の3項目を、FCV、定置用燃料電池、水素供給インフラ等に共通する燃料電池実用化のためのソフトインフラとして位置づけ、産業界との密接な連携の下で、グローバル・マーケットの先取りを視野に入れた高度な技術基準・標準化案を国内および国際標準に提案するためのデータを取得すると共に、そのデータ取得に係わる技術を開発することを目的としている。

- ① 燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得
- ② 国際標準の提案
- ③ 製品性能を単一の物差しで評価する試験・評価手法の確立



FCV・水素インフラ、定置用燃料電池等の開発・普及の動向、国内規制の見直しおよび国際標準化の状況と照らし合わせて見て、本事業の目的は妥当であると判断される。

本事業の位置づけ

政策動向を踏まえつつ、前事業の成果を活用して、FCV・水素インフラ、定置用燃料電池の規制見直し、国際標準化に取り組んだ本事業の位置づけは妥当であると判断される。

		平成12～16年度		平成17～21年度	平成22～24年度
事業		固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 水素安全利用等基盤技術開発		水素社会構築 共通基盤整備事業	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 他
定置用燃料電池	基準	PEFCの設置に係る規制見直し(5項目)		純水素FC、SOFCの設置に係る規制見直し	純水素FCの設置に係る規制見直し(消防法)
	標準	IEC/TC105国際標準化、JIS化		IEC/TC105国際標準化、JIS化	IEC/TC105国際標準化、JIS化
FCV	基準	高圧水素容器・付属品技術基準(JARI S)		高圧水素容器・付属品技術基準(STEP1)	高圧水素容器・付属品技術基準(STEP2)他
	標準	ISO/TC22/SC21、ISO/TC197(水素燃料・製品仕様)国際標準化		ISO/TC22/SC21、ISO/TC197国際標準化	ISO/TC22/SC21、ISO/TC197国際標準化
水素インフラ	基準	35MPa水素スタンド規制見直し(8項目)		70MPa水素スタンド技術基準	水素インフラに係る規制見直し(17項目)
	標準	ISO/TC197国際標準化		ISO/TC197国際標準化	ISO/TC197国際標準化
政策		「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が燃料電池に係る規制の再点検項目取纏め、平成16年度中の終了明示(H14年10月)			エネルギー基本計画第2次改定による規制見直し、国際標準化活動の戦略的活動強化(H22年6月)

国内の規制再点検及び国際標準化活動の動向を踏まえながら、平成19年度を目途に「規制の再点検」、「共通試験・評価技術の確立」、「国際標準化」に必要なデータを取得し、そのデータに基づき平成21年度までに国内基準案、国際基準案の作成等を行う

研究開発項目	開発目標
(1) 燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	①国内規制(高圧ガス保安法、道路運送車両法等)緩和のための <b>安全検証・裏付けデータ取得</b> ②燃料電池自動車 <b>性能評価手法の確立</b> ③ <b>国際標準(ISO/TC22/SC21, ISO/TC197)への提案・意見反映</b>
(2) 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	①システム大規模導入にむけた国内規制緩和(電気事業法、消防法)のための <b>安全検証・裏付けデータ取得</b> ②効率等基本性能、耐環境性 <b>評価手法の確立</b> ③ <b>国際標準(IEC/TC105)への提案・意見反映</b>
(3) 水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	①35MPa・70MPa充填対応水素スタンドや液体水素スタンドに係る <b>安全検証・裏付けデータ取得</b> ②水素スタンド機器等水素環境下での <b>適用材料候補の探索・特性評価・裏付けデータ取得</b> ③水素燃焼・拡散挙動等基礎物性データ把握

平成19年度を目途にデータを取得し、平成21年度までに基準・標準案の作成等を行う。

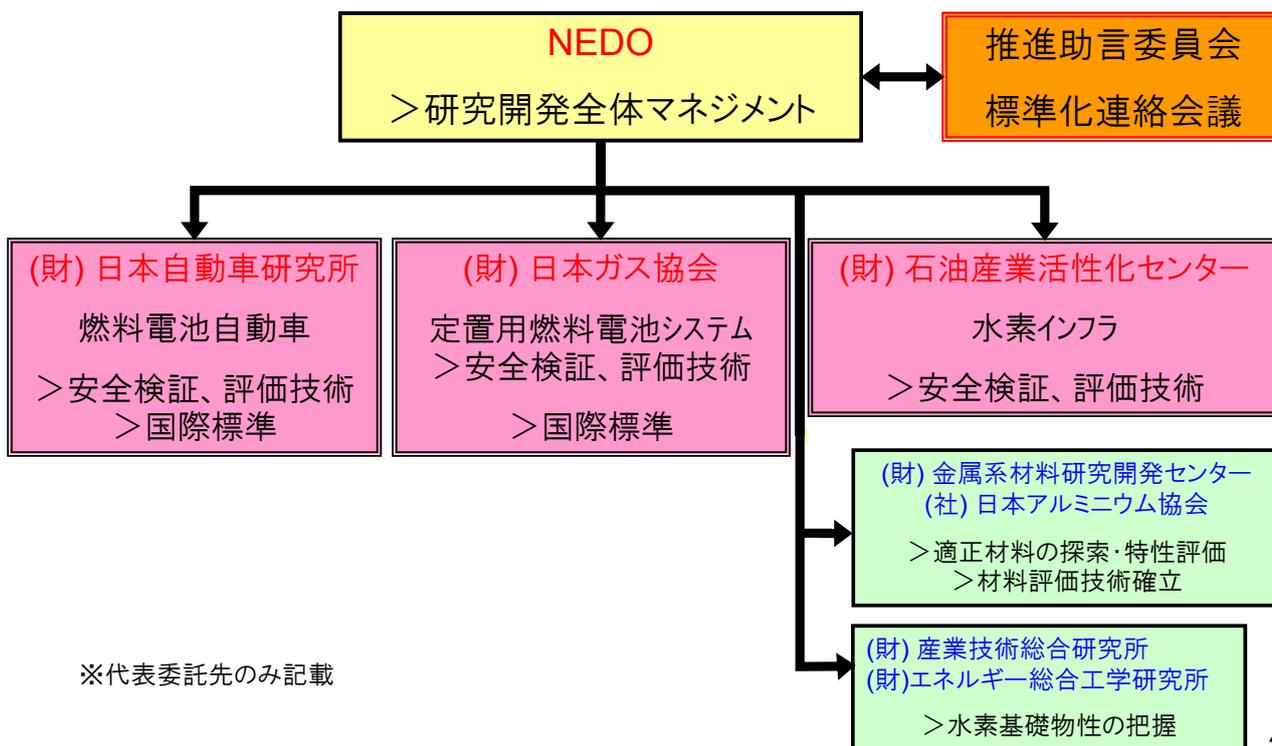
研究開発項目	17	18	19	20	21
<b>燃料電池自動車</b> ・FCV用水素規格 ・圧縮水素容器基準適正化 ・安全管理マニュアル作成				▼中間評価	
				国際標準(IEC/TC105、ISO/TC22 ISO/TC197)への反映	
	↑			★水素仕様TS	★燃費試験法NP提案 ★高圧容器改訂 ★安全管理マニュアル作成
				試験法確立・データ取得→案作成	
<b>定置用燃料電池</b> ・安全要件改訂 ・性能試験法標準化 ・単独運転検出技術確立					
				国際標準(IEC/TC105)への反映	◎H22改訂終了
	↑			小型PEFC試験法 ★用語	★安全要件、設置基準 ★単セル試験法
				試験法確立・データ取得→案作成	
<b>水素インフラ</b> ・35MPaスタンド 安全性検証 ・70MPaスタンド 安全性検証					★70MPa基準化提案 ★35MPa基準化提案
				安全検証・データ取得→技術基準案作成	
<b>材料</b> ・水素用材料基礎物性 ・水素用アルミ材料					
				業界、関係者へのデータの提供	
				↑	
				適用材料候補探索・業界要望材料特性データ取得	
<b>水素安全性</b> ・水素の燃焼挙動把握 ・安全対策に関する検討					
				★水素安全講演会	
				水素燃焼挙動等物性把握	★ガイドブック発行

予算の推移 ○平成21年度までの開発予算は約120億円。  
 ○特に当初2年間は、安全性検証のための機械装置費等に充当(約50%)、試験環境の整備を充実させた。

テーマ		平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	総計
事業全体		2936	3992	2406	1375	901	11610
A. 燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発		930	857	671	585	311	3354
B「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」		434	492	638	115	118	1798
	(1) 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	(434)	(492)	(638)	(115)	(88)	(1768)
	(2) マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	-	-	-	-	(30)	(30)
C「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」		1572	2643	1098	675	472	6459
	(1) 水素インフラに関する安全技術研究	(744)	(1398)	(700)	(521)	(362)	(3725)
	(2) 水素用材料基礎物性の研究	(441)	(860)	(252)	(129)	(86)	(1768)
	(3) 水素用アルミ材料の基礎研究	(105)	(106)	(65)	(25)	(23)	(325)
	(4) 水素基礎物性の研究	(161)	(149)	(20)	-	-	(331)
	(5) 水素安全利用技術の基盤研究	(121)	(128)	(60)	-	-	(310)

研究開発の実施体制(全体)

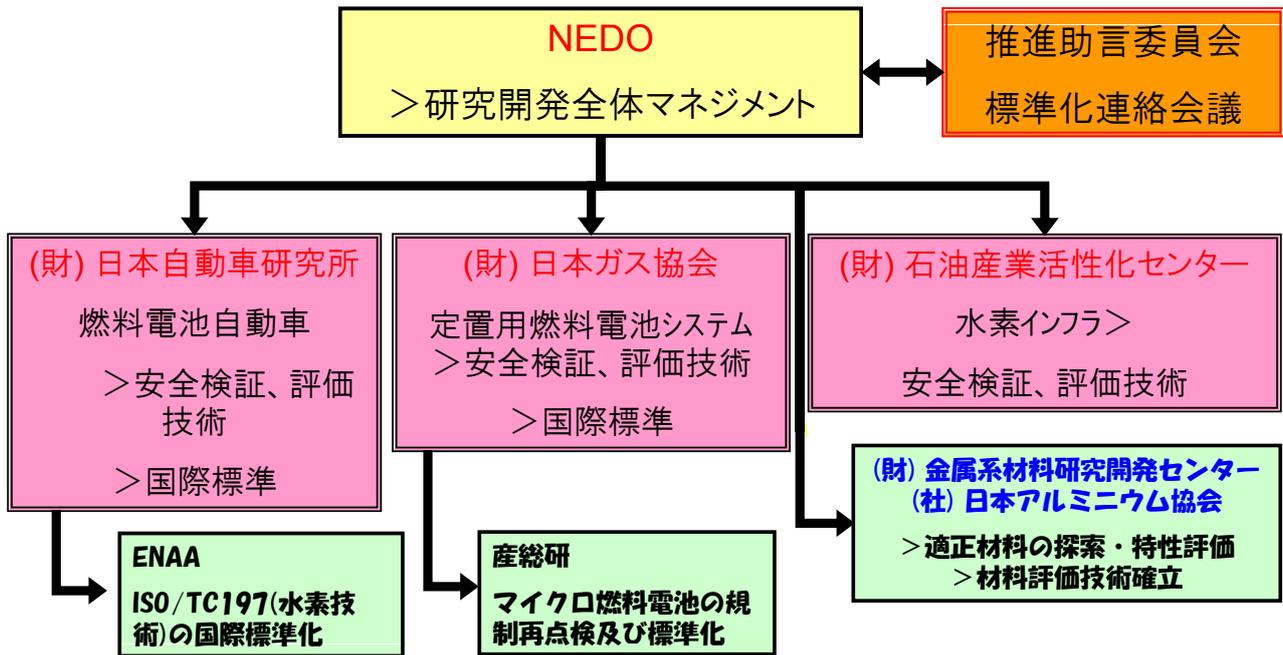
プロジェクト開始時(平成18年度)



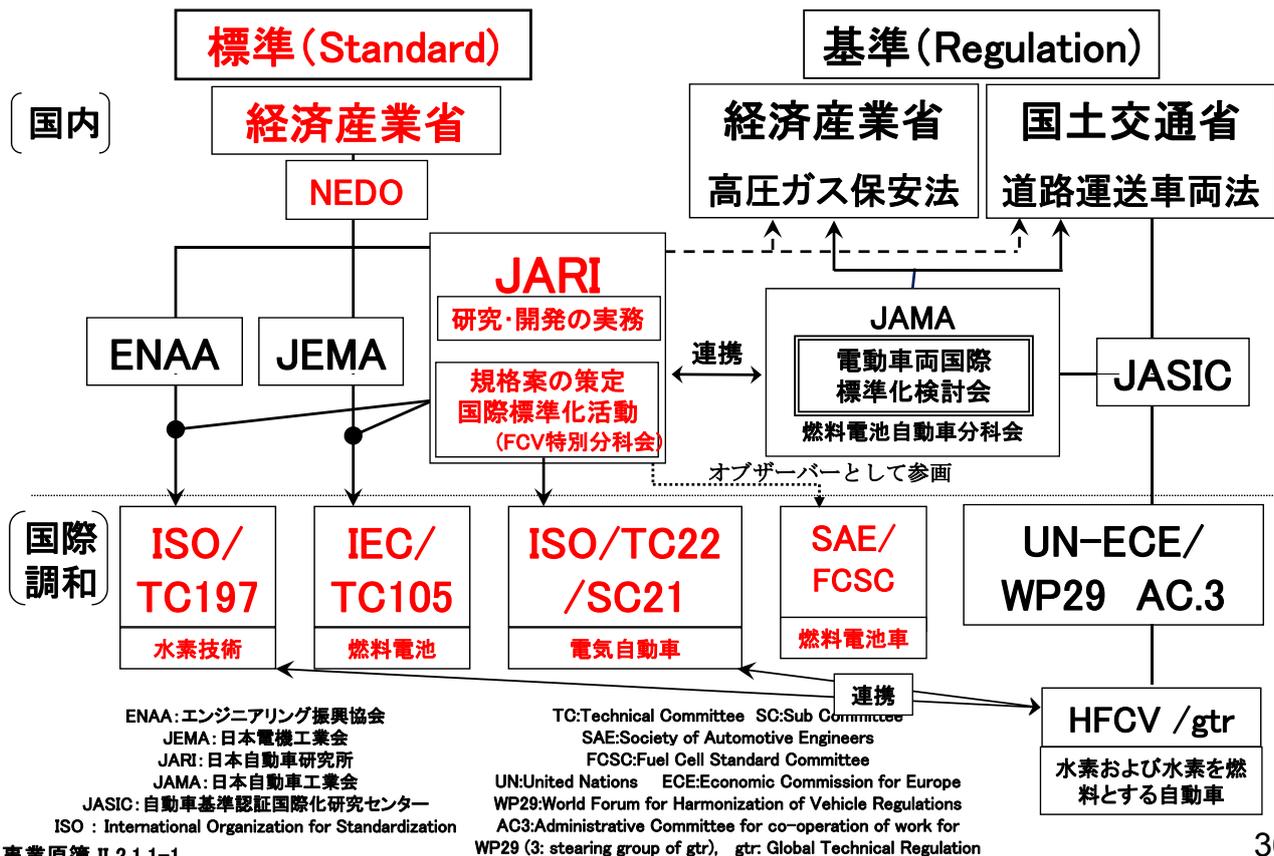
※代表委託先のみ記載

研究開発の実施体制(全体)

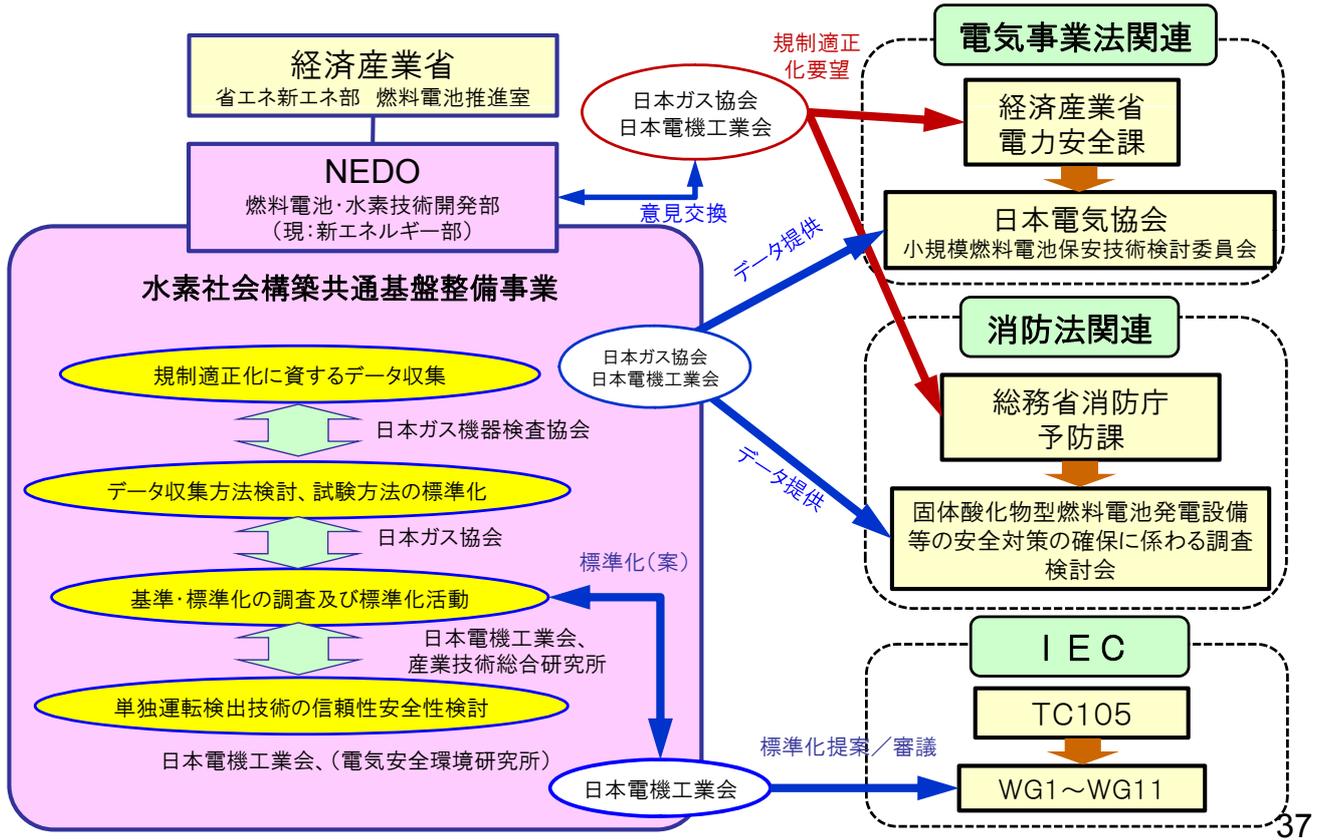
プロジェクト最終年度(平成21年度)



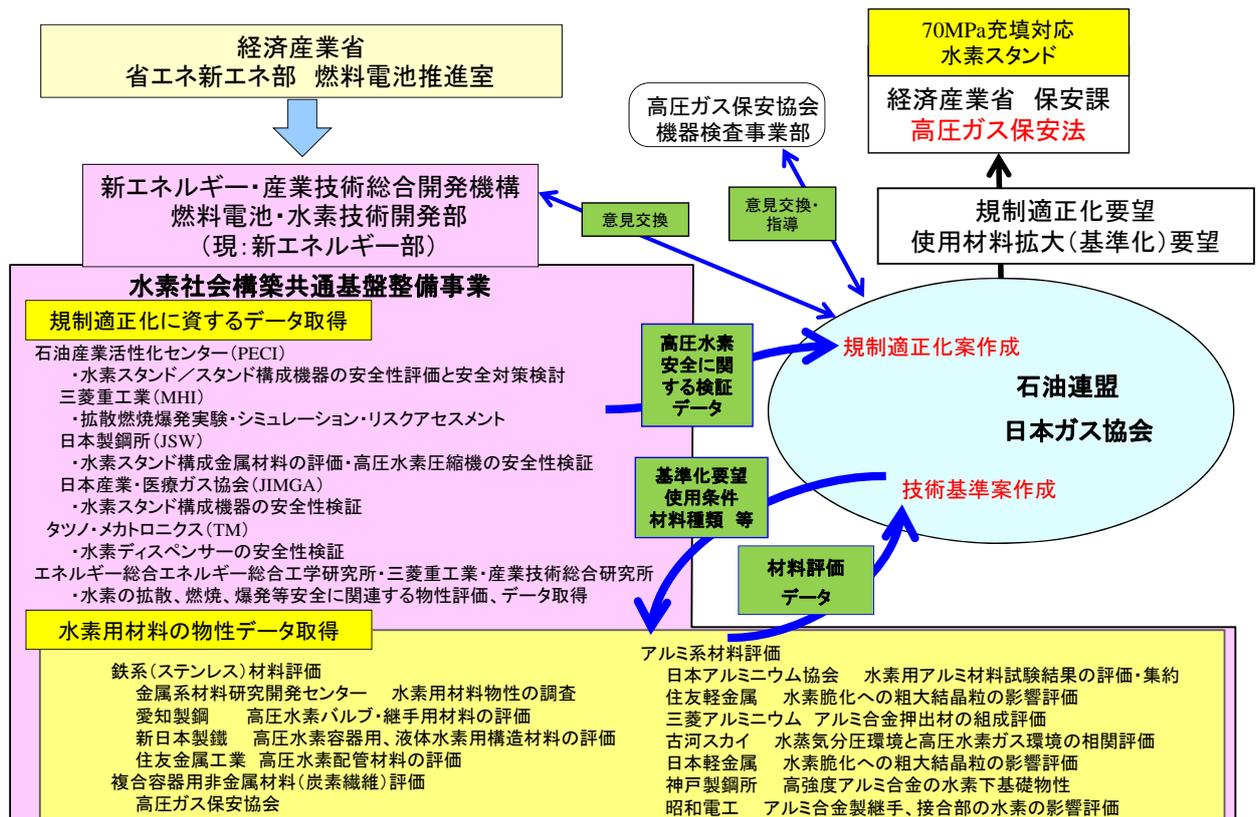
「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化」のための研究開発体制



研究開発項目B「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」実施体制



「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」実施体制



研究の運営管理

1. NEDOが運営する委員会等

(1)水素・燃料電池標準化連絡会 (1回/年)

NEDOで推進する『固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発』、『水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発』、『燃料電池システム等実証研究』における国際標準・規制見直し活動の連携・マネージメントの一環として、水素・燃料電池標準化連絡会を推進。

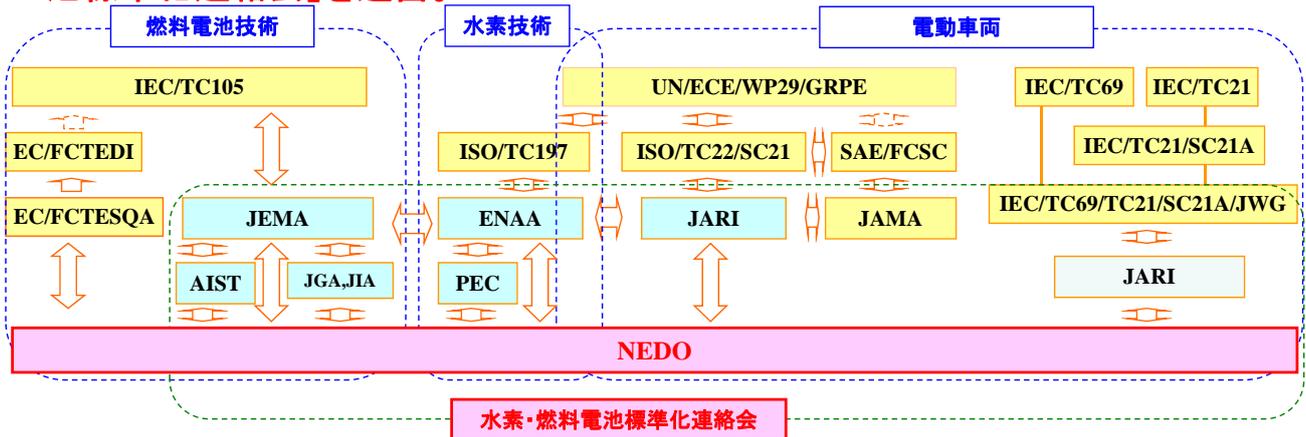
(2)推進助言委員会 (1回/年)

学識経験者や関連業界代表者等にて構成した外部有識者の意見を取り入れながら、運営管理を実施。

2. 委託先が運営する委員会

研究開発項目	研究開発テーマ	委託先	プロジェクト/委員会等	開催回数
燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発	水素燃料電池自動車の基準・標準化に係る研究開発	財団法人日本自動車研究所	FCV基礎整備委員会 (プロジェクト全体統括) FCV特別分科会 (標準化WG統括) 標準化WG (SWG, ISWG) 技術・解析WG (4WG)	2回/年 各WG 10回/年 各WG 4回/年
定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	社団法人日本ガス協会 財団法人日本ガス機器検査協会 社団法人日本電機工業会	システム試験法作業会 技術調査研究会 燃料電池標準化総合委員会 燃料電池国際標準化委員会 燃料電池国際標準化委員会WG 単独運転後出技術検証委員会	16回 3回 7回 11回 29回 3回 2回
水素インフラに関する安全技術研究	水素インフラに関する安全技術研究	財団法人石油産業活性化センター 三菱重工業株式会社 株式会社日本製鋼所 岩谷産業株式会社 日本産業ガス協会 株式会社タツノメカトロニクス 住友機工株式会社 高圧昭和ポンベ株式会社	委員会 安全委員会 評価WG	4回 7回 13回
水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	水素用材料基礎物性の研究	財団法人金属系材料研究開発センター 愛知製鋼株式会社 新日本製鐵株式会社 住友金属工業株式会社 高圧ガス保安協会	委員会 WG その他ミーティング	2回/年 4回/年 4~5回/年
水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発	水素用アルミ材料の基礎研究	社団法人日本アルミニウム協会 住友軽金属工業株式会社 三菱アルミニウム株式会社 古河スカイ株式会社 日本軽金属株式会社 株式会社神戸製鋼所 昭和電工株式会社	委員会 WG	1回/年 7回/年
水素基礎物性の研究	水素基礎物性の研究	財団法人エネルギー総合工学研究所 三菱重工業株式会社	水素の有効利用ガイドブック 1. 編集委員会 2. 編集WG 3. 編集幹事会	2回/年 2回/年 3回/年
水素安全利用技術の基礎研究	水素安全利用技術の基礎研究	独立行政法人産業技術総合研究所	その他 研究連絡会 基礎研究検討会 基礎研究講演会	2回/年 12回/年 1回/年

国際標準・規制見直し活動の連携・マネージメントの一環として「水素・燃料電池標準化連絡会」を運営。



ISO: International Organization for Standardization  
ISO/TC22/SC21: Electrically Propelled Road Vehicles  
ISO/TC197: Hydrogen technologies

UN/ECE: UN/Economic Commission for Europe  
UN/ECE/WP29/GRPE: World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation, Working Party on Pollution and Energy

IEC: International Electrotechnical Commission  
IEC/TC105: Fuel Cell Technologies  
IEC/TC69: Electric road vehicles and electric industrial trucks  
IEC/TC21: Secondary Cell & Batteries  
IEC/TC21/SC21A: Alkaline or other non-acid electrolytes  
IEC/TC69/TC21/SC21A/JWG: Secondary batteries for propulsion of electric and hybrid- electric road vehicles

EC/FCTEDI: Fuel Cell Testing and Dissemination  
EC/FCTESQA: Fuel Cell Testing, Safety and Quality Assurance

SAE: Society of Automotive Engineers  
SAE/FCSC: Fuel Cell Standards Committee

AIST: (独)産業技術総合研究所  
ENAA: (財)エンジニアリング振興協会  
JAMA: (社)日本自動車工業会  
JARI: (財)日本自動車研究所  
JEMA: (社)日本電機工業会  
JGA: (社)日本ガス協会  
JIA: (財)日本ガス機器検査協会

### (1) 燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発

- 燃料電池自動車用70MPa級高圧水素容器の安全性検討の一環として、高圧水素標準化WGの下に**充填プロトコルSWGを設置**し、水素充填時の充填プロトコルの国際標準SAE J2601をはじめとする**燃料電池自動車と水素ステーションの共通領域・インターフェイスの国際標準化**に資するに係る研究開発を推進。
- また財団法人エンジニアリング振興協会への再委託により**ISO/TC197(水素技術)の国際標準化**の研究を実施した。
- また2008年より、国連における**UN-ECE/WP29/AC3 gtr(世界統一基準)化活動の第1フェーズが開始**され、自工会等の業界と連携してgtr策定・見直しに向けた車両および水素安全に関するデータ取得を推進した。

### (2) 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

- 10kW未満の**SOFC**向け規制再点検対応では、現在進行中の大規模実証研究を睨み、機器共通の安全性評価試験方法開発を加速すると共に、**安全性検証データを補強**した。
- 定置用燃料電池システムの既存電力供給システムへの導入に関し、FCCJからの要請を受け、**複数台連系時の相互干渉対策(インバーター方式)を追加検証**することとした。(H17年度)

41

### (2) 定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発 (続き)

- 現在は戸建て住宅への設置が中心となっているPEFC、SOFC、純水素型の小規模定置用燃料電池システムについて、**将来のマンションなど集合住宅への設置を見据えた小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に関する調査・机上検討を追加**。(H19年度)
- 単独運転検出技術の検証**において、実証試験結果とシミュレーション解析の間に若干の差異が生じており、「単独運転検出技術検証委員会」の審議の中で、負荷の電圧に対する非線形特性が影響していると推定され、この影響について解析する必要が生じたため、**負荷の非線形特性の影響についてのシミュレーション解析を追加実施**。(H20年度)
- PEFCについては、本事業にて取得したデータを活用し、過圧防止装置の省略化が実現されたが、その当時、固体酸化物形燃料電池は一般用電気工作物に指定されておらず、過圧防止装置省略化の審議対象外であった。その後、平成19年9月にSOFCも一般用電気工作物に指定され、SOFCメーカー等より過圧防止装置の省略化要望が出されるようになってきたことなどを受け、**過圧防止装置省略化の実現に向け、PEFCと同様に、過圧防止装置省略における安全性に関するデータ収集を実施**。(H21年度)
- マイクロ燃料電池システムを平成21年度に本事業に組み入れて実施。

42

## (3) 水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

- 第2期JHFCプロジェクトにて計画されている70MPa級水素供給インフラの検討にも反映させるために、安全確認検証(例70MPa級車載高圧水素容器 検証、実証終了プロジェクトから得た水素曝露機器の解体調査等)、70MPa級蓄圧器材料等物性補強データ取得等を実施した。
- 水素インフラの安全性検証データ取得に関わる3つのテーマ「水素インフラに関する安全技術研究」、「水素基礎物性の研究」、「水素安全利用技術の基盤研究」について、「水素基礎物性の研究」、「水素安全利用技術の基盤研究」を平成19年度で終了し、「水素インフラに関する安全技術研究」のみとした。
- また水素の有効利用ガイドブックを作成・配布し、関係者間および事業間の情報交流を進めた。

## 【平成19年度中間評価の概要及び対応】

	指摘事項	対処方針	計画等への反映
1	開発テーマ間あるいはサブテーマ間の横断的な連携体制を強化することにより、省力化、低コスト化、さらには迅速なデータ収集に繋げることが望まれる。	開発テーマを複数の企業等において実施している場合においては、当該テーマに係る委員会等において、一層の情報交換を進める。 また、当該プロジェクト全体に係る推進委員会において、一層、情報交換・意見交換を進める。なお、特に関連の深いテーマ間については、NEDOが実施者間の意見交換の場を別途設けるものとする。	NEDOのプロジェクトマネジメントに反映。また必要に応じて実施計画に反映。
2	一部には類似した取り組みが見られるため、相互の情報共有をより活発にし、より効果的な事業展開が必要。		
3	規制再点検、コストダウンに偏ることなく、安全確保という大きな目標を常に持ち続けることが、本事業の成果を国際標準化に結びつけるためにも不可欠。	規制の再点検に資するデータの取得及びコストダウンに資する技術開発と、安全確保のための技術開発は車の両輪と捉えて研究開発を推進。	

# 水素社会構築共通基盤整備事業

2005年度～2009年度（5年間）

## 議題5. プロジェクトの概要（公開）

- I. 事業の位置づけ・必要性
- II. 研究開発マネジメント
- III. 研究開発成果
- IV. 実用化の見通し

NEDO 新エネルギー部

2010年12月3日

1

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

事業原簿 III-1-1～5

公開

### 燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発（1/2）

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

項目	目標	成果	自己評価
①水素・燃料電池自動車の安全性評価			
a. 自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価	業界ニーズを反映させた自動車用圧縮水素容器の基準合理化項目として、容器の高圧化、最小破裂圧力および圧力サイクル数の見直しおよび使用温度範囲の拡大などに資するデータ取得、および国際基準調和のためのデータ取得および安全情報のためのデータを取得する。	70MPa化に伴うVH4容器透過試験の可否閾値や、充填サイクルに関わる容器の不具合事象の把握、および急速充填試験やガスサイクル試験を行い、容器の使用温度範囲に関わる課題の抽出、新基準Step1(容器の70MPa化と耐久性の適正化など)提案の使用環境負荷試験を行い、これらの成果は新基準Step1へ反映された。 国際基準調和の技術根拠に資するため、国内業界が推奨する圧力サイクル試験の妥当性検討のデータ、また、各種条件での車両火災時の容器周囲の温度データを取得した。これらのデータは局所火災暴露試験方法の温度プロファイルに活用された。 また、安全な消火救助の対応方法として、消炎試験や容器放水試験などを行い、水素燃料自動車の緊急対応指針策定のためのデータを取得し、試験データ集をまとめた。	◎
b. 高密度水素貯蔵技術の安全性評価	高密度水素貯蔵に関わる安全性評価試験策定に向けたデータを取得する。	安全性評価試験策定に向けた液体水素容器のボイルオフなどの断熱性能試験や液体水素漏洩時の挙動に関するデータを取得した。	○
c. インターフェイスの標準化	コネクタおよび通信に関する試験法を基に安全性、耐久性試験を実施し、インターフェイスの試験法策定に向けたデータを取得する。	充填コネクタの耐久試験を行い、日本提案70MPa水素充填ノズルがDISに採用された。また、非通信充填プロトコル標準化に係わるデータを取得し、国内水素ステーションにおける充填手順の策定に貢献した。	◎
d. 要素部品の安全性評価	要素部品、および部品が複合化されたシステムでの安全確認試験データを取得し、試験法策定に資する。	ガラス式安全弁の作動影響に関するデータ取得を取得し、新材質PRDに対する試験法策定に資するデータを取得した。	◎

2

**燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発(2/2)**

項目	目標	成果	自己評価
<b>②燃料電池性能評価法の標準化</b>			
a.燃料電池新規材料の評価試験方法	MEAの仕様、特にアノードの白金担持量が水素中の不純物による性能低下に及ぼす影響度を把握しIS(国際標準, International Standard)化のための議論に提供する。	アノードの白金担持量を低減した場合の水素中不純物による性能低下が、不純物の種類により異なることを明らかにした。担持量の低減により性能低下が大きくなる成分については、結果をTS(技術仕様書: Technical Specification)の規格値の設定に反映させた。	◎
b.燃料電池耐久性評価試験方法	FCVの水素循環系における水素中不純物の濃縮挙動を把握し、IS化のための議論に提供する。	水素中の不純物の水素循環系での濃縮挙動が不純物の種類により異なることを明らかにした。循環系で濃縮する不純物については、結果をTSの規格値の設定に反映させた。	◎
c. MEA耐久評価法	MEA材料の耐久性評価試験方法として、FCCJ, USFCC, DOEから提案されているプロトコルの協調のためのデータ取得を行う。	材料仕様の明らかなMEAを製作して各プロトコルでMEA材料(触媒, 電解質膜)の耐久性を評価し、性能低下挙動と材料劣化状態を比較した。得られたデータは、今後のプロトコルの協調と簡素化のための基礎データとなった。	◎
d.スタック、システム、車両性能評価試験方法	FCV燃費試験法IS化の議論に必要なデータを取得する。また、車両の改造を必要としない計測手法について調査検討する。	質量法や圧力法に加えて、高精度・高応答の水素流量計とともに脈動対策を講じた測定系を開発し、実際の燃費試験で流量法が目標精度を達成できることを実証した。国際規格ISO23828は日本案を十分に反映して2008年5月に発行され、目標を達成できた。	◎
e. 燃料電池自動車用水素燃料仕様	複数の不純物が水素中に存在する場合の発電性能の低下挙動の影響を把握し、IS化のための議論に提供する。	代表的な不純物の複数添加した場合の影響を調査し、各不純物を単独で添加したときの影響の和になることを明らかにし、DIS策定の議論に提供した。	◎
<b>③ 基準・標準化活動</b>			
国内外での基準・標準化	解析・技術部門各WG、及び各国内標準化WGにおいて審議し、国際会議 ISO/TC22/SC 21(電気自動車)およびISO/TC 197(水素技術)への対応を行う。	国内での活発な議論に基づき、当プロジェクトでの試験データをベースとして、ISOの審議において日本がリードして国際標準化を実施。当プロジェクト取得のデータ等が貢献した発行済み国際規格: IS 7件、TS 2件、TR 1件、その他改定も含めて4件が審議中。	◎

**定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発**

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

実施項目	目標	成果(計画分のみ記載)	達成度
(1)定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応(PEFC関連)	・試験方法の標準化 ・データ及び知見を基準・標準検討の場へ提供	5種類の試験方法を作成し、基準・標準検討(JIS)の場や、規制再検討(電気事業法)の場へ提供した。	◎
(2)次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応(SOFC, 純水素PEFC関連)	・試験方法の標準化 ・データ及び知見を基準・標準検討の場へ提供	31種類の試験方法を作成し、基準・標準検討(JIS, IEC)の場や、規制再検討(電気事業法及び消防法)の場へ提供した。	◎
(3)単独運転検出技術の確立	複数台連系時の標準方式(スリップモード周波数方式)の有効性を示すこと	単独運転検出方式として「スリップモード周波数シフト方式」を選定し、その信頼性、安全性を評価・検証した。	◎
(4)小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討(集合住宅設置関連)	・国際標準素案、安全性試験方法の作成 ・標準検討の場へ提供	4種類の安全要件及び試験方法と、国際標準素案を作成し、基準・標準検討(JEM規格、IEC)の場へ提供した。	◎
(5)国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進	本事業の成果及び国内基準の国際標準への反映	本事業の成果や国内基準を反映するなどして、国際標準規格策定を推進し、IEC/TC105における国際規格開発(IS: 8件、TS: 2件)に寄与した。	◎
(6)規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集	安全要件を検証・確認するためのデータ収集の実施	SOFCに係わる3種類の安全性データ収集を実施し、規制再検討(電気事業法)の場へ提供した。	◎

## マイクロ燃料電池システム等に係る規制再点検および標準化のための研究開発

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
①メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法	ローカルイフェクト(LE)が存在する場合のLEの大きさ評価のため、時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法について検討を行う。それに基づいて基盤データを取得し、 <b>分析計測方法を確立</b> する。	現状のLE試験方法に関し、ギ酸のような高吸着性ガスでは活性炭捕集管法に比べてインピンジャー捕集法の方がより好適であることが示された。このような基盤データの収集により、LEの場合の望ましい <b>ガス分析技法が明確にされ</b> 、今後見込まれるIEC 62282-6-100改定作業に向けた <b>指針が得られた</b> 。	○	LEがある場合の排出ガス測定に関しては、測定時の周囲環境気流や人体由来気流による影響の評価とそれに基づく、より合理的な安全基準への反映が今後の課題である。
②メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法	<b>燃料不純物特性に関する燃料評価試験方法</b> について基盤データを取得し、つつ検討を行い、安定動作可能となる <b>基本的評価手法を確立</b> する。エタノール、アセトアルデヒド、酢酸等の <b>低分子有機化合物</b> についての基盤データを取得し、その影響を評価する。	・低分子有機化合物の影響度については、当該規格の燃料試験法に基づく評価試験によってその序列に異なる結果が得られ、 <b>再検討の余地のあることが示唆</b> された。 ・レファレンス燃料による繰返し約 300 回、2000 時間超の断続運転試験で、10 % /1000 h 以下の性能低下率の結果が得られ、基本的に国際規格における <b>燃料評価試験の実施可能性の見通しを得た</b> 。 ・今後の改定作業に備えて、基盤データを取得することができた。	○	国際規格の未検証部分、システムを想定した燃料循環による不純物・生成物等の濃縮、不純物の影響を検討するためのメカニズムの研究、運転モードの影響の検討、加速試験などが今後の課題である。

5

## 水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

### (1) 水素インフラに関する安全技術研究

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

項目	目標	成果	自己評価
①70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証	平成21年度までに必要なデータを取得し、 <b>基準見直し案</b> を作成する	・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、 <b>基準見直し案</b> をとりまとめた ・平成22年3月に規制監督官庁へ <b>同見直し案</b> を提出した	○目標達成
②液体水素スタンドの安全性検証	平成18年度までに必要なデータを取得し、 <b>基準見直し案</b> を作成する	・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、 <b>基準見直し案</b> をとりまとめた ・液体水素スタンドの新規建設の計画が無いため、監督官庁への <b>基準見直し提案</b> はペンディング中	○目標達成
③水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討	消防法見直しのための検討とデータ取得・提供	・水素スタンドに関する規制見直し(5項目)の安全性検証データを提供した。 ・このうちの4項目について、その安全性が認められ消防庁の検討委員会報告書へ反映された。(1項目は机上検討における安全性が認められた)	○目標達成

6

(2) 水素用材料基礎物性の研究 1/2

項目	目標	成果	自己評価
①例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供	・70MPa級機器用材料データ取得  候補材であるSUS316L、A6061-T6、A6061-HS等の評価	・99MPa高圧水素雰囲気下材料試験装置の導入他評価手法の充実 ・70MPa 機器用材料の基準化に向けた候補材・比較材の特性データ取得 ・ <b>車載容器に関する技術基準策定に貢献</b> <b>「70MPa圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」</b> <b>(KHK S 0128、H22.7.23制定)</b>	◎ 目標達成
②評価材料種の拡大(新規開発材料評価含む)	・上記候補材以外の材料データ取得	・各種SUS(含新鋼種STH1, STH2), Al合金, 合金鋼(含高Mo-V添加鋼), チタン・チタン合金 他のデータ取得	◎ 目標達成
③複合容器向け材料の評価	CFRPの特性データ拡充	CFRPのストレスラプチャー, 疲労データ蓄積 <b>METI FRP製水素用貯槽設計基準の関する調査委員会にデータ提供</b>	○ 目標達成
④材料特性簡易評価法の適用拡大	試験片内微小空隙に高圧水素環境を設定する方法の適用拡大	評価条件の拡大(低温～高温・高圧, 疲労など)	○ 目標達成

7

(2) 水素用材料基礎物性の研究 2/2

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

項目	目標	成果	自己評価
⑤基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究	「①例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価」の裏付けデータおよび関連基礎知見の取得	・試験周波数の疲労特性に及ぼす影響把握 ・γ系SUSの水素環境脆化因子の解析 成分偏析, Ni,Cr量・Ni当量・N量の影響把握, すべり変形モード・マルテンサイト変態の影響把握など	◎ 目標達成
⑥その他活動,ノウハウ重要知見の蓄積と情報公開	・長時間使用水素関連機器の劣化度調査 ・トライボロジー特性研究 ・液体水素用材料データ取得 ・取得データ、技術情報の関係者及び一般への開示、データベースの拡充等	・長期使用水素関連機器解体調査(高松stn., LH2ロリ, 有明水素stn. 他) ・トライボロジー特性研究 ・ <b>液体水素中材料特性評価</b> (STH1,2, γ系SUS溶接材疲労, 変形数値シミュレーション等) ・ <b>水素有効利用ガイドブック</b> の材料技術関連章項全70余頁の執筆 ・鉄鋼協会, 圧力技術誌等への組織的成果発信 ・データベースの拡充	○ 目標達成

8

(3)水素用アルミ材料の基礎物性

達成度「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、の発生要因の調査	6061および7075合金について、温度・速度との関係で、発生条件を調査し、粗大化試験材について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	発生条件および耐水素脆化性に及ぼす影響を明らかにした。	◎	他材種での同様な検討。一般原理の導出。
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	6061合金より高強度の8合金について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	6000系はすべて、また7000系の一部も十分な耐水素脆化性を持つと判断された。	◎	機構解明。高圧試験データ取得。
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査	高圧下で脆化する試験材(非実用)を調製し、高圧下での試験データと水蒸気制御大気環境下でのデータを対応付ける。	7000系の1材種について、25%RHの大気と70MPaの高圧水素が同等の環境であることを示した。	○	材種の拡大。
④水素挙動の解明	水素マイクロプリント法、昇温脱離分析などにより、アルミニウム中の水素の移動、トラップなどの挙動を解析する。	環境による材料内水素の挙動の差がないこと、水素侵入・放出において第二相の重要性を示した。	○	環境による水素侵入挙動の差の明確化。
⑤LBB性の評価	引裂き試験により得られる単位き裂伝播エネルギーにより、6061,7075、および前記8合金のLBB性を評価する。	7075を除く7000系で高く、6000系でやや低いことを示した。	◎	なし
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得	70MPa対応の例示基準策定のために必須となる試験材を見極め、量産規模で調製し、高圧を含めてデータ取得を行う。	高Si組成の6061(6061HS)合金を量産規模で調製し、例示基準策定に必要なデータ取得を行った。	◎	同コストでより高強度の材種への適用。

(4)水素の基礎物性

達成度「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

研究開発項目	目的	実施内容・成果	達成度
ダクト内における水素の拡散・燃焼挙動の研究	災害リスクを低減対策を検討するために閉鎖空間や半閉鎖空間での水素の燃焼挙動データの取得を行う。	鋼鉄製の大規模ダクト(2.4mφ×78m)を使用して、トンネル内を模擬した水素燃焼実験を実施した。水素濃度、水素放出量、換気速度等の水素拡散、燃焼に及ぼす影響を把握することを目的にトンネル内に設置したテナ内に保持した均一濃度の水素空気混合気点火する実験およびトンネル内で水素を放出、着火する実験を実施した。トンネル内での燃焼実験では開放空間より大きな圧力が発生した。トンネル内で混合気の外を圧力が伝播する過程で圧力の減衰はみられなかった。	○
閉鎖空間内での水素の拡散・燃焼挙動の研究	水素の漏れい量と換気が閉鎖空間内での水素濃度にどのような影響を与えるかを計測評価する。	幅3.7m、高さ2.8m、奥行き6.4mの半閉鎖空間において、自然換気及びダクトによって強制的に給排気される半閉鎖空間において、水素流量、換気速度をパラメータとした水素の拡散挙動、および燃焼挙動の把握を目的に実験を行なった。換気速度が等しい場合には、水素濃度は、水素流量とともに増加し、水素流量が等しい場合には、換気速度の増加とともに減少する傾向であった。	○
着火メカニズムの解明	水素が大気中に高速で噴出する際に起こる場合がある自然着火の着火メカニズムの把握を行う。	主として文献や専門家への聞き取り調査にて着火源の検討を行い、着火条件について考察を行なった結果、ダストによる静電気雲と接地金属物体との間の放電が着火原因である可能性が高いと推測される。	○
トンネル換気模擬ガス模型実験	トンネル内事故により水素ガスが漏洩した場合を想定し、水素ガス漏れい量とトンネル換気条件の違いがトンネル内水素ガス拡散と与える影響の把握を行う。	模擬ガスを用いた模型実験により、漏れい量やトンネル換気条件の違いがトンネル内水素ガス拡散と与える影響を把握した。 ・漏れい量300m <sup>3</sup> と大量漏れい(3000m <sup>3</sup> )の条件で、野外実験と模型実験の天井面の濃度分布を比較した結果、両者の傾向は概ね一致していることを確認できた。 ・トンネル内で水素の漏れいが発生した際、漏れい量が60m <sup>3</sup> (車1台相当)～200m <sup>3</sup> (車両搭載車1台相当)程度の場合、換気がない場合に比べ、通常の換気風速2m/s程度で、大幅に可燃濃度域が減少することを確認できた。	○
閉鎖/半閉鎖空間における換気	閉鎖/半閉鎖空間における換気状況の検討のため、換気量と濃度場の関係を把握する。	蓄圧器室などのような半閉鎖空間で水素ガスが漏れいした場合の拡散挙動・換気状況を把握し、換気基準検討に資するデータを取得するため、数値シミュレーション及び模擬ガス模型実験を実施した。具体的には換気装置付きの半閉鎖空間を模擬した縮尺模型を用いて、水素の浮力をヘリウムで再現した実験を実施し、換気量と濃度場を把握するとともに、別途、拡散・燃焼に関する数値シミュレーションを実施し着火時の爆風圧を推定した。	○
燃焼・拡散現象に関するシミュレーションの精度向上	数値シミュレーションの精度検証のため、対応する実験と計算結果の比較検討を行う。	燃焼・拡散・火炎コードの汎用性を高めるため、平成16年度に実施された実験データ及びエネルギー総合工学研究所で実施した水素燃焼実験等により、コード検証を実施した。また、燃焼シミュレーションの精度および汎用性の向上を目指し、乱流燃焼モデルに関して検討を行った。	○
液体水素蒸発モデルの検討	液体水素状態が漏れいし、蒸発挙動を経て水素ガスが拡散する場合の漏洩事象を予測するための、高精度な数値モデル(蒸発モデル)の開発を行う。	既存の実験データに基づき、蒸発挙動の支配因子を把握し、より精度の高い蒸発モデルを検討し、拡散時の濃度分布挙動の予測精度を向上させた。特に、噴流の表面から剥離・微粒化していく液滴の挙動のモデル化方法は、その後の水素拡散挙動に大きく影響するため、実験データに、数値シミュレーションを併用しながら、ピンホール漏れいを対象とした蒸発モデルの構築を図った。	○
水素の有効利用ガイドブックの作成	蓄積した水素に関する経験や知見を、今後増加する、新たに水素を取り扱い始める関係者に提供し、技術開発や規制再点検、国際標準の提案に関する研究活動における安全を確保し、水素が有効に利用されることに貢献する。	想定利用者を、水素のインフラ機器、燃料電池等水素利用機器の設計・施工・運転者としこれまでに国内に蓄積された水素の安全な取り扱いに係るデータを集大成し、水素取り扱い者の安全確保に資する「水素の有効利用ガイドブック」を作成した。	○

(5)水素安全利用技術の基礎研究

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

項目	実施内容と目標	成果	自己評価
①高圧水素ガスの漏洩時の着火性に関する研究	水素噴流の拡散濃度特性と着火性の計測 ・水素噴流の噴流特性と着火性の計測 ・水素噴流の着火性評価 ・高圧化に伴う着火現象のリスク評価 ・水素噴流による発火の実験とシミュレーション	水素噴出時の流動混合気の着火性について検討した結果、水素と空気の混合気の流速が大きくなると燃焼下限濃度が高濃度側にシフトすることを明らかにした。また、配管から水素が噴出した際の自然着火現象を実験的に再現し、着火条件を検討するとともに、数値計算で検証した	○
②水素ガス漏洩時における静電気着火に関する研究	・高圧水素の噴出による静電気の測定と解析 ・混入物の影響の検討 ・設備と静電気災害の関連性の評価 ・静電気測定の高制度化・高精度化	ベント配管などから水素が大気中に放出される際に、ダストなどを巻き込んだ場合の静電気耐電を計測し、静電気着火が起こりうるエネルギーが蓄積されることを明らかにした。	○
③水素燃焼火炎特性に関する研究	・噴流火炎の吹き消え現象の解析 ・水噴霧効果・消火能力評価	火炎の特性については、水素の噴出圧力とノズル口径との関係から、水素噴出火炎の吹き消え範囲を明らかにした。	○
④水素の着火による火炎伝搬と爆ごう転移に関する研究	・開放空間における水素の着火と火炎伝搬に関する研究 ・トンネル内で水素が燃焼から爆ごうへの転移を起こす着火条件に関する研究	金属管内で水素が燃焼から爆ごうに転移する(DDT)条件を明らかにし、管径が大きくなるとDDTを起こす濃度範囲が広くなり、DDTを起こす距離と管径との比が小さくなった。	○
⑤化学反応論に基づく水素の着火・燃焼制御に関する研究	・素反応モデルにおける共存化学種の影響 ・モデルの検証と高精度化・水添加の基本的効果の確認 ・水添加時の着火・燃焼反応の詳細データ取得 ・水素ハイドレート合成と安定域の決定 ・水素ハイドレート安定域の共存化学種効果	水素と空気の混合気水蒸気もしくは水ミストを混合すると火炎伝播速度、爆風圧が減少した。水素の爆ごう限界を予測するための新しいモデルを開発し、爆ごう限界を精度よく予測することができるようになった。	○

「燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発」

本事業の遂行により、必要となるデータ取得が目標どおり得られ、国内外の基準・標準化に資することができ、実用化が可能となった。

- ①高圧ガス保安法:自動車用圧縮水素容器等の基準適正化 Step1策定
- ②道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定
- ③ISO/TC22/SC21(電気自動車)WG2:燃費試験法  
ISO/TC197(水素技術)WG12水素製品仕様  
MEA耐久評価試験方法の基本案

「定置用燃料電池システム等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- ①収集した安全性データは各種公的委員会に提供し、規制再点検に活用された。その結果、SOFC、純水素PEFC、PEFC合わせて8項目の規制適正化が実現され、小形燃料電池システムを普及させるための必要な基盤が整備された。PEFCはエネファームの名称で、平成21年度に5千台強が一般家庭へ販売された。
- ②小形燃料電池システムを普及させるための必要な基盤整備として、安全性評価や性能に関する40種類の試験方法を作成し、その中で得た知見を国内外の標準化に活用。

## 「水素インフラに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

### (1)水素インフラに関する安全技術研究

- ・70MPa充填対応水素スタンドについては、規制見直し案を監督官庁へ提出済み。
- ・液体水素スタンドの安全性検証が終了し法令案が完成。
- ・鋼製蓄圧器メーカー(日本製鋼所、住金機工、高圧昭和ポンベ)において、70MPa充てん対応蓄圧器の製造技術を確立。
- ・タツノ・メカトロニクスでは、本事業の成果を水素ディスペンサー開発に反映。

### (2)水素用材料基礎物性の研究

本研究開発の成果は、(社)日本自動車工業会、(財)日本自動車研究所、(財)石油産業活性化センター、高圧ガス保安協会等にて検討されている70MPa 級機器の基準・標準化に向けた一連の活動に対し、技術的な裏付けデータとして活用、反映される。

### (3)水素用アルミ材料の基礎研究

本研究開発の成果は、高圧水素容器ライナーの使用材種拡大検討、新例示基準策定、複合容器使用を可能にする規制緩和の取り組み等に対して技術的な裏付けデータとして活用、反映される。

### (4)水素基礎物性の研究 (H19年で完了)

本研究開発の成果は、既存規制の見直し、ならびに今後水素技術に係る研究者の安全に資する資料・データとして活用、反映される。

### (5)水素安全利用技術基礎研究 (H19年で完了)

本研究開発の成果は、既存規制の見直しに資する、安全に関する基礎データとして活用される。

## 議題6-1.

# 燃料電池自動車に係る規制再点検および標準化のための研究開発

平成22年12月3日

財団法人 日本自動車研究所

1/48

## 背景

2005年3月、初期導入段階にある燃料電池自動車の普及に必要な環境が整備された。しかし、さらなる燃料電池自動車の普及を促進するため、一層の安全性と利便性の向上、さらにはコスト削減といった課題に対応すべく規格・標準化の見直しが必要である。

## 目的

燃料電池自動車の導入・普及や技術レベルの進展に対応し、

- ① 既存規制の見直しに資するための安全確認データの取得、
- ② 製品性能を単一の物差しで評価するための試験・評価手法を確立する。

国際標準の提案などのソフトインフラを整備するために、

- ③ 水素・燃料電池自動車の安全性評価 および燃料電池性能評価法の研究開発を行う。

# 開発項目および実施内容 —水素・燃料電池自動車の基準・標準化—

燃料電池自動車の基準・標準化を推進するため、燃料電池性能評価法の研究開発および水素・燃料電池自動車の安全性評価の研究開発を行う。

## 1. 国内規制

- (1)高圧ガス保安法:自動車用圧縮水素容器等
- (2)道路運送車両法:水素車両保安基準
- (3)道路法:水素輸送車両の水底トンネル通行
- (4)高圧ガス保安法:水素供給ステーション

## 2. ISO/TC22/SC21 (電気自動車)

- (1)WG1:安全(FCVを含めたEV安全規格改訂)  
TF1:用語
- (2)WG2:性能
  - (a)燃費試験法
  - (b)走行性能(最高速)試験法

## 3. ISO/TC197 (水素技術)

- (1)WG5:充填コネクタ
- (2)WG6:圧縮水素容器
- (3)WG10:水素吸蔵合金タンク
- (4)WG11:水素供給ステーション
- (5)WG12:水素製品仕様

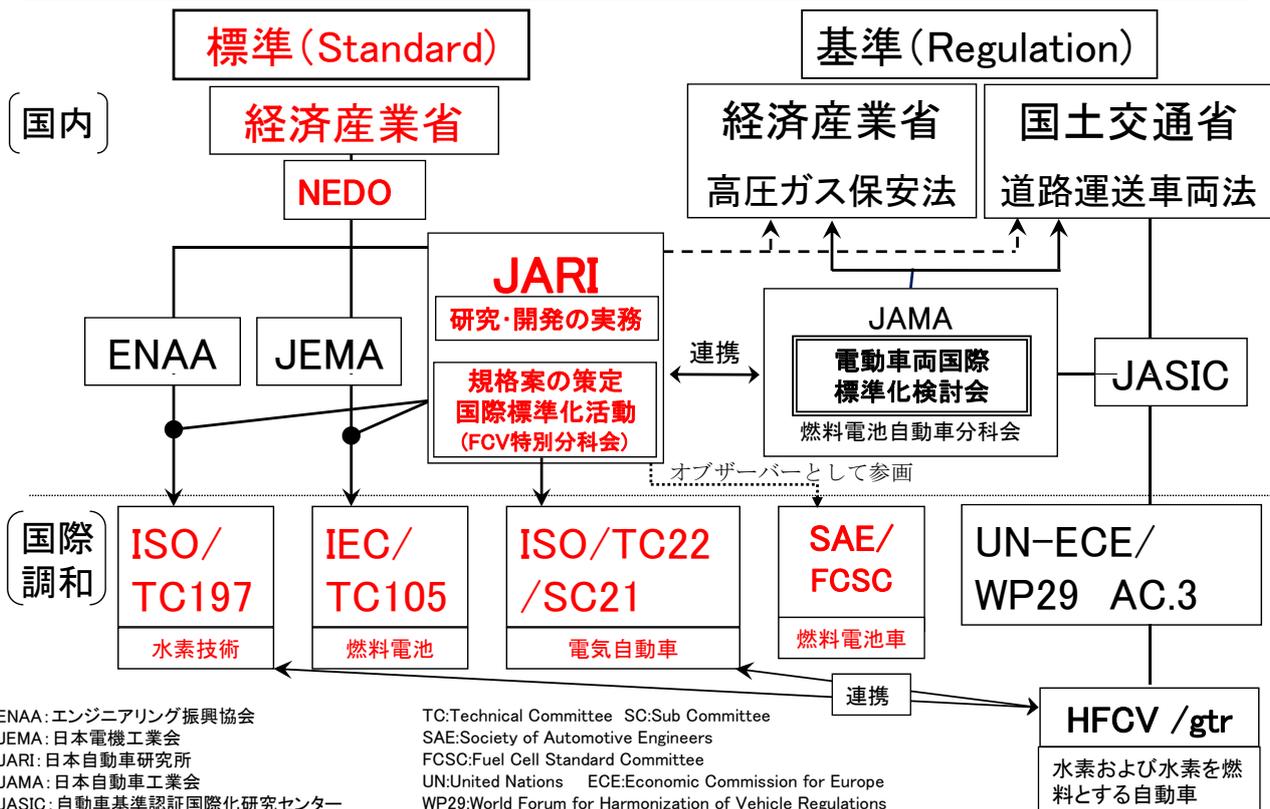
## 4. その他の海外及び国際基準・標準化

- (1) SAE(燃料電池標準化委員会)  
J2578:FCV安全(水素・高電圧)、J2579:水素容器  
J2600/J2799:水素充填コネクタ、J2601:通信
- (2) UN-ECE/WP29/AC3:FCV国際基準調和
- (3) IEC/TC105:単セル標準試験法
- (4) FCTESQA:Single Cell Testing Protocol
- (5) USFCC:単セルRound Robin Test、  
MEA耐久性試験法

ISO: International Standardization Organization    TC: Technical Committee(専門委員会)    SC: Sub Committee(分科委員会)    TF: Task Force  
IEC: International Electrotechnical Commission(国際電気標準会議)    SAE: Society of Automotive Engineers  
UN-ECE/WP29/AC3: United Nations Economic Commission for Europe/ World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations/ Administrative Committee for co-operation of work for WP29 (3: steering group of gtr),    gtr: Global Technical Regulation  
IPHE: International Partnership for Hydrogen Economy    FCTESQA: Fuel Cell Testing, Safety and Quality Assurance    USFCC: United State Fuel Cell Council

# 研究体制 ① —関連機関—

国内外の基準・標準化に必要なベースデータを蓄積し、燃料電池自動車の普及促進に必要なソフトインフラを整備

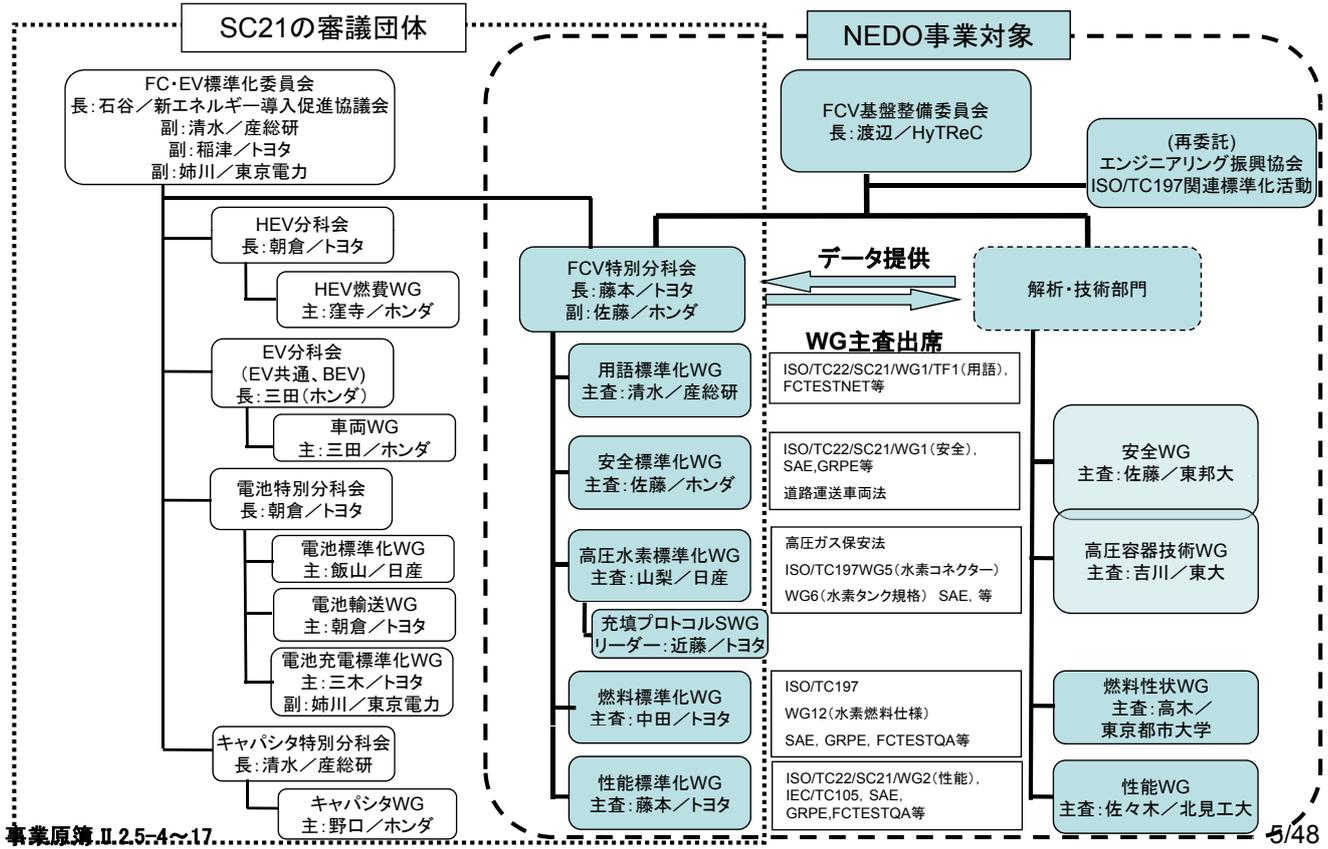


ENAA: エンジニアリング振興協会  
JEMA: 日本電機工業会  
JARI: 日本自動車研究所  
JAMA: 日本自動車工業会  
JASIC: 自動車基準認証国際化研究センター  
ISO: International Organization for Standardization

TC: Technical Committee    SC: Sub Committee  
SAE: Society of Automotive Engineers  
FCSC: Fuel Cell Standard Committee  
UN: United Nations    ECE: Economic Commission for Europe  
WP29: World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations  
AC3: Administrative Committee for co-operation of work for WP29 (3: steering group of gtr),    gtr: Global Technical Regulation

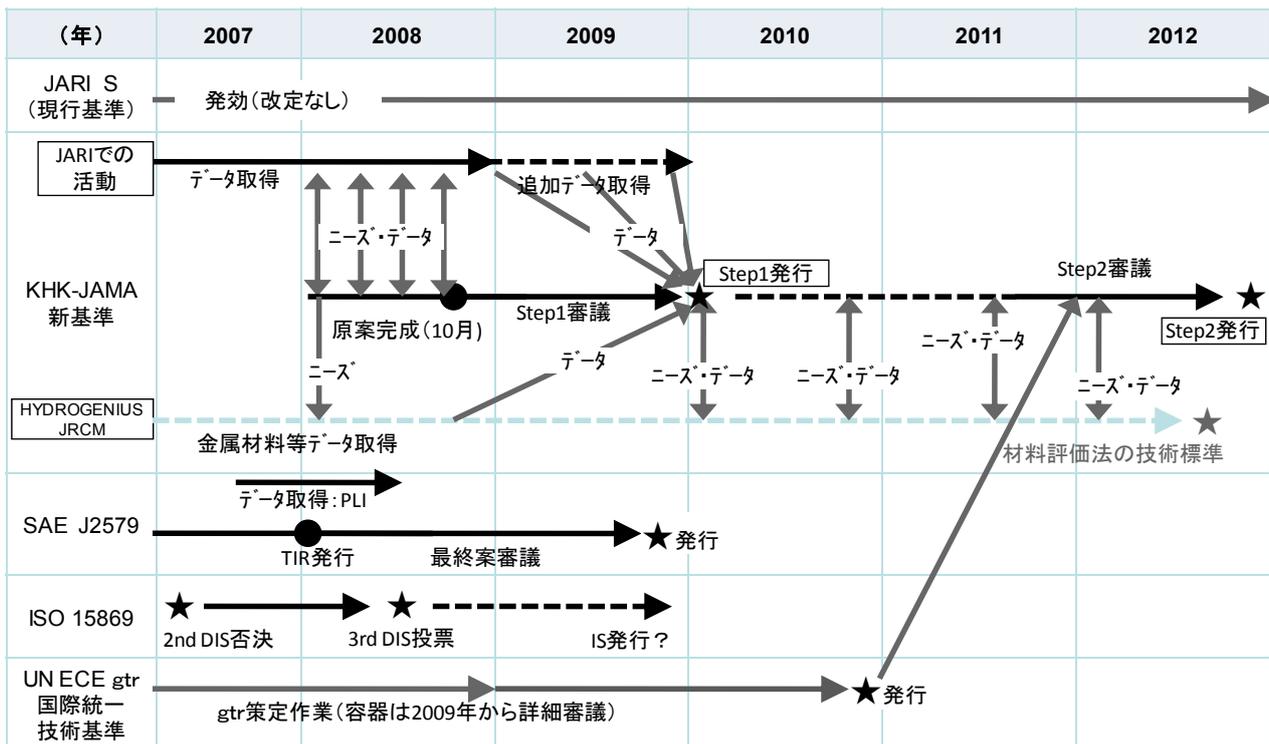
# 研究体制 ② - JARI内体制 -

- JARIはISO/TC22/SC21(電気自動車)の国内審議団体 -



## スケジュール 高圧ガス保安法「容器および附属品の技術基準」の見直し

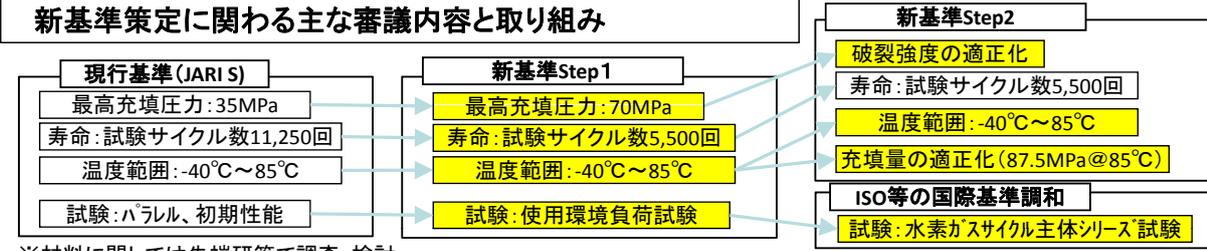
### 1) 容器および附属品の基準・標準策定スケジュール



本事業での目的: 適正な基準策定のために、車載容器に加わる負荷条件を把握する

# 研究成果 1. 水素・燃料電池自動車の安全性評価

## 1.1 自動車用圧縮水素容器の基準・標準見直し



### 新基準 Step1 策定のためのデータ取得

- 70MPa化に伴うVH4容器透過試験合格閾値の検討
  - 環境温度・充填圧をパラメータとした透過試験を行い、合格基準 (15°C以上・合格値: 5cm<sup>3</sup>/hr・L以下) を定めるデータを得た。
- 充填サイクルに関わる容器の不具合事象の把握
  - サイクル圧を高くすると、破裂強度が低下するVH4が存在
  - 初期圧が高い部分充填であっても寿命は延びないVH3が存在
- 容器の使用温度範囲に関わる課題の検討
  - 環境温度、充填速度をパラメータとした急速充填試験やガスサイクル試験を行い、容器内の代表温度位置、温度分布が生じにくいノズル口径や角度、および苛酷温度環境下の温度を把握
  - 容器の残存破裂強度に及ぼす低温および高温環境の影響を調査 → 使用温度範囲適正化には、VH3容器では低温側、VH4容器では高温側に検討が必要
- 新基準 Step1 提案の使用環境負荷試験
  - 供試VH3容器は試験をPass、試験上での問題もなし

### 国際基準調和のためのデータ取得

- ガスサイクル試験を主体とするシリーズ試験の課題検討
  - 液圧サイクル試験の妥当性検討
    - 熱応力解析と実験によるライナー応力の検証 → VH3容器の残留圧縮応力が液圧サイクルとガスサイクル時の温度変化による疲労寿命を把握
    - 極端温度環境下での実使用条件相当 (SOC100%) 液圧サイクル試験 → 125%FP@85°C相当の方が125%FP@20°Cより寿命大
    - 充填放出サイクル時の温度変動挙動把握 (ガスサイクル試験) → 2サイクル以降の到達温度は一定

SAE J2579を通し、ISOへ反映中

新基準 Step1 へ反映させた

# 研究成果 1.1 自動車用圧縮水素容器の基準・標準見直し a. 35MPa → 70MPa 対応

### 課題

圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (JARI S 001) ではガス透過試験は最高充填圧力 35MPa 容器に対して 2cm<sup>3</sup>/hr・L 未満と規格 70MPa 容器に対してはどの程度の透過量に規定するべきか。

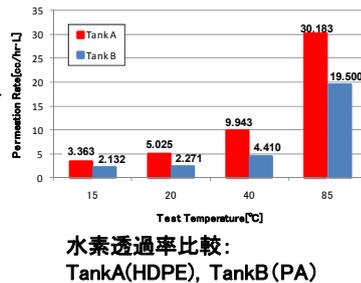
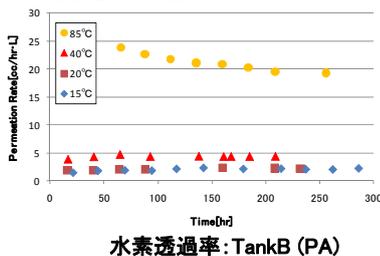
### 実施内容

最高充填圧力 70MPa における VH4 容器における水素ガス透過傾向を確認し、ガス透過試験の新基準値に関わる策定データに提供する。

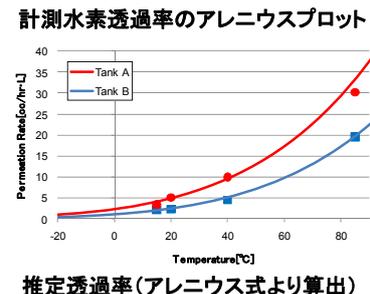
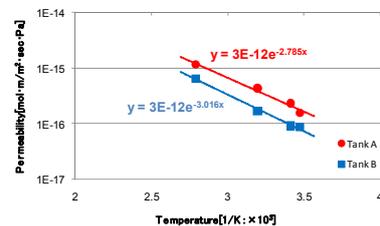
### ① 試験条件

- 使用容器:
  - VH4 容器 (最高充填圧力 70MPa) 2 種
  - Tank A = ライナー材質: HDPE (高密度ポリエチレン)
  - Tank B = ライナー材質: PA (ポリアミド)
- 試験条件:
  - 環境温度: 15°C, 20°C, 40°C, 85°C

### ② 試験結果 (抜粋)



### ※アレニウスの式による整理



### 最高充填圧力 70MPa の VH4 容器の水素透過率を調べた結果

- 環境温度が高いほど水素透過率は高くなる。
  - 容器の種類によって水素透過率は異なる。
- これらのデータを提供し、70MPa 透過試験合格基準 (環境温度: 15°C 以上・合格値: 5cm<sup>3</sup>/hr・L 以下) を定めた。

充填圧力 70MPa の VH4 容器においても一般的な高分子へのガス透過と同様の傾向を示す事が確認できた。

# 研究成果 1.1 自動車用圧縮水素容器の基準・標準見直し

## b. ガスサイクル試験を主体とするシリーズ試験の代替試験検討

### 課題

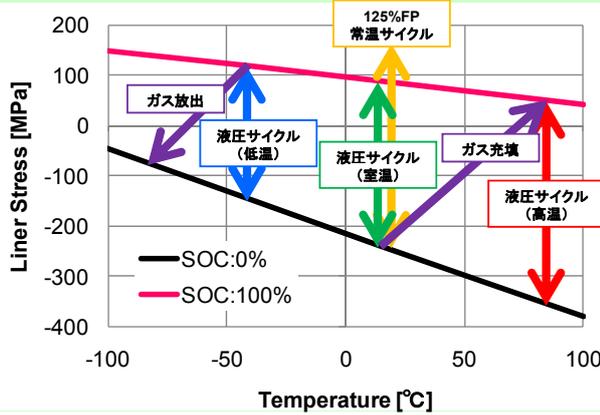
gtrドラフトのベースとなったSAE J2579ドラフトにおいては、水素ガスサイクル試験による容器システムの評価を基本試験としている。一方、日本は液圧サイクル試験による代替を提案している。その技術的根拠のひとつとして、ガスサイクル試験時ならびに液圧サイクル試験時に、VH3容器ライナーに発生する熱応力を比較検討することにより、液圧サイクル試験の妥当性を検証する必要がある。

### 実施内容

VH3容器のライナーの残留圧縮応力が、温度変化に伴う熱応力によってどのような影響を受けるか調査する。  
 ①ひずみ計測(実験)  
 ②熱応力解析(数値シミュレーション)

### ①ひずみ計測(実験)

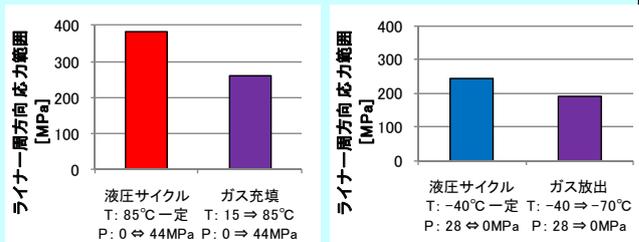
容器: 35MPa-VH3容器容器全体  
 方法: CFRP表面およびライナー内面にひずみゲージを貼り、環境温度を変えて、ひずみを計測する。



供試VH3容器のライナー周方向応力範囲

### ②熱応力解析(数値シミュレーション)

解析対象: 35MPa-VH3容器直胴部  
 解析条件: 環境温度(-40~85°C), 内圧(0~44MPa)



液圧サイクルとガスサイクルの応力範囲比較

ガス圧の場合熱応力が発生するため、液圧よりも応力範囲が小さい。よって、液圧サイクルは、より厳しい試験となる。

# 研究成果 1.1 自動車用圧縮水素容器の基準・標準見直し

## b. ガスサイクル試験を主体とするシリーズ試験の代替試験検討

### 課題

日本提案の液圧サイクル試験による代替提案の技術的根拠のために、水素ガスの充填・放出を連続で繰返した場合(車の充填・走行の繰返しを想定)に容器温度の到達温度は安定するかどうかを調査する必要がある。(ライナー応力が一定になることを確認)

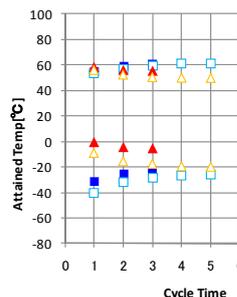
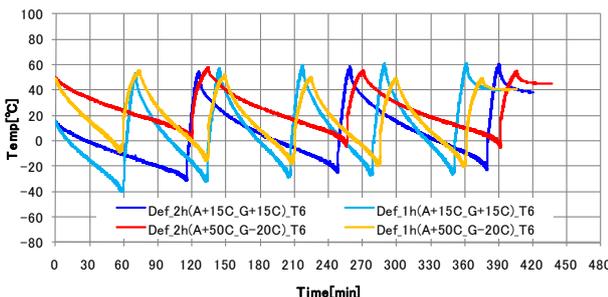
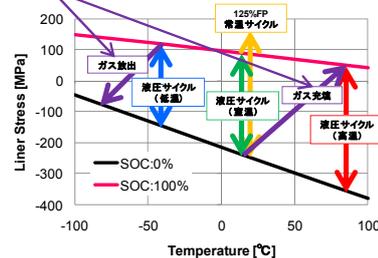
### 実施内容

水素ガスサイクル試験を行い、容器各部の温度変化を調査  
 ・放出時間変化  
 ・スタート条件(放出 or 充填)変化

### 試験方法

- ・試験容器 : VH4-40L, VH3-125L
- ・試験の各スタート条件における初期状態
  - (1)放出スタート ⇒ 70MPa@85°C 相当量
  - (2)充填スタート ⇒ 1MPa@環境温度

常に同じ線上にあるかどうかを調査



記号	試験条件
Def	放出スタート
2h	放出時間 → 2h
1h	放出時間 → 1h
A+15C	環境温度 → 15°C
G+15C	充填ガス温度 → 15°C
G-20C	充填ガス温度 → -20°C
T6	容器内ガス温度 → T6

図1.3-1 VH3-125Lでの放出時間を变化させた場合の容器内ガス温度(T6)挙動および到達温度一覧

VH4, VH3ともに放出時間, スタート条件を変えても2サイクル以降の温度変化は安定する傾向を確認。

# 研究成果 1.1 自動車用圧縮水素容器の基準・標準見直し c. 使用温度範囲の見直し

## 課題

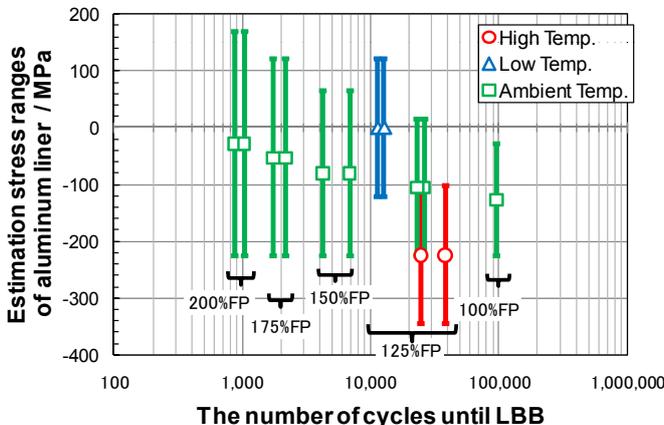
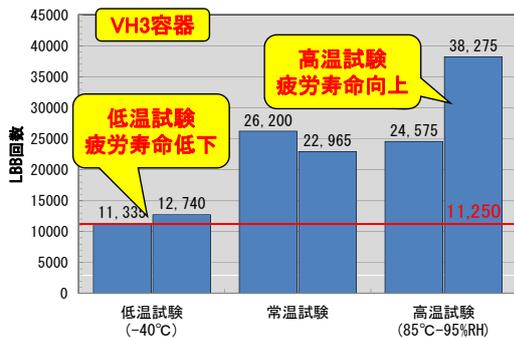
高圧水素容器にて急速充填や消費を行うと、容器内ガス温度が局部的に高温や低温になり、条件によっては容器の使用温度範囲を超える結果が得られた。容器使用温度の適正化検討にあたり、温度をパラメータとした極端温度圧力サイクル試験を実施し、使用温度が容器に及ぼす影響を調査する必要がある。

## 実施内容

VH3容器の疲労寿命におよぼす環境温度の影響を調査

## 試験方法

供試容器：35MPa-VH3容器、各条件2個  
 環境温度：高温85℃、常温、低温-40℃  
 上限圧力：FP × 125% (44 MPa)  
 下限圧力：0 MPa  
 終了条件：LBB発生まで



VH3容器 ライナー推定応力範囲とLBB発生回数との関係

供試VH3容器：低温試験にて疲労寿命が低下し、高温試験では疲労寿命が向上した。  
 (CFRPとAlライナーの熱膨張率の差による自緊処理効果の変化が主因と推察される)  
 → 容器使用温度範囲の適正化には、VH3容器では低温側でとくに検討を必要とする。

# 研究成果 1.1 自動車用圧縮水素容器の基準・標準見直し d. 使用環境負荷試験

## 課題

KHK/JAMA新基準(Step1)では、新たにシリーズ試験(使用環境負荷試験)が提案されている。このため、試験上の問題点の把握および現状容器の実力値把握を行う必要がある。

## 実施内容

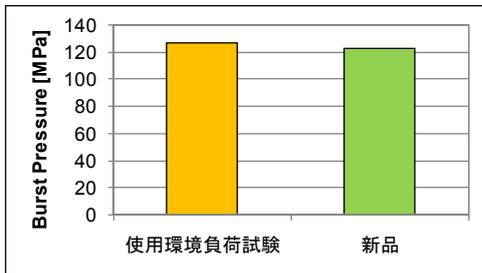
現行JARI S001を満たした容器を使用して、新基準で提案されている使用環境負荷試験を実施し、試験上の問題点の把握および現状容器の実力値把握を行う。

## 試験方法

容器：35MPa-VH3-28L容器、1本

試験内容：(図2.1-1参照)

- ・前処理(振り子式衝撃試験)
- ・加速応力試験
- ・環境暴露試験(環境暴露液処理 + 極端温度圧力サイクル試験)
- ・破裂試験



・試験実施上の不具合は特に無かった。  
 ・使用環境負荷試験後の破裂強度は、新品容器と同等だった。

図2.1-2 使用環境試験と新品容器の破裂圧力比較

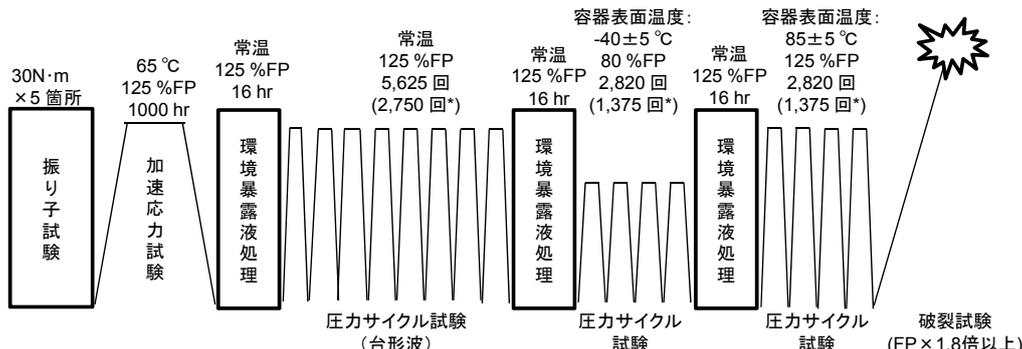


図2.1-1 使用環境負荷試験

\*低充填頻度自動車の場合

# スケジュール 道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定および安全情報

## 燃料電池自動車の安全性評価スケジュール

年度	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11
既存基準	☆☆ 2005.3 圧縮水素ガスを燃料とする自動車の燃料装置の技術基準制定 2005.3 燃料電池自動車の高電圧からの乗車人員の保護に関する技術基準							
安全情報基準策定		消防・救助活動のマニュアル作成			マニュアル改訂			
			消防・救助訓練への反映					
		UN-ECE/WP29 (FCVの国際基準調和)Phase1 Phase1: GTR for hydrogen powered vehicles Phase2: Assess future technologies and harmonize crash tests						
策定項目 (想定候補)		水素漏れ許容値(通常時、衝突時) 水素漏れ検知手段、検知濃度 パージ水素の排出基準 圧縮水素容器の安全弁から放出される水素の方向 圧縮水素容器等高圧部品の取付け強度、振動試験 高電圧からの感電保護、絶縁抵抗 燃費試験法 etc.						

GTR: Global Technical Regulation

本事業での目的: 適正な基準策定のための妥当性検証、ならびに安全・安心して使用するために想定される事故で生じる周囲影響を把握する。

## 研究成果 1. 水素・燃料電池自動車の安全性評価

### 1.2 道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定および安全情報

#### 国際基準調和での審議内容

- 水素検知閾値
- 衝突時燃料漏れ
- 水素の放出(安全弁ベント、パージ)
- 局所火炎暴露試験
- 駐車場や船舶輸送に関わる課題

#### 安全情報

消火によって危惧される事情の安全性調査

#### 国際基準調和の技術根拠に資するデータ取得

- 局所火炎暴露試験方法の検討
  - 自動車火災試験による容器搭載位置部位の温度調査 → 局所火炎になりうる時間・温度を把握を把握し、局所火炎暴露時間に関わるデータとして活用した。
  - 提案された局所火炎暴露試験を行い、温度分布の把握や試験上の問題点を把握した。
- 衝突燃料漏れ許容量の妥当性検討
  - 衝突燃料漏れ許容量を超えた流量(1000NL/min)での引火試験 → 車両周囲の人への影響を調査し、重大な危害がないことを確認
- 駐車場や車両運搬船に関わる安全情報
  - ガソリン車・水素燃料車の混焼試験 → 横0.85m間隔駐車の場合、安全弁作動により隣接ガソリン車に着火しないことを確認
  - 車両運搬船を想定した火災試験 → 安全弁の作動の際、既に延焼していることを確認 → IMO(国際海事機関)での議論で使用予定

#### 安全情報のためのデータ取得

- 水素燃料自動車の緊急対応指針策定のためのデータ取得
  - 消火による水素火炎の消炎試験 → 消火放水では、安全弁作動時の水素火炎は容易に消炎しないこと。消炎しても、爆発はない。
  - 消火放水による容器への影響 → 安全弁の種類によっては閉塞するものが存在するが、消火放水によって容器を冷却した方が容器強度が保たれることを確認
  - 安全弁作動時の水素噴出火炎の人への影響 → 消防服を着用させたサーマルマネキンを用い、火傷程度や安全距離を把握

緊急対応指針策定のための試験データ集を完成させた

国際基準調和活動においてデータ提供

# 研究成果 1.2 道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定および安全情報

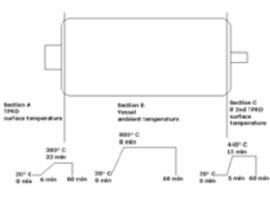
## a. 局所火炎暴露試験方法の検討

### 目的:

近年、CNGバスや乗用車の火災による容器の破裂事例が報告され、SAE J2579ドラフトでは局所火炎暴露試験方法が提案された。この提案された試験方法の妥当性を検討する必要がある。

### 実施内容:

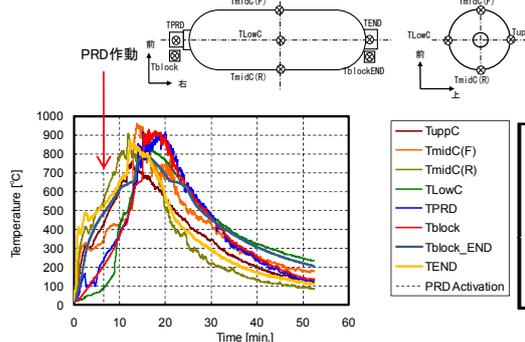
提案された局所火炎暴露試験方法の妥当性を検証するため、数通りの車両火災試験を行い、容器周囲の温度を調査した。



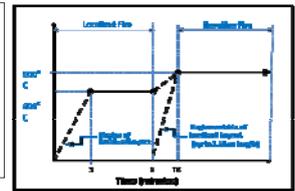
延焼状況(左図#4 試験開始5分、右図#6 試験開始10分)

当初の局所火炎暴露試験案

#	車両	出火箇所	窓開口	備考
1	セダン	車室内	安全弁反対側	
2		後部タイヤ	安全弁反対側	
3		後部タイヤ	全閉	
4		リアバンパー	全開	ロールオーバー
5	1BOX	車室内	安全弁反対側	
6		リアバンパー	全閉	PRDによる水素作動あり
7		後部タイヤ	安全弁反対側	樹脂製アンダーカバー



容器各部の温度とPRD作動時



局所火炎暴露試験の新温度プロフィール

本事業で得られた温度プロフィールを用いて新たな試験方法が採用され、gtr策定に貢献した。

# 研究成果 1.2 道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定および安全情報

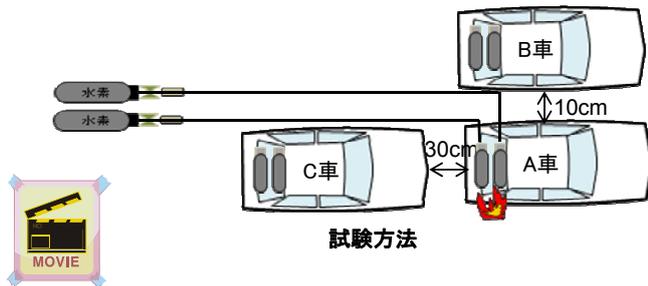
## b. 船舶輸送に関わる課題

### 目的:

駐車場や船舶輸送などの火災時の安全情報として、隣接車両への隣接車両への燃焼拡大性状や安全弁の作動間隔を調査する。

### 実施内容:

車両運搬船を想定した(横10cm、前後30cm)間隔で駐車した場合の隣接車両への燃焼拡大性状や安全弁の作動間隔を調査



試験方法

### 【試験条件】

車両: 1 Box、3台 (A車のみ水素70MPa, 40L × 2本)  
 出火位置: A車右側リアバンパー  
 安全弁作動時の水素は、車体外に設置した水素充填容器から配管によって車両へ導き、車両に実装したPRD作動検知装置により、その作動を確認して放出。  
 放出方向は車両後方45°、放出径は4mm  
 ただし、換気条件は開放空間相当、上下階層はなし。



- ◆ 隣接車両には車両内外装品類による燃焼により着火し、安全弁の作動はそれ以後であった。
  - ◆ 安全弁が作動する時点では、出火車両はほぼ全焼であった。
  - ◆ 安全弁作動後に、隣接車両の安全弁が作動する時間は約2分30秒であった。
- 水素燃料自動車でなくても、車両内外装品類による延焼は大きくなるため、迅速、かつ適切な火災検知と消火対応が必要。

得られた成果は、IMO(国際海事機関)の船舶輸送関連で活用

# 研究成果 1.2 道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定および安全情報

## c. 安全弁作動時における水素噴出火炎の消火試験

### 課題:

California Fuel Cell Partnership のEmergency Response Guideでは、安全弁作動による水素噴出火炎形成時、安全弁およびガス放出部へ向けて消火するべきでないとするが、ガソリン車などと混焼した場合、どのような消火対応をすべきか。

### 実施内容:

- 安全弁作動による水素噴出火炎の消火活動による消火試験
- 火炎暴露させる時間と容器の放水による冷却をパラメータとした容器の耐圧を調査

### ①安全弁作動時の水素噴出火炎の消火試験

- ベント管からガスを放出・着火させ、その火炎に向かって放水(もしくは消火剤の散布)し、消火を試みる



消火放水(放水量500L/min)の状況 消火剤(ABC消火器)の状況

### 消火試験結果

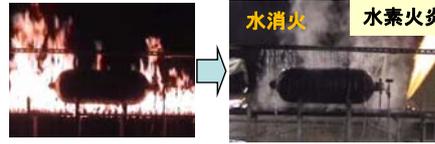
TEST#	噴出方向	消火方法	結果
#1	上方	水一直噴	消炎せず
#2	上方	水一直噴	消炎せず
#3	上方	ABC消火器	消炎せず
#4	斜め下後方45度	水一直噴-車両前方向	残圧0.9MPaまで消炎せず
#5	斜め下後方45度	水一直噴-車両前方向	消炎せず
#6	斜め下後方45度	水一直噴-車両後方向	消炎せず
#7	斜め下後方45度	ABC消火器	残圧0.3MPaまで消炎せず。消炎後、過熱されたアスファルト路面で再着火。爆発はなし。
#8	斜め下後方45度	ABC消火器	残圧0.2MPaまで消炎せず。消炎後、過熱されたアスファルト路面で再着火。爆発はなし。

ガス噴出部へ水消火や粉消火しても、水素噴出火炎は容易に消炎しないこと。再着火しても、車両周囲の人に対して危害を加えることはない。

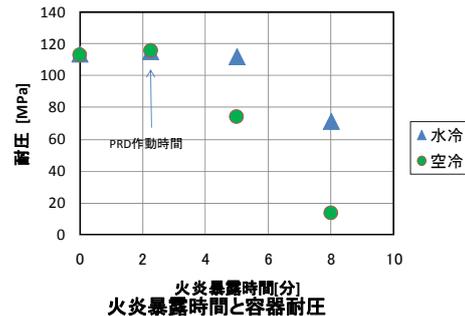
事業原簿 Ⅲ 2.1(1)-51~54

### ②消火放水による容器の健全性調査

- 供試容器: Type3(35MPa)
- 火炎暴露後、ただちに火源を止めて水冷却(水冷)
- 火炎暴露後、火源を止めて、そのまま放置(空冷)



本供試安全弁は水素放出が緩やかになり、再閉塞発生



水による消火によって再閉塞しない安全弁を車両が採用していれば、積極的に消火放水した方が容器強度には有利であり、かつ水素燃料自動車であっても、大気開放空間であれば、特別な消火対応が必要ではない。

17/48

# 研究成果 2. その他

## 2.1 高密度水素貯蔵技術の安全性評価

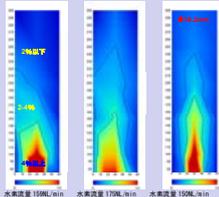
## 2.2 インターフェイスの標準化

## 2.3 要素部品の安全性評価

### 2.1 高密度水素貯蔵技術の安全性評価

#### 液体水素容器の安全性評価

- 液化水素容器の充填時の挙動、蒸発率などの基礎データ取得
- 液体水素が漏洩した場合の挙動を調査



液体水素漏洩時の濃度コンター

安全性評価試験策定に向けたデータ取得

### 2.3 要素部品の安全性評価

#### 自動車安全弁の作動条件調査

- ガラス式PRDを含めた安全弁の作動に及ぼす充填圧力および輻射熱の影響を調査

#### 水素消費による附属品類の温度調査

- 水素放出条件による附属品等の温度を調べた

### 2.2 インターフェイスの標準化

#### 充填コネクタの耐久試験

- 日本提案70MPa充填コネクタの安全性・耐久性試験を行った。

#### 微量充填

- 非通信充填プロトコルのひとつである質量基準充填方式の微量充填試験を行い、データを提供した。

#### 充填プロトコルおよび充填マップの検証試験

- 日本国内用(70MPa@35°Cを基準量とし、充填圧力上限を70MPaに設定)の充填プロトコルを作成した。また、充填マップ検証のため、充填コネクタの影響を調べた。

日本提案70MPa水素充填ノズルがDISに採用。また、非通信充填プロトコル標準化に係わるデータを取得し、国内水素ステーションにおける充填手順の策定に貢献。



輻射熱による安全弁作動試験 水素放出時の附属品類の温度

附属品の高圧化対応、使用温度範囲拡大に資するデータや新材料PRDに対する試験法策定に資するデータ取得。また、FCV車両運搬船など安全情報にデータ提供

事業原簿 Ⅲ 2.1(1)-58~70

18/48

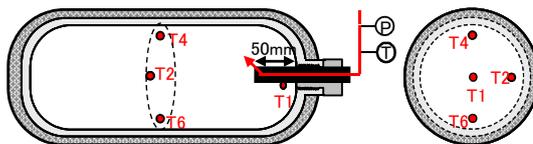
# 研究成果 2. その他

a. 模擬70MPa超充填マップ作成

## 2.2 インターフェイスの標準化 水素ステーションでの充填プロトコル策定

**課題:**  
非通信充填プロトコルにおいては、安全に充填を実施するための充填マップを水素ステーション側に用意する必要がある。まずはJHFC70MPaステーションで充填可能な「70MPa@85°C」を将来要望される「87.5MPa@85°C」と仮想した充填マップ作成のため、データの取得が必要となる。

**実施事項:**  
充填速度、環境温度、充填温度、充填開始圧、容器をパラメータにして充填試験を行い、容器圧力、容器内ガス温度を調べる。



### ➤ 充填マップとは

充填開始時の下記初期条件に応じた【充填速度】【充填圧力】のマップ  
 ■車両タンク温度 ■車両タンク残圧 ■dT (充填水素ガス温度-外気温度)  
**【充填速度】85°Cを超えない充填速度: 温度の上りやすい容器より決定**  
**【充填圧力】過充填にならない充填圧力: 温度の上りにくい容器より決定**

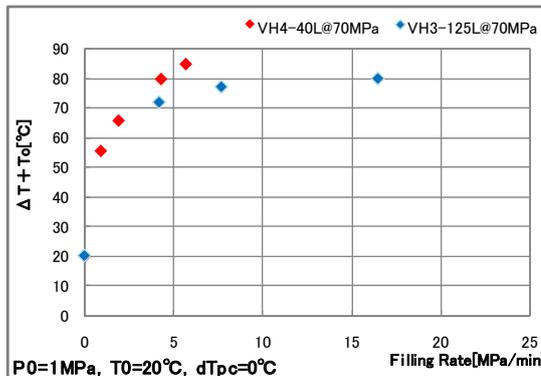
### 試験方法:

充填速度、環境温度、充填温度、充填開始圧、容器をパラメータにして充填試験を実施する。

<試験条件>

- ・ 充填制御方法 : 一定昇圧充填
- ・ 噴出ノズル径・角度 : φ3mm・上45°  
(予備試験結果による)
- ・ 試験容器 : VH4-40L, 51L  
VH3-125L
- ・ 充填速度 : 1~23MPa/min
- ・ 環境温度 : 0, 20, 40°C
- ・ 充填ガス温度 : dT=0, -30, -60°C
- ・ 初期圧力 : 1, 10, 20, 30MPa

⇒全73条件を実施



試験結果一例 ~ 充填速度とΔTの関係 ~  
(初期圧力: 1MPa, 環境温度: 20°C, ブレクール無し(dT=0°C))

各試験容器において、それぞれ異なる温度上昇度ΔTのデータを取得した  
 →初期圧力が大きくなると、容器内ガス温度上昇度が小さくなる  
 →充填ガス温度を下げると(ブレクール充填)、容器内ガス温度上昇度が小さくなる ⇒ 充填プロトコルの策定に向けてデータを提供

## スケジュール 3. 水素燃料仕様の国際標準化 ISO/TC197/WG12

ISO/TC197/WG12におけるFCV用水素の品質規格IS化のための議論に必要な基礎データ(以下の実施項目)を取得する。水素安全利用のための水素用付臭剤について調査する。

年度	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
	Hydrogen Fuel – Product Specification Part2:PEM fuel cell applications for road vehicles						
	WD		DTS		TS		DIS
						CD	FDIS
ISO/TC197/WG12 (水素製品仕様)	<b>不純物の影響評価</b> 単セル試験法 セル性能への影響評価(長時間, 加速試験条件) 水素循環系での不純物濃縮 MEA仕様(Pt担持量)の影響 混合不純物の影響 運転条件の影響 メカニズム, 被毒低減技術						
水素関連技術	水素用付臭剤						

WD: Working Draft, DTS: Draft Technical Specification, TS: Technical Specification, CD: Committee Draft  
 DIS: Draft International Standard, FDIS: Final Draft International Standard, IS: International Standard

# 研究成果 3. 水素燃料仕様の国際標準化 ISO/TC197/WG12

## 水素中不純物の影響評価TS~IS化の取り組み

### FCV用水素規格 (ISO/TS 14687-2), 2008年3月発行

Characteristics	Type I Grade D
Hydrogen fuel index (minimum mole fraction)	99.99%
Maximum mole fraction of impurities [ $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ]	
Total gases	100
Water ( $\text{H}_2\text{O}$ )	5
Total hydrocarbons (C1 basis)	2
Oxygen ( $\text{O}_2$ )	5
Helium(He), Nitrogen( $\text{N}_2$ ), Argon(Ar)	100
Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ )	2
Carbon monoxide (CO)	0.2
Total sulfur compounds	0.004
Formaldehyde (HCHO)	0.01
Formic acid (HCOOH)	0.2
Ammonia ( $\text{NH}_3$ )	0.1
Total halogenated compounds	0.05
Maximum particles size	10 $\mu\text{m}$
Maximum particles concentration	1 $\mu\text{g}/\text{L}$ at 20°C and 101,325kPa

### FCV用水素規格 (ISO/DIS 14687-2), 2010年10月発行予定

CO (0.2 $\Rightarrow$ 0.1ppm), H<sub>2</sub>S (4ppb $\Rightarrow$ 1ppb), NH<sub>3</sub> (0.1 $\Rightarrow$ 0.1ppm)

事業原簿 III 2.1(1)-104

## TS化のためのデータ取得

- 水素中不純物がセル発電性能へ及ぼす影響を評価 (10時間連続発電試験を実施。)
  - 電圧低下率 $\geq 2\%$   $\Rightarrow$  不純物の影響あり
- 影響評価の結果
  - 被毒対策技術の有無 (ない場合は、水素循環系での濃縮を考慮して不純物の影響がない濃度の1/500倍)
  - 検出器の検出下限値
- DTS (Draft Technical Specification: TS原案)を作成 (日本が議長国となり規格化を主導)
- 水素中不純物の循環系での濃縮挙動を調査
  - 結果から許容濃度を見直し

平成20年3月発行のISO/TS14687-2 に反映させた

## IS化のためのデータ取得

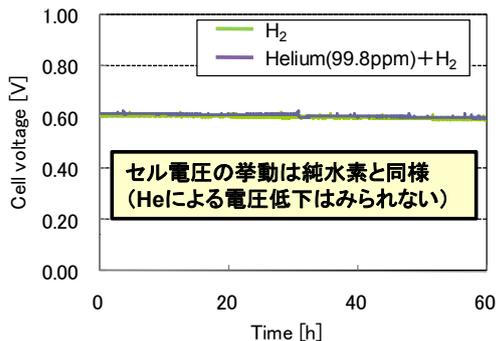
- FCVの普及を想定した、水素規格IS化のための調査
  - 水素純度と製造コストのトレードオフ分析
  - 不純物の分析法、分析精度の共通化および品質管理方法の検討
  - 不純物影響調査(JARI)
- 長時間の影響調査
  - FCV用水素規格が実用を考慮した長時間(5000時間相当)の運転でも妥当であるかを確認する
- FC材料の多様性(Pt担持量の影響調査)
  - 普及時のFCスタックのPt担持量を想定したMEAへの不純物の影響を調査し、FCV用水素規格の妥当性を確認する
- 混合不純物の影響調査
  - 複数の不純物がセル発電性能へ及ぼす影響を調査し、単一の不純物の影響評価結果から策定したFCV用水素規格の妥当性を確認する

平成22年10月発行予定のDIS一次案に反映させた

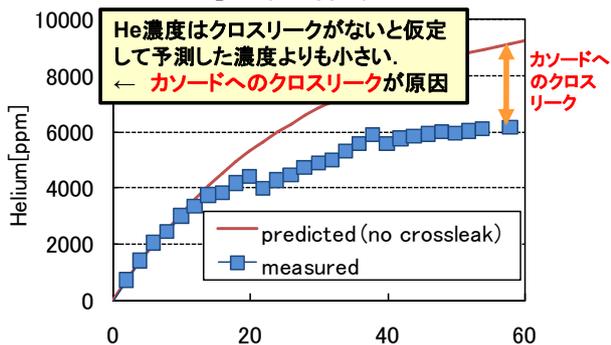
21/48

# 研究成果 3. 水素燃料仕様の国際標準化 ISO/TS 14687-2の検証(循環系での濃縮挙動)

## Heの濃縮挙動

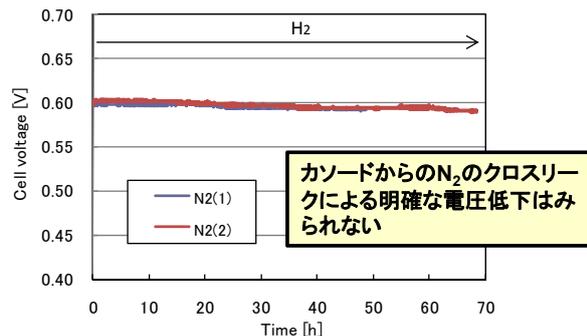


H<sub>2</sub>+He(99.8ppm)でのセル電圧

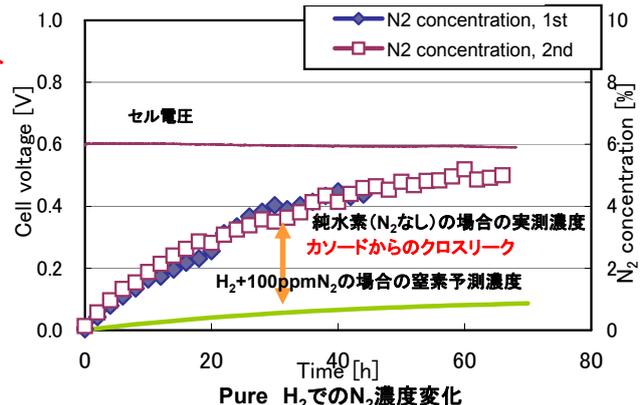


H<sub>2</sub>+He(99.8ppm)でのHe濃度変化

## N<sub>2</sub>の濃縮挙動



純水素循環系でのセル電圧



Pure H<sub>2</sub>でのN<sub>2</sub>濃度変化

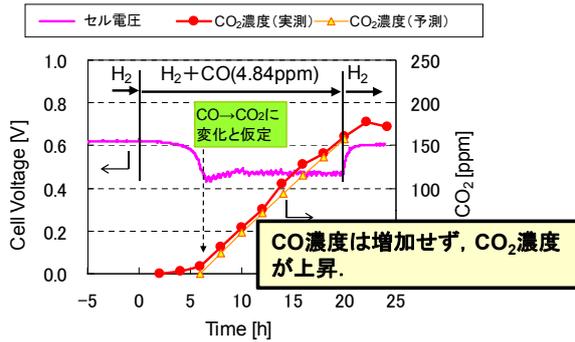
不活性ガスの濃縮挙動は膜へのクロスリーク性に依存する

事業原簿 III 2.1(1)-80

22/48

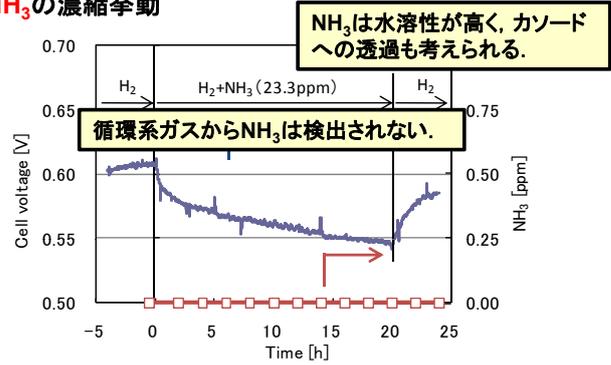
# 研究成果 3. 水素燃料仕様の国際標準化 ISO/TS 14687-2の検証(循環系での濃縮挙動)

## ● COの濃縮挙動(H18年度成果)



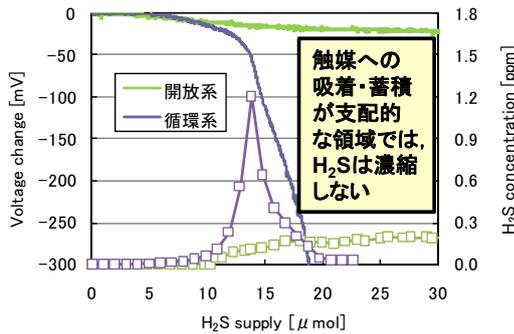
H<sub>2</sub>+CO(4.8ppm)でのセル電圧とCO<sub>2</sub>濃度

## ● NH<sub>3</sub>の濃縮挙動



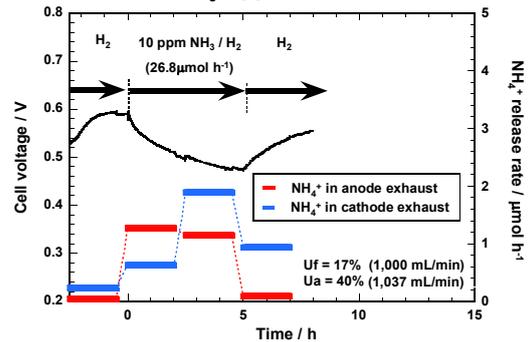
H<sub>2</sub>+NH<sub>3</sub>(23.3ppm)でのセル電圧とNH<sub>3</sub>濃度

## ● H<sub>2</sub>Sの濃縮挙動



H<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>S(1.6ppm)でのセル電圧とH<sub>2</sub>S濃度

## ● 開放系での排水分析(NH<sub>3</sub>10ppm添加水素)



H<sub>2</sub>+NH<sub>3</sub>(10ppm)でのセル電圧とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の放出速度(開放系での結果)

### 3.不純物の影響評価 ー水素循環系での不純物の濃縮調査ー

#### 代表的な水素中の不純物の循環系での濃縮挙動まとめ

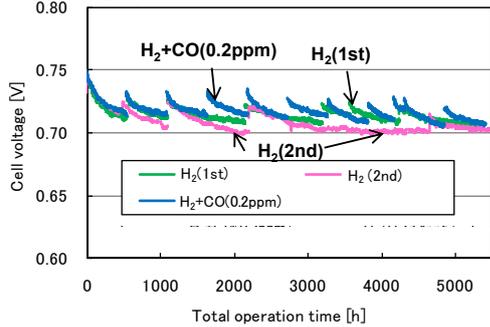
対象物質	試験濃度	濃縮	触媒吸着	物質変化	クロスリーク	水溶性	アノードの水素循環系での濃縮挙動
CH <sub>4</sub>	2 ppm	○	×	×	—	×	カソードへのクロスリークの影響は小さいため, 予測濃度に近い濃縮挙動を示す.
He	100 ppm	○	×	×	○	×	カソードへのクロスリークがあるため, 予測濃度ほどは濃縮しない.
N <sub>2</sub>	0 ppm (カソードからのリークを測定)	○	×	×	○	×	カソードからのクロスリークの影響は, 水素中の100ppmの窒素よりも大きい.
CO	1-5 ppm	×	○	○	—	×	COのままでは濃縮せず, COが酸化されて生成したCO <sub>2</sub> が濃縮する.
H <sub>2</sub> S	1,10ppm	×	○	—	—	○	触媒Ptへ吸着・蓄積が進行する間はガス中では濃縮しないが, 吸着・蓄積が進行しなくなった後(性能の低下レベルとしては許容できない)は濃縮する.
NH <sub>3</sub>	5-23.3 ppm	×	—	—	○	○	触媒上での吸着・反応、膜への溶解やクロスリークの可能性がある。カソード側でもNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> を検出.

○:あり ×:なし

・物質変化(CO), 吸着(H<sub>2</sub>S), 水溶性(NH<sub>3</sub>)のある不純物は濃縮せず, 発電に影響しない不活性ガスは濃縮した。さらに, 不活性ガスの濃縮挙動は膜のクロスリーク性に依存することがわかった。  
 ・従来はすべての不純物が一律に濃縮すると仮定して議論を進めてきたが, 各純物で濃縮挙動が異なることを明らかにした。⇒ IS/TS14687-2に反映

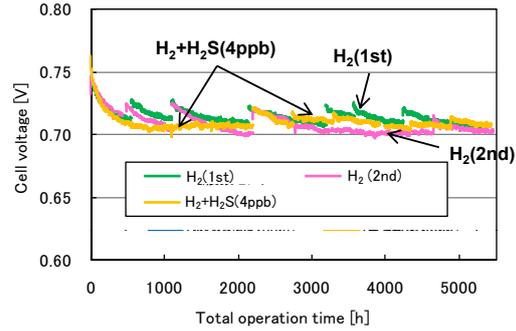
# 研究成果 3. 水素燃料仕様の国際標準化 ISO/TS 14687-2の検証(長時間試験)

## CO(0.2ppm) ← TS許容濃度



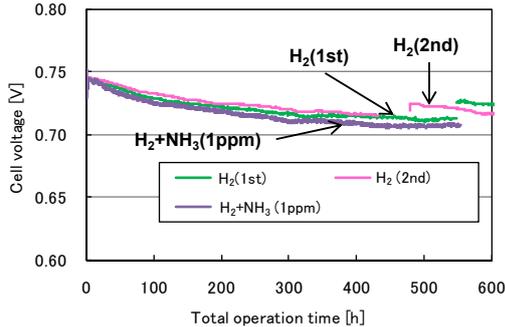
5000時間影響評価 (0.4mgPt/cm<sup>2</sup>, 250mA/cm<sup>2</sup>)

## H<sub>2</sub>S(4ppb) ← TS許容濃度

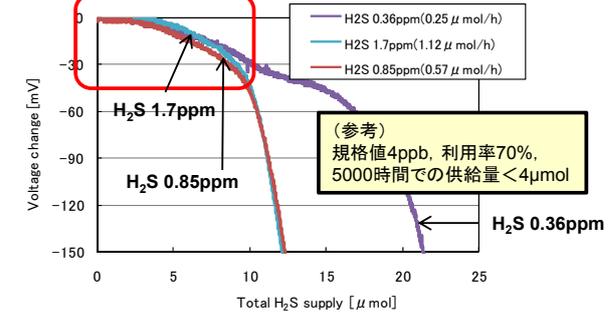


5000時間影響評価 (0.4mgPt/cm<sup>2</sup>, 250mA/cm<sup>2</sup>)

## NH<sub>3</sub>(1ppm) ← TS許容濃度 × 10



500時間影響評価 (0.4mgPt/cm<sup>2</sup>, 250mA/cm<sup>2</sup>)



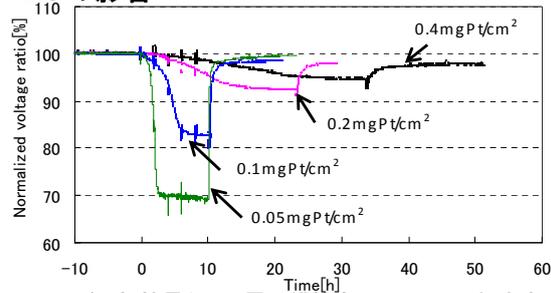
セル電圧変化とH<sub>2</sub>S供給量 (0.4mgPt/cm<sup>2</sup>, 1000mA/cm<sup>2</sup>)

一定供給量(約10μmol)までは電圧低下量はH<sub>2</sub>S供給量で整理できる  
⇒濃度による加速試験が可能

TSの許容濃度であれば一つの目安である5000時間相当の発電に影響はない(Anode 0.4mg-Pt/cm<sup>2</sup>)

# 研究成果 3. 水素燃料仕様の国際標準化 IS化のためのデータ取得(Pt量低減の影響)

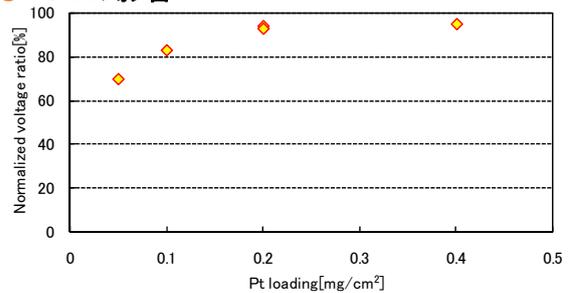
## COの影響



アノードPt担持量とセル電圧維持率(CO 1ppm添加水素)

Pt担持量を低減するとCOによる電圧低下の速度が大きくなる

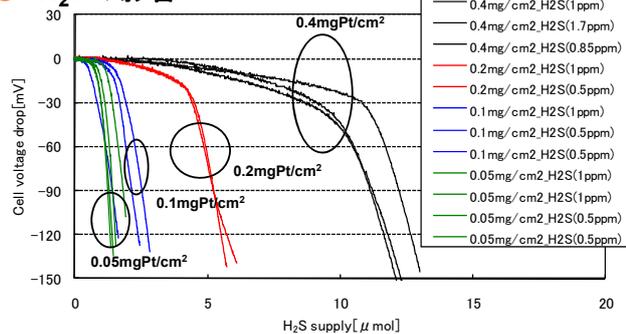
## COの影響



アノードPt担持量とセル電圧維持率(CO 1ppm添加水素)

Pt担持量を低減するとCOによる電圧低下量が大きくなる

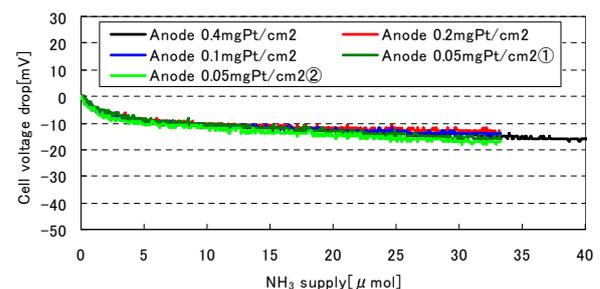
## H<sub>2</sub>Sの影響



H<sub>2</sub>S供給モル数とセル電圧低下量の関係

アノードのPt担持量を低減するとH<sub>2</sub>Sによる電圧低下が短時間で現れる。H<sub>2</sub>SがPtに吸着・蓄積していく結果、反応有効面積が減少することが原因と考えられる。

## NH<sub>3</sub>の影響



NH<sub>3</sub>供給モル数とセル電圧低下量の関係

電圧低下量はアノードのPt担持量に依存しない。

アノードのPt担持量がさらに低減された場合、不純物による影響が大きくなる可能性がある。

# 研究成果 3. 水素燃料仕様の国際標準化 IS化のためのデータ取得

水素燃料中の代表的な不純物の影響まとめ

○:あり, ×:なし

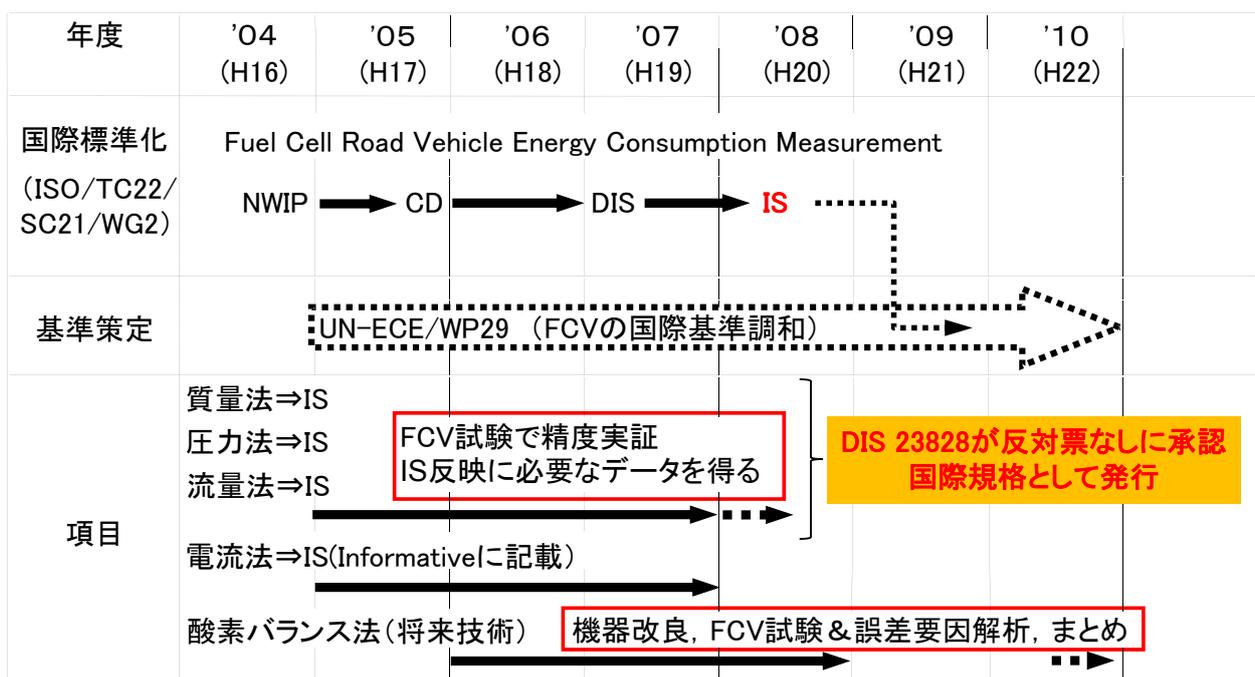
不純物	CO	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>
発電性能への影響	電圧は低下するが比較的短時間で安定する。電圧低下は可逆的である。	電圧は低下し続け、供給量が一定値を超えると低下速度が大きくなる。電圧低下は不可逆である。	電圧は低下し続け、低下速度に大きな変化はない。電圧回復に時間を要する。
推定されるメカニズム	短時間で触媒Ptへの吸着が飽和する。純水素や運転パターンによる電位変動によって脱離する。	触媒Ptへの吸着・蓄積が進行する。純水素や運転パターンによる電位変動によって一部脱離する。	溶解、物質変化してカソードにも影響する。
濃度依存性	○	○	○
試験時間(供給量)依存性	×	○	○
循環燃料中での濃縮の有無	× (CO <sub>2</sub> が濃縮)	×注) (触媒Ptに蓄積)	× (水溶性あり)
アノード担持量の影響	○	○	×
電圧低下への混合の影響	TSあるいはDIS一次案レベルの許容濃度では単独での低下量の和になる		
許容濃度の設定について	MEAのアノードPt担持量(触媒表面積)の影響を考慮する必要がある	MEAのアノードPt担持量(触媒表面積)とFCVの総走行距離・燃費を考慮する必要がある	FCVの総走行距離・燃費を考慮する必要がある
その他必要な検討	温度・湿度などの影響など	温度・湿度などの影響など	温度・湿度などの影響 カソードPt担持量の影響など

注)許容できる性能低下レベルまでの供給量における濃縮の有無を示した  
事業原簿 Ⅲ 2.1(1)-86

27/48

## スケジュール 4. 燃料電池自動車性能試験法の検討

ISO/TC22/SC21(電気自動車)/WG2(燃費試験法)におけるFCV燃費試験法IS化の議論に必要なデータを取得する。また、車両の改造を必要としない燃費計測手法について調査検討する。



NWIP: New Work Item Proposal, CD: Committee Draft, DIS: Draft International Standard, IS: International Standard

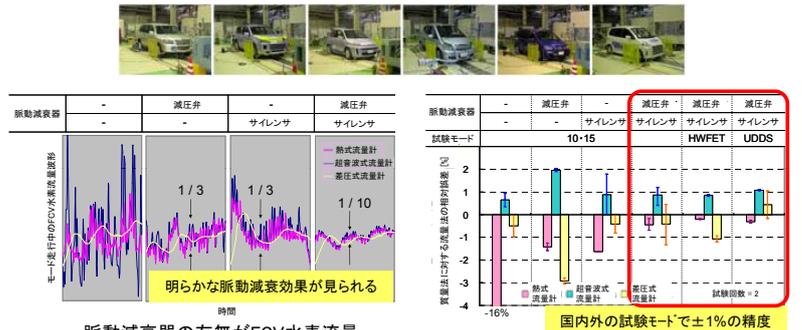
# 研究成果 4. 燃料電池自動車の燃費計測手法 流量法の開発

高精度・高応答の水素流量計とともに脈動対策を講じた測定系を開発し、燃料電池自動車の燃費試験において目標精度を達成できることを実証した。DIS投票前のISO会議にてこれらの結果を報告し、流量法が「規定」文書として記載されることとなった。国際規格ISO23828は日本案を十分に反映して2008年5月に発行され、目標を達成できた。

## 水素流量計の高精度・高応答化(平成17年度)

流量計	熱式	超音波式	差圧式
流量範囲	0-2000 NL/min	0-900 NL/min	0-1500 NL/min
精度	±1 %RD (±2000 NL/min)	±1 %RD (±900 NL/min)	±1 %RD (±1500 NL/min)
サンプル周期	5 ms	20 ms	20 ms
圧力損失	≤50 kPa (@2000 NL/min)	≤25 kPa (@900 NL/min)	≤20 kPa (@1500 NL/min)
圧力範囲	0-1 MPaG (耐圧 1.5 MPaG)	0-1 MPaG (耐圧 1.5 MPaG)	0.5-1 MPaG (耐圧 1.5 MPaG)
外観			
備考	流量に応じて、流速センサーを3個搭載 #1: 0-200 NL/min #2: 20-2000 NL/min #3: 200-2000 NL/min	伝搬時間差法 伝搬時間を確保するため、 小口径測定器を使用 (内径5.7mm, 全長462mm)	流量に応じて、圧力センサーを2個搭載 #1: 0-100 NL/min(1kPa FS) #2: 100-1500 NL/min (20kPa FS)

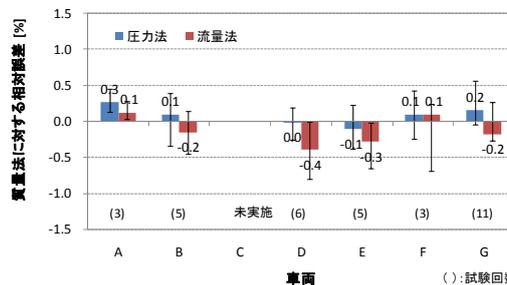
[FS: フルスケール, RD: 読み値]



脈動減衰器の有無がFCV水素流量計測波形に及ぼす影響

脈動減衰器の有無が燃費計測値に及ぼす影響

## 脈動減衰器が流量波形や燃費計測値に及ぼす影響(平成18年度)



- ▶ 全ての車両において、流量法の誤差±1%以下。
- ▶ 圧力法と同様に安定して計測できることを実証。
- ▶ DISの裏付けとなるデータを取得。平成20年5月にISO23828発行。

## FCV水素流量脈動に対応した測定系(平成18~19年度)

事業原簿 III 2.1(1)-94~97

## FCV燃費試験での流量法、圧力法の誤差(質量法基準、平成19年度)

流量法: 熱式流量計, 脈動減衰器として減圧弁とサイレンサを併用

29/48

# 研究成果 4. 車両改造不要な燃費計測手法の開発

排出ガスから燃費を算出する新しい手法として酸素バランス法を考案・検討した。燃料電池システムや燃料電池自動車の試験から精度や再現性の点でまだ課題があること、ただし計測方法や演算手法の改良により精度を向上できることを明らかにし、その可能性を示した。

## ● 酸素バランス法の原理

吸排気の酸素量変化から、FCスタックにて反応した水素量を算出。バージ水素は排気の水素濃度と流量から求める。



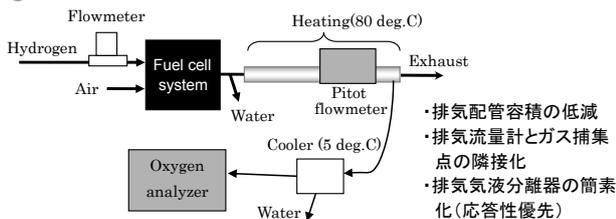
燃料電池スタック吸排気における酸素量のモルバランス

$$ML_{O_2-FC} [mol / test] = ML_{O_2-in} - ML_{O_2-out}$$

燃料電池スタックにおける水素消費モル量

$$ML_{H_2-FC} = 2 \cdot ML_{O_2-FC}$$

## ● 計測方法の改良



## ● 酸素分析応答の補正

排出ガスの伝達特性をむだ時間+一次遅れとして酸素分析応答補正

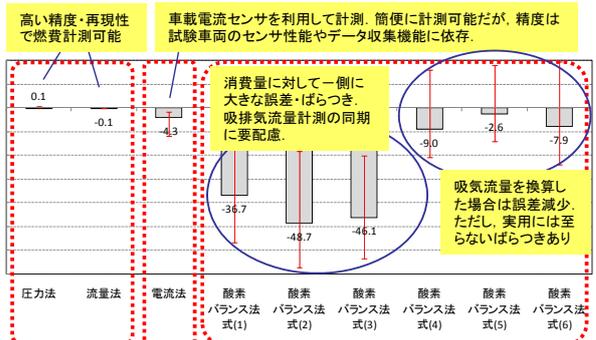
$$Q_{O_2}(t) = Q(t) \cdot C_{O_2}(t + \tau(t))$$

$$V = \sum_{i=1}^{t+\tau(t)} Q(i) \cdot dt$$

$Q_{O_2}(t)$ : 時間tのFCシステム出口の酸素排出量  
 $Q(t)$ : 時間tの排出ガス流量  
 $C_{O_2}(t)$ : 時間tの流量計位置の酸素濃度  
 $\tau(t)$ : 時間tにFCシステムから排出されたガスが流量計位置へ到達するまでに必要な時間  
 $V$ : FCシステム出口から流量計までの配管容積

事業原簿 III 2.1(1)-97~100

## ● FCV燃費試験による精度確認、課題抽出



## FCV燃費試験(10・15モード、JC08モード)における各計測手法の誤差(質量法基準、試験車両4台の平均・最大・最小)



誤差は-3~+1%の範囲となり大幅に改善した。

酸素バランス法の流量法に対する誤差(JC08モード) 30/48

# 研究成果 5. MEA耐久評価試験方法

## MEA耐久評価試験の概要

新規材料の効率的な開発に必要なとの認識で提案されているMEA耐久評価プロトコルについて調査し、評価試験方法の協調のためのデータを取得する。

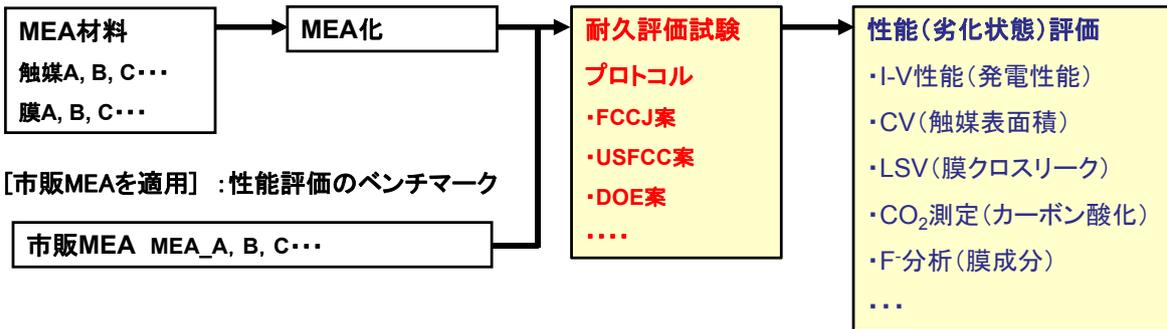
MEA耐久評価プロトコル(FCCJ, USFCC, DOE)で設定している評価方法

- ・電解質膜耐久性(Membrane durability) : **OCV試験**
- ・担体耐久性(Carbon corrosion) : **起動停止試験**
- ・Pt安定性(Catalyst stability) : **負荷変動試験**



MEAの性能や耐久性はセルや途中診断条件によっても変化する。セル、途中診断条件は揃えてプロトコルを比較した。

[JARIでMEAを作製] : 任意の材料を選択

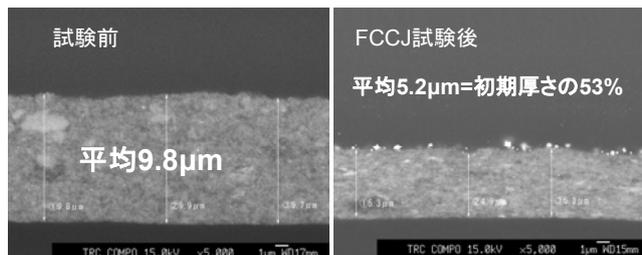
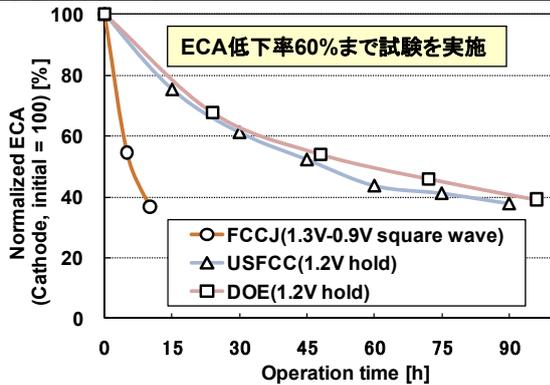


[市販MEAを適用] : 性能評価のベンチマーク

市販MEA MEA\_A, B, C...

- ・各プロトコルにおける性能低下を途中診断で調査する。
- ・各プロトコルにおける試験条件の違いによるMEAの発電性能の低下、材料の劣化状態の差を調査する。

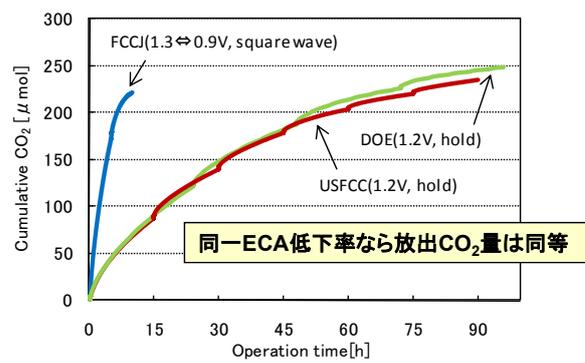
# 研究成果 5. MEA耐久評価試験方法



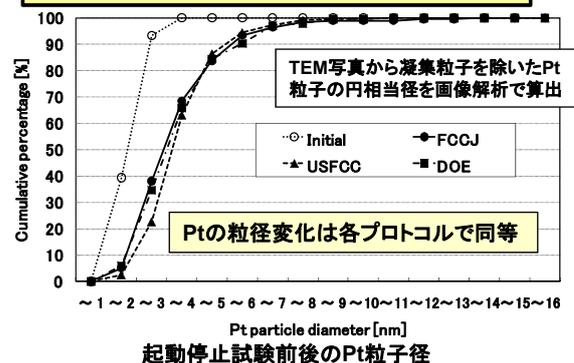
起動停止試験前後のカソードSEM像

- ✓ FCCJのプロトコルが最も短時間で担体カーボンの腐食を評価できる可能性がある。
- ✓ 触媒担体がカーボンであれば、CO<sub>2</sub>量を測定することで担体の劣化をある程度把握できる。

## 担体カーボンの耐久性評価(起動停止)試験

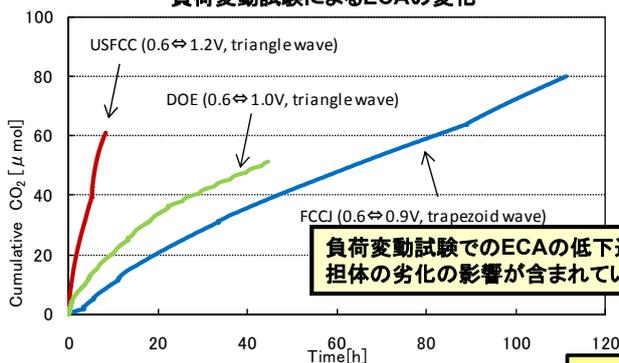
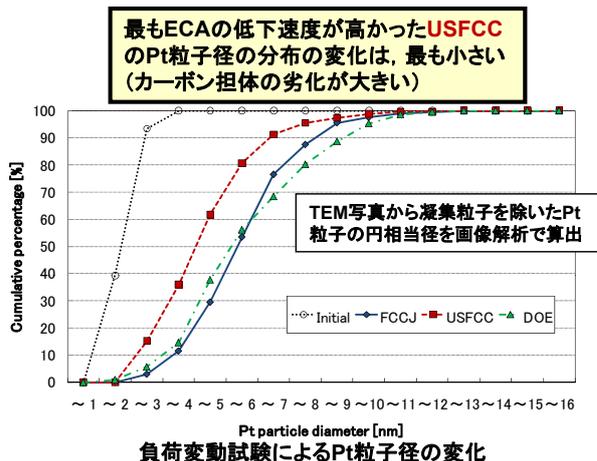
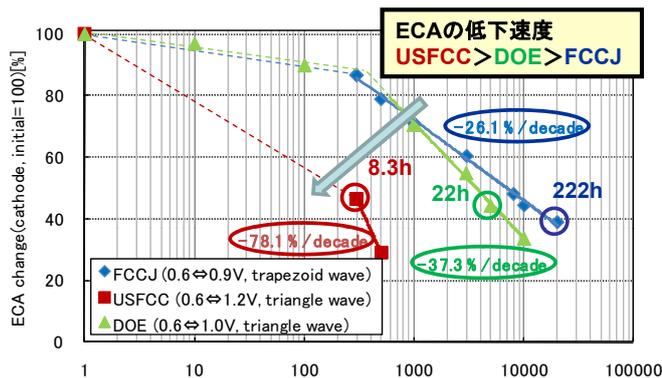


カソード触媒層中の担体カーボンの酸化重量割合  
 FCCJプロトコル(600cycle, 10h) = 29 wt%  
 USFCCプロトコル(6cycle, 90h) = 31 wt%  
 DOEプロトコル(4cycle, 96h) = 32 wt%



# 研究成果 5. MEA耐久評価試験方法

## 触媒Ptの耐久性評価(負荷変動)試験

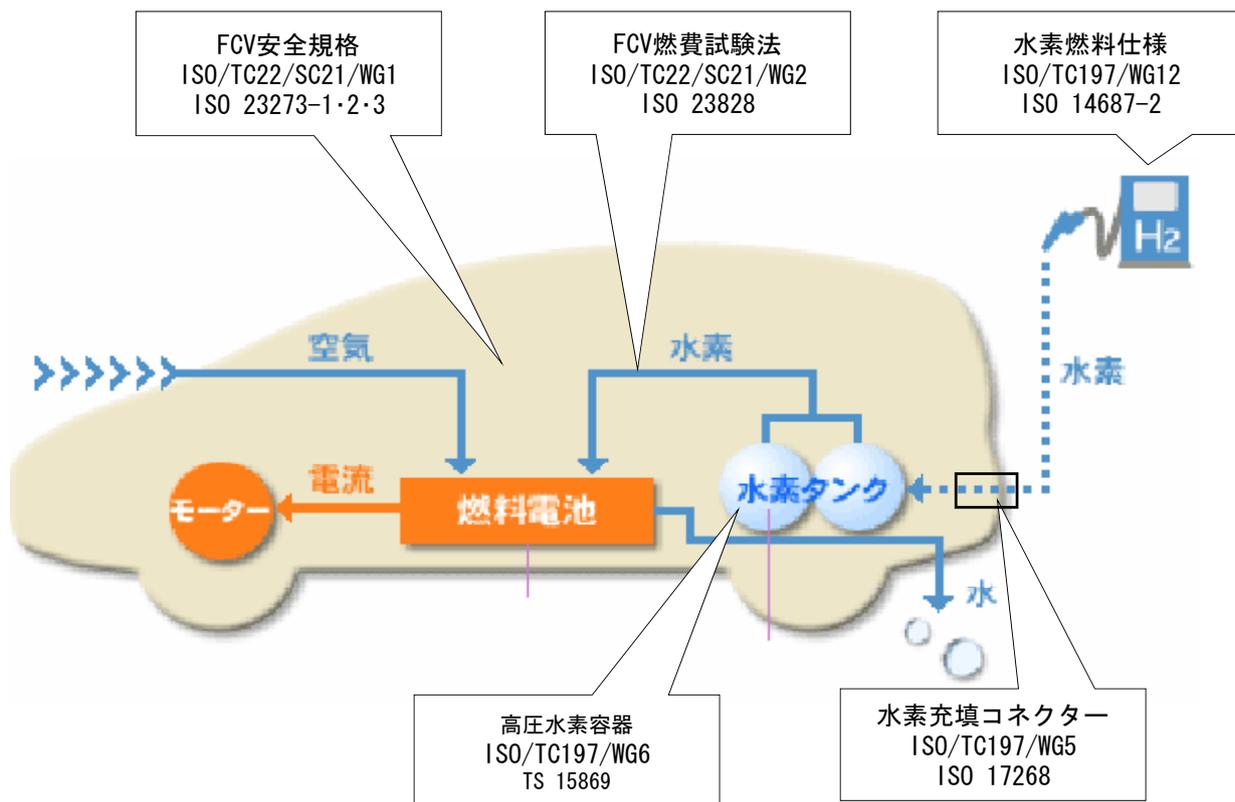


✓カーボン担体の耐食性が高い触媒では、DOEプロトコルの方がPtの劣化が加速される結果、試験時間を短縮できる可能性がある。  
 ✓触媒Ptのみの劣化はカーボン担体の劣化の影響が小さい条件で評価する必要がある。

**MEA耐久評価プロトコルの協調のためのデータを整えた**

# 研究成果 6. 基準・標準化活動

## FCVIに係る標準化項目



### ミレニアム事業のFCVに係る標準化項目の想定

NEDOミレニアムプロジェクト(2000～2004年度)開始当初にFCVの標準化項目を洗い出し、下記について実施することとした。

- ISO/TC22/SC21(電気自動車)関連

- FCV安全規格(3部作):WG1
- FCV走行性能(最高速試験法):WG2
- FCV燃費測定法:WG2

- ISO/TC197(水素技術関連)

- 水素燃料仕様

ミレニアム後半より国際標準化審議への実質参加

- 車載用高圧水素容器
- 水素コネクタ

### 水素社会構築共通基盤整備事業

### FCVに係る標準化項目の経過及び今後の課題 1

- ISO/TC22/SC21(電気自動車)関連

- FCV安全規格(3部作):WG1
  - ISO23273-1, -2, -3: 2006年3月、5月、11月発行  
ISO6469改定後の処理
  - ISO6469-1, -2, -3(EV安全)改定(2006年11月より審議)  
Part 1, 2は審議終了・発行待ち審議中  
Part 3(感電保護)、DIS投票終了  
その後の更新時の改定フォロー
- FCV走行性能(最高速試験法):WG2
  - ISO/TR11954: 2008年10月発行
- FCV燃費測定法:WG2
  - ISO23828: 2008年5月発行  
車両改造不要の燃費測定法の開発の必要性検討  
(2015年以降の取り組み)

## 水素社会構築共通基盤整備事業 FCVに係る標準化項目の経過及び今後の課題 2

### ● ISO/TC197(水素技術関連)

#### － 水素燃料仕様 (WG12)

➢ ISO/TS14687-2: 2008年3月発行

中間規模市場対応IS化への取り組み→2012年4月発行目処。

その後の成熟市場用規格の策定。(2015年目標)

#### － 車載用高圧水素容器 (WG6)

➢ ISO/TS15869: 2009年2月発行

DISの3回に亘る否決によりTC事務局はTS化を選択。

qtrの制定、SAE/TIR J2579の改定に合わせIS化を目指す。

(2012年以降の審議)

#### － 水素コネクタ (WG5)

➢ ISO17268 (35 MPa対応): 2006年6月発行 (SAE J2600のコピー)

70 MPa対応規格を包含した改訂規格策定作業に着手。

日本提案ノズルシール型構造がDISに採用され、投票中。

(今後、欧米OEMと要調整) (2011年発行目処)

## 自動車用燃料電池における国際標準化進捗状況

- NEDO「水素社会」プロジェクトでの試験データをベースとして、ISOの審議において日本がリードして国際標準化を実施。
- 当プロジェクトが貢献した発行済み国際規格: IS 7件、TS 2件、TR 1件、その他改定も含めて4件が審議中。

項目		Convener	日本事務局 Expert	進捗状況	
ISO	TC22/SC21 (電気自動車) 議長: Dr. Wunderlich / Damier(独)	注)*1:( )は活動の目標			
		WG1(安全) FCVの安全 (IS化) Part1: 機能 (運転・操作) Part2: 水素 Part3: 高電圧 TF:SC21用語 (TR化) リーダー: Mr. Rothe / 独	Mr. Rothe / 独	吉原三智子/JARI 木下直樹/ホンダ 藤本佳夫/トヨタ	・日本主導で審議、2006年にISO23273 (FCV安全規格: Part 1~3)として発行。 ・ISO6469 (EV安全)について、2006年11月より、FCV、HEVも含めた総合的な安全規格改定審議を開始。Part 1 (電池) & 2 (機能)は2009年9月に発行。Part 3 (高電圧)はDIS審議中。(2nd DISが2010年9月に承認され、FDISの発行待ち。)
		WG2(性能) FCV性能試験法	藤本佳夫/トヨタ	吉原三智子/JARI 藤本佳夫/トヨタ	・2004年4月にSC21内共通用語とする方針とし、2004年11月にTR化に合意。ISO6469改正の動きに合わせ継続審議中。
	WG5: 水素充填コネクタ (IS化)	Mr. Gambone カナダ/ Powertech	福本 紀/JARI 山梨文徳/日産 後藤邦彦/日東工器	・2008年5月 JARIの試験成果を盛り込み、質量法、圧力法、流量法を用いた燃費測定法 (ISO23828)が発行された。	
	WG6: 圧縮水素ブレンドガス容器 (IS化)	Mr. Webster カナダ/ Powertech	福本 紀/JARI 山梨文徳/日産	・2006年11月つくば会議での審議の結果、最高速試験法についてTRとしてこれまでの議論をまとめ、2007年10月WGで内容合意した。投票の結果、承認され、TR 11954として2008年10月に発行された。	
	WG12: FCV用水素の製品仕様 (TSの後IS化)	高木靖雄/ 東京都市大学	富岡 (Secretary)/JARI、 中田/トヨタ、藤本/トヨタ、 安田/ガス協、小関 /FCDIC、宮下/ENAA、 赤井/JARI	・外部充電無しHEVの排ガス燃費試験法 (ISO23274)は2007年6月に発行済み。 ・現在は、日本がプロジェクトリーダーで、外部充電有りHEVの排ガス燃費試験法原案作成中。2009年10月7日日本からのNP提案が承認された。2010年9月にCD投票が終了し、CDコメント審議中。 2006年6月に迅速法により、SAE J2600をベースとしてIS17268が発行した。引き続き改訂審議に移行し、2009年9月バンクーバー会議において70MPa標準構造として日本提案が選定され、DIS17268に記載された。(2010年6月否決) 国内では、経年劣化を想定した新基準策定作業を進めており、2008年8月の投票においてDIS15869.3を否決した結果、TS化に賛成するコメント多数であったことから、2009年2月にTS15869が発行された。 日本が幹事国となり、先ずは小規模導入段階用としてTS化を目標に活動。2006年12月締切のDTS投票の結果、承認され、2008年3月TS発行。今後、IS化に向け、各国が協力して試験研究を実施し、2012年を目処にIS化の予定。現在CD回付が終了し、DIS策定の審議を進めている。	

1:提案段階 NWP(New Work Item Proposal)  
2:作成段階 WD(Working Draft)

3:委員会段階 CD(Committee Draft)  
4:照会段階 DIS(Draft International Standard)

5:承認段階 FDIS(Final Draft International Standard)  
6:国際規格 ISO(International Standard)

## ISO/TC197(水素技術)における国際標準化活動の状況

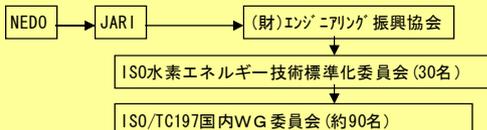
【成果】国際的拡がりや連環を持つ水素技術の国際標準化に向けて、我が国における水素技術研究開発・実証試験成果を基に我が国のコメント・意見を積極的に反映した。

- 【ISO/TC197水素技術の国際標準化の目標】
- (1) 国際的拡がりや連環を持つ水素技術の国際標準化の推進
  - (2) 安全・環境を配慮した世界共通の水素技術標準化の推進
  - (3) 企業の技術開発・競争力の強化

ISO/TC197の概要【設立】1989年11月  
 【目的】エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、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推進する。

【幹事国・議長】カナダ(Mr.Randy Dey)  
 【日本の体制】審議団体:(財)エンジニアリング振興協会  
 【ISO/TC197加盟国】  
 ・Pメンバー(21カ国):日、米、英、仏、独、加、韓、露、蘭、アルゼンチン、エジプト、スエーデン、スイス、ベルギー、ルウェー、イタリア、スペイン、デンマーク、インド、中国、ブラジル  
 ・Oメンバー(11カ国):豪、チエ、タイ、香港、ハンガリー、ジャマイカ、リビア、トルコ、フィンランド、セルビア

### 実施体制及び分担等(水素社会構築基盤事業)



WG No.	標準化対象項目	審議状況概要(2010年1月現在)
5	水素供給用コネクタ	●70MPa対応の改訂版DIS17268回布。シール構造がバズル側案(日本案)がDIS案に載った。
6	車載用水素容器	●2008年8月3rdDIS投票、再度否決。(日米等8カ国反対) 2009.2月TS15869が発行。引き続きIS化作業中。
8	水素製造装置—水電解装置	●Part 1(工業用)ISO22734-1が2008年6月発行。Part 2(家庭用)DIS段階。ISは2011年5月予定。
9	水素製造装置—改質器	●Part 1(安全性)ISO16110-1が2007年3月発行。Part 2(効率・性能)FDIS16110-2が09年11月回付。日本から効率計算式を提案し、採用された。
10	水素吸蔵合金容器	●製品が流通されているため、2008.4月にTS(技術仕様書)化、その後IS化作業を行い、ISO16111が2008.11月発行された。UNの危険物輸送委に引用。
11	水素ステーション	●2008.4月T20100発行。引き続きIS化に向けて作業中。CD20100が09.9月にコメント集約。ISは2012年目標
12	FCV用水素燃料仕様(議長:日本)	●2008.3月TS14687-2が発行。引き続きIS化へ作業中。2009.9月CD14687-2が回付され、コメント集約。DIS:2010.10月、ISは2012.4月目標。
13	水素検知器(議長:日本)	●05.11月NWIP採択されWG発足。2009.2月DIS26142投票結果、採択。10.2月FDIS回付。IS:2010.5月予定。
—	Ad-Hoc水素部品	●4つ分類され、aa既存規格使用、bb多少の修正案、cc大幅修正案、dd新規の規格必要、NWIP模索中。
14	定置FC用水素仕様(日本新規提案)	●09.11のNWIP投票結果採択され、WG14として発足。定置式FC用の水素仕様IS化を目指す。
15	蓄圧器(仏提案)	●2010.01のNWIP投票結果、採択され、WG15として発足。WG15国内準備委員会が開催された。

## 「平成17~平成21年度までの成果」

水素・燃料電池自動車の安全性評価の研究開発および燃料電池性能評価法の研究開発を実施し、燃料電池自動車の基準・標準化を推進した。主な成果は以下のとおり。

### 安全部門

- 自動車用圧縮水素容器の基準のさらなる合理化
  - 70MPa自動車用圧縮水素容器基準の策定に資するデータを取得し、Step1策定に貢献。
  - ・ 自動車の使用環境下での容器の温度負荷の状況を調査→容器の温度範囲の検討。
  - ・ 容器寿命評価のために日本が採用する液圧によるサイクル試験の妥当性を検証するためのデータを取得。
  - ・ 水素ステーションでの充填手順の策定に資するデータを取得。
- 車両安全(UN-ECE/WP29 AC3 HFCV gtr)関連
  - ・ 車両火災試験を実施→安全な水素放出システムの検討、容器の局所火災暴露試験策定。
  - ・ 水素漏洩引火試験を実施→漏れ許容量の妥当性検証。
- 消火活動等での安全指針に資するデータの取得
  - ・ 水素火災の消火性調査や消火放水時の容器の強度低下状況などを調査。
  - ・ 安全弁作動時の火災規模や水素の着火状況について調査。

### 性能部門

- FCV燃費試験法
  - ・ ISO/TC22/SC21/WG2(電気自動車・性能):質量法、圧力法、流量法の各燃費測定法を本事業にて開発。FCV燃費測定法をISOに提案。これらのJARI開発の測定方法を規定したISO23828(FCV燃費試験方法)が発行された。
- 水素燃料仕様の国際標準化
  - ・ ISO/TC197/WG12(水素燃料仕様):
  - ・ 水素燃料中の不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす系統的な影響評価結果を許容濃度設定のための議論に提供し、ISO/TS14687-2の発行(平成20年)に貢献、デモ・フリート期におけるFCV保護のために必要な規格を策定した。
  - ・ 循環系での濃縮、長時間の影響、加速試験条件、混合不純物の影響、Pt担持量の影響などに関する調査により、中間規模市場に向けた規格に必要な基礎的データを収集し、IS化のための国際会議における審議に提供した。これにより、ISO/DIS14687-2原案の策定に結びつけた。
  - ・ 水素用付臭剤: JARI、および日本ガス協会にて選定した候補化合物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響を系統的に調査し、FCV用水素付臭剤として求められる特性とあわせてデータ ベースを作成した。

### ➢ MEA耐久評価試験方法

- ・ 市販材料を用いて使用材料が明らかなMEAをJARIで作製し、FCCJ、USFCG、DOEから提案されているMEAの耐久性評価試験(触媒Ptの耐久性評価試験、担体カーボンの耐久性評価試験、電解質膜の耐久性評価試験)に適用し、性能や材料の劣化を比較した。これにより、評価法の協調・統一化のための基礎データを取得するとともに、MEAの耐久性を評価するための手順や方法に関する基本案を作成した。

# 「今後の開発課題」

2011年度以降の事業展開の中で実施が望まれる課題(2015年に向けて)→取り組みについては関連業界との合意を形成した上で実施。

## 安全部門

一般ユーザーへの普及に備えた基盤整備 → 実市場での走行を可能にするための各種課題に対応するデータ提示

### 容器

- 自動車用圧縮水素容器基準 Step2の基準合理化に資するデータ取得。
- その他の水素貯蔵システムの安全性評価。
- 水素充填手順の整備に資するデータの取得。
- 70 MPa フル充電への取り組み。

### 自動車

- UN-ECE/WP29 AC3 HFCV gtr(Phase2)策定に資するデータ取得。
- 国連輸送規制対応(海上輸送等)に資するデータ取得。
- FCV普及時に想定される課題、(事故や火災時のFCV、その後の高圧水素容器の取り扱い等)に資するデータの取得。
- 車両・部品のリユース方法。廃車方法の検討。

## 性能部門

一般ユーザーへの普及に備えた基盤整備 → コスト低減に資する、燃料仕様等の改定及びMEA評価法等の確立

### FCV燃費試験法の開発・標準化

- ISO/TC22/SC21/WG2(電気自動車・性能):車両改造不要な燃費測定法の開発とその標準化、国際規格維持・改定。

### 水素規格IS化のための調査

- 未調査の不純物成分(粒子、ハロゲン化物等)の影響調査。
- 材料仕様(触媒・膜の種類)の異なるMEAへの不純物影響の調査。
- 温度、湿度、圧力などの運転条件が不純物による性能低下に及ぼす影響調査。
- 不純物による劣化メカニズムの検討、モデル化。
- 付臭剤脱臭技術など:実際の燃料電池自動車のバージ動作に伴う脱臭技術など、実用化に対応した技術調査。

### MEA耐久評価試験方法

- 共通化したMEA耐久性評価試験法の確立。
- 様々な研究機関で開発された材料のMEA化、実セルによる発電評価。
- MEA化前、評価試験後の劣化解析が実施可能な他のチームとの連携、耐久評価結果の材料開発へのフィードバック。

# 研究成果(平成17年度~21年度)

## 特許等:2件

特許:1件(燃焼試験装置:Hy-SEF)  
実用新案:1件(燃料電池単セルとその組立用ジグ)

## 論文等:189件

論文(査読付き):33件

投稿先

自動車技術会:11件、SAE:14件、その他:8件

口頭発表:88件

発表先

日本機械学会:1件、自動車技術会:21件、SAE:13件、その他:53件

その他(自動車技術、自動車研究 など):68件

## 受賞:4件

自動車技術会:4件

浅原賞、技術開発賞、プレゼンテーション賞

## マスコミ・教育活動

新聞掲載:日刊工業新聞 など

雑誌掲載:日経ナノビジネス、自動車専門誌 など

学校教育:つくば市内の高校での特別講義 など

# 実用化の見通し(1)

## 高压ガス保安法:自動車用圧縮水素容器等の基準適正化

- 自動車用圧縮水素容器の基準のさらなる合理化  
70MPa自動車用圧縮水素容器基準の策定に資するデータを取得し、Step1策定に貢献した。

## 道路運送車両法:UN-ECE/WP29/AC3 gtr策定

- 車両火災試験を実施→安全な水素放出システムの検討、容器の局所火炎暴露試験策定。
- 水素漏洩引火試験を実施→漏れ許容量の妥当性検証。
- 消火活動等での安全指針に資するデータの取得。

## ISO/TC22/SC21(電気自動車)WG2:燃費試験法

本事業で開発した圧力法、質量法、流量法、電流法がDISに採用。2008年にISO 23828としてほぼ原案通り承認・発行され、実用化された。

# 実用化の見通し(2)

## ISO/TC197(水素技術)WG12水素製品仕様

水素品質規格に関しては、FCV用を新たにPart2 (ISO/TS14687-2) TSとして策定、2008年に発行され、導入期のFCVのための仕様書として実用化された。また、2012年までのIS化に向けた各国研究協力を進め、DIS原案が策定された。今後の燃料中の不純物影響評価に資する。

## MEA耐久評価試験方法

MEA耐久性評価法の協調・統一化のための基礎データを取得するとともに、MEAの耐久性を評価するための手順や方法に関する基本案を作成した。

**本事業の遂行により、必要となるデータ取得が目標どおり得られ、国内外の基準・標準化に資することができ、実用化が可能となった。**

# 成果の概要と自己評価(1)

項目	目標	成果	自己評価
①水素・燃料電池自動車の安全性評価			
a. 自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価	業界ニーズを反映させた自動車用圧縮水素容器の基準合理化項目として、容器の高圧化最小破裂圧力および圧力サイクル数の見直しおよび使用温度範囲の拡大などに資するデータ取得、および国際基準調和のためのデータ取得および安全情報のためのデータを取得する。	70MPa化に伴うVH4容器透過試験の合格閾値や、充填サイクルに関わる容器の不具合事象の把握、および急速充填試験やガスサイクル試験を行い、容器の使用温度範囲に関わる課題の抽出、新基準Step1（容器の70MPa化と耐久性の適正化など）提案の使用環境負荷試験を行い、これらの成果は新基準Step1へ反映された。国際基準調和の技術根拠に資するため、国内業界が推奨する液圧サイクル試験の妥当性検討のデータ、また、各種条件での車両火災時の容器周囲の温度データを取得した。これらのデータは局所火災暴露試験方法の温度プロファイルに活用された。 また、安全な消火救助の対応方法として、消炎試験や容器放水試験などを行い、水素燃料自動車の緊急対応指針策定のためのデータを取得し、試験データ集をまとめた。	◎
b. 高密度水素貯蔵技術の安全性評価	高密度水素貯蔵に関わる安全性評価試験策定に向けたデータを取得する。	安全性評価試験策定に向けた液体水素容器のボイルオフなどの断熱性能試験や液体水素漏洩時の挙動に関わるデータを取得した。	○
c. インターフェイスの標準化	コネクタおよび通信に関する試験法を基に安全性、耐久性試験を実施し、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得する。	充填コネクタの耐久試験を行い、日本提案70MPa水素充填ノズルがDISに採用された。また、非通信充填プロトコル標準化に係わるデータを取得し、国内水素ステーションにおける充填手順の策定に貢献した。	◎
d. 要素部品の安全性評価	要素部品、および部品が複合化されたシステムでの安全確認試験データを取得し、試験法案策定に資する。	ガラス式安全弁の作動影響に関するデータ取得を取得し、新材質PRDに対する試験法案策定に資するデータを取得した。	◎

# 成果の概要と自己評価(2)

項目	目標	成果	自己評価
②燃料電池性能評価法の標準化			
a. 燃料電池新規材料の評価試験方法	MEAの仕様、特にアノードの白金担持量が水素中の不純物による性能低下に及ぼす影響度を把握しIS（国際標準、International Standard）化のための議論に提供する。	アノードの白金担持量を低減した場合の水素中不純物による性能低下が、不純物の種類により異なることを明らかにした。担持量の低減により性能低下が大きくなる成分については、結果をTS(技術仕様書：Technical Specification)の規格値の設定に反映させた。	◎
b. 燃料電池耐久性評価試験方法	FCVの水素循環系における水素中不純物の濃縮挙動を把握し、IS化のための議論を提供する。	水素中の不純物の水素循環系での濃縮挙動が不純物の種類により異なることを明らかにした。循環系で濃縮する不純物については、結果をTSの規格値の設定に反映させた。	◎
c. MEA耐久評価法	MEA材料の耐久性評価試験方法として、FCCJ, USFCC, DOEから提案されているプロトコルの協調のためのデータ取得を行う。	材料仕様の明らかなMEAを作製して各プロトコルでMEA材料（触媒、電解質膜）の耐久性を評価し、性能低下挙動と材料劣化状態を比較した。得られたデータは、今後のプロトコルの協調と簡素化のための基礎データとなった。	◎
d. スタック、システム、車両性能評価試験方法	FCV燃費試験法IS化の議論に必要なデータを取得する。また、車両の改造を必要としない計測手法について調査検討する。	質量法や圧力法に加えて、高精度・高応答の水素流量計とともに脈動対策を講じた測定系を開発し、実際の燃費試験で流量法が目標精度を達成できることを実証した。国際規格ISO23828は日本案を十分に反映して2008年5月に発行され、目標を達成できた。	◎
e. 燃料電池自動車用水素燃料仕様	複数の不純物が水素中に存在する場合の発電性能の低下挙動の影響を把握し、IS化のための議論を提供する。	代表的な不純物の複数添加した場合の影響を調査し、各不純物を単独で添加したときの影響の和になることを明らかにし、DIS策定の議論を提供した。	◎
③ 基準・標準化活動			
国内外での基準・標準化	解析・技術部門各WG、及び各国内標準化WGにおいて審議し、国際会議ISO/TC22/SC21(電気自動車)およびISO/TC197(水素技術)への対応を行う。	国内での活発な議論に基づき、当プロジェクトでの試験データをベースとして、ISOの審議において日本がリードして国際標準化を実施。当プロジェクト取得のデータ等が貢献した発行済み国際規格：IS 7件、TS 2件、TR 1件、その他改定も含めて4件が審議中。	◎

# 自己評価(まとめ)

## ① 水素・燃料電池自動車の安全性評価:◎

下記に示す水素貯蔵容器や要素部品および水素燃料電池自動車(FCV)の安全性に関し、業界要望を取り入れながら、安全性評価手法の確立に資するデータを取得し、計画通りに進捗した。

- ・自動車用圧縮水素容器および搭載車両の安全性評価
- ・高密度水素貯蔵技術の安全性評価(平成18年度まで実施)
- ・インターフェイスの標準化(平成18年度まで実施)
- ・要素部品の安全性評価

## ② 燃料電池性能評価法の標準化:◎

下記に示す燃料電池自動車の燃料仕様や性能試験法について、業界要望を取り入れながら国際標準の提案、試験・評価手法の確立に資するデータを取得し、計画通りに進捗した。

- ・燃料電池新規材料の評価試験方法
- ・水素中不純物が燃料電池性能に及ぼす影響
- ・燃料電池耐久性評価試験方法
- ・スタック・システム・車両性能評価試験方法

## ③ 基準・標準化活動:◎

国内外の基準・標準化活動を計画通りに推進。

# 波及効果

## 1) JIS等への基盤的波及効果等の期待

本事業の推進により、UN-ECE、ISOなどの国際基準・標準に対して、日本案ベース、あるいは議長国として主導的な立場で基準・標準化活動が推進できる。

## 2) 燃料電池自動車の普及に対する期待

本事業の推進により、道路運送車両法・高圧ガス保安法などの基準の合理化ならびに燃費試験法、水素品質などの標準化が推進でき、燃料電池自動車の普及促進が可能となる。

## 3) 研究開発、人材育成等の促進に対する期待

本事業の実施により、国際標準化活動などの場において、コンビナ・セクレタリなど、世界をリードする役割を担う人材が育成されている。

<補足資料>

事業原簿記載スケジュール表

実施項目	平成17年度				平成18年度				平成19年度				平成20年度				平成21年度							
	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				
①水素・燃料電池自動車の安全性評価																								
(ア) 高圧水素容器の安全性評価																								
a) 圧縮水素自動車燃料装置用容器例示基準の合理化検討	容器試験データ収集				試験方法の合理性検討				例示基準の合理化にデータ増し				例示基準の合理化提案											
b) 圧縮水素自動車燃料装置用容器の安全性実証試験									開発容器の実証試験															
c) 高圧水素容器搭載車両の安全性評価	人への数値害調査				パラメータスタディー				燃料系および車両システムでの安全性評価データ収集				安全情報のまとめ											
(イ) 高密度水素貯蔵技術の安全性評価																								
a) 液化水素容器の安全性評価	充填時挙動などの基礎データ収集				安全試験データ収集																			
b) その他の高密度貯蔵合金容器の安全性評価																								
(ウ) インターフェイスの標準化																								
a) 高圧水素充填コネクタの安全性評価	高圧充填状況下のデータ収集				通信項目の調査																			
(エ) 要素部品の安全性評価																								
a) 附属品の安全性評価	単体作動試験				容器との組合せ作動試験				複合バルブの充填試験				複合バルブ・センサ熱耐久試験				試験法としての取りまとめ							
②燃料電池性能評価法の標準化																								
(ア) 燃料電池新規材料の評価試験方法																								
a) 新規MEAへの水素中不純物の影響評価	新規MEA材料の運転条件調査								MEA材料仕様および運転条件の影響調査				性能影響因子のまとめ											
b) 参照極付きJAR1標準セルの開発	参照極位置の影響調査				マニュアル作成および単セル試験法の開発				単セル試験法の新規材料への適用性検証															
(イ) 燃料電池耐久性評価試験方法																								
a) 不純物の影響評価	水素循環での発電評価装置の製作				水素循環系での不純物濃縮挙動調査				運転条件による影響の比較と不純物許容濃度の検証				性能低下の加速因子の調査・解析				加速試験方法の検討				加速試験方法の検証			
b) 水素用付臭剤の適用性	性能低下の加速因子の調査・解析				性能劣化メカニズムの解析と適用性の検討																			
(ウ) スタック、システム、車両性能評価試験方法																								
a) 燃料電池自動車性能試験法の検討	誤差要因解析・機器開発				実機への適用性評価				実機への適用性評価				高精度化に向けた検討				計測手法の精度検証							
・燃料電池自動車の燃費計測手法 流量法の開発	計測理論開発・機器開発				計測手法の精度検証				(FCV台上試験)				機器開発											
・車両改造不要な燃費計測手法の開発																								
b) 燃料電池システム、燃料電池スタック性能試験法の検討	定常性能試験				定常性能・負荷追従性																			
・燃料電池システム性能試験法の検討	最高出力の判定方法の妥当性				効率、熱バランスなどの調査																			
・燃料電池スタック性能試験法の検討																								
③標準化活動																								
(ア) 国内での基準・標準化																								
(イ) 海内での基準・標準化																								

平成17～21年度  
水素社会構築共通基盤整備事業  
水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

## 議題6-2-1.

# 水素インフラに関する安全技術研究

平成22年12月3日

(財)石油産業活性化センター

三菱重工業(株)、(株)日本製鋼所

(社)日本産業・医療ガス協会、(株)タツノ・メカトロニクス

出光興産(株)、(財)エンジニアリング振興協会、大陽日酸(株)

住金機工(株)、高圧昭和ポンペ(株)

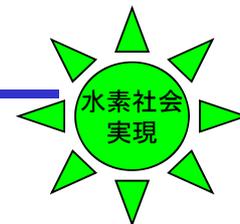
1

## 目次

1. 研究の背景、目的
2. 主要研究課題
3. 実施体制
4. 成果の概要と自己評価
5. 関係各機関との連携
6. 実用化の見通し

2

# 1. 研究の背景、目的



## 研究の背景

- ・世界的な環境意識の高まり
- ・燃料電池自動車 (FCV) と水素スタンドの普及促進
- ・水素関連業界 (燃料電池実用化推進協議会: FCCJ など) からの要請

## 研究の目的

水素スタンド安全性評価や  
規制見直しの根拠データ収集



＜成果＞  
普及促進につながる  
規制見直しのための  
技術基準案 (ドラフト)

## ポイント

- ・安全性の確保と規制緩和のバランス
- ・FCV と水素スタンドの普及台数に即した規制緩和 (導入期～普及期)

安全性の確保



水素スタンドの  
規制緩和

3

## 2-1. 主要研究課題

### ① 70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証

- 水素スタンドに係わる安全性評価および安全対策の検討【PEC】
- 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認【MHI】
- 水素スタンド構成金属材料 (鋼材) の評価【JSW】
- 畜圧器の製造技術検討【SK、KSB】
- 水素スタンド構成機器の安全性検証
  - ✓ 機器・配管【JIMGA】
  - ✓ 圧縮機【JSW】
  - ✓ ディスペンサー【TM】
- 35MPa実水素スタンドによる安全対策等の検討と検証実水素スタンド【ENAA、出光】

### ② 液体水素スタンドの安全性検証

- 水素スタンドに係わる安全性評価および安全対策の検討【PEC】
- 水素スタンドを想定した水素の拡散、着火、爆発の挙動確認【MHI】
- 水素スタンド構成機器の安全性検証【JIMGA】

4

## 2-1. 主要研究課題

### ③ 水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討【PEC】

- セルフ式ガソリンスタンドへの水素スタンド併設
- 水素スタンドの屋内給油取扱所への併設
- 水素スタンド単独設置時の離隔距離短縮
- SS併設型水素スタンドにおける水素ガスエンジン自動車への水素充てん
- 危険物を原料とする改質器無人暖機運転

### ④ その他

- 圧縮水素運送自動車用容器等の安全性検証【JIMGA、TNSC】

5

事業原簿 p. II 2.1.3(1) - 1 ~ p. II 2.1.3(1) - 8

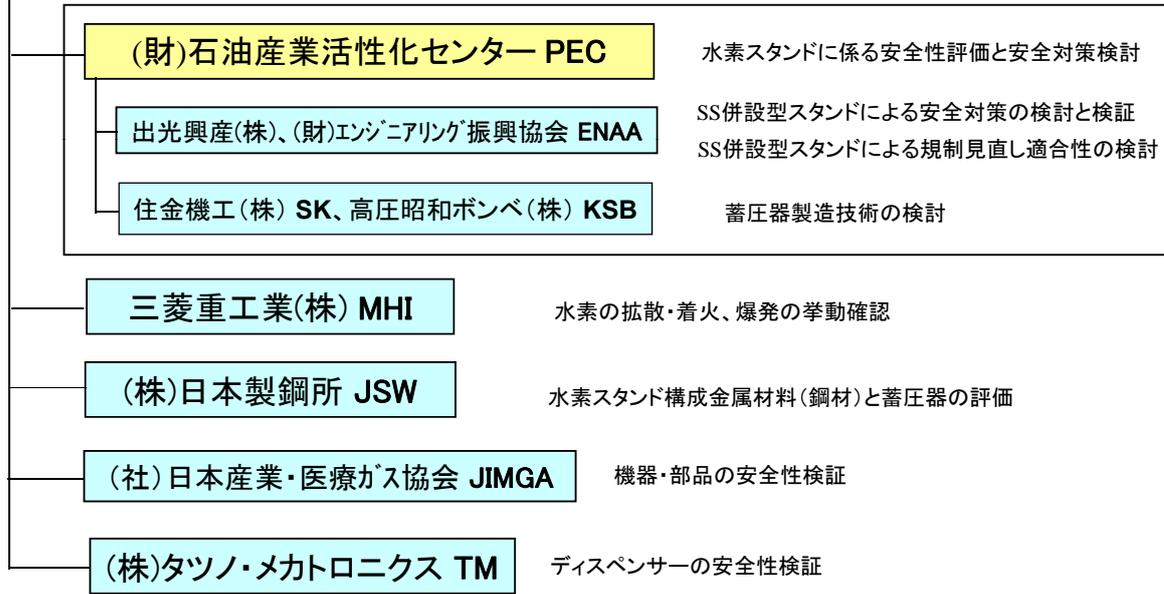
## 2-2. 検討スケジュール

	H15 年度	H16 年度	H17 年度	H18 年度	H19 年度	H20 年度	H21 年度	H22年度～
先行NEDO事業 35MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証			★					
		35MPa充てん対応水素スタンドの規制見直し(高圧ガス保安法、消防法改正)						
① 70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証								
							★	
						70MPa充てん対応水素スタンドの技術基準案作成、規制官庁へ提出		
② 液体水素スタンドの安全性検証								
							★	
						液体水素スタンドの技術基準案作成		
③ 水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討								
							★	
						消防庁検討委員会報告書		
後継NEDO事業 ・容器、配管設計基準 ・複合容器設計基準								

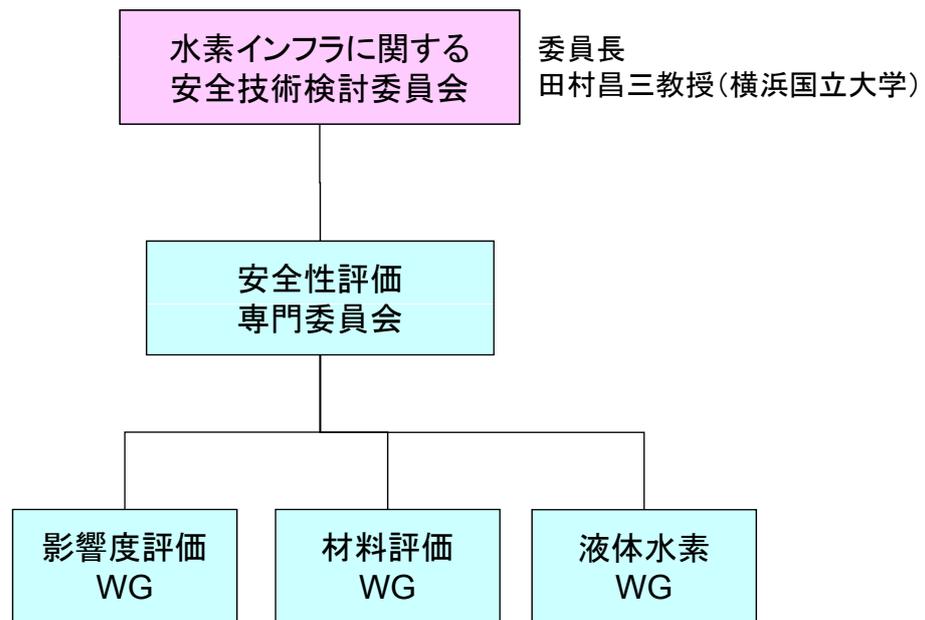
6

事業原簿 p. II 2.2 - 5

連名委託



### 3-2. 委員会組織



## 4. 成果の概要と自己評価

項目	目標	成果	自己評価
①70MPa充てん対応水素スタンドの安全性検証	平成21年度までに必要なデータを取得し、基準見直し案を作成する	・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、基準見直し案をとりまとめた ・平成22年3月に規制監督官庁へ同見直し案を提出した	○目標達成
②液体水素スタンドの安全性検証	平成18年度までに必要なデータを取得し、基準見直し案を作成する	・安全性検証データ(リスク評価)および安全対策の検討完了し、基準見直し案をとりまとめた ・液体水素スタンドの新規建設の計画が無い ため、監督官庁への基準見直し提案はペンディング中	○目標達成
③水素スタンドに関わる消防法関係の規制見直し検討	消防法見直しのための検討とデータ取得・提供	・水素スタンドに関する規制見直し(5項目)の安全性検証データを提供した。 ・このうちの4項目について、その安全性が認められ消防庁の検討委員会報告書へ反映された。(1項目は机上検討における安全性が認められた)	○目標達成

9

事業原簿 p.III.1.10 ~ p.III.1.11

## 成果外部発表、特許出願など

### (1) 論文・研究発表・講演件数 (76件/5年)

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H17~H21年度
(財) 石油産業活性化センター	9	6	9	6	0	30
三菱重工業 (株)	11	6	2	2	0	21
(株) 日本製鋼所	3	2	5	6	5	21
出光興産 (株)	0	0	3	1	0	4
合計	23	14	19	15	5	76

### (2) 出願特許件数 (4件/5年)

	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H17~H21年度
三菱重工業 (株)	0	0	1	0	0	1
(株) 日本製鋼所	0	0	2	1	0	3
合計	0	0	3	1	0	4

### (3) 受賞実績 (1件)

三菱重工業(株)2008年12月4日 日本燃焼学会技術賞  
「40MPa高圧水素の燃焼・爆発挙動およびリスク評価」

10

事業原簿 p.II.2.3(1)-1 ~ p.II.2.3(1)-22

# 4-1 水素の拡散,着火,爆発の挙動確認

研究実施者:三菱重工業(株)

水素スタンドから高圧水素ガスが漏えいした場合を想定し、水素の拡散、着火、爆発の挙動を実験およびシミュレーション(CFD)にて確認した。

## 主な検討項目

- 水素ガスの拡散挙動検討(拡散、障壁効果)
- " 爆発検討(爆風圧、障壁効果)
- " 火炎検討(火炎長、輻射熱、障壁効果)
- 保炎性及び濃度変動による着火性と火炎伝播性の検討
- 配管・充てんホース破断時の過流防止弁の有効性確認

## 実験の例:火炎実験

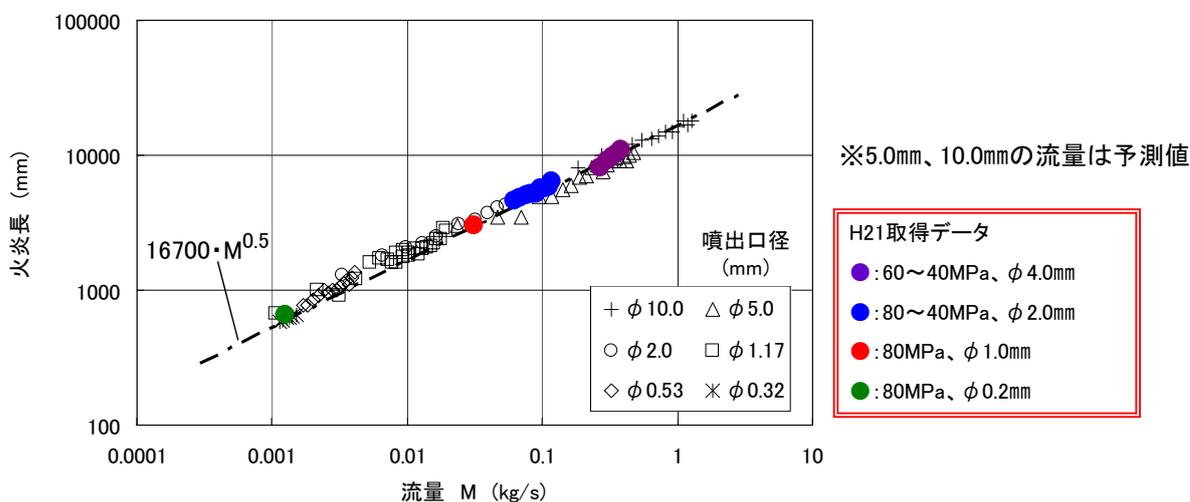
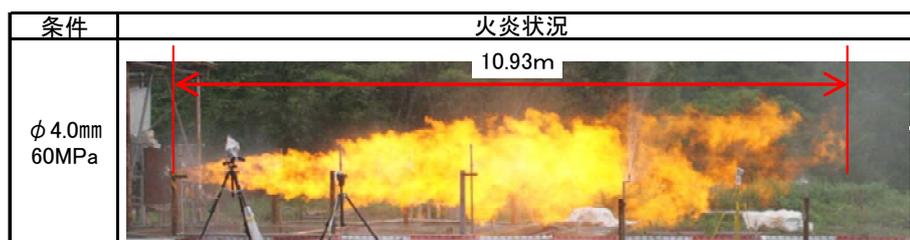


図2-3 連続火炎実験データ取得状況

# 検討結果のまとめ

## (1) 拡散

- ✓ 拡散計算を実施し、40MPa以下と同様に、ほぼ無次元距離で濃度が整理できることを確認し、圧力と口径が決まれば、風下地点の濃度を求めることができる見通しが得られた。
- ✓ 80MPaにて0.2mmφからの漏えい時の1/4LFL距離は、実験式より7.6mとなることを確認した。

## (2) 爆発影響

- ✓ 爆風圧計算によれば、最大(80MPa, 1mm)の場合でも、6mにおいて最大過圧は700Pa程度と推定された。
- ✓ 実験結果から、P=80MPaの水素の定常漏洩時には、最大過圧は、d=1mm、L(距離)=6mにおいて約400Paであり、影響度としては小さいことがわかった。

## (3) 火炎影響

- ✓ 80MPaにおいても、40MPaと同様に、火炎長は流量Mの0.5乗に比例し、1mmφで火炎長は3.3mとなる。火炎スケールをP(圧力)とd(口径)、あるいはMで表す実験式が得られた。
- ✓ 火炎からの輻射熱流束を表す実験式が得られた。また、火炎の高温ガスからの対流熱伝達量がシミュレーションにより得られた。これらを合計した受熱量は、P=80MPa、d=1mm、距離6mにおいて、高さ2mの位置で約2870W/m<sup>2</sup>であり、10～20sで苦痛を感じるとされる熱量(4650W/m<sup>2</sup>)よりも小さい値である。

13

事業原簿 p.Ⅲ2.3(1)-1～ p.Ⅲ2.3(1)-22

## (4) 保炎性及び濃度変動による着火性と火炎伝播性の検討

- ✓ 火炎が持続しない放出条件があり、保炎範囲の条件(圧力と流量の関係)を実験的に把握。
- ✓ 平均濃度が2%では、影響度としては無視できる程度となることが、限られた条件ではあるが確認。

## (5) 過流防止弁の有効性確認

- ✓ 所定の流量で、過流防止弁の作動を確認。
  - ・ 作動時間は0.2ms程度であり、瞬時に作動する。
  - ・ 配管破断から作動までの漏えい量及び作動後の漏えい量は極めて微量であり、影響度としては、ほとんど無視できる程度と考えられる。
- ✓ 過流防止弁の設置により、配管内残留水素の爆発影響度を低減できる効果を確認。
  - ・ 爆発威力(最大過圧)は水素の総流出量のみには依存しない。むしろ、着火時の漏洩流量に依存している。

14

事業原簿 p.Ⅲ2.3(1)-1～ p.Ⅲ2.3(1)-22

## 4-2 蓄圧器構成金属材料の評価

研究実施者: (株)日本製鋼所

70MPa充てん対応蓄圧器で使用される金属材料について、  
高圧水素環境下における材料特性評価を行い、信頼性の高い蓄圧器製造  
を可能とする。

### 主な検討項目

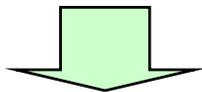
- (1) 候補材の90MPa水素ガス環境下における脆化感受性試験
- (2) SNCM439強度低減材の90MPa水素雰囲気下における材料特性検証  
試験
- (3) SNCM439強度低減材を用いた蓄圧器(実容器)の安全解析

15

事業原簿 p.Ⅲ2.3(1)-1～ p.Ⅲ2.3(1)-22

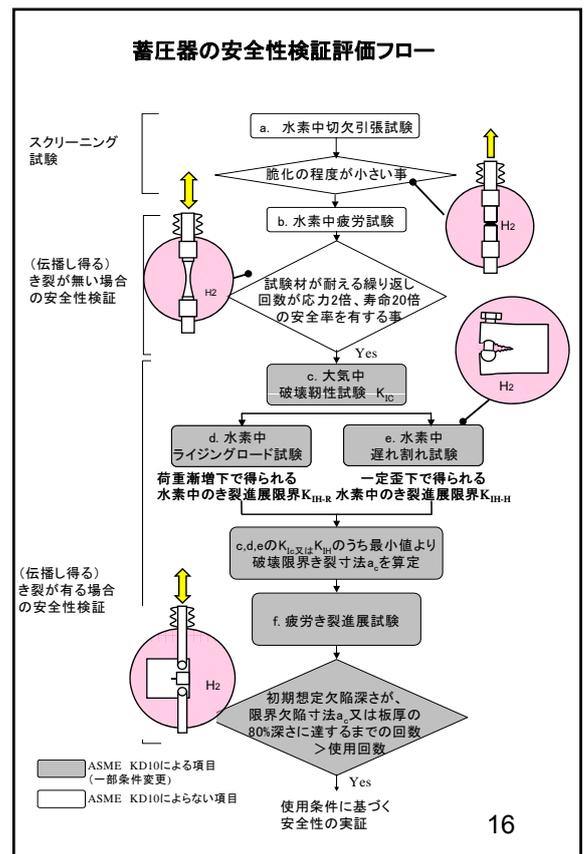
## 検討結果のまとめ

- (1) SNCM439の引張り強度を980MPa以下に低減した材料(SNCM強度低減材)が、70MPa充てん対応スタンド蓄圧器の候補材料として適当であることを確認した。
- (2) 破壊靱性試験、ライジングロード試験、遅れ割れ試験などにより、90MPa水素環境下におけるSNCM439強度低減材の材料特性を把握した。
- (3) 疲労亀裂進展試験により、亀裂特性を把握した。



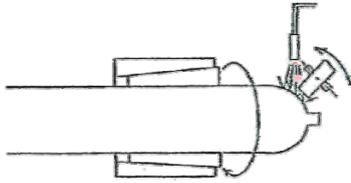
**SNCM439強度低減材を用いた実容器設計・製作  
を行い、信頼性の高い蓄圧器製造が可能である  
ことを確認した。**

事業原簿 p.Ⅲ2.3(1)-1～ p.Ⅲ2.3(1)-22

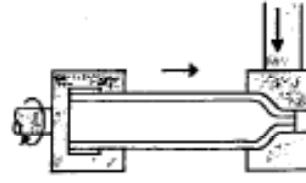


## 4-3 70MPa充てん対応ボンベ型蓄圧器の製造技術検討 研究実施者:住金機工(株)、高圧昭和ポンペ(株)

絞り加工による蓄圧器製造(住金機工)



鍛造加工による蓄圧器の製造(高圧昭和ポンペ)



### SCM435、SNCM439(強度低減材)を用いたボンベ型蓄圧器の製造技術

#### (1)口絞り部内面しわ軽減対策

- ①スピニング成型の有効性を確認、予熱温度条件として1100~1200°Cを確認
- ②内面しわが生成しにくい加工方法の確立

#### (2)熱処理条件決定;引張試験、シャルピー衝撃試験組織観察等より確認

#### (3)ボンベ型蓄圧器に内圧で発生する応力は水素中の疲労限度を満足することを確認

#### (4)実容器を製作し、KHKの事前評価審査を受験し合格した

SNCM439(強度低減材)を素材として、  
耐水素脆化特性に優れた70MPa充てん対応ボンベ型蓄圧器製造技術を確立した。

17

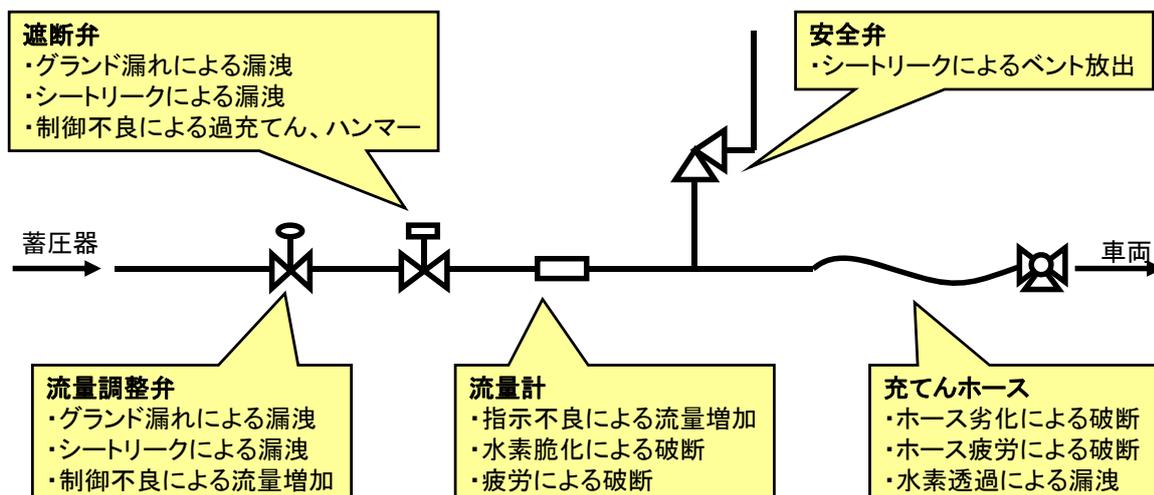
事業原簿 p.III.2.3(1)-1~ p.III.2.3(1)-22

## 4-4 ディスペンサーの安全性検証

研究実施者:(株)タツノ・メカトロニクス

### ディスペンサーの主な機器の想定事故シナリオ(以下の図)

⇒シナリオに対しての各機器の安全性検証データ取得および評価



18

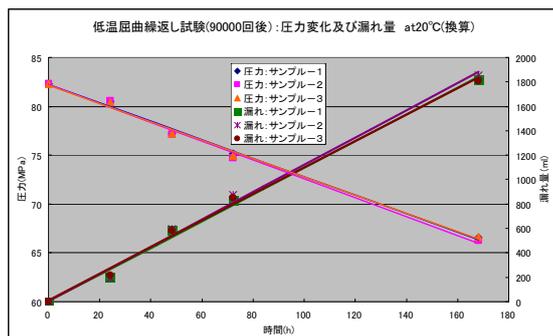
事業原簿 p.III.2.3(1)-1~ p.III.2.3(1)-22

# 実験の例: 低温屈曲繰返し試験

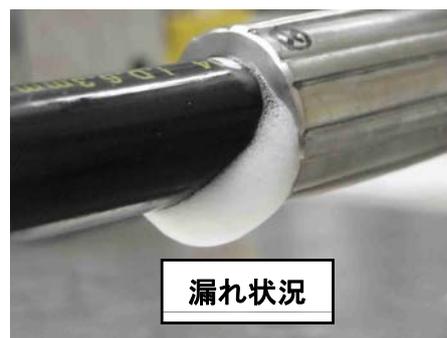


屈曲状況

## ■ 結果 ・90000回後の気密試験(水素ガス)



実使用時  
0.43ml/min



漏れ状況

19

事業原簿 p.III2.3(1)-1～ p.III2.3(1)-22

## 検討結果のまとめ

- ・ H17年度～H21年度までの各種安全性検証では、実際の使用状況に即して検証してきたが、想定事故シナリオで指摘された水素大量漏洩にいたる事象は全く発生しなかった。

### (1) 遮断弁及び流量調整弁の安全性検証

事故想定: グランド漏れ及びシートリーク

実験結果: 極微少な漏れが発生したものの、その量はガス検知器でも反応しないレベルであった。

定期的な点検(例: 1回/年)などで安全性確保が可能であるデータを取得できた。

### (2) 流量計の安全性検証

事故想定: 流量指示不良による流量増加、水素脆化によるフローチューブの破断

実験結果: 圧力の繰返し及び高圧水素暴露後の気密性が確保され、精度変化も無かった。

水素脆化等の影響は現時点(10年間相当の使用)では無いと考えられる。

### (3) 充てんホースの安全性検証

事故想定: カシメ部ゆるみ、ホース劣化損傷

実験結果: 極微少な漏れはあるものの、カシメ部ゆるみ、ホース強度劣化などは無いことが判明した。

定期的な点検(例: 1回/年)などで安全性確保が可能であるデータを取得できた。

20

事業原簿 p.III2.3(1)-1～ p.III2.3(1)-22

## 4-5 35MPa実水素スタンドによる安全対策等の検討と検証

### 検討実施者: 出光興産(株)・ENAA

ガソリンスタンド併設実水素スタンドを使用し、保安検査等の簡素化のため、長期間にわたる各種稼働状態(間欠稼働、フル稼働等)での安全対策や個別構成機器の作動安定性・耐用性の確認検証等を行うとともに、新法令・自主基準により追加された安全対策等の確認検証、検討を実施した。

#### 1. 出光興産

- 1) 圧縮機を3000時間以上、連続運転し、ダイヤフラム劣化・シリンダー磨耗、自動弁(Oリング等)の耐久性を確認。
- 2) 通常運転時で過流防止弁が誤作動しないことを確認。
- 3) 圧力リリーフ弁の作動が良好であることを確認。
- 4) 蓄圧器シャッターの遮熱効果があることを確認
- 5) 始業点検時に行う10分間の気密試験方法が有効であることを確認。

#### 2. ENAA

- 1) 水素純度測定に関する検討: ISOとJHFC基準を比較、検討した結果、連続監視対象組成としてのCO濃度がISOより高い事を確認。
- 2) 車両への静電接地を省略しても、静電気による着火は防止出来る事を確認。

21

事業原簿 p.Ⅲ2.3(1)-1～ p.Ⅲ2.3(1)-22

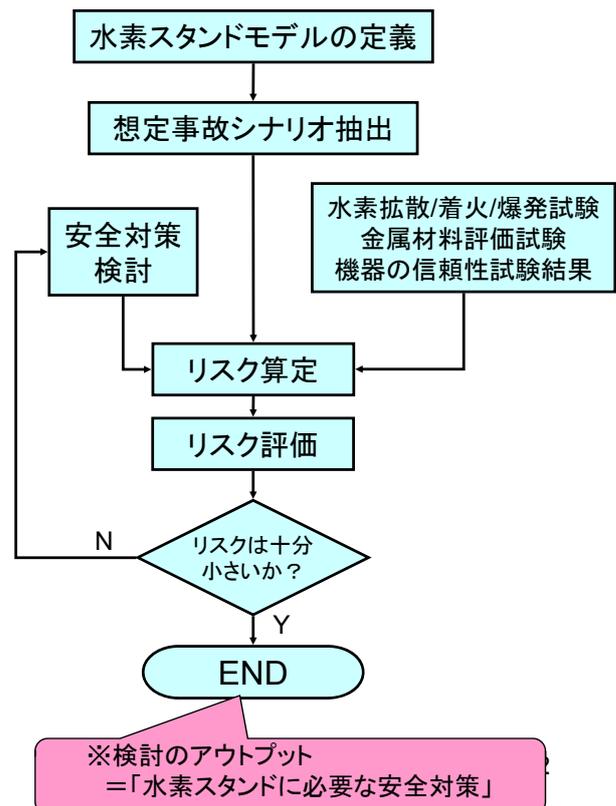
## 4-6 水素スタンドのリスク評価

### 検討実施者: PEC、JIMGA

- 水素スタンドにて必要となる安全対策を特定するために、リスク評価検討を行った。
- リスク評価にあたっては、本プロジェクトの各研究実施者による検討結果を、評価の基データとして活用した。

#### 本検討がカバーする範囲

- 水素スタンドの常用圧力 $\leq 80\text{MPa}$
- オンサイト改質型、オフサイト型
- プレクール設備(冷凍機型)
- 非通信充てん
- JHFC商用スタンドモデル(13モデル)を包含



事業原簿 p.Ⅲ2.3(1)-1～ p.Ⅲ2.3(1)-22

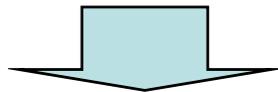
## 70MPa充てん対応スタンドの特徴（35MPaスタンドとの比較において）

### (1) 圧力が2倍

- ①漏えい時の水素ガス挙動（拡散、火炎、爆発影響）が異なる
- ②金属材料に対する水素脆化の影響が異なる

### (2) システム構成が複雑になった

- ①異なる圧力系が混在している（80MPa系、40MPa系、1MPa系）
- ②80MPa蓄圧器から35MPa車両へ充てんを行う
- ③水素の車両ボンベ充てん時に車両ボンベ温度が上昇するため、プレクール設備による冷却と充てん速度制御が必要



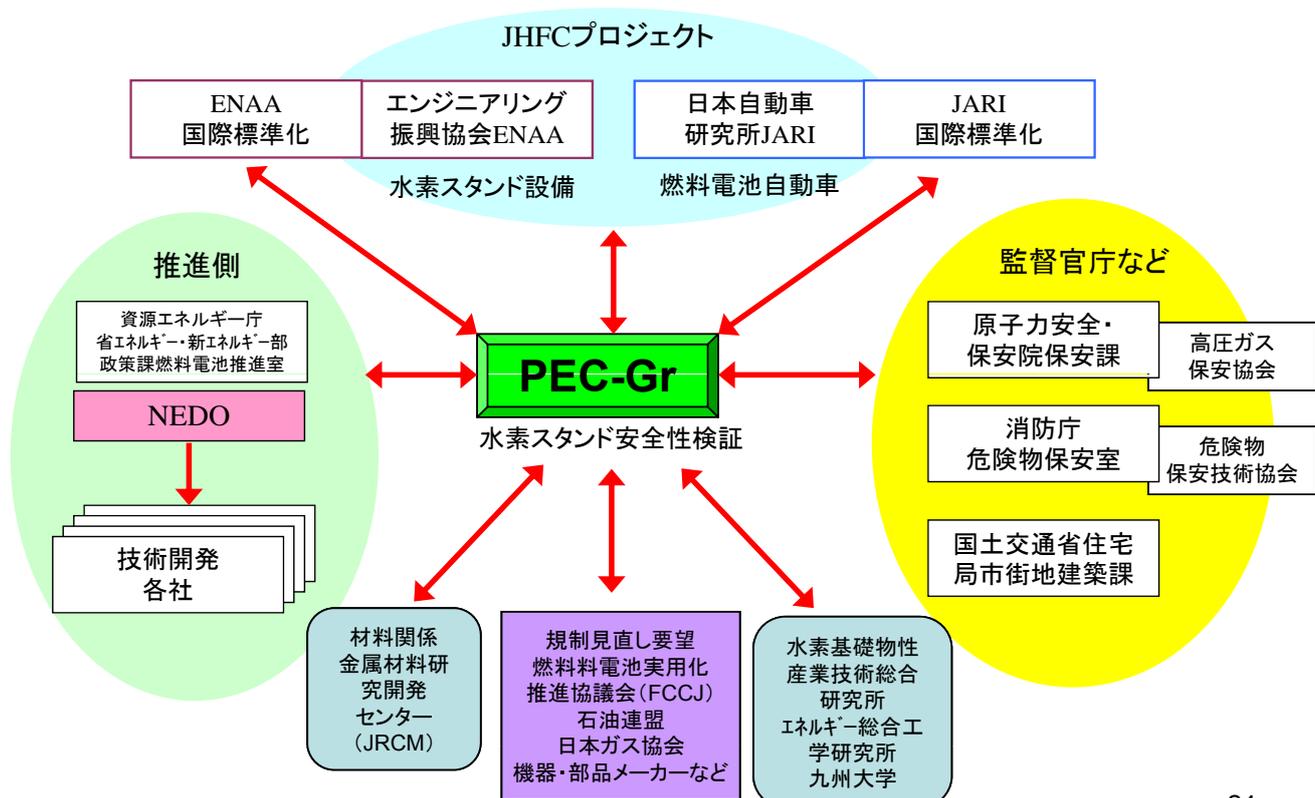
### リスク評価の結果において

- 35MPa充てん対応水素スタンドと同様な安全対策が必要となった。
- 上記70MPaスタンドの特徴を反映した安全対策が必要とされた。

23

事業原簿 p.III.2.3(1)-1～ p.III.2.3(1)-22

## 5. 関係各機関との連携



24

事業原簿 p.IV - 1

## 6. 実用化の見通し

---

### (1) 成果の実用化可能性

- ・70MPa充填対応水素スタンドについては、規制見直し案を監督官庁へ提出済み。  
→**実用化の可能性大**
- ・液体水素スタンドの安全性検証が終了し法令案が完成していることから、業界ニーズを見極め、業界団体(FCCJ)と連携して官庁折衝を行なう。  
→**実用化の可能性あり**
- ・鋼製蓄圧器メーカー(日本製鋼所、住金機工、高圧昭和ポンペ)において、70MPa充てん対応蓄圧器の製造技術を確立した。
- ・タツノ・メカトロニクスでは、本事業の成果を水素ディスペンサー開発に反映。

### (2) 波及効果

- ・プロジェクトの実施自体が水素インフラに関連する研究開発や人材育成を促進しており、**波及効果大**

## 議題6-2-2.

平成17～21年度  
水素社会構築共通基盤整備事業

－水素インフラ等に係わる規制再点検及び標準化のための研究開発－

## －水素用材料基礎物性の研究－

平成22年12月3日

財団法人金属系材料研究開発センター  
独立行政法人産業技術総合研究所  
独立行政法人物質・材料研究機構  
国立大学法人九州大学愛知製鋼株式会社  
新日本製鐵株式會社  
新日鐵住金ステンレス株式会社  
住友金属工業株式会社  
高圧ガス保安協会

1

## 1. 背景と目標

## 背景

- 燃料電池車用車を中心とした水素社会構築に向け、様々な規制再点検及び標準化のための研究開発が進められている。
- 燃料電池車の車載水素燃料タンクや水素供給ステーションの各種機器に用いられる材料に関しても、規制再点検及び標準化に必要な特性データ採取が進行中。
- 特に、高圧水素や液体水素等に材料が曝される極めて特殊な水素環境にて材料特性評価を推進。H16～H17年には 35MPa機器用材料(A6061-T6, SUS316L)の基準化に貢献(JARI S001, 002, JIGA-T-S/12/04, 13/04等)
- 基準材料種の拡大、70MPa級機器用材料の基準化等に向け、更なる材料評価・関連知見の蓄積を推進。

**目標** 燃料電池車用車載水素燃料タンクおよび関連部品、水素供給ステーション各種部品に使用される材料に関して、規制再点検及び標準化の根拠となる材料特性を評価し、裏付けデータ及び関連基礎知見を取得・提供する。特に、70MPa圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準等の制定に貢献する。

## 2. 研究項目・実施内容

### (1) 例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供

70MPa級機器用材料データ取得 → 候補材SUS316L,A6061-T6, A6061-HS 等の評価

(2) 評価材料種の拡大 → 候補材料拡大のためのデータ採取

(3) 複合容器向け材料の評価 → CFRPストレスラプチャー, 疲労データ拡充

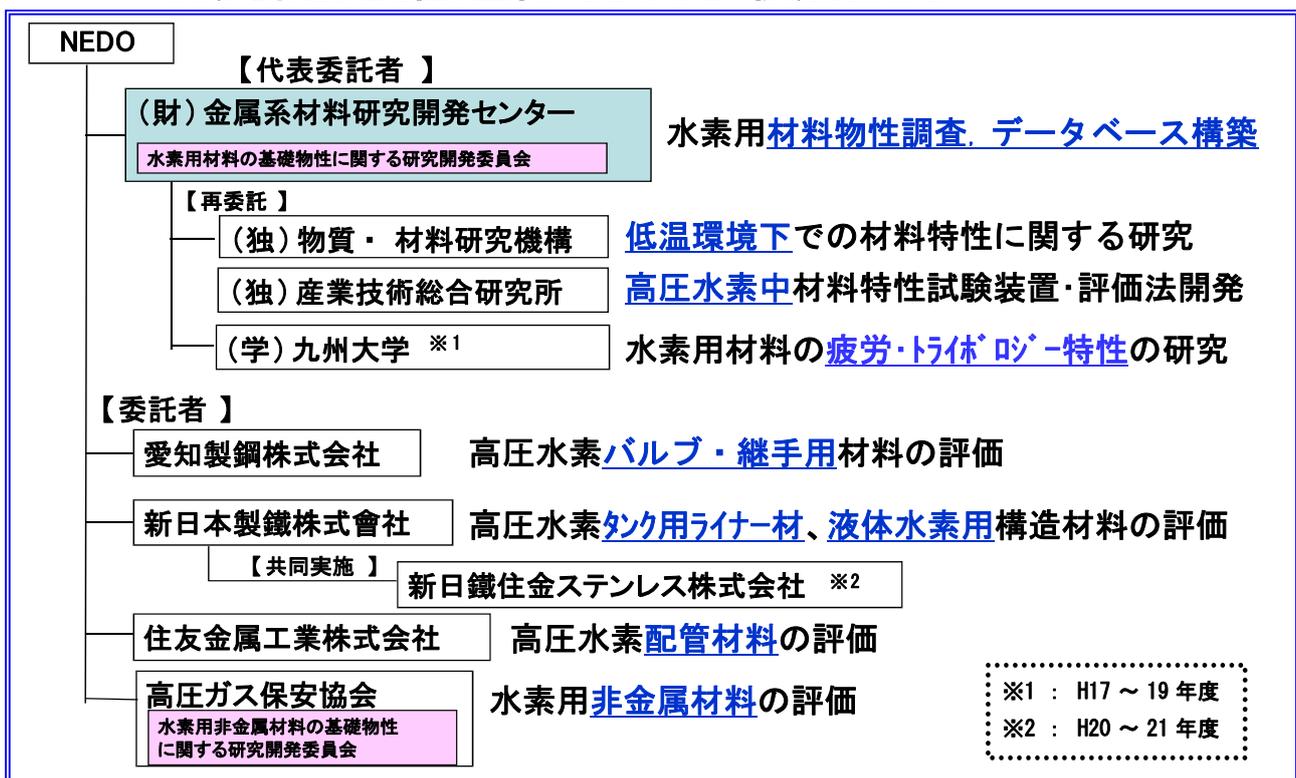
(4) 材料特性簡易評価法の適用拡大 → 評価条件拡大(高圧, 低~高温, 疲労)

(5) 基準化の技術的根拠とするための金属学的基盤解析・研究  
→ 水素脆性影響因子解析, 疲労特性周波数依存性評価等疲労特性に関する研究, 他

### (6) その他活動, ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開

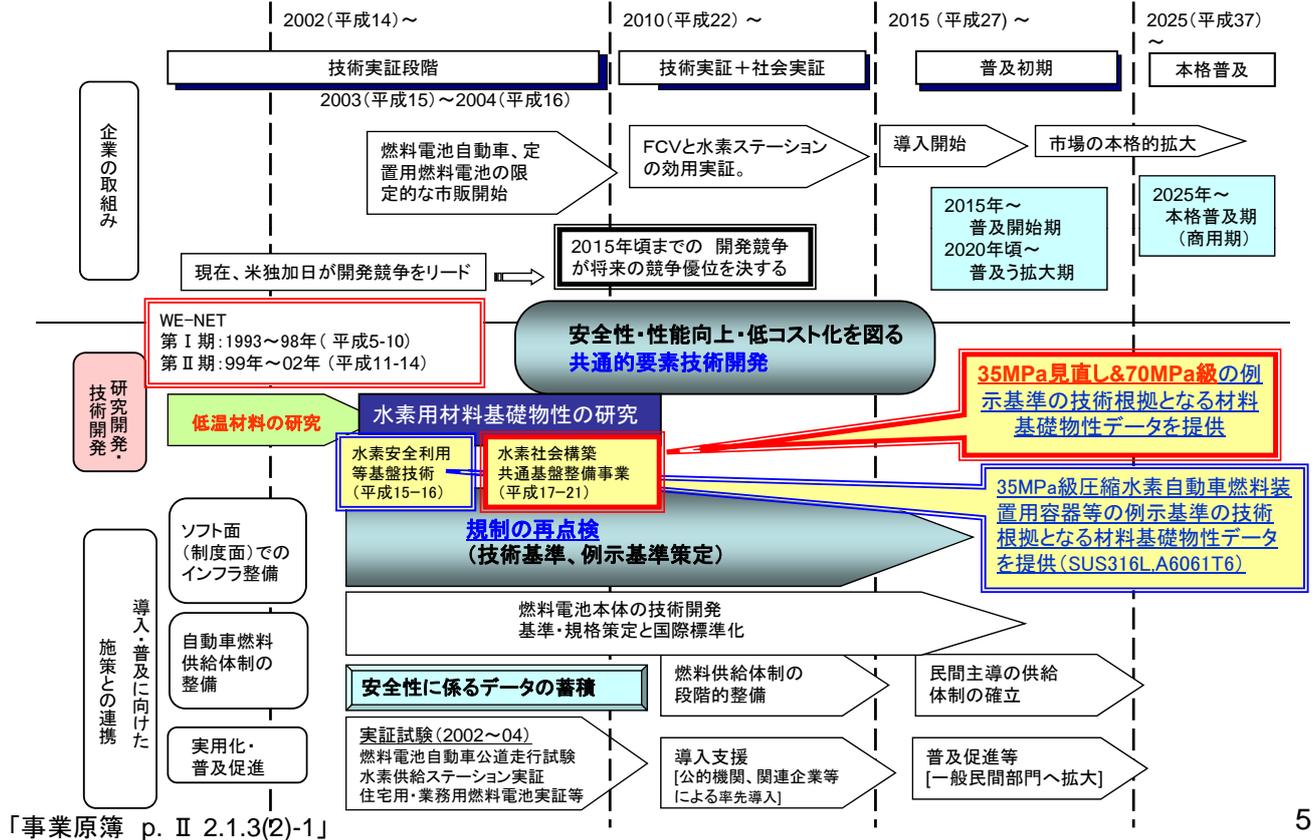
- 長期使用水素関連機器の劣化度調査
- トライボロジー特性研究
- 液体水素用材料データ取得
- 取得データ、技術情報の関係者及び一般への開示, データベース構築 等

## 3. 研究開発推進体制及び役割分担



# 4. 水素用材料基礎物性の研究の位置づけ

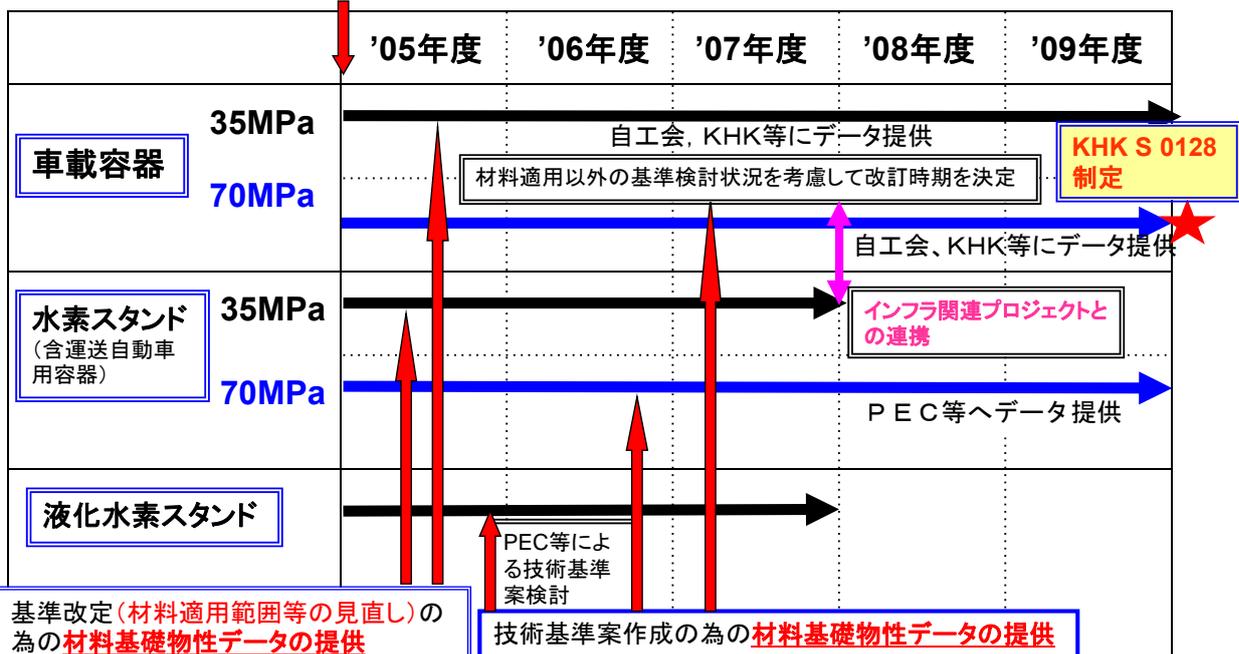
## 固体高分子形燃料電池／水素エネルギーの導入と材料研究との関わり



# 5. 車載容器、水素スタンド等の基準策定スケジュールと材料データ提供

JRCMが材料基礎物性データを取り纏め、基準原案作成機関に提供

2005年にJARI基準、2010年にKHK基準制定に貢献（詳細は下段の注を参照）



(注) A6061-T6及びSUS316Lの高圧水素ガス雰囲気下における材料基礎物性データを基準原案作成機関に提供。2005年3月に、容器例示基準として、JARI基準(JARI S 001 (2004))、JIGA基準(JIGA-T-S/12/04)が、付属品の例示基準として、JARI基準(JARI S 002 (2004))、JIGA基準(JIGA-T-S/13/04)が、施行された。また、KHKより70MPa圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準(KHK S 0128 (2010))が制定された。

# 研究スケジュール

研究実施項目	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度
(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供		↑ 99MPa試験機導入			
(2)評価材料種の拡大 (新規開発材料評価含む)					
(3)複合容器向け材料の評価					
(4)材料特性簡易評価法の適用拡大		.....			
(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究					
(6)その他活動, ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開		← 高松水素stn解体調査	→ LH <sub>2</sub> 関連機器解体調査		
			↑ 70MPa級車載容器 基準改定支援		
				← 水素有効利用ガイドブック材料関連記事執筆	

「事業原簿 p. II 2.1.3(2)-11」

7

## 6. 事業内容の概要

対象部材 調査項目	①高圧水素 タンク用ライナー材 (SUS,Al合金等)	②高圧水素 配管 (SUS等)	③高圧水素 バルブ・継手 (SUS等)	④液体水素 タンク、配管 (SUS等)	⑤高圧水素 容器 (FRP等)
高圧水素中の 機械的性質	◎	◎	○	-	○
高圧水素中の 疲労特性	◎	◎	○	-	-
水素吸収特性 と機械的性質	○	○	◎	-	◎
液体水素中の 機械的性質	-	-	-	◎	-
(研究主担当)	新日本製鐵 株式会社	住友金属工業株 式会社	愛知製鋼 株式会社	新日本製鐵 株式会社	高圧ガス 保安協会

### ・材料の基礎物性に関する研究(①~⑤)

- ①高圧水素タンク用ライナー材の研究開発(新日本製鐵株式会社)
- ②高圧水素配管材料の研究開発(住友金属工業株式会社)
- ③高圧水素バルブ・継手用材料の研究開発(愛知製鋼株式会社)
- ④液体水素用構造材料の研究開発(新日本製鐵株式会社)
- ⑤水素用非金属材料の基礎物性に関する研究開発(高圧ガス保安協会)

### ・材料物性共通基盤技術に関する研究(⑥~⑨)

- ⑥水素用材料物性調査およびデータベース化(財団法人 金属系材料研究開発センター(JRCM))
- ⑦水素特性試験装置の開発及びそれを用いた水素用材料の基礎物性評価  
(独立行政法人 産業技術総合研究所(JRCMより再委託))
- ⑧極低温ガス環境下での材料特性に関する研究  
(独立行政法人 物質・材料研究機構(JRCMより再委託))
- ⑨水素用材料の疲労特性研究(九州大学(JRCMより再委託))

「事業原簿 p. II 2.1.3(2)-4 ~ p. II 2.1.3(2)-10」

8

# 事業内容詳細

容器例示基準、付属品の例示基準の材料:  
A6061-T6及びSUS316L

対象材料	引張	SSRT	水素吸収材の引張	水素吸収材の疲労	疲労	破壊靱性	疲労き裂	遅れ破壊	暴露試験	内外圧疲労
<u>A6061T6</u> 標準材	I	I	/	/	I	/	I	/	I	I
SUS304L 標準材	I	I	I	II	/	/	/	/	I	I
SUS316 標準材	I	I	I	II	/	/	II	II	I	II
<u>SUS316L</u> 標準材	I	I	I	II	I	/	I	II	I	I
<u>SUS316L</u> 組成変化	II	II	II	II	II	/	II	II	II	II
<u>SUS316L</u> 加工材	I	I	I	II	II	/	II	II	I	II
SUS 高強度材	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
Cr-Mo鋼	II	II	II	/	/	II	II	/	II	II
<u>SUS316L</u> 溶接部	/	I	/	/	/	/	II	/	/	II
バルブ 用材料	/	II	I	II	II	/	II	/	I	/
試験実施 担当	新日鐵	住金	愛知	愛知	新日鐵	新日鐵	新日鐵	新日鐵	愛知	住金

I・・・優先実施

II・・・平成17-21年度実施

「事業原簿 p. II 2.1.3(2)-5」

9

## 7. 研究成果

**研究成果(1) 例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価  
データ取得・提供**

**研究成果(2) 評価材料種の拡大  
(新規開発材料評価含む)**

**研究成果(3) 複合容器向け材料の評価**

**研究成果(4) 材料特性簡易評価法の適用拡大**

**研究成果(5) 基準化の技術的根拠のための金属学的  
基盤解析・研究**

**研究成果(6) その他活動、ノウハウ・重要知見の蓄積と  
情報公開**

**特許出願:7件、論文投稿:38件、学会発表:128件**

「事業原簿 p. III 2.3(2)-28 ~ p. III 2.3(2)-29」

10

# 研究成果(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得

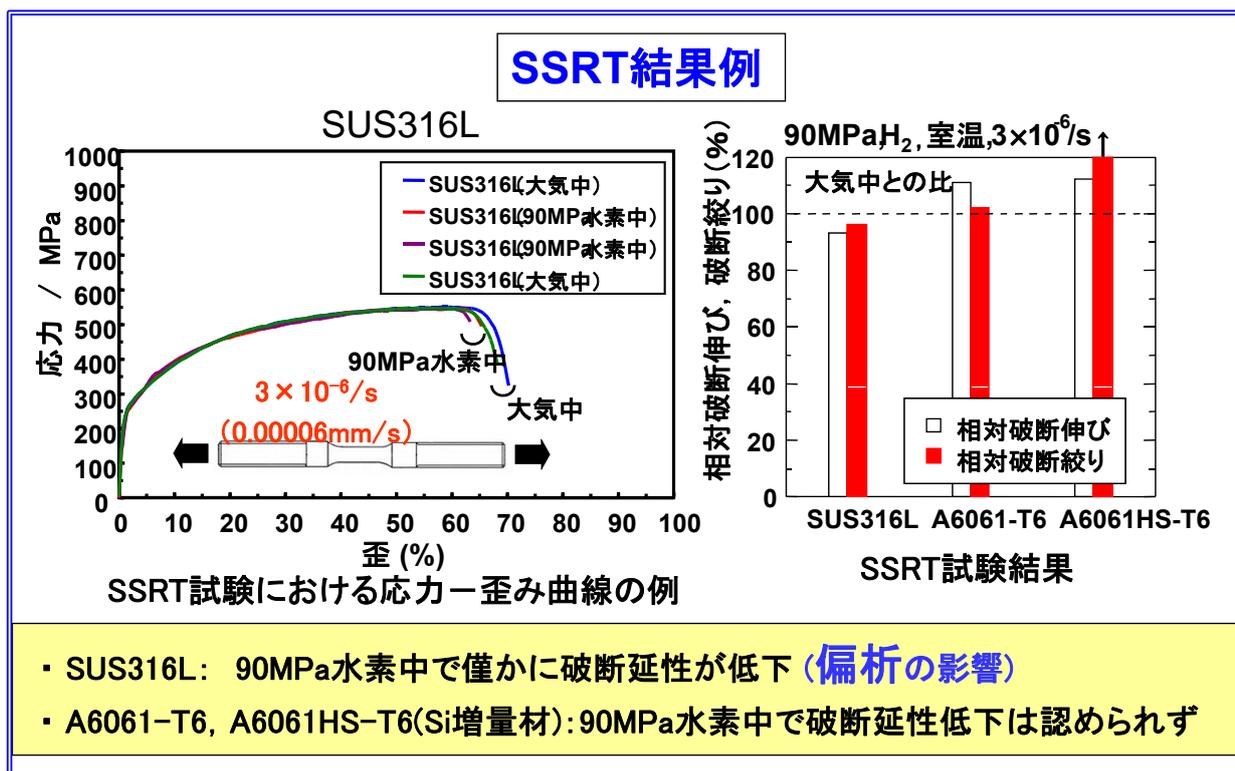
## 本Prj.で導入または使用した高圧水素雰囲気下材料試験装置例

装置名	保有機関	仕様	試験目的	類似装置保有機関
高圧水素雰囲気下材料試験装置	産業技術総合研究所	最高水素圧: ~230MPa, 最高温度: 120°C (計3台保有)	SSRT, 疲労	—
高圧水素中SSRT装置	住友金属工業	最高水素圧98MPa, 最高温度150°C	SSRT	住友金属テクノロジー
高圧水素雰囲気下材料試験装置	新日本製鐵	最高水素圧: 45MPa, 99MPa 試験温度範囲: -45~95°C	引張, 疲労, 破壊靱性, 疲労亀裂進展	日本製鋼所 九州大学
内圧外圧疲労試験装置	住友金属工業	最高水素圧: ~98MPa, 最高温度: ~100°C (計2台保有)	疲労	日本製鋼所

「事業原簿 p. III 2.3(2)-19、p. III 2.3(2)-6、p. III 2.3(2)-1、p. III 2.3(2)-8

11

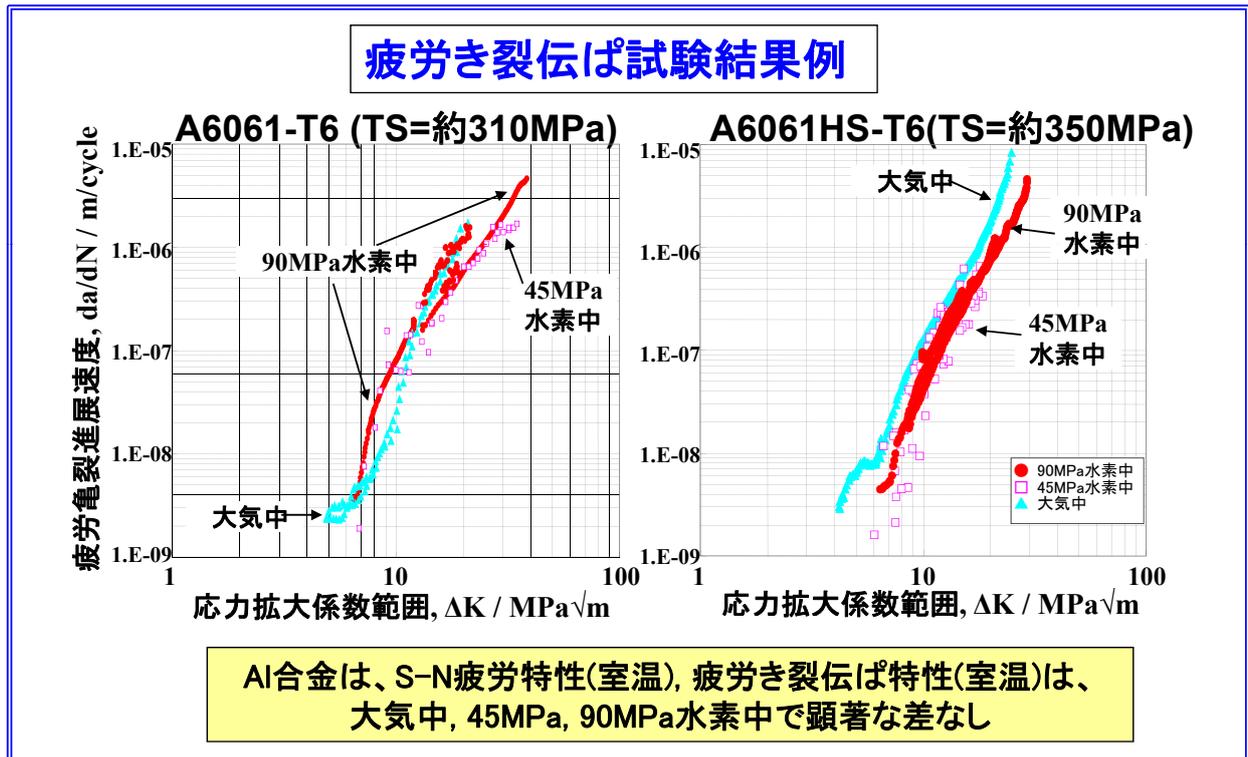
# 研究成果(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得



「事業原簿 p. III 2.3(2)-6

12

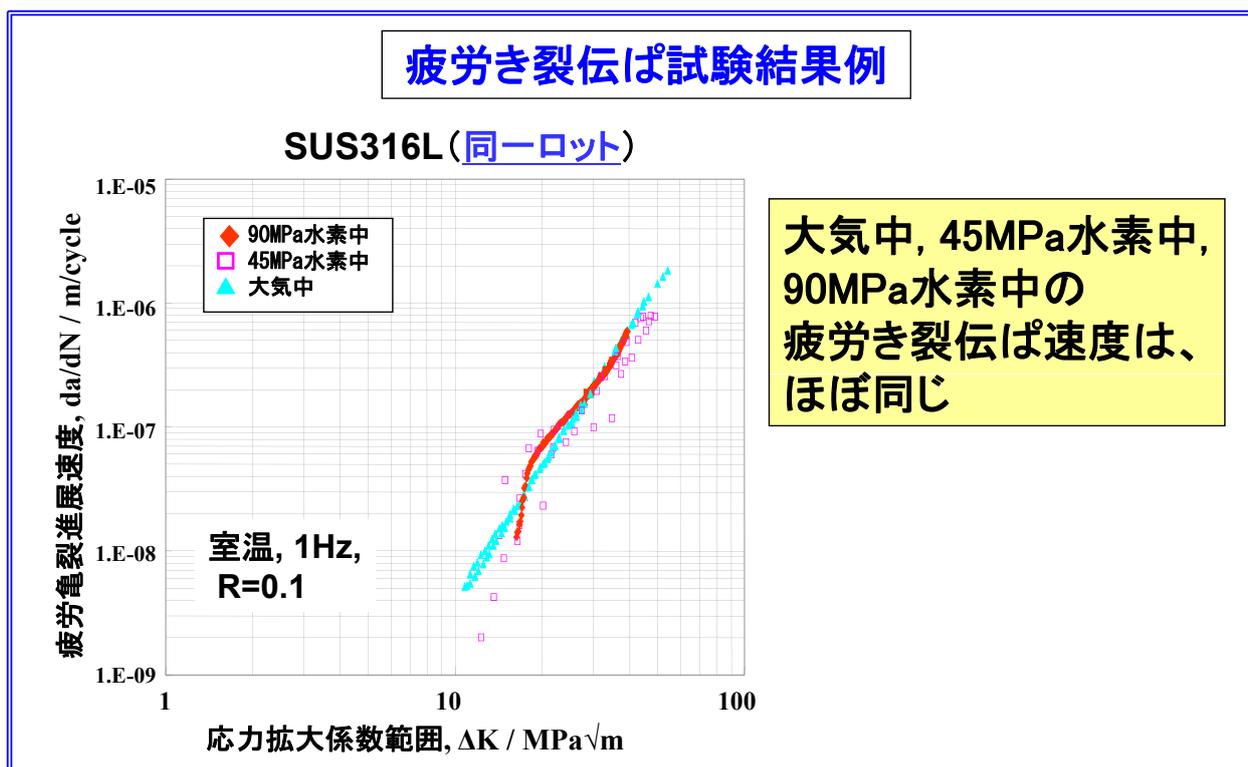
# 研究成果(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得



「事業原簿 p. III 2.3(2)-3」

13

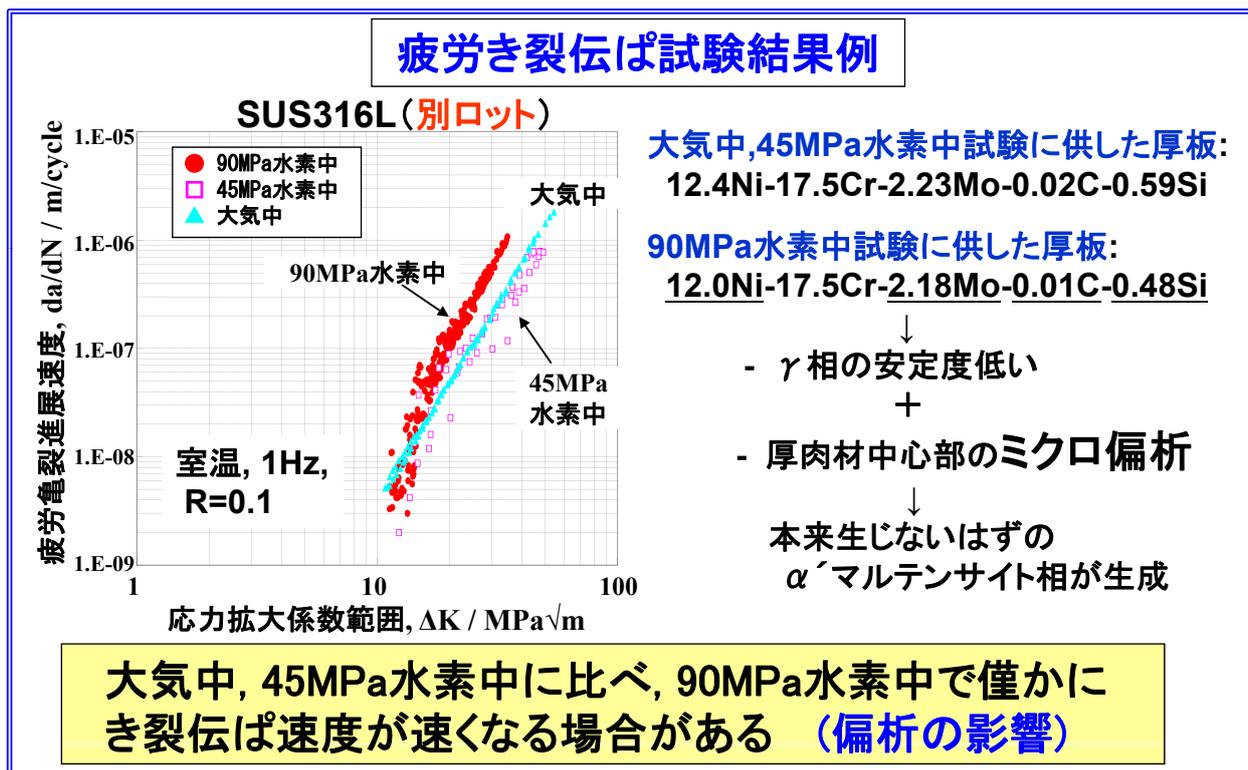
# 研究成果(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得



「事業原簿 p. III 2.3(2)-2」

14

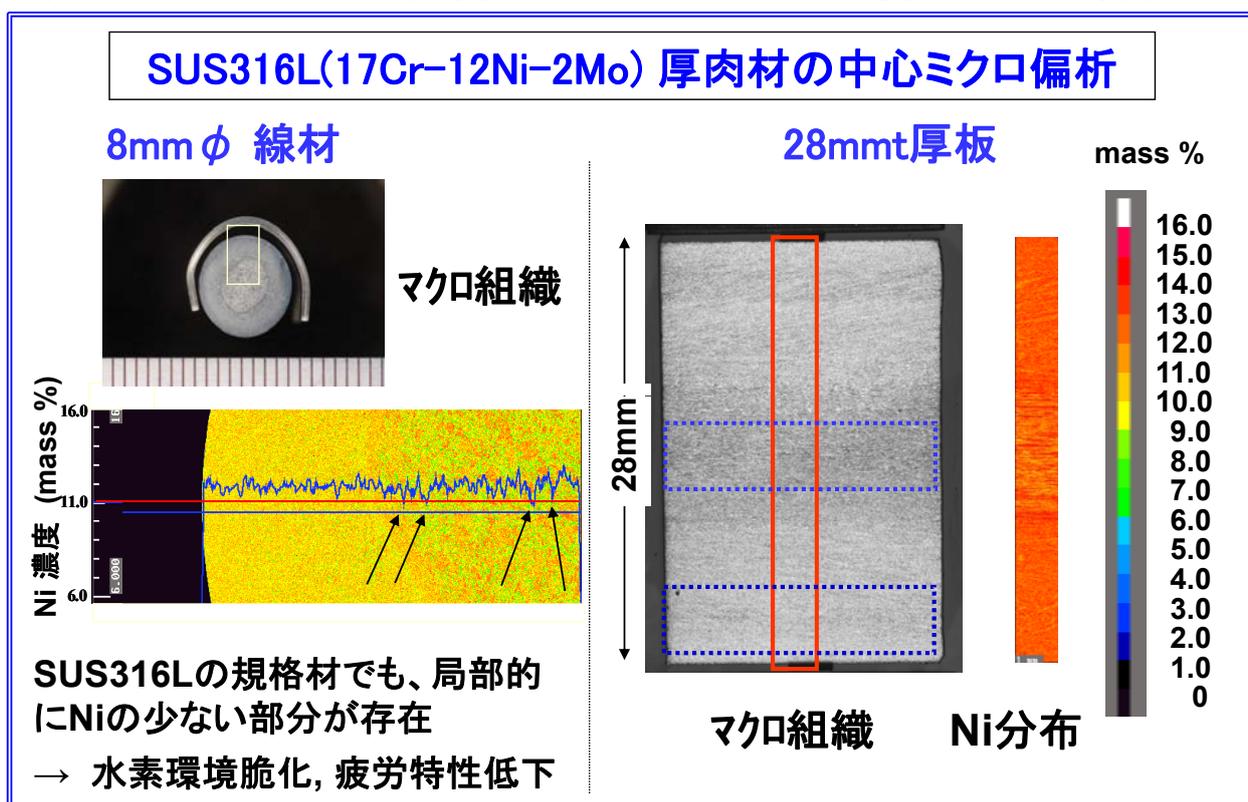
# 研究成果(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得



「事業原簿 p. III 2.3(2)-2」

15

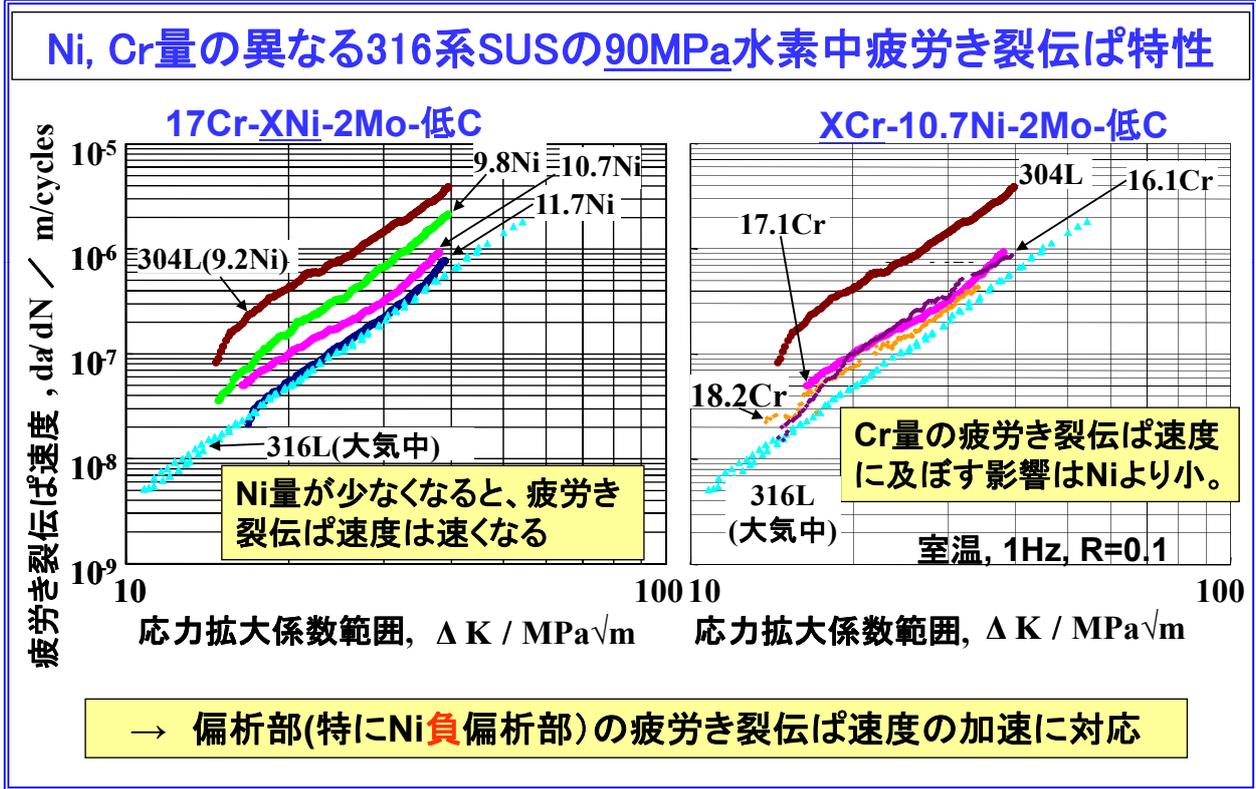
# 研究成果(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究



「事業原簿 p. III 2.3(2)-2~3」

16

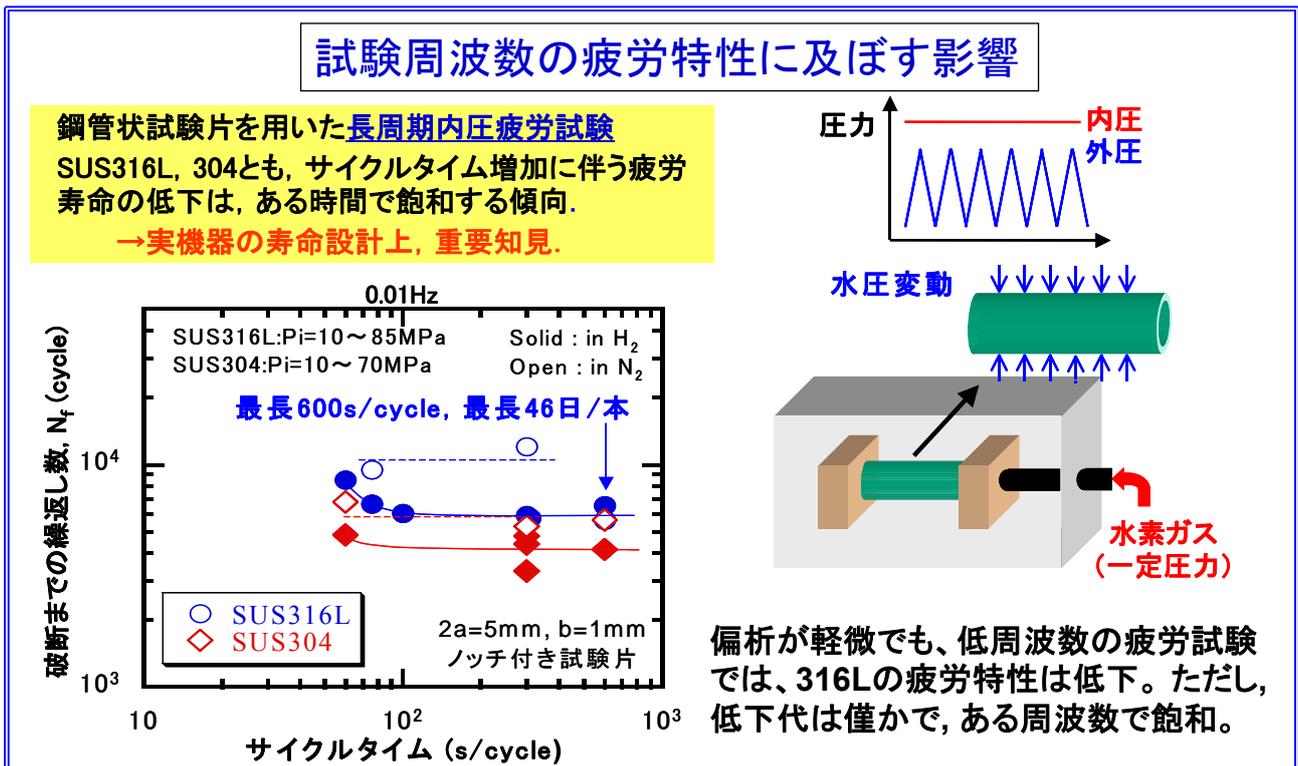
# 研究成果(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究



「事業原簿 p. III 2.3(2)-2」

17

# 研究成果(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究



「事業原簿 p. III 2.3(2)-8」

18

# 研究成果(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究

## 試験周波数の疲労特性に及ぼす影響

「疲労周波数依存性」は、35MPa機器の例示基準策定時(2005年)の指摘課題

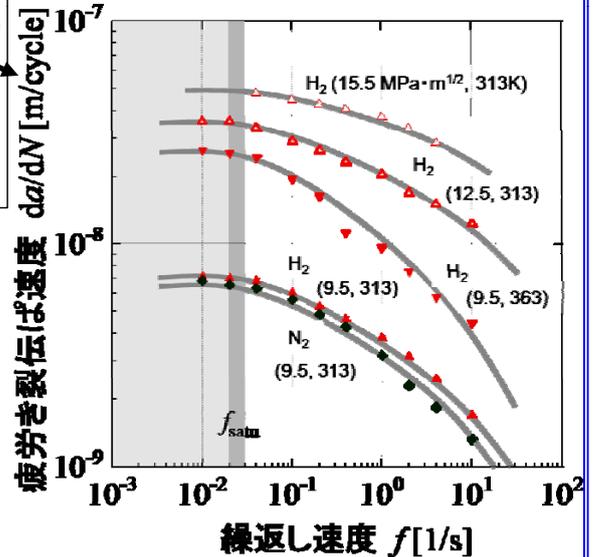
- ・ 疲労データ取得用適性繰返し周波数の把握(九州大学)
  - ・ 低周波数の内圧外圧疲労試験(住友金属)
  - ・ 水素チャージ材の低周波数亀裂進展試験(新日鐵)
    - 海洋構造物の腐食疲労評価試験装置活用 等
- 等を実施。

### 疲労き裂伝ばの特徴

- ・ 水素中の疲労き裂伝ば速度は窒素中より速い。
- ・ 疲労き裂伝ば速度が、それ以下では飽和する繰返し速度が存在する。
- ・ 繰返し速度依存性の要因として、①塑性流動のひずみ速度依存、②水素輸送に関連した時間依存が考えられるが、A6061-T6の繰返し速度依存性は主として塑性流動のひずみ速度依存性に起因するものと考えられる。

「事業原簿 p. III 2.3(2)-25」

## A6061-T6の水素ガス中疲労における繰返し速度依存性

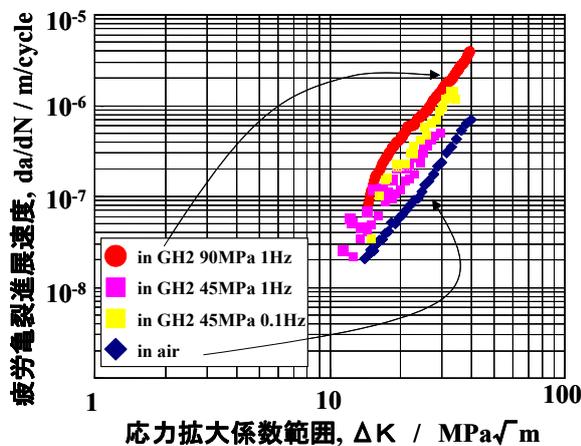


19

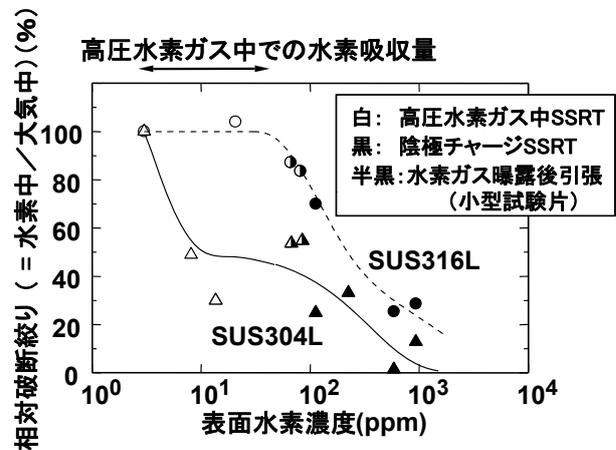
# 研究成果(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究

## γ系SUSの水素脆化影響因子の探究

### SUS304系材料を用いた水素脆化影響因子解析



SUS304Lの高圧水素中における疲労き裂伝ば特性 (R=0.1)



SUS304Lの相対絞りに及ぼす水素濃度の影響 (水素チャージ材の脆化挙動)

「事業原簿 p. III 2.3(2)-3」

「事業原簿 p. III 2.3(2)-7」

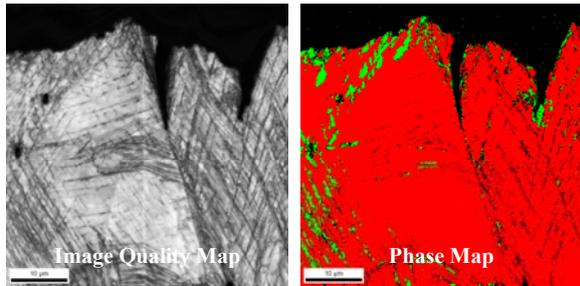
20

**γ系SUSの水素脆化影響因子の探究**

**SUS304系材料を用いた水素脆化影響因子解析**

X線回折によるマルテンサイト測定は、定量議論が困難 → EBSD, EBSP (後方散乱電子線回折パターン)法を適用

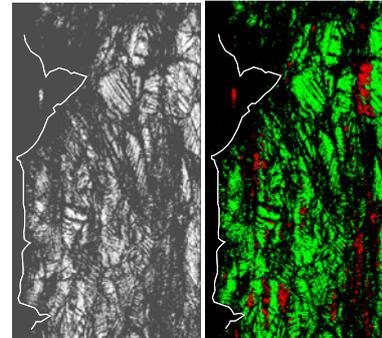
室温, 45MPa水素環境で引張破断した  
**SUS304**破面直下のEBSP分析結果



赤: オーステナイト 緑: α'加工誘起マルテンサイト 10μm

破面近傍(断面)に生成したα'相量は僅少

85°C, 45MPa水素環境で破断した**SUS 304L**側面割れ近傍断面のEBSP分析結果



左: Image Quality 像  
右: Phase map

赤: 加工誘起  
α'マルテンサイト  
緑: オーステナイト

注: 左の測定結果と  
赤, 緑の表示が逆

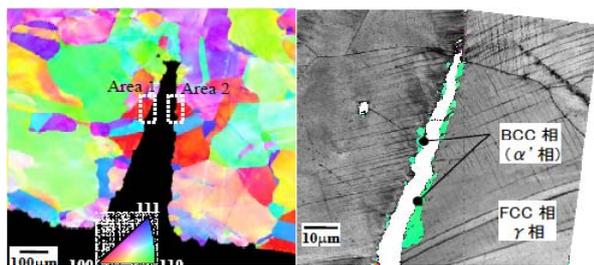
CI>0.1

亀裂面, 先端に多量のα'相を確認できず

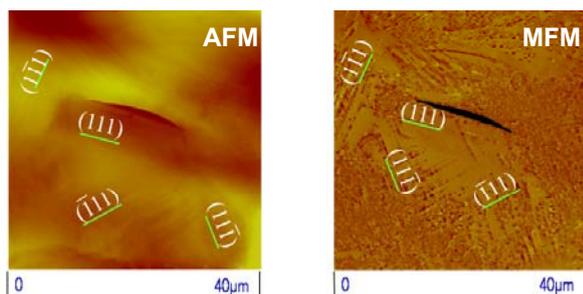
→ 304系SUSの水素脆化は、α'マルテンサイトだけでなくγ相も関与の可能性

**γ系SUSの水素脆化影響因子の探究**

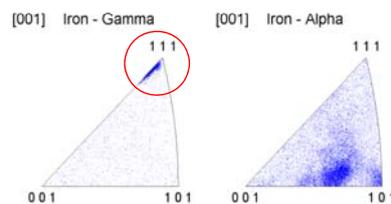
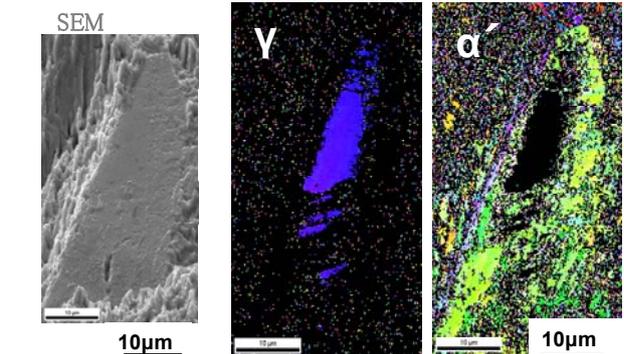
**SUS304系材料を用いた水素脆化影響因子解析**



SUS304 水素中疲労き裂進展経路のEBSD観察



原子間力顕微鏡(AFM)および磁気力顕微鏡(MFM)によるSUS304水素チャージ材の亀裂の観察



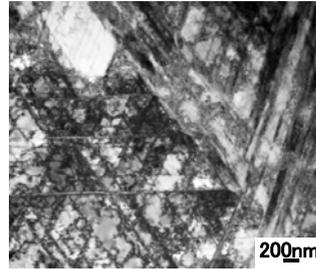
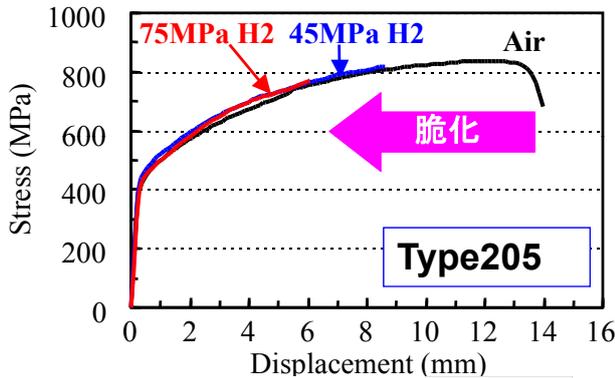
SUS304L 45MPa  
水素中疲労破面  
(平板状破面)の  
EBSD解析

亀裂は、α'内ではなく、γ/α'マルテンサイトの界面近傍をγ{111}に沿って進展

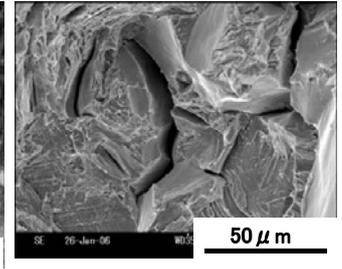
# 研究成果(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究

## γ系SUSの水素脆化影響因子の探究

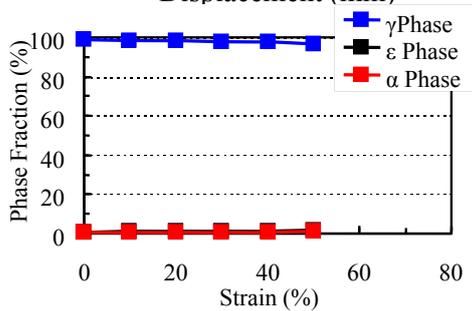
安定γ系SUS(Type205:17Cr-15Mn-1.5Ni-0.35N)の水素脆化影響因子解析



30% 変形材の転位組織



45MPa水素中試験材の破面



Ni基合金などと同様、完全 fcc γ 相でも水素脆化

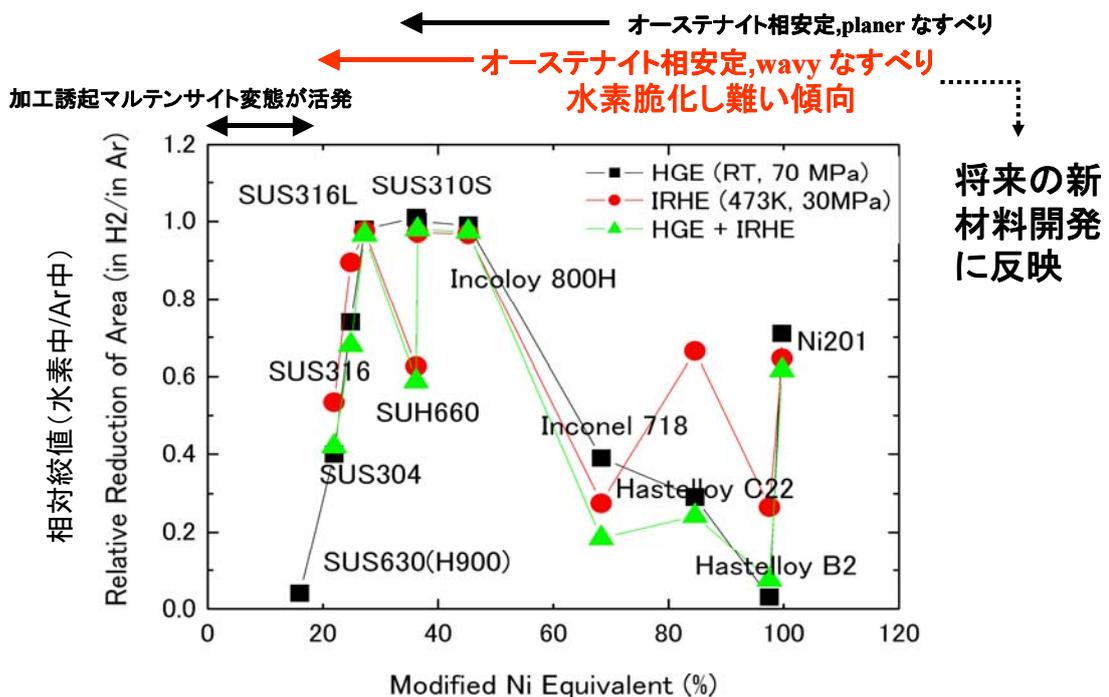
↓  
γ相中の「プラナーな(平坦な)転位」の集積によるγ相の水素環境脆化

「事業原簿 p. III 2.3(2)-10」

23

# 研究成果(2)評価材料種の拡大(新規開発材料評価含む)

材料選択のための化学成分依存性および金属組織依存性の水素脆化評価



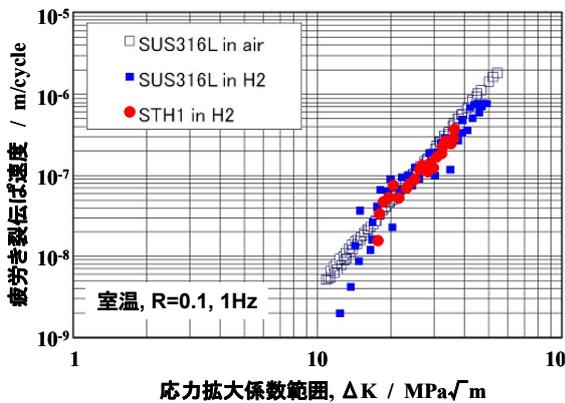
「事業原簿 p. III 2.3(2)-19~20」

24

# 研究成果(2)評価材料種の拡大(新規開発材料評価含む)

## N添加省Mo低Ni鋼 (STH1,STH2)の評価

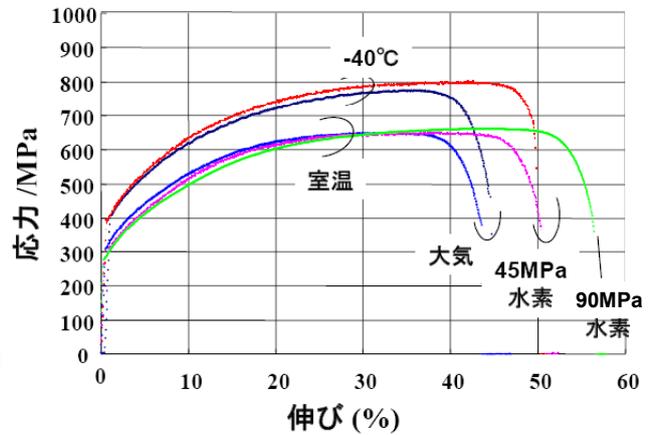
STH1: 15Cr-9Mn-6Ni-2Cu



STH1の水素中疲労き裂伝ば特性

45MPa水素中で、疲労き裂伝ば速度の加速無し

STH2: 15Cr-9Mn-6Ni-2Cu-0.2N

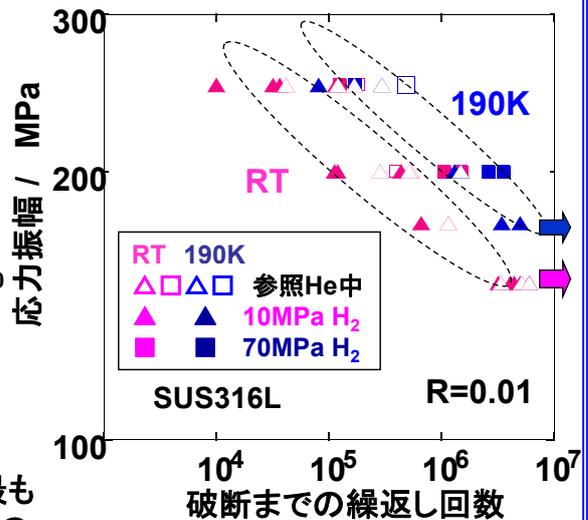
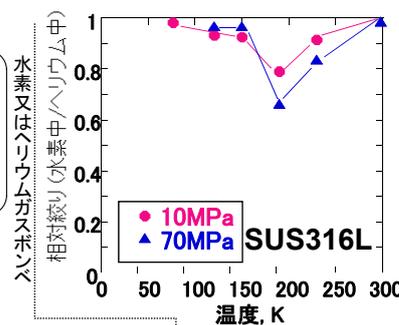
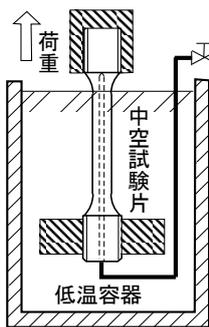


STH2の水素中引張特性-SSカーブ

-40°C, 45MPa水素中, 室温, 90MPa水素中で延性低下なし → 高耐力と耐水素脆性が両立

# 研究成果(4)材料特性簡易評価法の適用拡大

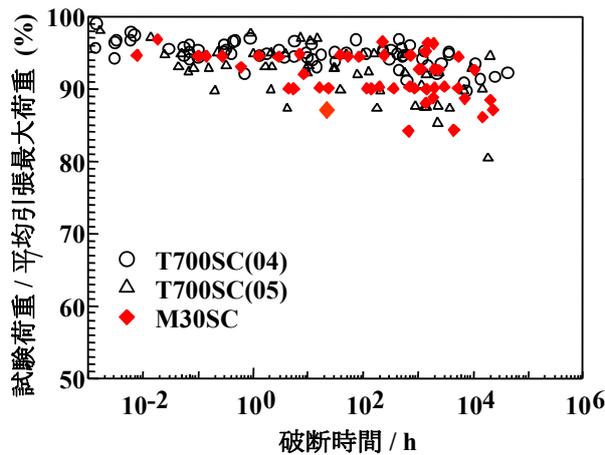
## 水素環境脆化簡便評価法の展開



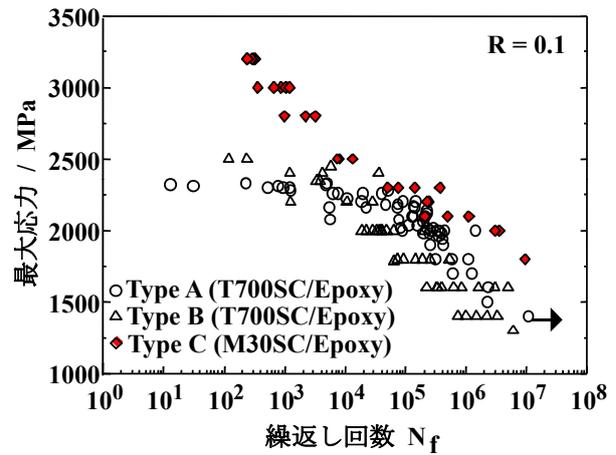
SUS316Lの最も水素環境脆化の大きい低温(190K)含む、極低温・高圧の水素ガス中における引張・疲労特性評価法を確立

# 研究成果(3)複合容器向け材料の評価

## 複合容器材料の評価 — データ追加採取



CFRPのストレスラプチャー試験結果



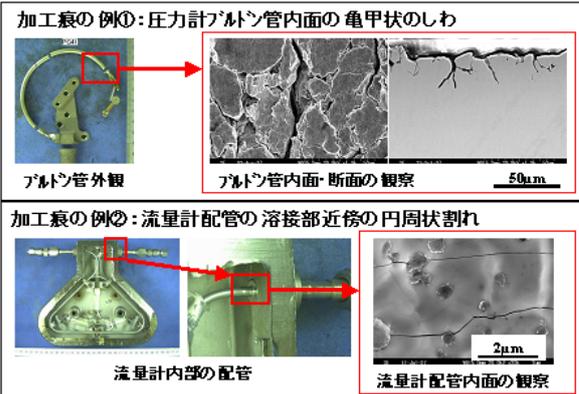
一方向強化CFRPの疲労試験結果

CFRPのストレスラプチャー試験及び疲労試験データを追加採取し、経済産業省のFRP製水素用貯槽の設計基準に関する調査研究委員会に提供した。  
 ストレスラプチャーの強度低下は、マトリクス材料の常温クリープによるものと推定され、40,000時間までの試験においてはストレスラプチャーは示さない。破断した試験片のSEM観察を行った結果、劣化の兆候は見られなかった。  
 高強度のCFRPの疲労特性は、炭素繊維とマトリクス材料(樹脂)のはく離(または割れ)に伴い疲労特性が低下する領域が存在することが明らかになった。

「事業原簿 p. Ⅲ 2.3(2)-16 ~ p. Ⅲ 2.3(2)-17」

# 研究成果(6)その他の活動: 長期使用水素関連機器の解体調査

- ・WE-NET 高松水素ステーション 蓄ガス器・ディスプレイの容器・配管・弁・計器類  
[報告会開催, 540余頁の報告書作成]
- ・18年使用液体水素コンテナ容器
- ・22年使用液体水素ローリー 容器・配管・弁・計器類  
(日本エア・リキッド(株), 太平洋液化水素(株)ご協力)
- ・JHFC 君津液体水素製造設備 配管・弁類
- ・JHFC 有明水素ステーション配管類



・長期間、水素環境、極低温環境下で使用したことによる材料損傷・劣化は無し  
 ・機器製作時の注意点・改善点等の提言を実施

「事業原簿 p. Ⅲ 2.3(2)-26 ~ p. Ⅲ 2.3(2)-27」

## 成果のまとめ－1

項目	目標	成果	自己評価
(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価データ取得・提供	・70MPa級機器用材料データ取得 ↓ 候補材であるSUS316L、A6061-T6、A6061-HS等の評価	・99MPa高圧水素雰囲気下材料試験装置の導入他評価手法の充実 ・70MPa 機器用材料の基準化に向けた候補材・比較材の特性データ取得 ・ <b>車載容器に関する技術基準策定に貢献</b> <b>「70MPa圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」(KHK S 0128、H22.7.23制定)</b>	◎ 目標達成
(2)評価材料種の拡大(新規開発材料評価含む)	・上記候補材以外の材料データ取得	・各種SUS(含新鋼種STH1、STH2)、Al合金、合金鋼(含高Mo-V添加鋼)、チタン・チタン合金 他のデータ取得	◎ 目標達成
(3)複合容器向け材料の評価	CFRPの特性データ拡充	CFRPのストレスラプチャー、疲労データ蓄積 <b>METI FRP製水素用貯槽設計基準に関する調査委員会にデータ提供</b>	○ 目標達成
(4)材料特性簡易評価法の適用拡大	試験片内微小空隙に高圧水素環境を設定する方法の適用拡大	評価条件の拡大(低温～高温・高圧、疲労など)	○ 目標達成

「事業原簿 p. III 2.3(2)-28 ~ p. III 2.3(2)-29」

29

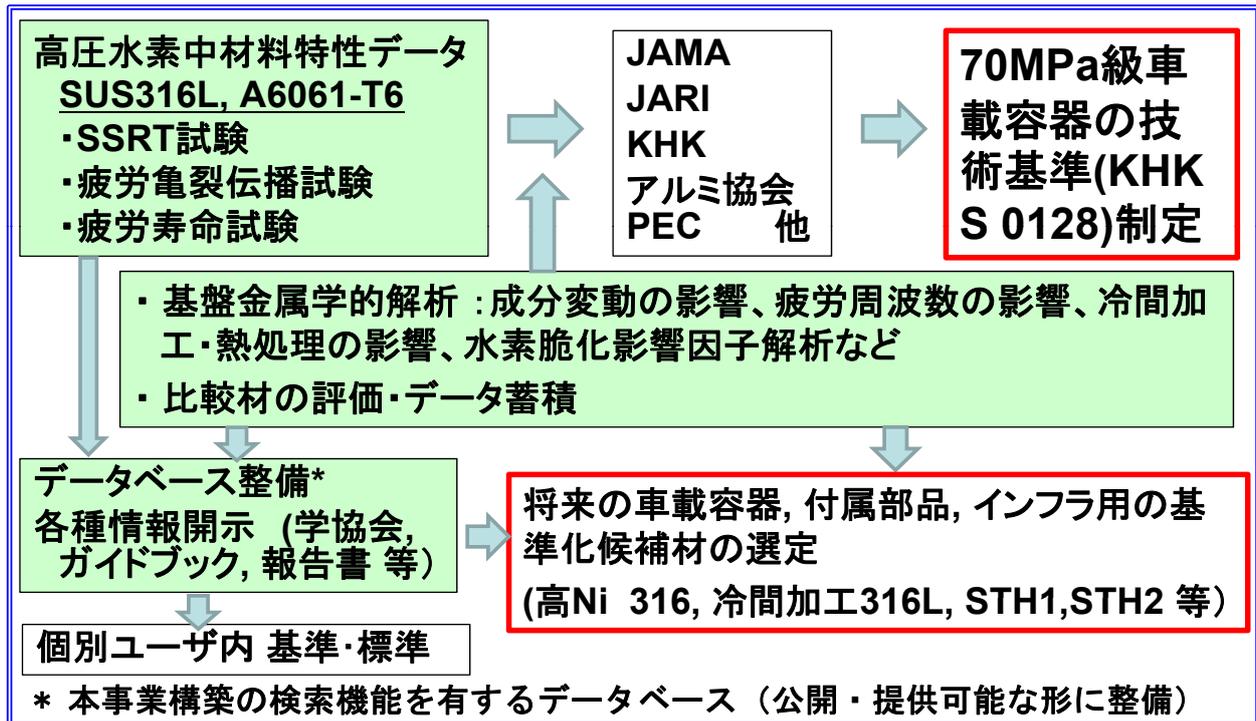
## 成果のまとめ－2

項目	目標	成果	自己評価
(5)基準化の技術的根拠のための金属学的基盤解析・研究	「(1)例示基準策定・改訂の根拠となる材料評価」の裏付けデータおよび関連基礎知見の取得	・試験周波数の疲労特性に及ぼす影響把握 ・ $\gamma$ 系SUSの水素環境脆化因子の解析 成分偏析、Ni、Cr量・Ni当量・N量の影響把握、すべり変形モード・マルテンサイト変態の影響把握など	◎ 目標達成
(6)その他活動、ノウハウ・重要知見の蓄積と情報公開	・長時間使用水素関連機器の劣化度調査 ・トライボロジー特性研究 ・液体水素用材料データ取得 ・取得データ、技術情報の関係者及び一般への開示、データベースの拡充等	・長期使用水素関連機器解体調査(高松stn., LH2ローリー、有明水素stn. 他) ・トライボロジー特性研究 ・ <b>液体水素中材料特性評価</b> (STH1,2, $\gamma$ 系SUS溶接材疲労、変形数値シミュレーション等) ・ <b>水素有効利用ガイドブック</b> の材料技術関連章項全70余頁の執筆 ・鉄鋼協会、圧力技術誌等への組織的成果発信 ・データベースの拡充	○ 目標達成

「事業原簿 p. III 2.3(2)-28 ~ p. III 2.3(2)-29」

30

## 8. 取得データ提供による技術基準作成への貢献



「事業原簿 p. III 2.3(2)-28~29」

31

## 9. 実用化の見通し

### [鉄鋼材料を中心とした金属材料]

- 本研究開発の成果は、(社)日本自動車工業会、(財)日本自動車研究所、(財)石油産業活性化センター、高圧ガス保安協会等にて検討されている70MPa級機器の基準・標準化に向けた一連の活動に対し、技術的な裏付けデータとして活用、反映される。(車載容器に関してはKHK基準制定済み H22.7)
- さらに、基礎解析も含めた一連の研究開発を継続することにより、関係産業界による水素社会構築に向けた基準・標準化の進展が図られるものと考えられる。
- 本研究開発で得られた基礎知見を活用し、近い将来、耐水素脆性に優れ、特性面およびコスト・製造性などの工業的観点から利点の多い新しい水素用材料が実用化される見通しである。

### [複合材料]

- 本研究開発の成果は、容器設計の安全率・寿命決定に必要な根拠データとして、車両搭載用容器やFRP製水素貯槽の設計に反映される見込みである。

以上、本研究開発成果は、2015年に普及開始期を迎えるとされる水素燃料電池自動車の実用化、およびその後の本格普及に直接的に寄与することができる。

「研究開発」：本分科会では、「データ取得及びそれに関わる技術開発」を「研究開発」と見なす。

「実用化」：本分科会では、「高度な技術基準及び標準化案の国内外への提案」を「実用化」と見なす。

「事業原簿 p. III 2.3(2)-31」

32

平成17～21年度  
水素社会構築共通基盤整備事業  
水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発

議題6-2-3.

水素用アルミ材料の基礎研究

平成 22年12月 3日

(社)日本アルミニウム協会  
住友軽金属工業(株)  
三菱アルミニウム(株)  
古河スカイ(株)  
日本軽金属(株)  
(株)神戸製鋼所  
昭和電工(株)

複製を禁ず

発表内容

公開

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)社会的背景
- (2)事業の目的
- (3)水素社会構築共通基盤整備事業での位置付け
- (4)NEDOが関与する意義
- (5)国内外の研究開発の動向
- (6)実施の効果

II. 研究開発マネジメント

- (1)事業の目標
- (2)事業の計画内容
- (3)研究開発の実施体制
- (4)研究の運営管理
- (5)情勢変化への対応
- (6)中間評価結果への対応

III. 研究開発成果

- (1)開発目標と達成度
- (2)検討内容

IV. 実用化、事業化の見通し

- (1)実用化、事業化までのシナリオ
- (2)波及効果

社会的背景

FCV搭載のVH3型複合圧縮水素容器(図1)に用いられるアルミ合金ライナー材

35MPa用例示基準は、2004年にJARI S 001として策定

- 70MPa対応の新例示基準策定(2010年)に向けて、必要データの蓄積が待たれる
- 自動車業界などから、軽量化・省素材化目的で高強度合金の開発も要望されている
- 前事業(H15・16)で、高圧水素中での試験を模擬できる評価方法として、水蒸気分圧制御大気中での低ひずみ速度(SSRT)試験(図2)を提案

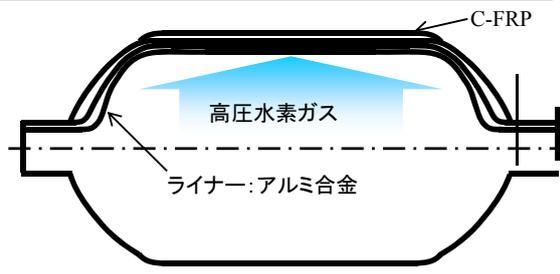


図1 VH3型高圧水素容器の構造

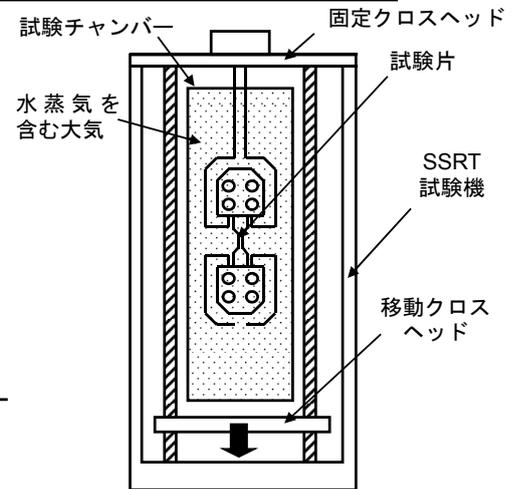


図2 水蒸気分圧制御大気環境下でのSSRT試験。

事業全体の目的

水素社会構築に向け燃料電池／水素エネルギー利用分野における既存規制の見直し等に資するデータ、高度な技術基準および標準化案を国内および国際標準に提案するためのデータ取得およびそれに係わる技術開発を実施する



燃料電池を広く安全に一般社会へ普及させる



我が国エネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題・地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等を図る

**事業の目的**

- 高圧水素ガス実環境下でのSSRT試験データとの相関をとり、代替評価法としての有用性を実証する。
- 本試験による脆化感受性データと水素の侵入・拡散・集積挙動との関係を調査し、基礎的な裏付けを行う。

- 自動車業界や容器メーカーなどからのニーズ・情報を収集し、容器の軽量化を目指す。
- 例示基準JARI S-001,002で定められた6061合金よりも高強度の6000系・7000系合金について、関係特性の評価を行う



最有力候補材を実機の量産規模で作製し、新例示基準作成に資するデータを取得する。

**NEDOが関与する意義**

水素用アルミ材の技術開発(容器・関連材料の軽量化・低コスト化)

- 社会的必要性:大、国家的課題
- 自動車・アルミニウム・圧力容器関連産業の競争力強化に貢献
- その他、水素インフラ分野へも展開可能
- 研究開発の難易度:高
- 投資規模:大＝開発リスク:大



**NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業**

(3) 国内外の研究開発の動向

FCV搭載のVH3型複合圧縮水素容器(図1)に用いられるアルミ合金ライナー材

35MPa用例示基準は、2004年にJARI S 001として策定

70MPa対応の新例示基準策定(2010年)に向けて、必要データの蓄積が待たれる

自動車業界などから、軽量化・省素材化目的で高強度合金の開発も要望されている

前事業(H15・16)で、高圧水素中での試験を模擬できる評価方法として、水蒸気分圧制御大気中の低ひずみ速度(SSRT)試験(図2)を提案



図1 VH3型高圧水素容器の構造

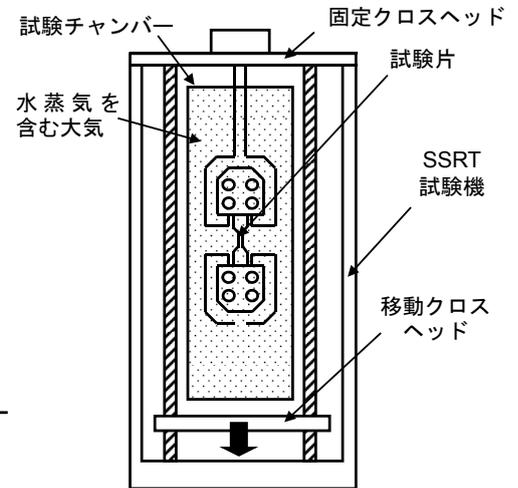
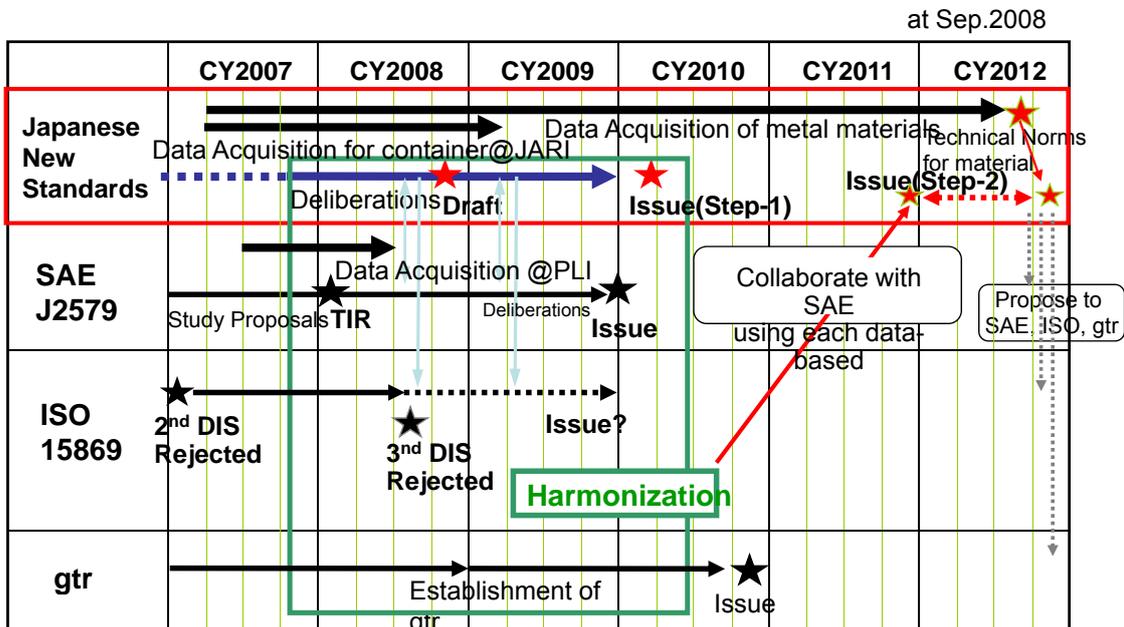


図2 水蒸気分圧制御大気環境下でのSSRT試験。

(4) 研究開発の世界比較

国際標準策定において、データを多く保有する日本が優位に進められる

Draft Schedule with International Harmonization



## 事業の目標(2009年度 最終目標)

- 高圧水素ガス実環境下でのSSRT試験データとの相関をとり、代替評価法としての有用性を実証する。
- 本試験による脆化感受性データと水素の侵入・拡散・集積挙動との関係を調査し、基礎的な裏付けを行う。
- 自動車業界や容器メーカーなどからのニーズ・情報を収集し、容器の軽量化を目指す。
- 例示基準JARI S-001,002で定められた6061合金よりも高強度の6000系・7000系合金について、関係特性の評価を行う。
- 最有力候補材を実機の量産規模で作製し、新例示基準作成に資するデータを取得する。

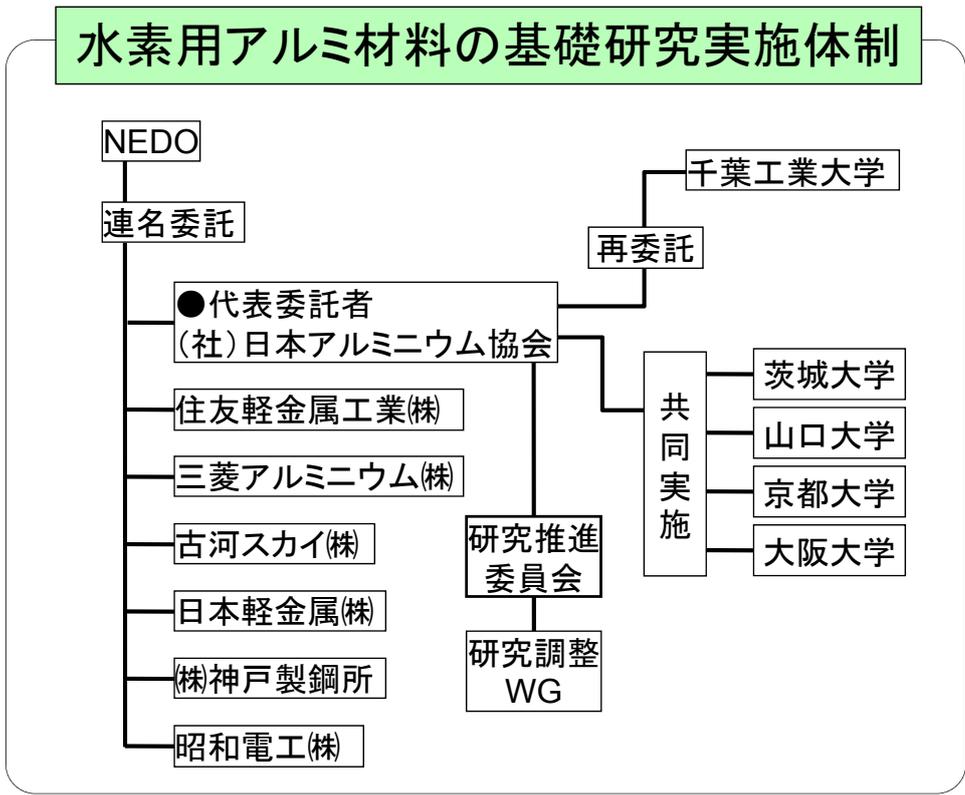
## 研究開発目標と根拠

研究開発項目(個別テーマ)	研究開発目標	根拠
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、その発生要因の調査	6061および7075合金について、加工温度、加工速度との関係で、発生条件を調査し、粗大化試験材について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	時として高圧容器ネック部で発生が見られ、その影響が懸念されていたため
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	6061合金より高強度の8合金について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	自動車業界を中心に、低コスト・高強度材への要望が強かったため。迅速にできるという試験法のメリットを発揮できるため。
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査	高圧下で脆化する試験材(非実用)を調製し、高圧下での試験データと水蒸気制御大気環境下でのデータを対応付ける。	代替試験として必須のため。
④水素挙動の解明	水素マイクロプリント法、昇温脱離分析などにより、アルミニウム中の水素の移動、トラップなどの挙動を解析する。	各種試験が完全に実使用と同じ条件で行えない現状を踏まえると、水素挙動の基礎データが必須となるため。
⑤LBB性の評価	引裂き試験により得られる単位き裂伝播エネルギーにより、6061,7075、および前記8合金のLBB性を評価する。	容器材料として、必要な特性であるため。
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得	70MPa対応の例示基準策定のために必須となる試験材を見極め、量産規模で調製し、高圧を含めてデータ取得を行う。	例示基準策定に必須であるため。

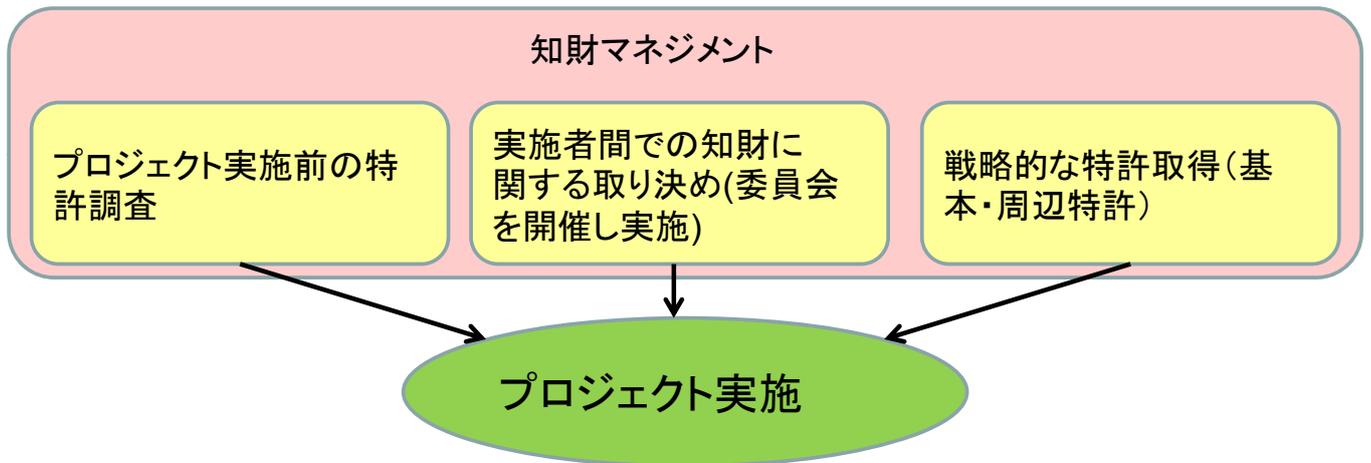
研究開発のスケジュール

実施項目	2005	2006	2007	2008	2009
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、その発生要因の調査	→				
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	→				
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査		→			
④水素挙動の解明	→				
⑤LBB性の評価		→			
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得				→	

2010年3月例示基準策定(KHK殿)



知財マネジメントの重要性を踏まえて着実に実施した。



知財マネジメントは、研究開発事業の成否を握る要因であるだけでなく、研究開発マネジメントにも影響を及ぼす。

情勢変化等への対応

情勢	対応
KHK殿との綿密な打合せにより、天然ガス等での使用実績のない新規合金の例示基準化は困難であることを認識	<u>新規試験材(6066合金等)の例示基準化を断念し、高Si組成6061(6061HS)合金の量産規模調整に変更。</u>
例示基準化に高圧データ(引張、SSRT引張、平滑疲労、疲労き裂進展)の取得が不可欠であることを認識	<u>6061HS合金の高圧試験をNEDOを通じてJRCMグループに依頼、実施していただいた。</u>

## 中間評価結果への対応

評価者のコメント	対応
水素脆性の安全技術の中核の研究であり、波及効果の大きな研究である。	—
耐水素脆性の材料開発に結びつくため、実用化が期待できる可能性がある。	—
単なる測定やデータ提供に終わることなく、実用化には基礎物性をどう生かすかという視点や考え方が重要と思う。	挙動解析データと耐水素脆化特性データの関係の考察を強化。
水素用材料の評価技術として第一段階として着実な進展が見られるが、実用化した場合の評価として、材料の加工履歴、熱・機械応力、疲労など多面的な評価が必要。	耐水素脆化特性を高温でも評価。疲労特性データをより多く取得。
安全材料の情報の発信源としての役割を認識し、水素脆性に関する基礎データを多く採り、水素関連機器の材料選択の指針を示してほしい。その役割は重要である。	例示基準策定を見越して、当面の有望材料として、高Si組成6061(6061HS)、その後の候補材料として6000系、7000系合金数種を提言した。

事業原簿 Ⅲ2.3(3)－1

15 / 31

## ・日本アルミニウム協会主催による「水素用アルミ材料の基礎研究推進委員会(年1回)」開催

### 外部有識者の意見を運営管理に反映

東京大学 菅野幹宏名誉教授、 高圧ガス保安協会 竹花 立見 室長  
日本自動車工業会 田村 浩明 WG長、榊田 明宏 WG長

- 反映内容 (1)耐水素脆化性との関係での組成の検討  
(2)例示基準策定に必要なデータの取得計画修正  
(3)低コスト・高強度材のデータ取得加速

## ・その他、以下の委員会を開催

「水素用アルミ材料の基礎研究調整WG(年5回)」

研究内容の進捗状況確認と今後の方針を協議。

「特許委員会(計3回)」

実施者間での知財に関する取り決め。戦略的な特許取得の検討。

事業原簿 Ⅲ2.3(3)－1

16 / 31

(1)個別研究開発項目の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、の発生要因の調査	6061および7075合金について、温度・速度との関係で、発生条件を調査し、粗大化試験材について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	発生条件および耐水素脆化性に及ぼす影響を明らかにした。	◎	他材種での同様な検討。一般原理の導出。
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	6061合金より高強度の8合金について、湿潤大気中SSRT試験により耐水素脆化性を評価する。	6000系はすべて、また7000系の一部も十分な耐水素脆化性を持つと判断された。	◎	機構解明。高圧試験データ取得。
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査	高圧下で脆化する試験材(非実用)を調製し、高圧下での試験データと水蒸気制御大気環境下でのデータを対応付ける。	7000系の1材種について、25%RHの大気と70MPaの高圧水素が同等の環境であることを示した。	○	材種の拡大。
④水素挙動の解明	水素マイクロプリント法、昇温脱離分析などにより、アルミニウム中の水素の移動、トラップなどの挙動を解析する。	環境による材料内水素の挙動の差がないこと、水素侵入・放出において第二相の重要性を示した。	○	環境による水素侵入挙動の差の明確化。
⑤LBB性の評価	引裂き試験により得られる単位き裂伝播エネルギーにより、6061,7075、および前記8合金のLBB性を評価する。	7075を除く7000系で高く、6000系でやや低いことを示した。	◎	なし
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得	70MPa対応の例示基準策定のために必須となる試験材を見極め、量産規模で調製し、高圧を含めてデータ取得を行う。	高Si組成の6061(6061HS)合金を量産規模で調製し、例示基準策定に必要なデータ取得を行った。	◎	同コストでより高強度の材種への適用。

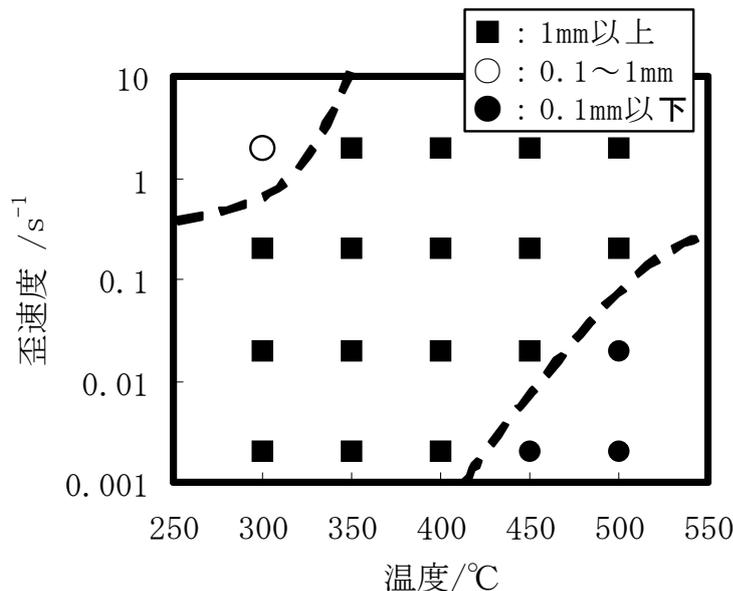
事業原簿 Ⅲ2.3(3)ー3~7

17/31

研究成果

1. 結晶粒径におよぼす加工条件の影響

6061合金の結晶粒径とひずみ速度、加工温度の関係

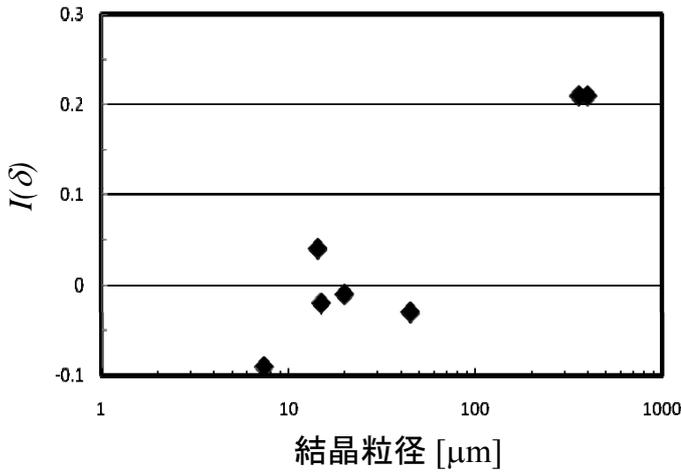


6061合金溶体化処理材の結晶粒径と歪速度、加工温度との関係

18/31

# 研究成果

## 1. 水素脆化感受性に及ぼす粒径の影響



注

$I(\delta)$ : 脆化感受性指数

$$I(\delta) = \frac{\delta_{DNG} - \delta_{RH90}}{\delta_{DNG}}$$

$\delta$ : 破断伸び

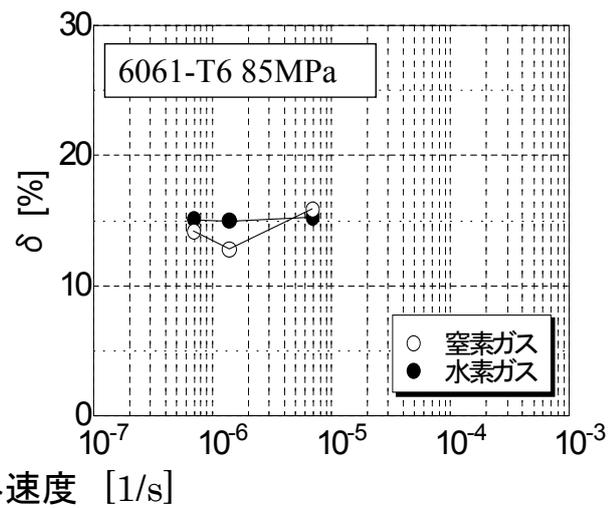
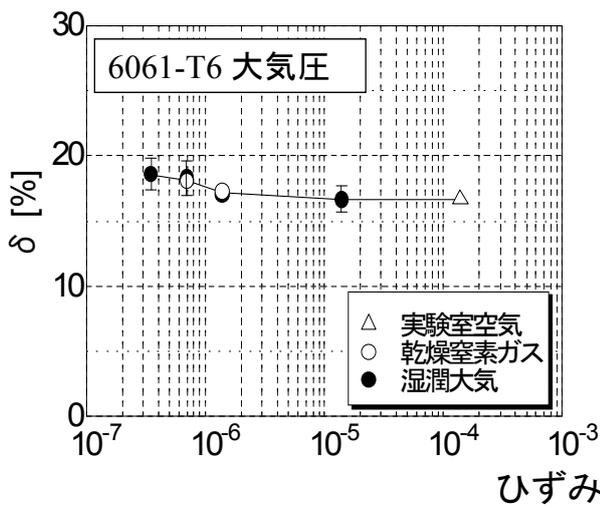
DNG: 乾燥窒素ガス雰囲気(基準環境)

RH90: 相対湿度90%の湿潤大気雰囲気

結晶粒径が極端に粗大になると水素脆化にやや敏感になる

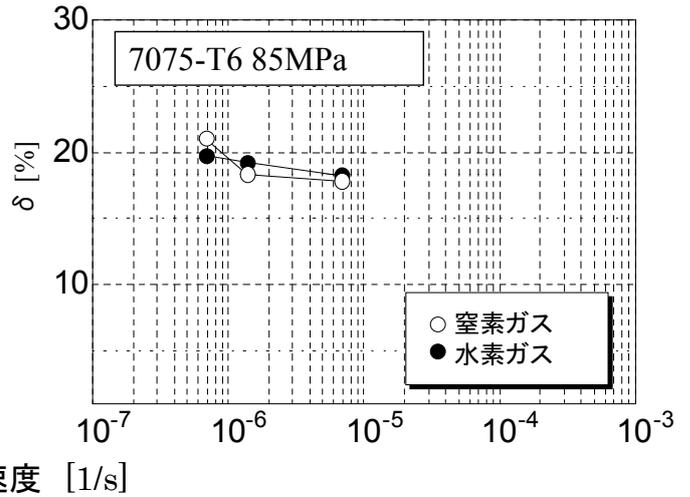
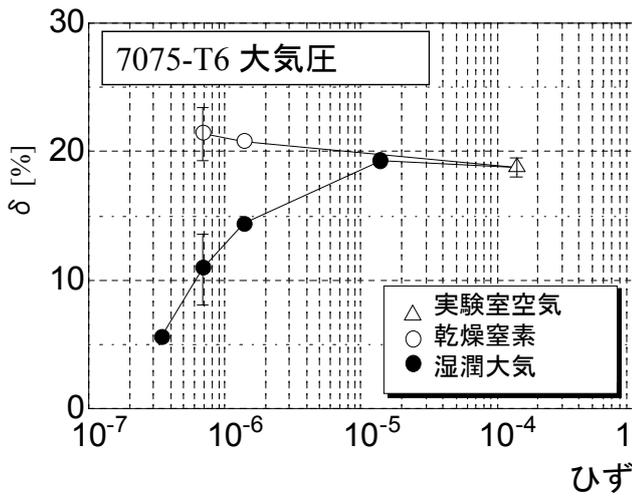
# 研究成果

## 2.3 高圧データとの相関調査



# 研究成果

## 2.3 高圧データとの相関調査



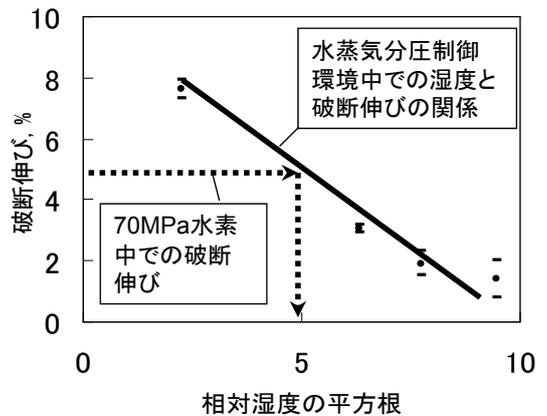
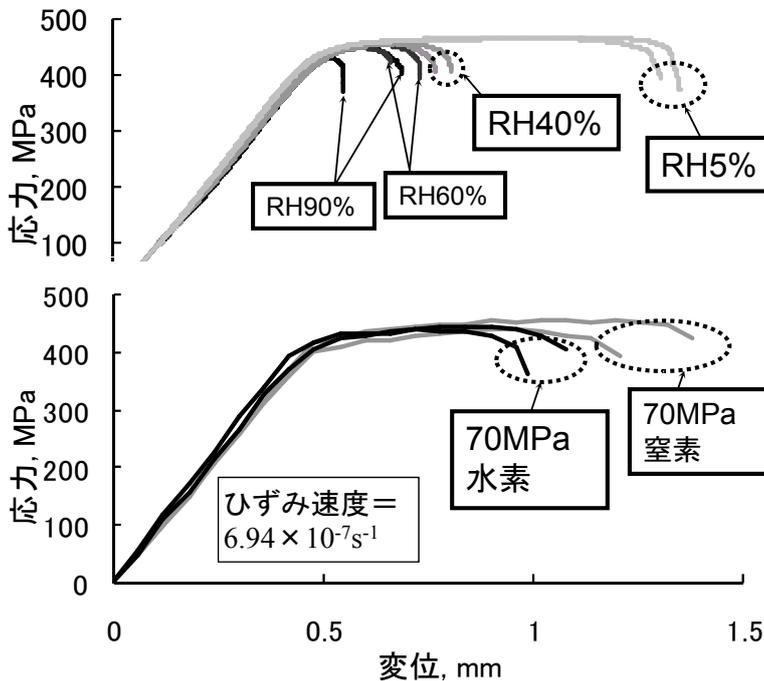
湿潤大気中で脆化を示す  
7075も高圧水素中では全く  
脆化が見られない。

湿潤大気環境のほうが高  
圧水素環境よりも厳しい。

# 研究成果

## 2.3 高圧データとの相関調査

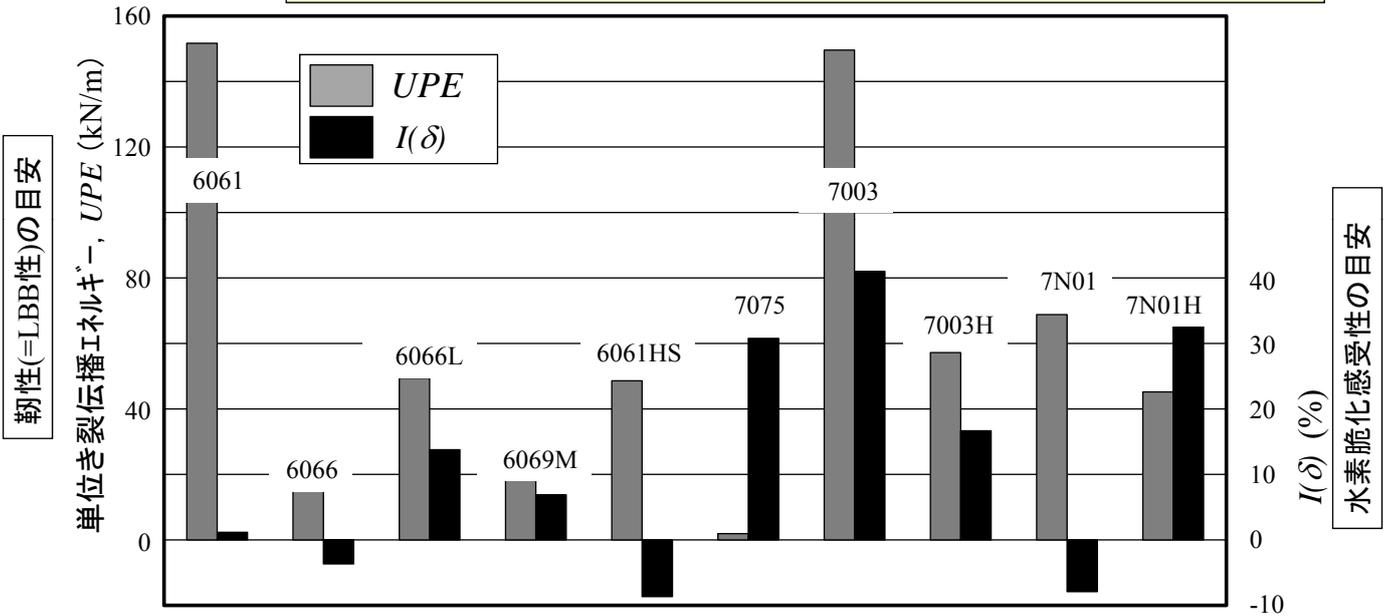
高純度7075-T6材の水蒸気分圧制御大気環境下および高圧下での  
応力-変位線図と70MPa水素中に対応する相対湿度の算出



70MPa水素は、相対湿度  
25%にほぼ対応。

# 研究成果

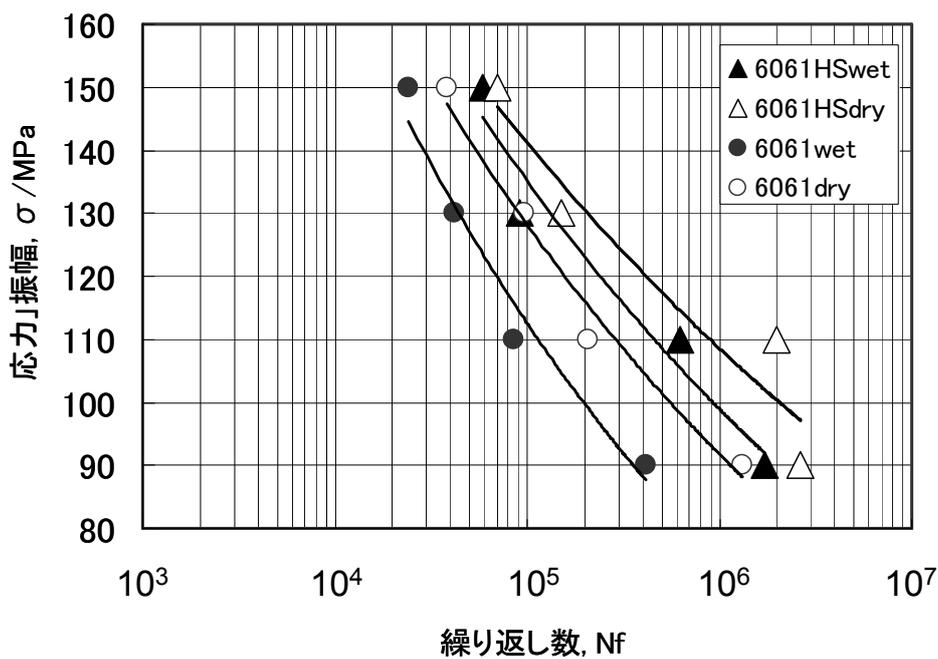
2.1, 2.2 多数の試験材の水蒸気分圧制御大気環境下でのLBB性評価および水素脆化感受性評価



- LBB性: 7000系>6000系
- 耐水素脆化性: 6000系>7000系
- 6066L(6061の高Siに近い)がバランスがとれている→6061HS

# 研究成果

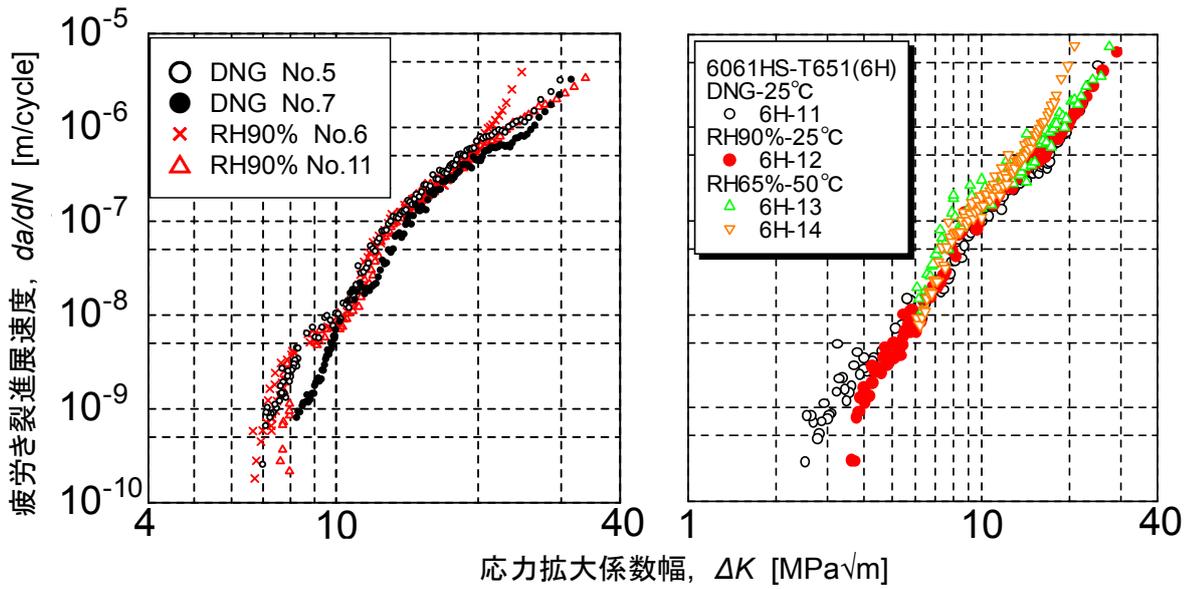
2.1 多数の試験材の水蒸気分圧制御大気環境下での疲労特性評価



乾燥雰囲気よりも湿潤雰囲気において疲労寿命低下

# 研究成果

## 2.1 多数の試験材の水蒸気分圧制御大気環境下での疲労特性評価

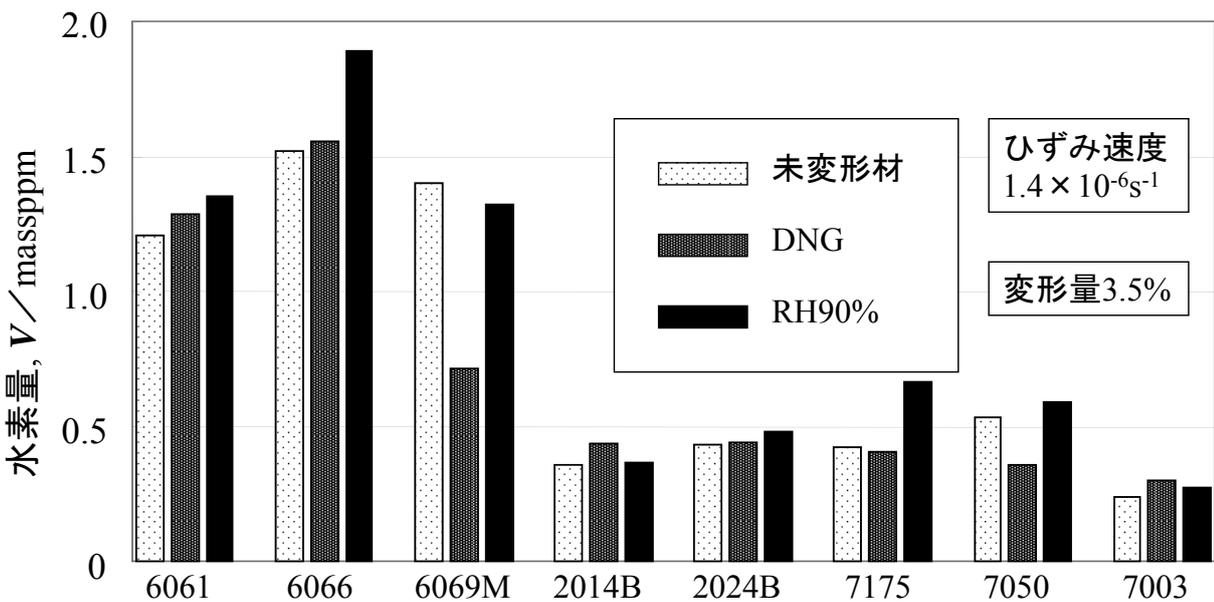


**6061や6061HSでは湿潤雰囲気にしても疲労き裂進展速度はほとんど変化しない**

# 研究成果

## 2.4 水素の挙動解析

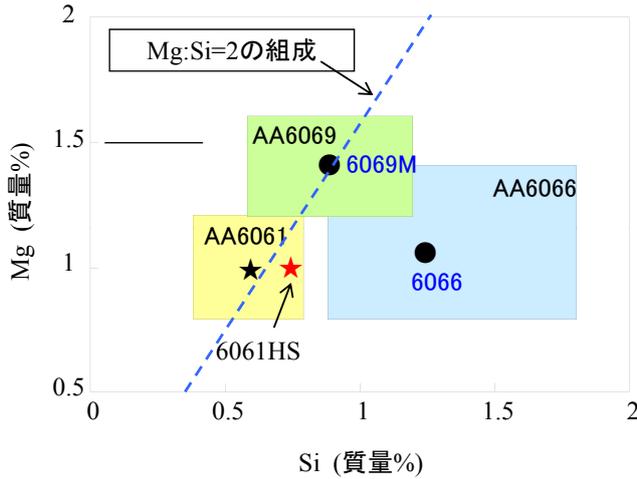
模擬環境および不活性環境で変形することによる水素量の変化



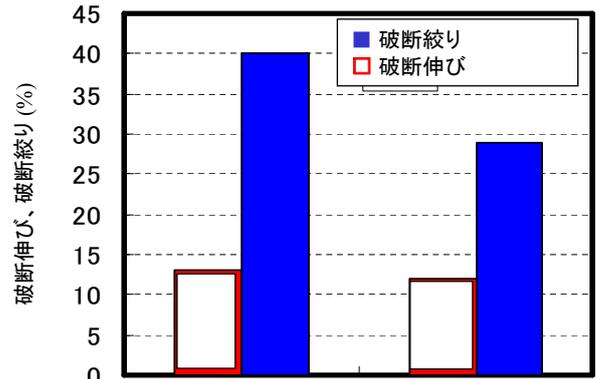
**・6000系は2000,7000系に比べて水素量が多い**  
**・模擬環境で変形することにより水素量が増える傾向**

# 研究成果

## 3. 6061HSの調製、特性評価



6061HS合金の組成(★)(他の規格合金の成分範囲との比較)。

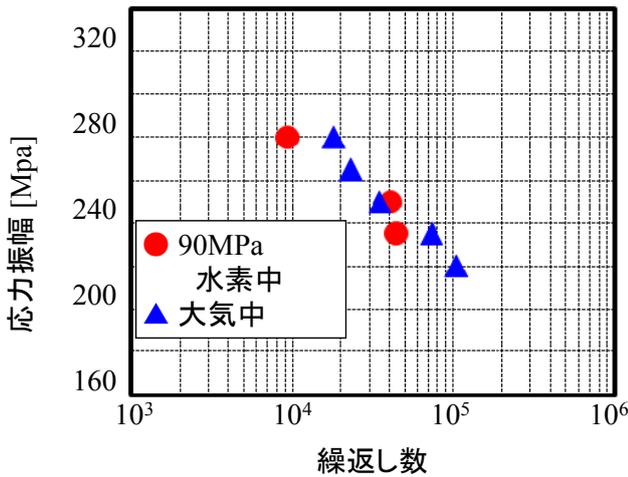


6061HS合金の高圧水素中および大気中での延性。

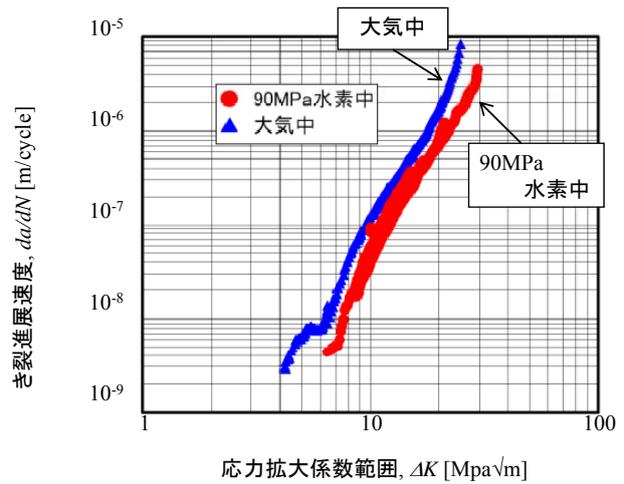
**Siを増量することにより強度が増加することを確認**

# 研究成果

## 3. 6061HSの調製、特性評価



6061HS合金のS-N曲線。



6061HS合金の疲労き裂伝播特性

**6061HSは6061中心組成と同様に水素中での材料特性の劣化が全く見られない**

**例示基準策定に大きく貢献**

(3) 知的財産権、成果の普及

	H17	H18	H19	H20	H21	計
特許出願(成立特許)	—	—	3	—	—	3件
論文(査読付き)	1	3	1	4	4	13件
研究発表・講演	6	11	16	25	23	81件
受賞実績	—	—	1	2	2	5件
新聞・雑誌等への掲載	—	—	—	—	1	1件
展示会への出展	1	1	—	—	—	2件

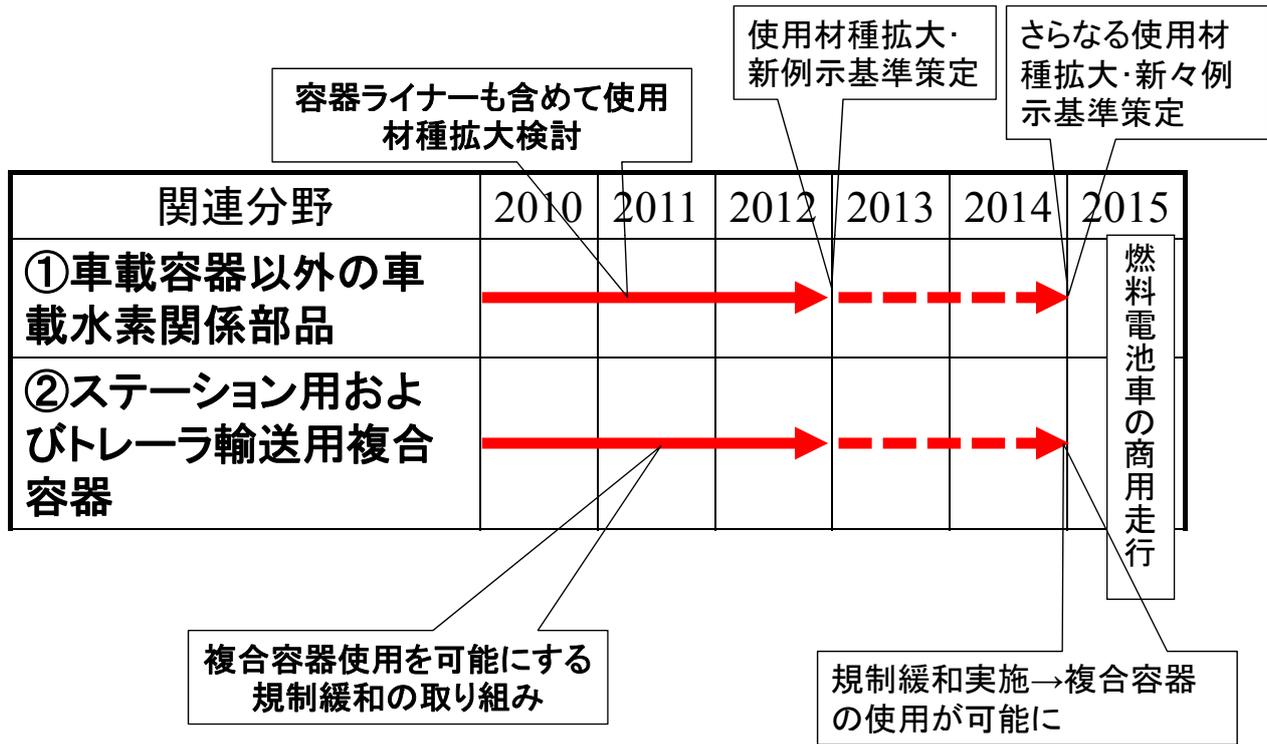
実施項目	2005	2006	2007	2008	2009	2010	....	2012		2015
①耐水素脆化特性に及ぼす結晶粒粗大化の影響と、その発生要因の調査	→									
②湿潤大気環境下でのデータの蓄積	→							→		
③水蒸気制御大気環境下と高圧下でのデータの対応関係調査		→						→		
④水素挙動の解明	→							→		
⑤LBB性の評価		→								
⑥例示基準策定のために必要な試験材の調製、必要データ取得				→				→		

国内例示基準策定(KHK殿)

12月国際標準(ISO)発行

使用材種拡大・新例示基準策定

燃料電池車の商用走行



## 議題6-3-1.

# 「定置用燃料電池システムに係る 規制再点検及び標準化のための研究開発」

社団法人 日本ガス協会  
 財団法人 日本ガス機器検査協会  
 社団法人 日本電機工業会

平成22年 12月3日

### 1.1 事業の目的(概要)

#### ✓事業全体の目的

本事業は、以下の検討を行って**定置用燃料電池の普及に必要な基盤を整備する**ことを目的とする。

- ①小形定置用燃料電池\*の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための**安全確認データの取得** ⇒ 規制再点検
  - ②製品性能を単一の物差しで評価する**試験・評価手法の確立**
  - ③**国際標準の提案**
- } 基準・標準化

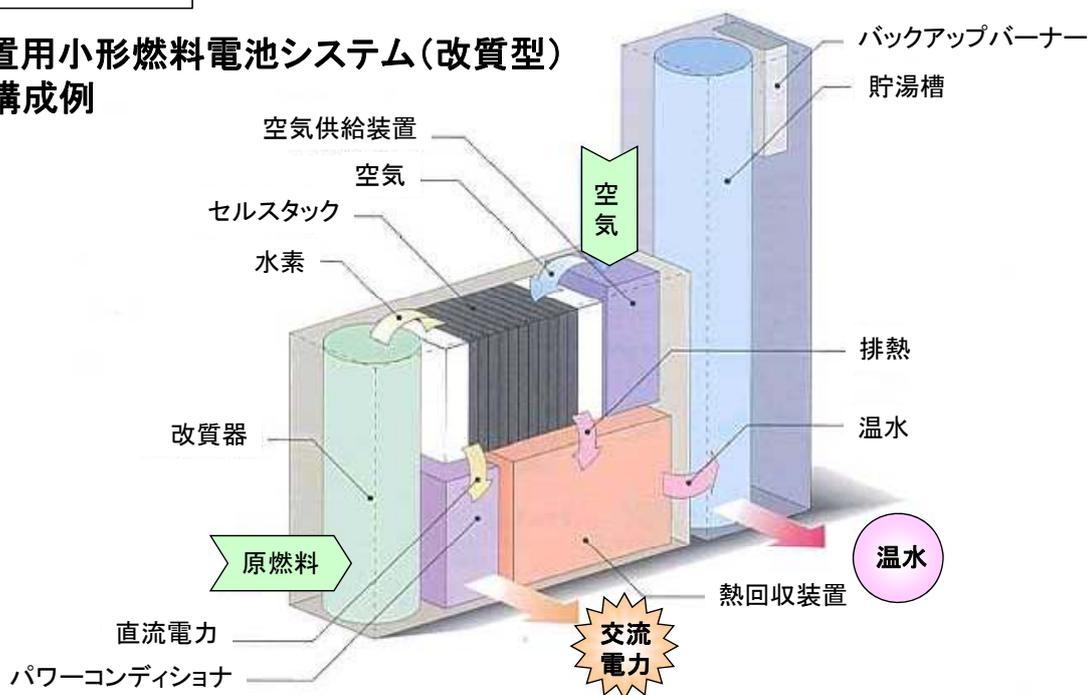
\* 出力10kW未満、燃料・改質系設備の最高使用圧力0.1MPa未満

#### ✓事業の効果

- ◆**固体高分子形燃料電池(PEFC)の規制緩和** ⇒ コストダウンによる普及の促進
- ◆**固体酸化物形燃料電池(SOFC)の規制緩和**
- ◆**純水素駆動型固体高分子形燃料電池  
 (純水素PEFC)の規制緩和** } ⇒ 一般家庭等への設置の容易化による普及の促進
- ◆**試験方法標準化、単独運転検出技術の確立** ⇒ 信頼性・安全性向上による普及の促進
- ◆**国際標準へ日本の規格・基準を反映** ⇒ 国際競争力の向上、海外展開の促進

## 1.2 背景・目的

### ✓ 定置用小形燃料電池システム(改質型)の構成例



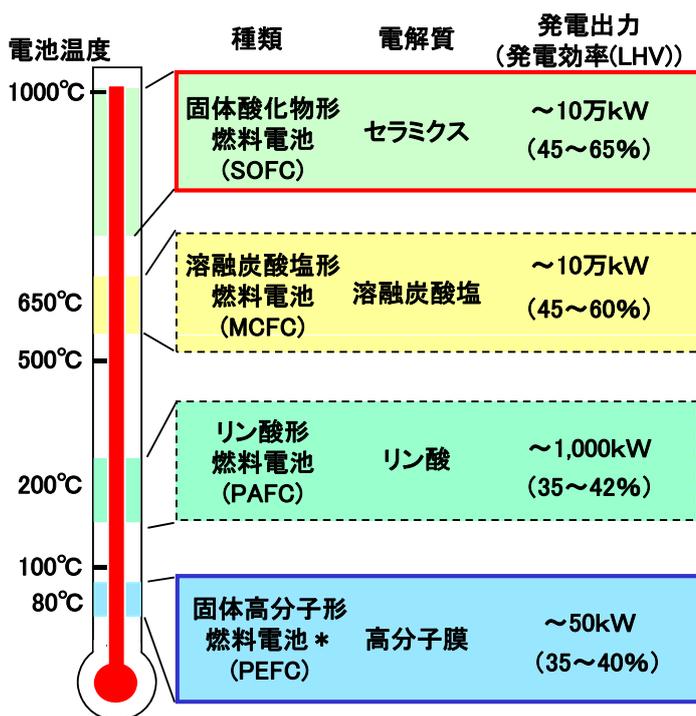
- ・化学エネルギーから電気エネルギーに直接変換するために発電効率が高い
- ・発電プロセスはゼロエミッションで排気がクリーン

(原燃料として化石燃料を使用する場合も、発電効率が高いためCO<sub>2</sub>の排出量は相対的に小さい)

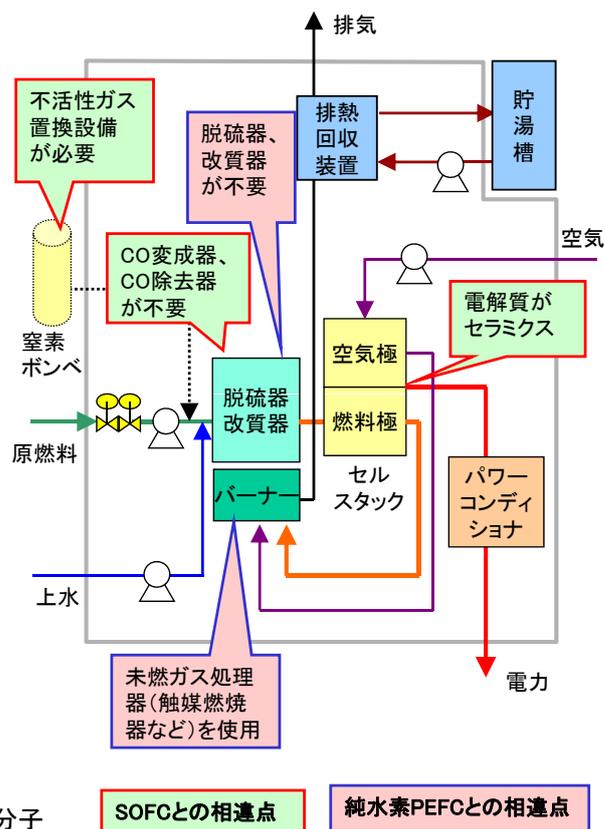
**省エネルギー推進**  
**CO<sub>2</sub>排出削減**

## 1.3 背景・目的

### ✓ 燃料電池の種類



小形燃料電池システムのシステムフロー例



\* PEFCのうち、純水素を燃料とするものを純水素駆動型固体高分子形燃料電池(純水素PEFC)と呼ぶ。

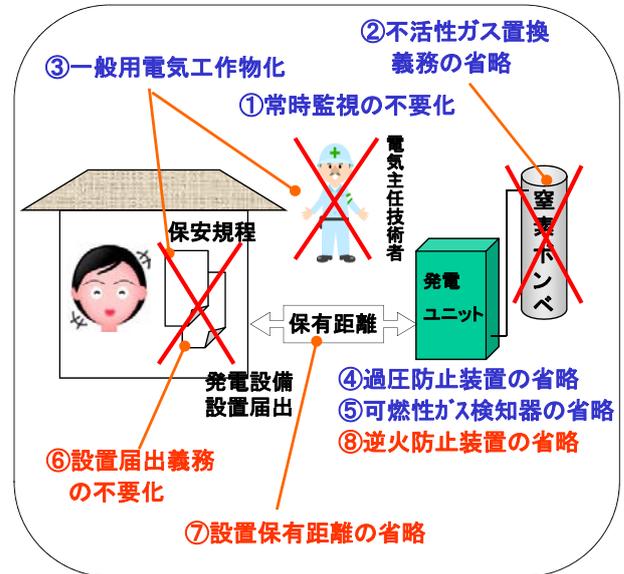
**SOFCとの相違点**      **純水素PEFCとの相違点**

## 1. 4 背景・目的

大型発電所用の技術基準 ⇒ 小形の燃料電池には不適切

① 常時監視の不要化	電気事業法
② 不活性ガス置換義務の省略	
③ 一般用電気工作物化 ・電気主任技術者選任義務の不要化 ・保安規程届出義務の不要化	
④ 過圧防止装置の省略	
⑤ 可燃性ガス検知器の省略	
⑥ 設置届出義務の不要化	消防法
⑦ 設置保有距離の省略	
⑧ 逆火防止装置の省略	

⇒ 市場導入・普及促進・コストダウンには規制の適正化が必要



## 2. 事業の実施内容

(社) 日本ガス協会、(財)日本ガス機器検査協会が主担当

### ◎規制再点検

小形定置用燃料電池に関する規制適正化の検討等に資するための安全確認データを取得

### ◎性能試験方法標準化

SOFC、純水素PEFCにおける点火・燃焼試験等の基本性能、排ガス等の環境性、耐風・耐雨等の耐環境性を評価する手法及びPEFCにおけるシステムの耐久性及び寒冷地におけるシステムの性能を評価する手法の基準・標準化

### ◎燃料電池の安全要件及び設置基準等関連

集合住宅設置における安全要件及び設置基準等の国際標準化活動を先導

(社) 日本電機工業会が主担当

### ◎複数台連系時の課題検討、単独運転検出技術の確立

既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式との相互干渉が起こりにくい方式を調査・選定し、その信頼性、安全性を評価・検証して、燃料電池の複数台連系時における技術的な課題を解決

### ◎国内外標準化活動の推進

定置用(可搬用も含む)燃料電池の国際市場における優位性を確保するため、日本の規格・基準を反映させた国際標準(IEC規格)を作成

### 3. 研究体制

経済産業省・資源エネルギー庁 燃料電池推進室

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

(社)日本ガス協会 (JGA)  
事業全体の取り纏め、データ収集方法及び試験方法の検討、供試体(システム)の調達

(財)日本ガス機器検査協会 (JIA)  
データ収集の実施、試験装置の製作・改造、試験装置及び分析機器の保守・点検

(社)日本電機工業会 (JEMA) 国内外の基準・標準化の調査及び標準化活動の推進 (委員は学識経験者、メーカー、関連団体等で構成)

燃料電池  
標準化総合委員会

国際標準化  
委員会

国内WG1、2、3、4、5、7、8、9  
10、11、試験法調査WG

国際標準化委員会、国内WG参加団体・企業(平成21年度)

横浜国立大学、東北大学、京都大学、東京電機大学、長岡技術科学大学、東京都市大学、燃料電池開発情報センター、産業技術総合研究所、エンジニアリング振興協会、電力中央研究所、日本電気協会、日本自動車研究所、電気安全環境研究所、新エネルギー財団、エネルギー総合工学研究所、燃料電池実用化推進協議会、新日本石油、日本LPガス協会、日本燃焼機器検査協会、日本フィンセラミック協会、エンジン開発、岩谷産業、石油連盟、アストルエネルギー、東京ガス、東邦ガス、日立製作所、日本電信電話、ENEOSセルテック、東芝、パナソニック電工、東芝燃料電池システム、電気事業連合会、パナソニック、トヨタ自動車、日本電気、三菱重工業、三菱電機、TOYO、栗本精工、住友精密工業、京セラ、三菱マテリアル、NTTファブライズ、東京貿易機械、東洋鋼板、電池工業会、旭硝子、出光興産、三井丸紅液化ガス、消費化学連合会、電子情報技術産業協会、富士電機ホールディングス、富士電機システムズ、ヤマハ発動機、ソニー、東海、栗田工業、シャープ、セイコーインスツル、東洋製罐、日本重化学工業、日本製鋼所、日立マクセル、三菱液化ガス、KDDI、三洋電機、日本ガス協会

燃料電池・複数台連系時の単独運転検出技術の信頼性・安全性検討の推進

単独運転検出  
技術検証委員会

単独運転検出技術  
検証委員会 小委員会

単独運転検出技術検証委員会  
小委員会 タスクフォース

再委託  
(財)電気安全環境研究所

注) マイクロ燃料電池に関する国内WG8、9、10は平成21年度より追加

事業原簿 p. II 2.4-5~7

### 4. 研究スケジュール

実施項目 (青字の項目はJGA及びJIAが主担当)	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度
(1)PEFC関連 ①安全性に係わる課題対応(規制再点検に活用) ②性能試験方法標準化		▽電事法適正化(PEFC)			
(2)SOFC、純水素PEFC関連 ①安全性試験方法標準化(規制再点検に活用) ②性能試験方法標準化			▽電事法適正化(SOFC)	消防法適正化(SOFC)▽	
(3)単独運転検出技術の確立(JEMA主担当)					
(4)集合住宅設置関連 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に 係わる検討					
(5)国内外の基準及び標準に関する情報収集及び 国内外の標準化活動の推進(JEMA主担当)					
(6)規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に 関する検証・確認データの収集					

事業原簿 p. II 2.2-2~4

調査・机上検討      データ収集など      標準化推進など

## 5.1 実施内容（システム供試体の調達）

SOFC



京セラ (1kW)    住友精密工業／東邦ガス (1kW)    東陶機器 (1.5kW)    アキュメントリクス／新日鉄エンジニアリング (3kW)    他2機種

純水素PEFC



荏原バラード (1kW)    東芝燃料電池システム (0.7kW)

PEFC



荏原バラード (1kW)    三洋電機 (0.75kW)    東芝燃料電池システム (0.7kW)    トヨタ自動車 (1kW)    富士電機アドバンステクノロジー (1kW)    松下電器産業 (1kW)    ヌベーラ (4.6kW)

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-1,14,49

## 5.2 目標と成果(全体)

達成度 「◎:大幅達成、○:達成、△:一部未達、×:未達」

実施項目	目標	成果(計画分のみ記載)	達成度
(1) 定置用固体高分子形燃料電池に係わる基準・標準化対応 (PEFC関連)	・試験方法の標準化 ・データ及び知見を基準・標準検討の場へ提供	5種類の試験方法を作成し、基準・標準検討(JIS)の場や、規制再検討(電気事業法)の場へ提供した。	◎
(2) 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化対応 (SOFC, 純水素PEFC関連)	・試験方法の標準化 ・データ及び知見を基準・標準検討の場へ提供	31種類の試験方法を作成し、基準・標準検討(JIS, IEC)の場や、規制再検討(電気事業法及び消防法)の場へ提供した。	◎
(3) 単独運転検出技術の確立	複数台連系時の標準方式(スリップモード周波数方式)の有効性を示すこと	単独運転検出方式として「スリップモード周波数シフト方式」を選定し、その信頼性、安全性を評価・検証した。	◎
(4) 小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討 (集合住宅設置関連)	・国際標準素案、安全性試験方法の作成 ・標準検討の場へ提供	4種類の安全要件及び試験方法と、国際標準素案を作成し、基準・標準検討(JEM規格、IEC)の場へ提供した。	◎
(5) 国内外の基準及び標準化に関する情報の収集及び国内外の標準化活動の推進	本事業の成果及び国内基準の国際標準への反映	本事業の成果や国内基準を反映するなどして、国際標準規格策定を推進し、IEC/TC105における国際規格開発(IS: 8件、TS: 2件)に寄与した。	◎
(6) 規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性に関する検証・確認データの収集	安全要件を検証・確認するためのデータ収集の実施	SOFCに係わる3種類の安全性データ収集を実施し、規制再検討(電気事業法)の場へ提供した。	◎

事業原簿 p.Ⅲ1.6~8

5.3 実施内容(1) / PEFC関連

規制再点検関連

基準・標準化関連

試験方法の検討のために、各種データ収集を実施した。

過圧防止装置省略時の安全性検討の際に得られたデータは、PEFCの規制再点検の場に提供した。

試験項目	関連項目	実施概要
<b>安全性に係わる課題対応</b> 過圧防止装置省略時の安全性 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-2~	(電気事業法) 過圧防止装置の省略	・データ収集法案を作成して、データ収集を完了し、安全性の検証を完了するとともに、試験法案のまとめを行った。 ・得られたデータは公的委員会(小規模燃料電池保安技術検討委員会)に提出した。
可燃性ガス検知器省略時の安全性 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-3~	(電気事業法) 可燃性ガス検知器の省略	・代替手法(改質器温度低などの可燃性ガス検知以外のシステム保護項目)の有効性検証ロジックについて検討を行い、データ収集法案を作成した。 ・データ収集を完了するとともに、試験法案のまとめを行った。
電磁両立性(エミッション)試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-7~	国内外の基準・標準化	・データ収集法案を作成し、データ収集を完了するとともに、試験法案のまとめを行った。 ・得られた知見はJIS制定案に反映された。
<b>普及拡大に向けた検討</b> 耐久性評価試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-9~	国内外の基準・標準化	・データ収集法案を作成し、データ収集を実施した。
寒冷地性能試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-11~		

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-2~12

5.4 実施内容(2)及び(6) / SOFC関連(安全性評価試験方法標準化)

規制再点検関連

試験方法の検討のために、安全性に係るデータ収集(12種類)を実施した。

この際に得られたデータは、SOFCの規制再点検の場に提供した。

試験項目	関連項目	実施概要
不活性ガスパージ省略時の安全性評価試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-15~	(電気事業法) 不活性ガス置換義務省略	・PEFCのJIS制定案を参考にしながら、SOFCの特徴(高温で動作する、PEFCよりも起動停止時間が長い、など)を考慮して、各試験項目についてデータ収集法案を作成した。
設置離隔距離試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-17~	(電気事業法) 一般用電気工作物化	
制御機能喪失試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-20~	(消防法) 設置保有距離の省略	
高温部の安全性試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-21~22	設置届出義務の不要化 逆火防止装置の省略	
燃料遮断試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-23~	(消防法) 設置保有距離の省略	・データ収集を完了し、全ての試験項目について安全性の検証を完了するとともに、試験法案のまとめを行った。
停電試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-25~	設置届出義務の不要化 逆火防止装置の省略	
制御電源異常試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-26~	(電気事業法) 一般用電気工作物化	・得られたデータは公的委員会(小規模燃料電池保安技術検討委員会、SOFC発電設備等の安全対策の確保に係わる調査検討会)に提出し、規制再点検に活用された。
漏洩電流限度 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-22,23		
システム内部の安全性試験* 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-27~		
排気ガスの安全性試験* 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-28~		
改質ガス漏洩試験** 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-30~	(電気事業法) 過圧防止装置の省略	
過圧防止装置省略時の安全性試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-32~34		

\* 小規模燃料電池保安技術検討委員会(事務局:日本電気協会)の審議結果に基づく追加実施項目  
 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-14~34 \*\* 経済産業省電力安全課からの要請に基づく追加実施項目

5.4 実施内容(2) / SOFC関連:設置離隔距離試験例[1/2]

規制再点検関連

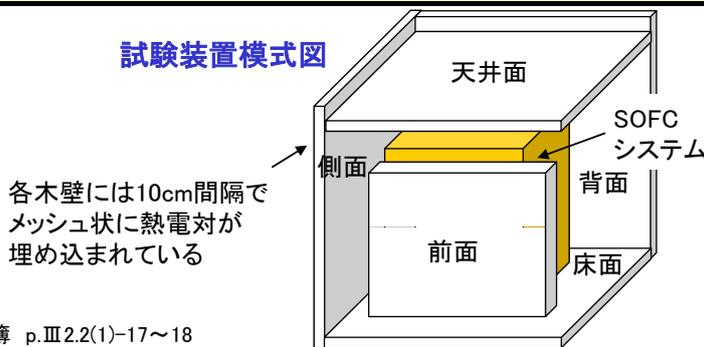
■目的

燃料電池パッケージ表面が異常に上昇しないこと、並びに輻射熱により周辺の建物壁など可燃物の温度が異常に上昇しないことを確認するための試験について、データ収集を行って試験方法を確立する。

■データ収集方法

データ収集条件	
✓ 運転方法	:(正常運転時) 起動 → 定格発電 → 通常停止操作 → 通常停止 (異常時) 定格発電 → 強制高温運転(オフガス燃焼量の強制増加等) → 異常停止
✓ 評価方法	壁面等の温度が下記記載の規定の許容範囲内かつ製造業者の設計範囲内であり、外観異常もなく安全に運転および停止すること。 パッケージ表面温度:140°C以下(操作時に手を触れる部分の表面は60°C以下) 周囲木壁温度:100°C以下(正常運転時)、135°C以下(異常時)【室温35°C基準】 下図参照 排ガス温度:260°C以下

試験装置模式図



データ収集状況

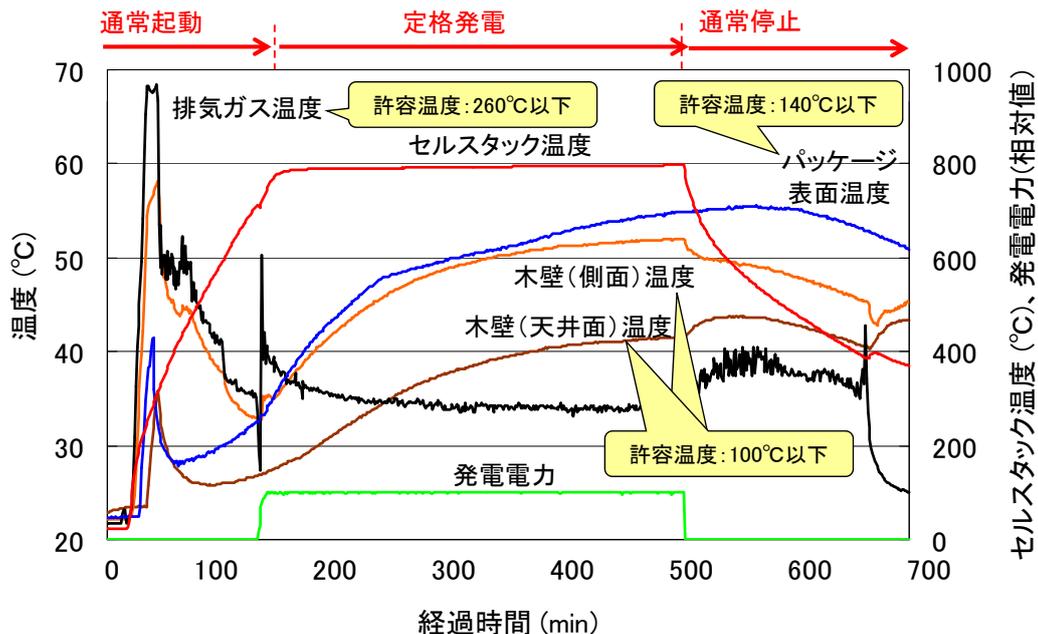


事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-17~18

5.4 実施内容(2) / SOFC関連:設置離隔距離試験例 [2/2]

規制再点検関連

■収集データの一例



■検討結果

- ・今回検討したデータ収集方法で、目的とするデータが収集できていることが確認できた。 → 基準・標準化に活用
- ・各部温度が許容範囲内であることが確認できた。 → 規制再点検(電気事業法、消防法関連)に活用

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-19

## 5.4 実施内容(2) / SOFC関連:過圧防止装置省略時の安全性試験例

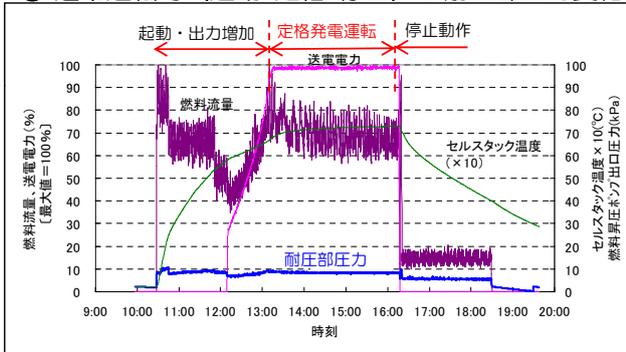
### ■目的

過圧防止装置を省略した際の安全性を評価する試験方法を検討する。

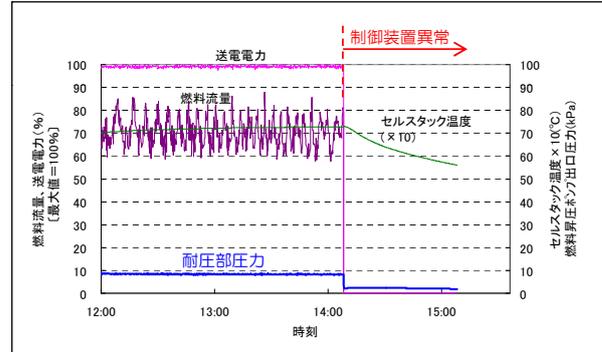
### 規制再点検関連

### ■収集データの一例

① 通常運転時（起動-定格-停止）の耐圧部圧力変化



② 制御電源異常時（定格工程）の耐圧部圧力変化



### ■検討結果

- ・検討したデータ収集方法で、通常運転時や制御電源異常時において過度な圧力上昇は見られず、問題なくデータが収集できていることを確認した。  
⇒安全性評価試験方法の確立
- ・最大運転圧力となる工程において制御電源異常時の試験を行ったところ、耐圧部圧力が最高使用圧力である0.1MPaを超えないことを確認した。また、他の供試体についても同様の測定を実施し、過圧防止装置を省略した場合の安全性を検証した。  
⇒規制再点検に活用

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-32~34

## 5.5 実施内容(2) / SOFC・純水素PEFC関連:(性能試験方法標準化) [1/2]

### (1)事業成果

### 基準・標準化関連

- ・PEFC-JIS規格をベースに、SOFC、純水素PEFCの特性を考慮して実機検証が必要な試験項目を選定し、性能試験方法標準化検討に資するデータ収集を完了した。
- ・実機試験を通じて試験方法案の妥当性検証や加筆変更を進め、これまでの検討内容を反映した試験方法変更案を作成した。
- ・試験方法変更案と国際標準の内容を比較して、国際標準との整合化案をとりまとめ、国際標準の改定検討の場等へ提供した。

### (2)試験方法変更案のポイントの一例

	SOFC試験方法変更案のポイント	純水素PEFC試験方法変更案のポイント
点火・燃焼試験	CO除去処理を行わないためオフガス中のCOを考慮し、起動から停止までの全工程でのCO測定の追加や濃度算出方法を変更	改質器がないため、点火・燃焼を確実に確認できる部位や項目等を追加
耐風試験 耐雨試験	昇温後点火動作を行うシステムなどにも対応できるよう、点火操作時期等を変更	
負荷変動特性試験	安定時間の違いによる負荷変化速度への影響に対応するため、安定条件にセルスタックの温度条件を追加	純水素PEFCのシステム安定特性を反映して、試験開始までの安定時間を実機データより1時間から30分に変更
負荷追従特性試験	負荷追従速度が速いことに対応するため、測定周期を1秒以下とする計算式に変更	
排ガス測定試験	排ガス中の酸素濃度が20%付近でも酸素0%換算値の精度が落ちないように換算式を変更	未反応水素等に対応するため、水素濃度測定の追加や、濃度算出方法を変更
気密試験	PEFCと差異がなく、本質的な変更不要	配管供給、ポンプ供給等の多様な水素供給圧力に対応するため、試験圧力を供給圧力から換算する方法に変更

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-47~48, 65

5. 5 実施内容(2) / SOFC・純水素PEFC関連:(性能試験方法標準化)[2/2]

(3) 点火・燃焼試験における国際標準との整合化案の一例

基準・標準化関連

①SOFC

国際標準(IEC)の内容	整合化案	整合化のポイント
バーナ等の点火確認手段を火炎検出器に限定	点火確認手段として、火炎検出器以外に、「その他の適切な手段」を追加	多様な燃焼方法への対応
バーナ試験にて、冷機起動と暖機起動の両方の試験を規定	SOFCの場合は、各燃焼部の温度が所定の点火温度以下(メーカー指定の温度)であれば冷機起動とみなす	繰り返し点火時間の短縮
バーナ点火確認のみの規定。また、CO測定は通常安定状態で実施	起動から定格発電、停止までの工程での燃焼性の確認とCO測定を追加し、CO測定値は15分単純移動平均処理した値で算出	安定した燃焼の確認と、起動や停止の過渡的な状態を含めた全工程でのCO測定の必要性

②純水素PEFC

国際標準(IEC)の内容	整合化案	整合化のポイント
純水素PEFCのオフガス燃焼部に相当する規定がない	オフガス燃焼部の点火及び失火判定に係わる安全要件を追加	改質器がないため、オフガス燃焼部での触媒燃焼で判断
排ガス中の水素の排出濃度基準値に係わる規定がない	純水素PEFCの場合は、COの代わりに水素濃度1%未満の排出基準値を追加	オフガス燃焼部の燃焼スリップの確認

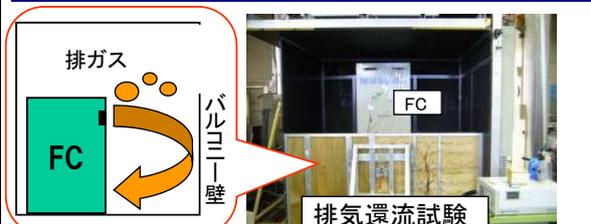
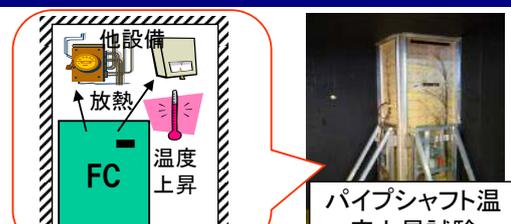
5. 6 実施内容(4) / 集合住宅設置関連:安全要件等の検討 [1/3]

(1) 目的

基準・標準化関連

小形燃料電池システムの将来の集合住宅への普及を念頭に置き、集合住宅設置における安全要件及び設置基準等の国内外の標準化を行なう。

(2) 検討の概要

<p><b>高層階における強風環境</b></p> 	<p><b>バルコニー壁等による排ガス還流</b></p> 
<p><b>閉塞空間内での長時間運転による温度上昇</b></p> 	<p><b>機器の給気・排気口の閉塞</b></p> 

## 5.6 実施内容(4) / 集合住宅設置関連:安全要件等の検討 [2/3]

## (3) 事業成果

基準・標準化関連

- ・集合住宅に特有のハザードの整理・分析等を行い実機検証が必要な4試験項目を選定。国際標準や現行JIS規格等を参考に試験方法案を作成し、データ収集を完了した。
- ・実機試験を通じて試験方法案の加筆変更及び妥当性検証を進め、集合住宅設置における安全要件及び試験方法の検討とともに、国際標準に追記すべき提案内容のとりまとめを完了した。
- ・とりまとめた検討案については、国際標準の改定検討の場合等へ提供した。

## (4) 安全要件と安全評価試験方法

試験項目	安全要件	安全評価試験方法
超高層向耐風試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-73~76	JISの2倍の風速である10m/sの風を送った状態で点火し、30m/sの風を送った状態で安定した燃焼状態であること。	耐風試験としてはJIS、国際標準に記載があるが、超高層住宅の強風環境下は想定していないため、試験風速はJISの2倍、風向条件は腰壁の有無を組み合わせさせた8ケースに条件分けした試験方法。
排気還流試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-76~78	所定のインナーバルコニー設置環境において、排気口から腰壁までの距離が2000mmと300mmの2条件で運転した場合に、給排気ガスのCO濃度が1400ppmを超えないこと。	JIS、国際標準に排気還流試験の記載はないため、所定のインナーバルコニー設置環境において長時間運転を行い、給排気ガス成分の濃度変化を確認する新たな試験方法。
給排気閉塞試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-78~79	給気口もしくは排気口が運転し得る最大閉塞状態での定格運転時に排気ガスのCO濃度が1400ppmを超えないこと。	国際標準には給排気閉塞試験の記載はあるが、JISには記載はないため、国際標準をベースとした閉塞運転時の排気ガス濃度変化を確認する試験方法。
パイプシャフト温度上昇試験 事業原簿 p.Ⅲ2.2.1-79~80	所定のパイプシャフト設置環境において、パイプシャフト内の空間温度が、併設された他設備に影響を与える温度とならないこと。	JIS、国際標準にパイプシャフト温度上昇試験の記載はないため、所定のパイプシャフト設置環境において長時間運転を行い、パイプシャフト内空間温度変化を確認する新たな試験方法。

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-92~93

## 5.6 実施内容(4) / 集合住宅設置関連:安全要件等の検討 [3/3]

基準・標準化関連

## (5) 国際標準への検討案の一例

関連項目	国際標準(IEC)の内容	検討案
強風の影響	集合住宅特有の強風環境を想定した規定がない。	建物の高層階など、地上に比べより強い風が想定される場所に燃料電池システムを設置する際は、強風への対応を考慮する規定を追加。
排気還流の影響	集合住宅特有の狭小空間への設置を想定した規定がない。	アルコーブやインナーバルコニーに設置する際は、自然換気が十分行われるよう考慮する規定を追加。
パイプシャフトの影響	集合住宅特有の閉鎖的な空間への設置を想定した規定がない。	パイプシャフト等の閉鎖的な空間に設置する際は、温度上昇等による他設備への影響を考慮する規定を追加。
給排気閉塞の影響	機器の給気口閉塞に対する注意喚起はあるが、排気口に対してはない。	排気口の閉塞に対する規定を追加。
	<排気閉塞試験> 定格運転時の安定条件として15分と規定。	安定条件に温度安定条件を追加して、「15分以上かつ熱的平衡が達成された時点」に変更。
	<給気閉塞試験> 給気口を最小開度から起動させる試験と全開状態から徐々に閉じる試験の2種類を規定。	排気閉塞試験と整合させ、給気口を全開状態から徐々に閉じる試験のみに変更。

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-93~94

## 5.7 成果の活用(実用化の見通し) 規制再点検 [1/2]

- 収集した安全性データは各種公的委員会に提供し、規制再点検に活用された。
- その結果、SOFC、純水素PEFC、PEFC合わせて**8項目**の規制適正化が実現され、小形燃料電池システムを普及させるための必要な基盤が整備された。
- PEFCはエネファームの名称で、平成21年度に5千台強が**一般家庭へ販売**された。

	規制適正化項目	SOFC	純水素PEFC	PEFC
電気事業法 関連	常時監視の不要化	◎(H18年12月)	○	○
	不活性ガス置換義務の省略	◎(H19年9月)	○	○
	一般用電気工作物化 ・電気主任技術者選任義務の不要化 ・保安規定届出義務の不要化	◎(H19年9月)	○	○
消防法 関連	設置届出義務の不要化	◎(H22年3月)	□	○
	設置保有距離の省略	◎(H22年3月)	□	○
	逆火防止装置の省略	◎(H22年3月)	□	○
電気事業法 関連	過圧防止装置の省略	◆	◎(H18年10月)	◎(H18年10月)
	可燃性ガス検知器の省略	—	◇	◇

◎;本事業で適正化実現      ○;平成16年度までに適正化済み      ◇;現行条文で対応可能との判断  
◆;規制当局へ規制適正化を要請済      □;適正化要望を一旦保留

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-13,45-47,64

## 5.7 成果の活用(実用化の見通し) 基準・標準化 [2/2]

小形燃料電池システムを普及させるための必要な基盤整備として、安全性評価や性能に関する40種類の試験方法を作成し、その中で得た知見を**国内外の標準化**に活用した。

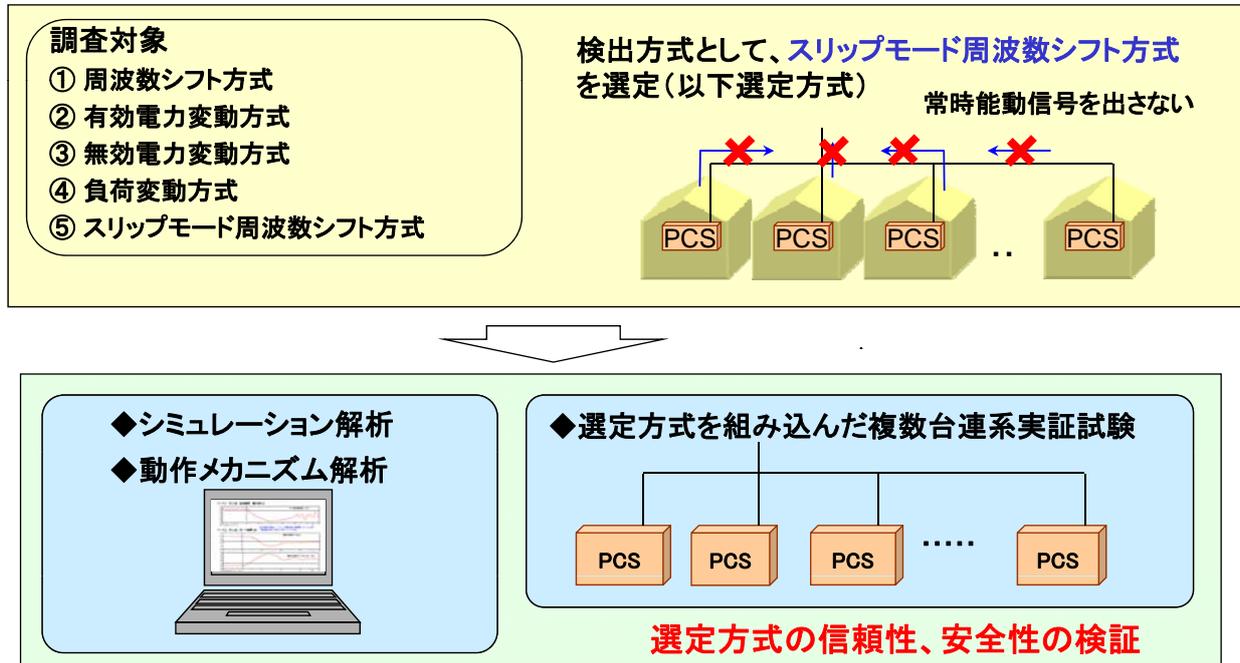
	実施項目	実施成果
PEFC	安全性に係わる課題対応 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-2~8	3種類の試験方法を作成した。過圧防止装置省略時の安全性データは規制再点検に活用され、 <b>規制適正化が実現</b> した。 電磁両立性試験は <b>JIS策定に活用</b> された。
	性能試験方法標準化 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-9~12	データ収集を実施し、2つの試験方法を作成した。
SOFC	安全性に係わる課題対応 事業原簿p.Ⅲ2.2(1)-14~34,45~47	12種類の試験方法を作成した。安全性データは規制再点検に活用され、SOFCに係わる <b>6項目の規制適正化が実現</b> した。
	性能試験方法標準化 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-34~49	6種類の試験方法を作成した。(基本性能、環境性、耐環境性能) 国際標準(IEC62282-3-1:安全要件等)との整合化案をとりまとめ、 <b>国際標準の改定検討の場等へ提供</b> した。 また、 <b>SOFC-JIS及び認証基準などの国内標準策定に活用</b> された。
純水素	安全性に係わる課題対 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-49~56,64	6種類の試験方法を作成した。安全性データは規制再点検に活用された。
	性能試験方法標準化 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-56~66	7種類の試験方法を作成した。(基本性能、環境性、耐環境性能) 国際標準との整合化案をとりまとめ、 <b>国際標準の改定検討の場等へ提供</b> した。
小規模定置用燃料電池の安全要件及び設置基準等に係わる検討 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-81~94		集合住宅設置に関する4種類の安全要件と試験方法を作成した。国際標準との整合化案をとりまとめ、 <b>国際標準(IEC62282-3-3:設置要件)の改定検討の場等へ提供</b> した。試験方法は、 <b>国内標準(日本電機工業会規格)として策定中</b> 。
規制当局等の指摘に基づく燃料電池の安全性データ収集 事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-103		3種類の試験方法を作成した。 <b>SOFCの規制適正化を補完</b> する安全性データとして活用された。

## 6.1 実施内容(単独運転検出技術の確立)

### (1)目的

既存の能動的単独運転検出方式の中で、他方式との相互干渉が起こりにくい方式を調査選定し、その信頼性、安全性を評価・検証して、複数台連系に係る技術課題を解決する。

### (2)検討の進め方と実施内容



事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-67~80

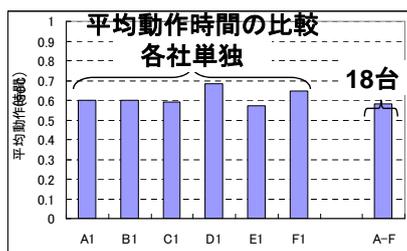
## 6.2 事業の成果と意義 (単独運転検出技術の確立)

### 事業実績

- ① 原理上系統連系中に周波数変動が無ければ能動信号を出さない方式であるため、他の方式の間でも干渉が起こりにくいと評価されている「スリップモード周波数シフト方式」を検出方式として選定した(選定方式)。
- ② 主回路及び制御方式の異なる6社のパワーコンディショナ(PCS)に選定方式を採用したが、PCS単体での検出有効性に問題がないことを確認した。
- ③ 選定方式を有するPCSを3社各3台計9台及び6社各3台計18台連系した実証試験において、全ての負荷条件で動作時間が1秒以内(系統連系規程)となったことから選定方式を用いた18台までの連系では、実運用上問題ないことを確認した。

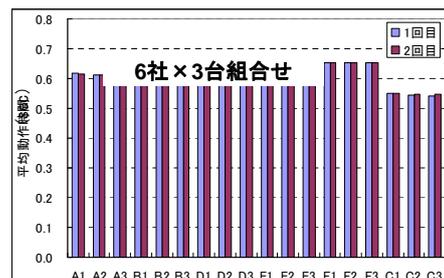
※この成果により燃料電池用パワーコンディショナの信頼性・安全性向上による普及の促進が期待される

【シミュレーション解析結果例】



各社単独と18台の場合の解析結果に大きな違いは生じていない。

【実機試験結果例】



複数台試験時の動作時間が干渉により長くなる傾向は認められない。

### 6.3 国際標準化活動

#### 燃料電池分野における国際標準化活動

##### (1) 活動の主体と場所

国際電気標準会議(IEC)のTC105(燃料電池技術)  
及び  
国内ミラー委員会: 燃料電池国際標準化委員会

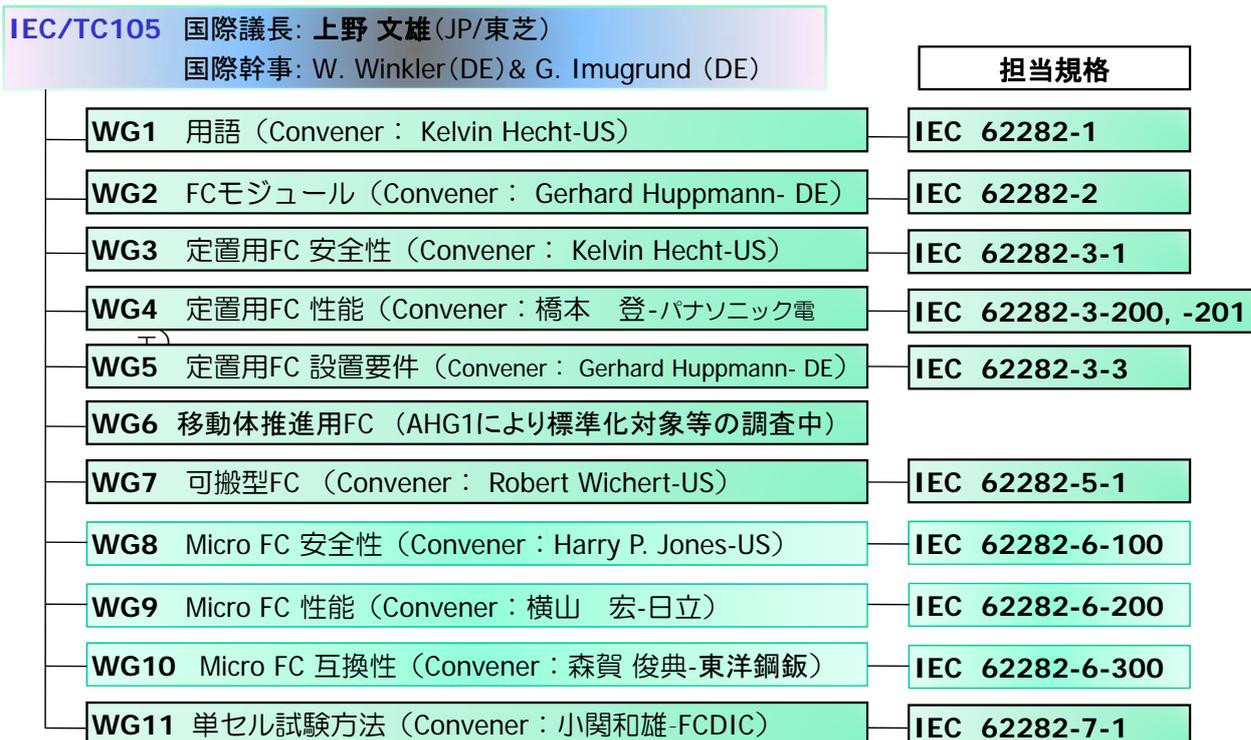
##### (2) 「研究開発成果」の位置付け

国際標準(FDIS又はIS/TS/TR)の発行

##### (3) 「実用化」の位置付け

発行された国際標準の活用  
(製品認証の基準としての利用, 各国規格への採用)

### 6.3 国際標準化活動 IEC/TC105の体制



## 6.3 国際標準化進捗と成果 各WGの活動(1/4)

WG	項目	幹事国	進捗状況
WG1 JWG1	用語	米国	<a href="#">IEC TS62282-1</a> (第2版審議中) 定置用、移動体用、ポータブル、マイクロなど全ての利用形態を対象として、関連用語を定義。 日本からJIS C8800(燃料電池発電用語)改訂案を提出(用語数:200)2010年に第2版(TS)発行予定。
WG2 JWG2	モジュール	ドイツ	<a href="#">IEC 62282-2</a> (第2版審議中) 2004年7月に燃料電池関係の最初のIEC規格として発行。許容使用圧力試験、冷却システムの耐圧試験、冷却システムの耐圧試験などモジュールが外部に及ぼす危険・損傷等について規定。2010年にCDV発行予定
WG3 JWG3	定置用・安全要件	米国	<a href="#">IEC 62282-3-1</a> (第2版審議中) 2007年4月にIEC62282-3-1として第1版発行 定置用のパッケージ形燃料電池発電システムを対象とし、組合せパッケージから構成される燃料電池システムに関する安全性項目について規定。 ◆主な変更予定内容は、電気安全性、リーク試験、強度試験 ◆日本から純水素形の安全要件を追加提案予定

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-95~102

## 6.3 国際標準化進捗と成果 各WGの活動(2/4)

WG	項目	幹事国	進捗状況
WG4 JWG4	定置用・性能試験法	日本 橋本	<a href="#">IEC 62282-3-2</a> (第2版審議中) 2006年3月にIS(国際規格)として第1版発行。 全ての種類の燃料電池を対象として、定置用燃料電池システムの運転(出力、電気効率・熱効率)及び環境特性(ガス排出、騒音)について性能試験法を規定。 ◆主な改正点: ASME PTC50との整合 ◆規格番号: IEC 62282-3-200に変更予定 <a href="#">IEC 62282-3-201</a> (第1版審議中) 小形PEFC性能試験法について日本からの新規提案が承認され、JISをベースとしたドラフトを作成審議中
WG5 JWG5	定置用・設置要件	ドイツ	<a href="#">IEC 62282-3-3</a> (第2版審議中) 2007年11月にIS(国際規格)として第1版発行。 定置型燃料電池発電システムの設置に関する最低限の安全要件を定めることとして規格開発され、主な規定項目は、システムの施設(屋外設置、屋内設置、屋上設置)、吸排気システム、火災保護とガス検知、施設場所での機器間の接続、環境基準、完了試験、などについて規定。 日本から、集合住宅向けの設置要件について追加提案予定。

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-95~102

### 6.3 国際標準化進捗と成果 各WGの活動(3/4)

WG	項目	幹事国	進捗状況
WG7 JWG7	可搬型FC 安全要件	米国	<p><a href="#">IEC 62282-5-1</a> (第2版審議中)</p> <p>2007年2月に安全要件についての国際規格第1版発行。 屋内又は屋外で使用される商業用、産業用及び住宅用のポータブル燃料電池システムで、定格出力電圧が交流600V又は直流850Vを超えない燃料電池システムを適用範囲とし、機械的安全性、燃料の安全性、爆発危険性、感電・火災に対する保護、等を規定。第2版案を作成審議中。主な変更点は、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①衝撃環境での使用を想定した要件の追加</li> <li>②バッテリーとの組み合わせを想定した要件の追加</li> </ul>
WG8 JWG8	Micro FC 安全要件	米国	<p><a href="#">IEC 62282-6-100</a> (第1版発行)</p> <p>2006年2月のPAS発行から4年かけて審議が行われ2010年3月にIS(第1版)が発行された。各種の燃料を用いるマイクロ燃料電池発電システム、発電ユニット、燃料カートリッジを検討範囲として考え、使用中ならびに使用者が移動中の安定性・安全性の要件を規定。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) ICAO(国際民間航空機関)の安全要求に対応</li> <li>(2) IS(国際規格)の成立後、その補完作業を継続</li> <li>(3) 発行されたISの分割化作業を開始</li> </ul>

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-95~102

### 6.3 国際標準化進捗と成果 各WGの活動(4/4)

WG	項目	幹事国	進捗状況
WG9 JWG9	Micro FC 性能 試験法	日本 横山	<p><a href="#">IEC 62282-6-200</a> (第2版審議中)</p> <p>2007年11月 マイクロ燃料電池初の国際規格発行 出力60Vdc以下かつ240VA以下のマイクロ燃料電池発電システムの、発電特性、燃料消費量及び機械的耐性の性能試験方法を規定。2010年2月 第2版案審議中 規格発行後の新規提案事項など次期改定(2013年)を目標として審議を開始</p>
WG10 JWG10	Micro FC 互換性	日本 森賀  韓国 Cho	<p><a href="#">IEC 62282-6-300</a> (第1版発行)</p> <p>2009年6月 マイクロ燃料電池2番目の国際規格発行 携帯電子機器用マイクロ燃料電池システムに互換性のある燃料カートリッジを提供するための、燃料カートリッジ、燃料コネクタ、燃料の種類と純度を規定。 メタノール以外の燃料、新規カートリッジ、デバイス間の互換性などについて審議中。</p>
WG11 JWG11A JWG11B	PEFC SOFC 単セル 試験方法	日本 事務局 US	<p><a href="#">IEC TS62282-7-1</a> (第1版発行準備中)</p> <p>日本から新規提案を行い、2007年3月にNPが承認された。PEFCシステムのセルモジュール性能試験方法、材料構造、燃料不純物の影響評価、等について規定しTSとして第1版を発行予定。引き続き「SOFC単セル試験方法」について規格化提案(2010年12月提案予定)を準備中。</p>

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-95~102

## 6.3 国際標準化進捗と成果 IECにおける規格発行状況(まとめ)

- 携帯用（マイクロ）から大型発電用までを対象として規格化を推進。国際規格（IS）：8件、技術仕様書（TS）：2件が発行された。
- 現在、ISの8件について改訂作業（第2版の作成）作業が進められている。
- WG4では、小形PEFC性能試験法について昨年度より審議開始（CD発行）
- WG11では、PEFC単セル試験法がTSとして発行された。SOFCの単セル試験法について、次期課題として日本から提案予定。

対象	審議WG	名称(内容)	規格番号	種別	発行年月	コンピナ	活動状況
共通	WG1	用語と定義	IEC TS62282-1	TS	2010年4月	米国	日本提案も取入れて大幅に用語の数を増やした第2版を発行（2010年4月）
	WG2	FCモジュール	IEC62282-2	IS	2004年7月	ドイツ	改定作業中（CDV発行準備中） 日本からは、SOFCの内容を中心にコメントを提出。
定置用	WG3	安全要件	IEC62282-3-1	IS	2007年4月	米国	改定作業開始 日本及び米国から、それぞれ国内規格との整合を取るためのコメントを提出し、第2版案（105/280/CD）審議中。
	WG4	性能試験法	IEC62282-3-200	IS	2006年3月	日本	第2版ドラフト（105/281/CDV）審議中。
		性能試験法（小型PEFC）	IEC62282-3-201	CD	—	日本	日本からJISをベースとして新規提案した平成21年5月のTC105国際会議から審議を開始。第1版ドラフト（105/275/CD）審議中。
WG5	設置要件	IEC62282-3-3	IS	2007年11月	ドイツ	第2版ドラフト（105/282/CDV）審議中。	
ポータブル	WG7	安全要件	IEC62282-5-1	IS	2007年2月	米国	第2版ドラフト（105/299/CDV）審議中。
マイクロ	WG8	安全性	IEC62282-6-100	IS	2010年3月	米国	規格分割化の作業を開始 前身のIEC PAS62282-6-1は国際間輸送規制での安全性確保のためのICAO（国際民間航空機関）技術仕様書で引用規格として採用されており、発行されたIEC 62282-6-100は、IEC PAS62282-6-1との置き換えを予定。（現在保留事項審議中）。
	WG9	性能試験法	IEC62282-6-200	IS	2007年11月	日本	第2版ドラフト（105/278/CD）審議中。
	WG10	互換性	IEC62282-6-300	IS	2009年6月	日本/韓国	改訂作業中。互換性カートリッジの新規追加のためのWDドラフト審議終了。 なお、別規格として「デバイスとの互換性」の規格化を計画（Project 62282-6-310）。
共通	WG11	単セル試験法	IEC62282-7-1	TS	2010年6月	日本	PEFCの単セル試験方法を発行。SOFCの単セル試験方法を日本から提案予定（2010年12月予定）

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-95～102

## 6.4 事業の成果と意義（燃料電池分野の国際標準化）

### ◆本事業の波及効果

事業の終了年度の平成21年中には国際標準及び国内JISの基準を踏まえた10kW未満の小形燃料電池システム及びマイクロ燃料電池システムの市場展開が始まり、国内でのさらなる普及促進効果および国際市場での優位性の確立、国際間取引の円滑化など国際競争力確保が期待される。  
制定された国際標準は、そのまま欧州（EN）規格として採用されており、技術の優位性を確保できた。

#### 1. 定置用・ポータブル燃料電池

現在5件のIEC規格が成立しているが、これらは燃料電池の種類を区別しない概要規格であり、今後より詳細な規格として整備（追加・改正）していくことになる。研究開発と合わせて市場が普及しつつある定置用燃料電池分野で、NEDOの研究開発事業で得られた基盤データをもとに国際標準を整備できたことは、製造者にとって今後の国際市場展開を踏まえた製品開発の優位性を確保できた。

#### 2. マイクロ燃料電池

マイクロ燃料電池の国際標準化活動は、製品が市場に出る時期を見越して開始された。しかし国際規格が整いつつあるのに対して、実際の製品はまだ一般に普及したとは言えない。マイクロ燃料電池の技術開発が進んでいる日本が主導権を取って、NEDOの研究開発成果をもとにした日本の技術を核に国際標準化を進められたことの意義は大きい。

マイクロ燃料電池の製造者にとって、合理性が高く、製品開発の方向性を定める上で指針となる規格が完成した。

事業原簿 p.Ⅲ2.2(1)-95～102

## 6.4 事業の成果と意義（燃料電池分野の国際標準化）

国際標準化の成果は、欧州規格（EN）へそのまま採用されている。

欧州“低電圧指令（2006/95/EC：Low Voltage Directive）”は、定格電圧AC50～1000V、DC75～1500Vの範囲で使用される電気機器について、その安全性の確保を目的としており、すべてのEU加盟国が認めた安全要求事項（EN規格）に適合している機器であれば、この条項を満たしているとされる。（実用化の例）

**EN 62282-2:2004** - Fuel cell technologies - Part 2: Fuel cell modules

**EN 62282-2:2004/A1:2007** - Fuel cell technologies - Part 2: Fuel cell modules

**EN 62282-3-1:2007** - Fuel cell technologies - Part 3-1: Stationary fuel cell power systems - Safety

**EN 62282-3-2:2006** - Fuel cell technologies - Part 3-2: Stationary fuel cell power systems - Performance test methods

**EN 62282-3-3:2008** - Fuel cell technologies - Part 3-3: Stationary fuel cell power systems - Installation

**EN 62282-5-1:2007** - Fuel cell technologies - Part 5-1: Portable fuel cell power systems - Safety

**EN 62282-6-100:2010** - Fuel cell technologies - Part 6-100: Micro fuel cell power systems - Safety

**EN 62282-6-200:2008** - Fuel cell technologies - Part 6-200: Micro fuel cell power systems - Performance test methods

**EN 62282-6-300:2009** - Fuel cell technologies - Part 6-300: Micro fuel cell power systems - Fuel cartridge interchangeability

## 6.4 事業の成果と意義（燃料電池分野の国際標準化）

マイクロ燃料電池の安全性規格IEC PAS 62282-6-1（IEC 62282-6-100の前身）は、マイクロ燃料電池用燃料カートリッジ及び燃料電池本体の旅客機内持込みのための安全性判断基準として国際民間航空機関（ICAO）の技術仕様書（Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air）で採用されている。（実用化の例）  
下記はTI（技術仕様書）の抜粋を示す。

- r) portable electronic devices (for example cameras, cellular phones, laptop computers and camcorders) powered by fuel cell systems, and spare fuel cartridges, under the following conditions:
- 1) fuel cell cartridges may only contain flammable liquids (including methanol), formic acid and butane;
  - 2) fuel cell cartridges must comply with International Electrotechnical Commission (IEC) PAS 62282-6-1 Ed. 1;
  - 5) each fuel cell cartridge must be marked with a manufacturer's certification that it conforms to IEC PAS 62282-6-1 Ed. 1, and with the maximum quantity and type of fuel in the cartridge;
  - 6) each fuel cell system must conform to IEC PAS 62282-6-1 Ed. 1, and must be marked with a manufacturer's certification that it conforms to the specification;
  - 9) interaction between fuel cells and integrated batteries in a device must conform to IEC PAS 62282-6-1 Ed. 1. Fuel cell systems whose sole function is to charge a battery in the device are not permitted;

## 6.5 国際今後の取組み：燃料電池の国際標準化スケジュール

項 目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
規格改訂 定置用(IEC62282-3シリーズ) 可搬型(IEC62282-5シリーズ) マイクロ(IEC62282-6シリーズ)							
移動体推進用(IEC62282-4)規格作成							
爆発保護(新規提案)							
ポータブル, マイクロ適用範囲見直し							
整合国内標準作成(国内委員会作業)							
単セル試験法 PEFC(IEC62282-7-1) SOFC(IEC62282-7-2)							
小形FCシステム性能試験法 PEFC(新規) SOFC(新規)							
小形FCシステム安全要件規格作成(新規)							
データ取得(マイクロ安全性)							
国際認証制度 提案・立上げ							

## 議題6-3-2.

# 「マイクロ燃料電池システム等に係る 規制再点検及び標準化のための研究開発」

独立行政法人 産業技術総合研究所

平成22年12月3日



National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST) 1

## 1. 背景・目的

### 事業目的

多様なタイプの研究開発が内外で進められているマイクロ燃料電池システム等の利用の拡大、使用環境の拡がり等を考慮し、メタノール燃料を用いたマイクロ燃料電池等に関して、性能試験等の試験方法・測定技術を開発するとともに、安全基準の設定、国際標準化、国内標準化に資する基盤データの取得、試験方法の開発を行う。

### 事業の背景と効果

- ◆ 競争の激化する国際標準化(安全性・性能・互換性) → 国際競争力向上
- ◆ 国連、ICAO\*等における安全確保した上での規制の緩和
- ◆ 国内規制見直し、安全対策 → 安全性確保による普及の促進

\* ICAO (International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関)



## 1. 背景・目的

### ○ マイクロ燃料電池に関する標準化の状況(平成21年3月時点)

安全性 IEC 62282-6-1 CDV (投票用委員会原案) (平成19年5月発行)  
性能 IEC 62282-6-200 IS (国際規格) (平成19年11月発行)  
互換性 IEC 62282-6-300 FDIS (最終国際規格案) (平成21年2月発行)

- ・今後見込まれる IEC 62282-6-100改定作業に向けたLEの場合の望ましいガス分析技法を明確にする。
- ・互換性 IEC 62282-6-300 FDIS(平成21年2月発行)のメタノール燃料基準における未検証部分を検討する。

### ○ マイクロ燃料電池に関する規制緩和の状況(平成21年3月時点)

国連オレンジブック  
ICAO  
航空法告示改正

米国燃料電池協議会(USFCC)と協力し、提案した燃料カートリッジの航空機客室内持ち込み可能となる(平成19年11月)  
国際間輸送規制緩和に寄与

事業原簿 p. II 2.1.2-8



## 2. 方針(研究体制)

経済産業省 資源エネルギー庁  
燃料電池推進室

新エネルギー・産業技術総合開発機構  
燃料電池・水素技術開発部

委託

水素社会構築共通基盤整備事業

独立行政法人 産業技術総合研究所

安全性・性能評価試験方法の開発、基盤データ取得

メタノール燃料電池発電システムの  
燃料不純物特性評価試験法の検討会

連携

国内審議団体

社団法人 日本電機工業会

国際審議団体

IEC TC105 WG8, WG9, WG10

事業原簿 p. II 2.4-7

国連 危険物輸送専門家小委員会

ICAO危険物委員会



## 2. 方針(研究スケジュール)

項目	(平成18~20年度)	平成21年度
	(新利用形態燃料電池の基盤研究開発 (性能及び安全性試験))	
①メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法(排出特性)	(IEC 62282-6-100 CDV)	IEC 62282-6-100 FDIS IEC 62282-6-100 IS
②メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法(燃料不純物特性)	(IEC 62282-6-300 FDIS)	IEC62282-6-300 IS

## 3. 開発目標・開発項目・実施内容

### ①メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法 IEC 62282-6-100

メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法の排出特性に関する試験を実施し、ローカルイフェクト(LE)が存在する場合のLEの大きさ評価のため、時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法について検討を行う。それに基づいて基盤データを取得し、分析計測方法を確立する。得られたこれらの基盤データを、マイクロ燃料電池の安全性基準・標準案策定に活かす。

### ②メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法 IEC 62282-6-300

メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法の燃料不純物特性に関する燃料評価試験方法について基盤データを取得しつつ検討を行い、安定動作可能となる基本的評価手法を確立する。エタノール、アセトアルデヒド、酢酸等の低分子有機化合物についての基盤データを取得し、その影響を評価し、メタノール燃料マイクロ燃料電池システム等の燃料品質基準・標準案策定に活かす。

### 3. 実施内容①-1 メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法

**従来の経緯** 携帯電話など顔のごく近傍で使用する機器用のマイクロ燃料電池では、排気ガス排出源から至近距離において呼吸が行われることで排気中に含まれる化学物質に対する曝露リスクが高くなることが考えられ、特別な測定方法および合否判定基準が国際規格に盛り込まれることになった（このような局所的な効果のことをここでは従来経緯からの便宜上“ローカルイフェクト”（LE）と称する）。

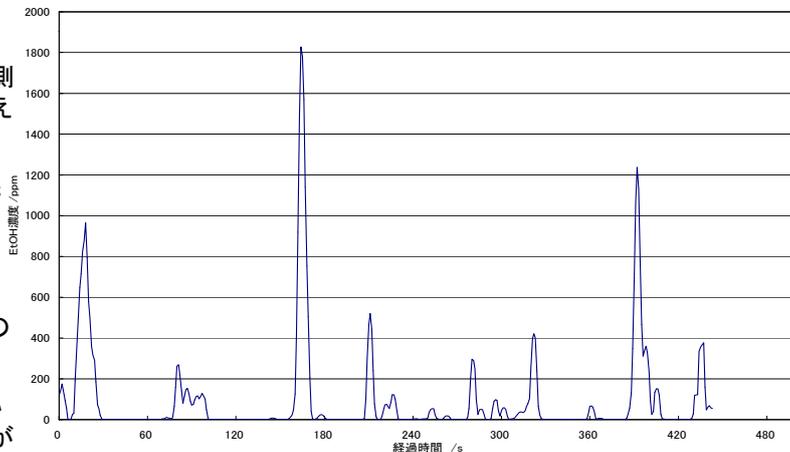
消費者の身体近傍で使用するマイクロ燃料電池からの排気



ローカルイフェクト

#### 研究目的 LE試験でのギ酸のような高吸着性ガス状化学物質の測定方法の検証

- 背景**
- ・現状の国際規格のようなLE試験方法においては、観測される排ガス濃度の時間的変動が極めて激しいと考えられる(右図)。
  - ・吸着性の高いガス(ギ酸)ではサンプリングバッグへ採取する方法は通常は行えない(バッグ内壁への吸着のため)。
  - ・ギ酸ガス濃度の国際的な公定測定法はまだないが米国公的機関等における公定測定法は固体捕集剤への吸着→溶離→イオンクロマトグラフ測定法を採用。
  - ・固体捕集による測定において、ギ酸ガス濃度の激しい変動がある場合、回収率が低濃度側と高濃度側で差があると分析結果に影響が出る可能性が考えられる。
  - ・上記観点より、ここではLE試験時のギ酸ガスの測定法に焦点を絞って検討する。



模擬排ガス(5000ppmエタノール含有空気)を模擬携帯電話機から500mL/minで排出させたときの排出面の直上30mm位置におけるガス濃度(PID検出器で測定)の時間変動例(ただし、この検出器ではガス種に対する選択性がないため、型式試験に必要な実排ガス中に共存する各成分毎の定量分析には使用できない。あくまでも単独ガス(エタノール)の挙動をモデル的に追跡するために使用したものである。)



事業原簿 p. III 2.2.2-1~4

National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST) 7

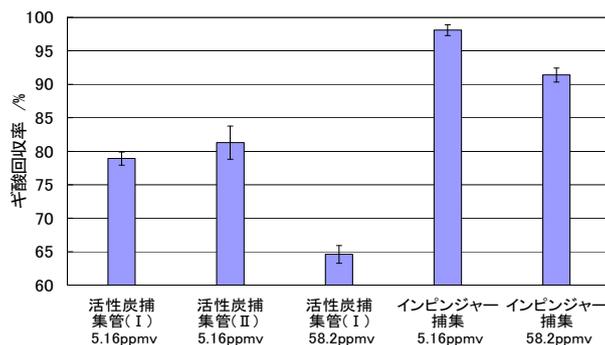
### 3. 実施内容①-2 メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法

#### ■活性炭捕集管法およびインピンジャー捕集法を用いた定常濃度のギ酸ガスの測定

**目的** (濃度変動がない)定常濃度のギ酸ガスが精度よく測定できるかについて評価する。

#### 結果

- ・ギ酸の回収率は活性炭捕集管(I)、(II)ともに80%前後(5.16ppmv)。高濃度(58.2ppmv)ではさらに低下した。
- ・定常濃度のガスを測定する場合は、定量値と回収率の関係を予め評価しておくことにより活性炭捕集管でのより正確な測定も可能と考えられるが、LEの場合は時間的に激しい濃度変動が生じていることから、活性炭捕集管法はあまり好適な方法ではないと思われた。
- ・これに対し、インピンジャー捕集法では高濃度においても90%以上の回収率が得られた。

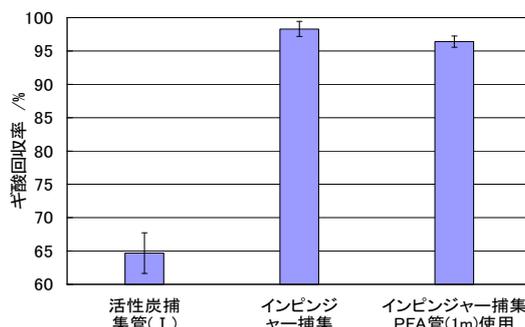


#### ■ギ酸ガス濃度が周期的時間変動している系の活性炭捕集管法、インピンジャー捕集法による測定

**目的** LE試験時に想定されるギ酸ガス濃度が激しく変動する系(今回一例として、ガス濃度が10:1で20s間隔にて周期的に変動する系とした)を構成し、それに対して各捕集法を適用しギ酸ガス測定特性を比較する。

#### 結果

- ・LE測定時に想定されるようなギ酸ガス濃度が時間的濃度変動する系に対するインピンジャー吸収法測定においても回収率>95%の測定ができた。
- ・インピンジャーを離して設置するため長さ1.0mの6mmφPFAの吸引チューブにて測定ラインを延長した場合、回収率等への影響は殆ど見られなかった。

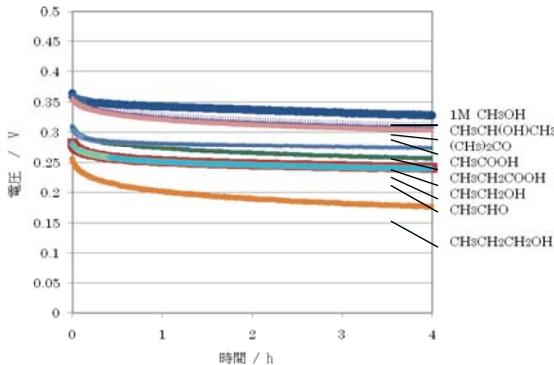


事業原簿 p. III 2.2.2-4~8

National Institute of Advanced Industrial Science & Technology (AIST) 8

### 3. 実施内容②-1

## メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法 低分子有機化合物の影響調査 C2,C3有機化合物



最終国際規格案の燃料試験法に基づく試験実施例

#### 最終国際規格案における未検証部分の検討

低分子有機化合物に対する指標については、国際規格から推察される序列との違いがみられ、再検討の余地のあることが示唆された。

#### 電気化学インピーダンスによる不純物影響調査(エタノール)

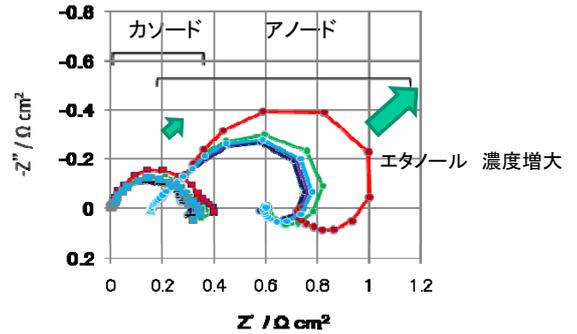
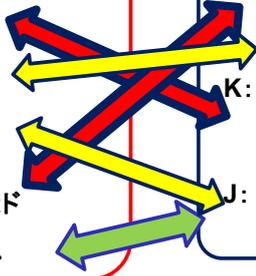
低分子有機化合物の燃料不純物として可能性の高いエタノールについて、DMFC運転性能に対する影響を電気化学インピーダンス法により調べたところ、アノードのみならずカソードにも影響を及ぼすと示唆された。

#### 実試験結果例 (4時間後の序列)

2-プロパノール  
≒アセトン  
酢酸  
プロピオン酸  
エタノール  
≒アセトアルデヒド  
1-プロパノール

#### 最終国際規格案での序列

H: エタノール  
≒アセトアルデヒド  
≒酢酸  
K: 2-プロパノール  
≒アセトン  
J: 1-プロパノール  
≒プロピオン酸



それぞれのスペクトルにおいて弧の小さい方から、エタノール濃度 0,1,10,100,1000 ppm のデータを示す。

#### DMFC運転時のインピーダンススペクトル

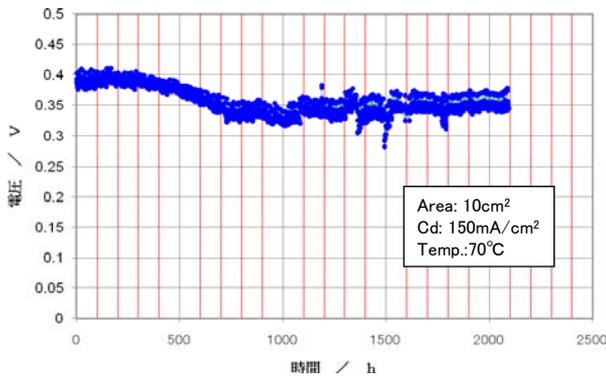
低分子有機化合物の影響度の序列に対する実試験結果例と最終国際規格案との比較

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology 事業原簿 p. III 2.2.2-15~17 9

### 3. 実施内容②-2

## メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法

### 燃料評価試験方法(レファレンス燃料による長期断続運転試験)



長期断続運転試験結果例

最終国際規格案に記載されている燃料評価において比較対象として要求されるレファレンス燃料による長期断続運転試験の実施可能性を検討した。

これまでの断続運転試験の中で繰り返された各回の運転においては、数時間で約 20~30 mV 電圧降下するものの、次回の運転再開時に性能はほぼ回復するとわかった。引き続き、1回あたり数時間の運転を約300回繰り返し、2000 時間超の断続運転試験を実施し、10% / 1000 h 以内の性能低下率の試験結果を得た。

数百時間経過した際の性能の揺らぎなど多少の検討課題はあるが、最終国際規格案での試験成立基準(性能低下率 10% / 500h 以内)による燃料評価試験とともに、ドラフト作成時に議論のあった、性能低下率 10% / 1000 h 以内を試験成立基準とする燃料評価試験についても基本的に実施可能性の見通しが得られた。

### メタノール燃料電池発電システムの燃料不純物特性評価試験法の検討会 (委員長:梅田実 長岡技術科学大学教授)

システムを想定した燃料循環による不純物・生成物等の濃縮、他物質も含めて系統的に影響を検討するためのメカニズムの研究、運転モードの影響の検討、加速試験、酸化剤の試験法に与える影響を調べることなどが今後の取り組むべき課題として抽出された。

### 3. 実施内容(まとめ及び達成度)

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
①メタノール燃料電池発電システムにおける安全性評価試験方法	ローカルイフェクト(LE)が存在する場合のLEの大きさ評価のため、時間的濃度変動が激しい場合の計測対象ガス成分の分析計測方法について検討を行う。それに基づいて基盤データを取得し、 <b>分析計測方法を確立</b> する。	現状のLE試験方法に関し、ギ酸のような高吸着性ガスでは活性炭捕集管法に比べてインピンジャー捕集法の方がより好適であることが示された。このような基盤データの収集により、LEの場合の望ましい <b>ガス分析技法が明確にされ</b> 、今後見込まれるIEC 62282-6-100改定作業に向けた <b>指針が得られた</b> 。	○	LEがある場合の排出ガス測定に関しては、測定時の周囲環境気流や人体由来気流による影響の評価とそれに基づく、より合理的な安全基準への反映が今後の課題である。
②メタノール燃料電池発電システムにおける性能評価試験方法	<b>燃料不純物特性に関する燃料評価試験方法</b> について基盤データを取得しつつ検討を行い、安定動作可能となる <b>基本的評価手法を確立</b> する。エタノール、アセトアルデヒド、酢酸等の <b>低分子有機化合物</b> についての基盤データを取得し、その影響を評価する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低分子有機化合物の影響度については、当該規格の燃料試験法に基づく評価試験によってその序列に異なる結果が得られ、<b>再検討の余地のあることが示唆</b>された。</li> <li>・レファレンス燃料による繰返し約 300 回、2000 時間超の断続運転試験で、10 % /1000 h 以下の性能低下率の結果が得られ、基本的に国際規格における<b>燃料評価試験の実施可能性の見通しを得た</b>。</li> <li>・今後の改定作業に備えて、基盤データを取得することができた。</li> </ul>	○	国際規格の未検証部分、システムを想定した燃料循環による不純物・生成物等の濃縮、不純物の影響を検討するためのメカニズムの研究、運転モードの影響の検討、加速試験などが今後の課題である。



### 4. 成果の活用(実用化の見通し)

マイクロ燃料電池に関する標準化の状況(平成22年3月現在)

- ・安全性 IEC 62282-6-100 (平成22年3月発行)  
ローカルイフェクトについて日本から修正要求を行っているものの、日本の意見が取り入れられたマイクロ燃料電池安全性の国際標準第1版が完成した。
- ・欧州規格 EN 62282-6-100 (平成22年発行)
- ・互換性 IEC 62282-6-300 (平成21年6月発行)  
一部、未検証部分を残すものの、日本の意見が取り入れられた燃料カートリッジ互換性の国際標準第1版が完成した。
- ・欧州規格 EN 62282-6-300 (平成21年発行)
- ・日本電機工業会にて、JIS化作業進行中



## 4. 成果の活用(実用化の見通し)

### 成果の実用化可能性

- ・マイクロ燃料電池の国際規格改定作業(第2版)を継続
- ・マイクロ燃料電池の市場導入を促進  
→ 早期の燃料電池市場の創生に寄与
- ・我が国主導の国際規格作成(認証にも影響)  
→ 国際競争力の強化

事業原簿 p. IV-2



## 5. まとめ

国際規格 達成件数 2件

IEC 62282-6-100 平成22年3月

IEC 62282-6-300 平成21年6月

対外発表件数 5件

(燃料電池シンポジウム、Fuel Cell Seminar & Exposition など)

事業原簿 p. III 1.4-1

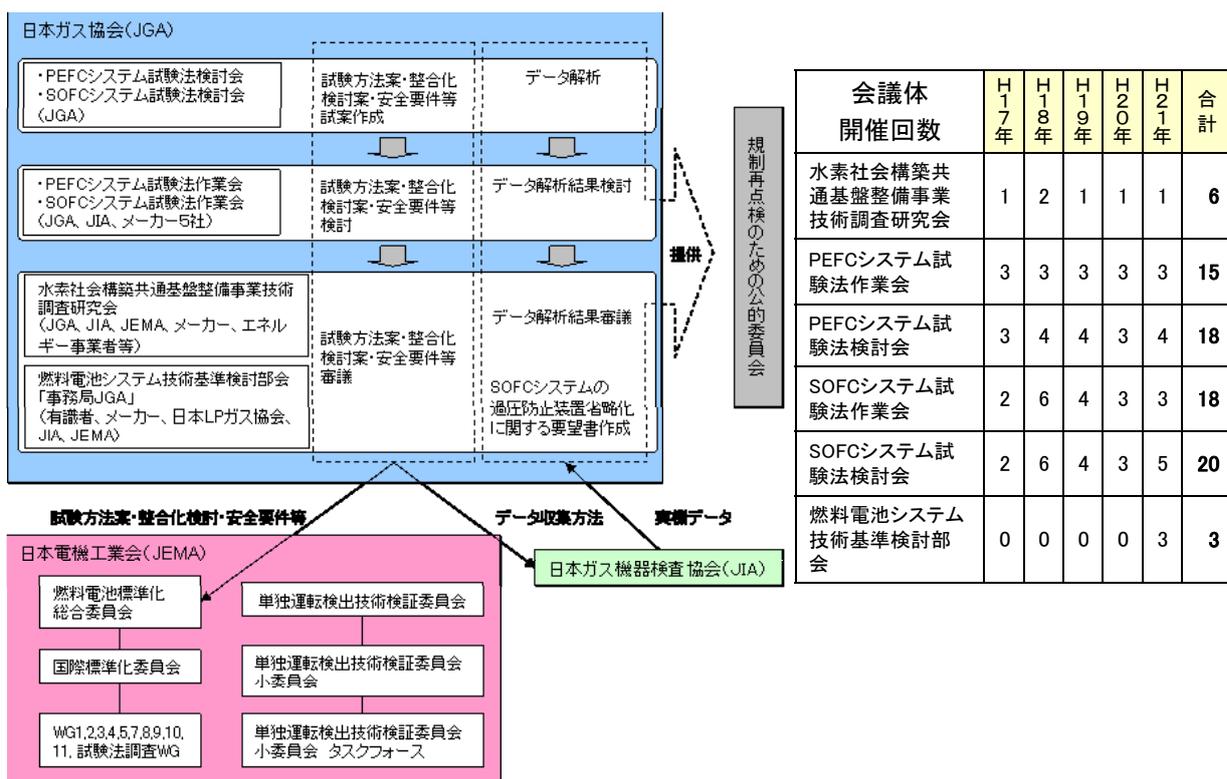


# 補足資料

## 研究開発の推進体制及び活動結果

実施者構成

燃料電池メーカー（開発側）や、JGA（使用側）、JIA（検査機関）などの意見を踏まえて基準・標準化の検討を行い、その成果をJEMA（標準化団体）に提供。



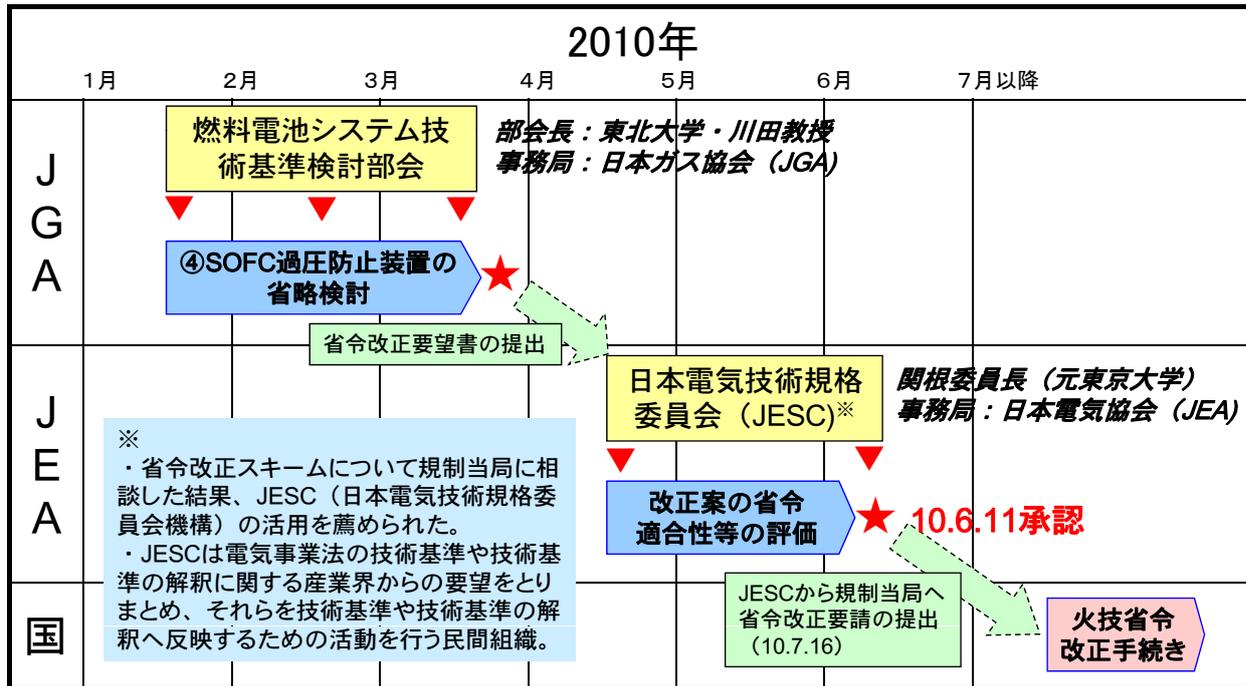


# SOFC過圧防止装置の規制適正化の活動事例

環境変化への対応例

事業終了年度のH21年度に新たに発生した規制適正化要望への対応として、本事業の中で試験方法標準化及び安全性データの収集を完了。

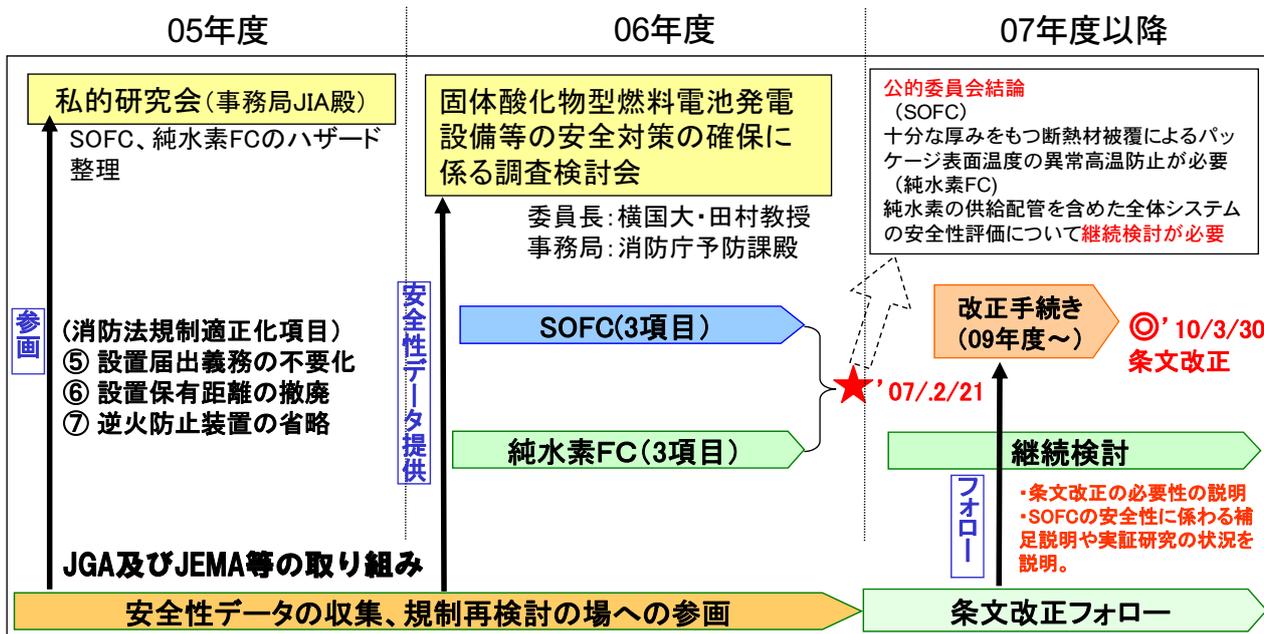
さらに、検討部会をJGA内部に新たに立ち上げ安全性審議を完了



# 消防法関連 規制適正化の経緯 (05年度以降)

成果のフォロー

・公的委員会への安全性データの提供のみならず、平成19年度以降は条文改正の実現に向けて規制当局へ継続した働きかけを行い、消防法関連の条文改正が平成21年度中に実現。



## 他NEDO事業との連携

### 1. NEDO／SOFC実証研究事業のトラブル状況を規制当局（消防庁）に説明

SOFCシステムの初期故障は年々減少しており、故障の発生時に、SOFCシステムは全て自動停止しており、火災発生に繋がる（リスクがある）故障は、現在まで1件もない。

### 2. NEDO／スタック劣化解析基盤研究事業

当事業からNEDO殿のスタック劣化解析基盤研究事業に、セルスタック評価結果を含めたデータ提供を実施。

## 特許、口頭発表、投稿論文等の件数（事業全体）

海外への成果発信

表Ⅲ1.4-1 定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※ 出願	査読付 き	その他	
H17FY	0件	0件	0件	0件	3件	2件
H18FY	0件	0件	0件	0件	4件	9件
H19FY	0件	0件	0件	0件	4件	9件
H20FY	0件	0件	0件	1件	4件	10件
H21FY	0件	0件	0件	1件	7件	4件

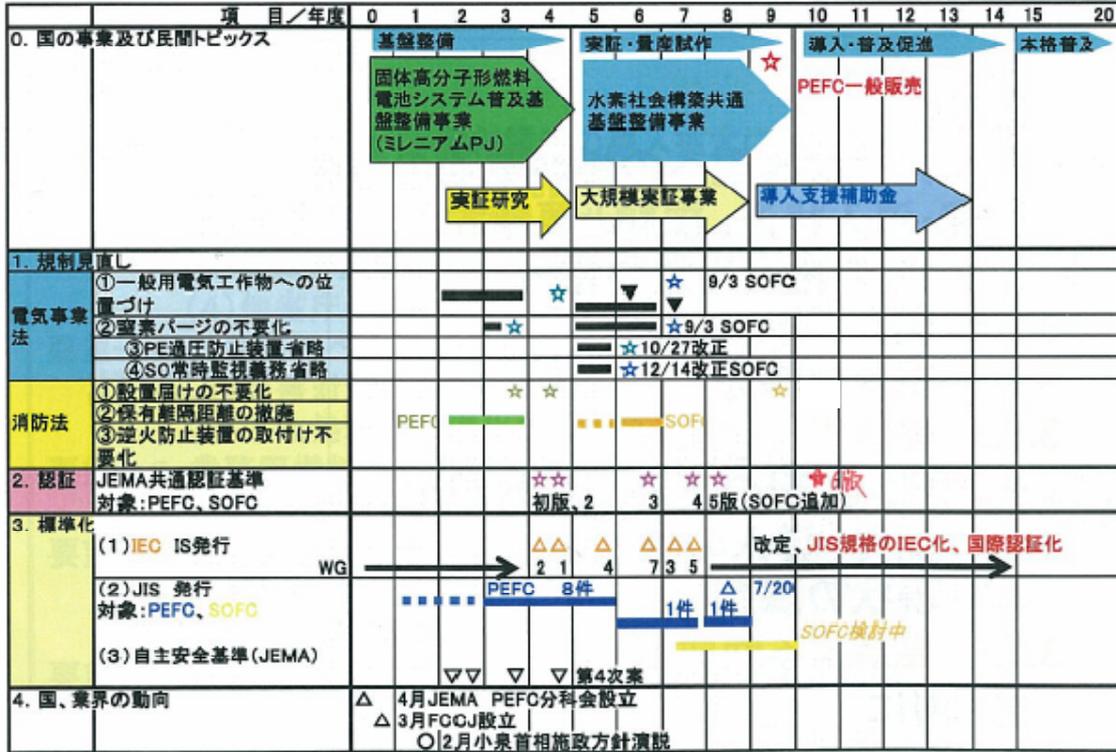
(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

ガス事業に係わる国際会議を中心に、4件の海外発表を実施。

(マイクロFCは除く)

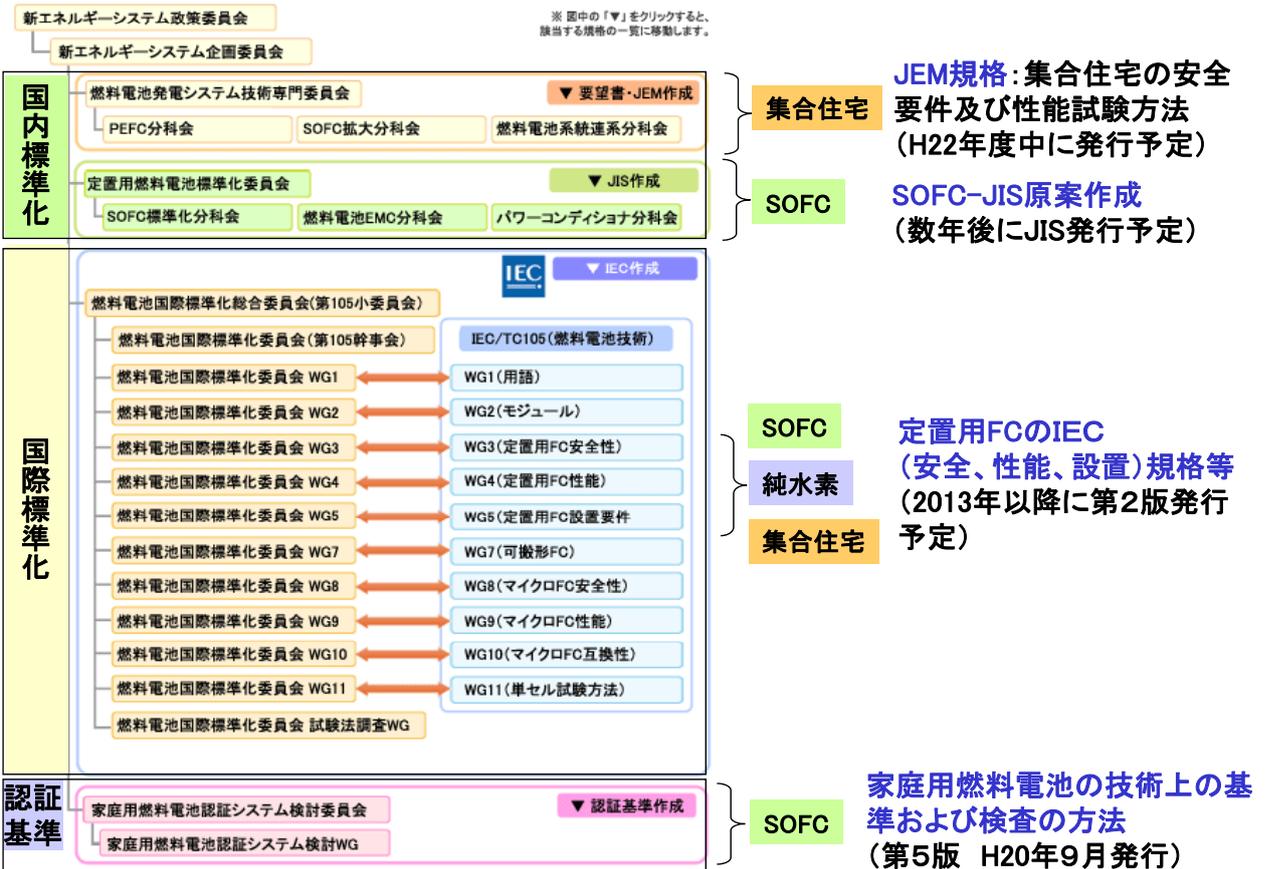
- ・水素・燃料電池セミナー 韓国ガス安全公社 平成19年6月
- ・ International Gas Union Research Conference Paris 2008(IGRC) 平成20年10月
- ・第24回世界ガス会議 平成21年10月
- ・西太平洋ガス会議(GASEX2010) 平成22年11月

# 定置用燃料電池の標準化の経緯と成果



出典: 第61回 新エネルギー講演会 JEMA

# JEMA殿の標準化審議体制と事業成果の標準化



# 燃料電池JISの発行予定と発行状況

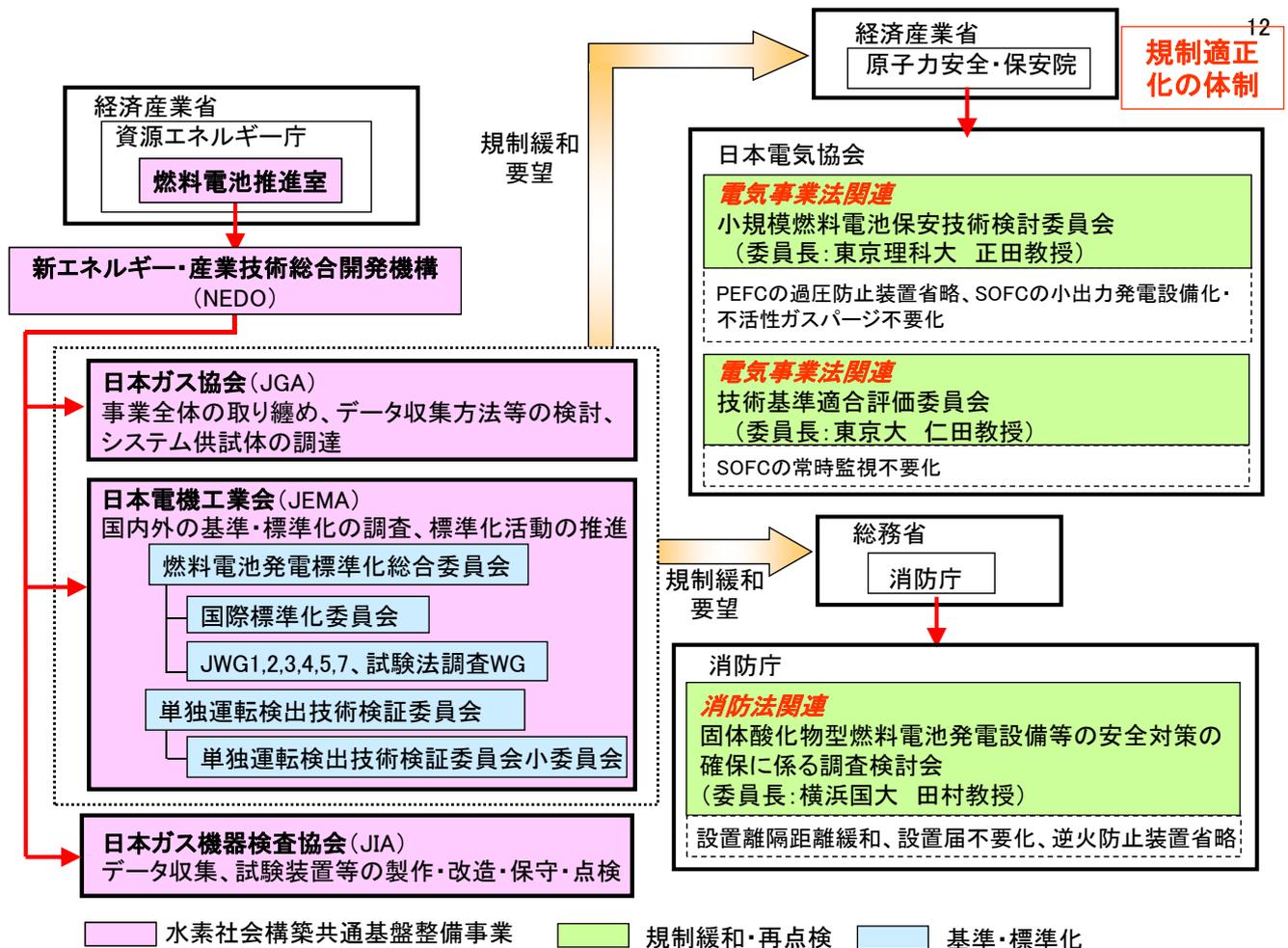
記号説明 ●:審議開始、◆:規格発行(予定)、×:規格廃止、  
 —(実線):発行済み、--(破線):審議中、---->:審議の移行を示す

No.	規格番号	規格名称	年									
			2006 18	2007 19	2008 20	2009 21	2010 22	2011 23	2012 24			
1	JISC XXXX	小形固体高分子形燃料電池システムのエネルギー効率及び消費エネルギー量の測定方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	JISC XXXX	小形固体高分子形燃料電池システムにおけるパワーコンディショナの単独運転検出機能の試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	JISC XXXX	小形固体酸化物形燃料電池システム通則	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4	JISC XXXX	小形固体酸化物形燃料電池システム安全基準及び試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5	JISC XXXX	小形固体酸化物形燃料電池システム性能試験方法及び環境試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

SOFC-JIS  
原案

No.	規格番号	規格名称	年																
			1991~1994 H3~H7	1995~ H7~	2000 H12	2001 13	2002 14	2003 15	2004 16	2005 17	2006 18	2007 19	2008 20	2009 21					
1	TRC 0001 1997	燃料電池発電用語	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
2	JISC 8800	燃料電池発電用語	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
3	TRC 0002	燃料電池発電設備の表示方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
4	TRC 0003	りん酸形燃料電池発電設備の性能試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
5	TRC 0004	りん酸形燃料電池発電設備の環境・保安試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
6	JISC 8801 Ed.2	りん酸形燃料電池発電システム通則	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
7	JISC 8802	りん酸形燃料電池発電の寿命試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
8	JISC 8803	りん酸形燃料電池設備の表示方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
9	JISC 8811	固体高分子形燃料電池装置の表示方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
10	JISC 8821	小形固体高分子形燃料電池システム通則	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
11	JISC 8822	小形固体高分子形燃料電池システムの安全基準	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
12	JISC 8823	小形固体高分子形燃料電池システムの安全性及び性能試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
13	JISC 8824	小形固体高分子形燃料電池システムの環境試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
14	JISC 8825	小形固体高分子形燃料電池システムの電磁両立性(EMC)試験及び測定技術	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
15	JISC 8826	小形固体高分子形燃料電池システムにおける系統連系形パワーコンディショナの試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
16	JISC 8831	定置用固体高分子形燃料電池セルスタックの安全性評価試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
17	JISC 8832	定置用固体高分子形燃料電池セルスタックの性能試験方法	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		

出典:水素社会構築共通基盤整備事業 成果報告書



# 規制再点検の概要

## (水素社会構築共通基盤整備事業)

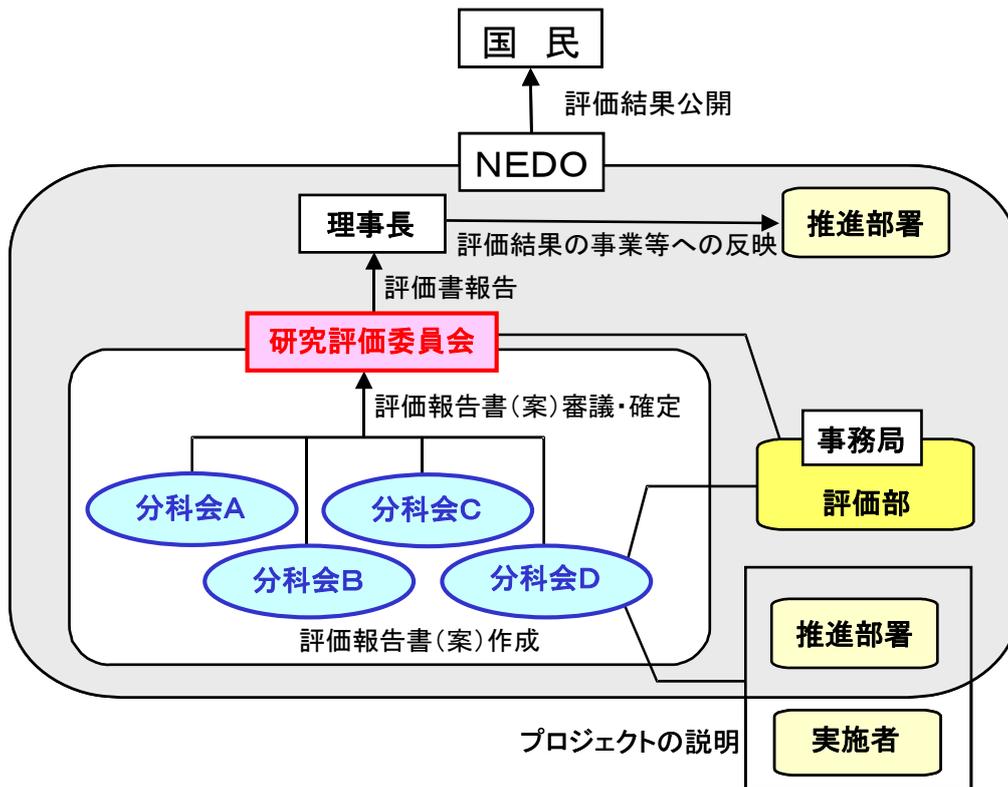
項目		現状	検討方針	関連法規
PEFC	可燃性ガス検知器 (電気事業法)	ガス検知器の設置については、火技省令上明確に規定されていないが、解釈では燃料ガスの漏洩検知器を設ける必要があると読み取れる。	可燃性ガス検知器以外の代替手法でも良いこととする。	火技省令34条火技解釈49条
	過圧防止装置 (電気事業法)	最高使用圧力0.1MPa未満の耐圧部分(封入部分)には過圧防止装置の設置が義務付けられている。	異常時でも過圧になりえない設計の場合においては、過圧防止装置を不要とする。	火技省令32条
SOFC	常時監視 (電気事業法)	出力規模の大小に係らず常時監視が義務付けられており、発電中は必ず同一構内に技術員が駐在する必要がある。	<b>動作圧力が100kPa未満のSOFCは常時監視を不要</b> (随時巡回方式)とする。	電技省令 46条 電技解釈 51条
	小出力発電設備 (電気事業法)	SOFCは自家用電気工作物に位置付けられており、保安規程の届出、電気主任技術者の選任が義務付けられている。	<b>小容量のSOFCに限っては、 ・小出力発電設備(一般用電気工作物)への位置付け ・不活性ガス置換の省略 ・消防への設置届出 ・設置離隔距離の短縮</b> を実現する。	施行規則48条
	不活性ガス置換 (電気事業法)	10kW未満のPEFC以外は、停止時に燃料電池内の燃料ガスを排除するため不活性ガス(窒素ボンベ)を常備する必要がある。		火技省令33条火技解釈49条
	設置届出 (消防法)	改正火気省令・火災予防条例例では、10kW未満のPEFC以外は設置届出が義務付けられるとともに、建築物から3m以上の距離を確保する必要がある。		火災予防条例例44条
	設置離隔距離 (消防法)			火気省令 16条 火災予防条例例8条
	逆火防止装置	市町村によっては、燃料電池のオフガスを燃焼する部分が水素を使用する炉とみなされ、燃料配管への逆火防止装置の設置が義務付けられる場合がある。	他タイプの燃料電池(PA、PE、MC)と同様に、SOFCについても <b>出力規模に係らず逆火防止装置の設置を不要</b> とする。	(例)東京都火災予防条例 3条

## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある8名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

平成17年度に開始された「水素社会構築共通基盤整備事業」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ

プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準（事後評価）

※ 本分科会では、知的基盤・標準整備等の評価項目・評価基準を採用する。

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ エネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

※ 本分科会では、「データ取得及びそれに係わる技術開発」を「研究開発」とみなす。

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

※ 本分科会では、「高度な技術基準及び標準化案の国内外への提案」を「実用化」とみなす。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。

- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

### 【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を經由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

## (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）

- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

## (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

## (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

## (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

## (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成23年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 寺門 守

担当 柳川 裕彦

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/index.html>)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージアム川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162