

# 「水素利用技術研究開発事業」

## 事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--

## 目次

概 要 .....	2
<b>I. 事業の位置付け・必要性について .....</b>	<b>9</b>
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	9
1. 1 NEDO が関与することの意義 .....	9
1. 2 実施の効果（費用対効果） .....	9
2. 事業の背景・目的・位置づけ .....	10
<b>II. 研究開発マネジメントについて.....</b>	<b>13</b>
1. 事業の目標.....	13
1. 1 研究開発の目標 .....	13
1. 2 各研究開発項目の目標.....	13
2. 事業の計画内容 .....	23
2. 1 研究開発の内容 .....	23
2. 2 研究開発の実施体制 .....	34
2. 3 研究の運営管理 .....	37
2. 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 .....	37
3. 情勢変化への対応.....	38
4. 評価に関する事項 .....	39
<b>III. 研究開発成果について .....</b>	<b>40</b>
1. 事業全体の成果 .....	40
2. 研究開発項目別の成果.....	42
3. 研究開発成果の意義.....	54
4. 特許、論文、外部発表等の件数.....	55
5. 研究成果の最終目標の達成可能性について.....	56
<b>IV. 実用化の見通しについて.....</b>	<b>64</b>

(添付資料)

(添付-1) 各研究開発項目の詳細

(添付-2) プロジェクト用語集

(添付-3) プロジェクト基本計画

(添付-4) 事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）



概 要

		最終更新日	平成 27 年 7 月 28 日
プロジェクト名	水素利用技術研究開発事業	プロジェクト番号	P13002
担当推進部/PM または担当者	新エネルギー部 吉積潔（平成 26 年 6 月～平成 27 年 7 月現在） 新エネルギー部 大平英二（平成 25 年 4 月～平成 26 年 5 月）		
0. 事業の概要	<p>○2014 年度に市場投入された燃料電池自動車(FCV)の世界最速普及を実現するため、規制改革実施計画に基づく規制見直し等に資する研究開発等を行う。また、FCV の国際競争力確保に向け、国際基準調和・国際標準化等について研究開発を行う。</p> <p>○FCV 及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と、燃料電池自動車関連産業の競争力向上に向けて、水素ステーションの整備コスト、水素輸送コスト、燃料電池自動車価格の低減に資する研究開発等を行う。</p> <p>○欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民の方々がより一層安心して受け入れられる水素ステーションを構築するべく、必要な技術開発要素の抽出及び検討を行う。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要 性について	<p>(1) 政策上の位置付け 「エネルギー基本計画」（平成 22 年閣議決定）では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、平成 27 年(2015 年)からの燃料電池自動車(FCV)の普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・連携し、供給インフラを含めた実証的取組を強化している。また、「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」（平成 20 年経済産業省策定）では、FCV 及び水素製造・輸送・貯蔵技術を 2050 年に世界の CO<sub>2</sub> 排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。</p> <p>(2) NEDO が関与する意義 これまで「燃料電池システム等実証研究」（平成 18 年度～平成 22 年度）、及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」（平成 23 年度～平成 25 年度）において、水素ステーション 19 箇所、FCV 約 140 台を導入し、FCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性、環境負荷低減性能等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めてきている。また、平成 22 年 7 月には燃料電池実用化推進協議会によって、産業界の総意として、FCV の一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案された。さらに、平成 23 年 1 月には自動車メーカー及び水素供給事業者 13 社が共同声明を発表し、自動車メーカーが FCV 量産車を平成 27 年(2015 年)年に四大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が同年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。</p> <p><b>①「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」</b> 規制の適正化などの共通課題である項目に関しては産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、NEDO が関与する意義がある。</p>		

	<p><b>②「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」</b>  規制の適正化・試験・評価方法、基準・プラットフォームの状況を見ながら開発を進める必要があり、NEDO が関与する意義がある。</p> <p><b>③「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」</b>  社会インフラである水素ステーションの安全性を確保する長期的かつ総合的な取り組みは企業単独では実施困難なため、NEDO が関与する意義がある。</p> <p><b>④「CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」</b>  上記①～③を進めるためには国内だけでなく国際間との連携に係る事業とする必要があり、NEDO が関与する意義がある。</p> <p>(3) 実施の効果  水素インフラ普及期に、水素ステーション設備コストを 2 億円以下(300 Nm<sup>3</sup>/h 規模システムの場合、土地取得価格を除く)で設置することが可能となり、ガソリンと同等かそれ以上のコストで水素ガスを販売できることから、FCV・商用水素ステーションの市場拡大に寄与する。また、FCV と水素ステーションの国際標準化により世界市場の拡大が期待される。  本事業は世界最先端の取り組みであり、現在日本が持つ燃料電池・水素技術開発における優位性を維持・拡大することが期待される。また、水素は様々な一次エネルギーから製造可能であることからエネルギーセキュリティー向上等の点で優位であり、日本の技術という資力を活用できることから国力の向上に寄与可能である。  2030 年の国内市場規模は、水素ステーションで 479 億円、燃料電池自動車用水素燃料で 796 億円、燃料電池自動車で 1 兆 1520 億円となると予測される(*1)。これらの市場規模は、想定投入予算と比較して十分大きい。加えて、関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できるとともに、技術の世界展開によるアウトカムは更に大きい。  *1：富士経済「2015 年版水素燃料関連市場の将来展望」</p>
--	--

<p>2. 研究開発マネジメントについて</p>	
<p>事業の目標</p>	<p><b>①アウトプット目標</b>  FCV 及び水素供給インフラ機器等の国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に係る研究開発等を行うとともに、近年追加された安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性確保のための要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を仕様に反映した上で、さらなる低コスト機器・システム等の実用化技術開発を行い、水素ステーションコスト・性能目標達成（下記参照）に向けた見通しを得る。  また 2015 年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用した、より安全に運用する運転管理方法やより安全且つ利便性の高い水素ステーションの部品・構成機器等の技術開発をするとともに、2025 年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、FCV の普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。  更に、将来、水素を CO<sub>2</sub>フリー化していくことを目指すシナリオを作成し、シナリオに沿った研究開発に繋げる。</p>

『水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標』

<水素ステーション>

コスト2億円以下/システム [300 Nm<sup>3</sup>/h 規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]。

水素充填 30 万回以上の耐久性を有すること。

水素充填精度±1%以内、水素充填時間 3 分間以内。

<FCV 用水素貯蔵システム>

水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 mass%以上、容器体積 100 L 以下、コスト 30～50 万円以下、かつ FCV 低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

以下に、各研究開発項目の最終目標、中間目標を記載する。

研究開発項目 I :

「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」(委託事業)

『最終目標』(平成 29 年度)

- 平成 22 年 12 月 28 日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び平成 24 年中に開催された規制・制度改革委員会グリーン WG において検討対象として取りまとめられている新たな規制見直し検討項目(検討項目(案)一覧表 No.71～75。以下、「公知の規制見直し項目」という。)について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。
- その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCV における国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。

『中間目標』(平成 27 年度)

- 新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCV における国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

研究開発項目 II :

- 「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」(委託事業、共同研究事業 [負担率: 1/2]、助成事業[負担率: 1/2])

『最終目標』(平成 29 年度)

- 上記水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

『中間目標』(平成 27 年度)

- 水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。
- 水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。
- (容器質量を勘案してもシステムで 6 mass%を実現できる水素貯蔵能力、- 30 °Cの FCV 起動に対応可能なこと、1000 NL/min が必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等)

研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」(委託事業)

『最終目標』(平成 29 年度)

- より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

『中間目標』(平成 27 年度)

- 2015 年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- 2025 年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

研究開発項目Ⅳ：「CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」(委託事業)

『最終目標』(平成 29 年度)

- 「国際エネルギー機関(IEA)」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ(IPHE)」における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

『中間目標』(平成 27 年度)

- IEA や IPHE において海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーの CO<sub>2</sub>フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO<sub>2</sub>フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO<sub>2</sub>フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

## ②アウトカム目標

水素ステーションについては、2020 年以降の整備コスト 2 億円以下の実現とそれによる水素ステーションの普及拡大を実現するとともに、FCV については、2020～2030 年頃の上述の性能を持つ FCV 用水素貯蔵システムを実現させ、このシステムを搭載することによる FCV の更なるコンパクト化、軽量化等を実現する。

また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより社会受容性の確保に繋げ、

	<p>水素ステーションの設置を促進する。</p> <p>③アウトカム目標達成に向けての取り組み          研究開発項目（Ⅰ）で得られた規制見直し等の成果を研究開発項目（Ⅱ）の機器の技術開発に反映する等積極的に項目間連携を実施することにより、水素ステーションに係るコスト低減等を着実に図る。</p> <p>また、研究開発項目（Ⅲ）で得られた運用管理手法について、水素ステーション事業者で共有し、水素ステーションに関する社会受容性を高める。</p>					
事業の計画 内容	主な実施事項	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
	研究開発項目Ⅰ 規制適正化、国際標準	規制の見直し、国際標準化等に資する技術開発ならびにガイドライン化等 ----->				
	研究開発項目Ⅱ 低コスト、機器開発	水素ステーションの低コスト化(2億円)に資する技術開発 ----->				
	研究開発項目Ⅲ 安全基盤整備	より一層の安全・安心に資する技術開発 ----->				
	研究開発項目Ⅳ 調査研究	FCV/インフラの技術、標準、基準に関する欧米圏の調査等 ----->				
開発予算 (会計・勘定 別に事業費の 実績額を記載) (単位:百万 円)	会計・勘定	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
	一般会計					
	特別会計(需給)	1,734	3,594	4,111		
	開発成果促進財源					
	総予算額	1,734	3,594	4,111		
	(委託)	1,640	3,476	3,787		
	(共同研究): 負担率 1/2	94	108	112		
	(助成): 助成率 1/2		10	212		
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 燃料電池推進室				
	プロジェクトリーダー	九州大学 尾上 清明 / 九州大学 杉村 丈一				
	委託先 (委託先が管理法人 の場合は参加企業数 及び参加企業名も記 載)	JFEコンテナ(株) / JFEスチール(株) / JX日鉱日石エネルギー(株) / KOA(株) / NOK(株) / (株)UACJ / 愛知製鋼(株) / (株)アツミテック / 国立大学法人茨城大学 / 岩谷産業(株) / (株)エア・リキード・ラボラトリーズ / 日本エア・リキード(株) / (財)化学物質評価研究機構 / 国立大学法人九州大学 / (一財)金属系材料研究開発センター / 高圧ガス保安協会 / (株)神戸製鋼所 / 佐賀県 / 国立大学法人佐賀大学 / (株)坂本電機製作所 / (株)サクシオン瓦斯機関製作所 / サムテック(株) / 国立研究開発法人産業技術総合研究所 / (株)四国総合研究所 / 新日鐵住金(株) / 水素供給・利用技術研究組合 / (一財)石油エネルギー技術センター / 大日機械工業(株) / (株)タツノ / 国立大学法人千葉大学 / 中国工業(株) / 千代田化工建設(株) / (株)テクノバ / 国立大学法人東京大学 /				

		東邦テナックス(株) / 国立大学法人東北大学 / (有)鳥栖環境開発総合センター / (株)巴商会 / 豊田通商(株) / (一財)日本雷保護システム工業会 / 日本軽金属(株) / 日本合成化学工業(株) / (一財)日本産業・医療ガス協会 / (一財)日本自動車研究所 / 日本重化学工業(株) / (株)日本製鋼所 / 国立研究開発法人物質・材料研究機構 / 丸八(株) / 八千代工業(株) / 横浜ゴム(株) / 学校法人早稲田大学
情勢変化への対応	H25.12 研究開発項目Ⅱ(低コスト機器開発) 追加公募 H26.5 研究開発項目Ⅲ(次世代ステーション安全基盤整備) 追加公募 H27.7 研究開発項目Ⅰ(規制見直し)、Ⅱ(低コスト機器開発) 追加公募	
中間評価結果への対応	(中間評価を実施した事業のみ)	
評価に関する事項	事前評価	平成 25 年度実施 担当部 新エネルギー部
	中間評価	平成 27 年度 中間評価実施
	事後評価	平成 30 年度 事後評価実施予定
3. 研究開発成果について	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 国内について、研究開発の成果を順調にだすことによって、規制見直しは当初の予定に沿って進んでいる。また水素充填ガイドライン、水素品質ガイドライン、水素計量ガイドラインなど普及拡大に必要なガイドラインも策定されつつある。国際関連では FCV の国際流通に必要な ISO、SAE、HFCV gtr は日本が議論をリードして、日本の提案が採用されている。</li> <li>• 水素ステーション用機器の低コスト化技術を構築し、水素製造装置、水素圧縮機、プレクーラなどの一部の構成機器では実機製作を H27 年度内に完了見込み。水素ステーションコストは普及期目標 2 億円に対して、事業終了時点で 3.5 億円を見込む（この成果に併せて量産効果により 2 億円を見込む）。</li> <li>• 車輻用水素貯蔵材料の開発については、水素貯蔵システムとして要求仕様を達成しうる可能性を有した貯蔵材料を選定した。</li> <li>• 一層の安全、安心の観点からセーフティデータベースを作成し、事業者間からの情報収集と展開の仕組みを完成した。また水素ステーションのオペレータ向けの教育設備訓練内容指針(案)を作成した。</li> <li>• ポータルサイトを開設し、一般の方への情報提供を開始した。</li> </ul>	
	投稿論文	45 件(平成 27 年 7 月末現在)
	特 許	「出願済」28 件、「登録」10 件、「実施」10 件(うち国際出願 2 件) (同上) 特記事項：
	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演(389 件)／新聞・雑誌等への掲載(72 件)／ 展示会へ出展(36 件) (同上)

<p>4. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 規制見直しに関する成果は閣議決定の実施時期にあわせて適用される予定である。自主基準等ガイドラインについては平成 29 年度までに順次適用される予定である。</li> <li>• ISO や HFCV gtr など国際的な標準、基準については各国との摺り合わせが必要なものの、概ね今後 5 年以内には成果が反映された内容が成文化される予定である。</li> <li>• 整備コスト 2 億円以下の水素ステーションの実現について、構成機器に関する低コスト化の事業(水素製造装置 50 百万円、水素圧縮機 65 百万円、プレクーラ 24 百万円、蓄圧器 1.2 万円/L)及び、並行して行っている規制の適正化事業との相乗効果により、普及期の量産効果を含めることで可達と考える。低コスト化の事業はプロジェクト終了後 5 年以内の事業化を見込む。</li> <li>• 水素貯蔵については、車載を目的とした貯蔵目標（質量貯蔵密度 6mass%以上、容器体積 100 L 以下、コスト 50 万円以下、水素供給速度 1,000L/min、-30℃の FCV 起動に対応可能な水素供給）達成可能性が高いものを選別し、車載用の水素貯蔵システム化及び生産性向上を達成することで実用化が達成される見込みである</li> </ul>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 25 年 2 月制定</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>平成 26 年 3 月改訂（研究開発項目Ⅱに助成事業を追加、研究開発項目Ⅲを追加）</p>

## 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

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。本事業に先立つ「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施された。

燃料電池及び水素技術は、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。第3期科学技術基本計画（平成18年3月）においては「先進燃料電池システムと安全な革新的水素貯蔵・輸送技術」が戦略重点科学技術として選定され、新・国家エネルギー戦略（平成18年5月）では燃料電池自動車に関する技術開発の推進が記され、経済成長戦略大綱（同7月）において運輸エネルギーの次世代技術開発が重点分野として位置付けられた。エネルギー基本計画（平成19年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（同5月）においても燃料電池及び燃料電池普及のために必要となる水素技術開発の重要性が述べられ、さらには、「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」（平成20年3月）に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられ、またエネルギー基本計画（平成22年改訂）では技術革新の進捗により水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期にさしかかっているとしている。更には本事業の開始後、平成26年に改訂されたエネルギー基本計画に「“水素社会”の実現に向けた取り組みの加速」として将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。と明示された。従って、本事業は上記エネルギー施策制度の目標達成に適合するものであり、その期待値はますます大きくなっている。

本分野における産業界の健全な育成については、産業界各社が30年間にわたる技術開発を地道に続けてきている中、その成果を元に各社が自ら活動・対応するだけでなく、共有・共通の知的財産と成り得るものに対し国費を元に研究開発・産業界支援を行い、各社の活動の重複を避け短期的に仕上げることが、産業界全体としての効率的な技術開発に対して重要である。これまで世界に先駆けた水素関連技術の実用化のためにシステム技術の開発や検証、要素技術開発を行ってきたが、その結果、国際市場においても我が国産業界が先導的役割を果たすことができた。

#### 1. 2 実施の効果（費用対効果）

当該事業を実施することにより、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省2014年6月、図表参照）等で試算される2030年の市場規模：日本1兆円程度、世界38兆円程度2050年の市場規模：日本8兆円程度、世界160兆円程度の成長に寄与することができる。また、燃料電池分野の特許出願数は現在でも世界1位で2位以下の欧米等の各国と比べ5倍以上となっており、本事業の推進が水素利活用分野での高い産業競争力を支えている。更には、前述の「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」において、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するためのエネルギー分野における21の革新的技術開発の中に選定され、温室効果ガスの削減にも大きな貢献をもたらすことが期待されている。

一方、民間団体である燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）（図表参照）が平成22年3月に発表した「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」において、2015年がFCVの一般ユーザー普及開始を目指す年、2025年がFCV・ステーションの自立拡大開始の年として、位置づけられている。同シナリオでは、2015年の普及開始に向けて2006～2014年までの間の技術課題の解決と規制見直しの推進が提示されており、本事業の着手は正に当該シナリオの実現に資するものであり、既にそ



の成果の一部として水素ステーションの普及が開始された。（2015年6月現在、計画を含めて81ヶ所）

このような研究開発投資がもたらす効果として、水素エネルギーの社会への導入・普及は、省エネルギー効果、環境負荷低減効果、エネルギーの供給多様化、石油代替効果、分散型電源としての利用、産業競争力強化と新規産業・雇用の創出が期待される。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業」（平成20年度～平成24年度）において来たるべき水素エネルギー普及のための水素供給インフラ市場の立ち上げ（平成27年に想定）に向け、水素製造・輸送・貯蔵・充填に関する低コストかつ耐久性に優れた機器及びシステムの技術開発、要素技術開発、次世代技術開発及びシナリオ策定、フュージビリティスタディ等を行い、その結果、水素エネルギーの導入・普及に必要な一連の機器及びシステムに関する技術開発を推進した。

また、「水素先端科学基礎研究事業」（平成18年度～平成24年度）において、水素物性等に係る基礎的かつ高度な科学的知見の集積を行い、FCV及び水素供給インフラの長期間の安全利用に向けた、材料の水素からの影響に関する基本原理の解明を進めた。加えて「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」（平成19年度～平成23年度）及びそれに続く「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究」（平成24年度）で、高性能かつ先端的水素貯蔵材料開発に必要な水素貯蔵に関する基本原理の解明及び材料の応用技術に必要な基盤研究を実施し、両事業から基礎固めを行うことにより、水素供給インフラを支える材料、機器及びシステム開発に関する水素利用技術の確立に資するデータの取得を行う事ができた。

また、これらの事業と並行して「地域水素供給インフラ技術・社会実証事業」（平成23年度～平成25年度）を行い上記NEDO事業から得られた成果を元に、実社会でのインフラ運営をからの様々な知見を得ることができた。

以上の事業の成果をふまえて本研究開発では、2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する事を狙いとする。

また、世界に目を向けた場合のFCV・ステーション技術開発動向について日本の位置づけ、技術的な開発動向等については以下のような状況である。

### ○FCV 車載用水素貯蔵技術

- 70 MPa での高圧水素ガス貯蔵が主流である。
- 水素貯蔵の目標値は、日本、米国ではほぼ同じ状況である。具体的には以下のとおりである。
- 水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 mass%以上、容器体積 100 L 以下、FCV 低温起動、全開加速に適合すること。

### ○水素供給インフラ技術

- 現時点ではFCVの水素貯蔵の方向性に合わせ、水素ステーションも高圧ガス充填（70 MPa）が主流である。
- 充填方式は、圧縮機から蓄圧器を介し充填する差圧充填方式と圧縮機から直接充填する直接充填方式がある。現時点での主流は差圧充填方式であるが今後のステーション機器の低コスト化、あるいは液体水素ポンプの開発に伴い直接充填方式が拡大する可能性もある。

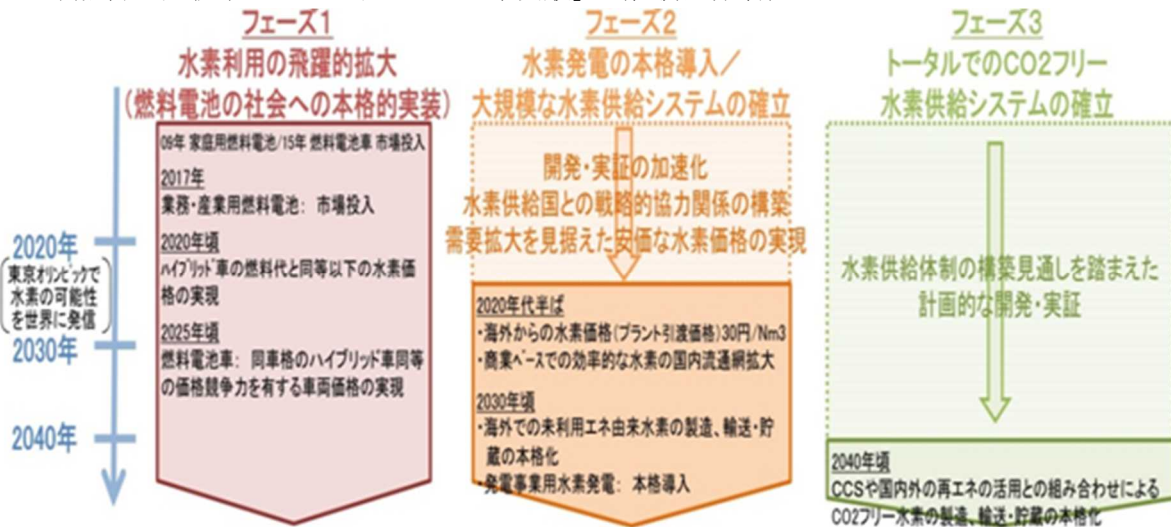
- 水素のキャリアとしては高圧、液化水素があり、将来的には有機ハイドライドも検討されている。
- 水素ステーションの方式としては水素を何らかのキャリアでステーションまで輸送し、現地で水素化するオンサイト方式と、水素をプラントで製造し高圧でステーションまで輸送するオフサイト方式の2種類がある。オンサイト方式では都市ガス、LPG,有機ハイドライド等の開発が進められている。
- FCV への充填時間は、ガソリンスタンド並みの3分程度での満充填が要求されている。

#### ○各国の技術レベル

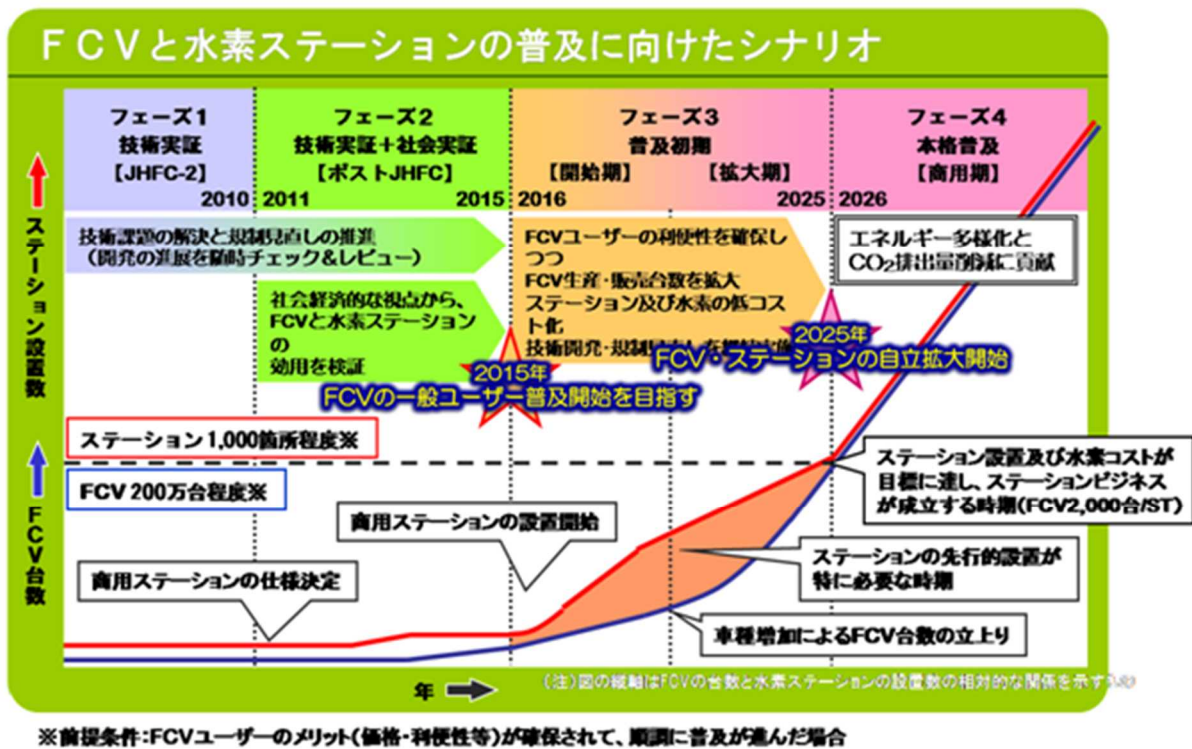
- 技術開発において日本と並んで米国、欧州（特にドイツ）が進んでいるが、その中で日本は平成26年のFCVの市販開始、商用水素ステーションの開所等、一步先んじている。今後は韓国もFCV、インフラともに追いついてくる状況である。

「燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）」によるシナリオ」、「水素燃料電池戦略ロードマップ2014年度版」（経済産業省）を添付する。

「水素燃料電池戦略ロードマップ 2014 年度版」 (経済産業省)



「燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ)」によるシナリオ



## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

これまでの「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」（平成 20 年度～平成 24 年度）、「地域水素供給インフラ技術・社会実証」（平成 23 年度～平成 25 年度）等の関連事業成果を踏まえながら、平成 29 年度末を目途に、(1) 業界要望を元に決定された規制改革実施計画での規制見直し項目に資するデータの取得及び必要な自主基準(案)、技術基準(案)、ガイドラインなどの策定。普及に必要な ISO/TC197、UN/ECE/WP29 等で策定される国際基準、標準に資するデータ等の取得、(2) 低コスト化に向けた機器開発、(3) 一層の安全と安心に向けた安全データベースの構築や、次世代の水素インフラに必要な技術開発、(4) 欧米の水素インフラ普及に関する最新情報の取得と事業への反映を行う予定である。

以下の最終目標は、燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)の普及シナリオ(平成 22 年 3 月)、自動車メーカー及び水素供給事業者 13 社の共同声明(平成 23 年 1 月)と発表国内外の技術動向、市場動向を踏まえて策定し、その後の「規制改革実施計画」（平成 25 年 6 月 14 日／閣議決定）、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（平成 26 年 6 月 23 日／経済産業省）のシナリオに沿い、関係産業界の要望を反映し、FCV・水素インフラ普及に必要な技術開発目標値を設定した。

#### 1. 1 研究開発の目標

水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標は下記の通り。

<水素ステーション>

- コスト 2 億円以下／システム [300 Nm<sup>3</sup>/h 規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]。
- 水素充填 30 万回以上の耐久性を有すること。
- 水素充填精度±1%以内、水素充填時間 3 分間以内。

<FCV 用水素貯蔵システム>

- 水素 5kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 mass%以上、容器体積 100 L 以下、コスト 30～50 万円以下、かつ FCV 低温起動や全開加速に適合する水素放出性能 を有すること。ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性 を鑑み目標を別途設定する。

#### 1. 2 各研究開発項目の目標

達成目標は下記の通り。

(1) 研究開発項目 I : 「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」(委託事業)

『中間目標』(平成 27 年度)

新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCV における国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

『最終目標』(平成 29 年度)

平成 22 年 12 月 28 日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目、平成 25 年 6 月に閣議決定された「規制改革実施計画」の次世代自動車の世界最速普及において対象として挙げられた項目について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCV における国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。

以上に加えて、平成 27 年 6 月に閣議決定された「規制改革実施計画」についても規制見直しを進めるために必要な研究開発と、規制見直しの時期にあわせて事業化が進められるよう、最終目標への項目追加を行う。

中間目標	最終目標
<b>I-①-(1) : 「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」</b>	
①70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案の作成、及び蓄圧器の検査方法の調査。	①70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案作成、水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案作成
②圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 圧縮水素運送自動車用容器に、ガラス球式安全弁の装置を可能とする技術基準案の作成。	②圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 平成 26 年度で完了。
③水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、及び高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成開始。	③水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、高圧ガス保安法に係る技術基準案作成
④公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。	④公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。
⑤圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度（85℃）以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成、水素トレーラ火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討。	⑤圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 平成 27 年度で完了。
⑥液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの技術基準案作成、及び消防法、建築基準法の措置に資する資料作成。	⑥液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの液化水素ポンプの技術基準(案)作成。
⑦ 2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 第 2 種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案作成、及び追加安全策の検討。	⑦ 2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 平成 27 年度で完了。
⑧水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備 ⇒別項目「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照	—
⑨温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成。	⑨温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成。

中間目標	最終目標
⑩水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 平成 27 年度より開始。	⑩水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 セルフ充填が可能となる高圧ガス保安法の見直し、及び技術要件等の検討。
<b>I-①-(2)：「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」</b>	
①水素ステーションの事故に関する現状把握 ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査。 ②水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定 事故シーケンスの検討、重大性の高い災害事例の抽出。 ③シビアアクシデント対応策の策定 リスクアセスメントの実施、緊急時対応ガイドライン作成。 ④審査過程における対応 例示基準案の審査過程における対応実施。	平成 26 年度で完了。
<b>I-②-(1)：「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」</b>	
(a) 複合容器のアルミライナー素材のアルミ合金の疲労進展に伴う AE を検出・評価する。 (b) 複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信号に及ぼす影響を調査。 (c) 複合容器の炭素繊維層の AE 波の特徴を把握。 (d) 複合容器の疲労試験中の AE 発生挙動を分析し、疲労劣化の進展度を AE 法によって評価する手法を開発。	(a)～(c) 常用圧力 82MPa、容量 300ℓ の Type-IIICFRP 複合容器の水素ステーション運用中の耐圧性能と強度確認のための保安検査に用いるための、AE 法による検査技術の確立。 (d) AE 法を用いた検査要領の策定。
<b>I-②-(2)：「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」</b>	
①汎用材の利用拡大 1, 2, 3, 4 種、ないし 5 種の研究、評価、及び使用条件の明確化。 ②超高圧、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材 1, 2 種、ないし 3 種、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化。	①汎用材の利用拡大 追加 3～4 種(累計 5～8 種)の研究、評価、及び使用条件の明確化。 ②超高圧、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材追加 1～3 種(累計 3～5 種)、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化。
<b>I-②-(3)：「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」</b>	
①Type3 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 実際の水素ステーションで使用する圧力条件(部分充填)に応じた圧力サイクル試験方法で疲労寿命延長が可能であることを確認する。 ②Type4 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 圧力サイクル試験時の疲労損傷モードを確認する。	①Type3 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討を行い、結果のまとめと課題を提示する。 ②Type4 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 部分充填と疲労寿命の関係を確認し、疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討を行い、結果のまとめと課題を提示する。
<b>I-②-(4)：「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」</b>	
①主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発 (a) 水素脆化の影響を受ける材料の水素ガス中での挙動解明。 (b) Cr-Mo 鋼等を用いた蓄圧器製造ガイドラインのアウトライン作成。 (c) 非磁性鋼の安全利用に向けた評価基準の明確化。 (d) 海外の水素ステーションにおける使用材料に関する安全性評価試験の実施。 (e) 設計係数低減化に伴う問題点と課題の抽出。	①主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発 (a) 水素脆化の影響を受ける材料の評価方法の提案、使用条件、使用基準の明確化。 (b)～(d) 低合金鋼を用いた蓄圧器製造ガイドラインの完成。 (e) 設計係数低減化による高圧水素機器(主に蓄圧器)の合理的設計方法の提案。

中間目標	最終目標
<p>②主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>②-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発</p> <p>(a) HRX19 の利用技術データ拡充(溶接性等)／溶接や曲げの適用など、実構造物を想定した材料データの取得。</p> <p>(b) Ni 当量式拡張のための成分評価。</p> <p>(c) 耐水素ガス脆化特性におよぼす Cu, N などの影響を評価。</p>	<p>②主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>②-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発</p> <p>(a) 種々の実使用条件に即した環境における水素中データを拡充し、水素社会インフラ基盤構築に向け、材料メーカーとして協力。</p> <p>(b) -40℃において Cu および N 添加量増加により耐水素ガス脆化特性が向上することを確認。</p> <p>(c) SUS316L (Ni 当量<math>\geq</math>28.5) の拡散接合部の耐水素ガス脆化特性を確認。</p>
<p>②-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大</p> <p>(a) Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発／高圧水素中で引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レスステンレス鋼開発。</p> <p>(b) 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発／炭素濃度とマルテンサイト変態を考慮したオーステナイト相安定性確認。</p> <p>(c) 長期使用水素関連機器の解体調査／解体調査を行い関係各機関へデータ提供。</p>	<p>②-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大</p> <p>(a) Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発／鍛造品を素材として、高圧水素中において、引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発。</p> <p>(b) 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発／高圧水素用高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発。</p> <p>(c) 長期使用水素関連機器の解体調査／平成 27 年度で終了。</p>
<p>③低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究</p> <p>ガス、圧力を変動条件下での水素脆化挙動の把握。</p>	<p>③低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究</p> <p>水素環境脆化機構解明の元となるデータを提供。</p>
<b>I-②-(5) : 「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」</b>	
<p>①自動車用圧縮水素容器の安全性評価</p> <p>破裂圧適正化のためのシナリオ作成に資する基礎データを取得する。</p>	<p>①自動車用圧縮水素容器の安全性評価</p> <p>破裂圧適正化および水素適合性試験法作成のシナリオに基づき実証試験データを取得し、国内・国際審議に資する。</p>
<p>②国内基準の適正化および国際基準調和</p> <p>国際基準(HFCV gtr Phase2)に日本案(破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法)を提案するための国内審議を推進し、シナリオ案(試験法)および実証試験計画の国内承認を得る。</p>	<p>②国内基準の適正化および国際基準調和</p> <p>国内・国際審議に合わせて日本案(試験法)の修正を行いながら、①、③で取得した実証試験データを根拠に日本案を国際基準に反映させる。</p>
<p>③アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発</p> <p>アルミの腐食に関する従来評価法によるデータを取得し、自動車用圧縮水素容器に必要な評価項目を見極め、適切な試験法案を開発する。</p>	<p>③アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発</p> <p>アルミ腐食試験法のシナリオに基づき実証試験データを取得し、アルミ腐食試験法の開発を完了し、国内・国際審議に資する。</p>
<b>I-③ : 「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」</b>	
<p>①適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発</p> <p>(a) 水素品質管理運用ガイドラインを策定する。</p> <p>(b) 高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、容器製作・検証する。</p> <p>(c) 低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、8成分分析可能な装置の開発と、水素 ST での検証を行う。</p> <p>(d) 微粒子捕捉用フィルタの検討について、現状仕様及びフィルタ試験方法の GL への反映。</p>	<p>①適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発</p> <p>(a) 水素品質管理運用ガイドラインの改定版を策定する。</p> <p>(b) 高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、適正で簡便・安価な試料容器・方法を確立する。</p> <p>(c) 低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、ISO 8成分を対象に、分析コスト(現行 200 万円の 1/2)、分析時間(現行 120 時間の 1/10)を達成する。</p> <p>(d) 微粒子捕捉用フィルタの検討について、フィルタの仕様を確定し、改定 GL を作成する。</p>
<p>②次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討</p> <p>ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、改定のための提案内容の合意を行う。</p>	<p>②次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討</p> <p>ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、品質規格 ISO14687 は照会原案の策定、品質管理規定 S019880-8 の発行(両者とも日本提案)を目指す。</p>
<b>I-④ : 「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」</b>	

中間目標	最終目標
①国内基準類の改正案作成及び制定 (a)FCV及びFCバス水素充填技術基準策定。 (b)FCV及びバス用充填性能確認ガイドライン作成と評価装置製作。	①国内基準類の改正案作成及び制定 (a)海外での規格見直し動向、並びに新充填プロトコルに対応した自主基準の改定。 (b)充填性能確認ガイドラインの完備及び商用ステーションへの適用と評価体制の提案。
②国際標準と国内基準類の調和、国際連携 充填プロトコル、ノズル/レセプタクル規格について、SAEの審議を日本の充填技術に適合するよう誘導。	②国際標準と国内基準類の調和、国際連携 (a)充填プロトコルに関連して欧米(SAE、ISO)に提案し、充填の国際標準化に貢献。 (b)水素コネクタに関連して欧米(SAE、ISO)に提案し、充填の国際標準化に貢献。 (c)充填性能確認ガイドラインの欧米への提案による国際標準化。
③充填技術開発/充填技術検証 商用水素ステーションの充填プロトコル策定に必要なデータ、及びノズル/レセプタクルの氷結等のデータの取得。	③充填技術開発/充填技術検証 (a)バス、二輪用の充填プロトコルの策定。 (b)新しい提案式の検証と共に新充填法の具体化。 (c)ガイドライン(FCV、FCバス、FC二輪など)の商用ステーションでの実証と有効性検討。
④充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 -30℃～常温、100MPaまでの低温、高圧域での熱伝導率のデータの取得。	④充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 輸送性質の測定データ取得及び相関式の作成、水素充填シミュレーションの高精度化。
<b>I-⑤：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」</b>	
①FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得 国際基準HFCV gtr Phase2で審議される課題について、データ取得を進める。	①FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得 HFCV gtr Phase2の審議の進捗に合わせて、データの取得を完了させ、かつ、国連の98年合意に基づき、HFCV gtr Phase2の国内導入を推進する。
②FCVの国際標準化 本事業のデータを活用し、国内規制を考慮しながら日本が主導的になるよう、HFCV-gtr Phase2の方向付けを行う。	②FCVの国際標準化 本事業で得られたデータを活用しながら、HFCV gtr Phase2の国内導入の方向付けを完了する。
③安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得 安全なFCVの事故後処理方法を明確にするためのデータ取得とFCV用容器クズ化マニュアルに資するデータ取得を行う。	③安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得 廃車処理に関わる研究を完了し、経済産業省高圧ガス保安法や自動車リサイクル法の高圧ガスの廃棄、容器のくず化マニュアルおよび事故処理に係わる作業手順のガイドラインに反映させる。
④FC二輪車の安全に関するデータ取得 FC二輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資するデータを取得完了する。	④FC二輪車の安全に関するデータ取得 平成27年度完了予定。



(2) 研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」(委託事業、共同研究事業[負担率: 1/2]、助成事業[負担率: 1/2])

『中間目標』(平成 27 年度)

- 水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。
- 水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。(容器質量を勘案してもシステムで 6 mass%を実現できる水素貯蔵能力、 $-30^{\circ}\text{C}$ の FCV 起動に対応可能なこと、1,000 NL/min が必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等)

『最終目標』(平成 29 年度)

- 上記水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。(1. 1 研究開発の目標を参照)

中間目標	最終目標
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(1)：「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</b>	
①CFRP 蓄圧器成型技術の開発 製造コストを 2 万円/L 以下、サイクル使用回数 5 万回以上。	①② 製造コストを 1.5 万円/L 以下、サイクル使用回数 10 万回以上。
②CFRP 蓄圧器材料の開発 汎用 CF の蓄圧器への適用。	
③基準、検査に関する他事業との連携 ・複合容器基準化事業、検査開発事業との情報交換 ・使用蓄圧器評価の実施。	
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(2)：「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</b>	
①スチールライナーの寿命検討 疲労限への諸因子の影響明確化。 高圧水素中データ採取。	①～⑥スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発として以下の仕様を達成 - 容器容積：200L 以上。 - コスト $\leq$ 3 万円/L、重量 $\leq$ 3000kg(コスト、重量とも設計係数 4.0)。 - 容器寿命 $\geq$ 10 万回。 - 開発容器の特認取得を目指す。
②簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測 ライナーおよび CFRP の適正厚み目処付け。	
③スチールライナー-CFRP 複合蓄圧器の開発 小型容器による蓄圧器製造の要素技術開発。	
④複合蓄圧器の設計の妥当性検証 大型製造技術の開発および容器の性能評価。	
⑤特認取得への取組 特認申請に資するデータ取得	
⑥規制見直しへの取組 各種委員会での複合容器への要求事項の議論	
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(3)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(八千代工業・東邦テナックス)</b>	
①設計圧力 106MPa、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成 25 年 6 月時点)の規定を満たす大型高圧水素用タイプ 4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。	①水素ステーションにおける実証に向けて、大型タイプ 4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(4)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(中国工業)</b>	
①小型、中型複合容器において、設計圧力 106MPa(破裂圧力 239MPa)、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成 25 年 6 月時点)の規定を満たす高圧水素用 TypeIV 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。	①水素ステーションにおける実証に向けて、大型 TypeIV 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。コスト目標は、バルブを除いて、現行(0 当たり 5 万円程度)の 2 分の 1 から量産化後は 4 分の 1 を目指す。
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(5)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(丸八・巴商会)</b>	

	中間目標	最終目標
	①設計圧力 106MPa、サイクル使用回数 10 万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成 25 年 6 月時点）の規定を満たす高圧水素用タイプ 4（樹脂製ライナー）複合容器蓄圧器（100L～150L 級）の製造指針を構築する。	①500L 級大型複合容器蓄圧器の製造指針を確立する。
<b>【委託】 II-①-(6) : 「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」</b>		
	①FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス（温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性 <sup>*1</sup> を保持）を達成する 82 MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発。 *1:FCV 普及初期 1 年間の充填回数 945 回を参考として算出された圧力サイクル 2,200 回の 3 倍に相当する値で、ラボ試験目標値。	①82 MPa ⇒ 87.5 MPa 対応を完了。
	②FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス（温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性 <sup>*1</sup> を保持）を達成する 82 MPa(-40℃)に対応した高圧水素シールシステムの開発。	②82 MPa ⇒ 87.5 MPa 対応を完了。
	③JPEC-S 化に向けた 82 MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)の作成。	③平成 27 年度で完了。
	④JISB2401 化に向けた 82 MPa(-40℃)水素シールシステムの信頼性評価基準案の基礎となる材料評価データまとめ。	④JISB2401 化に向けた 82MPa(-40℃)水素シールシステムの信頼性評価基準案の作成。
<b>【1/2 助成】 II-①-(7) : 「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」</b>		
	(a) 水素ステーション用複合型改質器の開発 (b) 複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発 (c) 水素製造装置の運転評価 (d) 事業化時のコスト目標検討	平成 27 年度で完了
<b>【1/2 助成】 II-①-(8) : 「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」</b>		
	①最終目標コスト 6,500 万円（量産時）の「複合型高圧水素圧縮機」を開発し、試作する。	平成 27 年度で完了
<b>【1/2 助成】 II-①-(9) : 「低コスト・プレクーラーの研究開発」</b>		
	①最終目標コスト 2,400 万円（量産時）のプレクーラーを開発し、試作する。	平成 27 年度で完了
<b>【委託】 II-② : 「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」</b>		
	水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。 ① 金属系水素貯蔵材料の研究開発 ② 吸着系水素貯蔵材料の研究開発 ③-1 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Mg系材料 ③-2 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Ti系固溶体材料および窒素系材料	5kg の水素貯蔵システムに対して下記の性能を満足する水素貯蔵材料の開発（①～③-2 共通） • 重量密度：6 mass%以上 • 容器体積：100 L 以下 (50g/L 以上) • コスト：30～50 万円 • FCV 低温（-30℃）起動や全開加速(1,000 NL/min)に適合する水素放出性能を有すること。
<b>【委託】 II-③ : 「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」</b>		
	①水素計量ガイドラインを策定する。	①代替流体法での水素計量ガイドラインを策定する。
	②70MPa 対応の重量法試験装置を製作し、その評価方法を確立した上で水素計量ガイドラインに反映できるデータの取得を行う。	②更なる高圧充填に対応（82.5MPa の追加技術開発）した重量法試験装置の開発・製作を行う。
	③マスターメーター法試験装置を製作し、水素ディスプレイでの評価を行い、評価方法を確立する。	③マスターメーター法による評価方法を確立した上で、3次基準（コリオリ流量計）の不確かさを 3%程度とする。

(3) 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」(委託事業)

『中間目標』(平成 27 年度)

2015 年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。

2025 年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

『最終目標』(平成 29 年度)

より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

	中間目標	最終目標
<b>Ⅲ-①-(1)：「水素ステーション高度安全・安心技術開発」</b>		
	①セーフティーデータベース 国内外事例も参考に完成。	①セーフティーデータベース データベース構築・完成、商用水素ステーションでの更なる展開。
	②人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針(案)の作成。	②人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針完成。
	③次世代水素ステーション技術開発 必要な技術開発項目の抽出。	③次世代水素ステーション技術開発 平成 27 年度で終了。
	④社会受容性の向上 ポータルサイト開設や展示会等出展。	④社会受容性の向上 ポータルサイトの継続・改善、アウトリーチ活動の継続、商用水素ステーションの新規需要創出。
<b>Ⅲ-①-(2)：「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」</b>		
	①-1 溶接材料の開発 アンダーカット回避、余盛り確保に有効な溶接材料の開発。	(平成 28 年度完) 高窒素濃度および高強度維持を達成する溶接技術開発 具体的には、 ①余盛り無し配管引張強さ $\geq 800\text{MPa}$ 。 ②余盛り付き配管強度 $\approx$ 母材配管強度。
	①-2 溶接ガスおよび溶接パラメータの最適化 高窒素濃度維持に有効な溶接ガス混合比と溶接パラメータの最適化。	
	②溶接金属の金属組織評価 溶接が微視組織のおよぼす影響の理解と強化機構の解明。	(平成 28 年度完) ②溶接金属の金属組織評価 (a) 溶接継手強度と金属組織の関連付け。 (b) 開発溶接継手の金属組織健全性評価。
	③溶接部の水素脆化評価 溶接継手の疲労特性および水素脆化特性評価。	(平成 28 年度完) ③溶接部の水素脆化評価 開発溶接継手の水素脆化特性評価。
<b>Ⅲ-①-(3)：「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」</b>		
	①水素ステーションへの落雷の影響を指標化し、必要であれば水素ステーションの雷保護対策ガイドラインを策定する。	平成 27 年度で終了
<b>Ⅲ-①-(4)：「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」</b>		
	①水素センサの要求仕様と評価法の調査 目標仕様の明確化、定量的評価法の調査。	①水素センサの要求仕様と評価法の調査 センサセラミックパッケージの開発目処付け完了。
	②センサパッケージの開発 セラミックパッケージの検討。	②センサパッケージの開発 ハンディタイプ/定置式タイプの試作。

中間目標	最終目標
<b>Ⅲ-①-(5) : 「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」</b>	
<p>① 光学式水素ガスセンサの研究開発</p> <p>(a) 濃度 500ppm の水素ガスが検出可能なセラミックセンサチップを試作し、機能検証を行う。</p> <p>(b) また、複数のセンサチップにより水素ガスを多点監視するためのシステム、信号処理系、ソフトウェアを試作し、機能検証を行う。LD 光源、Si 受光素子の適用を検討する。</p>	<p>① 光学式水素ガスセンサの研究開発</p> <p>センサを構成する各要素につき、製品モデルを完成させ、評価試験による機能検証を完了する。(目標：水素ガス検出限界 500ppm、応答速度 2sec、使用温度上限 200℃)</p> <p>(a) 光学式水素ガスセンサの製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。</p> <p>(b) 各種フィールドにおいて製品モデルによる機能検証試験を実施する。</p>
<p>② 水素ガスリークディテクタの研究開発</p> <p>(a) 濃度 500ppm の水素ガスを検出するため、光源の最適化を行い、光源・伝送路・プローブ・受光器により構成されるシステムを試作し、機能評価を行う。</p> <p>(b) 光源の測定部への照射と、水素ガスからの反ストークス光の受光を高効率で行う伝送路とプローブを試作し、機能評価を行う。遠隔計測への適用可能性の検討を行う。</p>	<p>② 水素ガスリークディテクタの研究開発</p> <p>(a) 製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。(目標：水素ガス検出限界 500ppm、測定精度 30%)</p> <p>(b) 本技術の遠隔計測への適用可能性を見極める。</p>
<b>Ⅲ-①-(6) : 「水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発」</b>	
<p>① 機能モデルの製作、検証・評価／火炎可視化装置の小型化、水素火炎検知機能を有する間システムの開発、防爆構造の開発を行い、機能モデルを製作して検証、評価を行う。</p>	<p>① <b>製品モデルの製作・試作</b>／5m の離隔距離を以て火炎長が 2cm 程度の微小水素火炎を確実に可視化する機能を具備する画像伝送方式の監視システムの製品モデルを設計・試作する。上記監視システムの製品モデルによる機能を検証する。</p>

(4) 研究開発項目Ⅳ：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

『中間目標』(平成 27 年度)

国際エネルギー機関(IEA)や国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ(IPHE)において海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO2フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO2フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

『最終目標』(平成 29 年度)

IEA や IPHE における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

中間目標	最終目標
<b>Ⅳ-①：「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」</b>	
① IEA/HIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。 ② IEA/AFCIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。 ③ IPHE の本会議（運営委員会）やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供する。 ④ 各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。 ⑤ 各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する	調査事業のため左記①～⑤の活動を継続し、事業全体へ貢献する。
<b>Ⅳ-②：「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2フリー水素導入に関する調査研究」</b>	
① 有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからの CO2フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにする。	平成 27 年度で完了。

## 2. 事業の計画内容

### 2. 1 研究開発の内容

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

#### 研究開発項目Ⅰ：「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

FCV 及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、規制の適正化、国際基準調和、国際標準化に資する研究開発等を行う。水素ステーションに関しては、設置・運用等における規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法の確立等を実現させるための研究開発等を行う。FCV に関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を行う。

#### 研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

水素エネルギーの導入・普及のためには、機器単体及び要素技術レベルにおいて高性能化、軽量化、効率向上及びコスト低減が不可欠である。水素製造・輸送・貯蔵・充填の各機器並びにシステムとしての効率向上に繋がる技術について、ユーザの立場を考慮した高性能化、コスト低減、長寿命化及びメンテナンス性向上のため、以下の研究開発を行う。また、FCV に関しては、水素貯蔵容器のコスト低減に向けて水素貯蔵材料の開発を行う。

#### 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

2015 年の普及初期開始期に向けて、一般ユーザに安定したサービスを提供できるための運用技術の開発を実施する。また、2025 年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民の方々がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。具体的な目標設定については、実施項目毎に個別に行う。更にこれら技術開発と並行して、ステークホルダへの情報提供・コミュニケーションも含めたリスクマネジメントについての検討を行う。

#### 研究開発項目Ⅳ：「CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2 フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2 フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素の CO2 フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進める。

#### (1) 研究開発項目Ⅰ：「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

##### I-①-(1)：水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発（石油エネルギー技術センター／日本産業・医療ガス協会）

水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に、高压ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ① 70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討／70MPa スタンドの保安検査及び定期自主検査において、その検査方法を明確化する。そして関連する各検討テーマから得られた知見と共に、水素スタンド安全基準・指針の自主基準案として取りまとめる。
- ② 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討／圧縮水素運送自動車用容器につい

て、現在の技術基準では使用が規定されていないガラス球式安全弁が装置可能となる技術基準案を作成する。

- ③ 水素スタンドの距離規制見直しに関する検討／圧縮水素スタンドの離隔距離について、より実態に近い評価方法を検討することで離隔距離を見直した技術基準案を作成する。
- ④ 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討／公道でのガス欠対応のために、レスキュー車両に搭載可能な簡易水素充填設備の試作品を製作し、現行法規下での充填実証を行う。またディーラー若しくはそれに準ずる場所を特定多数の場所として選定し、そこに超小型水素充填装置を設置する場合の規制及び充填作業関係者の対応を調査する。
- ⑤ 圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討／圧縮水素運送自動車用容器について、充填・貯蔵・移動時の上限温度を圧縮水素自動車燃料装置用容器と同等の85℃まで認められるように、充填条件や設備、要件などの技術的な安全性の評価・検討を実施する。
- ⑥ 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討／海外で主要な方式として普及している液体水素による貯蔵・水素スタンドを市街地に建設出来るようにすると共に、ガソリンスタンドとの併設を可能とするための高圧ガス保安法、消防法、建築基準法に係る技術基準案を作成する。また液化水素ポンプを圧縮水素スタンドに設置可能とするための技術基準案を作成する。
- ⑦ 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討／1日の処理能力が30m<sup>3</sup>未満の小規模製造水素供給設備のガソリンスタンドへの併設、及び市街地への設置を可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案を作成する。
- ⑧ 水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備⇒ 別項目「(I-2)水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照
- ⑨ 温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討／圧縮水素スタンドの散水設備基準に関して、散水量低減方法の検討結果を反映したより合理的な散水設備の技術基準案を作成する。
- ⑩ 水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討／セルフ充填が可能となる高圧ガス保安法の見直し、及び技術要件案を検討する。

#### **I-①-(2)：水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討（一般財団法人石油エネルギー技術センター）**

水素ステーション等の高圧ガス設備に関する事故事例を調査し、水素スタンドのリスクに関する現状把握を行い、シビアアクシデントの想定を行う。そしてその対策として、蓄圧器が危険な状態となったときの非常措置マニュアルや危害予防規程に記載すべき項目案を作成する。また、これらの内容を基準化するための審査過程における対応を行う。具体的には以下の内容を実施する。

- ① 水素ステーションの事故に関する調査
  - 既存ステーションの事故事例調査
  - 高圧ガス設備の災害事例調査
- ② 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定
  - 過去の事故事例の整理
  - 劣化、ヒューマンエラー等の災害のきっかけとなる事象の想定
  - 事故シーケンス（事故の開始と結果）の検討
  - 災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出

③ シビアアクシデント対応策の策定

- ハード面での対策：蓄圧器の破裂を防止すべく、蓄圧機内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案の作成
- ソフト面での対策：保安設備作動時の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目について検討し、緊急時対応ガイドラインの作成

④ 審査過程における対応

- 例示基準案の審査過程における対応実施

**I-②-(1)：水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発**（千代田化工建設株式会社）

耐圧 82MPa で容量 300ℓ の TypeⅢ-CFRP 複合容器を対象として、水素ステーションで供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つである AE 法の適用について検証・実用化し、定期的な AE 検査を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認を可能とする技術の開発を行う。そして、本研究開発成果を高圧ガス保安法 保安検査基準および定期自主検査指針の制定に繋げると共に水素ステーションの普及、安全安心な運用に寄与する。

**I-②-(2)：水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発**（一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人九州大学）

①水素ステーションのコスト低減に繋がる可能性があつて、かつ機能維持に必要な汎用金属材料（例えば、SUS304、SUS310S、SUS316、SUH660、Cr-Mo 鋼、Ni-Cr-Mo 鋼、銅系材料、アルミニウム系材料など）について、水素ガス中での挙動の解明及び評価試験方法の検討を行い、水素の影響を受ける材料の場合は、その評価方法を確立する。

② 高圧水素が流通する構成機器の使用条件に応じて、検討対象とする鋼材の選定と、水素ガス中での挙動の解明、評価試験方法を確立する。

**I-②-(3)：複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発**（一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人東京大学）

複合圧力容器蓄圧器においては、その評価方法と実使用条件が大きく異なるものがあり、その評価方法のさらなる高度化・複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法のさらなる高度化などが望まれている。そこで、水素ステーション用複合圧力容器蓄圧器に係る基準整備等のため、複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化、CFRP の評価方法の高度化、複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化、複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討の研究開発を行う。これにより、複合圧力容器蓄圧器の安全性を確保したうえで長寿命化、低コスト化を図る。

**I-②-(4)：燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発**  
（一般財団法人金属系材料研究開発センター、株式会社日本製鋼所、新日鐵住金株式会社  
（共同実施：新日鐵住金ステンレス株式会社、愛知製鋼株式会社、国立研究開発法人物質・材料研究機構）

燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大を目的に、鋼材の材料評価データの取得と使用法の確立の検討を行うと共に、より広い温度範囲の材料評価技術等を確立し、必要なデータを取得して使用するために必要な技術基準の整備につなげるための検討を行う。特に、主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための Cr-Mo 鋼を中心とした金属材料の開発を行うとともに、主として蓄圧器周辺機器（配管・バルブ等）に適用される使用可能鋼材拡大のためのステンレス鋼を中心とした金属材料の開発の検討を行い、それらの高圧水素下



における強度、靱性、疲労特性等の材料評価データを水素脆化機構の解明と評価法の開発を平行して進めながら取得し、その耐水素性に応じた使用方法を確立するための検討を実施する。

### **I-②-(5) : 自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発**（一般財団法人日本自動車研究所、国立大学法人茨城大学、株式会社 UACJ、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、サムテック株式会社）

FCV に搭載される高圧水素容器について、(1)FCV 用圧縮水素容器に関する現行規制（KHK S 0128 : 70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準/2013 年 5 月 15 日施行）についての残存課題（プラスチックライナーの劣化調査）の解決、(2)国連基準 HFCV gtr Phase1（FCV の世界統一技術基準）の審議において、データが無いことで適正な国内基準として受入れられないことを理由に、容器の破裂圧力などについての審議を日本が Phase2 に先送りさせた問題の解決、(3)自動車用圧縮水素容器のコスト削減のためのアルミニウムなどの非鉄金属材料の性能要件化、に向けた技術開発を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ① 自動車用圧縮水素容器の安全性評価  
現行例示基準の課題解決に資するデータおよび国内基準整備および国際基準調和に資するデータを取得する。
- ② 国内基準の適正化および国際基準調和  
国連基準と国内規制の調和を進める国際基準調和活動では、国内審議を推進し、国際会議の対応を行い、国連の 98 年合意に基づき HFCV gtr Phase2 の国内導入を行う。また、関連する国際標準化活動を実施し、国内規制、HFCV gtr 等の基準との整合を図る。必要に応じ、関連する国際会議へ専門家を派遣する。
- ③ アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発  
本項目では、自動車用圧縮水素容器及びこれに関連するアルミニウム材料の基準整備・国際基準調和のための審議に必要な材料データを取得する。これまでの例示基準で指定されてきた 6061 は、データよりも他の容器での使用実績で指定されてきたように考えられる。ここでは、容器全体および関連材料の低コスト化を達成するために、従来の個別材料での技術基準化とは別に性能要件化を目指し、必要な技術開発を行う。

### **I-③ : 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発**（水素供給・利用技術研究組合（研究分担先：岩谷産業、JX 日鉱日石エネルギー、出光興産、大阪ガス、大陽日酸、東京ガス、東邦ガス、エンジニアリング協会）、一般財団法人日本自動車研究所）

水素ステーションにおいて FCV の要求する適正な品質の水素充填を実施するためには、ISO 国際規格で定められた水素純度や不純物純度を満たす水素品質であることが必要である。しかしながら ISO 国際規格には、水素品質測定の詳細規定や、測定頻度規定が無いため、適切な水素品質管理を実施するためにはこれらを規定した水素品質管理ガイドラインの作成が必要である。ガイドライン案は、基本的に、水素の原料や製造法毎に混入可能性のある不純物を検討し、ISO 基準の項目間の相関を踏まえて、管理すべき不純物の項目と品質管理頻度等を定める。また FCV は国際商品でもあるため、FCV がどの国でも同じ品質でサービスを受けることができるように、国際規格、国際表雲霞に関する技術検討を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ① 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発  
水素ステーションにおける FCV への水素供給を適正かつ安価・簡便に実施するため、水素品質管理の運用ガイドライン案を策定し、業界団体(FCCJ 等)へ提言を行なっていく。簡易分析装置は 1 台で 8 成分(一酸化炭素、二酸化炭素、全炭化水素、硫黄化合物、アンモニア、水分、酸素、窒素)のガス分析を ISO 規定値で分析実施できるシステムを開発する。

上記は当初契約期間（平成 25～27 年度）の目標であるが、これまでの研究開発の成果を踏まえて、簡易分析装置 1 台で ISO で規定された 12 成分全ての分析を実施できるシステム開発を目指して、平成 28～29 年度の事業延長を計画している。

## ② 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討

今後の ISO14687-2 改定に向けて、日本がコンビナ（議長）を務める ISO/TC197/WG12（水素燃料仕様）の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きい SAE（米自動車技術会）での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行う。

特に、当該国際規格中の分析法等の記述、品質管理手法の例示など、国内のガイドライン作成で並行して検討・策定される水素品質管理手法との整合を取る。また、当該国際規格に関連して水素燃料品質管理を規定する ISO19880-1（水素ステーション規格）等についてその国際審議に参加し、国際規格間の整合を期す。

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（平成 26 年 6 月 23 日／経済産業省発表）では今後の水素キャリアについて、「水素の輸送・貯蔵については、まずは現在有望と考えられている、有機ハイドライド及び液化水素の形で行うことを基本とする。」ことが明らかにされており、日本での品質管理には有機ハイドライドが求められる。有機ハイドライドが燃料電池に及ぼす影響について調査を行い、水素品質管理の運用ガイドラインとの整合性をとる。

## I-④：燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発（水素供給・利用技術研究組合、一般財団法人石油エネルギー技術センター、一般財団法人日本自動車研究所、九州大学）

高圧水素容器等の燃料電池自動車の水素貯蔵システムへの水素充填時間の短縮を図りつつ、過充填を防止して、安全かつ適正な水素充填を実現するための技術開発を行う。そして水素充填に係る国内基準類を整備すると共に、それらと整合した形で国際標準化を図る。具体的には以下の内容を実施する。

### ① 国内基準類の改正案作成及び制定

HFCV-gtr（水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準）に基づき高圧水素容器の基準が改定されることを踏まえ、それに対応するように水素ステーションの技術基準の適正化を図る必要がある。よって容器の能力の範囲内でより多くの水素を迅速かつ安全に充填出来るように、一般高圧ガス保安規則・例示基準並びに自主基準の改正案を作成する。また水素ステーションの充填性能が充填プロトコルに合致しているかを判断するガイドラインを策定する。

### ② 国際基準と国内基準類の調和、国際連携

充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きい SAE での審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導し、併せて ISO 国際規格への展開を図る。またノズルの氷結に係る課題解決のため、国内の実質的審議を行う ISO/TC197（水素技術）WG5（水素充填コネクタ）の国際標準化活動を展開すると共に、SAE の審議にも参加する。

### ③ 充填技術開発／充填技術検証

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ガスの供給温度の変化など、商用水素ステーションで発生する事象に対して柔軟に対応出来る自由度の高いプロトコル（FCV 用、大容量（FC バス用など）、小容量（二輪車用など））を開発する。また充填シミュレーションの技術的な問題により、現行のプロトコルによる充填には設備や運転に無駄があることから、新たなプロトコル提案に向けてシミュレーションを改良する。

### ④ 充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得

水素充填に必要な温度・圧力領域で、より精度の高い粘性係数、熱伝導率データを取得することで、現状±10～15%のシミュレーション精度を±5%に低減する。

## I-⑤：燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発（一般財団法人日本自動車研究所）

FCV や FC 二輪車を取り巻く主な規制は、車輛については道路運送車両法、圧縮水素容器・附属品については高圧ガス保安法で規制されている。今後、普及に伴い車両（圧縮水素容器および附属品を除く）に関わる安全技術の確立や基準・標準の整備、ならびに FCV や FC 二輪車の事故後処理や廃車処理などを考慮した安全性確保に関わる知見の拡充が必要となる。具体的には以下の内容を実施する。

### ① FCV の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

UN/ECE/WP29/HFCV-gtr Phase1 では、国内の技術基準には採用されていない試験法が新たに追加された。FCV の車両安全に関連した試験項目としては、自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験と衝突試験後の車室内水素濃度計測試験がある。自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験では、容器に耐性を持たせる方法と車体側で容器を保護する方法の二種類が選択できる。HFCV-gtr Phase1 では、前者の方法が議論の中心となっていたが、HFCV-gtr Phase2 では、後者の方による車載状態にある容器（以下、車載容器と称する）の局所火炎暴露試験法の議論が進むことから、本事業では、局所火炎暴露試験法の車両への適合性評価を進める必要がある。

また、米国から新たな試験法として提案された衝突試験後の車室内水素濃度計測試験については、これまでの日本の研究により試験の再現性に問題があることが明らかになり、本試験法開発の審議については HFCV-gtr Phase2 で行われることになった。そこで、日本がリーダーシップを発揮して議論を推進させるために、FCV の車両安全に関わる HFCV-gtr Phase2 の策定に資するデータ取得を進めるとともに、国連の 98 年合意に基づいた HFCV-gtr Phase2 の円滑な国内導入を図るためのデータ取得を実施する。

### ② FCV の国際標準化

本事業で得られた試験結果を活用し、HFCV-gtr Phase2 に対して、日本がリーダーシップを発揮して審議を進めるため、一般社団法人日本自動車工業会 (JAMA) と協力しながら、HFCV-gtr に影響する ISO/TC22/SC21/WG1 (FCV 等の車両安全規格) 等を国連基準に調和させるための国際標準化活動を行う。併せて、上記 HFCV-gtr の事前協議の場として有効な SAE (Society of Automotive Engineers : 米国自動車技術会) 会議にも積極的に参画し、上記 HFCV-gtr との整合を図るための活動を行う。

### ③ 安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得

FCV の事故後の安全確保に関しては、JAMA と連携し、衝突・火災事故時に発生する事象を網羅し、適切な対応を実施する上で、新たに評価すべき課題と試験内容の明確化を進めてきた。これらの成果に基づき、本事業では、(1) 火災後における容器の健全性確認手法の検討、(2) 衝突後における容器の健全性確認手法の検討、(3) 容器の脱ガス手法の検討、(4) レスキュー時の安全性に関する検討、(5) 事故車両へ安全に接近する手法の検討などを行う。また、FCV の安全な廃車処理の手順を検討するため、廃棄処理作業に関わる水素容器の脱圧方法や穴あけ方法、シュレッターなどによる容器切断などにおける安全確保のためのデータを、実作業の効率も考慮しながら取得し、FCV の容器クズ化マニュアルの改訂に資するデータを構築する。

### ④ FC 二輪車の安全に関するデータ取得

2015 年からの FC 二輪車の市場投入を促進するため、FC 二輪車に係る保安基準の策定、型式認定制度の整備方策について検討することが閣議決定されている。FC 二輪車は UN/ECE/WP29 において、安全の担保を目的とした世界統一技術基準 gtr13 の範囲外になっており、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定める必要がある。具体的に

は、gtr13ならびに道路運送車両の保安基準 細目告示別添 100（水素安全）および別添 101（電気安全）を参照し、さらに FC 二輪車の特性を考慮した安全要件を整備する必要がある。

FC 二輪車の安全要件を整備するためには、転倒の可能性が高い FC 二輪車の特性を考慮し、適正な安全要件を検討する必要がある。さらに、二輪車固有の問題である停止時の転倒や走行中の転倒に対する安全性を、FC 二輪車への要件の追加適用の必要性についても検討する必要がある。そこで、本事業では、（一社）日本自動車工業会と連携しながら、FC 二輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することを目的とする。

## （2）研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

### Ⅱ-①-(1)：アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）（サムテック株式会社、JX 日鉱日石エネルギー株式会社）

アルミニウム合金製(AL)ライナーを用いた炭素繊維強化プラスチック(CFRP)容器において、アルミライナーの内面処理や新規アルミライナー材の適用により、使用回数の長寿命化を図る。また、あらかじめ樹脂を炭素繊維(CF)に含浸させたトウプリプレグ(TPP)を用いた加熱フィラメントワインディング(FW)法の技術を量産化に適用し、コスト削減を図るとともに、革新的な新設計により更なるコスト削減を目指す。

### Ⅱ-①-(2)：スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）（JFE スチール株式会社、JFE コンテナ株式会社）

ライナーを大量生産されている安価なシームレス鋼管を用いて製造し、そのライナーに圧力保持させ、耐圧性能および疲労特性の不足分を少量の CFRP で補う構造とするスチール製ライナー CFRP 複合容器蓄圧器を開発する。具体的には下記を行う。

- ① 簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測
- ② スチールライナーの寿命検討
- ③ スチールライナー-CFRP 複合蓄圧器の開発
- ④ 複合蓄圧器の設計の妥当性検証
- ⑤ 特認取得への取組

### Ⅱ-①-(3)：樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）（八千代工業株式会社、東邦テナックス株式会社）

水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維強化プラスチック(CFRP)をフィラメントワインディング(FW)法で巻回することにより製造する樹脂製ライナー複合容器(タイプ4)から成る蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を行う。具体的には以下の内容を実施する。

- ① タイプ4 容器の大型化 F/S/小型複合容器の試作製造指針の決定をする。
- ② 樹脂ライナー材料の評価/小型複合容器の試作向け材料の仮決定および蓄圧器用途に適したライナー材料の絞り込み及び耐久保証方法(クライテリア)の仮設定をし、大型容器の試作向け材料の決定をする。
- ③ FW 強度 CAE 相関取り/大型複合容器の FW 層構成の決定をする。
- ④ ライナー構造/製法検討/大型化を踏まえた小型複合容器のライナー試作方案を決定し、最終的な大型ライナー製法及び口金構造を決定する。
- ⑤ 検討用試作品の製作/30L クラス小型複合容器を試作し製作課題の抽出を終了後、120L クラスの試作で更なる製作課題を抽出する。また合わせて(3) CAE の実証を終了させる。
- ⑥ 実水素使用の性能試験/水素影響に関する課題抽出終了と対策方案の決定をする。

- ⑦ 最適物性 CF の開発／CAE 解析による必要 CF 特性の把握をし、改良 CF による、CF 使用量低減 10%以上（現行 CF 対比）を達成する。
- ⑧ サイズ剤の開発／擦過性、ストランド形態の安定化に関する評価方法の確立をし、CF 強度発現率の向上を実現するサイズ剤の選定をする。

#### II-①-(4)：樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）（中国工業株式会社）

大型（300L）リニアローデンポリエチレン（LLDPE）製ライナー本体を一体で回転成形する。そのことにより耐久性に優れた Type4 複合容器を安価に製作する技術開発を行う。具体的には以下の内容を実施する。

- ① 回転成形を適用して安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術の確立。
- ② 水素ガスバリア材として G-Polymer を使い、回転成形によって多層成形する技術の確立
- ③ バルブ等、外部機器との接続のための口金を LLDPE にインサートして水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを研究開発する。
- ④ 口金ブロックを融着したプラスチックライナーを CFRP で補強し、低コスト・大型 Type4 複合容器を研究開発する。
- ⑤ CFRP 層は、層全体が有効に強度に寄与するためのフィラメントワインディング（FW）成形技術を確立する。

#### II-①-(5)：樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）（丸八株式会社、株式会社巴商会）

水素ステーションの低コスト化及び供給高圧水素ガスの低コスト化の為、TYPE 4 複合容器による蓄圧器、貯蔵輸送システムの構築するための技術開発を行う。具体的には以下の内容を実施する。

- ① 超高圧・大容量の TYPE 4 複合容器開発の為の設計・解析
- ② 現行設備で製作可能な範囲で水素ステーション用に供する TYPE 4 複合容器蓄圧器（設計圧力 106MPa、容積 30L 級～150L 級）を試作開発
- ③ 現行法規及び基準整備に対する対処方法の検討
- ④ 樹脂ライナーの成形溶着技術、ワインディング技術及び貯蔵輸送システム等の要素技術の見極め
- ⑤ 大容量化の課題を抽出し解決に取り組む

#### II-①-(6)：水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発（委託）（水素供給・利用技術研究組合、国立大学法人九州大学（再委託：国立大学法人山形大学、国立大学法人大阪大学）、一般財団法人化学物質評価研究機構、横浜ゴム株式会社、NOK 株式会社、日本合成化学工業株式会社）

水素ステーションの常用圧力である 82MPa に対応した樹脂製充填ホースとシールシステムの実用化技術開発を行うとともに、これらの実績データや材料の基礎評価結果を踏まえ、さらに高性能化を目指した試作品の開発を行う。また、樹脂製の高圧水素用ホースとシールシステムの健全性を評価するための試験の種類、試験条件、評価基準等、水素ステーションでの使用に関する評価基準案を策定する。

- ① 樹脂製高圧水素用ホース・樹脂製高圧水素シールシステムの開発
- ② 高圧水素用ホース・高圧水素シールシステムの評価基準に関する研究

## II-①-(7) : オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発 (1/2 助成) (大日機械工業株式会社)

複合型改質器(水蒸気改質器、CO 転化器及び蒸気発生器を高度に集積一体化した改質器)を搭載することで水素製造装置を構成する機器類を大幅に削減したオンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の研究開発を行う。開発するオンサイト型水素ステーション用水素製造装置の価格は 5,000 万円(100 Nm<sup>3</sup>/h)以下に抑える。

ステージ II では、ステージ I で実施した基本設計及び改質器反応管の詳細設計の結果に基づき、複合型改質器及び水素製造装置の詳細設計、複合型改質器を搭載した水素製造装置の製作、水素製造装置の実証試験、複合型改質器及び水素製造装置の運転評価を実施する。

## II-①-(8) : 複合型高圧水素圧縮機の研究開発 (1/2 助成) (株式会社サクシオン瓦斯機関製作所)

高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで、1 台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コスト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。吸入圧力 0.4MPa 吐出圧力 99.5MPa、容量 340 Nm<sup>3</sup>/h 電動機出力 110 kW、当初 5 年間目標コスト 7,500 万円、その後目標コスト 6,500 万円とするとして開始した。

## II-①-(9) : 低コスト・プレクーラーの研究開発 (1/2 助成) (株式会社巴商会)

シェルアンドコイル型熱交換器を用いたプレクーラシステムを製作する。また、プレクーラーの最適化設計(イニシャルコスト・ランニングコスト)、非揮発性ブラインの採用検討を実施することで、低コスト・プレクーラシステムを開発する。

## II-② : 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発 (委託) (国立大学法人九州大学、日本重化学工業株式会社、国立大学法人東北大学多元物質科学研究所、株式会社アツミテック)

2014 年に販売開始された燃料電池自動車の車載水素貯蔵技術としては、「高圧容器システム」(35MPa 又は 70MPa の高圧水素を容器に充填するシステム)が採用される予定である。しかしながら、燃料電池自動車の本格普及に向けては、「高圧容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストかつ形状自由度のある「水素貯蔵材料容器システム」(水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム)の実用化が必要とされている。

そのため、平成 24 年において、NEDO では「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」を推進して、燃料電池自動車への実用化を目指した水素貯蔵材料の課題抽出、研究の方向性の策定などを行った。本研究開発は、その成果に基づき、燃料電池自動車へ搭載するための実用化候補材料に関して

- ① 金属系水素貯蔵材料の研究開発
- ② 吸着系水素貯蔵材料の研究開発
- ③ 軽量水素貯蔵材料の研究開発

にブレークダウンして、日本重化学工業、東北大学、アツミテック、九州大学が中心機関となり、それぞれ分担して研究開発を推進した。

## II-③ : 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発 (委託) (水素供給・利用技術研究組合、株式会社タツノ、岩谷産業株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)

FCV および水素供給インフラの普及開始及び拡大に備え、水素計量方法や水素ディスペンサーの評価方法の基準化・規格化を進め、将来の特定計量器化(計量法第2条に定める特定計量器化)に備える必要がある。そのため、トレーサビリティを確保した水素計量をシステムの確立を目的として、高圧水素計量技術の開発と技術検証として以下を行った。

- ① 重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定
- ② 重量法による評価方法の確立
  - ・ 代替流体による校正方法(出荷前検査)
- ③ マスターメーター法による評価方法の確立
  - ・ 高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析

### (3) 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

#### Ⅲ-①-(1)：水素ステーション高度安全・安心技術開発（水素供給・利用技術研究組合）

本研究開発は、水素ステーションにおける安全・安心を目指し、水素ステーションのトラブル事例データベースの構築および水素ステーショントレーニングセンター構想案（教育マニュアルの作成を含む）の検討を進めるとともに、一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を検討するものである。水素供給・利用技術研究組合（HySUT）は、以下に示すテーマの取り組みを実施する。

##### ① 水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始期に向けた水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。更に業界自主基準の制定に向けたガイドライン案を策定する。

- ・ トラブル事例データベース化の検討
- ・ 人材教育・育成手法の開発
- ・ トータル運用技術の開発

##### ② 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施する。

#### Ⅲ-①-(2)：高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発（エア・リキード・ラボラトリーズ株式会社（再委託：国立大学法人九州大学））

高圧水素ガス配管用に高窒素ステンレス鋼の使用と溶接継手の導入が期待されている。窒素は材料強度と耐水素脆化特性を向上させる重要な元素であるが、溶接熱によって窒素放出または窒素の存在状態変化が生じることが懸念される。本研究開発は、大きく分けて以下の3つの研究開発項目からなり、これらの研究開発成果を活用することで高圧水素ガス配管への高窒素高強度ステンレス鋼溶接継手導入を目指す。

- ・ 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発
- ・ 溶接金属の金属組織評価
- ・ 溶接部の水素脆化評価

### Ⅲ-①-(3)：水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発（佐賀県、有限会社鳥栖環境開発総合センター、一般社団法人日本雷保護システム工業会）

ベントスタックへの落雷を想定し、人的被害及び、水素ステーションに使用されている計器類への被害の発生リスクを検証し、被害防止に向けた研究開発を実施する。

### Ⅲ-①-(4)：水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発（学校法人早稲田大学、株式会社坂本電機製作所、KOA 株式会社）

本プロジェクトは、2025年の水素ステーションの本格普及期に不可欠な技術要素である高度な次世代水素ガスセンサの開発を目的として実施している。水素ステーションの普及に求められる要件には、トラブルの未然防止及び迅速な解決に必要な安全技術の向上、周辺地域に理解される安心技術を両立することが重要な課題となっている。現状の水素センサではガスの選択性・検出感度・応答性・環境補償性・低消費電力等の要求を満たした上で、更にセンサ素子自身の劣化状況監視機能を組み込むことはセンサの動作原理上不可能である。これに対し、本グループが実現する水素センサでは、白金触媒と水晶振動子を組み合わせることにより水素ステーションで使用されている従来の水素センサの性能目標を達成し、その上でMEMS (Micro electro mechanical systems) 技術を応用することで白金の使用量を低減することにより価格低下を実現する。更に、例えば水晶振動子のQ値などの特性変化を検出することによってセンサの故障や性能劣化が随時監視できる自己故障診断機能を新たに開発し、その機能を付加することで水素センサの信頼性向上及び、維持コスト削減を実現する。

平成26年度～平成27年度のプロジェクト期間においては、以下の8項目について研究開発を行う。

- ① 水素センサの要求仕様と評価法の調査
- ② センサの高感度化と製作プロセスの確立
- ③ シミュレーション技術の開発
- ④ 水素センサ評価装置の改良
- ⑤ 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査
- ⑥ センサ駆動回路の開発
- ⑦ 水素センサ実用化における法規に関する調査
- ⑧ センサパッケージの開発
- ⑨ 検出部ケースの開発

### Ⅲ-①-(5)：光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発（株式会社四国総合研究所、国立大学法人千葉大学）

本研究開発では、水素ステーションの日々の運用やメンテナンスの効率化、あるいはトラブルの未然防止や発生時の対応の高速化を目的として、現在用いられている水素検知器に対し、応答が速く、センシング部に電気系を用いない光学式水素ガス検知装置として、用途別に2種類のシステムを開発する。目標仕様の設定に当たっては、最新の水素ステーションや水素利用技術関連企業を対象にニーズ調査を行い、その結果を反映させる。

### Ⅲ-①-(6)：水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発（株式会社四国総合研究所）

水素ステーションの運用におけるトラブルの未然防止や、トラブル発生時の迅速な対応を効率的に実施するために、視認できない水素火炎を可視化することのできる防爆仕様の装置を開発することにより、水素火炎検知機能を有する監視システム、および高性能携帯型水素火炎可視化装置を提供する。



#### (4) 研究開発項目Ⅳ：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

##### Ⅳ-①：海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究（株式会社テクノバ）

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO2フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進めることが重要である。そのため、海外の状況のタイムリーな把握と、その譲歩展開、さらに我が国からの情報発信がますます重要になってきている。この目的のために特に、以下のことを実施する。

- ・ IEA の水素実施協定と先端燃料電池実施協定、IPHE の活動等を通じ、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、収集した情報を発信する。
- ・ 重要な国際会議体等について、参加するだけに留まらずその活動を日本が主体的にリードする。

##### Ⅳ-②：有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査研究（千代田化工建設株式会社）

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、以下の項目について調査研究を行う。

- ①エネルギー・環境政策の調査 / ②電力事業の調査 / ③再エネ賦存量の調査 /
- ④港湾の調査 / ⑤水電解装置の調査 / ⑥案件の絞り込み /
- ⑦フィージビリティの調査 / ⑧水素利用方法の調査 / ⑨実証プロジェクトの検討 /
- ⑩シナリオ構築と課題抽出

## 2. 2 研究開発の実施体制

本事業は、四つの研究開発項目で構成し、水素社会構築に向け、規制改革会議で閣議決定された規制見直し項目の解決や国際基準、標準に資する「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」、水素ステーションで利用されるシステムの低コスト化に資する「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」、大量普及時代に向け、次世代技術の開発や一層の安全・安心に資する「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」、CO2フリー水素による社会構築を達成するための国内外における政策・市場・研究開発動向の調査等に資する「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」とした。これらは最終目標に向け、要素技術開発の各テーマで個々の開発目標を設定し実施している。各テーマの成果を確実にするために、それぞれ外部識者が参加するWG制度を整え、定期的を開催する仕組みとしており、同時に研究開発体制が変化するニーズに対応できるよう微調整等も行えるようにした。例えば「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」では、平成25年6月、平成27年6月の閣議決定によりFCV、水素インフラに関する規制見直し項目が追加されたが、事業に関連するテーマについては閣議決定されたスケジュールに合わせて事業内容も変更するなど柔軟に対応している。

本事業で採択した下記に記載の実施者は各テーマの先駆的な実施者で技術力もあり、また将来の事業化に向けた企業規模を有する実施者である。これらの事業者は平成25年度開始時だけでなく、事業の進捗に合わせて必要なニーズを満たすために、数回の追加公募等を経て採択した。

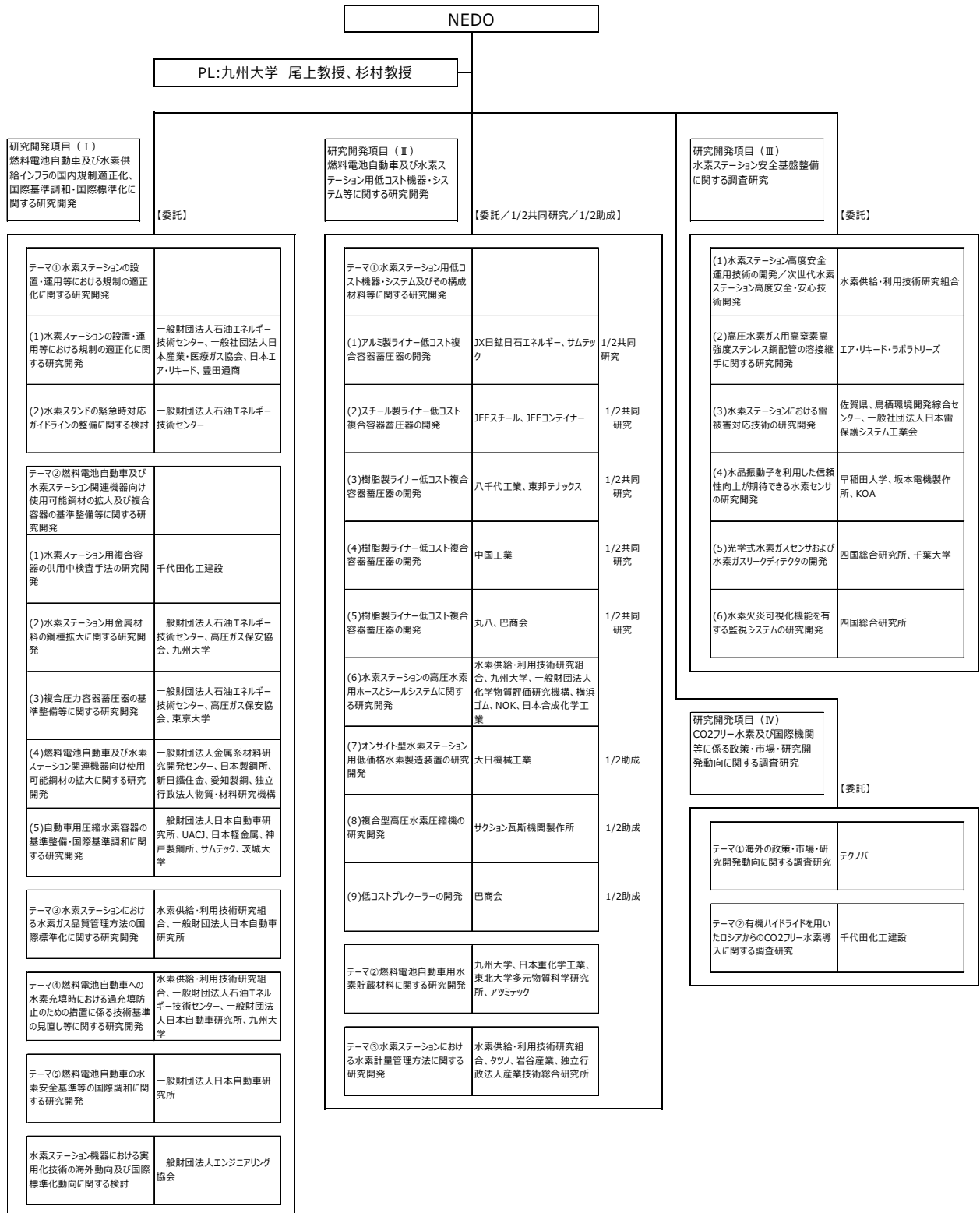
また本事業は、範囲が非常に広く、基礎研究から、成果の産業化に至るまで、指導・助言を行う必要がある。そのため、アドバイザーを2名設置し、それぞれ以下の分担にて事業関係者に対し、指導・助言を行うこととした。

①成果の産業化、コスト評価等全般の統括指導

②水素物性・材料評価等の基礎・基盤領域研究全般の統括指導

①については「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」のPL経験者である九州大学尾上教授が行い、②については、水素物性・材料評価等基礎研究に知見がある九州大学水素材料先端科学研究センター(HYDROGENIUS)の杉村センター長が行った。

# 実施体制の全体図



## 2. 3 研究の運営管理

### ●研究開発の進捗管理の妥当性

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び PL や研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業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、必要に応じて研究開発実施者が設置する WG 等における外部有識者の意見を実施計画に反映させると同時に、NEDO、PL はオブザーバ出席を行い適切な助言を行う他、適時委託先から実施計画の進捗について報告を受ける等を行う。また、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者間での報告会を開催し、実施者間及び関係産業界等との情報の共有と共通認識を図ることとする。

### ●NEDO と実施者との面談及び意見交換について

各実施者が設置する WG 等へのオブザーバ出席を通して、実施計画に基づく「進捗状況の報告、課題の抽出、今後の実用化に向けた見通し等」について聴取し状況把握と助言等を行った。また毎年の成果については、毎年度毎のマイルストーンを設け、毎 3 月提出される中間年報により確認をしている。また予算執行状況については毎 9 月と毎 3 月に中間検査を行い、実施計画と乖離が認められる場合については事業者個別に適切な予算運営を指導した。以上により今後の各テーマの課題等を把握し適切な方向付けを実施した。

### ●他事業及び事業内の連携体制について

他事業との連携体制について、関係する事業として「水素利用等先導研究開発事業(P14021)」「水素社会構築技術開発事業(P14026)」「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発(P13001)」「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業(P15001)」があり、事業担当者が兼務または連携して進める。

事業番号	事業名	内容
P13002	水素利用技術研究開発事業	2020 年以降の FCV 及び水素供給インフラの本格普及に向けて、FCV 及び水素ステーション関連に資する事業を行う。
P14026	水素社会構築技術開発事業	大規模な水素利用、輸送、貯蔵手段を検討し、2030 年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築に資する事業を行う。
P14021	水素利用等先導研究開発事業	2030 年頃の長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格を狙う。
P15001	固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業	固体高分子形燃料電池(PEFC)の社会への本格実装に向けて、PEFC の大量普及に必要な要素技術を確立する。
P13001	固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発	固体酸化物形燃料電池(SOFC)エネファームの本格普及及び中・大容量システムへの展開のための技術開発及び実証研究を、以下の項目について行う。

本事業は水素ステーションならびに FCV の普及に直結する事業を担い、2014 年に開始された FCV の一般販売や水素ステーションの拡大普及に係る技術に資する。その他の事業については 2030 年頃の実用化を目指す長期的な事業である。

また事業内については NEDO または PL が WG 等へのオブザーバ参加や、実施者との打合せを通じ、必要な場合は他事業の成果の紹介や他 WG への参加等を助言することで、連携を行っている。

## 2. 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

経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では 2015 年(平成 27 年)を FCV、水素インフラの普及開始期として位置付けている。

水素インフラについては「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(P08003)」(事業期間:平成20年度~平成24年度)で上記の普及開始目標に向け、水素製造・輸送・貯蔵・充填に関する低コストかつ信頼性・耐久性に優れた機器およびシステムの要素技術開発、実用化技術開発を行った。その後、研究開発成果はFCV、水素インフラの実証試験を行う「水素供給インフラ技術・社会実証(P11003)」(事業期間:平成23年度~平成25年度)で3つの商用モデル水素ステーションを建設することで実証し、現在の水素ステーション建設等で実用化されており、平成26年9月から始まった商用ステーションの開所・営業開始へと実用化された。

本事業で行う、研究開発項目Ⅰ「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」の成果により策定される技術基準等については直ちに研究開発成果が利用できるよう、策定後の利用を想定したマネジメントを行っている。研究開発項目Ⅱ「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」については技術確立後、水素インフラ関係者への紹介なども行い、数年以内に市場への投入ができるように仕組み作りを行っている。また研究開発項目Ⅲ「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」については、数多くの水素ステーションが普及することを想定して、水素インフラの事業者の協力を通して、安全データベースの構築やトレーニングマニュアルの作成等を行い、研究開発成果が普及に速やかに反映できるための仕組みも作成している。また得られる成果が国際的な基準や規格に一致しない場合は、国際商品としての流通に不利益となる可能性がある。そのため、研究開発項目Ⅳ「CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」を実施している。

現行の法規制等が見直されても、実用化、事業化の技術開発が進められておらず、普及への支障となる場合がある。そのため、実施にあたっては研究開発項目Ⅰで規制の見直し等の事業を進めるだけでなく、研究開発項目Ⅱで低コスト技術を行い、規制見直しが完了すると同時に、実用化した技術が速やかに投入されるようにしている。

成果を上げた後の実用化、事業化を優位にするためにも特許出願等を積極的に出願し権利化するよう指導している。また、外部への成果のアピールのため、論文、プレス発表等を積極的に実施することも指導している。

### 3. 情勢変化への対応

本事業開始後、次世代自動車の世界最速普及に向け、平成26年9月の商用水素ステーションの開所、FCCJ、JAMAなど民間要望を受けた平成25年6月、平成27年6月の規制改革実施計画の閣議決定、ISOやHFCV gtrの国際基準や規制などへのスケジュール対応などFCVと水素ステーションを取り巻く環境は普及拡大に向けて、大きく変化しつつある。このような情勢変化に対応するため、

- (1) 平成25年6月閣議決定の規制改革実施計画での規制見直し項目に対応するため、「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」及び「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」の項目を追加。
- (2) 現在展開される水素ステーションの一層の安全や次世代の水素ステーションに必要な技術開発のために、「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」を新たにテーマとして立ち上げ、追加公募を実施。
- (3) HFCV-gtrで新しく提案された材料の性能要件化に対応し、日本が議論をリードするために「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」の体制変更を実施。
- (4) 平成26年6月のエネルギー白書発表に伴う、新しい水素キャリア(有機ハイドライド)に対応した水素品質が現行のISO14687-2と不整合を起ささないように「FCV及び水素供給インフラ

の国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」の実施計画を見直し。

- (5) 平成 27 年 6 月閣議決定の規制改革実施計画での規制見直し項目に対応し、それに伴う新しい技術開発を支援するため、追加公募を実施。
- (6) 以上を事業に取り込むとともに、2015 年普及開始期に実用化が必要、且つ実用化が可能な技術開発等に重点を当てた予算配分を行った。

#### **4. 評価に関する事項**

事前評価については、平成 25 年 2 月（研究開発項目 I, II, IV）及び平成 26 年 2 月（研究開発項目）に NEDO 新エネルギー部が事前評価書としてまとめ、公開されている。また 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、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成 27 年度に、事後評価を平成 30 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

中間目標に対して下記の表のとおり概ね達成する見込みである。本事業の最終目標はFCV、水素ステーションの普及拡大への貢献であるが、現在、米国、独国では実証段階であるが、日本では一足先の平成25年にFCVの一般販売、ならびに商用ステーションの開所が始まった。世界的に見ても日本は先駆者であり、最終目標を達成すれば地球温暖化防止等の対応のため、この成果は日本国内のみならず世界市場の拡大が期待できる。FCV、水素ステーションが普及すれば民間レベルで各機器の効率化、低コスト化等の技術開発の競争が促進されることが期待できる、

#### 1. 1 研究開発項目Ⅰ：「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

規制見直し項目等については、(1)燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表(H22.12.28)、(2)規制改革実施計画(H25.6.14閣議決定)、(3)規制改革実施計画(H27.6.30閣議決定)で指定された項目は計画的に進められており、事業での成果により順次規制見直しが進められている。これらの成果により、液化水素スタンドの市街地設置や低コスト材料の適用などが可能となり、水素インフラの利便性が高まりつつある。一方で、FCVの国際標準化等についても国内法と矛盾の無いように進められ、水素品質、水素充填技術、水素安全など国際商品として普及に要となる技術については日本がリードする形で進められている。以上のことから中間目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。各プロジェクトの詳細については、2.1項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

#### 1. 2 研究開発項目Ⅱ：「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関しては、経済産業省から公表された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(H26.6.23)にて、整備費及び保守費を現在の約半額程度になれば、水素ステーション及び燃料電池自動車の今後の自立的に商用展開していくことが可能と考えられている。本事業では、低コスト機器・システム等の実用化技術開発を実施している。中間目標であるが、水素ステーションコスト・性能目標達成(Ⅱ.1.1参照)に向けた見通しを得ることであるが、目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。各プロジェクトの詳細については、2.2項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

#### 1. 3 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかり、2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定するという中間目標であるが目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。各プロジェクトの詳細については、2.3項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

#### 1. 4 研究開発項目Ⅳ：「CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

現在、燃料現地自動車用燃料となる水素はナフサや都市ガス改質など化石燃料を由来とするものである。しかし、地球温暖化対策推進本部が公表した「日本の約束草案」(H27.7.17)にて掲げられている通り、運輸部門での温室効果ガスの排出量削減目標達成のためには、水素燃料のCO<sub>2</sub>フリー化は重要である。加えて、発電部門での石油、天然ガス、石炭比率の低減及び再生可能エネルギー

ギー比率の増加のために、水素利用技術は重要であり、水素社会構築技術開発事業及び水素利用等先導研究開発事業において技術開発が行われている。このようなエネルギー利用の方向性は世界各国でも同様な状況であり、海外においても水素利用技術の実用化に向けた研究開発が進められている。CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究においては、現在の海外の動向をタイムリーに把握し国内の水素利用技術関連事業者へ展開することが中間目標であるが、目標に対して十分な成果を達成しており、最終目標に向けて進捗中である。

各プロジェクトの詳細については、2. 4項の研究開発項目毎の成果に掲載。

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規制見直しは予定通りに進んでいる。また水素充填ガイドライン、水素品質ガイドライン、水素計量ガイドラインなど普及拡大に必要なガイドラインも策定されつつある。</li> <li>FCVの国際流通に必要なISO、SAE、HFCV gtrは日本が議論をリードする形で成立している。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>規制改革実施計画(平成27年6月閣議決定)のNo.46「水素スタンドの使用可能鋼材に係る性能基準の整備」について、低合金鋼の技術ガイドラインを作成する。</li> <li>日本では今後MCH由来の水素を主要な水素キャリアの一つとしていくが、不純物としてMCH・トルエン等与える影響を明確にする。</li> <li>HFCV gtrについて、材料の性能要件化項目、破裂圧力の適正化については引き続き、高圧ガス保安室とも連携しながら進めていく。</li> </ul>
II	<p>&lt;水素ステーション&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見直し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。</li> </ul> <p>&lt;FCV用システム&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。(容器質量を勘案してもシステムで6 mass%を実現できる水素貯蔵能力、-30℃のFCV起動に対応可能なこと、1000 NL/minが必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧水素用(82MPa用)ホース・シールシステムが開発され、平成28年3月までに実用化する目処を得た。また、これらの技術の評価基準を策定し、一般事業者が装置設計を成せる環境を整備した。</li> <li>コスト目標を達成するプレクターシステム、水素圧縮機、水素製造装置を開発し、実用化完了する目処を得た。</li> <li>複合容器蓄圧器の実用化技術が開発され、大型化達成の目処を得た。</li> <li>水素計量技術及び計量器校正等の管理技術を確立し、水素ステーションでの公正な水素販売を実現した。</li> <li>水素貯蔵システムとしての要求仕様を達成しうる水素貯蔵材料を選定した。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後国際標準に対応したさらに高圧の水素(87.5MPa)の利用を実現するため、更なる耐圧性能を有するホース・シールシステムを開発する。</li> <li>機器の低コスト化、長寿命化及び信頼性向上のため、樹脂材料に及ぼす水素の影響の解明が必要である。</li> <li>水素ステーションの機器コスト及び建設コスト低減のため、大型複合圧力容器蓄圧器(Type2,3,4)を開発する。</li> <li>水素貯蔵システムとしての要求仕様を満足する水素貯蔵材料を開発する。</li> </ul>



項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
Ⅲ	<ul style="list-style-type: none"> <li>2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。</li> <li>2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、低コストかつ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セーフティデータベースを作成し、事業者間からの情報収集と展開の仕組みを完成した。</li> <li>水素ステーションのオペレータ向けの教育設備訓練内容指針(案)を作成した。</li> <li>ポータルサイトを開設し、一般の方への情報提供を開始した。</li> <li>次世代の水素ステーションに必要な技術課題を明確にした。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>セーフティデータベース及びオペレータ向け教育説部訓練指針については、商用水素ステーションでの更なる展開。</li> <li>次世代水素ステーション技術開発について開発課題の具現化。</li> <li>商用水素ステーションでの新規需要創出。</li> </ul>
Ⅳ	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際エネルギー機関(IEA)や国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ(IPHE)において海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO2フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO2フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEA、IPHEでの海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報収集、及びCO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を実施し、国内の水素・燃料電池利用技術関係者へ情報展開した。その結果、海外の研究開発動向、段階をふまえた新たな研究開発が水素社会構築技術開発事業等で開始され、水素利用技術の展開範囲が拡大した。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>継続して海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報収集し、国内関係者間で情報共有を行う。</li> <li>水素ステーション、燃料電池自動車だけでなく、更なる水素・燃料電池利用技術の利用拡大の動向についても情報収集する。</li> </ul>

研究開発項目：

I：「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

II：「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

III：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」（委託事業）

IV：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

## 2. 研究開発項目別の成果

各テーマについての成果概要は以下のとおりである。

### 研究開発項目 I：「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

中間目標	研究開発成果	達成度
<b>I-①-(1)：「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」</b>		
①70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案の作成、及び蓄圧器の検査方法の調査。	・35MPa 圧縮水素スタンド自主基準案作成、70MPa 水素スタンド定期自主検査項目整理	○
②圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 圧縮水素運送自動車用容器に、ガラス球式安全弁の装置を可能とする技術基準案の作成。	・HFCV-gtr 及び海外標準の調査・検討、ガラス球式安全弁に対応した技術基準案作成	○

中間目標	研究開発成果	達成度
③水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、及び高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成開始。	・水素ガス高圧噴爆時の拡散濃度に関する詳細解析実験内容の検討、実験計画立案	○
④公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。	・簡易充填設備製作と模擬実証実験、公道充填課題抽出、設備仕様と運用方法の検討	○
⑤圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度（85℃）以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成、水素トレーラ火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討。	・シミュレーションによる容器温度検討、使用上限温度を65℃まで引き上げる技術基準案作成、トレーラ火災被災容器損傷調査の実施	○
⑥液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの技術基準案作成、及び消防法、建築基準法の措置に資する資料作成。	・液化水素貯蔵型圧縮水素スタンド関連の経済産業省令・例示基準、業界自主（JIMGA-S）、消防法、建築基準法の措置完了	○
⑦2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 第2種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案作成、及び追加安全策の検討。	・水電解昇圧装置の安全性検討、第2種製造者圧縮水素スタンド技術基準案作成	○
⑧水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備 ⇒別項目「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照	—	—
⑨温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成。	・水素スタンド蓄圧器の散水量低減方法の考え方整理、シミュレーション手順・条件検討	○
⑩水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 平成27年度より開始。	・平成27年度後半開始	—
<b>I-①-(2)：「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」</b>		
① 水素ステーションの事故に関する現状把握 ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査。	・既存ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査を実施し、水素ステーションにおける潜在的リスク整理	○
②水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定 事故シーケンスの検討、重大性の高い災害事例の抽出。	・高リスクのトリガー現象を想定、事故シーケンスを検討し、災害拡大イベントツリー等により重大性の高い災害事象を抽出	○
③シビアアクシデント対応策の策定 リスクアセスメントの実施、緊急時対応ガイドライン作成。	・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案を作成、「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」を作成	○
④ 審査過程における対応 例示基準案の審査過程における対応実施。	・③の例示基準案については、一般高圧ガス保安規則での基準化に向け、審査会での説明などを実施	○

中間目標	研究開発成果	達成度
<b>I-②-(1) : 「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」</b>		
(a) 複合容器のアルミライナー素材のアルミ合金の疲労進展に伴う AE を検出・評価する。 (b) 複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信号に及ぼす影響を調査。 (c) 複合容器の炭素繊維層の AE 波の特徴を把握。 (d) 複合容器の疲労試験中の AE 発生挙動を分析し、疲労劣化の進展度を AE 法によって評価する手法を開発。	(a) 砂時計型/平板型試験片の疲労試験にて、アルミ合金の疲労進展に伴う AE パラメータを明らかにした。 (b) 疲労進展評価に用いる周波数成分は圧力媒体に影響されないことが分かった。 (c) 炭素繊維層破壊時の AE 波周波数特性を確認し、アルミ疲労と区別可能であることが分かった。 (d) 複合容器の疲労試験の AE 計測結果から、疲労劣化の進展度を評価するため AE 振幅比という新しい評価方法を見出した。	◎
<b>I-②-(2) : 「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」</b>		
① 汎用材の利用拡大 1, 2, 3, 4 種、ないし 5 種の研究、評価、及び使用条件の明確化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SUH660, 銅合金の例示基準化。</li> <li>• 20MPa 以下の Ni 当量規制除外。 (クロモリ鋼を含む多鋼種の使用が可)</li> <li>• 汎用 SUS 材の使用可能域拡大研究。</li> <li>• 低合金鋼の超高压利用方策提言。</li> <li>• 低合金鋼ガイドライン作成研究。</li> </ul>	◎
② 超高压、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材 1, 2 種、ないし 3 種、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SUS316 (高 Ni) 材の使用可能域拡大 (計 3 種)。</li> <li>• XM-19 (HRX19) 材の耐水素特性立証。</li> <li>• データベースの構築、産業界への提供。</li> <li>• XM-19 (HRX19) 材の溶接研究。</li> <li>• 海外規格材の例示基準への取り込み検討 (SUH660 の温度拡張、XM-19)</li> </ul>	○
<b>I-②-(3) : 「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」</b>		
① Type3 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 実際の水素ステーションで使用する圧力条件 (部分充填) に応じた圧力サイクル試験方法で疲労寿命延長が可能であることを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 小型 Type3 容器を用いて部分充填圧力サイクル試験方法の有効性を確認した。</li> <li>• 技術文書 KHKTD5202 の疲労試験に関する改正素案及び解説書 (ガイドライン) 案を作成中。</li> <li>• Type3 容器の解析・設計方法を確立し、アルミニウム合金の設計疲労曲線を使った疲労解析による設計を可能とした。</li> <li>• AE 法について他事業者と連携中。信号の変化の検討が必要。</li> </ul>	○
② Type4 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 圧力サイクル試験時の疲労損傷モードを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 小型 Type4 容器での圧力サイクル試験における損傷モードを確認中</li> </ul>	○
<b>I-②-(4) : 「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」</b>		
① 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発 (a) 水素脆化の影響を受ける材料の水素ガス中での挙動解明。 (b) Cr-Mo 鋼等を用いた蓄圧器製造ガイドラインのアウトライン作成。 (c) 非磁性鋼の安全利用に向けた評価基準の明確化。 (d) 海外の水素ステーションにおける使用材料に関する安全性評価試験の実施。 (e) 設計係数低減に伴う問題点と課題の抽出。	(a) 水素中での破壊に対する安全性を評価するため、 $K_{IH}$ の測定方法による影響を明確化 (b) 低合金鋼ガイドライン構成の策定補助とデータ提供 (H27 年度構成策定、H29 年度技術文書発行予定) (c) 非磁性鋼に関する特許出願 (d) 海外での使用条件把握 (H27 年度末評価試験予定) (e) 設計係数低減した軽量蓄圧器の課題を解決し実機製造を予定。	○

中間目標	研究開発成果	達成度
<p>②主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>②-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発</p> <p>(a) HRX19 の利用技術データ拡充(溶接性等)/溶接や曲げの適用など、実構造物を想定した材料データの取得。</p> <p>(b) Ni 当量式拡張のための成分評価。</p> <p>(c) 耐水素ガス脆化特性におよぼす Cu, N などの影響を評価。</p>	<p>(a) フィラー/ノンフィラー溶接継手の水素脆化特性が母材と同等であることを確認。</p> <p>(b) (c) 室温において、Cu および N 添加量増加により耐水素ガス脆化特性が向上することが分かった。SUS316L(Ni 当量<math>\geq</math>28.5)は拡散接合後においても耐水素性を有することが分かった。</p>	○
<p>②-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大</p> <p>(a) Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発/高圧水素中で引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レスステンレス鋼開発。</p> <p>(b) 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発/炭素濃度とマルテンサイト変態を考慮したオーステナイト相安定性確認。</p> <p>(c) 長期使用水素関連機器の解体調査/解体調査を行い関係各機関へデータ提供。</p>	<p>(a) Mo レスオーステナイト系ステンレス鋼が高圧水素中で引張特性が SUS316L と同等であることが分かった。</p> <p>(b) 一般の約 5 倍の炭素濃度のオーステナイト系ステンレス鋼において、オーステナイト相の安定性を確認した。</p> <p>(c) 実証用水素ステーションである大黒水素ステーションにおける継手・バルブ類の解体調査を実施した。</p>	○
<p>③ 低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究</p> <p>ガス、圧力を変動条件下での水素脆化挙動の把握。</p>	<p>・疲労試験中にガスを変え伸びや降伏応力への影響に関する知見を獲得。</p>	○
<b>I-②-(5) : 「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」</b>		
<p>① 自動車用圧縮水素容器の安全性評価/破裂圧適正化のためのシナリオ作成に資する基礎データを取得する。</p>	<p>・取得したデータが、シナリオ審議および実証試験計画の作成に根拠データとして活用された。</p>	○
<p>② 国内基準の適正化および国際基準調和/国際基準(HFCV gtr Phase2)に日本案(破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法)を提案するための国内審議を推進し、シナリオ案(試験法案)および実証試験計画の国内承認を得る。</p>	<p>・国際基準への提案に向けた国内審議を推進し、日本案(破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法)のシナリオ案と実証試験計画が国内承認された。</p>	○
<p>③ アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発/アルミの腐食に関する従来評価法によるデータを取得し、自動車用圧縮水素容器に必要な評価項目を見極めたうえで、適切な試験法案を開発する。</p>	<p>・取得したデータから、必要なアルミ腐食試験法として湿潤環境耐 SCC 性試験法を提案し、国内承認された。</p>	○
<b>I-③ : 「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」</b>		
<p>① 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発</p> <p>(a) 水素品質管理運用ガイドラインを策定する。</p> <p>(b) 高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、容器製作・検証する。</p> <p>(c) 低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、8成分分析可能な装置の開発と、水素 ST での検証を行う。</p> <p>(d) 微粒子捕捉用フィルタの検討について、現状仕様及びフィルタ試験方法の GL への反映。</p>	<p>(a) 全ての水素ステーションの品質管理方法を規定する運用 GL を予定通り平成 26 年 9 月に作成し、既に広く利用されている。</p> <p>(b) 高圧試料採取装置を製作。高圧ガス保安法の検査充填用の国内初の装置として既に広く利用されている。</p> <p>(c) 幾つかの分析手段から TOFMS を評価・選択。濃縮型 TOFMS について、主要 8 成分を分析可能な装置を開発し、分析コスト及び分析時間の目標を達成。</p> <p>(d) フィルタ試験方法を確立中。(年度末に完了予定)</p>	○

中間目標	研究開発成果	達成度
②次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討 ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、改定のための提案内容の合意を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO14687-2 に改定提案に加え、ISO19880-8（水素品質管理）の新規提案をおこなった。今後日本が議長として推進していく。</li> </ul>	◎
<b>I-④：「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」</b>		
①国内基準類の改正案作成及び制定 (a)FCV 及び FC バス水素充填技術基準策定。 (b)FCV 及びバス用充填性能確認ガイドライン作成と評価装置製作。	<ul style="list-style-type: none"> <li>70MPa 及び 87.5MPa を上限とする充填基準を制定。70MPa、87.5MPa 充填基準に対応する水素ステーションの性能を確認するガイドラインを策定</li> </ul>	◎
②国際標準と国内基準類の調和、国際連携 充填プロトコル、ノズル/レセプタクル規格について、SAE の審議を日本の充填技術に適合するよう誘導。	<ul style="list-style-type: none"> <li>充填プロトコル規格について、国際的に影響の大きい SAE J2601 に日本の意向反映。同じくノズル/レセプタクル規格について提案を実施</li> </ul>	◎
③充填技術開発/充填技術検証 商用水素ステーションの充填プロトコル策定に必要なデータ、及びノズル/レセプタクルの氷結等のデータの取得。	<ul style="list-style-type: none"> <li>基準作成のためのシミュレーションを開発し、充填試験により基準を検証</li> </ul>	○
④充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 -30℃～常温、100MPa までの低温、高压域での熱伝導率のデータの取得。	<ul style="list-style-type: none"> <li>未整備の水素物性計測法を確立し、測定を実施。基準制定のために必要なシミュレーションの精度向上を実現</li> </ul>	○
<b>I-⑤：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」</b>		
⑤FCV の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得 国際基準 HFCV gtr Phase2 で審議される課題について、データ取得を進める。	<ul style="list-style-type: none"> <li>車載容器の局所火炎暴露試験では、容器保護カバーなどの影響を受けない車載用局所火炎暴露試験用バーナを開発した。また、HFCV-gtr Phase1 で定められた衝突試験時の車室内水素濃度測定については、再現性のある試験法を開発するため、最悪時を想定した窓が全閉の場合と衝突後の窓割れを想定した水素漏れ量と車室内水素濃度の関係を調査した。</li> </ul>	○
⑥FCV の国際標準化 本事業のデータを活用し、国内規制を考慮しながら日本が主導的になるよう、HFCV-gtr Phase2 の方向付けを行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/TC22/SC21/WG1 (FCV の安全規格)ならびに SAE FCV Safety WG (FCV の水素・電気安全)に関わる活動方針の審議、ドラフト作成およびコメントを作成した。また、SAE J2990 の First Responder に関わる安全要件や事故後処理安全についても審議動向に注目し、緊密な連携を図った。</li> </ul>	
⑦安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得 安全な FCV の事故後処理方法を明確にするためのデータ取得と FCV 用容器クズ化マニュアルに資するデータ取得を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>棄水素容器の水置換行程の開発と真空引きについて検討を行い、くず化要領書の作成・整備及び車の解体手順書の作成に向け、安全かつ合理的な容器内の水素脱ガス手法を明らかにした。また平成 26 年 10 月、CFRP 複合容器を搭載した水素輸送トレーラが火災になったため、そのトレーラを用い、事故後に生じる問題点の抽出、および本事業で開発した事故後処理手法を検証した。</li> </ul>	
⑧FC 二輪車の安全に関するデータ取得 FC 二輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資するデータを取得完了する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料電池自動車の規定を FC 二輪車に適用する際の妥当性を調査・整理し、必要とする試験項目の抽出を行なった。今後規制改革実施計画 (H25.06.13) の No.66「燃料電池二輪者の車輛及び圧縮水素自動車燃料装置用容器に係る型式認定、認可制度の整備」の解決に反映される予定。</li> </ul>	

**研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」**

中間目標	研究開発成果	達成度
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(1)：「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</b>		
①CFRP 蓄圧器成型技術の開発 製造コストを 2 万円/L 以下、サイクル使用回数 5 万回以上。	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用 CF の適用により材料費のコストダウンが可能。目標達成。</li> <li>サイクル試験圧力媒体の変更により、サイクル試験回数の達成見通しを得た。</li> </ul>	○
②CFRP 蓄圧器材料の開発 汎用 CF の蓄圧器への適用。		
③基準、検査に関する他事業との連携 ・複合容器基準化事業、検査開発事業との情報交換 ・使用蓄圧器評価の実施。	<ul style="list-style-type: none"> <li>破裂試験により蓄圧器使用前後の破裂圧が同等であることを確認。</li> <li>H27 年度使用後蓄圧器サイクル試験を実施予定。</li> <li>試験結果を複合容器基準化事業、検査開発事業へ展開。</li> </ul>	△ (H28. 3)
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(2)：「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</b>		
①スチールライナーの寿命検討 疲労限への諸因子の影響明確化。 高圧水素中データ採取。	<ul style="list-style-type: none"> <li>材質データ採取完了。</li> <li>疲労限(100 万回)および SSRT 最高荷重は大気中と水素中で同等であることを確認した。</li> <li>高圧水素中と同等の結果を得られる陰極チャージ疲労試験方法開発。</li> <li>疲労限は水素環境でも周波数依存性なし。</li> </ul>	○
②簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測 ライナーおよび CFRP の適正厚み目処付け。	<ul style="list-style-type: none"> <li>スチールライナー-CFRP 厚設計指針を作成。設計係数 4 では、ライナー厚 50mm、CFRP 厚 30mm、CFRP 量 200kg。重量、コストとも目標達成可能。</li> </ul>	○
③スチールライナー-CFRP 複合蓄圧器の開発 小型容器による蓄圧器製造の要素技術開発。	<ul style="list-style-type: none"> <li>高剛性 CFRP の FW 方法を確立した。</li> <li>設計圧力 106MPa の容器を試作し、性能確認を実施。小型容器の疲労試験、破裂試験を実施し 10 万回以上の寿命を確認。CFRP 層破壊の基礎データ取得。</li> <li>渦流探傷法によるライナーの非破壊検査手法を実用性の目処を得た。</li> </ul>	◎
④複合蓄圧器の設計の妥当性検証 大型製造技術の開発および容器の性能評価。	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計係数 2.4 及び 4.0 の条件で 10 万回以上の長寿命を確認。</li> <li>容器疲労寿命がライナ発生応力で支配されていることを確認。</li> </ul>	○
⑤特認取得への取組 特認申請に資するデータ取得。	データ一部採取。	△ (H28. 3)
⑥規制見直しへの取組 各種委員会での複合容器への要求事項の議論。	<ul style="list-style-type: none"> <li>低合金鋼ガイドライン WG、スチールライナー CFRP 複合容器ガイドライン及び技術基準策定検討に寄与。</li> </ul>	◎
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(3)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(八千代工業・東邦テナックス)</b>		
①設計圧力 106MPa、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成 25 年 6 月時点)の規定を満たす大型高圧水素用タイプ 4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型複合容器の試作製造指針について、蓄圧器ガイドラインを満足する方針で決定、試作に反映。</li> <li>樹脂ライナー材料について、水素影響評価より要件/材料を決定。</li> <li>ライナー製法及び口金構造について、蓄圧器に適した構造/製法を決定。</li> <li>サイズ剤/処理方法の最適を見通した。</li> </ul>	○

中間目標	研究開発成果	達成度
<b>[1/2 共同研究] II-①-(4)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(中国工業)</b>		
<p>①小型、中型複合容器において、設計圧力106MPa(破裂圧力239MPa)、サイクル使用回数10万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成25年6月時点)の規定を満たす高圧水素用TypeIV複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型容器を作製するためのフィージビリティスタディとして、各セクションの要素研究を行いType4複合圧力容器蓄圧器に必要な開発項目を明確化。</li> <li>小型複合容器として、30L複合容器の試作を行い、口金シール構造・融着技術及びライナー・CFRP接着の確立。</li> <li>試作容器の耐圧試験を実施し、CFRP補強のポイントを明確化、240MPa耐破壊圧力を確認。また、更なる軽量化の余地を確認。</li> <li>大型高圧水素用Type4複合容器蓄圧器の製造指針の構築し、100L複合容器試作に着手。</li> </ul>	○
<b>[1/2 共同研究] II-①-(5)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(丸八・巴商会)</b>		
<p>①設計圧力106MPa、サイクル使用回数10万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成25年6月時点)の規定を満たす高圧水素用タイプ4(樹脂製ライナー)複合容器蓄圧器(100L~150L級)の製造指針を構築する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>30L~150L級水素ステーション用タイプ4・複合容器蓄圧器の設計及び解析として、充填圧力86MPa x 安全係数2.25倍でサイクル回数100万回を想定した蓄圧器の耐圧設計解析を実施し、耐圧構造を明確化した。</li> <li>50L級樹脂ライナーの試作し、大型樹脂長尺ライナー成型技術の要素技術を明確化した。</li> </ul>	○
<b>[委託] II-①-(6)：「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」</b>		
<p>①FCV普及初期の1年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル6,600回の耐久性*1を保持)を達成する82MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発。 *1:FCV普及初期1年間の充填回数945回を参考として算出された圧力サイクル2,200回の3倍に相当する値で、ラボ試験目標値。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>82MP高圧水素用樹脂製ホースの要求仕様を明確化し、試験項目を決定した。</li> <li>82MPa耐圧補強層構造を確立した。</li> <li>高圧水素用ホースに使用される樹脂材料について、水素特性を評価し、樹脂仕様及び成形法を明確にした。</li> <li>良好な耐水素性及び柔軟性の両立が可能なナイロン6-66からなるポリマーアロイを開発した。</li> <li>完全相溶化しIPN構造の形成が可能なガスバリア層とナイロン6-66層よりなる多層樹脂であれば、繰り返し水素曝露下でも界面剥離を引き起こさないことを確認した。</li> </ul>	○
<p>②FCV普及初期の1年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル6,600回の耐久性*1を保持)を達成する82MPa(-40℃)に対応した高圧水素シールシステムの開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧水素用のゴム材料の高圧水素基礎特性及び低温シール特性を明確にした。</li> <li>水素ステーション使用部位による温度・圧力条件を基に低温用、常温用、高温用に分類した標準配合を、水素特性データから設定した。</li> <li>低温環境用のシール候補材としてEPDMを選定し、90MPa高圧水素曝露による劣化挙動を明らかにした。</li> </ul>	○
<p>③JPEC-S化に向けた82MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)の作成。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧ホースの信頼性評価試験方法を基に、高圧水素用ホースの信頼性評価試験案を策定した。</li> <li>高圧水素用ホースの特有の信頼性評価法として、低温高圧水素環境下での環境応力割れ評価法及び、高圧水素ホース加減圧試験法を設定した。</li> <li>高圧水素用ホースの信頼性評価試験案を国際規格案に提案することで、信頼性評価試験の国際的な整合を得た。</li> </ul>	○
<p>④JISB2401化に向けた82MPa(-40℃)水素シールシステムの信頼性評価基準案の基礎となる材料評価データまとめ。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素シールシステムの信頼性評価法として、差圧式透過法によるゴム、樹脂材料の水素透過特性評価法、Oリング可視化によるOリング挙動評価法を設定した。</li> </ul>	○

中間目標	研究開発成果	達成度
<b>[1/2 助成] II-①-(7) : 「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」</b>		
(a) 水素ステーション用複合型改質器の開発。 (b) 複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発。 (c) 水素製造装置の運転評価。 (d) 事業化時のコスト目標検討。	(a) 複合型改質器の基本設計では、改質反応部(触媒を含む)の構造、性能及び耐久性についての詳細設計検討では反応管内部の流れ解析、触媒の耐久検討、強度検討、反応管全体のヒートバランスの検討、温度分布をもつ各部材の検討をし、複合型改質器構造を決定した。 (b) 装置構成点数を現状装置の1/2以下にした装置が開発、複合型改質器に加え、PSA装置、熱交換器及び都市ガス昇圧機のコンパクト化を計ることによりコンパクトな水素製造装置の開発を達成 (c) 水素製造装置の運転評価を実施予定(H28.3) (d) 当初目標に掲げた事業終了時の価格(5,000万円:100Nm <sup>3</sup> /h)及び仕様を満足する見込み。したがって、事業化時のコスト目標達成見込み。	○
<b>[1/2 助成] II-①-(8) : 「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」</b>		
① 最終目標コスト6,500万円(量産時)の「複合型高圧水素圧縮機」を開発し、試作する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧縮機の基本設計を完了した。基本仕様を容量340Nm<sup>3</sup>/h、吸入圧力0.4MPa、吐出圧力99.5MPaとした。それに伴い、圧縮段数を5段とし、最終ダイヤフラムユニットを並列2筒とする。</li> <li>法規への対応、構成部品要素試験、部品単体検査について検討した。高圧ガス保安協会に問い合わせおよび協議を行い、試験項目を決定。</li> <li>ダイヤフラム・ピストン複合型高圧水素圧縮機の製作は平成27年度中に完了予定。工場において窒素ガスによる運転評価試験を実施し、計算によって実ガスにおける性能を評価する予定。</li> </ul>	○
<b>[1/2 助成] II-①-(9) : 「低コスト・プレクーラーの研究開発」</b>		
① 最終目標コスト2,400万円(量産時)のプレクーラーを開発し、試作する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱交換器ユニット4基を制作。</li> <li>リザーバタンク設置による冷凍機能力の低出力化を達成。待機運転と充填時フル運転の併用により消費電力低減への有効性を確認。FP-40採用による熱交換率向上をもって熱交換器ユニット半減を達成。</li> <li>プレクーラーシステムにてSAEJ2601の充填プロトコル準拠を確認するための評価試験、及びFCバス等を想定した大容量充填条件の評価試験を実施。平成27年度中に完了予定。</li> <li>・使用熱交換器ユニット半減、冷凍機能力削減、低コストブライン採用の確認より、量産時は目標価格達成が可能。</li> </ul>	◎
<b>[委託] II-② : 「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」</b>		
水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。 ① 金属系水素貯蔵材料の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセスの簡略化による低コスト化(原料コスト1/10以下)。</li> <li>ハーフホイスラー合金に可能性を見いだした。</li> <li>安定性をもつ新水素化物を見出した。</li> </ul>	△
② 吸着系水素貯蔵材料の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>スピルオーバー貯蔵量評価法を確立、最適温度を解明、律速段階を解明。</li> <li>水素ラジカル受容体としてのC<sub>60</sub>の有用性を発見。</li> <li>安価なNiでのスピルオーバー貯蔵を実現。</li> </ul>	◎
③-1 軽量水素貯蔵材料の研究開発 : Mg系材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>100g以上の材料を製造。</li> <li>水素吸蔵量7.5mass%の材料の開発。</li> <li>体積貯蔵密度109g/L(材料)。</li> </ul>	○
③-2 軽量水素貯蔵材料の研究開発 : Ti系固溶体材料および窒素系材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子回折で水素の存在状態を解明。</li> <li>Ti-V-Mn-Al合金を開発。</li> <li>窒素系材料で7.7mass%の水素を放出(110℃)。</li> </ul>	○



中間目標	研究開発成果	達成度
<b>[委託] Ⅱ-③：「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発</b>		
①水素計量ガイドラインを策定する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画通り策定。業界団体に採用され、全ての商用水素ステーションの計量検査で活用されることとなった。</li> </ul>	○
②70MPa 対応の重量法試験装置を製作し、その評価方法を確立した上で水素計量ガイドラインに反映できるデータの取得を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧ガス保安法上の法令照会での行政指導に沿った装置を製作し、その試験結果を水素計量ガイドラインに反映した。全ての商用ステーションで計量精度を確認し、システム改善に繋がった。</li> </ul>	○
③マスターメーター法試験装置を製作し、水素ディスペンサーでの評価を行い、評価方法を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーションでのディスペンサー評価に着手した。基礎物性として、高圧領域における水素の音速データを取得するとともに、ノズル形状の違いが流出係数および臨界背圧比に大きく影響することを明らかにした。</li> </ul>	△ (H29.03に可達)

### 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

中間目標	研究開発成果	達成度
<b>Ⅲ-①-(1)：「水素ステーション高度安全・安心技術開発」</b>		
①セーフティデータベース 国内外事例も参考に完成。	・平成 26 年度にシステムを完成、現在試運用中で 微細な改良を検討	○
②人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針(案)の作成。	・平成 27 年 12 月に教育設備・訓練内容指針(案)完 成予定。	○
③次世代水素ステーション技術開発 必要な技術開発項目の抽出。	・必要な技術開発項目の抽出・報告完了。	○
④社会受容性の向上 ポータルサイト開設や展示会等出展。	・ポータルサイト開設、展示会出展、国内外プレゼ ン実施	○
<b>Ⅲ-①-(2)：「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」</b>		
①-1 溶接材料の開発 アンダーカット回避、余盛り確保に有効 な溶接材料の開発。	・高強度維持および作業性を両立する溶接材料寸法 を決定	○
①-2 溶接ガスおよび溶接パラメータの最適化 高窒素濃度維持に有効な溶接ガス混合比 と溶接パラメータの最適化。	・高窒素濃度維持に有効でないと考えられる溶接パ ラメータの発見	△ (H27 年 12 月達 成予定)
②溶接金属の金属組織評価 溶接が微視組織のおよぼす影響の理解と強化 機構の解明。	・試作溶接継手の金属組織の定量評価	△ (H28 年 3 月達 成予定)
③溶接部の水素脆化評価 溶接継手の疲労特性および水素脆化特性評 価。	・疲労特性評価手法の開発および試作溶接継手の S-N 線図取得	△ (H28 年 3 月達 成予定)
<b>Ⅲ-①-(3)：「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」</b>		
①水素ステーションへの落雷の影響を指標化 し、必要であれば水素ステーションの雷保護 対策ガイドラインを策定する。	・構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを 分析し、個別ステーション毎にリスクを評価する ための基準を定めるとともに、リスクに応じた対 策の考え方を検討 ・H27 年度内に実施する鳥栖水素ステーションでの 印加試験の内容を決定。 ・試験結果をもとにガイドラインを策定予定。	○
<b>Ⅲ-①-(4)：「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」</b>		
①水素センサの要求仕様と評価法の調査 目標仕様の明確化、定量的評価法の調査。	・目標仕様を決定した。センサの定量的な評価法の 文献調査及び検討を行なった。	○
②センサパッケージの開発 セラミックパッケージの検討。	・以前に試作したパッケージの問題抽出と改良案の 検討を進め、パッケージ設計を開始した。	○
<b>Ⅲ-①-(5)：「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークデテクタの研究開発」</b>		
①光学式水素ガスセンサの研究開発 (a) 濃度 500ppm の水素ガスが検出可能なセ ラミックセンサチップを試作し、機能 検証を行う。 (b) また、複数のセンサチップにより水素ガ スを多点監視するためのシステム、信号 処理系、ソフトウェアを試作し、機能検 証を行う。LD 光源、Si 受光素子の適用 を検討する。	・実験室モデルで濃度 500ppm の水素ガス検知性能 を実験的に検証した。 ・現在セラミックセンサチップの試作、機能評価 を実施中である。 ・レーザー光を切り替えて伝送する手法を考案し現在 試験中である。LD 光源と Si 受光素子を用いて 2% の水素ガス検知を検証し、現在定量性能を評価中 である。 ・MEMS 回転アクチュエータと Si マイクログレー ティングを試作し、動特性と光学特性を評価し た。現在、機能検証に向けモノクロメータを設計 試作中である。	△ (平成 28 年 2 月 達成予 定)

中間目標	研究開発成果	達成度
<p>②水素ガスリークディテクタの研究開発</p> <p>(a) 濃度 500ppm の水素ガスを検出するため、光源の最適化を行い、光源・伝送路・プローブ・受光器により構成されるシステムを試作し、機能評価を行う。</p> <p>(b) 光源の測定部への照射と、水素ガスからの反ストークス光の受光を高効率で行う伝送路とプローブを試作し、機能評価を行う。遠隔計測への適用可能性の検討を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実験室モデルで、 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 濃度 200ppm の水素ガス検知を検証。</li> <li>• 4%水素ガスが 1mL/min で漏洩する状況が検知できることを検証。</li> </ul> </li> <li>• 機能モデルの製作に着手している。</li> <li>• 理論計算で可能性を検証し、機能試験を実施予定である。</li> </ul>	<p style="text-align: center;">△</p> <p style="text-align: center;">(平成 28 年 2 月 達成予定)</p>
<b>Ⅲ-①-(6) : 「水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発」</b>		
<p>①機能モデルの製作、検証・評価／火炎可視化装置の小型化、水素火炎検知機能を有する間システムの開発、防爆構造の開発を行い、機能モデルを製作して検証、評価を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5m 遠方の微小水素火炎を可視化することが出来ることを検証した。</li> <li>• 水素火炎検知の信頼性を高めるために撮像する遠赤外線画像を流用する監視システムの実用性を確認した。</li> <li>• 光ファイバを用いて防爆区域の画像を非防爆区域に伝送する画像伝送方式を考案した。</li> <li>• 機能モデルの製作及び検証は H27 年末に達成予定。</li> </ul>	<p style="text-align: center;">○</p>

**研究開発項目Ⅳ：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」**

	中間目標	研究開発成果	達成度
<b>Ⅳ-①：「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」</b>			
	① IEA/HIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	• IEA/HIA の各作業部会の情報入手と展開	○
	② IEA/AFCIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	• IEA/AFCIA の各作業部会の情報入手と展開	○
	③ IPHE の本会議（運営委員会）やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	• IPHE 運営委員会の対応（平成 25 年度 2 回、平成 26 年度 2 回、平成 27 年度 2 回（予定））	○
	④ 各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。	• 国際情報共有ネットワークの構築、水素エネルギー白書の作成を支援。	○
	⑤ 各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する	• 第 20 回 IPHE 運営会議や IEA 水素ロードマップワークショップの開催を支援。	○
<b>Ⅳ-②：「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究」</b>			
	① 有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからの CO2 フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ロシアのエネルギー政策、電力事業、再生可能エネルギー賦存量、港湾設備等について調査を実施した。</li> <li>• 調査結果を踏まえ、極東地区の複数有望サイトとして抽出した上で、現地調査にて現況を確認した。</li> <li>• 極東地区での水素製造～日本での輸入について経済性分析を行い、経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」にある 30 円/Nm<sup>3</sup> 程度の価格を実現出来る可能性があることを確認した。</li> </ul>	○

### 3. 研究開発成果の意義

#### (1) 成果の市場性

2015年以降の水素ステーション・FCVの普及・拡大に資する。2030年の国内市場規模は、水素ステーションで479億円、燃料電池自動車用水素燃料で796億円、燃料電池自動車で1兆1520億円となると予測される(\*1)。加えて、関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できるとともに、技術の世界展開によるアウトカムは更に大きい。

(\*1: 富士経済「2015年版水素燃料関連市場の将来展望」)

#### (2) 成果の水準

成果は、水素製造装置等をはじめ技術的には世界トップ水準にあり、ISOやHFCV gtrなどの国際標準、国際技術規則などで議論をリードしている。ただし、国際技術規則は国内法(高圧ガス保安法)との整合性が重要であり、引き続き日本が議論をリードするためには、単に技術的な成果を求めだけでなく、情報収集を始め国内関係者との連携などの仕組みの維持・継続が必要である。また欧米にコスト的に競合するためには、低コスト化の阻害要因になっている安全性を担保した規制見直しが必要である。引き続き、技術開発と規制見直しを両輪として推進することが重要である。

#### (3) 成果の汎用性

水素製造装置の成果は、水素ステーションに限らず他の用途の水素製造にも適用可能である。また、70MPaという超高圧の水素貯蔵・輸送・充填等に係る成果は、他のガス(天然ガス、工業ガス等)にも適用可能である。水素計量技術については、今後水素を利用するあらゆる分野での適用が期待される。また水素や高圧ガスを安全に取り扱うための技術やノウハウなどは、水素社会を構築する上で必要であり、水素ステーション関係者、FCV所有者だけでなく、一般消費者も享受することが可能となる。

#### (4) 他の競合技術と比較しての優位性

ガソリン・ハイブリット車と比較して、水素・FCVはWell-to-Wheel効率において優位なだけでなく、運輸部門でのCO<sub>2</sub>削減80%(1990年比)に必要な技術である。水素は再生可能エネルギー等あらゆる一次エネルギーから製造でき、エネルギーの多様化の面からも優位である。ただし現時点では普及規模が小さいため経済性が課題である。

#### 4. 特許、論文、外部発表等の件数

本事業での特許、論文、外部発表等の件数は H27 年 7 月末で以下の表のとおりである。論文発表、研究発表等は順調に成果をあげ、特許出願については今年度、既に 28 件に達した。今後審査請求を通して、積極的な権利化を進める予定である。

##### 研究開発項目Ⅰ「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	計
論文	8	11	9	-	-	-	28
研究発表・講演	39	103	40	-	-	-	182
受賞実績	0	2	0	-	-	-	2
新聞・雑誌等への掲載	2	4	24	-	-	-	30
展示会へ出展	4	4	2	-	-	-	10
特許出願	0	2	1	-	-	-	3
うち外国出願	0	0	0	-	-	-	0

##### 研究開発項目Ⅱ「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	計
論文	6	8	3	-	-	-	17
研究発表・講演	68	100	22	-	-	-	190
受賞実績	0	4	1	-	-	-	5
新聞・雑誌等への掲載	12	17	8	-	-	-	37
展示会へ出展	6	9	4	-	-	-	19
特許出願	3	7	13	-	-	-	23
うち外国出願	0	1	1	-	-	-	2

##### 研究開発項目Ⅲ「水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究」

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	計
論文	0	0	0	-	-	-	0
研究発表・講演	4	4	6	-	-	-	14
受賞実績	0	0	0	-	-	-	0
新聞・雑誌等への掲載	5	0	0	-	-	-	5
展示会へ出展	1	3	3	-	-	-	7
特許出願	0	1	1	-	-	-	2
うち外国出願	0	0	0	-	-	-	0

##### 研究開発項目Ⅳ「CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	計
論文	0	0	0	-	-	-	0
研究発表・講演	1	1	1	-	-	-	3
受賞実績	0	0	0	-	-	-	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	-	-	-	0
展示会へ出展	0	0	0	-	-	-	0
特許出願	0	0	0	-	-	-	0
うち外国出願	0	0	0	-	-	-	0

※詳細は各項目の成果詳細に記載

## 5. 研究成果の最終目標の達成可能性について

最終年度である平成 29 年度末までの達成見通しは以下のとおりである。

### 研究開発項目 I : 「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

	最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
<b>I-①-(1) : 「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」</b>		
①	70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案作成、水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案作成	蓄圧器の超音波検査法標準化の検討により、70MPa 水素ステーション保安検査自主基準を作成し目標達成予定。
②	圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 平成 26 年度で完了。	平成 26 年度で完了。
③	水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、高圧ガス保安法に係る技術基準案作成	シミュレーション結果を基に代替措置を検討、技術基準案を作成し目標達成予定。
④	公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。	平成 26 年度で完了。
⑤	圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 平成 27 年度で完了。	平成 27 年度で完了。
⑥	液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの液化水素ポンプの技術基準(案)作成。	追加安全対策、及び液体水素ポンプ昇圧方式についての技術標準化を検討し目標達成予定。
⑦	2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 平成 27 年度で完了。	平成 27 年度で完了。
⑧	水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備⇒ 別項目 「(I-2)水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照	—
⑨	温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成。	シミュレーション結果を基に代替措置を検討、技術基準案を作成し目標達成予定。
⑩	水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 セルフ充填が可能となる高圧ガス保安法の見直し、及び技術要件等の検討。	平成 27 年度後半開始。
<b>I-①-(2) : 「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」</b>		
①	水素ステーションの事故に関する現状把握	平成 26 年度で完了。
②	水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定	
③	シビアアクシデント対応策の策定	
④	審査過程における対応	
<b>I-②-(1) : 「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」</b>		
(a)～(c)	常用圧力 82MPa、容量 3000 の Type-III CFRP 複合容器の水素ステーション運用中の耐圧性能と強度確認のための保安検査に用いるための、AE 法による検査技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在までに、最終目標の複合容器より小型の常用圧力 45MPa、容量 300 の複合容器では、疲労進展に伴う AE 波形の特徴を把握し、特定の周波数帯域の AE 振幅比を疲労損傷の管理指標として用いることができる可能性を見出した。</li> <li>今後、課題解決のためのラボ試験と水素ステーションでの実証試験を継続し、AE 振幅比による評価方法の信頼性を確認することで、最終目標の可能性は十分にあると考える。</li> </ul>
(d)	AE 法を用いた検査要領の策定	
<b>I-②-(2) : 「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」</b>		

最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
①汎用材の利用拡大 追加 3～4 種（累計 5～8 種）の研究、評価、及び使用条件の明確化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>20MPa 以下の Ni 当量規制除外で、700MPa 鋼を含む多鋼種の実用化を達成済。3 種の実用化達成済み（SUH660、銅合金（C3771, C3604））。</li> <li>最終目標の計 8 種の実用化を既に達成し、更なる低合金鋼の実用化を図る。</li> <li>成果をデータベース化し、広く産業界へ提供することで、水素ステーションの普及へ貢献しつつあり、今後も一層拡大見込み。</li> </ul>
②超高压、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材追加 1～3 種（累計 3～5 種）、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大を達成済。</li> <li>XM-19 材の実用化を達成見込み。</li> <li>溶接の実用化、海外規格材の実用化は最終年度までに達成見込み。</li> </ul>
<b>I-②-(3)：「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」</b>	
①Type3 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討を行い、結果のまとめと課題を提示する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討結果をまとめられる見通し。</li> </ul>
②Type4 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 部分充填と疲労寿命の関係を確認し、疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討を行い、結果のまとめと課題を提示する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>応力範囲と疲労寿命の関係を確認した上で、技術基準策定に資する資料の検討を行う。</li> </ul>
<b>I-②-(4)：「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」</b>	
①主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発 (a)水素脆化の影響を受ける材料の評価方法の提案、使用条件、使用基準の明確化。 (b)～(d)低合金鋼を用いた蓄圧器製造ガイドラインの完成。 (e)設計係数低減化による高压水素機器（主に蓄圧器）の合理的設計方法の提案。	<ul style="list-style-type: none"> <li>低合金鋼ガイドラインの作成に着手しており、技術文書を発行することにより、目標達成が可能。</li> <li>水素中評価試験による知見を安全な機器の製造に必要な素材条件、設計条件をガイドラインに反映させることで明確化が可能。</li> </ul>
②主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発 ②-1 高压水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発 (a) 種々の実使用条件に即した環境における水素中データを拡充し、水素社会インフラ基盤構築に向け、材料メーカーとして協力。 (b)-40℃において Cu および N 添加量増加により耐水素ガス脆化特性が向上することを確認。 (c) SUS316L (Ni 当量 $\geq$ 28.5) の拡散接合部の耐水素ガス脆化特性を確認。	<ul style="list-style-type: none"> <li>種々溶接条件での高压水素中データを蓄積する。これにより、KHK などの事前評価に事業者が対応することが可能となる。</li> <li>-40℃における SSRT 試験および金属組織データが拡充されれば、使用可能となる。</li> <li>利用技術データ拡充を継続評価することで達成可能。</li> </ul>
②-2 高压水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大 (a) Mo レス高压水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発／鍛造品を素材として、高压水素中において、引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レス高压水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発。 (b) 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発／高压水素用高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発。 (c) 長期使用水素関連機器の解体調査／平成 27 年度で終了。	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 年度中に高压水素中疲労試験のさらなるデータ取得を予定。データ取得完了すれば、目標達成。</li> <li>オーステナイトの安定性を確認済。27 年度中にさらなるデータを取得することで、目標達成可能。</li> </ul>
③低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究 水素環境脆化機構解明の元となるデータを提供。	<ul style="list-style-type: none"> <li>年度計画通り進捗しており、達成見込み。</li> </ul>
<b>I-②-(5)：「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」</b>	
①自動車用圧縮水素容器の安全性評価 破裂圧適正化および水素適合性試験法作成のシナリオに基づき実証試験データを取得し、国内・国際審議に資する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>作成済みの実証試験計画に基づき、平成 29 年末までにデータを取得することにより、確実に目標達成が可能。</li> </ul>



最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
② 国内基準の適正化および国際基準調和 国内・国際審議に合わせて日本案（試験法案）の修正を行いながら、①，③で取得した実証試験データを根拠に日本案を国際基準に反映させる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実証試験データを根拠に日本案を提案することで、国際基準への反映を実現することにより、確実に目標達成が可能。国連審議は早くて 2016 年 6 月が予測される。</li> </ul>
③ アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発 アルミ腐食試験法のシナリオに基づき実証試験データを取得し、アルミ腐食試験法の開発を完了し、国内・国際審議に資する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 作成済みの実証試験計画に基づきデータを取得し、データを基にアルミ腐食試験法の開発を完了することにより、確実に目標達成が可能。</li> </ul>
<b>I-③：「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」</b>	
① 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発 (a) 水素品質管理運用ガイドラインの改定版を策定する。 (b) 高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、適正で簡便・安価な試料容器・方法を確立する。 (c) 低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、ISO 8 成分を対象に、分析コスト（現行 200 万円の 1/2）、分析時間（現行 120 時間の 1/10）を達成する。 (d) 微粒子捕捉用フィルタの検討について、フィルタの仕様を確定し、改定 GL を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (a)～(d)すべて予定通りの進捗を得る予定。</li> </ul>
② 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討 ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、品質規格 ISO14687 は照会原案の策定、品質管理規定 S019880-8 の発行（両者とも日本提案）を目指す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 予定通りの進捗を得る予定。</li> </ul>
<b>I-④：「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」</b>	
① 国内基準類の改正案作成及び制定 (a) 海外での規格見直し動向、並びに新充填プロトコルに対応した自主基準の改定。 (b) 充填性能確認ガイドラインの完備及び商用ステーションへの適用と評価体制の提案。	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) これまでの自主基準制定過程で得た経験や知見を踏まえ、適切な自主基準の見直しが可能。</li> <li>(b) 例示基準改定後にはガイドライン作成と商用ステーションへの適用見通しあり。</li> </ul>
② 国際標準と国内基準類の調和、国際連携 (a) 充填プロトコルに関連して欧米 (SAE、ISO) に提案し、充填の国際標準化に貢献。 (b) 水素コネクタに関連して欧米 (SAE、ISO) に提案し、充填の国際標準化に貢献。 (c) 充填性能確認ガイドラインの欧米への提案による国際標準化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) 標準化審議は順調に行われており、目標達成の可能性高い。</li> <li>(b) 標準化審議は順調に行われており、目標達成の可能性高い</li> <li>(c) FCV 用ガイドラインから順次 SAE、ISO へ紹介済み、調和の対話をしており、達成見通しあり</li> </ul>
③ 充填技術開発／充填技術検証 (a) バス、二輪用の充填プロトコルの策定。 (b) 新しい提案式の検証と共に新充填法の具体化。 (c) ガイドライン（FCV、FC バス、FC 二輪など）の商用ステーションでの実証と有効性検討。	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) データ取得は順調に行われており、目標達成の可能性高い。</li> <li>(b) 新充填法に基づく充填がより簡便であることが実証される可能性高い。</li> <li>(c) ガイドライン作成後速やかに商用ステーションへ適用予定であり、達成の可能性高い。</li> </ul>
④ 充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 輸送性質の測定データ取得及び相関式の作成、水素充填シミュレーションの高精度化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 粘性係数の測定方法を確立し、低温恒温槽を開発する等計画通り進捗。シミュレーションとの連携を深めており目標達成の可能性高い。</li> </ul>
<b>I-⑤：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」</b>	
① FCV の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得 HFCV gtr Phase2 の審議の進捗に合わせて、データの取得を完了させ、かつ、国連の 98 年合意に基づき、HFCV gtr Phase2 の国内導入を推進する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本自動車工業会と連携しながら本開発項目を継続することにより、HFCV-gtr Phase2 の審議の進捗に合わせた追加データに対し、迅速な対応が可能となり、確実に目標達成が可能。</li> </ul>
② FCV の国際標準化 本事業で得られたデータを活用しながら、HFCV gtr Phase2 の国内導入の方向付けを完了する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 本事業で得たデータを活用することにより、FCV の安全に係る国際標準化活動に係る国際会議に対応できる。</li> </ul>

	最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
	③安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得 廃車処理に関わる研究を完了し、経済産業省高圧ガス保安法や自動車リサイクル法の高圧ガスの廃棄、容器のくず化マニュアルおよび事故処理に係わる作業手順のガイドラインに反映させる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動車業界や容器くず化業界と連携しながら、事故後処理手法や容器くず化に関わる研究を継続的に取り組むことにより、ニーズに合ったデータ取りを確実に得ることが可能となる。</li> </ul>
	④FC 二輪車の安全に関するデータ取得	<ul style="list-style-type: none"> <li>目標を達成し平成 27 年度終了(予定)</li> </ul>

## 研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(1)：「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</b>	
<p>① CFRP 容器成型技術の開発</p> <p>② CFRP 蓄圧器材料の開発 製造コストを 1.5 万円/L 以下、サイクル使用回数 10 万回以上。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>量産により製造コスト最終目標を達成可能と判断。平成 27 年度で終了。</li> <li>KHK TD5202 技術文書改定に伴う、サイクル使用回数最終目標を平成 27 年度で前倒し達成見込み。</li> </ul>
<p>③ 基準、検査に関する他事業との連携 使用蓄圧器評価の実施</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平成 27 年度に前倒しで実施中。今年度実施終了により目標達成が可能</li> </ul>
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(2)：「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</b>	
<p>①～⑥スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発として以下の仕様を達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 容器容積：200L 以上。</li> <li>- コスト ≤ 3 万円/L、重量 ≤ 3000kg(コスト、重量とも設計係数 4.0)。</li> <li>- 容器寿命 ≥ 10 万回。</li> <li>- 開発容器の特認取得を目指す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>容器の基本設計終了しており、具体的ニーズおよび基準に合わせて製造できる状態のため、H27 年度に前倒し達成。</li> </ul>
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(3)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」（八千代工業・東邦テナックス）</b>	
<p>①水素ステーションにおける実証に向けて、大型タイプ4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PE-HD 使用要件抽出は終了し特認取得時の要件設定を実施することで目標達成は可能。</li> <li>FW 技術はキャッチアップ 技術であり 27 年度中に CAE 手法を確立することで目標達成は可能。</li> <li>ライナの構造/製法は決定済で目標達成は可能。</li> <li>大型化課題は抽出済、27 年度中に大型試作仕様への対応を決定し目標達成は可能。</li> <li>実水素評価は代替試験で確認済のため、特認取得時の要件設定を実施することで目標達成は可能。</li> <li>既存 CF の複合物性から FEM 解析した結果、既存 CF でも積層設計により目標達成は可能。</li> <li>タイプ 4 大型化に向けたサイズ最適化で目標達成は可能であり安定した製品となる見通し。</li> </ul>
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(4)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」（中国工業）</b>	
<p>①水素ステーションにおける実証に向けて、大型 TypeIV 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。コスト目標は、バルブを除いて、現行(ℓ 当たり 5 万円程度)の 2 分の 1 から量産化後は 4 分の 1 を目指す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 年度中に 100L 複合容器開発及び評価を実施し、性能確認。大型複合容器の製造指針は構築可能。</li> </ul>
<b>[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(5)：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」（丸八・巴商会）</b>	
<p>①500L 級大型複合容器蓄圧器の製造指針を確立する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>30～150L 級複合容器蓄圧器の製造指針(樹脂ライナー製造技術)を 27 年度中に確立予定。</li> </ul>
<b>[委託] Ⅱ-①-(6)：「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」</b>	
<p>① FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル 6,600 回<sup>(*)</sup>の耐久性を保持)を達成する 87.5 MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発。 (*)FCV 普及初期 1 年間の充填回数 945 回を参考として算出された圧力サイクル 2,200 回の 3 倍に相当する値で、ラボ試験目標値。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホース信頼性評価(SN 線図作成のためのデータ収集)および内面層材料の耐水素性/耐低温特性評価により目標達成が可能。</li> <li>ホースの劣化状況と実使用環境での劣化状況を比較することにより評価方法の妥当性と信頼性を検証する。</li> <li>98.4 MPa 下、繰り返し水素曝露においてボイドや空隙の生成が無く、良好な耐ブリスター性を確認済み。</li> </ul>

最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
② CV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス（温度・圧力サイクル 6,600 回 <sup>(*)</sup> の耐久性を保持）を達成する 87.5 MPa（-40℃）に対応した高圧水素シールシステムの開発。	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種ゴム材料の 90 MPa での水素特性データを測定を継続して進める。設計諸元や次期材料探索につながるデータ収集を継続することで達成可能。</li> <li>本評価法による O リングの劣化状況と実使用環境での劣化状況を比較することにより評価方法の妥当性と信頼性を検証することにより達成可能。</li> </ul>
③ 目標を達成し平成 27 年度終了（予定）	
④ JISB2401 化に向けた 82 MPa（-40℃）水素シールシステムの信頼性評価基準案の作成。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO 19880-5 との調和を図るため、その制定予定時期である平成 28 年 12 月以降に JPEC-S 化を予定。</li> <li>ゴム材料と物性値と水素特性に関する特性値の測定手法が明確化し、それらの妥当性を検証することで達成可能。</li> </ul>
<b>【1/2 助成】Ⅱ-①-(7)：「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」</b>	
目標を達成し平成 27 年度終了（予定）	
<b>【1/2 助成】Ⅱ-①-(8)：「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」</b>	
目標を達成し平成 27 年度終了（予定）	
<b>【1/2 助成】Ⅱ-①-(9)：「低コスト・プレクーラーの研究開発」</b>	
目標を達成し平成 27 年度終了（予定）	
<b>【委託】Ⅱ-②：「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」</b>	
5kg の水素貯蔵システムに対して下記の性能を満足する水素貯蔵材料の開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>重量密度：6 mass%以上</li> <li>容器体積：100 L 以下（50g/L 以上）</li> <li>コスト：30～50 万円</li> </ul> FCV 低温（-30℃）起動や全開加速（1,000 NL/min）に適合する水素放出性能を有すること。	
① 金属系水素貯蔵材料の研究開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>低コスト高耐久性を有する合金</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の貯蔵方式とは異なる可能性のある材料の探索に成功したが、さらなる新規材料探索を継続して 15MPa 以下の水素圧力で 50g/L の達成を目指す</li> </ul>
②吸着系水素貯蔵材料の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状では 2.2mass%程度である物理吸着量を細孔径の最適化でさらに増加させ、それに増強されたスピルオーバー効果を加えて 4mass%を達成し、最適化を進めることで 6mass%を目指す</li> </ul>
③-1. 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Mg 系材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>常温での水素放出が課題であるが、材料とエンジニアリングの両面で達成を目指す</li> </ul>
③-2. 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Ti 系固溶体材料および窒素系材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ti 系固溶体材料は低コスト化と残留水素の解消を目指す、4mass%を越えることは難しい。窒素系は化学組成の最適化と適切な触媒の添加により目標値達成の可能性はある。</li> </ul>
<b>【委託】Ⅱ-③：「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」</b>	
①代替流体法での水素計量ガイドラインを策定する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画通り達成可能。</li> </ul>
②更なる高圧充填に対応（82.5MPa の追加技術開発）した重量法試験装置の開発・製作を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>gtr 容器等を導入できれば 82.5MPa 対応の装置製作が可能で、最終的に達成可能である。また代替流体での評価についても、計画通り達成可能な見通し。</li> </ul>
③マスターメーター法による評価方法を確立した上で、3 次基準（コリオリ流量計）の不確かさを 3%程度とする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>コリオリ流量計の評価は実施済み。より不確かさを小さくする手法を実現する事により目標達成が可能である。</li> </ul>

### 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
<b>Ⅲ-①-(1)：「水素ステーション高度安全・安心技術開発」</b>	
①セーフティデータベース データベース構築・完成、商用水素ステーションでの更なる展開。	・ 商用水素ステーションからのデータ収集方法を確立したことで、達成の見込み
②人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針完成。	・ 指針(案)を基に商用水素ステーション運営者への展開により達成の見込み
③次世代水素ステーション技術開発 平成 27 年度で終了。	・ 今後行う技術開発が完成することにより達成の見込み
④社会受容性の向上 ポータルサイトの継続・改善、アウトリーチ活動の継続、商用水素ステーションの新規需要創出。	・ 平成 28 年度以降の継続と改善により達成の見込み
<b>Ⅲ-①-(2)：「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」</b>	
(平成 28 年度完) 高窒素濃度および高強度維持を達成する溶接技術開発 具体的には、 ①余盛り無し配管引張強さ $\geq 800\text{MPa}$ ②余盛り付き配管強度 $\sim$ 母材配管強度	・ 溶接パラメーター見直しにより達成可能。
(平成 28 年度完) ②溶接金属の金属組織評価 (a) 溶接継手強度と金属組織の関連付け。 (b) 開発溶接継手の金属組織健全性評価。	・ (a)はほぼ達成済みであり、(a)の結果との比較を行うことで(b)を達成可能
(平成 28 年度完) ③溶接部の水素脆化評価 開発溶接継手の水素脆化特性評価。	・ 評価手法が確立済みであり、母材配管と開発溶接継手の水素脆化特性を比較することで目標達成可能
<b>Ⅲ-①-(3)：「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」</b>	
目標を達成し平成 27 年度終了(予定)	
<b>Ⅲ-①-(4)：「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」</b>	
①水素センサの要求仕様と評価法の調査 センサセラミックパッケージの開発目処付け完了。	・ パッケージの設計が終わり次第試作を行い、センサ素子と回路素子を実装することで目標達成予定
②センサパッケージの開発 ハンディタイプ/定置式タイプの試作。	・ ハンディタイプ及び定置式タイプの試作を行い、目標達成予定。
<b>Ⅲ-①-(5)：「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」</b>	
①光学式水素ガスセンサの研究開発 センサを構成する各要素につき、製品モデルを完成させ、評価試験による機能検証を完了する。(目標：水素ガス検出限界 500ppm、応答速度 2sec、使用温度上限 200℃) (a) 光学式水素ガスセンサの製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。 (b) 各種フィールドにおいて製品モデルによる機能検証試験を実施する。	・ これまでの成果において、各要素の試作と機能検証が完了しており、本年度、ラボベースにてセンサとしての機能検証がなされることにより、最終目標が確実に達成可能である。
②水素ガスリークディテクタの研究開発 (a) 製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。(目標：水素ガス検出限界 500ppm、測定精度 30%) (b) 本技術の遠隔計測への適用可能性を見極める。	・ これまでの成果において、各要素の試作と機能検証が完了しており、本年度、ラボベースにて機能検証がなされることにより、最終目標が確実に達成可能である。
<b>Ⅲ-①-(6)：「水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発」</b>	
①製品モデルの製作・試作/5mの離隔距離を以て火炎長が2cm程度の微小水素火災を確実に可視化する機能を具備する画像伝送方式の監視システムの製品モデルを設計・試作する。上記監視システムの製品モデルによる機能を検証する。	・ 対応波長域の広いイメージファイバの調達により目標が達成される。 ・ 今年度中に当該ファイバ調達の見通しを得る予定である。 ・ 水素ステーションなどの具体的な実サイトを模擬した実フィールドにて、所期の目標仕様を満たすことを実証する。

**研究開発項目Ⅳ：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」**

	最終目標（平成 29 年度末）	達成見通し
<b>Ⅳ-①：「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」</b>		
	① IEA/HIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>引き続き、NEDO、および国内外の関係機関との連携・交流を継続することで、海外政策動向・研究開発動向等の情報収集・分析を行う。</li> <li>IEA、IPHE を通じて水素ステーション、燃料電池自動車だけでなく、他の水素利用方法についても研究、政策、実用化、市場化の連動した情報の収集を行う。</li> </ul>
	② IEA/AFCIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	
	③ IPHE の本会議（運営委員会）やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	
	④ 各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。	
	⑤ 各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する	
<b>Ⅳ-②：「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究」</b>		
	目標を達成し平成 27 年度終了	

#### IV. 実用化の見通しについて

平成 22 年(2010 年)に策定した NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 では、2015 年頃、2020 年頃、2030 年頃それぞれについて水素ステーションコストの目標をはじめ各要素機器の事業化に向けた課題を明確化した。また産業界の総意として、平成 22 年 7 月には FCCJ によって 2015 年(平成 27 年)に FCV の一般ユーザへの普及開始に向けたシナリオが提案された。本事業ではそれを元に、水素ステーションコスト目標を 2 億円と設定し、それに必要な規制の見直し、低コスト機器開発をテーマに本事業を平成 25 年 2 月に開始した。その後、必要に応じて、低コスト機器開発の追加公募(平成 25 年 12 月)、一層の安全・安心に向けた水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発の追加公募(平成 26 年 4 月)、新たな規制見直しや一層の低コスト化に資する追加公募(平成 27 年 6 月)を行い、実用化、事業化が確実となるよう事業内でのテーマの統廃合を進めている。今後は次世代の水素ステーションの有るべき姿について議論し、必要な技術開発について追加公募を行う予定である。

各研究開発項目での実用化、事業化の見通しについて以下に詳述する。

##### 1.1 研究開発項目Ⅰ：「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」の実用化、事業化の見通しについて

事業開始当初は、平成 22 年 12 月 28 日に、原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に挙げられた項目の一部を本事業で行うこととなった。一方で、FCCJ や JAMA など民間から要望のあった規制見直し項目が閣議決定され、規制改革実施計画(平成 25 年 6 月 14 日)の「次世代自動車の世界最速普及」、規制改革実施計画(平成 27 年 6 月 30 日)の「次世代自動車の普及拡大促進」へ新たに項目が反映され、これらで挙げられた項目の一部の課題解決についても追加公募等により対応し、順次成果を挙げている。実用化への見通しについて、本事業での成果を元に、一年以内程度で、(1)経産省の保安分科会高压ガス小委員会での議論を通して、高压ガス保安法へ反映、(2)民間ガイドラインとして策定される予定である。また国際的な規格・基準としては、(3)ISO、(4)UN/ECE/WP29 での HFCV gtr があるが、これらは開始後 2 年～3 年以内には発行されるため、事業終了後遅くとも 2 年以内には実用化(発行)される。

以上のことから、事業成果は 2015 年(平成 27 年)の普及開始に伴い、順次実用化され対応している。また、2025 年(平成 37 年)頃の FCV・ステーションの自立拡大時期には十分に活用されていると考えられる。

##### 1.2 研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」の実用化、事業化の見通しについて

水素ステーションを構成する機器のシステム技術開発があり、水素製造装置、圧縮機、蓄圧器、プレクーラ、ディスペンサ、車載高压水素ガス容器、水素貯蔵材料等がある。これらの要素機器についても低コスト化に向け検討中である。またこれまで宇宙産業など限られた分野でしか利用されてこなかった液化水素や、工業製品としての有機ハイドライドが水素キャリアとして注目されつつあり、これらをオンサイトで利用する技術開発も規制の見直しに併せて進めている。

当初掲げたアウトプット目標の数値目標について、水素ステーションについては、高压水素雰囲気下で使用できる材料の適用範囲を拡げ、低コスト材料を利用できる規制見直しに資する研究開発を行うとともに、水素ステーションを構成する個別の装置のコスト分析を行い、コスト目標を明確にした公募を行った(水素製造装置：50 百万円/圧縮機：65 百万円/蓄圧器：12 千円/L/プレクーラ装置：24 百万円)。現在までの成果では、事業進捗に支障となる明確な問題は生じておらず、事業終了後には実用化は完了し、数年以内に事業化が開始できることが見通される。

一方で、水素貯蔵システムは材料単体として6 mass%前後の数値は達したものの、FCVの使用環境条件(-40℃での低温起動に対応する水素放出、アクセル全開に対応する水素放出速度)については材料レベルでも非常に厳しい結果であり、水素の吸放出メカニズムの解明による新たな材料設計が必要と考えられる。

### 1.3 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」の実用化の見通し等について

研究開発項目Ⅲは、2つのテーマがあり一つは既に始まった商用ステーションに対するもので、2015年の普及開始時での利用を目指したものである。主な成果は、(1)セーフティデータベースの作成・提供、(2)ユーザが安心してサービスを受けることができる運営・管理マニュアルの指針の作成、(3)ウェブサイト作成による一般の方への情報提供である。

(1)については基本フォーマットを作成し、JHFC1～JHFC3までの実証水素ステーションで得られた情報を反映、関係事業者への展開をHySUTを通じて開始した。また(2)についても、間もなく実用化を完了し、関係者へ配布予定である。(3)は平成27年5月より一般公開を開始し、適宜情報をアップデートしている。併せてアクセスの解析を通じて、水素への理解度を深める方法を検討する。

もう一つは、2025年の普及拡大期を狙ったもので、これには次世代の水素ステーションのあるべき姿をコンセプト化し、必要な技術開発を行うものである。一部に、水素ガスセンシング技術の向上、水素火炎センシングなど水素の見えにくい性質を疑似的に可視化し、安全性を高めようと言うもので、これらは事業終了後に実用化できる見込みである。

### 1.4 研究開発項目Ⅳ：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」の実用化、事業化の見通しについて

研究開発項目Ⅳは調査研究であることから、本研究にて得られた情報、知見を他の事業に活用促進することが、実用化・事業化となる。

国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向の調査において、国内外の関連有識者とのネットワークが構築された。本ネットワークは研究開発項目Ⅲにおいて社会受容性向上の研究において活用されている。また、水素社会構築技術開発事業において再生可能エネルギー由来の水素製造実証試験を実施する中において国内の異業種連携の基として本ネットワークが活用されている。また、海外からのCO2フリー水素の調査にて得られた海外からの一連の物流に関する知見は、水素社会構築技術開発事業における海外からの水素サプライチェーン構築の実証事業において活用されている。

以上のように、タイムリーな情報発信を継続することが実用化・事業化を促進するものと考えられる。

以下に各項目の詳細について示す。



**研究開発項目 I : 「FCV 及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」**

項目	実用化、事業化の見通し
I-①-(1) : 「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>作成した技術基準案が審査され、関連法規の改正等の措置が成される見込みである。</li> </ul>
I-①-(2) : 「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」	<ul style="list-style-type: none"> <li>作成した「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」は業界関係者に周知され、水素スタンドにおける緊急時の水素スタンド作成者の対応手順・教育訓練や防災訓練などを記載する危害予防規程や非常措置マニュアル等の作成に反映される見通しである。</li> <li>本検討の成果である蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案については、高圧ガス保安協会にて技術的妥当性が評価され、高圧ガス保安室により安全性が確認された場合、新たな例示基準として制定される予定である。</li> </ul>
I-②-(1) : 「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>複合容器を設計圧力サイクル数まで運用できる保安検査として AE 法を活用する。</li> <li>複合容器を使用可能回数、すなわち設計圧力サイクル数を疲労設計安全率で除した回数までの運用中の保安検査として AE 法を活用する。</li> </ul>
I-②-(2) : 「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐水素特性が明確化されかつ例示基準化された鋼種は水素ステーション建設に 広く活用され、水素事業推進へ大きく寄与している。</li> <li>低合金鋼の利用研究、実用化を図ることで、一層の水素ステーション機器のコストダウンが期待できる。</li> <li>溶接技術等の機器製造に関連する技術の実用化の見通しが立ちつつあり、水素ステーション建設、運営の両面で工程簡素化によるコストダウン効果が期待される。</li> <li>海外規格材の利用は、「高圧ガス保安法スマート化」の方向に沿って利用拡大を図る。</li> </ul>
I-②-(3) : 「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術文書 KHKT5202 の疲労試験に関する改正素案及び解説書案を作成する。</li> <li>技術文書及び解説書が改訂されることで、Type3 複合圧力容器蓄圧器の疲労寿命の延長が期待できる。</li> <li>加えて耐圧・耐久性を両立させる最適設計、及び耐久性検査試験工数の削減が可能となり、複合圧力容器蓄圧器の製造コストの大幅低減が期待できる。</li> </ul>
I-②-(4) : 「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;低合金鋼&gt;</li> <li>ガイドラインの作成を進めると共に軽量化蓄圧器を開発し、実機として製造開始。耐久性を犠牲にすることなく蓄圧器の更なるコスト低減について検討する。</li> <li>&lt;HRX19 ステンレス鋼&gt;</li> <li>種々の水素ステーションの各種機器に HRX19 および XM19 が使用されている。想定環境下で SUS316L に比べて優れた耐水素ガス脆化特性・疲労特性を有していることは確認済みであり、今後は構造物を考慮した利用技術データ(特に溶接や曲げなど)を継続採りし、本鋼の溶接による実用化・規格化を目指す。</li> <li>&lt;STH2 ステンレス鋼&gt;</li> <li>水素ステーション想定環境下で SUS316L と同等の耐水素ガス脆化特性を有することを確認済み。今後は Cu, N の影響を加味した Ni 当量式提案に資するデータおよび溶接に関わるデータ採取を継続し、本鋼の実用化・規格化を目指す。</li> <li>&lt;SUS305 相当ステンレス鋼&gt;</li> <li>希少金属であり高価な Mo を含まないことから、現在一般的に用いられている高圧水素用 SUS316L と比較して、2 割程度の材料コストの低減が見込める。</li> <li>また、冷間引抜加工や鍛造にも対応し、ニアネットシェイプ加工による生産性の向上もメリットである。実機による圧延試験も実施し、問題ないことを確認済。</li> </ul>
I-②-(5) : 「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>HFCV gtr Phase2 の高圧ガス保安法関連領域(容器および附属品)について、以下の 3 項目が高圧ガス保安法と整合し成立する。それにより FCV の国際的な流通が容易となると同時に安価な材料が適用となることが見込まれる。</li> <li>破裂圧の適正化</li> <li>水素適合性を評価する材料試験法の開発</li> <li>アルミニウム系材料の腐食を評価する試験法の開発</li> </ul>
I-③ : 「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素品質ガイドラインが FCCJ より公開され、一般の事業者へ普及する見込みである。</li> <li>「水素ステーション品質管理のための受託分析事業」が実現する見込みである。</li> <li>品質管理手法が ISO へ反映され、国際的な規格となる。</li> </ul>
I-④ :	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業成果である充填基準及び充填性能確認ガイドラインは、全ての商用ステーションに</li> </ul>

項目	実用化、事業化の見通し
「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」	適用され、実用化が行われている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>今後普及が予想される車両（バス、2輪など）に対しては、普及時期に先行し充填基準を整備し、実用に供していく。</li> </ul>
I-⑤： 「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>事故後処理については得られた成果を消防庁に提供し、「警防活動時等における安全管理マニュアル」改訂などに反映される予定である。</li> <li>くず化マニュアルを策定し、廃車処理事業者へ配布することで、安全な容器のくず化が可能となる。</li> <li>平成 27 年度後半より開始する HFCV-gtr Phase2 の審議で本成果が反映される予定である。</li> <li>規制改革実施計画（平成 25 年 6 月）(No. 66)の FC 二輪の型式認定が結論され、FC 二輪の一般販売が開始される。</li> </ul>

## 研究開発項目Ⅱ：「FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

項目	実用化、事業化の見通し
[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(1)： 「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>DRY 法蓄圧器の実用化は、一定量以上の受注が増え、量産となった場合、コストメリットが出て実用化が可能である。</li> <li>DRY 法のメリットである製造スピード向上を実現するため、FW 時間短縮、ライナー製造時間短縮による課題を抽出し、安定的な量産化技術確立の検討を、今後も継続的に取り組む。</li> <li>更なるコストダウン、性能向上に向けて、NEDO 事業で得られた成果、技術を基盤に継続的に検討を実施する。</li> </ul> ⇒これらの検討を実施し、実蓄圧器へ適用することで、コスト競争力のある蓄圧器の実用化・事業化の継続が期待できる。
[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(2)： 「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>タイプ 3 複合容器の基本設計は本事業内にて終了しており、具体的なニーズおよび基準に合わせて製造できる状態にある。</li> <li>タイプ 3 複合容器開発は平成 27 年度に前倒し達成見込みである。</li> </ul>
[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(3)： 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」（八千代工業・東邦テナックス）	<ul style="list-style-type: none"> <li>タイプ 4 蓄圧器に最適な CF の使用により、FW 工程での安定化を実現すると共に CF 強度発現率向上による CF 使用量を削減することで、コスト削減、及び軽量化に繋がる。</li> <li>タイプ 1 比軽量化 <math>\Delta</math>84% ⇒設置費用削減：基礎費用、設置場所への運搬費用、設置作業費用</li> <li>タイプ 3 比軽量化 <math>\Delta</math>37% ⇒設置費用削減：容器ラックの軽量化 ⇒コスト構成で大半を占める炭素繊維の使用量削減</li> <li>ライナー肉厚差の容量効率向上による削減、ライナー疲労強度向上による削減</li> </ul>
[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(4)： 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」（中国工業）	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型 Type4 複合容器蓄圧器にて各種設計確認試験に合格し、特認を取得する事で事業化する。</li> <li>最も期待される市場は、水素ステーション設備を設置する業者である。</li> </ul>
[1/2 共同研究] Ⅱ-①-(5)： 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」（丸八・巴商会）	<ul style="list-style-type: none"> <li>容器ビジネスと、低価格水素ステーション構築の 2 事業における展開が考えられる。</li> </ul>
[委託] Ⅱ-①-(6)： 「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーション普及に向け、法改正（昇圧化）に対応するホースの供給を行う。</li> <li>ステーション周辺機器や各種水素ガス輸送分野への樹脂製配管用途拡大を図る。</li> <li>本開発にて、高圧水素用ゴムシール部材およびシールシステム設計指針を提供することで、すべてのシール材メーカーが、信頼性が高く実使用上問題なく使用可能なシール製品の開発を低コストで実施可能となり、水素利用技術の実用化・事業化が進むと考えられる。</li> </ul>

項目	実用化、事業化の見通し
[1/2 助成] Ⅱ-①-(7) : 「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>部品点数の削減により従来技術の約半分への低コスト化、それに伴いコンパクト化による設置面積の低減などイニシャルコストの削減、設置スペースの縮小等のメリットが多く、多くの優位性を有している。</li> </ul> 販売予定先 ①ガス事業者 ②石油事業者 ③上記以外の販売先（想定）（オンサイト型水素ステーションシステムの販売事業者） ④他の分野 <ul style="list-style-type: none"> <li>小規模発電システム 水素用発電機の水素原料として提供 PEFC 型燃料電池と組合せ</li> <li>水素供給設備 PSA との組合せにより化学工業での水素供給設備</li> </ul> ⑤海外、その他
[1/2 助成] Ⅱ-①-(8) : 「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>低コスト、省エネで信頼性の高い水素圧縮機が実現し、我が国の水素燃料電池自動車のインフラに必要な要件に合致している。従来の国内競合製品に対しては、消費電力の面で大きな優位性があり、海外の競合製品に対しては加えてメンテナンス性で優位性がある。</li> </ul>
[1/2 助成] Ⅱ-①-(9) : 「低コスト・プレクーラーの研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>低コスト化に加えて、パッケージ型等の小型化が可能なディスペンサーシステム及びプレクーラーシステムが実用化される。</li> <li>冷凍機の冷凍能力要求が低減されることで、冷凍機システムの小型化、冷媒使用量削減によるコスト削減、消費電力削減によるランニングコスト削減が可能となる。</li> <li>大容量タンク（バス・トラック）への対応も可能であり、今後のFCV普及拡大時においても対応可能である。</li> </ul>
[委託] Ⅱ-② : 「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素貯蔵材料は次世代の大量生産時のオプションであると自動車業界では位置づけている。</li> </ul>
[委託] Ⅱ-③ : 「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」	<重量法試験装置> <ul style="list-style-type: none"> <li>事業終了後、事業化の位置づけが進められる予定。更なる高圧充填(82MPa)などへも対応していく。</li> </ul> <マスターメーター法試験装置> <ul style="list-style-type: none"> <li>小流量での試験結果を基に技術検証試験を通して、大流量での計量技術を確立する。事業終了時には実用化を行う。</li> </ul>

### 研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

項目	実用化、事業化の見通し
Ⅲ-①-(1) : 「水素ステーション高度安全・安心技術開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>セーフティデータベースについては、システムを構築し完成した。</li> <li>今後、拡大していく商用水素ステーションからデータを収集する仕組みを活用し、商用水素ステーションでのトラブル削減に寄与していくために、来年度以降も事業継続が必要である。</li> <li>人材教育・育成手法の開発については、「教育設備・訓練内容指針(案)」を今年度中に完成予定である。今後の課題として本検討の中から顕在化してきたことは、本指針(案)を基に、水素ステーション運営者、消防等の訓練や新規安全設備等の検証を行う為の、訓練用水素ステーション建設の必要性である。</li> <li>社会受容性の向上については、2025年の本格普及期に向けて、更なる新規需要創出の為に継続的な活動が必須である。開設したポータルサイトを来年度以降も継続・改善することや展示会、セミナー等でのアウトリーチ活動の継続も必要である。</li> <li>次世代水素ステーション技術開発については、必要な技術開発項目の抽出・報告を行った。この技術開発候補の中から、次世代水素ステーションに必要な技術開発が完成し、更なる安全・安心な水素ステーションの運営に寄与することが期待できる。</li> </ul>
Ⅲ-①-(2) : 「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接継手高強度化に必要な高窒素濃度維持には溶接パラメータの改善が必要であるが、余盛りなし溶接継手で引張強さ 800MPa 以上、余盛りつき溶接継手強度は母材と同等すなわちオーバーマッチ継手が達成可能と考えられる。</li> </ul>

項目	実用化、事業化の見通し
<p>Ⅲ-①-(3) : 「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規格化されている雷被害対策を水素ステーションに合わせて整理し、(一社)日本雷保護システム工業会が維持管理を予定。(一社)日本雷保護システム工業会はこれまで雷被害対策の規格化に際し中心的な役割を担ってきた実績があることから、実用化可能と考えている。</li> <li>水素ステーションに係る安全基準等を策定・運用する団体と研究成果を共有し、必要に応じ、これらの団体が策定・運用する安全基準等に反映させることで、普及が図られるものと考えている</li> </ul>
<p>Ⅲ-①-(4) : 「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」</p>	<p>&lt;水素センサシステム単体&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素センサ素子の基本設計がほぼ決定し、システム化のため検出信号の処理回路及びパッケージングの設計中。</li> </ul> <p>&lt;ハンディ型水素ガス検知器&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>有識者との意見交換会(2015/2/13NEDO分室にて開催)により、チーム内で合意した新たに应用機器として先行して当該製品の開発を始めるため、市販の他社製のハンディ型水素ガス検知器の構造解析を行い、検知する水素ガスのセンサ素子までの導入経路の設計検討に入る。また、当該製品の市場を再調査する。</li> </ul> <p>&lt;水素ステーション用定置式ガス検知警報器&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>当初より、水素センサシステムの応用機器のターゲット製品として位置付けていたが、すでに、水素ステーションでは既存の水素ガス検知警報器が主流になり、認知が進んでいるため、当該キーデバイスである水晶振動子型水素センサのシステム単体販売を先行させ、その優位性が市場認知された段階で当該製品の市場投入を開始する。</li> </ul>
<p>Ⅲ-①-(5) : 「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」</p>	<p>&lt;光学式水素ガスセンサ&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーションおよび水素製造プラント等の水素関連施設への適用を想定している。</li> <li>当初は各種フィールドでの実証試験や展示会への出展・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールする。本製品は光学的手法(レーザラマン分光法)を用いた全く新しい独自の技術を用いており、現在広く流通している接触燃焼式等のガスセンサでは困難である、非接触計測・高速応答が可能であることを広く周知する。</li> <li>一般的に光学式ガス計測装置は極めて大型であり、数百万～数千万円程度のコストであるが、技術開発と量産効果により現在流通している市販の水素ガス検知システム(例えば6点監視で200万円程度)と同等のコストを実現する。</li> </ul> <p>&lt;水素ガスリークディテクタ&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーション等の水素関連施設への適用を想定している。</li> <li>当初は各種フィールドでの実証試験や展示会への出展・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールする。本製品は、配管継手等から生じる微量な漏洩水素ガスを瞬時に検知できるため、漏えい個所の迅速かつ効率的な特定が可能であることを広く周知する。</li> <li>主に特殊用途への適用が想定されるため、コストよりも機能優先し事業化を進める。</li> </ul>
<p>Ⅲ-①-(6) : 「水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発」</p>	<p>&lt;火炎・侵入監視装置&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーションなどの水素を取り扱う施設への適用を想定している。</li> <li>市場投入初期は、デモ機による試験運用や展示会への出展などを通じて対象製品の特徴・優位性などを訴えることにより、市場の認知度を高める。</li> <li>本格的な普及が始まるまでは、従来技術と比較すればコスト的に不利ではあるものの、水素社会に向けた社会ニーズとして絶対的な安全性が求められているため、市場獲得は可能であり、各業界の事業者との協業化など、合理的で効果的な方策を講じることにより、低コスト化を実現させる。</li> </ul> <p>&lt;携帯型水素火炎可視化装置&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>消防機関や工場・プラントなどの第一線の現場で採用されることを想定している。</li> <li>特に、消火活動現場での利活用が効果的と考えており、汎用性を基本としつつも構造や機能性、操作性などのカスタマイズが可能な設計仕様を考えている。</li> <li>製造委託を予定している事業者が、従来仕様の装置製造に対して、電子部品の最適仕様の決定や入手ルートの確立、安価な筐体設計など、低コスト化実現のための技術や知見を習得しており、これらを活用すれば、早期に市場に受け入れて貰える価格での製品提供が可能である。</li> </ul>

#### 研究開発項目Ⅳ：「CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

項目	実用化、事業化の見通し
IV-①： 「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	本事業は調査と国際連携業務であるため、直接的には「実用化」を行わないが、以下のような点で「事業化」を行っている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 国際関連業務の新規受託と、その業務を通じた我が国水素・FC 産業界の製品実用化・国際展開への寄与。</li> <li>• NEDO プロ関係者への情報提供を通じて、事業者の R&amp;D の実用化・事業化を支援。</li> <li>• 本事業で構築したネットワークをもとに、本事業以外でも我が国の水素関係者に必要な情報やコンタクトを提供。</li> </ul>
IV-②： 「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 技術的には確立した。</li> <li>• 経済性の向上に向け、経済特区等の制度に基づくインセンティブの活用、周辺の産業との熱・酸素の融通などシナジー等の詳細な調査を継続し、判断する。</li> </ul>

(添付-1)

各研究開発項目の詳細

(添付-2)  
プロジェクト用語集

(添付-3)

プロジェクト基本計画



(添付-4)

事前評価関連資料

(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)

## 研究成果詳細目次

### 研究開発項目Ⅰ：燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発

I-①-(1) 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発	1
I-①-(2) 水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討	17
I-②-(1) 水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発	32
I-②-(2) 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発	50
I-②-(3) 複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発	83
I-②-(4) 燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発	98
I-②-(5) 自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発	119
I-③ 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発	137
I-④ 燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発	151
I-⑤ 燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発	185

### 研究開発項目Ⅱ：燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

Ⅱ-①-(1) アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	203
Ⅱ-①-(2) スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	216
Ⅱ-①-(3) 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	225
Ⅱ-①-(4) 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	236
Ⅱ-①-(5) 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	257
Ⅱ-①-(6) 水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発	275
Ⅱ-①-(7) オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発	306
Ⅱ-①-(8) 複合型高圧水素圧縮機の研究開発	311
Ⅱ-①-(9) 低コスト・プレクーラーの研究開発	319
Ⅱ-② 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発	334
Ⅱ-③ 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発	370

### 研究開発項目Ⅲ：水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発

Ⅲ-①-(1) 水素ステーション高度安全・安心技術開発	383
Ⅲ-①-(2) 高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発	397
Ⅲ-①-(3) 水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発	420
Ⅲ-①-(4) 水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発	427
Ⅲ-①-(5) 光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発	446
Ⅲ-①-(6) 水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発	467

### 研究開発項目Ⅳ：CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

Ⅲ-① 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	487
Ⅲ-② 有機ハイドライドを用いたロシアからのCO <sub>2</sub> フリー水素導入に関する調査研究	497

(I-①-(1))「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究／水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター、(一社)日本産業・医療ガス協会、豊田通商(株)、日本エア・リキード(株)、(国)佐賀大学

●成果サマリ(実施期間：平成25年度～平成27年度6月)

・FCV及び水素供給インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素スタンドを含む水素供給インフラに関連した8項目の検討を実施し、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施している。  
 ・研究項目ごとに関し外部有識者で構成される検討会と事業全体を統括・管理する規制適正化検討委員会を設置することにより、効率的な運営を実施している。

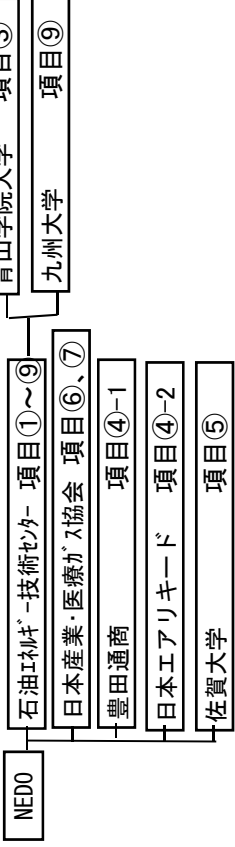
●背景/研究内容・目的

FCV量産車の2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を踏まえ、水素供給事業者がFCV量産車の販売台数の見直しに応じて水素供給インフラの先行整備を目指すこととなり、水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化を目的とする。

●研究目標

実施項目	目標
①70MPaスタンドの保安検査基準の整備に関する検討	70MPa水素ステーションの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案の作成および蓄圧器の検査方法の調査
②圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討	高圧ガス保安法に係る技術基準案作成
③水素スタンドの距離規制見直しに関する検討	離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討および高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成開始
④-1公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討(公道充填)	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立
④-2同上(ゲイザー充填)	特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置設置に関する規制・対応調査
⑤圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討	・圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度(85℃)以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案作成、水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討
⑥液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討	液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの技術基準案作成および消防法、建築基準法の措置に資する資料作成
⑦2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案作成および追加安全策の検討
⑧温度上昇を防止する装置(散水基準)の見直しに関する検討	圧縮水素スタンド散水・低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	35MPa水素スタンド保安検査自主基準案作成、70MPa水素スタンド定期自主検査項目整理	○
②	HFCV-gtr及び海外標準の調査・検討、ガラス球式安全弁に対応した技術基準案作成	○
③	水素ガス高圧噴爆時の拡散濃度に関する詳細解析実験内容の検討、実験計画立案	○
④-1	簡易充填設備製作と模擬実証実験、公道充填課題抽出、設備仕様と運用方法の検討	○
④-2	超小型水素充填装置の試作、試作装置での充填作業実施、要望調査、問題点の把握	○
⑤	シミュレーションによる容器温度検討、使用上限温度65℃まで引上げる技術基準案作成	○
⑥	液化水素貯蔵型圧縮水素スタンド関連の経済産業省令・例示基準、業界自主(JIMGA-S)、消防法、建築基準法の措置完了	○
⑦	水電昇昇圧装置の安全性検討、第二種製造者圧縮水素スタンド技術基準案検討、作成	○
⑨	水素スタンド蓄圧器の散水量低減方法の考案方整理、シミュレーション手順・条件検討	○

●今後の課題

作成した技術基準案の審査過程における説明対応を実施し関連法規の改正につなげるとともに、自主基準の制定を行い事業者の水素スタンド設置、運用の効率化を目指す。

●実用化の見通し

作成した技術基準案が審査され関連法規の改正等の措置が成されると思われる。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	5	0

## 課題番号： I - ① - (1)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発

一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)  
一般社団法人 日本産業・医療ガス協会 (JIMGA)  
日本エア・リキード株式会社 (平成 26 年度終了)  
豊田通商株式会社 (平成 26 年度終了)  
国立大学法人佐賀大学 (平成 25 年度終了)

#### 1. 研究開発概要

FCV 量産車を 2015 年に 4 大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が 2015 年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

このような背景の下、水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素スタンドを含む水素供給インフラに関連した以下 8 項目の検討を実施し、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施した。

本研究は、研究項目ごとに外部有識者で構成される検討会と事業全体を統括・管理する規制適正化検討委員会を設置することにより、効率的な運営を実施した。

各開発項目の概要は以下の通り。

##### (1) 70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討<JPEC>

一般高圧ガス保安規則別表第 3 に基づき実施される 70MPa スタンドの保安検査及び定期自主検査において、その検査方法を詳細に明確化することにより適切な設備の維持管理を行うために資するものである。また、蓄圧器の保安検査は従来よりその内面の健全性を確認するため、開放して内面を観察する方法が採用されることが多いが、より効率的で的確な手法である超音波探傷検査方法に関し標準化することで広く活用されることが望まれている。よって、蓄圧器に関する超音波探傷方法の標準化に資する資料の作成も実施する。また、これらの検討、後述する各検討テーマ及び連携する検討テーマ等により得られた知見等を水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案として取りまとめる。

##### (2) 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討<JPEC>

容器保安規則と技術基準により圧縮水素運送自動車用容器に装置することが規定された溶栓式安全弁に加え、ガラス球式安全弁の装置も可能となる規定の作成に資するものである。容器保安規則第 17 条第 1 項第 7 号による、容器の通常の使用範囲を超えた圧力又は温度に対応して適切に作動する附属品として、圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準 JIGA-TS/13/04 の第 3 条第 7 項に溶栓式安全弁を装置することを規定している。本事業の研究開発により、現状の技術基準では使用が規定されていないガラス球式安全弁が、装置可能となり安全弁の選択肢を広げられる技術基準案を作成する。また、溶栓式安全弁の現状の規定内容についても検討し、必要な改正内容を技術基準案に反映する。

##### (3) 水素スタンドの距離規制見直しに関する検討<JPEC、青山学院大学 (共同実施) >

現行の高圧ガス保安法等では、一定条件に基づく火炎長、爆風圧、拡散等により圧縮水素スタンドの離隔距離を設定している。本検討では、従来の距離設定で使用された閾値の妥当性評価、漏洩水素着火時の影響に関してより実態に近づけた評価方法等の検討を行い、規制見直しを実現するための方法論の検討を行う。その結果、規制見直し実現の道筋を明らかにすることができた場合、引き続き必要な実験等を行い、離隔距離を見直した技術基準案を

作成し、審査過程における説明を行う。

#### (4) 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討

##### ④-1 公道充填<JPEC、日本エア・リキード>

公道でのガス欠対応のために、レスキュー車両に車載可能な簡易水素充填設備の試作品を製作し、現行法規下での充填実証を行う。試作品を用いて実証試験を行うことにより、問題点を明確にする。その後、必要に応じ、試作品を改造し、改造品を用いて実証試験を行う。ガス欠対応の際に、水素充填を可能にするための課題を抽出し、安全な設備仕様とその運用方法を確立する。将来の不特定場所における公道充填における課題を把握する。

##### ④-2 ディーラー充填<豊田通商>

FCV 普及初期においては水素ステーションが適正な間隔で設置されない可能性があり、燃料切れが発生する可能性がある。これを防止する為、数台の FCV 車に最低限の距離移動が可能なる量を充填できる燃料量を保管できる超小型充填装置を、可能であれば不特定多数の場所に設置することを想定する。また、FCV 普及後も新 FCV 車販売時に水素燃料を小量提供することが可能なディーラー若しくはそれに準ずる場所を特定多数の場所として選定し、安全に配慮した設備の検討、コスト把握を通して、そこに超小型水素充填装置を設置する場合の規制及び充填作業関係者の対応を調査する。

#### (5) 圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討<JPEC、佐賀大学>

水素トレーラー等の車両に固定した高圧ガス容器は、その温度を常に 40℃以下に保つことが定められている。一方、圧縮水素自動車燃料装置用容器については、充填・移動・貯蔵時に 85℃までの温度上昇が認められている。圧縮水素運送自動車用容器は、圧縮水素自動車燃料装置用容器と同様基準に基づき製作されており、環境試験温度は -40℃から 85℃である。本検討では圧縮水素運送自動車による水素ステーションへの効率的な水素供給を可能とするため、圧縮水素運送自動車用容器について充填・貯蔵・移動時の上限温度を緩和するため、充填条件や設備、要件などの技術的な安全性の評価・検討を実施する。

また、水素トレーラー移動中の車両火災の原因とその対策について検討し、原因究明及び当面の再発防止対策を検討し、関係者・業界等に発信する。

#### (6) 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討<JIMGA>

液体水素による貯蔵・水素スタンドは、保安距離の確保や資格者の選任等、設置に係る制約が大きく、また、市街地への建築の可否が不明瞭である。海外においては液体水素型水素スタンドが数多く設置されていることから、燃料電池自動車の本格普及に向けて液体水素による貯蔵・水素スタンドも市街地に建設できるようにするため、国内外の調査・研究を通じて各種データや知見を取りまとめ、一般高圧ガス保安規則の技術基準・例示基準等の見直しに資する検討案を作成するとともに、関係省庁が行う技術基準等の整備に資する資料の取りまとめを実施する。

#### (7) 2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討<JIMGA>

FCV の導入初期において、自動車ディーラー等に設置が想定される、小規模な水素供給設備の基準としては、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第 12 条があるが、都市部に多い既存の自動車ディーラー等では、火気距離など制約要因も多い。また、近年開発された水電解機能を有する昇圧装置によるオンサイト型水素スタンドの市街地への設置が強く望まれている。そこで、小規模製造水素供給設備の規制合理化に向けた各種データや知見を取りまとめるとともに、水電解機能を有する昇圧装置について安全性を確認することにより、小規模製造水素供給設備に関する一般高圧ガス保安規則の技術基準・例示基準等の見直しに資する検討案を作成する。

#### (8) 温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討<JPEC、九州大学（共同実施）>

圧縮水素スタンドの蓄圧器は温度の上昇を防止するための装置を設置することが規定されている。当該装置については、外部からの輻射による蓄圧器の受熱量に基づき、その表面積（複合容器蓄圧器の場合にあっては、覆い等の外面又は内面及び表面積）1 平方メートルにつき 5L/min 以上の水量を全表面に放射できる能力を持つ水噴霧装

置又は散水装置の設置が必要となる。本検討では散水量の低減に資する方策等を検討し、得られた結果を反映した技術基準案を作成する。

## 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

研究開発の目標を以下のとおりとする。

水素供給インフラに関連した開発項目の検討を実施し、水素スタンド等水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化に資する資料の作成と、それに基づく技術基準の制定等の規制改正を目標とする。

各開発項目ごとの研究開発目標を表1に示す。

表1 開発目標

開発項目	目標
(1)70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 〈JPEC〉	70MPa 水素スタンドの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案作成、水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案作成
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 〈JPEC〉	高圧ガス保安法に係る技術基準案作成
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 〈JPEC〉	離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、高圧ガス保安法に係る技術基準案作成
(4)-1 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討（公道充填）〈JPEC/日本I7リード〉	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立
(4)-2 同上（トレー充填）〈豊田通商〉	特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置設置に関する規制・対応調査
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 〈JPEC/佐賀大学〉	圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度(85°C)以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案作成、水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討
(6)液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討（JIMGA）	液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの技術基準案作成および消防法、建築基準法の措置に資する資料作成
(7)2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討（JIMGA）	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案作成
(8)温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 〈JPEC〉	圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

##### (1) 70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 (JPEC)

本検討の目標は、圧縮水素スタンド (70MPa 水素ステーション) の保安検査に関して、より合理的な保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案を作成することである。

##### ①保安検査基準の検討

35MPa 水素スタンド保安検査基準に関する検討結果を取りまとめ、有識者による審議、パブリックコメントを経て「水素スタンド保安検査基準(35MPa)JPEC-S 0001(2015)」を制定した。さらに改正された一般高圧ガス保安規則に準じた 70MPa 水素スタンドの保安検査項目の整理を継続し、70MPa 水素スタンドの保安検査基準案の検討を進めている。

##### ②定期自主検査方法の検討

35MPa 水素スタンド定期自主検査指針に関する検討結果を取りまとめ、さらに改正された一般高圧ガス保安規則に準じた 70MPa 水素スタンドの定期自主検査項目の整理を継続している。

また、これらの検討等で得られた知見をもとに、平成 22 年に作成された「特定圧縮水素スタンドPEC自主基準 (70MPa)」を見直し、「圧縮水素スタンド安全技術基準 (案)」を作成した。

##### ③蓄圧器の超音波検査方法の標準化に関する検討

実水素ステーションの蓄圧器 (70MPa スタンド) のフェーズドアレイ法等の手法による超音波探傷検査を行い、その妥当性を検証した。図 1 に超音波探傷検査の状況を示す。

#### 超音波探傷の状況



図 1 超音波探傷検査

また、保安検査基準、定期自主検査指針の検討と超音波検査方法の標準化検討のフローを図 2 に示す。



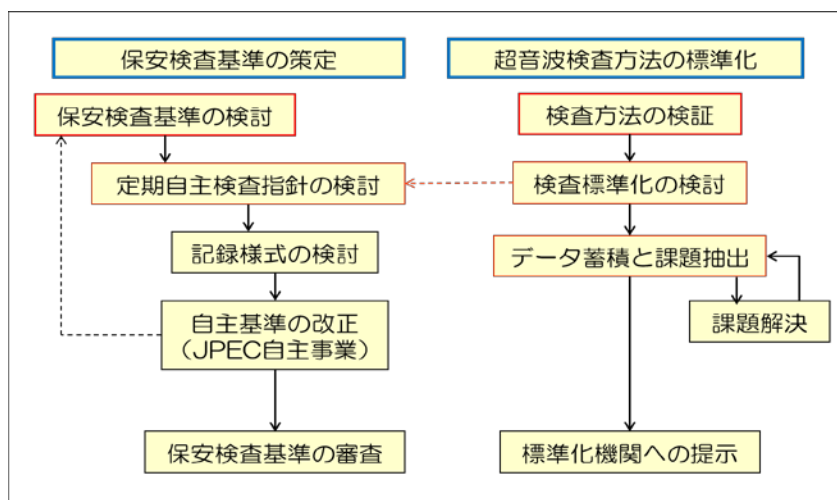


図2 保安検査基準等の検討フロー概要

## (2) 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 (JPEC)

本検討の目標は、安全かつ安価な圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁として適当な可能性があるガラス球式安全弁に関し、性能基準化に必要な実験を行い、高圧ガス保安法に係る技術基準案を作成することである。

図3にガラス球式安全弁の外観を示す。

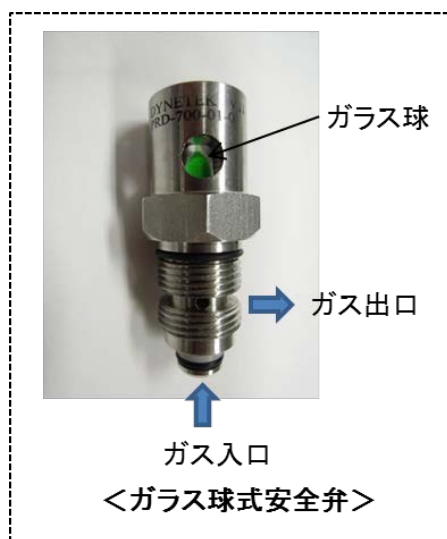


図3 ガラス球式安全弁外観

### ①HFCV-gtr と海外標準の調査・検討

FCV用容器に装置される熱作動式安全弁（ガラス球式安全弁及び溶栓式安全弁を含む）の各試験内容が、圧縮水素運送自動車用容器に装置される熱作動式安全弁にも適用できることを確認した。

### ②技術基準案の検討

上記検討結果に基づき、ガラス球式安全弁に対応した技術基準案を作成した。

国内技術基準（JIGA-T/S/13/04）の構成に準拠し、燃料電池自動車の国際基準 HFCV-gtr の試験内容を適時設計確認試験に導入することを検討した。概要は以下の通りである。

#### a. 試験項目

- ・安全弁の試験項目を、現状の技術基準（対象：溶栓式安全弁）に比べ充実させた。



(圧力サイクル試験、加速寿命試験、温度サイクル試験、塩水腐食試験、安全弁環境試験、応力腐食割れ試験、落下・振動試験、気密試験、作動試験、流量試験)

- ・バルブと緊急遮断装置についても、HFCV-gtr を参考に試験項目を充実させた。

(耐圧試験、気密試験、塩水腐食試験、環境試験、振動試験、応力腐食割れ試験)

## b. 試験条件

- ・各試験で規定する圧力や温度、及びサイクル数等の具体的な数値は、当該附属品が装置される容器の試験内容や水素トレーラの条件等を検討して決定した。

- ・実験による試験方法の確認

新規に規定する試験項目の中から、主要なものに試験方法の確認を実施した。

(温度サイクル試験の温度管理、作動試験の環境設定、流量試験の測定方法、等)

## (3) 水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 (JPEC)

本検討の目標は、水素スタンド設備が確保すべき各種離隔距離 (敷地境界距離、火気離隔距離、公道ディスプレイ距離) に関して、離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーションによる検討を行い、高圧ガス保安法に係る技術基準案を作成することである。

### ① 水素の拡散、着火試験計画の検討

水素ガスの高圧噴爆時の拡散濃度に関する濃度のゆらぎを考慮した詳細解析に必要な実験内容を検討し、詳細な実験計画を立案した。

高圧水素の噴出流により形成された拡散混合気に対し、拡散・着火・燃焼の挙動を確認するために以下の実験について計画を作成した。

実験 1: 濃度計測実験: 「水素噴流拡散混合気の水素濃度の計測」

実験 2: 速度計測実験: 「水素噴流拡散混合気の流体挙動を計測」

実験 3: 着火実験: 「水素噴流拡散混合気の着火条件と燃焼挙動を計測」

図 4 に実験設備の概要と、表 2 に実験概要を示す。

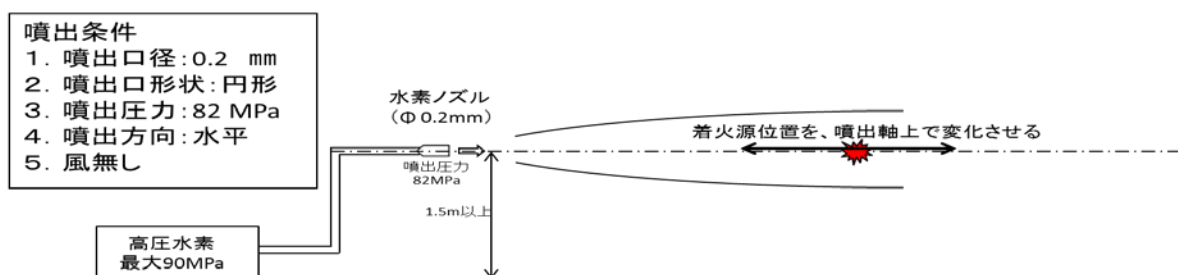


図 4 実験設備の概要

表2 実験概要

実験名		実験概要
濃度計測実験	実験 1-1	FID による水素濃度計測実験
	実験 1-2	レーザー計測（ラマン）による水素濃度計測実験
	実験 1-3	ノズル近傍のシュリーレン撮影
速度計測実験	実験 2	噴流速度の PIV 計測実験
着火実験	実験 3-1	レーザー計測（ラマン）による着火位置近傍の水素濃度計測
		火炎のシュリーレン撮影
		OH・H <sub>2</sub> O 濃度の自然光撮影
		燃焼圧測定
	実験 3-1'	PLIF による OH 濃度計測
実験 3-2	熱流束測定（火炎の熱影響の計測）	
	火炎温度測定	

(4) 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討（平成 26 年度終了）

(4) -1 公道充填（JPEC・日本エア・リキード）

本検討の目標は、ガス欠対応の際に、公道での FCV への水素充填を可能にするための課題を抽出し、安全な設備仕様とその運用方法を確立することである。

以下の検討を実施し、製作した設備を用いた製造者敷地内での実証試験を実施し、実証試験の結果を元に設備の操作性改善を図った。

- ・車載簡易充填設備の設計方針の決定
- ・車載簡易充填設備の詳細設計
- ・簡易充填設備の製作
- ・実証試験（製造者敷地内）の実施

図 5 に制作した車載簡易充填設備とそれを用いた実証試験の様子を示す。

車載簡易充填設備  
 水素 50L容器2本 (19.6MPa)  
 窒素2.1L容器1本 (14.7MPa)

各圧力表示等のパネル化  
 充填のフローインジケータ  
 充填ノズル 35MPa仕様  
 離脱カブラ取付  
 緊急遮断弁取付け (ボタン式窒素駆動)  
 水素検知器 ポータブル式



車載簡易  
 充填設備

設備積載車



JAF殿ご協力による模擬イメージ



図5 簡易充填設備と公道充填 (模擬) 試験

実証試験等の結果に基づき公道での水素充填に関し、以下の項目につき課題を整理した。

- ・ 設備仕様 : 水素搭載量、水素品質、設備に必要な安全対策
- ・ 運用方法 : 現行法令下で可能な運用方法
- ・ 課題 : 法令面の課題、運用面の課題
- ・ 将来の実用設備と運用方法 (案)  
 : 法令改正を前提として実用的な設備と運用方法を考察

#### (4) -2 ディーラー充填 (豊田通商)

本検討の目標は、FCV 普及初期のインフラ対策として、特定多数の場所においてガス欠対応の充填を行う為の超小型水素充填装置の設置に関する規制及び関係者の対応を調査することである。

以下の検討を実施し、現行法の規制下で超小型充填装置が設置可能なディーラー等を選定し、試作した超小型水素充填装置を使用し、燃料電池車への充填作業等の実証試験を実施した。併せて実際の作業体験によるソフト面に対する要望調査、問題点の把握を実施した。

検討のフローを図6に示す。

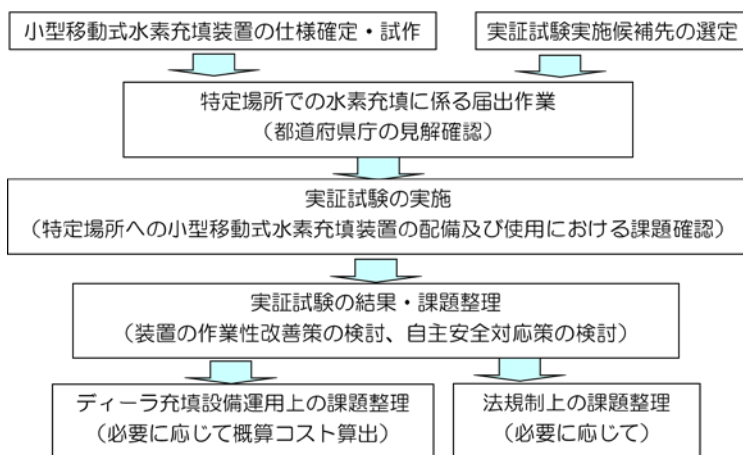


図6 ディーラー充填検討フロー

#### a. 超小型水素充填装置の試作

ディーラー等への設置を前提とした超小型水素充填装置の仕様を検討し、以下の仕様で図7に示す充填装置を試作した。

設備の仕様 : 充填圧力最大 15MPa (FCV 100km 走行可能)

1 カードル充填台数 約 10 台



図7 超小型水素充填装置

#### b. 実証試験

試作した超小型水素充填装置を用いて日本各地 10 か所ディーラー充填試験を実施した。実証試験の結果からディーラー充填の課題を整理した。

ディーラー充填の主な課題として以下のものが挙げられた。

- ・ 高圧ガス保安法の規制
- ・ 装置の設置面積や火気離隔距離のためのスペース  
都心ディーラーで確保困難、充填可能ディーラーは郊外店に集中
- ・ 水素充填設備の作業性、設置  
手動バルブは操作の煩雑さからディーラーでの受け入れ困難  
障壁相当の安全設備設置、バルブの自動化等は設備・運用コスト増
- ・ 作業有資格者、作業員の教育の問題
- ・ 安全等に配慮した操作面・保安面の対策が必要

#### (5) 圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 (JPEC)

本検討の目標は、圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度(最高 85°C)以下で安全に使用できる技術基準案を作成することである。今年度は以下の検討を実施し、容器の使用上限温度を 65°Cに引上げることを可能とする技術基準(案)を作成した。

また、平成 26 年度下期より水素トレーラー移動中の車両火災の原因とその対策について検討を開始した。原因究明及び再発防止対策を検討し、安全対策を提案することを目標とする。

##### ① 安全な使用上限温度の検討

圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度は FCV 容器同様 85°Cであるが、使用状況から判断して FCV 容器より高温持続時間が長期化傾向であることから、容器の上限温度を圧縮水素輸送自動車用容器の『設計確認試験における加速応力破壊試験』の試験内容に基づき、容器の使用上限温度を 65°Cに決定した。

##### ② 容器温度の測定方法の検討

充填時に最も高温となる部位は容器内表面である。本来ならこの部位に熱電対を設定し温度を測定し、その温度が使用上限温度（65℃）を超えないように監視する必要がある。しかし容器内表面に熱電対を設置する構造とした容器の製作は現実的には困難なため、本検討では鋼製容器と同様に、容器外表面に貼りつけた熱電対により容器温度を測定する方法を採用することとした。

### ③シミュレーションによる容器温度の推定方法の検討

容器外表面の温度測定値から容器内表面温度を推定する有効な手段は、シミュレーションを活用することである。本検討では佐賀大学が開発したシミュレーションを用いた容器内表面温度の推定方法を検討し、計算例として纏めた。図8に水素充填時の容器（タイプⅢ）内水素温度、容器外表面の実測値とシミュレーション結果を示す。外表面の熱伝達率 $\alpha$ を適当な値に設定すればシミュレーションにより容器温度を推定できることを明らかにした。

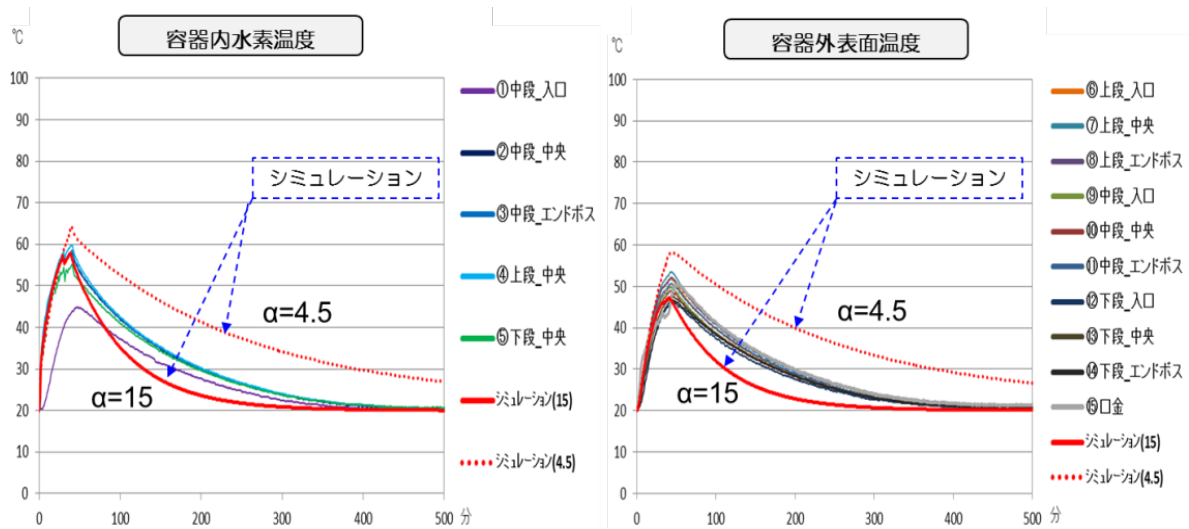


図8 シミュレーションによる容器温度の推定

### ④技術基準案の検討

上記検討結果に基づき、容器外表面の温度測定を実施することで使用上限温度を65℃まで引上げることを可能とした技術基準案を作成した。

### ⑤審査過程における説明

燃料電池自動車等に関する水素関連技術の安全性の評価基準の検討委員会（KHK 主催）にて「圧縮水素自動車用複合容器の取扱時における上限温度緩和に関する技術基準案について」審議され、一般高圧ガス保安規則に係る省令改正予定である。表3に改正案（要点のみ）を示す



表3 一般高圧ガス保安規則に係る改正案

### 一般高圧ガス保安規則 改正案（要点）

第六条 2  
(新設) 圧縮水素運送自動車用容器の温度が四十度を超過して、圧縮水素を充填する場合には、容器の破裂を防止する措置を講ずること。  
(新設) 圧縮水素運送自動車用容器にあつては、常に温度65度以下に保つこと。  
第四十九条  
(新設) 圧縮水素運送自動車用容器にあつては、その温度を常に65度以下に保つこと。  
(新設) 圧縮水素運送自動車用容器にあつては、その外部からの雨水等による劣化を防止するための措置を講ずること。

### 一般高圧ガス保安規則例示基準関係 改正案（要点）

(新設) 容器が破裂することを防止するための措置とは容器の温度を監視する措置とし、次の各号の基準によるものとする。  
1. 容器の温度の監視は、本基準12.で規定する温度計で行いかつ電氣的に温度を出力できるものとする。  
2. 温度計の設置位置は容器外表面とし、バンクごとに一つ以上設置する。  
3. 温度計の測定値に基づき容器内表面温度が65℃を超えるおそれのある場合には速やかに充填を停止する。  
(新設) 圧縮水素運送自動車用容器の雨水等による劣化を防止するため、以下の措置を講ずること。  
1. 圧縮水素運送自動車用容器の表面には防水塗料を塗布し、口金部へシール材を塗布すること。

## ⑥水素トレーラー安全技術の検討

平成26年10月に発生した複合容器水素トレーラーの移動中の車両火災について、火災事故の経過把握、安全対策の評価と追加安全対策の検討を開始した。

車両火災の経過把握及び事故シナリオの設定、配管・容器等への影響把握のための試験・測定、溶栓弁等安全対策の作動状況等確認を実施中である。検討結果を基に水素トレーラーの火災に対する安全対策を策定する。

### (6) 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討（JIMGA）

本検討の目標は、海外で主要な方式としても普及している液体水素による貯蔵・水素スタンドも市街地に建設できるようにすると共に、ガソリンスタンドとの併設を可能とするための高圧ガス保安法、消防法、建築基準法に係る技術基準案を作成することである。

#### ①液体水素による貯蔵・水素スタンドの技術基準案・例示基準案の検討

##### a. 液体水素スタンド関連技術の調査

過去のNEDO事業で検討された液体水素スタンド関連技術の内容を調査した。また、現行の液体水素スタンド建設上の技術基準に関する省令、例示基準、自主基準および安全対策等について調査を行った。

さらに、産業用途等での液体水素供給の実態、ならびに過去の事故事例及び、海外の液体水素スタンド運用事例・状況を調査お実施した。

##### b. 液体水素による貯蔵・水素スタンドのリスク評価・安全対策の検討

上記の調査結果を踏まえて、液体水素スタンドのモデルフローを作成し、すでに基準が整備されている圧縮水素スタンドとの差異と考えられる液体水素の受け入れ～貯蔵～払い出し工程でのリスク評価を、過去の検討結果をベースに最新の技術情報を加味して実施した。また、そのリスク低減のための安全対策の検討を行った。

##### c. 液体水素による貯蔵・水素スタンドの技術基準案・例示基準案の検討

リスク評価、安全対策の検討に基づき、液体水素による貯蔵・水素スタンドの技術基準案、例示基準案等の検討

を行い、液体水素による貯蔵・水素スタンドの技術基準整備に資する資料を作成した。

加えて、近年低温高圧下での材料評価が進展してきたことを鑑み、液体水素ポンプを用いて昇圧する方式についても、技術基準化の可能性を検討した。「超高压水素噴出量測定実験」を実施し、基準化の可能性について判断を行い、基準化の見通しを得た。

## ②基準案審査過程における追加安全対策等の検討

規制当局における技術基準案等の審査の過程で、距離規制に関する更なる検討を実施しデータの提供等を実施した結果、高压ガス保安法および建築基準法関連の省令・例示基準等の改正が実施された。消防法関連についても消防庁主催の検討会を経て措置完了となった。

表4に液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの追加安全対策として追加された技術基準を示す。

表4 追加安全対策の技術基準（下線項目）

一般高压ガス保安規則第7条の3第2項
<ローリ、ローリ停車位置> ・警戒標・車止め ・他の車両との接触事故を起こすおそれのない場所 ・ローリと貯槽との適切な距離 ・誤発進防止 ・緊急遮断弁 ・放出管をスタンド内の放出管に接続 ・水素の放出は危険又は損害の発生を防止するため、適切な流量
<液化水素貯槽> ・貯槽間の距離（全ての貯蔵能力） ・可燃性ガスの貯槽として識別できる措置 ・貯槽の周囲の流出を防止するための措置 ・防液堤内及び周辺の設備設置制限 ・耐震設計 ・同一の基礎に緊結・貯槽の沈下状況の測定（全ての貯蔵能力） ・液化ガス貯槽の液面計等 ・貯槽の配管に設けたバルブ ・貯槽及びその支柱の温度上昇を防止するための措置 ・安全弁の作動を確認した場合の整備 ・受入・送出配管に遮断装置 ・二以上の安全装置（元弁が同時に閉まることできない構造） ・圧力リリーフ弁 ・適切な真空度維持 ・液化水素が通る設備の同一基礎上への配置 ・放出ラインに加温器設置
<蒸発器> ・送ガス蒸発器の能力が不足したときに速やかに遮断する措置 ・液化水素が通る設備の同一基礎上への配置
<配管> ・配管の設置に対する措置 ・配管等の接合
<障壁> ・液化水素貯槽及び蒸発器の設置場所とディスプレイセンサーとの間の障壁

## (7) 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討（JIMGA）

本検討の目標は、1日の処理能力が30m<sup>3</sup>未満の小規模製造水素供給設備をガソリンスタンドへの併設及び市街地への設置を可能とするための高压ガス保安法に係る技術基準案を作成することである。

### ①第二種製造者に相当する既存設備調査及びニーズ調査

関西空港水素ステーション、埼玉県庁水素ステーション等の第二種製造者の圧縮水素スタンドに相当する既存設備調査及びニーズに関する聞き取り調査を行って、第二種製造者の圧縮水素スタンドに設置が想定されるモデルについて検討を行った。第二種製造者の圧縮水素スタンドとして設置が想定されるとして以下のものを対象とした。

- ・電解機能を有する昇圧装置により発生した水素ガスをFCVへ充填する設備（オンサイト方式）

- ・水素ポンペ等から差圧にて水素ガスをFCVへ充填する設備（オフサイト方式）

## ②水電解機能を有する昇圧装置の安全性の検討

第二種製造者の圧縮水素スタンドに設置することが想定されている差圧式高圧水電解装置（水の電気分解により水素を発生し、同時に水素のみを昇圧するもの）について安全性の検討を行った。高圧ガス保安協会の特定設備検査事前評価申請を通じて水電解スタックの安全性を確認するとともに、リスク評価により差圧式高圧水電解装置のシステムに対して必要な安全対策の検討を行った。

## ② 技術基準案作成のためのロジックの検討及び技術基準案の作成

第一種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準の中で、小規模な第二種製造者においても必要と考えられる技術基準については処理能力30m<sup>3</sup>未満の第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準として準用することとした。技術基準をその内容によって分類分けし、各分類毎に準用すべきかどうかの検討を行い、技術基準案を作成した。図9に技術基準案作成のためのロジックを示す。

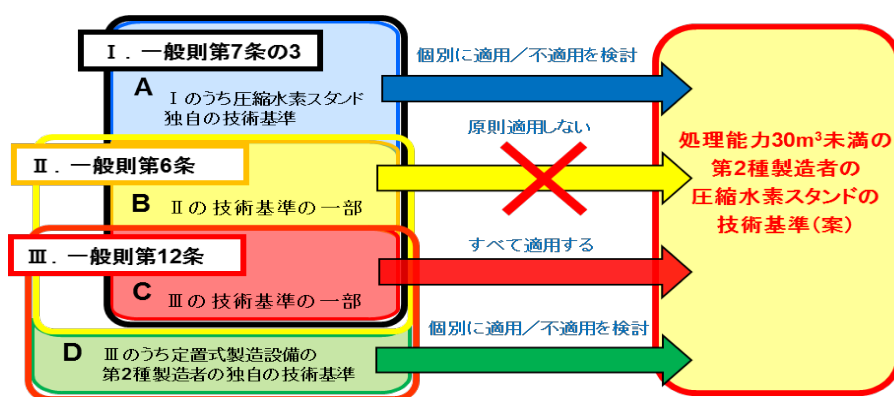


図9 第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案の考え方

## (8) 温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討（JPEC、九州大学（共同実施））

本検討の目標は、水素スタンドの散水設備基準に関して見直しを行い、合理的な散水設備の技術基準案を作成することである。平成27年度より検討を開始した。

水素スタンドの蓄圧器の散水設備に関し、散水量を低減可能とするための方法を検討し技術基準案を作成する予定である。実施する項目は以下である。

- ・関連法規の整理：圧縮水素スタンドを含む高圧ガス設備に関する散水基準の整理
- ・散水量低減方法の検討：外部火災による蓄圧器の受熱量及び輻射熱遮熱方法の検討
- ・シミュレーション等の実施と検証：蓄圧器の受熱量及び散水量をパラメータとしたシミュレーションを実施し、蓄圧器の温度状態を把握する。シミュレーション等の結果から、散水量低減方法の有効性を検証する。
- ・検討結果を反映した技術基準案の作成

図10に検討のフローを示す。



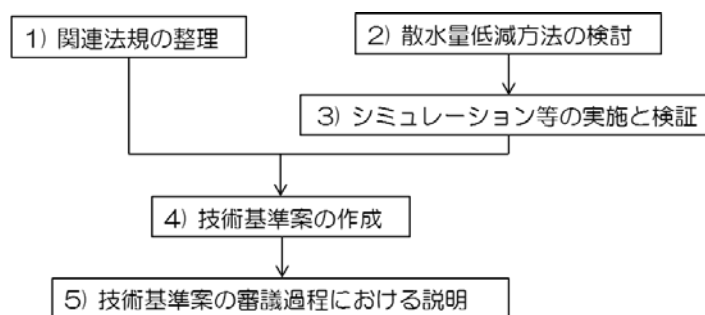


図10 散水基準検討フロー

実際の水素スタンド蓄圧器の設置状況をもとに、蓄圧器の受熱面積、散水量による蓄圧器温度変化や、輻射熱を有効に遮る方策を講じた場合の温度上昇防止効果等をシミュレーションにより明確化し、散水量の低減を可能とする散水設備に係る技術基準案を作成する予定である。

### 3. 2 成果の意義

本研究開発の実施により、一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化がなされ、FCV 普及拡大に伴う水素スタンド等の水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等が促進される。

これにより水素インフラの普及拡大に寄与することができた。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本テーマの各開発項目は計画通りに検討が進捗しており、事業終了までに開発目標はすべて達成される見込みである。各開発項目の達成可能性について表5に示す。

表5 目標達成の可能性

開発項目	最終目標（平成28年度末）	達成見通し
(1)70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討	70MPa 水素スタンドの保安検査基準及び定期自主検査指針案作成、水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案作成	蓄圧器の超音波検査法標準化検討により70MPa水素スタンド保安検査自主基準案作成し目標達成予定
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討	ガラス球式安全弁に関し高圧ガス保安法に係る技術基準案作成	技術基準案作成し達成済み、技術基準案の審査を経て例示基準制定予定
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討	離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、高圧ガス保安法に係る技術基準案作成	シミュレーション結果を基に代替措置検討により技術基準案作成し目標達成予定
(4)-1 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討（公道充填）	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立	達成済み

(4)-2 同上 (トレーラー充填)	特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置設置に関する規制・対応調査	達成済み
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討	圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度規制引き上げに関し高圧ガス保安法に係る技術基準案作成、水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討	トレーラー容器温度上限に係る技術基準に関しては省令改正予定、トレーラー安全対策は対策を提案し達成予定
(6)液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討	液体水素貯蔵型圧縮水素スタンドの市街地での建設、ガソリンスタンドとの併設を可能とする関連法規の技術基準案作成	追加安全対策、液体水素ポンプ昇圧方式についての技術基準化検討を実施し、目標達成予定
(7) 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準の高圧ガス保安法に係る技術基準案作成	高圧ガス保安法の省令改正に向け協議対応中であり、目標達成予定
(8)温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討	圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成	シミュレーション結果を基に代替措置検討により技術基準案作成し目標達成予定

#### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する開発項目は、その目標達成により、水素ステーションの設置要件の緩和を目的とする一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化が図られ、2015年以降のFCV及び水素供給インフラの一般普及を促進する。

#### 5. 研究発表・特許等

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014年5月9日	印刷物	技術情報協会セミナー 『水素ステーション普及へのロードマップ・規制動向と燃料電池市場の展望』	遠藤 明 (JPEC)
2014年7月4日	口頭	燃料電池実用化推進協議会 『水素ステーション・規制見直しの取組み状況』	遠藤 明 (JPEC)
2014年12月17日	口頭	公益社団法人低温工学・超電導学会の第5回冷凍部会（公開）例会 環境・安全委員会ワーキング 『2015年に向けた水素インフラと安全規制』	小川 敬 (JIMGA)
2015年5月13日	口頭	平成27年度JPEC技術開発・調査事業成果発表会 『製油所水素のトレーラー輸送等に関する技術課題と検討状況』	森本正史 (JPEC)
2015年8月	学会誌	学会誌「ペトロテック」（石油学会） 『水素ステーション整備に向けた規制見直し状況と今後の課題』	川付正明 (JPEC)

(I-①)-(2))「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究／水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター

●成果サマリ(実施期間：平成25年度～平成26年度終了)

既存水素ステーションの災害のきっかけとなる事象として、過去の事故事例、劣化、ヒューマンエラー等についてのリスクアセスメントの結果から高リスクのトリガー現象を想定し、事故シナケンス(事故の開始と結果)を検討し、災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出を実施した。シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、設備面での対策として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案を作成し、高圧ガス保安協会主催の委員会へ報告した。また、保安設備作動時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドライン(名称:水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン)を作成した。

●背景/研究内容・目的

自動車メーカーがFCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すことが示された。

水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時に水素スタンドの安全の確保するため水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施し、高圧ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施することを目的とする。

●研究目標

実施項目	目標
① 水素ステーションの事故に関する現状把握	・ステーションの事故事例調査 ・高圧ガス設備の災害事例調査
② 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定	・事故シナケンスの検討 ・重大性の高い災害事象の抽出
③ シビアアクシデント対応策の策定	・リスクアセスメントの実施 ・緊急時対応ガイドライン作成
④ 審査過程における対応	・例示基準案の審査過程における対応実施

●実施体制及び分担等

NEDO — 石油エネルギー技術センター 項目①～④

●これまでの実施内容／研究成果

シビアアクシデントに対する設備面での対応を例示基準案として策定し、非常措置マニュアル等に記載すべき従業員の対応等を明確にするため以下の検討を実施した。

- ① 水素ステーションの事故に関する調査  
既存ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査を実施し、水素ステーションにおける潜在的なリスクを整理した。
- ② 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定  
災害のきっかけとなる事象として、事故事例、劣化、ヒューマンエラー等についてのリスクアセスメントの結果から高リスクのトリガー現象を想定し、事故シナケンス(事故の開始と結果)を検討し、災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出を実施した。
- ③ シビアアクシデント対応策の策定  
シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、設備面での対策「蓄圧器の破裂防止措置」として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等を作成した。また、保安設備作動時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」を作成した。
- ④ 審査過程における対応  
蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する方法については、一般高圧ガス保安規則の例示基準化に向け、高圧ガス保安協会による審査会に出席し、検討結果の説明等を行った。

●今後の課題

特になし

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	事故事例の調査と潜在的リスクの整理	○
②	重大性の高い災害事象の抽出	○
③	「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」作成	○
④	例示基準案作成と審査会対応実施	○

●実用化の見通し

水素スタンド事業者により、水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドラインが活用される。  
また、作成した「蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案」その後高圧ガス保安室により安全性が確認された場合、新たな例示基準として制定される予定

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
○	○	○	○

## 課題番号： I - ① - (2)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討

一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）

#### 1. 研究開発概要

FCV 量産車を 2015 年に 4 大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が 2015 年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

このような背景の下、本検討では水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時の水素スタンドの安全確保を目的に、水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施した。

主な検討項目は以下の通りである。

- ・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドラインの作成

#### 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

研究開発の目標を以下のとおりとする。

水素ステーション等の高圧ガス設備に関する事故事例を調査し、水素スタンドのリスクに関する現状把握を行う。それらの事故事例を参考に水素スタンドでのシビアアクシデントの想定を行う。シビアアクシデント対策として、蓄圧器が危険な状態となったときに当該蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する例示基準案の作成と、緊急時における従業員のための非常措置マニュアルや危害予防規程に記載すべき項目案を作成する。また、これらの内容を基準化するための審査過程における対応を行う。

##### (1) 水素ステーションの事故に関する現状把握

- ・既存ステーションの事故事例調査
- ・高圧ガス設備の災害事例調査

##### (2) 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

- ・過去の事故事例の整理
- ・劣化、ヒューマンエラー等の災害のきっかけとなる事象の想定
- ・事故シーケンス（事故の開始と結果）の検討
- ・災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出

##### (3) シビアアクシデント対応策の策定

- ・ハード面での対策：蓄圧器の破裂を防止すべく、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・ソフト面での対策：保安設備作動時の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目について検討し、緊急時対応ガイドラインの作成

##### (4) 審査過程における対応

- ・例示基準案の審査過程における対応実施

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

##### (1) 水素スタンドの事故に関する現状把握

国内の水素スタンドでは、人身事故や火災のような大きなトラブルは発生していないが、水素スタンドの事故想定を行うため、国内の高圧ガス設備の重大事故の発生状況とその原因について調査を実施した。事故事例の調査は、高圧ガス保安協会のデータベースにより、1965年から2012年の間に発生した高圧ガス設備の死亡事故について、発生件数と原因について整理を行った。

1965年から2012年の間に発生した高圧ガス設備の死亡事故は247件あり、326人の方がいる。これらの事故の一次事象と発生件数及び事故の原因となったガスの種類を表1に示した。

表1 高圧ガス設備の事故

一次事象	発生件数	原因
爆発	93件	LPG 39、アセチレン 29、水素 3
漏洩	45件	アンモニア 9、硫化水素 8
破裂	44件	アンモニア 8、空気 7、炭酸ガス 6、水素 1
火災	42件	LPG 17、酸素 14、アセチレン 7、水素 1
中毒	7件	一酸化炭素
その他	16件	酸欠等

出典：KHK 事故事例データベース

表1で示した高圧ガス設備の事故のうち、水素が関係している事故は5件であった。

##### a. 火災

- ・トラック追突による水素カードル容器の破損・火災（1972/5/25）  
水素ガスが噴出、着火、運転手死亡、通行人2人負傷、商店、民家類焼

##### b. 破裂

- ・水添脱硫装置の水素循環用リサイクルコンプレッサーの破裂（1965/6/16）  
圧縮機ハウジング内の圧力上昇しカバーボルトが破断、カバーが飛散

##### c. 爆発

- ・焼鈍炉の水素ガス爆発（1970/3/24）  
爆発、作業員死、濃度計の故障、焼鈍炉内混合ガス残留
- ・ガス発生炉での水素ガス爆発（1973/11/9）  
分析計爆発、分析計サンプル水素ガス漏えい、赤外光源が火源
- ・重油間接脱硫装置の熱交換器ふた板の飛翔（1992/10/16）  
触媒交換作業を完了後のスタートアップ準備作業中、ボルト締付け作業、  
水素ガス漏えい、爆発火災、熱交換器構成部品飛散、タンク、配管類に被害

国内の水素スタンドでは火災等の事故は発生していないが、海外の水素スタンドでは火災・爆発の事例があり、それらについて以下に示す。

##### a. ロチェスター国際空港水素ステーション

発生日時：2010年8月26日 12：45頃

発生場所：米国ニューヨーク州 ロチェスター国際空港敷地内水素ステーション

事故概要：水素供給のためのトレーラトラック交換中に爆発事故が発生。

2台のトレーラーが破損した。負傷者は2名で、燃料供給会社の作業員が火傷を負い、道路向かいの店員が軽症（耳痛）。

空港が50分間に渡り閉鎖。周辺道路や建物、店舗も閉鎖。

ホースあるいはコネクタ部の欠陥と考えられている。

#### b. エメリービル市ACトランジット水素ステーション

発生日時：2012年5月4日 7:45頃

発生場所：米国カリフォルニア州 アラメダ郡エメリービル市

ACトランジット水素ステーション

事故概要：蓄圧器ユニットについていた安全弁が破損し、この結果300kgのほぼ全量の水素を放出。ベントで水素が着火し、キャノピーに当たって可視炎となった。放出水素の静電気による着火と考えられる。

2つの学校を含む近隣住民に避難指示が出された。

### (2) 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

シビアアクシデントとは、設計基準を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な対応が難しい事象をいう。水素スタンドでのシビアアクシデントは、水素スタンドに著しい損傷を与える事故や災害、水素スタンドの従業員や顧客並びに周辺住民の生命に危害の及びおそれのあるものと考えられる。

#### ① リスク評価方法

水素スタンドにおける事故を検討するため実施されたリスク評価の手順は、図1の通りである。

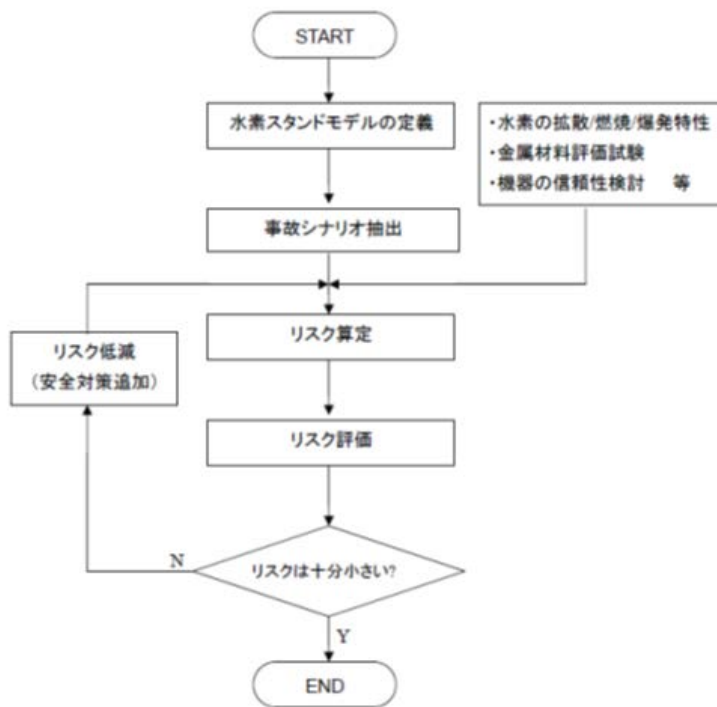


図1 リスクアセスメントに基づく基本検討フロー

## ② トリガー現象の抽出

事故シナリオを抽出するため、危険源抽出方法として広く有効性が認められている HAZOP と FMEA を用いてリスク源の検討が行われた。水素が漏えいし、着火、爆発する事故に至る場合、何段階かのステップが存在している。こうした事故を引き起こす直接的な原因を「トリガー現象」と呼ぶこととし、水素スタンドでの事故を引き起こす可能性のあるトリガー現象をリストアップした。

- ・ 劣化故障
- ・ ヒューマンファクター
- ・ 天災
- ・ その他

## ③ リスク評価

水素スタンドの想定事故シナリオについて、そのリスクが許容される範囲であるか否かについて評価が行われた。事故の発生する「可能性」とその「影響度」によりリスクマトリクスを作成し、リスクランクに分類した。事故の発生する可能性、影響度、リスクマトリクスを以下に示す。

### a. 可能性評価

水素スタンド設備の寿命を約 20～30 年と仮定し、その期間中に発生する可能性を検討した。事故発生の可能性レベルについて表 2 に示した。

表 2 事故発生の可能性レベルの定義

可能性ランク		説明
A	ほとんど起こりえない	可能性はある。しかし、その可能性はきわめて小さい。
B	起こりにくい	スタンドの設備の一生において起こりにくいと考えられる。
C	可能性がある	スタンドの設備の一生において 1 回程度は考えられる。
D	十分起こりえる	スタンドの設備の一生において複数回考えられる。

### b. 影響度ランク

影響度の評価については、人的影響、設備的影響について検討が行われた。人的影響は、最も重視すべき影響であり、水素スタンド内外について評価が行われた。設備的影響については、水素スタンド外の隣接家屋等への影響を評価し、スタンド内については事業者自らの責任で対応すべきものとし評価対象とされていない。影響度レベルについて表 3 に示した。

### c. リスクアセスメント結果

水素スタンドのリスクの大きさは、事故シナリオの発生の可能性と発生したときの影響度の組み合わせにより算定される。リスクに大きさに関しては、以下の基準で H（高い）、M（中程度）、L（低い）の 3 段階にランク分けし、可能性と影響度およびリスクの関係を表 4 のリスクマトリクスに示した。

- ・ スクランク H  
許容できないリスクであり、更なる安全対策を講じなければならない。
- ・ リスクランク M  
原則として許容できない。更なる安全対策が可能かどうかを検討し、現実的な対策が見つからない場合に限りこれを許容する。
- ・ スクランク L  
許容できる。更なる安全対策は必ずしも必要でない。

表3 影響度レベルの定義

影響度ランク		設備的影響	人的影響
I	極めて重大な災害	敷地外の隣接建屋が全壊する程度の極めて重大な災害	周辺住民、歩行者の死亡災害 (「敷地外で死亡者」と同意)
II	重大な災害	敷地外の隣接建屋が半壊する程度の重大な災害	顧客、従業員の死亡災害 (「敷地内で死亡者」と同意)
III	中規模災害	敷地外の隣接建屋の窓ガラスは大小に関わらず壊れ、窓枠にも被害が及ぶ程度の中規模災害	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)入院が必要な重傷災害
IV	小規模災害	敷地外の隣接建屋一部の窓ガラスが破損する程度の小規模災害	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)通院を伴う休業災害
V	軽微な災害	敷地外の隣接建屋に影響なし	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)通院を伴わない軽微な災害

表4 リスクマトリクス

		可能性			
		A	B	C	D
影響度		ほとんど 起こりえない	起こりにくい	可能性がある	十分 起こりえる
I	極めて重大な災害	H	H	H	H
II	重大な災害	M	H	H	H
III	中規模災害	M	M	H	H
IV	小規模災害	L	L	M	H
V	軽微な災害	L	L	L	M

リスクアセスメントの結果、リスクランクが高いとされたものについては、その後の法令の見直しにおいて、過流防止弁の設置、感震装置と緊急遮断インターロック、車両衝突防止ガード設置、35MPa 車両に70MPa 充填ノズルを接続できない構造にするなどの様々な安全対策がとられることとなり、リスクを低減させることが可能となった。しかしながら、これらハード面の対策を実施しても高いリスクがあるもの（リスクランク H）として、地震、近隣敷地の火災、構内火災、暴走車両の飛び込み、航空機などの墜落、隣接敷地のクレーン倒壊、竜巻等の項目が残された。

(3) 緊急時対応方法の検討

水素スタンドのシビアアクシデント対応を検討するため、災害発生時の従業員の対応策について、以下の手順で



実施した。

- 1) シビアアクシデントを引き起こすトリガー現象の想定を行う。
- 2) トリガー現象の発生状況確認及び被害予測を行う。
- 3) トリガー現象により水素スタンドに起こる初期事象を想定する。
- 4) 水素スタンドの安全対策の抽出を行う。
- 5) 初期事象の発生と災害拡大のシナリオをイベントツリー解析により行う。
- 6) イベントツリーによる事故シナリオにより、その時の従業員による対応方法について検討を行う。

### ① トリガー現象の想定

シビアアクシデント発生のきっかけとなるトリガー現象としては、過去の水素スタンドのリスクアセスメントの結果、ハード面の対策を行っても高いリスクがある（リスクランク H）とされたものを選定した。さらに、国内の災害発生状況を参考に、過去の検討で想定していなかった自然災害について含めることとした。また、近年のコンピューターへの不正侵入等による、制御系へのサイバー攻撃についても検討を行うこととした。

### ② 災害等の発生状況と被害予測

トリガー現象となる災害について、気象庁や自治体のホームページ等に掲載されている過去の事例について調査し、その発生状況、被害予測、それによってスタンドに引き起こされる初期事象について検討を行った。

### ③ 初期事象の想定

前項の災害による被害予測の結果、トリガー現象として地震が発生した場合には、水素スタンドには外力による配管の損傷、近隣火災、構内火災、地盤沈下などが引き起こされる可能性があることが分かった。トリガー現象により水素スタンドの設備に起こる異常を「初期事象」と定義した。トリガー現象が異なっても、水素スタンドに起こる初期事象はいくつかのパターンになることが分かった。そこで、スタンドに起こる初期事象について整理し検討を行い、A～Hの8パターンに分類した。想定されるトリガー現象と初期事象を表5に示す。

表5 トリガー現象と初期事象

トリガー現象		初期事象	
1	地震	外力による配管の損傷	A
		近隣火災	2.近隣火災
		構内火災	3.構内火災
		地盤沈下	13.地盤沈下
2	近隣火災	輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
3	構内火災	輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
		火炎による配管の損傷	D
		火炎による蓄圧器の損傷	F
4	暴走車飛び込み	外力による配管の損傷	A
5	航空機等の墜落	外力による配管の損傷	A
		外力による蓄圧器の損傷	B
		近隣火災	2.近隣火災
		構内火災	3.構内火災

6	クレーン倒壊	外力による配管の損傷	A
		外力による蓄圧器の損傷	B
7	竜巻	外力による配管の損傷	A
8	津波・高潮	外力による配管の損傷	A
		冠水による蓄圧器の流出	G
9	豪雨・洪水	外力による配管の損傷	A
		冠水による蓄圧器の流出	G
10	火山の噴火	外力による配管の損傷	A
		輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
11	豪雪	外力による配管の損傷	A
12	土砂災害	外力による配管の損傷	A
13	地盤沈下	外力による配管の損傷	A
14	サイバー攻撃	圧縮機の異常運転による圧力上昇	H

#### ④ 水素スタンドの安全対策

水素スタンドには、様々な安全対策が施されているが、各水素スタンドに共通の技術基準は、一般高圧保安規則（以下「一般則」）第7条の3に規定されており、水素スタンドにはこの安全設備が設置されている。

#### ⑤ 水素スタンド事故のシナリオと対策

水素スタンドでは、配管が破断し水素の漏洩が起きた場合には、ガス検知器が作動し緊急遮断装置が働いたり、過流防止弁が機能したりすることにより災害を防ぐようになっている。

大規模災害発生時には、こうした安全装置が働かないケースを想定する必要がある。そこで、リスク評価手法の1つであるイベントツリー解析（ET）を行った。イベントツリー解析は、災害や事故が発生した場合に、どのように事象が進展していくかを安全設備や防災活動の成否により、枝分かれ的に展開し最終事象を導くものである。

イベントツリーの始まりは、初期事象8パターンとした。初期事象に対し、どのような安全設備が対応するか、その安全設備の動作が成功したか失敗したかによって事象分岐を行い、その時の従業員の取るべき行動について、水素スタンドの運用例などを参考に対応案を作成した。

例として外力による配管損傷のイベントツリーを図2に示す。

##### (1) 初期事象とトリガー現象

初期事象A：外力による配管の損傷

トリガー現象：地震、暴走車飛び込み、航空機墜落、クレーン倒壊、竜巻、津波・高潮、豪雨・洪水、火山の噴火、土砂災害、地盤沈下

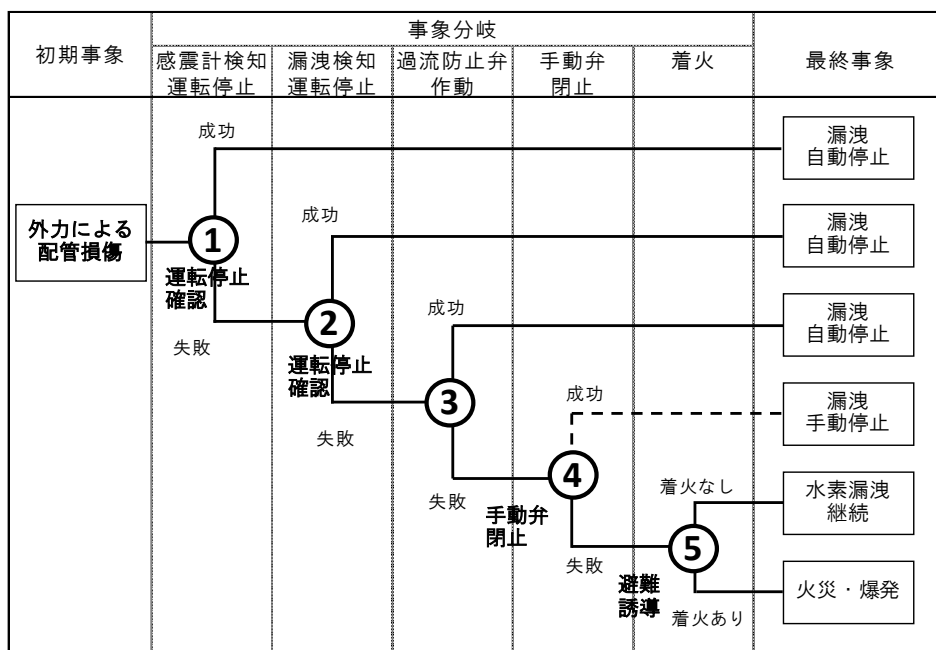


図2 外力による配管損傷 ET

(2) 安全設備と従業者の対応

◆ 振動・衝撃等の検知時

◇安全設備

- ・地盤の振動を検知し、製造設備の運転を自動的に停止する装置が設置されている。  
[一般則7条の3第2項第17号]
- ・設置例としては、150gal（震度5強）以上の加速度を検知した場合、インターロックにより運転停止（圧縮機運転停止、蓄圧器遮断弁閉止、ディスプレイ遮断弁閉止等）が行われる。

◇従業者の対応

- ・事業所内の火気を直ちに消す。
- ・インターロックによる設備の運転の停止を確認し、停止していない場合は手で設備の運転を停止し、遮断弁の閉止を行う。
- ・設備の損傷状況を確認し、水素漏洩の確認を行う。
- ・必要に応じ、蓄圧器の元弁を閉止する。
- ・事業所付近の構造物（壁・家屋等）や道路の異常を確認する。
- ・関係各署（消防、警察、都道府県、関係事業所等）へ連絡を行う。
- ・地震の場合は、テレビ・ラジオ等から地震情報を得る。
- ・顧客及び車両を安全な場所に誘導する。

◆ 水素漏洩検知をした場合

◇安全設備

- ・可燃性ガスが滞留するおそれのある場所に、漏洩を検知し製造設備の運転を自動的に停止する装置が設置されている。[一般則7条の3第2項第16号]
- ・水素漏洩を検知することにより警報が鳴動し、インターロック処理により設備の運転が自動停止される。警報設定値は、爆発下限界の1/4以下の値となる。

◇従業者の対応

- ・インターロックによる設備の運転の停止を確認し、停止していない場合は手で設備の運転を停止、遮断弁の閉止を行う。
- ・水素濃度を確認しながら、設備の損傷状況や水素漏洩箇所の確認を行う。
- ・関係各署（消防、警察、都道府県、関係事業所等）へ水素漏洩の連絡を行う。
- ・あらかじめ定められた避難場所に顧客を誘導する。

#### ◆ 過流防止弁の作動

##### ◇安全設備

- ・蓄圧器の出口には、圧縮水素の流量が著しく増加することを防止するための措置が取られている。[一般則7条の3第2項第12号]
- ・大量流出防止措置の設備として、過流防止弁が設置されている。過流防止弁は車両に充填する流量の3倍以上で確実に作動することとされており、流量が少ない場合には作動しない。

##### ◇従業者の対応

- ・過流防止弁の作動を、蓄圧器の圧力や漏洩水素濃度の変化により確認する。

#### ◆ 手動弁の閉止

##### ◇従業者の対応

- ・水素の漏洩が微小の場合、周囲の水素濃度を測定し、爆発の危険がないことが認められる場合には、蓄圧器元弁等の手動弁を閉止し漏洩を停止する。

#### ◆ 水素漏洩が継続する場合

##### ◇従業者の対応

- ・漏洩ガス量が多い場合には周辺住民に周知し、火気の使用停止を依頼する。
- ・水素スタンドが危険であると判断される場合には、消防・警察と協力し周辺住民に対し危険状態であることを周知し、周辺住民の避難誘導に努める。

これ以外に下記の初期事象に対し同様の検討及び解析を行い、対応案を作成した。

- ・外力による蓄圧器の損傷
- ・輻射熱および火炎による配管の損傷
- ・輻射熱および火炎による蓄圧器の損傷
- ・冠水による蓄圧器の流出
- ・圧縮機の異常運転による圧力上昇

#### ⑥ 緊急時対応基準作成のガイドラインについて

大規模災害等により水素スタンドに起こりうる初期事象について整理し、イベントツリー解析を行い、安全装置が作動しない場合にどのようなことが起こるか、その際に従業員の取るべき行動について検討を行った。これについては、別冊の『水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン』に取りまとめた。

このガイドラインは、各事業者が緊急時対応基準等の作成の際に参考となる事項を示したものであり、水素スタンドの安全性を高めることを目的としている。緊急時対応基準の運用については、より実効性を高めるために、平時より関係各署との連携を取ることや周辺住民との十分なリスクコミュニケーションを図ることも求められる。作成したガイドラインの表紙と目次を図3に示す。

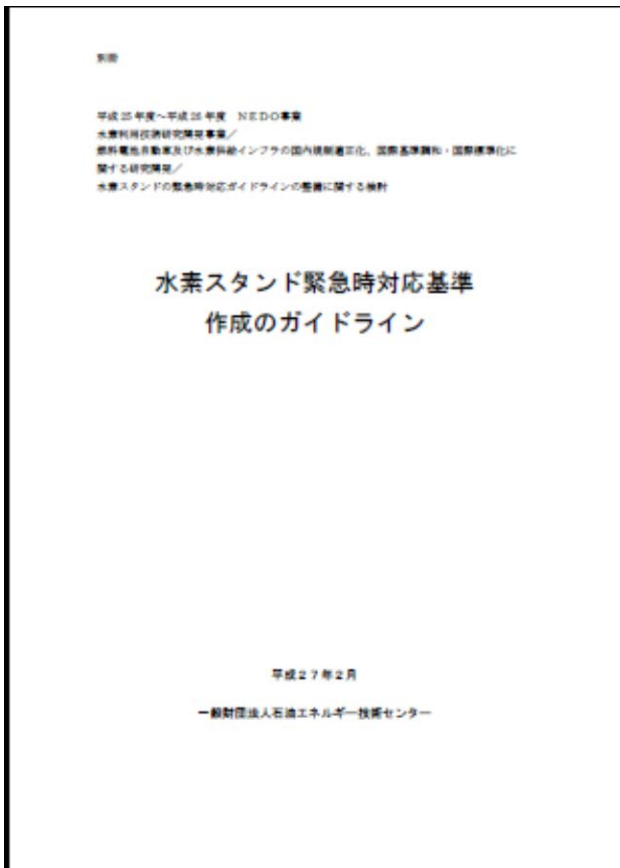


図 3 水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン

(4) 審査過程における対応 (蓄圧器の緊急時脱圧について)

一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 は、圧縮水素スタンドの技術基準を定めたものであるが、この基準の常用圧力を 40MPa から 82MPa への変更を行う際に、「緊急時に蓄圧器内の水素を安全に放出すること」が定められた。これについては、例示基準がないため、水素を安全に放出する方法について、基準化を見据えて検討を行うこととなった。

① 一般高圧ガス保安規則の改正

平成 24 年 11 月に一般規則が改正され、第 7 条の 3 第 2 項 35 号として蓄圧器が危険な状態となったときに、蓄圧器内の水素を安全に放出するための適切な措置を講ずることが追加された。

② 蓄圧器が危険な状態となる場合

水素スタンドは、第 7 条の 3 の技術基準に従って設置されており、通常想定される事故について保安は確保されている。ここでの蓄圧器が危険な状態になる場合とは、大規模地震等の発生により安全設備が作動しない場合が対象であり、前章ではイベントツリー解析を行い、どのような場合に蓄圧器内の水素放出が必要になるか検討を行って

< 目 次 >	
1. はじめに	2
2. 緊急時対応基準の作成事項	2
3. 緊急時対応基準の制定及び変更	3
4. リスクコミュニケーション	3
添付資料 1 『大規模災害のイベントツリー解析』	4
1. トリガー現象について	4
2. 初期現象の判定	4
3. イベントツリーと対策者の対応	6
I. 外力による緊急脱圧	7
II. 外力による緊急脱圧の構造	9
III. 燃料物および火災による緊急脱圧の構造	11
IV. 燃料物および火災による緊急脱圧の構造	15
V. 断水による緊急脱圧の発生	18
VI. 避難後の異常運転による圧力上昇	20
(別添) トリガー現象の発生経路と対策事例	23

きた。

蓄圧器内の水素放出が必要となる初期事象としては、外力による蓄圧器の損傷、輻射熱や火炎による蓄圧器の損傷、冠水による蓄圧器の流出が想定された。図4に輻射熱を初期事象とした場合のイベントツリー解析結果を示した。

この例では、①で防火壁が機能せず、②で散水設備が作動しないか、あるいは散水が終了した場合に、③で蓄圧器水素の放出を行うか否かの判断を行うことになる。

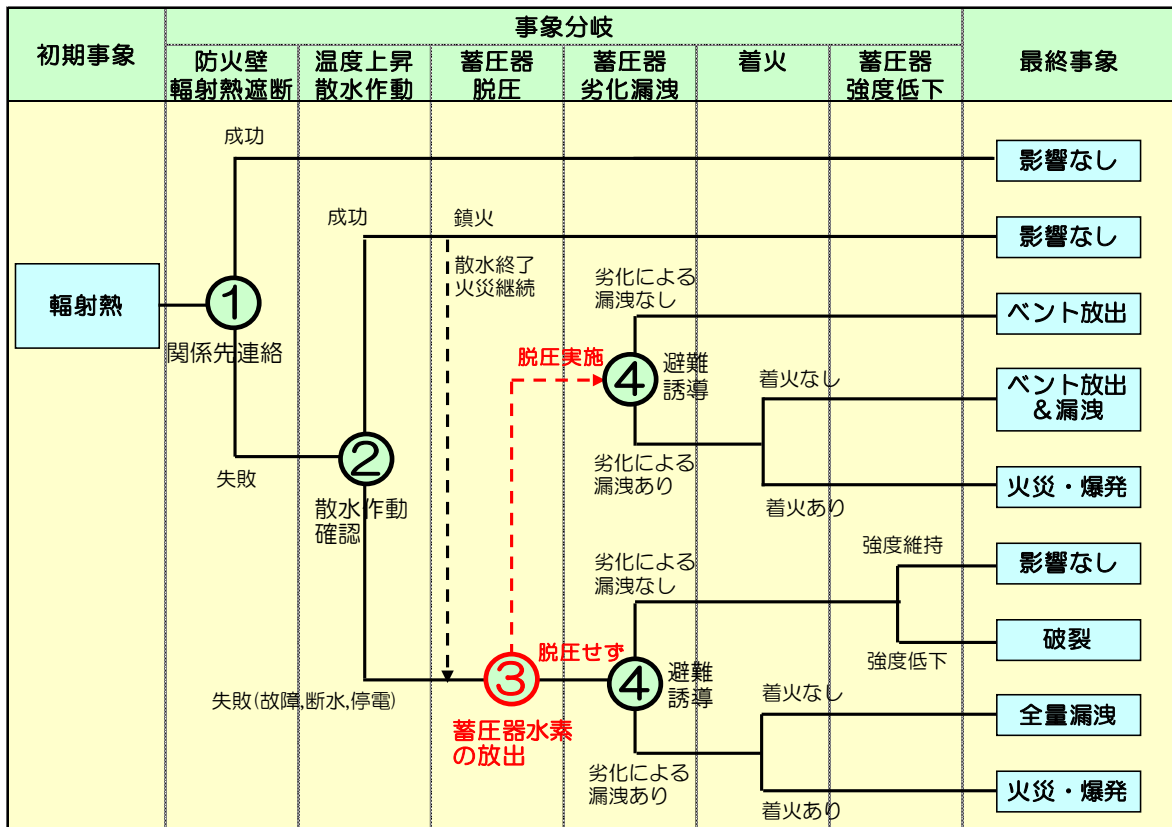


図4 蓄圧器水素の放出 ET

### ③ 平常時の蓄圧器水素の放出方法

水素の放出方法の検討のため、水素スタンドの蓄圧器からベントラインまでのフローについて調査を行った。水素スタンドの仕様により異なるが、蓄圧器の近傍には、溶栓式安全弁、バネ式安全弁、手動弁が設けられベントラインにつながっている。また、ディスプレイの近傍にも手動弁、遮断弁が設けられておりベントラインにつながっている。

次に、平常時の水素放出方法の検討のため、定期整備時の蓄圧器水素放出方法について水素スタンド運用者にヒアリングを行った。水素スタンドによって方法は異なり、蓄圧器近傍の手動弁により放出する方法や、ディスプレイ近傍の手動弁または遮断弁を通じて放出する方法があり、いずれの場合もベントラインより放出されていることが分かった。

### ④ 緊急時の蓄圧器水素の放出方法

#### a. 水素の放出に使用するライン

定期整備等の平常時には、ディスプレイ近傍の配管を通じて水素を放出する方法もあるが、緊急時に水素を放出する場合には水素流量が増えると過流防止弁が作動し、水素の流れが止められる可能性がある。過流防止弁は、例示基準 59 の 5 に示されており、蓄圧器の出口又は充填容器等から圧縮水素を受け入れる配管内の圧縮水素の流

量が、著しく増加する事を防止するために設けられたものである。従って、緊急時に水素を放出するためのラインは、過流防止弁によって流れが遮断されないように、過流防止弁の上流側とする。

### b. 水素放出に使用する弁

高圧ガス設備内部の圧力を低下させる安全装置としては、バネ式安全弁、溶栓式安全弁、手動弁、遮断弁、溶栓弁等がある。これらの特性について以下に示した。

- 1) バネ式安全弁：許容圧力以下に戻すための装置(1項1号,2項1号)として規定されており、多くのスタンドで採用されている。  
設定圧力以下になると吹き止まるため、全量放出が出来ない。
- 2) 溶栓式安全弁：設定温度で溶栓が溶け、全量放出が可能である。温度依存であり、能動的に操作できない。
- 3) 手動弁：定期整備で使用している。計装が障害を起こした場合も操作可能である。作業員が近づけない場合には操作できない。
- 4) 遮断弁：充填ノズルの残圧放出等で使用している。緊急時に放出する弁としては、遮断弁ではなく遠隔操作弁という言い方とする。
- 5) 圧力リリーフ弁：安全弁が作動する前に圧力を放出するもの(2項10号)に規定され、安全弁が作動する前に動作する。  
設定圧力以上で自動的に開になり、圧力を下げるもの。

上記のうちバネ式安全弁については、設定圧力までしか水素を放出できないため、緊急時に水素を放出する弁から除外する。圧力リリーフ弁についても設定圧力までしか下がらないが、計器室からの操作により設定圧力の変更可能なものもあり、設定圧力を0とすることで全量放出が可能となり、この場合には緊急時に水素を放出する弁として有効と考えられる。

緊急時に水素を放出する際に使用する弁については、圧力リリーフ弁、溶栓式安全弁、手動弁、遠隔操作弁のいずれか一以上によることとし、圧力リリーフ弁を使用する場合には、計器室又は圧力リリーフ弁近傍にて容易に設定圧力を下げることができるとを技術基準案とした。

図5に緊急時の蓄圧器水素放出ラインの例を示す。

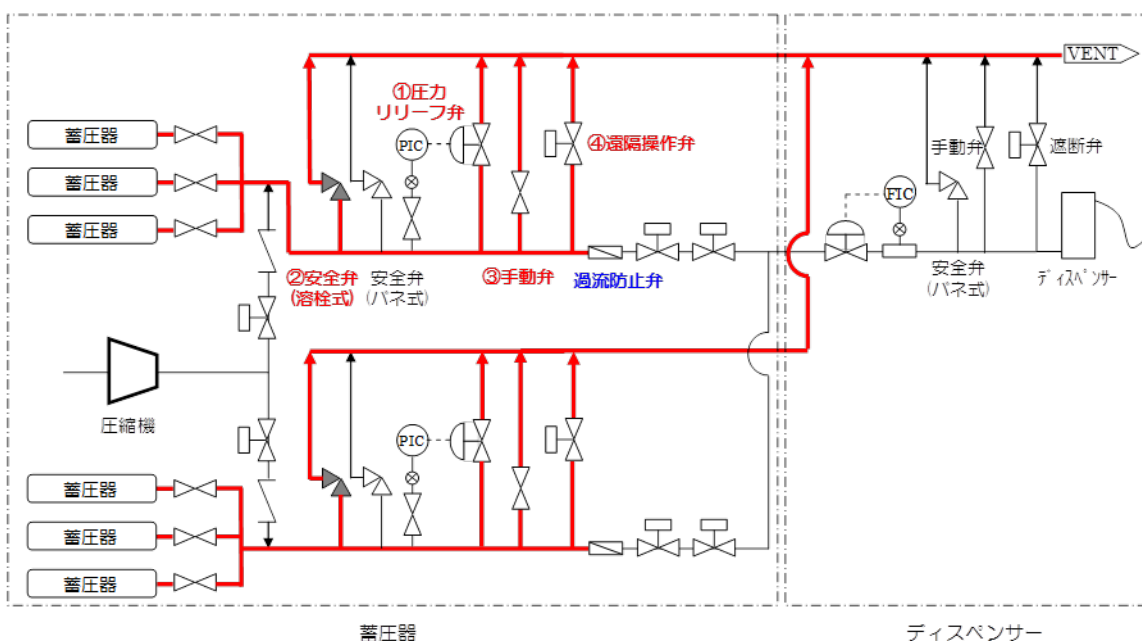


図5 緊急時の蓄圧器水素放出ライン

### c. 水素の放出時間や放出時期について

水素放出の時間や時期については、火災の規模、近隣施設との距離、水素の保有量、蓄圧器の種類、防消火設備の内容、消火活動の状況等様々な違いがあり、それによって脱圧の必要性や脱圧時間が変わってくるものが考えられる。従って、本検討では水素の放出時間や放出時期について定めることはせず、安全装置の作動状況や周囲の火災の状況、消火活動の状況を踏まえて、各事業者が、圧縮水素を放出するか否かを判断すべきであるとし、水素の放出時間や放出時期については基準に含めないものとした。従業者の水素放出の判断基準としては、緊急時対応指針のガイドラインを参考としていただくこととする。

### d. 技術基準案

以上の検討結果より、検討会での例示基準案は次の通りとした。

#### 蓄圧器内の水素を安全に放出する方法

##### 規則関係条項 第7条の3第2項第35号

蓄圧器が危険な状態となったときに当該蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための措置は、次の基準によるものとする。

1. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、過流防止弁より上流側にあたる箇所とし、その出口側は本基準14.の放出管に接続すること又は安全装置の放出管に接続すること。
2. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、圧力リリーフ弁、溶栓式安全弁、遠隔操作弁、手動弁のいずれか一以上によること。

圧力リリーフ弁を使用する場合には、計器室又は圧力リリーフ弁近傍にて容易に設定圧力を下げることができること。

検討会の後、高圧ガス保安協会主催による、緊急時に蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための技術基準案の検討が行われ、弁の位置を蓄圧器と過流防止弁の間にするものとした。

緊急時に水素を放出する際に使用する弁については、電力の喪失等が生じても操作可能である手動弁を設置することを第1とし、緊急時に手動弁を操作出来ない恐れがある場合には、遠隔操作弁等を併設することとし、以下のように基準案の修正が行われた。

1. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、蓄圧器に設けた過流防止弁と蓄圧器の間に設置することとし、その出口側は本基準14.の放出管に接続すること又は安全装置の放出管に接続すること。
2. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は手動弁とする。  
ただし、緊急時に手動弁の操作をすみやかに行うことが困難と予想される場合には、上記手動弁に加え、当該蓄圧器に有効な遠隔操作弁、溶栓式安全弁、計器室から操作可能な圧力リリーフ弁のいずれかを併設し、これによっても水素が放出できるようにすること。

### 3. 2 成果の意義

本検討では水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時の水素スタンドの安全確保を目的に、水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施した。

本件等により、

- ・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドラインの作成



を行い、水素スタンドの緊急時の安全確保のための基準等を整備することができ、水素インフラの普及拡大に寄与することができた。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本テーマは平成26年度で終了しており、開発目標はすべて達成されている。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

作成した「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」は業界関係者に周知され、水素スタンドにおける緊急時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練などを記載する危害予防規程や非常措置マニュアル等の作成に反映される。

本検討の成果である例示基準案については、平成26年度に高圧ガス保安協会にて技術的妥当性が評価され、その後高圧ガス保安室により安全性が確認された場合、新たな例示基準として制定される予定である。

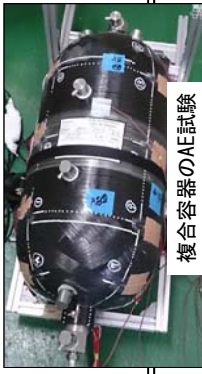
### 5. 研究発表・特許等

特になし。

**(I-2-(1)) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」**  
 千代田化工建設株式会社

**●成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成29年度予定)**

- ・砂時計型/平板型試験片の疲労試験中のAEデータから疲労進展に伴うAEパラメータを明らかにした。
- ・炭素繊維層の破壊のAEは低周波数であること。AE波の水中伝播は周波数応答性に影響を与えないことがわかった。
- ・複合容器の疲労劣化進展度を定期AE検査で評価する新しい解析手法を見出し、試験片の実験から本手法の妥当性を裏付けた。



**●背景/研究内容・目的**

安全で安心な水素ステーションの普及と運用においては、複合容器からの水素漏洩を未然に防ぐために定期的な保安検査が必要である。水素漏洩に至る複合容器の主な劣化現象は、水素トラレーサー等からの水素充填による昇圧とFCVへの水素放出による減圧の繰返しによる疲労現象であり、アルミライナー内面から疲労き裂が発生、進展、貫通して水素漏洩が発生する。現行の関係法規では、複合容器は定期的な耐圧性能と強度確認の保安検査が求められている。しかしながら、疲労き裂はアルミライナー内面の非常に微細なき裂からアルミライナー肉厚方向へと進展する為、外部からは目視や超音波法、放射線法などでは検知できず、複合容器を開放した内面からでも目視や一般的な超音波を用いる非破壊検査法では検知が困難であると予想される。そこで、複合容器の疲労き裂による劣化程度を正しく評価し、耐圧性能と強度を確認できる新しい保安検査の基準整備が求められている。

**●研究目標**

本研究開発では、耐圧82MPaで容量300ℓのTypeⅢ-CFRP複合容器（以下、複合容器）を対象として、水素ステーションで供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つであるAE法の適用について検証・実用化し、定期的なAE試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認を目標とする。そして、本研究開発成果を高圧ガス保安法 保安検査基準および定期自主検査指針の制定に繋げると共に水素ステーションの普及、安全安心な運用に寄与する

**●実施体制及び分担等**

NEDO 千代田化工建設株式会社  
 一部の試験は（一財）石油エネルギー技術センターの研究開発事業「複合圧力容器蓄圧器の基準整備に関する研究開発」に併せて実施し、各種データの提供を受けた。

**●これまでの実施内容／研究成果**

複合容器アルミライナー素材のアルミ合金の疲労試験中のAE挙動の分析により、①延性材料でもAEが検出される、②応力集中部が限定されている場合はAEモニタリングで疲労進展が評価できる、③アルミライナーでは複数の疲労起点が予想される、④疲労き裂進展に伴うAE周波数帯域に着目すれば定期AE検査によって疲労進展が把握できる、⑤炭素繊維層の破壊は④の周波数には影響しない等がわかった。  
 複合容器アルミライナーは自緊処理によって予め塑性変形が負荷されており、局部応力集中やすべり線が複数発生している可能性があり、これらが試験早期にAEが計測される事が予想された。また、複合容器の疲労破壊試験の破面観察からせん断貫通き裂が主体的であったことからAEの放射パターンや負荷応力が小さくなること等の影響で疲労進展に伴うAE振幅は小さい可能性がある。予想されるこれらのAE挙動を踏まえて、複合容器の疲労試験中のAEデータの分析を試みた結果、新しいAE評価パラメータによって複合容器の疲労進展が評価できる可能性を見出した。このパラメータは、ラボ試験によって水素ステーション運用時の応力振幅においては増加しないと予想され、定期AE検査で確認しながら安全に水素ステーションを運用できると考ええる。

**●今後の課題**

AEの新しい解析手法の検証のため、自緊処理とせん断破壊を影響を確認するラボ試験を実施し、水素ステーションの実証試験によって圧力媒体が気体の場合の影響や環境ノイズを把握する。

**●実用化の見通し**

本研究開発は5年計画の2年目だが、小型複合容器の疲労進展に伴うAE発生挙動の特徴を把握している。今後、継続して検証試験を実施するが、最終目標達成の可能性は十分にあると考える。

**●研究成果まとめ**

実施項目	成果内容	達成度
①アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査	砂時計型/平板型試験片の疲労試験中のAEデータから疲労進展に伴うAEパラメータを明らかにした。	◎
②アルミ合金の水中疲労試験時におけるAE発生挙動調査	AE波の継続時間が短くなるが、疲労進展評価に用いる周波数成分には影響ないことを確認。	○
③CFRPの破壊時のAE発生挙動調査	炭素繊維層破壊時のAE波は100kHz以下の周波数特性を確認。	○
④TypeⅢ-CFRP高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査	複合容器の疲労試験中のAEデータに対し、疲労劣化の進展度を評価するAEデータの新しい解析手法を見出した。また、開発項目①の実験結果から、本手法の妥当性を裏付けた。	△
⑤実水素ステーションでの実証試験	H28着手予定（環境ノイズの確認と防備対応、実運用の応力振幅でのAE法による健全性確認。本成果の経済効果の定量化。）	-

## 課題番号： I - ② - (1)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発

#### 1. 研究開発概要

本邦では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、「エネルギー基本計画」に基づき、燃料電池自動車（以下、FCVと示す）の普及に向け実証的な取り組みを強化しており、水素供給事業者が水素ステーションの整備を進めている。水素ステーションの整備に当たり、問題となっているのはその建設コストである。通常のガソリンスタンドの建設費が7～8千万円に対し、水素ステーションの建設費は現在5～6億円と言われており、その中でも水素蓄圧用の炭素繊維を用いた複合容器は高価であり建設費に占める割合は大きく課題となっている。普及初期においては、水素ステーションの運営は容易ではなく、水素ステーションの整備が進まなかった場合には、FCVの普及が困難になるという悪循環は避けなければならない。

安全で安心な水素ステーションの普及と運用においては、複合容器からの水素漏洩を未然に防ぐために定期的な保安検査が必要である。水素漏洩に至る複合容器の主な劣化現象は、水素トレーラー等からの水素充填による昇圧とFCVへの水素放出による減圧の繰返しによる疲労現象であり、アルミライナー内面から疲労き裂が発生、進展、貫通して水素漏洩が発生する。現行の関係法規では、複合容器は定期的な耐圧性能と強度確認の保安検査が求められている。しかしながら、疲労き裂は炭素繊維に厚く包まれたアルミライナーの内面の非常に微細なき裂からアルミライナー肉厚方向へと進展する為、外部からは目視や超音波法、放射線法などでは検知できず、複合容器を開放した内面からでも目視や一般的な超音波を用いる非破壊検査法では検知が困難であると予想される。そこで、複合容器の疲労き裂による劣化程度を正しく評価し、耐圧性能と強度を確認できる新しい保安検査の基準整備が求められている。

本研究開発では、耐圧82MPaで容量300ℓのTypeⅢ-CFRP複合容器（以下、複合容器）を対象として、水素ステーションで供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つであるAE法の適用について検証・実用化し、定期的なAE試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認を可能とする。そして、本研究開発成果を高圧ガス保安法保安検査基準および定期自主検査指針の制定に繋げると共に水素ステーションの普及、安全安心な運用に寄与する。

平成25年度～26年度は、アルミライナーの素材であるA6061-T6(アルミ合金)と複合容器から切り出した炭素繊維積層部の試験片を用いた疲労試験と破壊試験中のAE計測によって、アルミライナーの疲労き裂進展に誘発されたAEの検出ができる事を確認した。さらに、疲労の進展状況とAEの発生挙動との関係を調べることで保安検査へのAE法の適用可能性を見出した。現在は複合容器の疲労試験中(圧力媒体は液体)のAE計測によって、AEデータ分析から疲労状況の推定方法を検討中である。今後、新しいAEパラメータによって疲労劣化の保安検査方法を提案できると考えている。検討の中で、複合容器の分析にあたっては、自緊処理によってアルミライナーが塑性変形していること、大きな残留圧縮応力が負荷されていることに十分考慮することが重要であることがわかってきた。尚、試験片を用いた試験と複合容器の試験の一部はNEDO委託事業として(一財)石油エネルギー技術センター殿(以下、JPEC)が実施した「複合圧力容器蓄圧器の基準整備に関する研究開発」の試験に併せて実施したものである。また、当該試験のS-Nデータ(応力振幅-繰返し数データ)はJPEC殿より提供を受け、AE計測データと併せて評価・分析に用いた。平成26年度まで実施した

研究開発の内容や成果については3章で詳細に示す。

## 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

本研究開発の最終目標(平成29年度末)は、常用圧力82MPa、容量300ℓのTypeⅢ-CFRP複合容器の水素ステーション供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つであるAE法の適用を実用化する。すなわち、水素ステーション運用中に定期的なAE試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認し、疲労劣化による水素漏洩を未然に防ぐことを目的とした。

現在、水素ステーションの複合容器は耐圧性能と強度を確認する保安検査の基準が整備されておらず、供用中の定期的な目視点検や非破壊検査、あるいは水素ステーションの運用を一時停止した複合容器の開放点検が求められている。しかしながら、供用中の目視点検ではアルミライナーの疲労評価は不可能であり、超音波探傷や放射線検査などでも炭素繊維が積層された外部からアルミライナーの微小な疲労き裂の検知は極めて困難である。また、複合容器を開放して内面からの目視点検、超音波探傷でも疲労き裂の非常に微細な起点を検知することは難しい。複合容器内面から疲労き裂検知が可能な非破壊検査としてPT(浸透探傷試験)があるが、PTは疲労き裂部に浸透液を使用する為、試験後に完全に除去することが不可能な為、容器内が汚染され、99.99%以上の水素純度を要求されるFCV用水素燃料には使用できなくなる。以上のように供用中あるいは開放点検時の保安検査技術が現有しない為、本研究開発の目標を上述のように設定した。

## 3. 研究開発成果

本研究開発は以下に示す(1)～(5)の研究開発項目を実施することによって目標達成を試みる。平成25年度～平成26年度には(1)～(3)項目を実施し、(4)項目に着手した。(5)項目は実施準備中である。次節に各々の目標、成果、自己評価の達成度(◎、○、△、×)について示す。

- (1)：アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査（達成度：◎）
- (2)：アルミ合金の水中疲労試験時におけるAE発生挙動調査（達成度：○）
- (3)：CFRPの破壊時のAE発生挙動調査（達成度：○）
- (4)：TypeⅢ-CFRP高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査（達成度：△）
- (5)：実水素ステーションでの実証試験（達成度：－〈平成28年度から着手予定〉）

### 3. 1 研究開発成果、達成度

#### (1) アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査(達成度：◎)

本項目では、複合容器のアルミライナーの素材であるA6061-T6(アルミ合金)の砂時計型試験片と平板試験片を用いた疲労試験中のAE計測を実施した。得られた成果を①～③の内容別に以下に示す。

#### ①砂時計型試験片による弾性領域での引張圧縮疲労試験時のAE発生挙動について

砂時計型試験片の引張圧縮疲労試験中のAE計測を実施した。試験片形状は図1に示すようなASTME466準拠の砂時計型で、中央直径は6.35mm、応力集中係数は1.085。AEセンサ取付け位置は、図1のGおよびHであり、この部分を平坦に加工して設置した。AEセンサはAE-144A(富士セラミック製)であり、100kHz～400kHzまでほぼフラットな周波数特性を示す。AE計測装置はAMSY-5(Vallen製)を使用した。

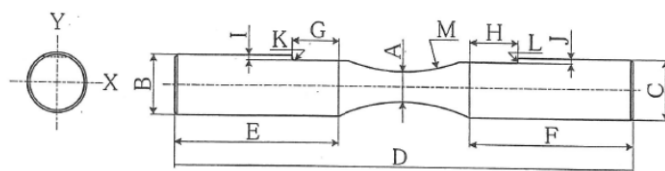


図1 丸棒試験片形状



図2 引張疲労試験機

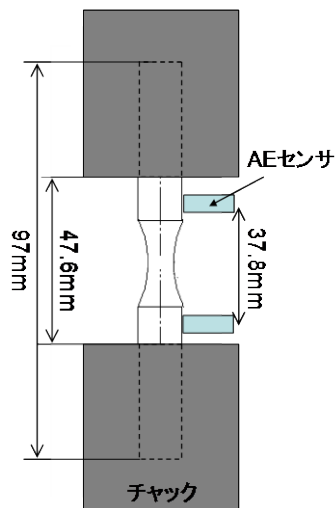


図3 AE センサ配置



図4 AE センサ取付状況

表1 砂時計試験片の試験条件とS-N データ (JPEC 殿提供)

試験片	直径 mm	試験周波数 Hz	最大応力 MPa	最小応力 MPa	応力振幅 MPa	平均応力 MPa	破断 繰返し数
A28	6.37	15	205	-275	240	-35	$1.66 \times 10^4$
A29	6.36	15	165	-235	200	-35	$9.03 \times 10^4$
A30	6.36	15	125	-195	160	-35	$4.91 \times 10^5$
A31	6.38	15	105	-175	140	-35	$2.19 \times 10^6$

4本の試験片のAE計測を実施した。試験装置、AEセンサ設置状況を図2~4 (JPEC 殿提供) に示す。疲労試験の負荷条件と破断回数を表1に示す。事前に実施した予備試験と文献値からA6061-T6の耐力は約245~280Mpa程度なので疲労試験中の応力場は弾性領域である。

約20万回で破断したA31試験片のAE振幅とAE発生数と試験機変位の経時変化を図5に示す。変位では破断直前まで変化は観察できなかったが、AE振幅とAE発生数は最終破断の30%程度から値が上昇し始めて右肩上がりで大きくなり疲労破断に至っていることがわかる。他の試験片でも概ね同様のAE挙動が観察されたことから、AE法によってアルミ合金の疲労状態を管理できる可能性が示された。すなわち、定期的なAE計測によるAE振幅やAE発生数を管理指標に用いることで疲労寿命や疲労状態を把握することができる。また、AE検出が難しいと思われた延性材料のアルミ合金でもAEが検出できることを確認した。

砂時計型試験片は応力を試験片中央部に集中させ、疲労き裂の起点のエリアを限定した。一方、複合容器のアルミライナーの内面は砂時計型試験片に比較して大面積であり、応力集中部が無いように設計されているので、複数の位置で疲労亀裂が発生することが予想される。つまり、AEの振幅や発生数を定期検査の指標にすることは難しい場合が考えられるため、周波数分析を行った。図6にサイクル数とAE波形と周波数スペクトラムの変化を示す。図中上のAE振幅の経時変化に示した①~④に対応した周波数スペクトラムから疲



劣進展に伴って AE 波の高周波成分が増加する現象が観察された。これにより、周波数成分に着目すれば疲労き裂の発生源が複数あったとしても疲労状態を評価できる可能性が示唆された。

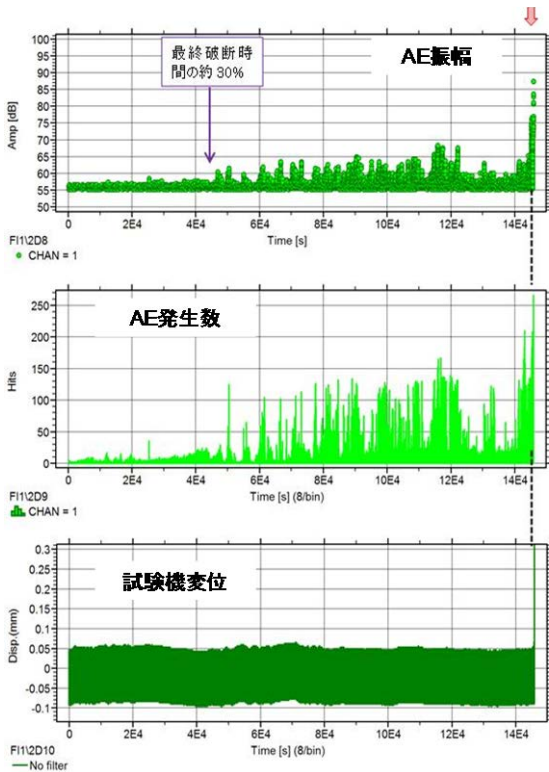


図 5 AE 振幅・AE 発生数・変位の経時変化

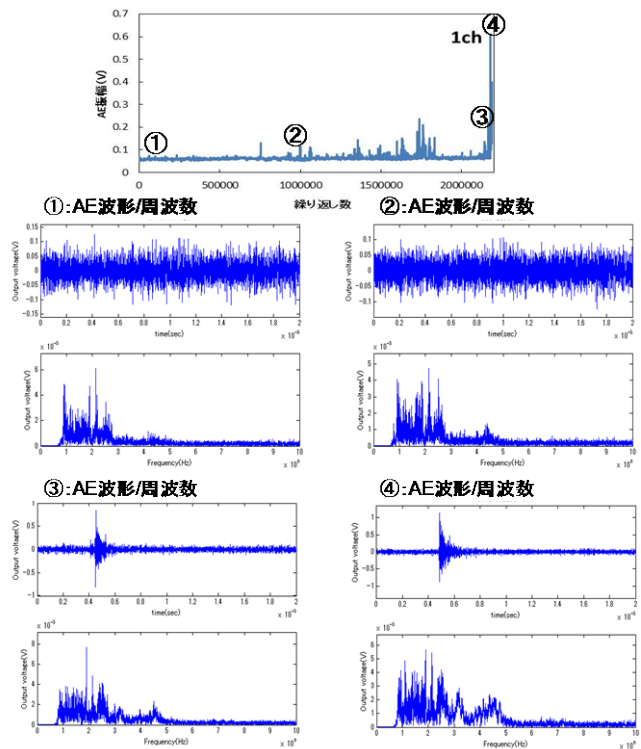


図 6 サイクル数と AE 波形・周波数の変化

## ②平板試験片による弾性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動について

複合容器で疲労亀裂が発生、進展するのはアルミライナーの内側からであり、応力集中箇所が限定されずに大面積のエリアから複数の疲労亀裂が発生すると考えられる。そこで、平板試験片を用いて複数の疲労亀裂発生の場合の AE 挙動を調べた。

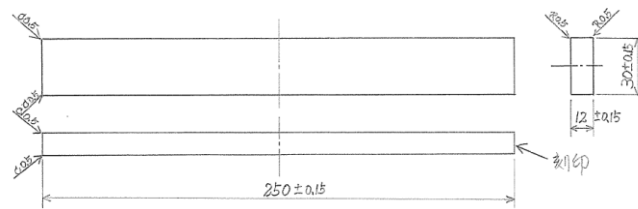


図 7 平板試験片形状

図 7 に平板試験片の形状を示し、図 8 に片振り四点曲げ疲労試験装置の概要を示す。平板試験片に対して、図中点線枠内に疲労亀裂を発生させる。亀裂が発生する状況が確認しやすいように、下部治具の間隔を上部治具よりも狭くし、下から押し上げるようにした。これにより、負荷上昇時には、試験片は上側が凸になるように曲がり、試験片の上面側に引張力が働く。AE センサは平板試験片に設置し疲労亀裂検知を目的とした 2 個と、圧子と平板試験片の接触摩擦に伴うノイズなど外乱要因を検知するための参照用センサ 2 個を設置した。センサ毎の AE 波の到達時間差を用いて、疲労亀裂発生エリアのみの AE 波を選択的に抽出し、四点曲げの四つの圧子の接触面でのノイズ信号と区別した。平板試験片のセンサ設置位置と上下圧子の位置関係を図 9

に示す。使用した疲労試験機の写真を図 10 に示す。AE センサおよび AE 計測装置は砂時計型試験片の試験と同様のものを使用した。

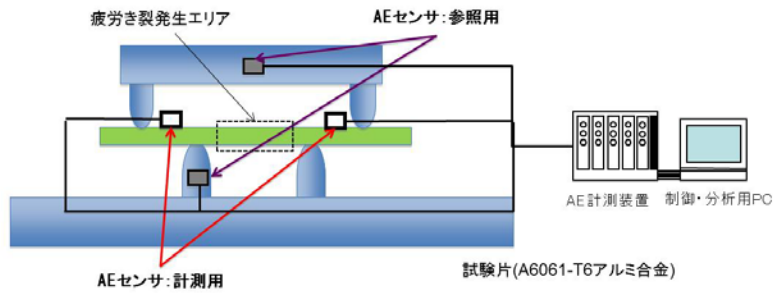


図 8 片振り四点曲げ疲労試験装置・AE 計測装置の概要

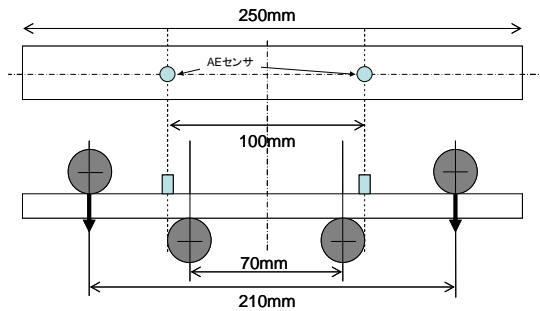


図 9 平板試験片の AE センサ配置

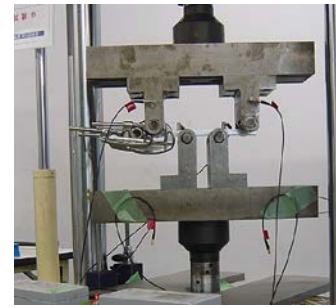


図 10 片振り四点曲げ疲労試験装置 写真

表 2 弾性領域での平板試験片の試験条件と S-N データ

	試験片形状	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
標準1	平板	240	240~0.8	0.00	10	323,779	破断
標準2	平板	192	192~0.8	0.00	12	10,000,000	未破断
標準3	平板	216	216~0.8	0.00	10	1,784,807	破断
鏡面4	平板	240	240~0.8	0.00	10	9,453,099	破断

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 2 に示す。いずれの試験条件もアルミ合金の耐力以下の弾性応力下での疲労試験とした。約 30 万サイクルで破断した試験片のサイクル数と AE 振幅の変化を図 11 に示す。砂時計型試験片の場合と異なり、疲労寿命の早期から AE が観察され、中期と後半では大きな振幅の AE が発生して最終破断直前が最も大きい値にはならなかった。この傾向は他の試験片でも観察され、砂時計試験片の場合のように AE 振幅の経時変化からだけでは疲労の程度の推定は難しいと考えられる。この結果は、試験片の応力集中度に起因するものと推察される。すなわち、複数の疲労亀裂が発生し、各々の AE が重なるように観察されており、その内の 1~2 つの疲労き裂が応力集中のために成長して貫通に至るといふ仮説が考えられた。図 12(a) に試験時の試験片表面写真を示すが、複数の表面き裂が観察され、仮説の一つの裏付けになると考える。一方、図 12(b) に示すように最終破断は試験片中央に発生したが、図 13 上図は試験片全域に位置標定された AE イベントの経時変化であり、AE 振幅と同様に疲労寿命の早期から AE が発生していたことがわかる。しかし、図 13 下図には最終破断の位置のみを抽出した結果であり、最終破断部に限定すれば AE イベントでも砂時計型試験片と同様の右肩上がりの上昇が観察され、この分析でも前述の仮説を裏付ける。

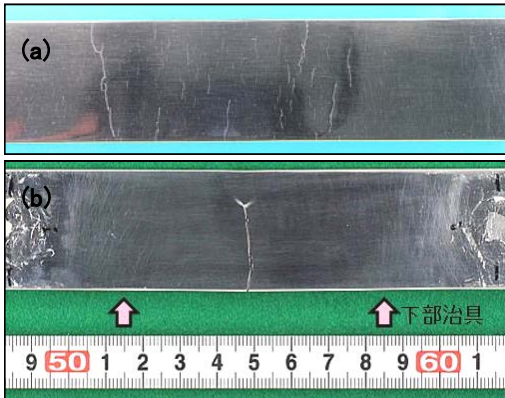
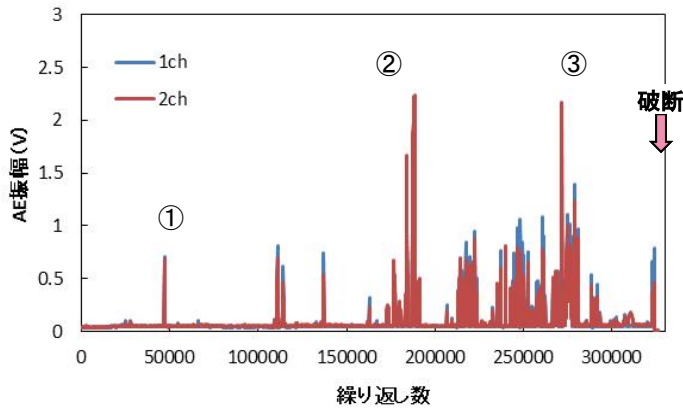


図 11 サイクル数と AE 振幅の関係

図 12 (a) 疲労試験中の試験片と (b) 破断後の試験片

片

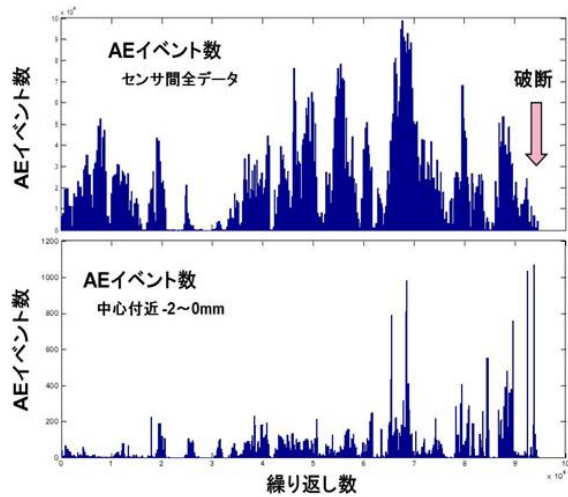


図 13 試験片全域 (上) と破断部のみ (下) の AE イベント

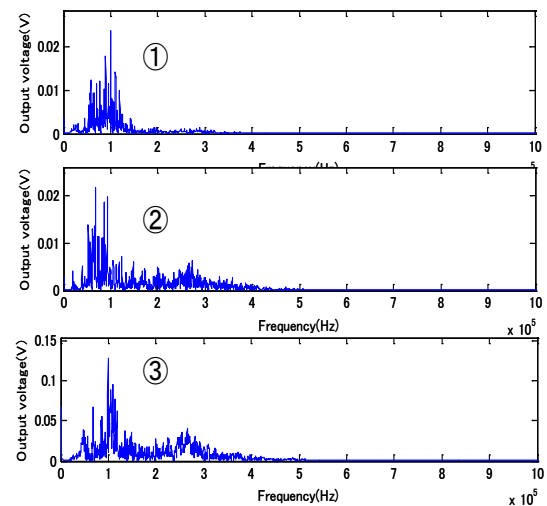


図 14 サイクル数と AE 周波数の変化

上述の分析から複数の疲労起点が考えられる場合は AE 振幅や AE イベントだけでは疲労状況の評価は難しいのがわかった。そこで、砂時計型試験片で行った周波数分析を試みた。図 11 に示した①疲労初期、②中期、③後期の AE 周波数を図 14 に示す。図 14 より、疲労進展に伴って 200kHz~300kHz の周波数成分が増加していることが観察され周波数解析の有効性が示唆された。また、200kHz~300kHz の AE は金属のき裂進展に伴う AE に多く含まれる成分であることが報告(文献 1)されており、以降の分析ではこの周波数帯域に注目することとした。



本節では、弾性応力下での疲労現象について AE 法の適用を検討したが、水素ステーションの複合容器には予め自緊処理が施されているのでアルミライナーは塑性変形していると考えられる。そこで、平板試験片の疲労試験では塑性応力下での試験も実施した。本資料では、本研究開発の進捗をわかり易く説明するために「③ 平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動について」の内容は後述する。

## (2) アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度 : ○)

複合容器の疲労試験は安全確保のため、一般的に圧力媒体には液体を用いる。そのため、疲労き裂による AE はアルミライナーや炭素繊維層の伝搬だけではなく、液体で満たされたアルミライナーの中で反射を繰り返して伝搬して AE センサに到達する。液体中を伝播した AE は振幅の減衰と周波数成分が変化する可能性がある。そこで、図 15 に示したような平板試験片を用いた水中での片振り四点曲げ疲労試験を実施した。

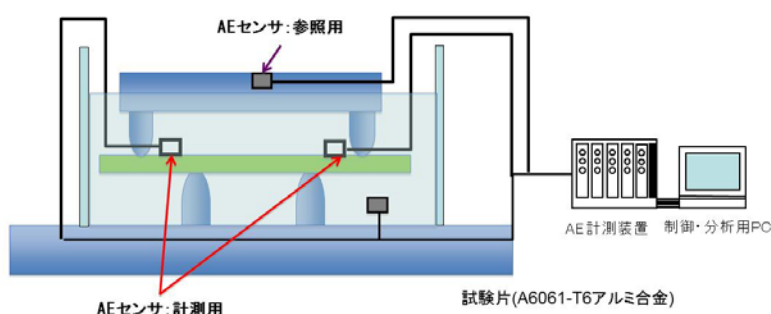


図 15 水中片振り四点曲げ疲労試験装置・AE 計測装置の概要

表 3 水中平板試験片の試験条件と S-N データ

	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
水道水1	336	336~0.8	0.00	6	54,187	破断
イオン交換水1	336	336~0.8	0.00	6	133,768	破断
イオン交換水2	288	288~0.8	0.00	8	152,780	破断

試験片形状と AE 計測系統は大気中の試験と同様である。疲労試験の負荷条件と破断回数を表 3 に示す。液体には水道水とイオン交換水を用いたが、水道水の場合はイオン交換水と比較して早期に疲労破断する。水道水は試験片表面に微小な腐食などを発生させ、それが起点となってき裂が進展するためと考えられ、複合容器の疲労試験の圧力媒体の影響が疲労寿命に影響を与えることがわかった。大気中での疲労試験結果と比較すると、試験片表面を鏡面仕上げしたものよりは若干疲労寿命が短くなるが、標準仕上げのものとはほぼ同等な疲労寿命となった。また、大気中より水中の方が試験片表面のき裂が多く観察されたことから、圧力媒体に液体を用いる場合は、実際の水素での加圧よりも多くの初期き裂の発生が予想される。

一方、試験片に設置した片方の AE センサからパルス (10Vpp, 150kHz) を入力し、もう片方の AE センサの検出波から伝播挙動を調べた結果、信号の持続時間は短くなるが周波数成分には大きな差異が無いことが確認された。

## (3) CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度 : ○)

複合容器は出荷前に常用圧力以上の加圧で自緊処理を行っている為、常用圧力で使用していればカイザー

効果が特に顕著な CFRP（炭素繊維層）の破壊は発生しないはずである。カイザー効果とは、材料に負荷すると AE が発生するが、一度除荷し再び負荷すると以前の最大負荷を越えるまで AE が発生しないという AE 特有の不可逆現象。しかしながら、複合容器輸送中の表面傷などが起点になって炭素繊維層の破壊が起これ、それに伴う AE 発生も考えられる。そのため、炭素繊維層破壊の AE 波形の特徴を把握し、アルミライナーの疲労き裂の AE 波と区別できるか否かを検討した。

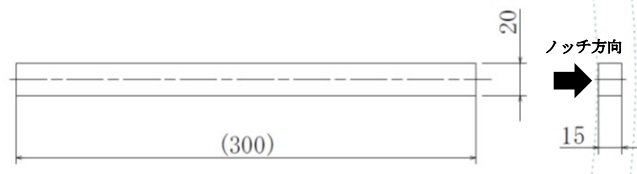


図 16 ノッチ入り CFRP 試験片

CFRP 試験片は疲労試験を実施した後の複合容器の炭素繊維積層部を剥離切断して図 16 に示すような短冊試験片に加工し、試験片中央部に幅 1mm、深さ 5mm のノッチを予め導入した試験片を用いた。図 17 に引張破壊試験機を示した。引張速度は 1mm/min で AE 計測系は前述の試験と同様のものを使用した。約 450 秒でスリットからのき裂が進展して破壊した。計測された AE 振幅と負荷の経時変化を図 18 に示す。



図 17 CFRP 引張破壊試験

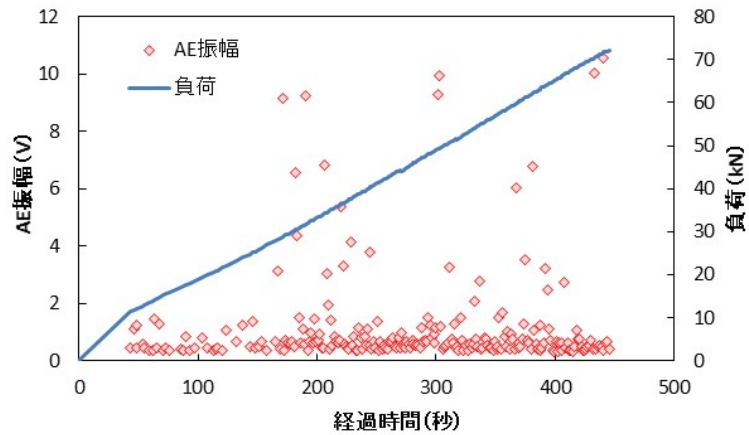


図 18 AE 振幅の経時変化

試験開始直後から AE は検出された。代表的な AE 波形と周波数スペクトラムを図 19 に示す。AE 波形は突発型で高振幅であったが周波数成分は 200kHz 以下であり、特に 70kHz の成分が多く含まれていた。この結果より、周波数フィルタで 100kHz 以下の成分を除去することで、アルミ合金の疲労き裂進展に伴う 200~300kHz の AE と炭素繊維層破壊の AE とは分別可能であることがわかった。後述する複合容器の疲労試験中の AE データの分析には全て 100kHz のハイパスフィルタを施した。

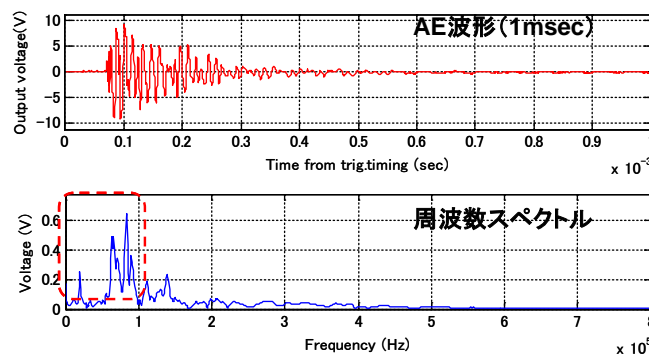


図 19 AE 波形と周波数スペクトラム

(4) TypeIII-CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度: × <平成 28 年度から着手予定>)

TypeIII-CFRP 高圧タンク (以下、複合容器) に対して JPEC 殿が実施した圧力サイクル試験時に AE 計測を実施した。複合容器の外観と AE センサ設置の様子を図 20 に示す。

複合容器仕様

- ・設計圧力 : 45MPa
- ・最小破裂圧力 : 135MPa (破裂安全率 3 以上)
- ・内容量 : 30ℓ
- ・アルミライナー素材 : A6061-T6
- ・炭素繊維 : PAN 系

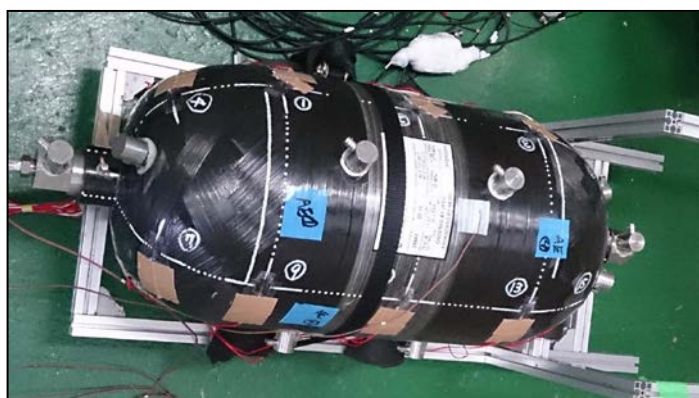


図 20 複合容器と AE センサの外観 (JPEC 殿提供写真)

圧力媒体はイオン交換水で、3 基の複合容器の疲労試験時の AE 発生挙動を調査した。表 4 に試験条件と漏洩までのサイクル数、JPEC 殿で行った弾塑性解析による周方向応力範囲、漏洩後の破面観察の結果を示す。弾塑性解析により、複合容器は製造時の自緊処理により 253MPa の残留圧縮応力が負荷されており、アルミライナーの耐力が 245~280MPa であることから内圧が無い状態では塑性域に近い応力状態の可能性はある。き裂部位はいずれも胴部であるが、応力範囲が圧縮側主体であることから、き裂方向が開口型ではなくせん断方向のものが多く観察された。これは JPEC 殿で実施した他の試験からも同じ傾向の観察がなされている。せん断型のき裂では疲労破面で見られるストライエーションが確認できず、摩耗などにより損傷・消滅したか、ストライエーションは生成されなかったものと思われる。容器 1 と 2 では同じ試験条件だが、き裂方向に相違が見られた。これは局所的な圧縮残留応力の差異の影響と考えられる。

表 4 複合容器疲労試験の試験条件と S-N データ、試験後破面観察結果 (JPEC 殿提供)

	圧力範囲 (MPa)	繰り返し周波数 (Hz)	周方向応力範囲 (MPa)	漏洩までの繰り返し数	き裂部位	き裂方向	ストライエーション
容器1	1~75	0.05	-253~5	24,925	胴部	せん断	観測不能
容器2	1~75	0.05	-253~5	20,460	胴部	板厚	一部観察
容器3	1~65	0.05	-253~45	62,894	胴部	せん断	観察不能

図 21 に AE センサの設置レイアウトを示す。12 個のプリアンプを内蔵した VS150-RIC センサ (Vallen 製) を複合容器両端の口金部と炭素繊維層の上に設置した。また、試験片試験と同じ AE-144A センサ(富士セラミック製) を 2 個口金部近傍へ設置した。実際の水素ステーションでは複合容器は多段式ユニットに収められるため、現場計測は口金へ AE センサを設置することが求められると考える。AE 計測装置は AMSY-5 (Vallen 製) を使用した。

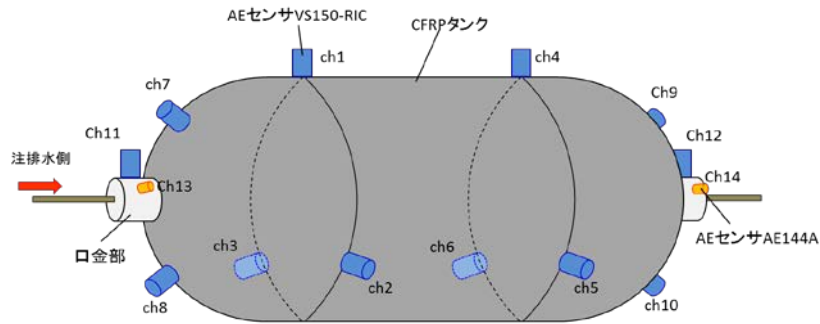


図 21 複合容器と AE センサレイアウトのイメージ

AE 計測の前に複合容器への各センサ位置の減衰率を計測した。口金のネジ部は大きな減衰が危惧されたが、口金両端の間の減衰率は約 30dB であり十分にアルミライナー全体の AE を検知できる感度であった。また、炭素繊維層は減衰が大きく、音響異方性も有する為、炭素繊維層の外表面に設置した複数の AE センサでは疲労き裂の位置標定が困難であることがわかった。

図 22 に表 4 の容器 1 の全ての周波数の AE 振幅と漏洩までのサイクル数の関係を示す。容器 1 は 45MPa の設計圧力に対し 75MPa の内圧を負荷し、約 2 万 5 千回のサイクルで漏洩が確認された。き裂は胴部からせん断型で貫通しており、ストライエーションは確認できなかった。貫通き裂部の位置は両端の口金センサまでの到達時間と炭素繊維層の減衰率を勘案すると検出した AE はアルミライナー胴部で発生したものと確認された。図 23 より、早期から高振幅の AE が検出され、漏洩直前には高振幅の AE は検出できなかった。試験片の疲労試験とは大きく異なる AE 挙動が観測された。

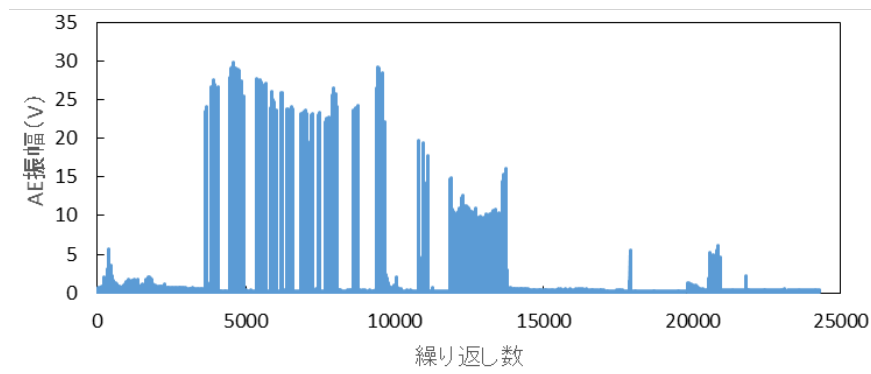


図 22 容器 1 の複合容器と AE 振幅とサイクル数

試験片での疲労試験によって200kHz～300kHzの周波数帯のAEが疲労き裂生成に伴うAEであると推察されている。そこで、図22のAE信号から炭素繊維層からのAEを除去するために100kHz以下のAEを除去して200kHz～300kHzの周波数帯域のAEを抽出して図23に示した。

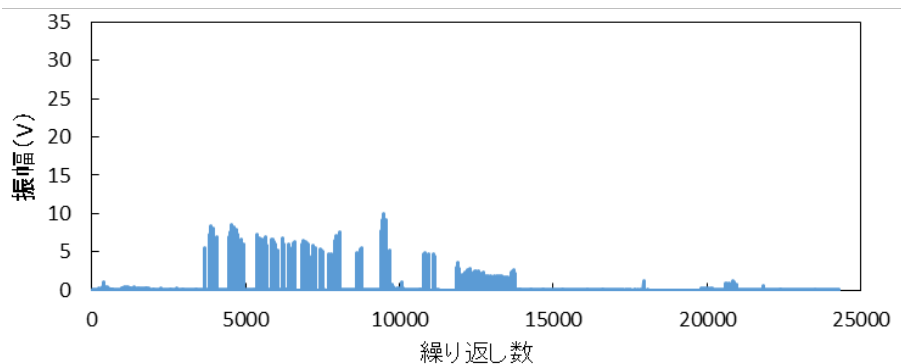


図23 容器1の200kHz～300kHzのAE振幅とサイクル数

図23から200kHz～300kHzのAEの経時変化を観察しても、試験片で確認されたようなサイクル数と共に上昇して疲労破壊直前で最大となるようなパターンにはならなかった。この現象を解釈するために、複合容器の製造工程と試験後の疲労き裂破面観察などに基づいて、試験片の場合には想定しなかったアルミライナーで発生するAE挙動について考察した。比較的高振幅な早期に発生するAEは局部応力集中や初期欠陥が起点となって発生したと考えられる。また、疲労き裂に伴うAEは低振幅であるために振幅値の経時変化では観察が難しくなると考えられる。そこで、新しいAEの分析法を提唱し検証を行った。その結果、アルミライナー疲労進展に伴うAEは主に200kHz～300kHzの周波数成分を持ち、新しいAE指標を用いることで複合容器の健全性を評価できる可能性が示唆された。

複合容器の疲労試験で提唱した分析手法を検証するために、前述した試験片を用いた「(1) アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査」の項目のうち、「③平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時のAE発生挙動について」について以下に示す。

#### (1) -③平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時のAE発生挙動について

前述した「(1)-②平板試験片による弾性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時のAE発生挙動について」の項目で用いた試験片、試験機、AEセンサ、AE計測装置を用いて塑性応力下での平板試験片の片振り四点曲げ疲労試験中のAE挙動について検討した。

疲労試験の負荷条件と破断回数を表3に示す。いずれの試験条件も最大負荷はアルミ合金の耐力以上の塑性応力下での疲労試験とした。負荷変動0.8MPa～336MP、約5万サイクルで破断した試験片のサイクル数とAE振幅の変化を図28に示す。



表3 塑性領域での平板試験片の試験条件とS-Nデータ

	試験片形状	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
標準4	平板	384	384~0.8	0.00	5	33,321	破断
標準5	平板	336	336~0.8	0.00	7	59,372	破断
標準6	平板	288	288~0.8	0.00	7	169,582	破断
鏡面2	平板	336	336~0.8	0.00	7	140,859	破断
鏡面3	平板	288	288~0.8	0.00	7	2,134,329	破断
鏡面4	平板	288	288~259(90%)	0.90	20	22,091,783	未破断
鏡面5	平板	336	336~302(90%)	0.90	20	鏡面4の継続 9,860,145 累積 31,951,928	未破断
鏡面6	平板	336	336~168(35%)	0.50	13	22,048,771	未破断

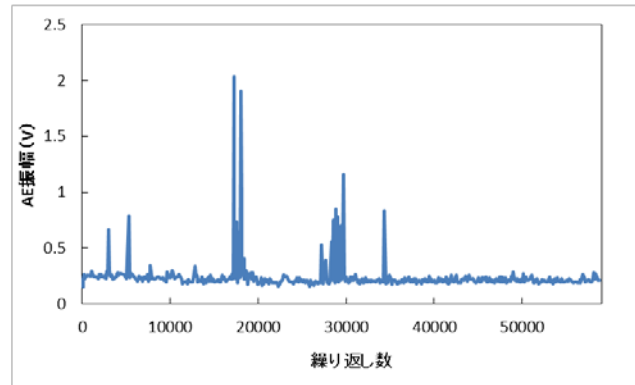


図24 サイクル数とAE振幅の関係

図24より、高振幅のAEが早期に検出され、疲労破断直前でも大きなAEは検出されておらず、複合容器の試験結果と同じ傾向を示した。早期に検出されたAEは試験開始直後の塑性変形によって試験片に生じた局所的な応力集中や微小き裂が起点となって発生したきAEと考えられる。

新しいAE分析方法による複合容器の疲労管理方法は幾つかの仮説に基づいており、それらの検証試験が必要である。また、非常に微弱な超音波を検出するAE計測の観点から見ると、ノイズの大きい加速疲労試験は実水素ステーションでの計測データとは異なることも予想される。以下に検証すべき項目と対策について箇条書きで示す。当初の研究開発計画では、平成28年度以降は実ステーションの実証試験のみの予定であったが、平成27年度の検証試験の進捗によっては計画を変更し、平成28年度以降もラボ試験を平行して実施したい。

- 1) 水素ステーションの実運用と同じ程度の応力振幅での複合容器疲労試験中のAE計測を実施し、設計サイクル数までの新しい分析法を検証する。
- 2) 複合容器の疲労試験中に疲労現象とは無関係なAEが発生しない環境でAE計測を実施し、AE振幅比を検証する。

- 3) 複合容器の自緊処理で発生する塑性変形を予め施した試験片によって疲労試験中の AE 計測を実施し、新しい分析法を検証する。
- 4) せん断方向へき裂が進展するように加工した試験片の圧縮疲労試験中の AE 計測を実施する。この検証作業で、開口型破壊とせん断型破壊によって発生する AE 挙動の相違を確認する。
- 5) 複合容器の疲労試験の圧力媒体が液体とガスとでは AE の伝播環境が異なることが予想される。疲労き裂が発生するメカニズムは同じであるので、注目する周波数帯域は変わらないが、液体の圧力媒体の試験と異なり容器内部での AE 波の反射などが無くなり、伝播環境が異なる。この影響を確認するため、圧力媒体にガスを使用した疲労試験中の AE 計測を実施し、圧力媒体の差異による AE 挙動を検証する。

#### **(5) 実水素ステーションでの実証試験（未着手〈平成 28 年度以降着手予定〉）**

本開発項目は平成 28 年度に実施予定であり、未実施項目である。ここでは前述した(1)～(4)の成果に基づいて、AE 法を水素ステーションの複合容器の耐圧性能と強度確認の保安検査（以下、保安検査）とするための検証項目と実証試験の内容について示す。

##### **①水素ステーションの環境ノイズ性状の把握**

水素ステーションに設置された複合容器の AE 計測では、複合容器への水素の充填・放出音、昇圧機やディスプレイなどの作動音、FCV の出入り、接続道路を走行中の自動車、隣接市街地の騒音など、ラボ試験では想定されていなかった現場ノイズの混入が考えられる。一方で、試験片のラボ試験で混入した試験片治具の摩擦音や試験機用油圧ポンプの作動音、複合容器ラボ試験時の液体圧力媒体の充填・放出音などのノイズ混入は無い。提案分析方法は環境ノイズの影響を受ける。その為、水素ステーションでの環境ノイズの把握は重要である。

##### **②防爆対応 AE 計測機器の検討**

水素ステーションの複合容器設置箇所は防爆エリアである。ラボ試験で用いてきた AE センサは圧電型センサであり、防爆認証を受けていない。AE センサに求められる周波数応答特性は疲労進展に起因する AE 波の周波数帯域で良好な感度を有することである。ラボ試験で用いた AE センサとほぼ同じ周波数特性で IECE（国際統一規格）の防爆認証を受けているセンサは現有する。しかし、日本の TISS の防爆認証は受けておらず、日本では国際統一規格の防爆認証を基本的に認めていない。一方、光ファイバを用いた AE センサが市販されており、光のドップラー効果で AE 信号を受信する原理であることから本質安全防爆性能を有する。しかしながら、感度と周波数応答特性について改めて検証する必要がある。また、AE 計測は常設ではなく、定期的に一定時間実施することも踏まえて、水素ステーションでの運用と防爆対策を検討する。

AE センサは複合容器口金部に設置するために防爆対応は必須であるが、AE 計測装置は AE センサとケーブルで数 100m 離す事ができるので、水素ステーション構内の非防爆ゾーンへ設置することを検討する。

##### **③AE 計測装置の必要機能抽出**

ラボ試験では、汎用の多機能 AE 計測装置を使用して計測・分析を実施している。しかしながら、汎用 AE 計測装置は価格、サイズなどの点で実運用の妨げとなる場合も考えられる。そこで、汎用 AE 計測装置のうち、AE 法を保安検査技術として必要な機能を選択、抽出し、小型/安価な AE 計測装置の製作が可能か否かを検討

し、可能であれば、概念設計を作成する。

### ③AE 検査要領の策定

ラボ試験での疲労試験は長くても数十秒以下の正弦波で負荷されていた。従って、ラボ試験の負荷サイクルであれば新しい分析パラメータを1回計測するのにかかる時間は10分以下（10サイクル程度）であった。しかしながら、水素ステーションの複合容器の負荷サイクルはラボ試験に比較して非常に長く、正弦波の圧力変動でもない。水素ステーションの運転中のAE試験実施にあたり、どのようなタイミングで、どのくらいの時間の計測が必要なのかなどの検査要領を策定する。ノイズの影響が少ないタイミングを考慮して、夜間計測も視野にいれ、複数の複合容器の同時検査も検討することで実用的な保安検査としてのAE法の適用を検討する。AE計測に必要な負荷サイクル数が水素ステーションの通常の運用では得られない場合、人為的に複合容器に圧力変動を負荷できる機構についても検討する。

AE検査要領を策定するにあたり、上述した技術的側面からの検討と経済的側面からの検討も行う。すなわち、AE試験実施の間隔や検査費用などについても検討し、水素ステーションの運用にとって安全を担保しつつ経済的な保安検査要領を策定する。

## 3. 2 成果の意義

水素ステーションの安心安全な運用には複合容器の耐圧性能と強度確認の保安検査は不可欠であるが、実用的な保安検査は今まで世界的にも存在しない。複合容器の経年劣化の主な要因はアルミライナーの疲労き裂進展であり、炭素繊維層で包まれたアルミライナーの極めて微細なき裂の生成であることが検査を困難にさせている。圧縮残留応力を負荷されたアルミライナーの疲労き裂は貫通するまで炭素繊維層にほとんど影響を与えないので、外側からの目視点検やひずみ測定では検知できない。炭素繊維層が厚く、疲労き裂は圧縮残留応力で閉じられて微細なために外側からの放射線透過試験や超音波探傷試験、磁粉探傷試験、渦電流探傷試験でも検知は困難である。水素ステーションの運用を休止し、複合容器の内面からファイバースコープカメラによる目視点検でも微細なき裂の検知は難しい。内面から浸透探傷試験であれば微細なき裂の検知が可能かもしれないが、浸透液によって容器内部を汚染する。このような保安検査不在の中、アルミライナーの疲労き裂進展に伴うAE波の特徴を新しい手法に強調すれば疲労進展をAE法で評価できることを世界ではじめて本研究開発で示した。本成果を水素ステーション運用中の保安検査に用いれば、わが国の安全安心な水素ステーションの普及に貢献できる。また、海外の水素ステーション普及にも貢献できることから、水素社会における日本のイニシアチブ強化に寄与する。

水素ステーション用複合容器に係わる世界唯一の規格として「繊維強化プラスチック製圧力容器規格付属書 8:定置式水素ガス用非荷重分担ライナーを有する圧力容器 ASME Section X(2011a) Appendix 8」がある。この中に製品製造時、耐圧試験時、膨張試験および自緊処理の課厚地に潜在欠陥を見つけることを目的として、試験手順と解析方法、合格基準が示されているが、ASME規格で実施することが規定されている米国でもAE試験を実施した容器は無いとされている。本研究開発の成果は水素ステーション運用中の保安検査技術としての新しいAE検査手法であるが、製品検査としての適用も可能だと考えられ、検討する意義は大きい。

複合容器の使用可能回数は、設計圧力サイクル数を疲労設計安全率 $K_n$ で除した回数と規定されている。疲労設計安全率 $K_n$ は高圧ガス保安協会のKHK TD5202の疲労強度の確認試験に供した容器の数 $n$ によって異なり、 $n=2$ のとき $K_n=4.0$ 、 $n=3$ のとき $K_n=3.5$ 、 $n=4$ のとき $K_n=3.0$ 、 $n=5$ のとき $K_n=2.6$ である。例えば、10万回の設計圧力サイクル数の複合容器の場合、 $K_n=4.0$ の時は約2万5千回、 $K_n=2.6$ の時は3万8千万回が使用可能回数である。現在は、使用可能回数までの安全確認のための保安検査技術はないが、本研究開発で開発し



た AE 法を適用すれば使用可能回数まで安全を確認しながら運用することが可能となり、水素社会の普及に寄与する。

一方、現行の使用可能回数は設計圧力サイクル数の 50%も使用しないことになる。本研究開発の AE 検査は保安検査のうち複合容器の耐圧性能と強度確認に係る部分に限定されるが、他の保安検査基準が複合容器の使用可能回数を許容する場合、AE 検査を適用して使用可能回数を超えても疲労き裂進展の兆候が観察されていなければ複合容器の使用を延長することも検討に値すると考える。水素ステーションの複合容器の運用コスト低減について次のような投資対効果の仮説が導ける。例えば、5 年間使用できる CFRP タンクを 1 水素ステーションに 10 本備えるとして、複合容器コストを仮に 1 千万円/本とし、10 年間使用すると 2 億円必要となる。しかし、AE 法による保安検査を実施することで使用期間が 2 倍になれば、複合容器の運用コストは 1 億円となる。水素ステーションでの実証試験が未着手であるが、半年に 1 回の AE 検査を実施すると仮定して検査費用が仮に年 100 万円程度とすると、10 年間の AE 検査コストは約 1000 万円となる。すなわち、10 年間で約 9000 万円のコストダウンが期待でき、水素ステーション事業者の負担低減となる。また、現在は使用可能回数を超えた容器は廃棄処分となるが、炭素繊維を大量に使用した複合容器の廃棄処分は容易ではなく、水素ステーションが普及するに伴って今後の社会問題となる可能性もある。AE 法を用いた保安検査によって複合容器の使用回数が増えれば、廃棄処分の問題低減にも貢献できる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本研究開発の最終目標は常用圧力 82MPa、容量 3000ℓ の Type-III CFRP 複合容器の水素ステーション運用中の耐圧性能と強度確認のための保安検査技術として AE 法を適用し、定期的な AE 試験の実施によって安全を担保しつつ水素ステーション普及に寄与することである。

本研究開発は 5 年計画であり、現在 2 年目が終了している。現在までに、最終目標の複合容器より小型の常用圧力 45MPa、容量 300ℓ の複合容器では、疲労進展に伴う AE 波形の特徴を把握し、特定の周波数帯域の AE パラメータを疲労損傷の管理指標として用いることができる可能性を見出した。今後、新しい AE パラメータによる評価方法の信頼性を確認する試験を継続するが、疲労き裂進展時の AE 波の特徴は複合容器の常用圧力や容量にあまり影響を受けないと考える。常用圧力 85MPa については、現在までの AE 計測方法の検討成果をそのまま適用できると予想する。一方、複合容器の容量は AE 波の伝播距離と関係し、AE 検出感度に影響する。今までの実験で用いた容量 450ℓ の複合容器の長さは約 1m だが、口金部の減衰値に基づくと容量 3000ℓ の複合容器（長さ約 5m）を対象としても現有する AE センサで十分に検知できるレベルである。

一方、水素ステーションの普及に伴い様々なメーカーから複合容器が供給され、自緊処理の方法やアルミライナーと炭素繊維層の厚さや形状が若干異なる複合容器が水素ステーションに設置される可能性が高い。従って、新品時の自緊処理による局部応力集中などの相違への対応、胴部ばかりでなく鏡部での疲労き裂の進展への対応も必要となると予想される。しかしながら、疲労き裂進展に伴う AE 波の特徴自体は変わらず、製造の違いなどの影響はあまり受けないと考えるので本研究開発技術は対応可能であると思われる。

今後、課題解決のためのラボ試験と水素ステーションでの実証試験を実施していくが、上記の理由から本研究開発の最終目標の可能性は十分に高いと考える。

### 4. まとめ及び課題、実用化の見通し

本研究開発では、安全・安心な水素ステーションの早期普及に寄与するため、複合容器の保安検査として AE 法の適用を検討している。計画では 5 年の研究開発であるが、2 年目の現在までに AE 法の新しい分析方法

を提案し、保安検査への適用可能性を見出した。複合容器の主な劣化損傷形態はアルミライナーの疲労き裂進展であり、疲労き裂進展に伴う小さなAE波の特徴的な周波数分布に着目し、複合容器の製造時に発生する局部応力集中などに起因する大振幅AEと分別するために新しいAEパラメータでの評価方法を提唱した。

本研究開発はまだ2年目なので、いくつかの検証作業が残されており、その課題と対応策は実施項目(4)のp.12に箇条書きでまとめた。また、実施項目(5)の実際の水素ステーションでの実証試験については未実施なので、平成28年度から着手、遂行する予定である。今後進める検証作業の進捗によっては、平成28年度以降の研究計画を変更する。

本研究開発は標準整備に関連する内容であるので、ここでは実用化の見通しについて示す。実用化は以下の2つのステップを想定している。

STEP-1：複合容器を使用可能回数、すなわち設計圧力サイクル数を疲労設計安全率で除した回数までの運用中の保安検査としてAE法を活用する。

STEP-2：複合容器を設計圧力サイクル数まで運用できる保安検査としてAE法を活用する。

表4に示すように、水素ステーション数の設置ロードマップを鑑み(2015年(普及開始期):100箇所、2020年(普及拡大期):140箇所以上、2030年(普及将来期):600箇所以上)、“STEP-1”については本件研究開発最終年度(2017年度)までに4章で示した技術的な検証作業を完了し、その後3年間の複数の水素ステーションでの実証作業によって本提案検査手法の信頼性を確認する。

“STEP-1”については2020年の普及拡大期には実用化を目指す。“STEP-1”の実用化は耐圧性能の保安検査が他に存在しないオンリーワンの技術であるので、水素ステーション事業者にとっては安全、安心を担保するための有用性とニーズが存在すると考える。“STEP-2”の実用化については、長期間有効に複合容器を使用できる点で水素ステーション事業者にとっては安全、安心だけではなく、経済的効果からもニーズが大きいと考える。しかしながら、本提案検査手法に求められる信頼性は高くなり、2020年から2030年の間に十分な実績を蓄積して2030年の実用化を目指す。

表4 実用化スケジュール案

水素ステーション 設置ロードマップ			2015年	→(普及開始期)→ 100箇所			2020年	→(普及拡大期)→ 140箇所以上	2030年
	(H25)	(H26)	(H27)	(H28)	(H29)	...	...		
基本原理確認			現在	→					
基本技術確立				→					
実用化 STEP-1							現場検証作業 データベース構築 (3年間)	STEP-1 実用化	
実用化 STEP-2								データベース増強 信頼性確認	STEP-2 実用化

## 5. 研究発表・特許等

現在までは特になし。一部の成果について特許申請手続き中。

### 参考文献

(文献1) : 岩岡ほか、「高圧水素貯蔵用 A6061-T6 合金の引張・疲労試験での AE 特性に関する研究」、日本機械

学会論文集、Vol180, No. 818, 2014

(文献2) : 坂本ほか、「圧縮残留応力下での疲労き裂進展挙動」、日本機械学会論文集、Vol175, No. 759, 2009

(I-②-2) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(国)九州大学

●成果サマリ(平成25年度～平成27年度6月末)

- 汎用材の利用拡大に関し、SUH660、銅合金、及び20MPa以下のNi当量規制除外によりクロモリ鋼を含む多数鋼材を例示基準化し、更に新たなニースに基づいて、クロモリ鋼や汎用SUS材(SUS316L)など、汎用材をより一層利用拡大するための研究開発を推進している。
- 超高温、広温度範囲での鋼材利用拡大について、SUS316系(Ni当量品)を高、低温、超高温の3領域で例示基準化すると共に、XM-19など多数鋼材をターゲットとして水素ステーション建設に大きく寄与し、更に新たなニースに基づいて、溶接技術研究や海外規格材の例示基準への取込みを推進している。

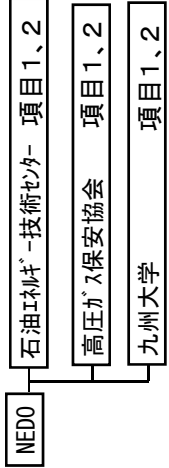
●背景/研究内容・目的

水素ステーションに使用する金属材料は、耐水素特性性に優れ、かつ安価な鋼種が産業界から求められている。そこで水素に対して安全・安心を担保し、併せてコスト低減を可能とする鋼種拡大のための研究開発を行う。

●研究目標

実施項目	中間目標 (H27年度)	最終目標 (H29年度)
1-① 汎用材の利用拡大	汎用材 1, 2, 3, 4種、ないし5種の研究、評価、使用条件の明確化	汎用材 5, 6, 7種、ないし8種の研究、評価、使用条件の明確化
2-① 超高温、広温度範囲での利用拡大	ステンレス材 1, 2種、ないし3種、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化	ステンレス材 3, 4種、ないし5種、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化
2-② 新たなニースに基づいた超高温、広温度範囲の鋼種拡大		

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

汎用材の利用拡大について、以下の例示基準化を達成し、新たなニースを踏まえた研究を推進中。

- SUH660、銅合金(2種)の例示基準化を達成した。
- 20MPa以下域でのNi当量規制を除外する例示基準化を達成した。(クロモリ鋼を含む多鋼種の使用可)
- 汎用SUS材(SUS316L)の使用可能域拡大を研究中。
- 低合金鋼(クロモリ鋼)の超高温での特性を研究し、SCM435鋼について利用方を提言した。
- 低合金鋼(クロモリ鋼)の利用を更に拡大するためのガイドライン作成を研究開発中。

超高温・広温度範囲での鋼材利用拡大について、以下の例示基準化、ターゲット化を達成し、新たなニースを踏まえた研究を推進中。

- SUS316材(高Ni品)使用可能域拡大の例示基準化を達成した。(高温、超高温、超低温の3領域)
- 海外規格材である高強度ステンレス鋼XM-19材の耐水素特性性を立証した。
- SCM435とXM-19のターゲットを構築し、広く産業界への提供を実施した。
- XM-19材の溶接技術を研究中。
- 海外規格材の例示基準への取込みを研究中。

●研究成果まとめ

海外規格材の例示基準への取込みを研究中。

(例) SUH660温度範囲拡張, XM-19)

●今後の課題

- 汎用材、低合金鋼の更なる活用の為、種類拡大、ガイドライン作成の研究開発を行う。
- 水素ステーション建設、運営効率化の為、XM-19材の溶接技術を実用化する。
- 海外規格材の例示基準化への取込みを図る。
- 海外材の利用は液体水素ステーションでの鋼材選択幅の拡大へも寄与する。

●実用化・事業化の見通し

- 例示基準化された鋼種は水素ステーション建設に広く活用され、水素事業推進へ大きく寄与している。
- 低合金鋼の更なる活用を図ることで、一層のコストダウンが期待できる。
- 溶接技術研究は実用化の見通しが立ちつつあり、水素ステーション建設、運営の両面で貢献が期待される。
- 海外規格材の利用は、「高圧ガス保安法スマート化」の方向に沿って利用拡大を図る。

実施項目	成果内容	自己評価
1-①	<ul style="list-style-type: none"> <li>SUH660、銅合金の例示基準化</li> <li>20MPa以下のNi当量規制除外(クロモリ鋼を含む多鋼種の使用が可)</li> </ul>	◎
1-②	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用SUS材の使用可能域拡大研究</li> <li>低合金鋼の超高温利用方策提言</li> <li>低合金鋼ガイドライン作成研究</li> </ul>	○
2-①	<ul style="list-style-type: none"> <li>SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大</li> <li>XM-19材の耐水素特性性立証</li> <li>ターゲット構築、産業界への提供</li> </ul>	◎
2-②	<ul style="list-style-type: none"> <li>XM-19材の溶接研究</li> <li>海外規格材の例示基準への取込み検討(SUH660温度拡張, XM-19)</li> </ul>	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	14	94	0

## 課題番号： I - ② - (2)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）  
          高圧ガス保安協会（KHK）  
          国立大学法人九州大学（九大）

#### 1. 研究開発概要

本研究では、大別して次の2つのサブテーマを実施する。

##### ① 汎用材の水素環境下での利用に関する研究開発

前事業（水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発、H20～H24年度実施）にて取り組んだ鋼種拡大対象材料は、高度な耐水素性能を有する鋼材であるが、汎用の鋼材ではないため入手性に課題がある。一方、汎用材すなわち当該水素ガス中以外で圧力機器の材料として汎用的に用いられている材料を、水素ガスに対する耐性に応じて最大限使用する手法があれば、水素ステーションの安全と低コスト化を同時に満足する非常に有効な技術となるが、現状のところ確立した技術はない。

そこで、水素系構成機器の使用に応じて検討対象とする鋼材の選定と、水素ガス中での挙動の解明、評価試験方法の確立を行う必要がある、具体的には、水素ステーションのコスト低減に繋がる可能性があつて、かつ機能維持に必要な汎用金属材料（例えば、SUS304、SUS310S、SUS316、SUH660、Cr-Mo 鋼、Ni-Cr-Mo 鋼、銅系材料、アルミニウム系材料など）について、水素ガス中での挙動の解明及び評価試験方法の検討を行い、水素の影響を受ける材料の場合は、その評価方法を確立する。

これら検討を通じて、汎用材の使用条件を明確にするとともに、将来の技術基準化に繋がる検討を推進し、汎用材の水素ガス中での利用に関する技術基準の整備に資する資料の検討・作成を行う。

##### ② 超高压、広温度範囲の材料設計のためのデータベース構築

70MPa 級水素充填設備においては、-40℃以下の低温となるプレクール設備や 200℃程度の高温となる圧縮機で使用できる材料が求められており、使用温度領域での材料評価は必須である。しかし、現状は試験設備の制約等で、十分な材料評価データが得られておらず、設計上適切な温度領域での材料使用ができていない。また、水素曝露を行った金属材料における水素の影響評価についても、十分な検討は行われておらず、圧縮機の信頼性向上のための検討が望まれる。

そこで、プレクール設備や圧縮機の設計等に基づき、材料使用温度及び使用条件を明確にし、使用候補材の選定を行う。次に試験条件や試験方法を検討して、試験設備を整備するとともに試験方法を確立し、水素曝露を含めた水素構造材料データベースの構築と材料使用基準の整理・拡充を行う。

## 2. 研究開発目標

### 2.1 目標

中間目標（平成 27 年度）と最終目標（平成 29 年度）について、業界の鋼種拡大ニーズと耐水素特性取得の試験設備稼働工程・研究工程、及び基準化の工程などを勘案し、表 1 のとおりとした。

表 1 研究目標

実施項目		中間目標（H27 年度）	最終目標（H29 年度）
①-1	汎用材の利用拡大	汎用材 1,2,3,4 種、ないし 5 種の研究、 評価、使用条件の明確化	汎用材 5,6,7 種、ないし 8 種の 研究、評価、使用条件の 明確化
①-2	新たなニーズに基づいた汎用鋼種拡大		
②-1	超高圧、広温度範囲での利用拡大	ステンレス材 1,2 種、ないし 3 種、もしくは はその他材料の研究、評価、 使用条件の明確化	ステンレス材 3,4 種、ないし 5 種、も しくはその他材料の研究、 評価、使用条件の明 確化
②-2	新たなニーズに基づいた超高圧、広温度範囲の鋼種拡大		

### 2.2 実施体制、及び分担

研究の分担を図 1 に、実施体制を図 2 に示す。

体制づくりに際しては、他の NEDO 事業や、鉄鋼業界など関連業界との情報共有化・連携を密にすることを重視し、オールジャパンの取組み体制を構築した。

（平成 27 年 4 月より、独立行政法人は国立研究開発法人へ改組・名称変更となっている）

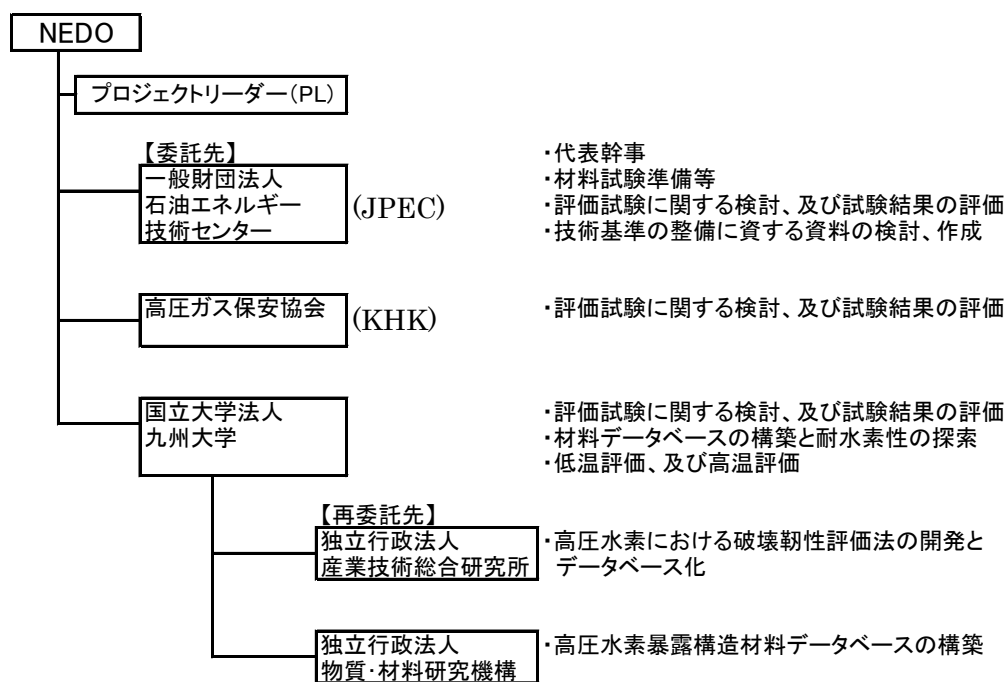


図 1 研究分担

## 鋼種拡大 推進体制

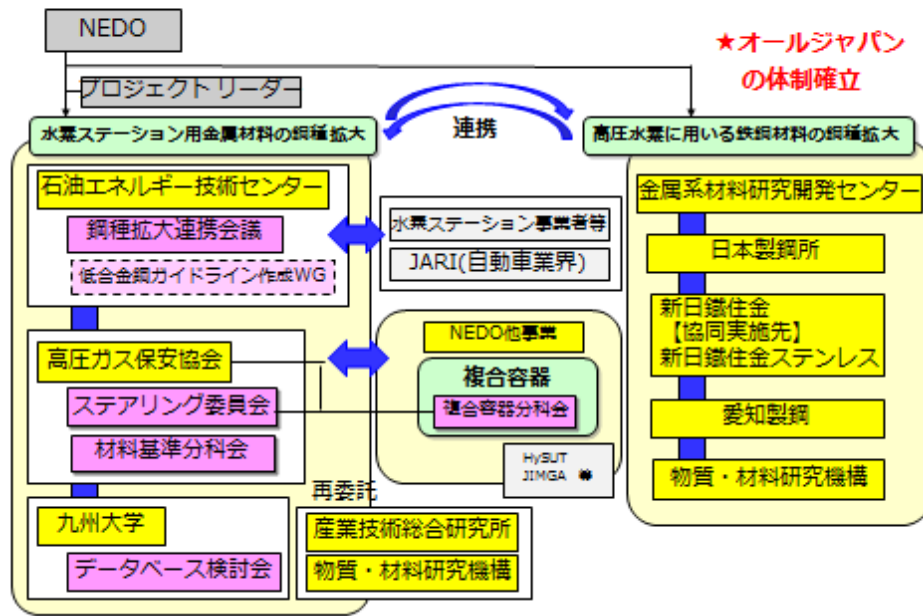


図2 研究実施体制

### 3. 研究開発成果

#### 3.1 研究開発成果、達成度

中間目標（平成27年度）に対する成果の全体像を表2に示す。

成果、及び達成度の詳細については以下の項で述べる。

表2 中間目標に対する成果

実施項目	中間目標 (H27年度)	成果	自己 評価
①-1 汎用材の利用拡大	汎用材 1,2,3,4種、ないし	・SUH660, 銅合金の例示基準化 ・20MPa以下のNi当量規制除外 (クロム鋼を含む多鋼種の使用が可)	◎
①-2 新たなニーズに基づいた汎用鋼種拡大	5種の研究、評価、 使用条件の明確化	・汎用SUS材の使用可能域拡大研究 ・低合金鋼の超高圧利用方策提言 ・低合金鋼ガイドライン作成研究	○
②-1 超高圧、広温度範囲での利用拡大	ステンレス材 1,2種、ないし3種、	・SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大 ・XM-19材の耐水素特性立証 ・データベース構築、産業界への提供	◎
②-2 新たなニーズに基づいた超高圧、広温度範囲の鋼種拡大	もしくはその他材 料の研究、評価、 使用条件の明確化	・XM-19材の溶接研究 ・海外規格材の例示基準への取込み 検討 (SUH660 温度拡張, XM-19)	○



## (1) 汎用材の水素環境下での利用に関する研究開発

### ①材料試験準備等 (JPEC)

研究開発の推進に当たっては、研究開発成果の確実な実用化を図るために、関連する業界のニーズ調査を実施した

ニーズ調査の目的、結果とその実現について、**図 3** にまとめた。

このニーズ調査に基づいて、対象となる鋼種研究開発の優先順位を決定し、取り組みを行った。

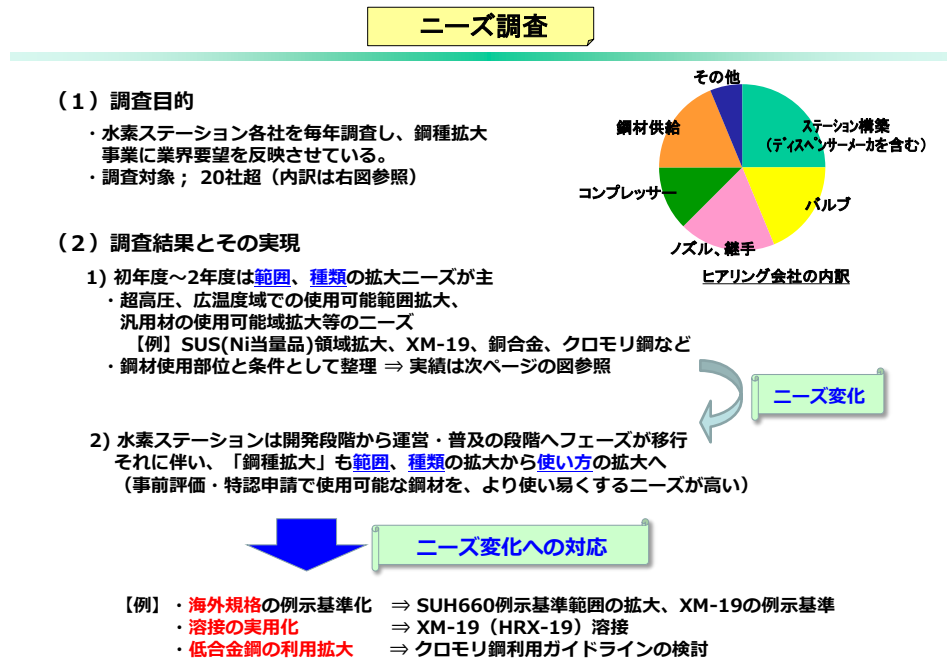


図 3 ニーズ調査の内容

### ②高圧水素構造材料データベースの構築と耐水素脆性の探索 (九大)

#### a.高圧水素構造材料データベースの構築

データベース検討会(下記 d.参照)で検討後、鉄鋼メーカーの協力により高強度オーステナイト系ステンレス鋼 XM19(HRX19)およびクロムモリブデン鋼 SCM435 を調達した。それらの標準材に加えて、ロットや化学成分、熱処理条件等の異なる複数の素材を準備し、SSRT 特性、疲労寿命特性、疲労き裂進展特性および水素拡散特性のデータを取得した。**図 4**と**図 5**に、各材の試験結果の例を示す。

XM19(HRX19)については、長寿命域のデータを除く取得済みデータをデータベース化し、供給を開始した。SCM435 についても、データベース化を実施し、供給準備を完了した。また、疲労限度付近の疲労寿命データを今後さらに充実させるために、140MPa 水素ガス中での疲労試験を 20Hz で実施可能な共振型疲労試験機を平成 26 年度末に導入し、データ取得を開始した(**図 13** 参照)。

九州大学では、これまでに、SUS304、SUS316、SUS316L、SUS316(hi-Ni)、SUH660、XM19(HRX19)、6061-T6、SCM435 等の材料の各種強度特性ならびに水素拡散特性について「水素構造材料データベース」を構築し、適宜更新しながら国内の機関および企業に提供を続けている。平成 24 年度にデータ提供を開始して以降、平成 27 年 6 月末時点で提供総数は 1,087 件に達している。特に、平成 26 年度以降は、水素ステーション建設の本格化に伴ってインフラ企業への提供が急増しており、同データベースは国内の規制見直し・使用材料拡大作業や水素ステーション設置のための特認取得の基盤として確固たる地位を築いている。

また、平成 26 年度に IPHE (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the



Economy)から日本に提案されたラウンドロビン試験に対し、九州大学から提出したコメント(平成 27 年 6 月提出)の作成にあたって、同データベースから得られた知見やそれに付随する基礎研究の成果が大いに役立っている。さらに、平成 26 年度から、構造材料の水素適合性と強度設計に関する北米規格 CHMC1 (Canadian Standards Association, CSA)の制定を目的とした委員会に、九州大学から 2 名の研究者が委員として参加し、本事業で得られた知見を活かして規格の内容の検討およびドラフト作成に携わっている。

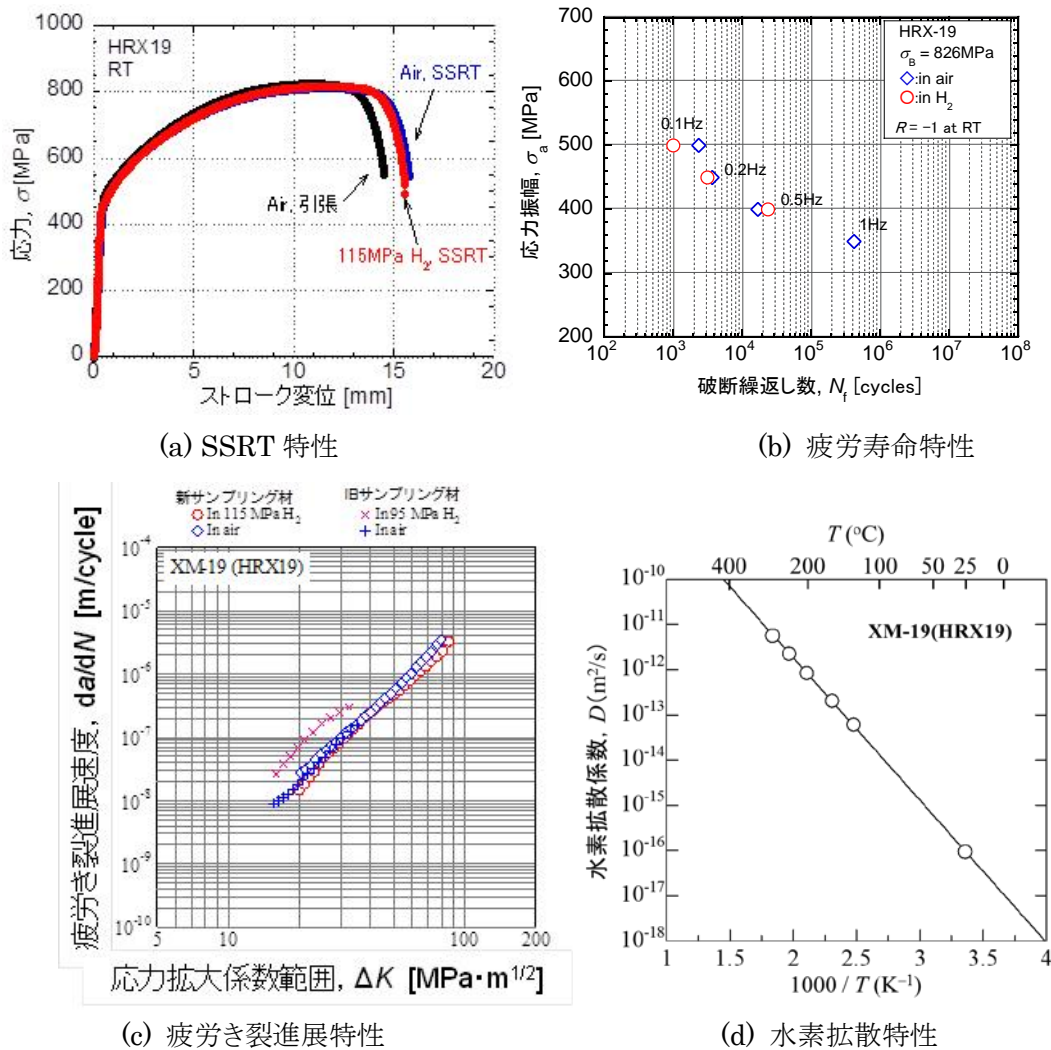
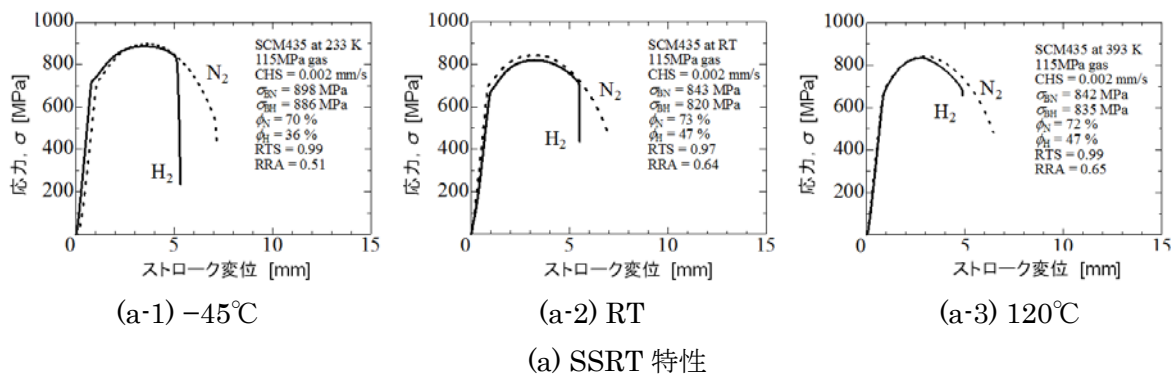
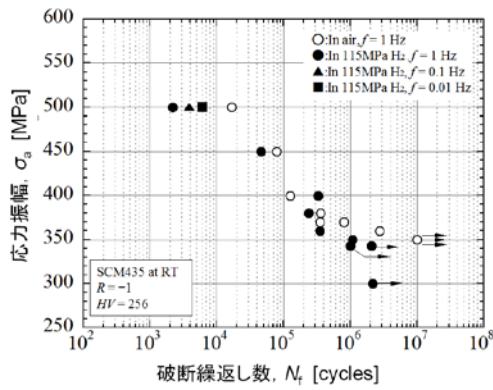
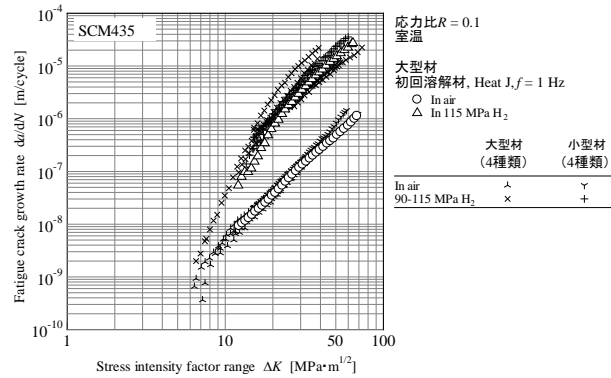


図 4 XM19(HRX19)の諸特性

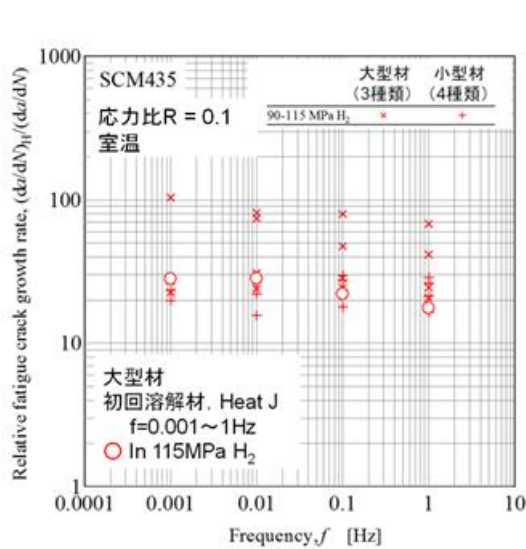




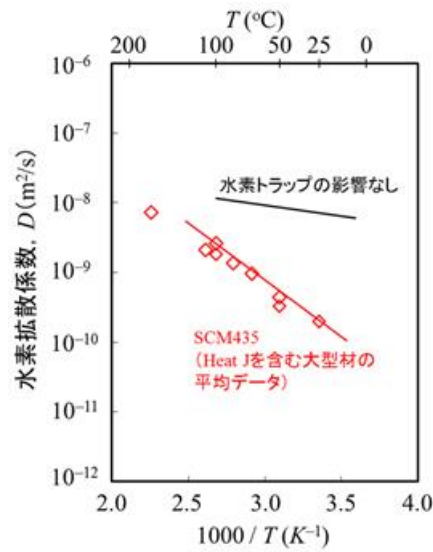
(b) 疲労寿命特性



(c) 疲労き裂進展特性



(d) 相対き裂進展速度と試験周波数の関係



(e) 水素拡散特性

図 5 SCM435 の諸特性

## b.水素脆化メカニズムの解明と有限寿命設計法の検討

使用可能鋼種をクロムモリブデン鋼に拡大することを目的として、公式による設計に関する新しい材料選定基準と設計基準を提案した。水素ガス環境中において、安全係数の基準となる引張強さが確保され、かつ無限寿命設計の根拠となる疲労限度が低下しない材料を公式による設計で使用可能とすることを提案した。その妥当性を明らかにするために、115MPa 水素ガス環境中において焼入れ・焼戻し時の試料寸法や熱処理条件の異なる種々の SCM435 の SSRT 試験を実施し、高圧ガス環境中における微小き裂の発生・進展メカニズムを調査した。その結果、SCM435 においては、強度レベルや微視組織を適切に調整すれば、 $-45^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  の温度域において、破壊メカニズム(=微小き裂の発生・進展)の観点からも、引張強さが確保されることを示した。

これに、高圧水素ガス中で実施した一連の疲労寿命試験、疲労き裂進展試験および破壊靱性試験から得られた知見を組み合わせることにより、SCM435 の使用指針として、『厚さ  $t \leq 30\text{mm}$ 、引張強さ  $\sigma_B \leq 900\text{MPa}$  を満たすものは、温度が  $-45^{\circ}\text{C}$  から  $120^{\circ}\text{C}$ 、圧力が  $115\text{MPa}$  以下の水素ガス中で使用できる』ことを提案した。これに付随して、SCM435 について以下の設計指針も提案した。

- ・ 水素ガス中真ひずみ  $\varepsilon_H \geq 0.1$  (または公称ひずみ  $e_H \geq 0.1$ ) を満たすこと。この条件を満たすと、水素ガス中で SCM435 の引張強さは確保できる。

- ・疲労寿命解析には、水素ガス中で疲労限度が低下しない  $S-N$  設計線図(強度で 1/2、寿命で 1/20)を使用する。
- ・疲労き裂進展解析には、上限の  $da/dN-\Delta K$  線図(大気中の 30 倍)と破壊靱性値  $K_{I,H} (= K_{I,HIIIGC}) = 49 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (き裂進展寿命算出の上限の  $\Delta K$ )を使用する。
- ・LBB評価には、 $\sigma_B = 900 \text{ MPa}$  での大気中の破壊靱性値  $K_{I,C} = 229 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ を使用する。

また、水素ステーションの蓄圧器のように高応力比で使用される機器に従来の解析による設計を適用した場合、過度に安全側の評価になることを明らかにし、使用履歴の管理に基づく実際の荷重条件を設計に反映させることの重要性を指摘した。これに関連して、有限寿命設計(解析による設計)による疲労強度設計事例を示し、その有効性を明らかにした。

### c.耐水素性の探索

SUS304 相当の価格で製造可能であり、Ni 当量が 20 mass%以下の新規開発材料である 15Mn 基オーステナイト合金について、疲労き裂進展特性に及ぼす水素の影響を検討した。0.7MPa 水素ガス中で予備試験を行い、本合金が新たな耐水素鋼として有望であることを明らかにした。

### d.データベース検討会の開催

九州大学で実施する各種試験に用いる素材のサンプリング方法、得られた実験データや研究成果の妥当性について、様々な分野の専門家から意見を集約して事業に生かすことを目的として、インフラメーカーから 9 名、鉄鋼メーカーから 8 名、自動車メーカーから 8 名、および大学から 3 名を委員として迎え、「九州大学データベース検討会」を設立した。オブザーバ約 30 名を含めた参加総数約 50 名の同検討会を年に 1 回開催した。また、検討会の運営・準備のため、幹事(10 名)から構成される幹事会を 4 回/年程度開催した。検討会および幹事会においては、KHK 材料基準分科会およびステアリング委員会に報告・提案する内容以外に、独自の取り組みとして、ステンレス鋼のオーステナイト安定度を判定する際に窒素やバナジウムといった微量元素の影響を考慮できる Ni 当量式についても検討した。

## ③高圧水素中における破壊靱性試験法の確立とデータベース化(産総研)

クロムモリブデン鋼SCM435 の室温・大気中と室温・水素ガス中の弾塑性破壊靱性試験を、除荷コンプライアンス法、ステップワイズ法およびライジング法を用いて実施した。引張強さが 827MPaから 1127MPa までのSCM435 をCT試験片に加工し、試験に供した。水素ガス圧力は 10MPa, 45MPa, 115MPa、変位速度は  $2\times 10^{-5}\text{mm/s}$ ,  $2\times 10^{-4}\text{mm/s}$ ,  $2\times 10^{-3}\text{mm/s}$ とした。代表的な測定結果として、室温 115MPa水素中、変位速度を  $2\times 10^{-3}\text{mm/s}$ とした場合の、除荷コンプライアンス法、ステップワイズ法による 95%回帰曲線から求めた弾塑性破壊靱性値と引張強さの関係を、図 6 に示す。

測定手法が異なっても、得られた弾塑性破壊靱性値は良く一致し、また引張強さが増加するに従い弾塑性破壊靱性値は減少する傾向を示していることが分かる。このように広範囲な試験条件のもとで得られた弾塑性破壊靱性試験結果を、九州大学で測定した室温・大気中と室温・115MPa 水素ガス中の疲労き裂進展試験結果と合わせることで、弾塑性き裂進展メカニズムを明らかにした。これにより、水素機器の LBB 評価、使用回数制限の理論的根拠を明確にするとともに、弾塑性破壊靱性のデータベース化の準備を完了した。

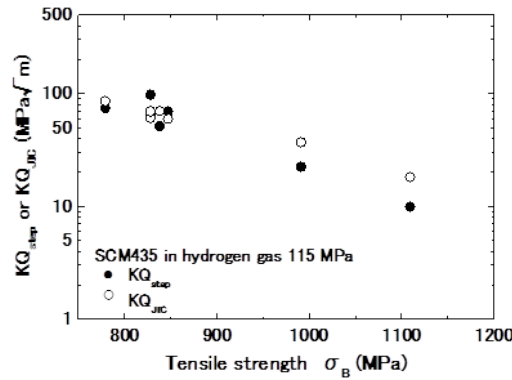


図 6 弾塑性破壊靱性値と引張強さの関係

#### ④ 高圧水素曝露構造材料データベースの構築 (物材機構)

曝露チャージ材の疲労特性を明らかにすることを主な目的として、これまでに次の成果を得た。

##### 1) SCM435 切欠き材の疲労特性

切欠き材の疲労特性が疲労き裂進展特性とよく似た傾向となることを示し、切欠き材の疲労特性がき裂進展支配であることを明らかにした。

##### 2) SUS316L および SUS304 の疲労特性 (図 7)

両材について疲労寿命特性と疲労き裂進展特性を明らかにした。SUS316L では水素によるき裂進展速度の加速が 2 倍程度であり、SUS304 に比べて小さいことを明らかにした。

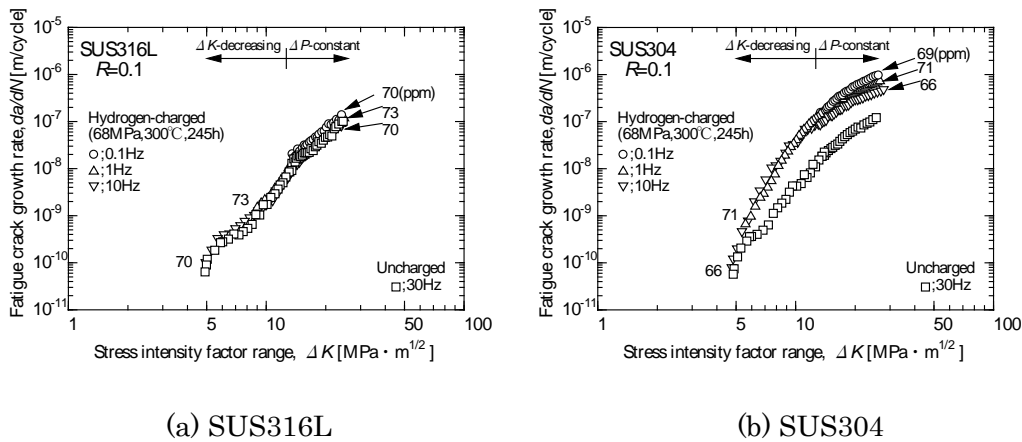


図 7 水素チャージ材の疲労き裂進展特性

#### ⑤ 評価試験に関する検討、及び試験結果の評価 (KHK、九大、JPEC)

高圧ガス保安協会 (KHK)、九大、JPEC は、協力して水素環境に対する耐性に応じた汎用材使用の可能性を明らかにするために、材料試験方法や評価指標などを検討した。併せてプレクール装置や圧縮機等の設計を考慮した、超高圧、広温度範囲の評価試験方法を検討した。また、海外での金属材料の使用状況や材料評価方法等に関する調査ならびに、他の NEDO 事業 (高圧水素に用いる鉄鋼材料の鋼種拡大に関する研究開発、自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発) 等との連携も行い事業を推進した。

KHK は、「ステアリング委員会」及び「材料基準分科会」を設置し、これら評価試験結果に基づく検討内容に関する審議を行った。開催は各々 3 回/年度の頻度で実施した。また JPEC は、「連携

会議」を開催し3者での課題検討を行うと共に、他の NEDO 事業、インフラ関係者との連携も図った。連携会議の開催は3~4回/年度の頻度で実施した。

### ⑥技術基準の整備に資する資料の検討 (JPEC)

事業開始年(平成25年度)、2年度(平成26年度)のニーズ調査結果、対象鋼種の「範囲の拡大」、「種類の拡大」が強く要望されていることが明確となり、**図8**に示すように SUS316 系ステンレス(高Ni)、銅系合金、SUH660 などを実用化した。

#### a.汎用材の利用拡大

汎用材の利用拡大目標に対する達成状況は次のとおりである。

- ・SUH660, 銅合金(C6061,C7071)の例示基準化で、3種の実用化を達成した。
- ・20MPa以下のNi当量規制除外で、クロモリ鋼を含む多数鋼種の実用化を達成した。  
(例示基準化達成数では、現時点で既に中間目標を上回り、最終目標の8種を達成している。)
- ・また、汎用 SUS 材使用可能域拡大の要望があり、実績・文献調査の結果、SUS316L については 20MPa 以上の拡大可能性があることが判明したため、材料特性を試験研究中である。

#### b.超高压、広温度範囲での利用拡大

超高压、広温度範囲の利用拡大目標に対する達成状況は次のとおりである。

- ・SUS316(Ni当量材)【計3種】で実用化を達成した。  
耐水素特性データ取得範囲は、将来 87.5MPa 充填が実現することを想定し、**図9**に示すようにインフラ側で必要となる 100MPa 超の圧力範囲での測定を行っている。
- ・XM-19 材の耐水素特性を立証し、実用化を達成した。  
(以上により、例示基準化達成数では、中間目標の3種を達成している。)
- ・さらにデータベース構築により、広く産業界へのデータ提供を行っている。  
データベース構築の詳細については前述のとおりである。

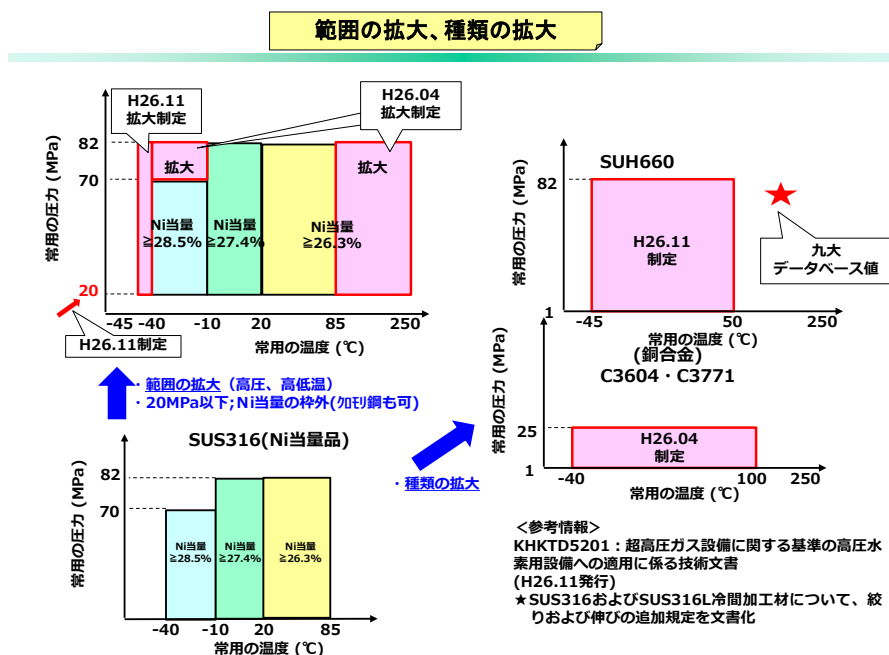


図8 鋼種拡大(範囲拡大、種類拡大)の成果



## SUS316(Ni当量品)の範囲拡大

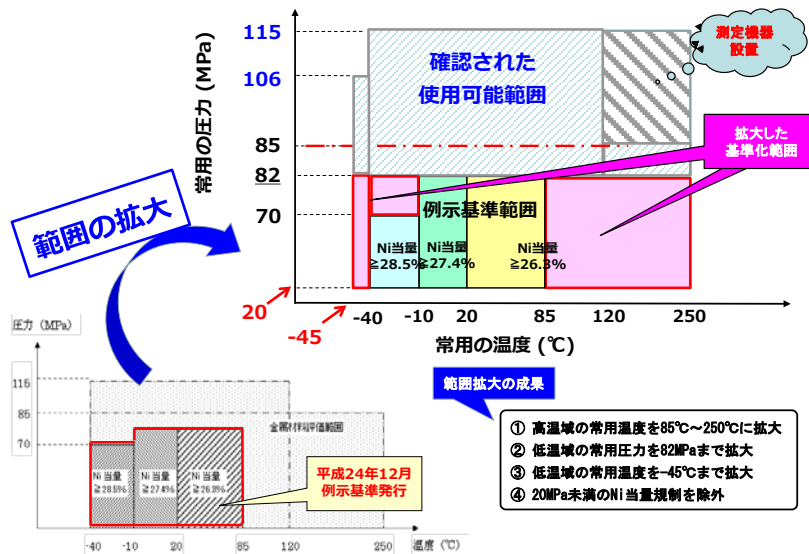


図9 SUS316系(Ni当量品)のデータ取得範囲

## (2)超高压、広温度範囲の材料設計のためのデータベース構築

### ①材料試験準備等 (JPEC)

(1) ①にて前述。

### ②プレクール設備を想定した低温評価 (九大)

高い耐水素性を有する高強度材料として今後の使用拡大が予想される SUH660 および SUS316(Ni>12%)冷間圧延材について、-45°C (106 MPa)～120°C (115MPa)の水素ガス中で SSRT 試験を実施し、いずれにおいても強度・延性の低下が軽微であることを確認した。図10および図11に、試験結果の例を示す。これにより、両材料の例示基準化(使用可能温度範囲の拡大)に貢献した。

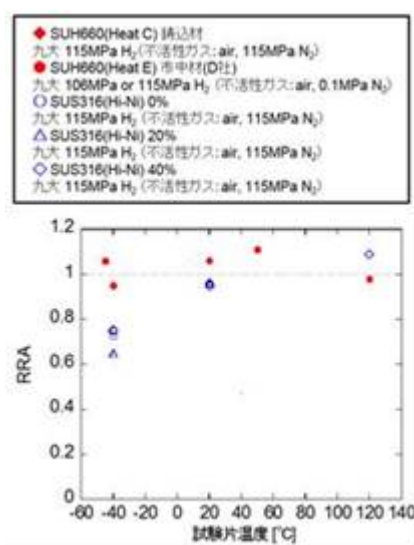


図10 SUH660とSUS316(hi-Ni)の試験温度と相対絞り(RRA)の関係

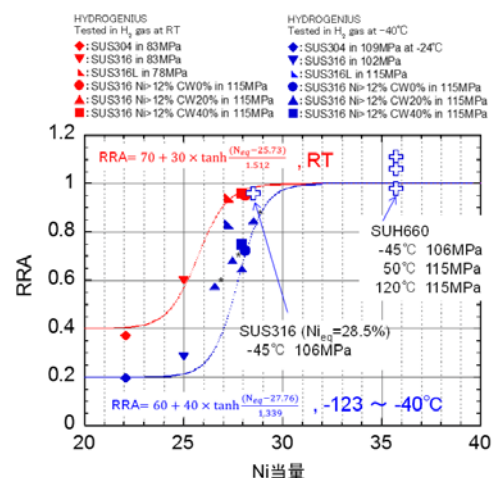


図11 相対絞り(RRA)とNi当量の関係  
(Ni当量(%)) = 12.6C + 0.35Si + 1.05Mn + Ni + 0.65Cr + 0.98Mo

### ③水素曝露試験を含む圧縮機の吐出を想定した高温評価（九大）

平成 26 年度末に、最高温度 300℃、最高圧力 140MPa で試験可能な、高温対応水素ガス中材料試験機 2 台（図 12 および図 13）を導入し、データ取得に着手した。



図 12 140MPa 高圧水素ガス雰囲気下材料試験機(試験ガス圧力:140 MPa、試験温度:RT ~ 300℃、負荷容量:±100kN)



図 13 140MPa 共振疲労試験機(水素ガス圧力:140MPa、試験温度:-50 ~ 300℃、試験周波数:最大 30 Hz)

### ④評価試験に関する検討、及び試験結果の評価（KHK、九大、JPEC）

(1) ⑤ にて前述。

### ⑤技術基準の整備に資する資料の検討（JPEC）

(1) ⑥ にて前述。

## 3.2 成果の意義

成果の意義を整理するにあたり、図 14 に成果のまとめを示す。

1. 例示基準化(達成：4鋼材)

	鋼材等	使用・検討条件等	検討状況	達成状況	
範囲 拡大	SUS316 (Ni 当量品)	-45℃~250℃ (温度拡大)	(済) 【3種類】	例示基準	
	SUH660	-40℃~50℃	(済)	例示基準	
		120℃ (温度拡大)	材料試験済 海外規格引用手続中	-	
		XM19 (HRX19)	-45℃~250℃	材料試験実施中	-
種類 拡大	銅合金系	-40℃~100℃、25MPa以下	(済) 【2種類】	例示基準	
	低合金鋼	SCM435	70MPa級蓄圧器	材料試験実施中	-
		SNM439		材料試験実施中	-
	汎用鋼 (SUS、低合金鋼等含む)	20MPa以下	(済) 【多数種類】	例示基準	
使い 方 拡大	許容応力値の海外規格引用	SUH660の350℃までのASME規格値のJISへの引用	HPI Sへの引用申請中	-	
	溶接	XM19(HRX19)を事例として溶接材の水素適合性を検証	材料試験実施中	-	
	低合金鋼の利用拡大	70MPa級蓄圧器	ガイドライン検討中	-	

2. SCM435⇒使用指針と設計指針の提案  
3. データベースの拡充、国内産業界への提供

図14 成果のまとめ

(1) 汎用材の利用拡大

汎用材の例示基準化を達成したことで、鋼材入手が容易になったこと、及び詳細基準事前評価申請等の諸手続きが簡素化されたことにより、水素ステーション建設の効率化、コスト低減につながっている。

- ・SUH660は、水素充填ノズル、カプラー用として使用され、ステーション毎に事前評価申請の必要がなくなった。
- ・銅合金(C6061,C7071)は、水素ステーションに水素を受け入れる低圧系バルブ類で、高価なSUS316(Ni 当量品)の代替材料として使用が可能となった。
- ・20MPa以下のNi 当量規制除外で、クロモリ鋼を含む多数鋼種の使用が可能となった。

【例示基準化達成数では、現時点で既に中間目標を上回り、最終目標の8種も達成済み。】

(2) 超高压、広温度範囲での利用拡大

SUS316(Ni 当量品)の超高压、広温度範囲での例示基準化による利用拡大 (ステンレス鋼の利用拡大) により、70MPa級水素ステーションの超高压域での水素ステーション建設の効率化、コスト低減につながっている。

- ・SUS316(高Ni)材【計3種】で例示基準化範囲拡大で、事前評価申請の必要性が減少した。近い将来、87.5MPa 充填が実現した際にも対応可能なデータ取得も実施済みである。
- ・XM-19材の耐水素特性を立証し、実用化を達成した。XM-19材の実用化で液体水素ステーションへの活用の道筋も描けるようになった。但し、海外規格材であるため例示基準化未了で、事前評価申請の対象となる。

【以上により、例示基準化達成数では、中間目標の3種を達成している。】

- ・さらにデータベース構築により、広く産業界へのデータ提供を行っている。

データベース提供に関しては、広く産業界へのデータ提供を行なうことで、詳細基準事前評価、及び特定案件事前評価 (大臣特認) 申請時の必須データとなる等、水素ステーション普及に貢献しつつ



あり、今後、一層の貢献度拡大が期待される。

### 3.3 成果の最終目標の達成可能性

新たなニーズ（使い方の拡大）に対応する研究項目を推進、実用化することにより、最終目標を達成できる見込みである。（図 15 参照）

#### (1) 汎用材の利用拡大

例示基準化達成数では、既に最終目標の 8 種を達成している状況であり、更に汎用ステンレス鋼（SUS316L）の使用可能域拡大、低合金鋼の超高圧領域での使用研究を推進中である。

低合金鋼の超高圧領域での利用については、この材料の水素脆化メカニズムに基づいた使用・設計指針の提言も行っている。

#### (2) 超高圧、広温度範囲での利用拡大

例示基準化達成数では、中間目標の 3 種を達成している状況であり、更に XM-19 材の溶接実用化、海外規格材の例示基準への取込みを検討し、最終目標を達成できる見込みである。

これらの詳細については、「4.3 事業化までのシナリオ」で述べる。

#### ◆ 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (平成29年度末)	達成見通し
①-1 汎用材の利用 拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SUH660, 銅合金の例示基準化</li> <li>・20MPa以下のNi当量規制除外 (加Fe鋼を含む多鋼種の使用が可)</li> </ul>	汎用材 5, 6, 7種、ないし8種の研究、評価、 使用条件の明確化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SUH660, 銅合金(C3771, C3604)で3種の実用化達成。</li> <li>・20MPa以下のNi当量規制 除外で、加Fe鋼を含む多鋼種 の実用化を達成。</li> <li>・最終目標の8種の実用化を既に 達成し、更なる低合金鋼の実 用化を図る。</li> </ul>
①-2 新たなニーズに 基づいた汎用 鋼種の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汎用SUS材の使用可能域拡大研究</li> <li>・低合金鋼の超高圧利用方策提言</li> <li>・低合金鋼が「パイプ」作成研究</li> </ul>		
②-1 超高圧、広温 度範囲での 利用拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SUS316(高Ni)材の使用可能域 拡大 (計3種)</li> <li>・XM-19材の耐水素特性立証</li> <li>・「ターボ」構築、産業界への提供</li> </ul>	ステンレス材 3, 4種、ないし5種、 もしくはその他材料の 研究、評価、使用 条件の明確化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SUS316(高Ni)材の使用可能 域拡大で、3種の高Ni材の実 用化を達成。</li> <li>・XM-19材で、4種目の実用化を 達成。</li> <li>・更に、溶接の実用化、海外規 格材の実用化達成で、最終目 標を達成見込み。</li> <li>・成果を「ターボ」ス化し、広く産 業界へ提供することで、水素ステ ーションの普及へ貢献しつつあり、 今後も一層拡大見込み。</li> </ul>
②-2 新たなニーズに 基づいた超高 圧、広温度範囲 の鋼種拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>・XM-19材(HRX19)の溶接研究</li> <li>・海外規格材の例示基準への取込み 検討 (SUH660, XM-19)</li> </ul>		

図 15 成果の最終目標の達成可能性

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4.1 まとめ

- ・業界ニーズ調査に基づいて、対象となる鋼種研究開発の優先順位を決定し、取り組みを行って来た。
- ・事業開始年（平成 25 年度）、2 年度（平成 26 年度）のニーズ調査では、対象鋼種の「範囲の拡大」、「種類の拡大」が強く要望され、SUS316 系ステンレス(高 Ni)、銅系合金、SUH660 などを実用化した。

その結果、事業中間目標を達成し、最終目標の達成についても見通しをつけることができた。

- ・事業 3 年度（平成 27 年度）は、いわゆる 2015 年の商用水素ステーション設置開始に当たり、ステーション建設が本格化したことから、ニーズに変化が見られるようになった。

具体的には、新種の鋼材ニーズより、現在使っている鋼材について溶接を可能とすること、海外規格材の場合は例示基準化すること等、「使い方の拡大」が新たに要望されるようになった。

- ・今後、このようなニーズの変化への対応を考慮しつつ、事業を推進していく。

### 4.2 課題

ニーズの変化（使い方の拡大）へ対応した下記の研究開発を推進する。

- (1)海外規格材の例示基準への取込みを図る。
- (2) XM-19 材の溶接技術を実用化する。
- (3)低合金鋼の利用拡大を図る。

### 4.3 事業化までのシナリオ

<実用化に関して>

高圧ガス保安法は、平成 8 年の改正により原則性能規定化が行われているが、実際には参考基準であるはずの例示基準が仕様規定における技術基準と同様に扱われているのが現状である。このため例示基準化されていない事項（鋼種を含む）については、都度、事前評価による承認事項となっており、手続きに時間と労力を要している。（産業構造審議会保安分科会 第 8 回高圧ガス小委員会資料より）

業界へのニーズ調査でも、この実情は顕著に表れていて、耐水素特性が明確になった鋼種については、海外規格材であっても例示基準化を要望する声が非常に大きい。

一方、例示基準化に至るには、**図 16** に示す次の 3 要件を満足する必要がある。

- 1) 耐水素特性
- 2) 許容引張応力
- 3) 材料標準化（JIS 化）

本事業のミッションである「耐水素特性」を取得しても、他の要件が満足されなければ、例示基準化には至らない。

そこで、以下の 2 ステップで「実用化・事業化」に取り組んでいる。

#### 第 1 ステップ（耐水素特性のみが満足されていない場合）

- ・耐水素特性を取得する。
- ・他の 2 要件が満足されていれば、例示基準化が可能となる。
- ・他の 2 要件が満足されていない場合は、事前評価、特認が必要であり、申請業務が依然として残るため、以下の第 2 ステップへ取り組む。

#### 第 2 ステップ（許容引張応力、材料標準化（JIS 化）が満足されていない場合）

- ・「許容引張応力」のみがない場合、HPIS（日本高圧力技術協会）へ登録し、JIS B 8265 改訂時に材料標準化（JIS 化）を行う。これにより例示基準化への道筋が描けることとなる。
- ・「許容引張応力」と標準化材料（JIS 化）の両方がない場合、JIS 化が前提となるが、関係者間の合意などで長期間を要する場合が多いため、継続検討中である。
- ・今年度（平成 27 年度）、経済産業省にて法令間の保安基準整合化や連携を図る高圧ガス保安法スマート化が推進されており、この方針に則り、海外規格鋼材の利用推進を図る予定である。活動の詳細については今後検討していく。

<事業化に関して>

事業 3 年度（平成 27 年度）は、いわゆる 2015 年の商用水素ステーション設置開始に当たり、ステーション建設が本格化したことから、ニーズに変化が見られるようになった。

具体的には、新種の鋼材ニーズより、現在使っている鋼材について溶接を可能とすること、海外規格材の場合は例示基準化すること等、「使い方の拡大」が新たに要望されるようになった。

これらのニーズの変化へ対応し、事業化に向けて下記の研究開発を推進している。

- (1)海外規格材の例示基準への取込みを図る。
- (2) XM-19 材の溶接技術を実用化する。
- (3)低合金鋼の利用拡大を図る。

① 海外規格材の例示基準への取込み

現時点で例示基準が要望されている海外規格材は、SUH660 温度拡張（上限温度 50℃を少なくとも 100℃付近まで拡張）、及び XM-19 の例示基準化である。（図 16 参照）

このうち、SUH660 温度拡張については、HPI（日本高圧力技術協会）の圧力容器規格分科会（7/1 開催）にて決定され、JIS B 8265 改訂を待っている状況にある。XM-19 の例示基準化については、KHK とも協議の上、今年度中の達成を目標に、活動の詳細を検討していく。

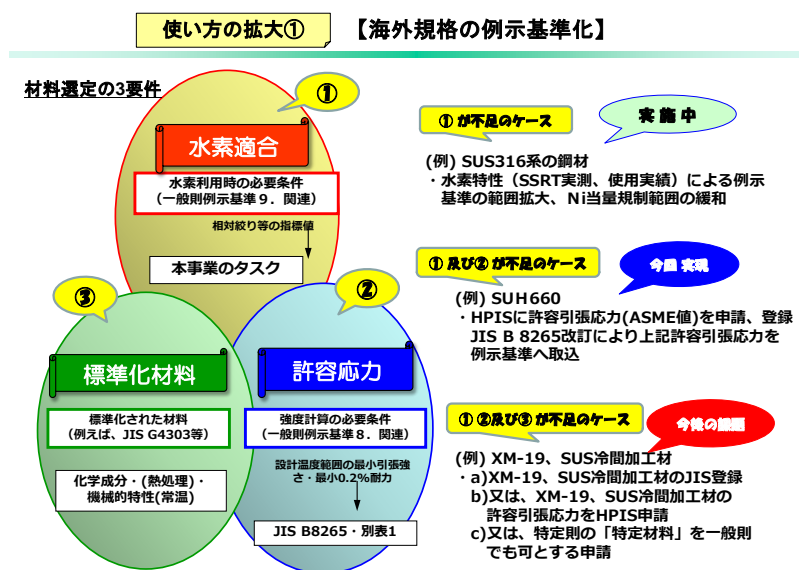


図 16 成果の最終目標の達成可能性

② XM-19 材の溶接研究実用化

70MPa 級水素ステーションでは、溶接は信頼性の課題からほとんど使用されておらず、機械継手が主として使用されている。

機械継手は1ステーションで数百個以上が使用されてコスト高となる上に、施工時に一ヶ所の漏洩で増し締めを行うと他の箇所が連鎖的に漏洩して全てを再施工せざるを得なくなる問題や、工場組立した配管部品の輸送時にゆるみが発生して漏洩の原因となるなど問題が顕在化している。

この対策として溶接施工が期待されており、溶接部の耐水素性能と強度を確認することで実用化を図る。継手の設置状況と課題について図17に示す。

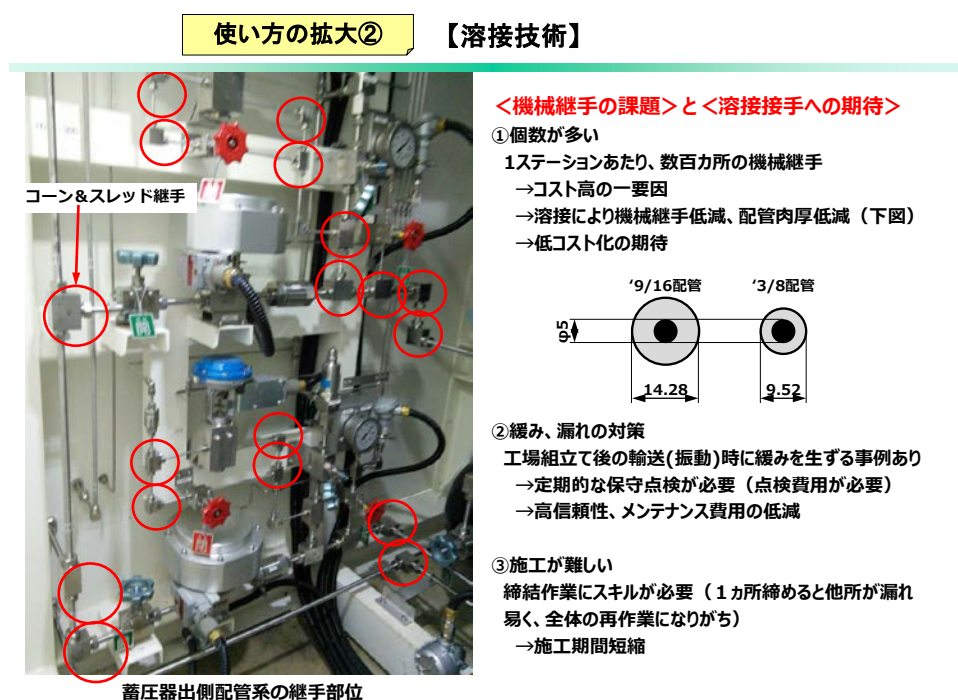


図17 継手の設置状況と課題

### ③ 低合金鋼の利用拡大

低合金鋼、特にクロモリ鋼の利用について、20MPa以下の領域では事前評価申請の手続き等が必要なく使用できるよう例示基準化され、水素ステーションの比較的低い圧力の部分で既に利用されるようになっている。

一方、高圧の領域では、耐水素特性の研究が進められてきているものの、SUS316系ステンレス鋼のNi当量のように一義的な指標で管理することは難しく、様々な条件の組み合わせることが必要な状況にある。

そこで利用拡大を図る方策として、超高圧領域での低合金鋼使用のガイドラインを作成し、利用者の便を図ることとした。低合金鋼利用の具現化を早期に達成するため、使い方としてはクロモリ鋼を蓄圧器として使用することを想定し、まずこの分野でのガイドライン作成を目指すこととしている。

低合金鋼使用ガイドラインの位置づけを図18に、構成について図19に示す。

## 低合金鋼ガイドラインの位置づけ



図 18 低合金鋼ガイドラインの位置づけ

### 低合金鋼ガイドラインの構成

大項目	節	小項目
1. 総則	1-1	適用範囲
2. 材料	2-1	材料
	2-2	適切な強度範囲の設定
	2-3	許容引張応力
	2-4	試験片採取
	2-5	衝撃試験
	2-6	破裂前漏洩条件(LBB評価)
3. 加工	3-1	冷間加工・熱間加工
4. 検査	4-1	材料の検査
5. 水素中の安全性検証	5-1	応力解析
	5-2	疲労解析
	5-3	疲労き裂進展解析
	5-4	初期想定欠陥の設定
	5-5	評価

**低合金鋼ガイドライン作成WG**

代表幹事 : ・JPEC  
 メンバー : ・日本製鋼所  
           ・九州大学  
           ・JRCM  
           ・日鉄住金鐵工  
           ・高圧昭和ポンペ  
           ・JFEスチール  
           ・JFEコンテナー

アドバイザー : ・KHK  
                   ・NEDO

・ガイドライン作成開始に際して、最新の研究開発情報を反映した内容とすべく、**国内外の文献調査**を実施済み。

図 19 低合金鋼ガイドラインの構成

上記の実用化・事業化の考え方に則り、本事業は当初の計画通り進捗している。

今までに耐水素特性を明確化、及び例示基準化された鋼種は水素ステーション建設に広く活用され水素事業推進へ大きく寄与している。今後の課題推進方策は次のとおりである。

- ・海外規格材の利用は、「高圧ガス保安法スマート化」の方向に沿って利用拡大を図る。
- ・溶接技術研究は、溶接部の耐水素性能確認と強度の確認に目途をつけることで実用化の見通しが立ちつつあり、水素ステーション建設、運営の両面で貢献が期待される。

- ・低合金鋼ガイドラインを整備し、更なる低合金鋼の利用研究、実用化を図ることで、一層のコストダウンが期待できる。

また、九州大学が担当するデータ取得、水素特性解析の推進は以下のとおりである。

- ・平成 25 年度には、主に SUS316(hi-Ni)および SUH660 についてデータ取得を実施し、例示基準化(使用可能温度範囲の拡大)に貢献した。平成 26 年度からは、高強度オーステナイト系ステンレス鋼 XM19 (HRX19)およびクロムモリブデン鋼 SCM435 のデータ取得および関連研究に本格的に取り組み、データベースの構築を完了した。
  - ・さらに、SCM435 の例示基準化を目指し、一連の基礎研究結果で明らかとなった同材料の水素脆化メカニズムにもとづいて、使用指針および設計指針の提案を行った。提案した使用指針・設計指針は、(株)豊田自動織機に対して認定された『企業特例実証制度』を通して、FC フォークリフト圧力容器(SCM435 製)の開発に活用された。これにより、タイプⅢの複合容器に比べて安価な全部金属製容器(タイプⅠ容器)が国内ではじめて実用化された。
  - ・平成 26 年度末には、既存の 4 台の高圧水素ガス試験機に加えて、既存試験機と比較して「より高温」および「より高速」で試験可能な 2 台の高圧試験機を導入した。これらの計 6 台の試験機を活用することにより、今後もデータ取得や関連研究をすすめ、鋼種拡大の取り組みへの貢献を加速していく。九州大学で構築した水素構造材料データベースは、既に日本国内の規制見直し・使用材料拡大作業や水素ステーション設置のための特認取得の基盤として確固たる地位を築いており、国際標準への日本の対応を検討する際にも欠くことのできないものとなっている。
  - ・今後の課題として、同データベースのサステナビリティの確保が挙げられる。将来の水素ステーションの普及拡大に向けて、高圧水素ガス機器の低コスト化や強度設計法の高度化、国際規格への対応等を円滑に進めていくためには、産業界のニーズに即した材料データの追加取得に加え、データベースの拡張・維持・提供を継続していくことが不可欠である。これに必要な財源を確保するために、現在は無償で提供しているデータベースの有料化も検討する必要がある。
- ◆本事業での研究開発項目の事業化については、水素供給インフラの普及に向け、水素ステーションの設置を全国展開する事が前提となる。そのため、今後の水素事業に関する国の施策や規制基準の見直し状況、また関連業界の動向について情報収集を行い、国の方針、業界団体としての意向に沿った形で、速やかな事業化が出来るように、準備を進めていく。

鋼種拡大の方向性について図 20 に、その工程について図 21 に示す。



## 鋼種拡大の方向性

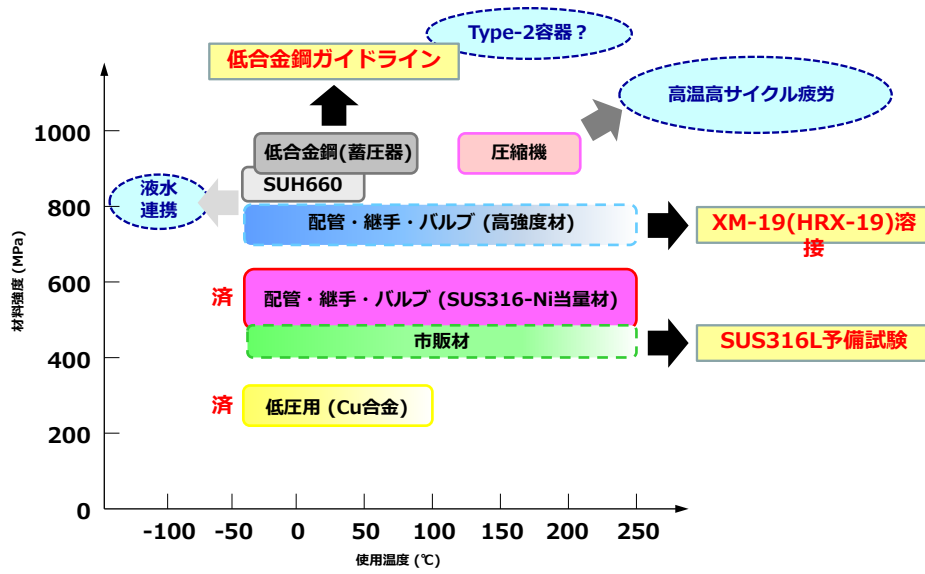


図 20 成果の最終目標の達成可能性

### ◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

年度	H 2 5 (実績)	H 2 6 (実績)	H 2 7	H 2 8	H 2 9
<b>範囲の拡大</b>					
① SUS316 (Ni当量品)	→		→	→	技術基準の整備に資する資料
② SUH660	→		→	→	
③ XM19 (HRX19)	→		→	→	
④ 追加予定材料	→		→	→	
<b>種類の拡大</b>					
① 銅合金系	→		→	→	技術基準の整備に資する資料
② 低合金鋼 ・ SCM435 ・ SNCM439	→		→	→	
③ 汎用鋼 (SUS、低合金鋼等含む)	→		→	→ (20~45MPa)	
④ 追加予定材料	→		→	→	
<b>使い方の拡大</b>					
① 許容応力値等の海外規格引用	→		→	→	技術基準の整備に資する資料
② 溶接	→		→	→	
③ 低合金鋼のガイドライン	→		→	→	

↶ 中間評価

図 21 成果の最終目標の達成可能性

以上

## 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

### ・石油エネルギー技術センター

(口頭発表 26年度：1件 27年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 11 月	化学工学会 中国地区化学工学懇話会 講演	水素ステーションを中心とした技術開発の現状	山村 俊行
2	平成 27 年 4 月	水素ステーション関連ならびに水素要素技術・設備開発と今後の展望セミナー 講演 主催；(株)技術情報センター	70MPa 水素ステーション関連技術の開発状況	山村 俊行

(論文発表 26年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 9 月	材料と環境, <u>63</u> ,(9),483(2014)	70MPa 水素ステーション関連技術の開発状況	山村 俊行

### ・高圧ガス保安協会

(口頭発表 26年度：1件)

No	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 11 月	高圧ガス保安協会 総合研究発表会	水素環境における金属材料劣化に関する最新情報について	竹花 立美

### ・九州大学

(口頭発表 25年度：26件 26年度：61件 27年度：4件)

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2013/9/13	日本機械学会材料力学部門 「高圧水素機器の設計合理化に関する研究分科会」第3回	水素ステーション蓄圧器用低合金鋼 SCM435 の高圧水素ガス中での疲労き裂進展評価と LBB 評価－安全係数 2.4 の解析による設計－	山辺純一郎、井藤賀久岳、吉川倫夫、松永久生、濱田繁、松岡三郎
2	2013/9/13	日本機械学会 高圧水素機器の設計合理化に関する研究分科会 (第3回)	低合金鋼 SCM435 と炭素鋼 SM490B の SSRT 試験結果と疲労試験結果	松永久生、吉川倫夫、井藤賀久岳、山辺純一郎、濱田繁、松岡三郎



No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
3	2013/9/13	日本機械学会 高圧水素機器の設計合理化に関する研究分科会 (第4回)	CHMC1 の検討	松岡三郎、松永久生、山辺純一郎、濱田繁、井藤賀久岳、吉川倫夫
4	2013/9/18	日本鉄鋼協会 第166回秋季講演大会	析出硬化型マルテンサイト系ステンレス鋼の強度特性に及ぼす水素の影響	末次直樹、松永久生
5	2013/9/19	日本鉄鋼協会 第166回秋季講演大会	高圧水素ガス中における高強度ステンレス鋼のSSRT特性と疲労き裂進展特性	井藤賀久岳、織田章宏、松永久生、松岡三郎、広谷龍一
6	2013/9/19	日本鉄鋼協会 第166回秋季講演大会	90MPa 水素ガス中における炭素鋼の疲労き裂進展特性に及ぼす試験周波数と水素ガス圧力の影響	吉川倫夫、松尾尚、松岡三郎
7	2013/9/19	日本鉄鋼協会 第166回秋季講演大会	高圧水素ガス中におけるSCM435 低合金鋼のLBB 評価	山辺純一郎、井藤賀久岳、松永久生、濱田繁、松岡三郎
8	2013/9/19	日本鉄鋼協会 第166回秋季講演大会	低合金鋼 SCM435 のSSRT 特性に及ぼす高圧水素ガスの影響	松永久生、吉川倫夫、山辺純一郎、濱田繁、松岡三郎
9	2013/9/28	日本機械学会 九州支部 鹿児島講演会	SUS304 における水素による疲労き裂進展加速に及ぼす試験周波数の影響	中島拓也、松永久生、吉川倫夫、津崎兼彰、松岡三郎
10	2013/10/12	日本機械学会 M&M2013 材料力学カンファレンス	球状黒鉛鋳鉄における水素助長疲労き裂進展に及ぼす繰返し速度の影響	K. Yamada, H. Matsunaga, K. Tsuzaki, S. Matsuoka
11	2013/10/12	日本機械学会 M&M2013 材料力学カンファレンス	高圧水素ガス中における高強度オーステナイト系ステンレス鋼のSSRT 特性	井藤賀久岳、松尾尚、松永久生、松岡三郎
12	2013/10/13	日本機械学会 M&M2013 材料力学カンファレンス	高圧水素ガス中における高強度オーステナイト系ステンレス鋼のSSRT 特性	井藤賀久岳、松尾尚、松永久生、松岡三郎

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
13	2014/1/20	日本機械学会 高圧水素機器の設計合理化に関する研究分科会 (第5回)	CHMC1 の検討(第2報)	井藤賀久岳、松永久生、山辺純一郎、濱田繁、吉川倫夫、松岡三郎
14	2014/3/4	日本機械学会九州学生会 第45回卒業研究発表研究会	オーステナイト系ステンレス鋼、低合金鋼および炭素鋼の疲労強度に及ぼす水素の影響	小川祐平、吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
15	2014/3/4	日本機械学会九州学生会 第45回卒業研究発表研究会	高強度鋼の引張強度特性に及ぼす水素と微小欠陥の影響	片山千春、津崎兼彰、松永久生、福島良博
16	2014/3/4	日本機械学会九州学生会 第45回卒業研究発表研究会	Fe-30Mn 系オーステナイト合金の引張特性に及ぼす水素の影響	金子貴裕、津崎兼彰、松永久生、山田健佑
17	2014/3/4	日本機械学会九州学生会 第45回卒業研究発表研究会	耐水素透過被膜による軸受鋼SUJ2の耐水素性の向上	高越大輝、津崎兼彰、松永久生、山辺純一郎
18	2014/3/4	日本機械学会九州学生会 第45回卒業研究発表研究会	Fe-15Mn 系オーステナイト合金の疲労き裂進展特性に及ぼす水素の影響	福田功貴、津崎兼彰、松永久生
19	2014/3/4	Fatigue 2014 Congress	High-cycle fatigue properties of carbon steel and work-hardened oxygen free copper in high pressure hydrogen	M. Kubota, K. Kawakami
20	2013/3/13	日本機械学会九州支部 第67期講演会	水素侵入した低合金鋼の破壊じん性に及ぼすNi量と硬さの影響	堀川晋之祐、久保田祐信
21	2013/3/14	日本機械学会九州支部 第67期講演会	フレットイング疲労特性に及ぼす水素ガス中不純物の影響	薦田亮介、久保田祐信、吉開巨都、Jader Furtado
22	2013/3/14	日本機械学会九州支部 第67期講演会	フレットイング疲労強度低下における凝着の寄与の検討	吉開巨都、薦田亮介、Jader Furtado、久保田祐信
23	2014/3/22	日本鉄鋼協会 第167回春季講演大会	水素ガス中における低合金鋼SCM435の破壊靱性の検討	井藤賀久岳、濱田繁、山辺純一郎、松岡三郎

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
24	2014/3/21	日本鉄鋼協会 第167回春季講演大会	球状黒鉛鋳鉄の疲労き裂進展特性に及ぼす内部水素と外部水素の影響	山田耕聖、松永久生、吉川倫夫、津崎兼彰、松岡三郎
25	2014/3/22	日本鉄鋼協会 第167回春季講演大会	SUS304 ステンレス鋼における水素助長疲労き裂進展に及ぼす試験周波数の影響	中島拓也、松永久生、吉川倫夫、津崎兼彰、松岡三郎
26	2014/3/22	日本鉄鋼協会 第167回春季講演大会	高圧水素ガス中における炭素鋼 SM490B の疲労き裂進展特性	吉川倫夫、松永久生、山辺純一郎、松岡三郎
27	2014/5	日本材料学会第63期通常総会・学術講演会	酸素あるいは水蒸気を添加した水素中フレットング疲労特性	薦田亮介、吉開巨都久保田祐信、Jader Furtado
28	2014/5	Society of Tribologists and Lubrication Engineers (STLE) 69th Annual Meeting	Basic study on fretting fatigue in hydrogen	Masanobu Kubota
29	2014/5	第21回燃料電池シンポジウム	高圧水素ガス環境下における低合金鋼SCM435および炭素鋼SM490Bの引張強度特性と疲労寿命特性	松永久生、吉川倫夫、井藤賀久岳、山辺純一郎、濱田繁、松岡三郎
30	2014/5	第21回燃料電池シンポジウム	低合金鋼の高圧水素ガス中での疲労き裂進展評価と破壊前漏洩評価	山辺純一郎、井藤賀久岳、松永久生、濱田繁、松岡三郎
31	2014/5	第21回燃料電池シンポジウム	高強度オーステナイト系ステンレス鋼のSSRT特性と疲労き裂進展特性に及ぼす水素の影響	井藤賀久岳、松永久生、山辺純一郎、濱田繁、松岡三郎、松尾尚
32	2014/6	The 20th European Conference on Fracture (ECF20)	Effect of Size and Depth of Small Defect on the Rolling Contact Fatigue Strength of Bearing Steel JIS-SUJ2	H. Matsunaga, H. Komata, J. Yamabe, Y. Fukushima, S. Matsuoka
33	2014/7	日本機械学会 M&M 2014 材料力学カンファレンス	低合金鋼の連続水素チャージ下の破壊靱性に及ぼす硬さ・負荷速度の影響	久保田祐信、近藤良之、堀川晋之祐

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
34	2014/7	日本機械学会 M&M 2014 材料力学カンファレンス	Fe-30Mn-(6-x)Si-xAlオーステナイト合金の引張特性に及ぼす水素の影響	金子貴裕、山田健祐、小山元道、津崎 兼彰
35	2014/7	日本機械学会 M&M 2014 材料力学カンファレンス	Fe-15Mn基オーステナイト合金の疲労き裂進展特性に及ぼす水素の影響	福田功貴、小山元道、津崎兼彰、
36	2014/7	ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference PVP2014	SSRT AND FATIGUE CRACK GROWTH PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH AUSTENITIC STAINLESS STEELS IN HIGH-PRESSURE HYDROGEN GAS	H. Itoga, T. Matsuo, A. Orita, H. Matsunaga, S. Matsuoka, R. Hirotsu
37	2014/7	ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference PVP2014	Fatigue-life and leak-before-break assessments of Cr-Mo steel pressure vessels with high-pressure gaseous hydrogen	J. Yamabe, H. Itoga, T. Awane, H. Matsunaga, S. Hamada, S. Matsuoka
38	2014/7	ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference PVP2014	TENSILE- AND FATIGUE-PROPERTIES OF LOW ALLOY STEEL JIS-SCM435 AND CARBON STEEL JIS-SM490B IN 115 MPA HYDROGEN GAS	H. Matsunaga, M. Yoshikawa, H. Itoga, J. Yamabe, S. Hamada, S. Matsuoka
39	2014/8	International Union of Materials Research Societies - The IUMRS International conference in Asia 2014	A Unified Quantitative Evaluation of Small Shear-mode Fatigue Crack Threshold	S. Okazaki, H. Matsunaga, M. Endo
40	2014/9	日本機械学会 年次大会	ASTM試験法による水素ガス中破壊じん性測定における問題点	井藤賀久岳、濱田繁、松岡三郎
41	2014/9	技術情報協会	高压水素容器、周辺部材に用いられる金属材料の強度・信頼性評価	山辺純一郎

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
42	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	高圧水素ガス中における炭素鋼および低合金鋼の疲労寿命特性	小川祐平、吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
43	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	耐水素透過特性に優れた高圧水素ガス用表面皮膜に関する研究	山辺純一郎、栗根徹、松岡三郎
44	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	SUH660製高温水素機器の設計に必要なSSRT特性と破壊靱性	井藤賀久岳、山辺純一郎、吉川倫夫、栗根徹、松岡三郎
45	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	FCC→HCP相変態を起こす高Mn鋼の疲労き裂進展に及ぼす水素の影響	福田功貴、小山元道、津崎兼彰、
46	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	高圧水素ガス中における炭素鋼SM490Bの疲労き裂進展メカニズム	吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
47	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	115MPa水素ガス環境下における低合金鋼SCM435および炭素鋼SM490Bの引張強度特性と疲労寿命特性	松永久生、吉川倫夫、井藤賀久岳、山辺純一郎、濱田繁、松岡三郎
48	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	高圧水素ガス中における低合金鋼SCM435の疲労き裂進展評価と破壊前漏洩評価	山辺純一郎、井藤賀久岳、栗根徹、松永久生、濱田繁、松岡三郎
49	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	水素ガス中における炭素鋼SM490Bの破壊靱性メカニズム	井藤賀久岳、山辺純一郎、松岡三郎
50	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	高圧水素V3容器の評価法	濱田繁、井藤賀久岳、松岡三郎
51	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会 (ポスター)	2元系高Mn鋼の水素侵入環境下での引張変形挙動	岡崎正太、小山元道、津崎兼彰
52	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会 (ポスター)	TRIP/TWIP型高Mnオーステナイト鋼の疲労き裂進展挙動	山田健祐、小山元道、津崎兼彰
53	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会 (ポスター)	Fe-32Ni-0.2Cオーステナイト／マルテンサイト二相鋼の水素助長損傷の観察	永島達也、小山元道、津崎兼彰

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
54	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	SUS304冷間圧延材における水素による疲労き裂進展加速の周波数依存性	中島拓也、松永久生、吉川倫夫、松岡三郎
55	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	0.7 MPa水素ガス中におけるSNCM439の疲労き裂進展特性と破壊靱性	箱田充彦、井藤賀久岳、松岡三郎、松永久生
56	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	低合金鋼SCM435の115 MPa水素ガス中SSRT試験における表面き裂の発生と進展	近藤亮太、松永久生、吉川倫夫、松岡三郎
57	2014/9	日本鉄鋼協会 第168回 秋季講演大会	高圧水素ガスサイクル試験におけるクロムモリブデン鋼製蓄圧器の疲労破面解析	栗根徹、山辺純一郎、井藤賀久岳、松岡三郎
58	2014/10	National Physical Laboratory	Fatigue fracture behavior of Cr-Mo steel pressure vessels under pressure cycling with gaseous hydrogen	山辺純一郎、井藤賀久岳、栗根徹、松永久生、松岡三郎
59	2014/11	第32回疲労シンポジウム	高圧水素ガス中における炭素鋼SM490Bの疲労き裂進展特性に及ぼす試験周波数の影響	吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
60	2014/11	第32回疲労シンポジウム	高圧水素ガス中における高強度オーステナイト系ステンレス鋼の疲労き裂進展特性	井藤賀久岳、松永久生、松岡三郎
61	2014/11	第32回疲労シンポジウム	高圧水素ガスサイクル下における低合金鋼製圧力容器の疲労き裂進展挙動	山辺純一郎、井藤賀久岳、栗根徹、松永久生、濱田繁、松岡三郎
62	2014/11	第32回疲労シンポジウム	115MPa水素ガス環境下における低合金鋼と炭素鋼のS-N特性	松永久生、吉川倫夫、小川祐平、井藤賀久岳、山辺純一郎、濱田繁、松岡三郎
63	2014/11	第32回疲労シンポジウム	二次イオン質量分析法による水素機器用金属材料中の水素の高感度検出法とその応用	栗根徹、松尾尚、松岡三郎

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
64	2014/11	第32回疲労シンポジウム	使用条件を考慮した高圧水素用V3容器の疲労強度評価法	濱田繁、井藤賀久岳、山辺純一郎、松永久生、松岡三郎
65	2014/12	福岡水素エネルギー戦略会議 2014/度 高圧水素貯蔵・輸送研究分科会／高圧水素下における機械要素研究分科会	140MPa300℃水素中・高サイクル疲労試験機の導入と付随する水素機器開発について	久保田祐信
66	2014/12	福岡水素エネルギー戦略会議 2014/度 高圧水素貯蔵・輸送研究分科会／高圧水素下における機械要素研究分科会	高圧水素ガス環境で使用される部材に対する強度設計法について	山辺純一郎
67	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015	Qualification of Cr-Mo steel based on the CHMC1 standard	J. Yamabe, H. Matsunaga, Y. Furuya S. Hamada, H. Itoga, M. Yoshikawa, E. Takeuchi, S. Matsuoka
68	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015(ポスター)	Fatigue Crack Growth Properties and Fracture Toughness of SNCM439 in Hydrogen Gas	箱田充彦
69	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015(ポスター)	Tensile Properties of Fe-30Mn-(6-x)Si-xAl TRIP/TWIP Alloys in Hydrogen Environment	山田健祐

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
70	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015 (ポスター)	Effect of hydrogen on fatigue crack growth of high Mn steel with FCC → HCP transformation	福田功貴
71	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015 (ポスター)	Initiation and Growth of Surface Cracks in SSRT test of Low-Alloy Steel JIS-SCM435 in 115 MPa Hydrogen Gas	R. Kondo, H. Matsunaga, M. Yoshikawa, S. Matsuoka
72	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015 (ポスター)	Study on Hydrogen Penetration and Diffusion in Bearing Steel	高越大輝、松永久生、山辺純一郎
73	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015 (ポスター)	Effect of Hydrogen on Fatigue Crack Growth Properties of Carbon Steels	高橋正樹、吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
74	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015 (ポスター)	Fatigue life characteristics of carbon steel JIS-SM490B in high-pressure hydrogen gas	小川祐平、吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
75	2015/2	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2015 (ポスター)	Effect of Test Frequency on Hydrogen-enhanced Fatigue Crack Growth in Austenitic Stainless Steel SUS304	中島拓也、吉川倫夫、松永久生、松岡三郎



No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
76	2015/3	第8回高圧水素研究分科会 水素	高圧水素ガス中の疲労き裂進展特性と水素拡散特性	山辺純一郎、井藤賀久岳、栗根徹、松永久生、濱田繁、松岡三郎
77	2015/3	第8回高圧水素研究分科会 水素	高圧水素ガス中のSSRT特性および疲労寿命特性	松永久生、吉川倫夫、山辺純一郎、井藤賀久岳、濱田繁、松岡三郎
78	2015/3	日本機械学会 九州学生会 第46回卒業研究 発表講演会	炭素鋼の115 MPa水素ガス中SSRT試験における表面き裂の発生と進展	日野公貴、松永久生、福島良博、津崎兼彰、松岡三郎
79	2015/3	日本機械学会 九州学生会 第46回卒業研究 発表講演会	オーステナイト系ステンレス鋼SUS316の高圧水素ガス中SSRT試験における表面き裂の発生・進展挙動	浅沼勇氣、福島良博、松永久生、津崎兼彰
80	2015/3	日本鉄鋼協会 水素フォーラム	高圧水素ガス環境中における鉄鋼材料の引張特性と疲労特性	松永久生、山辺純一郎、松岡三郎
81	2015/3	日本鉄鋼協会 第169回 春季講演会	高圧水素ガス環境中におけるアルミ系耐水素透過皮膜の水素侵入抑制メカニズムの解明	山辺純一郎、栗根徹、松岡三郎
82	2015/3	日本鉄鋼協会 第169回 春季講演会	高圧水素ガスを用いた低合金鋼の水素拡散特性	栗根徹、山辺純一郎、松岡三郎
83	2015/3	日本鉄鋼協会 第169回 春季講演会	微量元素添加オーステナイト系ステンレス鋼の耐水素脆性	井藤賀久岳、松永久生、山辺純一郎、松岡三郎
84	2015/3	日本鉄鋼協会 第169回 春季講演会	低合金鋼SCM435の115 MPa水素ガス中SSRT試験における表面き裂の発生と進展	松永久生、近藤亮太、吉川倫夫、松岡三郎
85	2015/3	日本鉄鋼協会 第169回 春季講演会	高圧水素ガスに曝露したオーステナイト系ステンレス鋼の疲労強度特性	吉川倫夫、松永久生、松岡三郎
86	2015/3	日本鉄鋼協会 第169回 春季講演会	高強度オーステナイトステンレス鋼HP160の疲労き裂進展下限界値 $\sigma_{Kth}$ に及ぼす応力比の影響	桑野祐希、吉川倫夫、松永久生、松岡三郎

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
87	2015/5	Japan-Norway Energy Science Week 2015	Strength properties of steels in high-pressure hydrogen gas and strength design of components	H. Matsunaga, J. Yamabe, S. Matsuoka
88	2015/5	I2CNER International Symposium Norway-Japan in Hydrogen and Fuel Cell – Satellite Symposium of the Japan- Norway	Strength design of components used in high-pressure hydrogen gas	H. Matsunaga, J. Yamabe, S. Matsuoka
89	2015/5	The 12th International Conference on the Mechanical Behavior of Materials (ICM12)	Tensile and fatigue behavior of steels in high pressure hydrogen gas atmospheres	H. Matsunaga, J. Yamabe, S. Matsuoka
90	2015/5	第75回分析化学討論会（山梨大学甲府キャンパス）	二次イオン質量分析法による水素機器用金属材料中の水素の高感度検出法とその応用	栗根 徹、松尾 尚、松岡 三郎

(論文発表 13 件)

No	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2013/9	Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures	Defect Size Dependence on Threshold Stress Intensity for High-strength Steel with Internal Hydrogen	Yukitaka MURAKAMI, Hisao MATSUNAGA, Arezou ABYAZI, Yoshihiro FUKUSHIMA
2	2013/11	Metallurgical and Materials Transactions A	Ductility Loss in Ductile Cast Iron with Internal Hydrogen	Hisao MATSUNAGA, Teruki USUDA, Keiji YANASE, Masahiro ENDO
3	2013/12	日本機械学会論文集 A 編	高圧水素ガス中における 2 種類の高強度オーステナイト系ステンレス鋼の SSRT 特性と疲労き裂進展特性	井藤賀久岳、松尾尚、織田章宏、松永久生、松岡三郎

No	発表年日	発表媒体	発表タイトル	発表者
4	2014/7	Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference	TENSILE- AND FATIGUE-PROPERTIES OF LOW ALLOY STEEL JIS-SCM435 AND CARBON STEEL JIS-SM490B IN 115 MPA HYDROGEN GAS	H. Matsunaga, M. Yoshikawa, H. Itoga, J. Yamabe, S. Hamada, S. Matsuoka
5	2014/7	Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference	FATIGUE-LIFE AND LEAK-BEFORE-BREAK ASSESSMENTS OF CR-MO STEEL PRESSURE VESSELS WITH HIGH-PRESSURE GASEOUS HYDROGEN	J. Yamabe, H. Itoga, T. Awane, H. Matsunaga, S. Hamada, S. Matsuoka
6	2014/7	Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference	SSRT AND FATIGUE CRACK GROWTH PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH AUSTENITIC STAINLESS STEELS IN HIGH-PRESSURE HYDROGEN GAS	H. Itoga, T. Matsuo, A. Orita, H. Matsunaga, S. Matsuoka, R. Hirotsu
7	2014/9	日本機械学会論文集	0.1MPa から 90MPa 水素ガス中における炭素鋼の疲労き裂進展特性に及ぼす水素ガス圧力と試験周波数の影響	吉川 倫夫、松尾尚、堤紀子、松永久生、松岡三郎
8	2014/10	燃料電池	高圧水素ガス環境で使用される部材に対する強度設計法の提案	山辺純一郎、松永久生、濱田繁、松岡三郎
9	2015/1	International Journal of Hydrogen Energy	Qualification of chromium-molybdenum steel based on the safety factor multiplier method in CHMC1-2014	Junichiro Yamabe, Hisao Matsunaga, Yoshiyuki Furuya, Shigeru Hamada, Hisatake Itoga, Michio Yoshikawa, Etsuo Takeuchi, Saburo Matsuoka

No	発表年日	発表媒体	発表タイトル	発表者
10	2015/3	International Journal of Hydrogen Energy	Slow strain rate tensile and fatigue properties of Cr-Mo and carbon steels in a 115 MPa hydrogen gas atmosphere	Hisao Matsunaga, Michio Yoshikawa, Ryota Kondo, Junichiro Yamabe, Saburo Matsuoka
11	2015/4	Journal of Pressure Vessel Technology	Pressure cycle testing of Cr-Mo steel pressure vessels subjected to gaseous hydrogen	Junichiro Yamabe, Hisatake Itoga, Torhu Awane, Takashi Matsuo, Hisao Matsunaga, Saburo Matsuoka
12	2015/6	International Journal of Hydrogen Energy	Elucidating the hydrogen-entry-obstruction mechanism of a newly developed aluminum-based coating in high-pressure gaseous hydrogen	Junichiro Yamabe, Torhu Awane, Saburo Matsuoka
13	2015/7	International Journal of Hydrogen Energy	Investigation of hydrogen transport behavior of various low-alloy steels with high-pressure hydrogen gas	Junichiro Yamabe, Torhu Awane, Saburo Matsuoka

契約管理番号	1 3 4 0 0 5 9 2 - 0
	1 3 4 0 0 5 9 3 - 0
	1 3 4 0 0 5 9 4 - 0

(I-②)-(3)「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究／複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、(国)東京大学

●成果サマリ(実施期間：平成25年度～平成27年度6月末)

- ・Type3複合圧力容器蓄圧器(以下、Type3容器)を用いて、実際の水素ステーションでの部分充填を想定した圧力サイクル試験を実施し、平均応力が高くなる条件でも、応力範囲が小さくなることで疲労寿命が延びることを確認した。これにより疲労試験に関する技術文書の改正素案及び解説書案の作成を開始した。
- ・各種CFRPのストレスラップチャート試験、疲労試験を実施し、設計、寿命評価などに資するデータを取得中である。これらにより複合容器の設計係数の検討を行う予定である。
- ・解析が困難とされていたType3容器の胴部・鏡部の境界領域についても解析・設計を可能とし、アルミ合金材料の設計疲労曲線を使った疲労設計が可能となった。
- ・圧力サイクル試験によりType3容器アルミ合金ライナー・鏡部からき裂が発生する事象を確認した。この鏡部からき裂を防止する設計も可能となり、容器寿命延長が期待できる。

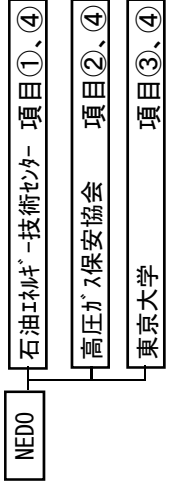
●背景/研究内容・目的

水素ステーションで使用される複合容器蓄圧器の実使用条件は技術基準に要求されている疲労試験圧力条件と異なり、部分充填圧力となる。そこで実使用圧力での疲労寿命評価や疲労設計方法の高度化を行う。これにより、複合容器の安全性を確保したうえで長寿命化、低コスト化を図る。

●研究目標

実施項目	中間目標(H27年度)	最終目標(H29年度)
①-1)複合容器の疲労寿命評価手法の検討	Type3容器の部分充填サイクル試験方法の見直し。 Type4容器の疲労損傷モード確認	Type3,4容器の疲労寿命評価方法の確立を目指した各種圧力範囲における疲労寿命データの取得
①-2)技術基準案の検討	Type3容器技術基準案の策定に資する資料の検討	Type3,4容器疲労寿命評価方法の技術基準案の策定に資する資料の検討と基準策定に向けた課題の提示
②CFRPの評価方法の高度化	CFRPの評価方法確立のためのデータ蓄積	複合容器設計への活用方法提示
③疲労設計方法の高度化	Type3容器の疲労設計方法確立	Type3,4容器の疲労設計方法確立
④保安検査方法に関する検討	AE法等の適用可否、課題の明確化	保安検査方法(案)提示

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ①-1)小型Type3容器(30L)を用いて部分充填圧力サイクル試験を行い、平均応力が高くなっても応力範囲が小さくなれば疲労寿命が延びるデータを取得し、部分充填条件での疲労試験方法の有効性を確認した。
- ・Type3容器圧力サイクル試験の圧力媒体としてエチレングリコール水溶液を選定することで研究を加速させた。
- ・Type3容器ライナーと同様の伸び歪みを与えたアルミ合金試験片による疲労試験を行い、応力範囲の変化と疲労寿命との相関を確認した。
- ・Type4容器の圧力サイクル試験を開始し、試験時の損傷モードの確認を完了済みである。
- ①-2)小型Type3容器の疲労試験結果を用いて、疲労試験に関する技術文書KKHKT05202の改正素案及び解説書(ガイドライン)案を作成開始した。①-1)の残す評価試験結果を確認した後完成させる。
- ②各種CFRPのストレスラップチャート試験及び疲労試験を実施し、設計等に資するデータを蓄積した。
- ③Type3容器の胴部・鏡部の境界領域も含めた解析・設計方法を確立し、アルミ材試験片の設計疲労曲線を使った疲労解析による設計を可能とした。
- ・Type3容器の圧力サイクル試験と詳細な有限要素解析より、鏡部からの疲労き裂を防止する設計を可能とした。
- ④調査結果では海外ステーション、容器メーカーでの保安検査実績はないことがわかった。
- ・保安検査として可能性のあるAE手法について他事業者と連携中。き裂進展によるAEの計測を検討。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①-1)	Type3容器の部分充填試験の見直し。Type4容器の試験開始	○
①-2)	Type3容器技術基準の策定に資する資料構成案作成	○
②	CFRPの評価方法確立のためのデータ蓄積	○
③	Type3容器疲労設計方法確立	○
④	AE法の適用可否検討	○

●今後の課題

- ①Type3容器は、中型・大型容器で部分充填サイクル試験を完了し、技術基準に資する資料を完成する。
- ・Type4容器は、部分充填サイクル試験を実施し、応力範囲と疲労寿命の関係を確認し、技術基準の策定に資する資料の作成及び課題の提示を行う。
- ②試験を継続し複合容器における設計係数の検討を行う。
- ③Type4容器疲労設計方法の高度化、標準化を行う。
- ・製造、使用温度などのばらつきによる疲労寿命への影響を検討する。
- ④保安検査方法について調査を継続する。

●実用化の見直し

- ①Type3,4容器共に、本評価方法に応じた設計を行うことで長寿命化あるいは低コスト化が図られる。
- ②より合理的な複合容器の設計係数が決定できる。
- ③ソフトウェアを公開することで、事業者が容易に疲労設計方法を適用でき、長寿命化や低コスト化を図ることが可能となる。
- ④事業者が有効な保安検査を検討することで実用化が期待できる。

## 課題番号：I-②-(3)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発

一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)

高压ガス保安協会(KHK)

国立大学法人東京大学(東大)

#### 1. 研究開発概要

複合圧力容器蓄圧器においては、その評価方法と実使用条件が大きく異なるものがあり、その評価方法のさらなる高度化・複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法のさらなる高度化などが望まれている。そこで、水素ステーション用複合圧力容器蓄圧器に係る基準整備等のための研究開発を行う。これにより、複合圧力容器蓄圧器の安全性を確保したうえで長寿命化、低コスト化を図る。

事業推進に当たっては、次の4テーマに取り組む。

- (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)
- (2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)
- (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 (東大)
- (4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討 (JPEC、KHK、東大)

#### 2. 研究開発目標

テーマ毎に中間(平成27年度)と最終(平成29年度)の目標を以下のとおりとする。

##### (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

中間目標：Type3\*複合圧力容器蓄圧器(以下、Type3容器)に関しては、実際の水素ステーションで使用する圧力条件(部分充填)に応じた圧力サイクル試験方法で疲労寿命延長が可能であることを確認する。

Type4\*容器に関しては、中間までに圧力サイクル試験時の疲労損傷モードを確認する。

最終目標：Type3容器に関しては、平成25年度から実施した圧力サイクル試験データを用いて疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討を行い、結果のまとめと課題を提示する。

Type4容器に関しては、平成27年度以降から圧力サイクル試験を実施し、部分充填と疲労寿命の関係を確認し、疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の検討を行い、結果のまとめと課題を提示する。

\*Type3：金属製ライナーの全面を繊維強化プラスチックで巻付けた構造

\*Type4：プラスチック製ライナーの全面を繊維強化プラスチックで巻付けた構造

##### (2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

中間目標：複合圧力容器に適用可能な各種CFRP(CF弾性率 230、294、340MPa)のストレスラプチャー試験及び疲労試験を実施し、データを蓄積する。

最終目標：引き続きデータの蓄積を行い、データをもとに複合容器における設計係数の検討を行い、合理的な設計手法へのデータの活用方法を提示する。

### (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化（東大）

中間目標：前事業「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発／水素ステーション用複合容器の設計・評価に関する研究開発」（平成22～24年度）にて取得した圧力サイクル試験の結果とアルミ合金の設計疲労曲線の相関を精査し、設定された疲労寿命を満足するType3容器の疲労設計方法を確立する。結果をテーマ（1）で実施する圧力サイクル試験で検証する。

最終目標：テーマ（1）で取得する圧力サイクル試験データ及びテーマ（2）で取得するCFRPの試験データなどを取り入れ、設定された疲労寿命を満足するType4容器の疲労設計方法を確立する。また、製造方法のばらつきによる影響や使用温度による影響について評価を行い、安全性を確保したType3容器、Type4容器の疲労設計方法を確立する。

### (4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討（JPEC、KHK、東大）

中間目標：複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する文献調査、海外水素ステーションでの実態調査を実施する。また、AE（アコースティックエミッション）法などの最新の検査方法に関しても、関連するNEDOプロジェクトと連携し検討、調査を行い、適用可否若しくは課題を明確化する。

最終目標：調査及び検討結果をまとめ、保安検査方法の検討案を提示する。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 本開発に至る経緯（図1参照）

前事業「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／システム技術開発／70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発」における「水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発」において、図1左下部に示すように、水素ステーション用Type3、Type4蓄圧器の技術基準ガイドラインを作成した。これにより、KHKより平成26年9月に技術文書KHKTD5202が発行された。

この事業の中で、以下の新たな課題が判明した。

「技術文書で制定された疲労試験における圧力サイクル試験の圧力条件と比較して、実際の水素ステーションで使用される圧力条件（部分充填）はより緩やかな条件ではないか。平均応力は高くなるが、応力範囲が小さくなる部分充填条件で疲労寿命（蓄圧器使用寿命）が延びるのであれば、その条件を疲労試験条件とすべきである。」

この仮説を実際の容器において確認し、疲労寿命評価方法を高度化することによって、複合容器蓄圧器の長寿命化あるいは使用炭素繊維（CF）を低減することによる低コスト化を図ることが可能となる。

また、この課題を検討するに当たり、以下の疑問に対する確認を実施し、効率的に研究開発を実施した。

- ①自緊処理を受けたアルミニウム合金ライナー材も通常のアルミニウム合金と同様の応力範囲と疲労寿命の特性を示すのか。
- ②圧力サイクル試験に用いる圧力媒体が、試験期間が長期にわたるためアルミニウム合金ライナーへの腐食等の悪影響を及ぼし、疲労寿命に影響を及ぼすのではないか。

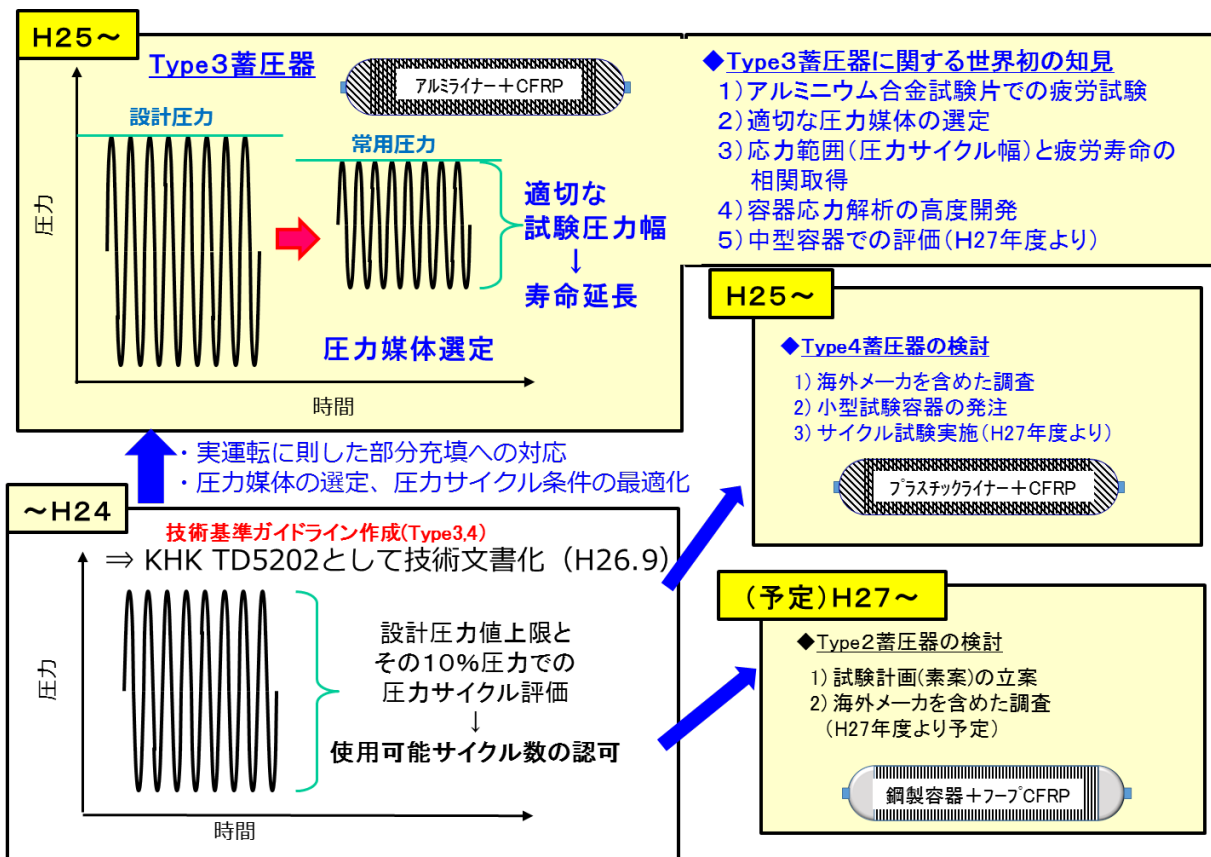


図1 研究開発のイメージ(複合容器の疲労寿命検討)

### 3. 2 研究開発成果、達成度

#### (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化(JPEC)

##### ①-1) 複合容器の疲労寿命評価手法の検討

小型Type3容器(30L)を用いて実際の水素ステーションで使用される部分充填圧力での圧力サイクル試験を行い、平均応力が高くなっても応力範囲が小さくなれば疲労寿命が延びるデータを取得し、試験方法の有効性を確認した。

表1に圧力サイクル試験時の試験容器内圧の設計圧力(65MPa)に対する比の範囲(65MPaは100%、2MPa以下は0%とする)と圧力サイクル試験結果を示す。また、そのときの胴部内面周方向に係る応力範囲と圧力サイクル試験結果を図3に示す。このように応力範囲が小さくなるに従って圧力サイクル数が大きくなる(寿命延長となる)傾向があり、平均応力が高くなっても応力範囲が小さくなることにより、結果的に寿命延長へつながるといふ仮説が立証された。

小型Type3容器での応力範囲の変化と疲労寿命のデータ取得がほぼ完了し、部分充填条件において疲労寿命評価方法の高度化が図られることを確認した。これにより、技術文書KHKTD5202の疲労試験に関する改正素案及び解説書(ガイドライン)案の作成が可能となった。今後、中型、大型容器で案の妥当性を確認し、最終年度までに技術基準案の策定に資する資料の検討と基準策定に向けた課題を提示する。

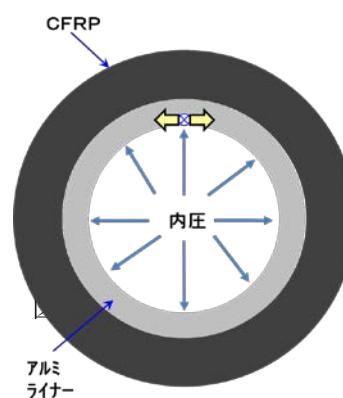
Type4容器に関しては、小型容器での圧力サイクル試験を開始し、損傷モードを確認中である。Type3容器と同様に部分充填条件において疲労寿命評価方法の高度化が図られることを確認した上で、最終年度までに技術基準案の策定に資する資料の検討と基準策定に向けた課題を提示する。




表1 試験平均応力、応力範囲と圧力サイクル試験結果

	圧力サイクル試験応力範囲 (設計圧力に対する%)	胴部内面周方向応力* (MPa)		漏洩までの圧力サイクル数 (回)
		平均応力*	応力範囲	
1	20~90%	-165	221	181, 633
2	30~90%	-149	189	80, 258
3	50~90%	-118	126	185, 659
4	70~90%	-86	63	>300, 000
5	0~115%	-156	364	24, 925
6	0~100%	-181	315	63, 376
7	0~80%	-212	252	132, 891
8	0~70%	-229	218	225, 224

\*胴部内面周方向応力：圧力サイクル試験において容器内部にエチレングリコール水溶液などの圧力媒体で内圧をかけた場合に、ライナー内面の周方向に係る応力（図2参照）。例えば設計圧力（65MPa）の0~100%の内圧をかけたとき、周方向の応力範囲はこの容器では315MPaとなる。（東京大学吉川研究室にて、容器の設計から解析を行った）



## 2 胴部内面応力模式図

\*平均応力：応力範囲上下の中間の応力。ここでは、容器に自緊圧力がかかっているため、内圧をかけてもマイナスの圧縮応力となっている。マイナスとは図2のライナー内面の印と逆の方向に力がかかっていることを意味する。

上記、実際のType3容器で応力範囲と疲労寿命のデータを取得する前段階として、試験時に腐食の影響を及ぼす恐れのない圧力媒体の選定と、伸び歪みを与えたアルミニウム合金試験片を用いて、応力範囲の変化と疲労寿命の相関を確認した。

図4に各種圧力媒体を使用した圧力サイクル試験結果を示す。圧力媒体としては、イオン交換水、腐食防止剤を含有したイオン交換水、50%エチレングリコール水溶液、フッ素系熱媒体を使用した。いずれの媒体においても腐食の影響は確認できず、圧力サイクル数にも有意な差は見られなかった。この結果から、以後の試験媒体を50%エチレングリコール水溶液とし、評価試験を加速した。

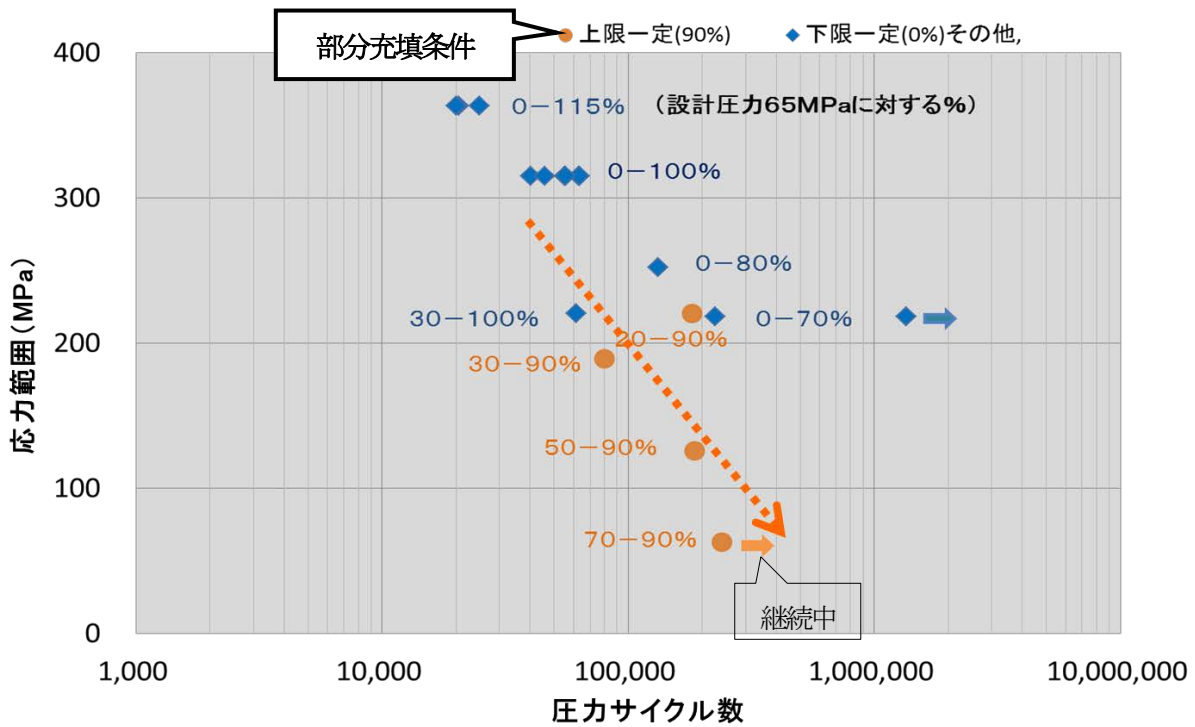


図3 小型Type3 容器における応力範囲と圧力サイクル数 (疲労寿命)

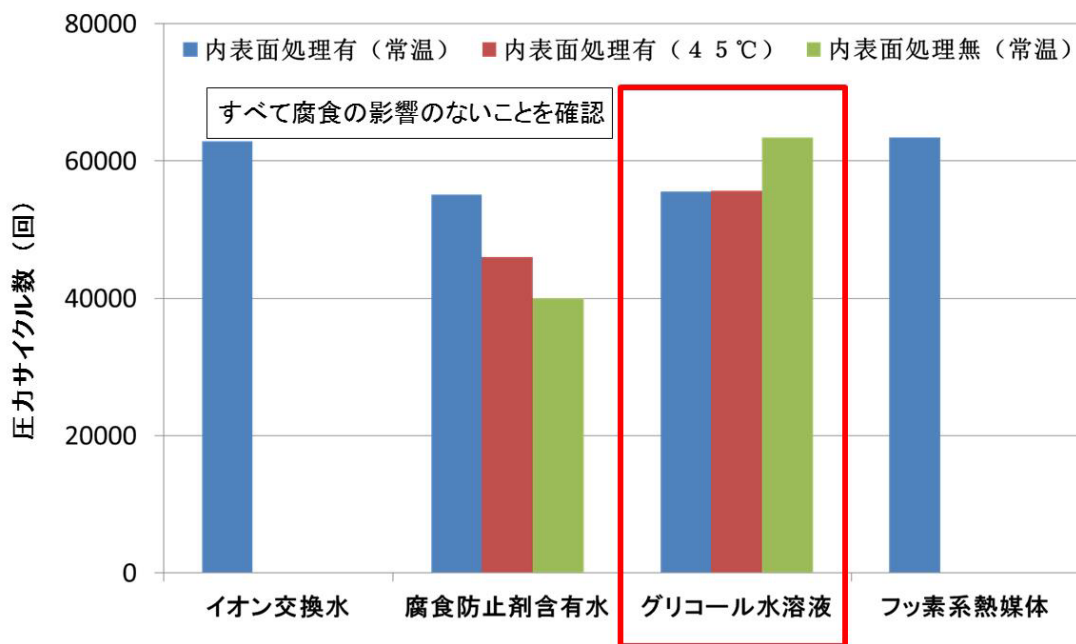
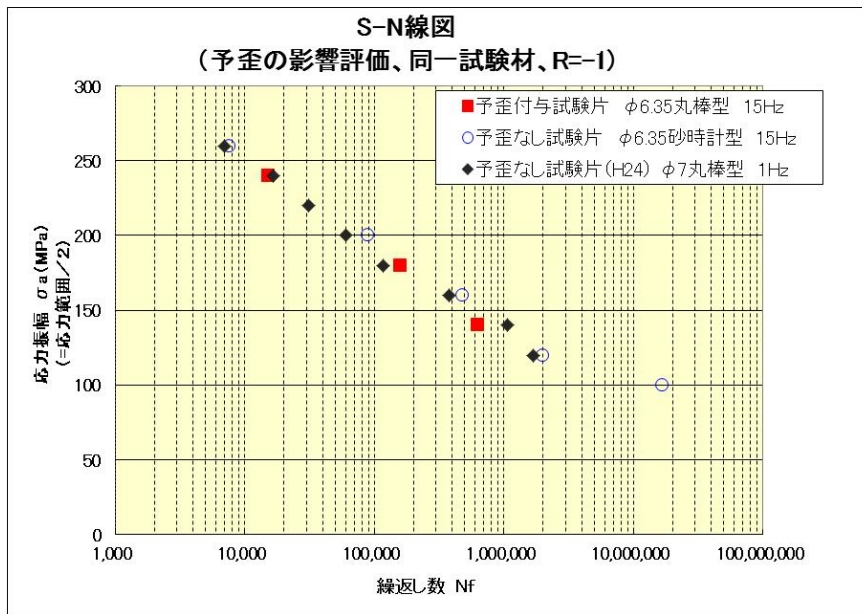


図4 圧力媒体を変更した圧力サイクル試験結果 (内圧力条件: 0~65MPa)



出典: 予歪なし試験片データ:  
平成20年度～平成24年度  
成果報告書  
(水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業)  
(Hydrogenius)

図5 アルミニウム合金試験片による予歪の影響評価

自緊処理時には0.8%程度の伸び歪みがアルミニウム合金ライナーにかかる。これが応力範囲と疲労寿命の関係にどのように影響するかを確認するため、伸び歪み(予歪)を与えたアルミニウム合金試験片(丸棒型)による疲労寿命評価を行った。結果を図5に示す。この結果、伸び歪みはアルミニウム合金の疲労特性に大きな影響を与えないことを確認した。また、これにより、テーマ(3)で述べるアルミニウム合金試験片のデータを用いて、設計疲労曲線を使ったType3容器の疲労解析による設計が可能であることを確認できた。

①-2)技術基準案の検討

①-1)の試験結果により、疲労試験において部分充填条件を適用することで疲労寿命の延長が図られることを確認した。そのため、技術文書 KHKTD5202 の疲労試験に関する改正素案及び解説書案の作成を開始することができ目標を達成できる見通しを得た。最終年度までに以下の検討内容をまとめる予定である。

【技術文書改正素案】の検討

技術文書 KHKTD5202 の 5.2.3.1 疲労試験の項では、試験の方法として「...加圧装置を用いて設計圧力の10%以下から設計圧力以上の圧力範囲で、毎分10回以下で圧力サイクルを負荷する。」とある。しかし、実際の水素ステーションでは、使用上限圧力は設計圧力よりも低く設定されている(一般的に設計圧力の90%)。また、燃料電池自動車へ差圧充填する使用条件では、蓄圧器の圧力はある程度以上を保持しておく必要があるため、下限圧力が通常設計圧力の10%以下となることはない。そこで、以下の改正素案を提案することをベースとし、今後の検討を継続する。

「...加圧装置を用いて設計者が規定する通常使用される状態での最低の圧力以下から常用の圧力以上の圧力範囲で、毎分10回以下で圧力サイクルを負荷する。」

【解説書案】の検討

本事業の成果を解説書として公開することで、改正する技術文書の内容を技術的に補強するとともに、疲労寿命延長のための設計方法を支援する。

- ・応力範囲の変化と疲労寿命の関係に関する評価試験結果をまとめ、部分充填条件での疲労試験による設

計圧力サイクル数（使用可能充填放出回数）の設定が妥当であることを提示する。

- ・テーマ（2）の成果である各種 CFRP 評価試験データから設計、寿命評価への活用方法を提示する。（例；設計係数の考え方）
- ・テーマ（3）の成果である疲労設計方法に関するソフトウェアを用いて、アルミニウム合金の設計疲労曲線を使った疲労解析による設計方法を提示する。
- ・テーマ（3）の成果である鏡部からの漏洩を防止する設計方法を提案し、寿命延長の可能性を提示する。

## (2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

過去から実施している弾性率 230GPa、破断伸び 2.1%の繊維、弾性率 294GPa、破断伸び 2.0%の繊維の疲労試験に加え、新たに弾性率 340GPa 以上、破断伸び 1.4%の CF を選定し、ストレスラプチャー試験及び疲労試験を実施中である。

図 6 に CFRP の一方向疲労試験結果を示す。

弾性率 340GPa 以上の新検討 CF は、アルミニウム A6061 合金をライナーに使用する Type3 容器に適している。これまでの試験で新 CF も既存の CF と同様の応力と疲労の傾向を示していることが分かった。

今後、データの蓄積を継続し、複合容器の設計係数の検討を行う。ストレスラプチャー試験には時間を要するため、最終年度までに蓄積した範囲のデータを活用して合理的な設計手法を可能とする。

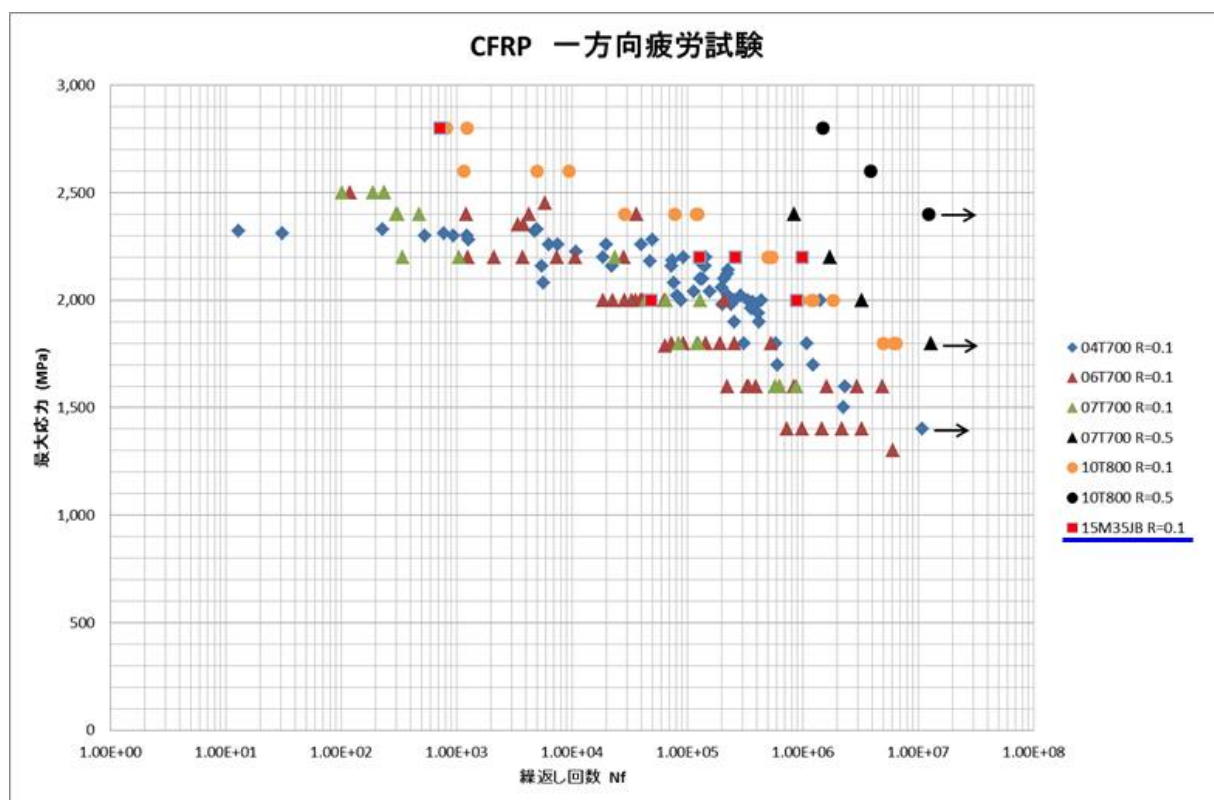


図6 各種 CFRP の一方向疲労試験

## (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 (東大)

Type3 容器の胴部・鏡部の境界領域も含めた詳細な有限要素モデルを作成するソフトウェアを開発し、解析・設計方法を確立した。これによりアルミニウム合金の設計疲労曲線を使った疲労設計が可能となった。

図7にアルミニウム A6061 合金の丸棒型試験片の S-N 線図を示す。アルミニウム合金の疲労曲線（上部）に対して、繰返し（サイクル）数が 20 分の 1 の線及び応力振幅（＝応力範囲の 2 分の 1）の 2 分の 1 の線の低い方の部分（斜線部分）の中に入るように、Type3 容器に求める疲労寿命（サイクル数）に対してアルミニウム合金ライナーに係る応力を決めるといった疲労設計が可能となった。この設計方法を適用することで、実容器を使用した破壊検査である圧力サイクル試験の試験数を削減することができ、省力化を図ることができる。

Type4 については、テーマ（2）の成果として得られる CFRP の評価試験データも適用し、最終年度までに疲労設計方法を確立する。

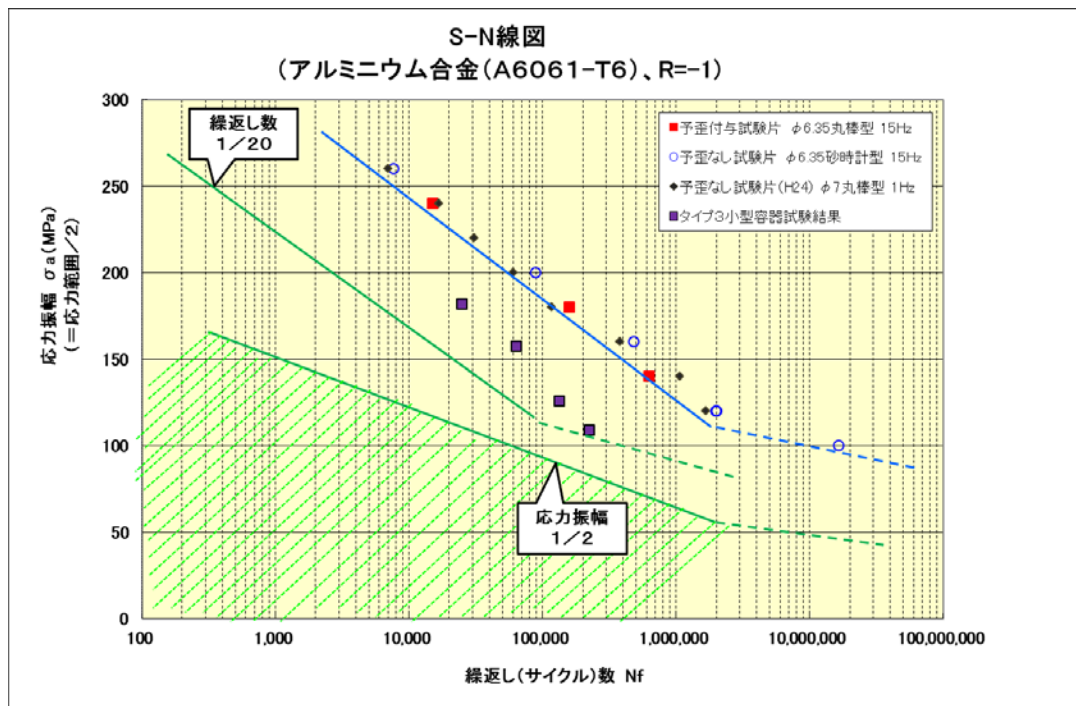


図7 例；アルミニウム合金の設計疲労曲線（S-N 線図）

テーマ（1）での小型 Type3 容器の圧力サイクル試験では、平均応力が高くなっても応力範囲が小さくなることにより、結果的に寿命延長へつながるといった仮説が立証されたものの、容器の鏡部からのき裂による漏洩も散見されるという予期しない新たな課題も発生した。

この新たな課題に対しては、従来技術では鏡部、鏡部と胴部の境界部分の応力解析を正確に行えないため試行錯誤的にヘリカル巻を強化することで対応するしかなかったが、開発した Type3 容器の解析・設計方法によりライナー鏡部の最適設計（具体的には扁平形状をやや球状に設計）が可能となり、鏡部の曲げ応力を低減し、鏡部からのき裂を防止（寿命延長）することでできた。（図8参照）これにより、使用 CF 量を変えずに容器寿命を延長すること、あるいは寿命を変えずに CF 量を減らすことによる低コスト化が期待できる。



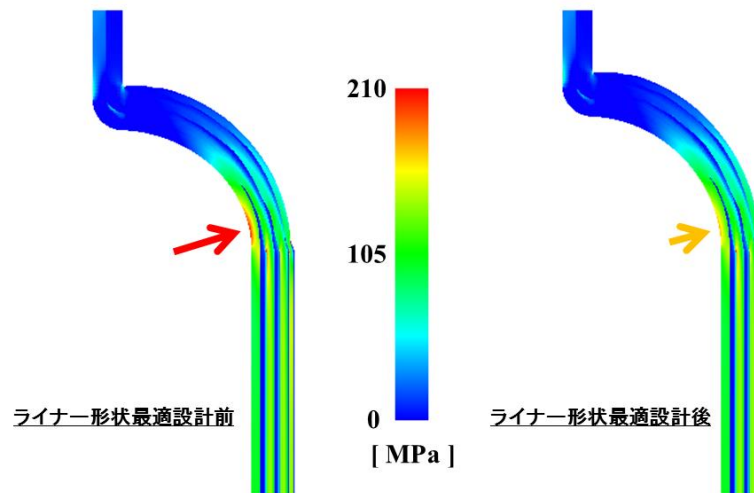


図8 小型容器の最適設計前後の軸方向垂直応力範囲 (0-45MPa 内圧サイクル)

#### (4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討 (JPEC、KHK、東大)

##### ①複合容器の保安検査に関する海外調査

海外水素ステーションユーザーの一つである米国 Shell 社に確認したところ、カリフォルニア州 4 ステーションでは蓄圧器 (鋼製含む) は保安検査の実績・計画なし (ノーメンテナンス)。他ユーザー 1 社も同様に保安検査は行っていない。

米国複合容器メーカー 2 社に製作時の容器検査について調査した。米国 ASME 規格では複合容器の製作時の検査として AE 検査を推奨しているが、複合容器メーカーでは、容器の製作時に AE 及びその他非破壊検査は実施していないとのこと。

その他文献調査を行っているが、現段階で複合容器に対して確立された保安検査方法は見つからない。

##### ②別事業との連携

「複合容器の供用中検査方法の研究開発」で他者が実施している AE 検査手法の開発と連携し可能性を検討している。圧力の増減による疲労き裂の進展状況を AE 法を用いて監視する方法を検討中である。圧力サイクル試験中に疲労き裂進展の発生と思われる AE が計測されており、今後き裂進展の状況と AE パラメータの相関に注目して検討を行っていく。

##### 【課題】

- ・ AE パラメータが寿命評価指標となるか検討継続
- ・ 自緊処理によって常時圧縮応力がかかった下での疲労き裂進展挙動の解明
- ・ 圧力媒体が気体の場合の測定試験
- ・ 実水素ステーションでのノイズ他の影響検討

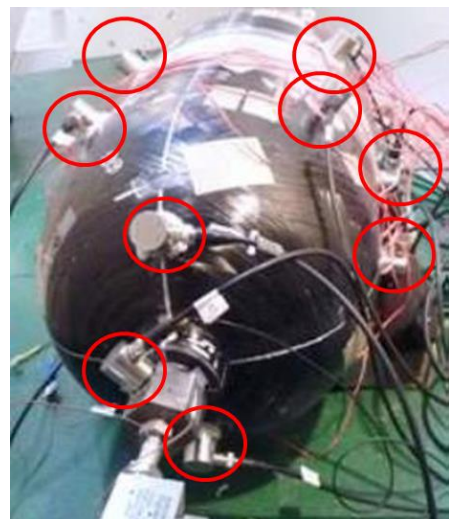


図9 小型容器圧力サイクル試験時のAE測定

海外検査機関の調査なども含め、調査、連携を継続し、最終年度までに AE 法以外も含めて余寿命を判断できる可能性のある保安検査方法を提示する。

### 3. 3 成果の意義

#### (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

実際の小型 Type3 容器を使用し、圧力サイクル試験を実施し、実際の水素ステーションでの部分充填を想定した圧力サイクル条件で、圧力範囲の変化と疲労寿命に相関があることを確認した。

これにより設計圧力サイクル数の設定のための疲労試験 (圧力サイクル試験) の圧力条件として、圧力下限値を通常使用される状態での最低の圧力以下に設定することで、設計圧力サイクル数 (使用可能充填放出回数) を延長することが可能となる。本成果を技術基準案策定に資する資料とすべく検討しまとめることで、技術基準案が公開されれば、事業者が容易により長寿命あるいはコストの低い複合容器を設計、製作することができ、それに基づき水素ステーションでの使用認可を取得できるようになる。

#### 【低コスト化の例としての仮想計算】

(仮定)

- ・ 使用寿命 10 万回の蓄圧器を開発する
- ・ これまでの設計で製造した場合、蓄圧器 1 基の製造費用は 10 百万円/300L
- ・ 圧力サイクル試験費用は 20 百万円/月
- ・ 試験は  $n=4$  (右図参照) で実施する

※技術文書KHKTD5202において認められている設計圧力サイクル数は、疲労試験数 $n$ のとき漏れ発生回数を $L$ とすると  
 $n=2$ の場合  $L/4.0$ 回  
 $n=3$ の場合  $L/3.5$ 回  
 $n=4$ の場合  $L/3.0$ 回  
 $n=5$ の場合  $L/2.6$ 回

図 10 疲労試験における設計圧力サイクル数の考え方

(計算)

従来の技術文書に従って疲労試験設計圧力の 10%~100%で疲労試験 (圧力サイクル試験) を実施すると、サイクル時間は 3 回/分、蓄圧器の圧力サイクル性能は 30 万回必要となる。試験蓄圧器の製造費用も含め試験費用は 224 百万円。

新規の技術基準に従って部分充填条件である設計圧力の 50%~90%で疲労試験を実施すると、サイクル時間 6 回/分に短縮でき、試験費用が半減できる。また、部分充填条件で 30 万回の性能で良いため、従来の設計よりも使用する CF 量を低減できる。さらにテーマ (3) の最適設計方法を活用することで CF 量を減らせるため、70% (想定) の 7 百万円で蓄圧器 1 基を製造することができる。よって試験費用は 121 百万円となる。表 2 参照。

表 2 従来疲労試験方法と新提案試験方法での概算費用比較

	従来設計、従来疲労試験	新設計、新提案疲労試験
300L 容器製造費用	10 百万円	7 百万円
試験用容器費用 (4 基)	40 百万円	28 百万円
疲労試験時間 (30 万回)	69 日	35 日
疲労試験費用 (4 回)	184 百万円	93 百万円
合計	<b>224 百万円</b>	<b>121 百万円</b>

このように部分充填条件による疲労試験を採用することで、開発時の疲労試験で 1 億円以上のコスト削減と蓄圧器そのものの低コスト化 (70%) が図られる。

#### (2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

アルミニウム A6061 合金ライナーに適した高弾性率 CF の疲労試験を実施し、すでに複合容器用として実

績のある特性のCFと比較することで、合理的な設計を提案することができる。今般、新CFが高弾性率、破断伸び小であるにも係らず既存のCFと同様の応力と疲労の傾向を示していることが分かった。これにより事業者でのCFの選択種が増え、合理的な容器設計が期待できる。

今後、各種CFRPのストレスラプチャー試験及び疲労試験のデータの蓄積を行い、安全係数の検討も行っていく。

### (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化（東大）

Type3容器の胴部・鏡部の境界領域も含めた詳細な応力解析が可能なソフトウェアを開発した。これを公開することで、複合容器メーカーにおいてアルミニウム合金の設計疲労曲線を使った疲労設計が可能となる。

また、鏡部、胴部・鏡部の境界領域の疲労強度を向上させ得る設計も可能となり、容器寿命の延長あるいは設定寿命に応じた低コスト化が期待できる。3.3(1)を参照。

このソフトウェア公開にあたっては、海外での無許可使用を防止する措置も検討する。

### (4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討（JPEC、KHK、東大）

これまでの調査結果では、複合容器に対してAE法以外に可能性の高い確立された保安検査方法は見つかっていない。今後は複合容器のタイプ別に可能性の期待できる非破壊検査方法の調査を継続していく。

## 3.4

成果の最終目標の達成可能性

### (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化（JPEC）

Type3容器については、中型・大型容器で圧力サイクル試験を実施し、小型容器での結果を補強することで、最終的に計画通り疲労寿命評価方法の技術基準案策定に資する資料の作成が完了する見通し。

Type4容器についても、今後、小型・中型・大型容器で圧力サイクル試験を実施し、損傷モード、応力範囲と疲労寿命の相関に応じた技術基準案策定に資する資料の作成を実施する見込み。

### (2) CFRPの評価方法の高度化（KHK）

データの蓄積を行い安全係数の検討を行うことで、複合容器の合理的な設計手法等へのデータ活用方法を提示できる見込み。なお、ストレスラプチャー試験には時間を要するため、最終年度までに蓄積したデータの範囲での検討結果となる。

### (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化（東大）

Type3容器に関しては、部分充填を考慮した疲労設計方法に基づく最適設計手法を確立できる見込み。

Type4容器に関しては、テーマ(2)でのCFRPの評価試験データも適用し、テーマ(1)での圧力サイクル試験結果と整合性を図りながら、部分充填を考慮した疲労設計方法に基づく最適設計手法を確立する見込み。

疲労強度評価において製造プロセスの誤差による振れや使用温度環境の影響についても検討を開始しており、最終年度までにはこれらが疲労強度に与える影響の評価方法を確立する見込み。

### (4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討（JPEC、KHK、東大）



Type3、Type4 それぞれの特徴を踏まえた調査を実施し、それぞれに対する保安検査方法について、早期適用は困難であっても将来的に可能性のある検査方法を探索し、課題の提示と保安検査方法の検討案を提示する。

#### 4. まとめ及び課題、実用化までのシナリオ

##### (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

Type3 容器に関しては、実際の小型 Type3 容器を用いて圧力サイクル試験を行い、実際の水素ステーションで使用される部分充填条件を用いて疲労試験 (圧力サイクル試験) を行うことで、設計圧力サイクル数 (使用可能充填放出回数) を延ばせることを確認した。これ元、技術文書 KHKTD5202 の疲労試験に関する改正素案及び解説書案の作成に着手した。最終年度までに中型・大型容器での圧力サイクル試験データを取得し、技術基準案策定に資する資料をまとめ、それを元に技術文書の改訂版及び解説書の公開を進めることで、事業者が設計圧力サイクル数の設定方法として、本評価方法を容易に利用することができるようになる。これにより、Type3 容器の疲労寿命の延長あるいは低コスト化が期待できる。加えて疲労試験の時間を短縮することで、設計確認試験における費用を大幅に低減することができる。

Type4 容器に関しては、実際の小型 Type4 容器を用いた圧力サイクル試験を開始した。損傷モードの確認、応力範囲の変化と疲労寿命の相関を確認した上で、Type3 と同様に技術基準案策定に資する資料をまとめる。

まとめた資料を基に関係機関において技術基準案 (技術文書あるいは JPEC ガイドラインなど) を作成することで、公開された技術資料として事業者が認可取得に活用でき、使用寿命の延長あるいは低コスト化が期待できる。

##### (2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

アルミニウム A6061 合金ライナーに適した高弾性率 CF の疲労試験を実施し、すでに複合容器用として実績のある CF よりも破断伸びが小さいにも係らず、同じ応力と疲労の傾向を示していることが分かった。今後、各種 CFRP での疲労試験、ストレスラプチャー試験のデータを蓄積し、安全係数の検討を行う。

最終年度までに蓄積したデータの範囲で、複合容器の合理的な設計手法等へのデータの活用方法を提示する。

##### (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 (東大)

Type3 容器の胴部・鏡部の境界領域も含めた設計・解析方法が可能なソフトウェアを開発し、アルミニウム合金の設計疲労曲線を使った疲労設計が可能となった。但し、ソフトウェアの公開については海外での無許可使用を防止する措置も検討する予定である。また、鏡部、胴部・鏡部境界領域の強度を向上させ得る設計も可能となり、容器寿命の延長あるいは設定寿命に応じた低コスト化が期待できる。((1) 項参照)

今後 Type4 も含めて部分充填を考慮した疲労設計方法に基づく最適設計手法を確立していく。また、疲労強度評価において製造プロセスの誤差による振れや使用温度環境の影響についても検討を行い、これらが疲労強度に与える影響の評価方法を確立する。

(4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討 (JPEC、KHK、東大)

海外水素ステーションでの複合容器の保安検査については、調査の範囲では実績・実施計画はなかった。また、米国容器メーカーでは、容器製作後に非破壊検査は実施していないとの調査結果であった。

保安検査として可能性の期待できる手法として、AE 法の調査及び別事業で検討を行っている「複合容器の供用中検査方法の研究開発」と連携を行っている。今後、アルミライナーのき裂進展に係る AE パラメータの変化に注目して検討を行う。AE 法に関する調査、連携は継続し、その他の検査方法についても調査、検討を継続し、複合容器の保安検査方法についての課題の提示と検討案を提示する。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 25 年 12 月	圧力技術, <b>51(6)2(2013)</b>	Type III 複合容器の圧力加減寿命予測	吉川 暢宏 (東京大学) 針谷 耕太 (東京大学) 吉田 剛(JPEC) 石本 裕保(JPEC) 佐藤 克哉(JPEC) 秋山 浩司(JFEコッテイナー) 竹花 立美 (KHK)
2	平成26年7月15日	平成26年度JPEC技術開発・調査事業成果発表会(口頭発表)	複合圧力容器蓄圧器の寿命延長に係わる研究開発	中妻孝之(JPEC)
3	平成26年11月27日	平成 26 年度 高圧ガス保安協会 総合研究発表会 (口頭発表)	F R P 複合容器を取り巻く技術情報について	竹花立美(KHK)
4	平成27年4月	高 圧 ガ ス , <b>52(4) , pp251-252(2015)</b>	複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発について	竹花立美(KHK) 木村勝之(KHK)
5	平成27年5月13日	平成 27 年度 JPEC 技術開発・調査事業成果発表会(口頭発表)	高圧水素を充填する複合容器蓄圧器の技術基準の検討状況	岡崎順二(JPEC)
6	平成27年5月22日	一般社団法人日本高圧力技術協会 平成 27 年度 春季講演会	CFRP 製超高压容器の詳細積層構成 FEM モデル作成ソフトウェアの開発	キムサンウォン (東京大学) 吉川暢宏 (東京大学) 吉田 剛(JPEC) 中妻孝之(JPEC) 岡崎順二(JPEC) 石本裕保(JPEC) 川又和憲(JPEC)

—特許等—  
なし

(参考) 研究開発の全体イメージ

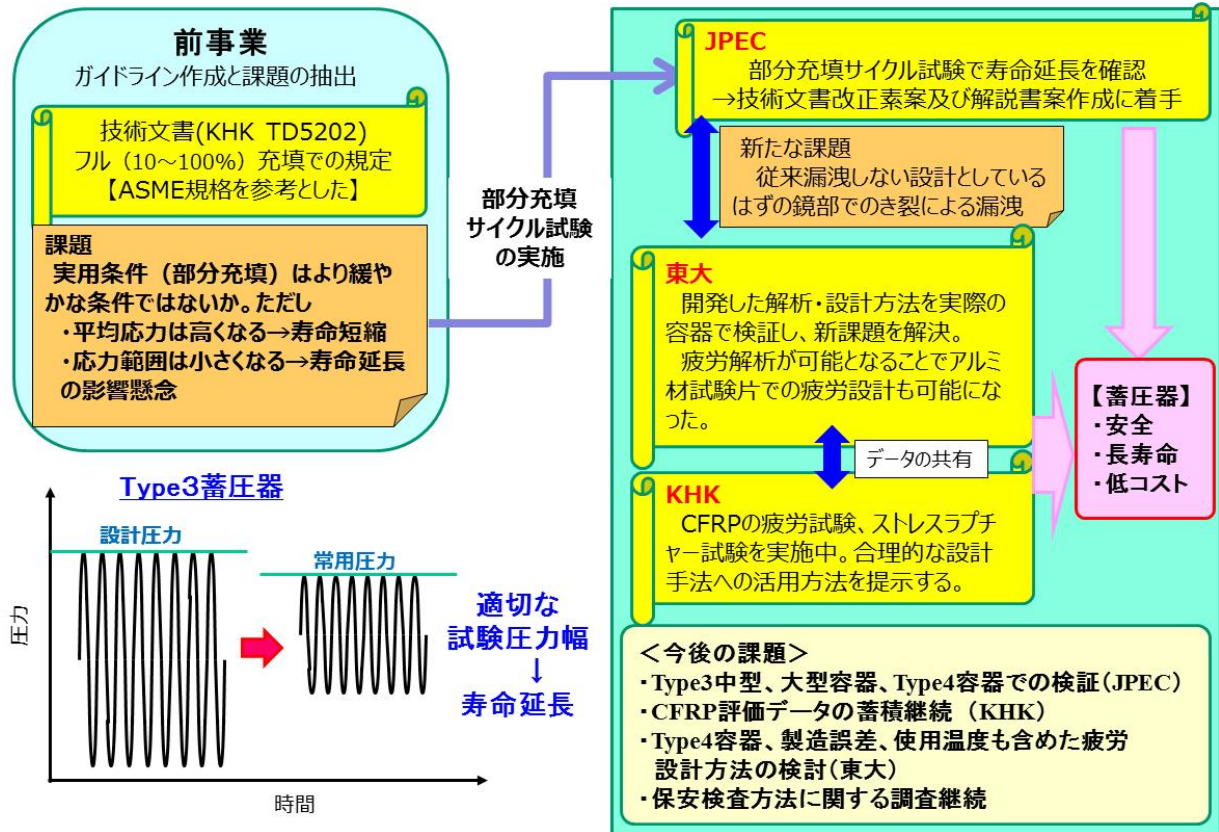


図 11 研究開発全体イメージ (プロジェクト俯瞰)



## 課題番号： I - ② - (4)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する 研究開発

一般財団法人金属系材料研究開発センター  
株式会社日本製鋼所  
新日鐵住金株式会社  
共同実施：新日鐵住金ステンレス株式会社  
愛知製鋼株式会社  
国立研究開発法人物質・材料研究機構

#### 1. 研究開発概要

本研究開発においては、燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究において必要となる燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大を目的に、鋼材の材料評価データの取得と使用法の確立の検討を行うと共に、より広い温度範囲の材料評価技術等を確立し、必要なデータを取得して使用するために必要な技術基準の整備につなげるための検討を行う。

特に、主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための Cr-Mo 鋼を中心とした金属材料の開発を行うとともに、主として蓄圧器周辺機器(配管・バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のためのステンレス鋼等を中心とした金属材料の開発の開発を行い、それらの高圧水素下における強度、靱性、疲労特性等の材料評価データを水素脆化機構の解明と評価法の開発を平行して進めながら取得し、その耐水素性に応じた使用方法を確立するための検討を実施する。

#### 2. 研究開発目標

##### 2.1 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

簡便かつ短時間の試験で高圧水素機器の安全性評価が可能となるような評価試験方法を検討し、得られた評価試験結果に対してクライテリアを設けることで粗悪材が使用されることを防ぎ、水素ステーション用材料として安全性を確保する手法について提案を行う。また、機器の安全設計の面からもステーションユーザー、機器のメーカーや大学等の有識者とともに議論し、合理的設計に関する提言を本研究開発に反映させる。

##### 2.2 主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

###### (1) 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発

###### ① 高圧水素ガス用材料の高機能化と利用技術拡充

ステンレス鋼に関しては、引張強さは 520MPa 以上(望ましくは 800MPa 以上)、高圧水素ガス環境で水素脆化は軽微で、かつ経済性や製造性に優れる材料を目標とする。水素脆化特性に関して、水素中の引張・疲労特性が SUS316L と同等以上、さらに望ましくは $-40^{\circ}\text{C}$ 、圧力 70MPa 以上の水素ガス環境で水素の影響がほとんど無いことを目標とする。冷間加工材に関してはさらに高強度で、なおかつ同

等の水素脆化特性を有することを目標とする。溶接継手に関しても上記と母材と同等の強度で、かつ同等の水素脆化特性を有することを目標とする。

## ②国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発

本プロジェクトにて材料特性評価に使用する 45MPa 級および 99MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置、高圧水素中低ひずみ引張試験装置、内外圧疲労試験装置、高圧水素中小型疲労試験装置による材料評価試験法を確立し、JIS や ASTM 等の材料試験法に関する主要規格との差異、利点、欠点を整理するとともに、これらを勘案したうえで、国際標準化、規制見直しに資する評価試験法として提案する。

## ③高圧水素ガス用材料の金属学的評価

N 添加低 Ni 省 Mo ステンレス鋼(STH2)をはじめとするステンレス鋼において、高圧水素中材料試験材の破面および金属組織の観察・解析を行い、耐水素脆化特性を発現あるいは低下させる金属学的要因を明らかにすることを目標とする。本評価を通じて、高圧水素中材料特性データの信頼性および妥当性を検証し、使用可能鋼材拡大の合金設計に反映するとともに、関係各機関にデータを提供する。

## ④長期使用水素関連機器の解体調査

プロジェクト期間中に長期使用水素関連機器の調査機会や要望があれば、容器および配管類(液体および高圧水素)を中心に解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによる劣化の有無、程度を調査し、関係各機関にデータを提供する。

## (2) 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発

燃料電池自動車における高圧水素システム及び、水素ステーションにおける高圧水素用機器の高性能化、軽量化、省資源化によるコスト削減を目的として、高圧水素用継手・バルブ類を対象として、Mo を含有しないため省資源性に優れる SUS305 相当の高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼を開発し、関係各機関にデータを提供することで高圧水素環境下にて使用できる鋼材種類の拡大に努める。材料データの取得においては、高圧水素中小型疲労試験機等を用いて高圧水素環境下で使用するオーステナイト系ステンレス鋼の安全性・信頼性等に係る材料評価技術の開発を行う。

また、長寿命化を目的として高硬度オーステナイト系ステンレス鋼を開発し、関係各機関にデータを提供することで高圧水素環境下にて使用できる鋼材種類の拡大に努める。

さらに、長期使用水素関連機器の調査機会や要望があれば、継手及びバルブ類を中心に解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによる劣化の有無、程度を調査し、関係各機関にデータを提供する。

## (3) 低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究

簡便な水素環境下材料試験法を用いた対象材料の水素環境中の引張・疲労試験において、試験中にガスの圧力や種類を変える手法を確立すると共に、-200℃から常温、120℃までの水素環境中の特性を評価、引張試験中にガスの圧力や種類を変えた評価試験を行うことにより水素環境脆化に係る知見を得る。

。

### 3. 研究開発成果

#### 3.1 研究開発成果、達成度

##### (1) 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

###### ①水素ガス中の破壊挙動に関する検討の実施

水素蓄圧器においては、図 1 に示すように非破壊検査で検出可能な初期欠陥を想定したき裂進展評価を行い、供用中検査間隔の目安とされる余寿命評価を行い、安全性を確保している。その際には、水素助長割れが顕著になる前に運転を停止するとの考えから、水素助長割れ下限界応力拡大係数 $K_{IH}$ を基に限界き裂寸法を設定している。 $K_{IH}$ の評価方法としては、き裂進展開始時若しくはき裂進展停止時の特性から評価する方法が提案されている。

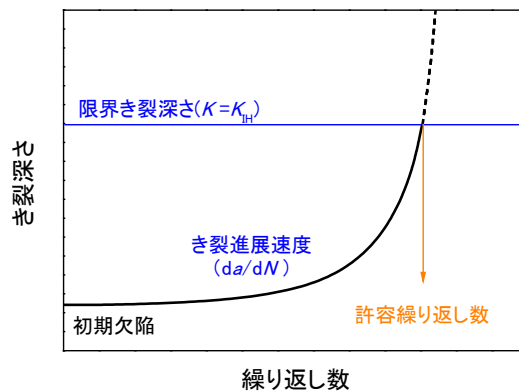


図 1 疲労き裂進展解析の模式図

蓄圧器用材料の一つである SNCM439 鋼を用いて、水素ガス中での破壊靱性試験（ライジングロード試験）及び ASME KD-10 に準拠した定変位遅れ割れ試験を実施し、 $K_{IH}$  を把握した。ライジングロード試験は、1T-C(T)試験片を用いて、大気中及び 90MPa 水素ガス中で、開口変位速度が 0.0002mm/s となるように制御して実施した。大気中及び水素中の荷重-変位曲線を比較し、両曲線の分岐点から  $K_{IH}$  を求めた。定変位試験は、1T-WOL試験片を用いて、酸素量を 1ppm 以下となるように制御したグローブボックス内でボルトロードにより荷重を負荷した。初期に負荷する  $K_I$  値は 70~140MPa・m<sup>1/2</sup> とし、90MPa 高純度水素ガス中に 1000 時間保持した。

各試験法により測定した  $K_{IH}$  と引張強さの関係を図 2 に示す。T.S.1000MPa 近傍では両測定法による  $K_{IH}$  はほぼ同等であるが、T.S.890MPa では測定法による影響が見られ、ライジングロード試験法は定変位試験法に比べて  $K_{IH}$  が小さい傾向である。試験方法によって  $K_{IH}$  が異なる要因として、定変位試験では進展き裂に生じる残留リガメントや塑性ウェイクの影響が指摘されており、これらの影響はき裂進展量が大きいほど大きくなると推察される。本測定結果を進展き裂長さ  $\Delta a$  と  $K_{IH}$  の関係で整理して図 3 に示す。定変位試験結果を  $\Delta a=0$  に外挿した値はライジングロードの結果と一致する傾向であり、これらをき裂進展に伴う影響を含まない  $K_{IH}$  と見なせば、ライジングロード試験と定変位試験は同等の  $K_{IH}$  となる可能性が考えられる。

また、試験後の破面観察結果を図 4 に示す。ライジングロード試験では粒界破壊と疑へき開破



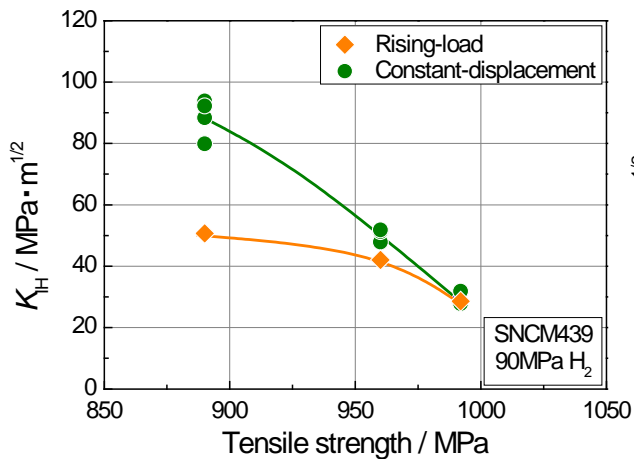


図2 引張強さと $K_{IH}$ の関係

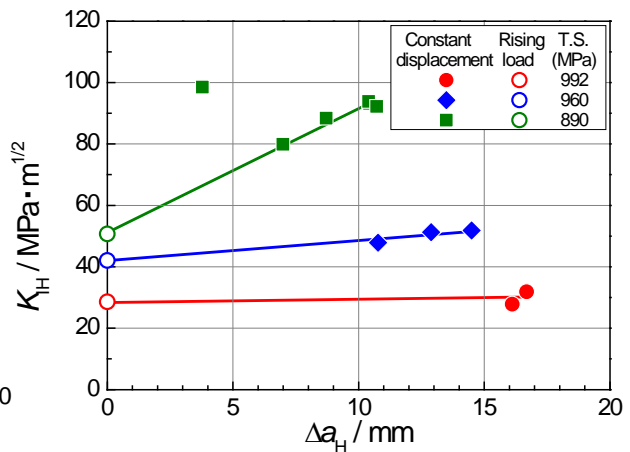


図3 水素中き裂進展量と $K_{IH}$ の関係

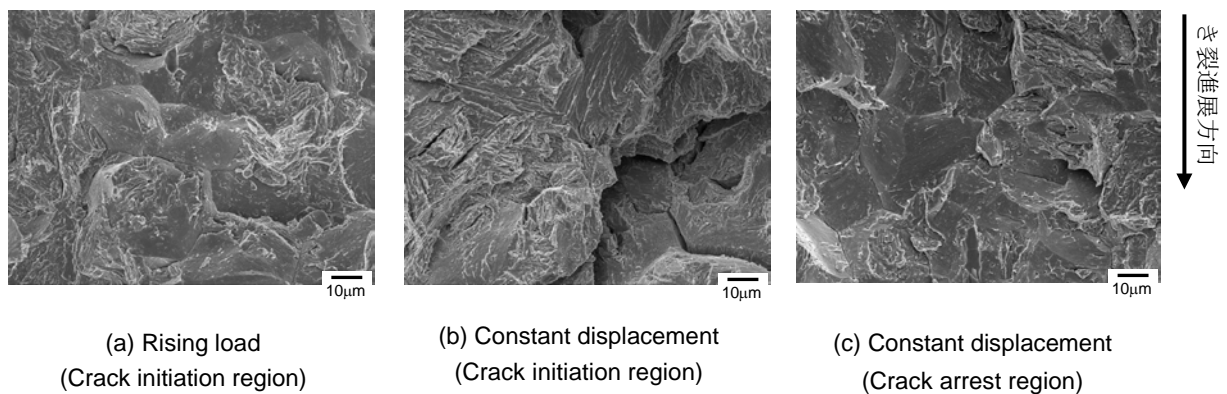


図4 破面観察結果

壊が生じており、水素脆性を示す破面形態であった。定変位試験では、 $K$ 値の大きいき裂進展開始域で擬へき開破壊の割合が多くなる傾向が見られたものの、き裂進展停止域の破壊形態はライジングロード試験とほぼ同じであった。

以上の結果から、水素蓄圧器の $K_{IH}$ の把握においては、1000 時間以上かかる定変位遅れ割れ試験ではなく、ライジングロード試験を用いることで評価を簡略化できる可能性が示された。

## ②水素中疲労特性に及ぼす非金属介在物の影響に関する検討の実施

蓄圧器用材料である SNCM439 鋼を用いて、水素ガス中での疲労強度に及ぼす非金属介在物の影響を把握する。供試材の化学成分を表 1 に示す。熱処理条件は、850°C油焼入れと焼戻しを施し、強度レベルを引張強さで 850~900MPa に調整した。非金属介在物量を表 2 に示す。脱酸手法や鋼中不純物レベルの違いなど製造方法に起因する違いにより、介在物の種類や量に違いのあることが確認された。

90MPa水素ガス中SSRT試験結果を図 5 に示す。いずれの材料も最高荷重点を超えてから破断しており、素材Aが最も延性に優れる結果であった。大気中疲労試験結果を図 6 に示す。大気中疲労特性に顕著な違いは見られず、いずれの素材も疲労限度と引張強さの比  $\sigma_w/\sigma_B$  は 0.5 以上と推定される。



表1 化学成分 (mass%)

素材	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
規格	0.36/0.43	0.15/0.35	0.60/0.90	≤0.030	≤0.030	1.60/2.00	0.60/1.00	0.15/0.30
A	0.42	0.22	0.81	0.017	0.002	1.81	0.85	0.26
B	0.40	0.26	0.80	0.005	0.004	1.90	0.84	0.25
C	0.40	0.27	0.80	0.012	0.014	1.74	0.74	0.23
D	0.41	0.26	0.82	0.022	0.010	1.60	0.79	0.15

表2 非金属介在物の面積率(JIS 点算法)

素材	非金属介在物の面積率 (%)		
	A系 (硫化物・シリケート系)	B系 (アルミナ系)	C系 (粒状酸化物系)
A	0.017	0.000	0.004
B	0.013	0.021	0.021
C	0.075	0.000	0.075
D	0.046	0.000	0.058

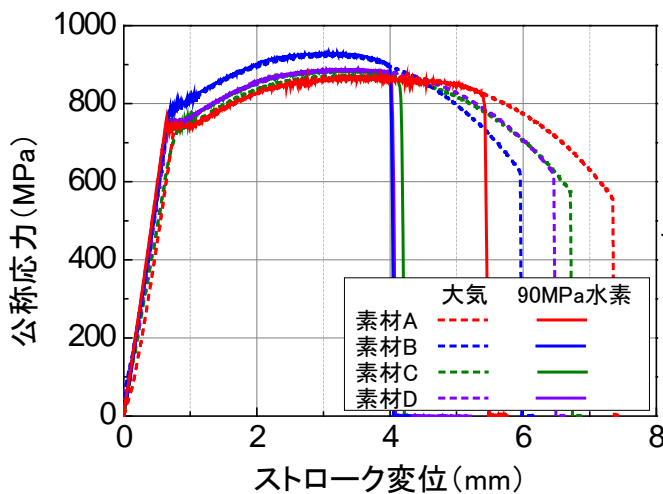


図5 SSRT 試験結果

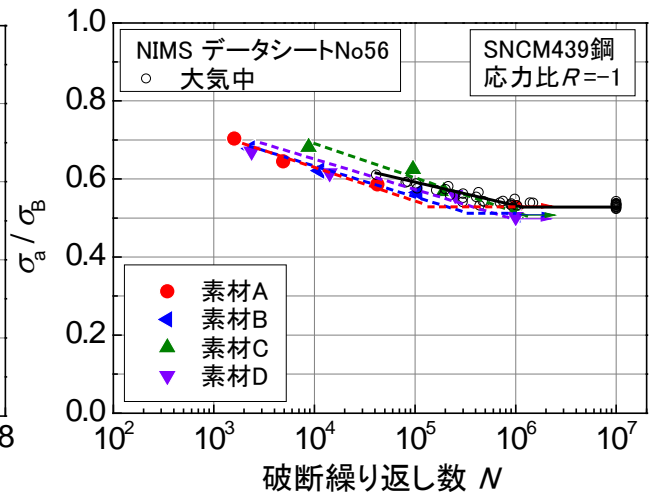


図6 大気中疲労試験結果

### ③ 低合金鋼ガイドライン作成に向けた取り組み

「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際標準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」に参画する石油エネルギー技術センター殿及び九州大学殿と連携し、Cr-Mo 鋼等を用いた蓄圧器製造のガイドライン作成に着手した。ガイドラインは国内の圧力容器に関する法規、技術基準及び海外の設計規格をベースとして蓄圧器の製造における技術課題を抽出し、これらの課題を整理して構成を検討していく予定である。

### ④ 設計係数低減に関する検討

低合金鋼を用いて超高压ガス設備に関する基準(KHKS 0220)を適用した設計係数低減水素蓄圧器を開発した。設計係数を低減することで、耐久性や安全性に影響を及ぼすことが懸念されるが、低合金鋼

における水素中データを充実させ、薄肉・軽量化による耐久性への影響を避けるため厳しい検査基準を設け、詳細な解析を実施することで、従来型の特徴である高耐久性や安全性を維持しつつ、重量は 2.9ton と従来型に比べ約 40%の軽量化を達成した(図 7)。



(a) 従来型蓄圧器

(b) 軽量化した蓄圧器

図 7 鋼製水素蓄圧器外観

(2) 主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

① 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大および関連評価技術の開発

a. 高圧水素ガス用材料の高機能化と利用技術拡充

高窒素ステンレス鋼HRX19 の溶接性を検討した。素材には、開発鋼であるHRX19 鋼(22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N)の固溶化熱処理板を用いた。表 3 に示す溶接材料を用いて 1G自動TIG溶接実験を行い、溶接継手の特性を評価した。図 8 に示す低ひずみ速度引張試験(Slow Strain Rate Test : SSRT)用試験片を採取し、常温の 90MPa水素中ならびに大気中でひずみ速度  $3 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$  で SSRT 試験を行い、水素中の破断伸び・絞りを大気中の破断伸び・絞りと比較した。図 9 に示す外圧疲労試験片を採取し、常温で外圧疲労試験を行った。内部充填ガスは水素またはArとし、内圧は 85MPa、外部の水圧をサイクルタイム 20s/cycle で変動させた。

表 3 溶接材料の化学成分 (mass%)

代符	化学成分 (mass%)
309MoL	0.01C-23Cr-14Ni-2Mn-2Mo
309Mo	0.1C-23Cr-14Ni-2Mn-2Mo
308N2	0.07C-21Cr-10Ni-2Mn
317LN	0.001C-20Cr-13Ni-2Mn-3.6Mo

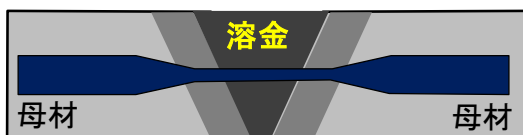
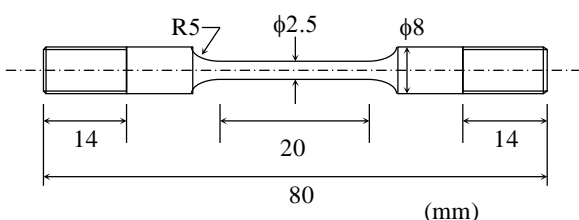


図 8 SSRT 試験片

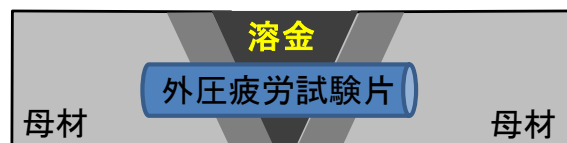
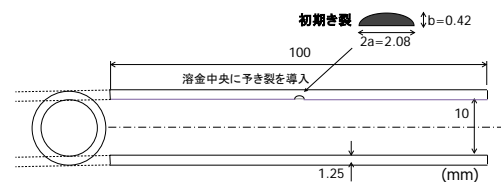


図 9 外圧疲労試験片

図 10 に SSRT の結果を示す。今回検討した溶接継手の相対破断伸び(水素中と大気中の破断伸びの比)、相対絞り(水素中と大気中の絞りの比)は 90%以上であり、良好な特性を示した。図 10 の横軸は溶接材料の化学組成で整理しており、実際の溶接金属の化学組成は母材の HRX19 の化学成分(Ni 当量 34)に近づくと推定される。図 11 に外圧疲労試験結果を示す。溶接継手は母材と同程度の疲労特性を示すことが確認された。

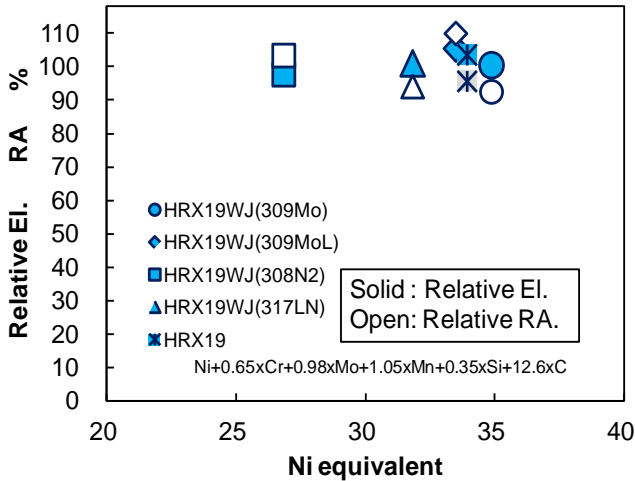


図 10 SSRT の結果

(Open : 相対破断伸び、Solid : 相対絞り)

$$Ni \text{ 当量} = Ni + 0.35Cr + 0.98Mo + 1.05Mn + 0.35Si + 12.6C$$

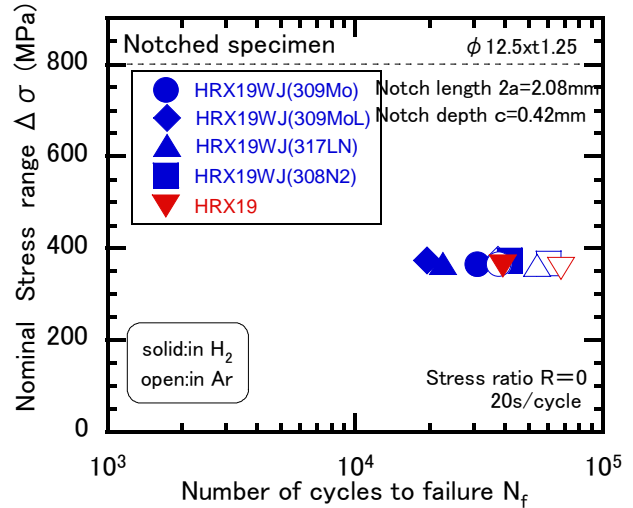


図 11 外圧疲労試験結果

素材には開発鋼である HRX19 鋼(22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N) の固溶化熱処理板を用いた。表 3 に示す溶接材料を用いて 1G 自動 TIG 溶接実験を行い、溶接継手の強度特性を評価した。各種溶接継手の引張強度と溶接金属中の窒素量の関係を図 12 に示す。窒素量と引張強度の相関を議論するため、余盛を削除した試験片を用いて評価している。溶接金属中の窒素量増加に伴い、溶接金属の引張強度は向上した。これより、溶接金属の高強度化には溶接金属中の窒素量を増加させることが有効であることが明らかとなった。オーステナイト系ステンレス鋼の引張強度には  $\delta$  フェライトの影響も考えられるため、溶接金属中の  $\delta$  フェライト量を比較した結果を図 13 に示す。溶接金属中の窒素量が約 0.15mass%では、いずれの溶接材料を用いた場合でも、5~8%程度の  $\delta$  フェライトを含有しており、同程度の窒素量および  $\delta$  フェライト量を含有することから、溶接金属の引張強さには窒素以外の固溶元素の影響があると考えられた。

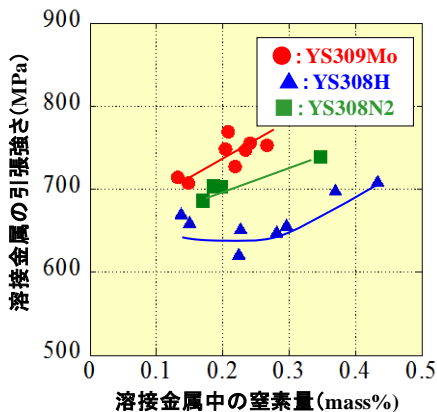


図 12 溶接継手の強度特性

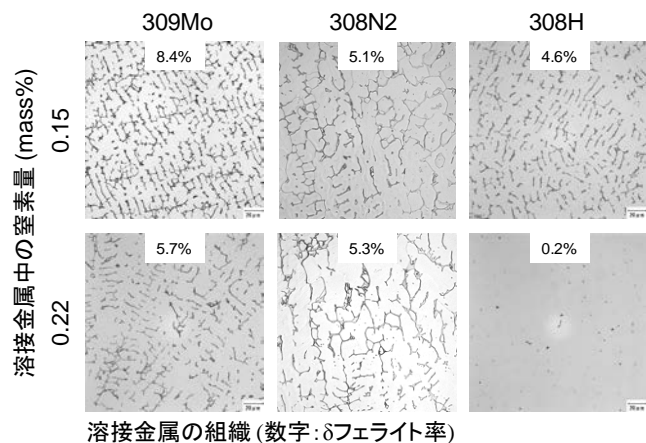


図 13 溶接金属の組織観察

## b. 低 Ni・省 Mo ステンレス鋼 STH2 の溶接性検討

低 Ni・省 Mo ステンレス鋼 STH2 においても同様に溶接継手の作製を行い、その耐水素ガス脆化特性をはじめとする諸特性データ取得を進める予定である。

## c. 低 Ni・省 Mo ステンレス鋼 STH2 の耐水素ガス脆化特性

前事業において、開発鋼である STH2 の 90MPa までの高圧水素ガス中における引張特性・疲労き裂伝ば特性・高サイクル疲労特性のデータ取得を完了し、STH2 は優れた耐水素ガス脆化特性を有していることを確認した。一方、fcc 金属の耐水素ガス脆化特性は、オーステナイト相安定度の高い領域で低下する場合もある。したがって、オーステナイト相安定度の高い STH2 上限成分の耐水素ガス脆化特性を評価するため、ベース成分(Fe-15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu-0.18N)と上限成分を真空溶解により準備した。今回評価した真空溶解材は STH2 の上限成分に相当し、符号 1A, 2A, 3A は、Mn, Ni, Cu, N をそれぞれ 10%、7%、3%、0.2%まで高め、Cr 量を 15~17%の範囲で変化させた。これら真空溶解材は、熱間鍛造・熱間圧延により 15mm 厚熱延板とし、1100℃で 4 分間の溶体化熱処理を施して SSRT に供した。

SSRTは、固溶化熱処理材の板厚中心付近から丸棒引張試験片(平行部 7mmφ, 35mm長)を採取し、-40℃の大気中および 90MPa水素ガス中で実施した。歪速度は大気中  $8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、水素ガス中  $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  とした。

図 14 に SSRT の結果を示す。1A、2A、3A は、大気中と比較して 90MPa 水素ガス中でベース成分と同様に高い伸びを示した。同材の相対伸びと相対絞りはともに 100%以上となり、水素ガス脆化は皆無であった。これより、STH2 において、Cr、Mn、Ni、Cu、N 量を高めることによる耐水素ガス脆化特性の低下は生じないことを明らかにした。

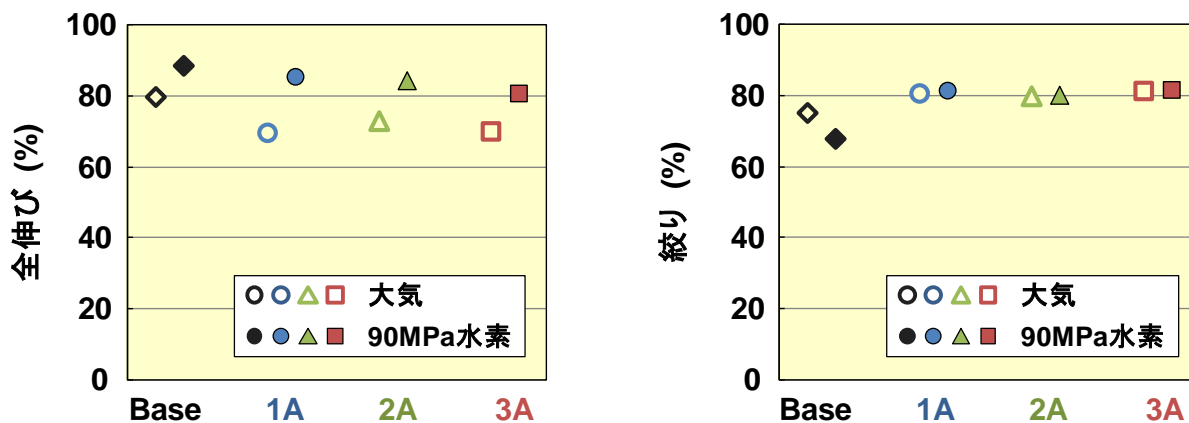


図 14 オーステナイト相安定度を高めた STH2 の -40℃・90MPa 水素中における全伸びおよび絞り。(Base 成分(Fe-15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu-0.16N)に対し、符号 1A, 2A, 3A は Mn, Ni, Cu, N を各々 10%, 7%, 3%, 0.2%まで高め、Cr 量を 15~17%の範囲で変化させている。平行部 7mmφ, 35mm長の丸棒を使用。歪速度は水素中  $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、大気中  $8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 。)

また、現在、国内水素ステーションの使用鋼材として SUS316L が例示基準化されており、その使用可能圧力・温度範囲は Ni 当量によって規制されている。これら Ni 当量は  $\text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.98\text{Mo} + 1.05\text{Mn} + 0.35\text{Si} + 12.6\text{C}$  で表わされる平山の式で評価されており、オーステナイト相の安定度を高める Cu、N の影響は未考慮である。そこで、将来の水素用材料の鋼種拡大の一貫として、耐水素ガス脆化

特性におよぼすCu, N添加の影響を評価した。Fe-15Cr-9Mn-6Ni鋼をベースに 0~3%Cuおよび 0.0~0.2N量の変化鋼を真空ラボ溶解で準備した。供試材は、真空溶解材より作製した厚さ 1mmの冷延鋼板とし、冷延鋼板は 1100°Cで 30 秒間の固溶化熱処理を行った。SSRTには圧延方向より採取した平行部長さ 20mm、幅 4mmの板状引張試験片を使用した。試験の温度は室温で、雰囲気は大気および 90MPa水素ガスとした。歪速度は大気、水素ガスとも  $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  で一定とした。耐水素ガス脆化特性は相対絞り（水素中と大気中の比）で評価し、絞りはSEMの破面観察を行って求めた。

図 15 に Ni 当量と相対絞りの関係を示す。相対絞りは、平山の式から、Cu と N の係数を反映した三加の式で整理できることを確認した。すなわち、相対絞りは、ベース成分の Ni 当量=27.8 の場合、43%程度にとどまるが、Cu および N 添加により Ni 当量が 28.5~30.0 の範囲で増加した。また、図 16 に水素ガス中引張試験片における破面観察の一例を示す。Ni 当量=27.8 の場合は擬へき開破面に対して、Ni 当量=30.0 ではディンプルの延性破面へと変化した。以上より、Cu および N の添加は、耐水素ガス脆化特性の向上に有効であり、Ni 当量と相対絞りの関係は Cu と N の係数を反映した三加の式で整理できることを明らかにした。今後は $-40^{\circ}\text{C}$ ,90MPa 水素ガス中においても同鋼の評価を行う計画である。

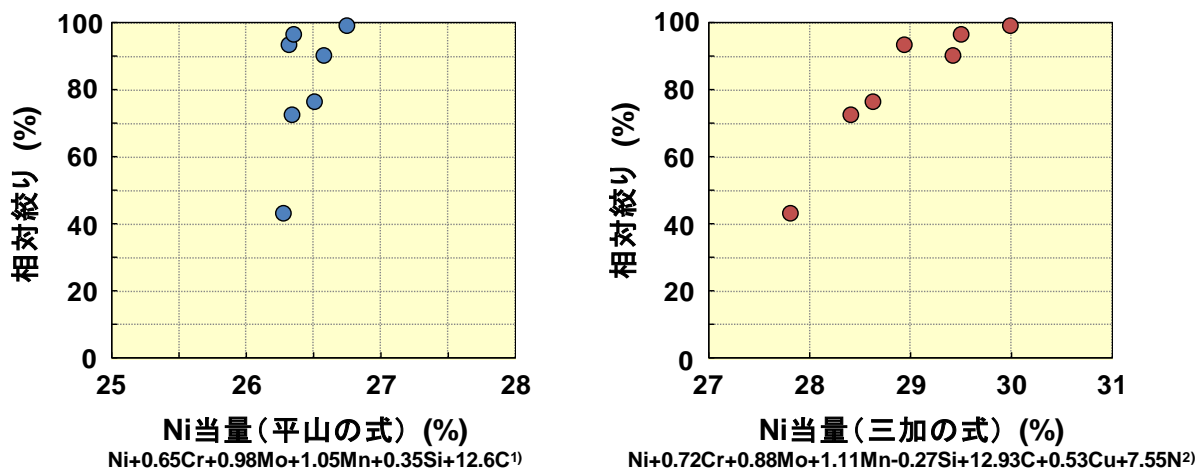


図 15 室温における相対絞り と Ni 当量の関係。

(Fe-15Cr-9Mn-6Ni 鋼をベースに Cu および N を変化させている。平行部長さ 20mm、幅 4mmの板状引張試験片を使用。歪速度は大気、水素ガスとも  $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。)

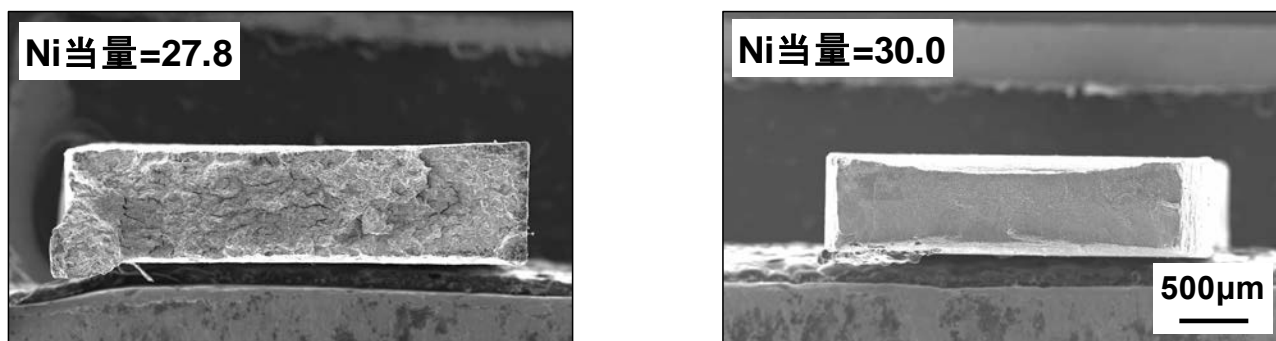


図 16 Ni 当量(三加の式)が 27.8 と 30.0 の場合の室温・90MPa 水素中破面

②高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発

a. Mo フリー高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発



Mo を含有せず省資源性に優れている高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の研究開発を進めている。VIM 溶解炉を用いて 30~50kg 鋼塊を作製し、ソーキング熱処理(1250℃、空冷)を施した。さらに、鍛伸加工により直径 20mm の丸棒形状として、固溶化熱処理(1040℃、水冷)を施して固溶化熱処理状態の供試材を得た。加えて機械加工により丸棒の直径を調整した後に冷間引抜加工を行うことで、直径 15mm の冷間引抜状態の供試材を得た。供試材の化学成分を表 4 に示す。供試材は SUS305 をベース鋼としつつ、低温における加工誘起マルテンサイトの生成抑制等に着目し、高圧水素環境における延性の低下を抑制するべく成分設計を実施している。

表 4 供試材の化学成分(%)

溶解番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	N
Ch. 131	0.08	0.46	1.20	12.86	18.85	0.09
Ch. 132	0.11	0.46	1.20	12.85	18.88	0.09
Ch. 133	0.08	0.96	1.87	12.88	18.81	0.10
Ch. 134	0.03	0.46	1.18	12.87	18.81	0.03
Ch. 135	0.11	0.95	1.89	12.87	18.84	0.09
Ch. 141	0.12	0.96	1.91	12.85	18.98	0.01
Ch. 142	0.11	0.95	1.85	12.87	18.97	0.02
Ch. 143	0.10	0.95	1.86	12.84	19.03	0.01

得られた供試材について、低温引張試験、高圧水素中低ひずみ速度引張試験(Slow Strain Rate Test,SSRT)、高圧水素中 4 点曲げ疲労試験等を実施した。低温引張試験および、高圧水素中低ひずみ速度引張試験においては、図 17 に示す形状の引張試験片を用い試験を実施した。高圧水素中 4 点曲げ疲労試験においては、図 18 に示す試験片を用い、図 19 に示す支点間距離にて試験を実施した。尚、高圧水素中低ひずみ速度引張試験は、0.0001mm/秒のストローク速度にて、室温と 90℃と 210℃の 85MPa 水素中および、-40℃の 70MPa 水素中において実施した。また、比較条件として、室温と 90℃と 210℃の大気圧大気中および、-40℃の大気圧窒素中においても低ひずみ速度引張試験を実施した。また、高圧水素中 4 点曲げ疲労試験は、室温 91MPa 水素中および、大気圧大気中にて実施した。

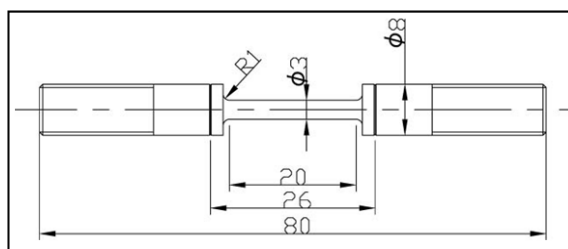


図 17 引張試験片の形状

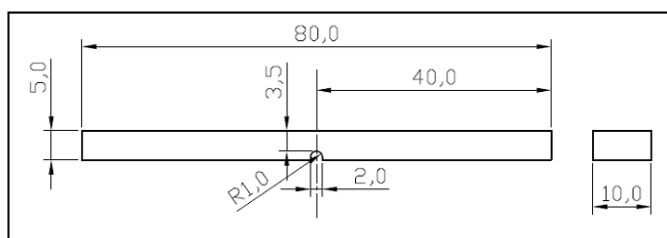


図 18 4 点曲げ試験片の形状

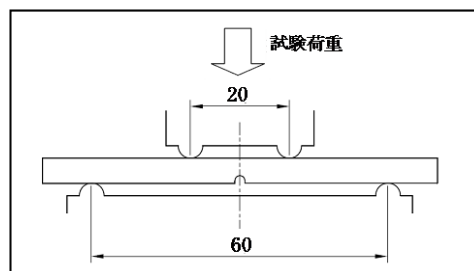


図 19 4 点曲げ試験における支点間距離

図 20 に-45℃のシリコンオイル中における低温引張試験の試験後試験片の破面近傍における比透磁率と、化学成分の指標値である Ni 当量の関係を示す。Ni 当量が低い Ch.134 を除く、Ni 当量 27.5~29.1 の供試材において、加工誘起マルテンサイト相(磁性相)の生成が抑制されており、広い成分範囲に

において高圧水素環境における良好な延性が期待できる。

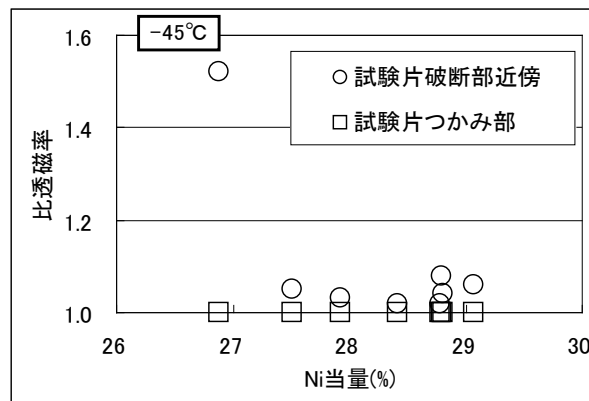


図 20 低温引張試験後の試験片における比透磁率と Ni 当量の関係

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

Ni 当量式の出典: 平山俊成、小切間正彦 日本金属学会誌 34 (1970) 507-510

図 21 に、高圧水素中低ひずみ速度引張試験における、試験温度と相対絞りの関係を示す。Ch.131 および、Ch.141 は共に、 $-40^{\circ}\text{C}$ の高圧水素環境においても延性の低下は少なく、広い温度範囲において、開発目標としている SUS316L と同等である相対絞り 0.8 以上の、優れた延性が認められる。

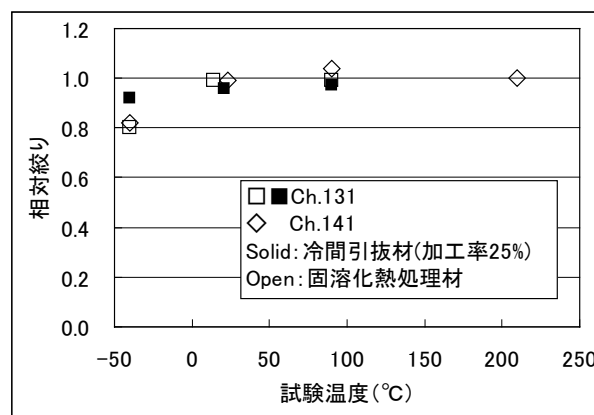


図 21 高圧水素中低ひずみ速度引張試験における、試験温度と相対絞りの関係

図 22 に、供試材 Ch.131、Ch.132 および、Ch.135 の冷間引抜材の高圧水素中 4 点曲げ疲労試験における、試験荷重と繰り返し回数の関係を示す。尚、供試材の引張強さはそれぞれ異なるため、試験荷重は引張強さで除した値を示している。図 23 に代表例として Ch.132 の冷間引抜材における疲労試験後の破面を示す。室温 91MPa 水素中における試験片の破面と、大気圧大気中における試験片の破面を比較して、差異は認められない。

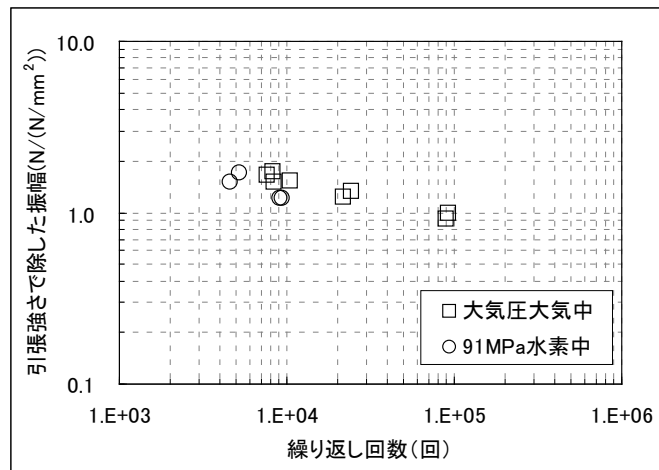


図 22 高压水素中 4 点曲げ疲労試験の結果

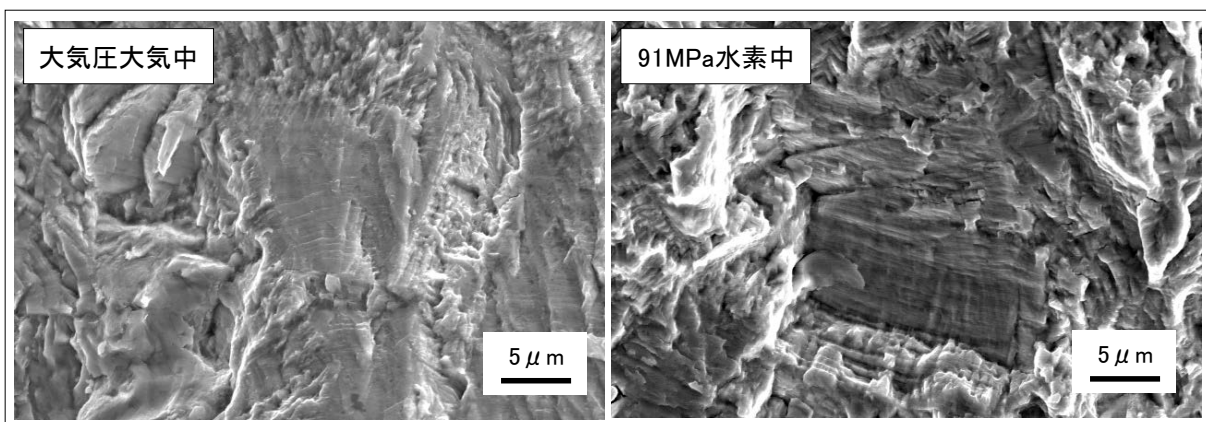


図 23 4 点曲げ疲労試験後の試験片における破面

#### b. 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発

安価な添加元素である炭素を用いて硬度を高めた高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発の取り組みを進めている。VIM 溶解炉を用いて 30kg 鋼塊を作製し、ソーキング熱処理(1250℃、空冷)を施し、鍛伸加工により直径 20mm の丸棒形状として、固溶化熱処理(1040℃、水冷)を施して固溶化熱処理状態の供試材を得た。供試材の化学成分を表 5 に示す。

表 5 供試材の化学成分(%)

溶解番号	C	Si	Mn	Ni	Cr	N
Ch. 141	0.12	0.96	1.91	12.85	18.98	0.01
Ch. 145	0.20	0.96	1.88	12.48	19.43	0.01
Ch. 146	0.40	0.95	1.87	12.55	19.64	0.01

図 24 に、固溶化熱処理状態の供試材における、C 濃度と硬さの関係を示す。C 濃度の増加により、硬さの増大がみとめられる。室温にて圧縮試験を行い、ひずみによるマルテンサイト組織(強磁性組織)の生成の有無を調査した結果を図 25 に示す。尚、図中の応力は摩擦の影響を補正した後の値を示している。試験結果より、20%のひずみを付与した場合においても、試験後試験片の透磁率は 1.00 であり、オーステナイトの安定性が確認された。さらに、固溶化熱処理状態の供試材を-70℃大気中に 2 時間保持した後に比透磁率を測定することで、低温におけるマルテンサイト相(強磁性相)の生成の有無を調



査した。その結果、 $-70^{\circ}\text{C}$ にて保持した後においても透磁率は 1.00 であり、オーステナイト相の安定性が確認された。

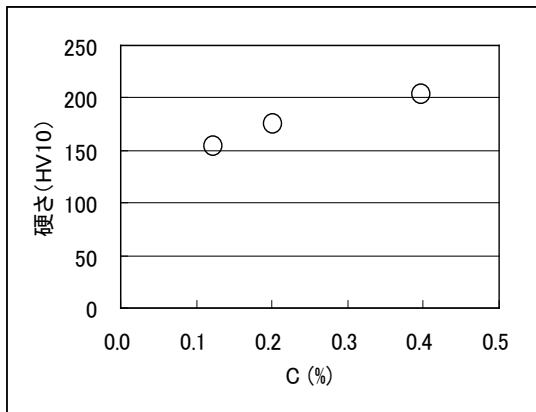


図 24 固溶化熱処理材の C 量と硬さの関係

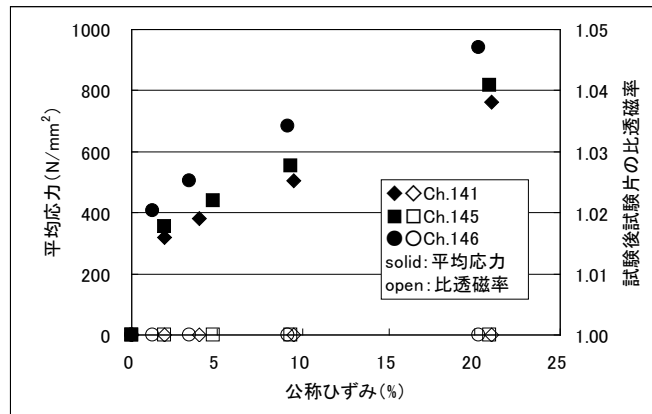


図 25 圧縮試験後の試験片における比透磁率

### c. 長期使用水素関連機器の解体調査

大黒水素ステーションにおける継手・バルブ類の解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによる劣化の有無を調査した。

### ③低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究

#### a. 共通試験材の特性評価

図 26 に示す装置を用いて高 Ni と低 Ni の SUS316L の室温から低温にかけての特性評価を実施した。

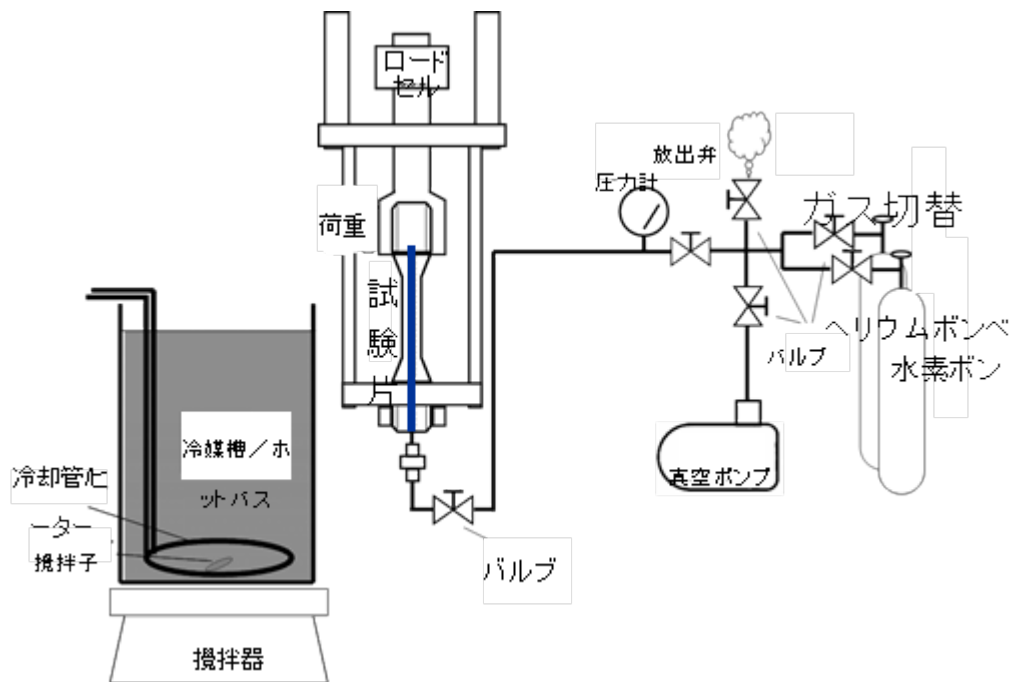


図 26 冷媒槽／オイルバスを使った簡便な低温／高温水素環境中試験

図 27 に低 Ni316L 材の各温度における 70MPa 水素中とヘリウム中の引張曲線と破断面を、図 28 に各温度における高 Ni SUS316L 材と低 Ni SUS316L 材の絞りの結果、として絞り比及び絞りとフェライト量の変化を示す。

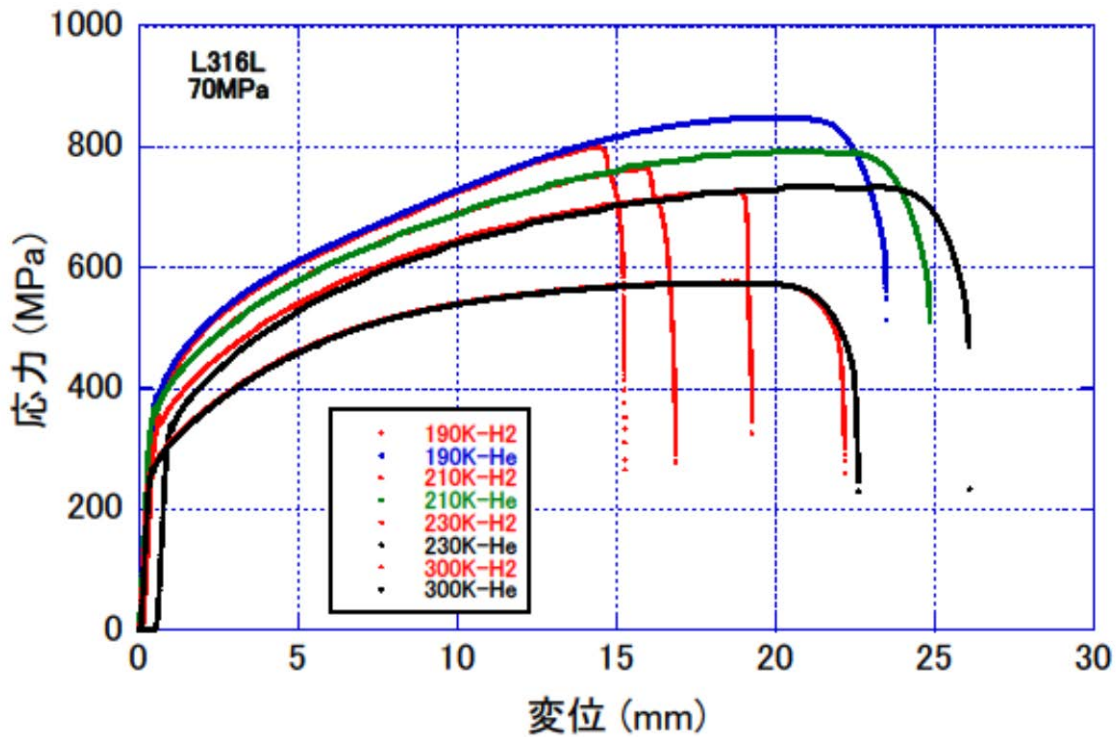


図 27 低 Ni316L 材の各温度における 70MPa 水素中とヘリウム中の引張曲線と破断面

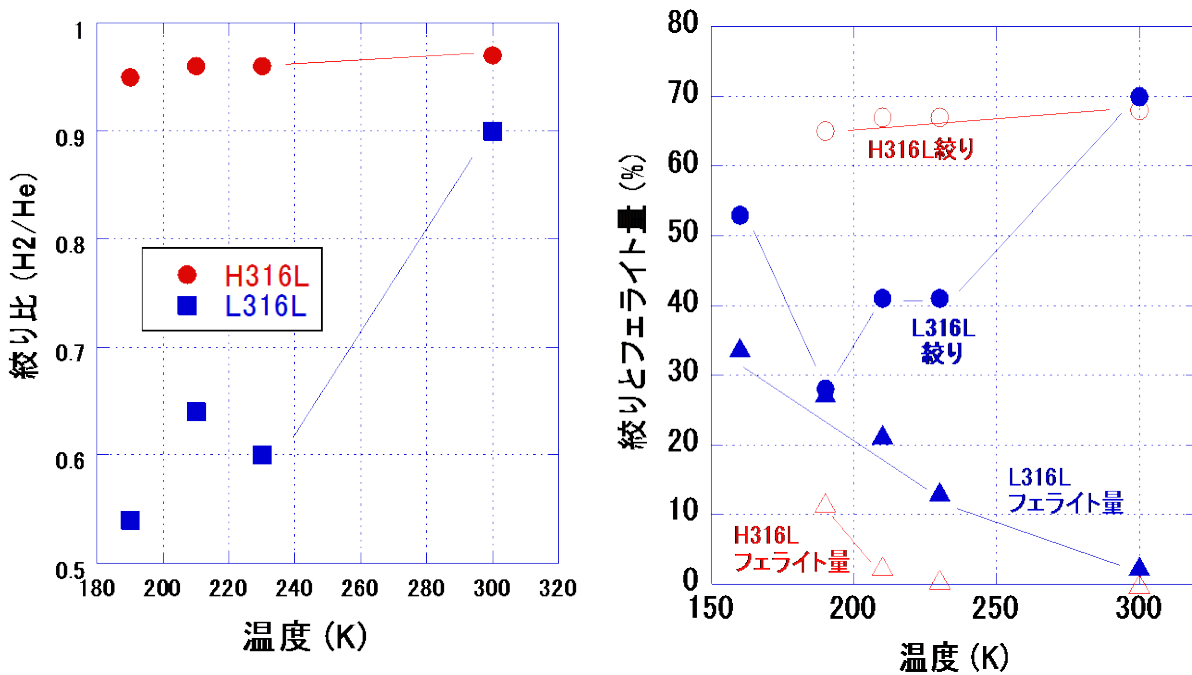


図 28 各温度における高 Ni SUS316L 材と低 Ni SUS316L 材の絞りの結果、a) 絞り比、b) 絞りとフェライト量

高 Ni316L 材は、190K の低温においても水素の影響は小さく、絞りは 70%近くで絞り比は 0.95 以上である。低 Ni SUS316L 材は、室温にでは絞りが 70%で絞り比も 0.9 であるが、低温では水素の影響は大きく、絞り比も 0.6 以下となる。また、この低 Ni316L では、材料の組織の異方性があり、水素の影響によるき裂の進展が進み易い方向があり、破断前に内部からの亀裂が表面に達し、内部の高圧水素が漏れて抜けてしまい水素の影響がほとんどなくなり、その後は延性的に絞れるためもあって破断面が楕円形となり、長軸と短軸の平均ではなく長軸側の寸法を破断直径とすると、絞りと相対絞りの値は図 28a)に示すように、さらに小さくなる。

水素が材料に影響を及ぼす臨界の応力または変形量を推察する知見を得るため高圧水素環境中での引張試験の途中でヘリウムに置換する試験では、水素環境中でも伸びのある材料として低 Ni316L 材を用い、水素環境では 0.2%耐力前で破断し応力の影響を評価する材料として SUS630 を用いた。

図 29 の低 Ni316L 材では、11MPa 水素環境中での最高荷重点でガス置換をした。ガス置換には 5 分ほど要し試験機の変位を止めてる間、若干荷重が低下し、その後、荷重が水素環境中での最高荷重より増加し、ヘリウム中とほぼ同じ応力-変位曲線を示し、得られた伸びも絞りもヘリウム中とあまり変わらないことから、低 Ni316L 材では水素中の最高荷重点まで影響がないと考えられる。

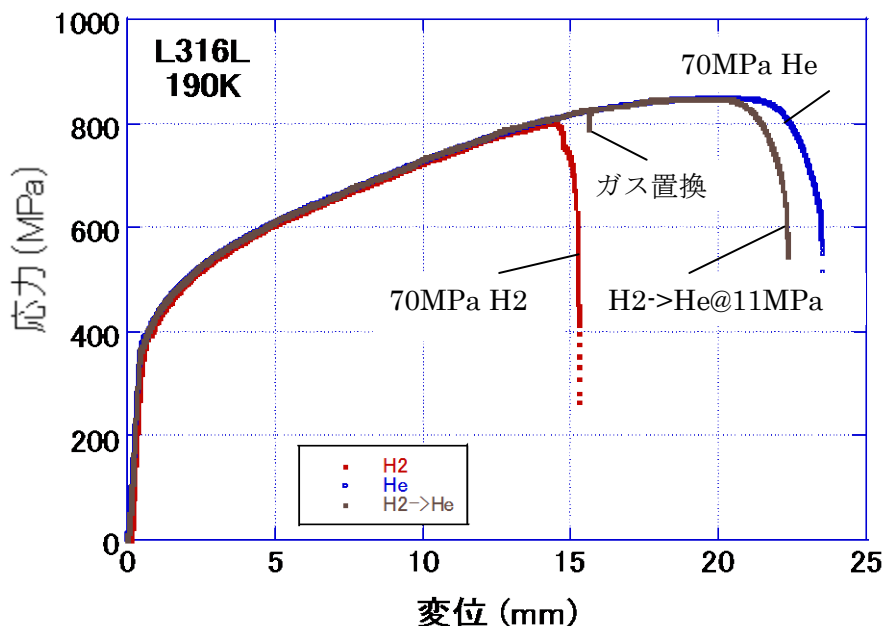


図 29 低 Ni316L 材の 190K において水素中の最高荷重点でヘリウムガスに置換した引張曲線

図 30 の SUS630 では、室温では 11MPa 水素中において 1236MPa で破断したことから、1000MPa、1100MPa、1200MPa でガス置換をしたが、1000MPa と 1100MPa では、ガス置換後に水素の影響は見られなくなった。1200MPa では、変位を止めガス置換をするため水素を抜くまでの数秒の間に、き裂が表面に達し、水素が漏れて抜けた。過去の実験からこの材料は-10℃から-40℃辺りで水素中での強度が最も小さくなるので-10℃で試験を行った。水素中では 1000MPa または 832MPa 付近で破断したので、752MPa でガス置換をしたら水素の影響が認められなくなった。

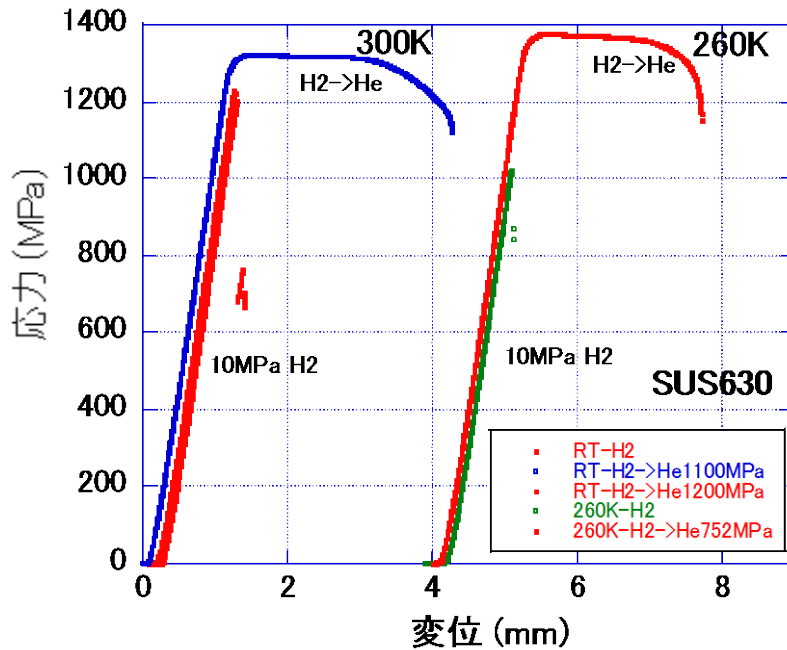


図 30 SUS630 の室温と 260K において 0.2%耐力の 80%で H2 から He に置換した引張曲線

### 3.2 成果の意義

#### (1) 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

水素ステーションで Cr-Mo 鋼を安全に使用出来るようにするため、低合金鋼ガイドラインの作成に携わり、必要な材料データの採取と製造メーカーとしての知見を反映させた。低合金鋼のガイドラインが発行されると、水素中において低合金鋼を安全に使用するための設計指針が示され、様々な事業者が製造可能となるため、素材の低コスト化を経て将来的に市場の拡大につながるものと考えられる。

一方、設計係数を低減した軽量化蓄圧器においては、水素ステーション建設費等の低コスト化に寄与し、普及拡大に貢献できるものと考えられる。

#### (2) 主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

水素社会インフラ基盤構築に向けて、HRX19 を使用する上で必要と思われる利用技術データの拡充を中心に高圧水素中の各種データの蓄積中が進んでいる。特にフィルターを用いた溶接継手およびフィルターを用いない溶接継手の水素中のデータの拡充を実施し、実用化に資するデータを取得中である。一方、水素ガス脆性の指標として N,Cu の影響を反映した Ni 当量式の提案に資する材料特性データを取得中であり、水素環境用鋼種拡大に寄与するものである。

Mo を含有しないため省資源性に優れる SUS305 相当の開発鋼の安全・安心に資するデータを取得した。得られたデータは、関係各機関に報告すると共に、学術論文として公表している。また、炭素を用いて硬度を高めた高硬度オーステナイト系ステンレス鋼において、C 添加による硬さとオーステナイトの安定性の両立に関し、実現可能性が確認できた。更に長期使用水素ステーションにおける継手・バルブ類の解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによると考えられる異常のなきことを確認し、信頼性の裏付けを取ることができた。

また、低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究においては、水素の安全利用のための貴重な基盤データとして参照され、安全基準の制定等に大きく貢献することができる。

### 3.3 成果の最終目標の達成可能性

#### (1) 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

水素中評価試験による知見を盛り込み、安全な機器の製造に必要な素材条件及び設計条件をガイドラインに反映させ、平成 27 年度に構成策定、平成 29 年度に JPEC の技術文章として発行することで目標達成が可能な見込みである。

#### (2) 主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

HRX19 の利用技術データ拡充(溶接性等)については、フィラー/ノンフィラー溶接継手の水素脆化特性が母材と同等であることを確認できており、種々の実使用条件に即した環境における水素中のデータを拡充し、水素社会インフラ基盤構築に向けて材料メーカーとして協力することを目標に、種々溶接条件での高圧水素中データを蓄積することにより、KHK などの事前評価に対応することが可能となり、目標達成が可能な見込みである。

STH2 の Ni 当量式拡張のための成分評価については、Cu および N 添加量増加により室温の耐水素ガス脆化特性が向上することを確認できており、 $-40^{\circ}\text{C}$ において同じ傾向が得られるかを確認することを目標に $-40^{\circ}\text{C}$ における SSRT 試験および金属組織解析により達成可能である。また、SUS316L(Ni 当量 $\geq 28.5$ )および STH2 の溶接性に係わる利用技術データ拡充 SUS316L (Ni 当量 $\geq 28.5$ ) は拡散接合後も良好な耐水素ガス脆化特性を有することを確認しており、利用技術データの評価の継続により実用的な利用技術データの拡充を図る目標が達成できる見込みである。

Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼や高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発については、各々材料データの取得は順調に進行しており、前者においては今後高圧水素中の疲労試験データ取得により、後者においてはさらなる引張特性データの取得を行うことにより、最終目標は達成可能な見込みである。

低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究については、計画どおりに実験が進行しており、水素環境脆化機構解明の元となるデータを提供する目標は達成可能な見込みである。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究開発は燃料電池自動車や水素ステーションにおいて使用される耐水素環境性に優れた鉄鋼材料を広く提供可能となることを目標として、蓄圧器に使用される材料として低合金鋼を、主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に使用される材料としてステンレス鋼を各々開発対象鋼種として、使用可能な鉄鋼材料の種類を拡大することを目標として実施されている。

主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材に関しては、蓄圧器に使用される低合金鋼の水素環境中での安全性評価手法として、水素助長割れ下限界応力拡大係数 $K_{IH}$ の測定方法について検討し、低合金鋼ガイドライン作成のためのデータ提供を行った。低合金鋼ガイドラインは、従来の基準をベースに水素環境において使用するために必要な部分のデータを補強することにより、低合金鋼を水素環境中で安全に使用するためのものであり、今後整備を進め、平成 29 年度には文書として発行される予定である。

また、設計係数低減して安全性確保や疲労強度低下抑制を備えた軽量の蓄圧器を開発し、実機製造までに至った。今後は耐久性に優れた蓄圧器の普及拡大を目指して更なるコスト低減について検討を進める。

主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材に関しては、

- 種々の溶接条件により HRX19 溶接継手を作製し、高圧水素ガス中において水素脆化特性を評価した結果、高圧水素中において水素脆化感受性は極めて低いことが判明。さらに、溶接継手の強度特性は固溶窒素量以外の固溶元素の影響も効果的であることが判明。
- STH-2 の Cu と N 添加量増加により室温における耐水素ガス脆化特性が向上することを確認。
- SUS316L(Ni 当量 $\geq$ 28.5)は拡散接合後も良好な耐水素ガス脆化特性を有することを確認。
- Mo を含有しない SUS305 相当鋼に関して高圧水素環境中における安全性を確認すると共に同種鋼において、C 添加が硬度上昇とオーステナイト相の安定化に効果があることが判明。
- 共通試験材として高 Ni の SUS316L と低 Ni の SUS316L について、室温 $\sim$ 160K における 70MPa 水素環境中引張試験を行い、各材料の水素と温度の影響を確認した。

等の成果が得られている。今後は開発材料の基準化・標準化に向けて必要な材料データの取得を進めると共に、鋼材を使用する側が必要とする溶接に代表される利用技術に関する技術データの蓄積を進める。

事業化については、開発鋼種の実用化推進と用途拡大による使用量増加が目標となるが、そのためには開発鋼種の水素環境用材料としての基準化・標準化の実現が大きな原動力となると考えられ、その実現に向けて関係機関と連携して取り組んで行く予定である。特に、現事業においては、「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」（石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、九州大学）と連携し、各種委員会への出席・討議や試験材の提供、等において相互協力しながら進めており、今後も連携を一層強化して効率良く水素環境用鋼種の拡大に取り組む予定である。

以上のような水素環境で使用される材料評価データの蓄積とこれに基づく使用法の確立は、今後の燃料電池自動車及び水素供給インフラの本格的な普及に向けて、より安価で信頼性の高い鉄鋼材料を提供する上で意義深く、将来の水素社会の構築に大いに貢献するものである。

## 5. 研究発表・特許など

### －研究発表・講演、文献等、その他－

#### 【日本製鋼所】

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	H26年3月	日本鉄鋼協会第 167 回春季講演大会	高強度低合金鋼の水素助長割れ下限応力拡大係数の評価	柳沢祐介
2	H26年11月	水素ワークショップ（韓国）	Hydrogen Assisted Cracking Threshold of High-Strength Low-Alloy steel	柳沢祐介
3	H26年11月	水素ワークショップ（韓国）	MATERIAL SELECTION AND SAFETY VALIDATION OF STEEL TANKS FOR HYDROGEN STATIONS	和田洋流
4	H26年12月	平成 26 年度日本鉄鋼協会北海道支部冬季講演大会	耐水素脆性に優れる高強度オーステナイト鋼の開発	佐藤慎也
5	H27年3月	日本鉄鋼協会第 169 回春季講演大会	高圧水素機器用高 Mn 非磁性鋼の開発	佐藤慎也
6	H27年5月	HPI 春季講演大会	高強度低合金鋼の水素助長割れ下限応力拡大係数の評価	柳沢祐介
7	H27年5月	JRCM ニュース	蓄圧器用部材の水素助長割れ下限応力拡大係数の評価	柳沢祐介
8	H27年6月	学振 129 委員会第 112 本委員会	水素ステーション蓄圧器の開発と安全性評価	柳沢祐介
9	H27年7月	ASME PVP 2015	HYDROGEN-ASSISTED CRACKING THRESHOLD OF HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY STEEL	柳沢祐介

【新日鐵住金、(共同実施先)新日鐵住金ステンレス】

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	H25年12月	溶接学会論文集 第31巻第4号 (2013), 264-251.	オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の水素脆化に及ぼす化学成分および組織の影響	平田弘征, 大村朋彦, 浄徳佳奈, 中村潤, 小薄孝裕,
2	H25年4月	燃料電池 Vol. 12, No. 4 (2013) 70-74.	水素エネルギー用低Ni省Mo型ステンレス鋼の開発	秦野正治, 高橋明彦, 松本和久, 藤井秀樹, 大宮慎一
3	H25年7月	Proceedings of ASME PVP2013	Mechanical Properties of High Nitrogen – High Strength Stainless Steels in High Pressure Gaseous Hydrogen Environment	J. Nakamura, T. Omura, Y. Tomio, H. Hirata, M. Terunuma, E. Dan and T. Osuki
4	H25年7月	Proceedings of ASME PVP2013	Mechanical Properties of a New Nitrogen-strengthened Stainless Steel with Reduced Amount of Ni and Mo in High Pressure Gaseous Hydrogen	K. Matsumoto, S. Ohmiya, H. Fujii and M. Hatano
5	H25年10月	「水素脆化研究の基盤構築」 研究会報告書 (2013) 31-34.	ステンレス鋼の水素脆化と $\gamma$ 相の変形組織について	秦野正治、藤井秀樹、 大宮慎一、藤浪真紀、 南雲道彦
6	H25年12月	日本金属学会誌 第77巻第12号 (2013) 593-598.	水素エネルギー用低Ni省Mo型オーステナイト系ステンレス鋼の変形組織	秦野正治、高橋明彦 藤井秀樹、大宮慎一
7	H26年1月	MATERIAL STAGE Vol. 13, No. 10 (2014), 18-20.	N添加した低Cr, Ni省Mo型水素環境用ステンレス鋼の耐水素脆化特性	松本和久, 秦野正治, 大宮慎一, 藤井秀樹
8	H26年9月	溶接学会全国大会	高窒素含有22Cr-13Ni-5Mn-2Mo-Nb、Vステンレス鋼溶接継手性能	浄徳佳奈、中村潤、 平田弘征、大村朋彦、 小薄孝裕、照沼正明
9	H26年9月	日本鉄鋼協会第168回秋季講演大会	ステンレス鋼の水素脆化特性に及ぼす表面水素濃度の影響	大村朋彦ほか
10	H26年10月	材料と環境	高圧水素ガス環境における低合金鋼の水素吸蔵挙動	大村朋彦ほか
11	H26年11月	JRCM NEWS No. 337 (2014), 2-4.	高圧水素用高強度高窒素ステンレス鋼の開発	大村朋彦
12	H26年12月	溶接構造シンポジウム2014	水素インフラ用高強度高窒素ステンレス鋼の溶接性	浄徳佳奈 中村潤 平田弘征、大村朋彦、 小薄孝裕、照沼正明
13	H27年3月	JRCM NEWS No. 341 (2015), 2-4.	水素エネルギー用低Ni省Mo型ステンレス鋼の開発	秦野正治
14	H27年3月	鉄鋼協会第169回春季講演大会	SUS316Lの引張特性におよぼす温度と水素チャージの影響	松本和久 秦野正治

【愛知製鋼】

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	H25年11月	(社)水素エネルギー協会 (HESS)第142回定例研究会	水素社会に向けた金属材料の開発	窪田和正、中村潤、 松本和久、服部憲治 、荒島裕信
2	H26年4月	愛知製鋼技報	高圧水素用バルブ・継手向け省 Mo オーステナイト系ステンレス鋼の開発	渡邊義典、窪田和正
3	H26年9月	日本鉄鋼協会第168回秋季講演大会	オーステナイト系ステンレス鋼の機械的性質に及ぼす高圧水素ガス環境の影響	渡邊義典、窪田和正 、中川英樹
4	H27年1月	JRCM ニュース No. 339	Mo を含有しない高圧水素用ステンレス鋼の開発	窪田和正
5	H27年3月	日本金属学会誌 第79巻 第3号 (2015)	水素チャージを施した高圧水素用省Moオーステナイト系ステンレス鋼の機械的性質と室温クリープ変形	窪田和正、渡邊義典
6	H27年3月	日本鉄鋼協会第169回春季講演大会シンポジウム「新エネルギーとステンレス鋼」	水素ステーションにて用いられるステンレス鋼	窪田和正

【物質・材料研究機構】

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	H26年10月	NIMS イブニングセミナー	極限環境における材料信頼性評価	緒形俊夫
2	H27年6月	国際低温材料会議	Hydrogen Environment Embrittlement on Austenitic Stainless Steels from Room Temperature to Low Temperatures	緒形俊夫
3	H27年9月	日本鉄鋼協会 水素フォーラム	SUS316L および高 Ni 当量材の室温から低温での 70MPa 水素環境における引張特性	緒形俊夫、松本和久 、秦野 正治
4	H27年11月	機械学会材料力学部門講演	高圧水素下での疲労強度評価法	緒形俊夫

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2014/11/28	特願 2014-241571	耐水素脆化特性に優れた非磁性鋼およびその製造方法	日本製鋼所

—受賞実績—

【新日鐵住金】

平成 26 年度溶接学会秋季大会優秀研究発表賞 浄徳佳奈

「高窒素含有 22Cr-13Ni-5Mn-2Mo-Nb, V ステンレス鋼溶接継手性能」

【物質・材料研究機構】

平成 26 年度工業標準化事業表彰(経済産業大臣表彰) 緒形俊夫

以上



# (I-2-(5)) 「水素利用技術開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」

委託先：一般財団法人日本自動車研究所，国立大学法人茨城大学，株式会社UACJ，日本軽金属株式会社，株式会社神戸製鋼所，サムテック株式会社

## ●成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成29年度予定)

- ・破裂圧適正化のためのシナリオ作成に資する基礎データを取得し、シナリオ審議および実証試験計画の作成に根拠データとして活用された。
- ・国際基準 (HFCV GTR Phase2) への提案に向けた国内審議を推進し、日本案 (破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法) のシナリオ案と実証試験計画が国内承認された。
- ・アルミの腐食に関する従来評価法によるデータを取得し、自動車用圧縮水素容器に必要なアルミ腐食試験法として湿潤環境耐SCC性試験法を提案し、国内承認された。

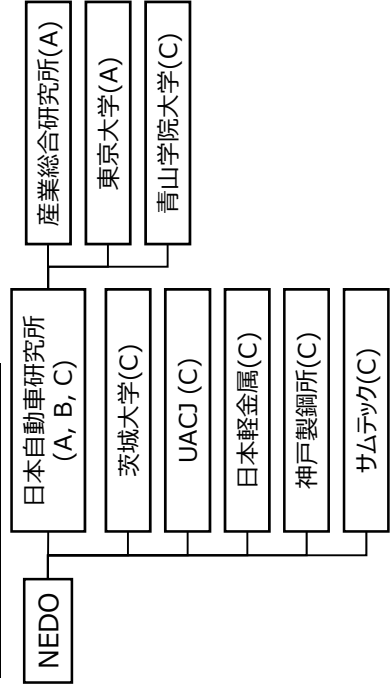
## ●背景/研究内容・目的

燃料電池自動車の普及拡大に向けて、国連基準UN GTR No.13 (水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準：HFCV GTR) のPhase2審議が開始される予定である。UN GTRは、国内規制への適用が必須となるため、国内規制を考慮した国際基準調和を進める必要がある。本事業では、HFCV GTR Phase2の高圧ガス保安法関連領域 (容器および付属品) についての課題の審議が必要となる適正なデータを揃え、試験法策定のための国内・国際審議を推進し、国際基準に日本案を提案し反映させることで、国内規制へ適用可能なレベルに推進することを目的とする。

## ●研究目標

実施項目	目標
A	自動車用圧縮水素容器の安全性評価
B	国内基準の適正化および国際基準調和
C	アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- A：国際基準HFCV GTR Phase2での破裂圧の適正化の審議に資する予備試験として、自動車用圧縮水素容器の残存強度確認試験を実施した。その結果、5500回の常温圧力サイクル試験後容器とHFCV GTR液圧シリーズ試験後容器の破裂圧力は、新品容器と比較して、低下していないことが確認できた。このデータが、破裂圧の適正化の審議において、根拠データとしてシナリオ審議および実証試験計画の作成に活用された。
- B：A、Cのデータを根拠データとして、国際基準 (HFCV GTR Phase2) の主な課題である破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法のシナリオ案と実証試験計画を作成し、国際基準への提案に向けた国内審議で承認された。
- C：アルミニウム合金の腐食に関する従来評価法 (圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準) を実施し、候補材料の実力および組成の影響を把握した。6066および6069の成分範囲内ではほとんどの合金が粒界腐食(IGC)試験または応力腐食割れ(SCC)試験において基準を満たさないことが分かった。長期負荷割れ(SLC)試験では試験法で規定されていない温度の影響を受けることが分かった。自動車用圧縮水素容器・付属品に必要な評価項目を検討し、最適な評価法を開発する必要がある。

## ●今後の課題

- A：Bのシナリオに基づき実証試験データを取得し、国内・国際審議に資する。
- B：国内・国際審議に合わせて日本案 (試験法案) の修正を行いながら、日本案を国際基準に反映させる。
- C：Bのシナリオに基づき実証試験データを取得し、アルミ腐食試験法の開発を完了し、国内・国際審議に資する。

## ●実用化・事業化の見通し

日本案を反映させた国際基準 (HFCV GTR Phase2) を国内導入することにより、燃料電池自動車の国際取引が可能となり、燃料電池自動車の低コスト化に繋がる。

実施項目	成果内容	自己評価
A	破裂圧適正化の審議のための根拠データ取得	◎
B	課題に対するシナリオ案と実証試験計画の国内承認	◎
C	アルミ腐食試験法審議のための基礎データの取得と試験法案の提案	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2 (予定含む)	1 (予定含む)	4 (予定含む)	-

## 課題番号： I - ② - (5)

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発

#### 1. 研究開発目標

「エネルギー基本計画」(2010年閣議決定)では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、2015年からの燃料電池自動車(FCV)の普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・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。また、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」(2008年経済産業省策定)では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO<sub>2</sub>排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

2010年7月には、燃料電池実用化推進協議会が2015年のFCVの一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオを提案し、さらに、2011年1月には、自動車メーカーがFCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者13社が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等を発表した。

欧米においても、国家レベルで基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みが行われ、さらに、我が国同様に2015年以降からのFCVおよび水素供給インフラの一般普及を目指している等、我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠な状況となっている。

そこで、FCVの普及開始と国際競争力強化の観点から、FCV及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を、産学官の互いのノウハウ等を持ち寄り、協調して実施する必要がある。

FCV普及期に向けて、2016年度前後に国連基準HFCV GTR Phase2(FCVの世界統一技術基準の第2フェーズの活動)の審議が開始される予定である。Phase1の審議において、データが無いことで適正な国内基準として受入れられないことを理由に、容器の破裂圧力などについての審議を日本がPhase2に先送りさせた経緯を踏まえ、それらの審議に必要となる適正なデータを揃え、国際合意の下で国内基準の適正化と国際基準調和ならびに国連基準と調和した国際標準化活動を行うことが急務となっている。また、自動車用圧縮水素容器の安全性を保持し、コスト削減ならびに量産性向上などもあわせて成立させるためには、基準等に適用できる材料試験法の確立が極めて重要である。また、鉄鋼材料に加えて、現在、一種類しか使用できる材料がないアルミニウムなどの非鉄金属材料についても、使用可能な材料を探索するための材料評価と試験法の開発を行う必要がある。

本事業では、HFCV GTR Phase2の高圧ガス保安法関連領域(容器および附属品)についての課題の審議に必要となる適正なデータを揃え、試験法策定のための国内審議を推進し、また、HFCV GTR Phase2審議に日本案を提案し反映させることで、国内規制へ適用可能なレベルに推進することを目的とする。

HFCV GTR Phase2の高圧ガス保安法関連領域(容器および附属品)についての主な課題は、破裂圧の適正化、水素適合性を評価する材料試験法の開発、アルミニウム系材料の腐食を評価する試験法の開発である。

## 2. 研究開発概要

水素・燃料電池自動車に関する規制は、車両の規制（道路運送車両法）と圧縮水素容器・附属品の規制（高圧ガス保安法）のふたつに大別される（図1）。本事業では、圧縮水素容器・附属品（高圧ガス保安法）を取り扱う。

### 水素・燃料電池自動車に関する規制

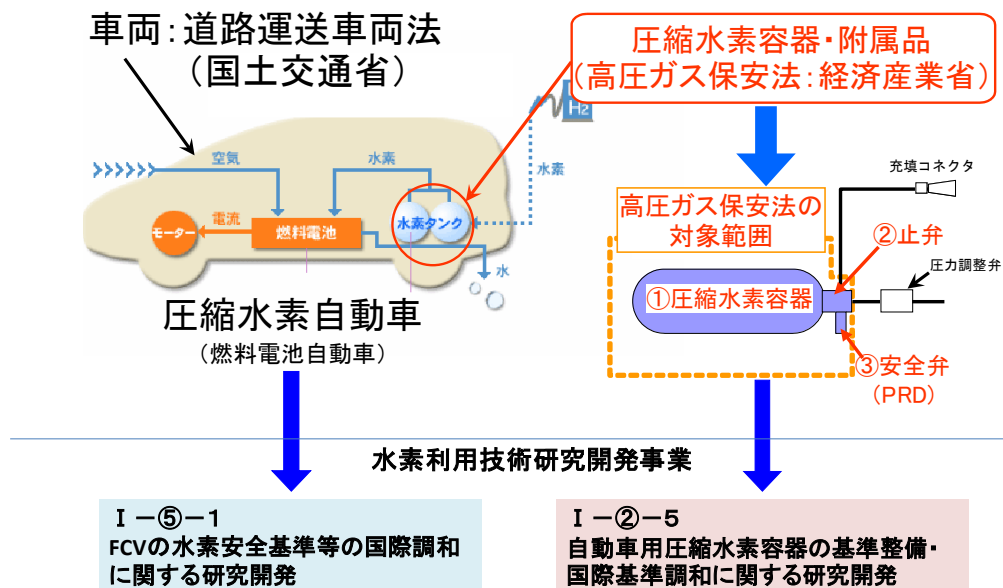


図1. 水素・燃料電池自動車に関する規制

本事業では、一般財団法人日本自動車研究所が幹事会社として、本実施内容を取り纏めながら、国立大学法人茨城大学、株式会社 UACJ、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所およびサムテック株式会社が協力して、自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する以下の研究開発を実施する。なお実施に当たっては、他のNEDO事業（水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発等）や規制当局、燃料電池実用化推進協議会、一般社団法人日本自動車工業会などとの連携を構築し、研究開発に反映させる体制を整える。

#### ①自動車用圧縮水素容器の安全性評価（一般財団法人日本自動車研究所）

国連基準 HFCV GTR Phase1 審議において、自動車用圧縮水素容器の基準策定が進められた。その中で、例えば、容器の破裂圧力を最高充填圧力の 2.25 倍から 2.0 倍に低下させるといった提案に対して、日本は根拠データが整備できていない状況であったことから反対し、結果として当該事項の審議は Phase2 に先送りされた。2016 年度前後に審議が開始される予定の HFCV GTR Phase2 では、国内規制への適用が必須となる HFCV GTR Phase2 について、前述の課題に対しても根拠データを取得しながら、国内規制を考慮した国際基準調和を進める必要がある。これにより、自動車用圧縮水素容器の安全性を保持し、コスト削減ならびに量産性向上などを実現することができる。

そこで、本事業で組織する委員会の審議を通して、国内基準整備および国際基準調和のため、国内導入を前提とする HFCV GTR Phase2 の審議を日本主導で進めるべく、例えば日本が根拠データの整備の必要性を主張したことから審議先送りとなった破裂圧力の適正化（例えば 2.25 倍を 2.0 倍に低下させられるか）について、審議に必要なデータ整備のための試験計画の作成およびデータ取得（圧力サイクル試験後の破裂圧力調査など）を実施する。また、金属材料の水素適合性を評価する材料試験法の開発のための根拠データの取得を実施する。さらに、国際会議の審議の中で発生する国内基準との不整合箇所についても、委員会審議を通してデータの取得計画を作成し、データ取得を進める。

②国内基準の適正化および国際基準調和（一般財団法人日本自動車研究所）

自動車用圧縮水素容器の基準としては、国内には高压ガス保安法の例示基準があり、国際基準には策定作業が進められている国連基準（HFCV GTR）がある。国連基準については、国連の98年合意に基づき、国内基準として導入する必要がある。国連基準では、HFCV GTR Phase1の審議が終了し、2013年6月のUN/ECE/WP29（自動車基準調和世界フォーラム）で採択される見込みである。その後、HFCV GTR Phase1では審議が先送りされた項目などについての審議を進めるため、HFCV GTR Phase2の活動が開始される。HFCV GTR Phase2の審議（GTRの審議期間は、当初2年間として活動が開始され、審議の進捗に合わせて審議期間は延長される）では、国内導入を前提として、国内審議と国際会議の対応を本事業により進捗させる。具体的には、HFCV GTR Phase2の高压ガス保安法関連領域について、産学官で連携しながら、日本が主導的に国連基準策定を牽引するための推進体制（HFCV用容器検討委員会等）を構築し、世界統一技術基準の確立におけるリーダーシップを発揮していく。具体的には、本事業で得られた容器ならびに材料関係のデータと、他のNEDO事業（水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発等）で得られた鉄鋼材料関係のデータを用いて、試験法策定のための国内審議を推進するとともに、国連会議の対応を行う。

一方、国際標準についても国連基準との整合が必要であり、ISO/TC197(水素技術)WG6（車載用水素容器）及び関連する標準化の活動により、国内基準、国際基準と国際標準との整合を図る。

③アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発（国立大学法人茨城大学、株式会社UACJ、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、サムテック株式会社、一般財団法人日本自動車研究所）

本項目では、自動車用圧縮水素容器及びこれに関連するアルミニウム材料の基準整備・国際基準調和のための審議に必要な材料データを取得する。これまでの例示基準で指定されてきた6061は、データよりも他の容器での使用実績で指定されてきたように考えられる。ここでは、容器全体および関連材料の低コスト化で、投入が期待されている6066、6069について、まず高压ガス保安法の他の容器の規則で必要とされる材料評価方法（従来法）を適用し、従来評価法に対する実力および組成の影響を把握する。一方、これら材料を用いたType-3（VH3）容器を試作し、容器としてのデータ取得を行う。次に、高压ガス保安法の他の容器の規則で必要とされる材料評価方法に代わる高压水素容器および関連材料独自に必要な材料評価法（新評価法）の検討（評価基準の見直しも含む）を行い、両方法を前記3材種およびそれ以外の数材種について適用し、実際に試作した容器等の製品について、水素独自の評価法の妥当性を示すデータを取得する。従来評価法として、(a)粒界腐食（Intergranular Corrosion, IGC）試験、(b)応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking, SCC）試験、(c)長期負荷割れ（Sustained Load Cracking, SLC）試験があり、この他に当然、(d)水素脆化（Hydrogen Embrittlement, HE）試験が必要となる。(d)において最終的に高压水素試験データが必要となるが、高压水素ガス中で、実用アルミニウム合金が脆化したという報告はないので、簡便的に湿潤大気中での低ひずみ速度法（SSRT）試験および疲労試験である程度の評価が可能である。必要に応じてHYDROGENIUS等、設備保有機関に試験依頼する。前事業において、評価基準に対する適合条件が組成や組織に敏感に影響されることが、明らかになっている。また各データに対する基礎的・理論的裏付けを行うことにより、効率的に基準化が可能となる。耐SLC性については、高压容器破損の主因とする報告がある中で、その機構がほとんど知られていないので、どのような条件で起こりやすくなるのかなど基礎的データを収集する。そのため、代表的6000系合金が規格組成の範囲で主要元素（Mg、Si、Cu）がSLCに及ぼす影響を明らかにする。これにより、⑦6351、6082、6066、6069といった代表的合金が自動車用圧縮水素容器及びこれに関連するアルミニウム材料として適するか、おおむね判定され、これまでの基準に付きまってきた「過剰Siで耐力250MPa以上の合金は使用不可」の条項の妥当性が判定されると考えられる。また、これまでの基準に付きまってきた「Pb、Biは0.01%以下であること」の条項の是非およびマイナー元素の影響を論じるため、Pb、Biの上限規定が真に必要なかどうかの調査、マイナー元素であるCrやMnが耐SLC性に及ぼす影響の調査、SLC機構の調査を行う。

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

##### ①自動車用圧縮水素容器の安全性評価

国連基準 HFCV-GTR Phase2 での破裂強度の適正化の議論に資するデータを取得するため、自動車用圧縮水素容器の残存強度確認試験を実施した。また、平成24年度までの「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業」で実施した GTR 液圧シリーズ試験の結果も合わせて比較した。その結果、5500回の常温圧力サイクル試験後容器と HFCV GTR 液圧シリーズ試験後容器の破裂圧力は、新品容器と比較して、低下していないことが確認できた(図2)。このデータが、破裂圧の適正化の審議において、根拠データとしてシナリオ審議および実証試験計画の作成に活用された。

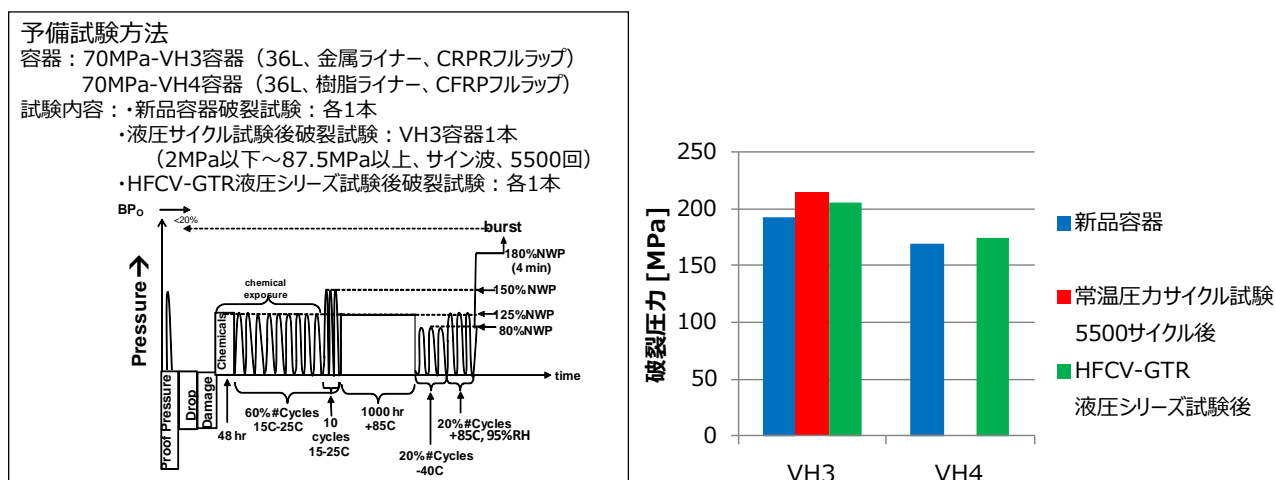


図2 残存破裂強度確認試験方法と結果

##### ②国内基準の適正化および国際基準調和

国際基準 HFCV GTR Phase2 の高圧ガス保安法関連領域について、産学官で連携しながら、日本が主導的に国連基準策定を牽引するための推進体制 (HFCV 用容器検討委員会等) を構築した。

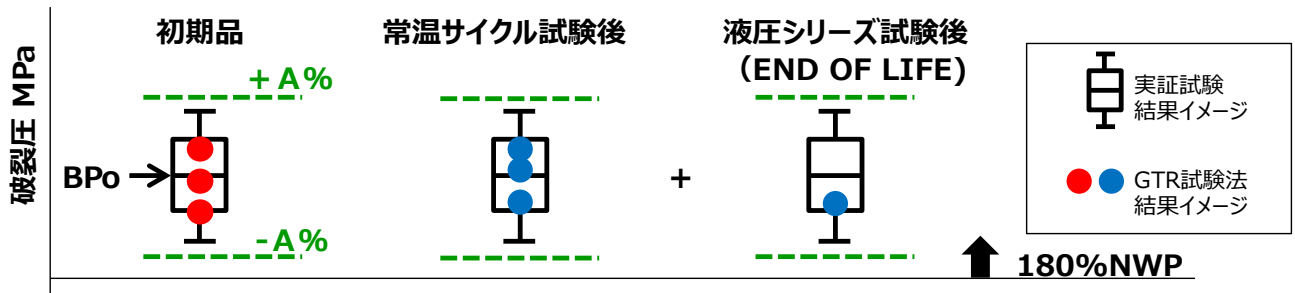
構築した推進体制にて、国際基準 HFCV GTR Phase2 の高圧ガス保安法関連領域の主な課題である破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法の各シナリオ案と各実証試験計画を、本事業で取得したデータを活用しながら審議し、各シナリオ案と各実証試験計画は国内承認された。

#### (1) 破裂圧の適正化

**背景:** 国際基準 HFCV GTR では、容器寿命後 (END OF LIFE) に一定以上の破裂圧を確保することで安全性を確保する。Phase 1 審議において、容器が正しくできているか確認するための指標として、破裂圧の初期値 BPo の基準 (CFRP フルラップ容器: NWP の 2.25 倍以上) が設定された。破裂圧の初期値 BPo の最適化について、Phase 2 の課題とされた。

**シナリオ案 (試験法案):** ばらつきを含めて END OF LIFE の破裂圧を保証するため、常温圧力サイクル試験後の破裂圧確認を加えることを追加要件とする (図3: 試験法案)。また、破裂圧の初期値 BPo は容器が正しくできているか確認するための指標として、製造者が決定・申告する値 (基準値は不要) とし、国際基準へ提案する。

**実証試験:** 容器 2 種類、N=10 で各試験を実施し、破裂圧のばらつきと劣化率を確認する (図3: 実証試験結果イメージ)。



(従来通り) 破裂試験を実施する(3本)。破裂圧のばらつきがBP0 ± Aの範囲内であることを確認する。

(追加要件) 常温サイクル試験 (11000回) 後に破裂試験を実施する(3本)。常温サイクル試験後の破裂圧から、ばらつき (BP0 ± A以内) と劣化率 (BP0から20%以内) を確認する。

(従来通り) 液圧シリーズ試験を実施する(1本)。破裂圧 (180%NWP以上であること) と劣化率 (BP0から20%以内) を確認する。

図3. 試験法案と実証試験結果イメージ

(2) 水素適合性を評価する材料試験法の開発

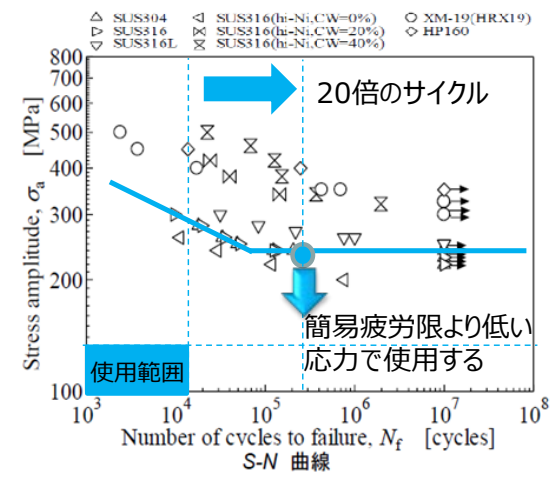
**背景:** 国際基準 HFCV GTR において、水素ガスサイクル試験が規定されているが、実際の長期使用を想定した水素の影響は評価できない。このため、水素適合性試験法の規定もしくは材料指定が必要である

**シナリオ案 (コンセプト案):** 固溶化処理したオーステナイト系ステンレスに限定し、簡易疲労限以下で使用することを条件に、水素中で使用可能となる材料を選定するための試験法を検討し、国際基準へ提案する (図4)。

- 疲労検討と応力制限による材料評価法コンセプト(案)
  - 使用する温度、応力範囲において水素の影響を受けない。
  - ・固溶化処理したオーステナイト系ステンレスに限定
  - ・簡易疲労限より低い応力レベルで使用する
  - <判定する特性の例>
    - ・水素中でも降伏点が変わらないこと
    - ・水素中でも最低限の伸びがあること
    - ・水素中でも疲労限が変化しないこと



**設計確認試験の耐久試験で合格すること**



シナリオ (コンセプト)

図4. 水素適合性を評価するシナリオ案 (コンセプト案)

**実証試験:** 水素中・低温・低周波数でも簡易疲労限は水素の影響を受けないことを示す。水素適合性評価用の材料試験装置 (圧力: 140MPa, 温度範囲: -80℃~+90℃) を導入した (納入待ち)。導入した装置を使用して、図5のイメージのように材料データを取得することで、高压水素中・低温・低周波数でも簡易疲労限は低下せず、水素の影響を受けないことを示す。



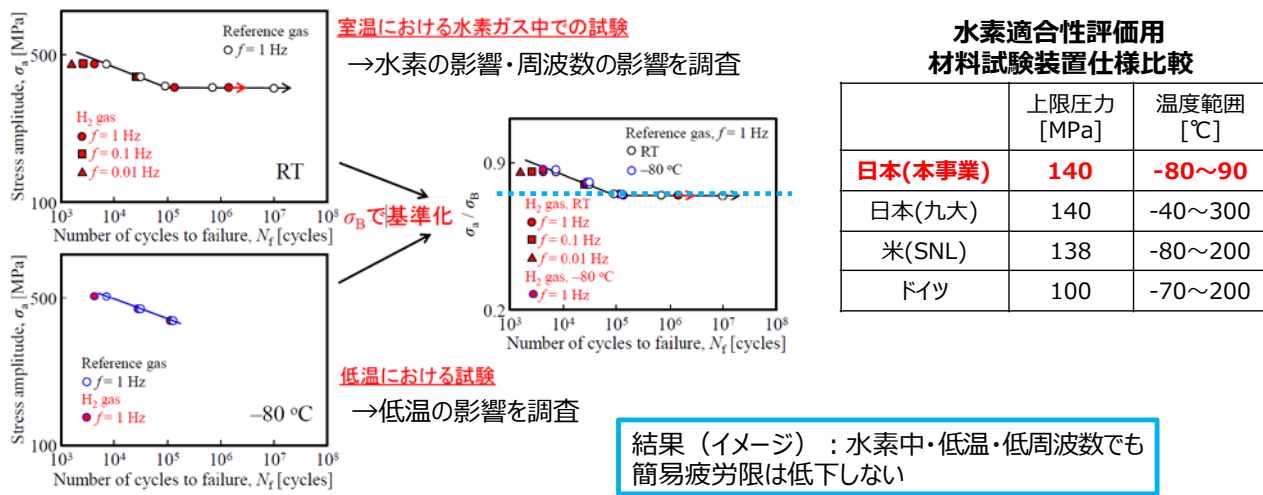


図5. 実証試験による取得データのイメージ

(3) アルミニウム合金の腐食を評価する試験法の開発

**背景:** 国内基準で水素用途で使用可能なアルミニウム合金は、A6061のみ。さらに、過剰シリコン規制や鉛・ビスマス規制がある。アルミニウム合金の使用可能材料選定のための試験法を日本から提案することで、国内導入可能な国際基準となるよう審議を推進する必要がある。

**事前調査結果からの考察:** 腐食現象のタイプとして、①「陽極溶解型」と、②「水素脆化型」に分けて考える必要があることが分かった。自動車用圧縮水素容器・附属品に必要な評価項目を検討した結果、容器・附属品の内面では酸素が供給されないため、①は考慮不要であるが、②は分子状水素では起こらないものの不純物水分により起こると考えられる(外面は自動車会社の評価法に準じる)。以上より、圧縮水素容器・附属品に関しては、湿潤環境中の耐応力腐食割れ(SCC)性を評価すればよいことが分かった。

**腐食現象の分類**

①「陽極溶解型」: 腐食性イオンによる溶解腐食。酸素がないと腐食しない。

②「水素脆化型」: 酸素がなくても水分があれば亀裂先端に水素が集まり亀裂を進展させる。

**シナリオ案 (試験法案):** 従来評価法における SLC 試験に湿度条件を加えた試験を、使用可能材料選定のための湿潤環境中の耐応力腐食割れ(SCC)性評価試験法として、国際基準に提案する。

**実証試験:** 湿潤環境中の耐応力腐食割れ(SCC)性評価試験を実施し、代表的6000系合金が規格組成の範囲で主要元素(Mg, Si, Cu)がSCCに及ぼす影響を明らかにする。

**検証試験:** ライジングロード試験(漸増試験)および定変位試験(漸減試験)により  $K_{Isc}$  を測定し、湿潤環境中の耐SCC性評価試験法の負荷条件が適正であることを検証する。

③アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発

アルミニウム合金の腐食に関する従来評価法(圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準)を実施し、候補材料の実力および組成の影響を把握し、平行して材料開発を行った。

**主な結果:** 6066 および 6069 の成分範囲内ではほとんどの合金が粒界腐食(IGC)試験または応力腐食割れ(SCC)試験において不合格となることが分かった。長期負荷割れ(SLC)試験では試験法で規定されていない湿度の影響を受けることが分かった。自動車用圧縮水素容器・附属品に必要な評価項目を検討し、最適な評価法を開発する必要がある。

ア) 茨城大学

ア) - 1 耐 SLC 特性評価

従来評価法のうち、耐 SLC 性については、高圧容器破損の主因とする報告がある中で、その機構がほとんど知られていないので、どのような条件で起こりやすくなるのかなど基礎的データを収集する必要がある。

試料は株式会社 UACJ により作製された 6061, 7075, 6066 および 6069 合金 T6 材である。各合金は 5mm 厚さになるようにフライス加工を施し、その後ワイヤー放電加工機にて CT (Compact Tension) 試験片形状に加工した。採取方向は T-L 方向であり、この試験片に荷重点位置に開口変位付与のためのテーパピン挿入孔 (直径 3mm) を設けている。前処理として、両面を湿式研磨およびバフ研磨により鏡面に仕上げた。

天然ガス容器基準別添 9 に従い、疲労予き裂を導入し、0.2%耐力 (MPa 単位) の 0.056 倍の値 ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) となる応力拡大係数 ( $K$ ) 値がき裂先端に負荷されるようにテーパピンを挿入した。そして各試験片を、腐食環境 (常温の 3.5%±0.1%(mass%)塩化ナトリウム溶液中)、乾燥 (相対湿度 10%以下) および湿潤 (相対湿度 90%以上) の 2 種類の大気環境の計 3 種類の試験環境で 90d 保持した。90d 経過後、テーパピンを取り除き再度上記  $K$  値の 0.6 倍以下の範囲で疲労負荷を加え、再疲労によるき裂長さが 1mm 以上になった後、CT 試験片を急速破断させた。破断後の CT 試験片の破面を SEM で観察し、疲労予き裂と疲労再き裂の間の SLC 長さを測定した。測定は、試験片厚さの 25%, 50% および 75% の位置で測定し、これら 3 つの値の平均値で耐 SLC 特性を評価した。

評価結果を図 6, 図 7 に示した。これよりいずれの合金も天然ガス容器基準の合格基準である平均 SLC 長さ 0.16mm 以内を満たしていること、および腐食環境で SLC が最も長く、湿潤大気、乾燥大気の順に短くなること分かる。

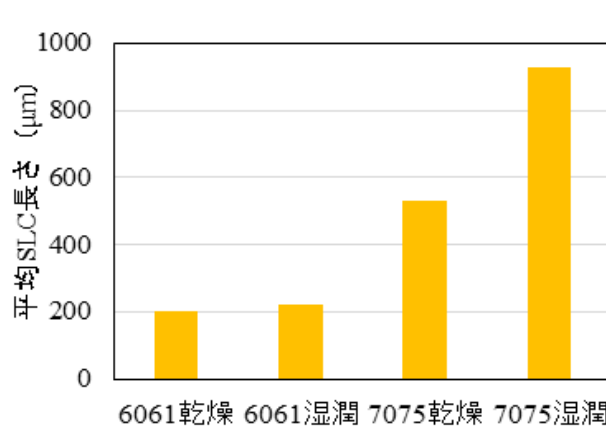


図 6. 6061, 7075 合金の平均 SLC 長さの測定結果

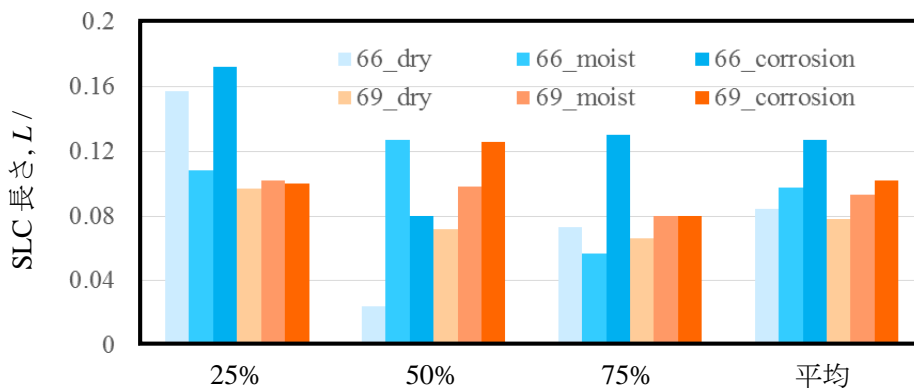


図 6. 6066(66)および 6069(69)合金の各環境下、各位置での SL 長



b) 耐 HE 特性評価

6066 および 6069 合金について、相対湿度 90%の大気 (MA)、および乾燥室素気流 (DNG) の 2 つの環境でひずみ速度を広範囲に変えて引張試験を行った。そして破断伸びを測定し、水素脆化感受性指数 ( $I(\delta) = (\delta - \delta_0) / \delta_0$ ) により耐 HE 特性を評価した。ここで、 $\delta$  および  $\delta_0$  は、それぞれ MA および DNG 環境下での破断伸びである。各材料の破断伸びとひずみ速度の関係を図 8 に、各材料・各ひずみ速度の  $I(\delta)$  を図 9 に示した。脆化を示す 7075 合金ではひずみ速度の低下とともに MA 環境下での伸びが低下し、 $I(\delta)$  値が増加するが、6066 および 6069 合金はともに、そのような傾向が全く見られない。

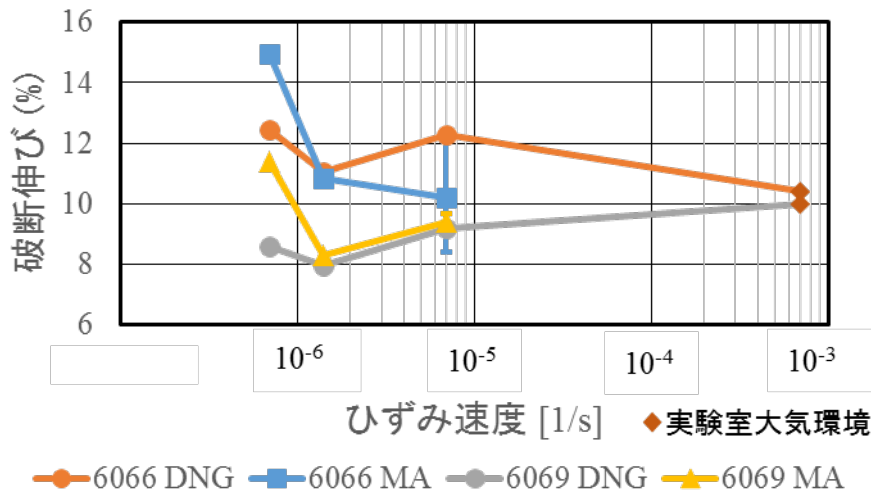


図 8. 6066 および 6069 合金の破断伸びとひずみ速度の関係

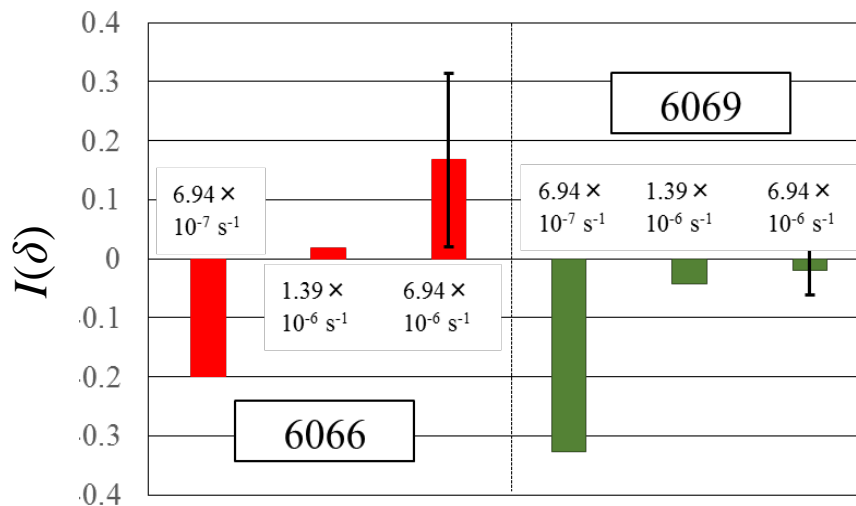


図 9. 6066 および 6069 合金を各ひずみ速度で試験した時の  $I(\delta)$  値

ア) - 2 応力腐食割れ・長期負荷割れの機構調査 (SCC・SLC 試験結果の基礎的裏付け)

文献調査および理論的考察より、SCC には(a)陽極溶解型 (粒界近傍の母相が溶出) と(b)水素脆性型があり、また粒界腐食についても、(c)粒界近傍の母相が溶出する型と、(d)粒界析出物自体が溶出する型があること、(c)型の粒界腐食を起こす合金は(a)型の SCC を起こす傾向にあり、(d)型の粒界腐食を起こす合金は(b)型の SCC を起こすこと、が分かった。6000 系合金のうち、Cu を含まない合金は(b)-(d)型に属し、Cu を添加すると(a)-(c)型に移行すると推察された。

### ア) - 3 評価法・評価基準の見直し検討・提案

海外あるいは国際的評価基準の動向に関する情報収集を継続して行うとともに、本事業や関係各事業の平成 25 年度の成果、水素用アルミニウム材料評価法検討分科会の審議結果を踏まえ、評価法の見直しの草案を腐食試験法作成 TF でまとめた。

#### a) 海外あるいは国際的評価基準の動向に関する情報収集

腐食試験法作成 TF 準備検討会を開催し、日本自動車研究所、および日本自動車工業会の協力により、海外ではほとんど無条件にアルミニウム合金がライナーおよび付属部品材料として使用可能にしようとする動きがあることが分かった。これは主に、アルミニウム合金が高圧水素中で脆性を示さないという NASA のデータに基づいていると考えられる。

#### b) 評価法の見直しの提案

腐食試験法作成 TF 準備検討会および水素用アルミニウム材料評価法検討分科会での審議結果を踏まえ、以下の草案を作成しつつある。

i) 評価法を、高圧水素にさらされる内部環境と一般大気にさらされる外部環境に分けて考える。

ii) 外部環境については、燃料電池自動車で発生する新たな環境ではないので、これまで各自動車メーカーで保有している基準・評価法で十分と結論された。

iii) 内部環境については、高圧水素による脆化は起こらないと考えられるが、水素に含まれる不純物水分による腐食・脆化の恐れを検討した。その結果、水分量・酸素量が少ないので、アルミニウムが溶出する陽極溶解型の腐食・応力腐食割れに関する評価は不要と結論された。その一方で、水素に許容される 5ppm 不純物水分で、 $-7^{\circ}\text{C}$  で相対湿度が 90% に達する。水素脆化型の応力腐食割れは、酸素がなくても、またアルミニウムが溶出しなくても起こる現象であり、これを考慮すべきと考えられた。耐水素脆化試験としては、平成 15 年度の NEDO 事業から提案してきた湿潤大気中での SSRT (低ひずみ速度法) 引張試験における破断伸びと、不活性環境での伸びを比較する試験があるが、この方法では、水素脆化き裂が発生すると変形がその先端に集中するため、低ひずみ速度が担保されなくなってしまう。すなわち水素の拡散に要する時間が不足する恐れがある。そこで、湿潤大気中での耐 SLC (Sustained Load Cracking, 長期負荷割れ) 試験を提案した。この試験は、湿潤大気環境下においてき裂先端に一定の応力拡大係数 ( $K_{Lapp}$ ) を負荷した状態で保持し、き裂の進展量を調べる試験であり、定変位により  $K_{Lapp}$  を負荷することになっているので、き裂が進展しても応力拡大係数が低下しいずれは停止する。したがって、水素の拡散に要する時間が不足する恐れはほとんどない。

### イ) 株式会社 UACJ

#### イ) - 1 概要

6061 と比べ高強度化、低コスト化が期待される 6066、6069 合金について、UACJ では圧延により製造した type-3 ライナー用材料を想定し、実験室規模の試作材を用いて、耐 IGC 特性および耐 SCC 特性を圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準 (従来法) に基づき評価するとともに、高圧水素容器に必要と考えられる耐 HE 特性の評価を行った。

#### イ) - 2 type-3 ライナー用材料を想定した 6066 および 6066 材の試作

##### (1) 6066 および 6069 合金製造条件の検討

type-3 ライナー用材料を想定した 6066 および 6066 合金として図 1 0 に示す組成の鑄塊を作成し、均質化処理、溶体化処理、時効条件等の製造条件を検討し試作用合金の製造条件を決定した。作成した試作材の機械的特性を図 1 1 に示す。

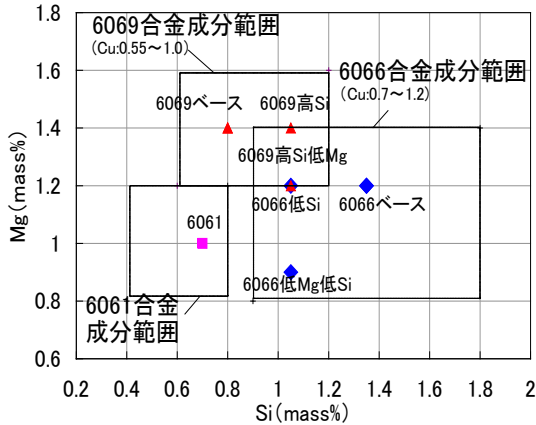


図 1 0 . 試作合金成分

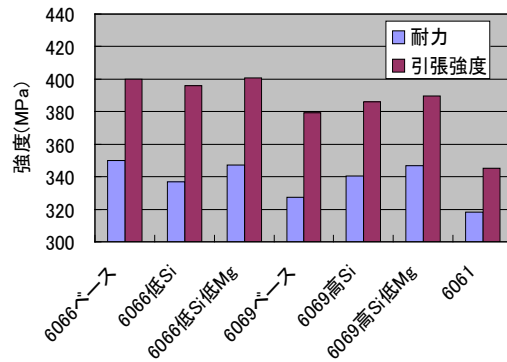
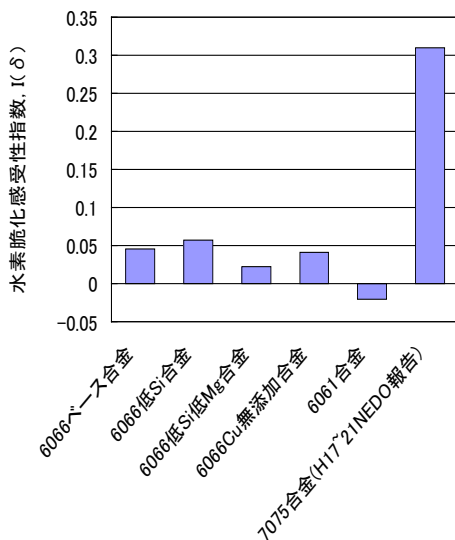


図 1 1 . 6066 ・ 6069 ・ 6061 合金の強度 (LT 方向)

イ) - 3 6066 系合金の耐 HE、耐 SCC、耐 IGC 特性評価および各特性に及ぼす Cu 添加量の影響調査  
 6066 系合金の耐 HE、耐 SCC、耐 IGC 特性評価および各特性に及ぼす Cu 添加量の影響調査するために 6061 合金および上記の type-3 ライナー用材料を想定した 6066 系合金 3 種に加え、Cu 添加量の影響を調査するために、ベース合金組成から Cu を無添加とした Cu 無添加合金の T6 処理材を用いて以下の試験を行った。

(1) 6066 系合金の耐 HE 特性評価および耐 HE 特性に及ぼす Cu 添加量の影響

水蒸気分圧制御環境中での低ひずみ速度引張試験にて調査した。式①より、各合金の水素脆化感受性を計算した結果を図 1 2 に示す。参考として水素脆化が生じやすいアルミニウム合金である 7000 系合金の水素脆化感受性指数も合わせて示す。水素脆化が発生する 7000 系合金と比較して今回試験した 6066 系合金では水素脆化感受性指数が低く、6066 系合金の耐 HE 特性は高いことを示している。また、ベース合金と Cu 無添加合金の水素脆化感受性の差は、7075 合金との差に比べれば非常に小さいことから、今回の試験では耐 HE 特性に Cu 添加が及ぼす影響は小さかったと考えられる。



$$I(\delta) = \frac{\delta_0 - \delta}{\delta_0} \dots (1)$$

$\delta_0$  : 乾燥窒素環境下 SSRT 試験  
 \*における伸び (mm)  
 $\delta$  : 湿潤大気環境下 SSRT 試験  
 における伸び (mm)

図 1 2 . 各種合金の水素脆化感受性指数

② 6066 系合金の耐 SCC 特性評価および耐 SCC 特性に及ぼす Cu 添加量の影響

6066 系合金の耐 SCC 特性を調べるために、従来法に基づき、SCC 試験を実施した。ただし、今回は板材を用いた試験のため、応力負荷方法は JIS H8711(ISO9591)に基づき 3 点支持所定応力負荷法を用いた。負荷応力方向は LT 方向とし、対降伏応力比 80%,90%の応力を負荷し、3.5%NaCl 水溶液に 10min

浸漬、50min 乾燥を繰り返す交互浸漬試験を 65 日間行った。試験後の試験片概観観察結果では、いずれの試験片にも割れや亀裂は観察されなかった。以上の結果より、6066 系合金は、圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準を満たす耐 SCC 特性を有すると考えられる。また、Cu の有無による耐 SCC 特性の差も認められなかった。

### ③ 6066 系合金の耐 IGC 特性評価

耐 IGC 性評価方法としては、圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に示される方法にて評価を行った。3 種の合金の中では、低 Si 合金が最も腐食深さが小さかった。また、最も高成分であるベース合金が最も腐食深さが大きくなった。今回作製した 6061 合金および 6066 系合金 3 種は現行規定を満足していなかった。6066 合金と Cu 量の関係を調査した結果を図 1 3, 1 4 に示す。6066 合金の耐 IGC 特性は Cu 量の低減に伴い向上するが、基準を満足するには 6066 規格外の 0.5mass%以下にする必要があることが明らかとなった。

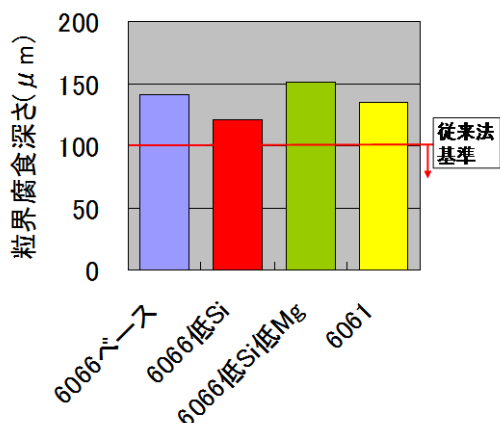


図 1 3. 耐 IGC 特性評価結果

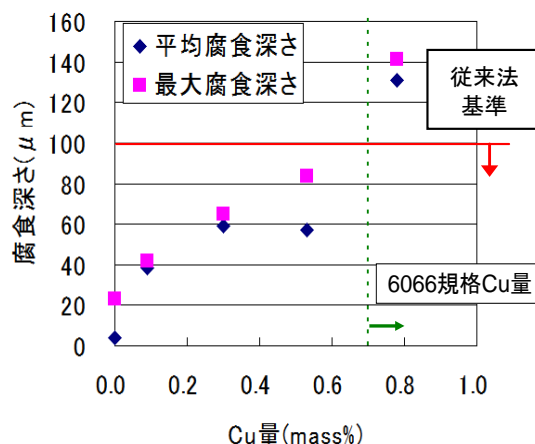


図 1 4. 6066 合金における耐 IGC 特性と Cu 量の関係

#### イ) - 4 IGC 機構の調査

6000 系合金における IGC 発生の原因を明らかにするために、T6 処理材の結晶粒界を TEM 観察した結果、Cu を含む合金の結晶粒界には AlMgSiCu 系の化合物が存在していた。粒界の AlMgSiCu 系化合物は Cu 量が多いほど連続的に析出していた。また、組成分析の結果、0.8Cu 合金（ベース合金）の粒界近傍には Cu の欠乏層が存在していることがわかった。

以上の結果より、粒界腐食の発生は、粒界に AlMgSiCu 系化合物が形成されることに起因すると考えられる。粒界腐食発生機構としては、粒界の AlMgSiCu 系化合物が溶解している場合と粒界近傍の Cu 欠乏層が溶解している場合の 2 通りが予想される。

#### イ) - 5 成果

耐 HE 特性に優れ、耐 SCC 特性も従来基準を満足する 6066 合金を作製した。一方で、耐 IGC 特性については、低 Si 合金の IGC 特性が比較的優れていたものの、いずれの合金も基準を満足しなかった。また、Cu 量の影響を調査したところ、Cu 低減により IGC 特性が改善したが 6066 規格内で基準を満足することはできなかった。本結果より今後は Cu および Si 成分範囲が 6066 合金より低い 6069 合金を用いて同様の調査を行い、従来法の基準を満足する合金組成を調査する。これら合金成分と各種特性を調査した成果は腐食試験法作製 TF にて、耐 HE 特性および耐食性の審議に活用する。

ウ) 日本軽金属株式会社

ウ) - 1 実験室規模で製造した切削性良好な 6000 系アルミニウム合金の耐 IGC、耐 SCC 特性に及ぼすに及ぼす過剰 Si 量の影響調査 (容器および関連部品としてのバルブハウジングを想定)

前事業(平成 22~24 年度)のラボ調査結果をベースに、大型化に伴う焼入れ感受性悪化の改善を狙い、遷移元素 Cr 添加量を低減した合金、および再結晶の核を減らすことを目的に Si 添加量を低減した合金、計 5 種につき大型実サイズを想定した厚肉押出材(幅 80mm, 高さ 40mm) を作製し、T6 処理後の金属組織および機械的特性を調査した。その結果 Si、Cr 添加量を低減した No.5 合金は T6 処理後耐力は目標以上を達成し、切削性も市販の 6061 合金より優れていた (表 1, 図 1 5, 図 1 6)。

開発した No.5 合金の大型押出 T6 処理材は市販の 6061 合金より、耐力が 20%向上され、切削性も優れており、バルブハウジング用素材として適する可能性を示した。

表 1. 設計した合金組成(平成 26 年度第 4Q 変更済)

No.	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Cr	Ti
1	0.80	3.00	0.50	0.18	0.37	0.24	0.02
2	0.80	3.00	0.50	0.18	0.37	0.16	0.02
3	0.80	3.00	0.50	0.18	0.37	0.08	0.02
4	0.80	3.00	0.50	0.18	0.37	-	0.02
5	0.80	1.50	0.50	0.18	0.37	0.16	0.02
6	0.80	1.50	0.50	0.18	-	0.24	0.02
7	0.80	3.00	0.50	0.18	-	0.24	0.02
追加-1	0.80	0.61	0.50	0.18	0.37	0.24	0.02
追加-2	0.80	1.00	0.50	0.18	0.37	0.24	0.02
追加-3	0.80	1.50	0.50	0.18	0.37	0.24	0.02
追加-4	0.80	2.00	0.50	0.18	0.37	0.24	0.02

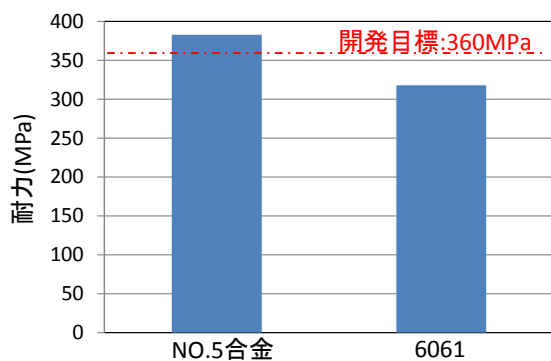


図 1 5. T6 処理材の耐力

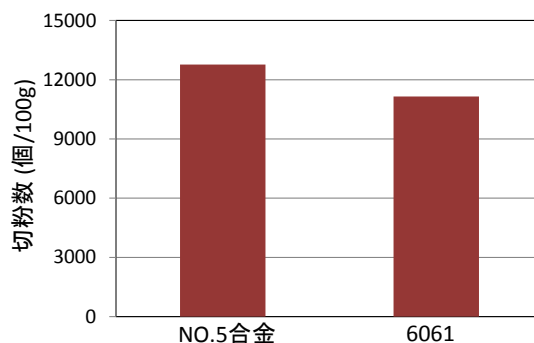


図 1 6. 穴あけ加工時発生する切粉数 (数値が大きいほど良好)

ウ) - 2 過剰 Si の影響調査

アルミニウム材料に対する腐食試験法作成 TF の動きに合わせて、弊社が提案した合金の金属組織、機械的性質、切削性並び耐 IGC、耐 SCC 特性に及ぼす過剰 Si 量の影響を調査するために、遷移元素(Mn,Cr) の添加量を前事業開発合金のまま、Si はバランス組成から過剰組成まで 4 種(追加合金 1~4)の大型材を作製し、調査した。その結果追加合金 1、2 が T6 処理後も目標金属組織を維持することを確認したとともに、追加合金 2 の耐力が目標以上であることを確認した。今後は、追加合金 1 の最適時効条件を検討し、追加合金 1、2 と前事業開発合金の切削性、耐 IGC、耐 SCC 特性を比較調査する。

エ) 株式会社神戸製鋼所

エ) - 1 概要

高圧水素ガス容器等への使用が、JARI-S001<sup>1)</sup>、KHKS0128<sup>2)</sup>で認められているアルミニウム合金は、バランス型Al-Mg-Si系合金の6061-T6のみである。6066、6069等の高強度6000系合金の適用で、容器全体および関連部材の軽量化、低コスト化が期待される。

6066、6069のCu含有量は、6061の0.25%に対して、0.55%~1.2%と高い。これら合金の一般耐食性は低いことが予想される。一般耐食性については、たとえば技術基準(別添9)<sup>3)</sup>に、評価方法、評価基準の規定がある。弊社は、DC鋳塊から口金部模擬品を鍛造工程で作製し、基本的特性の調査を進めるとともに、別添9の耐IGC性、耐SCC性を満足するMg、Si、Cu等の主要成分、熱処理条件(主として人工時効処理)の抽出を進めた。また、一般耐食性には、主要成分の他に遷移元素も影響を及ぼすことが示されており、合わせてこれら元素の影響も調査した。

エ) - 2 容器口金部を想定した6069材および6066材の試作と調査

(1) 供試材の化学成分と製造工程

供試材の種類は、6069が8種類、6066が5種類の計13種類である。DC鋳塊(φ120mm)を切断・ピーリング→均質化熱処理→熱間鍛造→人工時効処理し、供試材(φ170mm×h20mm)とした。

[6069]No.1:中央成分、No.2:バランス組成①、No.3:バランス組成②、No.4:バランス組成③、  
No.5:過剰Si①、No.6:過剰Si②、No.7:過剰Si③、No.8:過剰Mg

[6069] No.9:中央成分、No.10:低組成、No.11:Si下限①、No.12:Si下限②、No.13:Si下限③

(2) ミクロ組織(図17)

供試材のうち、No.1 6069中央成分とNo.9 6066中央成分の肉厚中央部のミクロ組織(光学顕微鏡、苛性エッチング)を図1に示す。いずれの供試材も粒径10~20μmの微細な結晶粒組織からなる。

(3) 引張特性(図18)

No.2 6069 バランス型1材、No.8-6069Mg 過剰材を除いて、6069ならびに6066は、6061HS-T6に対して約10%以上高い耐力を有する高強度材である。

(4) 耐IGC性(図19)

- ・別添9に基づいて、IGC試験を行った。塩水浸漬時間は6hとした。
- ・6069の耐IGC性は比較的高く、腐食深さは、多くの供試材で別添9の基準を満足する。一方、6066の耐IGC性は低い。6069がバランス型に近い組成であるのに対して、6066は過剰Si型でさらにCu量も多いことに対応するものと推察される。

(5) 耐SCC性(図20)

- ・別添9に基づいて、SCC試験を行った。応力の負荷方向は、別添9のLTに対してより厳しいSTとした。負荷応力は耐力(LT)の90%、試験期間は30日間とした。
- ・6069ならびに6066のいずれの供試材においても割れが発生した。6069には、割れの程度が比較的軽微な供試材もあった。一方、6066の割れの程度は大きい。耐IGC性と同様に、過剰Si型であること、またCu量が大きいことに対応するものと推察される。

エ) - 3 遷移元素の影響調査向け材の試作と調査

(1) 供試材の化学成分と製造工程

6069でMg、Siの組成規格の中心値、Cu下限値、遷移元素Fe0.22%-Cr0.20%-V0.10%-Ti0.02%をベース組成とした。Fe、Mn、Cr、Zr、Vの添加量を6069組成規格上限まで組み合わせて増量した6種類の鋳塊(ブックモールド)を試作し、ピーリング→均質化熱処理→熱間・冷間圧延→人工時効処理し供試材(t1mm)とした。供試材の耐力(L)は360~365MPaとほぼ一定である。

(2) 耐IGC性(図21)

ベース組成材に対して遷移元素の添加量を増大すると、腐食深さは大きくなり、耐IGC性は低下した。粒内と粒界との電位差が大きくなること、また晶出物が増え晶出物周りの腐食の程度も大きくなることに対応するものと考えられる。



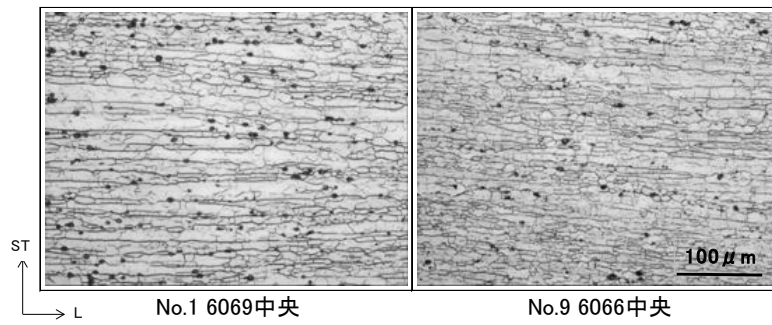


図17. 供試材のマイクロ組織 (No.1、No.9)

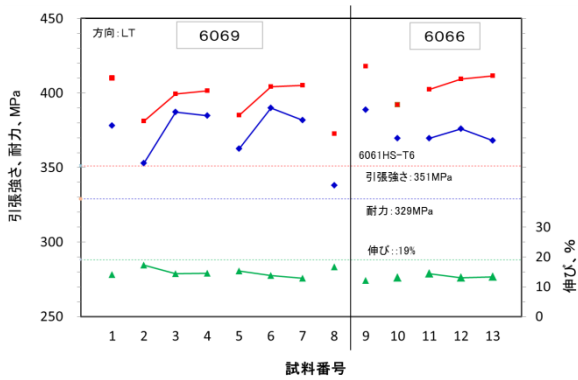


図18. 供試材の引張特性

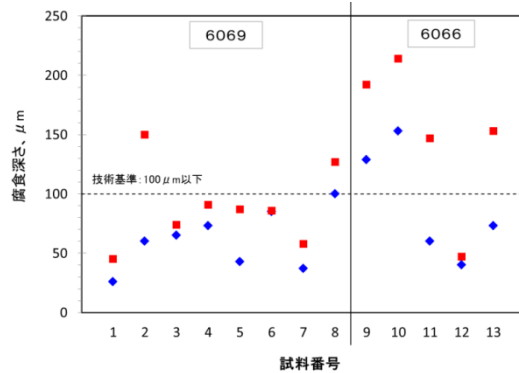


図19. 供試材の耐IGC性

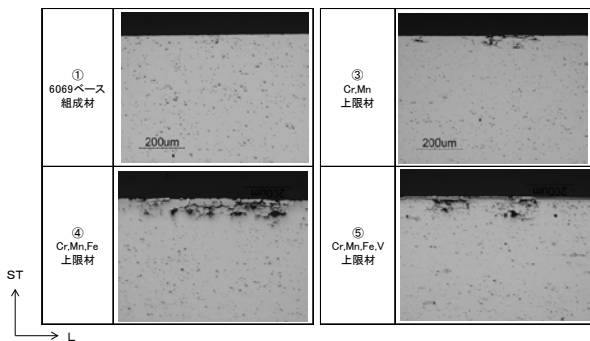


図21. 供試材の浸漬腐食試験後の断面マイクロ写真

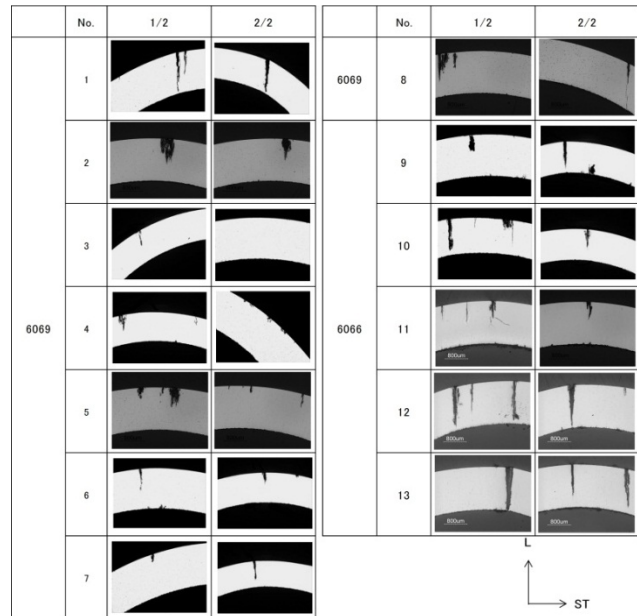


図20. 供試材のSCC試験後の断面マイクロ写真

表2 供試材の強度と一般耐食性のまとめ

		耐力*1 6061HS-T6 比10%以上	耐IGC性 *2	耐SCC性 *3	総合判定
6069	1 6069中央	○	○	×	×
	2 バランス型1	×	×	(×)	×
	3 バランス型2	○	○	△	△
	4 バランス型3	○	○	△	△
	5 過剰Si型1	○	○	(×)	×
	6 過剰Si型2	○	○	△	△
	7 過剰Si型3	○	○	×	×
	8 過剰Me型	×	×	(×)	×
6066	9 6066中央	○	×	×	×
	10 6066低組成	○	×	×	×
	11 Si下限1	○	×	×	×
	12 Si下限2	○	○	×	×
	13 Si下限3	○	×	×	×

\*1: 6061HS-T6の引張特性(LT):  $\sigma_B$ :351MPa,  $\sigma_{0.2}$ :329MPa,  $\delta$ :19%

\*2: 腐食面: L-LT面、腐食の進行方向: ST

\*3: 方向: ST、負荷応力: 耐力LTの90%

エ) - 4 まとめ

①容器口金部材

高強度アルミニウム 6000 系合金の中から 6069、6066 を選択し、DC 鋳塊より模擬鍛造材を作製し特性を調査した。強度と一般耐食性をまとめて表 1 に示す。

・別添 9 の耐 IGC 性、耐 SCC 性を満たす成分を抽出することは出来なかった。なお、6069 の一部の組成で、比較的高い耐 IGC 性、耐 SCC 性を示した。主として Cu 量の低減で、別添 9 を満たす成分の抽出を継続して進める。これら成果は腐食試験法作成 TF に用い、成分抽出に活用する。

②遷移元素の影響調査

遷移元素の添加量増で耐 IGC 性は低下した。一般耐食性の向上には、主要組成 Mg、Si、Cu の調整だけでなく、遷移元素量の選定も必要と推定される。

エ) - 5 参考文献

- 1) 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準:JARI S001, (2004).
- 2) 70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 KHKS0128(2010).
- 3) 社団法人日本ガス協会「圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準」.

オ) サムテック株式会社

オ) - 1 概要

平成 25 年度は 6061 合金製 TYPE 3 容器を用いて、0~100%圧力サイクル試験を実施し、応力振幅と寿命の関係[S-N 線図]を取得した。加えて 6061 合金ライナーの内面傷に対する疲労性能への影響を評価するため、アルミライナーから採取した試験片に傷を加え疲労試験をおこなった。

平成 26 年度は種々の容器の使用条件を想定し、下限圧力を 40%~100%におけるサイクル試験を実施し、通常の 0%~100%サイクルとの寿命比較により、容器寿命向上効果を評価した。また、自緊処理条件とバウシンガー効果の影響を把握するため、6061 材の試験片よりバウシンガー効果の測定を行った。上記の特性を元に 6061 材 70MPa 容器の製作に着手した。

オ) - 2 材料評価

6061 材を用いた TYPE3 容器について、0~100%サイクル圧における応力振幅と寿命の関係評価 (図 2 2) 及び 6061 材ライナーの内面傷深さと疲労寿命の評価 (図 2 3) をおこなった。評価により、傷深さの影響について傷深さ 0.4mm までは寿命低下が大きく、それ以上の傷深さにおいては低下量が鈍化する傾向が見られる結果が得られた。

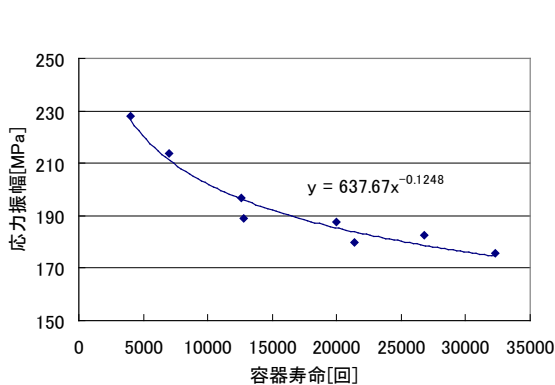


図 2.2. 応力振幅と寿命の関係

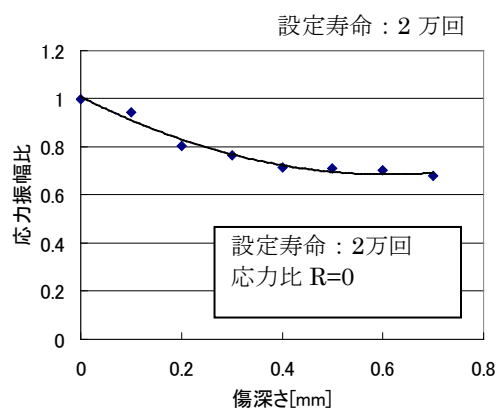


図 2.3. 傷深さと寿命の関係

6061 材を用いた TYPE3 容器について、40~100%サイクル圧における応力振幅と寿命の関係を取得した (図 2 4, 図 2 5)。40%~100%と 0%~100%サイクル圧の寿命比較により、40~100%は 2.3 倍容器寿命向上することが明らかになった。



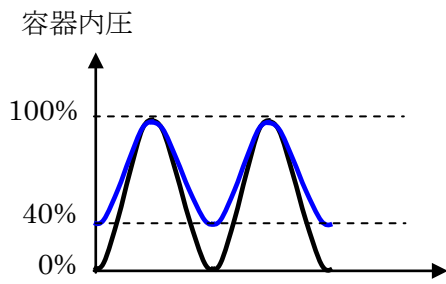


図 2.4. 下限圧力条件

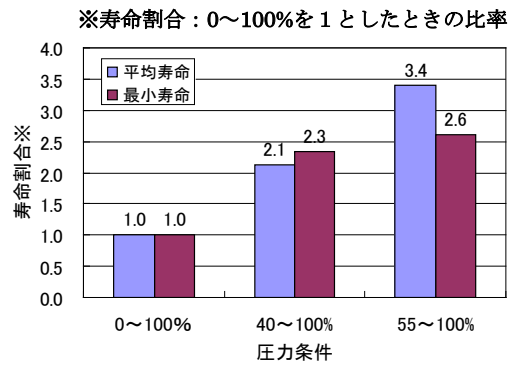


図 2.5. 下限圧力を上げた場合の寿命向上割合

6061 材の自緊処理によるバウシinger効果の影響評価により、引張ひずみ 2%までは圧縮耐力低下量が少なく、3%では約 10%低下が確認された (図 2.6, 図 2.7)。

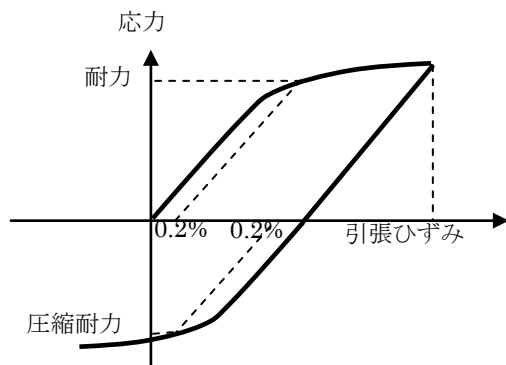


図 2.6. 引張耐力と圧縮耐力力の関係

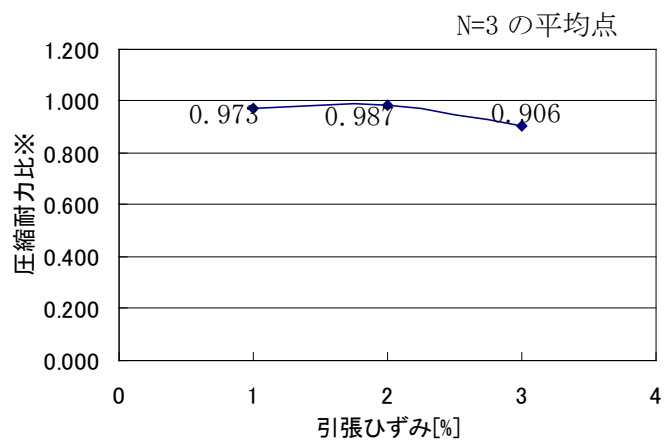


図 2.7. 引張ひずみと圧縮耐力の関係

### オ) - 3 試験容器の製作

従来合金 6061 を用いて TYPE3 容器を製作した。図 2.8 に製作した 70MPaTYPE 3 容器を示す。



項目	
全長[mm]	570
外径[mm]	212
重量[kg]	14.0
容量[L]	7.5L

図 2.8. 6061 製 70MPaTYPE3 容器

### オ) - 4 成果の意義

容器用アルミニウム材の傷深さと寿命の関係の評価により、70MPa 容器の疲労設計をするための指標を得た。また 40～100%サイクルの寿命取得により、通常の 0～100%サイクルに比べ 2.3 倍の寿命向上が認められるため、寿命を一定とした場合、容器材料のコスト削減に転化できる可能性を得た。

### オ) - 5 今後課題(平成 27 年度)

6061 材 70MPa 容器の性能評価 (GTR 連続試験を含む) をおこなう。

### 3. 2 成果の意義

国際基準 (HFCV GTR Phase2) に日本案を提案し反映させることで、国際基準を国内規制へ適用可能となる。国際基準 (HFCV GTR Phase2) を国内導入することにより、燃料電池自動車の国際取引が可能となり、燃料電池自動車の低コスト化に繋がる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

作成済みの実証試験計画に基づき、平成 29 年末までに取得する実証試験データを根拠に日本案を作成し提案することで、国際基準への反映を実現することにより、確実に目標達成が可能。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

国際基準 HFCV GTR Phase2 での破裂圧の適正化の審議に資する予備試験として、自動車用圧縮水素容器の残存強度確認試験を実施した。その結果、5500 回の常温圧力サイクル試験後容器と HFCV GTR 液圧シリーズ試験後容器の破裂圧力は、新品容器と比較して、低下していないことが確認できた。このデータが、破裂圧の適正化の審議において、根拠データとしてシナリオ審議および実証試験計画の作成に活用された。

アルミニウム合金の腐食に関する従来評価法 (圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準) を実施し、候補材料の実力および組成の影響を把握した。6066 および 6069 の成分範囲内ではほとんどの合金が粒界腐食(IGC)試験または応力腐食割れ(SCC)試験において不合格となることが分かった。長期負荷割れ(SLC)試験では試験法で規定されていない湿度の影響を受けることが分かった。

上記の結果を根拠データとして、国際基準 (HFCV GTR Phase2) の主な課題である破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法のシナリオ案と実証試験計画を作成し、国際基準への提案に向けた国内審議で承認された。

今後は、作成済みの実証試験計画に基づき、平成 29 年末までに実証試験データを取得する。取得した実証試験データを根拠に日本案を作成し、国際基準へ提案することで、国際基準への反映を実現する。

国際基準 (HFCV GTR Phase2) を国内導入することにより、燃料電池自動車の国際取引が可能となり、燃料電池自動車の低コスト化に繋がる。

### 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013 年 5 月	一般社団法人軽金属学会第 124 回春期大会	水素ボンベバルブハウジング用 6000 系アルミニウム合金の開発	日本軽金属) 邢 劼 ほか
2	2014 年 9 月	日本機械学会関東支部第 22 回茨城講演会	6066 および 6069 アルミニウム合金の耐水素脆化特性評価	茨城大学) 田中瑞輝, 寺田将也, 伊藤吾朗
3	2014 年 11 月	一般社団法人軽金属学会第 127 回秋期大会	Al-Mg-Si 系合金における長期負荷割れ試験時のき裂進展挙動	茨城大学) 寺田将也, 田中瑞輝, 車田 亮, 伊藤吾朗
4	2015 年 11 月 (予定)	一般社団法人軽金属学会第 129 回秋期大会	未定	日本軽金属) 邢 劼 ほか
5	2015 年 12 月 (予定)	軽金属学会	高強度 6000 系アルミニウム合金の水素脆化感受性	神戸製鋼所) 中井 学 ほか

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 25 年度	特願 2013-081282	水素経路用アルミニウム合金とその製造方法	日本軽金属株式会社
2	平成 27 年度 出願予定		高強度 6000 系合金高圧水素ガス容器部材	株式会社神戸製鋼所

**(I-3) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」**

委託先：水素供給・利用技術研究組合、日本自動車研究所

●成果ガリ（実施期間）：平成25年度～平成27年度終了予定

- 全ての水素ステーションの品質管理方法を規定する運用ガイドラインを作成し、既に広く利用されている。
- 高圧水素ガス試料採取容器を法令照会に基づき製作し（日本初）、水素ステーションでの検証に活用。（HYSUTステーション全10ヶ所で検証）
- 安価・簡便な水素分析を目指し、ISOの主要8成分を対象にした簡易分析装置の開発を進め、開発した低圧水素ガス試料採取容器と併せて検証を実施。分析コスト及び分析時間の目標を達成見込み。
- ISOに対して、品質規定（ISO14687-2）、品質管理（ISO19880-8）の2件の国際規格の日本提案実施済み

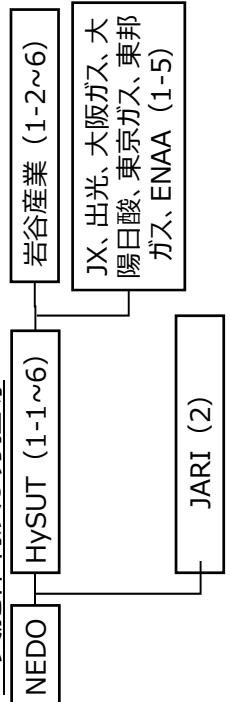
●背景/研究内容・目的

水素品質ISO国際規格を遵守しつつ、安価・簡便な品質管理を目指す。そのために、水素品質管理ガイドライン、簡便な試料採取方法、水素ステーション現場で試料採取から分析までを行なう簡易分析装置等が必要である。  
また、水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案と、品質管理新提案（ISO19880-8）の国際標準化を目指す。

●研究目標

実施項目	目標
1-1	水素品質管理の運用ガイドラインの策定
1-2	高圧水素ガス試料採取容器の検証
1-3	低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の検証（分析コスト：現行200万円の1/2、分析時間：現行120hrの1/10）
1-4	供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検証
1-5	水素ステーションでの検証
1-6	新規・画期的分析装置の探索
2	水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案・国際標準化

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- 1-1 全ての水素STの品質管理方法を規定する水素品質管理ガイドラインを予定通りに策定した。
- 1-2 高圧試料採取装置を製作。高圧ガス保安法の検査充填用の国内初の装置として既に広く利用されている。
- 1-3 ISO主要8成分を対象とする簡易分析装置として、TOFMS、小型ガスクロ、HEMSを比較評価して、TOFMSが最も優れていることを立証した。
- 1-4 水素ステーションのフィルタ設置実績を品質管理ガイドラインに反映した。
- 1-5 上記1-2、1-3のフィードバック評価を計54回実施し、安全性の確認と事業化に向けたデータの蓄積、情報収集を行った。
- 1-6 HEMSを探索して、上記1-3項で評価を行った。
- 2 ISO水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化：品質規定（ISO14687-2）、品質管理（ISO19880-8）の2件の国際規格の日本提案実施済み。

●今後の課題

- 1-1 適切なタイミングでのガイドライン改訂
- 1-3 TOFMSによるISO全12成分分析と、更なるコストダウン
- 1-4 微粒子粒径管理と捕捉率管理方法の作成と改訂ガイドラインへの反映
- 1-5 上記1-3の実施  
上記1-3を中心として、2年間の事業延長を検討中。
- 2. 有機ハイドライドを利用した新しい水素供給技術に対して、必要な検討を実施し、成果を得ることが重要な課題となる。

●実用化・事業化の見通し

- 1 ISO全12成分分析可能なTOFMSを用いた従来費用よりも安価な受託分析事業を目指す。
- 2 適正な規格を策定することにより、安価な水素供給システムが確立され、FCVの普及拡大に貢献する。

実施項目	成果内容	自己評価
1-1	水素品質管理の運用ガイドラインの策定	◎
1-2	高圧水素ガス試料採取容器の検証	◎
1-3	低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の検証	○
1-4	供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検証	○
1-5	水素ステーションでの検証	○
1-6	新規・画期的分析装置の探索	○
2	水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案・国際標準化	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	4	1	0

## 課題番号：I-③

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発

#### 1. 研究開発概要

水素供給インフラの整備に当たって、高純度水素燃料の適正かつ安価・簡便な品質管理を実施し、トラブルなく安定した品質の水素燃料をFCVに供給することが必要である。水素燃料の品質標準としてISO国際規格(ISO14687-2: Hydrogen fuel - Product specification - Part2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles)が2012年12月に正式成立しており、日本の水素ステーションはこのISO国際規格を遵守して水素供給を行なっていくこととなる。

しかしながら、ISO国際規格においては水素純度の規定や不純物濃度規定が定められているのみであり、水素品質測定の詳細、頻度等の品質管理に関する規定が無い。

また、水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)、燃料電池システム等実証研究(JHFC2)および地域水素供給インフラ技術・実証(JHFC3)の実証研究において水素燃料の品質分析は実施されてきたが、実験的であり、分析の専門知識が必要で、かつ分析コストが高い。2015年のFCVおよび水素供給インフラの普及期においては、JHFC1~3での水素分析に比較して、より安価・簡便な品質管理方法の研究開発が必要である。

更に、現在のISO国際規格は、黎明期のFCVおよび水素供給インフラを前提に作成されている。ISO国際規格は定期的改訂が行われており、2015年からのFCVおよび水素供給インフラの普及初期に合致した新たな国際規格の策定が必要である。

本研究開発は、水素供給・利用技術研究組合（以下、HySUTと記す）及びその研究分担先（岩谷産業ほか）と、（一財）日本自動車研究所（以下、JARIと記す）の2機関が共同し、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の確立と国際標準化について進めるものである。

HySUT及びその研究分担先は、サブテーマ1：適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発を進める。JARIは、サブテーマ2：水素燃料仕様のISO14687-2の改訂提案・国際標準化を進める。

以下に、サブテーマ毎の各テーマを記す（カッコ内は担当社）。

サブテーマ1：適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

- (1)水素品質管理の運用ガイドラインの検討（HySUT）
- (2)供給水素ガス試料採取容器・方法の開発（HySUT、岩谷産業）
- (3)水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)（HySUT、岩谷産業）
- (4)供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討（HySUT）
- (5)水素ステーションでの検証（HySUT、岩谷産業、JX日鉱日石エネルギー、出光興産、大阪ガス、大陽日酸、東京ガス、東邦ガス、エンジニアリング協会）
- (6)新規・画期的な分析装置の探索（HySUT、岩谷産業）
- (7)次期ISO改訂に向けた基準値の検討（HySUT、岩谷産業）

サブテーマ2：水素燃料仕様のISO14687-2の改訂提案・国際標準化

- (1) 水素燃料仕様の国際標準化（JARI）
- (2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価（JARI）

図1に本事業の研究体制を示す。

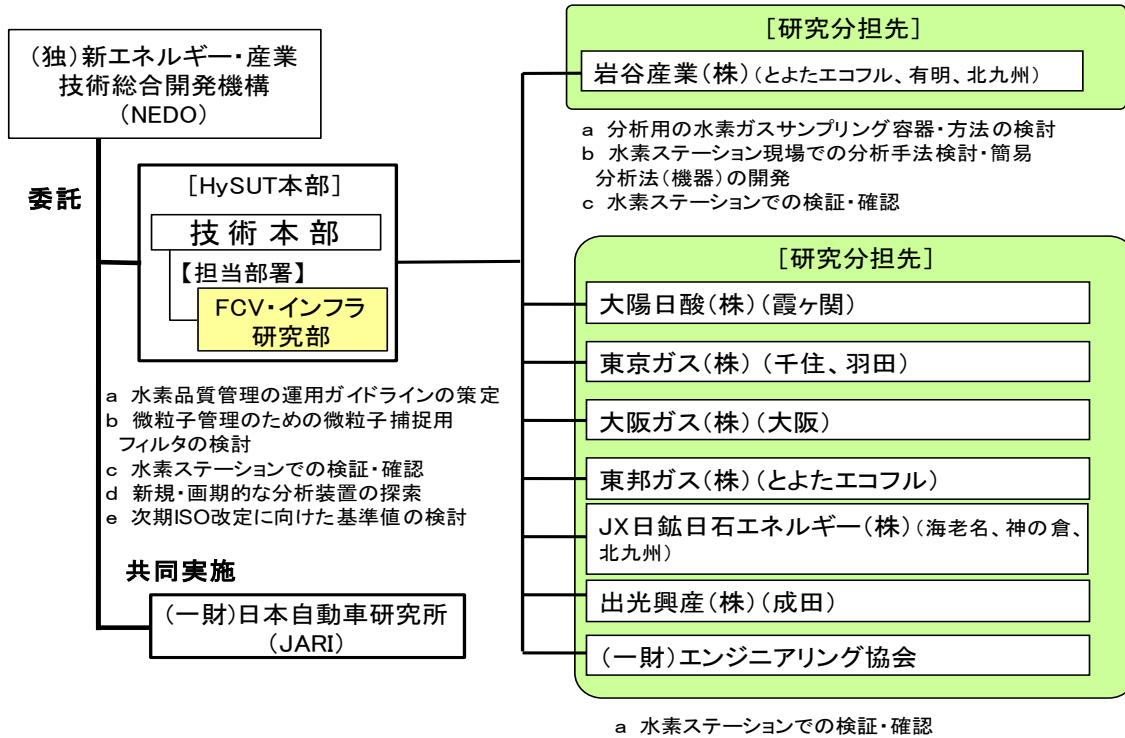


図1 研究体制

委託期間：平成25年5月1日から平成28年3月21日まで

2. 研究開発目標（平成27年度）

サブテーマ1：適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

水素分析コストは現行200万円/STを1/2以下とし、水素分析時間は現行120時間/STとすることを目標とする。

(1)水素品質管理の運用ガイドラインの検討

平成25年度で準備し、平成26年度に策定した水素品質管理ガイドライン（GL）を見直し、業界団体等への提言を行なう。

(2)供給水素ガス試料採取容器・方法の開発

高圧部分からの試料採取については、METIからの法令照会結果を得て平成26年度に試料採取装置を製作して試験充填が可能となった。適正で簡便・安価な方法の確立のために、可能な限りの多くの水素ステーションにおいてその有効性を確認する。

低圧部分からの試料採取については、少量の試料を正確に分析するための容器改善を平成26年度に施したので、(3)の簡易分析装置と併せて水素ステーションでの検証を平成26～27年度に実施し、その有効性を確認する。

(3) 水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)

平成 26 年度に 3 方式から選定した飛行時間型質量分析装置 (TOFMS) を平成 27 年度に改良開発し、低圧試料採取装置と組み合わせた水素ステーションでの検証を実施する。

(4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討

水素品質規格 ISO14687-2 に規定されている微粒子については、水素ステーション設置のフィルタでその管理を実施する。平成 25 年度にフィルタの実態調査を行い、供給水素中の微粒子重量が十分に ISO 水素品質規格を満足していることから、水素品質管理ガイドラインにフィルタについて規定した。平成 27 年度はフィルタの捕捉効果を把握し、水素品質管理ガイドライン改訂版に反映する。

(5) 水素ステーションでの検証

上記(2),(3),(4)の開発結果の確認のために、水素ステーションにおける検証を実施する。

(6) 新規・画期的な分析装置の探索

国内外の新規分析装置について調査し、(3)簡易分析装置の開発にフィードバックする。

(7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討

水素ステーションでの検証結果を蓄積し、水素燃料仕様 ISO14687-2 の改訂に資する。

## サブテーマ 2 : 水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化

(1) 水素燃料仕様の国際標準化

平成 26 年度までの結果に基づき ISO14687-2 改定版策定に必要な改定内容を、技術検討を継続しながら、取りまとめる。年度終了時まで改訂版の原案を策定する。また、WG12 アドホック会議等を開催し、原案内容に対する事前すり合わせを実施する。その上で、これらの参加国の基本的な合意を得た改定一次案を策定する。また、同時に進行する ISO14687 の 3 文書の統合の活動をスタートさせ、統合に至る内容の整合とその進め方について関係各国と合意する。

また、ISO19880-1 における水素燃料品質管理規定について、その原案を参加各国と協調し作成する。さらに、ISO19880-1 から水素燃料品質管理規定を分離し、それを新たに ISO19880-8 として国際規格の新規提案を行い、その策定手順について合意する。

(2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価

水素キャリア (有機ハイドライド) を利用する新規水素供給技術プロセスにおいて特に混入の可能性が高いとされるトルエン、メチルシクロヘキサン、ベンゼン等について、各々の不純物のセルに対する影響を明らかにするために、燃料水素の循環機能を有する発電装置を使用して検討する。

また、上記各成分が燃料電池の発電性能に及ぼす影響についての運転条件依存性を、非循環系の発電装置を用いて検討する。

それらの得られたデータについて、暫時燃料標準化 WG に提供し、燃料品質の国際標準化の検討に資する。

なお、運転条件の影響を調査するための試験数は多く、必要に応じて「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発／普及拡大化基盤技術開発研究開発項目①普及拡大化基盤技術開発」／(テーマ A) PEFC 解析技術開発」で使用する不純物導入可能な発電装置を共用し、有効活用することを想定している。なお、図 2、図 3 に平成 26 年度までと平成 27 年度以降の当該標準化活動に係る実施体制を示す。



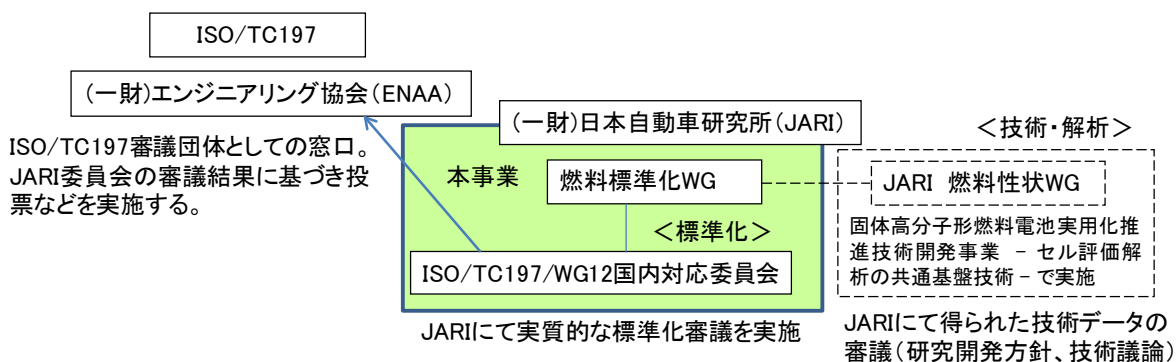


図 2 平成 26 年度までの水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

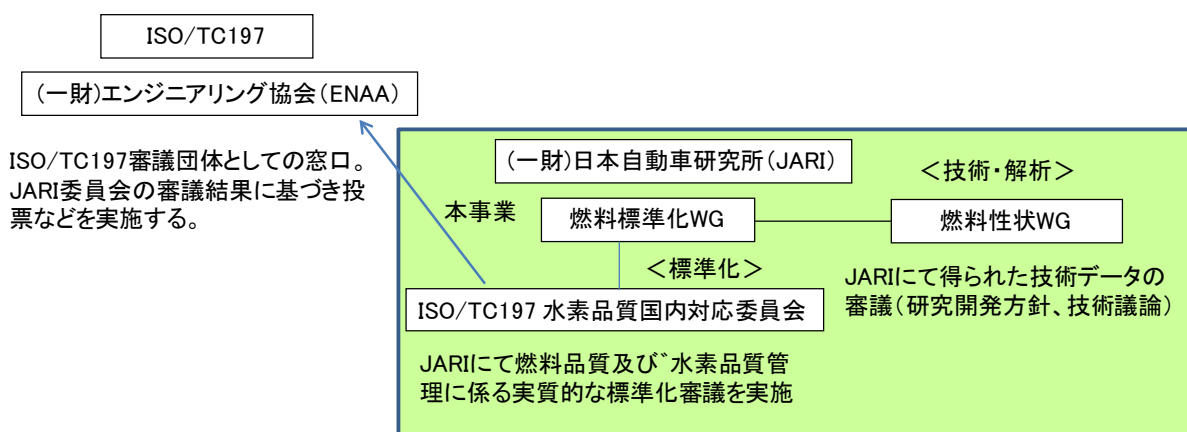


図 3 平成 27 年度以降の水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

##### 3. 1. 1 サブテーマ 1 の研究開発成果、達成度

###### (1) 水素品質管理の運用ガイドラインの検討

水素燃料仕様 ISO 国際規格 (ISO14687-2) は水素品質測定の詳細規定や測定頻度規定が無いため、適切な水素品質管理の実施のためには、これらを規定した水素品質管理ガイドラインが必要である。ガイドラインの策定に当たり、水素の原料や製造法毎に混入可能性のある不純物を検討し、管理すべき不純物の項目と品質管理頻度を定めた。

平成 25 年度にガソリンや天然ガス等に関する類似ガイドラインの調査を行い、素案を作成し、その素案をブラッシュアップして平成 26 年度にガイドラインを作成した。作成にあたって、燃料標準化 WG、FCCJ 水素品質 TF にも諮り、関係者の合意形成を図った。

このガイドラインは予定通り、平成 26 年 9 月に完成し、FCCJ に提出した。FCCJ での審議を経て、平成 26 年 12 月に業界自主ガイドラインとして正式制定した。水素ステーションの品質管理方策として初めて作成されたガイドラインであり、既に国内の全ての水素ステーションにて広く用いられている。

###### (2) 供給水素ガス試料採取容器・方法の開発

簡便かつ安価な試料採取容器・方法の確立を目的として、高圧および低圧での試料採取の問題点を抽出

してその解決方法を検討し、水素性状を把握できる低圧試料採取箇所の見極めを行った。高圧試料採取については、7条3ステーションで試料採取することを高圧ガス保安法上で可能とするため、経済産業省から検査充填の法令照会の結果を得た。この結果に基づいた高圧試料採取装置を製作し、移動式製造設備として監督官庁へ申請し、許可を得た。高圧試料採取装置のイメージ図および実際に水素ステーションにて運用する際の配置図をそれぞれ図4,5に示す。この高圧試料採取装置は高圧ガス保安法に則った日本初の検査充填装置であり、開発の意義は大きい。

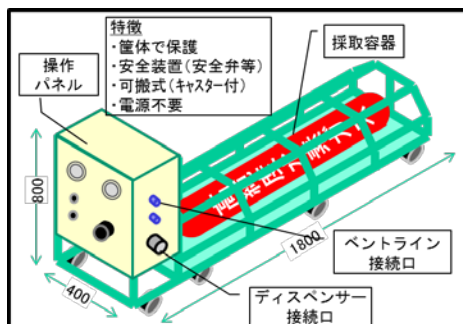


図4 高圧試料採取装置概要

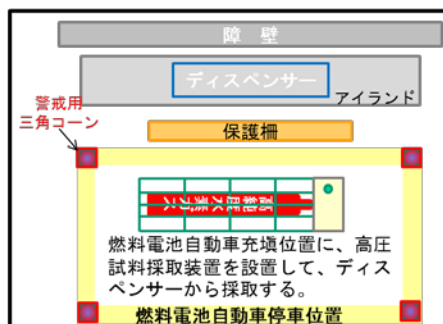


図5 高圧試料採取装置 配置図

低圧試料採取装置については、フィールド試験を実施した有明および大阪水素ステーションでの結果をもとに装置を製作した。装置には背圧弁を設置しており、試料の圧力を一定にして操作できるシステムとなっているが、急激な圧力上昇の際は安全弁で圧力を開放できるようにしている。また試料を容器へ導入するラインと水分計へ導入するラインが備わっている。

試料採取容器については、容器壁面への吸着がなく、安定して試料が貯蔵できる容器表面を開発することを目的に、ヒューズドシリカコーティング処理 (Si 処理) および高濃度オゾン酸化処理の評価を実施した。その結果 Si 処理の結果が最も優れており、Si 処理を採用することにした。

本テーマは計画通り進捗しており、平成 27 年 11 月には目標達成の見込みである。

### (3) 水素ステーション現場での分析手法の開発 (簡易分析装置の開発)

簡易分析装置として飛行時間型質量分析計 (TOFMS : Time-of-Flight Mass Spectrometer)、HEMS (Hydrogen Elimination Mass Spectrometer、パラジウム膜分離型四重極質量分析計) および小型ガスクロマトグラフの 3 方式の評価を行い、性能を比較した。評価項目としては、ISO 成分の分析可否を判断すべく、濃度既知の各成分を含む標準ガスを希釈装置にて 2 および 3 水準の濃度に調整して装置に導き、分析値の直線性を評価した。また可搬性や操作性、装置の完成度についても評価項目とした。結果を表 1 に示す。



表 1 各種分析装置の評価結果

主装置名		TOFMS	HEMS	小型ガスクロマトグラフ
ISO 成分の 分析可 否	水分	—	—	×
	全炭化水素	○	○	△
	酸素	○	○	×
	窒素	○	○	△
	二酸化炭素	○	○	△
	一酸化炭素	○	○	△
	全硫黄化合物	○	△	×
	アンモニア	○	△	×
評価 項目	精度	△	×	△
	再現性	○	×	×
	直線性	○	○	○
	立上時間	○	○	×
	可搬性	○	○	△
	操作性	△	△	△
	完成度	△	△	○

表 1 より、TOFMS は水分を除くすべての成分の測定が可能であり、立上時間や可搬性の面からも優れており、他の分析装置に比べ優位性が認められた。今後はステーション現場での実証を進め、装置完成度を向上させる。

本テーマは計画通り進捗しており、平成 27 年 11 月には目標達成の見込みである。

#### (4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討

ISO 国際規格は水素中の微粒子の重量濃度 1 mg/kg 以下が規定されているが、過去の技術・社会実証で複数ステーションで 1~2 桁下回った結果を得ている。微粒子については発生要因、発生場所を踏まえた管理が必要であり、現状では発生は定常的でなく突発的と考えられるため定期的・ルーチンの測定での把握は困難であり、ステーション設備に設置のフィルタによる捕捉が現実的と考える。このため、水素ステーションの設置フィルタ仕様やフィルタ捕捉微粒子について検討し、適切なフィルタ管理方策を検討する。

平成 25~26 年度は、水素ステーションの各機器設置フィルタの点検結果を調査し、ガイドライン案には従来の実証研究結果を踏まえて、目開き 10 $\mu$ m のフィルタを設置して微粒子管理を行う旨記載した。平成 27 年度は、水素ステーション 10 箇所で、充填水素中の微粒子重量の測定を行い、ISO 規格値を満たしていることを確認した。また、設置フィルタの付着物調査を行った。

更に、平成 27 年度はフィルタ捕捉効果について検討中である。水素品質管理に関する ISO 国際規格 (ISO19880-1) に微粒子粒径と捕捉率が規定される方向であり、本事業で標準的なフィルタ性能試験方法の確立に取り組んでいる。このフィルタ試験方法は改定ガイドラインに今年度中に盛り込む予定である。

#### (5) 水素ステーションでの検証

水素ステーションの設備仕様や高圧ガス保安法上での容器充填等の実施の可否について検討し、適切な水素ステーションにおいて各々の有用性を検証している。これまでに研究分担先で運用している全ての 10 ステーションにて試料採取を行い、品質確認試験を実施した。結果を表 2 に示す。

表2 実証ステーションの水素分析結果

単位:ppmv

ステーション名	海老名	千住	北九州	神の倉	とよた	大阪	成田	羽田	有明	霞が関	ISO	分析機器
採取日	8/20	8/27	9/10	9/18	10/15	10/22	11/18	11/21	12/17	1/9	14687-2	
水分	1.4	1.2	1.2	<0.5	<5 <sup>*1</sup>	0.7	1.4	0.5	<0.5	3.8	5	水分計
メタン	<0.05	0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	2	GC-FID
非メタン	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		
酸素	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5	酸素計
ヘリウム	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	300	GC-TCD
窒素	1.98	0.54	0.34	0.22	0.99	0.24	0.08	2.16	0.11	38.1	100	GC-HPID
アルゴン	0.16	2.41	0.47	0.05	0.28	0.36	<0.03	1.34	<0.03	2.92		GC-MS
二酸化炭素	0.05	0.08	0.01	0.02	0.17	0.01	<0.01	0.06	<0.01	0.04	2	GC-FID
一酸化炭素	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.2	GC-FID
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.004	IC(濃縮)
ホルムアルデヒド	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	HPLC/DNPH
ギ酸	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2	IC(濃縮)
アンモニア	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.1	IC(濃縮)
F	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	IC(濃縮)
Cl	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		
Br	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		

\*1 : 初回分析後、配管内を再度流通パージした後に測定した。

ステーションによっては水分、窒素、アルゴン等、検出された成分もあったが、それらを含めてすべてのステーションにおける分析値は ISO 規格値を満足していた。

また検証結果の N 増しを目的として、先行整備 22 ステーションを含めて計 54 回の品質確認分析を実施したが、これらもすべてのステーションにおいて結果は ISO 規格値を満たしていた。

次に、TOFMS のフィールド評価試験として、大阪、とよたエコフル等、6 ステーションでの試験を実施した。結果では、ほとんどの成分が定量下限値未満であったが、ISO 規格値以下ではあるが窒素成分のみが検出されていた。引き続き評価を実施し、TOFMS の有効性を確認する。

本テーマは計画通り進捗しており、平成 27 年 11 月には目標達成の見込みである。

### (6) 新規・画期的な分析装置の探索

上述の(3)項、水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)テーマで評価した HEMS を新規・画期的な分析装置と位置付けて評価を行った。これまでのところ、検出器の変更など、装置の改良を重ね、アンモニアと硫黄成分以外は測定できる条件を確立した。今後はそれら成分の測定とデータの再現性や分析操作性を考慮した装置完成度の向上が課題である。

本テーマ目標は達成しており、引き続き新たな装置を模索する。

## 3. 1. 2 サブテーマ2の研究開発成果、達成度

### (1) 水素燃料仕様の国際標準化の成果

#### a. 概要

標準化事業の推進のため、燃料標準化 WG を設け、本事業以外の NEDO 事業等で得られた成果も活用しつつ国際規格、国際標準化に関する技術検討を行った。

ISO/TC197(水素技術)の中で自動車に関わる WG12(水素燃料仕様)について、FCV 導入期の水素燃料仕様である ISO14687-2 (2012 年) 発行後、FCV 普及期を想定した水素燃料仕様の標準化に関する技術

検討を行った。

特に、現在他事業で実施中の「NEDO 固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発事業／基盤技術開発／セル評価解析の共通基盤技術」にて得られた水素燃料中不純物の影響調査等の成果を活用し、FCCJ 及びインフラ業界とも十分な連携を取りながら実証試験の結果を反映し ISO14687-2(FCV 用水素燃料仕様) 改訂版の規格案を検討し、特に CO、炭化水素系の成分について、国内のインフラと自動車業界との合意の上規格値を設定することとしている。

その際、上記「セル評価解析の共通基盤技術」燃料性状ワーキングと連携し、特に標準化に必要なデータ等の情報をフィードバックし、当該事業での効率的データ取得に資することが出来た。また、米国、仏国などと、当該標準化に係るワークショップ等を開催し、問題点、課題など改定提案前に情報共有し、改定に向けたコンセンサスを形成した。

さらには、日米欧自動車業界間で、ISO の議論に多大な影響を及ぼす SAE(米国自動車技術会)の当該会議に参画し、SAE J2719 (水素燃料仕様)に関連し、欧米の自動車メーカーならびに燃料供給者による水素燃料仕様議論を把握し、ISO141687-2 改訂議論と乖離しないよう整合した改訂版の作業を提案する点について合意を得た。

一方、当該国際規格 ISO14687-2 に関連して水素燃料品質管理を規定する ISO19880-1 (水素ステーション規格) 等についてその国際審議に参加し、国際規格間の整合を期す。特に欧州の認証関係との連携を強め、燃料仕様の規格値 (ISO14687-2) の重要性の理解を高め、それに適合する燃料の供給のため品質管理手法について取りまとめた。

#### b. 平成 25 年度成果

NEDO 他事業で実施の JARI 燃料性状 WG の成果及び FCCJ、HySUT からのインフラ側からの情報を元に、改訂版に向けた検討課題を整理し、具体的検討に着手した。その結果を踏まえ、ISO/TC197 総会参加し、ISO 改定に向けた各国の意識合わせを実施した。その際、特に欧州での燃料仕様に対する考え方について、これまでの ISO の審議の理解がないまま進められる懸念があったため、欧州産業ガス協会を中心に意見交換を実施した。

また、欧米の FCV 用水素品質の実情を把握し、改訂版の策定に資するため、燃料使用者である自動車会社の委員とともに現地 (北米) 調査を実施した。

#### c. 平成 26 年度成果

平成 25 年度の成果をもとに、抽出した課題について、技術検討を FCCJ 等と連携して、CO、粒子の制御のためのステーション規格でのフィルタ規定の設定、オイル・その他 ISO 第 1 版での未検討成分などの検討を進めた。特に、フィルター規定については、別途実施されるフィルターの性能評価等を通じて適切な規定を定めることとした。また、有機ヒドライド等、水素供給システムに関連して検討すべき成分も提案され、その他の成分と併せて改定に向けた検討の重要性が認識された。さらに、現状の ISO14687-2 の内容を引き続き精査し、改定が必要な箇所について確認した。

また、米国 DOE、独国 NOW、日本 NEDO で開催された水素インフラ・輸送のワークショップの燃料品質に係る TF に参加し、欧米の主要な関係者と、品質規格と品質管理考え方について共通認識を得て、改定に向けた検討課題のすり合わせるとともに、共通認識の醸成を実施することが出来た。

さらに、水素燃料品質管理を規定する ISO19880-1 (水素ステーション規格) 等についてその国際審議 (ISO/TC197/WG24 : 水素ステーション) に参加し、その中の水素品質管理の規定において、水素品質規格との整合を明確にすることが出来た。また、平成 27 年 2 月に開催の WG24 国歳会議に出席し、水素品質管理に係る内容について、原案を取り纏め、WG24 において合意を得た。

#### d. 平成 27 年度取組み内容

平成 26 年度の結果に基づき ISO14687-2 改定版策定に必要な改定内容を、技術検討を継続しながら、取りまとめる。年度終了時まで改訂版の原案を策定する。また、WG12 アドホック会議等を開催し、原案内容に対する事前すり合わせを実施する。その上で、これらの参加国の基本的な合意を得た改定一次案を策定する。また、同時に進行する ISO14687 の 3 文書の統合の活動をスタートさせ、統合に至る内容の整合とその進め方について関係各国と合意する。

また、ISO19880-1 における水素燃料品質管理規定について、その原案を参加各国と協調し作成する。さらに、ISO19880-1 から水素燃料品質管理規定を分離し、それを新たに ISO19880-8 として国際規格の新規提案を行い、その策定手順について合意する。

### (2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価

平成 27 年度より、水素キャリア（有機ハイドライド）を利用する新規水素供給技術に由来する不純物によって FCV の性能に問題が生じないか、すなわち、現行の燃料品質の規格値が燃料品質目標として十分な規定であるか、調査することとした。この追加事項について実施計画を取り纏め、試験研究実施の準備を整えた。

達成度については、平成 27 年度から実施する追加事項も含めて、上記の実施内容について計画通りの成果を挙げており、十分な達成度が得られている。

## 3. 2 成果の意義

### 3. 2. 1 サブテーマ 1 の成果の意義

本事業において、これまでに水素試料採取から分析までを簡便・安価に、かつ安定して行う技術の確立に目途をつけた。

水素品質管理運用ガイドラインについては、水素燃料仕様 ISO14687-2 を遵守しながら、簡便で実地的な水素品質管理に関する日本で初めての基準であり、既に全ての水素ステーションで広く用いられており、その意義は大きい。

試料採取については高圧試料採取方法を確立したことで、現在の品質ガイドラインで定められているディスペンサー出口での試料採取による品質管理を安全、簡便に行うことが可能となった。高圧試料採取装置は、高圧ガス保安法に則った検査充填用の国内初の装置であり、既に全ての水素ステーションで広く用いられている。その特徴や有意性について特許出願を行った。また低圧試料採取方法を確立したことにより、今後、高圧採取の代替として、水素性状を的確に把握することができる試料採取箇所の見極めも可能になる。

分析では、ISO に規定されている 12 成分の不純物を測定するのに従来法ではガスクロマトグラフなど 5 種類の分析装置が必要であったのに対して、簡易分析装置（TOFMS）の製品化の達成により、1 台で分析可能となった。現在の市場には ISO 成分を 1 台の分析装置で対応できるものはなく、他の分析装置とは差別化を図れる装置である。これにより分析業務を簡素化することができ、分析コストおよび時間の低減が図れるとともに、今後、更に装置の完成度を向上させることで、高度な分析技術を駆使することなく、簡単に誰もが分析業務を遂行することができるようになる。

また水素ステーションでの実証テーマにおいて、ステーション毎のタイプ（オンサイト or オフサイト、水素製造方法の違いなど）が品質に与える影響や各ステーションのレイアウト等特性を把握することができたことは、今後、分析事業を展開する上での情報収集となり、事業化へのスムーズな移行を可能にすると考えられる。

供給水素中の微粒子管理のためのフィルタについては、水素ステーションの現状と過去の実績を踏まえてのフィルタ仕様をガイドラインに盛り込み済みであり、更に、粒径と捕捉効果の管理のための標準的はフィルタ試験方法の確立とガイドラインへの反映を予定している。

### 3. 2. 2 サブテーマ2の成果の意義

FCV に充填する水素ガス品質については、ISO 国際規格 (ISO14687-2) が日本が議長・国際幹事を務めて諸外国を主導して既に成立している。また、ISO 国際規格は初版発行後定期的(通常5年毎)に見直しが行われるが、初回のみ3年目で見直しが実施される。そこで平成24年12月に成立したISO14687-2 (FCV 用水素燃料規格) は平成27年頃に改訂を開始すると想定される。2012年12月に発行された初版は、黎明期のFCV、すなわち実証試験あるいは導入期の限定された台数のFCV を暫定的に守ることを主目的に規格値が策定された。そのため、自動車・インフラ双方とも直ちに改定作業に取り掛かることを前提として、国内外の合意を形成した経緯があった。次期改訂 ISO 国際規格は、今後の普及初期(2015年～2025年)、特にその後半の拡大期(2020年～)の大量普及を想定したFCV 技術、燃料供給インフラビジネスに適した燃料規格を目指している。FCV 側からみれば、大量普及のために高性能化、小型化、低コスト化に取り組む中で、白金触媒担持量の低減など、不純物への耐性が減少する方向に研究開発が進められていることもあり、FCV の耐久性向上の制御技術ともバランスした規格であることが求められる。

一方、インフラ側からは、コスト低減ため、全般的に可能な限り規格値の緩和が求められている。特にCO は出荷基準に直接結びつくだけに、特に重要な成分と認識されている。また、当該国際規格中の分析法等の記述、品質管理手法の例示など、本事業で並行して策定・検討される水素品質管理手法との整合を取る必要がある。さらに、水素供給コスト低減のための手法として、水素の大量輸送/長距離輸送を可能とする効率的な水素貯蔵・輸送技術の開発が求められており、有望なプロセスとして、有機ハイドライドを利用した水素供給技術が検討されている。これらの新しい水素供給技術に対して、不純物の面から必要な検討を実施し、必要に応じて品質規格に反映することも必要がある。

本研究開発の成果により、これらの状況に対応し、必要な技術的検討を実施することにより、次期より成熟した燃料仕様規格策定が、日本主導で実施可能とするものである。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

#### 3. 3. 1 サブテーマ1成果の最終目標の達成可能性

水素ステーションの品質確認を行うにあたり、従来の分析手法では分析時間が120時間、分析コストが約200万円かかっていた。これに対して本事業の最終目標(平成27年度末)は、分析時間を1/10、分析コストを半減(100万円)にすることである。これはISO 主要8成分の分析を目指した簡易分析装置による水素ステーション現地での分析を可能にすれば達成できる。簡易分析装置はほぼ完成しており、改善すべき点は現地までの輸送および短時間での装置立上、試運転、分析となるが、昨年度実施した現地分析試験において課題であった輸送時の装置の大气解放対策等は既に施しており、今後は更に実績を積むことで課題解決ができる見込みである。また試料採取方法は試料を現地にて分析装置に導く方法、もしくは低圧容器に採取して分析装置に導く方法を確立する必要があるが、これは昨年度までの試料採取試験から得た知見により試料採取装置を設計し、製作を開始している。立上、試運転の後、本装置を活用することで達成できる。

上記のように平成27年度の最終目標は達成可能であるが、現在、ISO 全12成分の分析を可能とし、更なる分析費用のコストダウンを目指した本事業の新たな最終目標を設定しており、簡易分析装置を中心とした開発を平成29年度まで2年間延長することを検討中である。

### 3. 3. 2 サブテーマ2 成果の最終目標の達成可能性

#### (1) 水素燃料仕様の国際標準化（最終目標：平成 29 年度）

最終目標については、上記の標準化活動を継続し、ISO 議長国として関連 WG の国際標準化審議を責任を持って運営をし、平成 29 年度まで ISO14687 は照会原案の策定、ISO19880-8 は各国際規格として発行段階の到達を目指す。また、SAE2719 等関連する規格について、その整合を確認するとしているが、これまでの成果は計画通り進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

#### (2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価（最終目標：平成 29 年度）

平成 27 年度から追加実施される内容であるが、平成 27 年度に得られたデータを中心に、シクロヘキサン、ブタン等も含めた有機ハイドライドをキャリアとした水素供給プロセスに由来する不純物について規格値の妥当性の評価に資するデータを燃料標準化 WG に提供する。また、燃料標準化 WG 及び関連する委員会等の議論において、この他に水素品質の国際標準化に必要とされる技術検討が要請された場合には、必要に応じて試験研究を実施し、標準化議論に資するとしている。これまでの成果は計画通り進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

以上の技術解析データを提供して水素品質の国際標準化議論を推進することによって、適正な規格を策定する。これにより安価な水素供給システムが確立されることになり、水素ステーションの普及拡大、さらにそれに伴う FCV の普及拡大に貢献する。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4. 1 サブテーマ1のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

平成 27 年度末の達成状況について図 6 にまとめる。



図 6 本事業期間での達成状況まとめ

今年度末の達成状況としては、開発中の高圧・低圧試料採取装置を用いて、簡易分析装置を可搬式として現地に持ち込み、その場で分析が行えるようになる。これにより分析コストは約 100 万円、分析時間は 12 時間以下になる見込みである。

今後の課題は、高圧ガス保安法の火気距離の制限から簡易分析装置はディスペンサーから 8m の距離をあける必要があるため、分析準備に時間がかかることや試料採取配管が長くなることにより分析精度が悪くなる可能性があること等が挙げられる。また現在は ISO 不純物成分の内、代表的な 8 成分の分析を対象としているが、12 成分分析を行うためには更に 4 成分（ギ酸、ホルムアルデヒド等）の分析条件を確立する必要がある。



事業化の内容としては、水素ステーション品質管理における受託分析事業を考えており、その形態としては、簡易分析装置を車載して現地分析する手法および分析拠点を設けて試料採取のみをステーションで効率よく行い、まとめて分析する手法を検討する。イメージ図を図7に示す。

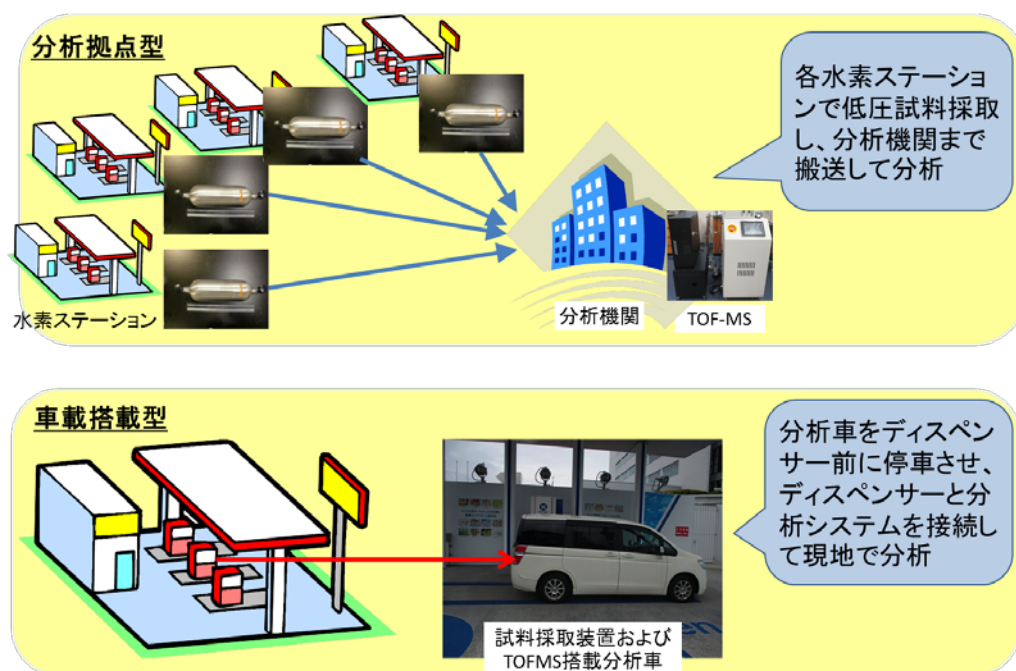


図7 事業化した際の水素品質管理手法

今後は図7の手法について実証を進め、水素ステーション運営会社のニーズ調査を行い、適正な分析コストおよび分析時間について精査する。これをもとにフィージビリティスタディを進め、最適なビジネスモデルを検討したうえで事業化を推進する。

#### 4. 2 サブテーマ2のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

既に研究開発成果の章で述べているように、当初計画通りの成果を挙げており、今後の事業の継続実施により、最終目標の達成は十分に見込むことが出来る。

今後の課題としては、特に平成27年度から追加実施している水素中不純物の燃料電池への影響評価について、特に、有機ハイドライドを利用した水素供給技術は、低コストの水素の大量輸送/長距離輸送を可能とする効率的な水素貯蔵・輸送技術を具現化する有望なプロセスとして期待されている。これらの新しい水素供給技術に対して、不純物の面から必要な検討を実施し、成果を得ることが重要な課題となる。

以上の技術解析データを提供して水素品質の国際標準化議論を推進することによって、適正な規格を策定する。これにより安価な水素供給システムが確立されることになり、水素ステーションの普及拡大、さらにそれに伴うFCVの普及拡大に貢献する。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013.5.24-26	1 <sup>st</sup> International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
2	2014.5.8-9	2 <sup>nd</sup> International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
3	2015.6.24-25	3 <sup>rd</sup> International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
4	2015.2.27	産業技術総合研究所計量標準総合センター主催 平成 26 年度標準ガスクラブ講演会	水素ステーションにおける水素品質管理方法の国際標準化に関する研究開発	表田 新一

—新聞・雑誌への掲載等—

No.	年月	掲載先	題目	掲載者
1	2015	水素・燃料電池マーケティング・ブック ハイドロリズム 2015 vol.5	[構築急務の FCV 用水素の品質管理体制] 岩谷産業中央研究所、NEDO 事業で「分析装置、試料採取方法」を追求	井上 吾一

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 26 年 12 月 15 日	特願 2014-253025	試料採取装置及び試料採取方法	岩谷産業株式会社



**(I-④)「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」**

委託先：水素供給・利用技術研究組合、一般財団法人石油エネルギー技術センター、一般財団法人日本自動車研究所、国立大学法人九州大学

**●成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成27年度終了予定)**

- ・商用ステーション普及に合わせ、87.5MPaを上限とする技術基準を制定した。技術基準は本年度中に高圧ガス例示基準に引用され70MPa超え充填が可能になる予定である。
- ・70MPa及び87.5MPaを上限とするステーション性能を確認するガイドラインを整備した。ガイドラインは全ての商用ステーション性能標準として広く活用されている。
- ・国際基準を議論するSAE(米国自動車技術会)で主導的な役割を果たし、安全と利便性を両立し、かつ国内に受け入れ可能な充填基準を発行することができた。
- ・国内及び国際充填基準を発行するために必要な、シミュレーション開発及びフィールド実証を行った。
- ・シミュレーション精度向上のために低温から高温の高圧水素粘性係数・熱伝導率を測定できる装置を開発し、測定方法を確立した。さらに、-30℃～常温、100MPaまでの粘性係数を測定した。

**●背景/研究内容・目的**

70MPa水素ステーションを商業地域などの市街地に建設するための法改正には、過充填を防止する充填方法を定める技術基準が必要である。水素・FCV関係業界が普及を約束する2015年間に合うタイミングでこれを実現するために、①充填技術基準を制定するとともに、ステーション性能を確認するためのガイドラインを策定する。②SAEが主導する国際充填基準を国内に受け入れ可能な内容に誘導し発行する。

③国内外充填基準を作成するためのシミュレーション技術開発及び検証試験を行う。さらに、④シミュレーション精度を向上するために、充填に必要な温度域で国際的に未整備な高圧水素の粘性係数及び熱伝導率を測定する。

**●研究目標**

サブテーマ	目標
1	国内充填基準類(充填基準、ガイドライン)の整備
2	充填基準(プロトコル、ノズル)の国際調和
3	充填技術(シミュレーション・充填試験)開発
4	シミュレーション精度向上のための水素物性値取得

**●実施体制及び分担等**

NEDO	HYSUT(サブテーマ1、2、3)
	JPEC (サブテーマ1)
	JARI (サブテーマ2、3)
	九州大学 (サブテーマ3、4)

**●これまでの実施内容／研究成果**

**サブテーマ1**: 70MPaに加え87.5MPaを上限とする技術基準を制定した。70MPa基準は関連する高圧ガス例示基準が改正され、市街地での70MPa充填が可能になった。また、70MPa、87.5MPa充填基準に対応するステーション性能を確認するガイドラインを策定し、業界団体(FCCJ)へ提出した。これら充填基準及びガイドラインは現在普及が進む商用ステーション建設で運用されている。

**サブテーマ2**: 国内のFCV・インフラ業界の意見を調整し充填における日本の方針を作成した。これに基づき、充填プロトコル国際基準が議論されるSAE ワーキング及びWeb会議で積極的に提案を行い、国内で受け入れる事が出来る内容でSAE基準を発行することができた。SAEに続きISO充填基準対応を行うと共に、バス充填及び小型容器充填作りのための技術議論を行い国内方針を作成した。

**サブテーマ3**: 国際基準に対する提案及び国内基準を制定するためのシミュレーション及び検証試験を行い、国内外充填基準策定に貢献した。また、ディスプレイに搭載可能な計算容量で十分な精度を有する容器温度計算プログラムを開発した。充填試験においては、ノズル・セブタクルの水結対応試験及び小容量充填基準を作成するための基礎試験を行った。

**サブテーマ4**: 充填シミュレーション精度を向上するために必要な高圧水素の粘性係数・熱伝導率を測定するために細線振動法による計測装置を開発し、測定法を確立した。装置を-30℃～常温、100MPaまでの粘性係数を測定し、シミュレーション精度向上を行った。

**●研究成果まとめ**

サブテーマ	成果内容	自己評価
1	70MPa及び87.5MPaを上限とする、技術基準及びガイドラインを制定した	○
2	国際充填基準を国内で受け入れる事が出来る内容に誘導・発行できた	○
3	基準作成のためのシミュレーションを開発し、充填試験により基準を検証した	○
4	未整備の水素物性計測法を確立し、測定を行い、基準制定のために必要なシミュレーション精度向上をはかった	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	14	0

## 課題番号： I - ④

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発

#### 1. 研究開発概要

FCV及び水素インフラの普及を実現するために、高圧水素を安全かつ合理的に充填する技術開発及び法的環境を整備する事を事業の目的とする。

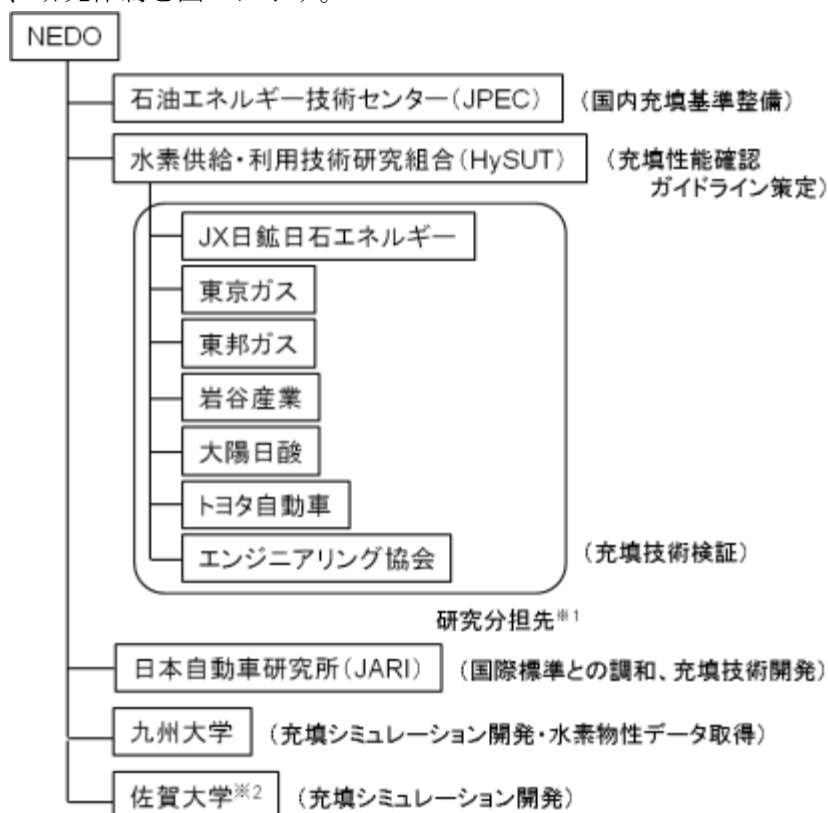
水素ガスはガソリン・ディーゼルに代わる自動車用エネルギーとして期待を集めており、一般によく知られた気体であるが生活になじみが薄く、水素充填も日常生活の中には存在しない行為である。

また気体である水素はエネルギー密度がガソリンに比べて小さく高圧で車載する必要があるが、水素ガスを高圧に充填すると温度が上昇してしまうという特徴がある。このような水素を我々に生活に取り入れ、普及させるためには、安全かつガソリン並みの時間で簡便に水素を充填する今までにない技術開発が必要である。

さらに日本では1MPa以上の気体の取り扱いが高圧ガス保安法で取り決められている。日常生活の中で水素充填を実現するためには水素を安全に充填する手順を示す技術基準を整備する必要がある。

また、水素充填に関しては米国自動車技術会 (SAE) において実質的な国際標準が議論されている。この内容を国内で受け入れ可能な内容に誘導し、国際調和する事がFCV及び水素インフラのグローバルな普及のために極めて重要である。

これらの課題を解決するために、課題を以下の4つのサブテーマに分割し国内水素関連機関が役割を分担して取り組む、研究体制を図1に示す。



※1 研究分担先は平成 26 年度より事業に参加

※2 佐賀大学は平成 25 年度のみ事業に参加

図1 研究体制

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定 <JPEC、HySUT>

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携 <HySUT、JARI>

サブテーマ3：充填技術開発／充填技術検証 <HySUT、HySUT研究分担先、JARI、九州大>  
(平成25年度は九州大学の代わりに佐賀大学が担当)

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 <九州大>

## 2. 研究開発目標

以下にサブテーマ毎の研究開発目標を示す。

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定

(1) 水素充填に係る技術基準(省令・例示基準)と自主基準の整備 <JPEC>

実質的な国際充填標準であるSAE充填基準の改定動向及び国内燃料電池自動車の普及状況に先行し、充填技術基準の改正案を作成する。さらに燃料電池車両の普及を妨げないタイミングでの一般高圧ガス保安規則及び例示基準改正のフォローアップを行う。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定 <HySUT>

水素ステーションがJPECの制定する技術基準に合致する性能を有する事を確認するための検査方法を定めるガイドラインを作成する。ガイドラインはFCV・水素インフラ関連業界に業界自主基準として提出するとともに、ガイドラインの運用方法について提案する。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映 <JARI>

産学官の連携のもと、データ取得と連動した国内の規制見直しと国際標準化に貢献する。特にFCCJを中心に、産業界とも連携し、効率的な標準化活動を進める。具体的には、充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きいSAEでの審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導し、併せてISO国際規格への展開を図る。

(2) ノズル／レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映 <JARI>

ノズルの氷結に係る課題解決のため、JARIが実施するデータ取得の成果を活用し、国内の実質的審議を行うISO/TC197(水素技術)WG5(水素充填コネクタ)の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きいSAE(米自動車技術会)での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行う。

(3) 充填技術の国際連携 <HySUT>

水素充填に関する国際基準が制定されても、各国の状況、国内法との関連により国内水素ステーションが全ての項目で国際基準に準拠する事は困難である。そこで、主要各国の国際基準への準拠状況を把握し、課題を共有し、グローバルなFCV及び水素インフラの普及促進に貢献する。

### サブテーマ 3：充填技術開発／充填技術検証

#### (1) 新通信充填プロトコル開発 <JARI>

水素STで急速かつ安全に水素充填を行うため、商用水素STで発生する水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル（FCV、FCバスおよびFC二輪など）を開発するため、FCVに搭載される水素タンクモジュールを用いて、充填中の供給ガス温度の変化などの条件を取り込んだ急速充填試験（通信／非通信／フル充填対応）を行う。

上記充填試験結果は、ノズル／レセクタプル（氷結対応など）規格への反映にも資する。

#### (2) 水素ST最適化シミュレーションの実施－新たなプロトコルの提案－ <九州大>

国内外の充填基準制定のためのシミュレーション支援を行うと同時により利便性が高く、ステーションコスト低減につながる新しい充填プロトコルを開発し、国際基準検討機関であるSAE、ISOに提案する。

#### (3) 充填技術の検証（フィールドデータ蓄積） <HySUT、HySUT研究分担先>

国内充填基準の健全性を確認し、将来の例示基準の改正につなげるためには実条件での水素充填技術の検証が重要である。特に、大容量（バス等）および小容量（二輪等）充填を行うためのプロトコルの実用性確認などの検証および課題の抽出をHySUTの運営する水素ステーション等を活用して実施する。

### サブテーマ 4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 <九州大学>

水素ステーションからFCVへ水素の充填プロセスの最適設計のため、充填シミュレーションの高精度化が求められているが、水素ステーションには急速充填に伴うFCV車載容器の温度上昇を抑えるためプレクーラーが備え付けられており、低温、高圧域における精度の良い充填シミュレーションが必要とされている。本サブテーマでは、水素の輸送性質である粘性係数と熱伝導率の高精度データ及び整理式を得て、-40℃～常温、最大圧100 MPaの領域でのシミュレーションモデルの検証及び高精度化に貢献することを目的とする。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果、達成度

#### サブテーマ 1：国内基準類の改正案作成及び制定<担当：HySUT、JPEC>

##### (1) 水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備：<担当：JPEC>

<研究開発成果>

##### FCVへの水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備

FCVのメリットを生かし、利便性を向上させるためには、FCVに搭載可能な水素量を増大し、さらに水素の充填においては、安全にかつ迅速に充填する必要がある。

このうち、水素搭載量の向上については、車載燃料容器の高圧化が指向されており、国際的に最高充填圧力を87.5MPa(@85℃)とする容器の基準として、国連のWP29の場で、FCVに関する世界技術基準HFCV-GTRの策定が進められてきた。その結果、平成26年5月に採択され、その後、同基準に基づいた高圧ガス保安法の改定が進められ、現在国内でも最高充填圧力を87.5MPa(@85℃)とする高圧容器（以下

GTR 容器という) の導入が可能になっている。すでに国内では、平成 26 年 12 月にトヨタ自動車の世界初の市販の FCV 自動車『ミライ』を発売しており、これには上記の新たな基準に準拠した容器が搭載されている。

一方、FCV への水素充填については、迅速な充填を安全に行うため、充填流量、充填水素温度等の運転パラメータを管理し、適切な条件の下で充填を行うことが必要である。そのための安全な充填条件を示す技術基準は充填プロトコルと呼ばれており、現在米国自動車技術会 (SAE) において、我が国の自動車メーカー・インフラ事業者も参画して、実質的な国際規格である SAE J2601 の規格化が行われた。

上記の動向を踏まえて、本課題においては、GTR 容器を搭載した FCV の性能を十分に生かし、安全かつ迅速な充填を可能にする充填プロトコルに関する自主基準の制定に取り組んだ。具体的には、SAE J2601 に基づき、国内での実情も踏まえて、自主基準案を作成することとした。さらに、学界及び業界関係者を中心とした専門家による水素充填基準検討会を設置し、自主基準 (案) および関連する例示基準改訂 (案) についての技術的検討を行うこととした。

まず、SAE 規格 SAE J2601 で包括的に提示された規定を、個々の要件に分解し、それぞれの要件の要求レベルや国内の状況等を踏まえた自主基準への導入要否などを精査した。さらに、それらの結果を踏まえて、自主基準に盛り込む要件をまとめて、自主基準 (案) 作成した。その作成過程において、水素充填基準検討会を 4 回開催し、検討を行った。その結果、水素充填に係る自主基準 (案) として、『圧縮水素充填技術基準 (圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0003 (2014)』を策定した。

本自主基準 (案) においては、SAE J2601 で規定された要件を導入したことによる特徴として、以下の諸点が挙げられる。

- 車両から水素スタンドへ、赤外線通信により車両側の容器温度や容器圧力等の信号を通信する機能を車両ならびに水素スタンドが有することを前提とした基準となっている通信充填において、車両から送信される容器温度信号に基づいて、容器への充填状態を推測し、満充填状態に達した場合には充填を終了することとしている
- 上記に加えて、通信充填において車両からの充填終了指令信号等が受信された場合には、充填を終了することとしている。
- さらに、通信充填においては、供給燃料温度の制御性に関する対応性の向上を図るためのフォールバック充填や低初期圧力状態からの充填における充填量の向上を図るためのトップオフ充填に関する要件が追加されている。

一方、本事業に先立って JPEC における充填プロトコルの検討過程で指摘されていた、外気温度計測及び供給燃料圧力計測の冗長性の向上に関する要件を自主基準に盛り込むことで、安全性の向上を図っている。さらに、SAE J2601 の要件の検討段階では考慮されていなかった、国内特有の以下の課題に対して対応するため、通信充填の場合における供給燃料圧力の下限側の許容圧力の緩和措置に関する要件が盛り込まれている。

- ① スタンドの常用圧力 (82MPa)
- ② スタンドにおけるあらかじめ設定された水素量の充填
- ③ 容器仕様を絞り込んだスタンドの仕様設定

本自主基準（案）により、図 2 に示した様に、従来の自主基準である JPC-S 0003（2012）において充填可能な領域が、70MPa を上限とする赤線で示された領域であったものに対して、新たに策定された自主基準（案）では、GTR 容器において充填可能な領域である、87.5MPa(@85°C)を上限とする、青線で示された領域への充填が可能となった。これにより、FCV に搭載可能な水素量を増大し、さらに安全にかつ迅速な水素充填を可能とするとの、所期の目標が達成された。

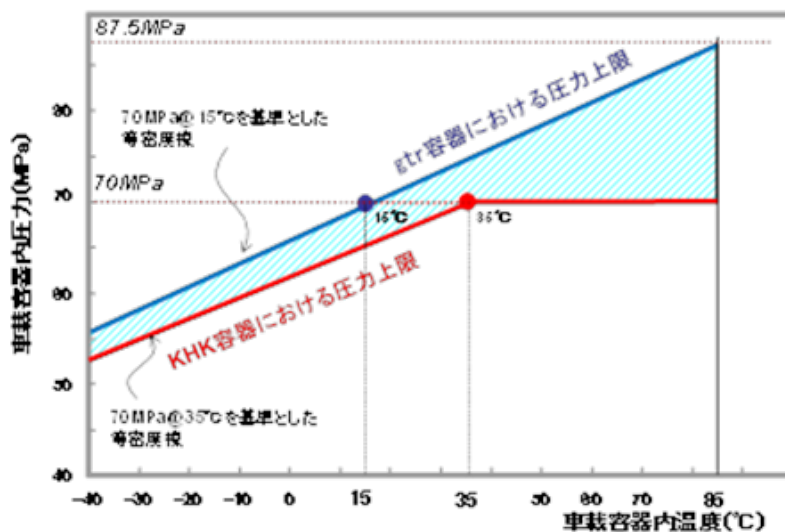


図 2 本自主基準での充填可能領域

本自主基準（案）に関しては、水素供給・利用技術研究組合（HySUT）からの助成事業として JPEC が実施している、JPEC としての自主基準（JPEC-S）制定のプロセスに移行した。具体的には、自主基準化に関する承認機関である、JPEC の水素インフラ規格基準委員会の下での充填関係基準分科会での審議を経て、水素インフラ規格基準委員会での承認を得た。これにより、本自主基準は JPEC-S 0003（2014）として、平成 26 年 10 月 10 日に発効され、同日 JPEC のホームページに掲載し、公開された。（図 3）

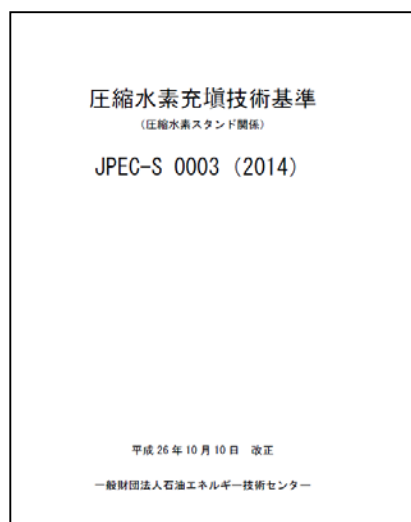


図 3 JPEC-S 0003 (2014)

一方、JPEC-S 0003 (2014)は、高圧ガス保安法例示基準に引用される基準であることから、高圧ガス保安協会に設置された『燃料電池自動車等に関する水素関連技術の安全性の評価・基準の検討委員会』における審議され、平成 27 年 3 月に本基準は高圧ガス保安を図る上で適切なものと判断された。

これにより、高圧ガス保安法の関連例示基準が改定された段階で、GTR 容器の機能を生かした、安全かつ迅速な水素充填が可能になる。

#### FCバスへの水素充填に係る自主基準の整備

国内において FCV の市販化に並行して、トヨタ自動車と日野自動車が、環境省の支援を受けて、路線バス用の燃料電池バス (FC バス) を開発し、経済産業省の支援を受けて、昨年度から、愛知県豊田市において実証走行試験を開始した。さらに、2020 年の東京オリンピック・パラリンピックの開催が決定したことを受けて、東京都から 100 台規模の FC バスの導入の意向が示された。このような動向を踏まえて、FC バスへの水素充填に係る基準整備の必要性が高まってきた。

FC バスに関しては、欧州及び米国において、すでに導入が進んでいることから、海外の動向を調査したところ、海外の FC バスはすべて 35MPa 仕様に統一されており、さらにノズル・レセプタクル仕様は流量を増大させるため、35MPa 仕様の FCV 用とは、互換性がないノズル・レセプタクルが設定され、かつ FC バス用ステーションはバス事業者専用ステーションとなっていることが明らかとなった。さらに、SAE において SAE J2601 の追加規格として、FC バス用プロトコルが検討されており、その動向も把握したところ、前記のように FC バス用ステーションが FC バス専用ステーションであり、一般の車両に充填する機会がないことから、具体的なプロトコルは、ステーションと FC バスメーカーの合意に基づいて決定され、SAE J2601 においては、概括的な要件規定に留まる方向であることが確認された。

一方で、国内で導入されている FC バスは 70MPa 仕様であり、ノズル・レセプタクルも FCV との互換性を持っており、公共の水素ステーションでの充填も想定していることから、海外の動向に依らず、国内の FC バスの動向を踏まえた水素充填に係る基準策定が必要となる。



そこで、本事業における FC バスへの水素充填に係る自主基準は、海外からの規格の導入ではなく、国内の FC バス及び水素ステーションの仕様を踏まえた、自主基準を作成することにした。具体的にはグローバルな自動車メーカー及びインフラメーカー関係者が、広範なシミュレーションや検証試験結果などを踏まえて、FCV への水素充填用に策定した SAE J2601 及び JPEC-S 0003 (2014) の成果を生かした策定を進めた。併せて、FCV 用に設置された水素スタンドにおいても、FC バスへの水素充填を可能とすることを要件とした基準の具体化を進めた。

基本的には、JPEC-S 0003 (2014) の策定プロセスと同様に、JPEC において基準案を作成し、水素充填基準検討会において技術的な妥当性を検討することとし、平成 26 年度後半から、基準案の検討に着手し、平成 27 年 7 月時点までに、計 3 回同検討会を開催し、基本的な基準（案）を作成することができた。今後平成 27 年度上期中には、自主基準（案）に対する水素充填基準検討会で承認を得られると見込んでいる。

なお、本基準は FC バスへの水素充填を当面の対象として検討しているが、基準自体は FC バスに限定せず、10kg 超の容量を有する GTR 容器を搭載した水素自動車を対象とした基準としている。

#### <達成度>

本テーマにおける成果としては、下記 2 点が挙げられる。

##### ① FCV への水素充填に係る自主基準の策定及び例示基準改訂に向けたフォロー

これについては、SAE J2601 の発行及び HFCV-GTR の制定とそれを受けた容器保安規則の改定が当初の見込みより遅れたことなどに起因して、自主基準（案）作成ならびに水素充填基準検討会での承認が、平成 26 年 7 月になった。しかしながら、平成 26 年 10 月に、自主基準として JPEC-S 0003 (2014) が制定され、JPEC ホームページに掲載された。

##### ② FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

FC バスに係る水素充填自主基準については、平成 27 年度上期中に基準（案）の策定を終了し、平成 27 年中に JPEC-S 0003 としての制定ならびに高压ガス保安協会での審査を終了する見込みである。これにより、FC バスへの水素充填も考慮に入れた新たな水素ステーションの構築がスムーズに進むことになると考える。

##### (2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：<担当：HySUT>

JPEC の整備する充填基準に対応するステーション性能を確認するためのガイドラインを制定する。ガイドラインは 70MPa 充填基準 JPEC-S0003(2012) 及び 87.5MPa を上限とする充填基準 JPEC-S0003(2014) に対応する 2 件のガイドラインを作成した。

#### 充填性能確認ガイドライン(2013)の制定

70MPa 充填基準 JPEC-S0003(2012) に対応するガイドラインとして、平成 24 年 3 月に HySUT ガイドラインとして発行した。ガイドラインは現在整備が進む 70MPa 商用ステーションの補助金交付条件として採用されており、水素ステーション性能の標準として運用されている。



## 充填性能確認ガイドライン(2014)の制定

平成 26 年 10 月に制定された JPEC-S0003 (2014)に対応する充填性能確認ガイドライン(2014)を平成 26 年 11 月に発行した。ガイドラインはフル充填及び通信充填に対応するステーション性能を確認するガイドラインである。現在、JPEC-S0003 (2014)は高圧ガス保安法例示基準に引用される改定を待つて、商用ステーションで運用される予定である。検査項目としては表 1 に示す、9 つの検査が要求されており、ステーションのフル充填及び通信充填に対応する性能を確認する。

表 1 充填性能確認ガイドライン(2014) 検査項目

ガイドライン検査項目	確認する内容
①通信確認検査	容器容量決定、車両からの信号で停止確認
②通信 昇圧率選択型	82MPaまでの通信標準充填確認
③容積推定精度	容積推定精度確認
④非通信 昇圧率選択型	82MPaまでの非通信標準充填確認
⑤通信・非通信移行	通信喪失時の非通信移行確認
⑥高昇圧率充填性能	82MPaまでの高圧力上昇率充填確認
⑦低昇圧率充填性能確認	82MPaまでの低圧力上昇率充填確認
⑧フォールバック	フォールバック移行※1確認
⑨トップオフ	トップオフ移行※2確認

※1 フォールバック: プレクール温度が許容範囲から高温に逸脱した場合に、新たな圧力上昇率を設定し充填を継続すること

※2 トップオフ: 充填時な差圧を低減し充填量を増大させるために、充填終了近くで圧力上昇率を低減する充填

主な評価項目はステーションの安全動作（停止）及び圧力上昇率、プレクール温度の制御精度を評価する。

## ガイドライン活用の検討

充填性能確認ガイドラインは国内ステーション標準として運用するために、業界団体である FCCJ に提出する一方、技術的運用を行うために開示ルールを設定した。また、海外基準との国際調和などのために英訳を行った。

## サブテーマ 2 : 国際標準と国内基準類の調和、国際連携<担当 : HySUT、JARI >

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映 : <担当 : JARI >

### ① 概要

産学官の連携のもと、データ取得と連動した国内の規制見直しと国際標準化に貢献する。特に FCCJ を中心に、産業界とも連携し、効率的な標準化活動を進めた。具体的には、充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きい SAE での審議に参画し、日本の充填技術に適

合した規格策定を誘導し、併せて ISO 国際規格への展開を図り、以下の成果を得た。

## ② 平成 25 年度成果

充填プロトコルが審議される SAE の Interface WG について、Web で開催される事前打合せを積極的に利用して、規格案の事前調整を実施した。平成 25 年度に 4 回開催された Face to Face 会議での審議を効率的な進捗に貢献した。また、充填実証、自動車側技術、ディスペンサ側技術、国際標準化など技術分野が多岐にわたって審議が進むため、各技術分野に対し原則 1 名と厳選して国際会議に臨んだ。

## ③ 平成 26 年度成果

SAE J2601、ISO 19880-1 ステーション規格中の充填プロトコルの規定等、SAE、ISO 等に関連する充填プロトコルに係る標準化に積極的に参加し、日本の業界の意向を反映するため、各技術分野に対し原則 1 名と厳選して国際会議に臨んだ。特に国際的に適用が想定されている米国 SAE J2601（充填プロトコル）、J2799（充填通信規格）について、日本の意向も反映し発行に至った。一方、ISO19880-1 においては、まず発行する TR において、充填プロトコルの規定は SAE J2601 に準拠する方向で審議が進めた。

また、燃料電池（FC）二輪車の充填プロトコルの検討のため、小容量タンク充填プロトコル検討 TF を設定し、国内審議を開始した。

## ④ 平成 27 年度取組み内容

平成 26 年度に引き続き、SAE J2601、ISO 19880-1 ステーション規格中の充填プロトコルの規定等、SAE、ISO 等に関連する充填プロトコルに係る標準化に積極的に参加し、日本の業界の意向を反映する。特に SAE J2601 改定審議、ISO19880-1 の年度中 TR 発行、さらに IS 化のための SAE から独立した文書構成に向けて、それらの規格間の整合を保ちながら審議をリードする。また、FC 二輪車の充填プロトコルについて、小容量タンク充填プロトコル検討 TF において引き続き国内審議を進め、国内での充填の可能性を検討する。これらの審議のため、サブテーマ 3 で実施する試験研究のデータ等を活用する。

その他、充填およびステーション関連の国際的な技術情報・標準化情報についても収集し、国内へのフィードバックを進める。

## ⑤ 達成度

平成 27 年度の実施内容も含めて、上記の実施内容について計画通りの成果を挙げており、十分な達成度が得られている。

## (2) ノズル／レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：〈担当：JARI〉

### ① 概要

ノズルの氷結に係る課題解決のため、JARI が実施するデータ取得の成果を活用し、国内の実質的審議を行う ISO/TC197(水素技術) WG5(水素充填コネクタ)の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きい SAE(米自動車技術会)での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行い以下の成果を得た。

## ② 平成 25 年度成果

ノズル／レセプタクルの氷結に係る課題を中心に審議を実施し、試験法の開発に必要な JARI での試験研究も含めて、必要な対応を明らかにした。具体的には SAE 等での実質的議論は平成 26 年 3 月の SAE 会議より開始されており、平成 25 年度実施の氷結対策試験等の実施内容について取りまとめた。

### ③ 平成 26 年度成果

SAE の氷結試験法を含む水素コネクタ等に係る改定について審議に積極的に参加し、日本の意向を反映すると共に、ISO との整合に務めた。その結果、コネクタ規格 (ISO17268, SAE J2600) について、改定の開始を提案し、ISO の審議際会議決定した。特に、平成 27 年 3 月に ISO17268 改定審議 (ISO/TC197/WG5) が開始されることとなり、日本よりエキスパートを派遣し、日本からの改定案骨子を提案した。

### ④ 平成 27 年度取組み内容

平成 26 年度に引き続き、ISO/TC197/WG5 (水素コネクタ：ISO17268) , SAE J2600 等、水素コネクタに係る標準化に積極的に参加し、日本の業界の意向を反映する。特に水素コネクタ規格 ISO の国際標準化活動については、日本よりノズル嵌合不良、氷結、バス充填対応などについて、その改定を提案しており、これらの審議に積極的に参画し、日本からの改定提案を反映する。平成 27 年度中に改定原案を策定する。これらの審議のため、サブテーマ 3 で実施する試験研究のデータ等を活用する。

### ⑤ 達成度

平成 27 年度の実施内容も含めて、上記の実施内容について計画通りの成果を挙げており、十分な達成度が得られている。

### (3) 充填技術の国際連携：＜担当：HySUT＞

ステーション技術 (品質、充填、計量、機器) の国際交流・調和を目的に年 1 度開催する International Workshop 日本代表 NEDO をサポートし、発表項目、資料の取りまとめを行った。また、日本から充填技術に関して、本事業の成果である国内充填基準の整備状況、充填試験及びノズル・レセプタクル氷結試験に加えステーション性能評価のガイドラインの概要を報告した。ステーション性能確認ガイドラインについては、SAE (CSA)、ISO でも検討が開始されている。引き続き、国際調和及び国際貢献を目的に今後作成ガイドラインの紹介及び運用状況の報告を積極的に行う予定である。



図 4 本事業ガイドライン(2014)と ISO ドラフトの違い

### サブテーマ 3 : 充填技術開発／充填技術検証<担当 : HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大>

#### (1) 新通信充填プロトコル開発 : <担当 : JARI>

##### ① 概要

水素 ST で急速かつ安全に水素充填を行うため、商用水素 ST で発生する水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル (FCV、FC バスおよび FC 二輪など) を開発するため、FCV に搭載される水素タンクモジュールを用いて、充填中の供給ガス温度の変化などの条件を取り込んだ急速充填試験 (通信／非通信／フル充填対応) を行い下記の結果を得た。

これらの充填試験結果は、ノズル／レセクタブル (氷結対応など) 規格への反映にも資する。

##### ② FC バス

商用水素ステーション用に、より適合性の高い充填プロトコル策定のため、水素充填インターフェース標準化 WG 等の委員会審議を通して決定した急速充填試験を実施した。FC バス用 (70MPa 水素搭載量 10kg 起用) 充填プロトコル策定について、コールドソークによる過充填防止を考慮した充填テーブル作成のため、長時間・超低温での充填試験を実施し、プロトコル策定のためのデータ取得を実施した。

国内の水素ステーションにおいて、FCV に次いで、FC バスを対象に、SAE J2601 に準拠した充填プロトコルの策定が検討されている。その中で、コールドソーク状態から水素ガスを放出 (使用) した後、水素ガスを遅速充填することを想定した場合、容器に充填した水素ガスが SOC (State Of Charge) 100% を超える (=過充填) ことが、危惧される。そこで、九州大学と連携し、試験データを基にしたシミュレーションによる安全性の確認およびバス用充填テーブルの作成を目的に、FC バス充填・放出試験を実施した。

JARI では、シミュレーションに使用するデータの取得を目的に、水素ガスを用いて、容器からの放出および容器への充填試験を実施した。想定パターンから試験を実施する際、温度制御および試験データ精度の点から、放出と充填を分けて試験を実施した。放出試験は、表 2 に示すように容器および環境条件を設定し、流量 21g/min で容器内圧力 0.5MPa まで放出を行った。充填試験は、表 3 に示すように初期条件を設定し、プレクール温度 -40°C、昇圧率 1.0MPa/min で、SOC100%まで水素ガス充填を行った。

表 2 放出試験条件

No.	初期条件 (放出前)		放出後
	SOC [%]	環境・タンク内温度 [°C]	圧力 [MPa]
1	100	40	0.5
2		25	
3		-10	

表 3 充填試験条件

No.	初期条件 (充填前)		SOC [%]
	圧力 [MPa]	環境・タンク内温度 [°C]	
1	50	40	100
2		-10	
3		-40	
4	30	25	
5	0.5	40	
6		25	
7		-10	
8		-40	

放出試験の圧力・温度等の推移結果を図 5 に、充填試験の圧力・温度等の推移結果を図 6 に示す。今回の試験により、FC バスを対象とした充填テーブル作成のデータを取得することができた。

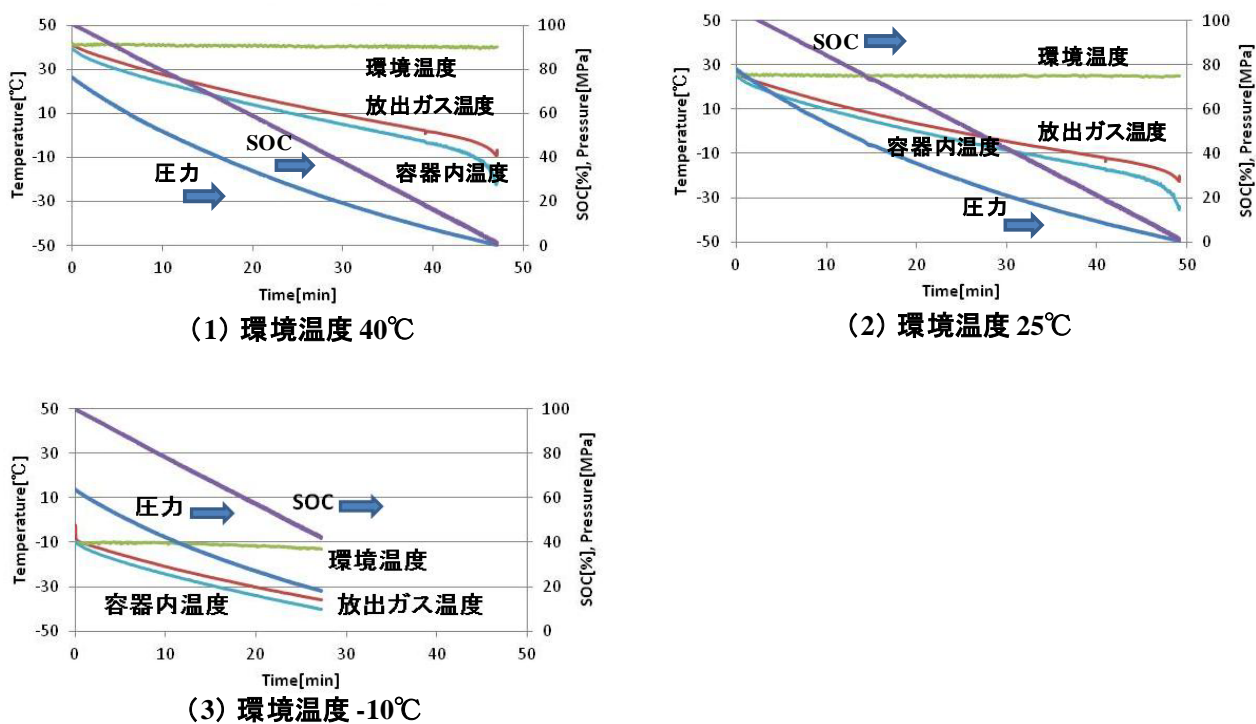
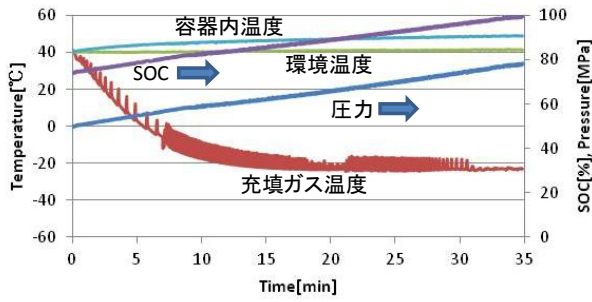
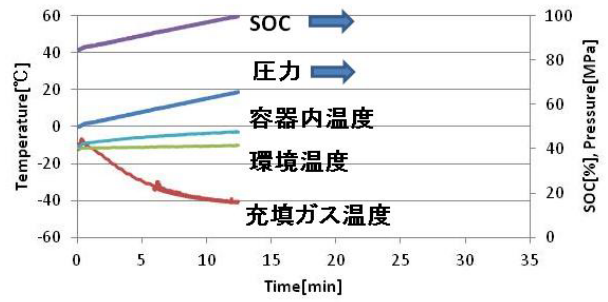


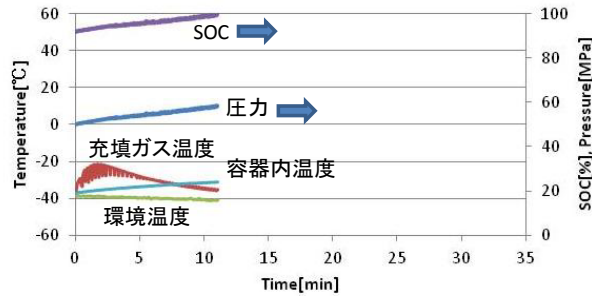
図 5 放出試験



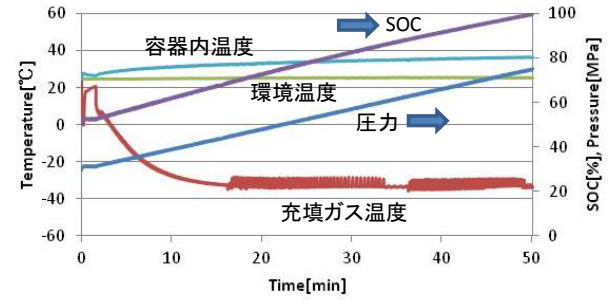
(1) 圧力 50MPa, 環境温度 40°C



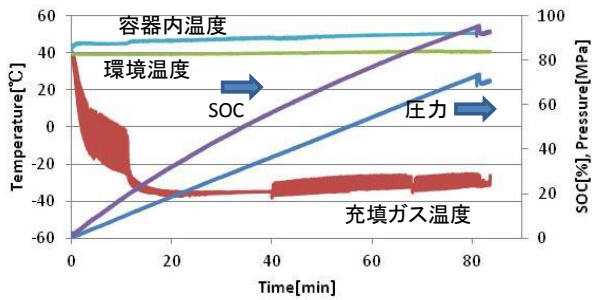
(2) 圧力 50MPa, 環境温度 -10°C



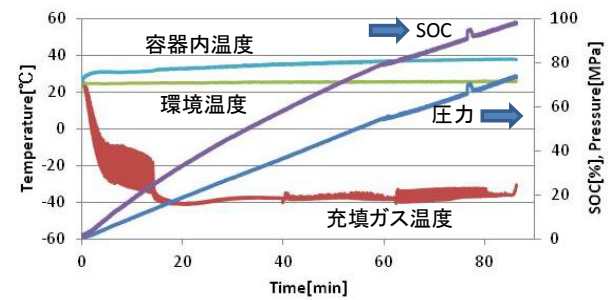
(3) 圧力 50MPa, 環境温度 -40°C



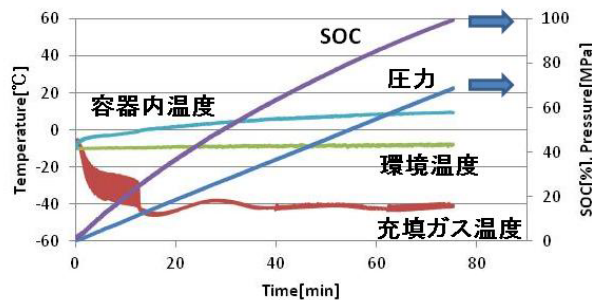
(4) 圧力 30MPa, 環境温度 25°C



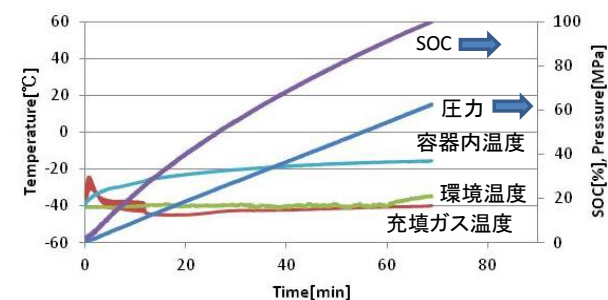
(5) 圧力 0.5MPa, 環境温度 40°C



(6) 圧力 0.5MPa, 環境温度 25°C



(7) 圧力 0.5MPa, 環境温度 -10°C



(8) 圧力 0.5MPa, 環境温度 -40°C

図 6 充填試験

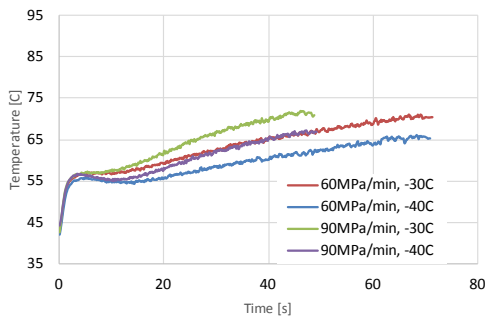
### ③ FC 二輪

現在国内で燃料電池4輪車をベースとした充填プロトコルの策定が進んでいる中、FCVの形態として、2輪車も検討されている。4輪車に比べ、2輪車は、その大きさから、搭載タンクが小さい。そのため、現行の水素ステーションで2輪車に水素を充填した場合、温度・制御等の問題が発生することが想定される。

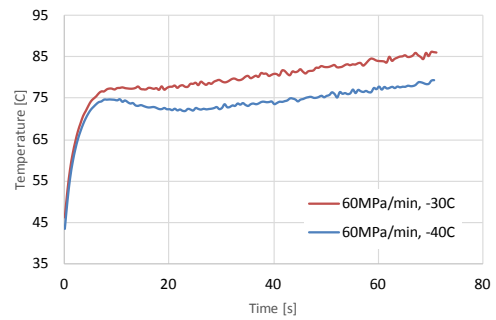
Type3 容器と Type4 容器の比較をするため、両者への水素ガス充填試験を実施し、適切なプレクール



を行うことで、急速充填においても容器内温度が 85°Cを超えないことを確認した。環境温度(=容器内初期温度)が 40°Cの条件で、1MPa から一定昇圧率で 70MPa まで充填試験を実施した時の容器内の温度上昇履歴を図 7 に示す。



(1) Type 3



(1) Type 4

図 7 一定昇圧率による充填時の容器内温度

充填方法として、間欠充填の検証を Type4 容器で実施した。一定昇圧率での充填中に 1 回または 3 回の充填停止期間を設けて、温度上昇への影響を確認した。図 8 に間欠充填試験の結果を示す。最終的な温度は、充填停止回数によらずほぼ一定値を示しており、停止回数の効果はあまりみられなかった。

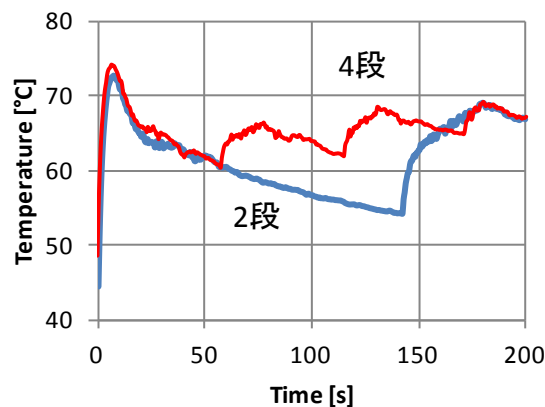


図 8 間欠充填時の容器内温度

Type3 容器を対象に水素ステーションでの車載容器の初期圧測定時などを想定した短時間の充填試験を実施した。図 9 と図 10 に初期圧測定と容積推定を想定した充填の結果を示す。今回の条件では、85°Cを超えることなく充填できることが確認できた。

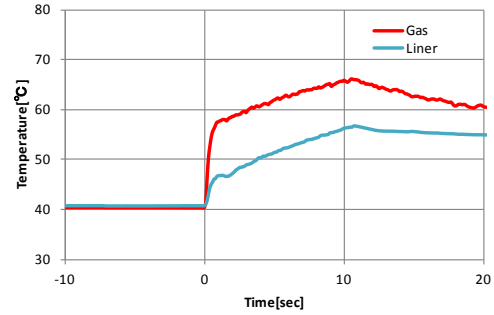
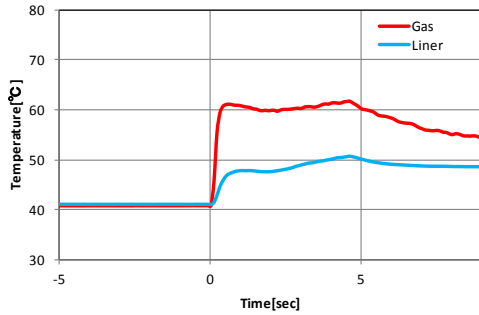


図 9 初期圧測定を想定した充填（40g/4s）の容器内温度  
 図 10 容積推定を想定した充填（130g/10s）の容器内温度

#### ④ ノズル／レセプタクル氷結固着

商用水素ステーションで $-40^{\circ}\text{C}$ プレクールの実用化やフル充填（最大 87.5MPa）を想定する SAE J2601 に準拠した充填が検討されている。その中で、 $-40^{\circ}\text{C}$ プレクール水素ガスを充填した際、ガスによる冷却で、ノズル・レセプタクルに結露した水などが氷結し、ノズルが外れなくなる事例が報告されている。ノズル氷結防止のため、ISO17268（水素コネクタ）への提案を想定したノズル・レセプタクル氷結評価試験法を確立する必要がある。

図 11 に示してある各部位に氷結が起こる可能性が示唆されるので、図 12 ようにノズルのチャック部から内部に計量した水分を注入し、ノズル・レセプタクルを接合させて $-40^{\circ}\text{C}$ プレクール水素ガスを供給し、ノズル氷結が発生する水分量を定量化することを試みた。水素ガス供給中の温度および圧力測定は図 13 の位置で計測した。図 14 に試験中の圧力・温度推移一例を示す。また今回の試験結果一覧を表 4 に示す。成果の一例として、注入する水分が 1mL 以上の場合、ノズルの離脱ができなくなることが分かり、定量化の可能性が示された。

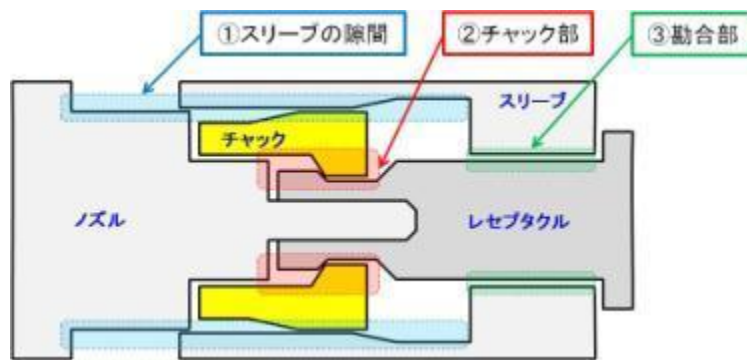


図 11 氷結の可能性のある部位



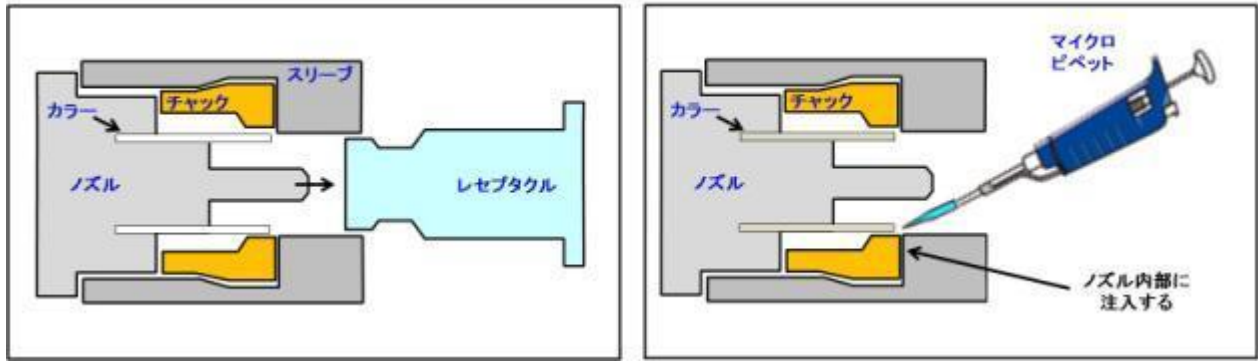


図 12 水分注入方法

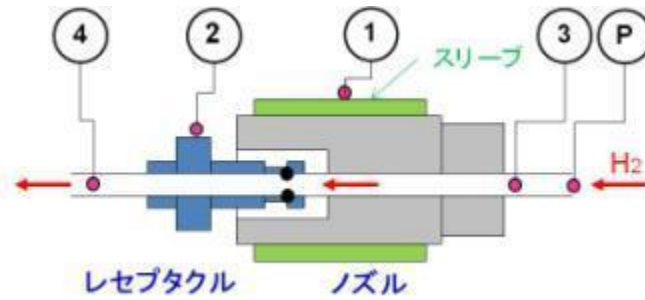


図 13 温度及び圧力測定箇所

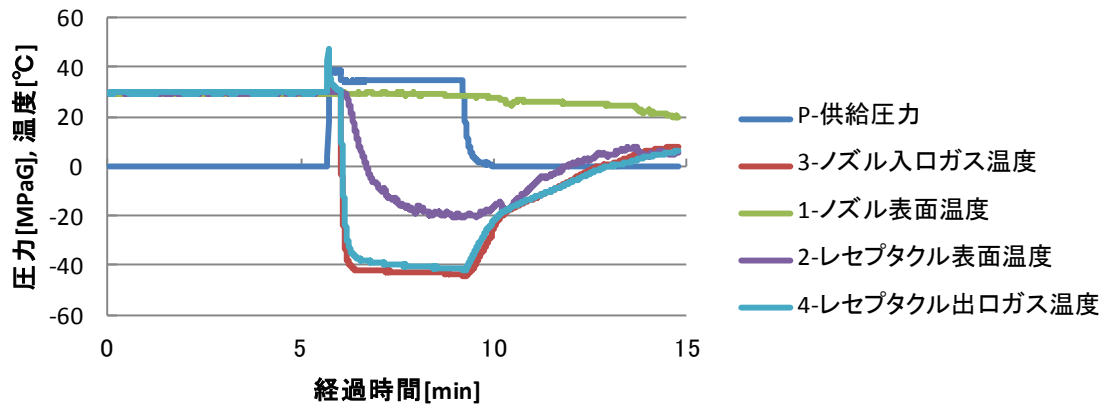


図 14 試験中の圧力・温度変化

表 4 試験結果一覧

	温度[°C]	湿度 [%RH]	乾燥温度 [°C]	水分添加量[μ l]	水分添加位置	結果			
						回転	スライド	離脱	
1	30	95	40	1000	チャック部から中に注入	○	×	×	
2		60		60		1000	○	×	×
3						500	○	×	×
4			250			○	○	○	
5			500			○	○	○	
6			750			○	×	×	
7			500			○	○	○	
8		500	○	○		○			
9		750	○	○		○			
10		60	750	チャック部ではなく、奥に流し込む		○	○	○	
11		1000	チャック部から中に注入	○		×	×		
12		1000	チャック部から中に注入	○		×	×		

⑤ 達成度

平成 27 年度の実施内容も含めて、上記の実施内容について計画通りの成果を挙げており、十分な達成度が得られている。最終目標に対しては概ね 60%の達成度である。

(2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施—新たなプロトコルの提案— : <担当 : 九州大学>

1. 水素の新充填法の開発

1. 1 水素充填の支配方程式

水素ステーションでの水素供給は、概ね図 15 の機器から構成されている。これらの構成機器を考慮したときの容器内水素に対するエネルギー式は積分形で次式となる。

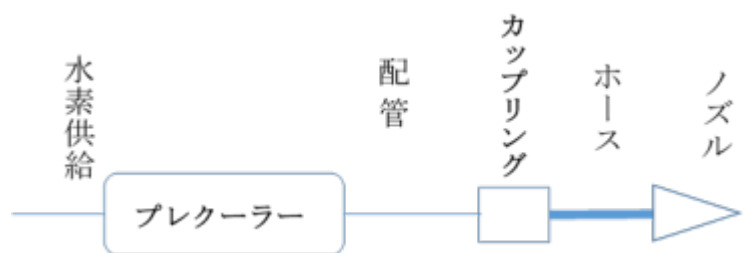


図 15 プレクーラーからノズルまでの流れ

$$U(p(t), T(t)) - U(p_o, T_o) = Q(t) - W(t) + \int_0^t m_{in} h_{in} dt + \int_0^t (q_{pre}(t) + q_{pipe}(t) + q_{coup}(t) + q_{hose}(t) + q_{noz}(t)) dt \quad (1)$$

ここで、タンク以外の熱マス（非定常伝熱項）は、図 15 中の各機器となる。プレクーラーや配管の熱マスの非定常伝熱量は解析的に推定することが可能であるが、それ以外の機器は複雑な形状のため、解析的に検討することは不可能である。SAE J2601 プロトコル作成においても、これらの項については、

各機器は初期（周囲）温度から供給水素温度まで冷却されると仮定して、非定常伝熱量が評価されている。

式（1）中の非定常伝熱量、供給水素のエンタルピー、容器膨張に伴う仕事及び充填中の容器壁への伝熱量が時々刻々と求められると容器内の全内部エネルギーが求められる。

一方、充填水素量と初期水素量から容器内の水素量が求められていると、容器内の比内部エネルギーが時々刻々計算される。容器内の水素圧力もステーションで計測されていることから、容器内の水素温度を圧力と比内部エネルギーから推定することができる。この結果、水素充填中の容器内温度を常にステーションでモニターしながら水素充填をすることが可能になる。

### 1. 2 非定常伝熱量の推定と充填水素への影響について

非定常伝熱量は、充填開始後時々刻々と変化するので、配管のように非常に簡単な形状については、時間の関数として推定することも可能であるが、複雑な形状、例えばカップリングなどについては、時間の関数として与えることは不可能に近い状況にある。しかし、式(1)から、状態量である内部エネルギーは最初と最後の状態量だけで決定されることから、もし非定常伝熱が充填終了時まで定常状態になっておれば、非定常時間中の伝熱量を時間の関数として与える必要がなく、非定常に伴う全伝熱量のみ取り扱えばよいことになる。

#### （1）プレクーラー内の非定常伝熱量の影響

プレクーラー内の配管は、充填開始直後は冷媒温度に保たれているので、充填開始後配管温度は定常状態になるまで温度上昇する。この温度上昇がプレクーラー内の非定常伝熱量となる。この伝熱量は、プレクーラー出口温度を設計温度よりもより低い温度の水素の流出となる。

配管に対する非定常解析から、非定常時間はいずれの場合においても 60 秒以内で終了することが明らかになった。従って、3 分程度の水素充填を取り扱う場合、充填終了時における全非定常伝熱量に伴う水素温度を考慮するだけで十分である。図 16 は、1 例として水素 5kg を 3 分で水素を充填した場合におけるプレクーラーでの非定常伝熱量に伴う充填終了時における水素温度の上昇を示す。

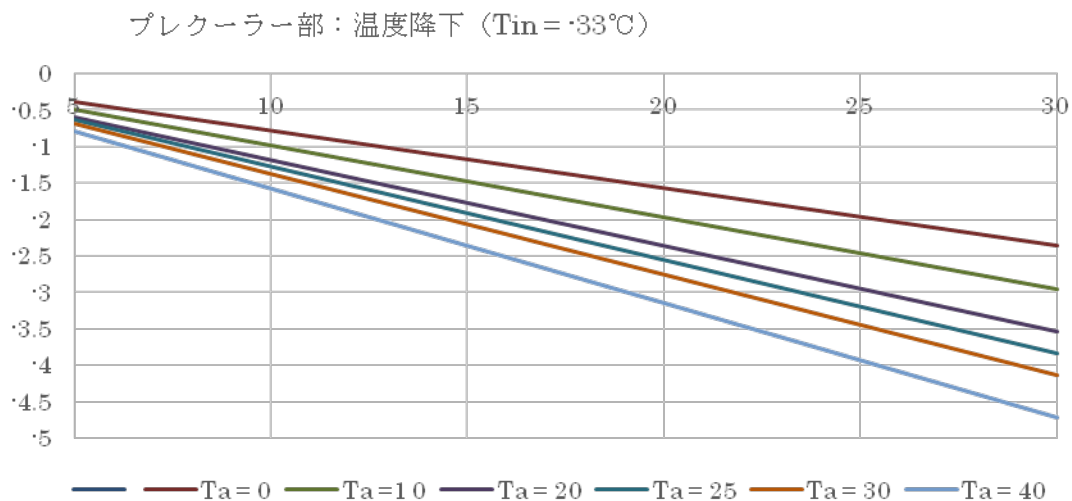


図 16 プレクーラーでの非定常伝熱量に伴う容器内水素温度の降下（横軸：プレクーラー内の配管長さ， $T_a$ :周囲温度）

図 16 から、周囲温度が  $40^{\circ}\text{C}$  の場合配管長さに伴って、水素温度が数  $^{\circ}\text{C}$  降下することが分かる。

#### （2）断熱円管での非定常伝熱量の影響

プレクールされた水素が断熱配管内を通過するとき、周囲温度に保たれていた配管からの伝熱によって定常状態に到達するまで水素温度は温度上昇する。図 17 は、プレクーラーの場合と全く同じ条件で計算した結果を示す。

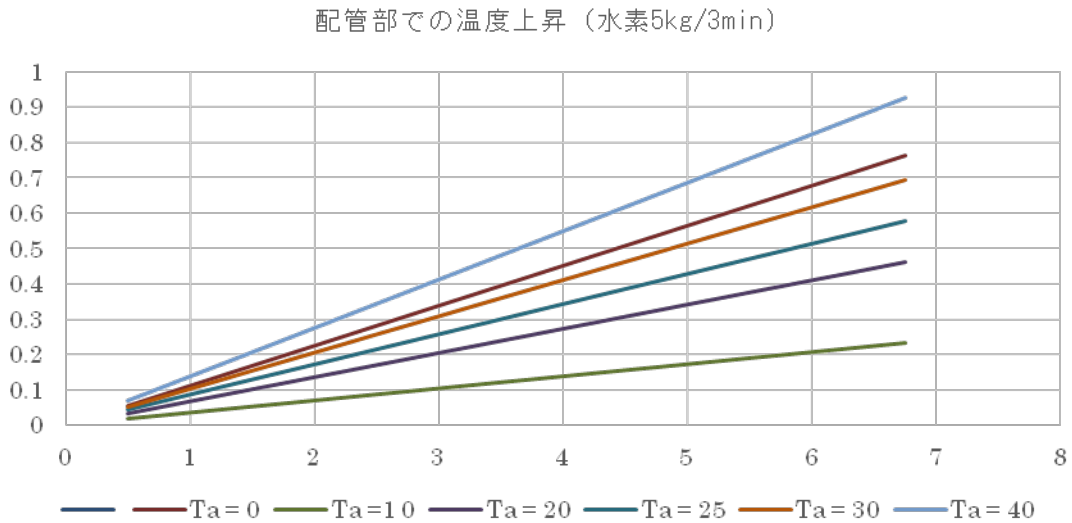


図 17 配管部での非定常伝熱量に伴う容器内水素温度上昇(横軸：配管長さ)

図 17 から、配管での非定常伝熱量に伴う温度上昇は、水素 5kg を 3 分で水素を充填した場合、管長 7 m でも 1°C程度である。

(3) カップリング、ホース、ノズル部での非定常伝熱量の影響

これらの要素は、複雑な形状のため、解析的な検討は不可能である。従って、SAE の基準として参照された熱マスに基づき、水素 5kg を 3 分で水素を充填終了した場合の水素温度上昇を計算した結果を図 18 に示す。

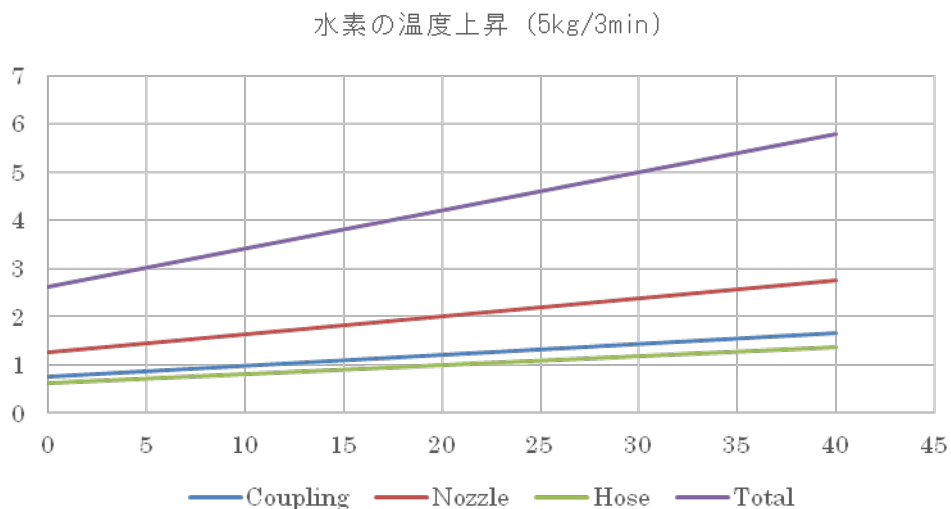


図 18 各要素機器での熱マスに伴う水素温度の上昇(横軸：周囲温度, Ta)

図 18 から、各機器による非定常温度上昇は 2~3℃程度であるが、全体では、最大 6℃程度の温度上昇となる。

### 1. 3 水素充填中の水素から容器壁への伝熱量について

充填中の容器内の水素温度は、常に 85℃以下に保つことが定められているので、水素温度が充填開始後数秒後に 85℃になるという最悪のシナリオでの伝熱量を解析的に推定し、その伝熱量の近似式を導出し、式(2)の関数形で与えた。

$$Q^*(t) = \frac{Q(t)}{h_i(T_f - T_o)} = \sum_{n=0}^3 a_n t^n \quad (\text{係数の値、省略}) \quad (2)$$

この結果、式(1)の計算に必要な全ての量が整ったので、水素充填中の容器内水素温度を充填することが可能となる。

図 19 は、充填中の水素温度を推定するための計算の流れ図を示す。容器の容積が与えられている必要があるが、初期圧力と周囲温度が与えられると SAE2601LookUp テーブルの圧力上昇率 (APRR) を基に水素の充填をしながら、ステーションが容器内水素温度を監視しながら充填を実行することが可能となる。

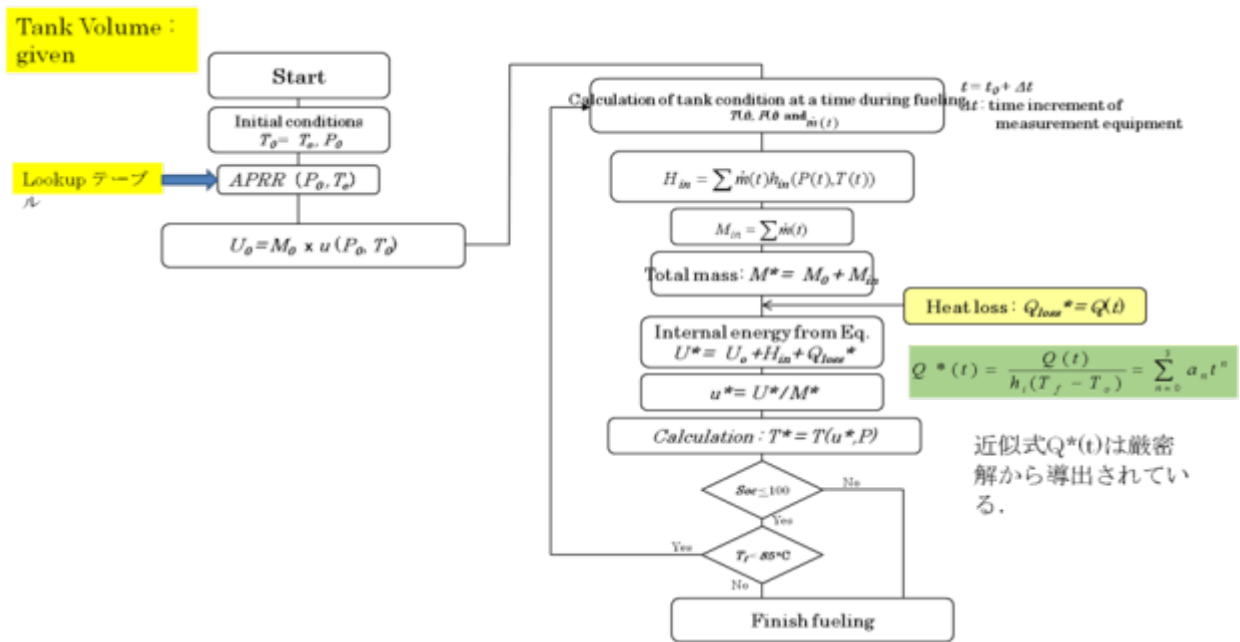


図 19 新水素充填の充填の流れ

図 20 は、1 例として充填条件  $T_{amb}$ 、 $p_o = 2 \text{ MPa}$  の場合について、図 19 に示される充填手順に従って充填したときの充填中の温度変化の比較を示す。推定された水素温度は、充填開始直後の数秒を除いて、Lookup テーブルでの推定温度と新しい充填方法から推定された温度が非常に一致していることが確認できる。なお、 $p_o = 2 \text{ MPa}$  で  $T_{amb} = 0 \sim 45^\circ\text{C}$  の範囲で新充填法に基づいて水素温度を計算した結果、全ての場合で Lookup テーブルでの温度推定値とほぼ一致することが確認された。

熱マスを考慮した水素温度との比較  
( $T_{in} = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

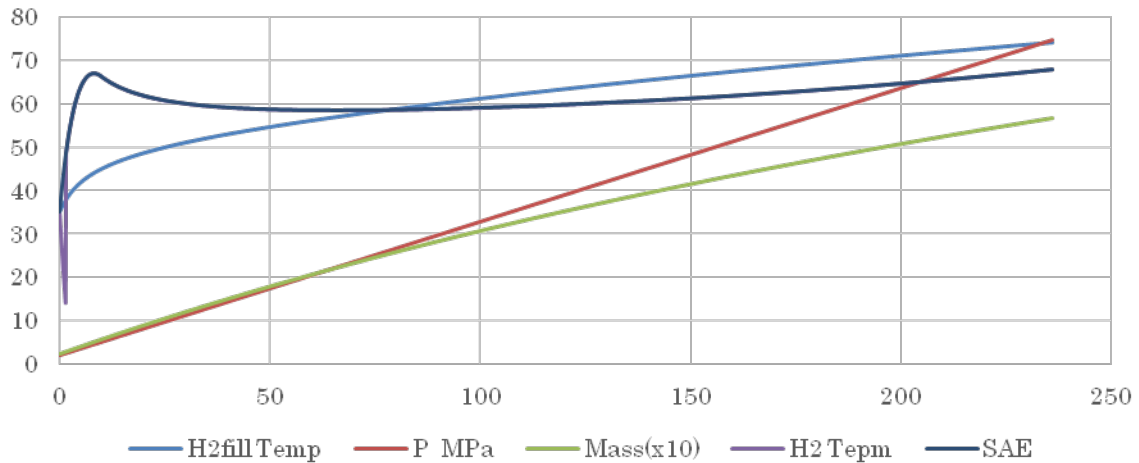


図 20 充填シミュレーションでの推定温度の比較(横軸：時間，秒)

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) : <担当：HySUT>

平成25年度の充填技術の検証はNEDO別事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証／技術・社会実証研究」で実施しており、本事業では平成26年度からの実施となる。本事業で実施した充填試験の一覧を表5に示す。検証試験においてはトヨタ試験車両及びHySUT充填評価装置を活用し、ガイドラインに定められた ①昇圧率選択型充填性能確認検査、②高昇圧率充填性能確認検査、及び③低昇圧率充填性能確認検査 を中心に圧力上昇率の制御性、プレクール温度の制御性を確認した。

表 5 充填試験一覧

ST	実施日	試験目的	成果
千住	2014年7月15日	直充填・差圧充填及びトップオフの組合せ制御性の確認	直充填・差圧充填併用時の昇圧率制御の健全性とトップオフによるSOCメリットを確認した
	2014年7月16日		
海老名中央	2014年8月20日	トップオフ時のシステム制御性改善	制御追従性の改善を行い、良好な昇圧率追従性を確認
	2014年8月6日	昇圧率制御性の確認試験	圧力制御パラメータの最適化を行うためのデータ取得
	2014年8月7日		
	2014年8月27日		
2014年8月28日	HySUT号及びリース車両による、JPEC-S及びリース車モードの充填制御性確認	JPEC-S及びリース車モードに適合した充填の健全性を確認した	
神の倉	2014年8月29日	充填性能確認ガイドラインに沿った3つの昇圧率試験(昇圧率選択、高昇圧率、低昇圧率)	水素保有量の関係から充填を2分割し、ガイドラインに沿った性能を有する事を確認した
	2014年9月4日		
	2014年9月5日		
	2014年9月29日		
とよたエコフル	2014年9月30日	充填性能確認ガイドラインに沿った充填試験の実施	ガイドラインに沿った充填性能を有する事を確認
	2014年11月4日	バス充填プロトコル性能の事前確認	バス目標昇圧率相当での制御の健全性を確認
	2014年11月5日	水結固着防止対策の効果確認	水結固着防止対策の評価法を検討し、STで検証を実施
	2014年11月20日		
	2014年11月21日	バス充填試験	バス目標昇圧率充填の健全性確認。最低昇圧率制御の課題確認
	2015年2月3日		
2015年2月4日			
震ヶ関	2015年1月15日	移動式STの新型FCV充填健全性の確認	専用プロトコルでの充填健全性確認
有明	2014年11月14日	プレクール無し新型FCV充填健全性確認	専用プロトコルでの充填健全性確認



千住水素ステーションにおいては、圧縮機からの直接充填及び差圧充填を組み合わせる制御技術、充填終了付近で昇圧率を減少し充填量を増加するトップオフ及び容積推定などの充填要素の検証試験を実施した。 検証試験により直充填・差圧充填を組み合わせてもガイドラインに規定した範囲内で圧力上昇率を制御できる事を確認した。 また、トップオフを行う事により通常停止時に4MPa有ったディスペンサと車両容器の差圧をほぼゼロとする事が出来る事が確認できた。

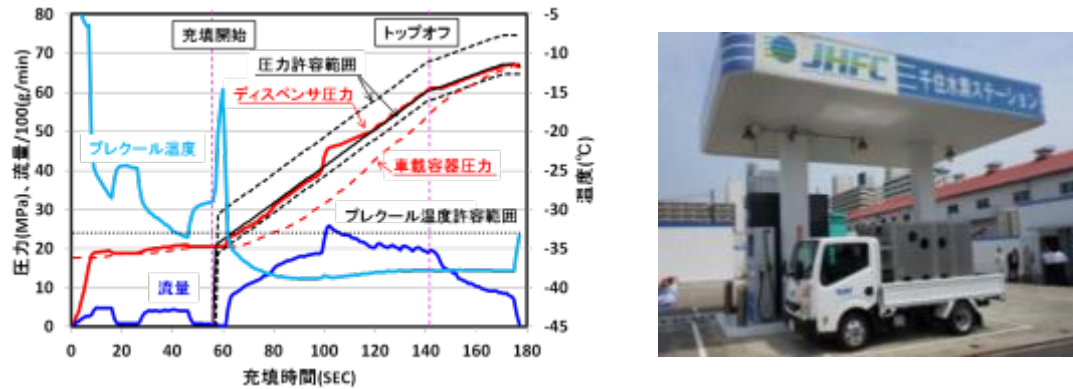


図 21 ガイドライン検証試験（千住試験結果、試験風景）

また、海老名中央水素ステーションでは、リース車充填モード及びガイドラインの両方に適合する条件で、流調弁の制御パラメータの調整をおこない、圧力上昇率制御の健全性を確認した。 さらに、神の倉水素ステーションでは、水素保有量の関係で全圧力領域連続での充填が実施できなかったため、圧力領域を2分割し充填試験を実施した。 神の倉水素ステーションでの充填試験例を図22に示す。

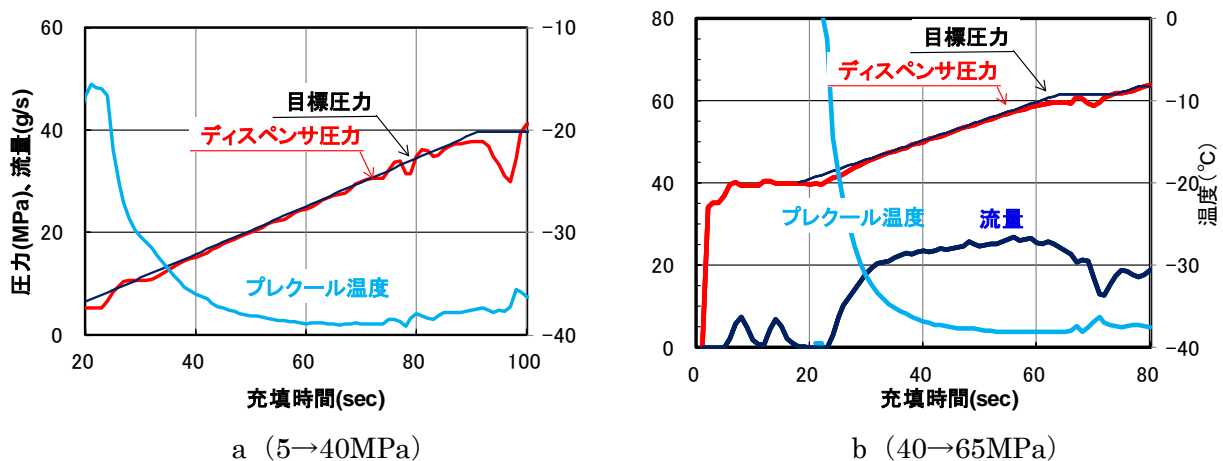
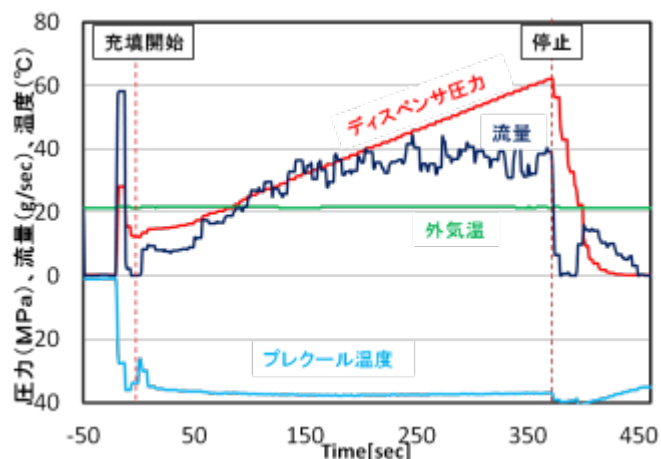


図 22 ガイドライン検証試験（神の倉試験結果）

さらに、とよたエコフルタウンステーションでは、平成27年度策定予定のバス用充填基準の事前確認試験を行った。 充填試験の結果、当初計画通りにバスへ充填出来る事を確認できた。 バ



ス充填試験結果を図23に示す。なお現在、豊田市市営バス（おいでんバス）はとよたエコフルタウンステーションを拠点として、営業運転を行っている。



項目	結果	判定基準
昇圧率 (圧力)	Max. +1.3MPa Min. -2.4MPa	+7MPa, -2.5MPa以内
最大流量	44g/sec	60g/sec以下
プレクール	→	-40°C~-33°C
SOC	84%	100%以下
総充墳時間	7分50秒	-
充墳量	11.3kg	-

図 23 バス充墳試験（試験風景、試験結果）

#### サブテーマ 4：充墳シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当：九州大>

水素ステーションからFCVへの水素充墳シミュレーションの高精度化を目指し、充墳プロセスで必要とされる233 K(-40 °C)～常温、最大100 MPaまでの低温、高圧域において、水素の輸送性質である粘性係数と熱伝導率を測定し、相関式の高精度化を図る。本研究では、粘性係数測定に**振動細線法**、熱伝導率測定に**非定常短細線法**を採用した。これらの方法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また、どちらも高圧容器内に細線を設置してセンサとして使用するなど共通点が多いことから、圧力容器およびプローブを変更するだけの共通の装置を開発することができる。非定常短細線法については、これまでHYDROGENIUSにおいて測定方法を確立し、常温～773 K、100 MPaまでの高温、高圧域で熱伝導率を測定している。しかし、振動細線法については比較的新しい方法であることから、本研究ではまず、測定手法の検討を行った。振動細線法では、細線を永久磁石とともに圧力容器内に設置し、磁場中で交流電圧を印加させることでローレンツ力を発生させて細線を振動させる。そして

振動の様相から試料の粘性係数を算出する。一般的な振動細線法では、直線状の細線が用いられるが、本研究では圧力容器の小型化と振動モードの固定化を図り、半円弧状の細線を採用した。この方法は、過去に液体ヘリウム測定において見られ、本研究では、幅広い温度範囲での適用性や測定精度に関して検討を行った。

図 24 に振動細線法における細線モジュールの概念図（左図）と実際に用いたプローブ（右図）を示す。試料が充填されている中で振動するセンサの運動方程式は式(3)で記述される。式(4)、(5)は境界条件である。

$$\pi^2 \rho_w \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{\pi^4}{4} E \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \left( D \frac{\partial y}{\partial t} + c' \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) + BI_0 \sin\left(\frac{\pi}{L} x\right) \sin(\omega t) - Q_{\text{vac}}^{-1} \omega \rho_w \pi^2 \frac{\partial y}{\partial t} \quad (3)$$

$$y(0, t) = y(L, t) = 0 \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{x=L} = 0 \quad (5)$$

式(1)中のパラメータは式(4)-(8)で表される.

$$D = \pi \rho_s r^2 \omega k' (m) \quad (6)$$

$$c' = \pi \rho_s r^2 k (m) \quad (7)$$

$$m = \frac{r}{2} \sqrt{\omega \rho_s / \eta} \quad (8)$$

$$k + ik' = 1 - \frac{\sqrt{2}(1-i) H_1^{(1)}(z)}{m H_0^{(1)}(z)} \quad (9)$$

$$z = \sqrt{2}(1+i)m \quad (10)$$

記号表

$B$	磁束密度
$E$	センサのヤング率
$H_n^{(1)}$	ハンケル関数
$I_0$	初期電圧
$L$	センサ長さ
$Q_{\text{vac}}^{-1}$	内部摩擦係数
$r$	センサ半径
$\eta$	粘性係数
$\rho_s$	試料密度
$\rho_w$	センサ密度
$\omega$	角周波数
$\omega_0$	共鳴角周波数

このとき発生する誘導起電力は付加電流の周波数と同位相および 90 度ずれた位相の成分に分けることができ、式(11)のように記述できる.

$$V(t) = V_i \cos(\omega t) + V_q \sin(\omega t) \quad (11)$$

式(9)中の  $V_i$  および  $V_q$  はそれぞれ式(10), (11)となる.

$$V_i = V_{\text{offset}} + \frac{4\lambda^2 \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2} V_0 \quad (12)$$

$$V_q = \frac{2\lambda \omega (\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2} V_0 \quad (13)$$

ここで、 $V_0 = V_{\text{max}} - V_{\text{offset}}$  である ( $V_{\text{max}}$  は共鳴曲線の最大値、 $V_{\text{offset}}$  はオフセット値). 本装置の概略図を図 25 に示す. 圧力容器内に設置されたタングステン製の細線 (直径 50  $\mu\text{m}$  長さ 24 mm) に、周波数の異なる交流電圧をロックインアンプで印加し、各周波数における細線からの誘導起電力を測定して、図 26 に示すような共鳴曲線を得る. カーブフィッティングを行って、共鳴周波数  $\omega_0$  と半値幅  $2\Delta$  を求め、基礎式に従って粘性係数を導出する. 本研究ではまず、296 K~573 K, 0.7 MPa までの高温域を対象として測定を実施した. 内部摩擦係数  $Q_{\text{vac}}^{-1}$  と細線の直径  $r$  が粘性係数の導出に際し、大きな影響を与えることが明らかとなり、粘性係数が既知であるヘリウムと窒素を参照流体としてこれらの値を正確に決定した. 図 27 は高温域での水素の粘性係数の測定結果である. 本測定領域において、圧力依存性はほとんど無い. 粘性係数の測定不確かさは 1.4 % であり、相関式で見積もられる不確かさ 2 % を考慮すると、実測値と相関式は良好に一致していると言える. 水素ステーションでのプレクールを念頭に、233 K までの低温を得るため、低温恒温槽の開発を行った. 図 28 は開発した低温恒温槽を用いて水素の粘性係数を 0.7 MPa までの圧力範囲で測定した結果である. 図 28 に示されるように、233 K までの低温域においても、低圧では既存の相関式は実測値と良好に一致している. 本研究では以上のように、粘性係数の測定および解析方法を新しく確立し、また低温恒温槽の性能も確認できたことから、この恒温槽を高圧装置に適用し (図 29)、100 MPa までの高圧域において、熱伝導率、粘性係数の両物性を測定して、実測値の無い領域を明らかにして行く.

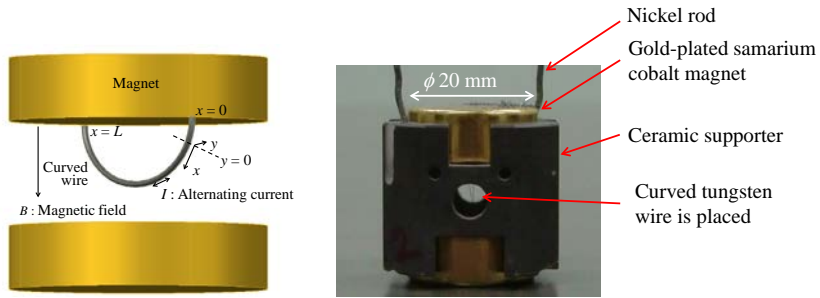


図 24 細線モジュール

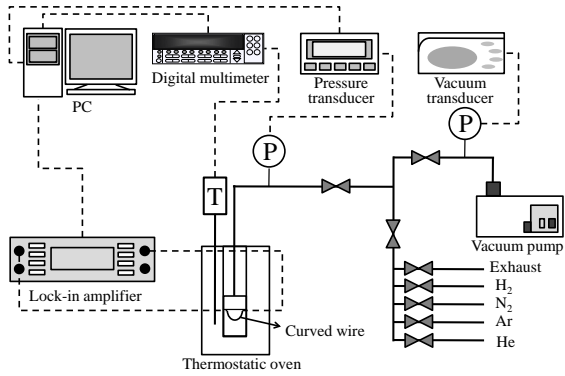


図 25 装置概略図

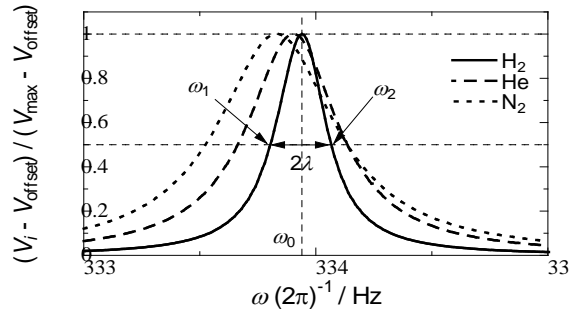


図 26 正規化した水素，ヘリウム，窒素の共鳴曲線(298 K, 0.1 MPa)

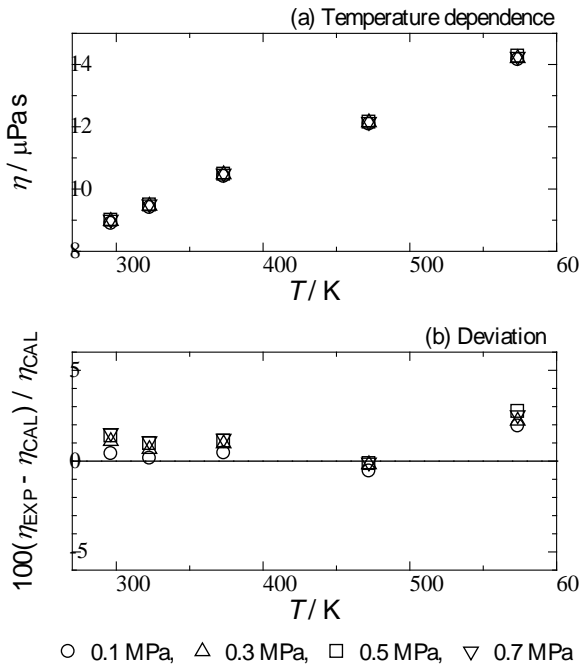


図 28 高温域における水素の粘性係数測定結果(296 K~573 K, 0.7 MPa まで), (a)温度依存性, (b)既存の相関式からの偏差

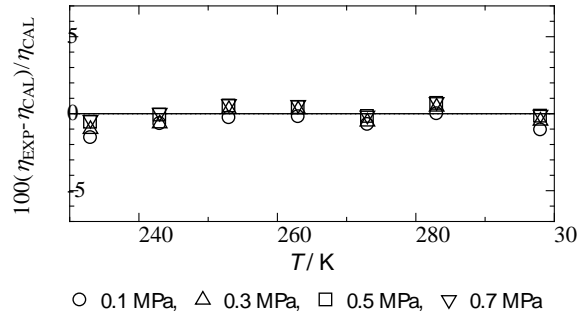


図 27 低温域における水素の粘性係数測定結果(233 K~298 K, 0.7 MPa まで). 既存の相関式からの偏差



図 29 開発した低温恒温槽 (高圧装置に適用) と測定機器. 遠隔操作により測定可

### 3. 2 成果の意義

#### サブテーマ 1：国内基準類の改正案作成及び制定<担当：HySUT、JPEC>

(1) 水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備：<担当：JPEC>

本課題における成果としては、下記 2 点が挙げられる。

##### ① FCV への水素充填に係る自主基準の策定及び例示基準改訂に向けたフォロー

FCV への水素充填に係る自主基準の策定より、水素ステーション設置企業、水素ステーション機器メーカー等の取り組みに対する基盤的知見を提供できることとなり、すでに、40 以上の企業・団体に開示されている。さらに、今後本基準に関連した例示基準の改定などが行われることから、水素インフラ構築の進展と相まって、開示先が増加していくことが考えられる。また、本課題の成果は、それに基づく HySUT での取り組みの成果として策定された『水素ステーションの充填性能確認のガイドライン』と相まって、より広範に水素供給インフラの構築に寄与していくことが期待される。

##### ② FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

海外では国内に導入される FC バスと異なる仕様の FC バスが導入されており、国内の FC バスに対応した基準やプロトコルは制定されていない。ただし、本事業で制定された FC バス用の自主基準は、海外で普及している SAE J2601 に準拠した FCV 用ステーションに適用可能な基準であることから、将来国内の FC バスを海外に普及させる可能性も考慮して、本事業の成果を生かすためにも、本自主基準の SAE 化の可能性についても、今後の本課題での取り組み事項として考えたい。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：<担当：HySUT>

充填性能確認ガイドラインを策定した意義の 1 つとして、国内水素ステーション建設に対する共通目標を設定し、性能レベルを高いレベルで均一化した事が挙げられる。本事業成果である充填性能確認ガイドラインは次世代自動車振興センターの交付する水素ステーション建設補助金の条件として採用されている。さらに、異なるステーション運営者のステーションにおいても最終性能確認方法が統一された事により、ステーション建設者は効率よくステーションの性能調整・確認が可能になり、効率的なステーション整備に貢献できたと考えている。

さらに、ステーションの性能確認においては、ガイドラインの整備、評価装置の製作の点で日本が最も進んでおり、日本の開発内容を紹介する事でステーション性能評価の国際調和で主導的な役割を果たし、水素インフラ領域における日本のプレゼンス向上に貢献した。

#### サブテーマ 2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携<担当：HySUT、JARI>

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映：<担当：JARI>

J2601 の発行後、国内の充填基準の見直し方向についての提案を行う、また、ISO19880-1 ステーション規格中の充填プロトコルの規定等、ISO に関連する充填プロトコルに係る事案について、国内基準との整合を目指し、審議に積極的に参加することにより、充填プロトコルに関連してプロトコル及び評価ガイドラインを欧米(SAE、ISO)に提案し、充填基準の国際標準化に貢献する。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：<担当：JARI>

ノズル/レセプタクルの氷結に係る試験法を策定し、業界の要望に応じて、新規提案に結びつける。

併せて SAE J2600 への提案も実施することにより、ノズル／レセプタクルの改定案が ISO、SAE とともに審議され、双方整合した国際標準化に貢献する。

(3) 充填技術の国際連携：＜担当：HySUT＞

水素充填基準整備を北米、欧州と協調を図りながら推進し、FCV・水素インフラ整備で世界をリードする日本としての役割を果たした。また、欧米との情報共有で得た情報を国内関係者に発信することで、海外の状況及び日本の位置づけを共通認識として持つ事に貢献した。

**サブテーマ 3：充填技術開発／充填技術検証＜担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大＞**

(1) 新通信充填プロトコル開発：＜担当：JARI＞

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル（FCV、FC バスおよび FC 二輪など）を開発する。FCV に搭載される水素タンクモジュールを用いて、充填中の供給ガス温度の変化などの条件を取り込んだ急速充填試験（通信／非通信／フル充填対応）を実施し、プロトコル策定に資する実験データを取得する。これらの成果は、FC バスおよび FC 二輪用の充填プロトコルの作成に寄与する。

また、水素ステーションでの充填時のノズル／レセクタプル氷結問題に関する充填試験を実施する。この成果は、ノズル／レセクタプル国際規格改訂に必要なデータとなる。

(2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施－新たなプロトコルの提案－：＜担当：九州大＞

新しいプロトコルの開発によって、LookUp テーブルに基づく充填が必要でなくなる。また、充填が水素ステーションでの計測だけで安全に実行される。充填中に水素温度が決められたカテゴリーから逸脱する場合の救済措置として、フォールバック充填が行われることになっているが、この充填が不要になる。新しい充填法によって、充填システムの自動化がより簡単化される可能性がある。

(3) 充填技術の検証（フィールドデータ蓄積）：＜担当：HySUT＞

充填基準及び充填性能確認ガイドラインを事前に検証し、その安全性及び有効性を確認した。また実際の商用ステーション建設において、スムーズな運転調整・確認を行えるようになり、商用ステーション建設の時間短縮に貢献した。

**サブテーマ 4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得＜担当：九州大＞**

水素の粘性係数測定について、半円弧状の細線を用いた振動細線法における測定および新しい解析手法を確立した。振動細線法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また熱伝導率と共通の実験装置で測定ができるようになった。233 K までの低温を実現する恒温槽を開発し、低温、高圧域での測定が可能となった。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

**サブテーマ 1：国内基準類の改正案作成及び制定＜担当：HySUT、JPEC＞**

(1) 水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備：＜担当：JPEC＞

これまでの FCV 及び FC バスを対象とした高圧水素充填に係る自主基準の策定並びに JPEC 及び高圧

ガス保安協会での JPEC-S 0003 (2014)に対する、安全性の担保についての審査等を踏まえて、高圧水素充填における安全性の担保要件に関する、基本的な知見習得及び知見蓄積がなされている。

それを踏まえて、当初の最終目標である、SAE J2601 の改定を踏まえた自主基準の見直しあるいは、本事業での成果を生じた新たな充填プロトコルに対応した自主基準を制定することは、関連する諸取組の成果と併せて十分達成可能と考える。

## (2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：＜担当：HySUT＞

本テーマの最終目標であるステーション性能確認ガイドラインの維持管理体制に関しては、適切なタイミングで業界団体である FCCJ と対話しておいた。平成26年度、27年度はガイドラインの開示方法について、HySUT の作成した開示案を合意した。今後、ガイドライン改定等の維持・管理及びステーションのガイドライン適合性をどのように守っていくかの体制についても検討を進めて行く。最終目標について、十分に達成できると考えている。

## サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携＜担当：HySUT、JARI＞

### (1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映：＜担当：JARI＞

本事業の国際標準化活動により充填プロトコルに関連してプロトコル及び評価ガイドラインを欧米 (SAE、ISO) に提案し、充填基準の国際標準化に貢献するとしているが、これまでの成果は計画通り進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

### (2) ノズル／レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：＜担当：JARI＞

本事業の国際標準化活動によりノズル／レセプタクルの改定案が ISO、SAE とともに審議され、双方整合した国際標準化に貢献するとしているが、これまでの成果は計画通り進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

### (3) 充填技術の国際連携：＜担当：HySUT＞

本事業で得られた知見(プロトコル及び評価ガイドライン)を欧米 (SAE、ISO) に提案し、充填基準の国際標準化に貢献すると言う最終目標に対して、策定したガイドラインはその都度、欧米の基準検討団体である、SAE (CSA)、ISO に紹介し、その内容について高い評価を受けている。ステーションの性能評価に関して日本案を軸として国際標準を作成することを目指す。最終目標は十分に達成可能と考える。

## サブテーマ3：充填技術開発／充填技術検証＜担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大＞

### (1) 新通信充填プロトコル開発：＜担当：JARI＞

最終目標は、商用水素ステーション用の改良プロトコルとしてFCVに加え、大容量(バス用など)および小容量(二輪用など)の充填が安全で合理的に実施できるプロトコルの策定に資するデータ取得を行い、プロトコルを作成することである。これまで、バス用および二輪用の充填試験を実施し、プロトコルの策定に資するデータ取得を行ってきた。今後は必要となるデータがあれば取得を行い、プロトコルの作成を進める。データ取得は行われており、順調に進めばプロトコル作成の目標を達成する可能性は高い。

また、ノズル／レセプタクルの国際規格改定に必要なデータ取得も最終目標とする。これについても、



ノズル／レセプタクルの氷結試験を実施し、国際規格改訂に必要なデータ取得を行ってきており、目標達成の可能性は高い。

#### (2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施－新たなプロトコルの提案－

水素充填中の水素から容器への伝熱量の近似式を開発し、その近似式を用いた新しい充填方法で SAE J2601 に沿った水素充填について検討した結果、SAE J2601 で示される水素温度と同等な結果が得られていることが確認された。新しい充填法に基づく充填試験を実施することによって新充填法の有用性が検証され、目標達成の可能性は高い。

#### (3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積)：<担当：HySUT、HySUT 研究分担先>

普及が予想される FC 車両 (FCV、FC バス、FC 二輪など) に対応する充填プロトコルの安全性、合理性および課題 (その対策を含む) を実際の水素ステーションで確認するという目標に対して FCV についての 70MPa までの充填基準及び充填性能確認ガイドラインの確認は完了している。 今後は商用ステーションを活用し、制定した充填基準及び充填性能確認ガイドラインを適切なタイミングで確認していく予定である。 最終目標は十分達成が可能であると考えている。

#### サブテーマ 4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当：九州大>

開発した低温恒温槽を高圧装置に適用して性能を確認し、また低圧域での水素の粘性係数のデータを取得するなど、当初計画通りに成果を挙げている。 100 MPa という高圧での物性測定は 773 K までの高温域に対して実施してきた実績がある。 低温恒温槽の完成により、計画通り低温、高圧域での熱伝導率および粘性係数のデータを取得できるものと考えられる。 一方で、充填シミュレーションとの連携を深めており、シミュレーション精度の向上という最終目標は十分達成可能である。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本テーマの目標は、4 事業者 (平成 25 年度は 5 事業者) が各自の分担した役割を達成することにより、FCV・水素インフラ普及に必要な法的環境及び技術を整備することである。 事業成果は既に段階的に実用化が開始されており、現在進行中の水素ステーション普及拡大に貢献している。 また、将来的にはステーション充填性能の検査、管理等のビジネス化も視野に検討を行う予定である。 各事業者の分担及び成果の概要を以下に示す。

#### 石油エネルギー技術センター (JPEC)

70MPa 水素ステーションを商業地域などの市街地に建設するために必要な技術基準の整備を行う。 具体的には NEDO 別事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証／技術・社会実証研究」で制定した 70MPa までの技術基準を改定し、87.5MPa を上限とする充填基準を制定した。 これにより、水素充填量が増加する事で、FCV の航続距離が延長でき利便性がさらに向上する。

#### 水素供給・利用技術研究組合 (HySUT)

水素ステーションが JPEC の制定する充填技術基準に合致する性能を有する事を確認するためのガイ

ドラインを作成する。現時点で70MPaステーションの充填性能確認ドライン(2013)及び87.5MPaを上限とする充填性能確認ガイドライン(2014)を制定した。充填性能確認ガイドライン(2013)に合致することは現在普及が開始している商用ステーション建設補助金交付の要件となっており、ステーションの性能標準として実用化されている。

#### 日本自動車研究所 (JARI)

充填基準の世界標準であるを議論するSAE会議に、国内の自動車・水素インフラ関係者の意見を集約し対応した。この結果、SAE充填基準を国内で受け入れ可能な内容で発行することができた。また、国内外の基準を作るために必要な、充填検証試験を国内法規を超える範囲で行えるHySEFで実施した。

#### 九州大学

国内及び海外充填基準を作成するために必要な充填シミュレーションを行い国内充填基準作成及び海外への技術提案のサポートを行った。また、充填プログラムは充填中にディスプレイで計算可能な計算容量で十分な精度を確保するための改良を行い、新しいプロトコル開発の準備を行った。また、シミュレーション精度向上のために必要な高圧水素の粘性係数及び熱伝導率データ取得のために、計測装置を開発し、計測手法を確立した。一部の温度、圧力領域についてはデータの収集を行っている。

## 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015年11月	Fuel Cell Seminar & Energy Exposition	Thermal Characteristics of Hydrogen Tank Developed for Fuel Cell Motorcycles during Fast Filling	山田英助, 開渉, 村松仁
2	2015年10月	自動車技術会秋季大会 学術講演会	燃料電池二輪車用の高圧水素容器への急速充填	山田英助, 開渉, 村松仁
3	2015年10月	International Conference on Hydrogen Safety	Hydrogen fast filling to a type IV tank developed for motorcycles	山田英助, 開渉, 村松仁
4	2015年10月	同上	Freeze of nozzle/receptacle during hydrogen fueling	開渉, 三石洋之
5	2015年10月	World Hydrogen Technologies Convention	Thermal comparison during hydrogen fast filling to type iii and type iv tank developed for motorcycles	開渉, 山田英助, 村松仁
6	2015年9月	14th UK Heat Transfer Conference 2015	Heat Transfer Rate from Hydrogen to Tank Wall during Fast Refuelling Process	M. Monde, T. Kuroki, N. Sakoda, Y. Takata
7	2015年5月	The Journal of Chemical Thermodynamics	Measurements of Hydrogen at High Temperatures up to 573 K by a Curved Vibrating Wire Method	N. Sakoda, T. Hisatsugu, K. Furusato, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata
8	2015年4月	SAE 2015 World Congress	New Method for Refueling Hydrogen into High Pressure Tanks	門出政則
9	2014年11月	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2014	高圧水素の熱物性計測 水素インフラの普及に向けた研究の取組み	迫田直也, 粥川洋平, 新里寛英, 河野正道, 門出政則, 高田保之

10	2014年11月	Fuel Cell Seminar at Los Angeles, USA	New Method for Fueling Hydrogen into High Pressure Tank	M. Monde
11	2014年11月	第35回日本熱物性シンポジウム	半円弧状振動細線法による-40℃から25℃の温度域における水素の粘性係数測定	久次達也, 新里寛英, 迫田直也, 河野正直, 高田保之
12	2014年10月	自動車技術会秋季大会 学術講演会	水素充填時のノズル・レセプタクル氷結試験	開渉, 三石洋之
13	2014年10月	World of Energy solution at Stuttgart, Germany	New Method for Hydrogen Refueling at Hydrogen Station	M. Monde
14	2014年9月	KU-KAIST セミナー	VISCOSITY MEASUREMENT OF HYDROGEN IN THE TEMPERATURE REGION FROM -40 °C TO 25 °C WITH SEMI-CIRCLE WIRE	T. Hisatsugu, K. Shinzato, N. Sakoda, M. Kohno, Y. Takata
15	2014年3月	European Hydrogen Energy Conference	Vibrating Wire Method with Semi-circle Wire for Measuring Hydrogen Viscosity	T. Hisatsugu, T. Uehara, K. Furusato, K. Shinzato, N. Sakoda, M. Kohno, Y. Takata

# (I-5) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

委託先：(一財) 日本自動車研究所

## ●成果サリ (実施期間：平成25年度～平成29年度終了予定)

- 燃料電池自動車の世界統一基準(以下、FCV-GTR phase2)で審議される安全性評価試験法を検証し、日本がリーダーシップを発揮して主張するための裏付けデータを得るとともに、国内にて、これらの試験を実施できる体制を整えた。
- 事故後処理に必要な安全弁作動確認手法や水素漏洩音によって安全に車両へ接近する手法を確立し、FCV用の警防マニュアル等へ反映させるためのデータを得た。
- 車両から水素容器が取り外された状態での容器単体での安全かつ合理的な工程を開発し、くず化業者にて実証試験も行った。
- 道路運送車両の保安基準に関わるFC2輪車特有の安全性評価試験を実施し、それらは規制見直しのためのデータを得た。

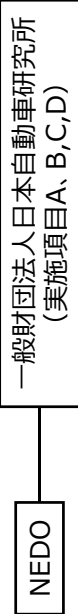
## ●背景/研究内容・目的

燃料電池自動車(以下、FCV)の普及拡大には、国連基準等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠であり、さらには、安全な事故後処理・廃車処理の安全性確保に関する十分な知見と、必要に応じた標準化や基準化・法規化や安全作業マニュアル等の作成を進める必要がある。本研究では、国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発、および燃料電池自動車のFCVの普及及び国際競争力確保に資することを目的とする。

## ●研究目標

実施項目	目標
A FCVの国内規制・国際基準調和に資するデータ取得	国際基準(HFCV GTR Phase2)に必要なデータ取得を進める。
B FCVの国際標準化	本事業のデータを活用し、国内規制を考慮しながら日本が主導的になるよう国連基準・国際会議を進める。
C 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得	安全なFCVの事故後処理方法を明確にするためのデータ取得とFCV用容器くず化マニュアルに資するデータ取得を行う。
D FC2輪車の安全に関するデータ取得	FC2輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資するデータ取得

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- 車載用容器の局所火炎暴露試験の誤差範囲の影響を明らかにした。
- 風などの外乱影響を受けずに、衝突試験後の車室内の水素濃度を規定する方法を開発。
- FCV安全に関わる国内基準、国連基準、国際基準との整合を図った。
- 水素ガスが充填された状態のCFRP複合充填容器は、火災時より冷却後、強固になることを示唆。
- 鎮火後車両の容器のガス有無を判定する手法として、容易かつ確実な安全弁確認手法を開発した。
- 事故CFRP容器のドリルにより穴あけ方法を検討し、破裂なくガス抜きできることを確認した。
- 可聴できる水素漏洩音によって、水素漏洩車両へ安全に接近するための手法を開発した。
- レスキュー時などの高圧水素配管を切断した際の安全性を評価した。
- 水素容器単体における安全かつ合理的な容器くず化処理工程を開発した。
- 実火災に生じる問題点の抽出、本事業で開発した事故後処理手法を検証した。
- FC2輪車の安全弁作動時の安全性を評価し、車両移動がないことを確認した。

## ●今後の課題

●HFCV-gtr Phase2の審議の進捗に合わせて、迅速にデータを取得

- 傷容器、焼損容器の取扱手法の開発
- 緊急時におけるガス抜き手法の開発
- 容器くず化に伴うガス抜き手法の開発
- 事故車両の移動・保管手法の開発
- 車載状態での容器くず化工程の開発
- FC2輪車の水素センサー設置データ取得

## ●実用化・事業化の見通し

- FCV試験法を検証および国内での実施体制整備→日本国主張の裏付けデータとして国際基準策定および国内メーカー開発に貢献
- 事故後処理安全手法を開発→FCV事故後処理標準化活動へ反映し、かつ警防マニュアル等へ反映し、事故後処理の人材育成へ貢献
- 安全かつ合理的なFCV廃車、容器くず化工程の開発→くず化マニュアルへ反映し、FCVの普及へ貢献

実施項目	成果内容	自己評価
A	HFCV-GTR Phase 2の審議で日本提案が国際基準へ反映させるためのデータ取得	○
B	FCV安全に関わる国内基準、国連基準、国際基準との整合を図った。	○
C	事故後処理手法およびFCV用容器のくず化工程マニュアルに資するデータ取得	○
D	道路運送車両の保安基準に関わるデータ取得し、規制見直しに反映。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	23	0

## 課題番号：I-⑤

### 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発

#### 1. 研究開発目標

FCV の普及開始と国際競争力強化の観点から、FCV 及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、FCV に関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を、産学官の互いのノウハウ等を持ち寄り、協調して実施する必要がある。

また、国際商品である FCV の普及拡大には、国連基準である UN/ECE/WP29/HFCV-gtr（水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準）等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献できる。

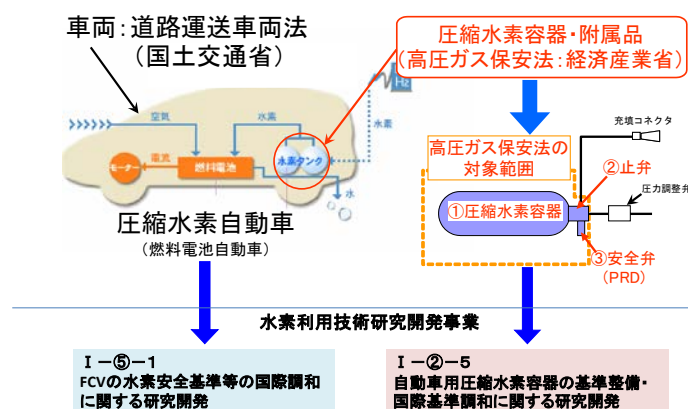
そこで、本研究開発テーマでは、燃料電池実用化推進協議会、一般社団法人日本自動車工業会などと連携し、FCV の水素安全基準等の国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施し、FCV の普及及び国際競争力確保に資する。

また、2015 年以降の FCV や FC 二輪車の本格的な普及により、既存の交通体系の中で FCV が現行車と共存することになる。そこで、FCV や FC 二輪車の安全な事故後処理および廃車処理の安全性確保に関する十分な知見と、必要に応じた標準化や基準化・法規化および安全作業マニュアル等の作成を進める必要がある。本研究開発テーマでは、FCV や FC 二輪車の安全な事故後処理および廃車処理に関わる標準化や基準化・法規化および安全作業マニュアルの策定に資する。

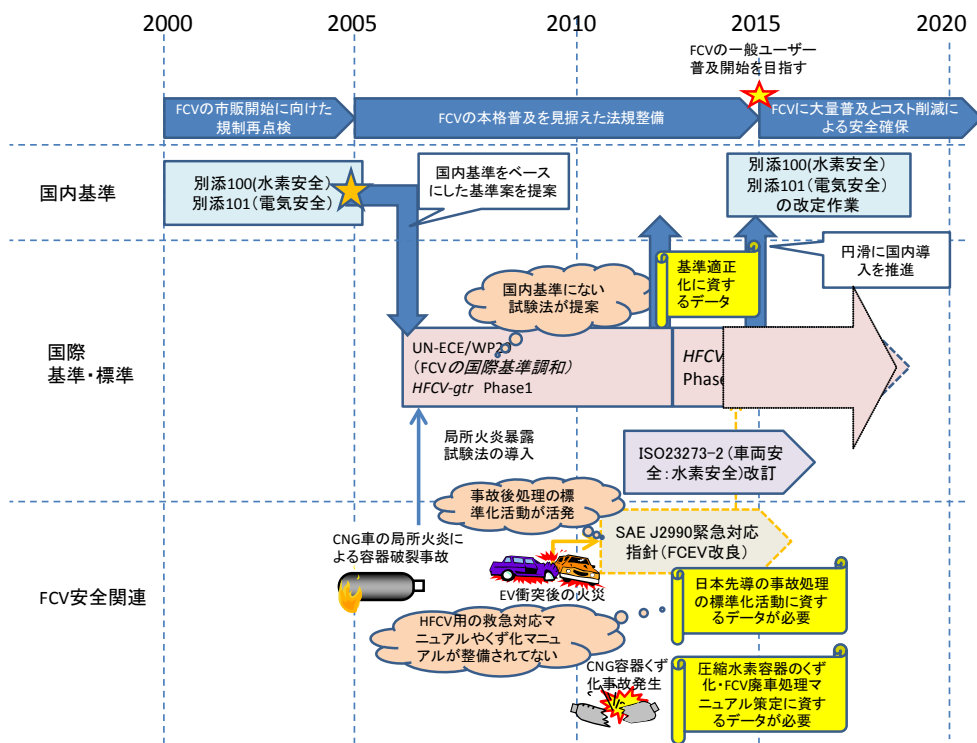
#### 2. 研究開発概要

図 1 に水素・燃料電池自動車に関する規制を示す。FCV や FC 二輪車を取り巻く主な規制は、車両については道路運送車両法、圧縮水素容器・附属品については高圧ガス保安法で規制されている。本研究開発事業では、車両（圧縮水素容器および附属品を除く）に関わる安全技術の確立や基準・標準の整備、ならびに FCV や FC 二輪車の事故後処理や廃車処理などを考慮した安全性確保に関わる知見の拡充に注力し、FCV や FC 二輪車の実用化・普及展開および国際競争力の確保に資するデータを取得することを目的とする。

#### 水素・燃料電池自動車に関する規制



#### 水素燃料電池自動車に関する規制



FCVの車両に関わる規制およびFCVの安全に関わる現状と今後

FCVの基準整備の取り組みとしては、2005年において政府による燃料電池の実用化に向けた規制再点検が完了し、FCVの市販開始に必要な導入初期段階の基準整備は完了した。その後、国連欧州経済委員会に設けられた自動車基準調和世界フォーラム（UN/ECE/WP29）の場において、HFCV-gtr（水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準）Phase1の策定が2005年に作成した日本の技術基準を基に進められた。その際、例えば圧縮天然ガス（CNG）自動車の火災時の容器破裂事故などにより、国内基準にはなかった試験法がHFCV-gtr Phase1で新たに導入された。今後、2013年の中盤からのHFCV-gtr Phase2の審議開始、および国連の98年合意に基づいた国内取り込みに向けた検討が必要であることから、基準適正化に向けたデータを取得する必要がある。

一方、2015年からのFCVの一般ユーザーへの普及開始に伴い、交通事故や火災事故の発生が予想され、事故後処理（救助、消火、解体・撤去）の安全確保を目的とした対応方法に関する研究が必要である。普及期において、これらの事故処理対応を確立していなかった場合、重大な二次災害が生じる場合が想定され、FCVの普及促進に対しての影響が生じる可能性がある。そのため、事故後の乗員救助や車両の安全な除去方法の指針となる消防庁の「警防活動時等における安全管理マニュアル」改訂などに資するデータを、普及開始に向けてできるだけ早急に取り得る必要がある。

また、2010～2013年の間、リチウムイオン電池を搭載した電動車両の衝突後の出火事故の発生により、北米ではハイブリット自動車・電気自動車の救急対応の指針となるSAE J2990（Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice）規格が誕生した。この規格は、今後、FCVへ対応させるための改定作業が2013年から開始されたため、FCVの安全な事故後処理に関する国際標準化や基準化の動きに対しても、他国に先行している日本がリーダーシップを発揮しながら活動を進める必要がある。一方、2011年の東日本大震災により被災した圧縮天然ガス自動車の容器のクズ化作業に伴う死亡事故を受け、



水素車両の安全な廃車処理手順についても普及開始に向けて早急に解決策を見出す必要がある。そこで、本研究では、FCV の水素安全基準等の国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施し、FCV の普及及び国際競争力確保に資することを目的とし、以下の4項目を実施する。

- (1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得
- (2) FCVの国際標準化
- (3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得
- (4) FC2輪車の安全に関するデータ取得

### 3. 研究開発目標（設定の理由も含め）

#### 3. 1 FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

UN/ECE/WP29/HFCV-gtr Phase1 では、国内の技術基準には採用されていない試験法が新たに追加された。FCV の車両安全に関連した試験項目としては、自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験と衝突試験後の車室内水素濃度計測試験がある。

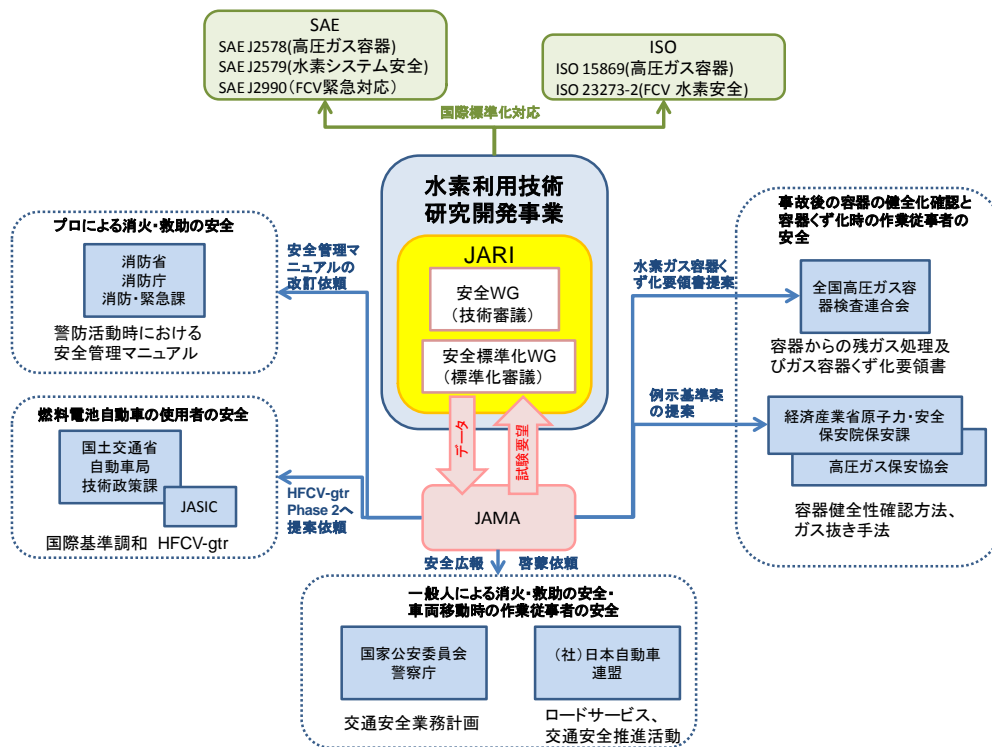
自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験では、容器に耐性を持たせる方法と車体側で容器を保護する方法の二種類が選択できる。HFCV-gtr Phase1 では、前者の方法が議論の中心となっていたが、HFCV-gtr Phase2 では、後者の方法による車載状態にある容器（以下、車載容器と称する）の局所火炎暴露試験法の議論が進むことから、本事業では、局所火炎暴露試験法の車両への適合性評価を進める必要がある。

また、米国から新たな試験法として提案された衝突試験後の車室内水素濃度計測試験については、これまでの日本の研究により試験の再現性に問題があることが明らかになり、本試験法開発の審議についてはHFCV-gtr Phase2 で行われることになった。今後、再現性のある試験法策定のために、日本がリーダーシップを発揮して試験法の改良を進める必要がある。

そこで、本事業では、日本がリーダーシップを発揮して議論を推進させるために、FCV の車両安全に関わる HFCV-gtr Phase2 の策定に資するデータ取得を進めるとともに、国連の98年合意に基づいたHFCV-gtr Phase2 の円滑な国内導入を図るためのデータ取得を実施する。

### 3. 2 FCVの国際標準化

本事業での基準・標準化活動の推進体制を示す。



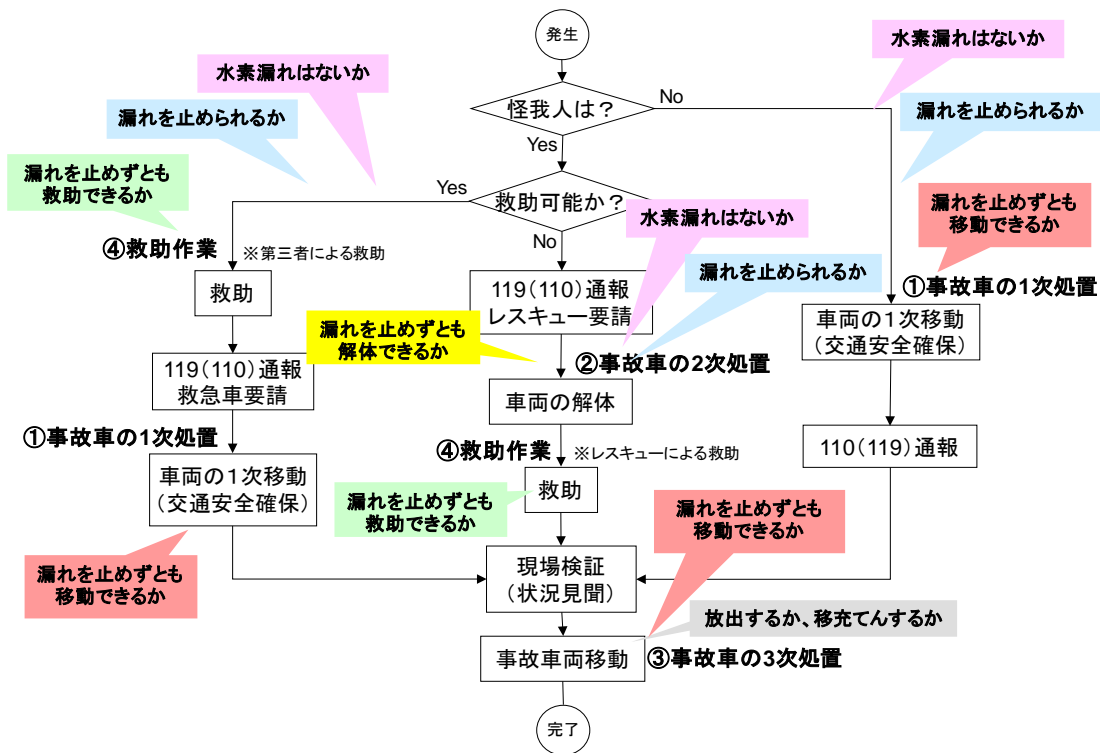
本事業での基準・標準化活動の推進体制

本事業の試験計画の妥当性検討や、取得される試験データの解析・審議のために、外部有識者、関連団体委員等により構成される安全WGを組織し、試験計画およびその解析結果について、その妥当性、方向性等を含めて審議する。また、車両安全の標準化に関し、一般社団法人日本自動車工業会などと連携し、HFCV-gtr Phase2を視野に入れた議論を推進し、国際標準化活動に資する。また、当該活動を円滑に推進させるために安全標準化WGを組織し、FCVの安全に係る国際標準化活動方針の審議、提案ドラフト作成およびコメント作成を行い、FCV安全標準化に係る国際会議等に対応する。

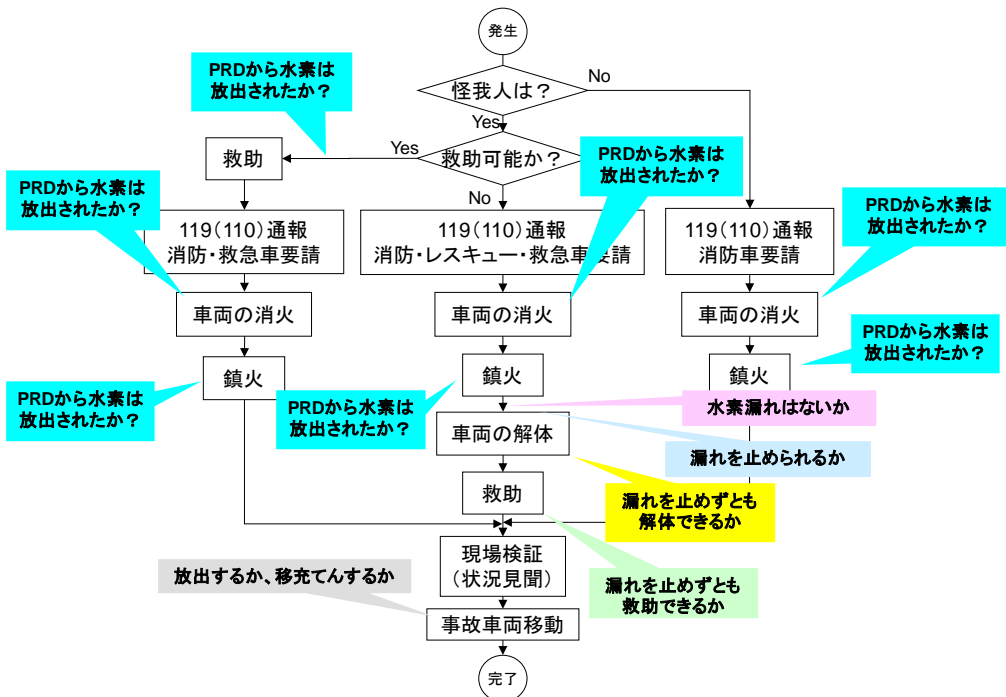
この推進体制により、本事業で得られた試験結果を活用し、UN/ECE/WP29/HFCV-gtr Phase2に対して、日本がリーダーシップを発揮して審議を進めるため、一般社団法人日本自動車工業会と協力しながら、HFCV gtrに影響するISO/TC22/SC21/WG1 (FCV等の車両安全規格)等を国連基準に調和させるための国際標準化活動を行う。併せて、上記HFCV-gtrの事前協議の場として有効なSAE (Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会) 会議にも積極的に参画し、上記HFCV-gtrとの整合を図るための活動を行う。

### 3. 3 安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得

FCVの事故後の安全確保に関しては、一般社団法人日本自動車工業会と連携し、図3に示される衝突・火災事故時に発生する事象を網羅し、適切な対応を実施する上で、新たに評価すべき課題と試験内容の明確化を進めてきた。



車両衝突時の事故後処理作業と水素安全への配慮



車両火災時の処理作業と水素安全への配慮

これらの成果に基づき、本事業では、主に以下の5項目の取り組みを実施する。

- ①火災後における容器の健全性確認手法の検討
- ②衝突後における容器の健全性確認手法の検討
- ③容器の脱ガス手法の検討
- ④レスキュー時の安全性に関する検討

## ⑤事故車両へ安全に接近する手法の検討

また、FCVの安全な廃車処理の手順を検討するため、一般社団法人日本自動車工業会、一般社団法人日本ガス協会やリサイクル・廃棄処理の関連団体などと協力しながら、既存の圧縮天然ガス自動車の廃棄処理方法を水素燃料電池自動車に応用した場合の懸念事項を見出す必要がある。具体的には、廃棄処理作業に関わる水素容器の脱圧方法や穴あけ方法、シュレッターなどによる容器切断などにおける安全確保のためのデータを、実作業の効率も考慮しながら取得し、FCVの容器クズ化マニュアルの改訂に資するデータを構築する。

### 3. 4 FC二輪車の安全に関するデータ取得

2015年からのFC二輪車の市場投入を促進するため、FC二輪車に係る保安基準の策定、型式認定制度の整備方策について検討することが閣議決定されている。FC二輪車はUN/ECE/WP29において、安全の担保を目的とした世界統一技術基準GTR13の範囲外になっており、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定める必要がある。具体的には、GTR13ならびに道路運送車両の保安基準 細目告示別添100（水素安全）および別添101（電気安全）を参照し、さらにFC二輪車の特性を考慮した安全要件を整備する必要がある。

FC二輪車の安全要件を整備するためには、転倒の可能性が高いFC二輪車の特性を考慮し、適正な安全要件を検討する必要がある。さらに、二輪車固有の問題である停止時の転倒や走行中の転倒に対する安全性を、FC二輪車への要件の追加適用の必要性についても検討する必要がある。

そこで、本事業では、（一社）日本自動車工業会と連携しながら、FC二輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することを目的とする。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果，達成度

#### （1）FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

現在、燃料電池自動車の世界統一基準（UN-gtr HFCV）の策定作業の中で、以下の2つの事項が検討されている。

- 車載容器局所火炎暴露試験法
- 衝突試験後の車室内の水素濃度測定法

これらの試験法の問題点抽出およびそれらの課題を検討した。

#### ア. 車載容器局所火炎暴露試験

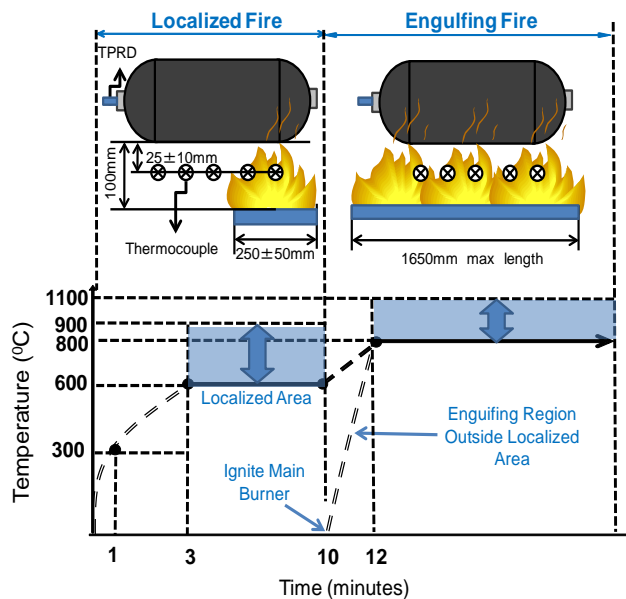
<目的>

現在、燃料電池自動車の世界統一基準（HFCV-gtr）のPhase1では、車載容器の局所火炎暴露試験が制定されている。本研究では、規定されている試験条件や試験手順に関する影響を把握するため、①バーナと燃料システム間の距離、②局所火炎域（許容差：250±50mm）の影響、③局所火炎温度（600℃～900℃）の影響を調査した。

<結果>

その結果、局所火炎域(250±50mm)や局所火炎温度(600~900℃)の許容差は、試験結果へ影響を及ぼすことが分かった。これらの成果は、HFCV-gtr Phase2の審議の場で、日本の主張の裏付け

データとして活用される予定。



局所火炎暴露試験法



容器単体局所火炎暴露試験



車載容器の局所火炎暴露試験

#### イ.衝突試験後の水素漏洩試験

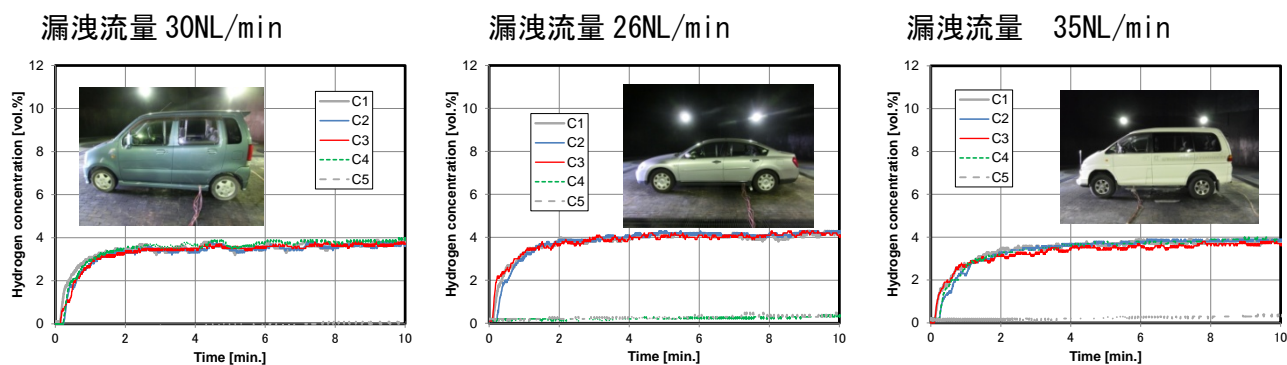
##### <目的>

現在、燃料電池自動車の世界統一基準 HFCV-gtr phase1 において、衝突試験後の車室内空間での水素濃度計測が試験法として取り上げられ、前事業において、衝突移動バリアの存在や微風(0.1m/s)によって車室内の水素濃度が変化するため、試験車自体の性能を評価していないことを指摘し、正確で再現性の高い結果が得られる試験ではないことが理解された。そこで、衝突試験後の車室内水素濃度試験方法については、規定の在り方も含め、HFCV-gtr Phase 2 での再検討課題として了承された。そこで、本研究では、車室内水素濃度が 4Vol% になる水素漏洩量を調査し、風などの外乱影響を受けずに、衝突試験後の車室内の水素濃度を規定する方法を検討した。

##### <結果>

その結果、衝突後、車両の窓ガラスの一部が割れて開口すれば、車両の容積に関わらず、車室

内の水素許容濃度が4vol.%を超えない水素漏洩量は、約26~35NL/minでほぼ一定量になる(図2)。よって、衝突後、窓が開くすれば、水素漏れ許容量を26NL/min以下にすることで、車室内の水素濃度計測を不要にすることができる。しかしながら、窓ガラスが割れなかった場合、微量な漏れ量でも車室内の水素濃度は上昇し続けるため、衝突後の車両の開口条件によっては、許容漏れ量による方法は困難であることが分かった。



車室内の最大水素濃度が4Vol.%となる水素ガス流量での濃度変化

これらのデータは、HFCV-gtr Phase2の審議にて日本の主張の裏付けデータとして活用される予定。

## (2) FCVの国際標準化

過去に実施したNEDO事業の成果を踏まえながら、ISO/TC22/SC21/WG1(FCVの安全規格)ならびにSAE FCV Safety WG(FCVの水素・電気安全)に関わる活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行った。また、SAE J2990のFirst Responderに関わる安全要件や事故後処理安全についても審議動向に注目し、緊密な連携を図った。

## (3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

### ア. 火災後容器の残留強度

<目的>

鎮火後の安全弁が作動していない焼損容器の取扱い方法に対する知見がなく、かつ、緊急的に脱圧するべきかの判断基準もない。本研究では、火災時の容器強度および火災後の容器の残留強度の調査および容器の焼損程度を調べる手法を開発する。

試験は、容器が局所的に火災(火災温度600℃程度)で晒された場合の加熱時と加熱冷却後の残留強度を調査した。

<結果>

加熱冷却後の容器は、常用使用圧力の4倍以上、加熱時容器破裂圧の2.6倍以上であった。加熱冷却後のCFRPの強度は、熱間時よりも強度があることが報告されており、鎮火後(加熱冷却後)のCFRP複合容器は、火災時(熱間時)よりも強度があること。鎮火後は、容器に充填されたガス温度が低下して容器内圧が下がるため、冷却後の容器の方が負担が低減する。故に、鎮火後、TPRDが作動せずに焼損した容器にガスが残された状態であっても、その容器は、常温時には充填された圧力以上の強度を維持している可能性が高く、現場での容器からの緊急



的な脱圧は不要であることが示唆された。

### 加熱時容器との加熱後容器の破裂圧の比較

(新品容器の破裂圧 91.7MPa)



容器が破裂する直前に水をかけて冷却した容器  
(加熱後容器)

	火炎長 [mm]		
	200	300	400
火炎暴露時の容器の破裂圧 [MPa]	31.89	32.25	31.83
加熱後容器の破裂圧 [MPa]	95.9	95.3	82.7
加熱後容器の破裂圧 / 常用使用圧力	4.80	4.76	4.14
加熱後容器の破裂圧 / 加熱時容器破裂圧	3.01	2.96	2.60

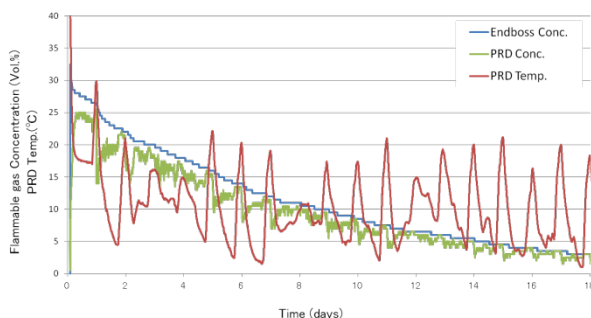
### イ. 安全弁の作動確認手法

<目的>

圧縮水素容器が搭載された火災車両を安全に移動や保管する場合や、焼損した容器を廃棄処理するためには、熱作動式安全弁 (Thermally-activated Pressure Relief Device: TPRD) の作動の有無を確認し、容器内に高压の水素が残されているかどうかを把握する必要がある。本研究では、火災現場において容易に TPRD の作動の有無を判断する手法を開発するために、火災後の容器内に残存する水素などのガスを、TPRD のガス放出口部で水素濃度計を用いて検知する手法により、TPRD の作動の有無を判断できるかを調べた。

<結果>

TPRD が作動した場合、接触燃焼式水素濃度計を用いれば、供試 Type3 容器では1ヶ月、供試 Type 4 容器では約 24 時間、3000ppm 以上の濃度を TPRD のガス放出口から検知できたことから、鎮火後に TPRD のガス放出口のガスを、接触燃焼式の水素濃度計で検知することにより、容易に TPRD 作動を判断できることが明らかになった。



供試 TYPE3 容器のガス濃度と室温

### 火炎暴露後のガス検知器指示濃度

時間	水素濃度				使用した水素濃度計
	Type3		Type4		
	PRD側	エンドボス側	PRD側	エンドボス側	
火炎暴露停止直後	-	88Vol%	-	8Vol%	吸引式
1時間後	-	60Vol%	-	2~5Vol%	吸引式
1日後	15Vol%	26Vol%	3000ppm	検出されず	Type3:定置式 Type4:吸引式
1週間後	10Vol%	12Vol%	検出されず	検出されず	定置式
1カ月後	3500ppm	-	検出されず	検出されず	吸引式



本手法は、2014年10月に発生した水素輸送トレーラ火災の火災後処理において実証され、さらには安全かつ効率的な事故後処理に貢献した。

#### ウ. 事故容器の脱ガス手法

##### <目的>

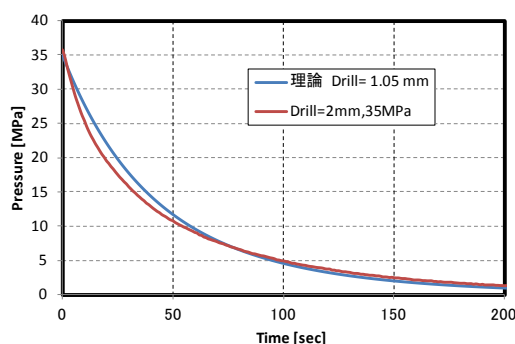
最悪、脱ガスできない場合における容器からの脱ガスを抜く手法を開発することを目的とし、ドリルによってCFRP複合容器に穴を開ける方法を検討した。

##### <結果>

ドリルφ2~6mmを用いて、容器の胴部中央部を開けた場合、容器は破裂することなく、ガスを抜くことができた。また、ガスが放出される量は、圧縮性ガス放出モデル計算によって推定すると、ドリル径の約半分の直径からガスが漏れる量とほぼ等しいことが分かった。



CFRP 容器の穴あけ時状況 (6mmドリル)



ドリル2mm 容器内圧と理論値 (1.05mm 穴)

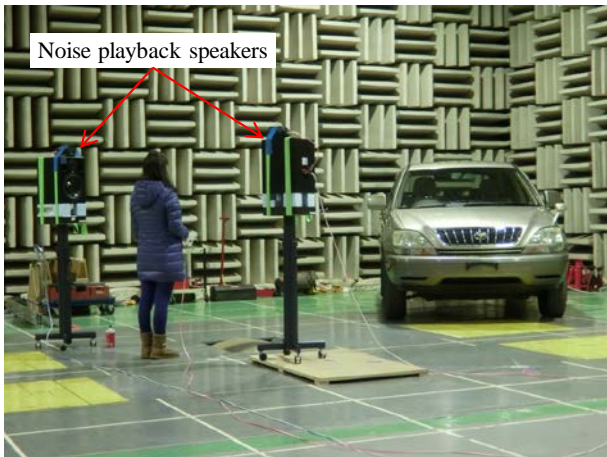
#### エ. 事故車両へ安全に接近する手法 (水素漏洩音による安全な接近手法)

##### <目的>

本研究では、人が水素の漏洩を検知するひとつの手段である水素の漏洩音によって、事故車両へ安全に接近する手法を開発する。都市部での交差点のような騒音が大きい場合、事故車両からの水素漏洩音を人が認知できない場合が想定されるため、交通騒音環境下でのセダントイプとSUVタイプの車両からの水素漏洩音を20~60代の被験者が認知可能な流量を調査した。

##### <結果>

74dB程度の騒音環境下で水素が漏れた場合、切断配管では被験者の年齢が高くなるにつれて、漏洩音を認知出来ない人数が増加した。一方、非切断配管では、漏洩音を認知できない被験者はほとんどおらず、認知可能な流量は平均で車両中心から5mの距離では最大で500NL/minの流量、10mの距離では最大で547NL/minの流量であった。過去に実施された本事業の研究成果において、水素漏洩量が2000NL/min未満であれば、風速10m/s以上の送風を送ることで着火リスクが低減できることが分かっている。以上のことから、車両の中心から5~10mの距離ではじめて水素漏洩音が聞こえた場合、風速10m/s以上の送風を送ることによって、安全に車両へ近づきながら救助作業を実施することができる。



Body type	Leakage direction	Distance (m)	Pipe shape	Average flow rate (NL/min)	
Sedan	Front	5	1/4 in(cut)	89	
			3/8 in(cut)	160	
			1/4 in	237	
			3/8 in	500	
	10	5	1/4 in(cut)	99	
			3/8 in(cut)	153	
			1/4 in	267	
			3/8 in	547	
Side	5	5	1/4 in(cut)	83	
			3/8 in(cut)	144	
			1/4 in	265	
			3/8 in	443	
10	5	5	1/4 in(cut)	97	
			3/8 in(cut)	146	
			1/4 in	271	
			3/8 in	483	
SUV	Front	5	1/4 in(cut)	88	
			3/8 in(cut)	107	
			1/4 in	157	
			3/8 in	336	
	10	5	5	1/4 in(cut)	107
				3/8 in(cut)	124
				1/4 in	192
				3/8 in	435
	Side	5	5	1/4 in(cut)	96
				3/8 in(cut)	123
				1/4 in	193
				3/8 in	420
10	5	5	1/4 in(cut)	107	
			3/8 in(cut)	142	
			1/4 in	226	
			3/8 in	482	

騒音環境下を模擬した無響室での試験状況および認知流量

#### オ. クズ化容器の脱ガス手法

##### <目的>

鎮火後の安全弁が作動していない焼損容器の取扱い方法に対する知見がなく、かつ、緊急的に脱圧するべきかの判断基準もない。本研究では、火災時の容器強度および火災後の容器の残存強度の調査および容器の焼損程度を調べる手法を開発する。試験は容器が局所的に火炎(火炎温度 600℃程度)で晒された場合の加熱時と加熱冷却後の残存強度を調査した。

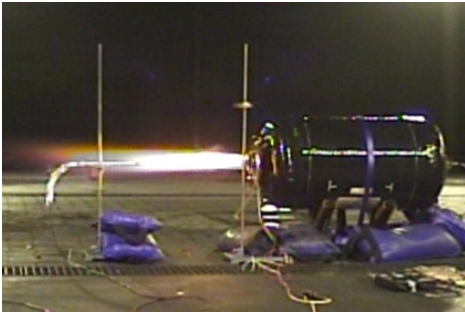
##### <結果>

加熱冷却後の容器は、常用使用圧力の4倍以上、加熱時容器破裂圧の2.6倍以上であった。加熱冷却後のCFRPの強度は、熱間時よりも強度があることが報告されており、鎮火後(加熱冷却後)のCFRP複合容器は、火災時(熱間時)よりも強度があること。鎮火後は、容器に充填されたガス温度が低下して容器内圧が下がるため、冷却後の容器の方が負担が低減する。故に、鎮火後、TPRDが作動せずに焼損した容器にガスが残された状態であっても、その容器は、常温時には充填された圧力以上の強度を維持している可能性が高く、現場での容器からの緊急的な脱圧は不要であることが考えられる。

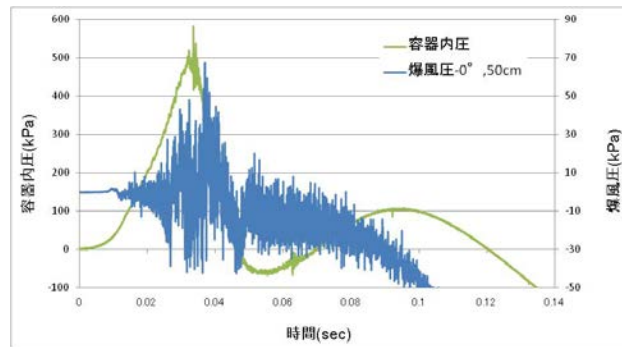
#### カ. 水素容器クズ化処理工程の開発

##### a) 廃棄水素容器の水置換工程の開発

FCV用水素容器に対するくず化要領書の作成・整備及び車の解体手順書の作成に向け、安全かつ合理的な容器内の水素脱ガス手法を確立する必要がある。本試験では、容器のくず化処理中において、容器くず化作業中に容器の口金を外す際、容器内に残存していた大気圧の水素ガスに何らかの原因で着火した場合の周囲に与える影響を評価した。その結果、直接、人体へ影響を与える範囲は開口部の限定的な範囲であったが、作業する際には注意を払う必要があることがわかった。



容器内の残留水素に引火した際の挙動



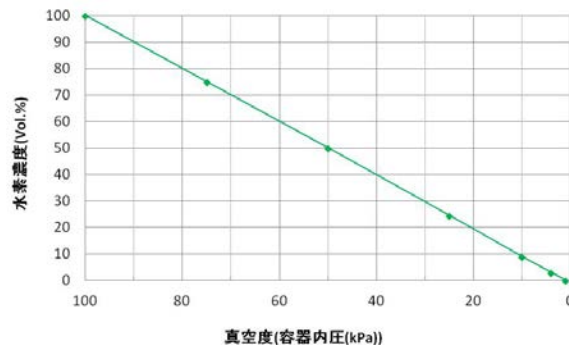
容器内の水素に引火した際の圧力グラフ

b) 廃棄水素容器の真空引き手法の検討

CNG 容器のくず化要領書には、容器内を真空引きし、容器内のガスを除去することが記載されている。水素容器のくず化要領書にも CNG 容器のくず化容器と同じ作業工程を検討されている。本研究では、どの程度真空引きすれば容器内の水素ガスが内の水素ガスを安全域にまで除去できるかを把握するため、容器内の水素濃度と真空度の関係を調査した。その結果、容器の真空度が 4kPa(abs)まで真空引きを実施すれば、容器内の水素濃度は 4%以下となり、水素の可燃範囲以下になることを実証した。



容器くず化業者での真空引き実証試験



真空度と水素濃度の関係

キ. 水素トレーラの事故後処理

平成 26 年 10 月、CFRP 複合容器を搭載した水素輸送トレーラが火災になったため、そのトレーラを用い、事故後に生じる問題点の抽出、および本事業で開発した事故後処理手法を検証した。その結果、事故後処理においては、容器内に水素ガスが残されているかを確認する必要があるが、安全弁の作動の判定は、外観観察では判断できないこと、また、配管内の脱圧は接合部の緩みによる方法しかないことなどの問題点があることが分かった。また、安全弁のベント管内を水素濃度計により残留水素ガス濃度で調べると、鎮火約 1 ヶ月を経過しても 3.5%以上の水素ガスが残されており、安全に廃棄処分を行なうには、容器内のガスを窒素ガスなどで置換する必要があることが分かった。また、焼損した容器の残存強度を調べると、出火源から近く焼損程度が高い容器では 11.6~16MPa であった。一方、出火源から離れ、かつ車両側面の放水しやすい箇所にあった焼損程度の低い容器の残存強度は 124.4MPa であり、トレーラに積載されている容器の残存強度は焼損程度に影響していることが分かった。





焼損容器の残存強度確認試験

### (3) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

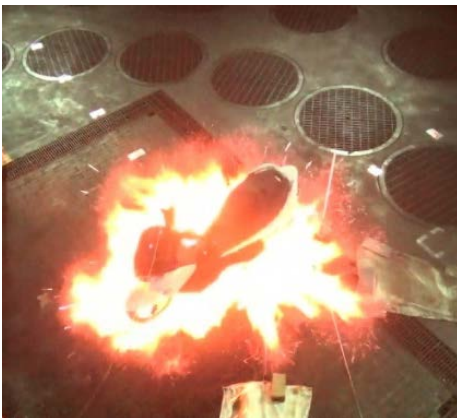
#### ア. 安全弁作動時の安全性

##### <目的>

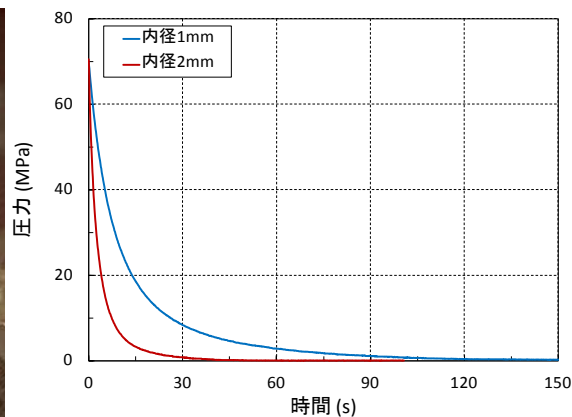
FC2 輪車用の道路運送車両の保安基準において、4 輪車と比較して重量の軽い FC2 輪車が安全弁作動時の推力によって車両が移動する危険性が懸念された。本研究では、FC2 輪模擬車両から安全弁が作動した場合(放出径  $\phi 1, 2\text{mm}$ )の車両の移動の有無や推力を測定した。

##### <結果>

その結果、転倒時、直立時における二輪車の挙動を確認したが、二輪車が動くことはなく、二輪車が動かないように、PRD から安全に水素を放出することが十分に可能であることが分かった。これらのデータは、FC2 輪車の道路運送車両の保安基準に資するデータ等へ活用される。



着火時の様子 (車両直立、上面視)



圧力の経時変化

## 3. 2 成果の意義

### (1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

国際商品である FCV の普及拡大には、水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 HFCV-GTR などの国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠であ

る。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献し、HFCV-GTR の円滑な国内導入を図ることができる。そのためには、HFCV-GTR Phase2 の審議を日本がリーダーシップを発揮しながら活動する必要がある、本課題の成果は、この活動のために寄与され、国際標準化に貢献する。

#### (2) FCVの国際標準化

FCVの安全に関わる標準化および世界統一技術基準HFCV-GTRの審議を、日本がリーダーシップを発揮しながら活動するためには、審議に合わせた関連データを迅速に入手する必要がある。また、事故後処理についても、米国にて、FCVの事故処理に係わる基準・標準化 (SAE J2990-1) が活動しており、これらの活動が国際標準化活動へ波及する可能性がある。本事業では、FCVの国際標準化活動を円滑に推進させるために、安全標準化WGを組織し、一般社団法人日本自動車工業会などの関連業界と連携しながら、国際標準化活動を行っている。この活動を継続することにより、審議に合わせたデータの要求・入手が可能となり、日本がリーダーシップを発揮してFCV安全標準化に係る国際会議を進行することができ、FCVの安全基準の国際標準化・国内基準に貢献する。

#### (3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

事故後処理に関わるデータを得ることで、FCVの事故後処理の標準化活動に対応可能であり、かつ警防活動時等における安全管理マニュアルなどにも反映し、事故後の二次災害の発生を抑制・防止できる。また、安全かつ合理的な容器くず化工程に関わるデータを得ることにより、水素容器くず化マニュアル等の手順書に反映され、そのマニュアルを元にこれらの作業に携わる人材が育成し、FCVの安全かつ合理的な廃車処理が実用化される。

#### (4) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

FC2 輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することで、FC2 輪車に関わる道路保安法および高圧ガス保安法の策定に活用され、これによりが発効され、国内でのFC2 輪車の普及拡大が可能となるとともに、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定めることができる。

### 3. 3 成果の達成可能性

#### (1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

#### (2) FCVの国際標準化

HFCV-GTR Phase2 で議論される試験方法を開発し、当初計画通りの成果を挙げるとともに、これら試験法を行う上での技術も習得した。また、国内基準、国連基準、国際標準との整合を図った活動も確実に進捗しており、今後も、引き続き、日本自動車工業会と連携することで、最終目標の達成は可能である。

#### (3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

自動車業界や容器くず化業界と連携しながら、事故後処理手法や容器くず化に関わる研究を継続的に取り組むことにより、ニーズに合ったデータ取りを確実に得ることが可能となり、かつ最終目標の達成は可能である。

#### (4) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

残された課題はひとつ(水素濃度引火試験)であり、この試験は4 輪車でも実績のあることから、平成 27 年度内に目標達成がされる。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

#### 4. 1 FCV の国内規制・国際基準調和に資するデータ取得

HFCV-GTR Phase2 の審議に必要な車載用容器の局所火炎暴露試験の誤差範囲の影響および風などの外乱影響を受けずに、衝突試験後の車室内の水素濃度を規定する方法を開発し、当初計画どおりの成果を挙げた。今後も、今後も日本自動車工業会と連携しながら、HFCV-gtr Phase2 の審議の進捗に合わせた追加データに対し、迅速な対応を行い、国際標準化への日本の意向を反映できるよう準備を進めていく。

#### 4. 2 FCV の国際標準化

本事業で得られたデータを活用し、HFCV-gtr Phase2 の議論へ迅速に反映させるためには、一般社団法人日本自動車工業会などと連携した標準化活動が必要であり、本開発項目を継続させることにより、本事業の目的のひとつである国際標準化への日本の意向を反映させることが可能となるとともに、HFCV-gtr Phase2 の国内導入の推進も可能となる。また、米国でのバッテリー電気自動車の事故処理に係わる基準・標準化 (SAE J2990-1) が活動しており、水素燃料電池自動車に対して波及する可能性があることから、これらの動向を注視し、GTR 策定および見直しに資するデータ取得を進める。

#### 4. 3 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

事故後処理手法の一部を開発、および容器単体での FCV 用容器のくず化工程に資するデータを取得しており、事故後処理や FCV 用水素容器クズ化マニュアルへ反映させるための成果を得た。今後も引き続き、事業を継続することにより、自動車業界や容器くず化業界と連携しながら、事故後処理手法や容器くず化 (特に、容器を取り外さずに廃車するための作業マニュアル化) に関わる研究を継続的に取り組む。また、安全な FCV の交通事故や火災後の処理の実用化を行うためには、事故後処理に関わるマニュアル化と、それに携わる人材育成も不可欠であり、水素安全教育や教材を含めた展開ができるように、準備を進めていく。また、低コストで合理的な FCV の廃車処理を行うためには、容器を取り外さずに廃車する行う方法も検討する必要がある、これらのデータの構築を進めていく。

#### 4. 4 FC2 輪車の安全に関するデータ取得

FC2 輪車の道路運送車両の保安基準に資するデータの一部を計画通りに取得しており、今後も二輪車業界と連携しながら本事業を継続することにより、最終目標を確実に実施することが可能となる。

## 5. 研究発表・特許等

### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 25 年 4 月	2013 SAE World Congress	Validity of Low Ventilation for Accident Processing with Hydrogen Leakage from Hydrogen-fuelled Vehicle	田村陽介
2	平成 25 年 5 月	JARI Research Journal 2013 年 7 月	水素の漏洩音による水素漏洩車両への安全な接近方法の検討	前田清隆
3	平成 25 年 5 月	JARI Research Journal 2013 年 7 月	衝突試験後の車室内水素濃度測定法に関する妥当性	田村陽介
4	平成 25 年 6 月	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2013)	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	田村陽介
5	平成 25 年 6 月	The Fifth World Hydrogen Technologie Convention(WHTC 2013)	Evaluation of Test Procedures for the Post-crash Concentration Measurement of Vehicles with a Hydrogen Storage System	田村陽介
6	平成 25 年 6 月	International Journal of Hydrogen Energy	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	田村陽介
7	平成 26 年 4 月	SAE 2014 World Congress	Validity Evaluation of Localized Fire Test for a Specific Vehicle Installation	田村陽介
8	平成 26 年 5 月	International Journal of Hydrogen Energy	Effectiveness of a Blower in reducing the hazard of hydrogen leaking from a hydrogen-fuelled vehicle	田村陽介
9	平成 26 年 5 月	日本火災学会研究発表会	水素漏洩を伴う水素燃料自動車への送風による有効性	田村陽介
10	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	火災を想定した CFRP 容器の機能限界温度に関する研究	田村陽介
11	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	水素漏洩音による水素漏洩車両への安全な接近方法の検討 (第 2 報) - 74dB 程度の交通騒音環境下での認知可能な水素流量とその安全性 -	前田清隆
12	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	圧縮水素容器のくず化処理工程の合理化に関する研究 -真空引き工程の省略化の検討-	山崎浩嗣
13	平成 26 年 6 月	World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014)	Evaluation of Test Procedures for the Post-crash Concentration Measurement of Vehicles with a hydrogen Storage System	田村陽介



No.	年月	発表先	題目	発表者
14	平成 26 年 6 月	World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014)	A Study of Rational Scrapping Methods for Automotive Compressed Hydrogen Cylinders	山崎浩嗣
15	平成 26 年 9 月	SAE International Journal of Passenger Car	Validity Evaluation of Localized Fire Test for a Specific Vehicle Installation	田村陽介
16	平成 26 年 10 月	3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014	Thermotolerance of Automotive CFRP Cylinders in Case of Fire and Their Handling Method After Fire	田村陽介
17	平成 26 年 10 月	3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014	A Rational Scrapping Method for Automotive Compressed Hydrogen Cylinder	山崎浩嗣
18	平成 27 年 5 月	自動車技術会 2015 年春 季大会	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音 の特性 (第 1 報)	前田清隆
19	平成 27 年 6 月	24th ESV 2015	Evaluation of the Test Procedure for Post-Crash Hydrogen Concentration Measurement	田村陽介
20	平成 27 年 8 月	JARI Research Journal 2015 年 8 月	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音 の特性 (第 2 報)	前田清隆
21	平成 27 年 8 月	JARI Research Journal 2015 年 8 月	床からの輻射熱による安全弁の作動に関わる 一考察	田村陽介
22	平成 27 年 10 月	自動車技術会 2015 年秋 季大会	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音 の特性 (第 2 報)	前田清隆
23	平成 27 年 10 月	自動車技術会 2015 年秋 季大会	床からの輻射熱による安全弁の作動に関わる 一考察	田村陽介
24	平成 27 年 10 月	International Conference on Hydrogen Safety	CHARACTERISTICS OF HYDROGEN LEAKAGE SOUND FROM A FUEL-CELL VEHICLE BY HEARING	前田清隆
25	平成 27 年 10 月	International Conference on Hydrogen Safety	THE POSSIBILITY OF AN ACCIDENTAL SCENARIO FOR MARINE TRANSPORTATION OF FUEL CELL VEHICLE-HYDROGEN RELEASES FROM TPRD BY RADIANT HEAT FROM LOWER DECK-	田村陽介
26	平成 27 年 10 月	World Hydrogen Technologies Convention	STUDY OF A POST-FIRE VERIFICATION METHOD FOR THE ACTIVATION STATUS OF HYDROGEN CYLINDER PRESSURE RELIEF DEVICES	山崎浩嗣

—特許等—

なし

## Ⅱ-①- (1) 「水素利用研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発／アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

共同研究：サムテック(株) J X日鉱日石エネルギー(株)

### ●成果ガリ(実施期間：平成25年度～平成27年度)

常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下の300LDRY法蓄圧器の仕様を検討した。本事業において最適な設計を検討し、また新樹脂を開発し、汎用CFを適用したTPPを開発した。その結果、平成27年度中に製造コストを2万円/L以下かつサイクル使用回数5万回以上の目標達成の目処を得た。また、最終目標である、製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成するに当たり、量産化、KHK TD5202技術文書改定に伴い、目標達成の見通しを得た。

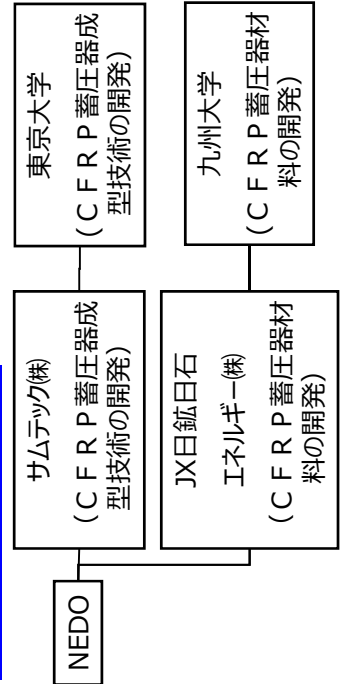
### ●背景/研究内容・目的

METIの協議会ロードマップで、2020年までに水素ステーション建設コストを現状の半減とすることが目標とされている。現状、水素ステーションの建設コスト高であるため、各設備の低コスト化が課題となる。本事業では、水素ステーションの建設コストに占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指す。

### ●研究目標

実施項目	目標
CFRP蓄圧器成型技術の開発	中間目標：常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下で、平成27年度までの製造コストを2万円/L(内容量比)以下、サイクル使用回数5万回以上 最終目標：製造コスト1.5万円/L以下、サイクル使用回数10万回以上
CFRP蓄圧器材料の開発	情報交換(複合容器基準化事業、検査開発事業) 使用済み蓄圧器評価の実施

### ●実施体制及び分担等



### ●これまでの実施内容/研究成果

- 前事業にて開発を行ったDRY法200L蓄圧器の設計に対して、L/Dを大きくすることで、ライナー内径を小さくすることで、周方向の応力を小さくすることができ、破裂圧をアップした。
- 300L容器設計シミュレーション解析の結果から、ライナーの厚さを厚くするほど、CF重量を低減できることが分かった。CFRP低減のため、ライナーを厚くする容器設計方針を得た。
- 任意傷を付けたアルミ試験片の疲労試験の結果から、「傷深さ100μm以上の傷を研磨すること」を押し出し品質管理基準の指標とした。また、許容深さ以上の傷に対して適正な面粗度を保つための研磨技術と方法について確立した。
- 圧力サイクル試験時の圧力媒体を検討した。従来の圧力媒体よりも、アルミ試験片において疲労試験回数が2～6倍向上した。圧力媒体の変更で、サイクル使用回数5万回達成の見通しを得た。
- 外部加熱FW検討で、制御温度を最適化することで強度向上する可能性が示された。DRY法蓄圧器に加熱FW法を適用することで、巻きながら硬化できることにより、製造時間短縮の見通しが立った。
- 新TPP-Cを開発し、破裂試験を実施した結果、7.5L容器で従来比約1.1倍、80L容器で約1.25倍破裂圧力が向上した。この成果により、強度発現率向上によるDRY法蓄圧器コストダウンが可能となる。
- 汎用CF-TPPの7.5L容器破裂試験で、強度発現率が基準値を超え、採用可能性を確認できた。DRY法蓄圧器の汎用CF適用により、製造コスト2.0万円/L以下の目的が立った。
- 使用済みDRY法200L法蓄圧器の破裂試験結果から、使用後蓄圧器の健全性を確認できた。

### ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
CFRP蓄圧器成型技術の開発	汎用CFの適用とサイクル試験圧力媒体の変更により、中間目標である製造コスト2万円/L以下、サイクル使用回数5万回以上が達成できる見通しとなった。また、量産化、KHK TD5202技術文書改定に伴い、最終目標である製造コストを1.5万円/L以下、サイクル使用回数10万回以上達成の目的が立った。	○
CFRP蓄圧器材料の開発	情報交換(複合容器基準化事業、検査開発事業)を実施した。使用後蓄圧器の破裂試験において使用済み蓄圧器の健全性を確認した。	△ (H27年度使用後蓄圧器サイクル試験完了)

### ●今後の課題

DRY法蓄圧器のFW時間短縮、ライナー製造時間短縮による課題を抽出し、安定的な量産化技術確立の検討を、今後も継続的に取り組む。

### ●美用化・事業化の見通し

2020年度以降のST普及拡大期に見込まれる蓄圧器受注が増加し、蓄圧器製造本数が一定量以上の生産量において、DRY法蓄圧器を実用化する。

特許出願	論文発表	外部発表
2	2	17

## 課題番号：Ⅱ－①－(1)

### 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

委託先名 サムテック株式会社  
J X日鉱日石エネルギー株式会社

#### 1. 研究開発概要

アルミニウム合金製（AL）ライナーを用いた炭素繊維強化プラスチック（CFRP）容器において、アルミライナーの内面処理や新規アルミライナー材の適用により、使用回数の長寿命化を図る。また、あらかじめ樹脂を炭素繊維（CF）に含浸させたトウプリプレグ（TPP）を用いた加熱フィラメントワインディング（FW）法の技術を量産化に適用し、コスト削減を図るとともに、革新的な新設計により更なるコスト削減を目指す。

#### 2. 研究開発目標

中間目標としては、常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下で、平成27年度までの製造コストを2万円/L（内容量比）以下、サイクル使用回数5万回以上を達成する。最終目標は、平成29年度まで製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成する。

#### 3. 研究開発成果

##### 3. 1 研究開発成果、達成度

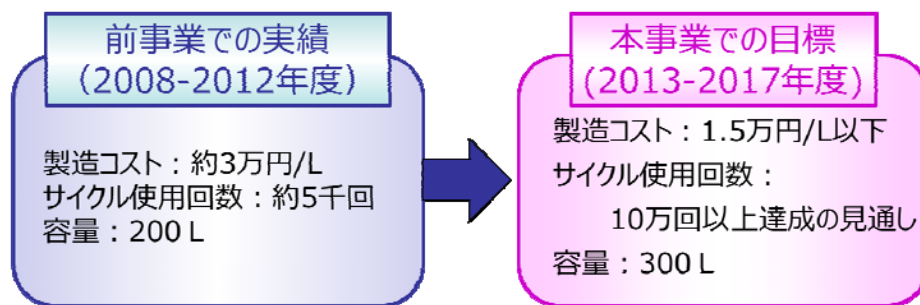


図1 前事業での実績と本事業の目標

前事業での実績と本事業の目標を図1に示す。3万円/L→1.5万円/L以下への製造コスト削減は、スケールアップによるリッター単価の低減と汎用CF・樹脂適用による材料費コスト削減、量産効果によるコストダウンにより達成の目途が立った。

5千→10万回以上のサイクル使用回数向上は、設計最適化、圧力媒体変更によるサイクル性能向上とKHK TD5202 技術文書改定により、達成の目途が立った。

大型容器基本設計完了までのステップを表1に示す。前事業ではTPP-A樹脂により、蓄圧器を製造したが、本事業ではTPP-C樹脂を開発し、蓄圧器へ適用した。現状は、7.5L容器によりTPP-C樹脂を使用して汎用CFの検討を実施しており、性能確認、大型容器への適用の目途が立った。今後、80L、300Lへスケールアップして、設計最適化、サイクル媒体

検討を進め、中間目標の製造コスト2.0万円/L、サイクル使用回数5万回以上を達成見込みである。

更に、FW速度向上、トウ数増加による製造コスト削減と、KHK TD5202技術文書改定に伴うサイクル使用回数増加により、最終目標の製造コスト1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成見込みである。

表1 大型容器基本設計完了までのステップ

容器	CFRP	樹脂	サイクル使用回数	製造コスト (見通し)	検討項目
200L (前事業)	T800	TPP-A	5千回以上	3.0万円/L	-
7.5L		TPP-C	-	-	樹脂検討
80L			2万回以上	-	-
7.5L			-	-	CF検討
80L	汎用CF	TPP-C	5万回以上	-	設計最適化 サイクル媒体検討
300L				2.0万円/L	
80L	汎用CF	TPP-C	10万回以上	1.5万円/L	1.製造コスト削減 量産化 └ FW速度 トウ数 2.サイクル使用回数増加 KHK TD5202技術文書改定に伴い“10万回以上”達成見込み
300L					

下記に、成果の詳細を報告する。

(1) 水素ステーション向け300L蓄圧器設計確認

前事業（低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発）において、「水素供給インフラの技術実証」事業に提供する70MPa充填対応複合蓄圧器（仕様：内容量200L、常用最高圧力：90MPa、長さ：2805mm、外径：488mm 重量：484kg）の開発と詳細基準事前評価（特認）を取得した。

本事業では更にコストダウンを行うべく内容量をアップした300L容器開発を行った。シミュレーションによりアルミライナーとCFRP厚さの最適化を行い（東京大学）、前事業にて開発を行った200L蓄圧器の設計に対して、L/Dを大きくすることにより内容量をアップさせた。また、ライナー壁厚/ライナー内径を大きい設計とした。ライナー内径を小さくすることで、周方向の応力を小さくすることができ、破裂圧をアップした。

200L：ライナー壁厚／ライナー内径＝1 (BASE)、  
 300L：ライナー壁厚／ライナー内径＝1.13 (比率)、

$L/D=5.7$   
 $L/D=11.4$

【設計条件】

アルミ材：6061-T6、

CF：PAN（ポリアクリロニトリル）系炭素繊維、樹脂：エポキシ樹脂

(2)新容器設計開発

アルミライナーとCFRP厚さの最適化をし、コスト削減をはかるため、シミュレーションによりCFRP容器設計を検討した。解析内容は、アルミ合金ライナー、フープ巻きCFRP層、ヘリカル巻きCFRP層の3層構成円筒について、無限FRP円筒モデルを作成し、ライナー厚さを変化させたときに、コスト配分の大きいCFRP重量が最小となる条件を検討した（図2、3）。解析の結果から、ライナーの厚さを厚くするほど、CF重量を低減できることが分かった。これにより、CFRP低減のため、ライナーを厚くする容器設計方針を得た。

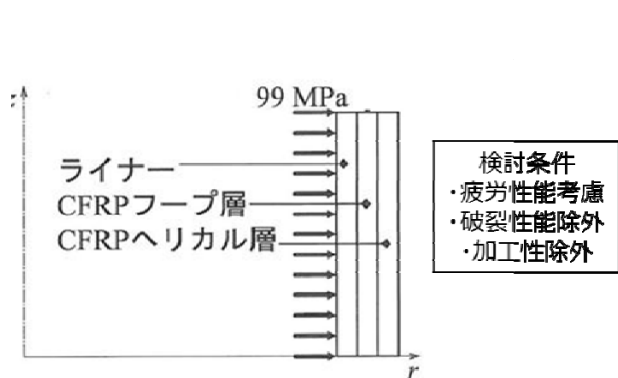


図2 無限FRP円筒モデル

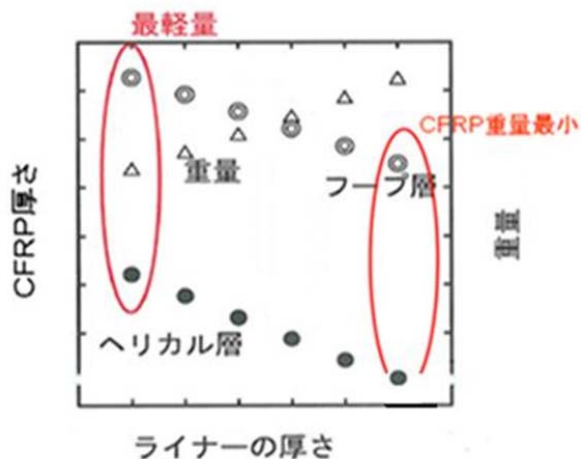


図3 シミュレーション解析結果

(3) アルミライナーの内面処理技術開発

①傷の影響確認

任意傷を加えた試験片での疲労試験を行い、傷の疲労強度へ与える影響を検討した。表2に示すように、深さ120μm以下の試験片は傷以外から破壊した。現状レベルのサイクル性能の容器において、傷深さ120μm以下の傷は疲労特性を低下させないことを確認した。この結果から、「傷深さ100μm以上の傷を研磨すること」を押し出し管品質管理基準の指標とした。

表2 疲労試験における傷深さと破壊場所

	長さ(mm)	深さ(μm)	破断箇所
傷有り①	約2mmに 統一	120	傷以外
傷有り②		170	傷
傷有り③		260	傷

## ② 研磨法検討

許容深さ以上の傷に対して適正な面粗度を保つための研磨技術と方法について確立した。

チューブ内面の手の届かない部分の表面手直し研磨技術として、傷の発生場所確認のためのWebカメラと、傷部分の手直し用ローラー研磨材との組合せにより、遠隔にて修正可能な研磨技術を確立した。(図4)



図4 チューブ内面手直し装置

## (4) 雰囲気溶液による疲労試験回数への影響確認

疲労試験の際、各雰囲気溶液によりアルミライナーの疲労寿命や傷の進展状態が異なる結果が得られており、雰囲気溶液によるアルミライナー材腐食が生じ、腐食のない水素ガス環境下での実性能を正しく評価できていない可能性があるかと推測できる。

そこで、適切な圧力媒体選定に向け、圧力サイクル試験時の圧力媒体による疲労試験回数への影響を確認した。試験条件は、最大応力：255MPa、最小応力：25MPa、周波数：0.1Hz、応力比：0.1である。アルミ試験片の応力集中部は、幅4mm、厚さ1mmとした(図5)。疲労試験の結果、表3に示すように、従来の①と比較して、②③④は疲労試験回数が向上することを確認した。②の圧力媒体への変更で、サイクル使用回数5万回達成の見通しを得た。



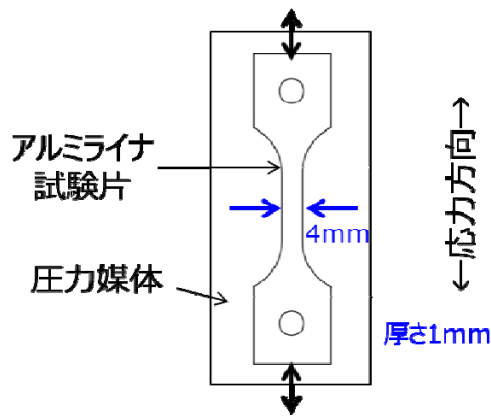


図5 アルミライナ試験片

表3 圧力媒体と疲労試験回数比

番号	圧力媒体	疲労試験回数
①	溶液 A	7 万回
②	溶液 B	15 万回
③	溶液 C	42 万回
④	溶液 D	27 万回

## (5) 加熱FW法の開発

### ①外部加熱法の開発

前事業（低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発）において、FW時に容器内部を加熱することで、室温でのFWに比べて破裂強度が向上することを小型容器での試作評価で確認している。本事業では、大型、量産化に適したFW手法として、外部から加熱するFW手法、あるいは繊維を加熱するFW手法を検討する。

今年度は、ヒータ（図6）照射前、照射後、ヒータ反対側の表面温度を放射温度計で測定できるように取り付けジグの製作を行った。ヒータ及び放射温度計の配置図を図7に示す。小型容器を試作し（図8）、破裂強度を比較した。



図6 外部加熱曲線ヒータ



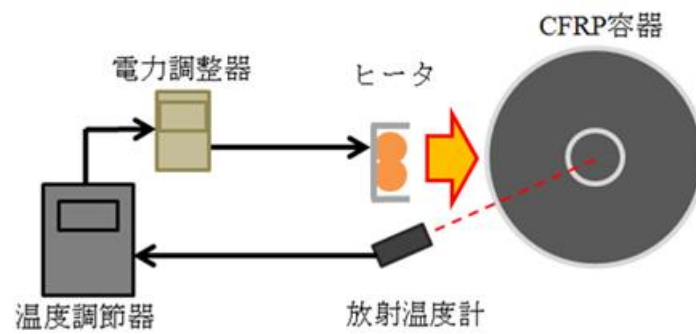


図7 外部加熱FWでの温度制御模式図

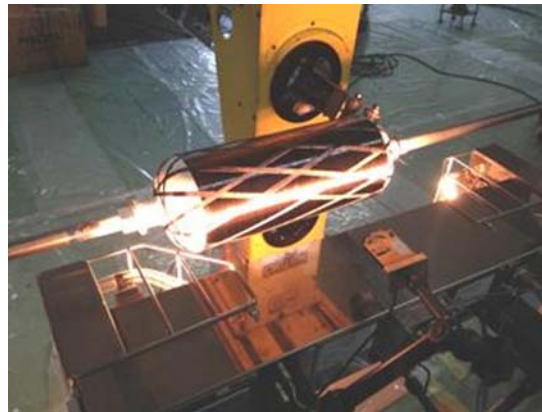


図8 加熱FWによる容器作製

CFRP厚さを厚くし、外部加熱温度を75~115℃とし、7.5L厚巻容器の破裂強度を比較した。試験に使用した容器は、7.5L容器、CF：高グレード品、樹脂：TPP-A（従来品）の条件で作製した。その結果、低温側で強度上昇が見られ外部加熱で室温WETとほぼ同等の破裂強度となった（図9）。制御温度を最適化することで強度向上する可能性が示された。加熱FW法を適用することで、巻きながら硬化できることにより、製造時間短縮の見通しが立った。

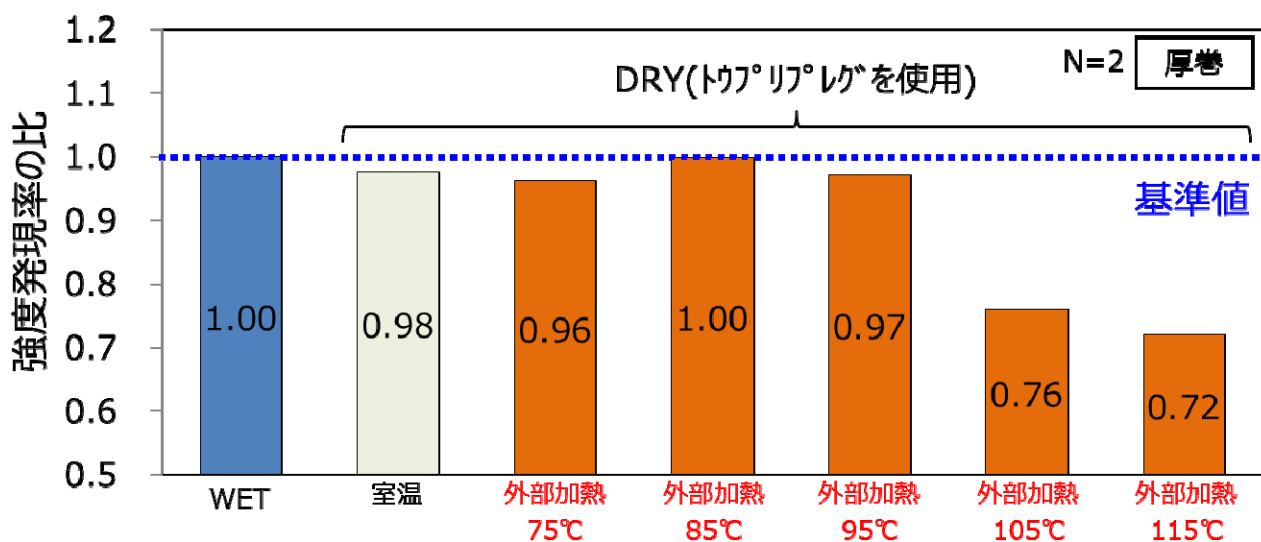


図9 加熱温度による破裂強度比較 (7.5L)

#### (6) TPPの開発

従来TPPを使用しTPPに適切な設計を検討した。その結果、約4%の強度向上が得られた。また、TPP用樹脂を開発し、新TPP-Cで7.5L容器を試作し(図10)、破裂強度を比較した(図11)。新TPP-Cで従来品のTPP-Aの約1.1倍の破裂強度が得られた。



図10 新TPP-C 7.5L容器 破裂試験後



図11 新TPP-C 7.5L容器 破裂試験後

TPP-Cの大型容器適用検討のため、サブスケール容器（80L）にて容器試作、強度評価を行った（図12）。新TPP-CでTPPに適した設計変更したものにおいて従来TPPに比べ約1.25倍の破裂強度が得られた。

これらの研究開発成果により、強度発現率向上による蓄圧器コストダウンが可能となる。

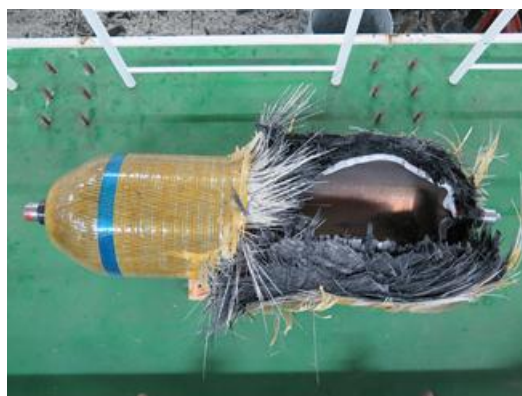


図12 新TPP-C 80L容器 破裂試験後

### （7）汎用CF-TPPの検討

これまで高コストな高グレード品を使用していたが、製造コストの材料費削減のため、低コストの汎用CF-TPPの検討を実施した。汎用CF-TPPにて、7.5L厚巻容器の破裂強度を比較した。試験に使用した容器は、7.5L容器、樹脂：TPP-Cである。汎用CF-A、汎用CF-B、汎用CF-Cを比較した結果、汎用CF-Cにて強度発現率の比が約0.87となり、採用可能性を確認できた（図13）。汎用CFの採用によるコストダウンの可能性が示された。

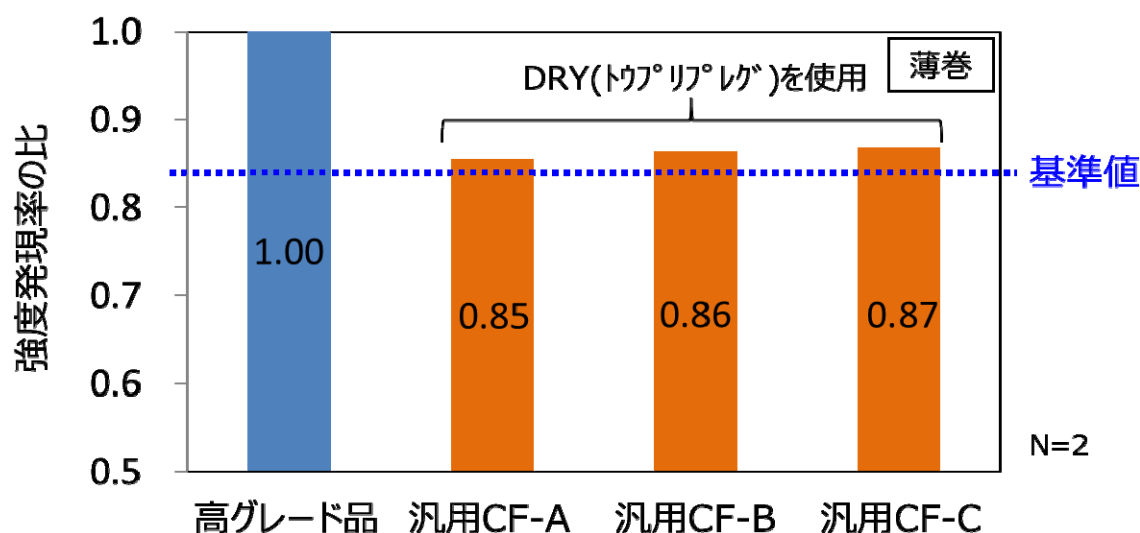


図13 汎用CF-TPPの破裂試験結果（7.5L容器）

蓄圧器製造コスト目標の達成状況を図14に示す。3.0万円/L→2.0万円/Lのコスト削減目標では、スケールアップによるリッター単価低減と、汎用CF適用による材料費コスト削減により、目標達成できる。2.0万円/L→1.5万円/Lのコスト削減目標では、量産効果により、目標達成の目途を得た。

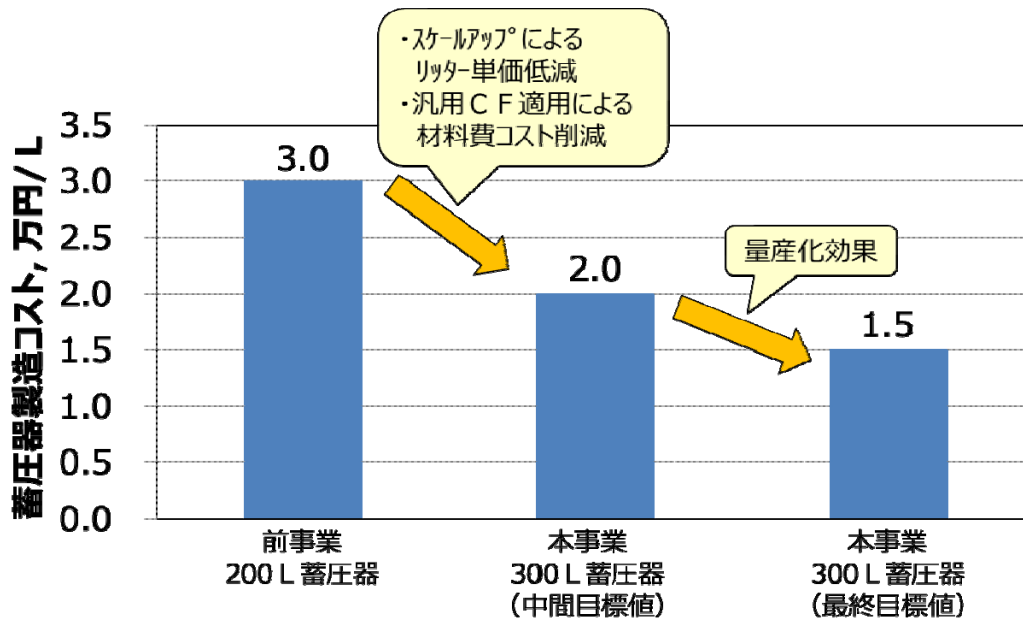


図14 蓄圧器製造コスト目標の達成状況

#### (8) 使用済み蓄圧器の評価

2012年度に水素ステーションへ納めた、使用済みのDRY法200L蓄圧器の破裂試験を実施した。その結果、使用済み蓄圧器は、使用前より大幅な破裂圧力の低下は見られず、設計破裂圧力215MPa以上の破裂圧力であった。この結果から、使用后蓄圧器の健全性を確認した。

サイクル試験は平成27年度9月初旬に実施予定である。このサイクル試験において、他事業の千代田化工建設のAE計測に協力している。

CFRP評価（耐熱性試験）、サイクル試験後の破面観察は、平成27年度中に実施予定である。これらの研究開発の成果は、蓄圧器製造、認可、検査の規制見直しのデータとして活用する。

表3 破裂試験結果

ロットNo.	破裂圧力, MPa
未使用品	220~260
1210619	240
1210621	216

表4 サイクル試験実施計画

ロットNo.	サイクル試験回数	圧力媒体
未使用品	23,000~26,000	①溶液A
1210626	9月初旬に順次実施予定	①溶液A
1210622		①'溶液A'
1210623		②'溶液B'
1210624		④溶液D
1210625		追加試験用

#### (9) 水素ステーション用複合容器の基準化事業との連携

他事業「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」から情報を収集し、水素ステーションでの使用認定取得を推進した。

### (10) 複合容器の検査手法に関する事業との連携

他事業「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」で千代田化工建設と情報交換、AE計測の協力を行っている。

### 3.2 成果の意義

プロジェクト（事業）全体として、目標常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下の300L容器の仕様を検討した。本事業において最適な設計を検討し、また新樹脂を開発し、汎用CFを適用したTPPを開発した。その結果、平成27年度中に製造コストを2万円/L以下かつサイクル使用回数5万回以上の目標達成の目処を得た。

この成果により、水素ステーションコスト低減が見込まれ、水素インフラ普及への貢献が期待できる。また、使用サイクル回数向上により、蓄圧器交換工事の頻度を低減でき、水素ステーション運営コストを低減できる。

### 3.3 成果の最終目標の達成可能性

最終目標は、製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成することである。製造コスト1.5万円/Lの目標達成においては、蓄圧器受注が増え、一定数以上の量産となった場合、製造コスト最終目標を達成できる見通しを得ている。

サイクル使用回数10万回以上の目標達成においては、KHK TD5202技術文書改定に伴い、サイクル使用回数最終目標を達成可能である見通しを得ている。

基準、検査に関する他事業との連携における使用蓄圧器評価の実施は、平成27年度に前倒しで実施中である。今年度実施終了により最終目標達成できる。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本NEDO事業の研究開発の成果より、中間目標である、常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下で、平成27年度までの製造コストを2万円/L（内容量比）以下、サイクル使用回数5万回以上を達成の目処を得た。

最終目標である、製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成するにあたり、量産化、KHK TD5202技術文書改定に伴い、目標達成の見通しを得た。

DRY法蓄圧器の実用化は、一定量以上の受注が増え、量産となった場合、コストメリットが出て実用化が可能となる。

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方を図15に示す。プロジェクト後、DRY法のメリットである製造スピード向上を実現するため、FW時間短縮、ライナ製造時間短縮による課題を抽出し、安定的な量産化技術確立の検討を、今後も継続的に取り組む。

また、更なるコストダウン、性能向上に向けて、NEDO事業で得られた成果、技術を基盤に継続的に検討を実施する。

これらの検討を実施し、実蓄圧器へ適用することで、コスト競争力のある蓄圧器の実用化・事業化の継続が期待できる。

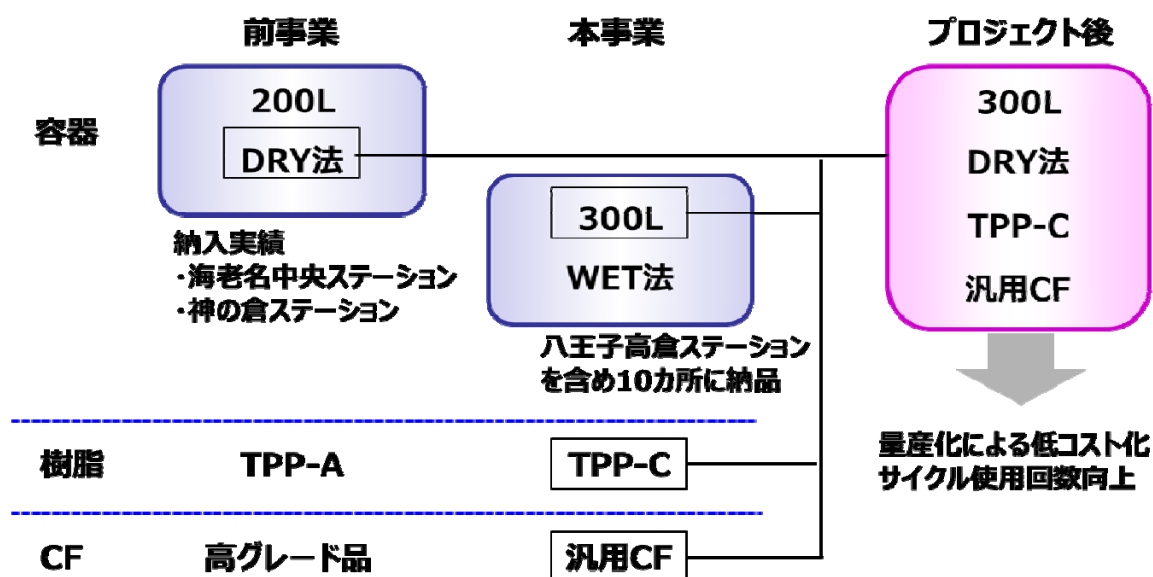


図 1 5 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

## 5. 研究発表・特許等

\* SAM：サムテック、JX：J X 日鉱日石エネルギー、九大：九州大学

### (1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）、論文

(発表・講演・投稿リスト)

NO.	年月	発表先	題目	発表・投稿者
1	2013/6/8	第2回JACI/GSCシンポジウム	水素ステーション用CFRP蓄圧器の開発	JX；蓑田 愛
2	2013/6/20	ENEOS Technical Review 第55巻2号； p. 25	高圧水素用CFRP容器の開発	JX；蓑田 愛
3	2013/5/28	燃料電池開発情報センター主催「第20回燃料電池シンポジウム」	低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発	JX；蓑田 愛
4	2013/8/29	福岡水素エネルギー人材育成センター「第6回 高度人材育成コース」	複合容器の現状と今後の展開	SAM；東條 千太
5	2013/9/20	2013年度日本塑性加工学会 東関東支部 第39回技術懇談会	金属ライナー高圧ガス容器の製造と課題	SAM；東條 千太
6	2013/12/15	2013年度 公益社団法人精密工学会九州支部 宮崎地方講演会	多給糸FW法によるCFRP容器開発に関する研究	九大；過能 健太
7	2013/12/15	2013年度 公益社団法人精密工学会九州支部 宮崎地方講演会	CFRP容器製造のための繊維加熱装置開発に関する研究	九大；與島 健司
8	2014/2/14	第27回複合材料セミナー	高圧水素用大型複合蓄圧器の開発	JX；岡崎順二

NO.	年月	発表先	題目	発表・投稿者
9	2014/2/26	FC EXPO 2014 専門技術セミナー	水素ステーション用複合蓄圧器の開 発状況	SAM; 東條 千太
10	2014/2/28	State-of-the-art Fuel Cell and Hydrogen Technology in Japan	Developing Low-Cost, Large-Scale Accumulators for 70 MPa Hydrogen Gas Supply	JX; 蓑田 愛
11	2014/3/4	2013年度日本機械学会九州支部 学生会	曲線ヒータを用いた同時加熱FW法に よるCFRP容器の開発	九大; 坂口 翔一
12	2014/3/13	日本機械学会 九州支部 第67期 総会・講演会	多給糸FW法における層構成がCFRP容 器強度に及ぼす影響	九大; 過能 健太
13	2014/3/13	日本機械学会 九州支部 第67期 総会・講演会	繊維加熱FW法がCFRP容器強度に及ぼ す影響	九大; 與島 健司
14	2014/3/20	株式会社情報機構書籍「次世代 自動車技術とシェア革命」	水素貯蔵技術の最新開発事例	SAM; 東條 千太
15	2014/12/16	福岡水素エネルギー戦略会議/ 高圧水素貯蔵・輸送研究分科会	定置及び配送用圧縮水素タンクの現 状と展開	JX; 蓑田 愛
16	2015/2/17	神戸商工会議所 「水素エネルギーとFCV（燃 料電池）の可能性」	水素ビジネス、わが社の取り組み事 例	サムテック; 東條 千太
17	2015/3/5	大阪工研協会 「第95回ニューフロンティア材 料部会例会」	水素ステーション用複合蓄圧器	サムテック; 東條 千太
18	2015/3/11	大阪府産業支援型NPO協議会「第 11回水素・燃料電池開発支援セ ミナー」	水素ステーション用複合蓄圧器の開 発	サムテック; 東條 千太
19	2015/3/17	精密工学会 2015年度春季大会	TPPを用いた多給糸FW法によるCFRP 容器の開発	九大; 田淵

## (2) 特許等

(出願済特許等リスト)

NO.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2013/12/12	特願2013-257133	複合容器の製造システム、及び複合 容器の製造方法	九州大学 JX日鉱日石エネルギー サムテック
2	2015/3/	特願2015-55607	複合容器の圧力サイクル試験方法	JX日鉱日石エネルギー

契約管理番号 : 13400648-0



**(Ⅱ-①-(2)) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」**  
**スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発**  
 共同研究：事業者名 JFEスチール (株) ,JFEコンテイナー (株)

- 成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成27年度終了予定)
  - ・蓄圧器用スチールライナーの熱処理条件確定およびライナー素材の高圧水素環境下材料特性採取。高圧水素環境下材料特性の推定可能な陰極チャージ法を開発。
  - ・小型複合容器蓄圧器の圧力-サイクル数線図データを採取し、寿命30万回以上を確認。
  - ・過流探傷試験による内面傷検査方法を確立。

●背景/研究内容・目的

背景：水素ステーションの建設コスト低減必須  
 目的：水素ステーション建設コスト低減に寄与する低コスト蓄圧器開発  
 ・蓄圧器低コスト化のポイント  
 1. 低合金高強度鋼シームレスパイプから製造したライナーを用いた複合容器を製造。  
 2. ライナーに応力分担させる設計とし、高価な炭素繊維量を削減。  
 ・最終目標 (～H29年度) 開発容器容積：200L以上  
 目標：コスト ≤ 3万円/L、重量 ≤ 3000kg (設計係数4.0)  
 容器寿命 ≥ 10万回  
 開発容器の特認申請を行い、特認取得を目指す。

●研究目標 (～H27年度)

- ・設計圧力106MPa、サイクル使用回数10万回以上を満たす高圧水素用タイプ3 複合容器蓄圧器の製造指針構築

項目	実施項目	目標
①	スチールライナーの寿命検討	・疲労限への諸因子の影響明確化。高圧水素中データ採取。
②	簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測	・ライナーおよびCFRPの適正厚み目処付け。
③	スチールライナー-CFRP複合蓄圧器の開発	・小型容器による蓄圧器製造の要素技術開発。
④	複合蓄圧器の設計の妥当性検証	・大型製造技術の開発および容器の性能評価。
⑤	特認取得への取組	・特認申請に資するデータ採取
⑥	規制見直しへの取組	・各種委員会での複合容器への要求事項の議論

●実施体制及び分担等

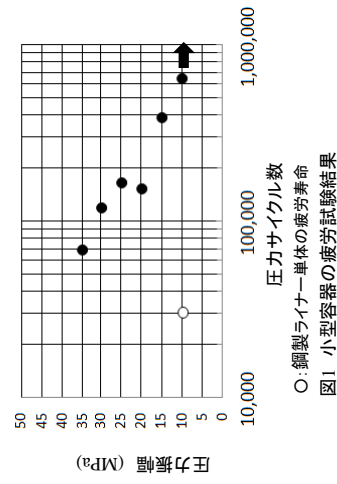
NEDO	JFEスチール (株) 実施項目	・項目1,2,5,6
	JFEコンテイナー (株) 実施項目	・項目3,4,5,6

●これまでの実施内容／研究成果

- 1)スチールライナーの寿命検討 (JFEスチール)
  - ・材質データ採取完了。疲労限(100万回)およびSSRTの最高荷重は大気中と水素中で同等。高圧水素中と同等の結果を得られる陰極チャージ疲労試験方法を開発。陰極チャージ疲労試験により、疲労限は1Hzと20Hzで同等の結果を得た。
  - 2)簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測 (JFEスチール)
    - ・蓄圧器におけるライナー厚、CFRP厚との発生応力関係を計算により算出。ライナーおよびCFRP厚の設計指針を得た。
  - 3)スチールライナー-CFRP複合蓄圧器の開発 (JFEコンテイナー)
    - ・試作容器 (破裂圧力：59MPa) を作製し、疲労試験、破裂試験の実施、CFRP層破壊の基礎データを取得(図1, 図2)。設計圧力106MPaの小型容器を試作し、性能を確認。
  - 4) 複合蓄圧器の設計の妥当性検証 (JFEコンテイナー)
    - ・試作容器を用い、設計係数2.4および4.0の条件で10万回以上の長寿命を確認 (図1)。
  - 5) 特認取得への取組 (JFEスチール, JFEコンテイナー)
    - ・長期疲労寿命など、特認申請に資するデータを一部採取。今後、技術基準制定を見ながら追加取得。
  - 6) 規制見直しへの取組 (JFEスチール, JFEコンテイナー)
    - ・九大水素構造材料データ・ス検討会、複合圧力容器蓄圧器分科会、等へ委員として参加し、積極的に関係者と。低合金鋼ガイドラインWG、複合圧力容器蓄圧器分科会でのスチールライナー-CFRP複合容器ガイドラインおよび技術基準策定検討開始に貢献。

●最終目標達成のための基本設計完了見込(H28/03)

- 今後の課題
  - ・スチールライナー複合容器の技術基準の制定
  - 実用化・事業化の見通し
    - ・スチールライナー複合容器の技術基準が制定され次第、ステーション運営会社二スに合わせ事業化



●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	材質データ取得。陰極チャージ疲労試験法確立。疲労限度依存性確認。	○
②	スチールライナー-CFRP厚設計指針確立。	○
③	設計圧力106MPaの容器を試作し、性能確認を実施。	◎
④	設計係数2.4および4.0の条件で10万回以上の長寿命を確認。	○
⑤	データ一部採取	△
⑥	各種委員会でスチールライナーを使用可とするため積極的に活動。	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	3	0

## 課題番号：Ⅱ－①－(2)

### 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

実施者 JFE スチール（株）、JFE コンテナ（株）

#### 1. 研究開発概要

「水素利用技術研究開発事業」基本計画のアウトプット目標として、「コスト2億円以下／システム」、「水素充填30万回以上の耐久性を有すること」が設定されている。蓄圧器開発の観点でこの目標に貢献するためには、前者に対しては、「蓄圧器製造コストの低減」、後者に対しては、「蓄圧器の長寿命化」を達成することが必要である。

実施者は、高強度低合金鋼をライナーとして用いるスチール製ライナー炭素繊維強化プラスチック（以降、CFRPと記述）複合容器蓄圧器を開発・適用することで上記課題解決に寄与できると考えた。

現時点での水素ステーションに実装されている、もしくは現在開発中の蓄圧器は、鋼製蓄圧器（Type1容器）およびアルミ合金ライナー-CFRP複合容器（Type3容器）である。Type1容器は鍛造により製造されている。また、アルミ合金ライナー-CFRP複合容器は、ライナーの強度が低いため、CFRPで耐圧性能を担保する。これらの容器に対し、開発ターゲットとしたスチール製ライナー-CFRP複合容器蓄圧器は、ライナーを鍛造品やアルミより安価な大量生産品であるシームレス鋼管を用いて製造し、そのライナーに圧力保持させることで、耐圧性能および疲労特性の不足分をCFRPで補い高価なCFRP使用量を最小限とする。そのため、いずれの容器と比較しても低コスト化が可能となると考えている。さらに、高強度鋼は一定応力以下では疲労破壊しないため、ライナーでの発生応力がその応力（以降疲労限と記述）以下となるように容器設計することで容器の長寿命化が可能となると考えられる。

以上の思想に基づいて、実施者らはスチール製ライナー複合容器の開発を行った。

#### 2. 研究開発目標

##### 2-1 中間目標（～H27年度）

設計圧力106MPa、サイクル使用回数10万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成25年6月時点）の規定を満たす高圧水素用タイプ3複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。

上記を実施するため、具体的には下記を行う。

- ①スチールライナーの寿命検討（JFEスチール（株））
- ②簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測（JFEスチール（株））
- ③スチールライナー-CFRP複合蓄圧器の開発（JFEコンテナ（株））
- ④複合蓄圧器の設計の妥当性検証（JFEコンテナ（株））
- ⑤特認取得への取組（JFEスチール（株）、JFEコンテナ（株））
- ⑥規制見直しへの取組（JFEスチール（株）、JFEコンテナ（株））

## 2-2 最終目標（～H29年度）

- ・開発容器容積：200L以上
- ・目標コスト：設計係数4.0：3万円/L以下（参考：設計係数2.4：2万円/L以下）
- ・目標重量：設計係数4.0：3000kg以下（参考：設計係数2.4：2000kg以下）
- ・目標容器寿命：10万回以上
- ・開発容器の特認申請を行い、特認取得を目指す。

## 3. 研究開発成果

### 3-1 研究開発成果、達成度

H25～H27年度（今後の予定含む）までの取り組みにおいて、中間目標を達成し、さらに最終目標容器の基本設計が完了した。以下にその内容概略を記載する。

#### （1）スチールライナの寿命検討（JFEスチール（株））：達成（○）

開発する複合容器蓄圧器は、高強度低合金鋼シームレス鋼管を用いてライナを製造し、CFRPで補強する設計である。高強度低合金鋼は高圧水素中で疲労き裂進展速度が加速されることが報告されている。しかし、実際の容器は、設計係数4.0で設計した場合、鋼材の疲労限よりも十分低い応力状態で使用される。容器設計も疲労S-N曲線データを用いて設計される。そのため、高圧水素環境下での疲労S-N曲線、特に疲労限の理解を深めることが高強度低合金鋼ライナを適切に使用するために重要である。そこで、本検討では、高強度低合金鋼の疲労限におよぼす水素濃度および周波数等、諸因子の影響を明確化した。供試材は焼入れ焼き戻しにより、引張強さ1000MPa級に調整したJIS-SCM435鋼を用いた。

さて、高圧水素中での疲労特性のデータ採取は試験設備の台数制約および能力制約のため、時間がかかり、本事業中に必要データを得ることができない。そのため、まず高圧水素以外の環境で、高圧水素環境中の材料特性を推定できる実験手法の検討を行った。具体的には、水溶液中で試験片に水素をチャージしながら疲労試験を実施する、陰極チャージ疲労試験法を検討した。種々検討の結果、水素チャージ条件を適正化することにより、高圧水素環境下でのS-N曲線とほぼ同等のデータが得られることを見出した。Fig. 1に大気中、高圧水素環境下および陰極チャージ疲労試験で得られたS-N曲線を比較して示す。大気中試験は周波数20Hz、高圧水素環境下および陰極チャージ疲労試験は周波数1Hzでの結果である。高圧水素環境下疲労試験では、破壊が発生する応力振幅では大気中と比較して寿命が短時間化した。疲労限応力は同等であった。陰極チャージ疲労試験においても同様の傾向が確認された。以上の結果から、条件を適正化した陰極チャージ疲労試験により、高圧水素環境下での疲労特性が推定できることが明らかとなった。高圧水素環境下材料試験は設備台数制約等から高圧水素環境下での材料特性データ蓄積に時間がかかるが、この手法を用いることで、多量のデータを短期間で採取することができる。

また、陰極チャージ疲労試験により、S-N曲線におよぼす周波数の影響を検討し、1Hzと20Hzでは、破壊発生する応力振幅では寿命が短時間化するが、疲労限は変化しないことが明らかとなった。

これらの結果から、スチールライナに使用予定の材料は、高圧水素中の疲労限は475MPaであり、「KH

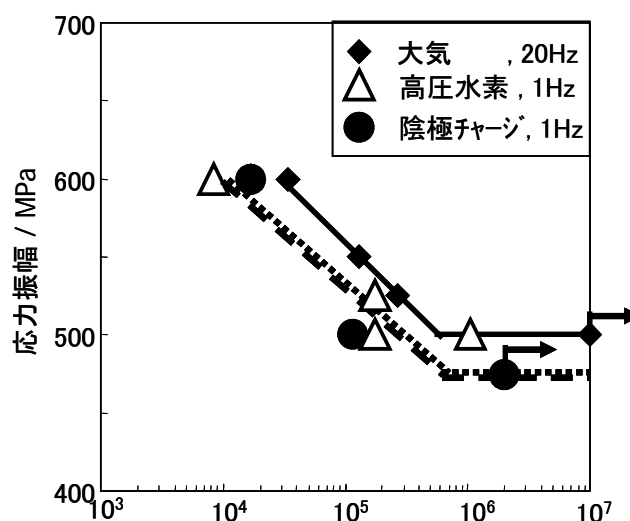


Fig.1 S-N 曲線におよぼす試験環境の影響

KS0220付属書V図1 高強度低合金鋼の最適疲労曲線」と同等であることが明らかとなった。

あわせて、容器設計に必要な材料データを取得した。Fig. 2に大気中および高圧水素中SSRT試験結果を示す。本材料は 115MPa水素中でも最高荷重は大気中と同等であり、破断は均一変形後に発生した。高圧水素環境中SSRTでの最高荷重および均一伸び、高圧水素環境中での疲労限の全てが大気中と同等の値を維持することは、公式による設計における必要条件であるとの考え方があるが、本材料はこの条件に合致していることが明らかとなった。

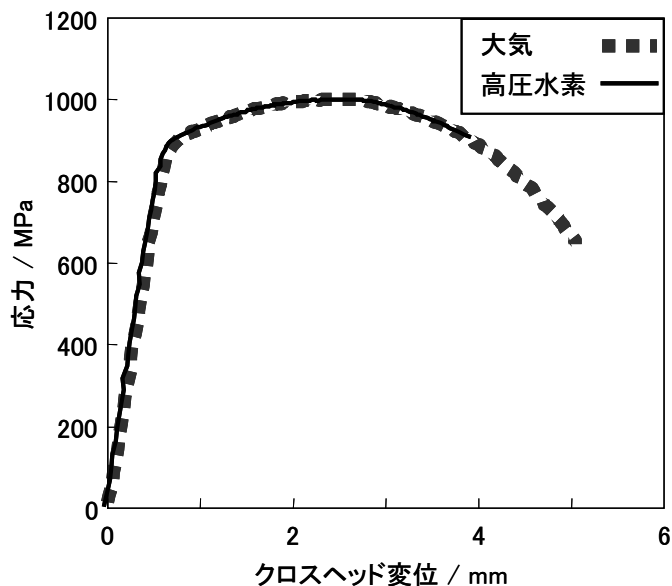


Fig.2 SSRT で得られた変位-応力曲線におよぼす試験環境の影響

(2) 簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測 (JFEスチール (株)) : 達成 (○)

FEM解析により、蓄圧器の簡易シミュレーションを実施し、蓄圧器のライナ厚およびCFRP厚と蓄圧器特性の関係を検討した。その結果から、蓄圧器設計の方向性を見出した。

(3) スチールライナ-CFRP複合蓄圧器の開発 (JFEコンテナ (株)) : 達成 (◎)

①スチールライナ (9.4L) \*CFRP 複合容器の試作

・試作容器の仕様と破裂性能

スチールライナ\*CFRP 複合容器の破裂及び疲労特性を検証するため、材料規格 SCM435 鋼を用いて、内容量が 9.4L 鋼製容器をスチールライナとして使用し、CFRP をその外側にフィラメントワインディング (FW) により巻きつけた。平成25年度に導入した圧力サイクル試験装置の最大負荷圧力未満で疲労試験が実施出来る様、スチールライナの板厚及び炭素繊維のFW層の厚さを調整した。試作したスチールライナ\*CFRP 複合容器の外観を Fig.3 に示す。

破裂試験後の容器外観を Fig.4 に示す。本容器では 59 MPa の破裂性能が確認された。圧力サイクル試験装置の能力の関係から、ライナ厚さは薄く設定した。結果、CFRP 層の断裂とスチールライナの破裂は同時に発生した。この現象は、アルミ合金ライナ Type3 容器の破裂挙動と同一である。



Fig.3 破裂試験前の容器外観



Fig.4 破裂試験後の容器外観

・疲労特性

試作容器にて、Table1 に示す条件で疲労試験を実施した。その結果、Table1 及び Fig.5 に示す疲労特性が確認された。Fig.6 に圧力サイクル試験後の容器外観を示す。負荷圧力 25MPa で約 16 万回、15MPa で約 38 万回の長寿命を得た。

Table1 圧力サイクル試験結果

圧力範囲	サイクル数
0～35MPa	68, 714回 リーク
0～30MPa	118, 766回 リーク
0～25MPa	163, 473回 リーク
0～20MPa	151, 456回 リーク
0～15MPa	382, 496回 リーク
0～10MPa	636, 780回 中断

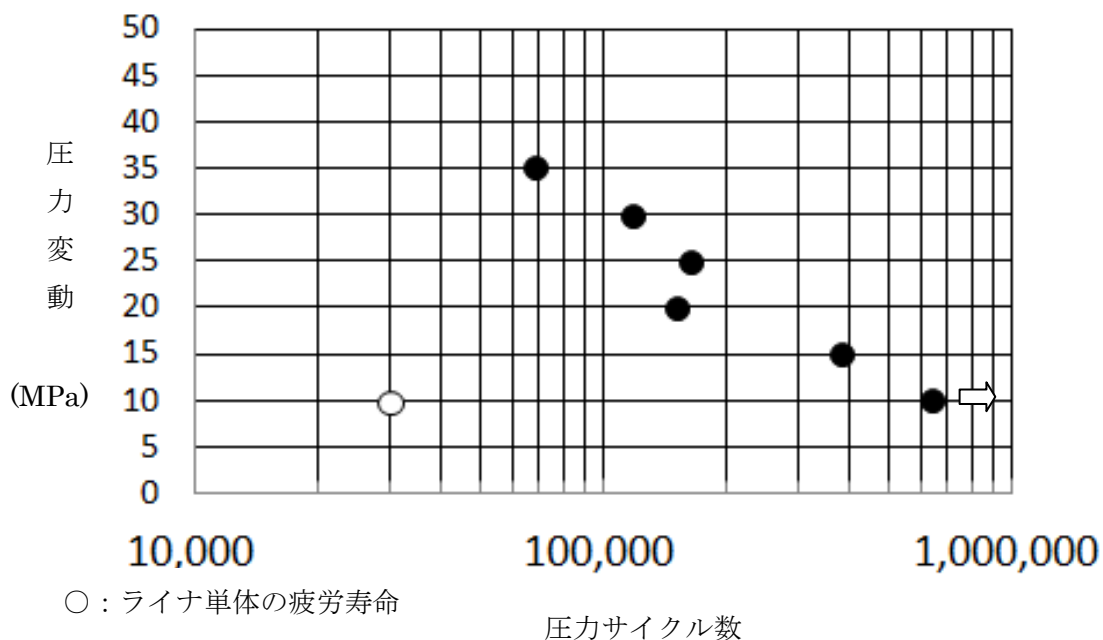


Fig.5 圧力サイクル試験結果



Fig.6 圧力サイクル試験後の容器外観



## ②スチールライナ（30L）\*CFRP 複合容器の試作

### ・試作容器の仕様

スチールライナ\*CFRP 複合容器の破裂特性を検証すべく、材料規格が SCM435 鋼を用いて内容量が 30L の鋼製容器をスチールライナとして使用した。

設計圧力が 106 MPa となる様、スチールライナの板厚及び炭素繊維の FW 層の厚さを調整した。スチールライナを FW 装置に装着して、炭素繊維の FW を実施する前の状況を Fig.7 に、試作容器を Fig. 8 に示す。



Fig. 7 スチールライナを FW 装置に装着して、炭素繊維の FW を実施する前の状況

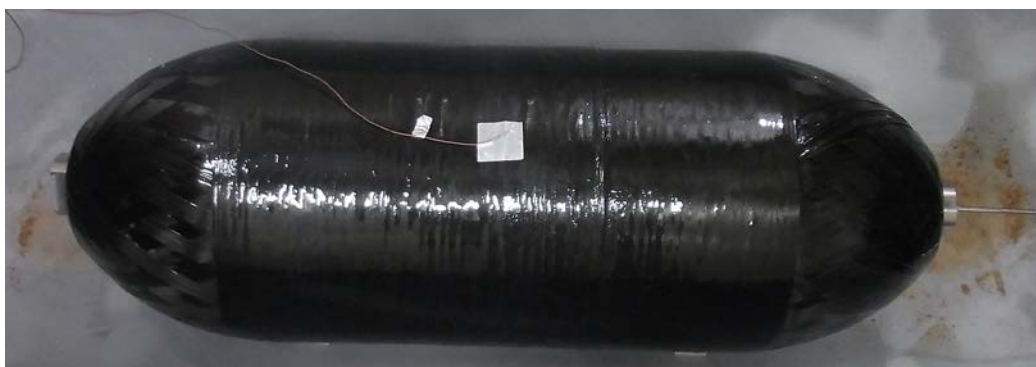


Fig. 8 スチールライナ CFRP 試作容器（30L）の外観

### ・破裂性能試験

106 MPa 仕様の容器の圧力サイクル試験は、HyTrec などの専用施設のみ対応が可能であるが、設備がフル稼働しており、実験待ちの状態である。設計の妥当性を検証する目的で、HyTrec にて破裂圧力までの容器の歪み量（周方向、軸方向）の測定及び破裂試験を実施した。スチールライナの厚さの薄い 9.4L 容器では、Fig.4 に示す様に、CFRP 層の断裂と同時にスチールライナの破裂が発生した。一方、スチールライナの厚さを厚くした 30L 容器では、Fig.9 に示す様に、CFRP 層が断裂しても、スチールライナは破裂しなかった。

強度の低いアルミ合金 Type 3 容器におけるアルミ合金ライナの役割は、貯蔵する水素ガスのバリア材料としての役割が主体であり、容器の破裂強度の大半は CFRP 層に委ねられている。そ

のため、破裂強度は CFRP 層の破壊限界で決定され、CFRP 層の破壊とともにライナも破裂する。すなわち、本開発で評価した 9.4 L 容器と同様の破壊形態となる。

一方、高強度鋼を用いた Type 3 容器の場合、炭素繊維の使用量を削減する目的から、極力スチールライナの厚さを厚くした容器設計となる。その場合、容器の破裂強度はスチールライナの破壊限界で決定される。しかし、容器が破壊する前にライナの膨張により炭素繊維層の変形量が炭素繊維の破断伸びを超えた場合、CFRP のみが破壊する現象が生じると考えられる。

疲労特性に関しては、アルミ合金ライナ、スチールライナ共通してライナの発生応力が支配的となる。

高強度のスチールライナ Type 3 容器の破裂挙動は、単一材料から構成される Type 1 容器及び低強度のアルミ合金ライナから構成される Type 3 容器のいずれとも異なると言える。今後、スチールライナ複合容器の破裂試験に関しては、要求仕様について議論を重ねる必要がある。



Fig. 9 破裂試験後の容器外観

### ③ 圧力サイクル試験装置の製作・設置

9.4L 容器の圧力サイクル試験は本開発のために導入した設備で実施した。Fig. 10 に サイクル試験装置、Fig. 11 に サイクル試験容器ピットを示す。所期の性能を有する装置が導入された。

- ・装置仕様：最高圧力：40 MPa
- ・サイクル速度 15 秒/1 サイクル（容量：9.4 L，圧力範囲：0 MPa ～35 MPa）



Fig. 10 圧力サイクル試験装置外観



Fig. 11 試験容器ピット外観

(4) 複合蓄圧器の設計の妥当性検証 (JFEコンテナ (株))：達成 (○)

9.4L 容器を試作し疲労試験、破裂試験の実施した結果から、設計係数 2.4 (負荷応力 25 MPa 条件に相当)



および4.0（負荷条件15MPa条件に相当）とした場合に、いずれも10万回以上の寿命が発揮できることを確認した。また、破裂試験の結果から、耐圧性能の高いスチールライナ容器では、CFRP層が破断しても、ライナは破裂しないことが明らかとなった。

（5）特認取得への取組（JFEスチール（株）、JFEコンテナ（株））：達成（△）

特認取得に資するデータとして、高圧水素中材料試験データおよび大気中の諸特性を採取した。今後、スチールライナ複合容器技術基準制定の要件を確認し、特認取得に必要なデータを追加取得する。具体的には、以下が列挙される。

- ①実際に製造した容器の材料品質（健全性）の確認（均一性、硬さ分布）、超音波探傷検査、表面の傷検査
- ②FW層の品質データ
- ③FEM解析、疲労亀裂伝播特性の解析
- ④自緊処理の妥当性の検証

（6）規制見直しへの取組（JFEスチール（株）、JFEコンテナ（株））：達成（◎）

本事業開始時には、低合金鋼は70MPa水素ステーションに設置する高圧水素蓄圧器への適用は認められていなかった。そのため、開発容器を実用可能とするため、低合金鋼CFRP複合容器蓄圧器のガイドラインもしくは技術基準策定を目指し、各種委員会、研究会等に参加し、積極的に活動した。具体的には、九大水素構造材料データベース検討会、複合圧力容器蓄圧器分科会、FCCJ FCV・水素イワWG、日本機械学会高圧水素研究分科会へ委員として参加した。その結果、高強度低合金鋼の高圧水素用蓄圧器への低合金鋼適用のためのガイドラインを作成するWG（低合金鋼ガイドライン作成G）が設置され、またスチールライナ-CFRP複合容器ガイドラインおよび技術基準作成について複合圧力容器蓄圧器分科会での検討が開始された。

### 3-2 成果の意義

本蓄圧器の開発により、水素ステーション建設コストの低減に寄与できる。さらに、陰極チャージ疲労試験方法の開発により、今後の高圧水素環境下での材料評価および材料開発の効率化が可能となる。

### 3-3 成果の最終目標の達成可能性

2016年3月時点で、最終目標達成のための容器基本設計は完了見込み。以降、スチールライナ複合容器のガイドラインもしくは技術基準制定の動向を注視し、ステーション運営会社ニーズに合わせて特認申請もしくは技術基準に沿った容器製造を実施し事業化する。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### （1）まとめ

水素ステーション用スチール製ライナ低コスト複合容器蓄圧器を開発し、以下の結果を得た。

- ・ 高圧水素環境下での疲労特性が推定できる陰極チャージ疲労試験法を開発した。周波数 1Hz の条件では、20Hz の条件と比較して、破壊発生する応力振幅では寿命が短時間化するが、疲労

限は変化しない結果を得た。スチールライナ用材料は、高圧水素環境中 SSRT で最高荷重、均一伸びおよび高圧水素環境中での疲労限が大気中と同等の値を維持した、

- 蓄圧器の簡易シミュレーションを実施し、蓄圧器のライナ厚および CFRP 厚と蓄圧器特性の関係を検討した。その結果から、蓄圧器設計の方向性を見出した。

圧力仕様 30 MPa のスチールライナ CFRP 複合容器 (9.4 L) を試作し、長期疲労寿命が達成できる事を確認した。更に、圧力仕様が 106 MPa 仕様の容器 (30L) を試作した。

- 9.4L 容器、30L 容器の試作結果から、設計係数 2.4 (負荷応力 25MPa 条件に相当) および 4.0 (負荷条件 15MPa 条件に相当) とした場合に、いずれも 10 万回以上の寿命が発揮できることを確認した。また、破裂試験の結果から、耐圧性能の高いスチールライナ容器では、CFRP 層が破断しても、スチールライナは破裂しないことが明らかとなった。
- 特認取得に資するデータとして、高圧水素中材料試験データおよび大気中の諸特性を採取した。
- 低合金鋼 CFRP 複合容器蓄圧器のガイドラインもしくは技術基準策定を目指し、各種委員会、研究会等に参加し、積極的に活動し、低合金鋼ガイドライン WG や複合圧力容器蓄圧器分科会でのスチールライナ-CFRP 複合容器ガイドラインおよび技術基準策定検討開始に寄与した。

## (2) 課題と事業化までのシナリオ

200L クラスの低合金鋼 CFRP 複合容器の基本設計は、2016 年 3 月末までに完了の見込み。容器が市場に市場投入されるには、低合金鋼 CFRP 複合容器蓄圧器のガイドラインもしくは技術基準策定により、容器の再検査を含めた規制面での充実が必須となる。

ステーション運営会社ニーズに合わせて特認申請もしくは技術基準に沿った容器製造及び認定取得に必要なデータ (実容器での圧力サイクル試験など、3-1 (5) に示したデータ) の取得が必要となる。

## 5. 研究発表・特許等

### ー研究発表・講演、文献等、その他ー

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015/08	日刊工業新聞	未定	新聞取材 (7/15)
2	2015/09	日本鉄鋼協会シンポジウム	低合金高強度鋼の疲労 S-N 曲線におよぼす水素チャージ法の影響	○高木周作, 長尾彰英, 木村光男
3	2015/11	日本機械学会 M&M2015	陰極チャージ法を用いた高強度鋼の疲労特性評価	○高木周作, 長尾彰英, 木村光男

# (資料Ⅱ-①-(3)) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発／樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」 共同研究先：八千代工業(株)、東邦テナックス(株)

## ●成果ガリ(実施期間：平成25年度～平成29年度終了予定)

- ・タイプ4小型容器での基本性能(水圧破裂試験、水圧疲労試験)が成立する見通しは立ち、大型化の基本仕様がFIXできた。
- ・タイプ4蓄圧器の使用環境を明確化し、実水素ガスでのライナー耐久性および透過量の把握を今後の課題として展開する。
- ・タイプ4大型化の残課題は抽出できた。残課題を推進するにあたっては、大型の試作容器を作成および中間までの机上検討項目の実証が必要である。

## ●背景/研究内容・目的

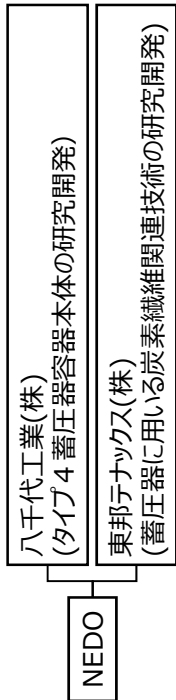
水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。

本事業では水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維強化プラスチックをワイラメントワインディング法で巻回することにより製造する樹脂製ライナー複合容器(タイプ4)から成る蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を目的とする。

## ●研究目標

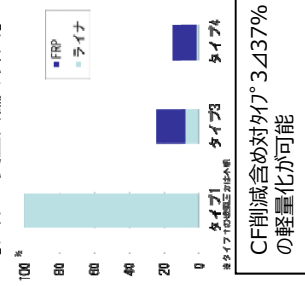
実施項目	目標
A.タイプ4容器の大型化F/S	小型複合容器試作製造指針決定
B.樹脂製ライナー材料の評価	・使用要件決定 ・ライナ材決定
C.FW強度CAE相関取り	大型複合容器のFW層構成の決定
D.ライナー構造／製法検討	ライナー製法及び口金構造の決定
E.検討用試作品の製作	・中型容器試作 ・課題抽出終了
F.実水素使用の性能試験	課題抽出終了と対策案の決定
G.最適物性CFの開発	CF使用量低減10%以上
H.サイズ剤の開発	強度発現率向上のサイズ剤の選定

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

[タイプ4質量目論み算出]

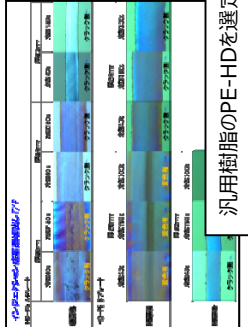


[小型容器試作品による水圧試験]

項目	目標	結果
破裂試験	270±30MPa	○○○.○MPa
疲労試験	26万回破裂なし	○○.○万回破裂なし
低温シール	-40℃漏れ無し	15%圧縮率で漏れ無し
高温シール	85℃カ-° 0.55mm以下	0.27mm問題なし
水素透過	5cc/L/h以下	○○cc/L/h

考案したライナー構造による基本性能成立は見通せた

[樹脂材料の水素影響確認]



[サイズ付与方法や新規サイズ剤の検討]

- ・耐擦過性 - 荷重下+擦過で毛羽が発生する荷重を既存品比30～50%改善した。
- ・糸幅安定化 - CFストランド幅の変動係数を低減し、既存品比1/2以下を達成した。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	小型の製造方針を決定し試作に反映	○
B	水素影響評価より要件/材料を決定	○
C	タイプ4課題を優先し、H27下期より実施	△
D	蓄圧器に適した構造/製法を決定	○
E	タイプ4製法変更により小型にて課題抽出済	○
F	代案で課題抽出済、残はH28より実施	△
G	タイプ4課題を優先し、H27下期より実施	△
H	タイプ4判処理技術の最適化見通しを得た	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
5	0	5	0

## ●今後の課題

- ・実ガスでの耐久性と透過量の保証
- ・大型容器での性能実証
- ・大型容器の製造案/製造条件の確立(ライナ、FRP巻回、最適CF)
- ・大臣特別認定取得

## ●実用化・事業化の見通し

タイプ4小型容器での基本性能が成立する見通しは立った。  
ST運営会社(ユーザー)を含めてタイプ4蓄圧器の使用環境を明確化し上記今後の課題を展開する。

## 課題番号：Ⅱ－①－(3)

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

### 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

#### 1. 研究開発概要

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。本事業では水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維強化プラスチック（CFRP）をフィラメントワインディング（FW）法で巻回することにより製造する樹脂製ライナー複合容器（タイプ4）から成る蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を目的とする。

水素ステーション用蓄圧器は特殊鋼材を使用したタイプ1が現在主流であり、特殊鋼による材料および加工にかかる費用が蓄圧器のコストを底上げしている。

解決する手法として、一部車載用で採用されているタイプ4をステーション用途にも展開することでコストダウンを目論む。タイプ4の優位点として、ライナーの材料に汎用性の高い廉価な樹脂を研究選択し、成形も一般的な樹脂成型法を採用することでライナー材料費および加工費を大幅に削減することが可能になる。これはアルミなどを使用した金属ライナー製複合容器（タイプ3）で使用されているフローフォーミング加工やスピニング加工に比較しても削減可能と推測する。またタイプ3のライナー内面の仕上げバラツキは疲労強度のバラツキに直結するため、安全率を高く取ったCFRPの積層設計厚みが必要である。製造バラツキの少ない樹脂ライナーを使用することによる安全率の見直しを検証し高価な炭素繊維（CF）の削減にも繋げる。

蓄圧器のタイプ4化および大型化に関するフィジビリティスタディ（以下F/S）として、基礎的実験および小型試作容器による評価を行った。具体的には以下の内容を実施した。

##### (1) タイプ4容器の大型化F/S

小型複合容器の試作製造指針の決定をする。

##### (2) 樹脂ライナー材料の評価

小型複合容器の試作向け材料の仮決定および蓄圧器用途に適したライナー材料の絞り込み及び耐久保証方法（クライテリア）の仮設定をし、大型容器の試作向け材料の決定をする。

##### (3) FW強度CAE相関取り

大型複合容器のFW層構成の決定をする。

##### (4) ライナー構造／製法検討

大型化を踏まえた小型複合容器のライナー試作方案を決定し、最終的な大型ライナー製法及び口金構造を決定する。

##### (5) 検討用試作品の製作

30Lクラス小型複合容器を試作し製作課題の抽出を終了後、120Lクラスの試作で更なる製作課題を抽出する。また合わせて(3)CAEの実証を終了させる。

##### (6) 実水素使用の性能試験

水素影響に関する課題抽出終了と対策案の決定をする。

##### (7) 最適物性CFの開発

CAE解析による必要CF特性の把握をし、改良CFによる、CF使用量低減10%以上（現行CF対比）を達成する。

##### (8) サイズ剤の開発

擦過性、ストランド形態の安定化に関する評価方法の確立をし、CF 強度発現率の向上を実現するサイズ剤の選定をする。

## 2. 研究開発目標

### 2. 1 平成27年度中間目標

設計圧力 106MPa、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成 25 年 6 月時点）の規定を満たす大型高圧水素用タイプ4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。

### 2. 2 平成29年度最終目標（参考）

水素ステーションにおける実証に向けて、大型タイプ4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 開発成果、達成度

#### (1) タイプ4 容器の大型化 F/S

タイプ4 成立性評価用の小型試作容器の作成における仕様／製造方針を決定するために、国内外の高圧容器の法規、例示基準、複合容器蓄圧器ガイドラインの把握と整理を行い、また文献、Web、展示会セミナー/分科会などによる情報収集を行った。これらの情報や要件を基にタイプ4 特有課題とタイプ4 に由来する大型化課題の抽出を行った。併せて FTA による予防処置方法の解析を行った。

更に他社容器を購入、または文献などの諸元よりタイプ4 を想定した目論み質量を把握した。（図 3-1）

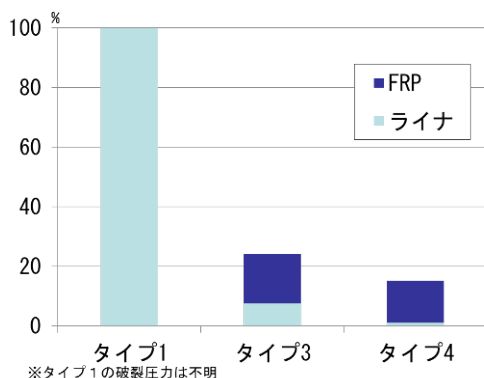


図 3-1 タイプ別容器質量比較

小型試作容器の仕様（構造、製造方案）を決定するための指針整理ができ、(4) ライナー構造／製法検討の開発項目へ繋げることができた。但し、平成 26 年度中盤に当初計画したライナー製法の不具合より製造方案を変更する判断をしたため、キャッチアップ技術である FW に関する開発項目の優先度を下げタイプ4 における大型仕様成立可否を見通す課題に集中した。机上検討による F/S は FTA で抽出された事象の刈取りを残し、概ね終了した。

## (2) 樹脂ライナー材料の評価

金属材料の水素脆化に関する研究やゴム材料の水素溶解影響に関する研究は過去の事業でも進められてきたが、樹脂材料が高圧環境で水素に晒された場合の影響が示された知見が少ない。そこで樹脂材料の水素曝露試験を基本とした基礎研究を通して材料のスクリーニングを行った。

### ① 試験方法

φ30mm 程度の円盤テストピース (T.P.) をオートクレーブ装置にて水素環境下で曝露し、曝露後の状態観察を行った。

### ② 試験対象サンプル

汎用樹脂、エンプラ、スーパーエンプラおよび任意の材料にカーボンやエラストマなどをブレンドしたアロイ材料や多層材料より厚み、成形方法の因子を組み合わせたサンプルを作成した。

### ③ 試験条件

圧力 (圧力幅水準)、高圧保持時間、初期温度 (水準温度毎一定)、水素充填放出速度、水素充填放出回数およびインターバル時間の各因子を組み合わせた 12 水準を実施した。

材料選定の最終的な判断は初期温度および圧力変動のプロフィールを蓄圧器の使用条件に沿った熱解析シミュレーションより算出した仮条件にて実施した。(図 3-2)

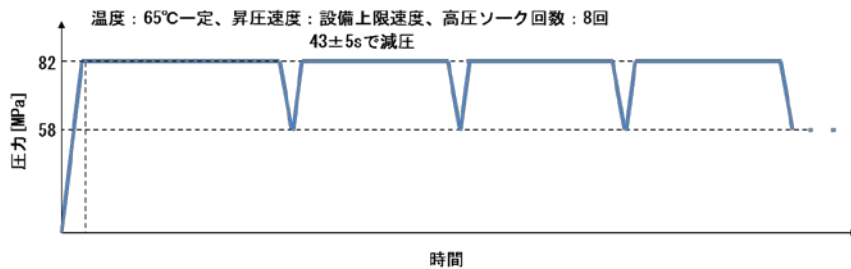


図 3-2 蓄圧器環境を再現した曝露条件イメージ

### ④ 試験結果

平成 25 年度の水素曝露試験で初期温度 85°C ソークからの減圧により微細クラックが生じていた材料についても蓄圧器の使用条件に合せた今回の実験下では異常がないものが認められた。今回の結果により蓄圧器として (物性変化の観点で) 使用できる材料の選択肢が広がった。更に追試で実施した各種材料のグレード相違や製法の相違により同じ材料でも水素影響の差異が生じ、タイプ 4 蓄圧器の設計指針および製造指針への管理項目が抽出できた。

参考に PE-HD での偏光顕微鏡による断面観察結果を示す。(図 3-3)

押出し丸棒切削品		インジェクション成形品切出しT/P					
HD-PE Aグレード		厚さ6mm		厚さ4mm		厚さ2mm	
		冷却40s	冷却180s	冷却40s	冷却180s	冷却40s	冷却180s
曝露後	クラック無	クラック有	クラック有	クラック無	クラック無	クラック無	クラック無
	クラック無						
プレスシート成型品		厚さ6mm			厚さ4mm		
HD-PE Aグレード		冷却40s	冷却180s	冷却300s	冷却40s	冷却180s	冷却300s
曝露後	クラック有	変色有	変色有	変色有	クラック無	クラック無	クラック無
		厚さ2mm					
		冷却40s	冷却180s	冷却300s			
曝露後		クラック無	クラック無	クラック無			

図 3-3 PE-HD による水素曝露試験結果

以上の結果より、小型試作容器は全水準で影響のない材料と蓄圧器の使用条件を限定することによって問題のない2種類の材料で試作することを決定した。

また、今回の試験結果を「使用環境に関する影響因子」および「製品仕様に関する影響因子」に分類して材料種類以外の水素影響度を考察した。(表3-1、3-2)

表3-1 使用環境による水素影響度

温度	上限圧力	減圧速度	圧力範囲	高圧曝露時間	高圧曝露飽和回数	加減圧サイクル回数
◎	△	◎	○	○	◎	×

表3-2 製品仕様による水素影響度

厚み	成形方法					グレード 分子量分布
		密度	結晶化度	配向	残留応力	
◎	○	?	×	?	?	○

※◎非常に大きい、○大きい、△小さい、×影響なし

使用環境については、ガス放出速度、ライナー温度(圧縮機出口ガス温度)、高圧側の水素飽和回数の影響が高く、次に圧力範囲、高圧曝露時間の影響を受けやすいことがわかった。

製品仕様については、ライナーの肉厚が厚い程クラックの進展が大きくなることがわかった。また製法差による違いは把握できたが、その差の最大因子(密度、結晶化度、分子量分布、配向、残留応力など)特定までは至らず今後の課題となる。

今回の水素曝露試験結果はTPによる小断面の全面曝露(全方位からの水素溶解/放出)であり、かつ、温度に関してもガス充填放出に伴う断熱温度変化がオートクレーブ内で再現せず高温側にシフトした過度な条件での試験であるため、この試験結果で材料を規定できるものではない。それ故、本試験結果を参考にした実容器での水素影響確認も今後の課題である。

追加確認の残課題があるものの蓄圧器を運転する上での管理要件指針を見通し、廉価な樹脂材料を選定できた。

### (3) FW強度CAE相関取り

強度FEM手法/物性と実物との相関を把握し、大型化に向けたFW積層構成最適化と巻き量の達成見直し判断に利用するため当初計画したが、(1)で抽出したタイプ4大型特有課題を優先し、タイプ4の成立性証明に注力するため、キャッチアップ技術であるFW積層構成最適化に関しては平成26年度4QTRで一時凍結した。但し、KHKのFEM手法における強度相関は本事業以前に確認済みである。

タイプ4優先課題終了後、当初計画していた新FEM手法検討を再開し大型複合容器のFW積層構成を平成27年度中に決定する。

タイプ4大型容器の最適積層構成を机上検討(精度向上)することで安全率の見直しを行いCF削減コストダウンに繋げる。また、試験回数削減による開発費を抑え製品売価を下げる事が可能になる。

### (4) ライナー構造/製法検討

多種少量生産を考慮した製法としてインジェクション分割成形+溶着あるいは回転成形による一体構造の双案で小型(18~24L)の試作品を作成し評価した。



### ① 回転成形品結果

用意した汎用／エンブラ数種の材料で成形を行った。一体構造の製品を得ることは出来たが、ライナー内部に本成形法由来のマイクロボイドが多数確認された。ボイド対策或いはボイド管理規定値の作成を今回の事業期間内で完了させることは困難と判断し、主たる方案をインジェクション成形の鏡部部材と押し出し成形の胴部部材を溶着で一体化する製法に変更した。(図3-4)

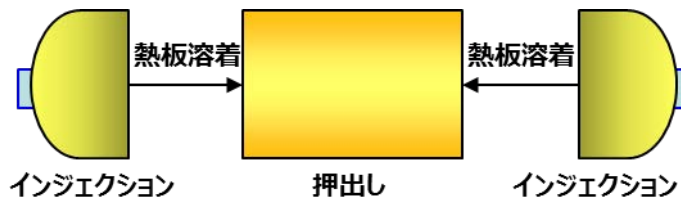


図3-4 ライナー製法変更イメージ

### ② インジェクション／押し出し+溶着品結果

口金構造は回転成形方案の構造を踏襲し製作した。溶着は材料によって熱板、赤外線、レーザーを検討し、試作品は材料に関わらず熱板溶着で作成した。(図3-5)



図3-5 小型容器試作品ライナー（溶着完）

### ③ 溶着部見極め

溶着は当社樹脂製ガソリンタンクのノウハウにて熔融状態および熔融状態を維持するための熔融温度、溶着圧力、熔融時間の条件管理で強度保証が可能である。

蓄圧器使用での疲労強度保証は今回の試作品材料で取得した S-N 曲線より考察した。S-N 取得のための引張疲労試験は伸びの影響を受けない $-20^{\circ}\text{C}$ 環境下で実施した(図3-6、3-7)。製品を再現させた試験品（溶着の熔融はみ出し部を片側のみ切削）は溶着影響部より離れた位置の一般部から破断する。熔融はみ出し分の断面積が増加したためであり溶着部の疲労強度は一般部よりタフネスがあると言える。但し、溶着の影響により一般部も含めて疲労強度タフネスの絶対値は下がる傾向にあることが、溶着なし品との比較より推測でき、それを考慮した設計が必要である。

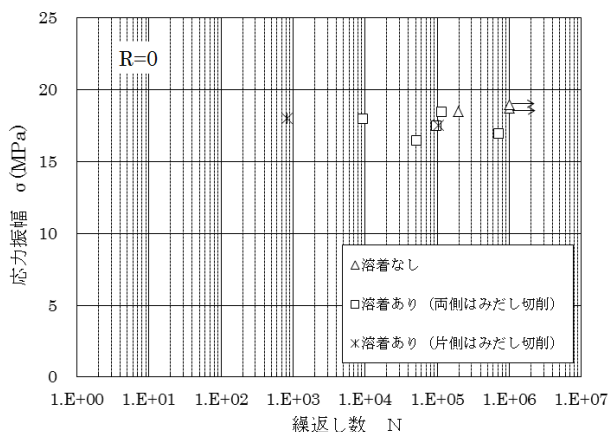


図3-6 試作材料でのS-N曲線

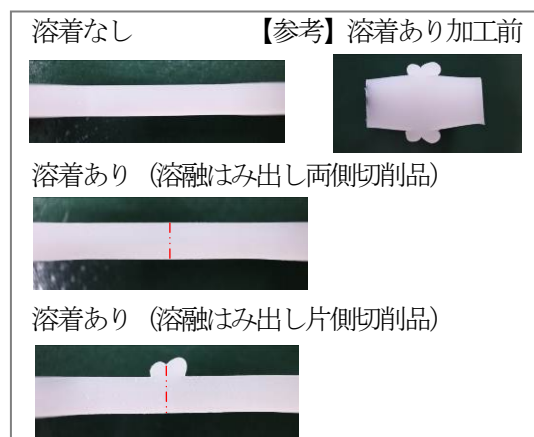


図3-7 試験品種類

溶着部の水素影響については、(2) で述べた水素曝露試験を溶着部でも実施した。一般部で微細クラックが発生する条件で曝露した結果、一般部に変色が認められたが溶着部へのダメージは認められなかった。これは溶融部の高結晶化により水素溶解量が減少したためと推測する。(図 3-8)



図 3-8 溶着部水素曝露試験結果

また、製品での溶着部評価として常温環境のみではあるが溶着部強度は当社現有設備限界の 190MPa までの実力を確認できた。耐久性については現在評価中である。

#### ④ 口金構造

(1) の F/S におけるタイプ 4 他社製品調査内容を検討し、シール部材をセルフシールと併用した信頼性のより高い構造で考案した。また、蓄圧器の使われ勝手を加味し、シール部材のメンテ交換ができる構造を特長とした。

製品でのシール性能評価として常温環境のみではあるが溶着部強度同様に当社現有設備限界の 190MPa までの実力を確認できた。耐久性については現在評価中である。

常温以外の口金部シール性能は実物容器による評価が容易ではないため、シール構造部を複製した試験管状の樹脂製テストピースを耐圧治具で固定し漏洩試験とライナーシール面のクリープ量測定を実施した。材料は候補材の中で最も低硬度の PE-HD を使用した。

表 3-3 T.P.によるシール性能試験結果

温度 (°C)	O-RING 圧縮率 (%)	シール圧力 (MPa)	シール面クリープ量 (mm)
-35	10	>110	0
-40	10	72	0
	15	>110	0
85	25 (ノミナル)	>110	0.25

今回使用の汎用 EPDM O-RING と考案したシール構造の組み合わせで、10%の下限圧縮率でも-35°Cのシール性能確保を見通せた。これは、熱解析シミュレーションで算出した寒冷地 (-20°C) におけるガスの放出断熱膨張時のライナー壁温と同等である。また、圧縮率を 15%以上確保する設計にて-40°Cのシール性能確保が可能である。(表 3-3)

以上の結果よりタイプ 4 での大型容器については、今回の小型試作容器のライナー製法および構造を踏襲することで成立する見通しである。

(5) 検討用試作品の製作

① 試作品の製作

性能実証のための試作品を作成した。当初は小型容器製作を経て中型容器製作を計画していたが、平成 26 年度にライナーの製造方案を変更したため、中型サイズへのスケールアップ製作は未達となった。そこで、小型容器での課題を吟味しつくすことで大型化課題を見通す方針に目標を変更した。小型容器はライナー製法変更後、3 度の設変でモディファイを行った。(図 3-9、表 3-4)

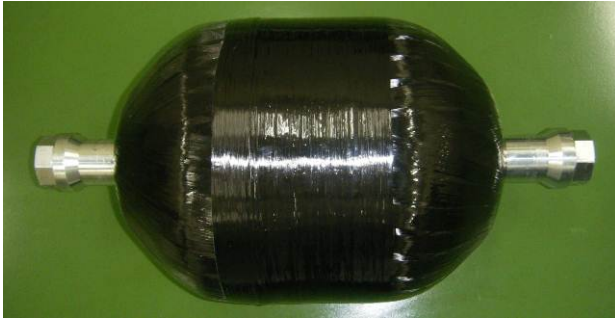


図 3-9 小型容器試作品

表 3-4 小型容器試作品仕様諸元

設計圧力.	105MPa
設計破裂圧力	270MPa
水容量	18L
容器質量	29.0kg

胴部押出し成形に関しては、量産想定径/肉厚および選定材料にてパイプのみを製作。(図 3-10) 寸法精度を把握し、鏡部との溶着時のバラツキ検証を実施し、溶着部構造および方案の決定に利用した。今回の試作品はパイプ素材での反りが確認できた。反りの低減対策および FW での影響確認(反りの許容値設定など)は大型試作容器による現物検証で見極める必要があり今後の課題となる。



図 3-10 ライナー胴部試作品 (Φ310×3.6m、6t)

② 大型化懸案の検証結果

試作品を製作して抽出されたタイプ 4 大型化への懸案を現物および CAE を使用して検証を行った結果を表 3-5 に示す。

表 3-5 大型懸案検証結果

項目	内容	結果
FRP厚巻	硬化反応熱のライナへの影響	反応熱MAX110℃で選定材料の物性上問題なし
	ライナの断熱効果による焼きムラ	硬度測定の結果ムラなく現硬化条件で問題なし
	自重による製造時のライナ撓み	胴部中央で2mm(0.06deg) 撓みで許容内と判断する
線膨張差	寒冷地設置時のライナへの影響	平成27年度中に机上見極め終了予定

③ CAE の実証

FEM で設計した表 3-4 仕様諸元の試作品で破裂圧を確認した。(表 3-6)

表 3-6 小型容器試作品による水圧試験結果

項目	目標	結果
破裂試験	236.3MPa以上	190MPaまで問題なし ※弊社現有設備圧力限界
疲労試験	10万回漏れなし	平成27年度中終了

樹脂ライナーの線膨張影響および疲労性能の継続課題を平成 27 年度中に終了させる。継続課題以外の試作品の製作/確認および CAE による机上検証項目に関してタイプ 4 大型化の成立見通しはあると判断する。

## (6) 実水素使用の性能試験

試作容器による実水素使用性能評価をガイドラインに沿って実施し、主に口金構造部の信頼性検証と耐久後のライナー水素影響（物性変化、透過量変化）を解析する計画を立案したが、ライナー成形方案変更による容器仕様 FIX の遅れおよび試験設備の都合により、テストピースでの水素曝露試験を代替評価として、平成 27 年度での実施は見送った。

また、選定材料による水素ガスの透過量の把握試験についても上記同様の理由で見送り、低圧での代替試験でライナーの透過量予測を検討／実施したが、高圧時の換算用に使用できる値を得られなかった。今後、九州大学で推進中の透過挙動特性把握試験による各種材料試験結果を参考に水素ガス透過量の成立性を見極める。

但し、KHKTD5202 で示されたガス透過基準値は 70MPa の車載用基準の引用であり、更に高圧な蓄圧器での透過量は理論上増加する。よって、蓄圧器設計圧力を加味した基準値での見直しは要望したい。蓄圧器使用環境（上部開放）を踏まえた製造者の管理量基準を設けることで、ライナー材の選択肢が増加しコストダウンに繋がる。

## (7) 最適物性 CF の開発

CF 物性改良による、CF 使用量低減 目標 10%以上低減(現行 CF 対比)として、既存 CF による複合物性を取得し、本結果を FEM 構造解析モデルに反映した。しかしながら、FW 技術に関するキャッチアップ項目の優先度を下げ、タイプ 4 における大型仕様成立可否を見通す課題に集中し、CF 目標物性値の設定、最適 CF の開発については平成 26 年度 4QTR で優先度を下げ一時凍結した。平成 27 年度下期より再開する。物性が異なる各種 CF でタイプ 4 容器の性能向上に重要な CF 物性の因子把握を行い、実容器による性能評価で実証する。

## (8) サイズ剤の開発

CF の強度発現率向上を実現するサイズ剤の選定として、新規サイズ剤の検討を実施した。(検討水準は表 3-7) 新規サイズ剤(高開繊性樹脂)により、FW 工程通過性(耐擦過性)を既存品対比 30~50%改善し、生産効率向上、品質向上に貢献する可能性を確認できた。(図 3-11)

また、糸幅安定化(CF ストランド幅変動低減)を既存品対比 1/2 に低減したことで、FW 工程での樹脂含浸量の安定化に寄与し、品質の安定化および CF 強度発現率向上の可能性を確認できた。(図 3-12)

今後は、サイズ剤関連技術による CF 強度発現率の向上を検証することが課題となる。現在、簡易評価方法で最適サイズ剤を選定し、実容器での最終評価を平成 27 年度下期に実施する。

表 3-7 サイズ剤検討水準

(1)	既存品
(2)	サイズ剤変更品 (高形態保持性樹脂)
(3)	サイズ剤変更品 (高開繊性樹脂)

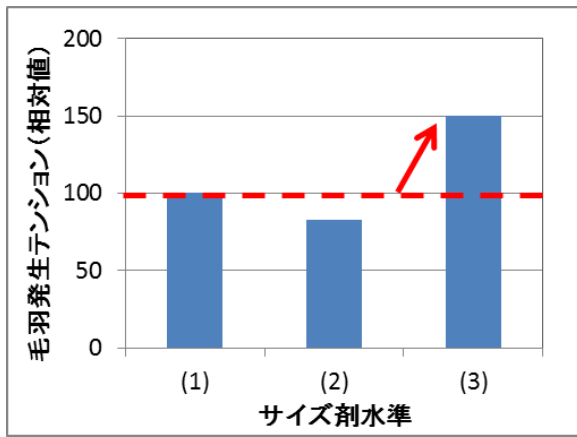


図 3-11 毛羽発生テンションの比較

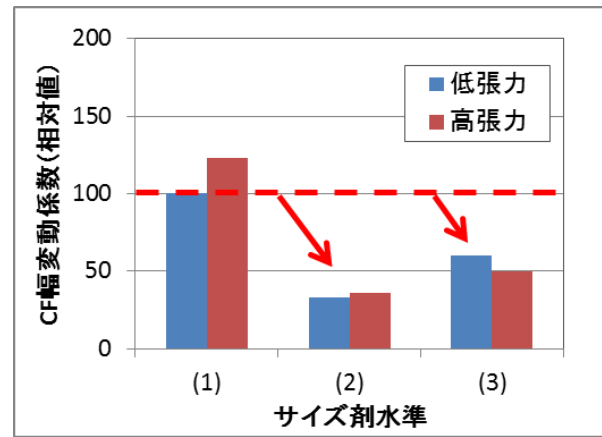


図 3-12 CF 幅変動係数の比較

### 3. 2 成果の意義

本事業では水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維をフィラメントワインディング (FW) することにより製造するタイプ 4 複合容器蓄圧器が実用化されれば、材料費用や製造費用の削減メリットを活かせるため、早期に事業採算性を確保し、水素インフラの整備を加速できる。

また、強度発現を向上、最適化する炭素繊維(CF)を開発し、FW の巻回最適化を図ることで CF の使用量削減を実現し蓄圧器トータルでのコストダウンに貢献できる。

よって、低価格で水素を供給することが可能になり水素社会の早期実現に貢献し、我々はもちろん水素社会ビジネスに関わる国内企業の企業活動に貢献する。最終的には地球温暖化対策、エネルギーセキュリティへの貢献に繋がる。

競争技術に対する優位性として、鋼製タイプ 1 比の軽量化を $\angle 84\%$ 達成する目論みであり、設置費用削減(基礎費用、設置場所への蓄圧器運搬費用、蓄圧器設置作業費用)が見込まれる。

また、比較的軽量のアルミライナー製タイプ 3 と比較しても $\angle 37\%$ の更なる軽量化が見込まれ、更なる設置費用削減(容器ラックの軽量化など)およびコスト構成で大半を占める炭素繊維の削減が下記の理由で見込まれる。

- ・ライナー肉厚差の容量効率向上による削減
- ・ライナー疲労強度向上による削減

更に、タイプ 4 蓄圧器に最適な CF の使用により、FW 工程での安定化を実現すると共に CF 強度発現率向上による CF 使用量 10%以上の削減を可能にすることで、コスト削減、及び軽量化に繋がる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本事業の最終目標「水素ステーションにおける実証に向けて、大型タイプ 4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。」に対して、平成 28 年度にタイプ 4 の大型容器を試作する必要がある。タイプ 4 の大型化に関する課題は平成 27 年度までに概ね消化でき、成立の見通しであると判断する。大型容器用樹脂ライナーの基本構造や材料は小型容器を踏襲しスケールアップすることで試作は可能である。また、FW に関しては、CAM/CAE により最適 FW 積層構成の机上検討結果を反映し、実巻回は市販の大型用 FW マシンおよび硬化炉を調達することで製作は可能である。

#### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

タイプ4小型容器での基本性能が成立する見通しは立ち、大型化の基本仕様がほぼFIXできた。

ステーション運営会社（ユーザー）を含めてタイプ4蓄圧器の使用環境を明確化し、下記を今後の課題として展開し、事業化に向けた実証用の大型容器蓄圧器の特認を取得する。（図4-1）

- ・実ガスでの耐久性および透過量の保証
- ・大型容器での性能実証
- ・大型容器の製造方案/製造条件の確立（ライナ、FRP巻回、最適CF）

蓄圧器要件での外部試験費用が想定した金額を大幅に上回るものであることが、本事業に参加してわかった。試験費用自体の削減や蓄圧器仕様の各社統一による派生試験費用の削減に関しては、関係当局、試験機関を含め蓄圧器コストダウンに向けたオールジャパンの課題である。

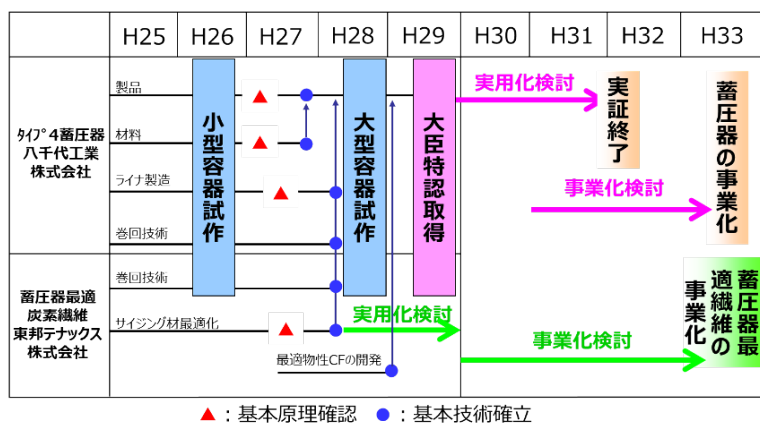


図4-1 事業化までのシナリオ

#### 5. 研究発表・特許等

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2014-1-28	特願 2014-13056	圧力容器	八千代工業 (株)
2	2014-12-9	PCT/JP2014/8250	圧力容器	八千代工業 (株)
3	2014-4-25	特願 2014-90975	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
4	2015-2-26	PCT/JP2015/55606	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
5	2015-4-15	特願 2015-82999	圧力容器	八千代工業 (株)



●成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成27年度終了(または予定))

- ・複合容器蓄圧器の規制動向の把握と規定への対応方法の決定 (継続中)
- ・中型Type4複合容器の試作と評価 (実施中)
- ・大型高圧水素用Type4複合容器蓄圧器の製造指針の構築(予定)
- ・小型複合容器の試作と評価 (終了)

●背景/研究内容・目的

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが求められている。本研究開発では、水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器及び関連する建設費の低コスト化を目指し、樹脂性ライナーに炭素繊維をフィラメントワインディングすることにより製造する。  
Type4複合容器蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を目的とする。

●研究目標

実施項目	目標
樹脂性ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	設計圧力106MPa、サイクル使用回数10万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成25年6月時点)の規定を満たす大型高圧水素用Type4複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

1. 回転成形を適用した安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術確立
2. 中型(100L)用LLDPEライナー本体の成形方法の開発
3. LLDPEライナー本体と口金ブロックの融着技術の確立
4. LLDPEライナー、エポキシ樹脂の接着性向上技術の確立
5. 水素ガスバリア材としてG-Polymerを用いた回転成形によって一体で積層成形を行う
6. LLDPEに口金金属をインサートした水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを検討
7. 口金ブロックを融着したプラスチックライナーをCFRPで補強し、低コストType4複合容器を試作
8. CFRP補強層の高効率FW成形技術
9. LLDPE単層ライナーを用いた30L複合容器の106MPa時試算ガス透過率

●研究成果まとめ

- ①ライナー融着部の健全性の評価について評価方法を確立する。
- ②水素ガスで106MPaに加压して実ガスによるガス透過率を試算する。
- ③ガスバリア材を使用した水素ガス透過率の小ささ、耐久性のあるライナーの開発。
- ④100L複合容器によりサイクル試験の実施。
- ⑤他未実施の設計確認試験を行う。
- ⑥更なる軽量化、コスト低減。

●実用化・事業化の見通し

●本研究開発の実用化・事業化の見通しは、本研究で実施確立した研究成果を活かし、今後開発する大型Type4複合容器蓄圧器が各種設計確認試験に合格し、特認を取得する事で事業化に向けて動きます。

実施項目	成果内容	自己評価
規制動向への把握と対応	分科会への参加により、複合容器蓄圧器の対応を理解している	○
フォービリティがグイの実施	各セクションの要素研究を細かく実施し、問題点抽出対応ができた	○
小型容器の試作と評価	要素研究の結果に基づき、30L複合容器の開発を完了した	○
中型Type4複合容器の試作と評価	現在、小型容器開発で蓄積した研究結果を反映し、100L複合容器で更なる試作評価を実施中。本年度中に完了予定。	△
大型Type4複合容器の製造指針構築	中型複合容器の開発に合わせ、KHKT5202(2014)に適合する容器の製造指針を構築中。	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1件	0件	3件	0件



## 課題番号：Ⅱ－①－(4)

### 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 樹脂性ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

#### 1. 研究開発概要

はじめに

現在、鋼製継目無し容器 (Type 1) やアルミ合金製ライナーを使用した複合容器 (Type3) が水素ステーション向けに有望視されているが、重く、コスト高となっている。そのため、軽量、低コストな蓄圧器を開発する必要がある。また、水素ステーション建設に当たっては、何よりも耐震設計基準を重視する必要がある、設備は、極力軽量なものが好ましい。そのような趣旨から低価格な大型Type4 複合容器の開発を行うこととした。本研究開発では、大型 (300L) リニアローデンポリエチレン (LLDPE) 製ライナー本体を一体で回転成形する。そのことにより耐久性に優れたType4複合容器を安価に製作することを目指す。

また、従来から課題となってきた、金属製口金とライナー本体との接合部からの水素ガス漏洩に関しては、新たな工夫として、口金金属に水素ガスを接触させない構造で前述したLLDPEライナー本体と、この口金をインサートしたブロックを熱融着の手法を用いて一体化し、ライナーを作製する。さらに、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) との接着性を改善するための表面処理を行う。その後、フィラメントワインディング成形法 (FWM) によりCFRP補強して、複合容器とする。

本研究開発では、設計圧力106Mpa (破裂圧力約240MPa) 対応の、Type4複合容器を試作・検証した、後述する低コスト化についても、その実現性を実証した。コスト目標は、バルブを除いて、300L 1基当たり1,000万円程度とし、量産化後は、その2分の1以下を目指したい。

上記を可能とするため、(1)回転成形を適用して安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術の確立。(2)水素ガスバリア材として G-Polymer を用い、回転成形によって多層成形する技術の確立。(3)バルブ等、外部機器との接続のための口金を LLDPE にインサートして水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを研究開発する。(4)口金ブロックを融着したプラスチックライナーを CFRP で補強し、低コスト・大型 Type4 複合容器を研究開発する。(5)CFRP 層は、層全体が有効に強度に寄与するためのフィラメントワインディング (FW) 成形技術を確認する。

#### 2. 研究開発目標

蓄圧器の価格については 300L Type4 複合容器蓄圧器 (バルブを除く) 1 基当たり 1,000 万円以下とし、量産時は 2 分の 1 以下を目指す。

蓄圧器の設計圧力を 106Mpa とし、破裂圧力を約 240MPa 以上とする。

常温圧力サイクル試験において、10 万回以上のサイクルで漏れ、または、破裂がないものとする。

水素ガス透過率は 5cc/L・h 以下とする。

#### 3. 研究開発成果

##### 3.1 研究開発成果、達成度

- (1) 回転成形を適用した安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術の確立

① 小型（30L）用 LLDPE ライナー本体の成形方法の開発

30L type4 複合容器用プラスチックライナーの試作

鋼製板金簡易型により 30L 複合容器用ライナーを図 1 に示す。その試作と評価を行った、図 2 にその状況を示す。試作内容は、層構成の詳細を検証するため、直火式の成形方法にて成形を行い、ガスバリア層及び接着層を含む 5 層構造の試作を行った。また、成形温度、温度分布、加熱時間など成形条件を検証しながら、多層構造の成形が行えることを確認した。

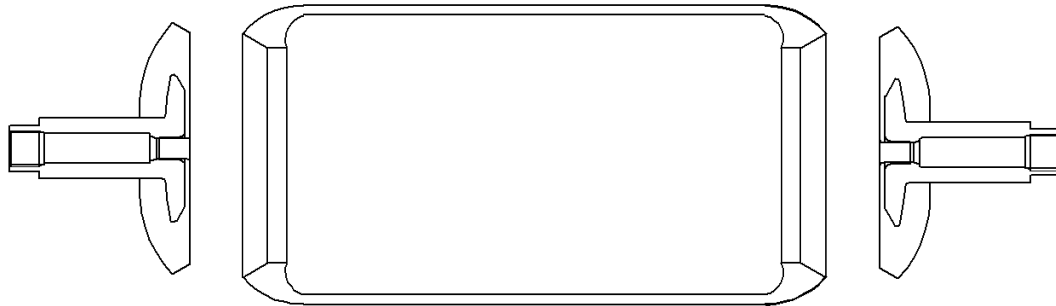


図 1 30L 複合容器用ライナー概図



図 2 30L 複合容器用ライナー成形状況

(2) 中型（100L）用 LLDPE ライナー本体の成形方法の開発

① AL 製型 炉式成形について

中型プラスチックライナーの形状を図 3 に示す。



図 3 100L 複合容器用ライナー概図

## ② 100L type4 複合容器用プラスチックライナー型の製作

鋼製板金簡易型による 30L 複合容器用ライナーの試作と評価結果からライナー本体の形状寸法精度向上のため、図 4 に示す、アルミ鋳造切削加工による高精度型の製作を行った。特に特殊容器成形においては、型の加熱分布が形状精度向上にとって、重要な要素となる事から従来の鋼製板金簡易型より、より熱伝導率の高いアルミ材を使用した型を製作した。また、そのセッティング状況を図 5 に示す。



図 4 アルミ鋳造切削金型



図 5 アルミ型セッティング状況

## ③ 中型（100L）ライナー本体の試作

30L ライナー本体の容器特殊成形は、層構成の詳細を検証するため、直火式の成形方法にて製作を行って来たが、更なる再現性の確保を目指し、また、成形工程内での管理項目設定のため、炉式の成形方法に変更し、成形条件の洗い出しを行った。結果、鋼製板金簡易型による直火成形と同等の成形条件を確立した。30L ライナー本体試作の成形温度、温度分布、加熱時間など成形条件を参考として、100L 用 LLDPE 単層ライナーの試作を行い、単層成形の基準を確立した。100L・LLPDE ライナーの成形状況を図 6 に示す。



図 6 炉式成形機によるライナー成形状況

## (3) LLDPE ライナー本体と口金ブロックの融着技術の確立

### ① LLDPE ライナー本体と口金ブロックの融着状況

後述する、要素試験の知見を基に、ライナー本体と口金ブロックを融着するための融着機を新規に製作し、図 7 に示す。要素試験のデータを基に加熱温度、加熱時間を設定し、微調整を行いながら融着テストを繰り返した。また、その融着状況を図 8 に示す。X 線及びマイクロスコップ等で融着部の確認を行い、融着条件の最適化を図った。



図 7 融着機

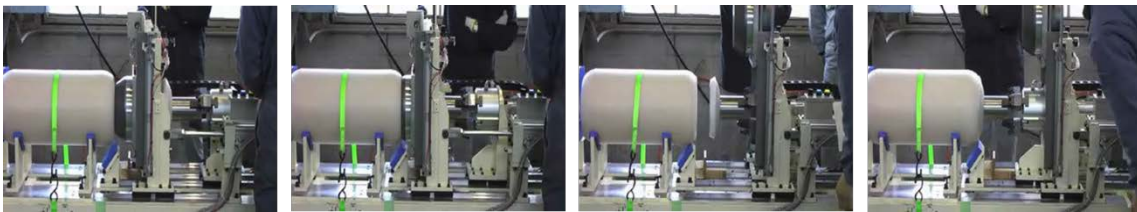


図 8 融着状況

② LLDPE ライナー本体材料と口金ブロック材料の要素試験

回転成形材、口金ブロック材それぞれを引張試験片（JIS K7162）に成形し、その後中央で切断して、一定条件で熱融着した図 9 に示す試験片を製作した。その融着状況を図 10 に示す。その試験片を用い図 11 に示す静的引張試験その試験後の試験片外観を図 12 に示す。及び疲労耐久試験機を図 13 に示す。また、その試験片外観を図 14 に示す。

これにより、融着が十分であれば、引張強度は母材と遜色ないこと、また、融着部は 15 万回のサイクル試験に十分耐えることを確認した（変位量約 1%）。

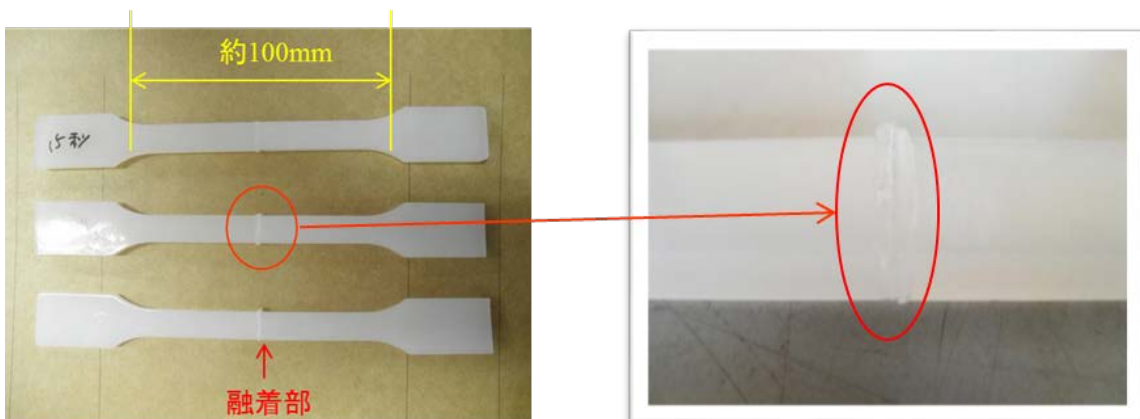


図 9 試験片



【試験片作製】  
 プラスチック材料の引張試験片(JIS K7162)を切断  
 ↓  
 融着面を200℃×15s加熱し密着させる(圧着はしない)  
 ↓  
 約40秒キープし、冷却させる



図 10 試験片融着状況

## 融着部試験片による引張試験

制御方法: ストローク制御  
 試験速度: 50mm/min  
 試験温度: 室温25℃

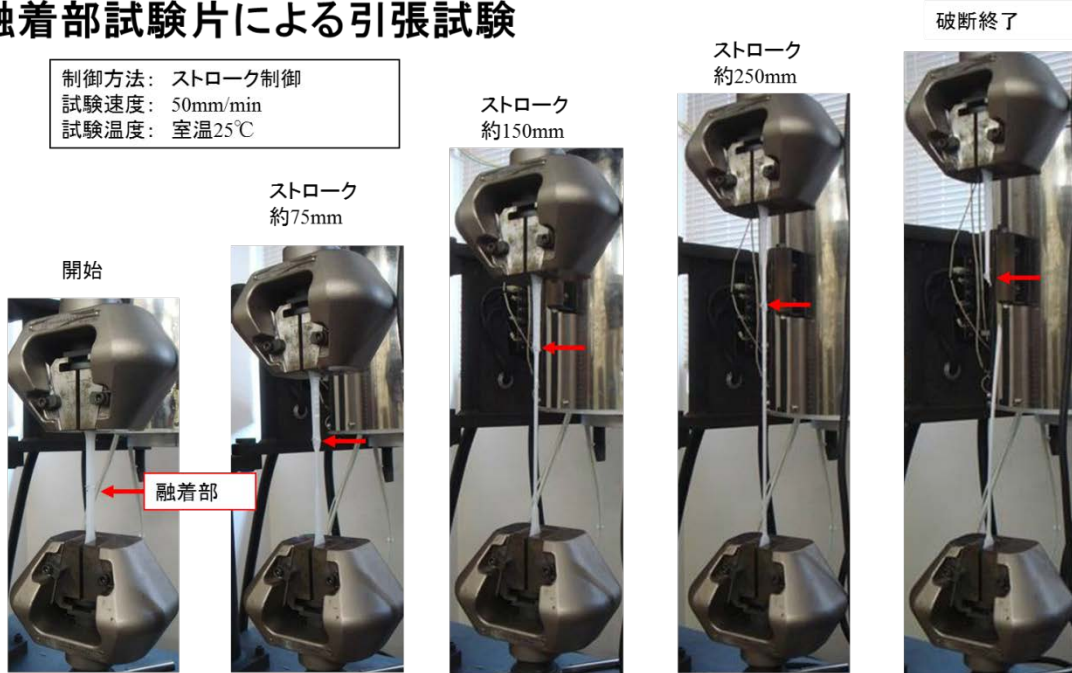


図 11 引張試験状況

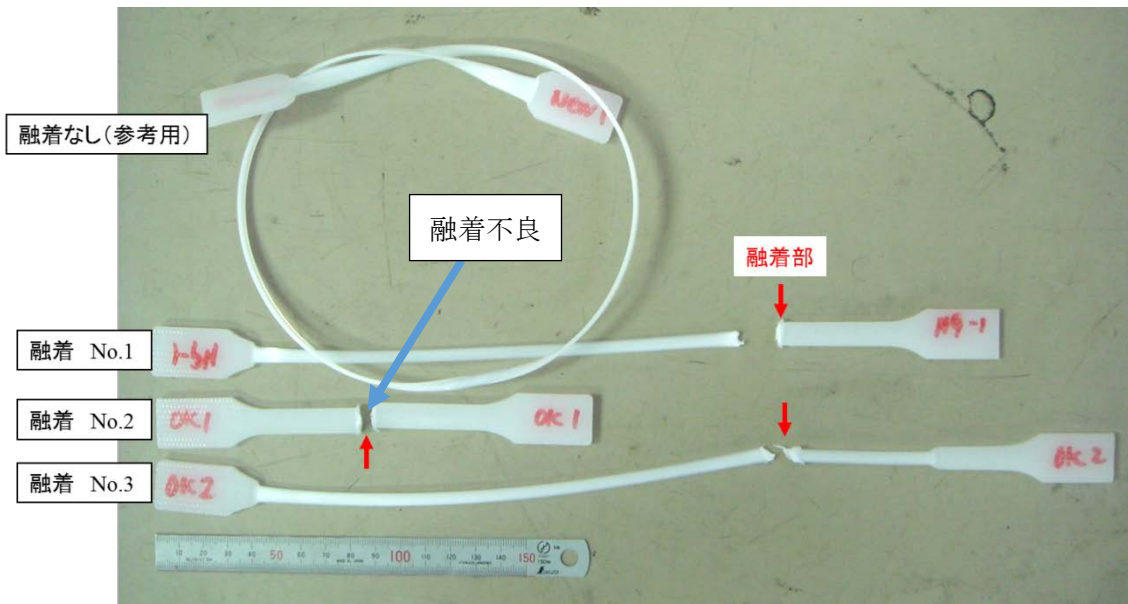


図 12 試験後の試験片外観

## 9.融着部試験片によるサイクル試験

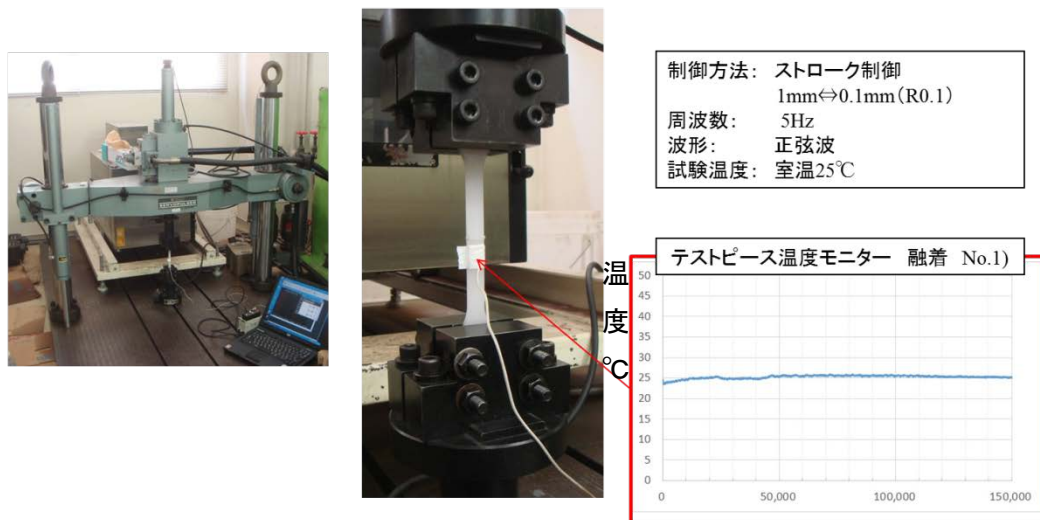


図 13 サイクル試験

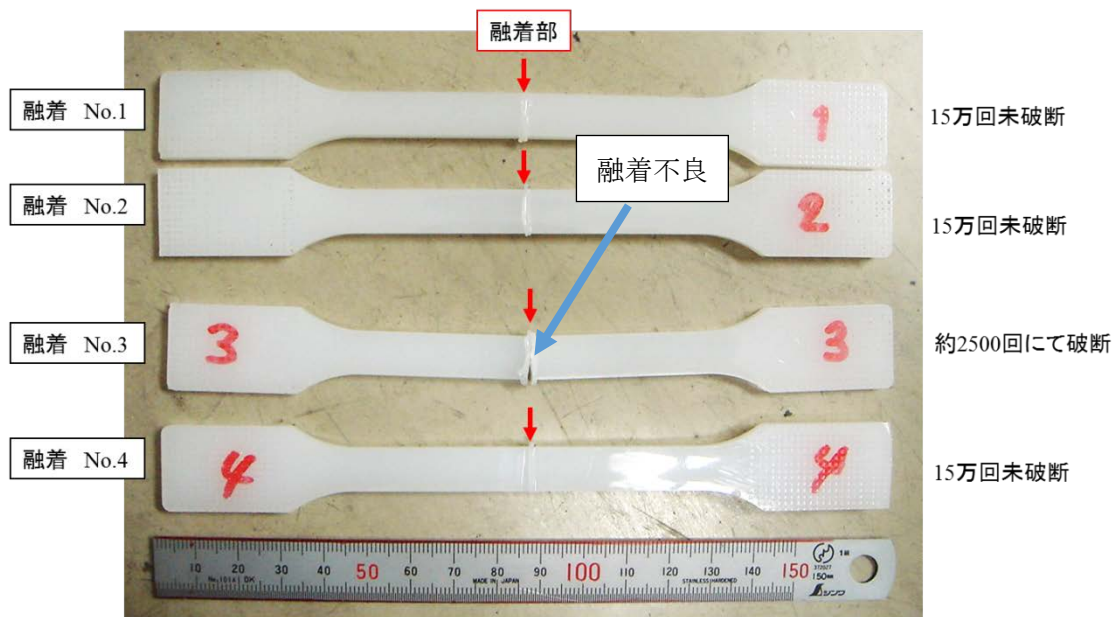


図 14 サイクル試験後の試験外観

### ③ ライナー本体、口金ブロックの融着部評価技術の研究

ライナー融着部の非破壊検査について

国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンターにて検証を実施し、また、国立学校法人九州大学の指導の下にタンク融着部のポイドやはく離といった融着不良を検出するため、超音波検査技術にて検証した。検証方法は、超音波パルスエコー法を用いた評価を行い、当該材料にて 400 $\mu$ m 以上の欠陥が存在する場合は、欠陥エコーを検出できることを確認した。その状況を図 15、17、18 に示し、また、レーザー超音波可視化法による超音波伝搬の様子を図 16 に示す。これにより、ライナーの非破壊検査技術確立の目処がたった。

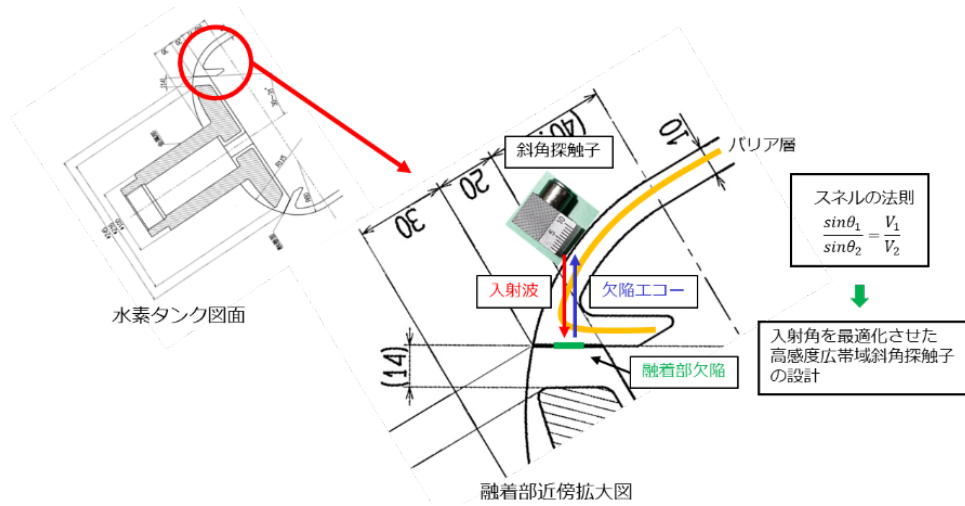


図 15 超音波を融着面に入射して欠陥エコーを検出



斜角探触子：1MHz  
 入射角：約40°

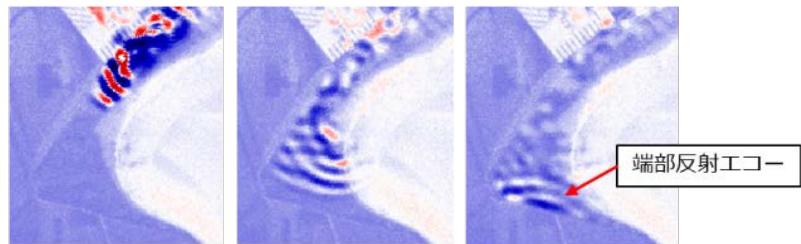


図 16 レーザー超音波可視化法による超音波伝搬の様子



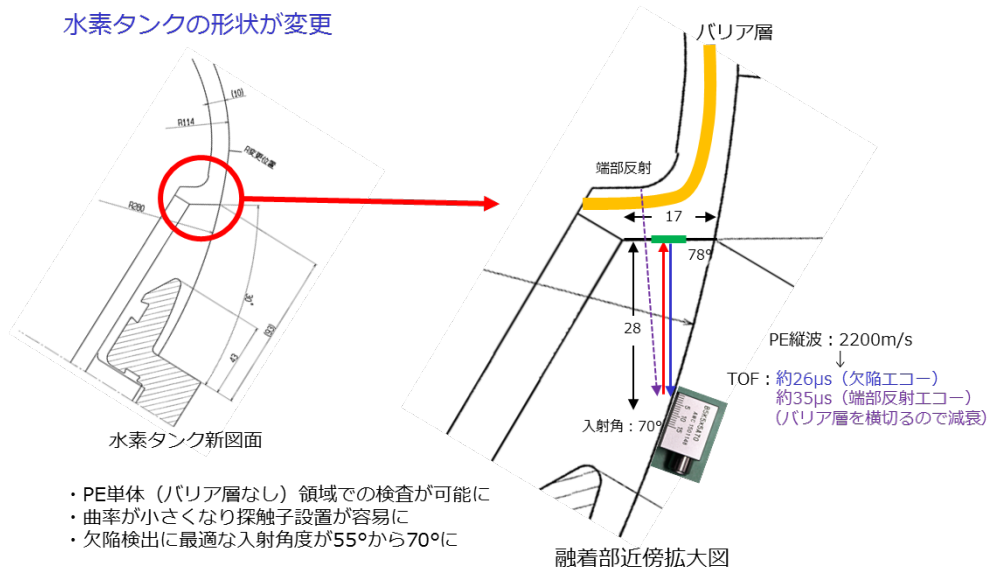


図 17 超音波による融着部欠陥検出

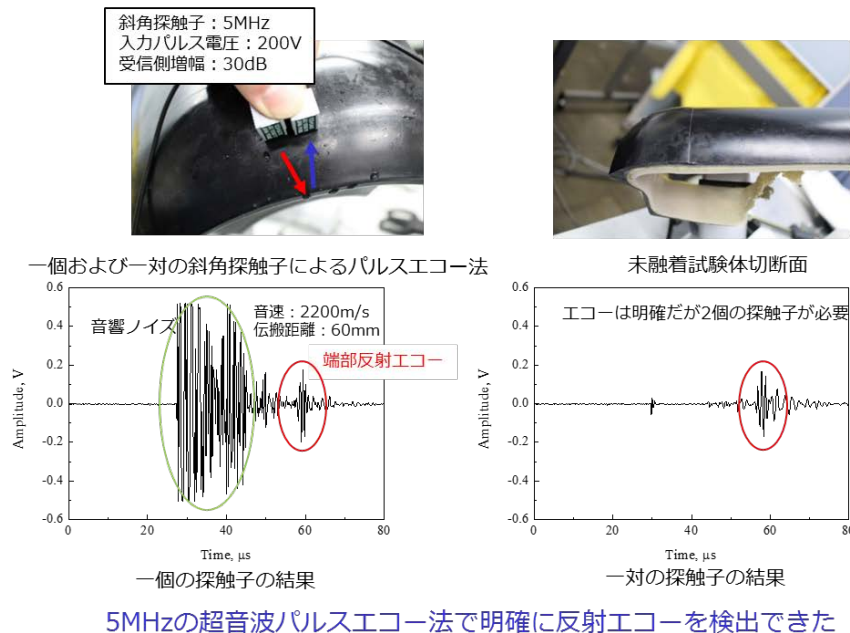


図 18 未融着試験体を用いた予備実験

#### (4) LLDPE ライナー、エポキシ樹脂の接着性向上技術の確立

接着難素材である LLDPE ライナーと CFRP 強化層との接着力向上のため、ライナーにフレイム処理を施して活性化させた上でプライマー処理を行う。その際のフレイム処理の条件を決定するため、簡易試験を実施した、その状況を図 19 に示す。ライナーのぬれ性評価のため、フレイム処理機のヘッド移動速度・軸回転速度・バーナーからライナーまでの距離・火力設定を検証した。

結果、dyne レベルを 40~50 dyne/cm 程度にする条件を決定した、その状況を図 20 に示す。これに GFRP を積層し、層間剥離テストを実施した。約 70~90Kg の荷重でライナー層と GFRP 層の剥離は確認されず、図 21 に示す通り GFRP 層積層部分での層間剥離を確認した。

これにより、ライナーと GFRP 層との接着力が GFRP 層間接着より強いことを確認し、最適なフレイム処理条件を確立した。

フレーム処理後のぬれ性試験実施状況

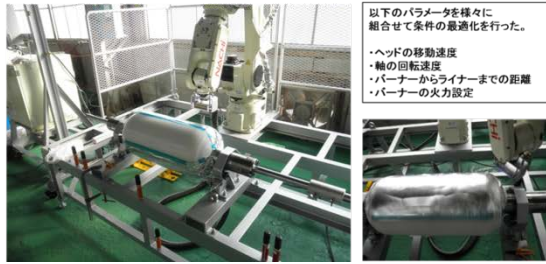


図 19 フレーム処理による条件出し

フレーム処理後のぬれ性試験実施状況

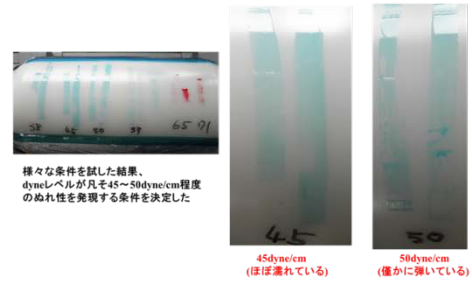
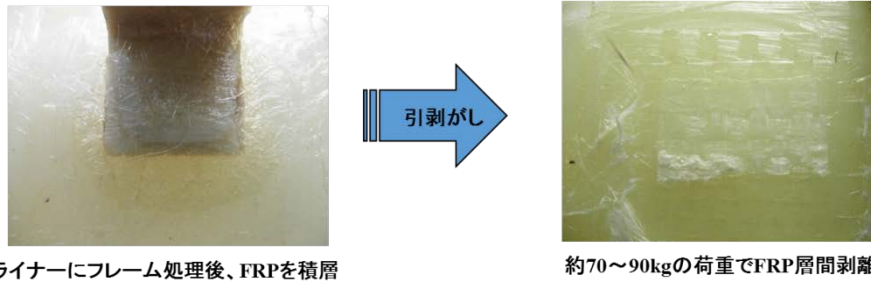


図 20 ぬれ性試験



ライナーにフレーム処理後、FRPを積層

約70～90kgの荷重でFRP層間剥離

図 21 フレーム処理後の LLDPE・GFRP 間の剥離試験状況

(5) 水素ガスバリア材として G-Polymer を用い、回転成形によって一体で積層成形を行う。

① ホットプレートによるラボ試験

回転成形に使用する各種材料を用いて、ホットプレートにより図 22 の通り、ラボ試験を実施した。

G-Polymer など各候補材料について、加熱温度・溶融時間・流動性を検証し、結果、LLDPE との結合に適した温度帯と時間を決定した。



図 22 ホットプレートによるラボ試験状況

また、30L、100L ライナーを試作成形し、積層状態を図 23 に示す通り確認した。いずれの場合も層間剥離は、検出されず、ジグソーによる切断振動においても剥離を起こさない事を確認した。

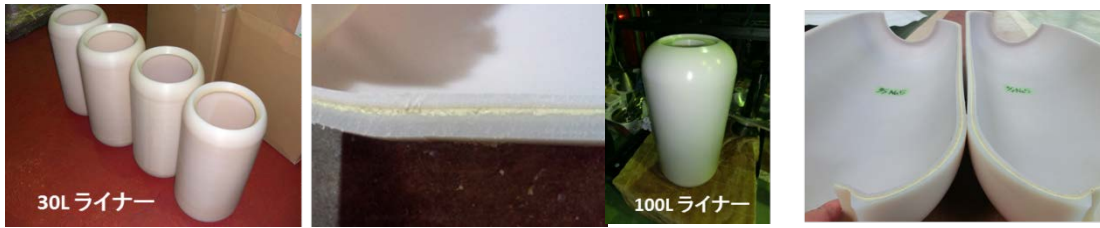


図 23 30L・100L のバリア材を使用したライナー成形状況

さらに、回転成形にて製作したライナー本体より、試験片を切り出し、X線 CT 試験により内部観察を行った。その結果、図 24 に示す通り、ボイドが層間の接着層部分に多数存在している事が判明した。また、水素暴露試験を実施し、暴露後の状況においては、加圧によりボイド部分に亀裂が進行している事を確認した。現在、使用材料の条件見直しを実施中であり、接着層のベース材及び添加剤を改良中。バリア層の材料についても改良を実施中。ライナー材については、強度が良好な結果を出している事から、今後、使用材の改良は、タンク強度（バースト・サイクル試験等）とは、切り離し検証を継続する。当面 LLDPE 単層ライナーにより開発を実施する。

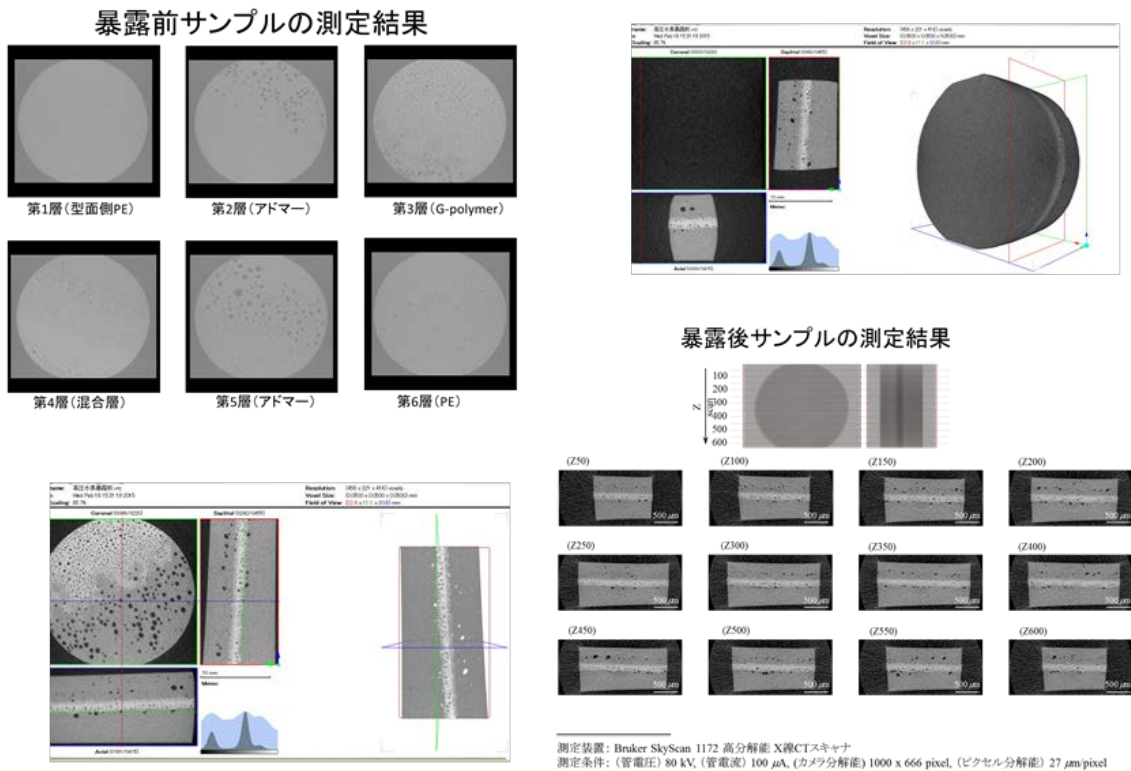


図 24 多層ライナーの X 線 CT 観察状況

- (3) バルブ等外部機器との接続のための口金について、LLDPE に口金金属をインサートした水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを検討した。当初は、図 25 の通り O リング 2 種類を使用する構造としていたが、検証の結果、図 26 に示す通り 1 種類の O リングで対応する構造とした。

提案当時

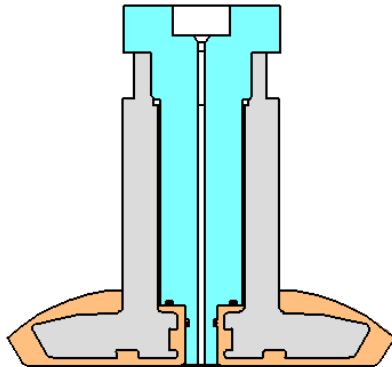


図 25 提案当初の口金ブロック

最終仕様

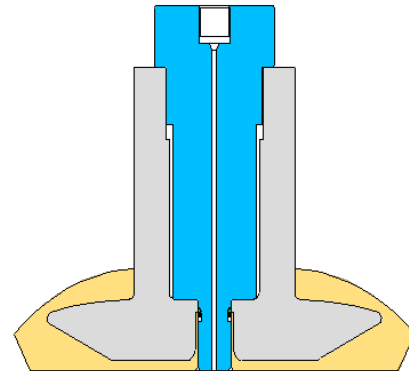


図 26 開発した口金ブロック

① SUS316L ハイニッケル製口金を LLDPE 成形品にインサートした口金ブロックの開発

口金ブロック成形は、図 27 に示す通り、射出成形にて LLDPE に口金をインサートして、製作する。製作の際は、型の予備加熱を行い、十分な加圧力及び保持時間と冷却時間をとることで成形条件の最適化が図れた。これにより、口金と樹脂が密着した状態で成形することが可能となり、更に、精度が要求される内面からの漏洩を防止することが可能となった。



図 27 口金をインサートした口金ブロックの製作状況

② 口金と配管接続具（プラグ）のシール方法の開発

テスト用鉄製圧力治具を製作し、内部に LLDPE のカップを装着して、配管接続具（プラグ）とのシール性テストを行った、その状況を図 28 に示す。提案当時のシール構造では、O リングの破損が確認された。これを受け、シール構造の見直しを行い、310MPa 以上の圧力でもシール破損を起こさない構造を確立した、その新型シール構造を図 29 に示す。





図 28 口金部シールテスト状況

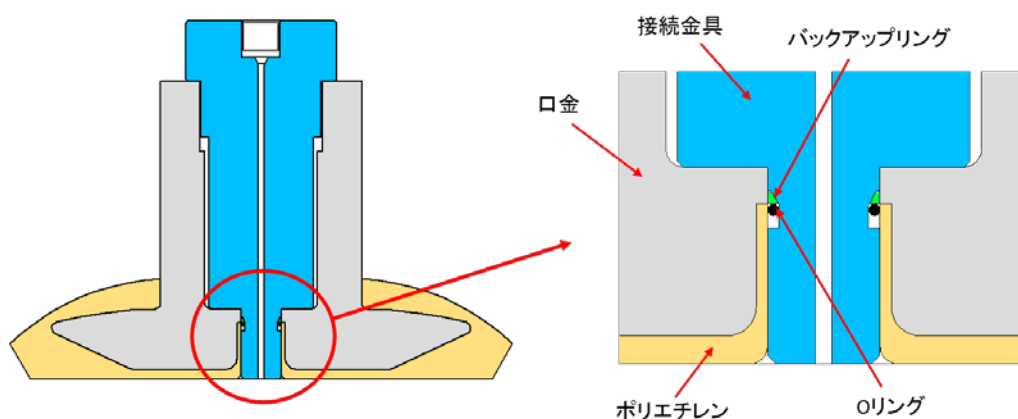


図 29 新型シール構造

(4) 口金ブロックとプラスチックライナーを融着し、CFRP で補強した、低コスト Type4 複合容器の試作

① 30L ライナーへの CFRP-FW 補強方法の研究開発

CFRP の強度を最大限に生かす事を目的に FW パターンを検証した。図 30 に示す通り、積層形状の確認を行いながら、最適な FW パターンを決定し、破裂圧力の調整を行った。これを繰り返しながら、組み上がった FW パターンにより FW 成形を実施した。

バーストテストにて評価を行った結果、スタート時の CFRP 板厚を大幅に低減し、更なる検討を実施中である。

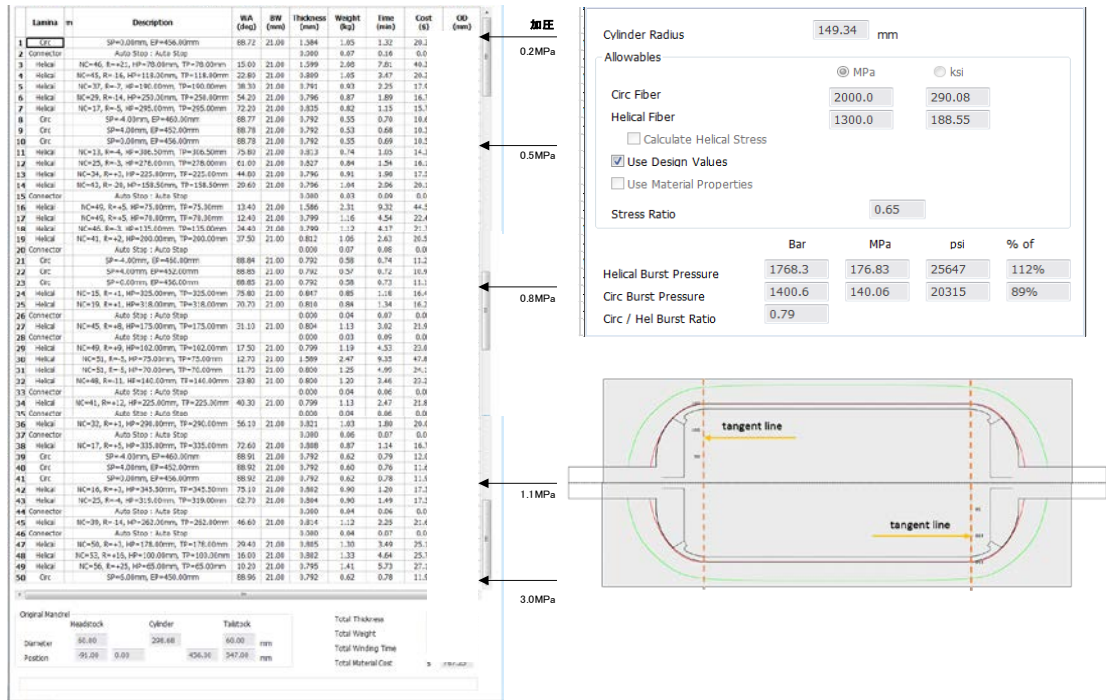


図 30 FW パターンの算出

② CFRP-FW 技術の確立

提案当初の 30L 複合容器は、積層理論により板厚を算出していた。その概要を図 31 に示す。

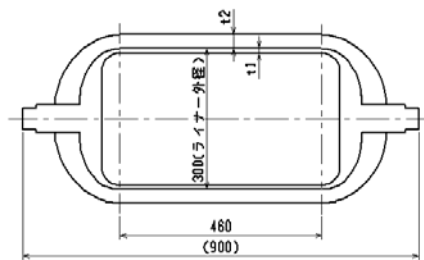


図 31 提案時 30L 複合容器概仕様

破裂試験を繰り返した結果、補強板厚 62.7mm における破裂圧力は、173MPa であった。

直胴部 FW 切断面を観察した結果、図 32、図 33 の通り各層が同心円状でなく、繊維によれが生じており、CFRP 層全体が内圧に対し、補強として寄与していないことがわかった。

FW プログラムの改良により、CFRP 層全体が内圧に対して、有効に寄与することが可能になり、図 32、図 34 で示す通り、ほぼ同程度の破裂圧力 (169MPa) を補強板厚 30mm で達成することが可能となった、その 30L 複合容器の外観を図 35 に示す。



図 32 30L CFRP 補強層切断面



図 33 30L 提案当初の CFRP 補強



図 34 30L 改良した CFRP 補強

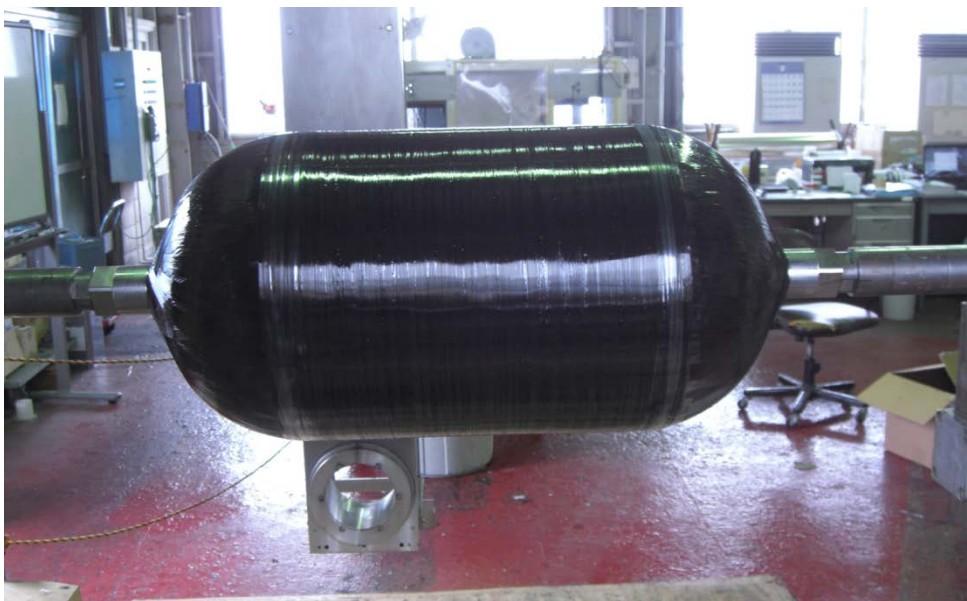


図 35 改良した FW プログラムによる 30L 試作品



③ 100L 複合容器への応用

設計圧力 106MPa (破裂圧力 約 240MPa) の 100L 複合容器を上記②で確立した FW 成形技術を用い試作した、その外観を図 36 に示す。その結果、補強板厚 67 mm 、複合容器重量 180Kg で成形することができた。図 37 にその形状寸法を示す。



図 36 新プログラムによる 100L 複合容器成形外観

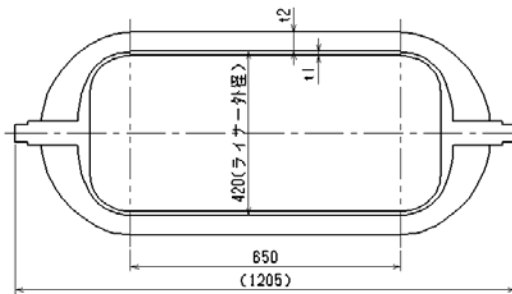


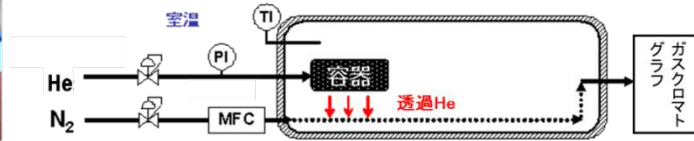
図 37 再計算した 100L 概仕様

(5) LLDPE 単層ライナーを用いた 30L 複合容器の 106MPa 時 ガス透過率

ヘリウムガスを使用し、図 38 のヘリウムガス透過試験装置を用いて、図 39 で示す 30L の試作した容器について、ガス透過率の評価試験を行った。その結果を以下に示す。

JPEC ガイドライン案及び KHKS0128 に規定されている 5cc/L・h は満足した。

今後、尚ガスバリア材を使用したライナー成形技術を確立し、厚さ 10mm 以下のライナーでも当初目標のガイドラインの 1/10 以下 (0.5cc/L・h) を目指す。



水素ガス透過率の目安として、Heガス 0.2~12.5MPaで透過量を測定し、106MPa時の透過率を試算した結果を以下に示す。

図 38 ヘリウムガス透過試験装置

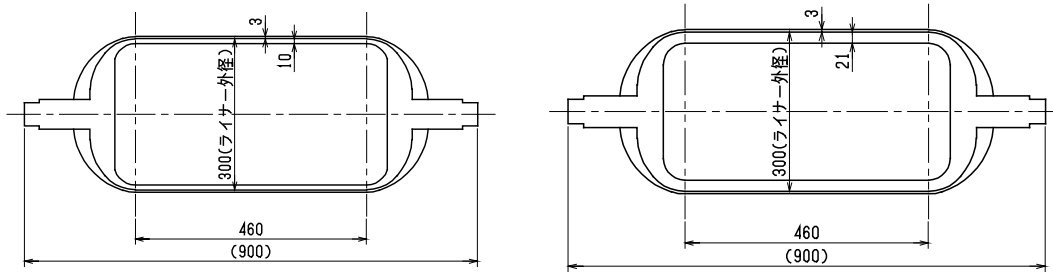


図 39 試作した 30L ヘリウム透過試験用容器

① 1MPa~12.5MPa の圧力間での上昇・下降による 106MPa 透過率の試算

板厚 10mm の LLDPE 製ライナーを CFRP で 3mm 補強した複合容器を窒素ガスでパージしたチャンバーに入れ、複合容器にヘリウムガスを上記の圧力に充填し、チャンバー内のパージした窒素ガスに透過するヘリウムガスの濃度を分析して、各圧力のヘリウムガス透過量を測定した。その結果を用い 106MPa 時のヘリウムガス透過率を試算した、その結果を図 40 に示す。平均透過率は、3cc/L・h となった。

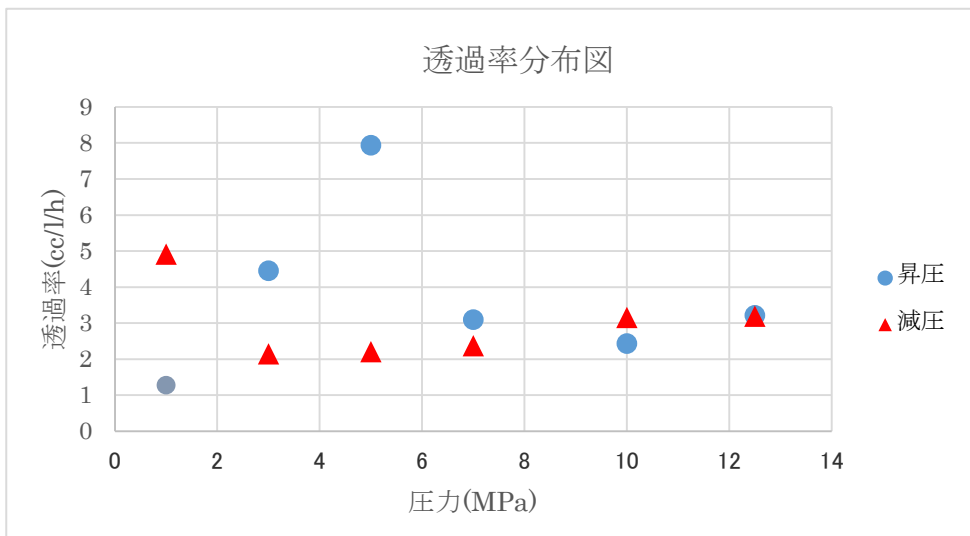


図 40 1MPa~12.5MPa の圧力の間の上昇・下降を実施した透過率

② LLDPE10mm 及び LLDPE21mm のライナーを用いた複合容器のガス透過率

LLDPE10mm 及び LLDPE21mm のライナーに CFRP3mm を補強した複合容器を上記①と同様に図 38 に示すヘリウムガス透過量測定装置により各圧力の透過量を測定した。その結果を用い、106MPa 時のヘリウムガス透過率を試算した。結果を図 41、図 42 に示す。平均ヘリウムガス透過率 1.7cc/L・h 及び 0.5cc/L・h を得た。

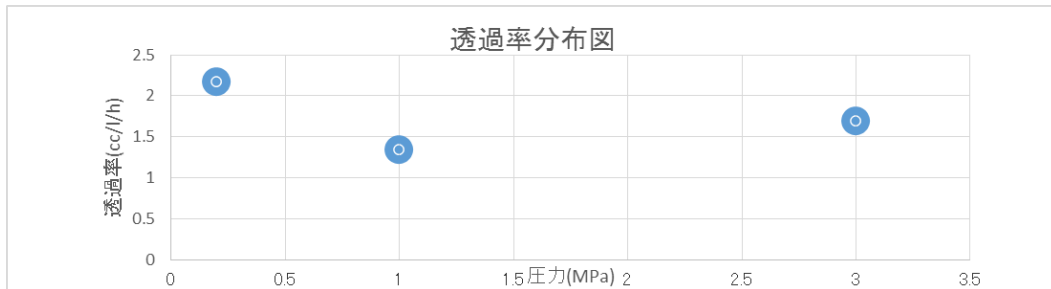


図 41 LLDPE 10mm CFRP3mm 複合容器のヘリウムガス透過率

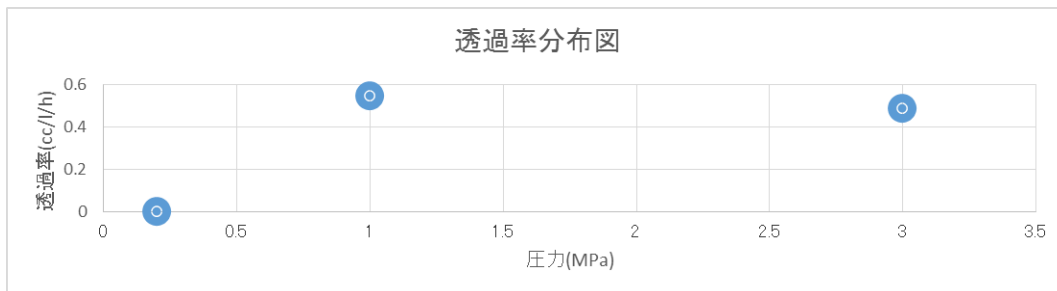


図 42 LLDPE 21mm CFRP3mm 複合容器のヘリウムガス透過率

### 3.2 成果の意義

(1) 他システムに対する優位性

設計圧力 106MPa、サイクル試験 10 万回をクリアした水素ステーション用 300L Type4 複合器蓄圧器は現在類を見ない、この蓄圧器は水素燃料電池自動車の世界統一基準 (gtr) 適合の自動車への充填においても対応できる可能性が有り、各種基準に対応が可能となる。

(2) 軽量化の実現

本研究開発の Type4 複合容器蓄圧器はライナーがプラスチックであることから Type 1 など他のタイプの蓄圧器に比較し、構造的に軽量である。

また、本研究で得た成形技術により軽量化の実現が可能となる。蓄圧器の輸送、水素ステーションの建設における、基礎、ラックなどが小型・簡易化され、ステーション建設全体としてコストダウンに繋がる。

(3) 低コスト化の実現

上記(2)の軽量化の実現と共に、本研究による材料費の削減、および、高速成形による成形時間の短縮を行い、低コスト化の実現を行った。

(4) 水素ガス透過量の低減

本研究では LLDPE 単層によるライナーを使用し、ガイドラインの水素ガス透過率である  $5\text{cc}/\text{L}\cdot\text{h}$  を満足する複合容器蓄圧器の研究開発を主に行っている、ヘリウム  $106\text{MPa}$  における、透過率は LLDPE で製作した板厚  $10\text{mm}$  のライナーを使用すれば、充分可能である。別途検証中の水素ガスバリア材を用いた多層ライナーにより、Type4 蓄圧器のガイドラインにおける、水素ガス透過率を大幅に減少できるライナーも他社の協力を得て、研究中である。将来的により小さな透過率を求めていく場合、有効である。

(5) 本研究の汎用性

本研究による、中型までの Type4 複合容器の研究開発成果により、低圧ではあるが、より軽量、ガスバリア性に優れた、宇宙用水素及び酸素ガスタンクに応用できる。また、より軽量で水素ガスの貯蔵効率、安価な容器が求められている車載用水素ガス容器への応用が可能である。

3.2 成果の最終目標の達成可能性

平成 27 年度における中間目標では「設計圧力  $106\text{MPa}$ 、10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成 25 年 6 月時点）の規定を満たす大型高压水素用 Type4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する」、また、平成 29 年度における最終目標では「水素ステーションにおける実証に向けて、大型 Type4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。」としている。

(1) 大型  $300\text{L}$  ライナーの一体成形は、小型  $30\text{L}$  直火式成形の課題を克服した、中型  $100\text{L}$  の炉式成形を採用したことで、大型成形に対する温度管理など成形条件を確立した。このことにより大型ライナーの一体成形が可能となった。

(2) 平成 27 年度中間目標については、 $30\text{L}$ 、 $100\text{L}$  と試作、評価を重ねて行い  $106\text{MPa}$  時の破裂圧力約  $240\text{MPa}$  は現時点  $30\text{L}$ 、 $100\text{L}$  共にクリアしている。また、 $5\text{cc}/\text{L}\cdot\text{h}$  以下の水素透過率の容器を製作することについても、ヘリウムガスを用いた  $1\sim 12.5\text{MPa}$  加圧時のヘリウムガス透過量測定による、 $300\text{L}$ 、 $106\text{MPa}$  時のヘリウム透過率では、LLDPE を材料とした厚さ  $10\text{mm}$  使用の複合容器蓄圧器で平均  $3\text{cc}/\text{L}\cdot\text{h}$  とクリアしており、水素ガスガス、 $106\text{MPa}$  でも達成できるものと考えているが、水素ガス、 $106\text{MPa}$  での確認試験を行なう必要が有る。現在、 $100\text{L}$  複合容器蓄圧器による  $106\text{MPa}\sim 10\text{MPa}$  間加圧、減圧サイクル試験 10 万回以上の達成については、安全率を上げた構造の複合容器蓄圧器など対策により達成可能であると考えている。その他ガイドラインの水素ガスサイクル試験などについては今後検討し検討課題を抽出して対策を実施することで対応する。

(3) 平成 29 年度における最終目標については、最終製品の  $300\text{L}$  と、口金を含む口金ブロックとライナー本体の融着部構造は、 $30\text{L}$ 、 $100\text{L}$  複合容器蓄圧器と同構造である。また、補強構造においては、 $100\text{L}$  のライナー外径  $420\text{mm}$  と同外径で試作評価を行ってきたため、破裂圧力については基準を満足するものとする。

現有している FW マシンスピンドルの最大搭載荷重は  $750\text{Kg}$  であり設計時の製品重量約  $450\text{Kg}$  の

複合容器蓄圧器の成形は充分可能である。また、300L、106MPaにおける水素ガス透過量においては、試作しヘリウムガスで評価した30L複合容器蓄圧器より、表面積／内容積比で有利であることから300Lでも基準を満足できると考える。最終目標の達成は可能であると考え

#### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

##### 4.1 まとめ及び課題

###### (1) 30L 複合容器による研究開発

30Lの試作・評価により主に口金と外部配管系接続具とのシール構造の確立、口金ブロックのLLDPEとライナー本体LLDPEとの融着技術の確立、および、難接着材料であるLLDPEとCFRPのマトリックスであるエポキシ樹脂との接着強度を高めるための、フレーム処理条件の確立を行った。

また、複合容器のガス透過率の検討については、単層LLDPEライナーを使用し、加圧時変形量を考慮して、CFRP補強を3mmと薄く成形した。この容器により、ヘリウムガスにて1~12.5MPaに加圧し、測定した透過量を基に106MPa時の透過率を試算し良好な結果を得た。ガスバリア性を更に上げるため、ガスバリア材をLLDPEでサンドイッチ構造にした多層ライナーを試作しヘリウムガスによるガス透過率を測定・試算した結果、非常に良好な結果を得たが、層間に微小な気泡が存在し易く、この気泡を成形時に発生させない成形技術を材料の変更も含め、材料、成形方法を検討中である。

###### (2) 100L 複合容器による研究開発

100Lの試作・評価では主に、中型100L・LLDPEライナーの一体成形の可能性、CFRPによる厚肉容器の容器構造とFW成形技術の確立の検証を行った。

その結果、100Lライナーの単層一体成形が可能であることから、300Lライナー成形においても可能で有る。また、FW成形技術では、破裂圧力240MPaを本事業提案時の予定容器重量で達成できた。

###### (3) 今後の課題

- ① ライナー融着部の健全性の評価については、現在、九州大学の指導の下に行っている実験検証と産総研筑波センターで行っている超音波探傷技術を応用した融着部の評価方法をまとめ、装置を購入し評価方法を確立する。
- ② 複合容器蓄圧器に水素ガスで106MPaに加圧して実ガスによるガス透過率を測定する。
- ③ 将来的にはガスバリア材を使用した水素ガス透過率の小さな、耐久性のあるライナーの開発。100L複合容器によりサイクル試験の実施。
- ④ 他未実施の設計確認試験を行う。
- ⑤ 更なる軽量化、コスト低減。

##### 4.2 実用化・事業化の見通し

本研究開発の実用化・事業化の見通しは、今後開発する大型Type4複合容器蓄圧器が各種設計確認試験に合格し、特認を取得する事で事業化に向けて動き出す、すなわち、水素ガスを活用した次世

代の低炭素なサステナブル社会の実現を目指す産業界に使用されること及び水素ステーションの建設促進に貢献することである。

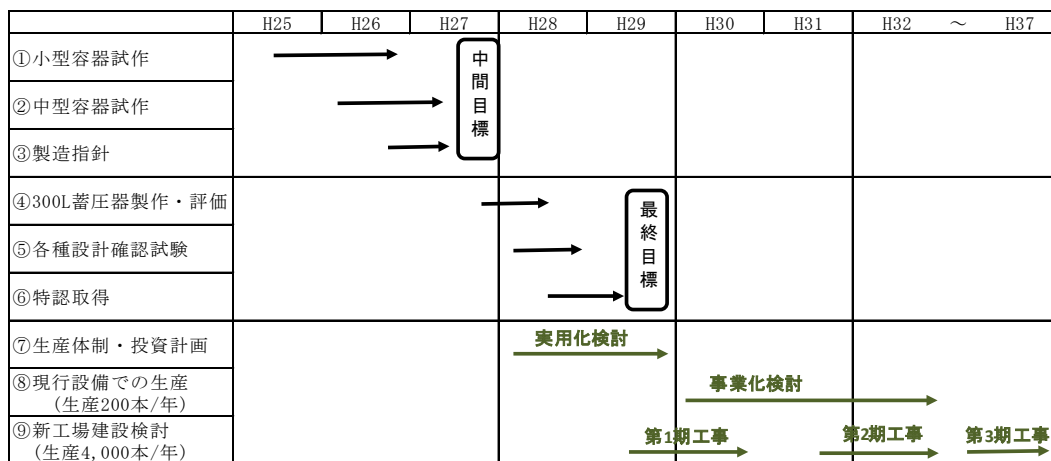
#### 4.3 今後の展開

- (1) 各種設計確認試験を終了し、特認取得によって本研究開発は終了し、その成果に基づいて広く普及を図る。
- (2) 成果の活用が最も期待される市場は、給油所を運営する揮発油販売業者並びに水素ステーション設備を設置する業者である。特認取得後、速やかに普及が図れるように導入が考えられる揮発油販売業者等を対象にして、営業活動を行う。また、協力団体等へのPRを行う。

#### 4.4 実用化・事業化に対する課題と今後の方針

- (1) 製品仕様や組試験等にジャストフィットする生産設備(工場立地、工場・建物、試験・研究設備を含む)を選択することにより、最適コストでの生産を目指すための検討を行い、新工場を建設する。
- (2) 市場ニーズに合った生産体制と在庫計画を構築し、需要に応える供給力を備えるため、マーケティングを実施し、販売促進に努める。
- (3) 実生産設備での製造コスト削減を継続することに加え、水素ステーション設備業者と材料・部品、パッケージングなどの共同研究を進め、水素ステーション建設のトータルコスト削減に努める。

#### 4.5 マイルストーン



#### 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－  
該当なし。

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
(ア)	平 25.5.13	特願 2013-101292	高圧ガス容器	中国工業株式会社



( (Ⅱ) - ① - (5) ) 「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」 共同研究先：丸八(株)、(株)巴商会

●成果採り(実施期間：平成25年度～平成29年度終了(または予定))

- ・高圧容器の設計解析
- ・タイプ4・30L～150L級複合容器蓄圧器の試作開発 (①樹脂ライナーの試作開発)
- ・タイプ4・30L～150L級複合容器蓄圧器の試作開発 (②複合容器蓄圧器の試作開発)
- ・KHK認証に必要な情報収集。
- ・海外情報収集、市場調査、

●背景/研究内容・目的

- ・設計圧力106MPa、サイクル使用回数10万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成25年6月時点)の規定を満たす高圧水素用タイプ4(樹脂製ライナー)複合容器蓄圧器(100L～150L級)の製造指を構築する。(平成27年度末)
- ・500L級大型複合容器蓄圧器の製造指針を確立する。(平成29年度末)

●研究目標

実施項目	目標
高圧容器の設計解析	30L～150L級の設計圧力106MPa、サイクル回数10万回の複合容器蓄圧器の製造指針を構築する
複合容器蓄圧器用樹脂ライナーの試作開発	30～150Lkyuu複合容器蓄圧器用樹脂ライナーの試作開発
30L～150L級のタイプ4複合容器蓄圧器の試作開発	設計圧力200MPa、サイクル回数10万回の福城手容器蓄圧器の試作開発
KHK特任取得のための要件整備	開発した容器にて、KHKの特認取得のための要件整備
情報収集、委員会等の開催	進捗状況に合わせて、委員会を開催し、課題及び方向性を検討する。

●実施体制及び分担等

丸八(株)：設計解析、樹脂ライナーの試作開発、複合容器蓄圧器の試作開発  
 (株)巴商会：KHK特任取得のための要件整備を丸八(株)と連携して実施する

●これまでの実施内容 / 研究成果

- ・設計圧力106MPa、サイクル回数10万回の複合容器蓄圧器の設計解析の実施及びサイクル回数100万回のシミュレーションを実施し信頼性安全性を確認した。
- ・鏡部とPE管の溶着による長尺大型樹脂ライナー製造技術の確立(溶着の信頼性について検証)
- ・溶着による複合容器蓄圧器を10本試作開発、破裂圧力200MPa、サイクル10万回を目標に実証試験を7月町末に実施予定。12月末までに目標達成予定。
- ・KHK認証取得準備 KHKと特任取得の為の協議を開始した。
- ・J-PEC複合容器委員会等へ出席し、複合容器の基準作成の動向を確認した。樹脂製ライナータイプ4の基準策定試験は、本年度から開始され基準策定は平成29年度になりそうであることを確認した。
- ・海外状況の調査

Lincoln、ラックスファア等の複合容器の現状(海外の蓄圧器及び輸送容器への使用状況)、日本市場への海外メーカーの対応(日本法規に積極的に対応していく意向はない)を確認した。また、ヨーロッパでは、イタリアFaber社に代表されるタイプ2容器が、蓄圧器として多く採用されていることを確認した。

- ・検討委員会の開催
- 大阪大学を中心に複合容器蓄圧器設計及び制作に必要な有限要素法によるフィラメントワイディングのシミュレーションを実施し、首都大東京及び川原先生を交えて検討を実施した。

●今後の課題

- ・KHK認証取得準備
- 技術基準策定と本研究開発品との整合性の確認。●研究成果まとめ
- ・海外状況の調査

今後の海外複合容器メーカーの日本市場への対応(参入の意思及び価格等)状況変化の継続調査。

・検討委員会の開催

シミュレーションに基づく試作を実施し、課題を抽出し解決策等の検討を実施する。

●実用化・事業化の見通し

研究開発した基盤技術を基に、大型複合容器蓄圧器の開発に取り組む。また150L級容器のKHKの特認をH28年度中に取得し、容器無事ネス、水素ステーションの開発を実施し、小型低価格水素STの具現を目指す。

実施項目	成果内容	自己評価
高圧複合容器の設計解析	設計圧力106MPa、サイクル10万回に耐える容器の設計7種類は実施済み	○
樹脂ライナーの試作開発	溶着式による長尺大型容器製造技術の確率ができた	○
200MPa、サイクル回数10万回の複合容器試作開発	10本試作開発、8月に破裂試験を実施し、充填86MPa、耐圧106MPaに対し125MPaを達成、引張強度200～300MPaの破裂試験及びサイクル試験を実施予定。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	2	6	3



## 課題番号：Ⅱ－①－(5)

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

### 樹脂製ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発

丸八株式会社

株式会社巴商会

#### 1. 研究開発概要

燃料電池自動車普及及び促進に必要な水素ステーションの低コスト化及び供給高圧水素ガスの低コスト化の為、TYPE 4 複合容器による蓄圧器、貯蔵輸送システムの構築を目的とする。

超高圧・大容量の TYPE 4 複合容器開発の為の設計・解析等を実施し、それに基づき、現行設備で製作可能な範囲で水素ステーション用に供する TYPE 4 複合容器蓄圧器（設計圧力 106MPa、容積 30L 級～150L 級）を試作開発する。現行法規及び基準整備に対する対処方法の検討後、実証試験を実施し樹脂ライナーの成形溶着技術、ワインディング技術及び貯蔵輸送システム等の要素技術を見極め、大容量化の課題を抽出し解決に取り組むと共に実証試験を実施し実用化を図る。

#### 2. 研究開発目標

設計圧力 106MPa、サイクル使用回数：10 万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成 25 年 6 月時点）の規定を満たす 100L～150L 級大型高圧水素用タイプ 4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築し、平成 29 年度末までに 500L 級大型複合容器蓄圧器の製造指針を確立する。

#### 3. 研究開発成果

##### 3. 1 研究開発成果、達成度

###### (1) 容器の設計及び解析

超高圧（設計圧力106MPa）、大容量化（500L）を視野に入れ、タイプ 4 複合容器の設計解析を実施した。現行設備で製作可能な容器（30L～150L級）の設計及び解析を実施し、現行法規及び基準整備に対する対処方法の検討を実施した。設計圧力106MPa、サイクル回数10万回を達成し、信頼性安全性に対処した複合容器蓄圧器の設計解析に当たり容器形状、口金、FWパターン、CFRP層の構造等について検討した。蓄圧器設計に当たっては、タイプ 4 複合容器蓄圧器が、まだ日本では認知されておらず信頼性安全性に対しより厳しい視線が注がれているため、安全係数2.25倍とした場合のシミュレーション計算を行い、平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し回数100万回に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できたことを本研究の最大の成果として報告する。また、鏡部とポリエチレンパイプ（以下、PE管）との溶着による長尺大型樹脂ライナー開発に当たっては、溶着樹脂ライナーの試作が遅れたため、溶着部の強度、及び溶着時に発生する溶着部の盛り上がり部所の端辺の強度等について引張強度試験、X線CT検査等を実施するなどして信頼性安全性を確認した。

###### (1) - 1 複合容器の有限要素解析モデル

昨年度に引き続き、複合容器の有限要素モデルを作成し、内圧が作用した際のフィラメントワインディング層の強度解析を実施した。図 1 に解析モデルの概要を示す。ポリエチレン製ライナー部に CFRP フィラメントワインディング層をフープ巻ならびにヘリカル巻により巻きつけた構造となっている。フィラメントワインディング層は積層構成を[□/□/□/□]とする一方向繊維強化材としてモデル化し

ている（ $\theta$ は繊維配向角）。

図1 解析モデルの概要

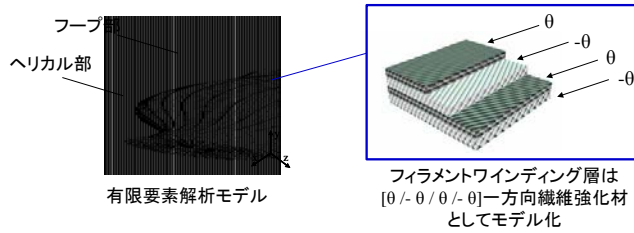


図2に解析モデルの一例を示す。対称性を考慮し、容器全体の1/8モデルとし対称面を面拘束している。ここで、CFRP層の繊維配向角は式(1)により設定した。

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{R_0}{R}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\theta$ は繊維配向角、 $R_0$ は口金部半径、 $R$ は任意点での半径である。

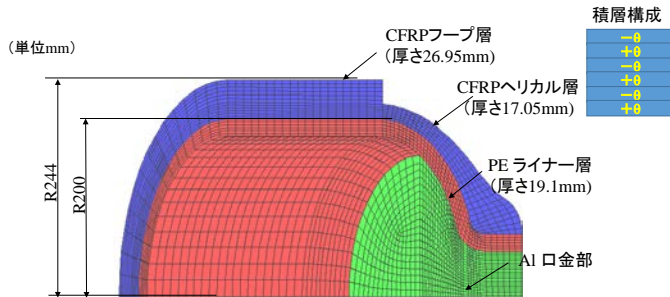


図2 解析モデル

使用した材料物性値を、下記表1に示す。CFRP層は一方向性材としてモデル化を行い、口金部にはAl6061T6の物性値を、ライナーはポリエチレン容器の材料物性値を用いた。

CFRP				Al6061T6		Polyethylene	
(MPa)	L	T	Z	(MPa)		(MPa)	
E	134044.0	8039.143	8039.143	E	72000	E	4360
	TZ	ZL	LT	G	27000	G	1620
G	2834.677	4177.779	4177.779	v	0.33	v	0.34
v	0.418	0.014416	0.240375	Ft	290	ft	64.5
	L	T	Z	Fc	580	fc	144.5
Ft	1734.51	95.142	95.142	Fs	290	fs	64.5
Fc	3188.976	106.574	106.574	α	23.9 × 10 <sup>-5</sup>	α	11 × 10 <sup>-5</sup>
	TZ	ZL	LT				
Fs	98.835	98.835	98.835				
α	2.0 × 10 <sup>-5</sup>	2.0 × 10 <sup>-5</sup>	2.0 × 10 <sup>-5</sup>				

繊維: Carbon fiber T300  
樹脂: Epoxy-F533  
繊維含有率: 60%

表1 材料物性値

## (1) - 2 口金の傘部径の影響の評価

### (1) - 2 - 1 解析モデル

図2に示した解析モデルにおいて、口金の傘部の寸法および形状を変更した解析モデルを作成し、その影響を評価した。口金形状の外形を図3に、各パラメータを表2に示す。また、口金半径を35mmとした場合の解析モデルを図4に、口金半径を70mmとした場合の解析モデルを図5に示す。下記に、図3 口金形状の外形を示す。

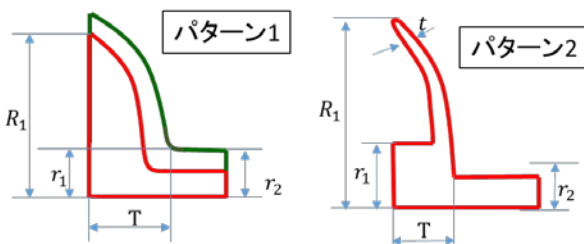


表 2 口金の傘部の寸法および形状

$R_1$ [mm]	$r_2$ [mm]	$t$ [mm]	$T$ [mm]	$r_1$ [mm]
100	35	パターン 1	12	35
		5	51	35
		10	51	35
	70	パターン 1	12	70
		5		
		10		
160	35	パターン 1	12	35
		5	51	35
		10	51	35
	70	パターン 1	51	70
		5	51	70
		10	51	70

図 3 口金半径を 35mm とした場合の解析モデルを、下記 左に示す。

図 4 口金半径を 70mm とした場合の解析モデルを、下記 右に示す。

図 3

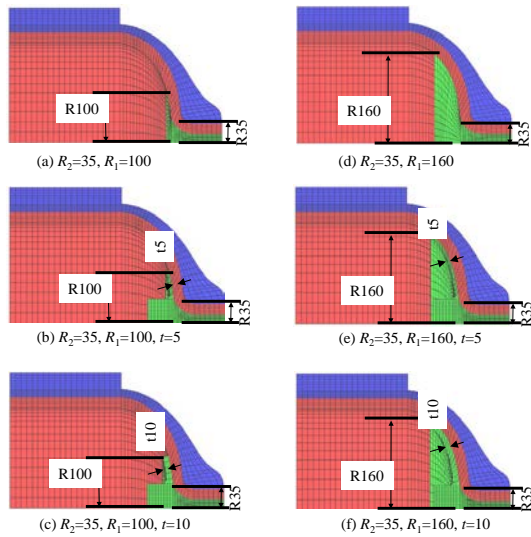
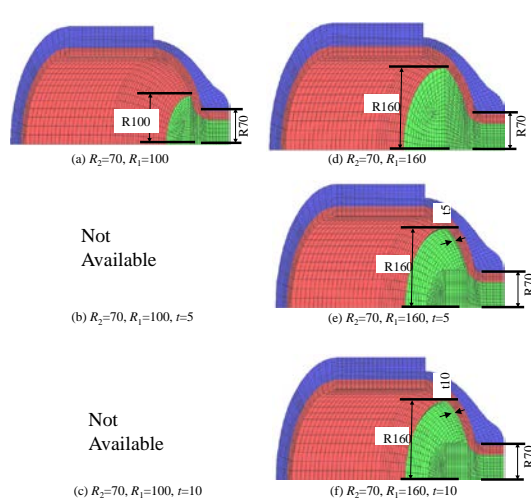


図 4



### (1) 2-2 解析結果

図 5 に口金半径を 35mm とした場合の各モデルにおける繊維方向の応力分布を示す。内圧 106MPa を作用させており、CFRP 層のみを表示している。図より、いずれのモデルにおいても傘部周りで応力集中が発生していることが分かる。また、傘部半径が小さいほど繊維の応力集中は低い。

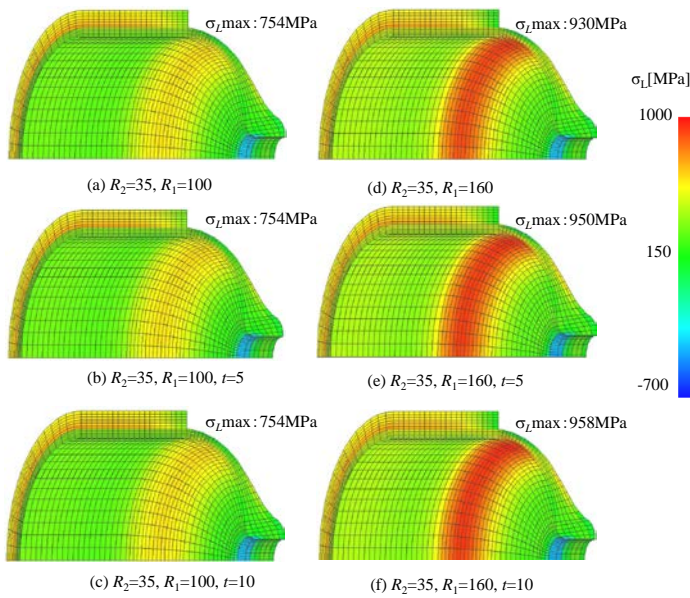


図 5 各モデルにおける繊維方向の応力分布（口金半径を 35mm とした場合）

同様に、図 6 口金半径を 70mm とした場合の各モデルにおける繊維方向の応力分布を示す。口金半径を 35mm の場合と同様に傘部周りで応力集中が発生していることが分かる。また、傘部半径が小さいほど繊維の応力集中は低い。

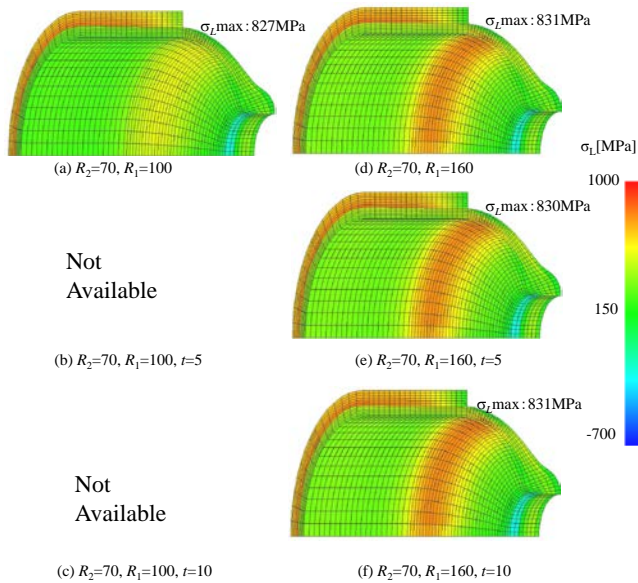


図 6 各モデルにおける繊維方向の応力分布（口金半径を 70mm とした場合）

図 5 および図 6 において、いずれも  $R_1=100\text{mm}$ ,  $t=0$  とした場合に応力集中が低い結果となった。ここで、図 5(a) と図 6(a) の比較を図 7 に示す。最大応力は  $R_2=35\text{mm}$  の方が低いですが、ドーム部における応力は  $R_2=70\text{mm}$  の方が低い。複合容器の製造過程において、胴体部の強度を上げるには胴体部のみフィラメントの巻き数を増加させればよいが、ドーム部の強度を上げるにタンク全体を巻かざるを得ないことから、本研究では  $R_2=70\text{mm}$  を最適な形状とした。

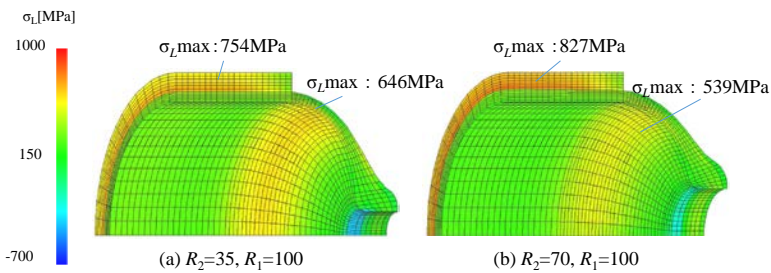


図7 繊維方向の応力分布の比較 ( $R_1=100\text{mm}$ ,  $t=0$ )

### (1) - 3 複合容器の疲労信頼性評価

前節で得られた応力分布と一方向CFRPの疲労試験結果を用いて、設計目標である  $10^6$ 回の繰り返し負荷に対する信頼性を評価した。疲労試験結果には、「平成22年度～平成24年度 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発」において取得された同材料の  $S-N$ 線図を用いた。なお、試験は軸荷重、片振り（応力比  $R=0.1$ ）で実施されている。一方向CFRPの  $S-N$ 線図を図8に示す。

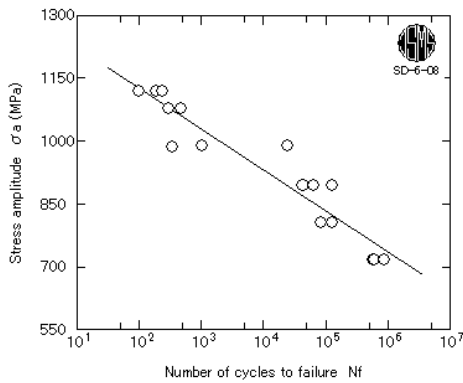


図8 一方向CFRPの  $S-N$ 線図

複合容器に作用する応力履歴と、疲労試験における応力履歴は応力比が異なることから、Goodman線図によりその影響を考慮する。図9にGoodman線図および本解析で得られた平均応力と応力振幅のプロットを示す。プロット点は繰り返し数  $10^5$ 回に対する安全域の外側になり、このままでは設計寿命を満たすことはできない。

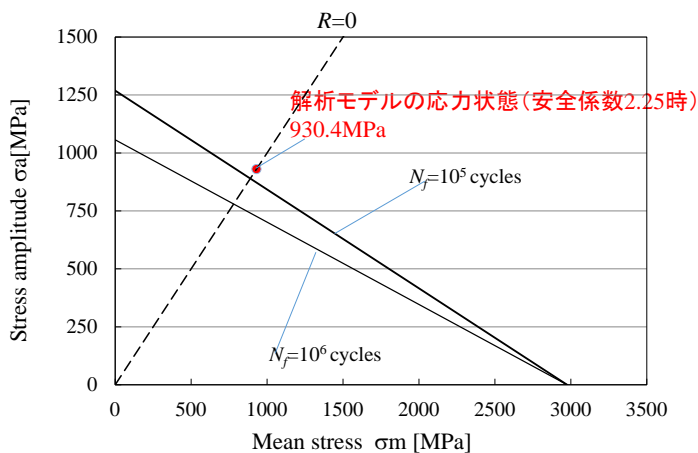


図9 Goodman線図による疲労信頼性評価



これらの結果に基づき、次節ではCFRP層の構造を再検討する。

### (1) ー4 CFRP層の構造の再検討

前節のGoodman線図による評価では、平均応力と応力振幅のプロットが繰り返し数  $10^5$  回に対する安全域の外側になり、そのままでは設計寿命を満たすことはできない。そこで、図 10 に示すようにCFRP層の構造の設計を変更した。図 10 において赤字部分が設計変更点である。また、複合容器の製造過程ではフープ層の厚みが大きくなるほど繊維のシートが前にずれることから、後方にシートをずらすように巻く必要がある。新規モデルではこれを考慮し、フープの形状も一部変更した。

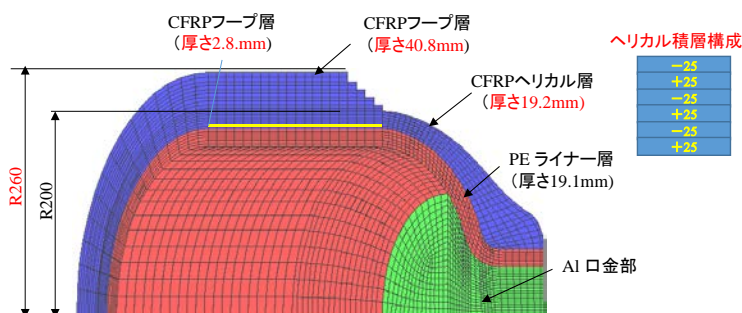


図 10 CFRP層の構造を変更した新規解析モデル

図 11 および図 12 にCFRP構造変更後の繊維方向の応力分布およびGoodman線図による疲労信頼性評価結果を示す。図 12 において、安全係数を 2.25 とした場合においても平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し数  $10^6$  回（100 万回）に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できた。

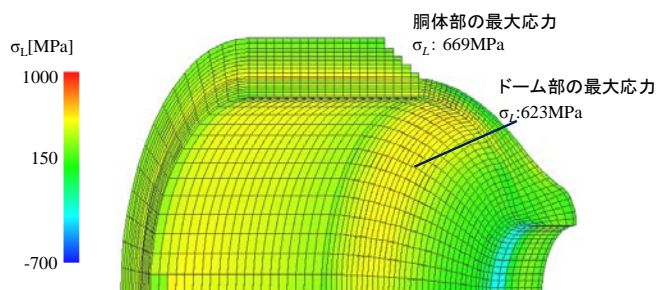


図 11 繊維方向の応力分布（CFRP 構造変更後）

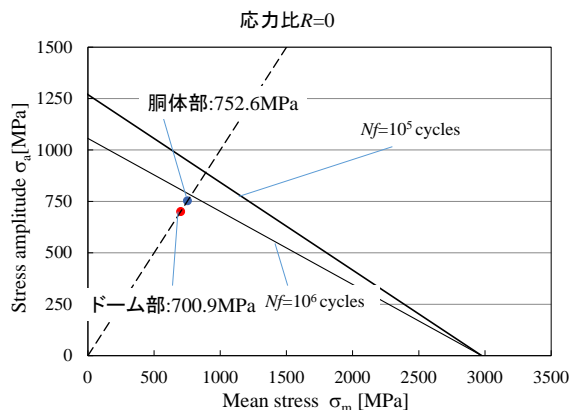


図 12 Goodman 線図による疲労信頼性評価（CFRP 構造変更後）

### (1) - 5 タンク直径の変更に対する検討

製造上の観点から、図 13 に示すようにタンクの直径を 310mm へ変更した。図 13 において赤字部分が設計変更点である。前節の図 10 に示したタンクをそのまま相似的に縮小している。図 14 および図 15 に CFRP 構造変更後の繊維方向の応力分布および Goodman 線図による疲労信頼性評価結果を示す。図 15 において、安全係数を 2.25 とした場合においても平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し数  $10^6$  回 (100 万回) に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できた。

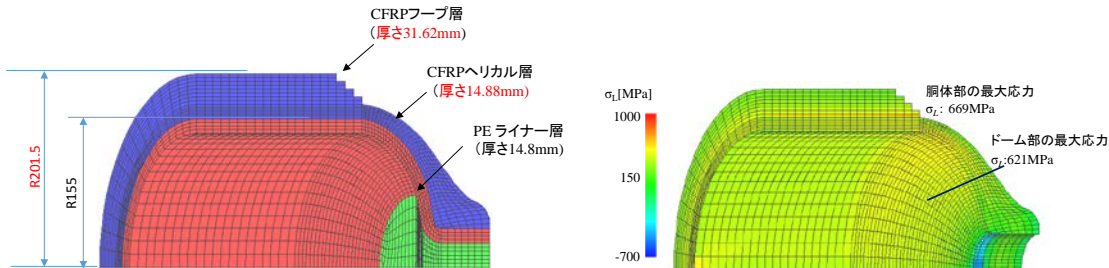


図 13 タンク直径を変更した新規解析モデル 図 14 繊維方向の応力分布(タンク直径変更後)

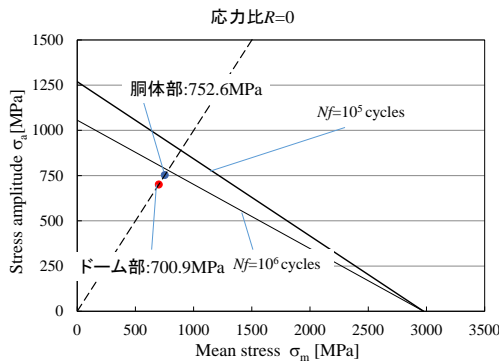


図 15 Goodman 線図による疲労信頼性評価 (タンク直径変更後)

### (1) - 6 気密性を考慮した口金の設計

複合容器の設計においては、前章で示した強度評価に加え、内容物である水素の気密性を確保することが重要となる。そこで、口金部における水素の漏えいを防ぐ目的から、樹脂ライナーに口金を埋没した埋没型口金の設計を実施した。使用した材料物性値を表 3 に示す。表 1 との相違点として、Carbon fiber に T700S を用いている。また、口金部には Al 6061T6 の物性値を、ライナーはポリエチレン容器の材料物性値を用いた。解析モデルを図 16 に示す。図 16 において傘部長さ (図では 136mm) を設計変数とした。傘部長さを変更して作成した解析モデルを図 17 に示す。 表 3 材料物性値

CFRP				Al 6061T6		Polyethylene	
(MPa)	L	T	Z	(MPa)		(MPa)	
E	139300	7270	7270	E	72000	E	4360
	TZ	ZL	LT	G	27000	G	1620
G	3000	3250	3250	v	0.33	v	0.34
v	0.214	0.014	0.260	Ft	290	ft	64.5
	L	T	Z	Fe	580	fe	144.5
Ft	2940	85.6	85.6	Fs	290	fs	64.5
Fe	2621	205	205	α	$23.9 \times 10^{-6}$	α	$11 \times 10^{-5}$
	TZ	ZL	LT				
Fs	103	103	103				

繊維: Carbon fiber T700S  
樹脂: Epoxy-IMHS  
繊維含有率: 60%



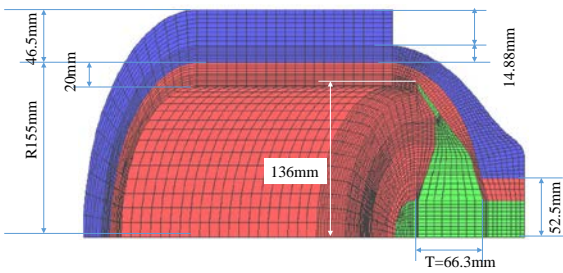


図 16 埋没型モデル (傘部 136mm)

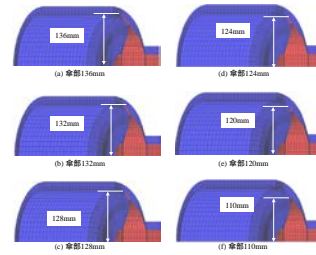


図 17 傘部長さを変更した埋没型モデル

図 18 に口金部のミーゼス応力分布を示す. なお, 内圧は 106MPa を作用させている. 図より, いずれのモデルにおいても傘部周りで応力集中が発生しており, 傘部長さが大きいほど最大応力も大きい. 図 19 に CFRP 層の繊維方向応力分布を示す. CFRP 層の応力分布においては傘部長さの影響はわずかではあるが, 傘部長さが大きいほど最大応力も大きいことが確認できる.

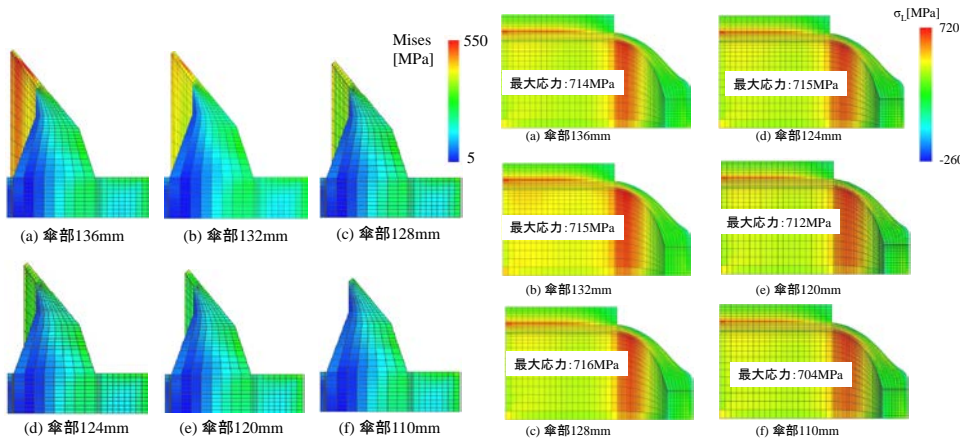
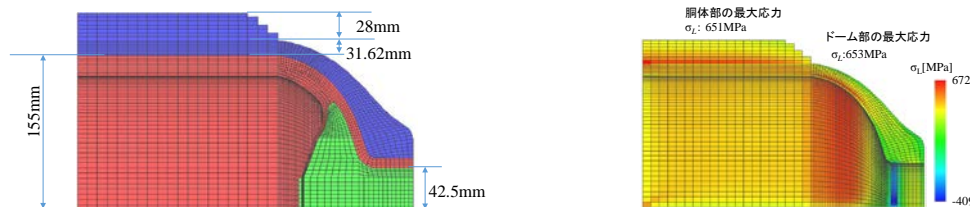


図 18 口金部のミーゼス応力分布

図 19 各モデルにおける繊維方向の応力分布 (傘部長さを変更した場合)

以上の解析モデルにおいて, 傘部の裏側のライナー厚さが不均一である部分に応力が集中する傾向がみられた. そこで, 裏側のライナーの形状を均一にし, 口金の形状と一致する形状にすれば, 繊維部応力及び口金の応力は低減すると考え, 図 20 に示すモデルを提案する. また, 図 21 および図 22 に埋没型口金モデルの繊維方向の応力分布および Goodman 線図による疲労信頼性評価結果を示す. 図 22 において, 安全係数を 2.25 とした場合においても平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し数  $10^6$  回 (100 万回) に対する安全域内にあり, 設計要求を満たすことが確認できた.

図 20 埋没型口金モデル 図 21 埋没型口金モデルの繊維方向の応力分布



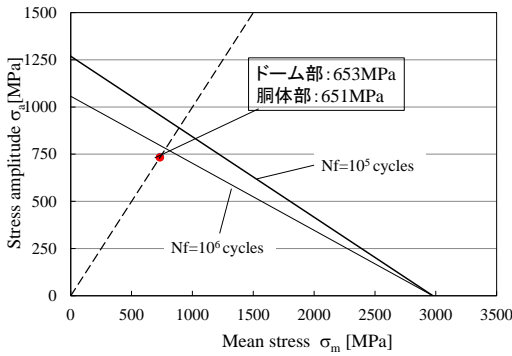


図 22 Goodman 線図による疲労信頼性評価（埋没型口金モデル）

### (1) - 7 ライナー層溶着部の信頼性評価

複合容器の製造工程において、射出成型したポリエチレンライナー部を融着する。ここで、融着部の信頼性は、複合容器の気密性を確保する上で重要な設計因子である。本章では、試験的に溶着したポリエチレンライナーパイプから試験片を切り出し、(1) 硬さ試験による熱影響部の評価、(2) 引張り試験による融着強度評価、(3) X 線断面観察による融着欠陥の検査を実施した。以下に詳細を記述する。

### (1) - 8 硬さ試験による熱影響部の評価

図 23 に硬さ試験に用いた試験片の切り出し方法の模式図を示す。測定部は融着部および母材部とし、図 24 に示すようにパイプの厚み方向を 4 分割した線上の硬さ分布を測定した。試験機には島津製作所製ダイナミック超微小硬度計を用い、負荷試験力は 1000mN、保持時間は 10 秒とした。また、測定間隔は 2mm とし、隣接する圧痕の影響を受けない測定間隔であることを確認した。

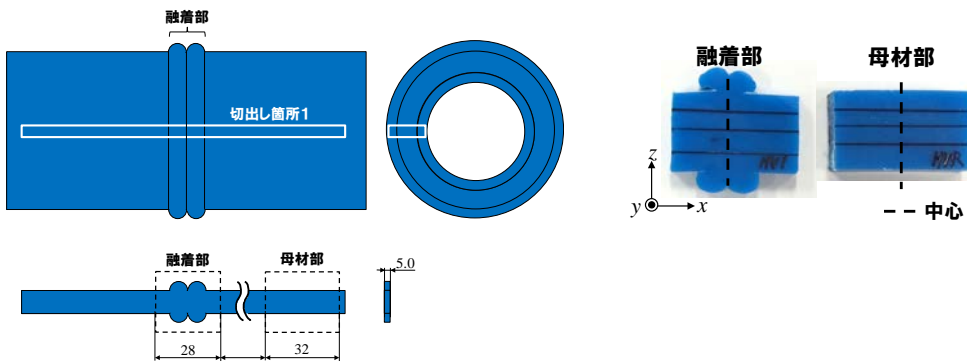


図 23 硬さ試験における試験片の切り出し方法 図 24 硬さ分布の測定位置

図 25 に 融着部および母材部の硬さ分布を示す。母材部結果は 3 線上の全測定点から求めた平均値、最大値、最小値である。融着部およびその周辺において硬さの低下を確認した。ここで、融着部における硬さは融着時に発生したばり部分とほぼ同等であり、融着時の熱影響により硬さはわずかに低下するものと考えられる。一方で、その低下量は母材部における硬さのばらつきの範囲内に収まっている。

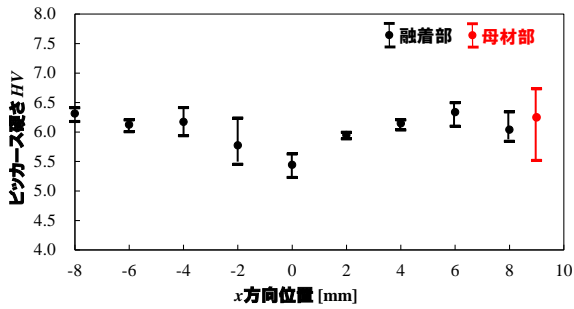


図 25 融着部および母材部の硬さ分布

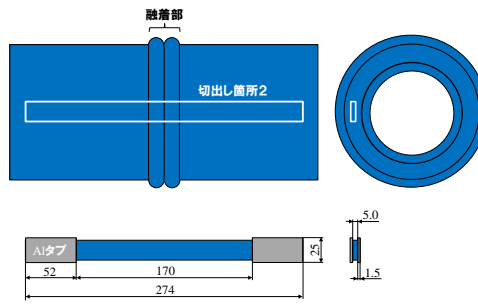


図 26 引張り試験における試験片の切り出し方法

図 27 に得られた公称応力-ひずみ曲線を示す．なお，本試験では試験片の伸びが試験機の許容値を超えたため，破断に至る前に試験を中止した．図 28 に除荷後の試験片の観察結果を示す．図 28 に示すように融着部以外から大きくネッキングが発生しており，破断には至らなかったものの，融着強度は母材と同程度であることが確認できた．

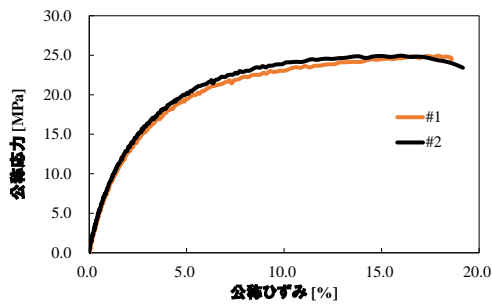


図 27 融着試験片の公称応力-ひずみ曲線

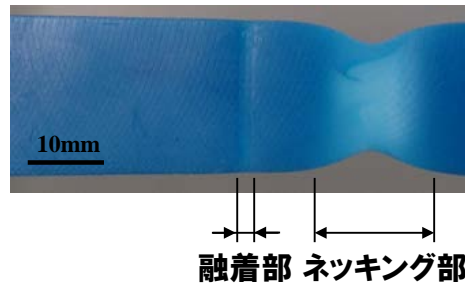


図 28 除荷後の試験片の観察結果

### (1) X線断面観察による融着欠陥の検査

前節において溶着部の強度は母材と同等以上であり，複合容器の強度信頼性には影響を及ぼさないことが確認できた．しかしながら，溶着部に欠陥や未溶融部が存在すると複合容器の気密性に影響を及ぼすと考えられる．そこで，X線 CT を用いて溶着部近傍の断面観察を実施し，欠陥の存在の有無を調査した．試験機は島津製作所製マイクロフォーカス X 線 CT システム (SMX-100CT-SV3) を用い，X 線の管電圧は 25kV，管電流は 52  $\mu$ A とした．図 29 に試験機および試験片の外観を示す．

図 30 に融着部近傍の観察結果の一例を示す．また，図 31 に図 28 におけるネッキング発生部近傍の観察結果の一例を示す．いずれの試験片においても，明確な欠陥は観察されなかった．

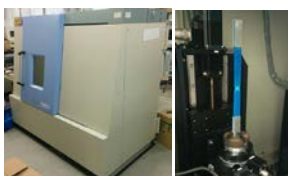


図 29 X 線 CT 試験機および試験片の外観

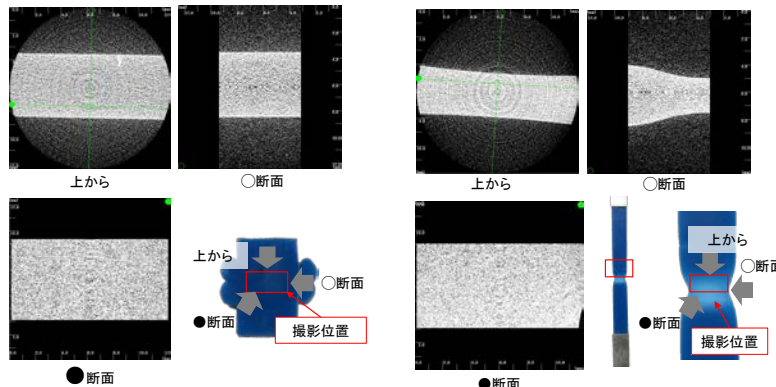


図 30 融着部近傍の観察結果の一例

図 31 ネッキング発生部近傍の観察結果の一例





溶着技術の研究開発及び樹脂ライナーの試作開発



写真左より、溶着機、溶着機制御部、鏡部とPE管をセットした所。写真右：鏡部とPE管のレベルを測定し、樹脂ライナーの芯を合わせる(簡易レベリング法)



写真左より、表面研磨機：溶着部を平滑にするためのカッター。鏡部とPE管の端面研磨：かん掛けの為、薄いカットされた切りくずが出てくる。研磨端面の写真。きれいに端面が研磨されているのがわかる。



写真左より、熱板溶着の治具：中：熱板溶着板を挿入するところ。左：熱板溶着をしている所。熱板の温度、加圧条件は、次ページ条件表に記載。



写真左より、①切削カットした時出てきた切削片、②切削後切削端面の合わせ部写真、③熱板温度測定の写真、④熱板装着時のプレス圧力計の設定圧力確認

溶着容器のレベル合せ等樹脂ライナー溶着技術、組立て技術の確立を図った。



写真左より、①溶着する鏡部とPE管とをセットした所、②両端に鏡部、中央のPE管に溶着している所。及び出来上がった樹脂ライナーの写真



写真左より、①溶着した鏡部とPE管の溶着部に出現した凸部の写真。②その凸部をカキ取っている所の写真。③カキ取った溶着部の端片。この端面の、信頼性評価は、スライド# 11を参照ください

試作開発した樹脂ライナー



溶着に係る溶着温度、加圧等の成形条件表を提示。

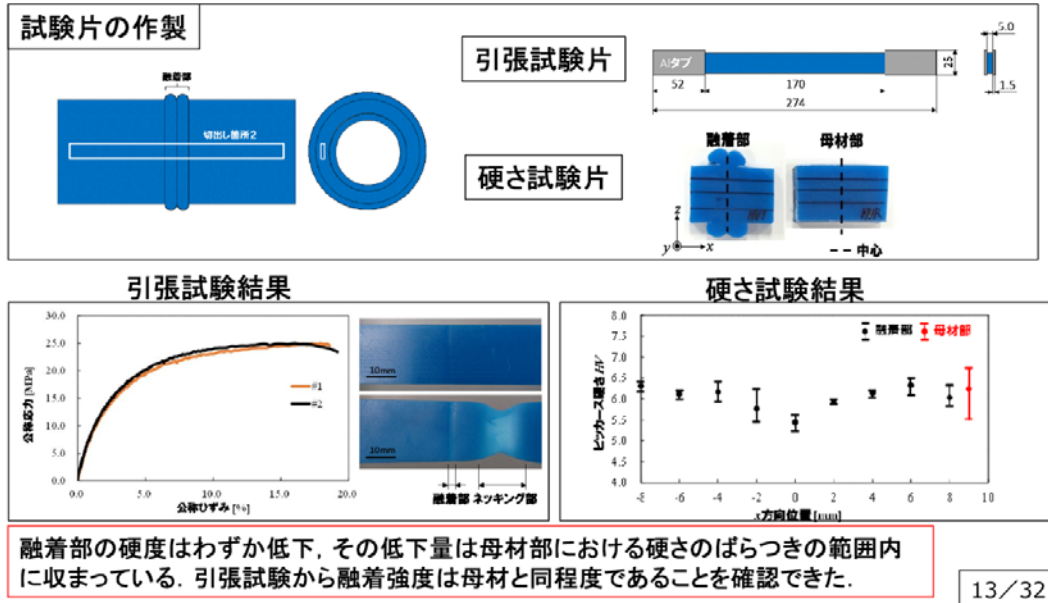
図④ 溶着加工条件表……………溶着温度、圧着に係る圧力条件、加工時の気温条件、風速の影響等について

今日の外気温: \_\_\_\_\_ °C

ヒーター温度(融着前) 240 ± 5 (°C)  
 加圧力 1.20kg/cm2  
 100 kgf → 24Bar(ゲージ表示)値し、稼働圧を除く  
 95.4-116.6  
 ヒート市 10.5-17  
 ヒート高さ 3-7

加圧溶融	気温(°C)	-5	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	23	
秒数		65	62	61	59	58	57	55	54	53	52	50	49	47	
加熱保持	気温(°C)	-5	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	23	
秒数		300	270	258	245	233	221	209	197	185	173	160	148	138	
		5:00	4:30	4:18	4:05	3:53	3:41	3:29	3:17	3:05	2:53	2:40	2:28	2:10	
		6:05	5:32	5:19	5:04	4:51	4:38	4:24	4:11	3:58	3:45	3:30	3:17	2:57	
ヒーター除去		3秒以内													
圧着		130秒													
		2:10													
冷却		8:15													
		7:42	7:29	7:14	7:01	6:48	6:34	6:21	6:08	5:55	5:40	5:27	5:07		
		180秒													
		3:00													
		11:15	10:42	10:28	10:14	10:01	9:48	9:34	9:21	9:08	8:55	8:40	8:27	8:07	

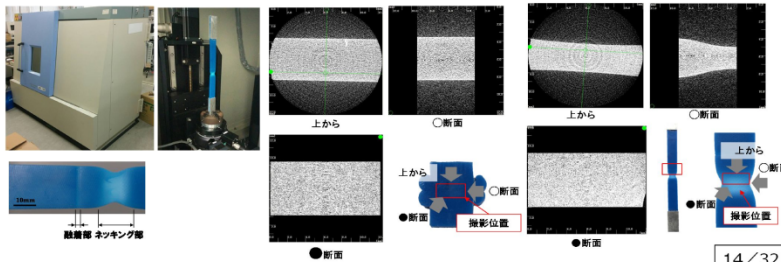
溶着部の試験片による物性検査報告



溶着部の試験片による物性検査報告

写真①左: X線CT装置 ②写真中: 融着部近傍の観察結果 ③写真右: ネッキング発生部近傍の観察結果

溶着部の強度は母材と同等以上であり、複合容器の強度信頼性には影響を及ぼさないことが確認できた。しかしながら、溶着部に欠陥や未溶融部が存在すると複合容器の気密性に影響を及ぼすと考えられる。そこで、X線CTを用いて溶着部近傍の断面観察を実施し、欠陥の有無を調査した。試験機は島津製作所製マイクロフォーカスX線CTシステム(SMX-100CT-SV3)を用い、X線の管電圧は25kV、管電流は52μAとした。図29に試験機および試験片の外観を示す。いずれの試験片においても、明確な欠陥は観察されなかった。



樹脂ライナー-成形技術の成果

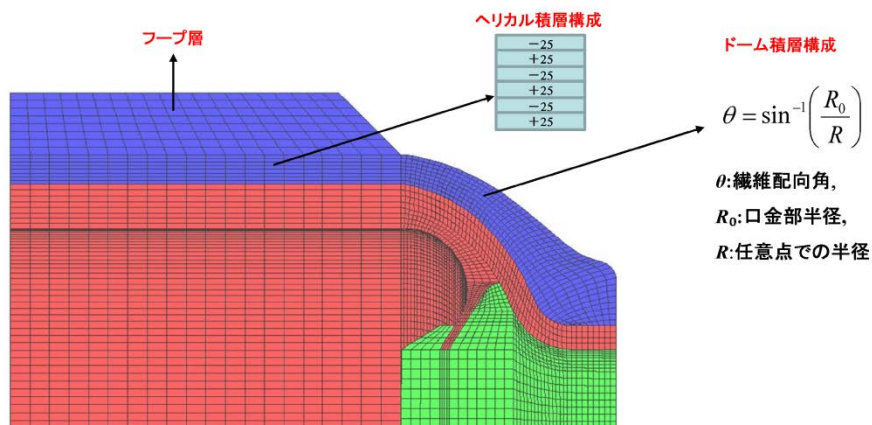
- \* 樹脂ライナーの鏡部（お椀部）の成型における厚肉成形技術が確立された。
- \* 鏡部と PE 管の溶着技術が確立できた。
- \* よって、従来のブロー成形、射出成型で行われた一体成型では具現できなかった長尺大型容器の開発に目途が付き、他との差別化が図れ、競争優位の立場が確保された。
- \* 同一口径であれば、長さを替えるだけで、容器の内容積の変更が容易であり、客先の多様なタンク需要に対応が可能となる。

(2) - 2 複合容器蓄圧器の開発

(2) - 2 - 1 ファイラメントワインダー（以下、FW）パターンの開発と FW 加工条件の開発

FW パターンの開発を実施、炭素繊維、エポキシ樹脂等との組み合わせを考慮し、最適パターンの研究開発中。FW パターンの一部を示す。H27 年 12 月までに、サイクル回数 10 万回、破裂圧力 200MPa 達成が可能な FW パターを開発する。

以前の研究から胴体部の巻き角度をヘリカル±25° とフープ巻きの混合とする



FW 加工技術の研究開発



新規開発の樹脂ライナーにて、設計したFWパターンに基づき、FW加工を実施した。  
 FW加工実施中で、7月27日の週に破裂試験等の実施予定。



## (2) - 2 - 2 高機能機材の開発及び調達

低温硬化エポキシ樹脂（従来 120～130℃を 90℃以下で硬化）を開発し、ポリエチレン樹脂へのダメージを防ぐことに成功した。またエポキシ樹脂のポットライフの長寿命化に成功（従来長くても 3～4 時間を 24 時間以上 20 日近くの長寿命化に成功。大幅な競争力強化（コスト削減）が図れる。T800 に替る高機能高弾性高強度炭素繊維の入手、量的供給の確保ができた。またフジキン㈱と、丸八㈱向け 100MPa 高圧バルブの開発を完了。



## ②-2 FW (ファイラメントワインディング) 加工技術の研究開発

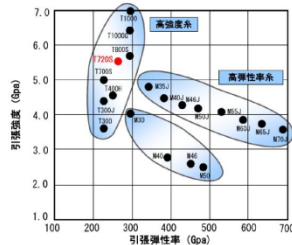
### エポキシ硬化樹脂の研究開発.....◎

低温硬化、超寿命ポットライフ樹脂の開発...樹脂ライナーに最適

### 高機能炭素繊維 (高剛性) の活用

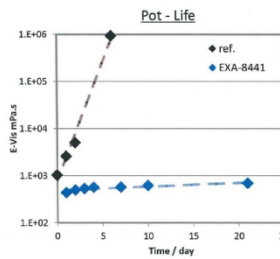
価格は高くても、高機能であるため軽量化、低コスト化に寄与

炭素繊維の力学特性マップ TORAY Innovation by Chemistry



品種	ファイラメント数	強度 GPa	弾性率 GPa	目付 g/m	比重
T720S	36000	5.6	265	1.65	1.79
T700S	24000	4.9	230	1.65	1.80
T800S	24000	5.9	294	1.03	1.80

高圧タンク用樹脂システム (貯蔵安定性型) の性状値



主剤 / 硬化剤	EXA-8441
粘度 (mPa.s at 25°C)	430
Tg (DMA °C)	128
引張強度 (MPa)	83
引張弾性率 (MPa)	3500
伸び率 (%)	3.2
曲げ強度 (MPa)	128
曲げ弾性率 (MPa)	3800

測定方法 引張試験: JIS K-7162  
曲げ試験: JIS K-7171  
Tg(DMA法): 3°C/min昇温  
硬化条件 90°C5時間

18/3

### (2) - 2 - 3 研究開発の成果

溶着技術による設計耐圧 106MPa、サイクル回数 10 万回の複合容器蓄圧器の具現まであと一步。7 月末までには、相応の結果が出るものと信じている。H27 年 12 月までには、破裂圧力 200MPa、サイクル回数 10 万回を実現すべく鋭意研究開発を実施する予定。

### (3) KHK 特任取得のための要件整備

150L 級高圧容器蓄圧器及びこれらの容器による貯蔵輸送システムの KHK 認証取得業務の準備。現状はまだ法的整備がされていないため、これらの容器の開発をはじめ KHK 認証を取得するためには、その要件を整備して研究開発を実施する必要性が多々ある。そのため、丸八(株)、(株)巴商會が共に関係機関等と協議し、その要件に基づき開発を推進する。また実用化に向けて KHK の認証が必要であるので、これらの研究機関を通じてその準備、データ取得を実施する。また、海外情報等も積極的に収集し、世界標準に準じて軽量、高強度、低価格な高圧容器の具現化を目指すものである。

### 3-2 成果の意義

設計圧力 106MPa、サイクル回数 10 万回に耐えうる複合容器蓄圧器の設計解析を実施した。蓄圧器は 15 年間の耐用年数を求められているので、安全係数を 2.25 倍した場合においても平均応力と応力振幅巾のプロットは繰返し数 100 万回に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが損傷解析シミュレーションで確認できたことは大きな成果である。

容器形状、口金、FW 加工パターン等を設計解析し、これらの成果を基に新規複合容器蓄圧器の設計を実施し容器の金型を試作し、PE 管と鏡部を溶着する長尺大型容器開発の為の基盤技術開発を実施した。

従来の射出成型、ブロー成形による樹脂ライナー製造法では、1,500mm 長の容器が限界であり、車載用容器 (50L~120L 級) では可能性が有るが、水素ステーション用長尺大型容器 (長さ 2m~8 m、容積 200L~500L 級) では困難であるので、丸八(株)は、下記に示すよう鏡部を従来の成形で射

出成型で成形し、市販のポリエチレン管と溶着して問題の解決を図った。課題としては、鏡部のライナー肉厚が 20～25mm という超厚肉成形技術が要求される。また溶着部の強度耐久性破損等の問題が懸念されるのでその要因を潰すべく種々の試験を実施して信頼性安全性の確保に努め、加工条件の確立をはかった。この結果、溶着方式による樹脂ライナー製造方法が確立され今後水素ステーション向けの大型容器の製造についての製造指針の構築が今年度中に可能となったことは大きな成果である。



この技術は、同じ外径、肉厚の容器であれば、長さ方向を調整することで大型容器から、小型容器まで容易に製造が可能な利点を持つ技術で今後の水素社会にあって有意義な技術開発委ができたと自負している。この技術を生かして、立ち遅れている複合容器蓄圧器への基盤を固め、大きく世界に飛躍するべく準備の段階と考えている。

タイプIV容器の試作加工は、時間の都合上7月22日現在FW加工中であり、破裂試験、サイクル試験等は7月末以降になる為、試験結果の8月初旬の報告となるが、約束の破裂圧力 200MPa、サイクル回数 10 万回を年末までに達成する予定である。これが達成できれば、水素ステーション用長尺大型複合容器蓄圧器の開発の為の製造指針が構築されることになり有意義な研究開発であったと考えている。

### 3-3 成果の最終目標の達成可能性

複合容器蓄圧器の試作は、設計解析に従い、10 本品試作完了したが最終試験がまだ実証されていないため、8月初めの報告となることをご了承いただきたい。かなり入念に試作を行ったので大丈夫とは思いますが、万一目標に達しない時は、直ちに要因を解析し原因を調査して、新たにFW加工や、場合によっては樹脂ライナーからの再試作も視野に入れ、徹底して目標を達成する所存である。従来のブロー成形で開発した経緯から、失敗は成功の基というターゲットの下、初心に帰って再度トライする予定である。丸八楸は、小型容器ではあるが、既に破裂圧力 175MPa、サイクル回数 11,500 回の容器を開発済みであり、その経験を活用して、平成 27 年 12 月末を目標に、当初目的の破裂圧力 200MPa、サイクル回数 10 万回を達成する予定である。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

この研究開発期間3年で、溶着技術による長尺大型複合容器蓄圧器の基盤技術が確立された。鏡部(お椀部)の厚肉成形加工技術の確率、金型製作でのポイント、樹脂流動経路、ノズルの大きさ、位置、太さ等、また樹脂の粘土、温度管理、射出圧力等の成型条件等様々な課題が山積して生じたが、一つ一つ関係者各位の協力の下クリアして問題解決に当たった。これら経験と知的財産はこれからの大きな武器となるものと確信している。特に厚肉成形、溶着技術による容器製造技術の確立は大きな財産として今後活用されて行くものと考えている。何回も申し上げているが、容器サイズの多様化に適応した製造法が確立できたことは、今後の目標達成のための大きな成果である。これを武器に今後更なるチャレンジを続け事業化に取り組みたく考えている。

事業化に当たっては、容器ビジネスと、低価格水素ステーション構築の2事業部門で展開したく考えている。容器ビジネスだけでは、待ちの姿勢で事業展開が難しいと考えられる。水素社会構築、インフ

ラ整備の機運が今あるとき、自ら市場を創出する考えで、水素をどこでも容易に供給が可能な場を作り、しかも石油並の価格で提供ができるような仕組みを作らねばならない。その為の大きな武器が、今我々が研究開発している複合容器蓄圧器であると信じている。その為新たな考えの下、システムを構築して事業展開を計る所存である。容器の開発は、本事業で実施し、水素 ST については他補助事業でと考えている所である。

## 5. 研究発表、特許等

—研究発表・公園、文献等、その他—

no.	年月日	発表先	掲載月・号	発表者
1	2014/12	JEC magazine #93	Innovative large composite tank for hydrogen gas fuelling stations	菅原正隆
2	2013/07/13	関西FRPフォーラム	高压容器 そして急がれる水素インフラ整備	菅原正隆
3	2014/05/30	ほくりく先端複合材研究会	JEC受賞とタイプ4水素高压容器蓄圧器の開発について	菅原正隆
4	2014/09/02	富山工業高等専門学校	CFRP複合材開発とそして急がれる水素社会インフラ整備について	菅原正隆
5	2014/09/25	ほくりく先端複合材研究会	丸八の挑戦はどこまでか、これからどこまで	菅原正隆
6	2014/10/23	素形材センター (TEC BIZ EXPO 名古屋国際本市委員会)	クイック成型可能な熱可塑複合材とタイプ4複合容器蓄圧器の研究開発	菅原正隆
7	2015.08/05	NEDOフォーラム中部 授賞	タイプ4 106MPa複合容器蓄圧器の研究開発とnedo採択までの道筋 授賞 内容	菅原正隆
8	2014/03	JEC(パリ)	世界最大の先端複合材料展にて、AWARDO賞を受賞(High pressure tank 部門)	菅原正隆
9	2014/04	福井県	福井県繊維功労賞	菅原正隆
10	2015/07	SAMPE	製品技術賞(水素タンク) 先端材料技術協会(SAMPE JAPAN)	菅原正隆

特許等

no.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	H14.1.28	特願2002-181730	高压容器	丸八(株)



# 課題番号：Ⅱ－①－(6)

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

## 水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発

### 1. 研究開発概要

水素ステーションの技術開発では、70MPa までの圧力については主要機器の1年間の耐久性が確認され、これらによりステーション先行整備のための基礎条件が70MPa までは整った状況である。

しかし、2015年度以降法改正（昇圧化）が予定されており、FCV普及に向けては、更なる充填圧力の高圧化が必須である。そこで、現在の水素ステーションの常用圧力である82MPaに対応した樹脂製充填ホースとシールシステムの実用化技術開発を行うとともに、これらの実績データや材料の基礎評価結果を踏まえ、さらに高性能化を目指した試作品の開発を行う。

また、樹脂製の高圧水素用ホースとシールシステムの健全性を評価するための試験の種類、試験条件、評価基準など、水素ステーションでの使用に関する評価基準案を策定する。

本研究開発は、水素供給・利用技術研究組合（以下、HySUT と記す）、国立大学法人九州大学、一般財団法人化学物質評価研究機構（以下、CERI と記す）、横浜ゴム株式会社、NOK株式会社、日本合成化学工業株式会社（以下、日合化と記す）の6機関が共同し、高圧水素用ホースとシールシステムのそれぞれの開発と評価基準検討の以下について、実施項目ごとに適切な検討体制を構築して進めるものとする（図1）。

- (1)樹脂製高圧水素用ホース・樹脂製高圧水素シールシステムの開発
- (2)高圧水素用ホース・高圧水素シールシステムの評価基準に関する研究

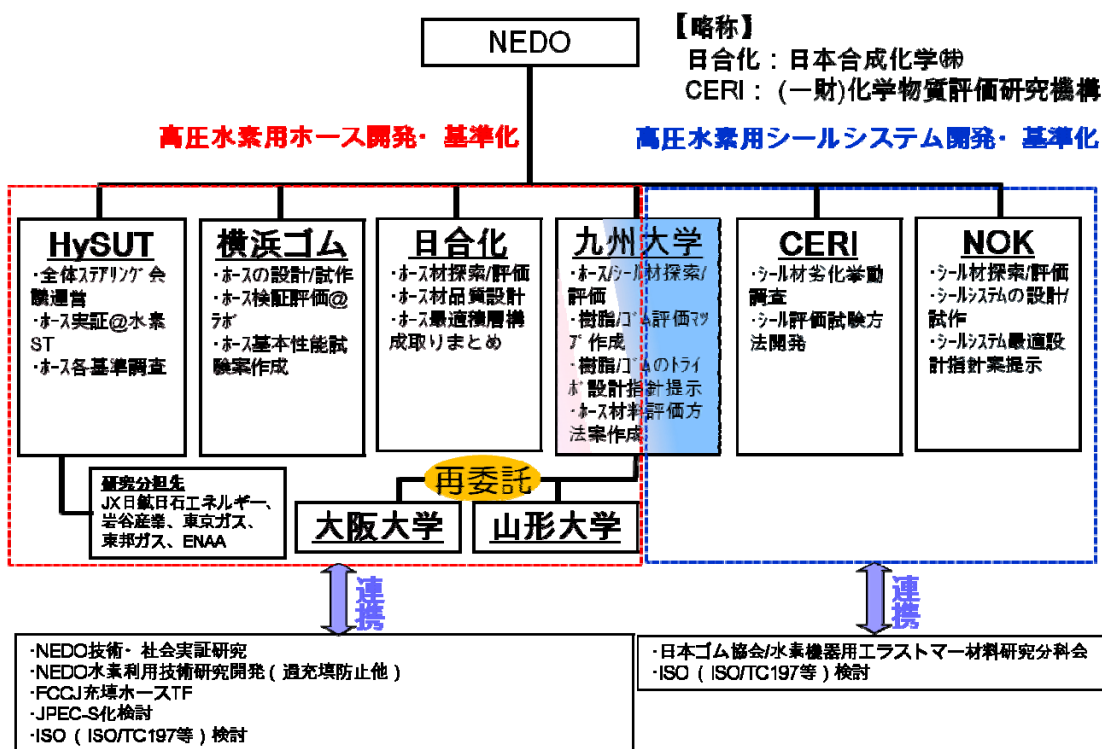


図1 研究体制

委託期間：平成25年5月1日から平成28年3月21日まで

## 2. 研究開発目標

FCV のユーザー利便性の向上に資する更なる充填圧力の高圧化のため、本研究開発においては、高圧水素用ホースと高圧水素シールシステムを対象とし、開発当初は水素ステーション普及初期を見据えた開発を行い、この開発で得られた知見や技術を活用してさらなる高性能化を図るよう、研究開発目標を以下のとおり設定する。

研究開発目標（平成 27 年度）目標：

- ①FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性\*1 を保持)を達成する 82MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発
- ②FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル回の耐久性\*1 を保持)を達成する 82MPa(-40℃)に対応した高圧水素シールシステムの開発
- ③JPEC-S 化に向けた 82MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成
- ④JISB2401 化に向けた 82MPa(-40℃)水素シールシステムの信頼性評価基準案の基礎となる材料評価データまとめ

\*1:FCV 普及初期1年間の充填回数945回を参考として算出された圧力サイクル2,200回の3倍に相当する値で、ラボ試験目標値。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 樹脂製高圧水素用ホース・樹脂製高圧水素シールシステムの開発

①82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの開発

【82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの要求仕様、確認試験項目の決定 (HySUT)】

現状の水素ステーションの 70MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの運用パターンと充填条件(充填プロトコル、圧力保持試験の実施状況など)についてデータ取りを行うとともに、継続的に 70MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの健全性評価を行った(表 1)。また、現状の水素ステーションでのホース使用状況に関し、ホース表面温度やホース曲げ R を計測し(写真 1)、それらの結果を 82MPa 対応高圧水素用ホースの要求仕様、確認試験項目に反映した。

82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの開発仕様や確認試験方法などについて、関係者会議を実施し、設計圧力や最小曲げ R などの業界ニーズを加味して内容の検討を行い、その結果を 82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの要求仕様、確認試験項目に反映した。

上記より要求仕様と確認試験項目を決定し、82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの候補仕様を絞り込んだ。結果を表 2 に示す。また、開発中の 82MPa ホースの写真を写真 2 に示す。

HySUT が運用する実証 ST が商用転用され、開発された 82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースを実証 ST でその実用性を評価することが不可となったため、平成 27 年度に適切な評価サイトなどでホースの実用性を評価するスキームを検討し、ホースの使用状況を収集する体制を検討中である。



表1 現状の水素ステーションでのホース使用状況まとめ

試験場所	加圧回数			充填頻度 (Max.)	水素温度 ℃	使用期間
	圧張検査 (ブレイク無の加圧)	充填 (ブレイク有の加圧)	合計			
海老名中央 水素ST	98	148	246	6回/日	-40~-33	2013/4~2014/2
	33	68	101	4回/日	-40~-33	2014/3~2014/7
とよたエコフルタウン 水素ST	0	103	103	5回/日	-40~-33	2012/1~2014/2
	0	33	33	3回/日	-40~-33	2014/3~2014/7
神の倉水素ST	84	103	187	3回/日	-40~-33	2013/5~2014/2
	9	11	20	2回/日	-40~-33	2014/3~2014/7

表2 82MPa 対応樹脂製高压水素用ホースの仕様

項目	数値	根拠
設計圧力	90.2MPa	常用圧82MPa×1.1と規定。
設計温度	-40~65℃	下限は-40℃ブレイクカテゴリーの水素ガス温度下限値から決定。 上限は直射日光も考慮した環境温度（外気温）で決定。この値はANSI/CSA HG4.2（ISOが引用予定）の許容値と同値。
繰り返し回数	100,000回	最終プロダクトとしては、6,600回を目標としているが、ラボ等の基礎評価においては100,000回を目指す。これは、従来のNEDO水素製造輸送貯蔵システム等開発PJの目標回数30,000回/年（※）をもとに3年の耐久性+αとして決定。なお、本値は、ANSI CSA HG4.2の許容値と同値。  ※耐久目標30,000回とは、充填回数20,000回/年（≒充填台数5台/時間×13時間営業×300日/年、ステーション設置ディスペンサー1台）と想定し、安全率1.5で算出したもの。
引張強度	2,000N以上	ISOで規定される予定の緊急離脱が <sup>ラ</sup> 分離力1,000Nの2倍とする。なお、本値は、ANSI CSA HG4.2の許容値1,780Nより厳しい条件。
最小曲げR	最小Rを200以下	ただし、安全性や商品化を優先するため、最小曲げRが200mm以上となった場合も要相談とする。 （8/18FCCJ充填ホースTFからの提案） 曲げ応力はホース耐久性に影響を与える因子のため、水素インパルス試験のパラメータ因子に取り込み、ホース耐久性を評価中。
水素透過量	500cc/(hr・m)[仮]	JPEC検討を参考に仮決定。拡散濃度を考慮し、水素ディスペンサー防爆基準の許容値を下回る値として設定。



写真1 ホース曲げR計測風景



写真2 開発中の82MPaホース

【82MPa 対応樹脂製高压水素用ホースの開発（九州大学）】

本研究開発における 82MPa(-40℃)に対応した高压水素用樹脂製ホースの達成目標である温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性保持を実現するため、主に内層樹脂材の選定時の判断基準となる信頼性に影響を及ぼす因子である樹脂中に侵入する水素量、その際の体積増加率、およびこれらの樹脂材料の結晶化度の影響、低温における強度特性について、70MPa 級高压水素用樹脂ホースに使用されている内層樹脂材料を中心に各種候補材料について計測した。



現在の水素ステーションの常用圧力である 82MPa に対応した樹脂製高圧水素用ホース開発を目的として、82MPa の充填圧力（常用圧力）に対応した強度を有する耐水素性に優れた樹脂製ホースの素材候補を探索し、強度特性、水素曝露後の水素量などの特性評価を実施した。ホース素材候補の選定については、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」の意見を聴取し、評価対象樹脂材料として選定した 23 種について、高圧水素曝露後の水素量を計測した。水素量測定結果を図 2 に示す。その結果、水素量は分子構造に依存し、芳香族系樹脂に比べ脂肪族系樹脂材料の方が小さい水素量を示し、ポリアミドなど極性基を持つ樹脂材料の水素量が小さくなる傾向であることが判明した。

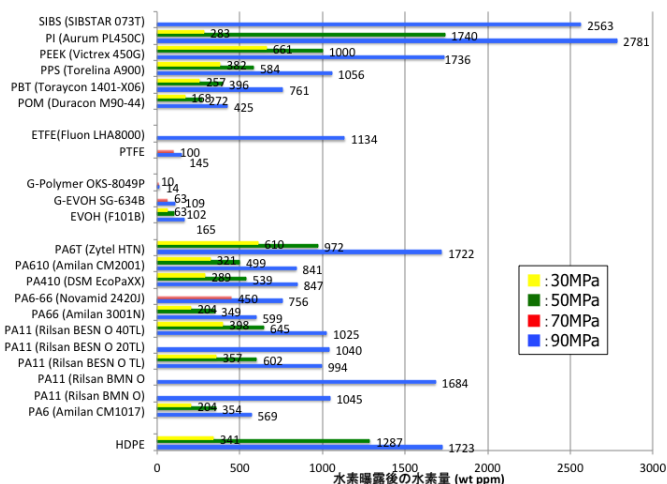


図 2 ホース素材候補樹脂の水素曝露後の水素量

樹脂材料の高圧水素曝露時の水素量と体積膨張について、樹脂材料の高次構造との相関検討を進めている。一般的にホース素材候補の多くは結晶性高分子材料であり、成形方法の影響により、結晶化度など高次構造が異なる場合がある。従来材について結晶化度と水素曝露時の水素量の影響を確認した結果、結晶化度の高いものほど水素曝露時の水素量が小さくなることが判明した。

高圧水素用ホースは充填時のプレクールにより-40℃に冷却された水素ガスが流通する。このため、ホース内層材料の低温における力学特性の評価が重要となる。従来材について-60℃までの低温強度特性を評価した結果、可塑剤配合量が大きくなるに従って脆化温度が低下すること、脆性破壊時の曲げひずみは、温度依存性は小さいこと、水素曝露による脆性破壊曲げひずみの変化は小さいことが判明した。

これらの結果をホースの寿命評価、ホース設計へのフィードバックを進めている。

【82MPa の耐圧耐久性を有するホース補強層構造の確立（横浜ゴム）】

82MPa の耐圧耐久性を成立させるためホース補強層構造の設計を行い、ホースの試作評価を実施した。評価の結果、開発目標値を満足する耐圧耐久性が確認でき、82MPa 対応ホースとしての補強層構造を確立した。更に、本補強層構造は、開発最終目標である 87.5MPa 対応ホースの耐圧性能目標値に対しても十分な性能を保持しており、87.5MPa 対応ホース補強層構造確立の見通しを得た。また、ホース補強層は繊維ブレードと鋼線ブレードの組み合わせにより、耐圧耐久性と軽量・柔軟を両立し、従来技術との比較においても差別化されている。ホース寸法と補強層構造を図 3 に、ホースの耐圧性能を表 3 に示す。今後は、実証試験を含むホースの信頼性評価を実施する。

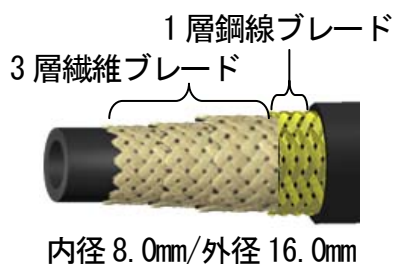


図 3 ホースの寸法と補強層構造

表 3 開発ホースの耐圧性能

試験圧力	性能
361MPa × 5min (=82.0MPa × 1.1 × 4)	○ (n=3/3)
385MPa × 5min (=87.5MPa × 1.1 × 4)	○ (n=3/3)

【内面層材料の耐水素性および耐低温性の評価（横浜ゴム）】

ホースの耐久性向上のため、本事業開発材料を内面層に用いたホース試作評価を開始した。今後は 70MPa ホース使用材料との比較評価（耐水素性および耐低温性）を実施し、開発材料の優位性を確認する。

【82MPa 水素でのホース繰返し加圧耐久性評価（横浜ゴム）】

70MPa 水素でのホース繰返し加圧耐久評価を実施した。本試験においてホース以下の 3 点を確認した。

- A. ホース破損モードは、内面層の疲労破壊であり LBB（Leak Before Break(漏えい先行型破損)）である。
- B. ホースの曲げ半径と耐久性の関係を確認し、曲げ半径の縮小に伴いホース耐久性が低下する。
- C. 加圧時内面層歪の低減により、ホース耐久性は向上する。

上記の A および B は、過去 70MPa 実用評価で確認された、破損モードや破損位置と一致しており、本試験が、実用に近い評価試験となっていると考える。ホース曲率（曲げ半径）と耐久回数の関係を図 4 に示す。

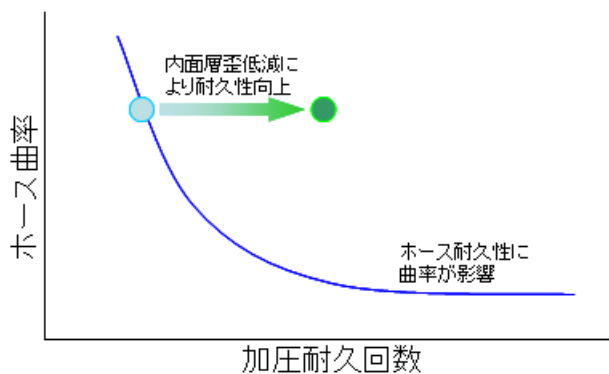


図 4 ホース曲率と耐久回数の関係

今後は 82MPa 加圧条件にて試験を実施する。ホース曲率（曲げ半径）と耐久回数、圧力と耐久性の関係を把握し、開発目標である「FCV 普及初期の 1 年ノーマンテナンス」に対する安全性評価を行う。

上記ホース内面層材料の耐水素性／耐低温性評価および 82MPa 水素でのホース繰返し加圧耐久性試験の実施により目標達成が可能である。

その他、水素ステーションでのホース使用状況調査を実施した。取得したホース曲げ半径や充填時のホース温度データをホース仕様や試験条件へ反映する。また、ホースを安全に使用するための車両停止位置の推奨範囲を明らかにし、ステーションシステム側の対策要求事項として提案した。

【ナイロン系樹脂の改質検討（日本合成化学工業）】

表 4 ナイロン開発品の特性

サンプル	引張試験(N=3)									
	引張強さ[MPa]		破断伸度[%]		降伏点強さ[MPa]		降伏点伸度[%]		引張弾性率[GPa]	
	-40℃	23℃	-40℃	23℃	-40℃	23℃	-40℃	23℃	-40℃	23℃
従来品	89	54	62	103	66	54	7	-	1.82	0.39
ナイロン開発品①	80	59	75	185	80	44	9	4	1.75	1.35
ナイロン開発品②	82.7	49	207	286	56	26	12	7	1.11	0.80

#### a) 従来品より水素耐性に優れたナイロンの開発

70MPa ホース材料として検討されてきた従来品に比べアミド結合量が多い故、水素耐性が高いことが確認されているナイロン開発品を用いて改良検討を実施した。経時的なブリードが懸念される低分子可塑剤の代わりに低温特性に優れたソフト成分（脆化温度-70℃以下）からなる高分子材料を反応型相溶化の技術により複合化することで水素耐性と柔軟性の両立を進めた。ポリマーアロイ化技術により開発したナイロンの射出成形品はスキン層の影響を考慮した成形加工が必要であるものの繰り返し水素曝露試験(常圧～98.4MPa 水素加圧脱圧繰り返し試験)にて耐ブリスタ性の向上を確認出来た。(表 4)

#### b) ナイロン開発品の疲労試験

試験方法：引張、試験片：射出成型ダンベル (ISO527-3)、試験温度：-40℃、試験条件：10Hz, サイン波, 応力制御で疲労試験を実施。ナイロン開発品柔軟は、同一応力下では、従来品より優れた結果が得られた。横浜ゴムにて実施した大気下でのデマチャ式耐久試験(-40℃、1Hz)では従来品と同などの耐久性を確認した。水素耐性と力学的耐久性の両立を図ることが出来た。

### 【ガスバリア樹脂の改質検討（日本合成化学工業）】

#### a) ガスバリア樹脂の低温～高温 (-40℃～23℃) での物理的特性

平成 25 年度の知見に基づき低温下での柔軟性を考慮して汎用の EVOH をガスバリア樹脂のベース素材として選び、数種のソフト成分を用いた多元系のポリマーアロイ化により低温での物理的特性の向上を確認した。本ガスバリア性樹脂をナイロン開発品の最内層に積層させることで、ナイロン開発品層中への水素拡散の抑制が可能な保護層としての機能も期待される。本ガスバリア層とナイロン開発品層からなる 2 層チューブの層間は、両樹脂が IPN 構造で相溶化する為、SEM 観察でも明確な界面は存在せず、良好な接着性を確認できている (図 5)。

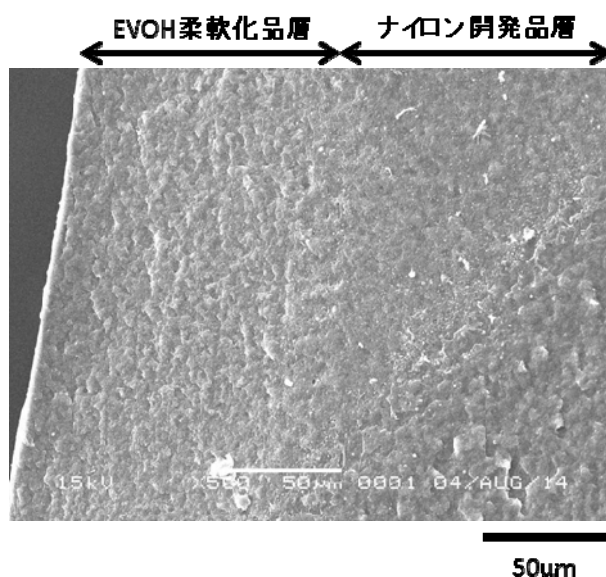


図 5 2 種 2 層試作チューブ (ナイロン開発品/EVOH 柔軟化品)

#### b) 新規のガスバリア材の開発

側鎖 1,2-ジオールをビニルアルコール系樹脂の構造中に適度に導入することで分子間空隙サイズと結晶サイズの最適化を図ることが出来た (図 6)。その結果、従来の EVOH 樹脂と同などの融点を有し、溶融成形性

を損なうことなく、水素バリア性と水素耐性の両立が可能なガスバリア材の開発に成功した。より高圧水素耐性のバリア材として期待される。98.4MPa から常圧の範囲の水素圧力サイクル試験後でも市販の EVOH に比べ本開発品はブリスタ発生が全くなく、射出成形品のスキン層の存在などに伴うクラックの生成も確認されなかった (表 5)。

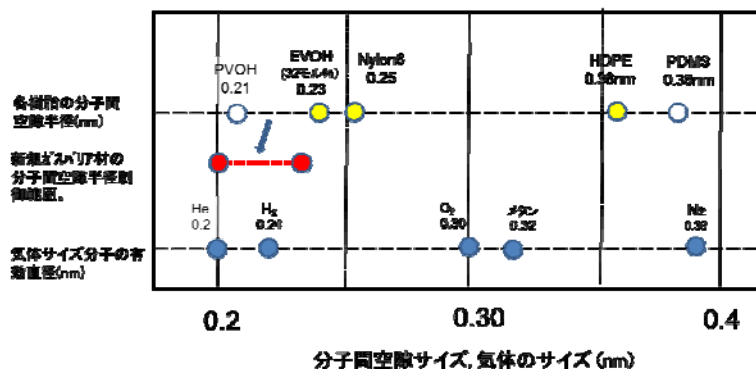


図 6 樹脂の分子間空隙サイズと各種気体のサイズの関係

表 5 各種素材の水素透過度係数および耐ブリスタ性

材料	水素透過度係数 (cc・20 μm/m <sup>2</sup> ・day・atm、40℃)	耐ブリスタ性
HDPE	27000	×
Nylon6	4300	△
EVOH (Et 含 44%)	444	×
EVOH (Et 含 33%)	130	△～×
新規ガスバリア材①	20	○
新規ガスバリア材②	6	○

注) ○:ブリスタなし、△:一部白化、気泡あり、×:全体に白化、気泡あり

### ②82MPa 対応樹脂製高圧水素シールシステムの開発

#### 【高圧水素シールシステム用ゴム材料データベースの構築 (九州大学)】

高圧水素シールシステムに使用される代表的なゴム部材であるゴム製 O リングの高圧水素による破壊はゴム材料中に侵入した水素のため減圧時に気泡を生成し、生成した気泡からのき裂進展による「ブリスタ破壊」、侵入した水素により減圧時に誘起される O リング溝中での体積変化に起因する「はみ出し破壊」および「座屈破壊」が重要な因子であることが判明している。高圧水素シールシステムの信頼性向上のための重要なパラメータとして、各種ゴム材料の高圧水素曝露時の水素量および体積変化量を測定した。ゴム配合中の配合資材の影響を明確にすることを目的として、約 50 種のモデル配合を設定し、高圧水素曝露時の水素量、体積変化量を計測し、データベースとしてまとめた。モデル配合評価により明らかになった主な知見として、水素量、体積変化とも充てん材の影響が大きく、充てん材としてカーボンブラックを用いた場合は水素量が大きくなるものの体積変化の抑制が可能であるのに対してシリカを用いた場合は水素量が小さくなるものの体積変化抑制の効果がなかったことが明らかになった。まとめたデータベースについて、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」より意見聴取した。その結果、データベースとしてより実用的な配合に近いモデル配合を設定することが求められ、水素ステーションにおけるシール材料使用環境、特に使用温度を考慮し、水素ステーション機器用シール材モデル配合ゴム材料を選定した。

プレクールによる冷却水素ガスが流通するディスペンサー機器のシールを想定したゴム材料を対象とする低温モデル配合として、EPDM をベースポリマーとしフィラーとしてシリカを配合し、硬度を 70 度 (デュロ A)

に調整したモデル配合を設定した。これにより、低温特性、耐ブリスタ性、体積変化について、実験計画法を用いた加硫密度、過酸化物量、可塑剤量、フィラー配合、シランカップリング剤の影響検討を進める予定であり、現在これらの試験片 18 種を作成し、高圧水素曝露後の水素量、体積変化の測定を進めている。

蓄圧機周辺など、 $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $50^{\circ}\text{C}$ 程度の環境で使用されることが想定されるゴム材料を想定した常温用モデル配合として、JIS B24011:2012 記載のアクリロニトリルブタジエンゴム (NBR)、水素化アクリロニトリルブタジエンゴム (HNBR) 配合である NBR-90、HNBR-90 材を評価することとし、分科会参加メンバーであるゴムメーカー 8 社の協力を得て、JIS B24011:2012 規格材を提供いただき評価を進めた。図 7 に  $30^{\circ}\text{C}$ 、24 時間、30MPa、50MPa、90MPa 水素曝露後の水素量および体積変化の評価結果を示す。水素曝露後の水素量と体積変化には相関が見られ、カーボンブラック配合のモデル配合である NBR#2 の水素量と体積変化の相関と同様な関係が見られた。JIS B24011:2012 は硬度、引張り強度、伸びなどが規定された範囲の値を示す材料であるが、メーカーごとに使用するゴム材料、充てん材、加硫系などが異なっている。このため、充てん材の影響を大きく受ける水素曝露後の水素量、体積変化には大きな差異が見られた。特に水素量が  $2,000\sim 2,500\text{wt.ppm}$  のグループと  $1,000\text{wt.ppm}$  程度のグループに二分され、水素量はゴム材料の破断強度、破断伸び、圧縮永久ひずみとの相関が見られ、それぞれの物性値が大きいものほど水素量が大きくなることが判明した。

上限温度  $180^{\circ}\text{C}$  と想定されている圧縮機吐出口に使用されるシールを対象とするゴム材料の高温用モデル配合として FKM を用いたモデル配合を設定し、検討を進めた。図 8 に FKM ベースポリマーとしてフッ化ビニリデン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体を選定し、各種フィラーを配合した硬度 (デュロ A) 90 度に調整したモデル配合を作製し、高圧水素曝露後の水素量、体積変化量を測定した結果を示す。一連のモデル配合について水素量と体積変化の明確な相関はなく、フィラーの体積変化抑制効果はフィラー種に依存することが判明した。例えば、ファーンレスブラックは水素侵入時の体積抑制効果が高いのに対してサーマルブラックは体積変化が大きい。同様に無機系フィラーにおいても体積変化抑制効果が異なり、シリカ、炭酸カルシウム、マイカなどが高い体積変化抑制効果を示すことがわかった。

【シール用樹脂・ゴム材料の摩擦摩耗特性 (九州大学)】

バルブなどのシール部に用いられ水素雰囲気において摺動するシール用樹脂材料について、低温水素環境における炭素繊維充てん PTFE の摩擦・摩耗特性データを取得した。その結果、 $-30^{\circ}\text{C}$  の水素環境では、室温水素環境と比較し、炭素繊維充てん PTFE とステンレス鋼間の摩擦係数および比摩耗量が減少する傾向が確認できた。

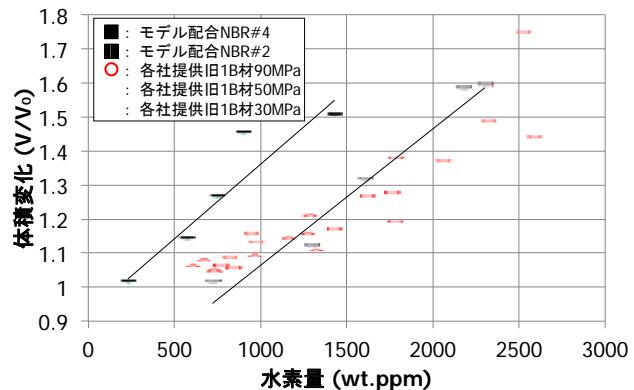


図 7 各社提供の JIS B24011:2012 NBR-90 水素量と体積変化の相関

モデル配合 NBR (中高ニトリル:ZEON Nipol 1042)、硫黄加硫  
 NBR#2: カーボンブラック (HAF、東海カーボンシート 3) 50 部充てん (A78)  
 NBR#4: シリカ (東ソーシリカ Nipsil VN3) 60 部充てん (A83)

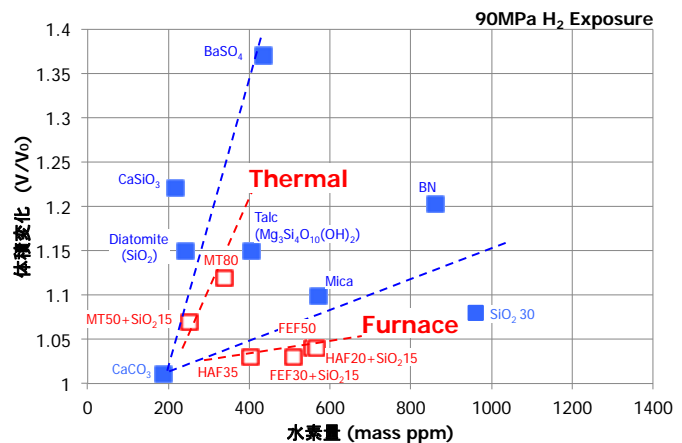


図 8 FKM モデル配合の水素量と体積変化の相関



試験終了後の試験片の分析結果から、低温水素環境ではステンレス鋼表面への炭素移着量が増加する傾向があることが判明した。

【82MPa 対応樹脂製高圧水素シールシステムの開発 (CERI)】

前項で示したとする低温用モデル配合である、カーボンブラックまたはシリカ配合 EPDM について、カーボンブラックの配合量 (0、25、50 phr)、シリカの配合量 (0、30、60 phr)、シランカップリング剤の配合量 (0phr、シリカ配合量に対して 8%) など 16 種の低温用モデル配合について、30°C、90MPa、24 時間の高圧水素曝露による物理的および化学的劣化現象について評価した。

最多 5 回の高圧水素曝露において、カーボンブラックを補強剤とした試料は、補強剤を含まない試料と比較してブリスタによる損傷が軽微で、強度、低温特性の低下は確認されなかった。また、ブリスタ破壊によるき裂やボイド発生が顕著な試料は硬さ、反発弾性率はわずかに低下し、水素ガス透過性

はわずかに上昇する傾向が認められた。種々のシランカップリング剤を添加したシリカ 30phr モデル配合では、シランカップリング剤の種類によってブリスタ発生状況に差異が認められ (図 9)、ブリスタ発生を抑制するシランカップリング剤として EPDM-SC30-S と EPDM-SC30-M が見出された。硬さ、引張応力は曝露後にやや低下する傾向が認められ、強度、反発弾性率、低温特性、水素ガス透過性には明瞭な変化は認められなかった。カーボンブラック配合、シリカ配合 EPDM とともに、高圧水素曝露による、化学構造の変化、ゴム組成の変化、架橋密度の変化は観測されなかった。

また、シランカップリング剤が水素特性に与える影響を調査した。図 10 にシリカ配合量とシランカップリング剤の種類を変えた EPDM モデル配合の 90MPa 高圧水素曝露後の体積増加率と水素量を示す。その結果、シリカの配合は水素量を低減することがわかった。また、シランカップリング

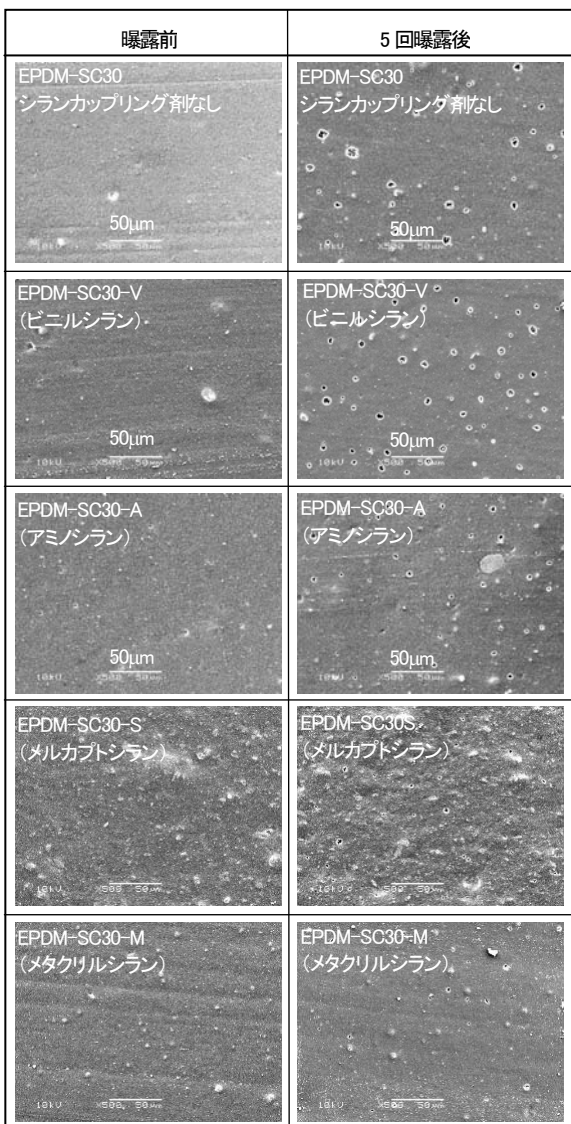


図 9 シリカ配合 EPDM (シリカ配合量 30phr) の 90MPa 高圧水素曝露-減圧後の断面内部破壊状態走査型電子顕微鏡 (SEM) 像

-V: ビニルトリメトキシシラン、-A: N-2(アミノエチル)-3-アミノプロピルトリメトキシシラン、-S: 3-メルカプトプロピルトリメトキシシラン、-M: 3-メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン、-記号なし: シランカップリング剤なし

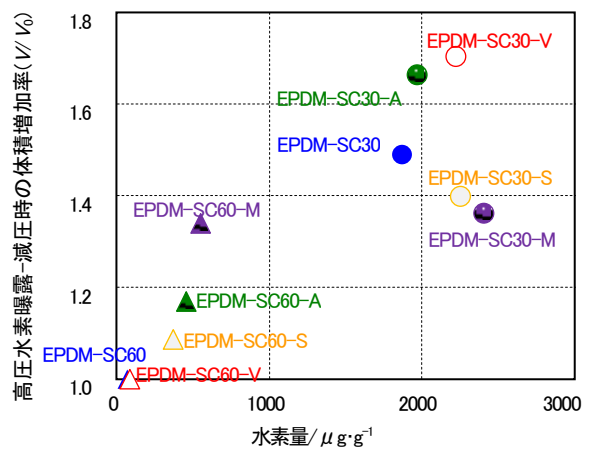


図 10 シランカップリング剤配合 EPDM の 90MPa 高圧水素曝露に伴う水素量と体積増加率  
SC60: シリカ 60phr、SC30: シリカ 30phr、-V、-A、-S、-M は前図と同じ

剤の配合は水素量を増大させる傾向があることが判明した。加えて、動的弾性率の動的振幅依存性解析(ペイン効果測定による分散状態解析)により、シランカップリング剤はシリカの凝集を抑制していることが確認され、このため水素量が増大している可能性が示唆された。応力ひずみ曲線による補強効果解析により、補強効果が得られた EPDM (EPDM-SC30-S と EPDM-SC30-M) で体積増加が抑制され、体積増加を抑制可能なシランカップリング剤が見出された。

シール材メーカーが高压水素用シール材を開発するために活用可能な基礎的知見が得られた。

### 【82MPa 対応樹脂製高压水素シールシステムの開発 (NOK)】

高压水素シール材として使用されるゴム・エラストマー材料は、82MPa のシールシステムに適応できる高性能化ゴム材料開発と長期信頼性、ユーザー利便性、安全性の継続的な追求が重要である。加えて、システム低コスト化、高耐久化、高寿命化、標準化など検討すべき課題は数多く残されている。よって、これら課題を解決すべく、高压水素用シールシステムについて継続して検討を進め、更なる課題に対応していく必要がある。

O リングのシール力は、シール溝内でつぶされて発生する接触圧力および O リングのゴム弾性による圧縮応力によって得られる。設計因子としては、充てん率や、つぶし率、O リング寸法など設計特性が因子として関与する。対して、圧縮応力は、ゴム材料特性である弾性率や環境条件に対する耐性である材料特性が因子として影響する。そこで、信頼性が高く、実使用上問題なく使用可能なシール製品を提供するため、水素ガスシール用ゴム材料の開発ならびに評価基準立案など実用上役立つ知見を系統的に得ることを目的として、ゴムシールの設計特性および各種材料の水素特性に着目した評価を実施した。

### 【低温環境下におけるゴム O リングの高压水素ガスシール特性 (NOK)】

シール力の要素であるゴムの圧縮応力はつぶされた時の変形率(つぶし率)とゴムの弾性率により決定されるが、これら性質は低温環境になると著しく変化することが知られている。一般にゴムシール材料の低温側シール可能温度は JIS K 6261 で規定される TR10 値を目安とするが、高压ガスシールの場合、プリスタ破壊、ガス溶解に起因する体積変化による破壊などの因子が実際に使用される際の低温側シール限界温度に影響する。モデルゴム材料の高压水素ガス環境下におけるシール可能温度範囲を把握し、材料特性との

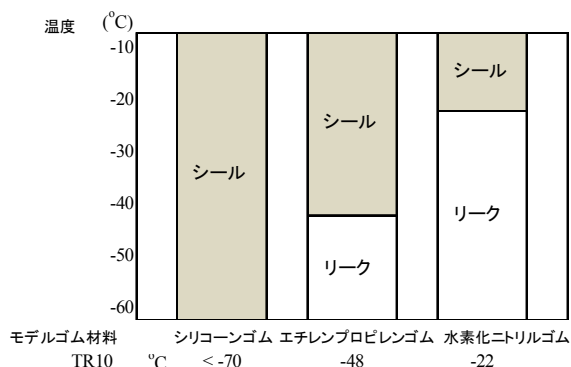


図 11 モデルゴム材料の低温側シール限界温度

相関関係を見出すことを目的として、低温下の高压水素ガスの漏洩挙動の検証を行った。結果、高压水素ガス環境下においても、TR10 近傍にシール限界温度があり、低温漏れの原因はゴムと相手面のすきまに起因する界面漏れが主因であることを明らかにした(図 11)。界面漏れは、O リングの設計や相手金属の粗さなどシール設計諸元での改善が可能であるため、シール溝の最適設計を提示することが必要である。

### 【高压水素用シールシステムの最適設計検討 (NOK)】

高压ガス環境下で使用されるゴム O リングは、ゴム材料中に侵入した水素による体積変化に起因する「はみ出し破壊」および「座屈破壊」が発生する。このため通常のシール設計基準で推奨されるつぶし率および充てん率の溝設計範囲をそのまま高压水素シールに適用すると、O リングの体積変化に起因する破壊が発生する懸念がある。幅広い温度域で使用されるゴム製 O リングの使用条件を模擬したモデル的な圧力サイク



ル条件を設定し、ガス漏洩有無について、モデルシリコーンゴム材料を用いて検討し、低温での界面漏れのシール設計諸元についてシール可否を示すマップを作製した。シール仕様は、図 12 に示す円筒面軸シールの形状とし、バックアップリングを用いたシール仕様に加え、上流部にはみ出し防止バックアップリングを追加した構成を採用した。耐久試験は、-40、30、85°C 環境下で 6,600 回の

90MPa⇔0.5MPa の圧力サイクル耐久試験を実施し、シール

可否を評価した。結果、設定したモデル条件では、試験中に急激な圧力低下および水素漏洩は見られなかった。また、設計諸元ならびに雰囲気温度によるシールへの影響も見られなかった。これらの知見を、水素機器用シール設計にフィードバックしている。

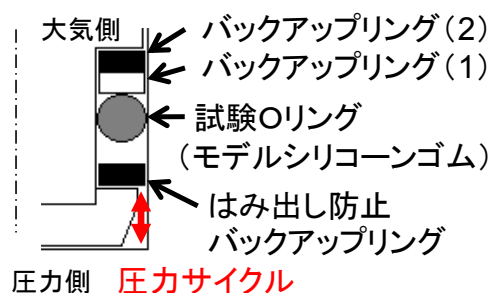


図 12 試験シール仕様

## (2) 高圧水素用ホース・高圧水素シールシステムの評価基準に関する研究

### ①82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準化

#### 【高圧水素用ホースの技術基準化ドラフト版作成 (HySUT)】

樹脂材料の耐水素特性（ブリスタ特性など）を調査し、これを考慮した試験法を検討した。また、高圧ガス保安法や海外の高圧水素用ホース規格で定められた試験方法を調査した。上記に加え、ホース開発状況や業界ニーズを反映し、それらを取りまとめて、高圧水素用ホースの技術基準化ドラフト版を作成した(表 6)。

後述の九州大学での低温における高圧水素ガス環境下での環境応力割れに関する検討結果より、ホース耐久性評価の検討において、実際の使用環境を模擬した応力負荷かつ高圧水素環境下でのホースの耐久性を評価することが重要であると結論付けた。そこで、水素ガスを用い、充填を模擬した圧力サイクル試験（以下、水素インパルス試験）の試験条件を検討し、試験設備での試験を実施し、水素インパルス試験の条件を検討している(図 13)。

日本規格と国際規格の調和を図るため、平成 25 年度から規格化が始まった ISO 国際規格(ISO 19880-5) の原案となる CSA(Canadian Standards Association)の高圧水素用ホース規格(ANSI/CSA HG4. 2-2012)を調査する為に、CSA を訪問して、試験内容のヒアリングと試験設備の調査、関係者との意見交換を行った(写真 3、4)。また、平成 27 年には NREL(National Renewable Energy Laboratory)および CSA、Powertech Lab, Inc.を訪問し、ISO 国際規格の試験条件や、下記に記す日本から提案している水素インパルス試験でのホース評価方法などについて、意見交換を行った。また、平成 25 年度から規格化の検討が始まった ISO 国際規格の国内の技術検討体制に基づき、NEDO 事業「水素利用技術研究開発事業/FCV および水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/水素ステーション機器における実用化技術の海外動向および国際標準化動向に関する調査検討」と連携し、ISO 規格化の国内 WG 委員会にホース基準化ドラフト版を提案した。また、ISO WG22 に参加し、ISO 策定に関わる日本からの提案に本基準化ドラフト版を活用した。特に水素インパルス試験について日本から ISO に提案することで、応力負荷かつ水素環境下でのホースの耐久性評価について国際調和が取れるよう働きかけている。

表6 高圧水素用ホースの技術基準化ドラフト版（一部抜粋）

項目	NEDOホース開発仕様と試験項目				CSA HGV4.2での規格値と試験規定	
	開発仕様	試験目的	判定基準	試験条件	規格値	試験詳細
JIS・例示基準で規定された試験	設計圧力 90.2MPa (常用圧82MPa×1.1)	強度が許容応力以上あることの確認	当該試験において、破壊を生じないこと	圧力:360.8MPa 温度:23±2℃ 流体:水 保持時間:5分	98MPa	圧力:392MPa(98MPa×4) 昇圧速度:100MPa以下 流体:水 保持時間:1min
本NEDO事業で基準化する試験	引張強度	2,000N以上	ホースが軸方向に対して一定の強度を持つことの確認	2000N以下で金具抜けやホース破断のないこと 圧力:大気圧 温度:常温 引張速度:25mm	1,780N以上	— 温度:85℃×70hr加熱後、室温×2hr放置 引張速度:0.2mm/sec以下
	水素ガス透過耐性	500cc/(hr・m)[仮]	想定される使用条件において、水素ガスのホース透過量が許容値内であることの確認	当該試験において、透過量が500cc/(h・m)[仮]以下であること 圧力:90.2MPa 流体:水素ガス 流体温度:65℃ 雰囲気温度:50℃(65℃?)	20ccN/hr・m	ホース長さ:24inch以上 流体:水素 圧力:87.5または70MPa×1.25 保持時間:14days
CSA HGV4.2のみに規定されている試験	彎折耐性	—	ホースに一定の折れが生じた場合も許容値以下の伝導性を有することの確認	—	100回以上	温度:-40℃ 1サイクル:内角60°±5°に曲げ1min保持し、その後、通直で2min保持 サイクル数:100回

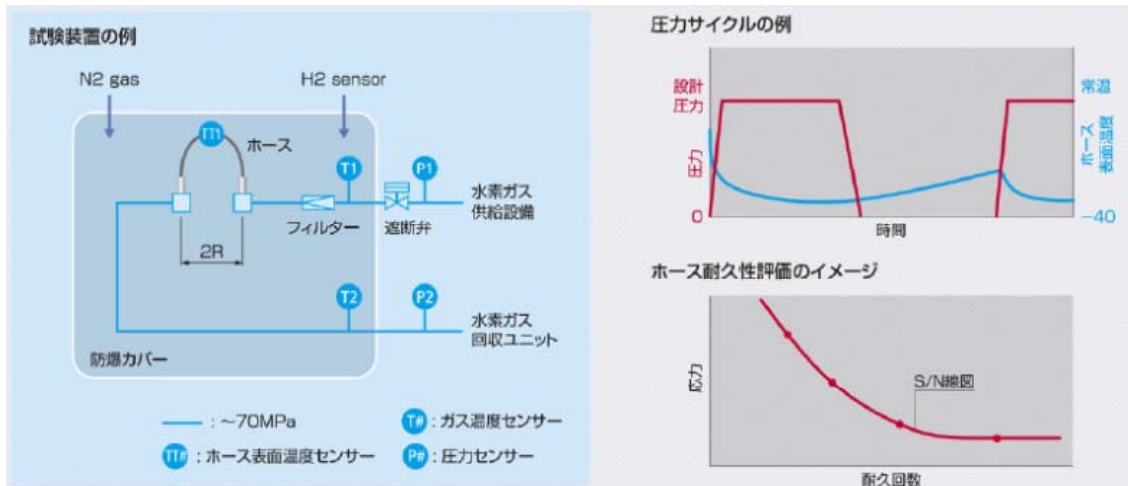


図13 水素インパルス試験の概念図



写真3：油圧衝撃試験設備（CSA）

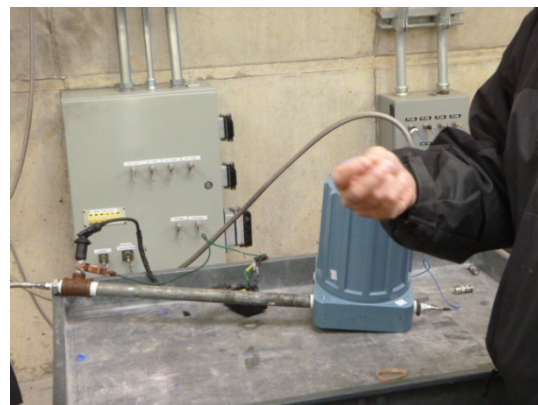


写真4：耐圧防爆試験設備（CSA）

### 【82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準化（九州大学）】

高圧水素ホース使用に関する評価基準に関する試験片レベルの評価法として、前述の高圧水素曝露時の水素溶解量、体積膨張率の測定および水素溶解、脱離に伴う試験片中のブリスタ（気泡）発生の評価を進めている。さらに、ホース材料はプレクールによる低温高圧水素環境下で応力が負荷される。環境応力割れが懸念されることから、樹脂試験を曲げた状態で固定し、低温高圧水素環境に曝露した後に発生するクラック、クレイズを観察する手法を開発した。70MPa 級高圧水素ホースの内層材の従来材に

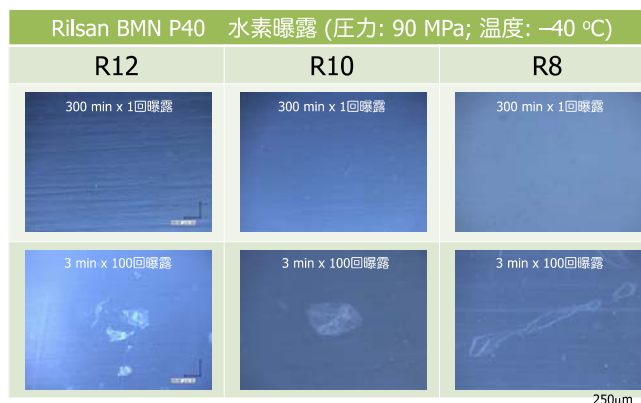


図 14 従来材環境応力割れ評価結果

1mm 厚試験片の曲率半径(R=8、10、12mm)を固定し、水素曝露

ついて、可塑剤配合の影響を評価した。(図 14) 可塑剤を配合した試験片において、繰り返し 100 回曝露試験後にクレイズ形成が確認された。可塑剤を配合していない試験片の外観は、曲率 R12 の試料を除き水素曝露前後で破損・損傷は確認されなかった。これらの結果から低温における高圧水素ガス環境下での環境応力割れについて評価が可能となった。

ホース評価法については、評価の標準化を想定したホースの水素加減圧試験法を（一財）水素エネルギー製品研究試験センターの設備を用いて検討を進めている。標準的な評価法としては、短時間での性能確認が可能であることが必要となる。短時間での目標回数の加減圧試験が可能な条件として、雰囲気温度-40℃、水素ガス温度-40℃、昇圧 15 秒、高圧保持 5 秒、脱圧 1 秒、低圧保持 5 秒の加減圧サイクルを設定した。これにより 26 秒サイクルとなり、サイクル加減圧運転時間約 48 時間、5 日程度で目標回数である 6,600 回に到達する。現在、高圧水素ホース 3 種について、同条件にて評価を進め、評価条件の妥当性検証を進めている。

### 【82MPa ホースの信頼性評価試験案の検討（横浜ゴム）】

82MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案作成のため、82MPa ホース開発目標値およびホース試験方法の検討、海外提案の ISO 規格案の審議および海外評価機関の調査を実施した。検討結果を基に事業関係者の合意を得た上で信頼性評価基準案を作成した。また、本基準案を ISO 規格案として提案を行った。2016 年末の ISO 規格発行を目標に進行中である。今後は水素ガス繰返し加圧耐久性試験方法を確立し、ISO 規格へ反映する。

### 【積層チューブの構成検討（日本合成化学工業）】

完全相溶化し IPN 構造の形成が可能なガスバリア層とナイロン開発品よりなるチューブは、異種材料間で明瞭な界面が存在しない故、繰返し水素曝露下でも界面剥離を引き起こさないことを確認。

### ②82MPa 対応水素シールシステムの信頼性評価基準化

### 【82MPa 対応水素シールシステムの信頼性評価基準化（九州大学）】

これまで評価が困難であった水素曝露後の水素量の温度依存性を評価する手法として、高圧水素による差圧法による水素透過計測手法を開発した。板状試験片の片面に高圧水素を曝露し、反対側の水素量を計測することにより透過曲線の測定が可能となり、これより拡散係数、透過係数を評価することができる。この結果から水素量の評価が可能となる(図 15)。この方法は、従来の水素曝露後の試験片の昇温脱離ガス解析装置による分析手法と

比べ、試験片の大気中への取り出しがないことから温度変化測定が可能となること、拡散係数が大きく水素脱離が早いことなどから測定が困難であったシリコンゴムの測定が可能となることなどの利点がある。図15に一例としてカーボンブラック充てんNBRモデル配合であるNBR#2について、透過曲線の水素圧力依存性を示す。70MPaにおいても透過曲線の計測が可能である。透過開始までの時間遅れ（タイムラグ）から透過距離、透過面積などを用いて拡散係数の算出が可能である。

また、加圧および減圧時のシールの変形・損傷に対するゴム/金属間の摩擦および異物混入の影響調査を実施した。シール用ゴム材料の特性評価の一環として、加圧時のシールの変形に対するゴム/金属間の摩擦の影響に関する調査を実施した。Oリングの変形挙動観察結果から加圧中にOリングが急激に膨らむ臨界圧力の存在、リング半径の不均一な増加、臨界圧力以下でのゆっくりとした準備過程に続く急激な膨張などの現象が観察され、加圧時のOリング挙動における摩擦の重要性が示唆された。

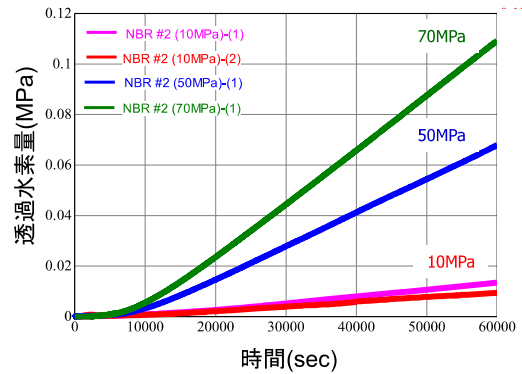


図15 NBRモデル配合の透過試験結果  
モデル配合NBR#2:NBR（中高ニトリル:ZEON Nipol 1042）、硫黄加硫：カーボンブラック（HAF、東海カーボンシースト3）50部充てん（A78）

### 【82MPa 対応水素シールシステムの信頼性評価基準化（CERI）】

シールシステム用材料の強度特性、水素溶解量とJISなどで測定法が規定されている一般的手法で取得された大気環境中におけるゴム材料の物理的特性の相関を検討するため、水素曝露前後のモデル配合ゴム材料について、ゴム材料の物理的特性として、硬さ、引張応力、低温特性、動的粘弾性、圧縮永久ひずみ、ガス透過性、を測定し、高圧水素曝露後の水素量と体積増加との相関を評価した。測定した物理的特性と水素量および体積増加との相関は明確ではなかった。繰り返し高圧水素曝露によるこれらの物理的特性の変化は軽微であった。

### 【高圧水素環境下におけるゴムOリングの水素ガス透過特性（NOK）】

ゴム材料の高圧水素ガス輸送パラメータ（溶解拡散挙動）は、Oリングの重要な特性であり、その評価のため図16に示す高圧水素によるガス透過測定装置を開発した。シール用途で実績のあるゴム材料のガス透過曲線を測定し、材料を比較可能なデータおよび透過挙動を把握した。これら評価結果により、使用環境に対して最適なゴム材料およびガス透過量の知見が得られ、材料選定、次世代材料の開発、シール耐久性・安全性・信頼性評価基準の提案にフィードバックすることができる。

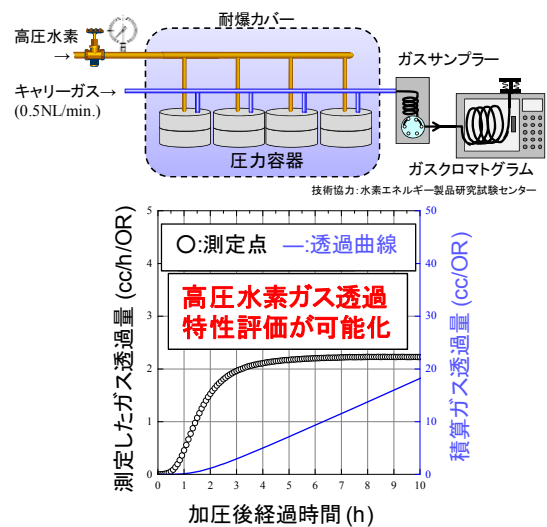


図16 測定装置および測定結果の一例



### 3. 2 成果の意義

①FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性を保持)を達成する 82MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発

#### 【成果の意義】

FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンスを達成するために必要な 82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの要求仕様、確認試験項目を決定し、開発を進めている。材料については、従来品に比べより良好な耐水素性と従来品相当の柔軟性の両立が可能なナイロン開発品を開発した。また、耐圧・耐久性能を有するホース仕様の確立が完了した。また、本目標を実現するため、樹脂中に侵入する水素量、その際の体積増加率、およびこれらの樹脂材料の結晶化度の影響、低温における強度特性を計測し、これらの結果をホースの寿命評価、ホース設計へフィードバックしている。今後、ホース内面層材料の耐水素性/耐低温性評価および 82MPa 水素でのホース繰返し加圧耐久性試験の実施およびホースの実用性評価の実績を蓄積することにより目標達成を見込む。

目標達成後は、開発されたホースを市場に提供することにより、FCV への充填圧力上限が従来の 70MPa から 82MPa まで高圧化が実現され、充填量の増加による FCV の航続距離延長といったお客様利便性向上に貢献できる。また、ホース使用者 (ST 運営事業者など) のニーズに合致した耐久性・信頼性を持つホースを提供できることになり、ホース交換頻度の減少やホース不具合リスクの低減など、ST 運営の円滑化に貢献できる。

②FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル回の耐久性\*1 を保持)を達成する 82MPa(-40℃)に対応した高圧水素シールシステムの開発

#### 【成果の意義】

高圧水素機器の高圧水素ガスシール用ゴム材料は高圧水素に直接曝露される。このため、高圧水素ホースや高圧水素機器の開発に際して、ゴム、樹脂材料に対する高圧水素曝露時の侵入水素量、それによる体積変化など、高圧水素によるゴム、樹脂材料の信頼性への影響を把握することが必要である。しかしながら、ゴムメーカーより供給される実用的なゴム材料は、通常配合が非公表であり、これらの実用的な材料を用いてゴムの配合と水素量、体積変化量の相関を検討することは困難である。高圧水素曝露時の水素量、体積変化評価のためには配合の明確な試験片が必要である。本研究はゴム材料、樹脂材料について、工業的生産のため重要なシランカップリング材などの配合資材を含む配合や仕様を明確にした試験片の評価結果をデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」を通じて、水素機器開発に関係する材料メーカー、ゴムメーカー、部材メーカー、水素機器メーカーなど 50 社に配布し、高圧水素機器の高圧水素ガスシール用ゴム材料に対する高圧水素の影響について共通の理解を得るべく議論を進めている点に意義がある。また、配布したデータベースの知見を活用し、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」会員企業において、各種水素機器に用いられるゴム、樹脂材料開発が進められている。高圧水素機器用開発に活用できる基礎的な知見が系統的なデータベースとして得られた意義は大きいと考える。

③JPEC-S 化に向けた 82MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成

#### 【成果の意義】

ISO 19880-5 の検討との調和を図りつつ、JPEC-S 化に必要な 82MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成が進んでおり、平成 27 年度末までに基準案を決定する。最終的な JPEC-S 化の時期は ISO 19880-5 との調和を図るため、ISO 19880-5 の制定予定時期である平成 28 年 12 月以降とする予定である。

目標達成後は、国内自主基準である JPEC-S が制定されることで、ホースの性能品質が保証され、ホース使用者 (ST 運営事業者など) に対するホースの信頼性が向上することが見込まれる。また、国際基準と調和するこ

とで、国内メーカーの開発ホースが JPEC-S を満足すれば、円滑に海外への製品展開が可能となるという効果が見込まれる。

#### ④JISB2401 化に向けた 82MPa(-40°C)水素シールシステムの信頼性評価基準案の基礎となる材料評価データまとめ

##### 【成果の意義】

シールシステム用材料について、高圧水素設備を必要としない一般的な設備で測定が容易である JIS などで測定法が規定されている大気環境中におけるゴム材料の物理的特性と、水素曝露後の水素量、体積変化の相関を検討した結果は、JIS B2401 などのゴム製 O リング規格策定のための基礎データとして意義がある。また、既存のゴム製 O リング規格材の水素曝露後の水素量、体積変化を測定し、規格値との相関を検討した結果は、高圧水素シール用ゴム材料の規格に関する検討のモデルケースとして意義がある。規格材である JIS B2401:2012 NBR-90 材について水素量、体積変化を計測し、既存の規格と水素特性の相関検討により、設定されているゴム材料の物性値による規格が水素特性に関する規格としての妥当性を検証することができる。

また、シールシステム評価法として、燃料電池自動車、水素ステーション周辺機器のシールシステムについて、実製品を模擬したシールシステムおよび環境条件での検証を進め、各ゴム材料の低温環境下での高圧水素ガスシール限界温度を明らかにし、さらに HyTReC でのモデル条件評価で、6,600 回の長期耐久性を担保する結果が得られた点は、高圧水素シールシステム信頼性評価基準案策定のため意義がある。

### 3.3 成果の最終目標の達成可能性

最終目標 (平成 29 年度目標) 【参考】

①FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性を保持)を達成する 87.5MPa(-40°C)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発

##### 【達成可能性】

ホースの補強層構造については、82MPa ホースの開発検討と同時並行で、87.5MPa に対応した耐圧性能を有する構造に目処が立った状況である。材料についても水素耐性を持つ開発が進んでいる。また、樹脂材料の高圧水素曝露時の水素量、体積変化など基礎的なデータを収集し、知見を共有化することでこれらの開発の加速が可能であると考えている。また、87.5MPa(-40°C)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発に関し、開発中の高圧水素ホースについて、試作段階の実使用環境を模擬したモデル条件による評価で温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性を有することが実証されている。上記の通り、82MPa(-40°C)のホース開発の知見が蓄積されており、それを応用することで、より効率的な開発が可能と考えており、最終目標の達成は可能と考えている。

②FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性を保持)を達成する 87.5MPa(-40°C)に対応した高圧水素シールシステムの開発

##### 【達成可能性】

ゴム材料データベースを活用することにより、水素機器メーカー、シール部材メーカーにより高圧水素シールシステムを適用した水素機器の開発が進められている。開発中の緊急離脱カップリングなどの水素機器に適用されるシールシステムについて、実使用環境を模擬した 87.5MPa(-40°C)に対応する条件により温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性を有することが実証されている。このことから本目標は達成可能と考えている。

### ③JISB2401 化に向けた 82MPa(-40°C)水素シールシステムの信頼性評価基準案の作成

#### 【達成可能性】

JISB2401 化に向けシールシステム用材料について、差圧式透過法によるゴム、樹脂材料の透過特性評価など、評価法の検討を進めるとともに、高圧水素設備を必要としない一般的な設備で測定が容易である JIS などで測定法が規定されている大気環境中におけるゴム材料の物理的特性と、水素曝露後の水素量、体積変化の相関を検討した結果についてはデータベースとして集約を進めている。また、JISB2401 化のモデルケースとして、既存のゴム製 O リング規格材の水素量、体積変化について今年度中にデータ取得を完了し、既存の規格と水素特性の相関検討を進める予定であることから、本目標は達成可能と考えている。

#### 4. まとめおよび課題、事業化までのシナリオ

##### 【HySUT】

###### <まとめ>

現状の水素ステーションの 70MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの運用パターンと充填条件、ホース表面温度やホース曲げ R についてデータを収集し、また、関係者会議を企画し、設計圧力や最小曲げ R などの業界ニーズを加味して内容の検討を行い、それらの結果を 82MPa 対応高圧水素用ホースの要求仕様、確認試験項目を決定した。

樹脂材料の耐水素特性、高圧ガス保安法や海外の高圧水素用ホース規格で定められた試験方法を調査し、さらに、ホース開発状況や業界ニーズを反映し、それらを取りまとめ、高圧水素用ホースの信頼性評価試験案を策定した。

###### <課題>

平成 27 年度に適切な評価サイトなどでホースの実用性を評価するスキームを検討し、ホースの使用状況を収集する体制を確定させ、ホースの実用性評価の実績を蓄積することが今後の課題である。

##### 【九州大学】

###### <まとめ>

水素機器用ゴム・樹脂材料について高圧水素ホース用樹脂材料、モデル配合ゴム材料について、高圧水素曝露後の水素量、寸法変化についてデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」を通じて 50 社に配布、情報共有、議論を実施した。

本研究の一部を大阪大学に再委託し、高圧水素ホース用樹脂材料の高圧水素曝露時の水素量と体積膨張について、樹脂材料の高次構造との相関検討を進めた。ホース用内層樹脂として使用されている PA11 について、結晶化度が異なる試験片を作製し、樹脂材料の結晶化度と水素量の相関を検討した。その結果、結晶化度の高いものほど水素曝露時の水素量が小さくなることが判明した。

本研究の一部を山形大学に再委託し、高圧水素用ホースは充填時のプレクールにより-40°Cに冷却された水素ガスが流通ため、PA11 について低温強度特性を評価した。その結果、可塑剤配合量が大きくなるに従って脆化温度が低下した。また、脆性破壊時の曲げひずみは、概ね 10%以下にあり、温度依存性は小さいこと、水素曝露による脆性破壊曲げひずみの変化は小さいことが判明した。

水素雰囲気において摺動するシール用樹脂材料の摩擦・摩耗特性データを取得した。その結果、-30°Cの水素環境では、室温水素環境と比較し、炭素繊維充てん PTFE とステンレス鋼間の摩擦係数および比摩耗量が減少する傾向が確認できた。

水素ステーション機器用高圧水素シール材として使用されるゴム材料について、その使用部位による温度・圧力条件を調査した結果、低温用、常温用、高温用に分類した。低温用として EPDM、常温用として JIS



B24011:2012 NBR-70 材、高温用として FKM を選定し、標準配合を設定し、水素特性データ取得を進めた。

高圧水素用ホースの信頼性評価法検討の一環として、低温高圧水素環境下での環境応力割れ評価法、高圧水素ホース加減圧試験法を設定し、評価を進めている。

水素シールシステムの信頼性評価法検討の一環として、差圧式透過法によるゴム、樹脂材料の透過特性評価法、O リング可視化による O リング挙動評価法を設定し、評価を進めている。

<事業化シナリオ>

本研究の成果は、本事業参画企業である横浜ゴム、日本合成化学工業、NOK により高圧水素ホース、高圧水素機器用ゴム製 O リングなどとして事業化が進められている。また、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」参画企業においても本事業の成果を活用した事業化を目指した開発が進められている。

#### 【CERI】

低温環境下用高圧水素シール材の高圧水素曝露による劣化挙動を調査し、更なる長期の高圧水素曝露影響評価を実施することで、経済的かつ技術的にメーカーの開発を支援する。また、シリカ配合におけるシランカップリング剤（加工性と補強性を改善する配合剤）は水素特性に影響を与えることがわかった。

#### 【横浜ゴム】

##### ①82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの開発

<まとめ>

82MPa の耐圧耐久性能と軽量・柔軟性を両立するホース補強層構造を確立し、更に 87.5MPa ホース補強層仕様確立の見通しを得た。

70MPa 水素ガスでのホース繰返し加圧耐久性試験を実施し、ホース曲げ半径と耐久性の関係、加圧時内面層歪みの低減による耐久性の向上を把握した。

<課題>

ホース信頼性評価の実施において、実証試験実施（試験場所、試験条件など）の検討を行う。

ホース耐久性の向上（内面層材料の耐水素性および耐低温性）において、本事業開発材料の評価を行う。

##### ②82MPa 対応高圧水素用ホースの信頼性評価基準化

<まとめ>

ホースの信頼性評価試験案を策定し、開発目標値を決定した。更に評価試験案について ISO 規格案への提案を実施した。

<課題>

水素ガス繰返し加圧耐久性試験方法を確立する。

規格化のため、海外機関を含めた複数試験機関での評価を実施する。

<事業化までのシナリオ>

ホース開発課題である 82MPa 水素ガスでのホース繰返し加圧耐久性評価を実施し、平成 28 年度の 82MPa 対応ホース商品化を目指す。最終目標である 87.5MPa 対応ホースの開発については、平成 30 年度商品化を目標に継続して取り組む。水素ステーション普及に伴い、充填用ホースの需要増加も見込まれるため、法改正（昇圧化）に対応するホース供給を行う。また、平成 28 年度の ISO 規格発行と同時に、規格適合ホースとして開発ホースの海外展開を図る。

更に、82MPa ホース開発の設計技術を基盤にステーション周辺機器や燃料電池自動車車載用配管、家庭用燃料電池、工業ガス充填設備配管などの各種水素ガス輸送分野への用途拡大を図り、水素用ホースの事業化を目指す。開発ホースは、従来技術との比較においても、耐圧・耐久性と軽量・柔軟を両立しており、ディスプレイホースなどの充填用途においては充填作業性の向上、車載用配管などにおいては量産時の組立性向上による需要が見

込まれる。

## 【NOK】

### <まとめ>

各種ゴム材料の高圧水素特性を取得し、材料探索に資する高圧水素シール性を比較できる評価手法の礎を得ることができた。

モデルゴム材料の高圧水素シール限界および6,600回のシール耐久性、推奨するシール溝設計指針を明らかにした。

信頼性評価としてOリングによる高圧水素ガス透過特性取得の方法について検討し、現在データを収集し、評価を進めている。

### <事業化までのシナリオ>

本研究の成果は、高圧水素機器用シールとして実用化ならびに事業化を推進している。得られた高圧水素シールシステム設計指針を試作検討の段階から提案することで、実用化・事業化を推進する。

## 【日本合成化学工業】

### <事業化までの主な検討項目>

- ① 樹脂(柔軟化ナイロン、柔軟化EVOH)の量産化検討と量産化条件下での水素耐性、耐衝撃性などの物性へ影響確認と調整。
- ② 商用ステーションでの82MPaホース実証試験結果への対応。

### <量産化検討>

成形条件の影響の有無を考慮しながら量産化条件を詰め、特に低温データ評価(-40℃下での線膨張係数、耐ブリスタ試験、疲労試験)を行い、目標特性を満足すべき量産化条件の最適化を進める。同時に九州大学と日合化の間でナイロン開発品とナイロンベース品の基礎評価を進め、従来品およびナイロンベース品とナイロン開発品との差異の検証を行い、設計の確からしさの検証を量産化検討と同時に行う。コンパウンド1kgあたりの加工賃として100円を念頭にナイロン開発品および柔軟化EVOHは、3~3.5ton/日の生産能力を目指す予定。

## 5. 研究発表・特許など

—研究発表・講演、文献など、その他—

(誌上発表)

No.	年月	発表先	題目	発表者
NOK				
1	平成26年2月	Hydrogen-Materials Interactions、 Proceedings of the 2012 International Hydrogen Conference	A STUDY ON LONG-TERM SEAL DURABILITY AND FRACTURE MODE OF RUBBER O-RING BY HIGH-PRESSURE HYDROGEN GAS CYCLE	Koga A Yamabe T Uchida K、 Nakayama J、 Yamabe J Nishimura S
2	平成26年9月	Proceedings of the International Rubber Conference IRC2014 Beijing、 China	HIGH-PRESSURE HYDROGEN SEALABILITY AND DURABILITY OF RUBBER O-RING	Koga A Fujiwara H Nishimura S

No.	年月	発表先	題目	発表者
3	平成27年6月	Proceedings of the International Rubber Conference IRC2015 Nurnberg, Germany	A Fundamental Research on rubber O-ring for High-Pressure Hydrogen Seal	Koga A, Fujiwara H, Nishimura S
九州大学				
4	平成25年12月	日本ゴム協会誌	高圧水素ガス環境下におけるエチレンプロピレンゴム製シール材の破壊現象	西村伸
5	平成25年12月	Polymer Journal	Nanoscale heterogeneous structure of polyacrylonitrile-co-butadiene with different molecular mobilities nalyzed by spin-spin relaxation time	Hiroaki Ono, Hirotada Fujiwara and Shin Nishimura
6	平成26年4月	高分子論文集	アクリロニトリルブタジエンゴム分子運動に及ぼす平均連鎖長の影響	小野 皓章、藤原 広匡、西村 伸
7	平成26年12月	International Journal of Hydrogen Energy40 2025-2034	Degradation behavior of acrylonitrile butadiene rubber after cyclic high-pressure hydrogen exposure	Hirotada Fujiwara, Hiroaki Ono, and Shin Nishimura
日本合成化学工業				
8	掲載準備中	ゴム技術シンポジウムシリーズ	高圧水素バリア材の開発	渋谷光夫

(口頭発表)

No.	年月	発表先	題目	発表者
HySUT				
1	平成26年10月	水素高分子材料研究分科会	水素ステーション用高圧水素充填ホースの開発 ～水素ステーション普及に向けた取り組み～	山梨 文徳
NOK				
2	平成25年5月	日本ゴム協会 2013年年度大会	高圧水素ガスサイクルによるOリングのシール耐久性評価	古賀敦 山部匡央 藤原広匡 西村伸
3	平成25年11月	水素エネルギー協会 第142回定例研究会	高圧水素ガスシール用Oリング開発	古賀敦

No.	年月	発表先	題目	発表者
4	平成 25 年 12 月	日本ゴム協会 第 25 回エラストマー討論会	低温環境下における高圧水素ガスシール特性	古賀敦 藤原広匡 西村伸
5	平成 26 年 1 月	第 8 回水素機器用エラストマー材料研究分科会	NEDO 事業における高圧水素シール用シリコンゴムの評価状況	古賀敦
6	平成 26 年 5 月	日本ゴム協会 2014 年年度大会	高圧水素ガス透過量測定による O リングのシール性評価	古賀敦 藤原広匡 西村伸
7	平成 26 年 7 月	日本ゴム協会 第 202 回ゴム技術シンポジウム	高圧水素シール用 O リングの開発状況	古賀敦
8	平成 26 年 9 月	International Rubber Conference IRC2014 Beijing、 China	HIGH-PRESSURE HYDROGEN SEALABILITY AND DURABILITY OF RUBBER O-RING	Koga A Fujiwara H Nishimura S
9	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素用 O リングのシール耐久性	古賀敦 山部匡央 内田賢一 藤原広匡 西村伸
10	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS (ポスター)	Study on High-pressure Hydrogen Seal Durability of Rubber O-ring	Koga A
11	平成 27 年 5 月	日本ゴム協会 2015 年年度大会	高圧水素用 O リングのシール耐久性に及ぼすフィラー配合量の影響	古賀敦 藤原広匡 西村伸
12	平成 27 年 6 月	International Rubber Conference IRC2015 Nurnberg、 Germany	A Fundamental Research on rubber O-ring for High-Pressure Hydrogen Seal	Atsushi Koga A Fujiwara H Nishimura S
九州大学				
13	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年次大会	アクリロニトリル量の異なる NBR の水素膨潤挙動の解明	藤原広匡、西村伸
14	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年次大会	繰り返し高圧水素曝露されたシール用ゴム材料の評価	藤原広匡、泉義徳、小野 皓章、西村伸
15	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年度大会	高圧水素曝露後のシール用ゴム材料評価	藤原 広匡、泉義徳、小野 皓章、西村伸

No.	年月	発表先	題目	発表者
16	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素ガスサイクルによるシリコンゴムの化学分析	藤原広匡、西村伸、古賀敦、山部匡央、内田賢一
17	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素シールゴム材料に溶解した水素の評価	藤原広匡、西村伸
18	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	硫黄架橋ゴム材料における高圧水素曝露によるステアリン酸亜鉛の挙動の FT-IR による検討	伊藤雄三、山岸雅弥、川井忠智、藤原広匡、山辺純一郎、西村伸
19	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	アクリロニトリルブタジエンゴムの高圧水素による膨潤挙動に対する充てん材の影響	藤原 広匡、小野皓章、西村伸
20	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素ガスサイクルによる Oリングのシール耐久性評価	古賀敦、山部匡央、藤原広匡、西村伸
21	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素曝露によるアクリロニトリルブタジエンゴム不均一構造の曝露圧力依存性	大山恵子、藤原広匡、西村伸
22	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素曝露した NBR の水素膨潤状態におけるゴム分子と水素分子の相互作用	小野皓章、藤原広匡、西村伸
23	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年次大会	水素膨潤状態におけるアクリロニトリルブタジエンゴムの小角 X 線散乱法による不均一構造解析	大山恵子、藤原広匡、西村伸
24	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年次大会	高圧水素曝露によるアクリロニトリルブタジエンゴム分子の運動性変化	小野皓章、藤原広匡、西村伸
25	平成 25 年 7 月	第 193 回ゴム技術シンポジウム	高圧水素ガス曝露におけるゴム材料の分析	藤原広匡
26	平成 25 年 9 月	World Tribology Congress 2013	Experimental Study of Hydrogen Sealing Ability and Wear Characteristics of Polymer Composites	Hayato Ideguchi、Yoshinori Sawae、Takehiro Morita、Kazuhiro Nakashima、Joichi Sugimura
27	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高圧水素ガスサイクル後のシール用ゴム材料の評価 -高圧水素容器用 O リングゴム材料(30)-	藤原広匡、小野皓章、西村伸

No.	年月	発表先	題目	発表者
28	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	耐水素性に優れたエチレンプロピレンゴム製 O リングの低温特性	西村伸、藤原広匡
29	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	アクリロニトリルブタジエンゴムの高圧水素中における体積変化のその場観察-高圧水素容器用 O リングゴム材料 (29)-	西村伸、小野皓章、藤原広匡、
30	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	耐寒性エチレンプロピレンゴム製 O リング高圧水素シールに対する充てん剤の効果-高圧水素容器用 O リングゴム材料 (28)-	西村伸、藤原広匡、小野皓章、
31	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高熱伝導性ツインメソゲン型エポキシポリマーの振動分光学的研究	川本秀士、名取洗、川井忠智、伊藤雄三、藤原広匡、西村伸
32	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高圧水素曝露による過酸化物架橋アクリロニトリルブタジエンゴムの不均一構造への影響評価	大山恵子、藤原広匡、西村伸
33	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	硫黄加硫アクリロニトリルブタジエンゴムの水素膨潤による構造変化解析	大山恵子、藤原広匡、西村伸
34	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高圧ガスシール用ゴム材料の水素膨潤挙動における水素の評価	藤原広匡、西村伸
35	平成 25 年 9 月	第 25 回ゴム技術研究・事例発表会	繰り返し高圧水素曝露されたシール用ゴム材料の評価	藤原広匡
36	平成 25 年 9 月	第 129 回環境劣化研究分科会	繰り返し高圧水素曝露されたシール用ゴム材料の評価	藤原広匡
37	平成 25 年 10 月	第 54 回固体 NMR ・材料フォーラム	高圧水素シール用ゴム材料の固体 NMR を用いた評価	藤原広匡
38	平成 25 年 10 月	トライボロジー会議 2013 秋	樹脂複合材の水素ガスシール性と摩耗に対する充填材の影響	井手口隼人、澤江義則、森田健敬、中嶋和弘、杉村丈一
39	平成 25 年 10 月	トライボロジー会議 2013 秋	水素雰囲気中高温・高速しゅう動条件下での PTFE 複合材の摩擦摩耗	森田健敬、永沼良隆、澤江義則、岡田和三、黒野好恵、上島弘義、金内成、杉村丈一



No.	年月	発表先	題目	発表者
40	平成 25 年 10 月	トライボロジー会議 2013 秋	水素雰囲気中における炭素繊維充てん PTFE の摩擦摩耗特性	岡田和三、澤江義則、森田健敬、杉村丈一
41	平成 25 年 11 月	The 13th Pacific Polymer Conference	Synthesis of Biphenyl Benzoate Twin-Mesogen Epoxy Polymers and Its Thermal Conductivity	川本秀士、名取洗、川井忠智、伊藤雄三、藤原広匡、西村伸
42	平成 25 年 11 月	2013 Pacific Polymer Conference	Influence of high-pressure hydrogen exposure on the inhomogeneous structure of peroxide crosslinked acrylonitrile butadiene rubber	大山恵子、藤原広匡、西村伸
43	平成 25 年 11 月	福岡水素エネルギー戦略会議 機械要素研究分科会	樹脂シール材の水素雰囲気における摩擦摩耗とガスシール性	澤江義則
44	平成 25 年 12 月	第 25 回 エラストマー討論会	繰り返し高圧水素曝露を受けた NBR の弾性率変化	藤原 広匡、泉義徳、小野皓章、西村伸
45	平成 25 年 12 月	第 25 回 エラストマー討論会	NMR を用いた NBR の水素膨潤状態における分子運動性評価	藤原広匡、小野皓章、西村伸
46	平成 25 年 12 月	第 25 回エラストマー討論会	水素ガスシール用ゴム材料の伝熱特性解析	上山晃平・藤原広匡・西村伸
47	平成 25 年 12 月	第 25 回エラストマー討論会	水素膨潤状態におけるアクリロニトリルブタジエンゴムの高次構造観察	大山恵子、藤原広匡、西村伸
48	平成 25 年 12 月	第 25 回エラストマー討論会	共重合組成比の異なる NBR の横緩和時間に及ぼす加硫の影響	小野皓章、藤原広匡、西村伸
49	平成 26 年 1 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS	Evaluation of Rubber Material for High-pressure Hydrogen Seal after Cyclic Exposure	藤原広匡
50	平成 26 年 5 月	公益社団法人 高分子学会 第 64 回高分子学会年次大会(ポスター)	応力発光体を用いたアクリロニトリルブタジエンゴムの局所応力測定	山根晋、小野皓章、榎本一之、藤原広匡、西村伸
51	平成 26 年 5 月	日本トライボロジー学会 トライボロジー会議 2014 春東京	O リング用 EPDM ゴムのすべり出しの摩擦と損傷	杉村丈一、田中宏昌、岡田和三、森田健敬、澤江義則
52	平成 26 年 5 月	第 55 回固体 NMR ・材料フォーラム(ポスター)	繰り返し水素曝露を受けたゴム材料中に溶解水素の評価	藤原広匡、小野 皓章、西村伸
53	平成 26 年 5 月	日本ゴム協会 2014 年 年次大会(ポスター)	高圧水素曝露により NBR 中に溶解した水素の状態解析	藤原広匡、小野 皓章、西村伸

No.	年月	発表先	題目	発表者
54	平成26年5月	日本ゴム協会2014年年次大会	高圧水素用シール・ホース用エラストマー材料の開発 水素機器用エラストマー材料研究分科会活動報告(1)	西村伸、藤原広匡、古賀敦、高橋良、仲山和海、近藤寛朗、土井迪子
55	平成26年5月	日本ゴム協会2014年年次大会	繰り返し水素曝露を受けたゴム材料中に溶解した水素の評価	藤原広匡、小野 皓章、西村伸
56	平成26年5月	日本ゴム協会2014年年次大会	アクリロニトリルブタジエンゴムの高圧水素による体積膨潤挙動と不均一構造変化の相関	大山恵子、藤原広匡、神谷 和孝、吉岡 聡、杉山 武晴、西村伸
57	平成26年5月	日本ゴム協会2014年年次大会	高圧水素曝露したNBRの体積と溶解水素量の相関	小野皓章、藤原広匡、西村伸
58	平成26年5月	高分子学会 第63回年次大会(ポスター)	高圧水素曝露したアクリロニトリルブタジエンゴムの体積と収着水素量の相関	小野皓章、藤原広匡、西村伸
59	平成26年5月	高分子学会 第63回年次大会	繰り返し水素曝露を受けた高圧水素ガスシール用ゴム材料の評価	藤原広匡、泉 義徳、田中史浩、小野皓章、西村伸
60	平成26年5月	高分子学会 第63回年次大会(ポスター)	高圧水素曝露により収着した水素の状態解析	藤原広匡、小野 皓章、西村伸
61	平成26年5月	高分子学会 第63回年次大会(ポスター)	水素膨潤状態における過酸化物架橋アクリロニトリルブタジエンゴムの放射光小角X線散乱法による構造解析	大山恵子、藤原広匡、神谷和孝、吉岡聡、杉山武晴、西村伸
62	平成26年5月	高分子学会 第63回年次大会(ポスター)	ビフェニルベンゾエートエポキシポリマーの熱伝導率と秩序構造	川本秀士、名取洗、川井忠智、伊藤雄三、藤原広匡、西村伸
63	平成26年6月	第16回トライボロジー北欧シンポジウム	Low Wear of Carbon Fiber Filled PTFE in Gaseous Hydrogen	Yoshinori Sawae、Kazumi Okada、Takehiro Morita、Yoshie Kurono、Joichi Sugimura
64	平成26年8月	九州シンクロトロン光研究センター合同シンポジウム(ポスター)	水素膨潤状態における過酸化物架橋アクリロニトリルブタジエンゴムの放射光小角X線散乱法による構造解析	大山恵子、藤原広匡、神谷和孝、吉岡 聡、杉山武晴、西村伸
65	平成26年9月	日本ゴム協会九州支部 第26回ゴム技術・研究事例発表会	Oリング変形挙動の可視化	杉田晃輝、山口哲生、藤原広匡、西村伸

No.	年月	発表先	題目	発表者
66	平成 26 年 9 月	高分子学会 第 63 回高分子 子討論会(ポスター)	小角 X 線散乱によるアクリロニ トリルブタジエンゴムにおける 不均一構造に対する架橋の影響 評価	大山恵子、小野皓章、 藤原広匡、西村伸
67	平成 26 年 9 月	高分子学会 第 64 回討論 会(ポスター)	モノメソゲン型液晶性エポキシ ポリマーの構造制御と熱伝導率	川本秀士、藤原広匡、 西村伸
68	平成 26 年 9 月	高分子学会 第 63 回高分 子討論会	応力発光体を用いたゴムの局所 応力測定—高圧水素容器用 O リ ングゴム材料(41)—	山根晋、小野皓章、藤 原広匡、西村伸
69	平成 26 年 9 月	第 63 回高分子学会年次大 会(ポスター)	高圧水素曝露によりゴム中に溶 解した水素の状態とその粘弾性 に及ぼす影響	藤原広匡、小野 皓章、 西村伸
70	平成 26 年 9 月	日本機械学会 2014 年度年 次大会	樹脂複合材の水素シール性に関 する研究	森田健敬、小島大、 井手口隼人、 澤江義則、杉村丈一
71	平成 26 年 9 月	日本機械学会 九州支部 大分講演会	PEEK 樹脂の水素雰囲気にお ける摩擦・摩耗とシール性	森田健敬、小島大、 井手口隼人、 澤江義則、杉村丈一
72	平成 26 年 10 月	第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014	高圧水素雰囲気下のトライボロ ジー	澤江義則
73	平成 26 年 10 月	高分子学会 NMR 研究会	高圧水素に曝された水素機器用 エラストマー材料の NMR によ る評価	藤原広匡
74	平成 26 年 11 月	トライボロジー会議 2014 秋盛岡	水素雰囲気中高温・高速しゅう動 条件下での PTFE 複合材の摩擦 摩耗	森田健敬、永沼良隆、 澤江義則、岡田和三、 黒野好恵、上島弘義、 金内成、杉村丈一
75	平成 26 年 12 月	International Polymer Conference (IPC2014)(ポスター)	Evaluation of viscoelastic properties of rubber materials for hydrogen gas seal after high-pressure hydrogen cycle exposure	藤原広匡、小野 皓章、 西村伸
76	平成 26 年 12 月	International Polymer Conference (IPC2014)(ポスター)	Influence of high-pressure hydrogen exposure on the inhomogeneous structure of peroxide crosslinked acrylonitrile butadiene rubber	大山恵子、小野皓章、 藤原広匡、西村伸

No.	年月	発表先	題目	発表者
77	平成 26 年 12 月	International Polymer Conference (IPC2014)	The effect of local structure on volume increment of acrylonitrile butadiene rubber after high-pressure hydrogen exposure	小野皓章、藤原広匡、西村伸
78	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	水素機器用エラストマー材料研究分科会活動報告	西村伸
79	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露による NBR の体積膨張時における不均一構造の観察	近藤亮太
80	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露により体積膨張した NBR の粘弾性に及ぼす水素の影響	藤原広匡、小野 皓章、榎本一之、西村伸
81	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露による NBR の体積増加に及ぼす架橋およびニトリル量の影響	小野皓章、藤原広匡、西村伸
82	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露による NBR の体積膨張時における不均一構造の観察	大山恵子、小野皓章、藤原広匡、西村伸
83	平成 27 年 2 月	2015 HYDROGENIUS & I2CNER Tribology Symposium	Dynamic friction of O-rings	Tetsuo Yamaguchi、Koki Sugita、Ryota Haba、Takehiro Morita、Shin Nishimura、Yoshinori Sawae
84	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	A blistering defect formation of polyamide resins under exposure to high-pressure hydrogen	榎本一之、泉義徳、田中史浩、大山恵子、藤原広匡、西村伸
85	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	Evaluation of Viscoelasticity of Rubber Materials after High-pressure Hydrogen Cyclic Exposure	藤原広匡

No.	年月	発表先	題目	発表者
86	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	Effect of the Penetrated Hydrogen on Viscoelasticity of Acrylonitrile Butadiene Rubber after High-pressure Hydrogen Exposure	藤原広匡
87	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	Relationship between Hydrogen Content and Volume expansion of Filled Rubber after High-pressure Hydrogen Exposure	藤原広匡
88	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	In situ Observation of O-ring Deformation during Pressurization Process	杉田晃輝、山口哲生、藤原広匡、西村伸
89	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS	Influence of high-pressure hydrogen exposure on the inhomogeneous structure of peroxide crosslinked acrylonitrile butadiene rubber	大山恵子、小野皓章、藤原広匡、西村伸
90	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS	Hydrogen Characteristics of the Liquid Crystal Epoxy Polymer	川本秀士、藤原広匡、西村伸
91	平成 27 年 5 月	公益社団法人 高分子学会 第 64 回高分子学会年次大会(ポスター)	応力発光体を用いたアクリロニトリルブタジエンゴムの局所応力測定	山根晋、小野皓章、榎本一之、藤原広匡、西村伸
92	平成 27 年 5 月	公益社団法人 高分子学会 第 64 回高分子学会年次大会(ポスター)	高圧水素曝露による Nylon11 の高次構造変化観察	大山恵子、藤原広匡、藤原広匡、榎本一之、金子文俊、西村伸
93	平成 27 年 5 月	公益社団法人 高分子学会 第 64 回高分子学会年次大会(ポスター)	A blistering defect formation of polyamide resins under exposure to high-pressure hydrogen	榎本一之、泉義徳、田中史浩、大山恵子、藤原広匡、西村伸
94	平成 27 年 5 月	公益社団法人 高分子学会 第 64 回高分子学会年次大会	液晶性エポキシポリマーの秩序構造と水素特性	川本 秀士、藤原広匡、西村伸

No.	年月	発表先	題目	発表者
95	平成 27 年 5 月	公益社団法人 高分子学会 第 64 回高分子学会年次大会 (ポスター)	カーボンブラック配合 NBR のバウンドラバーに着目した水素溶解量と体積変化の評価	藤原広匡、榎本一之、西村伸
96	平成 27 年 5 月	(一社) 日本ゴム協会 2015 年年次大会	水素機器用エラストマー材料研究分科会活動報告(3)	西村伸
97	平成 27 年 5 月	(一社) 日本ゴム協会 2015 年年次大会	アクリロニトリルブタジエンゴムの水素溶解特性と不均一構造変化機構へ及ぼす影響	大山恵子、小野皓章・藤原広匡、西村伸
98	平成 27 年 5 月	(一社) 日本ゴム協会 2015 年年次大会 (ポスター)	カーボンブラック配合 NBR の水素特性評価	藤原広匡、榎本一之、西村伸
99	平成 27 年 6 月	International Rubber Conference IRC 2015		西村伸、藤原広匡
<b>CERI</b>				
100	平成 25 年 12 月 10 日	日本ゴム協会第 25 回エラストマー討論会	高圧水素曝露後 EPDM の評価 (1) ～カーボンブラックの影響	仲山和海 西村伸 大武義人
101	平成 26 年 5 月 21 日	日本ゴム協会 2014 年年次大会	高圧水素曝露後 EPDM の劣化状態の評価(2) ～内部破壊と化学的劣化の有無～	仲山和海、西村伸、大武義人
102	平成 26 年 12 月 5 日	日本ゴム協会第 26 回エラストマー討論会	シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露による劣化現象(3) ～シランカップリング剤と水素特性の関係～	近藤寛朗、仲山和海、西村伸、大武義人
103	平成 26 年 12 月 5 日	日本ゴム協会第 26 回エラストマー討論会	シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露による劣化現象(4) ～シランカップリング剤と水素特性の関係～	仲山和海、近藤寛朗、西村伸、大武義人
104	平成 27 年 2 月 4 日	水素先端世界フォーラム 2015	Evaluation of EPDM Exposed to High-Pressure Hydrogen Gas～Influence of Carbon black～	Kazumi NAKAYAMA、Hiroaki KONDO、Yoshito OHTAKE
105	平成 27 年 5 月 22 日	日本ゴム協会 2015 年年次大会	シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露による劣化現象(5)～シリカ量、シランカップリング剤と水素特性の関係～	仲山和海、近藤寛朗、西村伸、大武義人

No.	年月	発表先	題目	発表者
106	平成27年6月3日	プラスチック成形加工学会第26回年次大会	高圧水素曝露後EPDMの劣化評価(1)	仲山和海、近藤寛朗、西村伸、大武義人
107	平成27年6月3日	プラスチック成形加工学会第26回年次大会	高圧水素曝露後EPDMの劣化評価(2)	近藤寛朗、仲山和海、西村伸、大武義人

(受賞実績)

NOK

International Rubber Conference IRC2014 北京 発表部門および論文部門アワード受賞  
(平成26年9月)

—特許など—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
日本合成化学工業				
1	2014年12月22日	特願2014-259531	高圧水素用樹脂組成物、および高圧水素ホース	日本合成化学工業株式会社
2	2014年12月27日	特願2014-266899	エチレンービニルエステル系共重合体ケン化物樹脂組成物、高圧ガス用樹脂チューブ又は複合容器用樹脂ライナー、および高圧ガスホース又は複合容器	日本合成化学工業株式会社
横浜ゴム				
3	2015年6月9日	特願2015-116763	水素充填用ホース	横浜ゴム株式会社



# (Ⅱ-①-(7)) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発／オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」

助成先：大日機械工業株式会社

●成果サリ(実施期間：平成26年度～平成27年度終了(または予定))

- ・複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発
- ・価格を5,000万円以下(100Nm<sup>3</sup>/h)

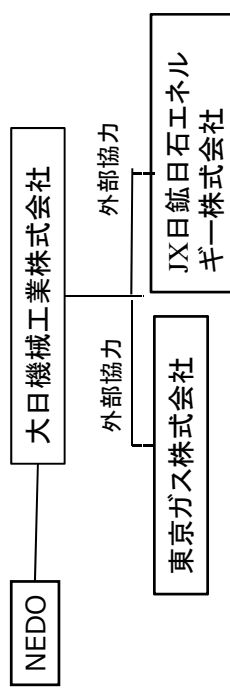
## ●背景/研究内容・目的

オンサイト型水素ステーション(100Nm<sup>3</sup>/h)のコストは現状6～7億円であり、普及のためには更なる低コスト化を進め2.5億円程度にする必要がある。その中のオンサイト型水素ステーションを構成する水素製造装置のコストは現状では8,500万円程度であり、普及させるためには5,000万円以下にする必要がある。本研究開発では水素供給インフラ(水素ステーション)の低コスト化を目的にオンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発を行う。

## ●研究目標

実施項目	目標
詳細設計	平成26年度末完成
製作	平成27年度第2四半期完成予定
運転評価	平成27年度第4四半期完成

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- 1) 複合型改質器<sup>n</sup>基本設計では複合型改質器の構造検討、構造決定を行い、構造図を作成した。
- 2) 複合型改質器を搭載した水素製造装置の基本設計では複合型改質器、PSA、熱交換器、ポンプ等を搭載したPLOT PLANを作成した。
- 3) コスト分析では、当初目標に掲げた価格(5,000万円:100Nm<sup>3</sup>/h)及び仕様を満足できた。
- 4) 改質反応部(触媒を含む)の構造、性能及び耐久性についての詳細設計検討では反応管内部の流れ解析、触媒の耐久検討、強度検討、反応管全体のヒートバランスの検討、温度分布をもつ各部材の検討を行った。

## ●今後の課題

PSA装置の開発と総合エネルギー効率のアップとコストダウン300Nm<sup>3</sup>/hの対応

## ●実用化・事業化の見通し

完成後は水素ステーション用水素製造装置としてガス事業者、石油事業者、工場用水素製造装置としての需要がある。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
設計	複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発	80%
評価	水素製造装置の運転評価	20%

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
特願2014-187394		神奈川県セミナー	

## 課題番号：Ⅱ－①－(7)

### 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発

#### 1. 研究開発概要

複合型改質器(水蒸気改質器、CO 転化器及び蒸気発生器を高度に集積一体化した改質器)を搭載することで水素製造装置を構成する機器類を大幅に削減したオンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の研究開発を行う。開発するオンサイト型水素ステーション用水素製造装置の価格は5,000万円(100 Nm<sup>3</sup>/h)以下に抑える。

ステージⅡでは、ステージⅠで実施した基本設計及び改質器反応管の詳細設計の結果に基き、複合型改質器及び水素製造装置の詳細設計、複合型改質器を搭載した水素製造装置の製作、水素製造装置の実証試験、複合型改質器及び水素製造装置の運転評価を実施する。

#### 2. 研究開発目標

##### 2. 1 「水素ステーション用複合型改質器の開発」

本開発で設計する複合型改質器は以下の仕様を満足することを目標とする。

- (1) 水素製造能力：100 Nm<sup>3</sup>/hおよび300 Nm<sup>3</sup>/h
- (2) 複合型改質器構成：水蒸気改質器とCO 転化器および蒸気発生器を一体化
- (3) 複合型改質器寸法・容量：約φ1200/φ800×2300Hを基準寸法として  
容量1800ℓ以下(100 Nm<sup>3</sup>/h)を目標とする。  
\*300 Nm<sup>3</sup>/h級複合型改質器基準寸法は別途設計を行い決定する。

##### 2. 2 「複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発」

- (1) 100Nm<sup>3</sup>/h級水素製造装置メインスキッド寸法・容量・総重量  
：約3000W x 2500D x 3000H (22.5m<sup>3</sup>)、12トン以下を目標とする。  
\*300 Nm<sup>3</sup>/h級水素製造装置の寸法・容量・総重量は別途設計を行い決定する。
- (2) 水素製造装置構成機器点数：現状装置の1/2(10点以下)
- (3) 水素製造装置の価格：5,000万円以下(100 Nm<sup>3</sup>/h)
- (4) 製品水素純度：ISO14687-2 FCV用水素燃料規格(2012、Grade D) 準拠

##### 2. 3 「水素製造装置の運転評価」

本開発では100 Nm<sup>3</sup>/h級水素製造装置の開発を行うが、運転評価では実用機である300 Nm<sup>3</sup>/h級水素製造装置を念頭に入れた水素製造装置(実証試験機：100 Nm<sup>3</sup>/h)を製作して運転試験を行い、以下の性能を満足するとともに実機適用の見通し得ることを目標とする。

- (1) 水素製造能力：100 Nm<sup>3</sup>/h
- (2) 製品水素純度：ISO14687-2 FCV用水素燃料規格(2012、Grade D) 準拠
- (3) 起動時間：従来の水素ステーション用水素製造装置と同等とする。

##### 2. 4 「本事業終了後のコスト目標値」

本事業終了後のコスト目標を下記に掲げる

- (1) 1台目から@5,000万円以下(100 Nm<sup>3</sup>/h)、@9,000万円(300 Nm<sup>3</sup>/h)
- (2) 今後更なる技術的開発と量産効果を見込むことにより300 Nm<sup>3</sup>/h級水素製造装置の価格を5,000万円になる見通しをつける。

## 2. 5 「上記目標設定の理由」

NEDO 水素製造技術(オンサイト分散型)ロードマップにおける 2015 年目標値を参考に、現状の水素製造技術・装置を上回る目標設定とした。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果、達成度

#### (1) 「水素ステーション用複合型改質器の開発」

(反応解析を含めた設計完成は8月下旬を予定：達成度90%)

外部協力会社からの情報により、水素ステーション用水素製造装置として求められる要求事項を満足する仕様を盛り込んだ実証試験用複合型改質器の設計を含め進めている。

#### (2) 「複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発」

(達成度：80%)

装置構成点数を現状装置の1/2以下にした実証試験用水素製造装置の配置図、P&ID、機器リスト、計装品リスト、運転要領等の作成を進めている。

#### (3) 「水素製造装置の運転評価」

(達成度：20%)

実証試験での運転は 2015 年 12 月から 2016 年 2 月までの予定であり、現時点では実証試験計画を作成中で、実証試験は未実施である。

#### (4) 「本事業終了後のコスト目標値」

(達成度：0%)

コスト試算は製品化の設計が終了した時点で行うために、現時点では未実施である。

### 3. 2 成果の意義

#### (1) 「水素ステーション用複合型改質器の開発」

外部協力会社からの情報により、水素ステーション用水素製造装置として求められる要求事項を満足する仕様を盛り込んだ実証試験用複合型改質器の設計になっているために、完成度の高い開発を進めている。

#### (2) 「複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発」

装置構成点数を現状装置の1/2以下にした装置が開発でき、更に複合型改質器ばかりではなく、PSA装置、熱交換器及び都市ガス昇圧機のコンパクト化を計ったことによりコンパクトな水素製造装置が開発できる。

#### (3) 「水素製造装置の運転評価」

実証試験での運転は 2015 年 12 月から 2016 年 2 月までの予定であり、現時点では実証試験計画を作成中で、実証試験は未実施である。

#### (4) 「本事業終了後のコスト目標値」

コスト試算は製品化の設計が終了した時点で行うために、現時点では未実施である。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

#### (1) 「水素ステーション用複合型改質器の開発」

外部協力会社からの情報により、改質器に充填する触媒の寿命を5年としたために触媒の充填量が当初計画より大幅に増加して改質器の寸法が当初計画より大きくなるが、極力当初計画した寸法に近づける。

#### (2) 「複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発」

装置構成点数を現状装置の1/2以下にした装置が開発でき、更に複合型改質器ばかりではなく、PSA装置、熱交換器及び都市ガス昇圧機のコンパクト化を計ったことによりコンパクトな水素製造装置の開発が達成可能である。

#### (3) 「水素製造装置の運転評価」

現時点では実証試験計画を作成中で実証試験は未実施であるが、装置を構成する手配品も予定通り入荷するために運転評価の為の実証試験は2015年12月から2016年2月まで予定通り実施して、実機適用の見通しを得る。

#### (4) 「本事業終了後のコスト目標値」

コスト試算は製品化の設計が終了した時点で行うが、現時点で装置構成点数を現状装置の1/2以下にした装置が開発でき、更に複合型改質器ばかりではなく、PSA装置、熱交換器及び都市ガス昇圧機のコンパクト化を計ったことによりコスト目標を達成できる見込みである。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4. 1 まとめ及び課題

- (1) 本研究開発でオンサイト型水素ステーション用水素製造装置の開発目標は達成可能であるが、製品化に向けて更に低コスト化及びコンパクト化の開発が必要であると同時に耐久試験を実施する必要がある。NEDO 事業終了後も NEDO と相談の上進めたいと考えている。

### 4. 2 事業化までのシナリオ

#### (1) 内容

開発する複合型水素製造装置は、従来方式のオンサイト型水素ステーション用水素製造装置と異なり

- ①改質器形状がコンパクト（改質部にシステム特許）
- ②低価格（従来品の約半分）
- ③設置工事時間の短縮化

などの優位性を有した複合型改質器を搭載するオンサイト型水素ステーション用水素製造装置である。

本装置をFCV普及ロードマップに沿って2015年以降設置される水素ステーション用水素製造装置として販売を行う。

(2) スケジュール

事業化までのスケジュールを「表1」に示す。

年度	H28 年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度
製品設計	100Nm <sup>3</sup> /h 設計完了▲				
設備投資	▲3千万			▲1億円 ▲生産設備増強	
生産	▲サンプル出荷開始	▲生産開始			→
販売		▲10台/年	◇続行/ ▲25台/年	中断を判断 ▲45台/年	▲50台/年
収益発生		→			

「表1」 事業化までのスケジュール

(3) 用途（販売予定先）

- ①ガス事業者（東京ガス株式会社 等）
- ②石油事業者（JX 日鉱日石エネルギー株式会社 等）
- ③上記以外の販売先（想定）（オンサイト型水素ステーションシステムの販売事業者）
- ④他の分野
  - ・小規模発電システム
    - 水素用発電機の水素原料として提供
    - PEFC 型燃料電池と組合せ
  - ・水素供給設備
    - PSA との組合せにより化学工業での水素供給設備
- ⑤海外、その他

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014年12月	神奈川県産業労働局	地元中小企業の水素ステーション用低コスト化への取り組み	直井登貴夫

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2014年9月	特願 2014-187394	水素ステーション用水素製造システム	大日機械工業株式会社

(Ⅱ-①-(8)) 「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発／複合型高圧水素圧縮機」

成先：株式会社サクシオン瓦斯機関製作所

●成果サリ (実施期間：平成27年度～平成27年度終了(または予定))

・ステージⅠにおける研究成果を元に試作機の製作を実施している。

●背景/研究内容・目的

2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラ(水素ステーション)の先行整備を目指すこと等が示され、現在水素供給インフラ(水素ステーション)の先行整備を進めている。しかしながら、オンサイトの水素ステーションにおける水素圧縮機は現状1.4億円程度であり、普及のためにはそれを6.5千万円以下にする、水素ステーション用ダイヤフラム・ピストン複合型高圧水素圧縮機の開発を目的とする。

●研究目標

実施項目	目標
A	水素圧縮機の試作

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

本事業「圧縮機の試作」では、高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで、1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コスト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。  
 吸入圧力0.4MPa吐出圧力99.5MPa、容量340Nm<sup>3</sup>/h電動機出力110kW、当初5年間目標コスト7,500万円その後目標コスト6,500万円とするとして開始した。

現在までの検討の結果、吸入圧力と吐出圧力については、それぞれ0.6MPa、90MPaを設計定格として電動機出力90kWとする本機の省エネ性を生かした仕様を顧客に提案している。

●今後の課題

1. JHFC当時と高圧ガス保安法における解釈の変化により、構造変更した部分(シリンダ水冷部)の検証。
2. 材料、部品供給各社の最新の水素対応品の検証
3. 吐出圧力は蓄圧器圧力で決定されるべきであるが、現状は不明確

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
複合型水素圧縮機の開発	試作	達成見込み

●実用化・事業化の見通し

顧客の確実なニーズがあり、具体的に仕様検討を進めている。技術的には十分検討がなされ、目標達成が可能と予想される。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
	3	1	

## 課題番号：Ⅱ-①-(8)

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

### 複合型高圧水素圧縮機の研究開発

2015年7月

株式会社サクシオン瓦斯機関製作所

#### 1. 研究開発概要

2010年7月に燃料電池実用化推進協議会によって、産業界の総意として、2015年にFCVの一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案され、2025年には水素供給インフラ（水素ステーション）を1000箇所程度普及させるシナリオとなっている。さらに、2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラ（水素ステーション）の先行整備を目指すこと等が示され、現在水素供給インフラ（水素ステーション）の先行整備を進めている。しかしながら、オンサイトの水素ステーションのコストは現状6～7億円であり、普及のためには更なる低コスト化を進め、オンサイトの水素ステーションを2.5億円程度、オフサイト水素ステーションを2億円程度にする必要がある。その中で、水素ステーションを構成する水素圧縮機は現状1.4億円程度であり、それを6.5千万円以下にする、水素ステーション用ダイヤフラム・ピストン複合型高圧水素圧縮機の研究開発を目的とする。

#### 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

本事業では、高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで、1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コスト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。NEDO設定仕様は吸入圧力0.4MPa吐出圧力87.5MPa、容量300Nm<sup>3</sup>/h、当初目標コスト7,500万円その後量産目標コスト6,500万円とする。

#### 3. 研究開発成果

##### 3.1 研究開発成果、達成度

###### (1) 提案した事業概要

本事業では、高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで、1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コスト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。

従来、80MPa級の水素ステーションにおいては40MPa級のダイヤフラム2段圧縮式の後段に油圧駆動の増圧機を組み合わせる方式またはピストン式で4段から5段で圧縮し、高圧最終段は独立した圧縮機とする形式が多く試みられてきた。提案者はWE-NET計画及びJHFC計画その他において吐出圧力40MPa、吐出流量30及び50Nm<sup>3</sup>/hの高圧水素圧縮機を開発し5台の設置運用実績を持っている。図1に実績機の写真を、図2に断面図を示す。





図 1

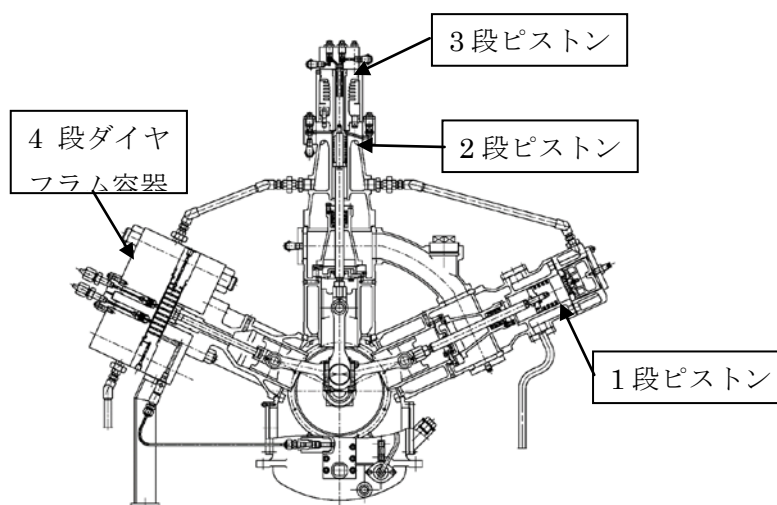


図 2

本圧縮機は低中圧大容量に適した無給油ピストン式を1段目、2段目及び3段目に使用し、高圧小容量に適したダイヤフラム式を高圧最終4段目に使用するピストン・ダイヤフラム複合式である。こうした構成により、特徴のある2つの方式を適材適所で組み合わせることで無理なく大容量高圧の圧縮機を構成できる。

したがって、低圧から高圧まで1台の圧縮機で構成することが可能であり、低コストで製造可能となり、省スペースであるほか、多段圧縮により等温圧縮に近くなるため、圧縮効率が高く省電力である。本方式による90MPa級高圧水素圧縮機を提案した。

達成すべき課題	複合式（本提案）	全段ダイヤフラム式	全段ピストン式
吐出圧力82MPa（将来充填圧力87.5MPa）	可	可	可
吐出容量300Nm <sup>3</sup> /h	可	ダイヤフラム式は金属ダイヤフラムのたわみに限度があるため吸入圧が低いと大容量化が困難。	可
ガスの清浄度	最終段に金属ダイヤフラムを使用するため、摺動部がなく、非常に清浄。低圧段の摩耗粉は低圧のフィルターで対応可	清浄	最終段のピストンリングから摩耗粉が発生するため高圧のフィルターが必要
目標コスト65百万円	1台で周辺機器も含めてシンプルな構成であることから可能性あり	不明	不明
省スペース	高圧段の漏れがないため全体に小型化し省スペース	低圧段のダイヤフラムが巨大化するためスペース大	高圧段の漏れが大きいいためその分低圧段から大型化し、スペース大
省電力	多段圧縮のため圧縮効率高く、漏れがないため全体に小型化し消費電力が小さい。	少数段圧縮のため圧縮動力が大きい	多段圧縮のため圧縮効率は高いが、漏れの分大型化するため電力消費は大きい。
耐久信頼性	低中圧段のピストンリングは通常実績の範囲内で問題なく、最終高圧段のダイヤフラムは一般の2段ダイヤフラムに比べ小さな圧縮比であるため寿命が長い（セントレア等で実証済み）	段ごとの圧縮率が大きいいため、ダイヤフラム板の負担が大きく、損傷の確率が大きい。	最終高圧段のピストンリングの耐久性に課題

前記特徴に加え、実運用における基本的な性能、耐久性そして保守性は40MPa機による高松、東海、秦野、旭、セントレアの各水素ステーションにおいて確認されており、本提案では、圧力を40から87.5MPa級に、容量を50Nm<sup>3</sup>/hから300Nm<sup>3</sup>/hにスケールアップする試設計、コスト分析および試作、試験の計画の策定について研究開発を実施した。

基本設計は完了しており、別紙1に示す。1から3段を無給油ピストン式、4段、5段をダイヤフラム式としている。コンパクトにまとめ、設置面積は2m×3m程度である。

本事業では設計において最も重要なダイヤフラム容器の加工特性についての試験を行い設計仕様の確認を行ったうえ、詳細設計を行う。

## (2) ステージ I の内容

ステージ I において基本設計、詳細設計、要素試験等を実施し、設計及び製作コストに対して十分なフェージビリティスタディー (FS) を実施し、複合型高圧水素圧縮機の最適設計を行った。

### ① 基本設計

要求仕様について検討し、当社の圧縮機の設計計算手法を用いて基本的な構成を決定するとともに性能、消費電力等の主要な数値を予測する。

### ② 適用規格および要求事項調査

水素に関する最新の法令、規格そして文献を調査し、使用材料や使用条件についての指針とする。また、ユーザーにおいて圧縮機の使用上の問題点、要望等について要求事項として聞き取りを行い、詳細設計に反映する。

### ③ 構成部品要素試験

ダイヤフラム容器の高強度材料の加工性の検証と加工条件探索を行う。

### ④ 部品単体検査、圧縮機の性能試験法案の作成

当社規格および高圧ガス保安法に基づく試験方法を検討し、試験法案を作成する。

### ⑤ 詳細設計およびコスト分析

詳細設計：上記調査を最大限活用し、要求仕様に対し最適な圧縮機として設計を行う。コスト分析：詳細設計に基づき、材料費、加工費、組立費、運転試験および検査その他の付帯作業費の見積もりを行う。

### ⑥ 実サイトでの運用協力企業の探索

基本設計終了段階から協力企業の探索を行い、本プロジェクトの趣旨を説明し、またユーザー様としての要望事項等を確認しつつ、実サイトでの運用について実施先を決定する。

ステージ I、平成 26 年度最終目標は、要求吐出圧力 82MPa、将来充填圧力 87.5MPa、容量 300Nm<sup>3</sup>/h、所要電力についてのシミュレーションを元に、これを実現する圧縮機の試設計完了。

上記試設計をもとに製作を前提とした詳細設計を行い、材料、加工、組立コストを算出、集計し、目標コスト 6500 万円を実現可能なことを確認する。

## (3) ステージ I の成果、達成具合、課題

### ① 基本設計

(2) における調査の結果、300Nm<sup>3</sup>/h クラスにおける市場の要求は NEDO の要求仕様と若干異なることがわかり、圧縮機の基本仕様を容量 340Nm<sup>3</sup>/h、吸入圧力 0.4MPa、吐出圧力 99.5MPa とした。それに伴い、圧縮段数を 5 段とし、最終ダイヤフラムユニットを並列 2 筒とした。

### ② 適用規格および要求事項調査

水素ステーションに関する最新の法令、規格そしてエンジニアリングに関する文献を調査した。重要な点は、常温における 70MPa 充填に対する必要圧縮機吐出圧力について様々な見解があり、最も圧縮機にとって厳しい解釈を採ると 99.5MPa となることがわかった。容量については 1 時間に 6 台充填をベースに 340Nm<sup>3</sup>/h が求められていることがわかった。

### ③ 構成部品要素試験

主要な耐圧部品としてダイヤフラムキャビティを考え、試設計を行った。有限要素法によるシミュレーションが有効なことがわかり、要素試験の前に実施するべく検討を進めている。

### ④ 部品単体検査、圧縮機の性能試験法案の作成

高圧ガス保安協会に問い合わせおよび協議を行っている。上記項目の検討が終了した段階で最終案を作成する予定である。

### ⑤ 詳細設計およびコスト分析

見積集計の結果、1号機の試作に136,026,000円、10台ベースの見積価格で98,332,000円となった。課題として購入品の見積価格が実商談交渉価格ではないため集計価格が高めになった。FSにおける見積もり取得の限界があり、その点を考慮してコスト検討する必要がある。

### ⑥ 実サイトにおける運用協力企業の探索

A社からは平成28年度のステーション建設補助金を利用し、実ステーションで採用する旨回答を得ている。28年度の補助金が27年12月頃には国の政策の見通しが得られる前提で正式に発注し、28年10月末納期で実サイトに設置する計画とのこと。当社ではこれに合わせて商用1号機を製作する事とした。

## (4) ステージⅡの内容

国の政策において、2014年4月にはエネルギー基本計画で有望な2次エネルギーとして水素社会実現を目指すことが明記され、また、同6月には水素燃料電池戦略ロードマップが示され、2020年までに累計台数140万台、自立商用展開可能な水素ステーションのコストを実現することが目標とされている。重要機器である圧縮機の低コスト化のニーズが高い。ステージⅡはステージⅠの仕様で実機を試作し、集計コストの30%ダウンを目標に実オーダーベースでのコストダウンを図る。量産時のコストを算出し、現状14000万円と言われる圧縮機のコストが目標コスト6500万円を実現可能なことを確認する。

ステージⅠのコスト集計では98,332,000円と目標にはあと30%程のコストダウンが必要であるが、バルブ等の購入機器類の価格が現状市場立ち上がり期における不安定な状態であり、相当の安全サイドの見積価格になっているとかがわれ、実オーダーベースの交渉で仕様や数量が明確になった段階ではコストダウンが可能と考えられる。

## (5) ステージⅡの成果、達成具合、課題研究開発の内容

### ① ユーザー仕様の確認

最終製作仕様を確認した。吐出圧力については99.5MPaまで対応可能な構造とするが、部品耐圧気密試験および運転試験の実施先の選択肢を広げることと客先ニーズそして消費電力などを総合的に判断して90MPaに設定した。容量については340Nm<sup>3</sup>/h、吸入圧力については0.4MPaまで構造的に対応可能であるが、水素供給源装置の吐出圧力に余裕があるため、0.6MPaに設定した。

### ② 法規対応の確認

最新の高压ガス保安法の解釈を確認したところ従来は使用可能であったFCDが事実上使用できないことがわかり、鋳鋼の使用を前提に設計変更することとした。

上記材料変更に伴い、緻密な冷却ジャケットの構成が困難となり、ロッドシール方式からピストンシール方式に設計変更した。

③ 製作工程の検討

上記設計変更を含む詳細設計に基づき、材料手配および検査、機械加工その他の加工方法の検討、組立方法につき検討を行い、工程を作成。

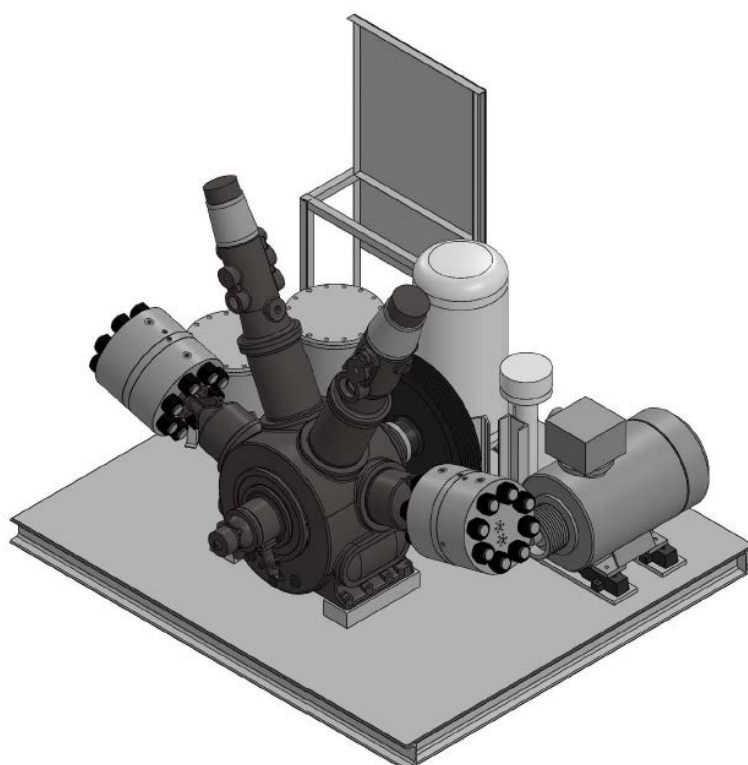
④ ダイヤフラム・ピストン複合型高压水素圧縮機の製作

ステージⅠにおいて設計され、さらに上記設計変更された圧縮機を材料手配から部品加工、組立を行う。各工程で必要な時期に必要な検査を受検する。当社工場において窒素ガスによる運転評価試験を実施し、計算によって実ガスにおける性能を評価する。

⑤ 実ガスでの性能試験

完成した圧縮機は実ガスでの性能、消費電力等の確認を実施する。

要 目	仕 様
型番	TCH511DP
型式	ダイヤフラム複合型無給油 5 段 圧縮水冷式高压水素圧縮機
取扱いガス	水素ガス
吸入圧力	0.4 MPa (0.6MPa)
吐出圧力	99.5 MPa (90MPa)
容量	340 Nm <sup>3</sup> /h
電動機	110 kW (90kW)



### 3. 2 成果の意義

本プロジェクトは JHFC における十分な実績を持つ複合型水素圧縮機のスケールアップであり、他の競合技術に対して、信頼性の面で優位性がある。また、漏れの影響が大きい高圧段に無漏洩のダイヤフラム式を配する事で消費電力が小さく省エネである。海外の同様の製品に対しても競争力は高く、また、保守管理においても国内メーカーとして顧客満足度の高いサービスを実現可能であり、国内での生産の意義は大きい。また、国内で水素ステーションの基幹要素である圧縮機が生産されることにより水素発生装置、ディスペンサーそして蓄圧器などと連携して日本の輸出案件として強力な体制を構築できることになる。世界中で燃料電池自動車が普及する段階では我が国の経済への貢献は非常に大きなものになると考えられる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本プロジェクトは基本的に JHFC における十分な実績を持つ圧縮機がベースになっているため、可能性が高い。さらに、スケールアップにおける諸課題については昨年度 NEDO 委託事業において調査し、最新の水素ステーションにおける規制内容も含めて調査しており、最終目標の達成の可能性は高い。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

現在ステージⅡにおいて試作機の製作が進行中である。信頼性の高い国産機のニーズは非常に高く、A社においては 28 年度以降連続的に採用していく計画である。当社としては本プロジェクトと一部並行して商用 1 号機の製作を開始し、その後繰り返し生産体制に入る予定である。本プロジェクトで開発した水素技術は水素ステーション以外の水素圧縮機にも生かされ、再生可能エネルギーの安定化のためのエネルギー貯蔵ニーズなど、エネルギー産業全体に貢献できるものと考えている。

# ( ( II ) - ① - ( 9 ) ) 「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 低コスト・フレクチャーの研究開発」

助成先：(株)巴商会

●成果ガリ (実施期間：平成26年度～平成27年度終了(または予定))

- ・ステージ I にて設計及び検証したセルアンドコイル型熱交換器ユニット製作
- ・実証試験によるSAEJ2601 充填プロトコル対応の確認及び商用適用の確認
- ・目標価格 (量産時2,400万円) 達成の可否の判断

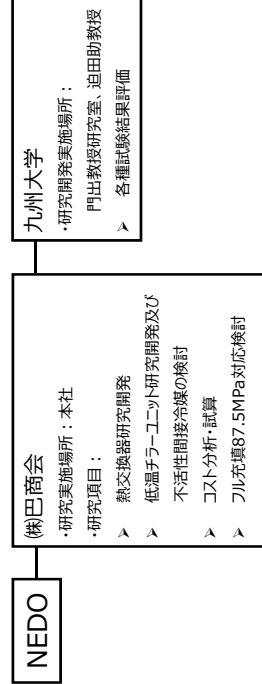
## ●背景/研究内容・目的

- ・FCV普及促進
- ・水素ステーションの低コスト化による水素ガスの低コスト化
- ・水素ステーション構成機器 (水素製造設備・水素圧縮機・フレクチャー) の低コスト化
- ・ステージ I にて設計した熱交換器ユニットによるチャラユニットを含む効率化を検証
- ・目標価格 (量産時：2,400万円) 達成の可能性の有無を検証

## ●研究目標

実施項目	目標
熱交換器研究開発	ステージ I で設計した熱交換器を用いて熱交換ユニットを製作する。
低温チャラユニット研究開発及び不揮発性間接冷媒の検討	チャラユニットの小型化、省エネ運転モード検証、不揮発性間接冷媒FP-40採用の可否決定、熱交換ユニット削減の可否決定
性能評価試験	試験内容の決定及び実施。データの検証及び分析によるSAEJ2601対応の確認。
コスト分析・試算	試験データ及び分析を基に目標価格 (量産時2,400万円) 達成の可否の検討。
フル充填87.5MPa 対応検討	試験データ及び分析より、フル充填87.5MPa対応の検討を実施し、課題を抽出する。

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容 / 研究成果

- ・熱交換器研究開発
  - ・ステージ I の結果よりHRX-19鋼材を用い、特定設備検査を受検し、熱交換ユニットを製作した。
  - ・低温チャラユニット研究開発及び不揮発性間接冷媒の検討
    - ・リザーバタンクを設置する事により、従来機より冷凍機の冷凍能力の削減ができ、また省エネモードを付加する事により、チャラユニットのインシヤル及びランニングコスト削減の目的が立った。
    - ・不揮発性間接冷媒 (FP-40) の採用により、プライン価格が大幅に削減でき、その結果当初の設計よりも、少ない熱交換器ユニットで運用できる目的が立った。
    - ・性能評価試験
      - ・SAEJ2601適合確認の為のテストマトリックス及び評価方法が確立できた。(8月テスト実施)
      - ・大型容器 (バス・トラック) の試験も実施可能となった。
      - ・コスト分析・試算
        - ・熱交換器ユニット使用基数半減、リザーバタンクによる冷凍機冷凍能力削減、低コストプラインの採用等による目標価格達成の可能性が高くなった。
        - ・フル充填87.5MPa 対応検討
          - ・Powertech Labs Inc社での試験結果より、検討予定。

## ●今後の課題

- ・使用鋼材の拡大
  - 低コスト化
  - ・溶接基準の策定及び食い込み継手の採用
    - フル充填への対応
    - ・可燃性間接冷媒の採用
      - 低コスト化

## ●実用化・事業化の見通し

- ・平成27年度中に事業化を実施予定

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
熱交換器研究開発	ステージ I で設計及び性能確認した結果を基に熱交換器ユニットを製作した。	◎
低温チャラユニット研究開発及び不揮発性間接冷媒の検討	リザーバタンク設置による冷凍機の冷凍能力削減の確認及び省エネモードの有効性の確認。FP-40プライン採用による熱交換器ユニットの半減の確認。	○
性能評価試験	テストマトリックス及び評価方法の確立。	△ (H27.9)
コスト分析・試算	熱交換器ユニット使用基数半減、冷凍機冷凍能力の削減、低コストプラインの採用等による目標価格達成の可能性の確認。	△ (H27.9)
フル充填87.5MPa 対応検討	テストマトリックスに検討に必要な内容を含ませた。	△ (H27.9)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
無	無	無	無



## 課題番号：Ⅱ－①－(9)

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

### 低コスト・プレクーラーの研究開発

#### 1. 研究開発概要

ステージⅠで設計及び設計性能試験を実施したシェルアンドコイル型熱交換器を4本製作し、チラーユニットと共にカナダ Powertech 社に移送しディスペンサーに設置後、模擬タンク及びFCVに充填試験を実施しSAEJ2601 充填プロトコルを満足する事を確認し、併せて商用に適する事も確認する。試験内容・結果検証においては、九州大学 先端科学研究センター 門出政則特任教授、迫田助教授に指導を仰ぐ。結果検証に基づき、プレクーラーの最適化設計（イニシャルコスト・ランニングコスト）、非揮発性ブラインの採用検討を実施する。また、フル充填対応検討（机上）も実施する。

#### 2. 研究開発目標

2015年以降の燃料電池自動車普及促進の為に、低コストの水素ガスを供給する事が不可欠であり、その為には水素ステーションの低コスト化が必要である。現状では、商用ベース（300Nm<sup>3</sup>/h）の設備で4～6億円かかり、これでは供給水素ガスの低コスト化は望めない。海外と比較して見ても水素ステーション価格として2億円を下回る必要があり、その為には水素ステーションを構成する主要機器（水素製造設備・水素圧縮機・プレクーラー）の価格を低減する必要がある。本研究開発は、プレクーラーの価格を半減（現行価格：4,000万円～5,000万円、目標価格：量産時2,400万円）する為に、ステージⅠで設計及び性能試験を実施した熱交換器を実際のディスペンサーにコスト・熱交換効率等を考慮した配置を行い、模擬タンク及びFCVに充填試験を実施し、SAEJ2601 充填プロトコルに適する事を確認し商用化を図り、設備価格及びシステム効率（イニシャル及びランニングコスト）について検証を実施する。

#### 3. 研究開発成果

##### 3.1 研究開発成果、達成度

###### (1) 熱交換器研究開発

コイル使用材 HRX-19 は、特定設備検査事前評価適用（26 高機第 148 号平成 26 年 5 月 27 日認可）を受け、高圧ガス保安法第 56 条の 3 に則り、特定設備検査受検を経て製造され、平成 27 年 1 月 20 日特定設備検査合格証が交付された。図 1 に熱交換器のユニット化外観を示す。



図1. 熱交換器ユニット外観（1ユニットに熱交換器2基を格納した状態）  
熱交換器の研究開発は、計画通りの成果を達成した。

(2) 低温チラーユニット研究開発及び不揮発性間接冷媒の検討

ステージIにおいて、冷凍機システムでは予め $-40^{\circ}\text{C}$ のブラインをリザーバータンクに蓄えて冷熱容量を保有する事で温度回復に必要な冷凍機負荷を低減する事を提案した。プレクーラーの交換熱量から設計したチラーユニットは、約250Lのリザーバータンクを備えた冷凍能力21.9Kw（5.67冷凍トン、液温 $-40^{\circ}\text{C}$ 、冷却水 $32^{\circ}\text{C}$ ）の水冷式低温チラーユニットとなる。その構造図を図2に示す。

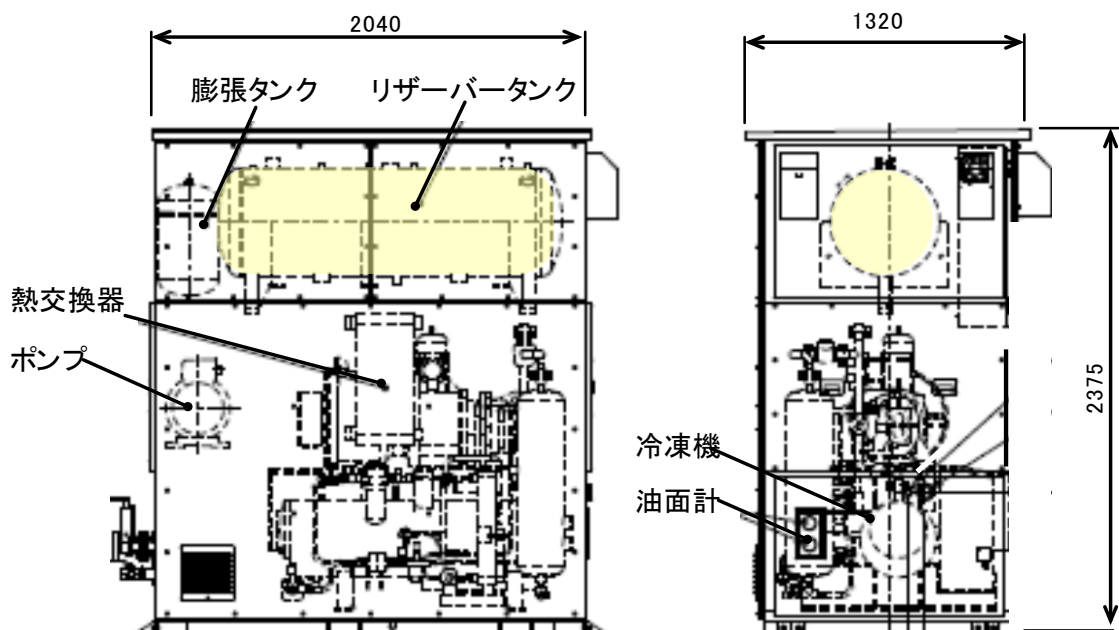


図2. 低温チラーユニット構造図

これにより、従来設計のチラーユニットの冷凍能力が約40Kw（10.36冷凍トン、液温 $-40^{\circ}\text{C}$ 、冷却水 $32^{\circ}\text{C}$ ）に比較して大幅な能力低減が図れる見通しを得た。

① 定格運転性能

冷却性能応答性について、電熱ヒータによる模擬負荷を与えて、ブライン供給温度の時間変化を調べた結果を図3に示す。



図 3. ブライン温度測定（定格運転時）結果

模擬負荷は、無負荷運転状態から 24Kw 一定×3 分間を 2 分間隔で繰り返し与えた。ブライン温度は、3 分間で約 1°C 上昇するが、-39°C を上限として低温ブラインを供給できることを確認した。また、同時に測定した消費電力は図 4 に示すよう、最大 29Kw、無負荷時では約 24Kw となった。

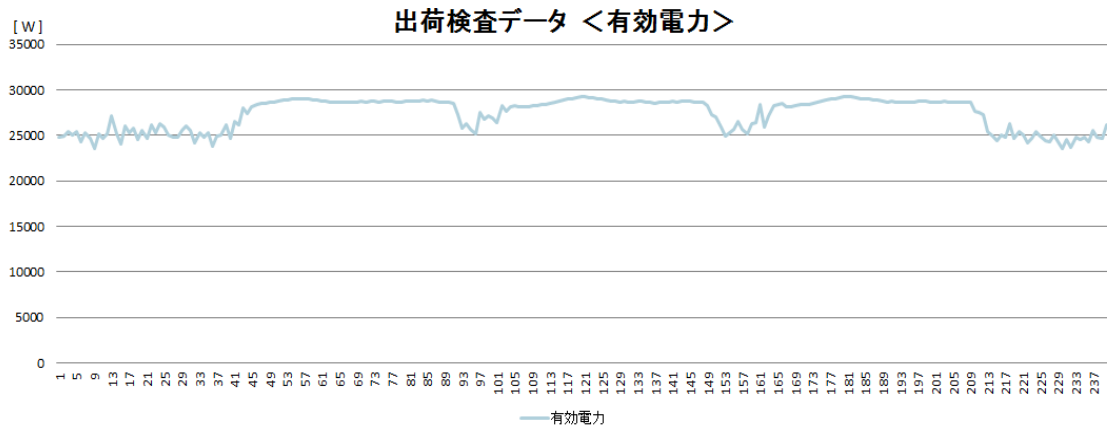


図 4. 定格運転時 消費電力測定結果

②省エネ運転モード機能付加

無負荷時のブライン流量を低減し消費電力を抑制する検討を実施した。図 5 に冷凍性能応答試験結果を示す。

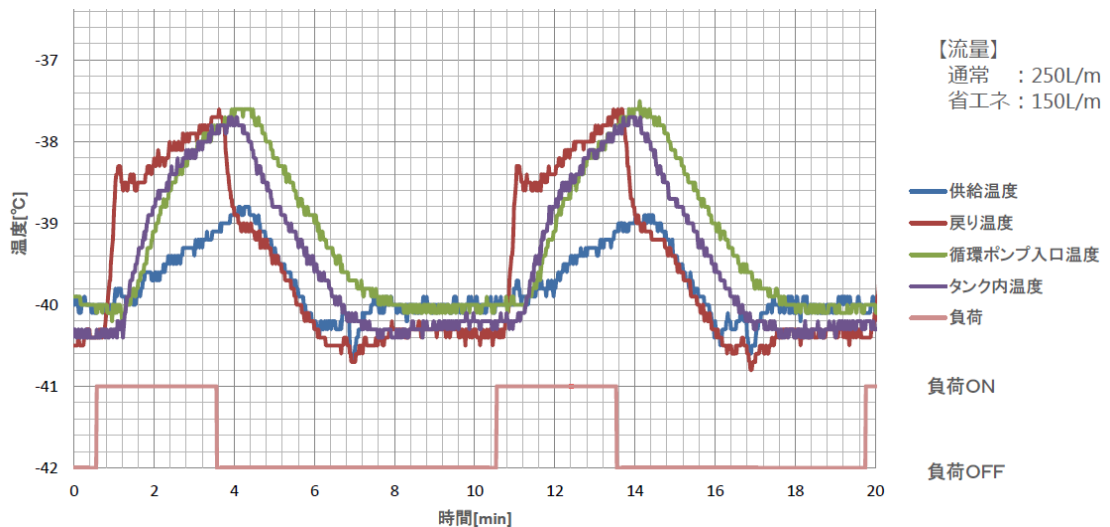


図 5. 冷凍性能測定試験結果

模擬負荷は、ブライン流量を減じた省エネ運転モードから 24Kw 一定×3 分間を 7 分間隔で繰り返した。負荷を与えた直後から約 25 秒までは、リザーバータンク内のブラインにより-40℃を維持して供給され、その後通常運転モードに入りブライン供給温度は 3 分間で約 1.2℃上昇するが、-38.8℃を上限として低温ブラインを供給できる事を確認した。図 6 に省エネ運転モード時の消費電力を示す。

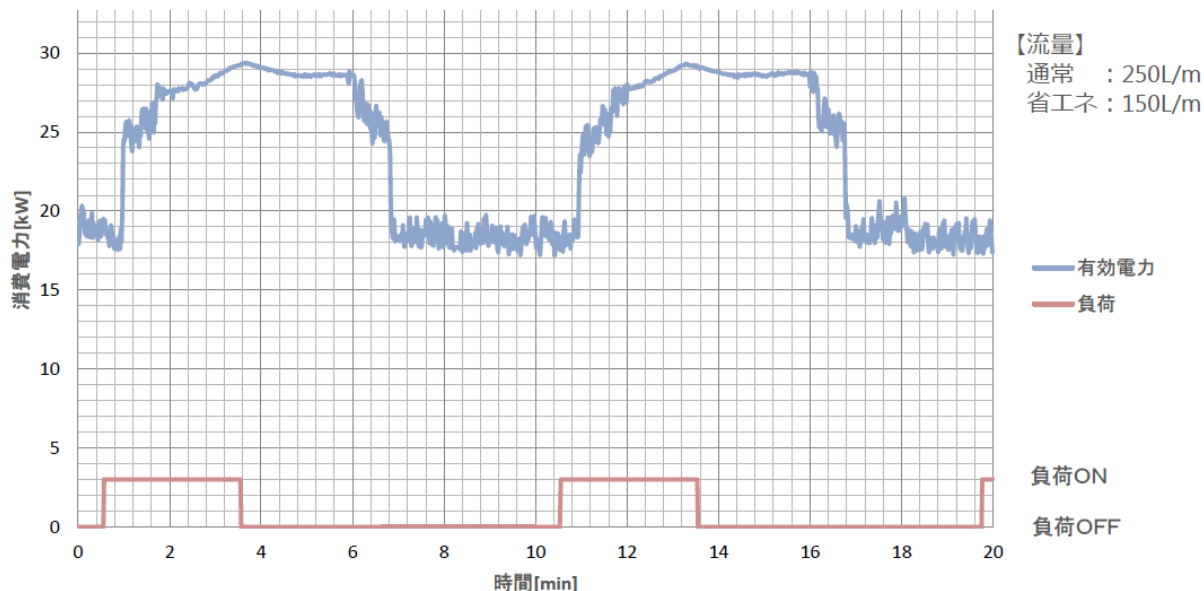


図 6. 消費電力測定結果

最大 29Kw は変わらないが、無負荷時（省エネモード運転中）では約 18.5Kw である事から、省エネ効果が期待できる事が確認された。

### ③ブライン検討

当初の計画では、HFE 系ブライン（商品名：ノベック）を使用する予定であったが、ブライン温度が-40℃という事から、不揮発性間接冷媒についても検討を実施した。検討対象として、非危険物で価格的にも安価で一般的に使用されているコールドブライン（商品目：FP-40）を選定した。表 1 にノベックと FP-40 の比較表を示す。

表 1. ノベック・FP-40 比較表

高性能液体の種類	分類	性質	温度範囲 ℃	沸点 ℃	凝固点 ℃	流動点 ℃	蒸気圧 MPa	引火点 ℃	密度 kg/m <sup>3</sup>	絶対粘度 Pa·s	動粘度 cst	比熱 kJ/kg·K	熱伝導度 W/m·k	製造者	参考価格
ノベック Novecシリーズ (HFE-7200) 主成分<ハイドロフロロエーテル>	フッ素系溶剤 非危険物	不燃性 無毒	-90~75	78.5	-	-138	0.0004	なし	1573	0.0001	1.09	1.093	0.081	住友3M	
コールドブライン (FP-40) 主成分<水・防錆剤・蟻酸・他>	非危険物	不燃性 LD50~ 1000mg/kg (マウス)	-40~40	110	-55	-	-	なし	1381	0.0276	1.3	2.287	0.43	ショーワ	

この表より、FP-40 はノベックに比較して、熱伝導率が高い冷却冷媒であるため冷却性能が高く、熱交換ユニット基数を減らせられる可能性があり、ステージ I で検討した熱交換ユニット 2 並列×2 直列=計 4 基を 2 並列×1 直列=計 2 基に削減できる可能性が確認できたので、その検討を実施した。図 7 に FP-40 を使用して熱交換ユニットを 2 並列×2 直列=計 4 基とした場合と 2 並列×1 直列=計 2 基とした場合のプレクーラー出口水素温度の水素流量による変化をブライオン流量をパラメータにして表示した。

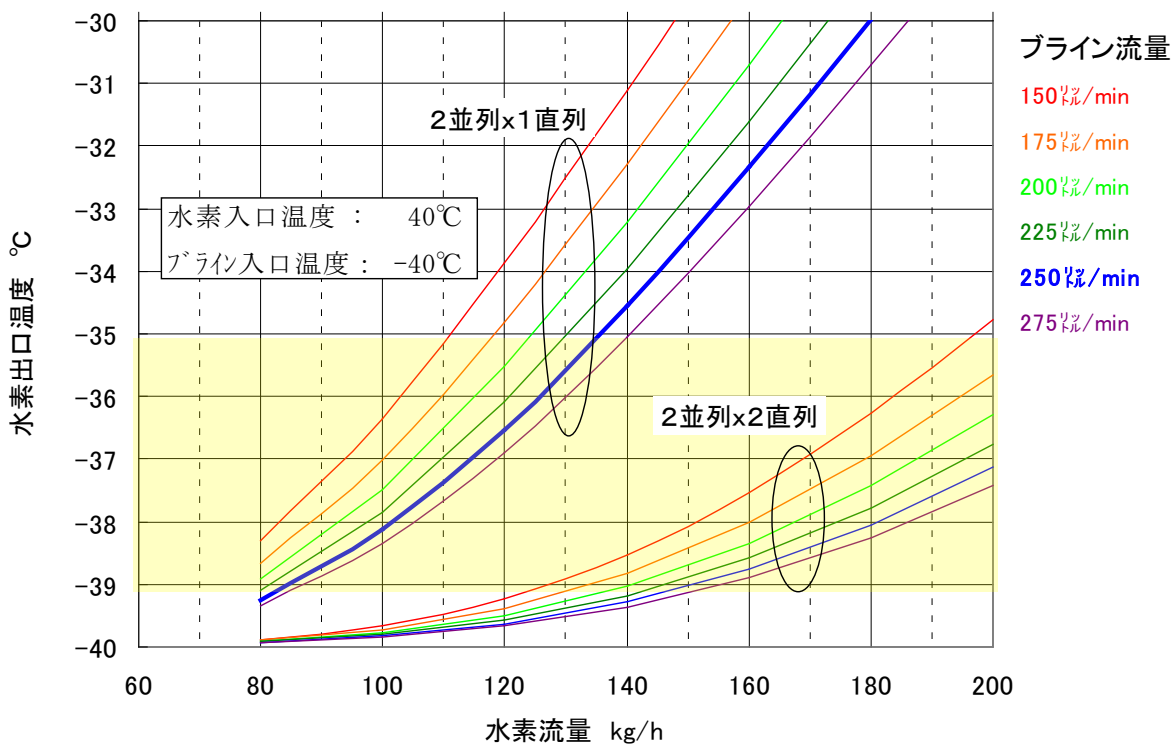


図 7. 熱交換ユニット基数による水素冷却性能の変化

図 7 より辻の事が判明した。

- 水素入口温度 40°C、ブライン入口温度-40°Cの条件下で水素出口温度-37±2°Cを達成目標とすると 2 並列×2 直列=計 4 基では水素充填量 5kg/3min=100kg/h の標準条件で裕度を考慮してもプレクーラーとして冗長といえる。
- 熱交換ユニット基数を半減した 2 並列×1 直列=計 2 基により目標水素温度を達成するには標準水素充填量 100kg/h の場合、ブライン流量 250L/min とする事で水素冷却温度の裕度を考慮した出口温度-38°Cまで冷却できる可能性がある。
- 熱交換ユニット 2 並列×1 直列=計 2 基とする事で水素及びブラインの圧力損失は水素流量 120kg/h で約 1.6MPa、ブライン流量 250L/min で約 0.036MPa と十分少なく抑えられる。

以上の結果から、本開発品には熱物性の優位性から熱交換ユニット基数の削減が期待できる FP-40 を採用する事とした。

低温チラーユニットの研究開発及び不揮発性間接冷媒の検討は、冷凍能力の低減、消費電力低減の検討、使用ブラインの低コスト化及び熱交換ユニットの基数削減の可能性の確認ができた事で、十分に目標を達成した。

### (3) 性能評価試験

本開発品は、JPEC-S0003(2014)に基づく充填速度でプレクーラー出口水素温度が充填開始後に 30 秒以内に  $-40^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{fuel}} \leq -33^{\circ}\text{C}$  の温度範囲に維持できる性能を有する事を確認する。

#### ①試験計画

試験は、Powertech Labs Inc.社 (カナダ) の試験設備を使用して実施する。



試験設備 P&ID を図 8 に示す。

試験は、熱交換ユニット 2 並列×1 直列=計 2 基（対象：Light Duty Vehicle Fueling Protocols）及び 2 並列×2 直列=計 4 基（対象：バス及び大型車両向けの大容量タンク）で実施する試験に分けて行う。

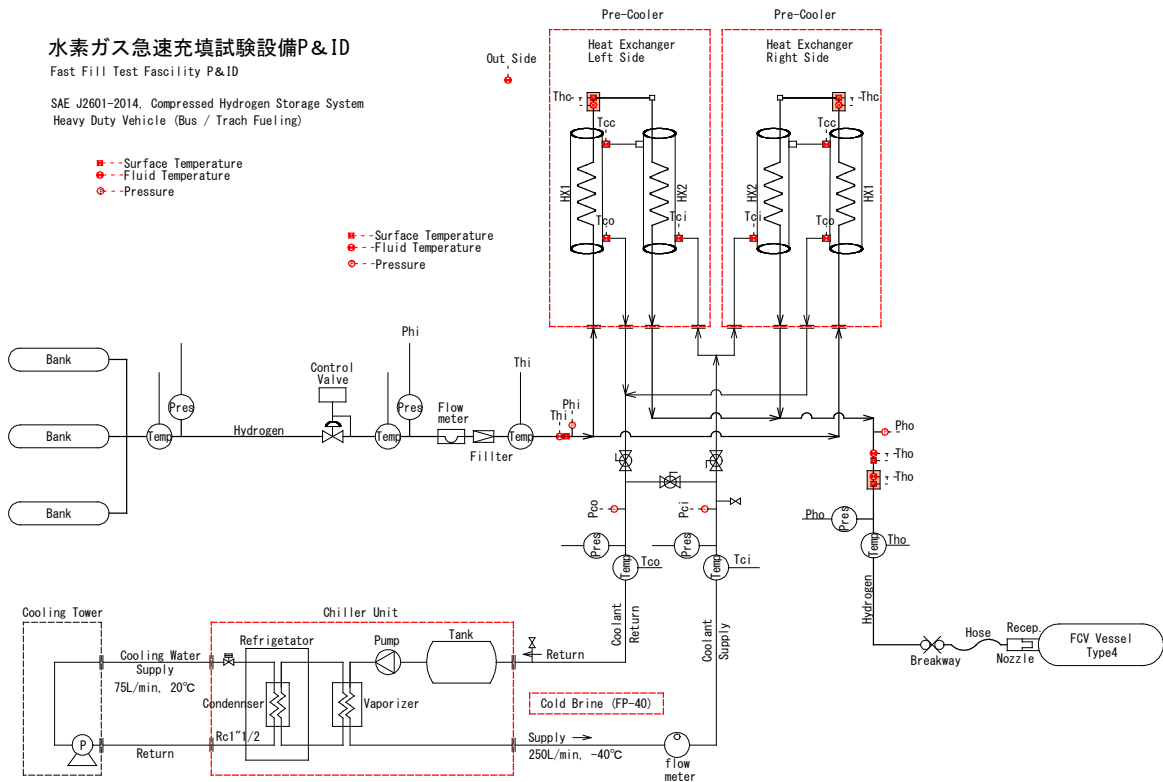


図 8. 試験設備 P&ID

本性能試験は、SAEJ2601(2014)による水素充填基準における H70-T40 4-7kg Look Up Table を元に Test Matrix を構築する。Look Up Table を図 9 に示す。  
 ※JPEC-S0003(2014)は米国規格 SAEJ2601(2014)を翻訳転載したものである。

TABLE D19 - H70-T40 4-7KG NON-COMMUNICATIONS

H70-T40 4-7kg non-comm	APRR [MPa/min]	Target Pressure, $P_{target}$ [MPa]													
		Initial Tank Pressure, $P_0$ [MPa]													
		0,5	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70		
Ambient Temperature, $T_{amb}$ [°C]	> 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
	50	5,1	77,8	77,6	77,3	76,9	76,6	76,2	75,7	75,3	74,7	73,9	72,8	no fueling	
	45	8,1	76,3	77,2	76,9	76,5	76,4	76,2	75,6	75,3	74,7	73,9	72,7	no fueling	
	40	11,5	73,2	75,6	76,8	76,3	76,4	76,2	75,6	75,3	74,6	73,9	72,7	no fueling	
	35	12,4	72,9	75,3	76,4	76,0	76,1	75,9	75,3	75,1	74,5	73,8	72,7	no fueling	
	30	15,3	70,6	73,9	75,8	75,2	75,4	75,1	74,3	74,1	73,3	72,4	71,3	no fueling	
	25	18,5	69,0	72,8	75,1	74,5	74,7	74,3	73,3	73,0	72,0	71,1	no fueling	no fueling	
	20	21,8	67,9	72,1	74,5	73,7	74,0	73,4	72,2	71,9	70,7	69,7	no fueling	no fueling	
	10	28,0	66,3	71,1	74,1	73,2	72,4	71,6	70,9	69,6	68,4	66,9	no fueling	no fueling	
	0	28,5	74,0	73,4	72,4	70,6	70,7	69,6	68,6	67,1	65,7	64,0	no fueling	no fueling	
	-10	28,5	73,4	72,9	71,9	70,0	70,0	68,4	66,5	64,4	62,9	61,2	no fueling	no fueling	
	-20	28,5	72,9	72,3	71,3	71,0	69,5	68,0	65,7	62,4	60,0	no fueling	no fueling	no fueling	
	-30	28,5	72,1	71,6	70,6	70,4	69,0	67,4	65,2	61,8	58,7	no fueling	no fueling	no fueling	
	-40	28,5	71,6	71,1	70,2	70,0	68,5	66,9	64,8	61,5	58,5	no fueling	no fueling	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	

図 9.Look Up Table

選択する Ramp Rate はもっとも高い APRR (28.5MPa/min) の高流量充填となる外気温度 0°C のケースと、APRR は低い充填時間が長く初期温度条件がもっとも厳しい外気温度 50°C のケースのワーストケースシナリオを必須条件としてテスト構成する。表 2 にテスト・シナリオを示す。

表 2. テスト・シナリオ

No.	プレクーラー用途	構成 熱交換器	低温テラ	試験条件 充填プロトコル	Test ID	試験 回数	Tank Size	要求性能	評価方法			
I	Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填  オプション試験 1 プレクーラー性能確認 (ライン流量変動)  ※低温テラの設定変更で 対応可能	1直列×2並列 (2基)  ブライン FP-40	冷凍能力 22kW  ブライン 吐出温度 -40°C  ブライン 吐出量 250ℓ/min	水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。	1A-01 1A-02  1B-01 1B-02  1C-01 1C-02	各2回	Type4  147ℓ (5.9kg)	プレクーラー出口温度	a. プレクーラー出入口温度測定  プレクーラー出入口温度を計測し、伝熱性能の検証を行う。 また、取電対周囲継手を予め冷却した状態で、水素ガス温度を精度よく測定する方法の検証を行う。  供給燃料温度を計測するための供給温度センサーは充填ホースとディスプレイの筐体との接続部近傍に設置する。 ※一般則例示準55の2第3項に従う(JPEC-S0003)			
				SAE J2801 (2014) H70-T40 4-7kg Lookup Table With Non-Communication				①APRR 28.5MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 74.0MPa		②APRR 21.8MPa/min (20°C, Int.2.0MPa) TP 72.1MPa	③APRR 5.1MPa/min (50°C, Int.0.5MPa) TP 77.8MPa	フル充填を見据えたプレクーラーの適合性評価 ※日本国内では実施困難な試験 ※JPEC-S 0003(2014) is same as SAE J2801(2014)
				水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。				①APRR 28.5MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 74.0MPa		②APRR 5.1MPa/min (50°C, Int.0.5MPa) TP 77.8MPa	※1A及び1Cとテスト内容が重複するため、他の試験へ変更する可能性があります。	
Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填  オプション試験 2 プレクーラー性能確認 (省エネ運転時の挙動確認)  無負荷時流量低減150ℓ ブライン戻り温度上昇トリガー 定常運転流量切替250ℓ  ※低温テラの設定変更で 対応可能	1直列×2並列 (2基)  ブライン FP-40	冷凍能力 22kW  ブライン 吐出温度 -40°C  ブライン 吐出量 200ℓ/min	水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。	2A-01   2B-01	各1回	Type4  147ℓ (5.9kg)	プレクーラー出口温度	a. プレクーラー出入口温度測定  プレクーラー出入口温度を計測し、伝熱性能の検証を行う。 また、取電対周囲継手を予め冷却した状態で、水素ガス温度を精度よく測定する方法の検証を行う。  供給燃料温度を計測するための供給温度センサーは充填ホースとディスプレイの筐体との接続部近傍に設置する。 ※一般則例示準55の2第3項に従う(JPEC-S0003)				
			SAE J2801 (2014) H70-T40 4-7kg Lookup Table With Non-Communication				①APRR 28.5MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 74.0MPa		②APRR 5.1MPa/min (50°C, Int.0.5MPa) TP 77.8MPa	フル充填を見据えたプレクーラーの適合性評価 ※日本国内では実施困難な試験 ※JPEC-S 0003(2014) is same as SAE J2801(2014)		
			水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。				①APRR 28.5MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 74.0MPa		②APRR 5.1MPa/min (50°C, Int.0.5MPa) TP 77.8MPa	※1A及び1Cとテスト内容が重複するため、他の試験へ変更する可能性があります。		
Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填  オプション試験 2 プレクーラー性能確認 (省エネ運転時の挙動確認)  無負荷時流量低減150ℓ ブライン戻り温度上昇トリガー 定常運転流量切替250ℓ  ※低温テラの設定変更で 対応可能	1直列×2並列 (2基)  ブライン FP-40	冷凍能力 22kW  ブライン 吐出温度 -40°C  ブライン 吐出量 150ℓ/min ↓ 250ℓ/min	水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。	3A-01   3B-01	各1回	Type4  147ℓ (5.9kg)	プレクーラー出口温度	a. プレクーラー出入口温度測定  プレクーラー出入口温度を計測し、伝熱性能の検証を行う。 また、取電対周囲継手を予め冷却した状態で、水素ガス温度を精度よく測定する方法の検証を行う。  供給燃料温度を計測するための供給温度センサーは充填ホースとディスプレイの筐体との接続部近傍に設置する。 ※一般則例示準55の2第3項に従う(JPEC-S0003)				
			SAE J2801 (2014) H70-T40 4-7kg Lookup Table With Non-Communication				①APRR 28.5MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 74.0MPa		②APRR 5.1MPa/min (50°C, Int.0.5MPa) TP 77.8MPa	フル充填を見据えたプレクーラーの適合性評価 ※日本国内では実施困難な試験 ※JPEC-S 0003(2014) is same as SAE J2801(2014)		
			水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。				①APRR 28.5MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 74.0MPa		②APRR 5.1MPa/min (50°C, Int.0.5MPa) TP 77.8MPa	※1A及び1Cとテスト内容が重複するため、他の試験へ変更する可能性があります。		

No.	プレクーラー用途	構成 熱交換器	低温テラ	試験条件 充填プロトコル	Test ID	試験 回数	Tank Size	要求性能	評価方法
I	Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填  オプション試験 3 フル充填 (87.5MPa) 通信充填 (Communication) Vehicle transmits tank parameters through wireless interface	2直列×2並列 (4基)  ブライン FP-40	冷凍能力 22kW  ブライン 吐出温度 -40°C  ブライン 吐出量 250ℓ/min	水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。	4A-01  4B-01	各1回	Type4  147ℓ (5.9kg)	プレクーラー出口温度	a. プレクーラー出入口温度測定  プレクーラー出入口温度を計測し、伝熱性能の検証を行う。 また、取電対周囲継手を予め冷却した状態で、水素ガス温度を精度よく測定する方法の検証を行う。  供給燃料温度を計測するための供給温度センサーは充填ホースとディスプレイの筐体との接続部近傍に設置する。 ※一般則例示準55の2第3項に従う(JPEC-S0003)
				SAE J2801 (2014) H70-T40 4-7kg Lookup Table With Non-Communication				①APRR 28.0MPa/min (10°C, Int.2.0MPa,Top-Off) TP 87.4MPa	

No.	プレクーラー用途	構成 熱交換器	低温テラ	試験条件 充填プロトコル	Test ID	試験 回数	Tank Size	要求性能	評価方法
II	Bus and Heavy duty vehicles バス及び大型車向け充填  タンク容積がUPする為 水素流量はFCVより大となる FCV用低温テラではあるが 運転条件が何分異なるか 事前検討しておく。	2直列×2並列 (4基)  ブライン FP-40	冷凍能力 22kW  ブライン 吐出温度 -40°C  ブライン 吐出量 250ℓ/min	水素急速充填試験を充填技術基準に則り実施する。	5A-01  5B-01	各1回	Type4  250ℓ (10.0kg)	プレクーラー出口温度	a. プレクーラー出入口温度測定  プレクーラー出入口温度を計測し、伝熱性能の検証を行う。 また、取電対周囲継手を予め冷却した状態で、水素ガス温度を精度よく測定する方法の検証を行う。  供給燃料温度を計測するための供給温度センサーは充填ホースとディスプレイの筐体との接続部近傍に設置する。 ※一般則例示準55の2第3項に従う(JPEC-S0003)
				SAE J2801 (2014) H70-T40 7-10kg Lookup Table With Non-Communication				①APRR 19.9MPa/min (0°C, Int.0.5MPa) TP 73.0MPa	

②性能評価方法

a. 水素ステーション性能実証

FCV-Vessel 内の温度・圧力が規定値通り安全に充填できるとデータ分析・評価されることで、プレクーラー冷却性能が燃料供給プロトコル下において、急速充填性能要求を満たし



ていると判断できる。参考に燃料供給プロトコル有効性検証テストのデータを図 10 及び図 11 に示す。

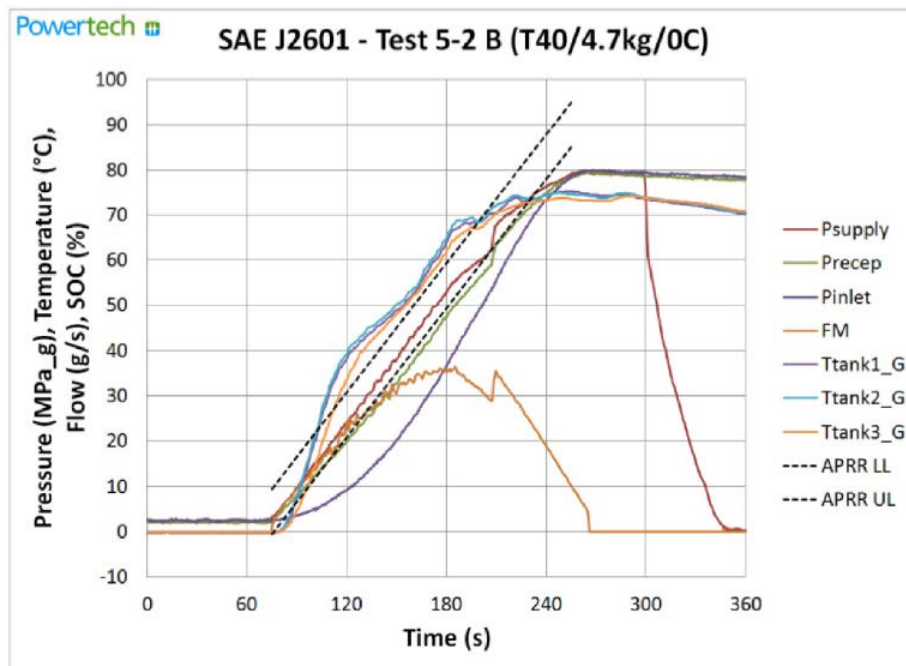


図 10. 燃料供給プロトコル有効性検証参考テスト・データ (1)

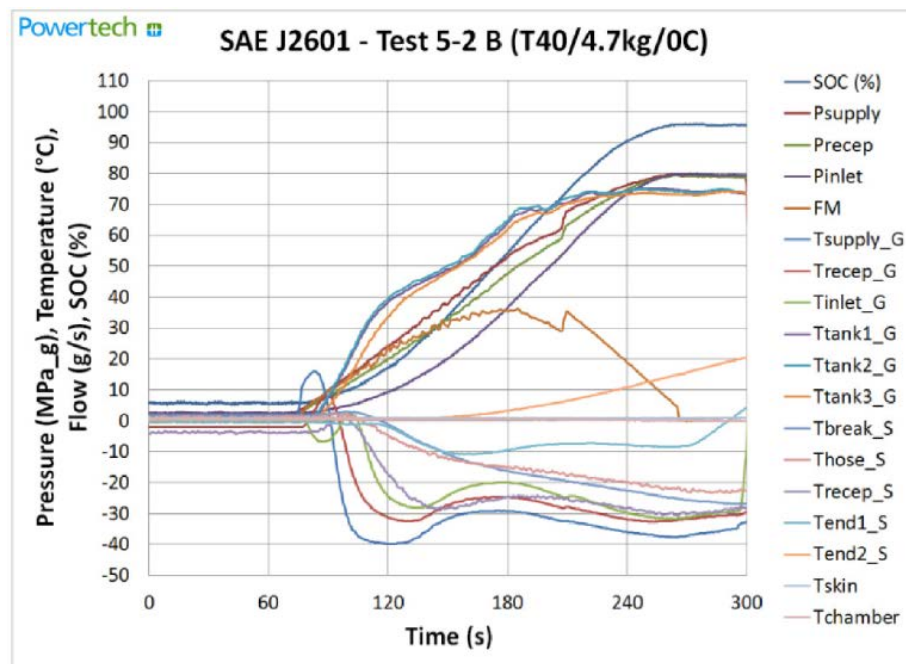


図 11. 燃料供給プロトコル有効性検証参考テスト・データ (2)

Powertech Labs Inc 社 (カナダ) にて計測、分析及び検証を行いテストレポートが発行される。

b. プレクーラー実機による性能検証

プレクーラー出口温度を計測し、開発した熱交換ユニットの伝熱性能の検証を実施する。温度計測の概要を図 12 に示す。

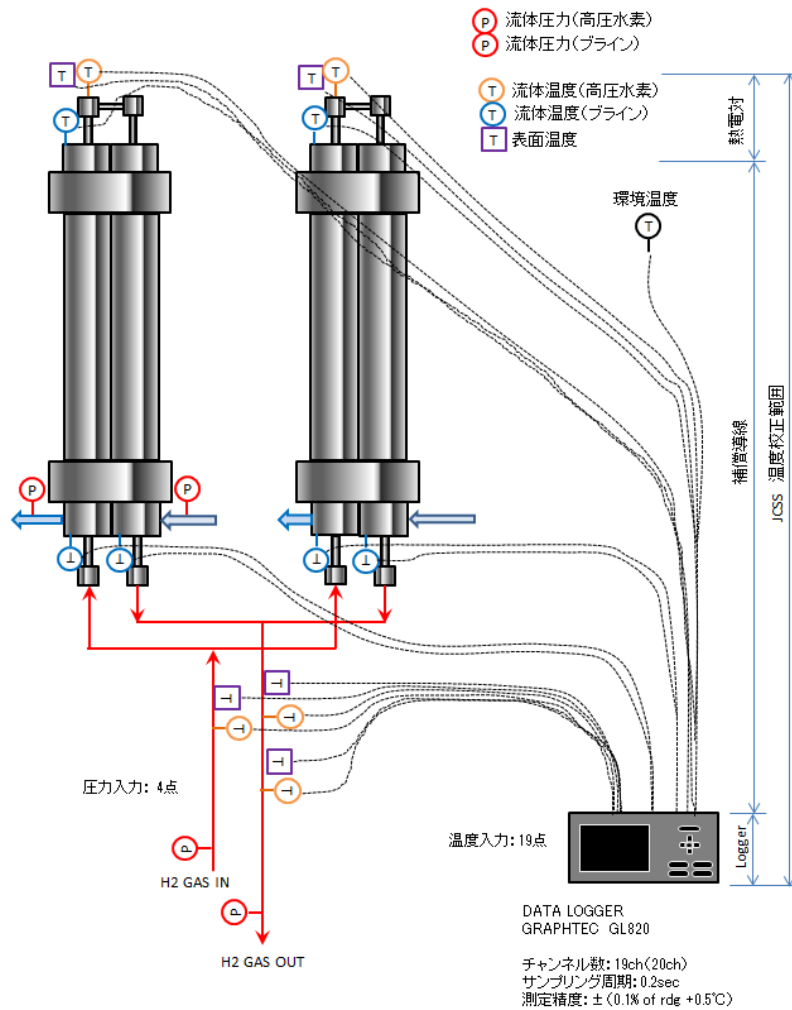


図 12. 温度測定概要

併せて、低温チラーユニットの冷却性能及び消費電力について、運転データロギングを実施し、当該プレクーラーユニットが従来機に比較して低コスト、省エネルギーである事を検証する。表 3 に計測項目及び図 13 に測定イメージを示す。

表 3. 測定項目

INDEX	-	T1	T2	T3	T4	P1	P2	P3	EMU	EMU	EMU	EMU	EMU	INV	INV
NAME	サンプル 周期	PLAIN 供給温度	PLAIN 戻り温度	ポンプ 入口温度	タンク内 温度	PLAIN 供給圧力	PLAIN 戻り圧力	ポンプ 入口圧力	電圧1 瞬間値	電圧3 瞬間値	電流1 瞬間値	電流3 瞬間値	有効電力 瞬間値	ポンプ 回転速度	ポンプ 出力電流
UNIT	[sec]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[V]	[V]	[A]	[A]	[W]	[Hz]	[A]
SAMPLE	5	-400	-398	-393	-392	442	-13	-61	425	425	42	43	28148	5468	1384
		$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-1}$									$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-2}$
INDEX	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM						
NAME	吸入圧力	中間圧力	吐出圧力	給油圧力	吸入温度	吐出温度	給油温度	電流値	回転速度						
UNIT	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[°C]	[°C]	[°C]	[A]	[rpm]						
SAMPLE	19	417	1508	1490	-437	480	519	28	2862						

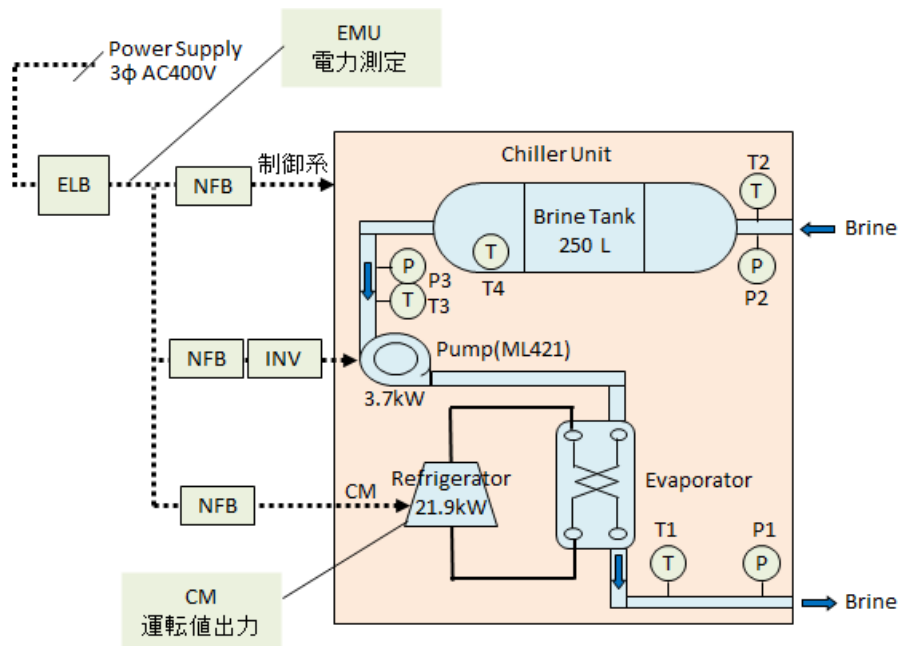


図 13. 測定イメージ

c. 水素供給状態数値解析シミュレーション

熱交換器ユニット 2 並列×1 直列=計 2 基の状態の水素供給状態と FCV タンク内温度の変化をシミュレーションする。

大気温度 0℃、初期圧力 2.0MPa、APRR28.5MPa/min、目標充填圧力 73.4MPa の高流量充填条件によるバンク出口、プレクーラー入口/出口水素温度を図 14 に、FCV-Vessel 内の圧力/温度と水素儒天領の時刻変化を図 15 に示す。

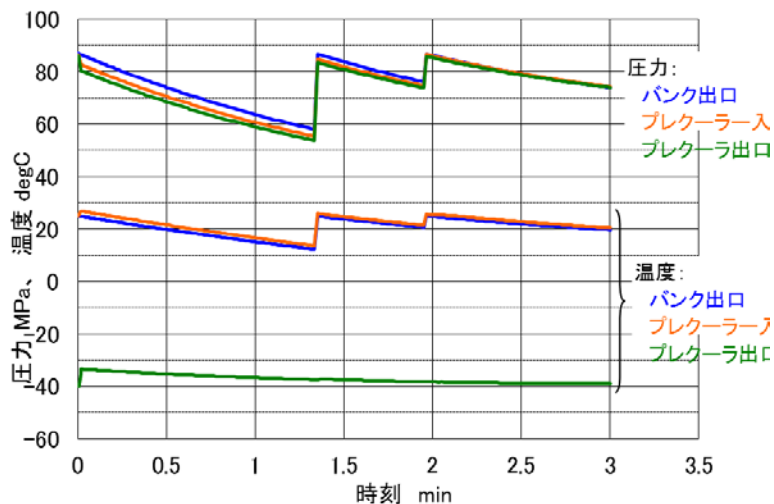


図 14. 高流量条件下のバンク出口、プレクーラー入口/出口水素温度シミュレーション

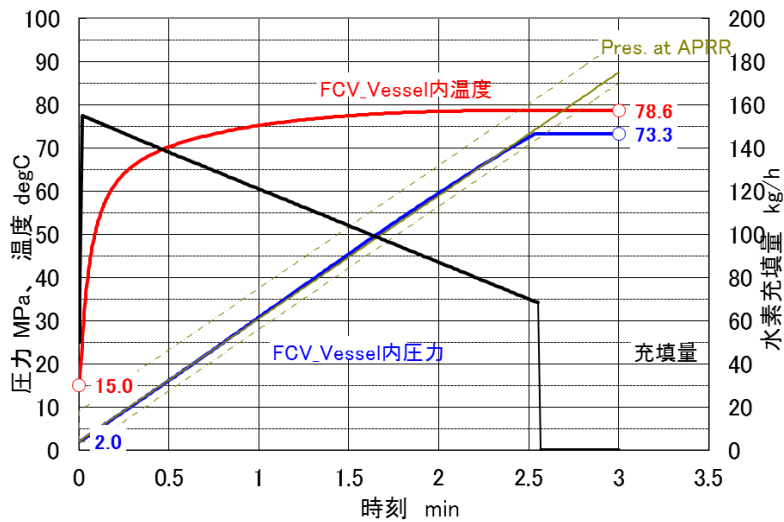


図 15. 高流量条件下の FCV-Vessel 内の水素充填量時刻変化シミュレーション

プレクーラーは、待機状態でも省エネモードで-40°Cに冷却されたブライン供給を受けて予冷されているので、充填開始直後の水素流量が多い場合でも、プレクーラー出口水素温度は-37.7°C以下が維持できる見通しが得られた。また、FCV-Vessel 内の水素は、充填圧力上限値まで充填して約 78.6°Cと想定されるので、初期目標温度 85°C以下が達成できると思われる。

次に、初期条件を大気温度 50°C、初期圧力 2.0MPa、APRR5.1MPa/min、目標充填圧力 77.6MPa として、同様のシミュレーションを実施する。バンク出口、プレクーラー入口/出口水素温度を図 16 に、FCV-Vessel 内の圧力/温度と水素備天領の時刻変化を図 17 に示す。

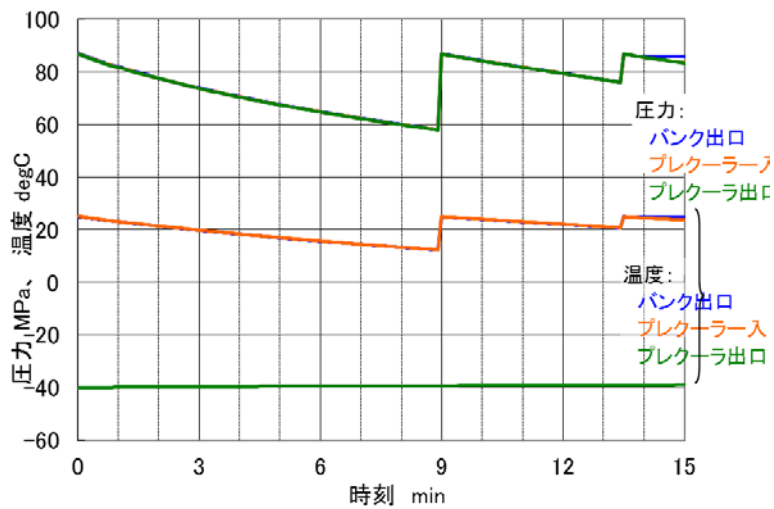


図 16. 低流量条件下のバンク出口、プレクーラー入口/出口水素温度シミュレーション

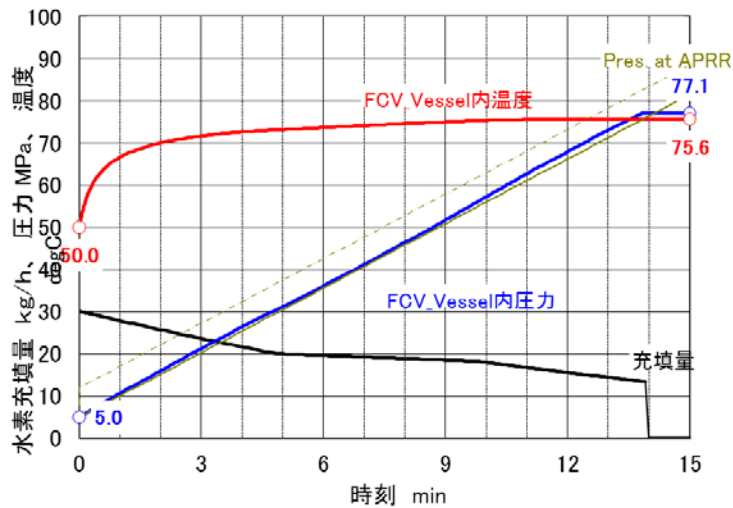


図 17. 低流量条件下の FCV-Vessel 内の水素充填量時刻変化シミュレーション

この場合は、APRR が低いのでプレクーラー出口水素温度は、負荷印加初期から $-39^{\circ}\text{C}$ 以下が維持できるので、FCV-Vessel 内温度は約  $75.6^{\circ}\text{C}$  までの上昇となり、外気温度が  $50^{\circ}\text{C}$  においても初期目標温度が達成できると思われる。

d. 水素温度計測方法の検討

水素温度は、各熱交換ユニットの出入り口温度を校正済みの T 型熱電対を用いて測定する。測定に際して、熱電対シース材からの熱伝導による外気侵入熱の影響が懸念され、水素温度測定に大きな誤差を生じさせる恐れがあり、プレクーラー冷却性能検証に支障をきたす事が想定される為、熱電対周囲を予め冷却した状態で、プレクールされた水素ガス温度を精度良く測定する方法も併せて検証を実施する。熱電対のクールダウン速度短縮に有効な方法のイメージを図 18 に示す。

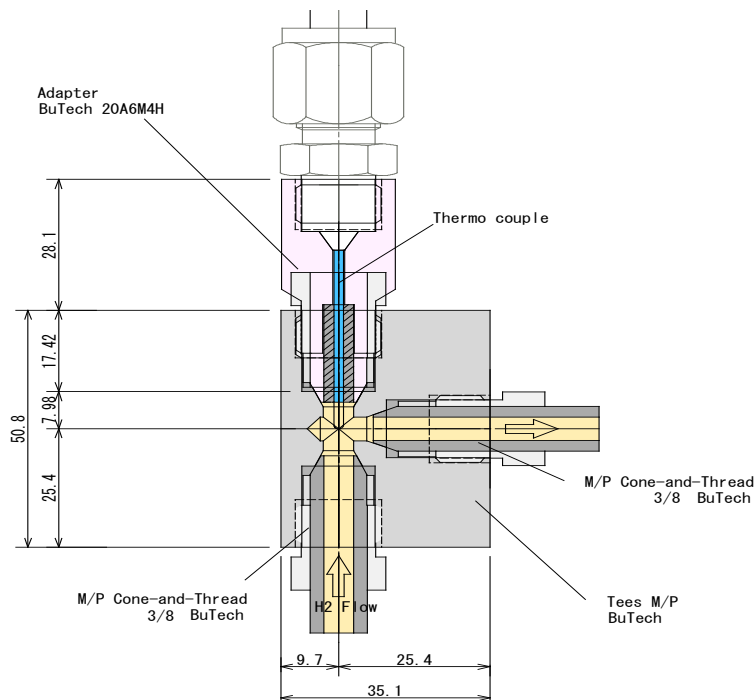


図 18. 熱電対予冷システム

本開発品の性能評価試験を行うに当たっての検討を以上のように九州大学 門出教授、迫田助教の指導を仰ぎ十分な検討ができたと考える。本性能評価試験は、Powertech Labs

Inc 社（カナダ）の施設を利用して、8月に実施する

#### （４）コスト分析・試算

本プレクーラー・システムを構成する主要機器は、熱交換器ユニット及び低温チラーユニットである。熱交換ユニットの価格構成は、HRX-19のコイル管及びユニット加工費である。開発当初は、2並列×2直列＝計4基で設計していたが、2並列×1直列＝計2基の構成となれば、設計時の半額で熱交換ユニットの製作が可能となる。また、低温チラーユニットは、冷凍能力を従来の10.36冷凍トンから5.67冷凍トンに低減する事により、冷凍機の価格を低減できる目途が立った。ブラインについても、HFE系ブラインから、コールドブラインに変更する検討を行った結果、ブライン単価を1/10近く減額する事が出来た。以上の結果から、イニシャルコストとしての目標価格（量産時：2,400万円）は、達成できる見通しが立った。

ランニングコストは、低温チラーユニットの冷凍機の冷凍能力の低減、省エネ運転モードの検討を基に、検証試験の結果を受けて結論を導く事としている。

#### （５）フル充填 87.5MPa 対応検討

米国規格 SAEJ2601 充填プロトコルは、充填圧力 87.5MPa に準じた基準であり、本検証においても、SAEJ2601 に準じた試験となるので、その試験結果より 87.5MPa 充填への能力検証も同時に実施できるので、Powertech Labs Inc 社で行う計測、分析及び検証結果に基づき検討を実施する。

### 3. 2 成果の意義

現在、FCV 普及の為の水素ステーションの低コスト化を目指して、規制の見直し等の事業が推進されており、本普及を加速推進する為には規制見直しの前倒し、低コスト機器開発の促進が必要とされている。従って、「低コスト・プレクーラーの研究開発」は、水素ステーション機器の低コスト化による水素ステーションの全体の低コスト化を促進し、その結果、低コストの水素ガスの供給に繋がり、FCV の普及促進につながるものである。また、HRX-19 のコイル管の使用は、新鋼材の実証による実用化の促進及び低コスト化、大容量タンク（バス、トラック等）への実証試験は、バス及びトラック等で課題と考えられる水素充填時間の短縮化の実証となり、今後普及が期待される、Heavy Duty Vehicle への水素充填に関して指針となると思われる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

前述の内容から、最終目標である量産時価格 2,400 万円のプレクーラーの提供は十分に可能と思われ、本年度内には販売が可能と考えている。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4. 1 まとめ及び課題

本研究開発の「低コスト・プレクーラーの研究開発」の目標は、達成できる見込みが十分に確認された。しかし、より低コスト化を実現するには以下の課題があると思われる。

(1) 使用鋼材の拡大

現状においては、HRX-19のみ使用できるが、規制緩和による低コストの鋼材の実証を実施し、使用できる鋼材の拡大を図る。

(2) 溶接基準の策定及び食い込み継手の採用

本研究開発品のプレクーラー仕様のHRX-19は本来100MPa以上の耐圧を持っているが、コーンアンドスレッド継手の使用により肉厚の減少が起こっている。その結果、87.5MPaのフル充填には使用できないが、溶接基準の策定、海外では使用できる食い込み継手の使用が可能となれば、現行仕様で87.5MPaフル充填に対応できる。

(3) 可燃性間接冷媒（ブライン）の採用

現状ではブラインは不燃性と決められているが、熱伝導率が高く低コストの可燃性ブラインが使用可能となれば、ブラインの低コスト化、熱交換器の小型化によるシステム全体の小型化と繋がり、より低コスト化が期待できる。

4. 2事業化までのシナリオ

現行の国内流通のプレクーラーは、本研究開発品と比較して大型でブライン量も多くチャージユニットも大きい。その為価格的には4,000～5,000万円である。しかし、本研究開発品は、弊社のみが持つ高圧ガス特定設備認可品であるHRX-19を用いたコイル管を使用する事により、低コストとなっている。8月にPowertech Labs Inc社によるSAEJ2601適応の認証が得れば、弊社のディスペンサーに設置し70MPa充填対応ディスペンサーとして、またプレクーラー単品としてディスペンサーメーカーへの販売も考慮している。平成27年度から5年間の販売見通しを表4に示す。

表4. 販売見通し

年度	販売単価(万円)	販売数(式)	売上(百万円)	原価(百万円)	収益(百万円)
1年目(H27年度)	2,800	4	112	78	34
2年目(H28年度)	2,700	1	27	19	8
3年目(H29年度)	2,500	2	50	35	15
4年目(H30年度)	2,400	2	48	34	14
5年目(H31年度)	2,200	3	66	46	20

5. 研究発表・特許等

特になし



**(Ⅱ-②)「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車用低コスト機器・システム等に関する研究開発／燃料電池自動車用高圧水素貯蔵材料に関する研究開発」**

委託先：国立大学法人九州大学、日本重化学工業（株）、国立大学法人東北大学、（株）アツミテック

**● 成果サマリ（実施期間：平成25年度～平成29年度予定）**

- ・高い水素貯蔵能を実現可能なスピルオーバー現象を確立するとともに従来は貴金属のみ可能であったスピルオーバー現象を安価な非貴金属により実現した
- ・計算科学と実験を組み合わせて新規水素貯蔵材料の手掛かりを得るとともに、原料価格が1/10になる原料製造法を開発した
- ・Mg系ナノ材料で7.5mass%、窒素系新材料で7.7mass%の水素吸蔵量を確認したが、水素の放出条件については更なる性能向上が必要である。

**● 背景/研究内容・目的**

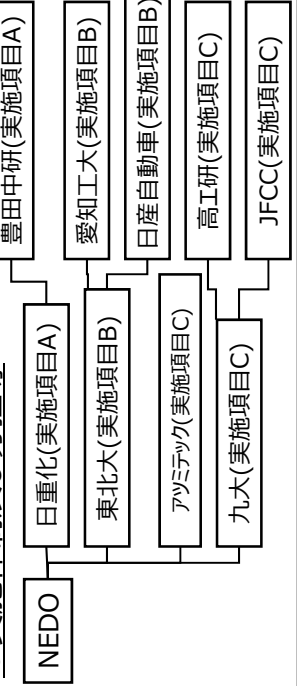
2014年に販売開始された燃料電池自動車の車載水素貯蔵技術としては、「高圧容器システム」（35MPa又は70MPaの高圧水素を容器に充填するシステム）が採用される予定である。しかしながら、燃料電池自動車の本格普及に向けては、「高圧容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストかつ形状自由度のある「水素貯蔵材料容器システム」（水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム）の実用化が必要とされている。

**● 研究目標**

最終目標は 水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下、かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。

実施項目	目標
A	水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。
B	
C	
D	

**● 実施体制及び分担等**



**● これまでの実施内容／研究成果**

- A: V系BCC型合金の低コスト化に道筋をつけ原料価格を1/10以下にする事に成功した。更に製造プロセスの単純化により、低コスト化・大量生産化も検討した。高容量水素貯蔵材料開発に関しては、第一原理計算法と実験の融合により「超多量空孔生成」を活用した新規高性能材料を提案した。
  - B: 物理吸着に加えてスピルオーバー現象を用いた高性能吸着材料実現のために、スピルオーバー水素貯蔵のメカニズムを検討し、炭素上の水素ラジカル拡散が律速段階であること、80℃程度の低温でも大きな貯蔵量増加効果が得られることを実験的に明らかにした。多孔性炭素に特殊な方法で担持したNiナノクラスターが非常に大きな水素化学吸着とスピルオーバー活性を示すことを見出し、高価なPtの代替材料としての可能性が大きく拓いた。
  - C: Mg系ナノ材料により7.5mass%の吸蔵量を達成した。しかし、室温での放出圧力は極めて低いことが判った。また、Mg系ナノ材料の100gオーダーでの合成法を確立し大量生産の可能性を確認した。Mg系材料を車載するための工学的検討を行った。
- Ti系固体の水素貯蔵材料の環境を中性子回折により明らかにし、水素が格子内を運動していることが水素が残留する原因であることを初めて明かにし、高性能化の指針を得た。新規な窒素系材料を創成し110℃を開始温度とする7.7mass%の水素放出量を確認した。

**● 今後の課題**

いずれの課題も目標の幾つかを達成しているが最終目標の全てを達成している訳ではない。その中で、性能向上が順調に進んでいる吸着系は更なる高性能化の道筋が明確で最終目標達成の可能性がある。

**● 実用化・事業化の見通し**

車載用での実用化には、さらなる高密度水素貯蔵材料の探索が必要である。今後、高性能材料が実現すれば、燃料電池自動車への車載が実現すると考えられる。

**● 研究成果まとめ**

実施項目	成果内容	自己評価
A	新材料創成の手掛かりを得た	△
B	スピルオーバー現象を確立し安価な触媒を開発	◎
C	7.5mass%確認および大量生産技術	○
D	7.7mass%達成および残留水素解明	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	5	56	0

## 課題番号：Ⅱ－②

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

### 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発

#### 1. 研究開発概要

2014年に販売開始された燃料電池自動車の車載水素貯蔵技術としては、「高圧容器システム」(35MPa又は70MPaの高圧水素を容器に充填するシステム)が採用される予定である。しかしながら、燃料電池自動車の本格普及に向けては、「高圧容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストかつ形状自由度のある「水素貯蔵材料容器システム」(水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム)の実用化が必要とされている。

そのため、平成24年において、NEDOでは「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」を推進して、燃料電池自動車への実用化を目指した水素貯蔵材料の課題抽出、研究の方向性の策定などを行った。本研究開発は、その成果に基づき、燃料電池自動車へ搭載するための実用化候補材料に関して

- ① 金属系水素貯蔵材料の研究開発
- ② 吸着系水素貯蔵材料の研究開発
- ③ 軽量水素貯蔵材料の研究開発

にブレークダウンして、日本重化学工業、東北大学、アツミテック、九州大学が中心機関となり、それぞれ分担して研究開発を推進した。

#### 2. 研究開発目標

本事業の最終目標は以下の通りである。水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下、かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

また、平成27年度までの中間目標として以下が設定されている。

「水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。」

(容器質量を勘案してもシステムで6mass%を実現できる水素貯蔵能力、 $-30^{\circ}\text{C}$ のFCV起動に対応可能なこと、1000L/minが必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等)

#### 3. 研究開発成果

##### 3. 1 金属系水素貯蔵材料の研究開発

##### 3. 1. 1 研究開発成果、達成度

(1) 低コスト高耐久性を有するBCC系水素吸蔵合金の開発

- ① 合金作製プロセスの簡略化

バナジウム(V)は、その製法から高価な原料として知られているが、現在までに V 酸化物を原料とし「テルミット反応法」と「希土類金属を用いた脱酸素法」を用いて合金を作製することにより、低コスト化が見込めることを報告してきた。しかし合金作製までに複数プロセスを踏む必要があった。更なる低コスト化を狙い、上記のプロセスを 1 ステップ(1回のテルミット反応法)で合金作製まで行うことを試みた。1 ステップで合金を作製する際に難しいポイントは、「Ti が仕込み組成通りに合金に入らない」ことと、「合金の酸素量が下がらない(脱酸素処理がうまくいかない)」ことである。これらを解決するために、炉の形状・原料配置に工夫を加え、1 ステップでの合金作成についてトライを実施した。得られた合金の組成分析結果を表 3.1.1 に示す。それぞれの元素に対し、目標値から若干のずれはあるものの、目標値に近い合金が得られた。不純物である Al と O の高さが課題となるが、1 ステップで合金を得るといふ低コスト化の方法において大きく前進したと言える。

表 3.1.1. 1 ステップで得られた(目標組成)Ti12Cr23V64Fe1 合金の成分分析結果。

	Ti	Cr	V	Fe	Al		O
目標値 (質量%)	11.30	23.50	64.10	1.10	0		-
実験結果 (質量%)	10.47	23.37	60.09	1.17	5.00	実験結果 (ppm)	4051

## ② 合金中の不純物(Al と O)の影響調査

合金中の不純物である Al と O が水素吸蔵特性に与える影響も調べた。Al と O の影響をそれぞれ区別して調べるため、「市販の V」(不純物濃度が十分に低い)に意図的に Al と O をそれぞれ混入して数種類の Ti12Cr23V64Fe1 水素吸蔵合金を作製し評価した(図 3.1.1)。比較として、テルミット法で得られた V(「テルミット V」)を用いた合金も載せた。これらの結果から、水素平衡圧を上昇させる主な原因は Al 成分の混入であり、また、O 成分が比較的少量に(数千 ppm 程度)混入しても水素吸蔵量の減少は少ないことが分かった。

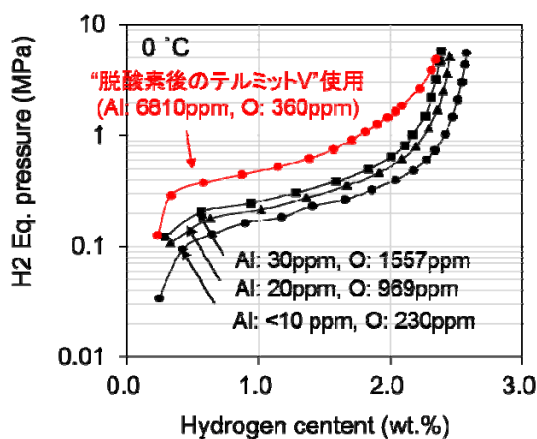


図 3.1.1(a). 「市販の V」に O を意図的に混入させ酸素含有量を変化させた Ti12Cr23V64Fe1 合金の PCT 測定結果。

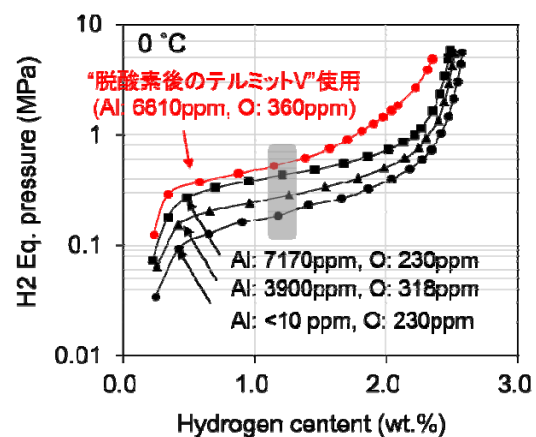


図 3.1.1(b). 「市販の V」に Al を意図的に混入させ Al 含有量を変化させた Ti12Cr23V64Fe1 合金の PCT 測定結果。

また、不純物である Al と O が水素吸蔵放出サイクル特性に与える影響も調べた。合金は上記試験と同じものを使用している。図 3.1.2 は、「3 サイクル目(黒丸)」と「50 サイクル目(白丸)」の水素吸蔵量と水素平衡圧の不純物濃度依存性を表している。Al と O が入ることの悪影響は確かに見られる

が、一方、Al 含有量が 7000ppm 程度、或いは O 含有量が 1500ppm 程度と多量に含まれていてもサイクル特性が極端に悪くなることはないという見方も出来ることが分かった。

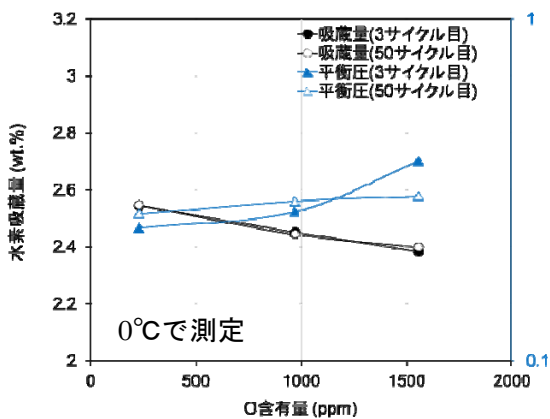


図 3.1.2 (a). 「市販の V」に O を意図的に混入させ酸素含有量を変化させた Ti12Cr23V64Fe1 合金における水素吸蔵放出サイクル特性に与える影響(丸：水素吸蔵量、三角：水素平衡圧)。

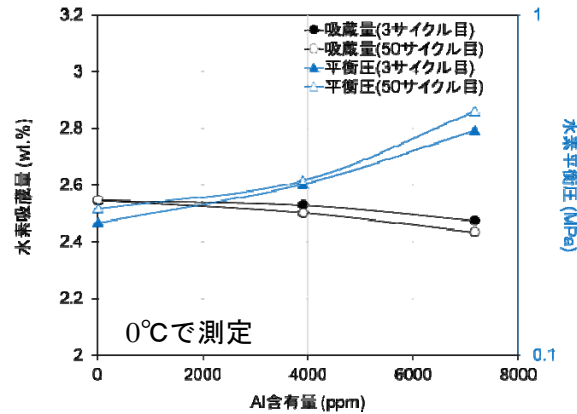


図 3.1.2 (b). 「市販の V」に Al を意図的に混入させ Al 含有量を変化させた Ti12Cr23V64Fe1 合金における水素吸蔵放出サイクル特性に与える影響(丸：水素吸蔵量、三角：水素平衡圧)。

### ③ 低 V 組成合金の検討

合金中の V 含有量を減らすことは低コスト化につながる。そこで格子定数が同じで V 含有量が 75at.% ~ 45at.% まで異なる 4 試料 (Ti9Cr16V75、Ti12Cr23V65、Ti15Cr30V55、Ti18Cr37V45) を作製し、水素吸蔵放出サイクル特性を調べた。図 3.1.3 は、50 サイクルまで行った結果(維持率)を示しているが、V 含有量が 55at.% 以下の合金は維持率が悪くなっていることが分かった。この原因は、合金中の Ti と V の濃度分布の発生が原因の一つだと見ている。上記のことから、合金中の V 含有量は 55at.% ~ 65at.% 程度まで下げることが出来ることが分かった。

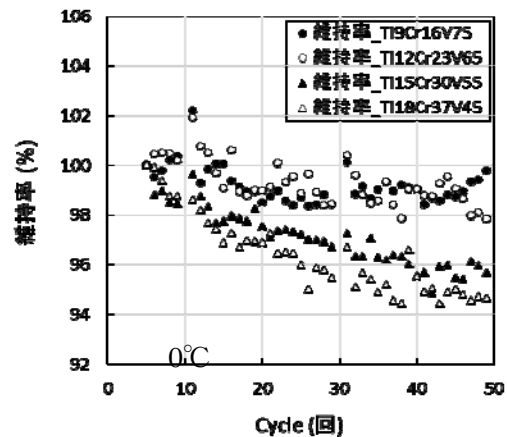


図 3.1.3. V 含有量の異なる 4 試料のサイクル特性(5 サイクル目の水素吸蔵量を 100%にした時の維持率)。

## (2) 高密度水素貯蔵材料の探索・開発

### ① 「水素誘起空孔」の積極的利用

一般に良く知られている水素吸蔵合金における水素の入り方(原子間の隙間に水素が一つずつ入る)では水素貯蔵量に限界があり、更なる水素の高密度化が見込めない。そこで、合金中に多量に水素が入ることが期待される「超多量空孔生成(SAV)」(水素が金属中に入る際に金属原子が押し出され(空孔(隙間)になる)、そこに水素が複数個入るといふもの)という現象を積極的に利用することを試みている。「ハーフホイスラー合金」と呼ばれる材料は、その結晶構造中に初めから空孔を多くもち(図 3.1.4)、SAV により水素を大量に貯蔵出来る可能性があると考えた。図 3.1.5 は、ハーフホイスラー合金粉末を 400°C、6MPa 水素圧化で 15 時間保持した時の水素吸蔵量を表している。吸蔵量は 0.7wt.% 程度と

少ない様に見えるが、重い原子が含まれている合金のため、金属原子当りの水素数(H/M)で表すと  $H/M = 2$  となり、比較的多く吸蔵されていることが分かった。一方、その後の室温・大気中の XRD 測定では、吸蔵前後で格子定数に殆ど変化はなかった。このことから SAV 関連の水素吸蔵の可能性もあるとみて、現在調査を進めている。それと同時に、合金に軽元素置換を施すことにより、水素吸蔵量(wt.%)を伸ばすことも試みる。

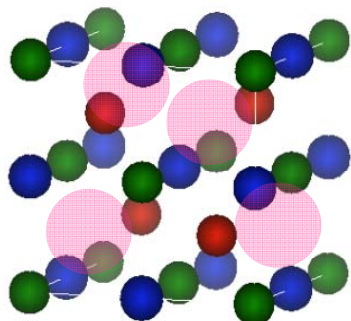


図 3.1.4. ハーフホイスラー合金の結晶構造。大きな円(4つ)が空孔(隙間)を表している。

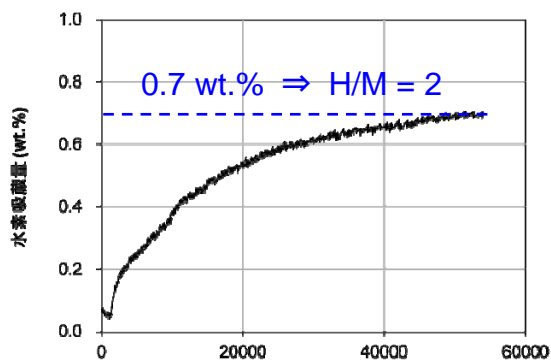


図 3.1.5. ハーフホイスラー合金粉末の水素吸蔵量変化。400°C、6MPa 中で 15 時間保持時のデータ。

### (3) 計算による高容量水素貯蔵材料の探索

#### ① V 基 A15 型合金の水素吸蔵能予測

高容量水素貯蔵材料の探索を目的に、既存のバナジウム基 A15 型金属間化合物  $V_3X$  ( $X = Al, Si, Co, Ni, Ga$ ) の水素吸蔵能を密度汎関数法に基づく第一原理計算により予測した。計算はウルトラソフト擬ポテンシャル法でおこない、交換相関エネルギーには局所密度近似に密度勾配補正を施した Generalized Gradient Approximation を用いた。有限温度の効果を検討した自由エネルギーは調和振動近似により求めた。これにより、原子核に対する量子効果をあらゆる零点エネルギーの寄与も自動的に取り込まれる。調和振動近似に必要な格子振動の計算は線形応答計算によりおこなった。A15 型結晶構造は空間群  $Pm-3n$  (No.233) の対称性をもつ立方晶である[図 3.1.6(a)]。これに対して、4V 原子に囲まれた四面体サイト(6d)を水素が占有する  $V_3XH_3$ [図 3.1.6(b)]、3V と X からなる四面体サイト(16i)の半分を水素が占有する  $V_3XH_4$ 、[図 3.1.6(c)]、これら 2 種類のサイトを水素が同時に占有した  $V_3XH_7$  の 3 組成を仮定して、これらの水素化物に対する熱力学特性の計算をおこなった。今回の計算から、いままでに報告例のない  $V_3AlH_3, V_3GaH_3, V_3NiH_4$  といった新規水素化物相の生成の可能性を見出すことができた。これらの結果を表 3.1.2 にまとめる。ただし、水素貯蔵材料への応用を考えた場合、これらの諸元は十分なものとは言い難い。さらなる新規材料探索が必要である。

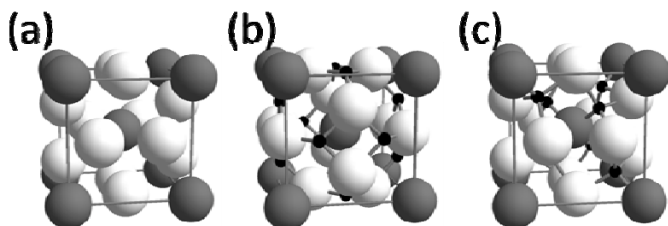


図 3.1.6. A15 型結晶構造とその水素化物に対するモデル構造。白、グレー、黒の球が V, X, H 原子を示す。  
(a) $V_3X$ , (b) $V_3XH_3$ , (c) $V_3XH_4$ 。

表 3.1.2. 水素化反応のエンタルピー変化  $\Delta H$  (kJ/mol  $H_2$ ), エントロピー変化  $\Delta S$  (J/mol  $H_2 \cdot K$ ), および理論水素重量密度  $m_{H_2}$  (mass%)。

	$V_3AlH_3$	$V_3GaH_3$	$V_3NiH_4$
$\Delta H$	-71	-52	-21
$\Delta S$	-142	-139	-130
$m_{H_2}$	1.7	1.3	1.9

## ② バナジウムに対する軽元素置換効果の理論予測

V 基 BCC 系水素貯蔵合金は約 4 mass%の水素を吸蔵するが、その一部は熱力学的に過度に安定であるため放出に高い温度が必要となり、通常の作動条件では利用できない。このため、有効水素重量密度は 2mass%程度にとどまる。これを改善するためには、母体合金の軽量化を図るとともに、合金内に死蔵された水素量を低減する必要がある。ここでは、V に対する軽元素（周期表の第一列、第二列元素）置換の効果を第一原理分子動力学計算から予測し、水素重量密度の改善に有効な置換元素の探索をおこなった。

計算は密度汎関数法に基づくウルトラソフト擬ポテンシャル法でおこない、交換相関エネルギーには局所密度近似に密度勾配補正を施した **Generalized Gradient Approximation** を用いた。分子動力学計算は、水素組成の変化にともなう水素占有サイトの再構成と構造転移の効果を考慮できるよう、可変セルを用いた定圧定温アンサンブルでおこなった。温度および圧力は 300 K および 0 GPa に設定した。計算には 16 金属原子からなるスーパーセルを用い、フルオライト型二水素化物構造を出発構造とした。1000 ステップの熱平衡化後、500 ステップで系のエネルギー、各水素原子の安定を統計平均する。統計平均より最も不安定と判断された水素原子を取り除き、熱平衡化計算にもどる。これを全ての水素原子が取り除かれまで繰り返し、エネルギー-水素組成曲線を求める。

今回の計算からは、Li 置換が有効水素量向上に有効であることが示唆された。図 3.1.7 に純 V および V<sub>14</sub>Li<sub>2</sub> に対するエネルギー-水素組成曲線の計算結果を示す。凸型になった部分が PCT 曲線のプラトー領域に対応し、その両端をつなぐ共通接線(図中の破線)の傾きから水素化反応のエンタルピー変化  $\Delta H$  が求まる。両者に対する結果を表 3.1.3 にまとめる。Li 置換により有効水素重量密度は約 3%に増加する。ただし、Li 置換により  $\Delta H$  の値も 13 kJ/mol H<sub>2</sub> 低下している。このため、第 3 元素置換による  $\Delta H$  の調整をおこなう必要がある。また、V に対する Li 置換エネルギーは正であることがわかっているので、電界チャージなど、Li 置換方法についても合わせて検討する必要がある。

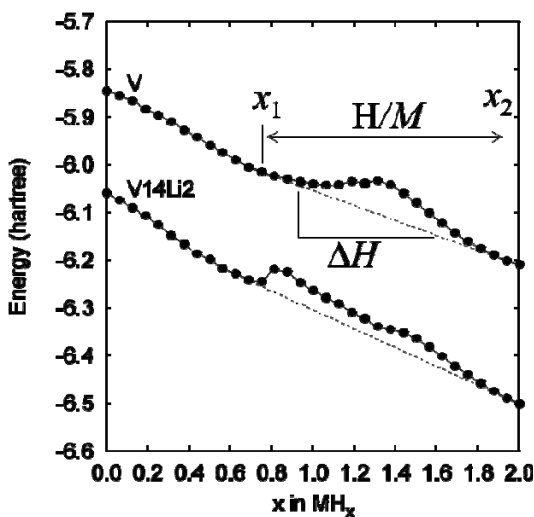


図 3.1.7. エネルギー-水素組成曲

表 3.1.3. プラトー領域両端の水素組成  $x_1$ ,  $x_2$ 、有効水素量  $H/M$  とそれに対応した水素重量密度  $m_{H_2}$ (mass%)、エンタルピー変化  $\Delta H$  (kJ/mol H<sub>2</sub>)。

	$x_1$	$x_2$	$H/M$	$m_{H_2}$	$\Delta H$
V	0.688	1.938	1.25	2.33	-51.4
V <sub>14</sub> Li <sub>2</sub>	0.563	2.000	1.44	2.96	-64.8



### 3.1.2 成果の意義

V系BCC型合金において、残留Al量について課題を残しているが、プロセスの簡略化による低コスト化の可能性を示すことができた。しかし、車載用途での実用化には、水素重量密度の改善が必要である。高密度水素貯蔵材料の探索について、実験および計算による探索を実施し、いくつかの新規水素貯蔵材料の生成の可能性を見出すことができたと考えており、継続して新規水素貯蔵材料の探索が必要と考えている。

### 3.1.3 成果の最終目標の達成可能性

金属系水素貯蔵材料の最終目標である50g/Lの達成は、BCC系合金において充填量を最適化することより目標に近い体積密度を達成可能と考えているが、一方で、重量の目標に対しては十分とはいえず、さらなる高密度水素貯蔵材料の探索が必要である。

## 3.2 吸着系水素貯蔵材料の研究開発

### 3.2.1 研究開発成果、達成度

#### 実施項目 1. Pt ドープ ZTC における物理吸着+スピルオーバー貯蔵量の最大化（東北大）

物理吸着+スピルオーバーによる水素貯蔵の研究は世界各国で多くの研究グループが実施しているが、未だに異なる研究グループ間での再現性に問題がある。これは、サンプルの微妙な構造の違いや保存状態、水素吸着の測定方法および条件など多くの因子が水素貯蔵挙動に大きく影響するためである。このため、真に現象を理解するためには、再現性良く調製できるモデル物質を用い、再現性のある測定方法で評価することが大変重要である。そこで、予め調製したPtナノコロイド溶液をZTCに含浸し、乾燥させるという極めて簡便でありなおかつ再現性が高い方法でモデル物質となるPtナノコロイド担持ZTC (PtNC/ZTC) を調製した。さらに、水素吸脱着測定条件を徹底的に検討し、0.1 MPa以下の低圧領域では極めて再現性の高い測定方法を確立した。このように信頼性の高い手法で水素吸脱着等温線測定を行うことで、得られた曲線から水素のPtへの化学吸着量と、物理吸着量を差し引き、スピルオーバーによる貯蔵量だけを精度よく抽出することができる。このような検討は世界初である。PtNC/ZTCの0, 25, 50, 80 °Cにおけるスピルオーバー水素貯蔵量を図3.2.1に示す。スピルオーバーによる貯蔵量は、圧力および温度と共に上昇していることがわかる。100 kPaにおいて、PtNCの1個あたりのスピルオーバー貯蔵量を計算したところ、いずれの温度においてもPtNC粒子周囲に存在する炭素原子数を上回ることがわかった。すなわち、スピルオーバーした水素ラジカルは炭素原子間を移動していることが定量的に証明された。

温度を増加させた際のスピルオーバーの貯蔵量の増加傾向は、物理吸着量の減少傾向を上回っており、トータルでの貯蔵量は80 °Cで最大となった。そこで、100 kPaまでの貯蔵量の傾向を34 MPaまで外挿して高圧での貯蔵量を予想したところ、最大でも80 °Cで4.0 wt%となった。実用化の指標となる6 wt%を上回るには、スピルオーバーの性能をさらに向上させる必要がある。

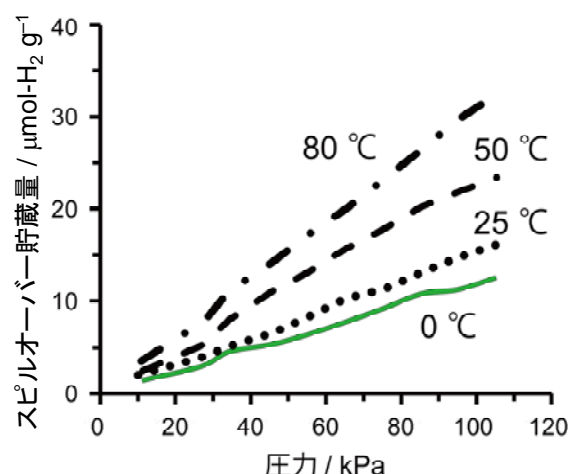


図 3.2.1 PtNC/ZTC への H ラジカル貯蔵量



以上纏めると、これまでの検討によりスピルオーバー研究の最大の問題であった再現性の問題を回避する手法を明らかにでき、また貯蔵の基本的なメカニズムを理解することができた。さらに、総括の貯蔵量を最大化する温度として 80 °C が適していることがわかった。このように多くの成果が得られたが、金属構造の最適化（金属種、粒径、表面状態、炭素との接触界面）および炭素構造の最適化（エッジサイトの量、ベーサル面の曲率、ヘテロ員環の存在、ヘテロ原子の有無、ラジカルサイトの有無など）にはまだ時間が必要である。

## 実施項目 2. 炭素への水素ラジカル直接ドーピングによる貯蔵メカニズムの解明（東北大）

スピルオーバーによる水素貯蔵は、気相中の H<sub>2</sub> 分子の金属表面への解離吸着、解離吸着した H の金属から炭素への移動、H ラジカルの炭素表面での拡散、貯蔵サイトでの捕集と多段階に渡る。貯蔵量を増加させるためには、炭素材料に H ラジカルの貯蔵サイトを大量に配置することが望ましいが、貯蔵サイトの詳細な構造や、捕集された H ラジカルの放出特性など不明な点が多い。そこで、炭素材料に H ラジカルを直接付加し、昇温脱離（TPD）スペクトルを測定することでその放出温度と量の分析を行った。炭素材料としては、高配向性熱分解黒鉛（HOPG）を用いた。

結果を図 3.2.2 に示す。密閉チャンバーに HOPG を置き、ここに重水素（D）ラジカルを照射した後に、TPD 測定を行っているため、低温から 400 °C にかけては系内の残存ガスの脱離が生じておりベースラインは右下がりになっているが、400~600 °C にかけて、ブロードな D<sub>2</sub> 放出ピークの存在が確認できる。これは、HOPG に付加した D ラジカルが再結合して D<sub>2</sub> となり放出されたものと考えられる。

このように、当初予定していた測定を実現できたが、高真空の密閉チャンバーを用いた実験はセットアップおよびメンテナンスに大変な労力が必要になるため、より簡便に炭素材料の H ラジカル貯蔵サイトを探索する方法として、分子性の炭素モデル物質を用いた検討を着想した。近年、

C<sub>60</sub> やカーボンナノチューブのみならず、シクロパラフェニレン、コラニユレンなど、巨大芳香族分子が市販品として入手が容易となっており、これらを用いた検討により、グラフェンの湾曲やエッジ構造、官能基などの影響を精密に調査できると考えた。

まず、フラーレン C<sub>60</sub> をモデル担体とした検討を行った。市販のケッチェンブラック（KB）に粒径約 2 nm の Pt を 0.89 wt% 担持した試料（Pt/KB）を調製した。次に、Pt/KB を C<sub>60</sub>/トルエン溶液に含浸して C<sub>60</sub> を液相吸着させることで、8.8 wt% 担持した試料（Pt-C<sub>60</sub>/KB）を調製した。これらの水素吸脱着測定を行い、結果から H ラジカル貯蔵量を抽出したデータを図 3.2.3 に示す。

図 3.2.1 と同様にいずれの試料もスピルオーバー貯蔵量を示しており、温度が上昇するに伴い貯蔵量は増加しているが、C<sub>60</sub> を添加した Pt-C<sub>60</sub>/KB の方が明らかに H ラジカル貯蔵量が多いことがわかる。これは、C<sub>60</sub> を構成する炭素が sp<sup>3</sup> 性を帯びているためと考えられる。そこでさらに、C<sub>60</sub> のように湾曲したグラフェンから成る多孔体で、安価な材料の探索も開始した。まず、

フラーレンを製造する際に副生成物として得られるフラーレンスートに着目し、比表面積測定を行ったが、109 m<sup>2</sup>/g と極めて小さい値であった。そこで、C<sub>60</sub> 分子同士を架橋させることで 3 次元多孔

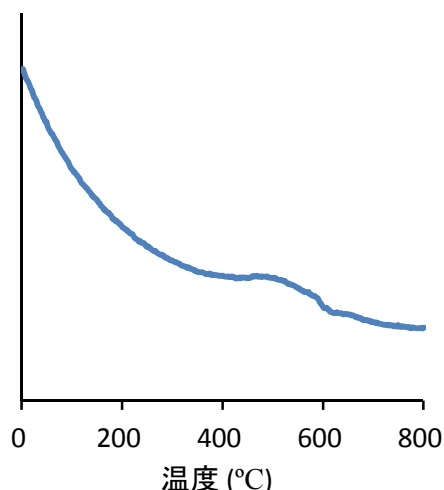


図 3.2.2 重水素ラジカルを照射した HOPG の D<sub>2</sub> 放出 TPD パターン

体を合成した。得られた  $C_{60}$  多孔体は  $552 \text{ m}^2/\text{g}$  とフラーレンシートを大幅に上回る比表面積を示した。今後、合成手法を最適化することで、比表面積を  $2400 \text{ m}^2/\text{g}$  程度まで増大できると期待している。

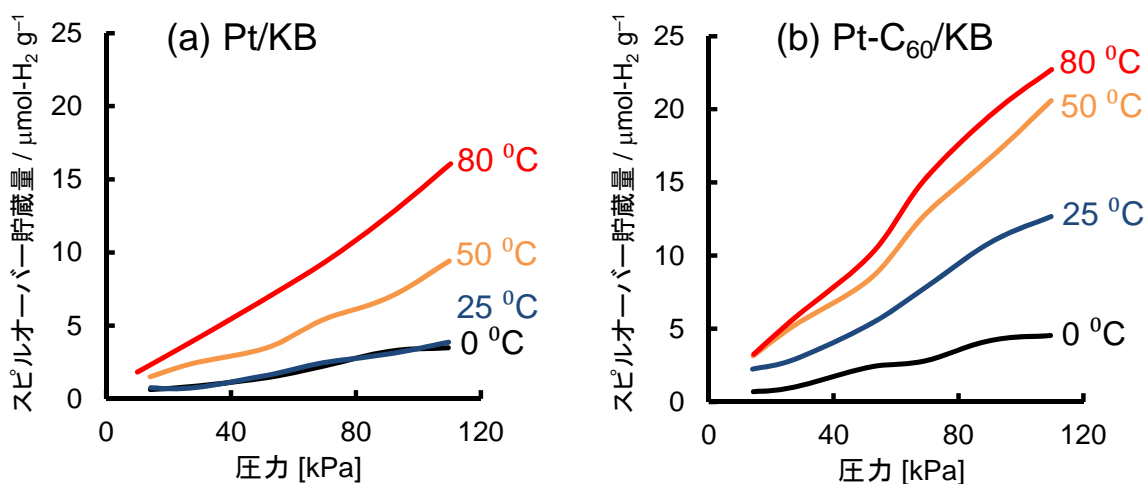


図 3.2.3 (a) Pt/KB と (b) Pt- $C_{60}$ /KB の H ラジカル貯蔵量

### 実施項目 3. 安価な金属のナノクラスターによるスピルオーバー貯蔵の検討 (愛知工大・東北大)

Pt は高価であるため、実用的にはより安価な金属の利用が求められる。そこで、Ni, Fe のナノクラスターを ZTC に担持することで、スピルオーバー貯蔵量の大きい材料の開発を試みた。

ZTC は既往の方法により調製した (*J. Phys. Chem. C*, 2009, **113**, 3189-3196)。ZTC をメタロセンと共に真空引きしたガラス管内部に封入し、これを所定の温度で熱処理することで、ZTC 細孔内部にメタロセンを導入した。さらに、これを窒素雰囲気下にて所定の温度で熱処理することでメタロセンを分解し、Fe, Ni 担持 ZTC を調製した。これらをそれぞれ Fe/ZTC-(V)、Ni/ZTC-(V) とする。ICP 分析

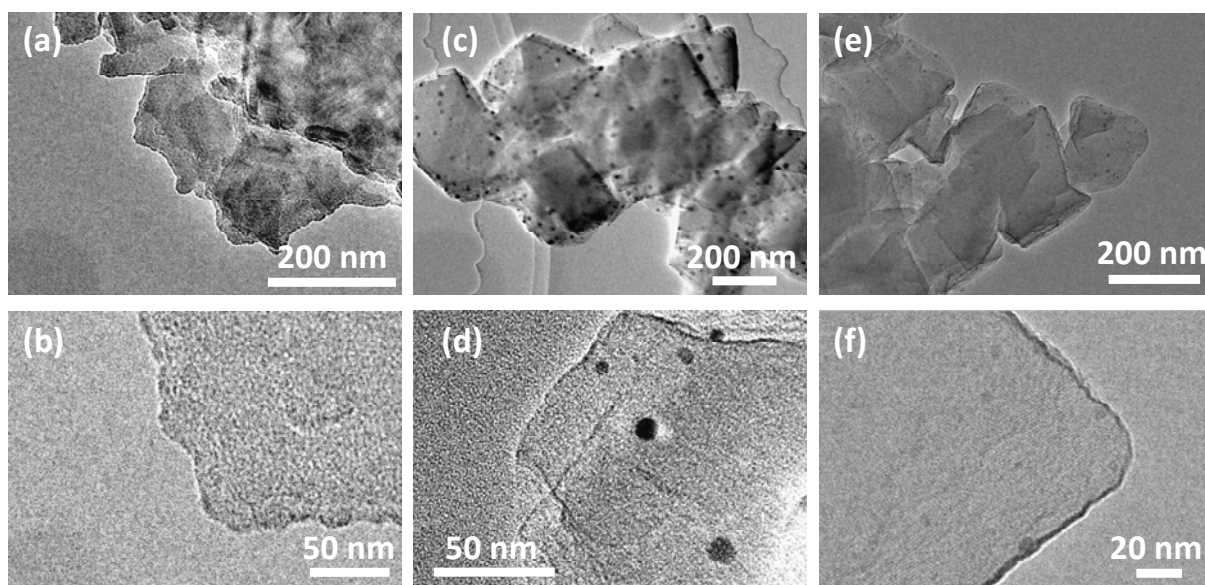


図 3.2.4 Ni, Fe 担持 ZTC の TEM 写真; (a, b) Fe/ZTC-(V); (b, c)  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  でニッケロセンを分解して調製した Ni/ZTC-(V); (e, f)  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  でニッケロセンを分解して調製した Ni/ZTC-(V)

から、Ni/ZTC-(V)には Ni が 7.1 wt%、Fe/ZTC-(V)には Fe が 2.5 wt%担持されていることがわかった。調製した Fe/ZTC-(V)、Ni/ZTC-(V)の透過型電子顕微鏡 (TEM) 写真を図 3.2.4 に示す。Fe/ZTC-(V) (図 3.2.4a, b)には粒子状の物質の存在は全く確認できないことから、Fe は TEM の分解能 (約 1 nm) 以下の非常に小さいクラスターとして ZTC に高分散していることが示唆される。X 線回折 (XRD)

測定では、痕跡程度に弱い Fe のピークが確認されたことから、Fe の粒径は極めて小さいと言える。一方、600 °C でニッケロセンを熱分解して調製した Ni/ZTC-(V) (図 3.2.4 c, d) には、粒径 16 nm 程度の比較的大きな粒子が確認できる。XRD パターンでも、Ni の存在が確認できた。Ni の粒径を小さくするため、より低い 200 °C、300 °C でもニッケロセンを分解して Ni/ZTC-(V) を調製した。300 °C で熱処理した試料の TEM 写真を図 4e,f に示す。この場合、粒径は 4~8 nm 程度まで小さくなった。

Fe/ZTC-(V) の水素吸脱着測定の結果はスピルオーバー貯蔵を示さず、Fe に貯蔵量増加効果は無いことがわかった。種々の温度でニッケロセンを分解して調製した Ni/ZTC-(V) の水素吸脱着等温線を図 3.2.5 に示す。300 °C、600 °C でニッケロセンを分解した場合、低压領域で水素の化学吸着による吸着量の急激な増加がみられる。また、より高压の領域の等温線の傾きが物理吸着量から予想される量より明らかに大きい。これは、Ni/ZTC-(V) においてスピルオーバーによる貯蔵が生じていることを示している。一方、200 °C で処理したものは、典型的な物理吸着の挙動を示しており、この温度ではニッケロセンが分解していないものと考えられる。

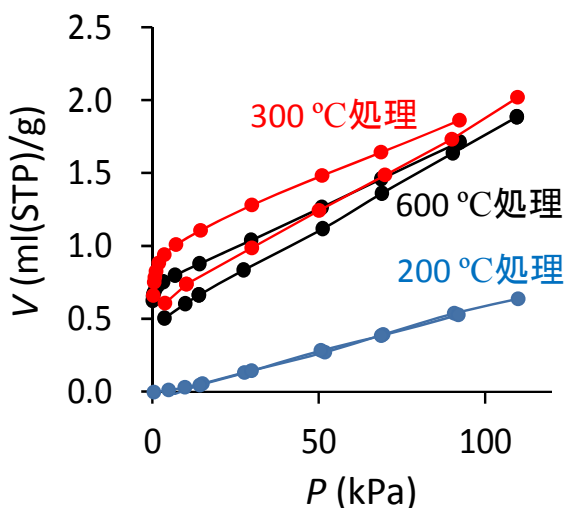


図 3.2.5 種々の温度でニッケロセンを分解して調製した Ni/ZTC-(V) の水素吸脱着等温線 (25 °C)

次に、担持方法の検討を行うため、液相吸着を用いてニッケロセンを ZTC に担持した。ニッケロセン/トルエン溶液を ZTC に真空下含浸、攪拌した後、ろ過、乾燥を行った。得られた試料を Ni/ZTC-(L) とする。これらの試料に対し、走査透過電子顕微鏡 (STEM)、高角散乱環状暗視野法 (HAADF)、TEM、エネルギー分散型 X 線分光法 (EDX)、誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-AES)、XRD、窒素吸脱着測定、水素吸脱着測定による分析を行った。ZTC、Ni/ZTC-(L)、Ni/ZTC-(V) の BET 比表面積はそれぞれ 3600、2930、2040 m<sup>2</sup>/g であった。ICP-AES の結果から、Ni/ZTC-(L) の Ni 含有量は 3.6 wt% であった。XRD による分析では、いずれの試料も金属由来のピークを示さなかった。すなわち、いずれの試料においても金属は X 線を回折しない数 nm 以下のナノ粒子として存在していることが示唆された。Ni/ZTC-(L) および Ni/ZTC-(V) の HAADF-STEM/EDX を用いた Ni マッピングを図 3.2.6a, b に示す。Ni/ZTC-(L) においては 2~5 nm 程度の Ni 粒子が ZTC に分散していることがわかる。また、1 nm 以下の微小な Ni クラスターの存在が僅かに確認できる。Ni/ZTC-(V) においても同様に 2~5 nm の Ni 粒子が見られるが、同時に 1 nm 以下の Ni クラスターが多量に存在するため、試料が全体的に白みを帯びたように見える (図 3.2.6b)。従来の無機塩を原料にする場合に比べ、ニッケロセンは気相蒸着により一度分子状に昇華してから ZTC のナノ細孔内に吸着し、なおかつ比較的低温で熱分解できるため、このように微小な金属種を高分散することができる。また、ニッケロセンは強い相互作用で ZTC に多量に吸着し、真空下での高温処理時にもほとんど昇華脱離しないことがわかっている。

Ni/ZTC-(L) と Ni/ZTC-(V) の 25 °C における水素吸脱着等温線を比較したところ、Ni/ZTC-(L) は図 3.2.5 に示した Ni/ZTC-(V) に見られたような低压部での化学吸着およびスピルオーバーによる貯蔵量の増加が殆ど見られないことがわかった。これは図 3.2.6 からわかるように、粒径 2~5 nm の Ni 粒子がスピルオーバー活性を持たないことを示唆している。このため、Ni/ZTC-(V) の高いスピルオーバー



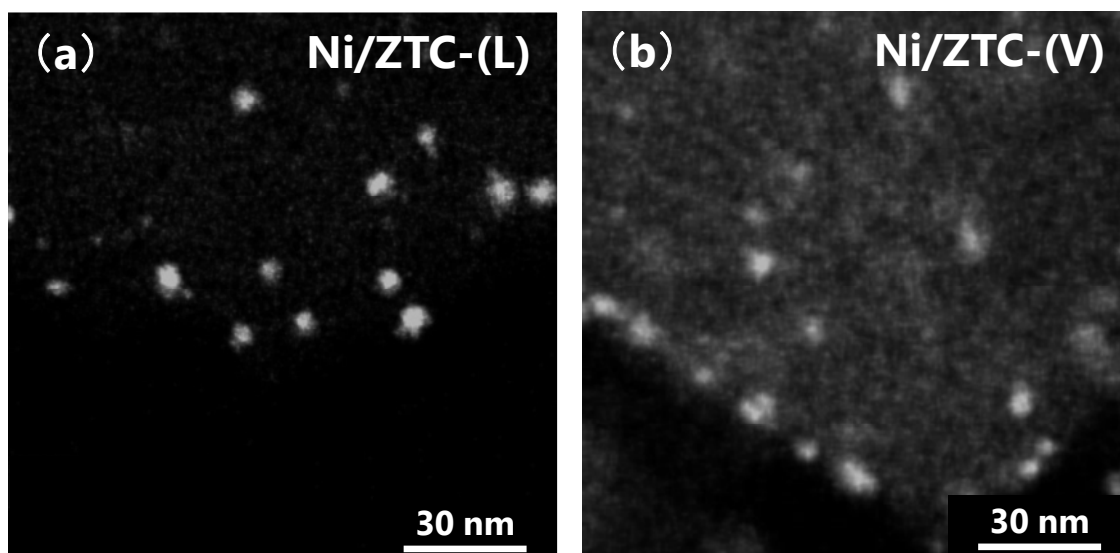


図 3.2.6 (a) Ni/ZTC-(L)および(b)Ni/ZTC-(V)の HAADF-STEM/EDX による Ni マッピング (白色が Ni)

一活性は、1 nm 以下の微小な Ni ナノクラスターによるものと考えられる。このように、ニッケロセンを前駆体と場合、担持方法によってスピルオーバー活性が大きく異なることが明らかとなった。

Ni/ZTC-(V)の水素吸蔵量の温度依存性を調べた結果を図 3.2.7a に示す。Ni/ZTC-(V)は温度の増加と共に、スピルオーバー貯蔵量の増加を示すことがわかる。これは、Pt コロイド担持 ZTC (図 3.2.7b)と同じ挙動であり、Ni に解離吸着した水素が ZTC へスピルオーバーして貯蔵されていることを示している。また図 3.2.7 から、Ni/ZTC-(V)におけるスピルオーバー貯蔵量は、Pt コロイド担持 ZTC に匹敵するほどであることがわかる。

メタロセンを用いて気相蒸着担持法を行うことにより、ZTC に粒径 1 nm 以下の金属ナノクラスターを高分散することができた。Ni 担持 ZTC は Pt 担持 ZTC と同様の水素吸着挙動を示し、そのスピルオーバー活性は Pt コロイドに匹敵した。安価な Ni で Pt に匹敵するスピルオーバー活性を実現できたことは大きな成果である。一方、Fe はナノクラスターであってもスピルオーバー活性を示さなかった。

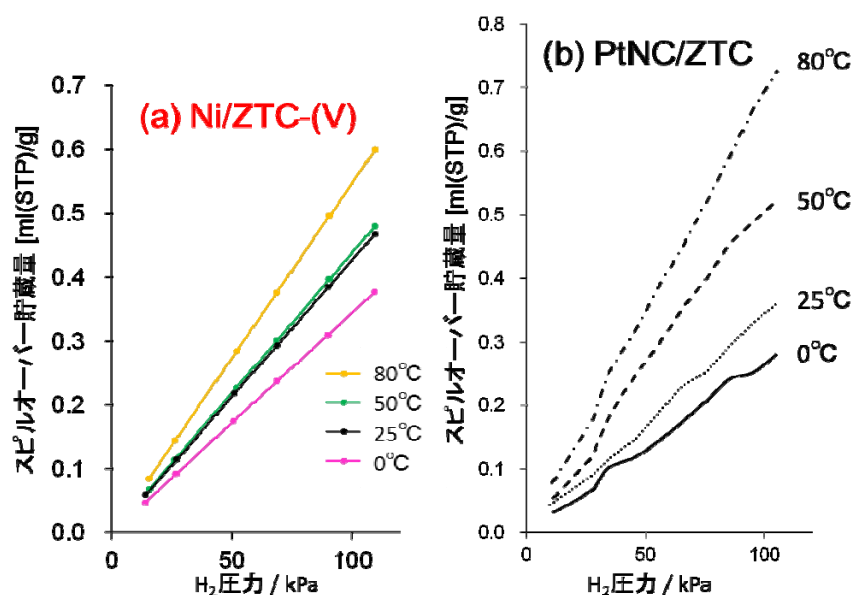


図 3.2.7 0, 25, 50, 80 °C におけるスピルオーバー貯蔵量; (a) Ni/ZTC-(V)と (b) Pt コロイド担持 ZTC

#### 実施項目 4. 高圧での水素貯蔵量の評価（日産・東北大）

H26 年度、東北大に水素の高圧吸着装置が導入され、日産と共同で装置の立ち上げおよび再現性確認等の初期的検討を実施した。これまでの検討で、ジメチルシクロオクタジエン Pt 錯体を担持した炭素を熱分解して調製した Pt クラスタ担持炭素は、Pt サイズが 2 nm 以下と極めて小さく、0.1 MPa までの水素吸着等温線測定において、極めて大きいスピルオーバー貯蔵量を示すことがわかっている。しかし試料を大量に調製することが困難であったため、代わりに同じ手法で Pt クラスタをケッチェンブラックに担持したものの (Pt/KB) を大量に調製し、25 °C および 50 °C

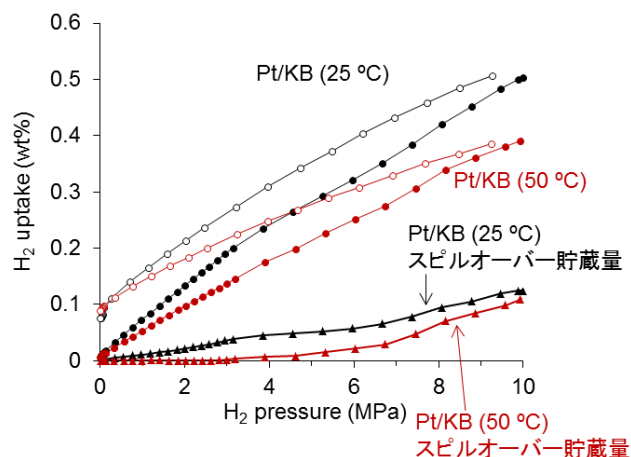


図 8 Pt/KB の水素吸着等温線 (●) とスピルオーバー貯蔵量 (▲)

での 10 MPa までの高圧水素貯蔵量の評価を行った。結果を図 3.2.8 に示す。25 °C では若干のスピルオーバー貯蔵量が現れたものの、50 °C ではその効果が低下した。0.1 MPa までの領域のデータを以前の測定結果と比較したところ、今回調製した試料は以前の試料に比べ、低圧でのスピルオーバー貯蔵量が極めて小さいことが判明した。そこで現在、低圧領域でスピルオーバー貯蔵量が大きい試料を確実に調製したうえで、高圧での性能評価をより正確に行う検討を実施している。

#### 3.2.2 成果の意義

スピルオーバーを利用した水素貯蔵について、実に多くの論文が発表されているが、単に材料を作って貯蔵量を測定した、というものが殆どであり、そのメカニズムについては殆ど理解されていない。また、実験の再現性が乏しいことも大きな問題であった。

本研究ではまず初期の段階で、スピルオーバー貯蔵量を再現性良く測定する実験手法を確立することができた。また信頼性の高いデータに基づき、スピルオーバーのメカニズムに関しいくつかの新発見ができた。さらに、実用化に向け、安価な金属や炭素を用いた高性能貯蔵材料開発についての設計指針も明らかとなってきた。スピルオーバーは実験の難易度が極めて高いことから世界的に研究が進展してこなかったが、我々は基礎に立ち返った検討を行ったことで、今後の研究開発に資する多くの新発見をすることができた。

#### 3.2.3 成果の最終目標の達成可能性

本研究の目標を以下に整理する。

- (1) 物理吸着+スピルオーバー貯蔵のメカニズムの解明と最適化条件の探索 (H25~H26 年度)
- (2) 安価な金属によるスピルオーバー貯蔵の可能性の有無の調査 (H25~H26 年度)
- (3) 水素貯蔵量 6 wt%達成の道筋明確化 (H27 年度)
- (4) 活性炭並みの安価な吸着系高容量材料の開発 (H28 年度)
- (5) 貯蔵材料の高密度化を行い体積密度として 50 g/L を達成 (H29 年度)

(1)と(2)は、計画通り概ね達成できている。現在、(3)の達成に向け、金属構造および炭素構造の最適化による高圧での吸蔵量最大化に取り組んでいる。この(3)が最大の難関である。物理吸着+スピルオーバー貯蔵に適した金属構造、炭素構造については、これまでの検討により概ね検討がついている

が、高压領域でのスピルオーバー促進が現在の課題となっている。金属と炭素との界面の制御、もしくは水素ラジカル貯蔵サイトの増加によりこの問題を解決する検討を実施中である。(4)と(5)については、炭素構造制御を得意とする当研究室の技術を用いれば達成可能性はかなり高いと考えている。

### 3.3 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Mg系水素貯蔵材料

#### 3.3.1 研究開発成果、達成度

##### 3.3.1.1 平成25年度の成果

###### (1) 薄膜化、ナノ粒子化した際のMg-Ni系材料の水素吸蔵特性確認

###### (量子サイズ効果の確認)

Pd触媒層でキャップされたMg-Ni薄膜にて中間年度目標6wt%を超える水素吸蔵7.5wt%を確認。最終目標レベルの水素吸蔵量を確認した。また、ナノ粒子化においても薄膜と同様に7.5wt%以上の水素吸蔵量を確認した。ナノ粒子はMg-Ni<sub>2</sub>元系材料とし、Pd触媒を用いずに室温、定圧環境下での水素吸蔵を確認した。水素吸蔵特性の測定にあたって従来は別々であったナノ粒子の製造とQCMPTをIn-situ化した装置にて、より測定精度を向上させた水素吸蔵特性の評価を実施した。図3.3.1にIn-situQCMPT装置の概念図と外観写真を示す。

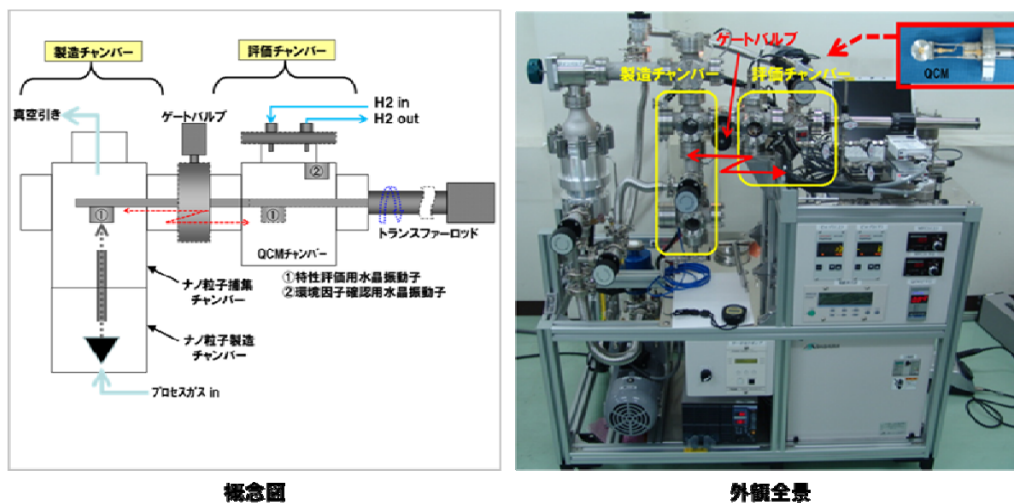


図 3.3.1. In-situQCMPT 装置

その結果、今までに確認されていた4~5wt%を上回る7.5wt%以上の水素吸蔵量を確認された(図3.3.2)。ナノ粒子製造後に大気解放せず水素吸蔵特性を評価する事で、材料の酸化等の影響が排除された事が一因であると判断できるが、吸蔵と同時に吸着現象が起きている可能性も含め、メカニズムの解明を急ぐ。また、評価結果に一部(2試料/10試料)バラつきが確認されているが、このバラつきの要因は、組成比及び粒子径が調整しきれていない為と予想した。

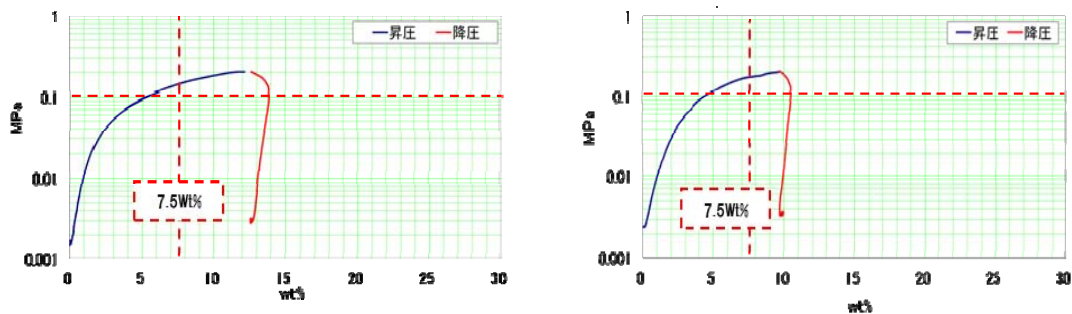


図 3.3.2. Mg-Ni ナノ粒子 QCMPT (常温)

(2) 薄膜における組成比別の薄膜構造、水素化、脱水素化時の構造変化確認

(水素化メカニズム、劣化メカニズムの確認)

透過電子顕微鏡 (TEM) による微構造解析を実施した。その結果、Mg と Ni の組成比の違いにより結晶構造が変化する事が確認された。図 3.3.3 に組成比別の TEM 観察結果を示す。Mg<sub>2</sub>Ni では非晶質、Mg<sub>6</sub>Ni では Mg<sub>2</sub>Ni が結晶、Mg が非晶質、Mg<sub>10</sub>Ni では Mg が結晶化する。この事から、水素吸蔵特性のバラつきは、組成比による結晶構造の違いも一因となっていると予想できる。

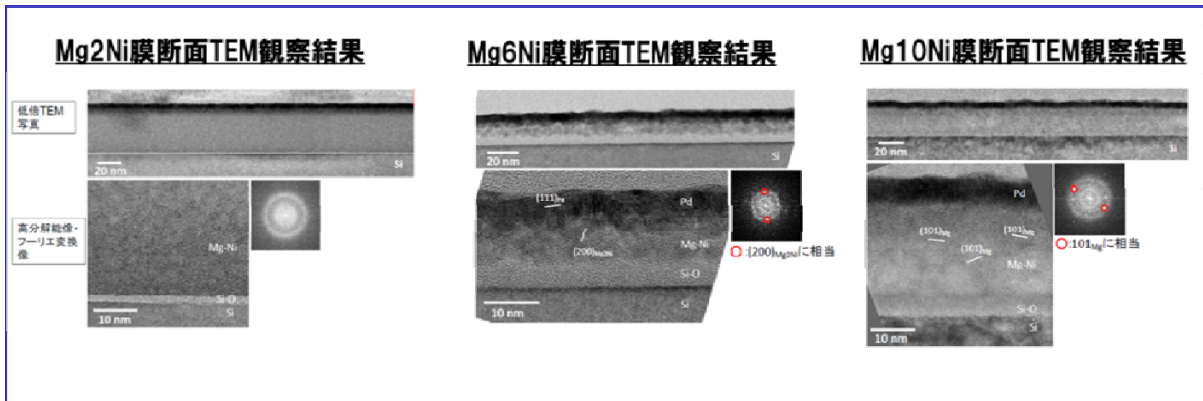


図 3.3.3. 組成比別 TEM 観察結果

(3) 気相式ナノ粒子製造装置、材料加熱室の大量蒸発化の開発

(製造方法の確立、低コスト化)

Mg-Ni 系ナノ粒子の製造を、ラボレベルでの少量生産から大量生産へと展開する為、生産手法の原理検証を進めた。具体的には、捕集効率の向上と、材料の大量蒸発に必要な要素を確認する為、検証機構及び、検証装置を製作した。捕集効率の改善では、蒸発室及び周辺の冷却、ガス導入経路の改善 (エアカーテン方式)、高電圧の印加、の3項目を検証し、それぞれにおいて効果を確認する事ができた。図 3.3.4 に各機構の概念図と実際に製作した機構を示す。材料の大量蒸発では、これまで行っていた材料に直接電流を流しジュール加熱により材料を蒸発させナノ粒子を得る方法を変更し、坩堝に材料を投入しヒーター加熱により材料を蒸発させナノ粒子を得る方法について検証を行った。図 3.3.5 は検証用に製作した装置である。検証の結果、坩堝加熱においてもナノ粒子の製造が可能である事を確認し、グラムレベルの材料蒸発を達成した。

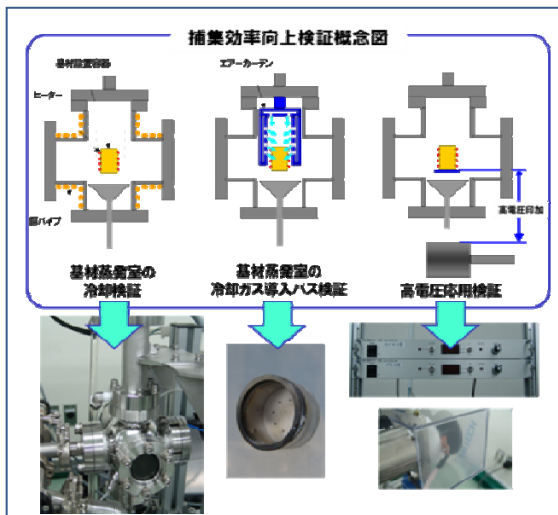


図 3.3.4. 捕集効率向上検証

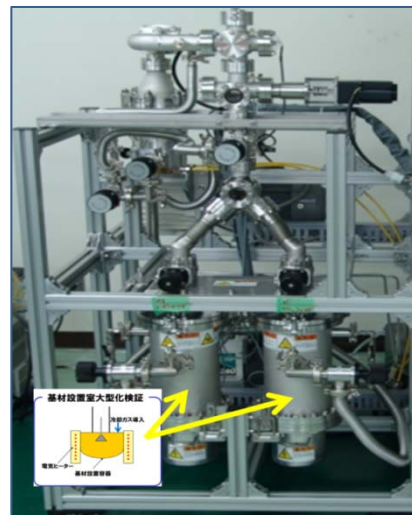


図 3.3.5. 大量蒸発検証



### 3.3.1.2 平成26年度の成果

#### (1) ナノ粒子における水素化、脱水素化時の構造変化確認

##### (水素化メカニズムの確認)

水素吸蔵量 7.5wt%以上という特異的な水素吸蔵性能のメカニズムを解明する為に、放射線吸収微細構造解析（以下 XAFS）を行った。

Ni k 吸収端、Mg k 吸収端、双方からの解析を進めた結果、組成比 Mg<sub>6</sub>Ni では、水素化とともに、最近接の原子間距離が短くなっていることが確認された。図 3.3.6 に Ni k 吸収端の結果を、図 3.3.7 に Mg k 吸収端の結果を示す。

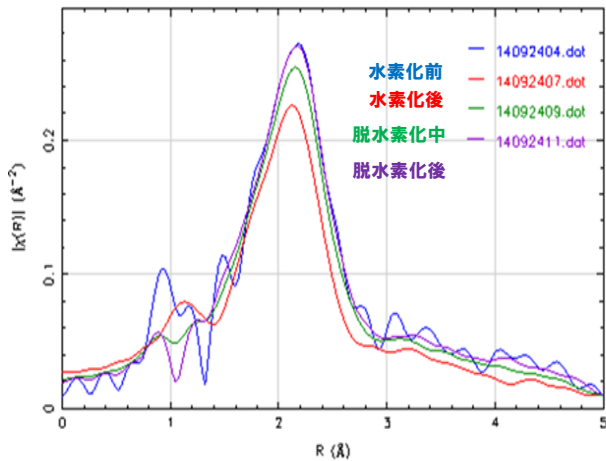


図 3.3.6. Ni k 吸収端

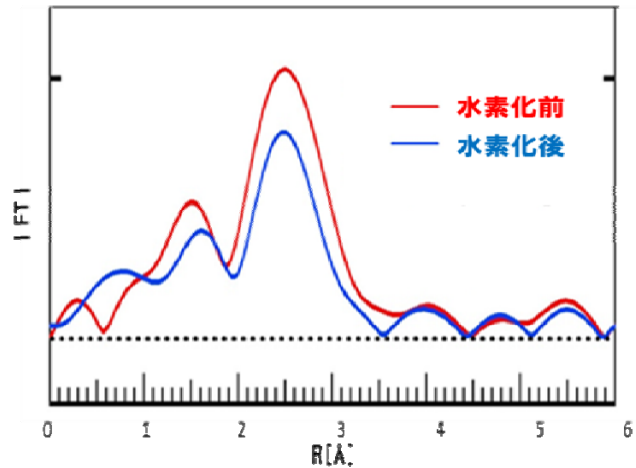


図 3.3.7. Mg k 吸収端

#### (2) ナノ粒子の In-situ 粒径測定

##### (水素化、脱水素化の粒径依存性調査)

Mg-Ni 系合金ナノ粒子の粒子径を分級する目的で、微小型電気移動度分析器（DMA）を用いて粒子径測定 of 検証を開始した。図 3.3.8 に検証装置の外観写真を、図 3.3.9 に代表的な粒子径測定結果を示す。

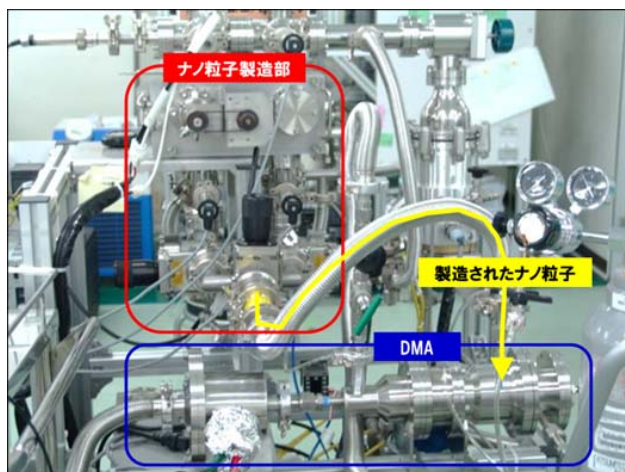


図 3.3.8. 粒子計測検証装置外観

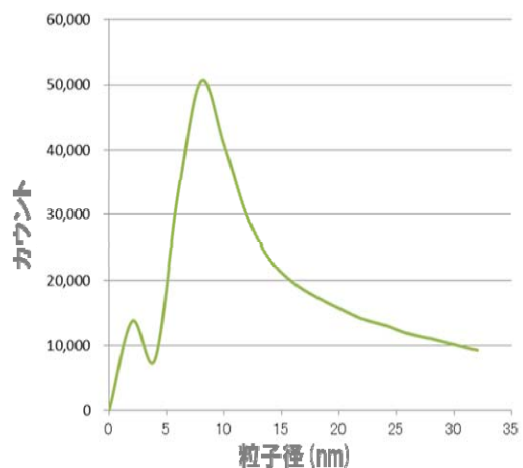


図 3.3.9. 粒子径測定結果

図 3.3.2 の測定では、シングルナノの粒子と、10 ナノに近い値の粒子の存在が確認できている。本装置にて加熱蒸発源の温度条件、冷却ガス圧力条件、加熱蒸発室と捕集室との差圧条件により粒子径分

布が変化する事を確認した。

### (3) ナノ粒子製造装置連続製造化原理証明

(製造方法の確立、低コスト化)

ナノ粒子を真空中で担持材料に担持させ、真空を保持した状態でタンク充填可能な構造品を試作した。図 3.3.10 に原理検証構想図を、図 3.3.11 に試作した構造品の外観を示す。

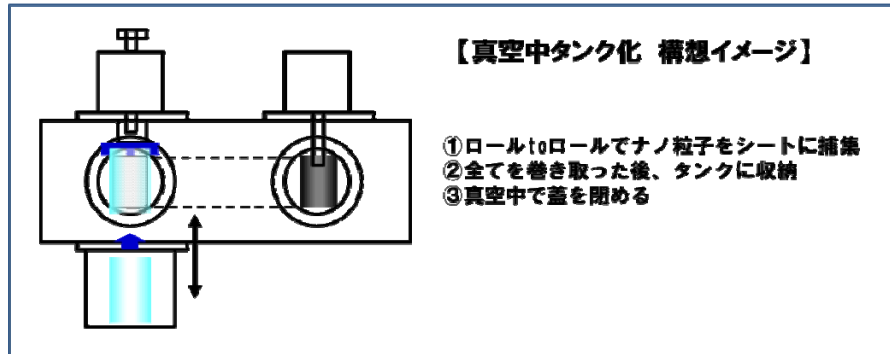


図 3.3.10. 真空中タンク化構想図

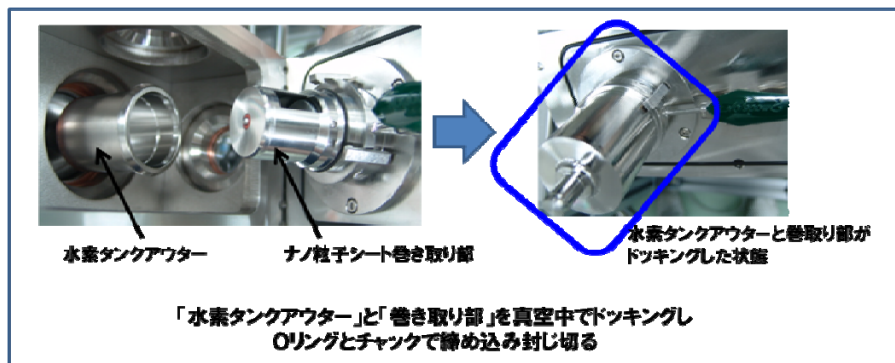


図 3.3.11. 真空中タンク化検証構造外観

本装置の開発、試作により、ナノファイバーなどに真空中でナノ粒子を担持させたフィルム上の水素吸蔵材料を自動で巻き取り、貯蔵タンクに真空中にて（大気環境にさらさずに）アッセンブリーする為の原理証明が出来た。

また、生産性向上を目的に、プラズマを利用した連続材料加熱真空チャンバーを試作した。図 3.3.12 に試作したチャンバーの外観を示す。図のように溶接トーチを利用する事により、材料をワイヤー化することで連続供給が可能となった。

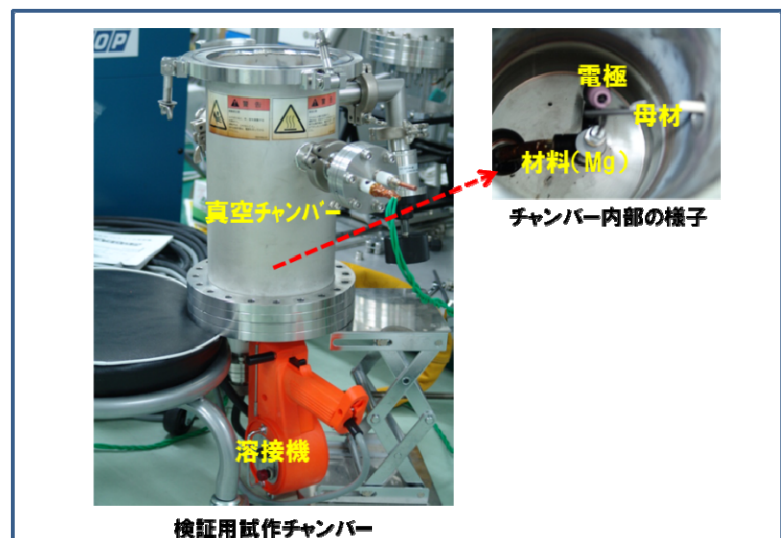


図 3.3.12. 試作チャンバー外観

#### (4) 水素貯蔵タンクシステムの検討 (3年目以降の計画前倒し)

水素貯蔵材料は水素吸放出に伴う温度変化が生じる。特に水素放出時には低温化する為、水素貯蔵タンクシステムとして熱を有効に利用する必要が生じる。水素貯蔵材料に対して均一な熱伝導に必要な構造検討を行った。(図 3.3.13) 水素貯蔵タンク内に熱源を配置した場合、均一に熱伝導を行うためにはパイプ状の熱源を多数配置することが有効である事を熱シミュレーション結果から得られた。

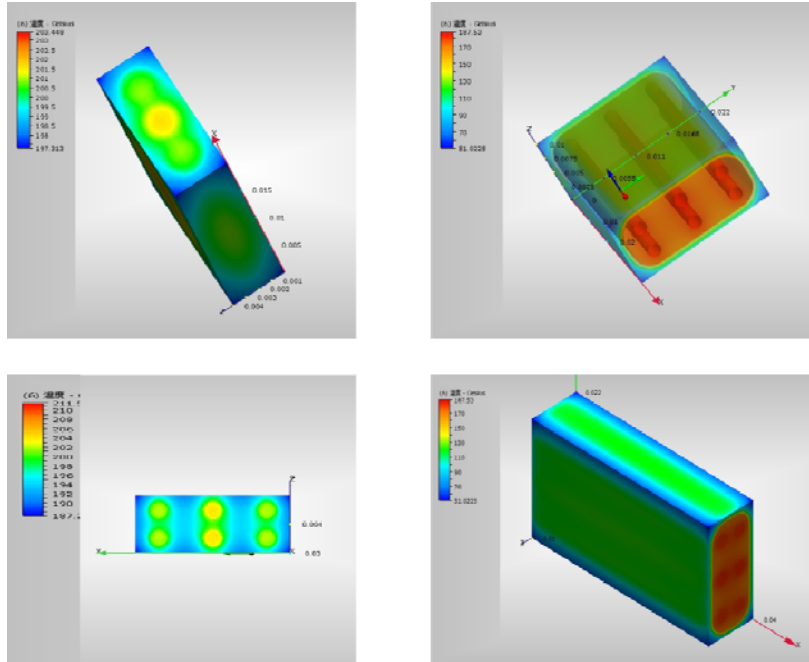


図 3.3.13. 温度分布シミュレーション

更に、車両走行時の水素放出における吸熱量を見積もる為、図 3.3.14 に示すような、実走行モードにおける水素消費のシミュレーションモデルを製作した。車輛諸元と走行パターンから必要駆動力を算出し、モーター効率、燃料電池効率をそれぞれ考慮し走行時の必要水素量を算出した。この必要水素量から水素放出時の温度変化を見積もることが可能となり、水素貯蔵タンクシステムの熱マネジメントが検討可能となる。

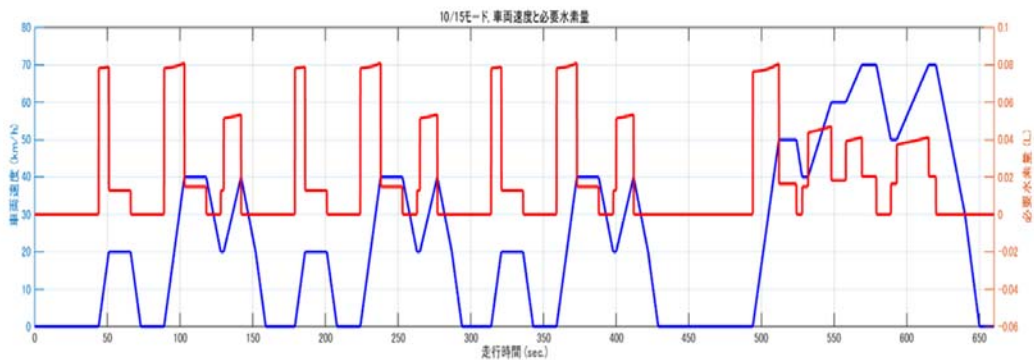


図 3.3.14. モード走行時に必要な水素量(予測値)

### 3.3.2 成果の意義

バルク材では得られなかった室温、低圧力域での 7.5wt%水素吸蔵を軽量金属である Mg 系を薄膜化、ナノ粒子化することにより達成可能である事を確認された事は、形状自由度のある「水素貯蔵容器システム」の実現性に対して大きな意義を持つ。また他の材料系に対しても量子サイズ効果を利用した特性改善や特性変更を行う上でのケーススタディとなり得ると考える。また、従来の液相式では困難であった Mg ナノ粒子を効率よく製造する気相式ナノ粒子製造装置を開発、更には連続製造化の原理が証明できたことは、製造面での低コスト化、安定生産、燃料電池自動車普及時の安定供給化を含めて社会的意義が大きいと考える。

### 3.3.3 成果の最終目標の達成可能性

水素吸蔵量については既に目標を達成した。今後は放出特性の改善を中心に展開し、ナノ粒子をナノファイバー等に担持させた構造を持つ連続製造装置開発を推進することでシステムとして燃料電池自動車に搭載し実証検証が可能になると考える。

## 3.4 軽量水素貯蔵材料の研究開発：固溶体系および窒素系水素貯蔵材料

### 3.4.1 研究開発成果、達成度

#### 3.4.1.1 固溶体系水素貯蔵材料

ハイブリッドタンクに適した 4wt%級の固溶体系水素貯蔵材料 Ti-V-Mn および Ti-V-Cr 合金の水素貯蔵量の向上を目指した。図 3.4.1 には Ti-V-Mn および図 3.4.2 には Ti-V-Cr 水素貯蔵材料の特性と改善のポイントを図示した。

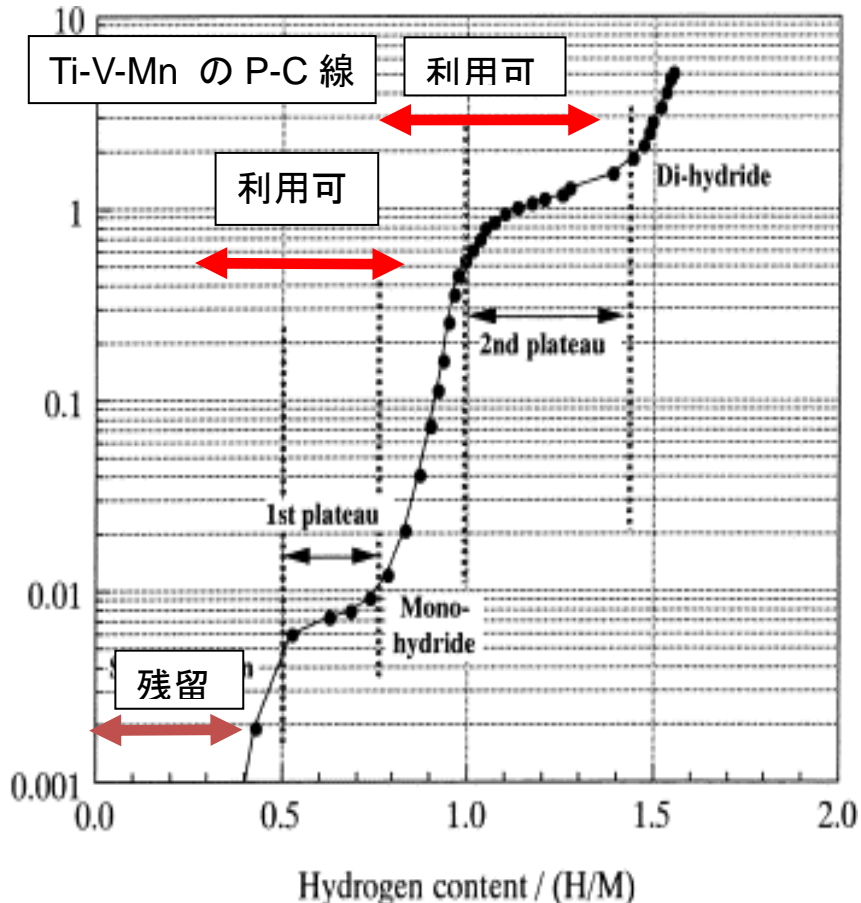


図 3.4.1 Ti-V-Mn 固溶体水素貯蔵材料の三段プラトーおよび改善の方法

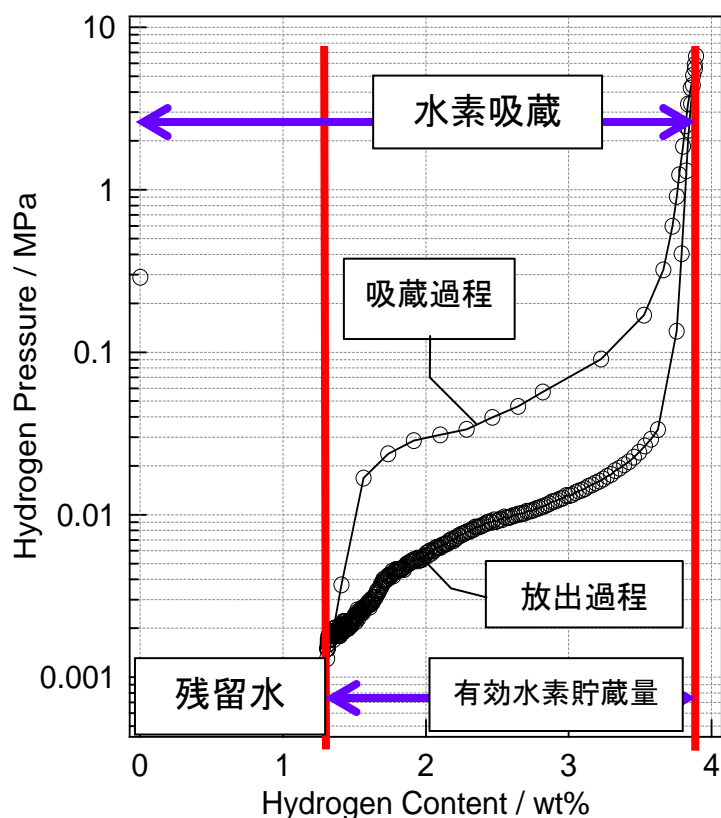


図 3.4.2 Ti-V-Cr 固溶体水素貯蔵材料の pc 図および残留水素

Ti-V-Mn 固溶体水素貯蔵材料では、より高い水素貯蔵量を目指して軽量かつ安価な Al を加えた。その結果、水素貯蔵量 2.2wt% を達成した。また、三つあるプラトーの内、二つを活用するために第四の元素を加える実験を行い、Cr の添加が有力であることを明らかにした。

Ti-V-Cr 系合金では、放出されない水素（残留水素、死蔵水素とも言う）の位置に関する情報を詳細に中性子回折法によって調べた。J-PARC において、九州大学が作製した重水素化 Nb 添加 Ti-V-Cr 合金（Ti<sub>0.1</sub>V<sub>0.3</sub>Cr<sub>0.3</sub>Nb<sub>0.3</sub>、Ti<sub>0.3</sub>V<sub>0.3</sub>Cr<sub>0.3</sub>Nb<sub>0.1</sub>）（図 3.4.3）について、中性子全散乱測定を実施した。Ti, V, Cr の中性子散乱半径を足し合わせると、ほぼゼロになるため、金属と水素の結合あるいは水素を囲む金属原子の描像を得ることができなかった。一方、電子の数が一個の水素原子を電子と相互作用する X 線回折で調べることは事実上不可能で中性子回折を用いるしか方法が無いとされる。そこで、中性子散乱半径が大きく、V と化学的性質が類似の Nb を中性子プローブとして添加し、水素吸蔵性および金属格子の結晶構造を調べたところ、Ti-V-Cr 水素貯蔵材料との差異が見られなかったため、中性子回折実験を進めた。



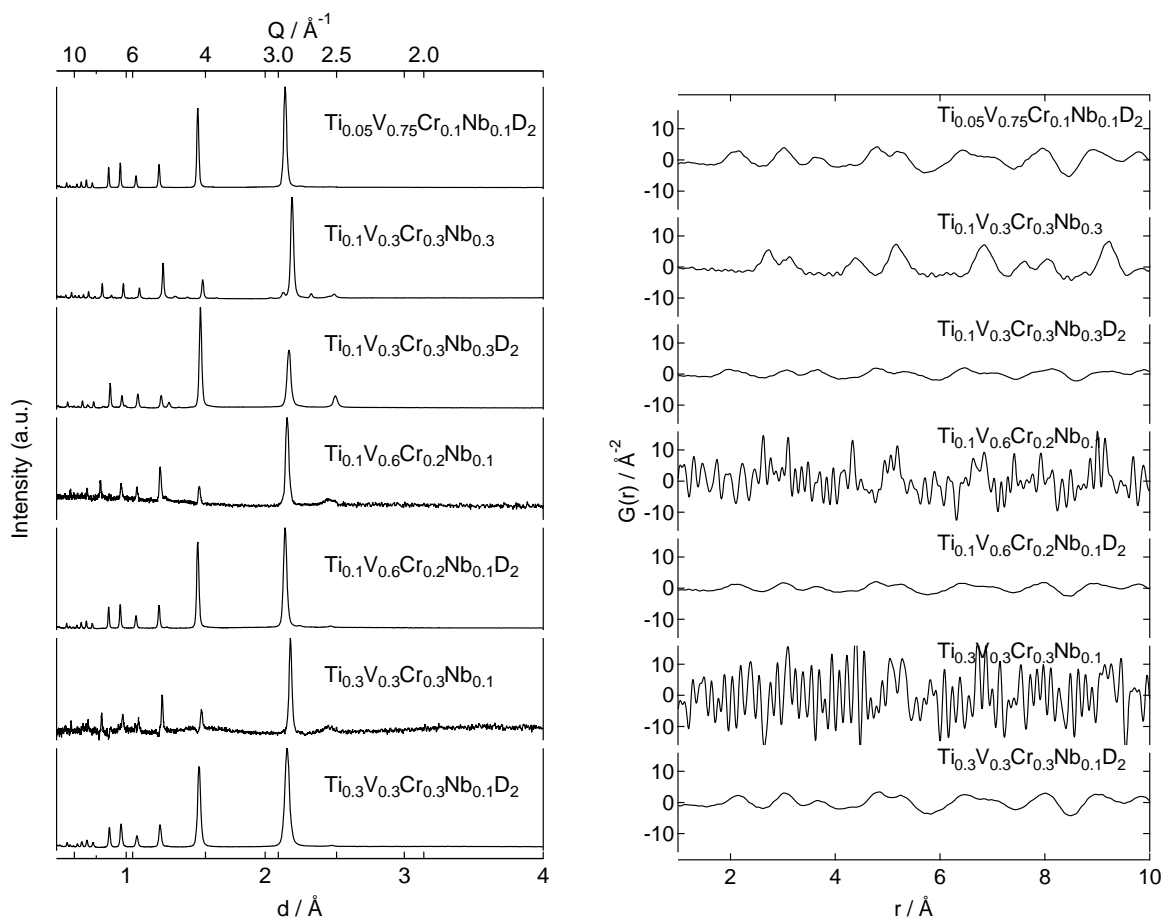


図 3.4.3. Nb 添加 Ti-V-Cr 系合金の中性子全散乱と実空間 2 体相関プロファイル。

回折プロファイルのリートベルト解析により、二水素化物と一水素化物がほぼ 1:1 であること、二水素化物は  $\text{CaF}_2$  構造を有すること、一水素化物は歪んだ BCC 構造の四面体サイトを重水素が占めることが判った。また、水素化物の水素原子の原子変位パラメータが大きく、四面体サイトの中心位置にないことが示唆される(図 3.4.4)。回折プロファイルをフーリエ変換して実空間 2 体相関を導出したところ、合金組成により、金属-水素相関のピーク位置および形状が異なっているという結果が得られた。水素化前の合金は中性子散乱強度が低い元素で構成されているため全散乱プロファイルをフーリエ変換して導出した実空間 2 体相関プロファイルは局所構造解析が困難であるが、水素化物に関しては合金組成により金属-水素相関のピーク位置および形状が異なるという結果が得られた。

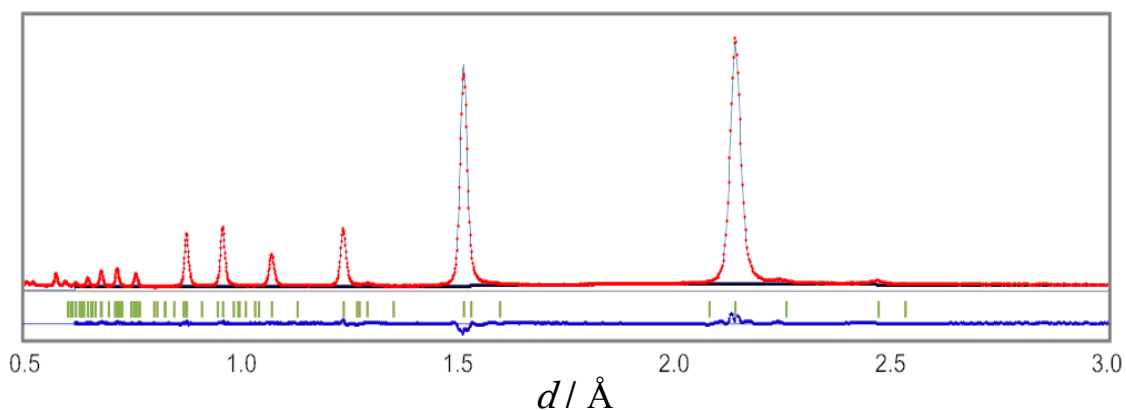


図 3.4.4  $\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}$  水素化物の中性子回折データのリートベルト解析

Ti 系 BCC 合金において有効水素吸蔵量が少ない理由は一水素化物の水素が放出されないことに起因している。一水素化物 ( $\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_1$ 、 $\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.3}\text{Cr}_{0.3}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_1$ ) と二水素化物

( $\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_2$ 、 $\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.3}\text{Cr}_{0.3}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_2$ ) の構造を比較するために中性子全散乱測定を実施したところ、一水素化物の中性子散乱強度が著しく低いためリートベルト解析は困難であり、試料容器などからのバックグラウンドを低減するなどの改善が必要であることがわかった。一方、二水素化物の実空間 2 体相関プロファイルでは  $2\text{\AA}$  以下の Nb-水素相関情報に注目することにより、リートベルト解析から示唆される水素位置を決定するための詳細な局所構造解析を実行できる見込みである。(図 3.4.5)

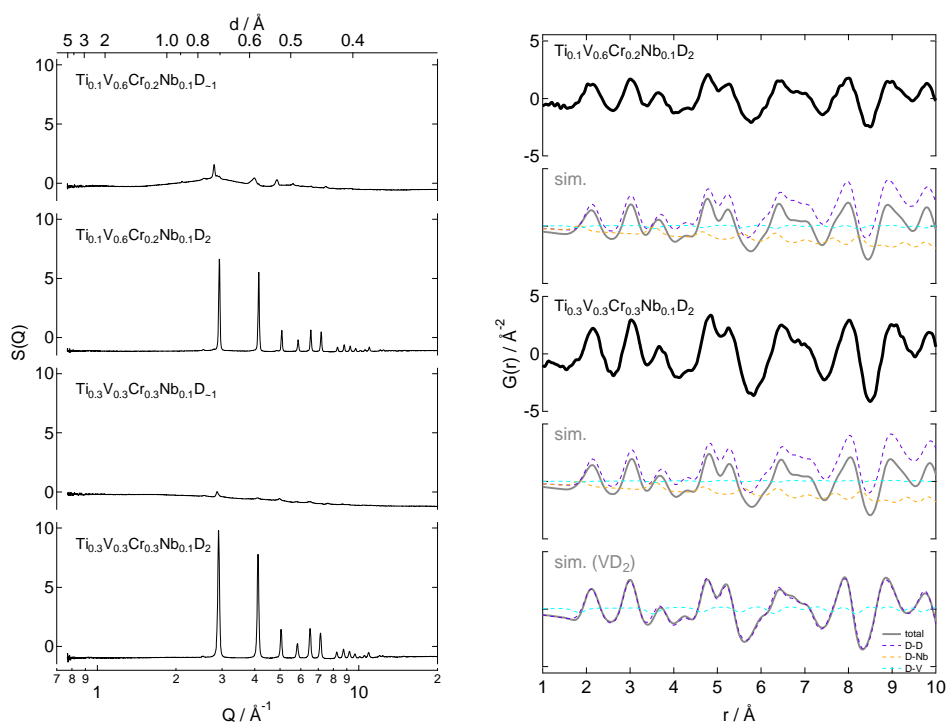


図 3.4.5. 左 :  $\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}$  と  $\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.3}\text{Cr}_{0.3}\text{Nb}_{0.1}$  の一水素化物および二水素化物の中性子全散乱プロファイル。右 : 二水素化物の実測された実空間 2 体相関プロファイルと結晶構造パラメータから導出された 2 体相関プロファイル

Ti 系固溶体については実験に加えて、第一原理計算による検討も平行して行った。ここでは第一原理計算を用いて Ti-V 系合金の水素化特性を解析した。第一原理計算とは、量子力学に基づく理論的な原子レベル計算手法である。本研究では周期系を対象とした第一原理バンド計算プログラムである、

VASP コードを使用して計算を行った。本研究は①第一原理計算による  $\text{Ti}_{1-x}\text{V}_x\text{H}_2$  の固溶状態解析、

②Ti-V 系合金の平衡水素圧の検討、の二テーマを設定し、テーマ①では Ti-V 合金二水素化物の金属原子配置について規則性の有無を検討した。テーマ②では、四元系までの Ti-V 系合金について平衡水素圧を算出、比較し、平衡圧力制御の可能性を検討した。



### 3.4.1.2 窒素系水素貯蔵材料

窒素系水素貯蔵材料は窒素原子が構成する構造へ陽イオンと水素が侵入と放出を行う事で水素吸蔵および放出が進行する。これは、無機物の水素貯蔵材料の中では特異的であり、最終目標を達成可能な材料系であるため、最適な窒素系水素貯蔵材料を見出すための探索実験を行った。従来は窒素系の材料を一種ないしは窒素系同志あるいは窒素系材料と水素化物の二種を複合した系について、検討が進められて来たが、本事業の目標値を達成することが可能な材料は見出されていない。

本事業においては、高容量、燃料電池に適した水素放出温度、適切な反応速度および良好な繰り返し特性を目指し、世界で初めて三種の軽量水素化物を複合した系の探索を行った。Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, LiH, LiNH<sub>2</sub>, MgH<sub>2</sub> 四種の化合物から三種を選択した四つの系について検討した。その中から、Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·4LiH·LiNH<sub>2</sub>が110°Cから水素を放出し、7.7wt%の放出量を示すことを見出したので、候補材料としてその特性を調べた。図3.4.6にこの三種からなる模擬的な状態図を示した。

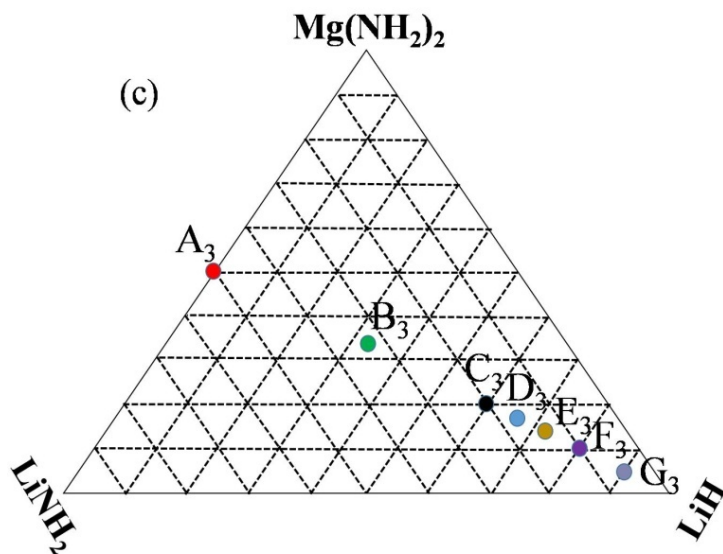


図 3.4.6 Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, LiH, LiNH<sub>2</sub> 三化合物からなる模擬的な状態図 (D3 を選択)

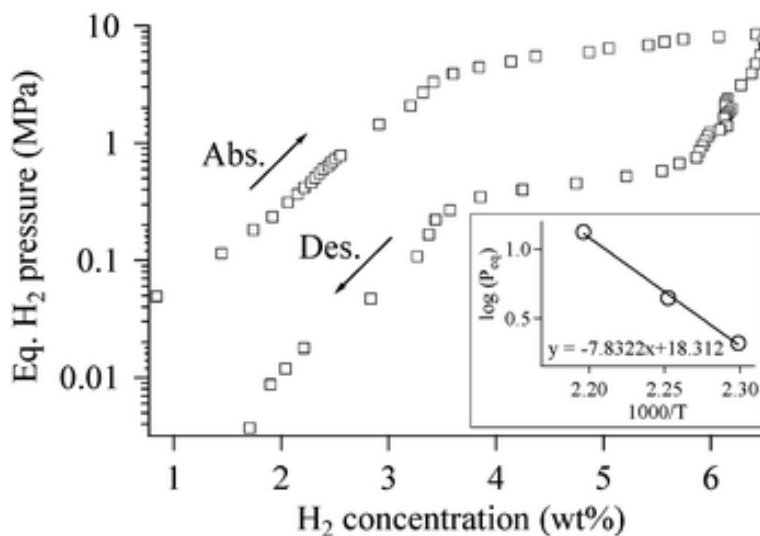


図 3.4.7 Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·4LiH·LiNH<sub>2</sub> の pc 図

また、図 3.4.7 に、この系の水素放出特性を TG-DTA を用いて測定した結果を示した。耐久性すなわち反応の繰り返し特性を調べたところ、三回程度の繰り返しであるが出発物質が比較的短時間で再生されたことが判った。すなわち、この複合材料は高い水素吸蔵量、PEFC に近い温度での水素放出および繰り返し特性が良好であることが判ったので、更にその水素化特性を調べる予定である。

#### 3.4.1.3 Mg 系水素貯蔵材料の中性子散乱

軽量水素貯蔵材料の研究開発のため、ナノ粒子まで微細化された Mg-Ni 系合金の構造解析に着手した。中性子は、放射光に比べると多くの試料を必要とするが、水素位置の観測や、ナノ粒子化による回折ピーク幅の増大、もしくはアモルファス化に対応して構造解析を行なうためには、中性子全散乱実験が不可欠である。本事業において（株）アツミテックにより大量試料合成に成功した、Mg-Ni 系合金ナノ粒子の中性子全散乱測定を平成 25 年度末に実施し、平成 26 年度に構造解析を行った。中性子回折プロファイルから、Mg、Mg<sub>2</sub>Ni の結晶相に加えて、アモルファス化した相から構成される混合相と思われる。実空間 2 体相関には、約 2 オングストロームと 3 オングストロームにピークが観測され、3 オングストロームのピークは Mg-Mg 相関に帰属できるが、2 オングストロームのピークは、Ni-Ni の再隣接距離 2.5 オングストロームよりもかなり近く、どのような構造に由来するものであるのか、現在のところ不明である。

#### 3.4.2 成果の意義

Ti 系固溶体水素貯蔵材料の高性能化を図るために、Ti-V-Mn 固溶体水素貯蔵材料には第四元素の添加を行うと共に Ti-V-Cr 固溶体水素貯蔵材料の残留水素（死蔵水素）の存在状態の詳細な調査を行った。また、計算科学の支援を得ていずれも、今まで課題とされながらも検討されてこなかった問題に、一定の回答を示し更なる高性能化への基礎的データを示すことができた。現時点では、重量水素密度に課題はあっても実際に使える材料は Ti 系固溶体しか無いと言えるので、この材料系の性能を向上することは、もう一つの水素車搭載技術オプションとして重要である。

窒素系水素貯蔵材料は、原理的に軽量かつ金属系のように容易に水素を吸蔵放出する材料と考えられる。本研究開発では、今まで検討されてこなかった三種の化合物の複合化を試み、7.7mass%の水素放出を 200°C 以下で実現した。また、サイクル特性も良好である可能性を示した。まだ、実用化へは課題があるが、目標値を達成可能な、今後重点的に開発すべき材料系であることが示された。

#### 3.4.3 成果の最終目標の達成可能性

Ti 系固溶体材料の最大水素吸蔵量は 4mass% であるため、目標値、特に重量水素密度は十分ではない。低コストかつ低圧で高密度に水素を貯えることができれば、車種によっては車載が可能であると考えられる。窒素系水素貯蔵材料は室温付近で 5~6mass% の水素を吸蔵可能な事実上唯一の材料系である。課題は、アンモニア等の反応副生物の生成、反応速度およびサイクル特性である。アンモニアが質量分析の精度の中では発生しないこと、十数回までのサイクル特性は良好であることなどから、最終目標を達成可能性があると思われる。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4. 1 個別研究テーマ毎の総括と全体のまとめ

金属系水素貯蔵材料では、目標値達成を目指した計算科学と実験の融合による開発を行った。現在のところ、明確な成果は得られていないが、従来に無い新規材料であり学理的にも裏付けのあるハーフホイスラー合金材料系を提案している。本事業において、このような方法論での新規高性能水素貯蔵材料の創製が今後の材料開発の方向性であることを示した。また、金属系水素貯蔵材料の低コスト化については、一部の元素について課題はあるが、新たに開発した方法を用いることで一桁の原料コスト低下に成功した。課題としては重量水素密度で課題のある金属系材料の車載への応用について、今後どのように展開するかにある。

吸着系材料については、物理吸着とスピルオーバーを併用した水素貯蔵のメカニズムについて多くの新発見をすると同時に、安価な材料による高性能材料の実現性も示すことができている。しかしながらスピルオーバーの実験は難易度が高いため未だに解明しなければならないメカニズムも多く存在する。特に、高圧領域でのスピルオーバー促進については現在も更なる検討を実施中である。実用化、事業化の最終目標を達成するためには、遠回りに見えるかもしれないがやはり基礎的検討は必須である。今後はこれまでに高性能が得られている材料をベースにした更なるメカニズムの解明を進めると同時に、実用化、事業化を視野に入れ、安価な金属（Ni 種）および炭素（フラーレンスート類）を用いた検討も並行して進める予定である。

軽量水素貯蔵材料の内、Mg 系については中間年度目標に対して重量水素吸蔵密度（7.5wt%）を達成した。また並行開発を進めてきた大量生産を目指したナノ材料製造についても目標通りの成果が得られた。水素放出については 100℃以下で吸蔵量の 83%（6.3wt%相当）放出は確認されたが、更に放出温度の低温化を含め効率よく目標水素吸蔵量 7.5wt%を吸蔵放出可能な材料としていく必要がある。また、ナノ粒子製造装置 in-situ での粒径測定結果と分級されたナノ粒子の水素吸蔵特性の相関関係を確認し、粒径調整、組成調整、構造調整され安定した水素吸蔵性能を得ていく事が必要である。同時に、担持構造、担持量の最適化を図り大量に安定した生産が可能となる装置開発を行うことにより低コスト化、安定供給化を目指していくことが必要である。

軽量水素貯蔵材料の内、Ti 系固溶体水素貯蔵材料については、二つの系を選択してそれぞれに適した水素吸蔵量増加の方法を基礎的な手法を駆使して進めた。特に Ti-V-Cr 固溶体水素貯蔵材料では、一旦吸蔵されたら材料中に残留する水素が格子間の隙間を運動していることを初めて明かにし、金属系材料で最も大きな水素吸蔵量が期待できる材料の更なる開発のための指針を得ることに成功した。今後は、残留水素の金属格子内の運動を停止させる方法の開発が求められる。窒素系水素貯蔵材料については、最終目標達成の目処となる 7.7mass%の水素放出量を持つ複合材料系を開発する事ができた。この材料系の実用化に必要な繰り返し特性に関しては十数回までのサイクル特性は確認できたが、サイクル特性の向上、適切な添加物・触媒の添加による反応速度の向上および反応温度の最適化が今後の課題である。

以上をまとめて表現するために、本事業の目的である燃料電池自動車へ水素を搭載するための水素貯蔵材料に最も必要とされる項目 8 項目を選択し、表 4.1.1 に示した。これらの項目について、中間評価時および事業終了時（予定）の目標達成度をそれぞれの材料系毎にレーダーチャートを用いて示した（図 4.1.1～図 4.1.4）。

表 4.1.1 本事業における水素貯蔵材料の評価項目と中間目標および最終目標と目標値

評価項目	中間目標	最終目標
重量密度	6mass%(含む容器) への目処付け	6mass%(含む容器)
体積密度	5kgH <sub>2</sub> /100L への目処付け	5kgH <sub>2</sub> /100L
低温起動	-30°CFCV 起動に目処付け	-30°CFCV 起動に対応のこと
放出速度	放出速度 1000NL/min に目処付け	放出速度 1000NL/min
コスト	コスト 30~50 万円以下に目処付け	コスト 30 ~ 50 万円以下
大量生産性	大量生産性(100kg 単位)に目処付け	大量生産性(100kg 単位)
形状自由度	形状自由度達成に目処付け	形状自由度達成
耐久性	1000 回への目処づけ	1000 回

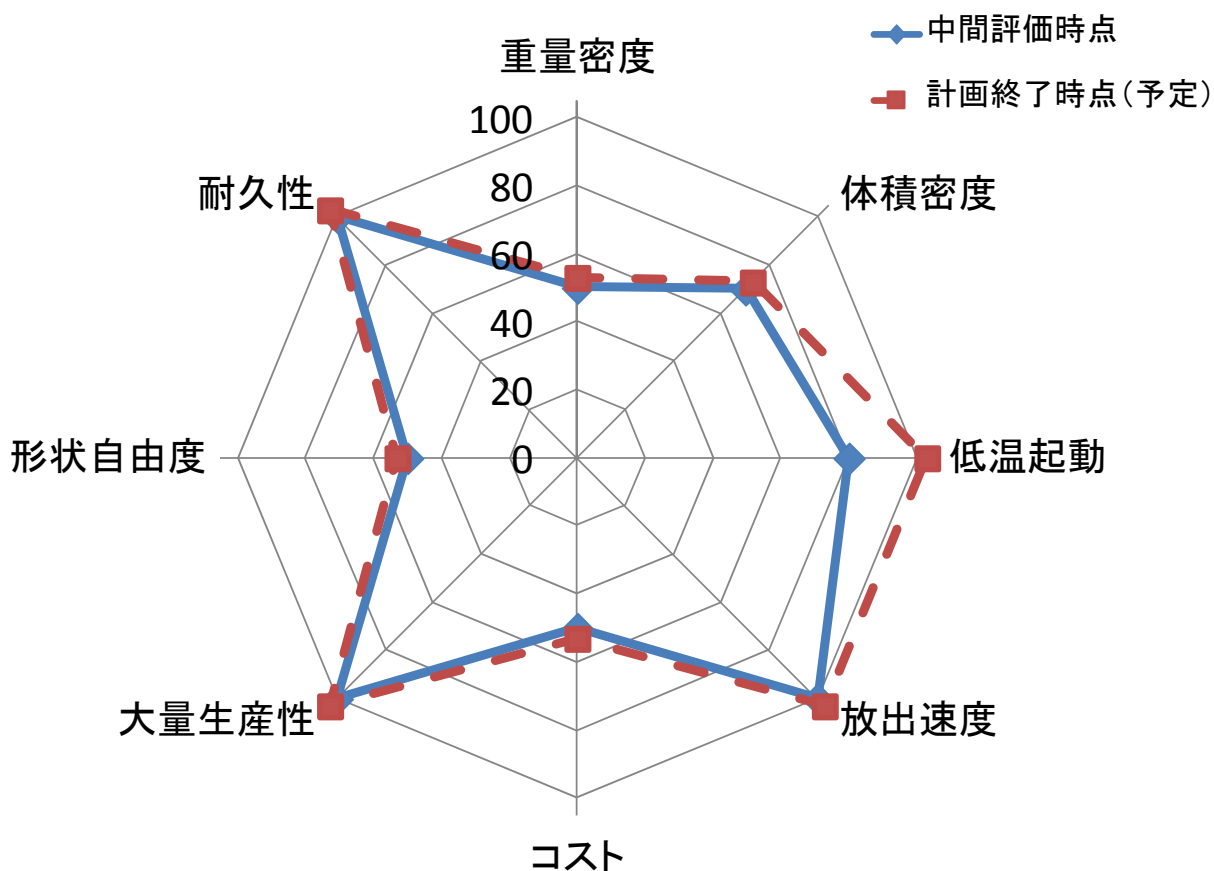


図 4.1.1 金属系水素貯蔵材料に関するレーダーチャート

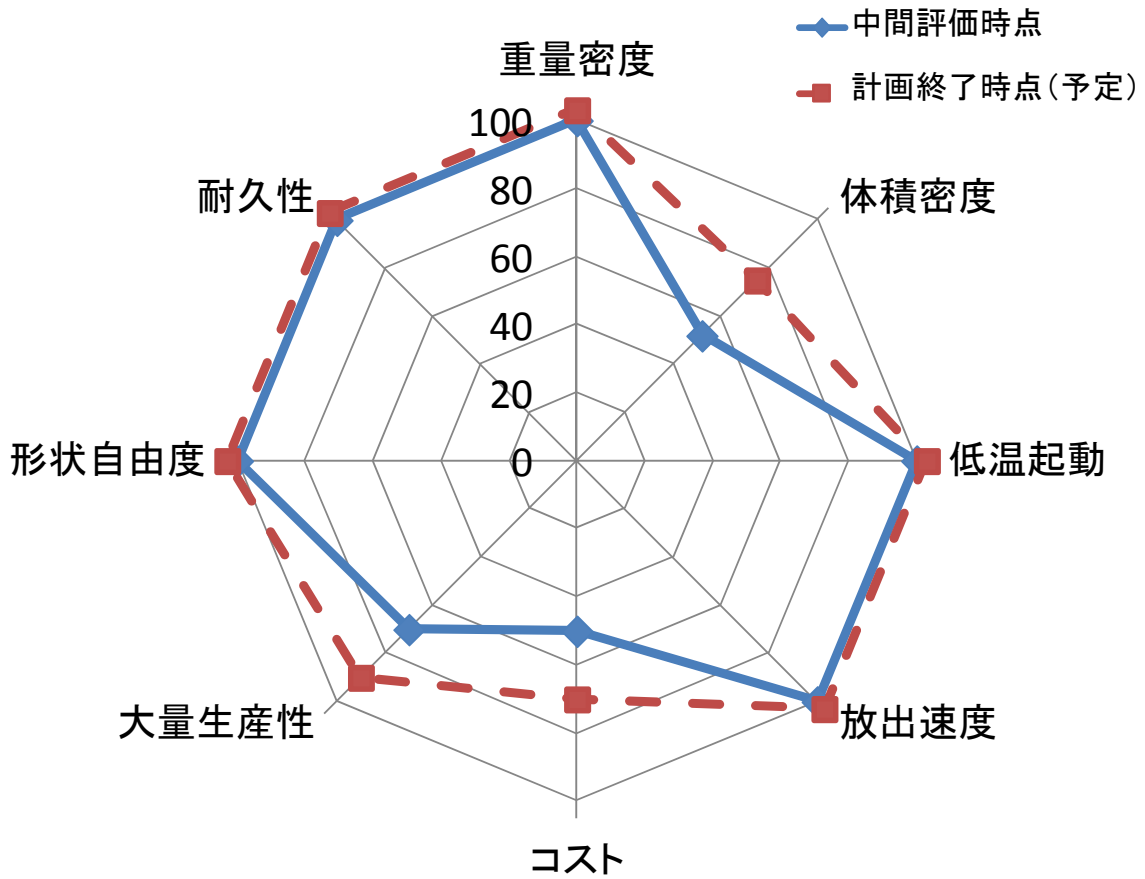


図 4.1.2 吸着系水素貯蔵材料に関するレーダーチャート

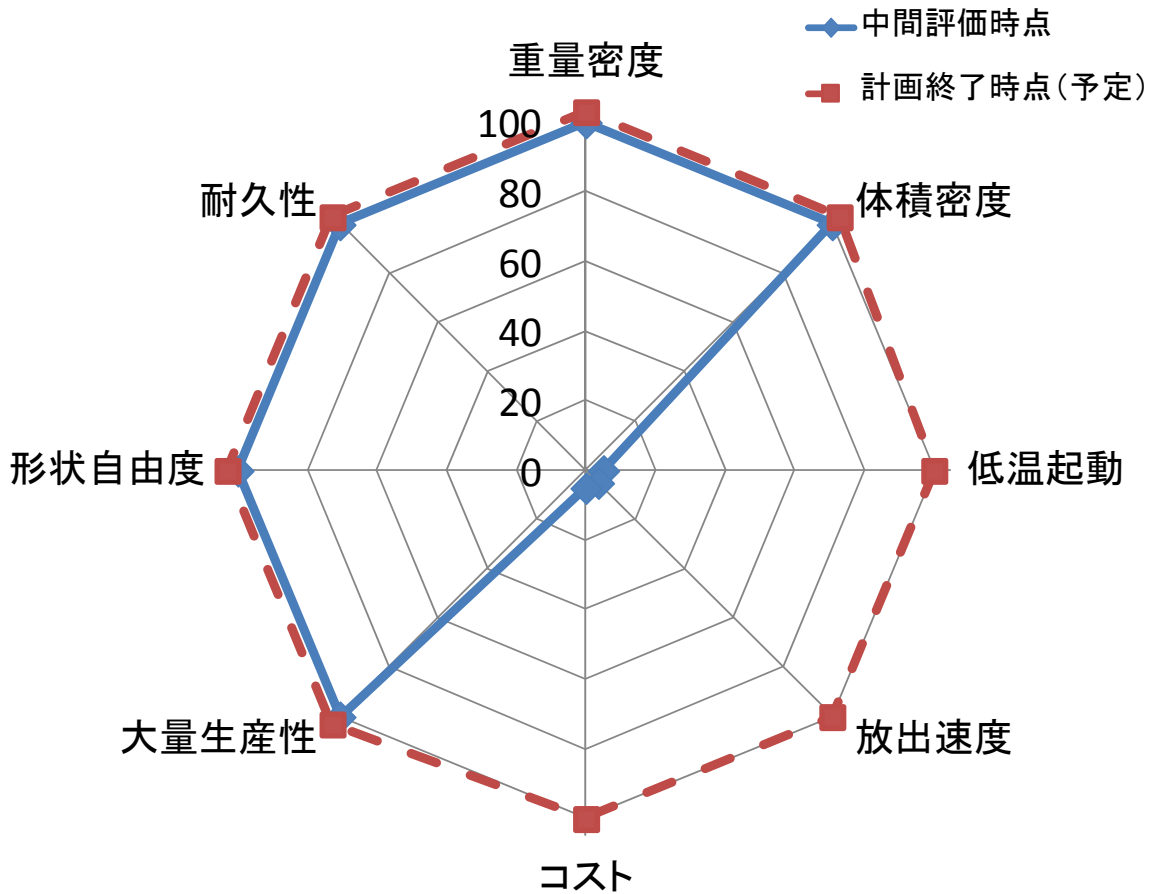


図 4.1.3 軽元素系 (Mg 系) 水素貯蔵材料に関するレーダーチャート

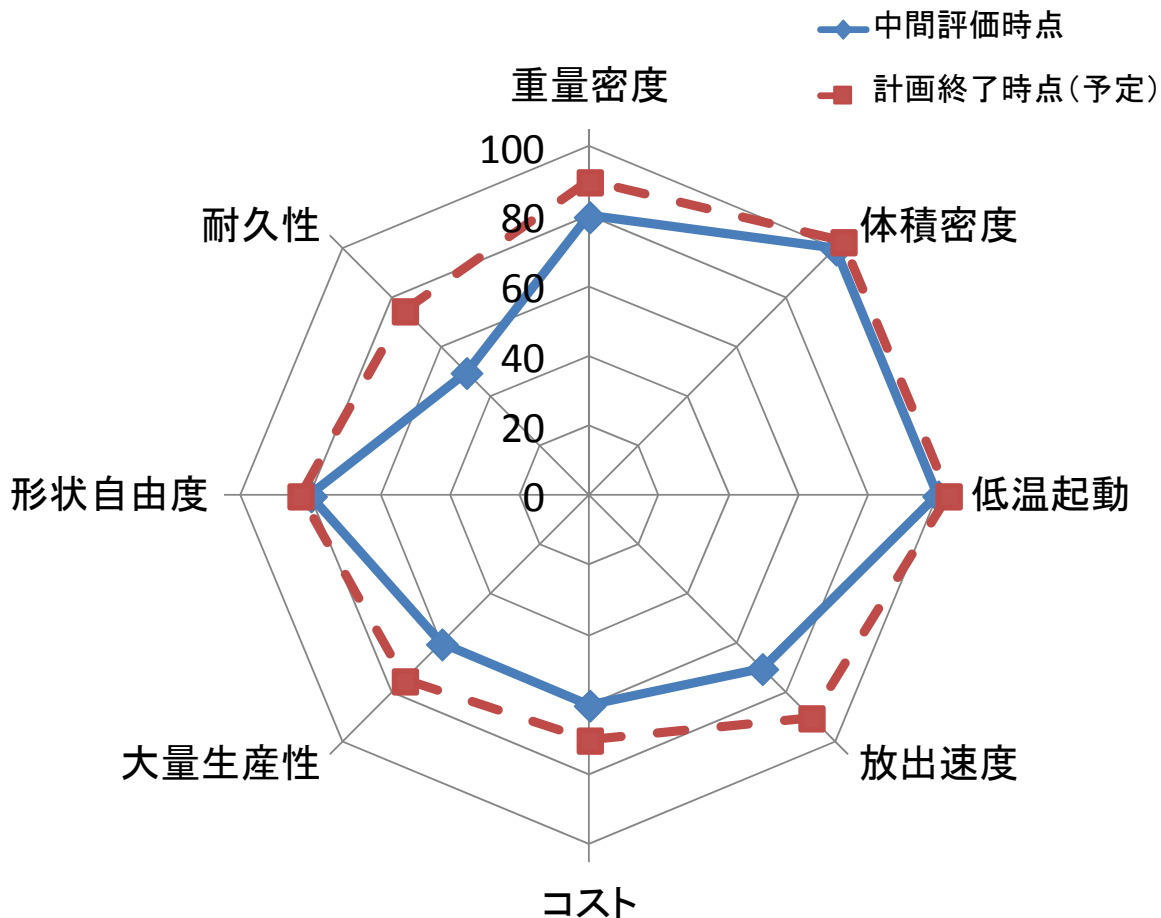


図 4.1.4 軽元素系（固溶体系、窒素系）水素貯蔵材料に関するレーダーチャート

現在までと、計画終了時点（予定）での目標達成度をそれぞれの材料系毎に見ると、

①金属系水素貯蔵材料では、耐久性、大量生産性、低温起動などでは目標を達成する見込みはあるが、車載の場合に最重要課題とも思われる重量密度および体積密度に課題が大きく残る。本事業で、計算科学の支援の基、学理的にも裏付けを持つ全く新規な材料系を提案したことは高く評価される。

②吸着系水素貯蔵材料では、ほとんどの項目で目標を達成あるいは8割以上の達成度を示している。また、現在、安価な材料系の探索を鋭意、進めておりコストについても、目標達成が期待できる。

③Mg系軽量水素貯蔵材料では、重量および体積密度、大量生産性あるいは形状自由度に注力して来たため、中間評価時では達成した項目と課題が残る項目の差が著しいが、事業終了時（予定）には残る課題も解決できるとの見込みを持っている。重量密度で材料単体として7.5mass%を達成したことを特筆したい。

④固溶体系および窒素系水素貯蔵材料では、固溶体系で一旦吸蔵すると放出されない残留水素の存在状態を中性子回折を用いて解明して吸蔵量向上の指針を得た。窒素系水素貯蔵材料では、7.8mass%の水素放出を110℃から観測した。耐久性および反応速度の更なる向上が今後の課題である。

以上のようなそれぞれの材料毎の成果を見ると、金属系水素貯蔵材料（固溶体系を含む）では、4mass%を大幅に越える水素貯蔵量が期待出来ないため、重量密度については、目標値達成は原理的に難しいと考えられる。

Mg系水素貯蔵材料は、軽量であり、実際に本事業でも7mass%以上の重量密度を確認している。現在までナノサイズ/materialを大量生産すること等に注力してきたため、幾つかの項目は今後の課題である。

窒素系水素貯蔵材料は、新しい材料系の開発を行い7.7mass%の水素放出量を確認した。耐久性や反応速度、大量生産性などの課題を残された期間で解決する事は、必ずしも容易ではない。

吸着系水素貯蔵材料は、物理吸着に加えて新しいメカニズムであるスピルオーバー現象を活用することで、重量密度を初めとする多くの項目で高い達成度が期待できる。

中間評価に当たって、今後の本事業においては、それぞれの材料系で成果が上がってはいるが残された期間での目標達成のためには、材料系を少数に絞り込み、研究開発資金のみならず、人的および研究設備等を含む様々な資源を集中する事が望ましいと考えられる。材料系としては上記のように吸着系水素貯蔵材料がもっとも事業期間内に目標達成の可能性が高いので、集中して研究する材料系の第一候補とすることを提案したい。

#### 4. 2 課題および事業化までのシナリオ

2014年から発売が開始された燃料電池自動車は700気圧の圧縮水素容器を車上搭載している。恐らく、数年から十年は、現在も性能向上やコスト低下のための技術開発中の圧縮容器が水素の車上搭載法であると推量できる。しかしながら、2030年以降の大量生産の時期になると、圧縮水素容器以外の低コストで水素体積密度が高い水素車上搭載法が必要となるはずである。その際に、水素貯蔵材料はその特性から見て最も有力な候補であることに間違いは無い。そのような時期が来るまで、現状では4.1に示したような課題が残されている水素貯蔵材料について、基礎研究をベースに新材料の創成を継続していくことが最も重要である。

事業化については、上記のようなロードマップに従えば、2030年頃を目指して、当面は国家事業として基礎基盤研究に基づく材料創成研究開発を進め、成果として得られた候補材料を自動車業界へテクノロジートランスファーし、評価・試験を経て車載技術として完成するとの道筋によって実用化へと導くことを想定している。



## 5. 研究発表・特許等

### 1. 金属系水素貯蔵材料の研究開発

#### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014年1月 31日	I2CENR International workshop 2015	Preparation of cost-effective hydrogen storage materials for on board application	Jin Nakamura
2	2014年7月 22日	14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems	Development of hybrid hydrogen tank	Tatsuya Fuura
3	2014年7月 22日	14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems	Ab-initio Molecular Dynamics Simulations with Fractional Atomic Occupation numbers	Kazutoshi Miwa
4	2014年7月 24日	14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems	Preparation of cost-effective hydrogen storage materials for on board application	Jin Nakamura
5	2014年9月 25日	日本金属学会 2014年秋期講演大会	第一原理計算による A15 型 V3X の水素吸蔵能予測	三輪 和利
6	2015年2月 4日	I2CENR International workshop 2015	Theoretical study on hydrogen storage alloys	Kazutoshi Miwa
7	2015年7月 16日	2015 Hydrogen-Metal systems Gordon Research Conference	Theoretical Study on Hydrogen Storage Alloys: Near-Sightedness and Color-Blandness of Hydrogen in Metals.	Kazutoshi Miwa

### 2. 吸着系水素貯蔵材料の研究開発

#### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
8	2013年5月 20日	IMMS 2013,(招待講演)	Synthesis of Ordered Porous Carbon and Its Application to Energy Fields	Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani
9	2013年8月 26日	第51回炭素材料夏季セ ミナー(ポスター発表)	リチウムをドーブしたゼオラ イト鋳型炭素への水素吸着	大嶽文秀,西原洋知, 糸井弘行,京谷隆

No.	年月	発表先	題目	発表者
10	2013年9月 19日 (公開日)	Chemistry-A European Journal (学術雑誌)	Reversible Pore Size Control of Elastic Microporous Material by Mechanical Force	Masashi Ito, Hiroto Nishihara, Kentaro Yamamoto, Hiroyuki Itoi, Hideki Tanaka, Akira Maki, Minoru Miyahara, Seung Jae Yang, Chong Rae Park, Takashi Kyotani
11	2013年9月 28日	8th International Mesostructured Materials Symposium (招待講演)	Synthesis of Ordered Porous Carbon and Its Application to Energy Fields	Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani
12	2013年9月 28日	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan (招待講演)	Energy storage in nanocarbons and nanocomposites	Hiroto Nishihara
13	2013年9月 29日	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan(ポスター発表)	Hydrogen Adsorption on Zeolite-Templated Carbon Doped with Alkali Metal	Fumihide Ohtake, Hiroto Nishihara, Hiroyuki Itoi, Takashi Kyotani
14	2013年11月 5日	4th Asian Conference on Coordination Chemistry (招待講演)	ZTC への水素吸着の理論計算 (2)一経路積分法による有限温度シ ミュレーション	Hiroto Nishihara
15	2014年3月 14日	研究会：グラフェンを 「作る・測る・使う」技 術開発の将来 (招待講演)	鋳型ナノカーボンの合成とエ ネルギー貯蔵への応用	西原洋知

No.	年月	発表先	題目	発表者
16	2014年3月 27日	日本化学会第94春季大会 (口頭発表)	メタロセンを前駆体とした金属ナノクラスター担持ゼオライト誘導炭素の水素吸着挙動	大嶽文秀、西原洋知、糸井弘行、伊藤仁、京谷隆
17	2014年4月 16日 (公開日)	J. Phys. Chem. C (学術雑誌)	Experimental and Theoretical Study of Hydrogen/Deuterium Spillover on Pt-Loaded Zeolite-Templated Carbon	Hiroto Nishihara, Somlak Ittisanronnachai, Hiroyuki Itoi, Li-Xiang Li, Kimichi Suzuki, Umpei Nagashima, Hiroshi Ogawa, Takashi Kyotani, Masashi Ito
18	2014年7月3 日	Carbon2014 (ポスター発表)	Hydrogen Adsorption in Zeolite-Templated Carbon Decorated with Metal Nanoparticles Prepared by Using Metallocene as a Metal Source	Fumihide Ohtake, Hiroto Nishihara, Hiroyuki Itoi, Masashi Ito, Takashi Kyotani
19	2014年8月 19日	XXIII International Materials Research Congress 2014 (招待講演)	Nanocarbons and composite materials for energy applications	H. Nishihara, T. Kyotani
20	2014年8月 25日	第52回炭素材料夏季セミナー (ポスター発表)	フラーレンによる水素スピルオーバー効果の促進	志村智哉、西原洋知、大嶽文秀、京谷隆
21	2014年9月 29日	10th International Conference on Separation Science and Technology (ポスター発表)	Hydrogen Adsorption in Zeolite-Templated Carbon Decorated with Transition-Metal Nanoparticles	Hiroto Nishihara, Fumihide Ohtake, Hiroyuki Itoi, Masashi Ito, Takashi Kyotani
22	2014年11月 1日	10th International Conference on Separation Science and Technology (ポスター発表)	Hydrogen Adsorption in Zeolite-Templated Carbon Decorated with Transition-Metal Nanoparticles	Hiroto Nishihara, Fumihide Ohtake, Hiroyuki Itoi, Masashi Ito, Takashi Kyotani

No.	年月	発表先	題目	発表者
23	2014年12月 8日	第41回炭素材料学会年会, (Keynote lecture)	Templated nanocarbons and carbon-coated materials for energy storage	Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani
24	2014年12月 8日	第41回炭素材料学会年会 (ポスター発表)	フラーレンをモデル担体とし たスピルオーバー水素の直接 分析	志村智哉、方立駿、 西原洋知、大嶽文秀、 京谷隆
25	2014年12月 8日	第41回炭素材料学会年会 (口頭発表)	メタロセンを原料とする遷移 金属担持炭素の調製と水素貯 蔵への応用	大嶽文秀、西原洋知、 糸井弘行、伊藤仁、 京谷隆
26	2015年1月 21日	Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (招待 講演)	Nanocarbons and composite materials for energy storage	H. Nishihara, T. Kyotani
27	2015年2月4 日	物理吸着とスピルオー バーによる水素吸蔵(招 待講演)	兵庫県立大学大学院工学研究 科物質系工学専攻物質制御計 測科学研究グループ主催招待 講演会	西原洋知
28	2015年6月 26日	グラフェンから成る多 孔体とその酸化特性(招 待講演)	第4回酸化グラフェン研究会	西原洋知
29	2015年7月2 日	Zeolite-Templated Carbons and Their Applications (招待講 演)	International Symposium on Zeolites and MicroPorous Crystals 2015 (ZMPC2015)	H. Nishihara, T. Kyotani

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2014年3月 25日	特願 2014-062815	金属担持炭素材料およびその製 造方法	日産自動車、東北大学

### 3.1 軽量水素貯蔵材料の研究開発（九州大学）

#### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
30	2014年8月	Journal of Alloys and Compounds 617巻 47-51(2014)	Effect of Mg/Ni ratio on microstructure of Mg-Ni films deposited by magnetron sputtering	Matsuda, J., Uchiyama, N., Kanai, T., Harada, K. Akiba, E.
31	2014年8月	Applied Physics Letters, 105巻 083903 (2014)	In situ observation on hydrogenation of Mg-Ni films using environmental transmission electron micro-scope with aberration correction	Matsuda, J., Yoshida, K., Sasaki, Y., Uchiyama, N. Akiba, E
32	2014年10月 30日	燃料電池 14巻2号	水素貯蔵材料の現状と展開	秋葉悦男
33	2014年11月 27日	図解燃料電池技術（日刊工業新聞社）	水素貯蔵材料	秋葉悦男（分担執筆）
34	2014年12月 19日	燃料電池自動車に向けた 高圧水素タンクの最新技術・規制動向と機能性向上（AndTech）	水素貯蔵材料の開発と今後の展望	秋葉悦男（分担執筆）
35	2014年12月 26日	エネルギーデバイス 2巻2号	水素貯蔵材料の開発動向	秋葉悦男
36	2014年6月 17日	CIMTEC 2014 6th Forum on New Materials	Hydrogen Storage Properties of Mg-based Materials	E. Akiba(招待講演)
37	2014年7月 30日	Grand Renewable Energy 2014	Hydrogen Storage and Transport: State-of-art and Future	E. Akiba(基調講演)
38	2014年10月 27日	Hy-SEA 2014 Hydrogen Storage - Embrittlement - Applications	Hydrogen Storage in Japan -Recent Progress and Future prospect-	E. Akiba(基調講演)
39	2014年7月 24日	International Symposium Metal-Hydrogen Systems (MH2014)	In-situ TEM Observation on Hydrogenation of Mg-Ni films deposited by Magnetron Sputtering	J. Matsuda et al.

No.	年月	発表先	題目	発表者
40	2014年7月 24日	International Symposium Metal-Hydrogen Systems (MH2014)	Composites of Light-metal Amides and Hydrides as Hydrogen Storage	B. Paik et al.
41	2014年6月7 日	日本金属学会九州支部・ 日本鉄鋼協会九州支部・ 軽金属学会九州支部 共 催平成26年度合同学術 講演会	水素貯蔵材料の現状と展望	秋葉悦男
42	2014年9月 25日	日本金属学会秋期年会	中性子回折による Nb 添加 Ti-V- Cr 合金水素化物の結晶構造解析	秋葉悦男他
43	2014年9月 26日	日本金属学会秋期年会	Composites of Mg(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , LiH and LiNH <sub>2</sub> as hydrogen storage system	B. Paik 他
44	2014年9月 25日	日本金属学会秋期年会	第一原理計算による Ti <sub>1-x</sub> V <sub>x</sub> H <sub>2</sub> の固溶状態解析	大谷紀子他
45	2015年3月 19日	日本金属学会春期年会	第一原理計算による Ti-V 系合 金の水素化特性解析	大谷紀子他
46	2014年9月 17日	NEDO 報告会	水素利用技術研究開発事業／燃 料電池自動車及び水素ステーシ ョン用低コスト機器・システム等 に関する研究開発／燃料電池自 動車用水素貯蔵材料に関する研 究開発	
47	2014年9月 18日	サンシャイン計画40周 年記念シンポジウム	バネリスト	秋葉悦男
48	2015年3月 25日	NEDO IEA/HIA,AFCIA, IPHE 活動報告会	IEA/HIA Annex32 水素によるエ ネルギー貯蔵	秋葉悦男
49	2015年5月	Chemical Communications	A Li-Mg-N-H composite as H <sub>2</sub> storage material: A case study with Mg(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -4LiH-LiNH <sub>2</sub>	B. Paik, H.-W. Li, J. Wang, E. Akiba

—展示会—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014年2月	FC EXPO 2014	水素貯蔵材料の研究開発動向	秋葉悦男
2	2014年2月	同上 アカデミックフ ォーラム	水素貯蔵材料の機構解明と新 規材料探索	李海文、松田潤子、 秋葉悦男

### 3.2 軽量水素貯蔵材料の研究開発（一般財団法人ファインセラミックスセンター）

#### －研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
50	2014年9月	日本金属学会 2014年秋期(第155回)講演大会	第一原理計算による $Ti_{1-x}V_xH_2$ の固溶状態解析	大谷紀子 桑原彰秀 小川貴史 齋藤智浩 佐々木優吉 世古敦人 田中功 秋葉悦男 松田潤子
51	2015年3月	日本金属学会 2015年春期(第156回)講演大会	第一原理計算による Ti-V 系合金の水素化特性解析	大谷紀子 桑原彰秀 小川貴史 齋藤智浩 佐々木優吉 世古敦人 田中功 秋葉悦男
52	2015年7月	新学術領域「ナノ構造情報のフロンティア開拓」第三回若手の会	クラスター展開法による $Ti_{1-x}V_xH_2$ の固溶状態解析	大谷紀子 桑原彰秀 小川貴史 齋藤智浩 佐々木優吉 世古敦人 田中功 秋葉悦男

#### －展示会－

No.	年月	発表先	題目	発表者
3	2014年7月	H26年度 JFCC 研究成果発表会	第一原理計算による水素吸蔵 Ti-V 合金の固溶状態解析	大谷紀子, 桑原彰秀, 小川貴史, 齋藤智浩, 佐々木優吉
4	2015年7月	H27年度 JFCC 研究成果発表会	第一原理計算による水素吸蔵合金の特性解析	大谷紀子, 桑原彰秀 小川貴史, 齋藤智浩 佐々木優吉



### 3.3 軽量水素貯蔵材料の研究開発（高エネルギー加速器研究機構）

#### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
53	2013/8/6	口頭発表（Keynote 講演） PRICM8（第8回環太平洋先端材料国際会議）	A High Intensity Neutron Scattering Techniques for Hydrogen Materials Studies	大友季哉
54	2013/12/5	口頭発表（招待講演） 8th International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials	Structural analysis of aluminum-based hydrogen storage materials by high intensity neutron total diffractometer (NOVA)	池田一貴、大友季哉、小島由継、折茂慎一
55	2013/12/12	ポスター発表 日本中性子科学会年会	高強度全散乱装置NOVAの現状	大友季哉、池田一貴、大下英敏、金子直勝、瀬谷智洋、鈴谷賢太郎、藤崎布美佳
56	2013/12/12	ポスター発表 日本中性子科学会年会	高強度全散乱装置NOVAにおける高圧ガスその場実験環境	池田一貴、大下英敏、金子直勝、瀬谷智洋、大友季哉、鈴谷賢太郎、藤崎布美佳
57	2014/9/24	日本金属学会 2014 年秋期講演大会	中性子回折による Nb 添加 Ti-V-Cr 合金水素化物の結晶構造解析	秋葉悦男、松田潤子、平野弘将、池田一貴、大友季哉
58	2015/2/4	I <sup>2</sup> CNER International Workshop Hydrogen Storage	Studies of Atomic Structure of Hydrogen Storage Materials with Neutron Scattering Techniques	大友季哉

(Ⅱ-③)「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車用及び水素ステーション用低コスト機器・システムに関する研究開発」  
 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

委託

●成果ガリ (実施期間：平成25年度～平成27年度終了予定)

- 全ての水素ステーションの計量管理方法を規定するガイドラインを計画通り平成26年9月に作成し、業界団体に採用され、商用水素ステーションにて広く利用されている。
- 重量法水素校正試験装置を法令照会に基づき製作し、水素ステーションでの検証試験結果をガイドライン策定に役立てた。
- 経済産業省で主導している「自動車用水素燃料メーター」のJIS化について、2015年度に設置されたJIS原案作成委員会に水素計量ガイドラインを開示するとともに、委員として事業の技術成果及び調査結果を情報提供した。
- マスターメーター法については、トレーサビリティ体系の検討とそれに合わせた校正設備の製作を行い、マスターメーターの評価検討を終え、ディスプレイ評価試験に着手した。

●背景/研究内容・目的

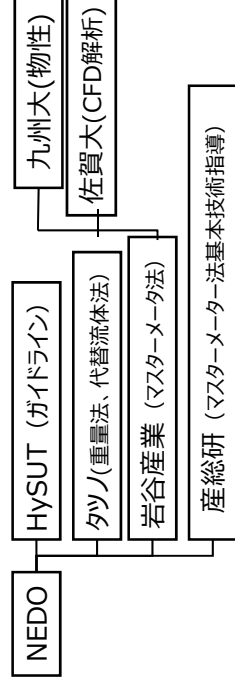
(背景)  
 2015年の燃料電池自動車の普及開始にあたり、一般消費者への水素販売を視野に入れた公正な水素計量校正試験装置と試験方法の確立が必要である。

- (目的)
1. 水素ステーションにて一般消費者に公正に水素を販売するために必要な水素計量ガイドラインを策定する。
  2. 水素ステーションにおけるディスプレイの一部の水素計量部に関して、トレーサビリティを確保した水素計量試験装置の開発と試験方法の確立をおこなう。

●研究目標 (中間目標)

実施項目	目標
計量ガイドライン策定	計量校正試験装置の開発と技術検証のタイムリに合せてガイドラインの策定を行い、業界団体に提案する。
重量法試験装置開発とステーションでの技術検証	校正試験装置の開発と製作を行い、試験装置を使用した実水素ステーションでの技術検証試験を実施した結果をガイドラインに反映する。
マスターメーター法による評価方法の確立	マスターメーター法校正装置の開発と製作を行い、実証設備及び実水素ステーションにて試験を実施し、その検証方法をガイドラインに反映する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容/研究成果

1. 全ての水素STの計量方法を規定する水素計量ガイドラインを予定通り策定し、業界団体に採用された。
2. 重量法計量試験装置を法令照会での行政指導に沿った形で開発・製作を完了させ、実際の水素ステーションでの技術検証結果に基づいた水素計量ガイドライン策定に役立てた。
3. 充填後ノズルを外す際の脱圧量と器差の関係を実験的水素ステーションでの技術検証試験結果で明らかにしたことにより、新設水素ステーションでの器差が大幅に向上するなどの貢献をした。
4. 上記2～3のフィールド評価試験を24ヶ所で実施し、安全性の確認と事業化に向けたデータの蓄積、情報収集を行い、ガイドライン改訂の際に基盤情報とすることができた。
5. 経済産業省で主導している「自動車用水素燃料メーター」のJIS化について、2015年度に設置されたJIS原案作成委員会に、当該事業での成果である水素計量ガイドラインを開示するとともに、委員として事業の技術成果及び調査結果を情報提供した。
6. マスターメーター法については、トレーサビリティ体系の検討とそれに合わせた校正設備の製作を行い、マスターメーターの評価検討を終え、ディスプレイ評価試験に着手した。

●今後の課題

- (重量法)
- FCV側の更なる高圧充填 (82.5MPa) ニーズに対応する装置開発 (マスターメーター法)
  - 計量方法の確立
  - 技術検証結果に沿ったガイドライン改訂 (代替流体力法)
  - ガス種、圧力、密度、流量などの影響因子の把握
  - 代替流体力にて重量法、マスターメーター法の比較検証を行い、ガイドライン化を行う。
  - \* 重量法については、2年間の事業延長を検討中。

●実用化・事業化の見通し

1. 水素ステーション現場での計量検査試験を最小限にする安価な計量検定方法の技術確立とその方法の標準化を目指す。
2. 技術確立された成果に基づき、水素ステーションの普及拡大に合わせた水素計量事業の検討を行う。

実施項目	成果内容	自己評価
計量ガイドライン策定	業界団体に採用され、全ての水素ステーションの計量検査で活用など波及効果大	◎
重量法による評価方法の確立	・高圧ガス保安法上の法令照会での行政指導に沿った装置完成 ・水素計量試験法の確立	◎
マスターメーター法による評価方法の確立	・研究委託をしている大学の協力を得ながら、マスターメーター法技術を確立し、水素ステーションでのディスプレイ評価に着手した	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
8(仮)	4	3	-

## 課題番号：Ⅱ－③

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

### 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

#### 1. 研究開発概要

水素供給インフラの先行整備に当たり FCV ユーザーに対する水素販売が視野に入り、公平・公正な水素販売取引を担保するため、水素流量計量の適切な管理が必要である。現在水素ステーションで用いられている流量計はコリオリ式が主流であり、過去の NEDO 事業において流量計器差精度として $\pm 1\%$ 程度の結果が得られているが、水素ステーションの充填圧力の上昇や、近年 SAE 国際規格で定められた充填プロトコル（充填手順）に準拠した結果ではない上、水素ディスペンサーシステム固有の水素脱圧時のロス分などが考慮された器差精度は計測された実例はない。また近年、計量分野においては器差精度評価ではなく不確かさ評価に移行している。不確かさ評価によってトレーサビリティが担保されるので、国際的な商取引の整合性が確保できる。

将来の FCV および水素供給インフラの普及開始及び拡大に備え、水素計量方法や水素ディスペンサーの評価方法の基準化・規格化を段階的に進め取引計量器化（計量法第 2 条に定める特定計量器化）に備える必要がある。

従って、本研究では、トレーサビリティを確保した水素計量をシステムとして確立するため、高圧水素計量技術の開発と技術検証を行う。

具体的には、2015 年からの FCV 及び水素ステーション普及開始への対応及び普及開始後の消費者への水素販売を実現するために、トレーサビリティが確立されている重量法試験装置開発と検証方法の基準化に取り組む。並行して国立研究開発法人産業技術総合研究所の有する気体流量国家標準にトレーサブルなマスターメーター法による校正設備の構築及び臨界ノズルの最適化を行い、開発した重量法・マスターメーター法による評価・検証方法について、各水素ステーションにて確実に遂行されるよう、水素計量ガイドラインを策定し、業界団体等へ提言を行う。

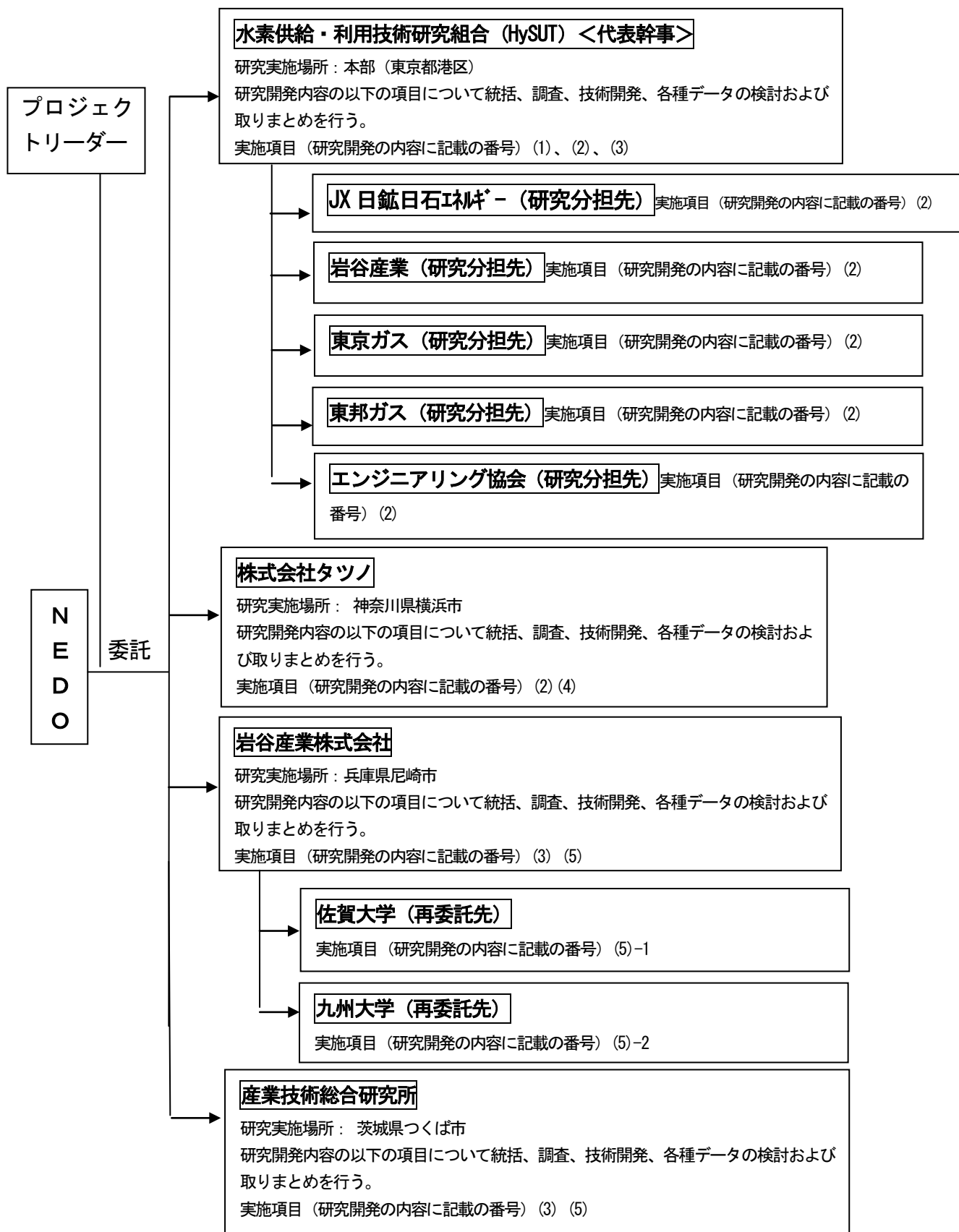
本研究開発は、水素供給・利用技術研究組合（HySUT）、株式会社タツノ（以下 タツノ）、岩谷産業株式会社（以下 岩谷産業）、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下 産総研）が協力し、更に国立大学法人佐賀大学（以下 佐賀大）および国立大学法人九州大学（以下 九大）を再委託先として、以下に示す研究テーマの取り組みを実施するものである。

以下に、研究開発内容テーマを記す（カッコ内は担当社）。

- (1) 重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定（HySUT）
- (2) 重量法による評価方法の確立（タツノ、HySUT、JX 日鉱日石エネルギー、ENAA、岩谷産業、東京ガス、東邦ガス）
- (3) マスターメーター法による評価方法の確立（岩谷産業、産総研）
- (4) 代替流体による校正方法（出荷前検査）の検証、基準化（タツノ）
- (5) 高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析（岩谷産業、産総研）（再委託先：佐賀大、九大）
  - (5)-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明（担当：国立大学法人佐賀大学）
  - (5)-2 高圧水素物性の解明（担当：国立大学法人九州大学）

図1に本事業の研究体制を示す。

なお、図中の番号(1)～(5)は上記の役割分担に相当する。



委託期間：平成25年5月1日から平成28年3月21日まで

図1 研究体制スキーム

## 2. 研究開発目標

### (1)重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定 (HySUT)

HySUT 内に「水素計量基準検討会」を設置し、重量法、マスターメーター法それぞれの実施者よりの成果報告を基に、運営中の水素ステーションの水素計量器の検定周期等を踏まえ、水素計量ガイドラインを策定する。また、水素計量上の誤差となる水素ステーションの脱圧ロス量を把握し、試算値との比較・検証を行い、水素計量ガイドラインの計量試験方法等に反映させる。

### (2)重量法による評価方法の確立 (タツノ、HySUT、JX 日鉱日石エネルギー、ENAA、岩谷産業、東京ガス、東邦ガス)

重量 (質量) 測定のトレーサビリティは既に確立しており、トレーサビリティの観点からは速やかに実施することが可能である。しかしながら、70MPa 級と高圧化して重量増加した試験容器への水素充填においては、充填する水素の重量比率が小さいこと、更に屋外測定のため風等の影響、また高圧ガス保安法など法的規制への適合等の問題があり、いかに高い検証精度を得られるかが課題である。

2015 年の燃料電池自動車普及開始に間に合わせるために、水素ステーションでの充填比較に適した試験容器及び秤量器を設計・製作し、水素ステーションでの検証試験を実施し、水素計量ガイドラインに必要なデータを収集して、利用可能な形で提示する。

### (3)マスターメーター法による評価方法の確立 (岩谷産業、産総研)

マスターメーターは水素の流量を計測することにより水素の充填量を算出する為、水素流量のトレーサビリティを確保する必要がある。しかしながら現状設備では低圧・小流量域のみであり、水素ステーションにて利用される様な高圧・大流量域まで範囲を拡大する必要がある。

産総研が所有する国家標準にて臨界ノズル式標準流量計から系統付けされた標準流量計でマスターメーターを校正することで、トレーサブルなマスターメーターを得る。このマスターメーターを水素ステーションに持込み、各ステーションの流量計の検査を実施し、水素計量ガイドラインに必要なデータを収集して、利用可能な形で提示する。

### (4)代替流体による校正方法 (出荷前検査) の検証、基準化 (タツノ) (参考:平成 29 年度の最終目標)

メーカーによる水素流量計及び水素ディスペンサーの製造において、出荷時に計量精度の検査確認が必要である。このとき、全ての流量計、ディスペンサーについて水素ガスでの試験を義務付けることは、安全上から大掛かりな設備と工数時間が掛かり、多大なコストが必要となる。このコストは水素ステーションの建設費、運営費に反映され、燃料電池自動車の普及を妨げることが懸念されるため、メーカーに於いて代替流体による校正検査を行なえるようにすることが必要である。

代替流体を用いた校正方法については、精度に影響することが考えられるため、検査装置や検査方法についてガイドライン化することが必要である。このガイドライン策定のためには、流量計や計量器への各影響因子についてデータを取り評価する必要がある。メーカーに於いて、代替流体による検査装置、検査方法手順について条件を変えて実施し、本研究の中で製作した重量法計量精度評価装置と、マスターメーター法の校正装置、および校正装置で校正した流量計とを比較検証を行い、水素計量ガイドライン策定に利用可能な形でデータを提示する。

### (5)高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析 (岩谷産業、産総研) (再

委託先：佐賀大、九大)

(5)-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明 (担当：国立大学法人佐賀大学)

水素の高圧(高レイノルズ数)領域における流出係数がノズル上流のよどみ点状態の圧力の増加とともに減少することが実験的に示されている。しかしながら、この原因については明らかにされていない。本プロジェクトは、実在気体効果を考慮した CFD 解析を行い、流出係数に及ぼす状態方程式や乱流モデルの影響を音速も含めて精査するとともに、ノズル形状の影響や質量流量と背圧の関係等の関係を明らかにする。また、他のガス種(窒素、ヘリウム)の広範囲圧力領域での流出係数と、水素の場合の流出係数との比較を行い、予測精度に及ぼすガス種等の影響を推定し、不確かさの低減を行う。さらに、臨界背圧比以下の領域において、流動場(水素、窒素、ヘリウム)に及ぼすノズル上流側よどみ点での圧力および質量流量等の効果を調査し、流出係数の予測精度の向上を目指す。これらの結果を踏まえて、臨界ノズル内の高圧水素特性の解明による最適化と不確かさ低減化を目指す。

(5)-2 高圧水素物性の解明 (担当：国立大学法人九州大学)

高圧領域の物性及び動的挙動を解明し、その音速挙動等を正確に反映させることにより、高圧領域での直接校正が可能となり、不確かさが1%台に改善される可能性が期待される。九州大学において100 MPa 高圧水素供給設備を用いて、高圧水素の物性データベースを提供してきた実績があり、本プロジェクトでは音速推定の観点から、さらに詳細な物性データ取得を行い、佐賀大学においてその動的挙動を CFD(Computational Fluid Dynamics：数値流体力学)にて解析することにより、高圧領域の音速を正確に推定することが可能であると期待される。さらに、CFD により推定された物理量をマスターメーター校正装置において比較・検証することにより、不確かさ1%台の実現を目指す。

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

(1)重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定 (HySUT)

水素計量誤差に繋がる脱圧ロス量を水素ステーション(3ヶ所)で把握し、水素計量器だけでなく、ディスプレイ部も考慮した水素計量システムを対象とした水素計量ガイドラインを水素計量基準検討会での議論や広くインフラ業界メンバーの意見を踏まえて、2014年9月に完成させた。その上で、業界団体に提言、採用され、商用水素ステーションにて広く利用されている。さらに、経済産業省で主導している「自動車用水素燃料メーター」のJIS化について、2015年度に設置されたJIS原案作成委員会に、当該事業での成果である水素計量ガイドラインを開示するとともに、委員として事業の技術成果及び調査結果を情報提供するなど、当初計画を大きく上回る達成度と波及効果を得られていると考えている。

(2)重量法による評価方法の確立(タツノ、HySUT、JX日鉱日石エネルギー、ENAA、岩谷産業、東京ガス、東邦ガス)

(2)-1 水素計量における重量法(衡量法)における質量計測

水素は最も密度の低いガスであるため、エネルギー密度を高めて車両充填するためには超高压にする必要がある。水素を扱う超高压の容器は水素脆性などの材料的な問題もあり、重量が非常に重くなる。計量する場合は軽い水素を重たい容器に詰めて計量する必要があるため、重量物を計れる超高精度な水素防爆ハカリが必要であり、メーカーの協力により市販されていない特殊ハカリを製作供給いただいた。このハカリの能力は400 kgの総重量に対して、±1 gの精度を水素防爆下で得られるものである。質量を測定し証明するには特定計量器

が必要であるが、特定計量器は重力加速度が設定されており、基本的に移動ができないし、水素を測定できる該当する特定計量器は存在しない。本事業で行う質量計測は、水素ステーション初認設置されているディスペンサーの計量精度を確認する装置及び運用管理技術が対象であるので、移動が前提で質量を測定する際に、重力加速度、空気密度などの影響を考慮する必要があるため、現地にてハカリをトレーサビリティの確保された標準おもりを用いて JIS による方法で校正し用いることとした。

## (2)-2 計量装置における測定環境対応と安全対応

屋外にて計量を実施するため、温度、湿度、気圧、振動、風、雨、など多くの外乱が影響する。このため外乱を排除するために、特殊なケースに収め、外乱を防ぐ工夫を施した。このような工夫により振動の伝搬を防ぎ、雨風を防ぎ温度湿度の影響を最小限にすることが出来た。

使用するタンクは、ハカリの能力の制約があり、鋼製のタンクではなく、重量が最小限となる軽量のに車両用容器を用いる必要があった。 高圧ガス保安法上で7条3ステーションにおいて充填の対象は車輛であることから、検査充填を行うため、車両に固定した容器以外の高圧ガス容器に、「充填」、「品質」、そして「計量」の3検査において検査充填をすることができることを、保安室に照会いただいた上で、装置を製作、各種申請を行った。 装置には、ガス検知器などの安全管理機器や覆いを設け、充填上安全な状態を保つため常時監視をして行うものであり、充填状態では移動は行わず、計量検査充填終了後は速やかにかつ安全に、大気圧近くの低圧に脱圧を行う。 このような諸条件を勘案した装置とその運用が決められ、計量充填が可能となった。これらの条件はマスターメーター法にも通じる部分が多々あり、開発した装置技術、運用技術は今回だけでなく、今後も役立つものとする。

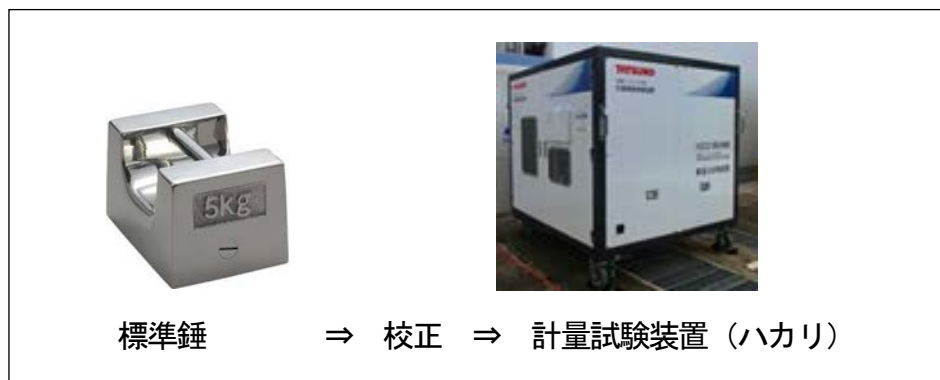


図2 重量法におけるトレーサビリティ

## (2)-3 基礎試験

装置の健全性、安全性を確認することは、非常に厄介な問題で、試験の可能な機関が非常に限られる状況であるが、HyTREC が立ち上がったので可能になった。HyTREC において、水素の実使用状態での充填試験を実施し装置自体の健全性を確認した。試験内容としては ①気密、耐圧試験 ②安全装置の作動、監視状況の確認 ③装置の機能確認 ④ハカリの能力（使用モード、10g、1g、0.1g の確認、校正確認）⑤外乱（温度、湿度、気圧、風、振動など）の影響の確認 があげられる。 これらにより、装置の改良点を明確にし、主に運用面での改造を数回にわたり実施し、安全に効率よく、確実な計量試験が可能になった。

## (2)-4 重量法の実証試験

HySUT ステーションの千住 ST、海老名 ST、とよたコフル ST において、計量充填の実証試験を実施し、季節も含めて影響すると考えられる各種充填条件で試験を行い、計量への影響因子の分析を行った。



影響因子としては ①脱圧ロス量 ②計量システムの構成 ③充填ディスペンサー能力制御仕様（プレクール温度、昇圧率制御等）④外乱（温度変化、湿度変化、気圧変化、風、振動、他）⑤繰り返し性 ⑥人的要因 など多岐にわたる。実証実験の結果に基づき、水素計量ガイドライン策定に向けた必要なデータ提供を行った。

当初より脱圧ロス量の影響が大きいと考えられ、それがこの実証試験で確認されたのは大きな成果である。また脱圧ロス量は早期に大きく改善できる部分だということも分かった。本プロジェクトの実証試験結果と策定した計量ガイドラインの情報は NEDO の成果報告などを通じて、運用社やメーカーの知るところとなり、立ち上げ最中であった商用ステーションにおいても、脱圧ロス量の改善がなされたと聞いており、すべての商用ステーションで 25g 以下に抑えられるに至ったのは、水素計量において非常に大きな成果である。

#### (2)-5 データの収集確認

水素 ST のシステム構成は、設置場所、設置時期、エンジニアリングメーカ、計量機メーカ、使用機器などにより大きく異なっているのが実情であり、その影響を反映してしまう。また、水素 ST での水素計量充填試験は、(2)-2 の状況から日に数回が限度であるため、実証試験でのデータだけでは内容が非常に限られており、実態の把握に至らない。そこで、商用ステーションとしてオープンする各水素 ST の計量精度について、開発した同計量試験装置を使用して試験を行っていただき、データの提供を受けて分析を行った。その結果、H27 年度オープンした水素 ST の脱圧ロス量は 25g 以下に抑えられ、脱圧ロス量の補正を行った場合、数 g 程度にバラツキは抑制されている。残るバラツキは充填制御などの影響とみられる。これらにより、重量法の試験方法と運用に関して、目的を達成できたことが実証されたと考える。また、この中で装置自体の改良点もいくつか見つかっており、順次改良している。まだまだ、データ数量は少なく解明できてないバラツキが残っている。JIS 化の計画の中で精度のさらなる向上が必要とされており、このためにも残年度にも研究を継続し、計量精度の精度向上と、82.5MPa 対応など、環境の変化対応に寄与したいと考えている。

### (3) マスターメーター法による評価方法の確立（岩谷産業、産総研）

#### (3)-1 トレーサビリティ体系の構築と基準流量計の選定

マスターメーター法はトレーサビリティが確保された流量計（マスターメーター）を用いて、ディスペンサーの充填量を評価する方法である。流量計のトレーサビリティの区分は「流量」として区分されており、水素ステーションにおける水素の充填量の評価を実施する事から、水素ガスを用いて、マスターメーターは値付けをされている必要がある。

マスターメーターの使用範囲は水素ステーションで使用されている条件と同等の条件（最大流量 3.6kg/min、最大圧力 87.5MPa、最低温度 -40℃）にて、値付けを行う必要がある。日本における流量の国家標準は産総研が所有する気体流量標準であり、そこで値付けされた臨界ノズルが供給されている。産総研が供給する最大流量は 0.1kg/min (@700kPa\_abs) である事から、計測流量を 0.1kg/min から 3.6kg/min までおよび最大圧力を 700kPa\_abs から 87.5MPa まで拡張する必要がある。しかしながら、拡張の方法、基準流量計、流量校正設備などがこれまで検討されていない事や設備がない事から、これまでは水素流量計においてトレーサビリティの確保されたものは低圧小流量に限られていた。

産総研が所有する気体流量標準を 1 次基準、ディスペンサーを評価する流量計を 3 次基準とし、その間を結ぶ流量計を 2 次基準とした（図 3-1）。2 次基準流量計は海外の標準機関でも標準流量計として利用されている臨界ノズル式の流量計とした。3 次基準流量計はステーション等で利用されているコリオリ式の流量計を選定した（2 次基準流量計にて値付けされる事によりトレーサビリティが確保され、マスターメーターとなる）。

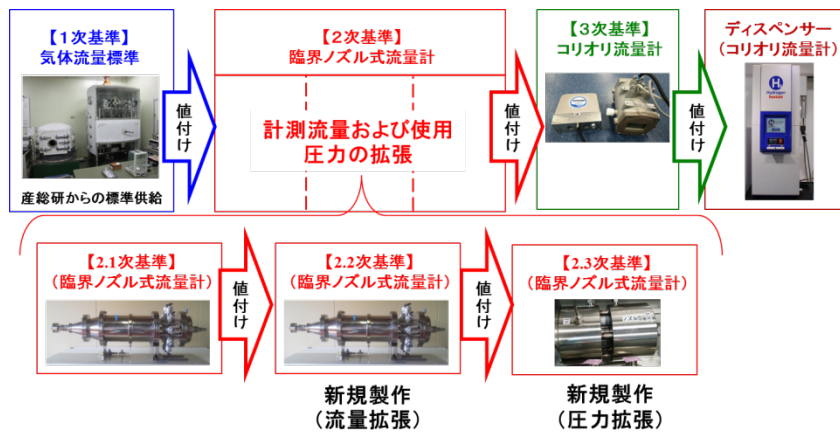


図 3-1 トレーサビリティ体系と基準流量計

2次標準流量計は仕様の異なる3台の流量計を用いる事で、流量の拡張および圧力の拡張を行った。産総研にて供給されたノズル（最大計測流量 0.1kg/min）を10本まとめて使用することが可能な流量計を2.1次基準流量計（マルチノズル式臨界ノズル流量計）とする（これまで岩谷産業では本流量計を用いて、流量計に関する研究開発を実施してきた。）。これにより最大計測流量を0.1kg/minから1.0kg/minまで拡張される。さらなる流量の拡張として、最大計測流量 0.36kg/minとなる臨界ノズルを10本まとめて使用する事が可能な流量計を2.2次基準流量計（マルチノズル式臨界ノズル流量計）とする。それぞれのノズルは2.1次基準流量計を用いて値付けを行う事で、トレーサビリティの確保を行う。これにより、最大計測流量を1.0kg/minから3.6kg/minまで拡張される。2.2次基準流量計は流量拡張を主目的とした事から最大使用圧力を0.9MPaとした。使用圧力の拡張として、最大使用圧力 87.5MPaとなる臨界ノズル式流量計を2.3次基準流量計とする。2.3次基準流量計は2.2次基準流量計にて値付けを行う事でトレーサビリティの確保を行う。2.3次基準流量計に供給される水素ガスは最大87.5MPaであるが、2.3次基準流量計を通過後に2.2次基準流量計の使用圧力まで減圧させ供給する事により、評価試験は可能となる。2.3次基準流量計を用いて、3次基準流量計にあたるコリオリ式流量計の値付けを行う事で、コリオリ式流量計はマスターメーターとして使用する事が可能となる。

表 3-1 2次基準流量計の仕様

	2.1次基準	2.2次基準	2.3次基準
種類	マルチノズル型 臨界ノズル式流量計 最大ノズル本数 10本	マルチノズル型 臨界ノズル式流量計 最大ノズル本数 10本	シングルノズル型 臨界ノズル式流量計
計測流量範囲	0.05-1.0kg/min	0.15-3.6kg/min	0.5-3.6kg/min
最大使用圧力	700kPa_abs	0.9MPa	87.5MPa
上位基準流量計	1次基準	2.1次基準	2.2次基準
その他	既存流量計 (国内唯一)	新規製作 (世界初)	新規製作 (世界初)

### (3)-2 基準流量計の評価試験（値付け）

各基準流量計の評価試験は試験設備より供給された水素ガスを減圧弁にて試験圧力にて調整を行い、評価対象となる基準流量計に供給される。評価対象となる基準流量計通過後は上位基準流量計へ供給され、使用した水素は必要に応じて大気放出する。

2.2 次基準流量計の製作を行い、各ノズルの値付けを岩谷瓦斯株が所有する 35MPa 流量計評価試験設備および日本自動車研究所 (JARI) にて試験を実施した。これにより、世界初となる水素にて値付けされた最大流量 3.6kg/min を計測する事が可能な流量計である。

同様に 2.3 次基準流量計の製作を行い、各ノズルの値付けを公益財団法人水素エネルギー製品研究試験センター (HyTReC) および JARI にて試験を実施した。これにより、世界初となる水素にて値付けされた最大流量 3.6kg/min を計測する事および最大圧力 87.5MPa で使用する事が可能な流量計である。

3 次基準流量計は水素ステーションにて使用する事が可能であるコリオリ式流量計とし、値付けには 2.3 次基準流量計を用いて行い、HyTReC および JARI にて評価試験を実施した。これにより、世界で初めて高圧大流量領域におけるトレーサビリティが確保された流量計 (マスターメーター) となった。

これらの試験が可能であり、各基準流量計の値付けが可能である事が試験により証明された事により国内における水素を用いた高圧大流量域までの「流量」におけるトレーサビリティ体系は確立される。本テーマについては計画通りに進捗しており、平成 28 年 2 月に目標達成の見込みである。

### (3)-3 商用水素ステーションにおけるディスペンサー評価

マスターメーターを用いてディスペンサーの評価試験を商用水素ステーションにて実施した。

### (4) 代替流体による校正方法 (出荷前検査) の検証、基準化 (タツノ) (参考: 平成 29 年度の最終目標)

水素は高圧ガスで危険物である、安全に取り扱う作業と、設備や人的な要素運用などで非常な制約が受け、機器の製造上、管理上、運用上の重い負担となっている。これを打開する手法に代替流体試験がある。水素を使わずとも安全性、健全性、そして機能、能力、性能を確認できるのが望ましい。装置機器は窒素やヘリウムにより高圧ガスによる試験が可能である。流量計であるコリオリメータは質量流量計であるので水による代替が可能であると考えられる。しかしながら、水で校正したコリオリ流量計が、実際の使用状態の水素で計量精度を確認した事例はないため確証が無い状況で、代替流体試験での性能確認の可否が問われている。本事業では、代替流体相互で試験を行い、水素においては実使用状態・条件でコリオリ流量計の計量充填を行って、流体代替確認を得るのが目的である。本年度は、千住 ST において計量装置とディスペンサー間にコリオリ流量計を設置、実充填して代替流体との比較検証を行う。次年度以降は、測定範囲を拡大するとともに、代替流体側の検証も行う予定で、最終年度達成を目指す。

### (5) 高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析 (岩谷産業、産総研) (再委託先: 佐賀大、九大)

#### (5)-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明 (担当: 国立大学法人佐賀大学)

2 次基準流量計として選定した臨界ノズル式流量計はこれまで低圧力では多くガス種にてその特性を評価されてきたが、高圧水素における特性についてはほとんどされていない。高圧領域に対応したノズルの製作および評価を行う場合には多く時間と費用がかかることから、CFD によりノズルの形状が流量計測に与える影響について評価を行った。

CFD による評価を行うにあたり、高圧域における状態方程式および乱流モデルの選定を行う必要がある為、高圧領域における過去の実験結果と各モデルの計算結果を比較した。その結果、状態方程式では、R-K 式および九州大学が提案している状態方程式が実験結果と良く一致した。乱流モデルについては  $k-\omega$  モデルが実験結果と良く一致する結果となった。これらのモデルを用いて、ノズル形状の特性について評価を行った。

ノズル形状のパラメーターとして、ノズル径 (D)、ノズルの局率半径 (r)、ディフューザーの角度 ( $\theta$ )、

ディフューザーの長さ (L) を選定した。また、ノズルの特性を示す指標として流出係数 (Cd) および臨界背圧比 (Pd/Pu\_cri) にて評価を行った。

ノズル部でのガスの流れは無次元数であるレイノルズ数にて表される事から、低圧力領域では、ノズル径の影響は無いことが知られていたが、高圧力の領域ではノズル径異なると同じレイノルズ数であっても流出係数に差が出る結果となった。

ノズルの局率半径の影響について評価した結果、局率半径が大きくなるにつれ流出係数は大きくなり、ある値 (r=2D 程度) で一定になる結果となった。

ディフューザーの角度について評価した結果、角度が大きくなるにつれ流出係数は大きくなり、ある値 ( $\theta=3^\circ$  程度) で一定になる。結果となった。

ディフューザー長さについて評価した結果、流出係数には大きな影響は無い結果となった。臨界背圧比は長い方が臨界背圧比は高い値 (Pd/Pu\_cri = 0.95 程度) を示す結果となった。これらの結果により、ノズルの形状特性を考慮した臨界ノズルの提案を行う事が可能となった。

表 3-2 ノズル形状がノズル特性に与える影響

	ノズル径 (D)	局率半径 (r)	ディフューザー角 ( $\theta$ )	ディフューザー長 (L)
流出係数 (Cd)	影響有り	影響有り	影響有り	影響なし
臨界背圧比 (Pd/Pu_cri)	—	—	—	影響有り

— : 評価未実施

### (5)-2 高圧水素物性の解明 (担当 : 国立大学法人九州大学)

CFD による解析を行う上で水素ガス物性値は極めて重要であるが、高圧力の領域においては全ての物性が計測されてはおらず、状態方程式を元に算出されている事が多い。ノズルにおける CFD 計算において水素の音速は低圧力の領域のみ計測されている為、高圧域 (最大 15MPa) での計測を実施した。試験装置は内部に所定圧力の水素を充填した後、外部に設置してあるスピーカーより信号を入力し、マイクにて信号の計測を行う。得られた信号周波数より、高圧領域での水素の音速について算出を行う。

これにより、音速の実測データに基づいた物性データベースの提案を行う事が可能となった。

## 3. 2 成果の意義

①当事業の成果である、計量システムが備えるべき性能要件や公正な計量方法の規定を、さらには性能要件を検定できる重量法試験装置についても 2014 年 12 月の F C V 商用化時期に遅れることなく提供できたことにより、全ての商用水素ステーションの開所に貢献することができる等、成果を目に見える形で社会へ反映した。

②現在審議中の水素ディスプレイに関する J I S (仮称) 原案の早期策定のため、水素計量ガイドラインや検証結果等の情報提供を行うなど、当該事業成果は業界を超えた形で活用されている。

③マスターメーター法については高精度で簡便な水素計量法として期待されており、将来的には短時間での計量校正とコストダウンに繋がる技術開発として意義がある。

④諸外国でも同様の重量法試験装置を開発し、試験を行っているが、各影響因子への対応について、最も進歩的な技術を確立し、世界最高レベル装置の計測精度 ( $\pm 1.5g : 1/400000$ ) を得ることができた。

⑤2014 年末の F C V 販売開始に先立ち、水素計量試験への環境影響を低減できる測定システムを構築し、これ

までは入手できなかった試験容器及び特殊で高精度な水素防爆のはかりを製作・搭載した日本初の「基準器」装置を研究開発し、完成させ、特許出願を行った。

⑥従来試験が出来なかった一般高圧ガス保安規則7条の3の水素ステーションでの試験について、法令照会などで一年余りを要したが、各方面の協力を得て法的対応がなされた（充填、計量、品質共通）。

これまでの成果をもとに日本が取り組んでいる計量基準化（ガイドライン）や試験装置の技術レベルのベンチマークとして、米国政府（エネルギー省及びその管轄の再生可能エネルギー研究所）やカリフォルニア州政府、米国国立標準技術研究所（NIST）などと技術情報交換会議を実施し、その位置づけを確認するとともに将来の国際規格化を考えた際の協調の方策についても検討できたことは大きな意義があったと考えている。今後も欧米の関係機関と密に情報交換を行うことにより、技術開発の方向性や基準化の方針などについて参考にしていくこと、さらに発展させて日本が取り組んでいる計量基準（ガイドライン）を国際規格に主導にしていく端緒を作り、水素計量機器メーカーのグローバル進出の足掛かりを作れるものと考えている。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

代替流体法においても重量法同様、試験装置製作と技術検証実施者と密接な連携を図ることにより計画通りガイドラインの策定できることは可能と考えている。代替流体法の課題としては実証確認であるが、理論的には可能と考えられており、技術的にも十分解決できると考えられる。

マスターメーター法による評価方法の確立については、検討したトレーサビリティ体系をもとに基準流量計の評価を行っている。3次基準となるコリオリ流量計の評価についても評価試験を実施しており、H28年2月に評価完了予定である。評価試験設備/基準流量計/校正手法の最適化を行い、不確かさを小さくする手法を実現する事により目標達成が可能である。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4. 1 重量法における課題、事業化までのシナリオ

JPECS0003(2014)とGTR容器により82.5MPa充填が実現可能となる。しかしながら、検査充填においては法整備など周辺整備が追い付かず、実現困難な状況で、82.5MPa普及の障害になる可能性がある。また、計量精度については、ガソリンで0.5%に対して水素では10%であり、精度向上が望まれるが、研究途上である。現時点では計量ガイドラインに則り、水素ステーションの計量精度を確認する事業が無いので水素STの普及のため、本プロジェクトの開発した計量検査・運用手法を活用し、また、さらなる開発を進展させ、計量検査事業の立ち上げ、継続する必要がある。それを成立させるのが業界の責務であると考えている。

### 4. 2 マスターメーター法における課題、事業化までのシナリオ

70MPaでの商用ステーションにおけるマスターメーター法による評価試験を基に、82.5MPaに対応した評価装置の製作/評価に実施する。

基準流量計および試験設備の不確かさ低減に向けた改良等を行い、これらの能力の維持管理を行う為のビジネスモデルについて検討を行う。また、マスターメーターを用いた商用ステーションにおけるディスプレイの計量評価におけるビジネスモデルについても検討を行う。

### 4. 3 代替流体法における課題、事業化までのシナリオ

代替流体法はプロジェクトで有効性と確からしさが確認されれば可能となり、メーカーやエンジニアリングにと

って、有効で、設備や維持、管理、製造コストに影響し、企業として大きな利用価値があるものとなる。

計量ガイドラインは上記の事業を支える基準であり、計量検査試験方法を規定する基準として適宜改訂しつつ、計量検査事業者の継続的な事業を下支えする形で貢献していくことになると考えられる。

## 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013. 5. 24-26	1 <sup>st</sup> International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Mr. Tetsuji Nakamura
2	2014. 3. 13	European Hydrogen Energy Conference	Hydrogen Thermophysical Properties Database Compiling a New Equation of State and Correlations Based on the Latest Experimental Data at High Temperatures and High Pressures	迫田直也 (九州大)
3	2014. 5. 8-9	2 <sup>nd</sup> International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Mr. Tetsuji Nakamura
4	2014. 10. 25	日本機械学会 流体工学部門講演会	水素用臨界ノズル式流量計特性に関する EFD/CFD 研究	森岡敏博 (産総研)
5	2014. 11. 8	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2014	高圧水素の熱物性計測・水素インフラの普及に向けた研究の取組み	迫田直也 (九州大)
6	2015. 6. 24-25	3 <sup>rd</sup> International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Mr. Tetsuji Nakamura
7	2015. 7. 13-16	The International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows	Numerical Study on Low Reynolds Number Flows in Critical Nozzles	松尾繁 (佐賀大)

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2015.09 予定		仮) 乾燥ガスを用いて結露防止を実現	株式会社タツノ
2	2015.09 予定		仮) 計量精度の向上のため、露点の範囲	株式会社タツノ
3	2015.09 予定		仮) 2重構造による効率よく安全に計量する工夫	株式会社タツノ
4	2015.09 予定		仮) 半密閉構造、空気密度の補正方法	株式会社タツノ
5	2015.09 予定	特願 2015- (未定)	仮) 流量計の校正方法	岩谷産業株式会社
6	2015.09 予定	特願 2015- (未定)	仮) 校正されたコリオリ流量計	岩谷産業株式会社
7	2015.09 予定	特願 2015- (未定)	仮) ガス供給設備	岩谷産業株式会社
8	2015.09 予定	特願 2015- (未定)	仮) 評価装置	岩谷産業株式会社

以上



# (Ⅲ-①-(1)) 「水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／水素ステーション高度安全・安心技術開発」

委託先：水素供給・利用技術研究組合

## ●成果カリ（実施期間：平成26年度～平成27年度終了(または予定)）

- ・水素ステーションの事故・トラブル事例、対策を収集した水素ステーションセーフティデータベースを構築し、運営者が検索・活用できる仕組みを完成。
- ・FCVを使った成田、大阪水素ステーションでの模擬訓練を通じて、水素ステーション運営者が共通で使用できる「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」を完成予定。
- ・次世代水素ステーションに必要な技術開発項目を検討・抽出し、開発テーマ候補として報告済み。
- ・水素エネルギーに関する一般向けのポータルサイトである「水素エネルギーナビ」を開発し、またFC EXPOでHYSUTブース出展やプレゼンを行い、社会受容性の向上を促進。

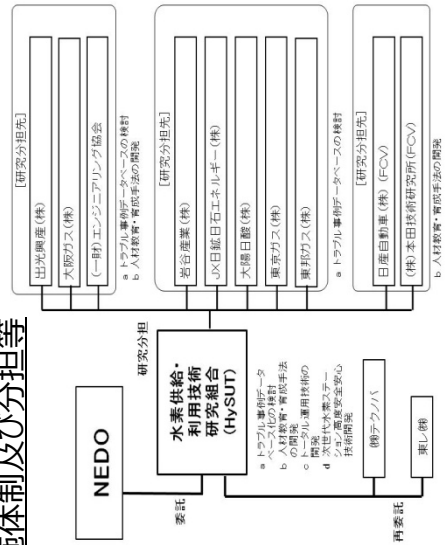
## ●背景/研究内容・目的

- ・2015年の普及開始初期に向けて、一般ユーザーに安定したサービスの提供を可能とするための運用技術の開発を実施する。
- ・2025年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。

## ●研究目標

実施項目	目標
セーフティデータベース	国内外事例も参考に完成
人材教育・育成手法の開発	教育マニュアル、指針(案)完成
次世代水素S T技術開発	必要な技術開発項目の抽出
社会受容性の向上	ポータルサイト開設や展示会出展

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- ・国内外の事例も参考に水素ステーションの事故・トラブル事例、対策を収集した水素ステーションセーフティデータベースを構築し、運営者が検索・活用できる仕組みを完成した。また商用水素ステーションのデータも取り込み・展開できる仕組みを構築した。
- ・FCVを使った成田、大阪水素ステーションでの模擬訓練を通じて、水素ステーション運営者が共通で使用できる「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」を作成し、平成27年度内に完成の予定である。
- ・次世代水素ステーションに必要な技術開発項目を検討し、フォアキャスト方式で28件、バックキャスト方式で19件を抽出して、開発テーマ候補として報告を完了した。
- ・日本で初となる、水素エネルギーに関する一般向けのポータルサイトである「水素エネルギーナビ」を開設し(テックバへの再委託事業)、またFC EXPOでHYSUTブース出展や国内外でプレゼンを行い、社会受容性の向上を図った。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
セーフティデータベース	セーフティデータベース構築・完成	○
人材教育・育成手法の開発	教育設備・訓練内容指針(案)完成予定	○
次世代水素S T技術開発	必要な技術開発項目の抽出・報告	○
社会受容性の向上	ポータルサイト開設、展示会出展、国内外プレゼン実施	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	5	0

## 課題番号：Ⅲ-①-(1)

水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究

### 水素ステーション高度安全・安心技術開発

#### 1. 研究開発概要

本研究開発は、水素ステーションにおける安全・安心を目指し、水素ステーションのトラブル事例データベースの構築および水素ステーショントレーニングセンター構想案（教育マニュアルの作成を含む）の検討を進めるとともに、一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を検討するものである。水素供給・利用技術研究組合（HySUT）は、以下に示すテーマの取り組みを実施する。

##### (1) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始期に向けた水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。更に業界自主基準の制定に向けたガイドライン案を策定する。

- a. トラブル事例データベース化の検討（HySUT、出光興産、大阪ガス、（一財）エンジニアリング協会、岩谷産業、JX日鉱日石エネルギー、大陽日酸、東京ガス、東邦ガス）
- b. 人材教育・育成手法の開発（HySUT、出光興産、大阪ガス、（一財）エンジニアリング協会、日産自動車、本田技術研究所）
- c. トータル運用技術の開発（HySUT）

##### (2) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施する。

- d. 次世代水素ステーション高度安全安心技術開発（HySUT）

これらの研究実施体制は図1のとおりである。

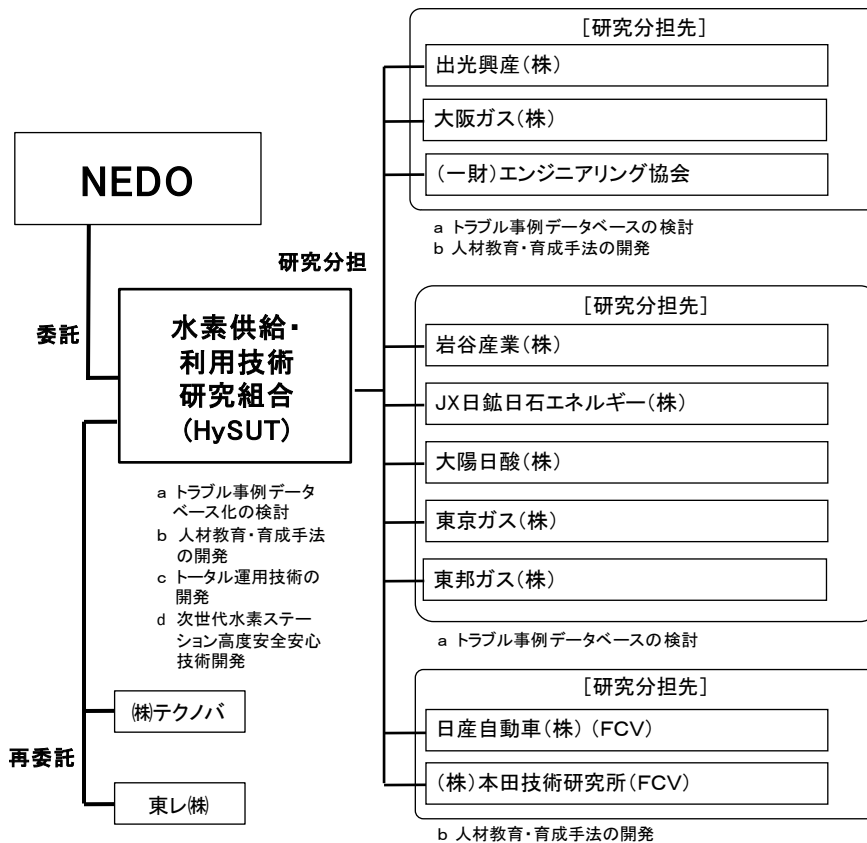


図1 研究実施体制

委託期間：平成26年6月11日から平成28年3月21日まで

本研究開発の委託先はHySUTであり、再委託先としてテクノバが水素ステーション高度安全運用技術の開発、次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発（平成26～27年度）を、さらに東レ（平成27年度）が、電気化学式水素ポンプの調査研究を、それぞれ実施する。

## 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

燃料電池自動車（以下、FCV）と水素供給インフラは、エネルギー源のベストミックスやCO<sub>2</sub>排出量削減の有効策として、「エネルギー基本計画（2014年閣議決定）」および「Cool Earth - エネルギー革新技术計画（2008年経済産業省策定）」における重要技術と位置付けられている。

これまで我が国では「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)」(平成14～17年度)、「燃料電池システム等実証研究(JHFC2)」(平成18～22年度)、及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(平成23～25年度)においてFCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めてきた。

加えて2015年からのFCVの量産開始と水素供給インフラの先行整備を目指すこととした2011年1月の自動車メーカー及び水素供給事業者13社の共同声明を受け、2013年度から「水素供給設備整備事業費補助金」に係る補助事業がスタートし2015年度までの3年間で100ヶ所の水素ステーションの整備を開始している。

このような背景の下、2015年の普及開始初期に向けて、一般ユーザーに安定したサービスの提供を可能とするための運用技術の開発を実施する。また2025年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を

行う。

(1) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

①事故・トラブル事例データの収集とデータベース化の検討（担当：HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、岩谷産業、JX 日鉱日石エネルギー、大陽日酸、東京ガス、東邦ガス）

FCV と水素ステーションの実証事業として、これまで「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)」(平成 14～17 年度)、「燃料電池システム等実証研究 (JHFC2)」(平成 18～22 年度) 及び HySUT の実施した「地域水素供給インフラ技術・社会実証 (JHFC3)」(平成 23～25 年度) が進められ、実証の水素ステーションで発生した事故・トラブル事例の収集・分析・水平展開を行ってきた。具体的には JHFC1 で 16 件、JHFC2 で 141 件、JHFC3 で 68 件、合計 225 件の事故・トラブル事例を HySUT で蓄積しており、その実績をもとに、今後 HySUT で運用する水素ステーションに関し、平成 26～27 年度も事故・トラブル事例の収集を行い、原因解析・究明と再発防止策の検討および水平展開を実施すると共に必要な技術開発の抽出を行う。必要な項目は次世代水素ステーションの技術開発に反映させる。

また国内・海外の事故・トラブル事例に関するデータベースの現状調査を行い、その調査結果も参考として、データベースの基本設計の検討を行う。その際は、HySUT が行った JHFC3 で確立した水素ステーション集中管理システムの活用も考慮し、基本仕様を検討する。データベースに取り込む項目として想定されるものは、発生日時、設備区分、水素漏洩有無、発生状況、被害・損傷状況、発生要因、措置、対策等である。また運用方法や維持・管理体制についても検討を行い、対象ステーションを HySUT 運用ステーションから先行整備ステーション等にも拡大して検討する。これにより水素ステーション運用会社間での情報の共有化を図る。

(平成 27 年度中間目標)

検討結果を反映したデータベースの製作試行を行い、対象ステーションを HySUT 運用ステーションから運営を開始した先行整備ステーション等にも拡大して検討する。

(平成 29 年度最終目標 (予定))

セーフティデータベースの改良を完了し、商用水素ステーションからのデータも取り込んで展開を実施する。

②人材教育・育成手法の開発検討（担当：HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、日産自動車、本田技術研究所）

水素ステーションの安全・安心の実現には、ステーションの効率的な運用・管理・非常時対応等に必要となる専門的かつ高度な知識・技術を備えた人材を育成することが求められる。そこで、人材育成に必要なコンテンツを抽出し、着実にレベルアップさせるための手法について検討を行う。人材育成の一手法として、実際の水素ステーションをトレーニングセンター化し、OJT により人材育成することも検討する。トレーニングセンターでは、一連の水素ステーション業務である車両の誘導、水素充填、水素ステーション設備の運転、点検、メンテナンスなどを安全に遂行できるように必要な知識、経験の習得の場として有効に機能するために必要な、トレーニングメニュー及び具体的な内容についての検討を行う。また、トレーニングを行うために、トレーニングセンターにどのような設備が必要かについて検討を行う。検討に際しては、ガソリンスタンド、CNG スタンドなど水素ステーションに類似の設備だけでなく、その他の設備などの教育訓練に関する情報を収集し、トレーニングセンターの運用構想案の検討に資する調査を行う。

また上記の講義、実地訓練の内容についての検討を行うために、HySUT が運用している成田水素ステーション (オフサイト)、大阪水素ステーション (オンサイト) や FCV などを活用し、模擬的な講義、訓練等を実施す

る。更に業界自主基準の制定に向けたガイドライン案を策定する。

## ②-1 トレーニングセンター開設運用構想案の検討

(平成 27 年度中間目標)

水素ステーションにおける保安管理項目の抽出と防災訓練の検討を実施する。具体的には、以下の項目について検討する。

### a. 水素ステーションにおける保安管理項目の抽出

水素ステーションの業務の流れに則して保安上、留意すべき点、管理すべき点を抽出し、従業員の教育マニュアルの作成に反映させる。

- ・水素カードルの受入 [オフサイトステーションの場合]
- ・水素製造装置の運転 [オンサイトステーションの場合]
- ・水素の昇圧・蓄圧作業 (水素圧縮機の稼働、蓄圧器への水素受入)
- ・水素の FCV への充填作業 (FCV の誘導、FCV の停止、充填口へのノズル接続、充填開始動作、充填中の動作、充填終了の動作、ノズル取り外し、FCV の誘導)
- ・日常点検、設備維持の業務

### b. 防災訓練の検討

水素漏洩、水素火災、設備不調等の高圧ガス事故時の対応について行動のシナリオを作成し、効果のある防災訓練のしくみを構築する。

- ・不具合・事故のパターン別行動シナリオの策定
- ・通報先、通報ルート of 検討、通報訓練の実施
- ・訓練実施時の課題抽出

上記検討結果を反映し、従業員教育マニュアルを作成する。具体的には、以下の項目について検討する。

### c. 従業員教育マニュアルの作成

上記の保安管理項目の抽出、防災訓練の検討の結果や高圧ガスや一般基礎知識等を織り込んだ従業員用の教育マニュアルを作成し、商用化時の標準マニュアル作成に寄与する検討を行う。

- ・高圧ガスの基礎知識、高圧ガス保安法、危害予防規程
- ・水素ステーションの通常運用方法
- ・機器不具合時の対応
- ・事故事例
- ・日常点検、月例点検
- ・防災訓練、通報訓練
- ・保安検査

(平成 29 年度最終目標 (予定))

水素ステーション教育設備・訓練内容指針 (案) を基にした設備の完成と訓練を実施する。

## ②-2 水素ステーション運用の検討

(平成 27 年度中間目標)

HySUT が運用している成田水素ステーション (オフサイト)、大阪水素ステーション (オンサイト) を活用し、実際に模擬教育を行う。また、水素ステーション及び FCV を活用し、保安に関する課題の抽出を行う。また、この両ステーションは、設備の運用開始から比較的長期間運用しており、メンテナンスに関する課題抽

出も合わせて実施する。

#### a. 模擬教育

策定した教育マニュアルを使用し、模擬受講者に対して実際に教育を行うことで、課題を抽出し、マニュアルのブラッシュアップを図る。また、水素ステーションの設備を使用し、模擬受講者に対して実際に訓練を行うことで、課題を抽出し、実地訓練の内容のブラッシュアップ、必要な教育用設備の検討に反映する。

模擬実地訓練内容としては、次の項目を想定している。

- ・水素カードルの受入、搬出作業（成田水素ステーションのみ）
- ・水素製造装置の運転（大阪水素ステーションのみ）
- ・水素圧縮機の操作（＝蓄圧器への水素充填）
- ・ディスペンサーの操作（＝FCV へのホース着脱、水素充填）

成田水素ステーション、大阪水素ステーションとも 35MPa 充填のステーションであるため、70MPa 充填対応を想定し、模擬の充填ホース及びカップラーの脱着を行う。

プレクーラー装置はないため、代表的なプレクーリングプロセスについての運用方法については講義にて説明する。

- ・ガス漏れ警報器など保安設備の取扱い

#### b. 水素ステーション及びFCVの活用

実際にFCVを使用し、水素ステーションでの充填回数を増やし、教育、訓練や保安に関する課題の抽出に反映させる。充填することが教育や課題の抽出に寄与するため、できるだけこまめに充填し、充填回数を増やす。

- ・成田水素ステーション：FCVの使用と水素充填
- ・大阪水素ステーション：FCVの使用と水素充填

### ③ トータル運用技術の開発（担当：HySUT）

HySUTの実施した「地域水素供給インフラ技術・社会実証（JHFC3）」（平成23～25年度）においては、社会実証の一環として一般を対象にした水素およびFCV、水素ステーションに関する社会受容性調査を3年間実施した。上記①、②に加え社会受容性の調査結果を合わせ、安全・安心という観点から広くステーションの運用技術に展開する。

（平成27年度中間目標）

上記①、②およびJHFC3の活動を活用し、ファーストレスポンスへの対応等（消防等への初期対応のリスト化ほか）を含めた、水素ステーションの効率的なトータル運用手法を開発する。また社会受容性向上に向けた諸活動や調査を必要に応じて実施するとともに、上記データベースや管理手法等の蓄積を活かし、海外のデータベースとの共有化や海外機関との連携を図る。

（平成29年度最終目標（予定））

上記①②を活用した水素ステーションの効率的なトータル運用手法を確立し、また海外関連機関とデータベースや人材育成等に関する国際連携を強化する。

#### （2）次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発（担当：HySUT）

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発

について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施する。また、安心を確保するためには社会受容性の向上が必要と考えられることから、社会受容性向上に資する活動も行う。

#### ① コンセプトの検討

次世代水素ステーション検討分科会でテーマ、スコープ等検討内容の全般検討を行う。高度に安全・安心な次世代水素ステーションのコンセプト策定を目的に、民間の安全経験者（水素に限定しない）、シンクタンクメンバー、及び FCCJ-TF メンバー等から成る次世代水素ステーション検討分科会を組織し検討する。ソフト面、ハード面の双方の検討を行い、アウトプットの明確化と技術開発目標とスケジュールを決定する。

（平成 27 年度中間目標）

次世代水素ステーション検討分科会で、コンセプト検討と具体的な実施案の検討を行う。

（平成 29 年度最終目標（予定））

次世代水素ステーションに必要な技術開発を完遂する。

#### ② 関連開発スコープの検討

次世代水素ステーション検討分科会で検討する。

（平成 27 年度中間目標）

次世代水素ステーション検討分科会でテーマ、スコープ等検討内容の全般検討を行う。有望テーマについては、実施体制・スケジュールを作成し、検討結果から課題抽出を行う。

（平成 29 年度最終目標（予定））

次世代水素ステーションに必要な技術開発を完遂する。

#### ③ 社会受容性の向上活動

次世代水素ステーション検討分科会で検討する。

（平成 27 年度中間目標）

- ・社会受容性を向上させた類似例についての調査と教訓の洗い出し

水素エネルギーの必要性はかなり理解されてきたが、安全性に関する更なる受容性向上、特に身近に水素ステーションが建設されることへの受容性向上が必要である。市民にとって身近である類似例、例えばごみ焼却炉等について社会受容性向上の取り組みを調査し、教訓を洗い出す。

類似例について受容性向上のための取り組みに関する調査・教訓の洗い出しを行い、それを参考にして、水素ステーション運営上の、安全・安心に関する社会受容性向上に向けた活動や他の調査を必要に応じて実施する。

（平成 29 年度最終目標（予定））

水素ステーションの安全・安心に関する社会受容性向上活動を継続し、商用水素ステーションの新規需要創出を図る。

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

（1）水素ステーション高度安全運用技術の開発

① 事故・トラブル事例データの収集とデータベース化の検討（担当：HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニ



アリング協会、岩谷産業、JX 日鉱日石エネルギー、大陽日酸、東京ガス、東邦ガス)

a. 事故・トラブル事例データの収集

新たに 16 件の事故・トラブル事例データを収集し、セーフティーデータベース検討会（平成 26 年度は 4 回、平成 27 年度は 1 回開催）を通じて重要と思われる 14 件を水平展開した。事例データのうち、区分 D1 及び D2 の事例でより有効な再発防止対策が必要と考えられる 10 件について、事象展開図を作成し原因解析を行った。

b. セーフティーデータベースの設計と製作

セーフティーデータベース検討会にてデータベース設計について検討を行い、開示項目を決定した。「KHK 事故事例データベース」を参考に、基本仕様を決定後、平成 26 年 12 月にデータベース製作を外注し、平成 27 年 3 月に「セーフティーデータベース」を完成した。その後、検討会メンバーを中心に試運用を実施した。開示項目を図 2 に示す。

No	設備		水素漏洩	ランク区分	発生状況	人的被害	設備損傷	高圧ガス設備
	区分	発生箇所						
1	水素製造・貯蔵設備	カードル置場	無し	E	カードル置場の温度センサーが温度異常検知して、散水ポンプが作動した。	無し	無し	—
2	補助機器	制御盤タッチパネルモニター	無し	D3	制御盤タッチパネルモニター表示不能となった。	無し	無し	—
3	発生要因分類				措置	対策	水平展開	発生日
	分類	内容	要因					
4	技術的要因	設計不良	季節による太陽高度の変化を全てカバー出来ていなかった為、温度センサーが夏場の朝日の影響を受けた。	温度センサー上にカバーを設置し、朝日の影響を受けないようにした。	センサー設置環境の改善	実施済み	2011/6/23	
	運転・維持管理要因	経年劣化	経年劣化により基盤故障が発生した。設置後5年経過。	基盤を交換した。	交換時期の設定	実施済み	2011/6/30	
	技術的要因	条件設定の不備	軸受温度が設定値を超えた。	夏場の気温上昇を考慮して警報設定値を80℃から90℃に変更した。(軸受け設計温度=120℃)	適切な設定値の設定、類似事例の十分な評価の実施	実施済み	2011/7/3	

図 2 セーフティーデータベースの開示項目

②人材教育・育成手法の開発検討（担当：HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、日産自動車、本田技術研究所）（平成 26 年度はトレーニングセンター検討会を 3 回開催）

成田水素ステーション、大阪水素ステーションや FCV を活用し、人材教育・育成手法の開発検討を行った。

a. 保安管理マニュアルの作成

水素ステーションの業務に則して保安上、留意すべき点、管理すべき点を抽出し、従業員の教育マニュアル（案）を作成した。

b. FCV に関する講習テキストの作成

水素ステーション運営者が、水素ステーションにおける FCV 関連作業を正しく理解した上で実行できるように FCV 及び水素ステーションでの充填に関する基本的な事項を整理した「燃料電池自動車 (FCV) 講習

テキスト（案）」を作成した。

c. 模擬訓練検討

成田水素ステーション、大阪水素ステーションやFCVを活用し、模擬訓練の検討を実施した。実地検討は全5回行い、成田水素ステーションにて3回、大阪水素ステーションにて2回実施した。実際の模擬訓練検討時の写真を図3から図6に示す。課題を抽出し、実地訓練内容のブラッシュアップと必要な内容をマニュアルに反映させた。



図3 基礎座学



図4 FCVの構造説明



図5 水素充填訓練



図6 防災訓練

水素ステーション教育設備・訓練内容指針案(仮称)の目次例を図7に示した。

1. 目的・定義	
2. 水素の物性、特性	
3. 高圧ガスの基礎知識	圧縮水素スタンド関連基準
4. 危害予防規程	危害予防規程の解説
5. 保安管理マニュアル	機器、作業項目毎のマニュアル
6. 燃料電池自動車	水素ステーション運営者に必要なFCV基礎情報
7. 水素ステーション模擬訓練	水素の昇圧、蓄圧、FCVの誘導・充填、日常点検等
8. 防災訓練	燃焼、消火、ガス漏洩対処作業等
9. 事故・トラブル事例	国内外の水素ステーション事故トラブル (セーフティーデータベースほか)

図7 水素ステーション教育設備・訓練内容指針案(仮称)

### ③トータル運用技術の開発(担当:HySUT)

水素およびFCV、水素ステーションに関する社会受容性調査を実施し、上記①、②に加え社会受容性の調査結果を合わせ、安全・安心という観点から広くステーションの運用技術に展開した。

(2)次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発(担当:HySUT)(平成26年度は次世代水素ステーション技術開発検討会を2回、次世代水素ステーション検討分科会を7回開催)

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施した。

なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施した。

また、安心を確保するためには社会受容性の向上が必要と考えられる事から、社会受容性向上に資する活動も行った。

#### ①コンセプトの検討

高度に安全・安心な次世代水素ステーションのコンセプト策定を目的に、民間の安全経験者(水素に限定しない)、シンクタンクメンバー、及びFCCJ-TFメンバー等から成る次世代水素ステーション検討分科会(仮称)を組織し検討した。ソフト面、ハード面の双方の検討を行い、アウトプットの明確化と技術開発目標とスケジュールを決定した。

具体的には次世代水素ステーション検討分科会にてコンセプト検討を行った。

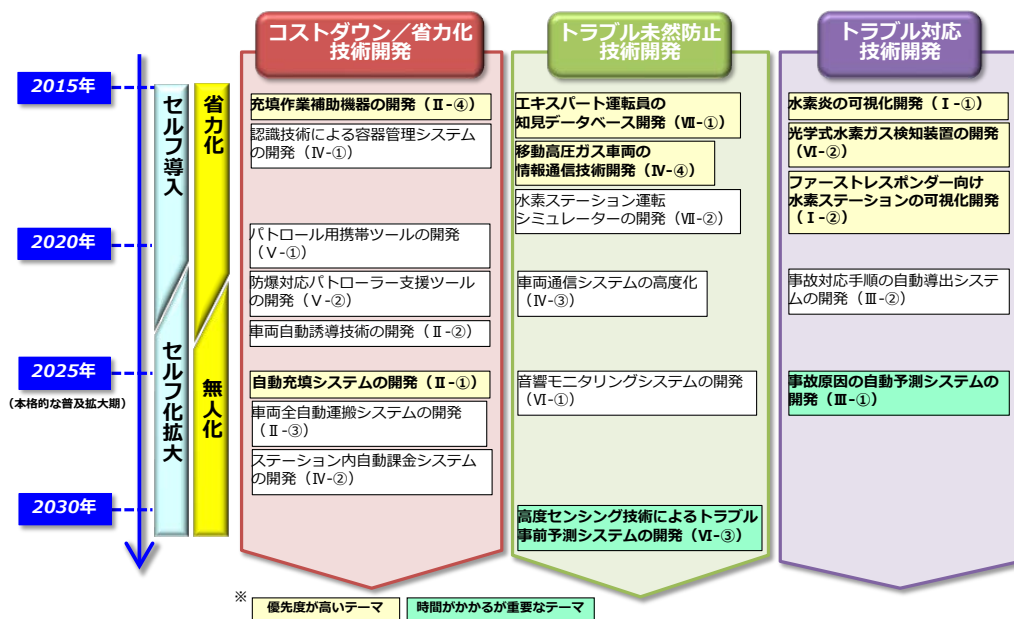


図8 次世代水素ステーション技術開発検討の整理

②関連開発スコープの検討

a. 分科会での検討による技術開発テーマの提案

次世代水素ステーション検討分科会において、次世代ステーションに必要な技術開発の検討を実施した。検討にあたっては、まずブレインストーミングにより、次世代水素ステーションの姿を想定し、将来どういった技術開発が必要となるか自由に意見を出し合い、その後、開発内容を時系列と技術開発の目的を軸にして分類した(バックキャスト)。検討結果を図8に示す。

b. 過去の事故・不具合等事例データ分析による技術開発テーマの提案

JHFC1, 2, 3 (2002年度～2013年度)に発生した事故・不具合等事例データ 237 事例及び2014年4月～7月に発生した5事例を合わせた計 242 事例のデータ分析を行い、次世代水素ステーションに必要な技術開発テーマ (28 テーマ) を提案した (フォアキャスト)。結果を表1に示す。



表1 過去の事故等事例データ分析による技術開発テーマ提案

NO.	タイトル	技術開発テーマ
1	異常・損傷・事故の発生防止技術	(1-①) 共通設計・要求性能仕様書整備
		(1-②) 振動場所での「ねじ」部緩み防止技術
		(1-③) サイクリックな曲げ/ねじれ負荷や圧力負荷に強い充填ホースの開発
		(1-④) 異物混入防止・除去技術、錆・粉塵等固着防止技術の開発
		(1-⑤) F C V 車両整備工場向け清浄装置の開発
		(1-⑥) ノズル着脱操作に対する高信頼度充填ノズルの開発
		(1-⑦) 継ぎ手のない溶接構造方式の開発
2	異常・損傷・事故発生時の早期検知技術	(2-①) 水素微量漏洩検知自動化技術の開発
		(2-②) 異常の遠隔監視装置の開発
		(2-③) 地震、台風等による自然災害に配管、機器の健全性を確認できる技術開発
3	異常・損傷・事故発生時の被害拡大防止技術	(3-①) 蓄圧器接続配管破損時の過流防止弁作動確認技術の開発
4	保安設備の信頼性向上	(4-①) 高信頼度の火災検知センサーの開発
		(4-②) 冗長化による信頼性向上対策
		(4-③) 人工知能を活用した信頼性向上策
5	運転技術向上	(5-①) マニュアルの標準化
		(5-②) ステーション共有教育訓練専門家・教育プログラム
		(5-③) 業界共有教育施設の整備
		(5-④) タブレットを活用した教育訓練、運転支援システム開発
		(5-⑤) 不具合事例のDB化及びメーカーとの情報共有化
6	保全技術向上	(6-①) 機器の点検・交換基準の整備
		(6-②) 機器点検手順の標準化とチェックリストの整備
		(6-③) 水素ステーション保全専門家育成
		(6-④) 保全専門家による教育、訓練、日常的保全指導（巡回、メール等による遠隔指導）システム開発
		(6-⑤) タブレットを活用した教育、日常点検等システム開発
		(6-⑥) 保全に関する不具合情報のDB化とメーカーとの情報共有システム開発
		(6-⑦) 点検用空中監視ロボットによる点検システム開発
7	セルフステーションにおけるナビゲーションシステムの開発	(7-①) 音声形式での充填ナビゲーションシステムの開発
		(7-②) ガス充填後の異常や不具合の有無を確認するシステムの開発

③社会受容性向上活動

FC - EXPO2015（平成 27 年 2/25～2/27@東京ビッグサイト）に出席し FCV 及び水素ステーションの理解促進と社会受容性の向上を図った。HySUT ブース内来場者数の総合計は 48,414 人（ブース内来場者数合計：45,579 人、プレゼン参加者数合計：2,835 人）であった。出展の様子を図 9 から図 12 に示す。なお HySUT ブース内にて社会受容性調査も行った。



図 9 FC - EXPO2015 HySUT ブースの様子①



図 10 FC - EXPO2015 FCV 試乗会の様子



図 11 FC - EXPO2015 HySUT ブースの様子②



図 12 FC - EXPO2015 HySUT ブースの様子③

その他再託事業（テクノバ）の成果事例（水素ステーション高度安全運用技術の開発）として、ワンストップポータルによる水素の認知性向上活動を実施し、「水素エネルギーナビ」（<http://hydrogen-navi.jp/>）を一般公開した（図 13、図 14 参照）。



図 13 水素エネルギーナビの画面①



図 14 水素エネルギーナビの画面②

### 3. 2 成果の意義

セーフティーデータベース、人材教育・育成および社会受容性の向上は、商用水素ステーションでの展開が重要であり、来年度以降も継続すべき課題と思われる。今後、商用水素ステーションの一層の拡大に向け、当該技術開発の成果により、地方自治体や地域住民がより一層安心して受け入れられる、安全・安心な水素ステーションの運用に貢献できる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

これまでの成果は計画通り進んでおり、最終目標は十分に達成可能である。商用水素ステーションが開設され、更に拡大していく中で、セーフティーデータベース、人材教育・育成および社会受容性の向上は拡大展開が必要であり、次世代水素ステーションに必要な技術開発は、開発の達成により、更なる安全・安心な次世代水素ステーションが期待できる。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

セーフティーデータベースについては、システムを構築し完成した。今後、拡大していく商用水素ステーションからデータを収集する仕組みを活用し、商用水素ステーションでのトラブル削減に寄与していくために、来年度以降も事業継続が必要である。

人材教育・育成手法の開発については、「教育設備・訓練内容指針(案)」を今年度中に完成予定である。今後の課題として本検討の中から顕在化してきたことは、本指針(案)を基に、水素ステーション運営者、消防等の訓練や新規安全設備等の検証を行う為の、訓練用水素ステーション建設の必要性である。

社会受容性の向上については、2025年の本格普及期に向けて、更なる新規需要創出の為に継続的な活動が必須である。開設したポータルサイトを来年度以降も継続・改善することや展示会、セミナー等でのアウトリーチ活動の継続も必要である。

次世代水素ステーション技術開発については、必要な技術開発項目の抽出・報告を行った。この技術開発候補の中から、次世代水素ステーションに必要な技術開発が完成し、更なる安全・安心な水素ステーションの運営に寄与することが期待できる。

## 5. 研究発表・特許等

### —研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成26年11月10日 ～13日	2014 Fuel Cell Seminar	Activities of FCV/Infrastructure Demonstration Program in Japan: Poster Presentations-Fuel Cell Seminar & Energy Exposition (2014,November 9-16,Los Angels)	曾根洋一 伊藤久敏
2	平成27年2月26日	FC EXPO 2015 専門技術セミナー	HySUTにおける FCV・インフラ実証事業の取り組み	池田哲史
3	平成27年3月25日	NEDO 海外水素ステーション 調査報告会	海外水素ステーション動向	山梨文徳
4	平成27年5月29日	第22回 FCDIC 燃料電池シンポジウム	海外水素ステーション動向	山梨文徳
5	平成27年5月25日	九州大学主催 水素ステーション動向講演会	『そこまで来ている水素の未来』 ～国内の水素供給インフラ普及に向けた取 り組み～	山梨文徳



# (III-①-(2)) 「水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」

株式会社エア・リキード・ラボラトリーズ

## ●成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成27年度終了(または予定))

- 溶接継手の高強度維持には溶接材料の使用が有効であったが、高窒素濃度維持には溶接ガス混合比と溶接パラメータ両方の最適化が必要であることが確認された。
- 溶接部の窒素濃度分布、結晶粒径、δフェライトの定量評価から強度特性との関連付けを行い、溶接パラメータ最適化の指針となるデータを取得した。
- 配管の内圧疲労に特有な破壊モードをシミュレートし、溶接継手の疲労特性を効率的に評価可能な疲労試験方法を開発した。

## ●背景/研究内容・目的

水素ステーション用高圧水素ガス配管に高窒素高強度ステンレス鋼の使用と溶接継手の導入が期待されている。窒素は材料中に固溶することで材料強度を向上させるが、溶接熱によって窒素放出が生じる懸念がある。溶接継手の導入には、高窒素濃度および高強度維持を達成する溶接技術の開発が必要である。

本研究開発は以下の三項目からなる。

- A：高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発
  - B：溶接金属の金属組織評価
  - C：溶接部の水素脆化評価
- 項目Aでは、高窒素高強度ステンレス鋼XM19を用いて、事業化を念頭に置いた高窒素濃度および高強度維持を達成する溶接技術開発を行う。溶接継手の材料特性には、溶接ガス、溶接材料、溶接パラメータ等、様々な因子が関係している。項目B、Cにて溶接継手の特性評価を行い、溶接条件の最適化および溶接継手の健全性評価を行う。

## ●研究目標

実施項目	目標
A	高窒素濃度・高強度維持を達成する溶接技術開発
B	溶接金属の組織評価および強化機構の解明
C	溶接継手の疲労特性および水素脆化特性評価

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

**実施項目A**  
種々の寸法の溶接材料を用いて溶接継手を試作することで、高強度維持と作業性を両立する溶接材料を開発した。溶接材料は、既存の自動TIG溶接機で使用可能な安定した溶接を簡便に得ることができる。また、高窒素濃度維持にはシールドガスへの窒素ガス混合が有効であると考えられるが溶接パラメータによっては十分な効果が得られない可能性が示された。本成果は、溶接材料、溶接ガスに加えて適切な溶接パラメータ制御が必要であることを示しており、事業化を検討する上で極めて有意義であると考えられる。

### 実施項目B

溶接部の力学特性には、窒素濃度に加えて結晶粒径、析出物の種類と量、δ相、相間での窒素分配など様々な因子が関係しており、それらの定量評価から溶接部の強度変化との関連付けが可能なが示された。また、試作溶接配管の金属組織観察から溶接条件最適化の指針となるデータが示された。

### 実施項目C

内圧サイクルによる配管の疲労特性評価には複数の制限があるが、本成果では機械的手法を用いて内圧サイクルを模擬可能な疲労試験方法を開発した。本開発によって、広範囲の疲労特性を効率的に評価可能であり、実際の破壊モードにおける溶接継手の破壊メカニズム解明が可能である。水素の影響を評価するために、溶接配管に水素チャージを施して疲労試験を実施中である。

## ●今後の課題

- 溶接ガスに応じた溶接パラメータの最適化
- 内圧模擬疲労試験と圧力サイクル試験結果の整合性評価
- 溶接継手導入に必要な評価基準と評価手法の明確化

## ●実用化・事業化の見通し

既存の溶接機器で応用可能な範囲で溶接技術開発を進めているため実用化の観点では問題ない。事業化のためには、上記の課題をクリアしたうえで溶接適用先の選定のため配管機器メーカーとの連携が必要であると考えられる。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	溶接材料の開発	○
A	溶接ガスおよび溶接パラメータの最適化	△
B	試作溶接継手の金属組織評価	△
C	疲労特性および水素脆化特性評価	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	1	0

## 課題番号：Ⅲ－①－(2)

水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究

### 高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発

#### 1. 研究開発概要

高圧水素ガス配管用に高窒素ステンレス鋼の使用と溶接継手の導入が期待されている。窒素は材料強度と耐水素脆化特性を向上させる重要な元素であるが、溶接熱によって窒素放出または窒素の存在状態変化が生じることが懸念される。本研究開発は、大きく分けて以下の3つの研究開発項目からなり、これらの研究開発成果を活用することで高圧水素ガス配管への高窒素高強度ステンレス鋼溶接継手導入を目指す。

- ・高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発
- ・溶接金属の金属組織評価
- ・溶接部の水素脆化評価

以下にそれぞれの研究開発項目の概要を述べる。

#### 1. 1 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

本研究開発では、高窒素高強度ステンレス鋼 XM19 を用いて、溶接継手の窒素量低減抑制および高強度維持を達成するガスタングステンアーク溶接手法を開発する。開発した溶接継手の普及のため、溶接には自動溶接機を使用する。課題解決のため以下の3つの手法を用い、開発溶接継手に対して大気中材料強度評価を行う。

##### (1) 高窒素ステンレス鋼用溶接ガスの開発

一般に、アルゴンやヘリウムといった不活性ガスが溶接ガスとして使用されるが、窒素量低減抑制には窒素ガスの添加が有効であると考えられる。しかし、多量の窒素ガスが溶接ガスに含まれるとタングステン電極の寿命を著しく低下させることが知られているため適切な窒素ガス濃度を決定する必要がある。また、溶接継手の高窒素濃度維持と溶接作業性の両立のため、その他ガスの混合についても検討を行い最適な溶接ガスの開発を行う。

##### (2) 溶接材料を用いた溶接技術の確立

小径配管の自動溶接では、溶接材料を使用しないノンフィラー突合せ溶接が広く用いられているが、ノンフィラー溶接ではアンダーカットと呼ばれる溶接欠陥が生じる懸念がある。溶接継手の高強度維持にはアンダーカットの防止と余盛りの確保が効果的と考えられ、それらは溶接材料の使用によって得られる。しかし、溶接材料の使用方法によっては溶接作業の負担増加を招く可能性がある。本研究開発では、高強度維持と作業性を両立する溶接材料の開発を行うとともに、溶接材料に使用する鋼種についても検討を行う。

##### (3) 溶接パラメータの最適化

使用する溶接ガス、溶接材料によって溶け込み量は変化する。上記(1)、(2)で開発した溶接ガス、溶接材料使用時に完全溶け込みおよび均一なビードが得られる溶接パラメータを決定するとともに開発した溶接継手が所定の材料特性を得られる溶接パラメータ範囲の検討を行う。

#### 1. 2 溶接金属の金属組織評価

溶接によって溶接金属および熱影響部 (Heat Affected Zone: HAZ 部) の金属組織は変化する。材料の機械的性質、耐食性、水素脆化特性といった様々な材料特性は金属組織と密接に関係しており、高圧水素配管に溶接を

適用するにあたって第一の基準になるとと思われる溶接継手の強度を評価するには、母材および溶接金属の組織ならびに強化機構の理解が重要となる。具体的な金属組織評価項目を以下に示す。

#### (1) 窒素濃度分布

溶接熱によって材料中の窒素は材料外に放出される。溶接ガスと溶接材料の開発による溶接部窒素濃度の変化量を測定し、窒素濃度が材料特性におよぼす影響について調査する。また、窒素濃度プロファイルを取得することで母材部～溶接金属の窒素濃度遷移を明らかにする。

#### (2) $\delta$ フェライト分布と組成分配

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属には $\delta$ フェライトと呼ばれる金属組織が形成される。多量の $\delta$ フェライトが形成されると耐食性や切欠き靱性の低下だけでなく耐水素脆化特性の低下が生じる。溶接金属部の $\delta$ フェライト量を測定し、材料特性および水素脆化特性に及ぼす影響の評価を行う。

#### (3) 析出物の種類と分布

本材料は、材料中に多量のクロムと窒素を含有するため、溶接後の冷却速度が遅いと粗大なクロム窒化物が析出する可能性がある。粗大なクロム窒化物が多量に形成されると基地組織の固溶窒素濃度を低下させるだけでなく、低温靱性や耐食性を低下させる可能性がある。溶接金属の組織観察を行い、析出物の種類および分布の調査を行う。

#### (4) 母材と溶接金属の金属組織観察

上記の項目に加えて、結晶粒径やオーステナイト安定度（マルテンサイト変態量）など、材料特性および水素脆化特性に関わる総合的な金属組織観察を行う。

### 1. 3 溶接部の水素脆化評価

配管溶接部の水素脆化評価を実施するにあたって、材料の疲労特性評価が必須項目となる。配管内圧力変動に起因する疲労破壊は円周方向に負荷される応力によって配管が軸方向に割れるように生じるため、小径配管の内圧疲労評価に際しては特別な疲労試験が必要である。本研究開発では、高圧水素ガス中低速引張試験および配管圧力サイクル試験に加えて、配管圧力サイクルを模擬した疲労試験を実施し水素環境中材料強度評価を実施する。具体的な評価試験項目は以下である。

#### (1) 内圧模擬疲労試験（水素チャージ材）

従来の配管圧力サイクル試験では、実ガスを用いて配管に応力サイクルを負荷するため平滑材や疲労限度付近の疲労特性を取得することが困難であった。本研究開発では、機械的手法を用いた内圧模擬疲労試験法を開発し、疲労限度を含む広い応力範囲で溶接継手の疲労特性評価を行う。水素環境下での疲労特性評価には水素チャージ材を使用する。

#### (2) 高圧水素ガス中低速引張試験（Slow Strain Rate Test: SSRT）

材料の水素脆化特性を評価する最も基本的な試験法の一つに SSRT 試験がある。本研究開発においても高圧水素ガス中で SSRT 試験を実施し、大気中 SSRT 試験との絞り比を評価することで溶接継手の水素脆化特性を取得する。

### (3) 高圧水素ガス配管圧力サイクル試験

内圧模擬疲労試験は、比較的、簡便に溶接継手の疲労特性を取得可能であるが、実際の使用条件で負荷される圧力サイクルを完全に再現することは困難であるので一部の溶接配管に対して配管圧力サイクル試験を実施し、内圧模擬疲労試験結果との整合性評価を行う。

## 2. 研究開発目標

### 2. 1 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

#### (1) 平成 26 年度目標

##### ① 高窒素ステンレス鋼用溶接ガスの開発

溶接部の高窒素濃度維持および作業性の両立が可能な溶接ガスの開発を行う。窒素ガスを含む複数のシールドガスを製造し溶接試験を行うことで、溶け込み量、溶接作業性、溶接継手強度、溶接部窒素濃度等におよぼすシールドガスの影響を検証し、最適なシールドガス混合比の検討を行う。

##### ② 溶接材料を用いた溶接技術の確立

アンダーカットを防止し、余盛りを確保することで溶接継手の高強度維持を達成するため溶接材料の開発を行う。種々の溶接材料を試作し、余盛り量と溶接継手強度の関係性を調査することで、高強度維持と作業性の両立が可能な溶接材料を開発する。原則、溶接材料の材料には XM19 を用いるが、必要に応じて他鋼種の使用も検討する。

##### ③ 大気中材料強度評価

母材および試作した溶接継手の材料試験を行い、溶接ガスおよび溶接材料が溶接継手強度におよぼす影響を調査する。

#### (2) 平成 27 年度目標

##### ① 溶接継手の開発

平成 26 年度の成果をもとに、高窒素濃度維持および高強度維持が可能な溶接手法を開発し、その手法を用いた溶接継手を作製する。具体的な数値目標は、余盛り削除溶接継手強度が母材規格値以上、余盛り付き溶接継手強度が母材実力値以上である。さらに、開発した溶接継手に対して「溶接金属の金属組織評価」および「溶接部の水素脆化評価」を行い、良好な特性が得られない場合には溶接手法の更なる検討を行う。

#### (3) 平成 28 年度目標

##### ① 開発溶接継手の事業化推進

開発した溶接技術の事業化に資するデータ取得や関係者との協議、コスト試算等を行う。

### 2. 2 溶接金属の金属組織評価

#### (1) 平成 26 年度目標

##### ① 母材と基礎溶接継手の金属組織観察

母材および開発前段階で試作した溶接継手（基礎溶接継手）の金属組織観察を行い、溶接が母材組織に与える影響を明らかにする。金属組織観察結果をもとに溶接手法の改善を随時行う。

## (2) 平成 27 年度目標

### ① 試作溶接継手および開発溶接継手の金属組織観察

平成 26 年度の金属組織観察から得られた知見をもとに、「高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発」で試作および開発した溶接継手の金属組織観察を行い、溶接金属の健全性評価を行う。

## (3) 平成 28 年度目標

### ① 開発溶接継手の金属組織と破壊の関連付け

開発溶接継手の金属組織を継続して行うとともに、材料試験後の溶接継手の金属組織観察から破壊形態と金属組織の関連性を明らかにし、破壊にともなう金属組織変化（マルテンサイト変態等）を調査する。

## 2. 3 溶接部の水素脆化評価

### (1) 平成 26 年度目標

#### ① 水素チャージ材試験計画検討

水素チャージ材の内圧模擬疲労試験に必要な試験条件の決定、試験設備の整備、基礎データの取得を行う。

#### ② 高圧水素ガス中材料試験計画検討

高圧水素ガス中材料試験に必要な試験条件の決定、基礎データの取得を行う。

### (2) 平成 27 年度目標

#### ① 内圧模擬疲労試験

基礎溶接配管の内圧模擬疲労試験を実施し、溶接部の疲労特性におよぼす水素チャージの影響を明らかにする。材および高圧水素ガス中の SSRT から得られた試験結果のデータ解析を行い、試験環境の違いが静的水素脆化特性に及ぼす影響を解明する。

#### ② 高圧水素ガス中 SSRT 試験

高圧水素ガス中 SSRT 試験を実施し、高圧水素ガス中と大気中の絞り比（Relative Reduction of Area: RRA）を取得する。水素ステーション用高圧水素ガス配管に溶接継手を導入するためには、現在、使用が認可されている SUS316（Ni 当量材）と同等以上の耐水素脆化特性（ $RRA \geq 0.8$ ）を有する必要がある。開発溶接継手が、 $RRA \geq 0.8$ であることを確認する。

### (3) 平成 28 年度目標

#### ① 高圧水素ガス圧力サイクル試験

高圧水素ガス圧力サイクル試験結果の解析を行い、内圧模擬疲労試験との整合性評価を行う。

#### ② 開発溶接継手の水素脆化評価

全ての水素環境中材料試験から得られた強度データを統合し、開発溶接継手が母材と同等の耐水素脆化特性を有することを確認する。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果、達成度

### (1) 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

溶接継手の強度特性および金属組織は、溶接ガス、溶接材料、溶接パラメータ、使用する溶接機器等、様々な因子が相互に影響した結果得られる。本研究開発では、溶接技術の事業化・普及を念頭に置いて、それぞれの因子の最適化を行い、水素ステーション用高圧水素ガス配管に適用可能な溶接技術、溶接継手の開発を行う。

#### ① 供試体

供試体は、外径 9.53 mm、内径 5.13 mmのXM19 配管である。XM19はASTM A312で規定されるオーステナイト系ステンレス鋼であり、その最小引張強さは 690 MPaである。本供試体に対して、図 3.1 に示すように配管引張試験を行った結果、0.2%耐力 $\sigma_{0.2} = 583$  MPa、引張強さ $\sigma_B = 899$  MPaであった。このことから本供試体は規格強度を十分に満足していることがわかる。表 3.1 にXM19 化学成分の規格値と実測値を示す。いずれの化学成分も規格値の範囲内であった。

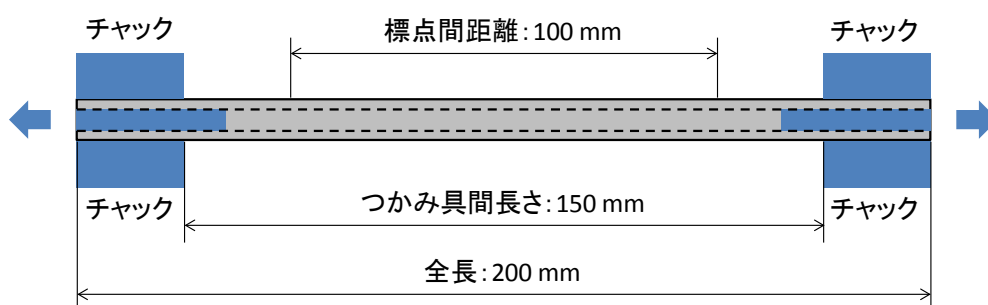


図 3.1 配管引張試験

表 3.1 XM19 化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N
規格値	≤ 0.06	≤ 1.00	4.0 - 6.0	≤ 0.040	≤ 0.030	11.5 - 13.5	20.5 - 23.5	1.5 - 3.0	0.10 - 0.30	0.10 - 0.30	0.20 - 0.40
実測値	0.033	0.42	4.20	0.013	0.001	12.06	22.18	2.03	0.16	0.19	0.311

#### ② 基礎溶接配管の作製

冒頭で述べたように溶接部の材料特性は、溶接パラメータ（溶接入熱等）、溶接ガス、溶接材料、溶接機器等、複数の因子が相互に影響した結果得られる。そのため、本研究開発を進めるにあたって、それぞれの因子が材料特性におよぼす影響を明確にし、開発課題を抽出することが必要となる。そこで、開発溶接継手の比較となる溶接配管（基礎溶接配管）を作製した。溶接条件は、溶接対象・用途ごとに最適化されているので基礎溶接条件の定義は困難であるが、不活性ガス中、一定入熱、溶接材料なし（ノンフィラー）での溶接を基礎条件と考え、以下の条件で基礎溶接配管を作製した。

- ・溶接機器：自動 TIG 溶接機
- ・溶接姿勢：2G
- ・溶接材料：なし（ノンフィラー）
- ・溶接入熱：175 J/mm
- ・シールドガス：アルゴン
- ・バックシールドガス：アルゴン

基礎溶接配管に対して配管引張試験を行った結果、 $\sigma_{0.2} = 473$  MPa、 $\sigma_B = 771$  MPaであった。基礎溶接配管の引張強さは規格値を満足するが、溶接手法の改善によって更なる高強度化が可能と考え、以下の溶接技術開発を実施した。基礎溶接配管の金属組織評価および疲労強度評価については（2）溶接金属の金属組織評価、（3）

溶接部の水素脆化評価にて詳細に示す。

### ③ 溶接技術開発

#### a. 配管引張強度におよぼす余盛り（アンダーカット回避）の影響

図 3.2 に基礎溶接配管断面の写真を示す。基礎溶接配管には、局所的に溶接部の肉厚が薄くなる溶接欠陥、すなわちアンダーカットが形成されていた。図 3.2 で示したアンダーカット深さは高々  $40\ \mu\text{m}$  程度と浅いが、これは配管断面を無作為に観察した結果であり最大のアンダーカット深さは  $40\ \mu\text{m}$  以上である可能性が高い。アンダーカットの発生要因は、本研究開発で採用した溶接姿勢である 2G 溶接にある。配管の溶接姿勢の代表的なものに 2G 溶接と 5G 溶接の 2 つがある。それぞれの溶接姿勢の模式図を図 3.3 に示す。2G 溶接は、横向き姿勢で溶接を行う姿勢であり溶接中に配管を回転させない。5G 溶接は、配管の軸が水平な状態で行う溶接で溶接中に配管を回転させない。2G 溶接では常に横向き姿勢なので溶け込み量の制御が容易であるが重力の影響によりアンダーカットを生じやすい、一方、5G 溶接ではアンダーカットを生じにくい全姿勢溶接となるため溶け込み量の制御が難しいという特徴がある。本研究開発では、溶接材料を用いて溶接姿勢 2G で溶接を行うことでアンダーカットの回避と溶接作業性確保の両立を試みた。

図 3.4 に試作した溶接材料使用時の溶接部断面写真を示す。溶接材料の材料には XM19 を用いた。溶接材料の使用により、アンダーカット発生が防止され、余盛りが確保されていることが確認できた。

溶接材料が配管引張強度におよぼす影響を調査するため、種々の寸法の溶接材料を試作し、溶接配管を作製した。図 3.5 に配管引張強さと溶接材料断面積（ $\approx$  余盛り断面積）の関係を示す。溶接材料断面積が大きいほど配管引張強さは向上したが、溶接材料断面積が  $3\ \text{mm}^2$  以上では完全溶け込みに必要な溶接入熱が増加するため、一回の溶接作業で溶接ヘッドが高温になり連続溶接が不可であった。作業性の観点から、溶接材料断面積を  $3\ \text{mm}^2$  以下とする必要がある。一方、溶接材料断面積が  $2\ \text{mm}^2$  以下のとき、余盛りの強度上昇への寄与は十分に認められなかった。以上から、高強度維持と作業性の両立には、溶接材料断面積を  $2\ \text{mm}^2 \sim 3\ \text{mm}^2$  の範囲に制御する必要がある。

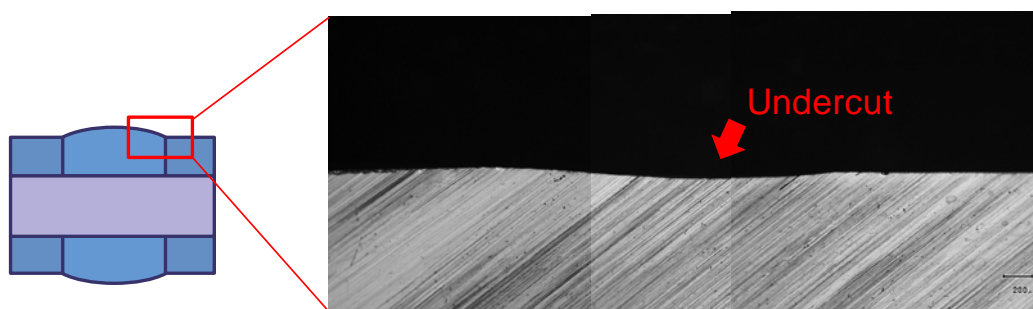


図 3.2 ノンフィルター溶接部断面写真一例



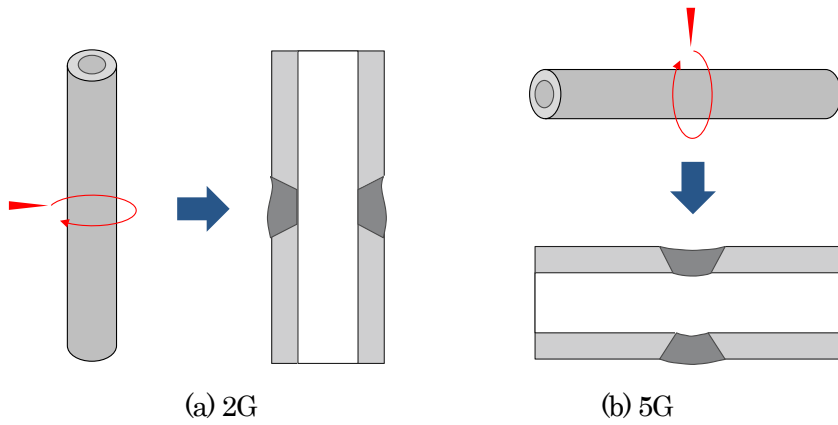


図 3.3 溶接姿勢模式図

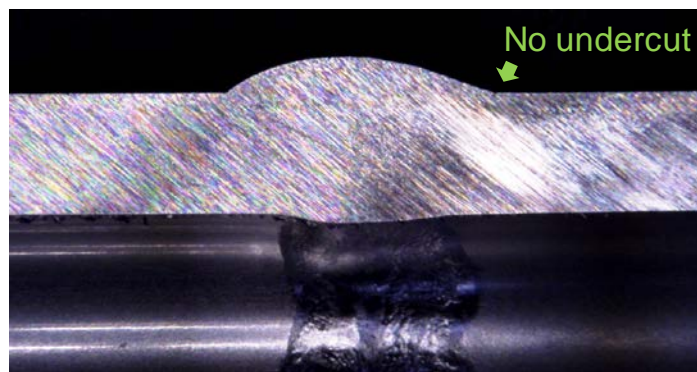


図 3.4 溶接材料使用時の溶接部断面写真一例

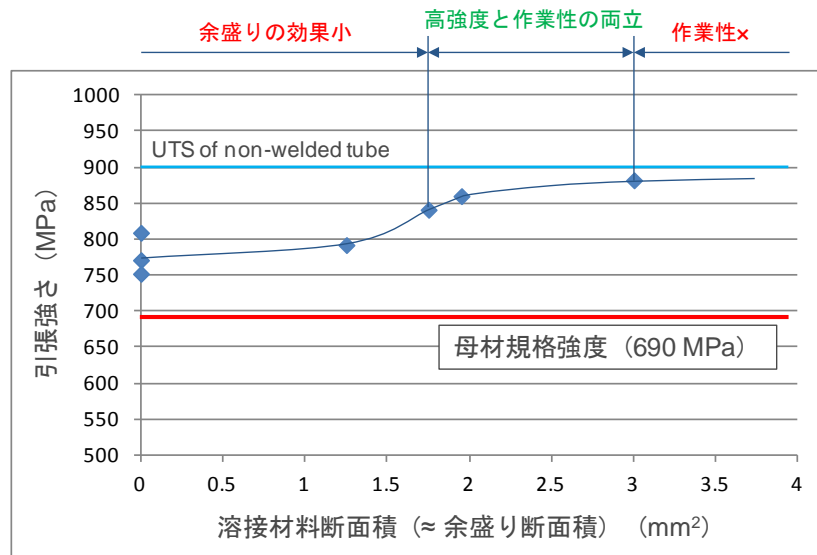


図 3.5 配管引張強さと溶接材料断面積の関係

b. 結晶粒粗大化におよぼす溶接時間短縮の影響

(2) 溶接金属の金属組織評価にて詳細に述べるが、溶接配管の高強度化には熱影響部 (Heat Affected Zone: HAZ 部) での結晶粒粗大化を抑制することが効果的であると考えられる。HAZ 部での粒成長は、溶接熱に長くさらされるほど促進されると考えられるため、溶接入熱を大きくし溶接時間を短縮することで配管引張強さ向上

を試みた。図 3.6 に溶接時間を 10 秒程度に短縮して作製した溶接配管の引張強さを示す。図 3.6 中、赤色のプロットが溶接時間 10 秒程度のときの配管引張強さ、青色のプロットが溶接時間 20 秒程度のときの配管引張強さである。溶接時間が 10 秒から 20 秒の範囲では明確な強度変化は認められなかった。今後、組織観察を行い組織間の違いについて調査を行う。

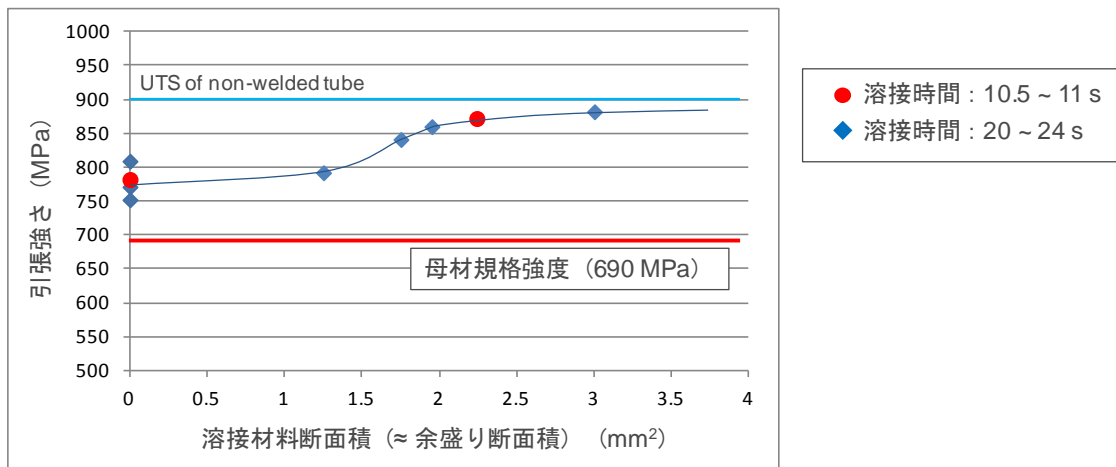


図 3.6 配管引張強さにおよぼす溶接時間の影響

### c. 引張強度におよぼす窒素混合溶接ガスの影響

母材配管と基礎溶接配管溶接部の化学成分を表 3.2 に示す。母材部の窒素濃度が 0.311 mass% であるのに対して溶接部の窒素濃度は 0.194 mass% と規格値を下回っていた。これは溶接時の溶接熱によって材料中から窒素放出が生じたためである。窒素は材料中に固溶することで材料強度を向上させるため、溶接配管の高強度化には溶接部の窒素を高濃度に保つことが効果的である。日本エア・リキード株式会社が過去に行った NEDO 研究開発事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証 (国際連携調査等) / 海外パッケージ型水素ステーション技術導入調査に関する研究」(以下、前事業) では、2%窒素混合アルゴンガスをシールドガスとして用いて XM19 配管のノンフィラー突合せ溶接を実施し、溶接部窒素濃度 0.273 mass%、配管引張強さ 837 MPa を達成している。本研究開発における基礎溶接配管の配管引張強さ平均値が 777 MPa であるので、シールドガスに 2%窒素を添加することで約 60 MPa の引張強さ向上、約 0.08 mass% の溶接部窒素濃度上昇が期待される。2%窒素混合シールドガス使用時の配管引張強さ予想を図 3.7 に示す。窒素混合シールドガスを用いることで、ノンフィラー溶接配管 (余盛り無し) の引張強さは 800 MPa 以上となり、インサートリング使用時 (余盛り有り) には溶接継手強度が母材と同等となる、いわゆるオーバーマッチ継手が達成可能と考えられる。以下に窒素混合シールドガス使用時の配管引張試験結果を示す。

前事業では 2%窒素混合アルゴンガスをシールドガスとして使用したが、本研究開発では、2%窒素混合アルゴンベースガスに加え 4%窒素混合アルゴンベースガスをシールドガスとして採用した。バックシールドガスには窒素ガスを使用した。ノンフィラー溶接では、溶接入熱を 190 kJ/mm ~ 300 kJ/mm の範囲で制御し、溶接時間を 10 秒程度とした。インサートリング使用時の溶接では、溶接入熱を 220 kJ/mm ~ 340 kJ/mm の範囲で制御し、溶接時間を 10 秒程度とした。図 3.8 に配管引張試験の結果を示す。図 3.8 中、赤色と青色のプロットが本研究開発における結果、緑色のプロットが前事業における結果である。現時点では、シールドガス中窒素ガスが配管引張強さに与える影響が認められなかった。しかしながら、前事業では 2%窒素混合シールドガスを用いることで明確に高強度化を達成している。このことは窒素混合シールドガスを溶接部の高窒素濃度維持のため有効活用するには溶接パラメータの最適化が必要なことを示唆している。本研究開発と前事業での溶接パラメータの大きな違いの一つとして溶接時間が挙げられる。本研究開発の溶接時間が 10 秒程度なのに対して、前事業の溶

接時間は44秒と約4倍の差があった。今後、溶接部の組織観察を行うとともに溶接時間を含めた溶接パラメータの最適化を行う。

表 3.2 配管母材部および基礎溶接配管溶接部の化学成分 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N
母材部	0.033	0.42	4.20	0.013	0.001	12.06	22.18	2.03	0.16	0.19	0.311
溶接部	0.034	0.43	4.17	0.014	0.001	12.06	22.17	2.03	0.16	0.19	0.194

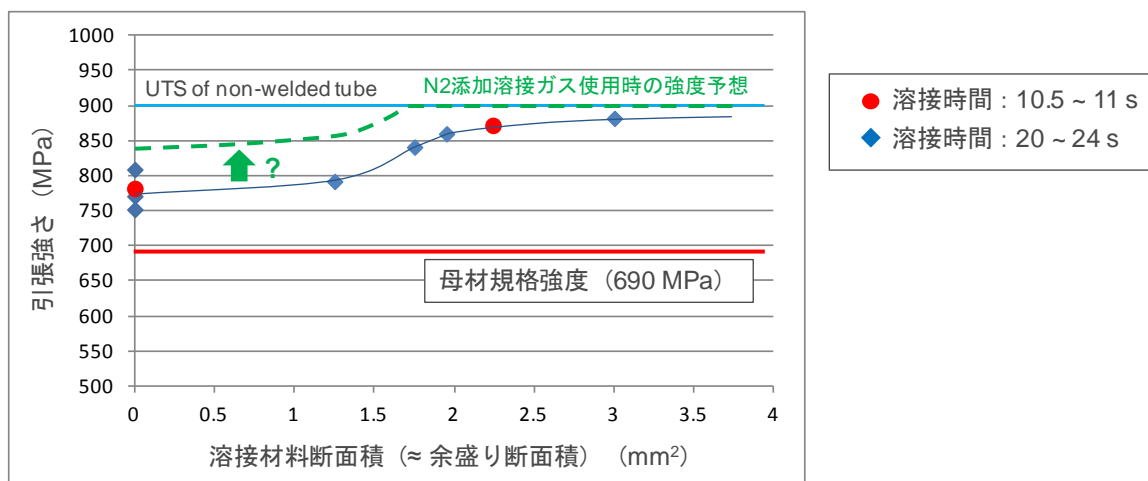


図 3.7 窒素混合シールドガス使用時の配管引張強さ予想

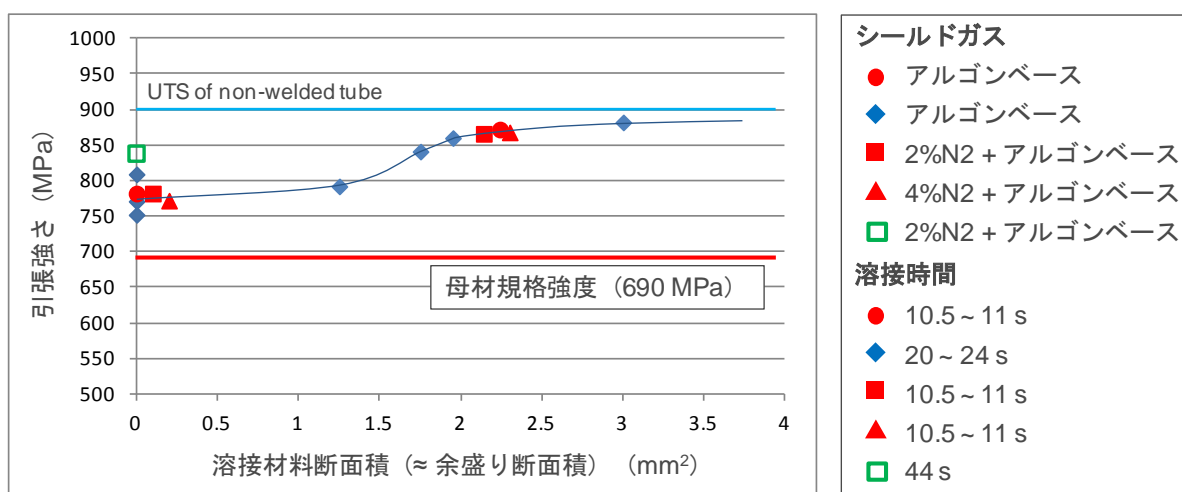


図 3.8 配管引張強さにおよぼす窒素混合シールドガスの影響

#### ④ 配管強度評価手法の検討

##### a. 配管引張試験での余盛り削除規定

本研究開発では、配管引張強さにおよぼす溶接材料の影響(余盛り確保、アンダーカット回避)を調べるため、余盛り付きでの配管引張試験を実施してきたが、特定則では余盛り削除後の引張強度評価を行い、その溶接継手強度が母材規格強度以上であることを要求している。今後、余盛り削除後の配管引張試験を実施する。

##### b. 配管破裂試験

これまで配管の引張強度を評価するため配管引張試験を実施してきたが、実際の破壊モードは配管引張試験と異なる。図 3.9 に実際の破壊モードと配管引張試験での破壊モードの模式図を示す。一般に、高圧配管や高圧容

器の破壊は、図 3.9(a)に示すように軸方向のき裂進展によって生じるのに対して、配管引張試験では軸方向に垂直な面で破壊が生じる。実際の破壊モードを考慮した溶接継手強度を評価するため、配管破裂試験を実施し、配管引張強度との整合性を評価する。

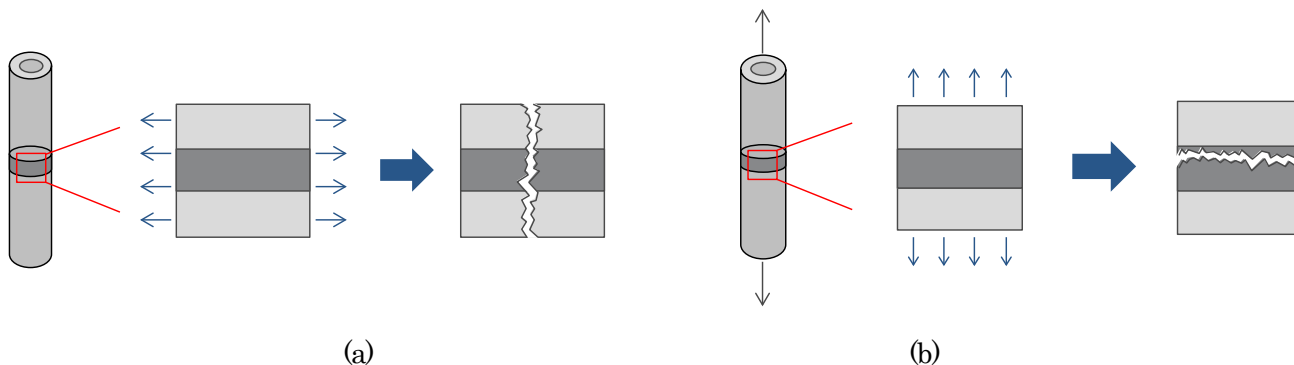


図 3.9 高压配管の(a)実際の破壊モードと(b)軸方向引張試験での破壊モード

## (2) 溶接金属の金属組織評価

溶接された XM19 基礎溶接管において、母材から溶接金属にわたりビッカース硬さを測定すると、溶接金属部で著しい軟化が生じていることが示される (図 3.10)。その一つの要因として、溶接時に生じる脱窒によって固溶強化されていた合金の強度が低下したことが挙げられるが、実際にはそれほど単純な現象ではなく、結晶粒径、析出物の種類と量、 $\delta$ 相の生成、相間での窒素分配など様々な因子が硬さ変化に影響すると考えられる。また、マクロなビッカース硬さの分布だけでは、HAZ 部での特性変化も捉えられておらず、溶接管の力学特性を予測するには情報が不十分である。XM19 溶接管の特性を理解し、より高性能な溶接技術を確認するには、ミクロ領域の特性やそれを理解するための組織情報、および組織制御技術が必要となる。本研究では、以下の観点から溶接された XM19 基礎溶接管の組織解析を行うことを目的とする。

溶接部～母材間における、

- ・強度 (硬さ) 分布
- ・窒素濃度分布
- ・ $\delta$ フェライト分布と組成分配
- ・窒化物の種類と分布

本項では、上記 4 項目に関して現時点で得られている実験結果について報告する。

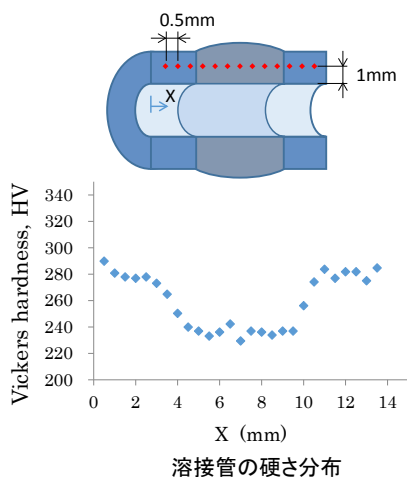


図 3.10 溶接管のビッカース硬さ分布

### ① (母材/溶接金属) 界面近傍の金属組織とマイクロ硬さ分布

図 3.11 は、(母材/溶接金属) 界面近傍の光顕組織、ならびにマイクロビッカース硬さ試験機を用いて硬さ分布を測定した結果を示す。まずオーステナイト粒径に着目すると、熱影響を受けていない母材が結晶粒径約  $6\mu\text{m}$  の微細粒組織を有しているのに対し、HAZ 部では (母材/溶接金属) 界面に近づくにつれて次第に粒径が大きくなり、界面近傍では約  $38\mu\text{m}$  にまで粒成長が生じている。溶接金属部の組織については後節にて詳細に示す。一方、硬さ分布の測定結果から、測定位置によって硬さの値が大きく変動していることがわかる。すなわち、溶接部から十分離れた母材部の硬さは約 Hv220 であるが HAZ 部では連続的に硬さ低下が生じ、(母材/溶接金属) 界面近傍では Hv180~185 程度まで低下している。溶接金属部の硬さは HAZ の最軟化部とほぼ同じ硬さである Hv180~185 程度の値を示している。ただし、HAZ 部最軟化部と溶接金属部の硬さが等しくなる必然性はないため偶然の一致と考えるべきであろう。

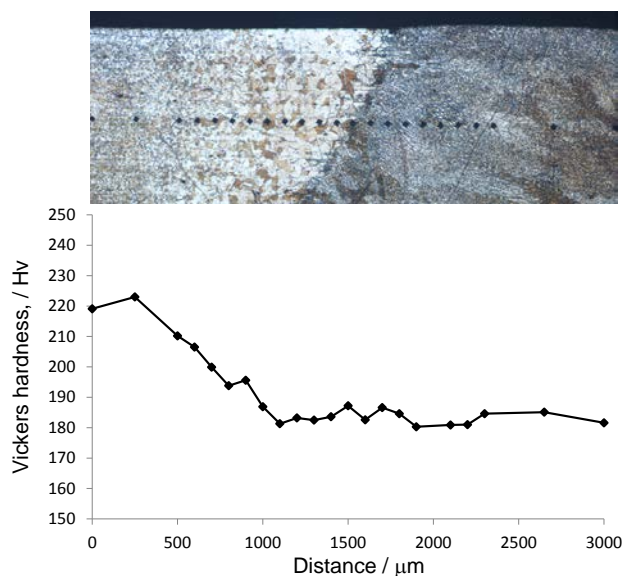


図 3.11 (母材/溶接金属) 界面近傍の光顕組織およびマイクロビッカース硬さ分布

### ② 母材—溶接金属間における窒素濃度分布

EPMA (福岡県工業技術センター) を用いて、溶接部の母材~溶接金属~母材にわたる窒素濃度分布を測定した。測定箇所は管の外表面から  $100\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ 、 $1000\mu\text{m}$  離れた位置とし、管の長手方向に平行方向に線分析にて測定を行った (図 3.12)。いずれの深さでの測定も同様な結果が得られ、母材部では窒素濃度約  $0.35\text{ mass}\%$  で本供試管鋼材の化学成分とほぼ一致するが、溶接金属部では明らかに脱窒が生じており、平均で約  $0.18\text{ mass}\%$  までの濃度低下が確認される。ただし、ここで後述する  $10\text{ vol.}\%$  の  $\delta$  フェライトの効果を考えるとオーステナイト中の窒素濃度は  $0.2\text{ mass}\%$  となる。この窒素濃度低下によるオーステナイトの固溶強化量の低下量は、 $0.2\%$  耐力で言えば約  $100\text{ MPa}$  の低下に相当し、それを硬さに換算すると、約 Hv30 程度の低下となる。これは実際に図 3.11 で測定された溶接金属部での硬さ低下量 Hv35~Hv40 に近い。若干の相違は  $\delta$  フェライトの影響である可能性が考えられる。



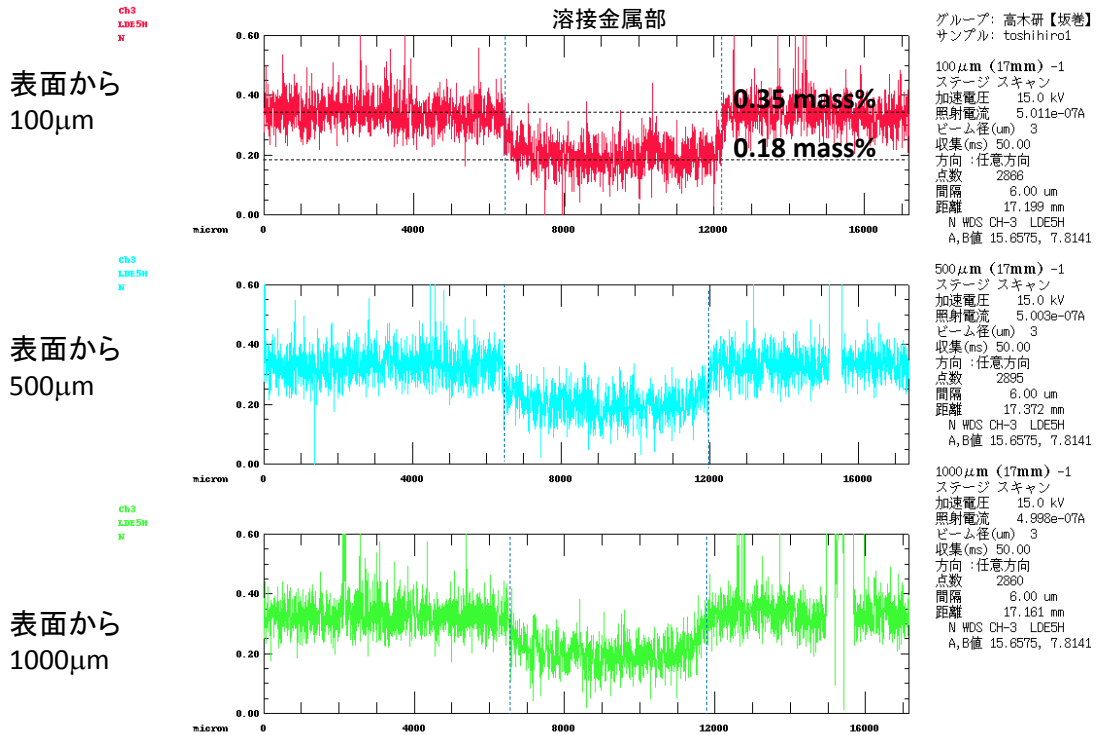


図 3.12 溶接部の窒素濃度分布を示す EPMA ラインプロファイル

### ③ 溶接金属部の組織

図 3.13 は、前掲図 3.11 に示した溶接金属の中央部を拡大して観察した結果を示す。等軸なオーステナイト組織が失われ、微細な第 2 相が網状に発達していることがわかる。溶接金属部から得られた X 線回折パターン (図 3.14) から、オーステナイト相に加えて約 10vol.% のフェライト相の存在が確認される。つまり網状に発達した第 2 相は、窒素濃度が低下したことにより形成された δ フェライトであり、それが室温まで持ち来されたものであると考えられる。図 3.15 に示した Fe-22Cr-12Ni-5Mn-0.2V-0.2Nb-N 系合金平衡状態図から、窒素濃度が 0.18% まで低下するとオーステナイトが不安定となり、とくに 1200°C 以上の高温になるともはやオーステナイト相が全く存在しなくなることも予想できる。詳細な組織形成機構を知るには、0.18%N 組成の融液における凝固過程と、その後の相変態挙動を調査する必要がある。

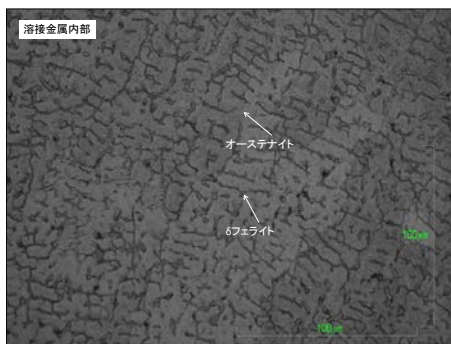


図 3.13 溶接金属部の光顕組織

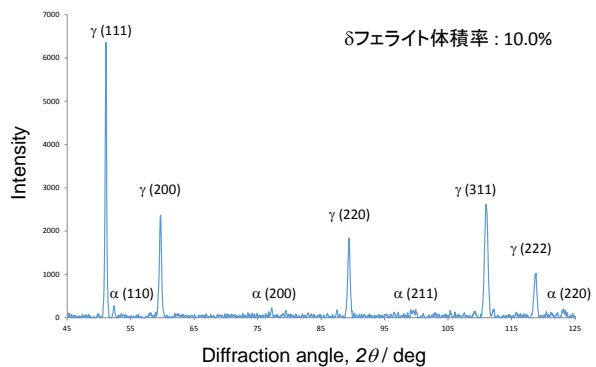


図 3.14 溶接金属部から得られた X 線回折パターン

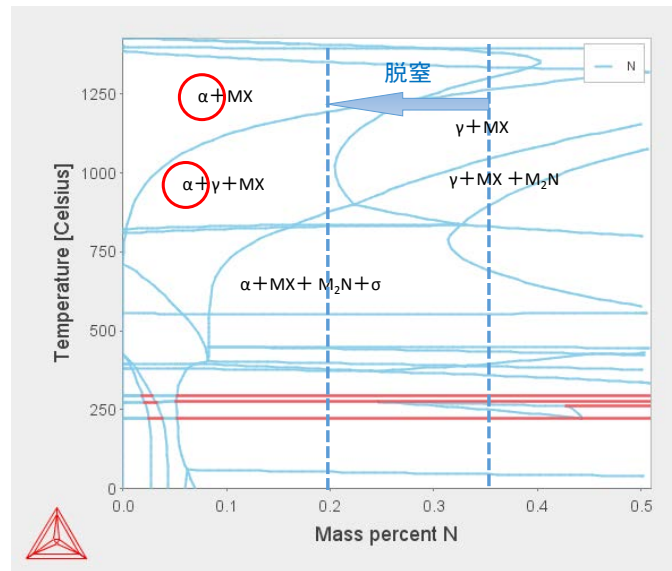


図 3.15 Fe-22Cr-12Ni-5Mn-0.2V-0.2Nb-N 系合金平衡状態図

#### ④ HAZ 部における強度低下とその要因

前掲図 3.11 によると、HAZ 部は顕著な軟化を生じており、溶接金属部同様に破壊の起点になり得ると考えられるため、その軟化理由の解明と回避手法の構築が不可欠となる。図 3.11 および図 3.12 の EPMA の解析結果から、HAZ 部における脱窒の程度は小さいことから固溶強化の低下は考えなくてよい。したがって、溶接時の加熱により生じた HAZ 部におけるオーステナイト粒粗大化に伴う結晶粒微細化強化量の低下が軟化の最大の要因であると考えられる。結晶粒粗大化に伴う強度低下は Hall-Petch の関係から見積もることができる。ただし窒素含有オーステナイト鋼の場合、窒素濃度によってその関係が変化し、同一の結晶粒径であっても結晶粒微細化強化量に窒素濃度依存性があることに留意しなければならない。図 3.16 は、窒素濃度の異なるオーステナイト鋼における Hall-Petch の関係を示す。本 HAZ 部の窒素濃度は約 0.3 mass% であるから、0.3%N の関係を使って、溶接前（粒径 6 $\mu\text{m}$ ）の鋼材の耐力と HAZ 部（38 $\mu\text{m}$ ）の鋼材の耐力の差を見積もると、約 170MPa となる。これはビッカース硬さで言えば HV50 程度に相当し、図 1 に示された HAZ 部での約 HV40 程度の軟化と比較するとやや大きい。つまり、HAZ 部における硬さの低下は結晶粒粗大化に起因するものであり、ここでの特性低下を防ぐには、脱窒を押しさえるだけでなくオーステナイト粒成長抑える工夫が必要であることをこの結果は示唆している。

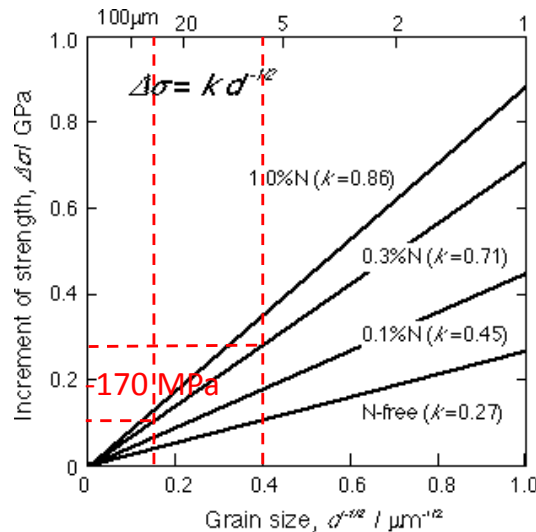



図 3.16 高窒素オーステナイトの Hall-Petch プロット



### ⑤ 溶接部における析出物

析出物については現在調査中であり、未だ観察結果は得られていない。ただし Thermo Calc. を用いた計算により温度や窒素濃度の変動に伴う平衡析出物の種類や組成、基地オーステナイトの組成、各相の量の変化を予想することは可能である。表 3.3 は Fe-22Cr-12Ni-5Mn-0.2V-0.2Nb-0.3N 合金における 1105°C、908°C、701°C での平衡相の種類とそれらの平衡組成（モル濃度）の計算結果を示す。このように温度と平均組成が決まれば一義的に平衡相の情報が得られるので、溶接の際の熱履歴から速度論的な考察を行うことである程度の現象理解は可能かもしれない。どの程度の情報が必要であるかの検討も含めて今後の課題としたい。

表 3.3 Fe-22Cr-12Ni-5Mn-0.2V-0.2Nb-0.3N 合金における平衡相の種類と組成



Temperature	Phase	Chemical composition (mol%)	Amount (mol%)
1105°C	γ	58Fe-23Cr-11Ni-5Mn-1Mo-1N-0.2V	99.7
	MN	28Nb-21V-48N-3Cr	0.3
908°C	γ	59Fe-23Cr-11Ni-5Mn-1Mo-0.7N	98.4
	MN	25Nb-24V-49N-2Cr	0.2
	M <sub>2</sub> N	52Cr-33N-8V-4Nb-2Mo	1.4
701°C	γ	62Fe-18Cr-13Ni-6Mn-1Mo-0.09N	81.4
	MN	28Nb-22V-49N-1Cr	0.1
	M <sub>2</sub> N	56Cr-33N-6V-3Nb-1Mo	3.2
	σ	47Fe-46Cr-3Mo-3Mn-2Ni	15.3

### (3) 溶接部の水素脆化評価

高圧水素ガス配管には、水素ガスによる圧力変動が加えられる。この圧力変動は、配管の材料に疲労をもたらすため、配管溶接部の疲労特性、ならびにその疲労特性に及ぼす水素の影響を解明する必要がある。現在までの成果は、配管の内圧による疲労破壊の評価が可能である疲労試験方法の開発、配管溶接材（基本の溶接方法による試験片）の疲労強度特性の取得である。疲労特性に及ぼす水素の影響は、現在は水素チャージ材を用いた評価の途中である。高圧水素ガス中の疲労試験、SSRT 試験は今年度の実施項目であり、今後実施する。

### ① 内圧模擬疲労試験法の開発

図 3.17 に、本研究開発の一環で実施した配管未溶接材の内圧による破裂試験で見られた破壊の様相を示す。図のように、配管の内圧による破壊は、配管が軸方向に割れるように起きている。これは内圧により配管に発生する応力は、円周方向の成分が最大であることによる。このような応力状態は疲労試験にも同様であり、配管溶接材の内圧変動による疲労の評価が目的である本研究開発にとって、配管の軸方向に疲労き裂を生じる疲労試験法の開発が必須である。一般に広く行われている軸荷重や曲げ荷重形式の疲労試験では、疲労き裂が試験片の軸に対して直角方向に生じるため、内圧による疲労破壊を模擬することは困難である。一方、内圧を繰り返す疲労試験は、想定している配管の疲労破壊そのものを評価できるが、ガスの圧縮による発熱、内圧の繰返し速度が数 Hz と低いこと、実物の配管を疲労破壊させるには相当に高い内圧を負荷できる試験機を用意するか配管の肉厚を薄く加工するかしなければならないことなど、限られた研究期間内で目的を達成するためには多数のバリアがある。



図 3.17 内圧による管の破壊様式

図 3.18 に、本研究で開発した内圧模擬疲労試験方法の原理を示す。図のように、上下の極を圧縮するように配管に線状の荷重を負荷すると、荷重線直下の配管内面には引張の円周方向応力が発生する。き裂はこの円周方向応力によって発生・進展するため、配管軸方向にき裂が発生する内圧による疲労破壊の様式が再現される。線荷重は通常の疲労試験と同様の機械的な方法をもって与えることができるため、数十 Hz の負荷周波数により効率的な評価が可能である。さらに、ある安全率をもって厚肉につくられている実物の配管を疲労破壊させるだけの荷重を負荷することも可能である。その上、水素チャージを施した配管を試験片に用いたり、水素ガス容器付きの疲労試験機を用いたりすることにより、配管の疲労強度に及ぼす水素の影響を解明することも可能である。ただし、線荷重による円周方向応力の肉厚方向の分布は、内圧により生じる応力分布とは完全には一致しないため、この方法の適用範囲を明確にする必要がある。

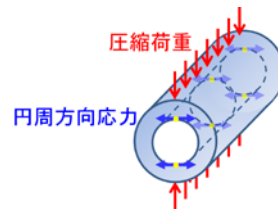


図 3.18 内圧により配管に疲労破壊を生じる応力を模擬する方法

配管を上下から圧縮する方法による疲労試験が、内圧の繰返しによる疲労を模擬するために妥当であるかどうか検証するために、有限要素法 (FEM) による解析を行った。解析に使用したモデルを図 3.19 に示す。き裂の計算を行うため、内圧負荷の解析にも軸対称ではなく、1/4 対称モデルを使用した。有限要素分割はき裂の部分で最小にし、その寸法は  $1\mu\text{m}$  とした。要素には平面ひずみ要素を定義し、二次元弾性解析を行った。モデルに付与した材料定数は、弾性係数  $198\text{GPa}$ 、ポアソン比  $0.3$  である。モデルは実物の配管と同じ大きさ (外径  $4.88\text{mm}$ 、内径  $2.34\text{mm}$ 、肉厚  $2.34\text{mm}$ ) となるように作製した。

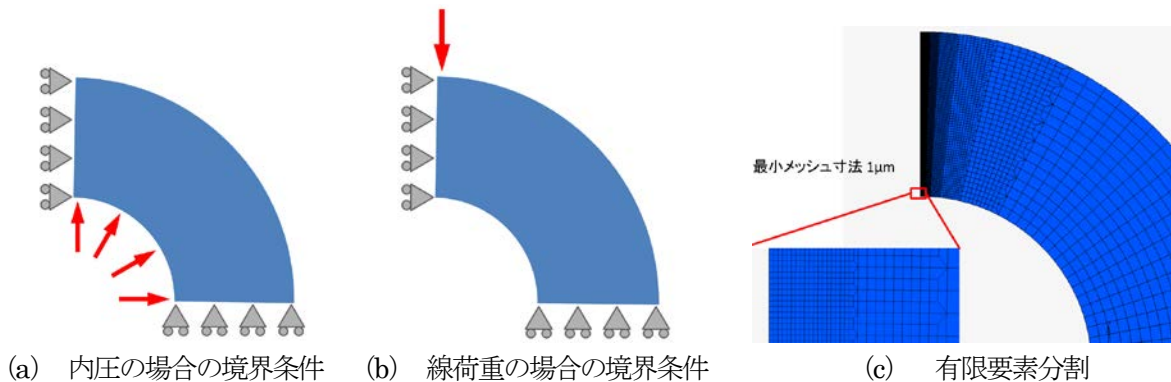


図 3.19 内圧模擬疲労試験の妥当性検証のための有限要素法解析モデル

図 3.20 に配管断面における円周方向応力分布を示す。内圧を負荷した場合、引張の円周方向応力が発生している。円周方向応力は内面で最大である。一方、線荷重の場合は荷重点直下に限定されるものの内面に最大の引

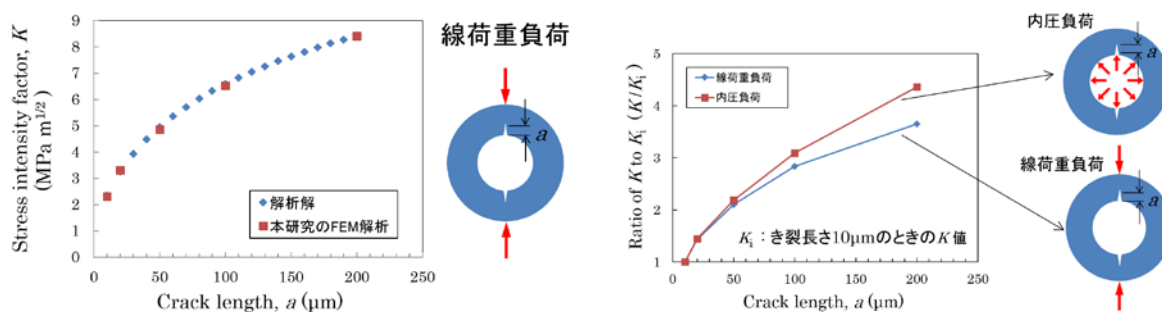
張円周方向応力が発生している。



(a) 内圧 200MPa の場合 (b) 線荷重 4kN の場合

図 3.21 配管断面における円周方向応力分布の比較

図 3.21 に、有限要素モデルにき裂を導入して、き裂の応力拡大係数 ( $K$  値) を求めた結果を示す。 $K$  値は変位外挿法によって求めた。図 (a) は解析解 (村上、岸根、鶴、機論 A52-480 (1986) 1855-1863) と本研究の FEM 解析結果の比較を示す。両者の結果は良く一致しており、本解析が妥当であることが確認された。図 (b) はき裂が成長するにつれて生じる  $K$  値の変化を内圧の場合と線荷重の場合で比較したものである。き裂が短い間は、内圧と線荷重による  $K$  値はよく一致した。き裂長さが大きくなるにつれて線荷重の  $K$  値が低めになる傾向を示し、き裂長さが  $100\mu\text{m}$  に達すると両者の差は約 10% となった。



(a)  $K$  値の計算の妥当性の検証

(b) 内圧と線荷重の  $K$  値の変化の比較

図 3.21 配管のき裂の解析

図 3.22 に、配管側面のひずみをき裂長さとの関係により示す。図のように、配管側面のひずみはき裂の成長とともに単調に増加しており、また、この関係はひずみの初期値で基準化したひずみを用いれば荷重の大きさに関係なく一本の曲線で表される。そのため、配管にひずみゲージを貼り付けて疲労試験中にひずみを連続的に測定すれば、この関係に基づいてき裂長さの推定ができる。この方法により、上図 (b) のようなき裂が長くなった時に内圧と線荷重の状態が乖離する問題を解決した。

以上の解析により、内圧の繰返しにより配管に生じる疲労破壊を、線荷重で模擬する試験方法の原理が確立された。

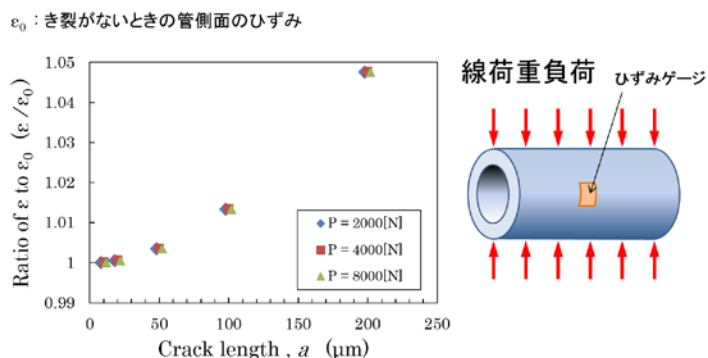


図 3.22 き裂成長にともなう配管側面のひずみの変化

図 3.23 に、この方式で疲労試験を実施し、疲労破壊した配管の写真を示す。疲労き裂は配管の軸方向に発生しており、内圧の繰返しによる疲労の場合と同様の破壊モードが再現できた。

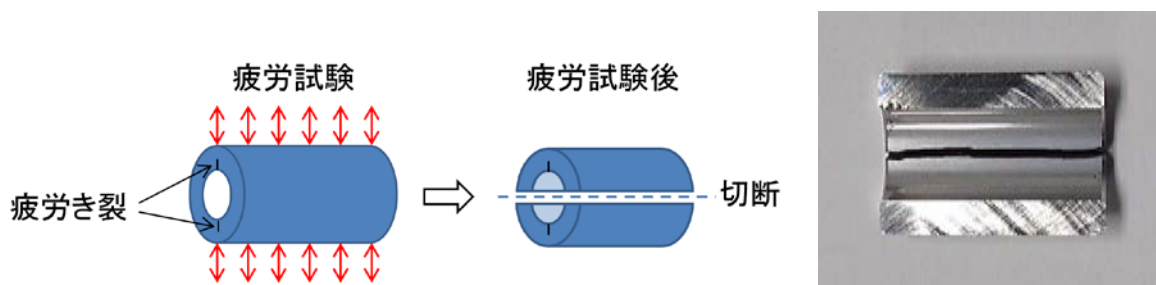


図 3.23 内圧模擬疲労試験の疲労き裂

## ② 内圧模擬疲労試験

図 3.24 に、上述のような負荷形式による疲労試験を実施した疲労試験機を示す。配管を 15mm の長さに切り出したものを疲労試験片とした。ピンで支持したレバーに偏心カムで振動を与え、その振動により繰返しの圧縮荷重を試験片に与えた。荷重の大きさは偏心カムの偏心量とレバーとカムの接触位置により調節できる。圧縮荷重は試験片ホルダの下側に取り付けられたロードセルによって測定した。試験片の側面にひずみゲージを貼り付け、配管側面のひずみを試験中連続的に測定した。試験機の負荷容量は 2kN、負荷周波数は可変であり最大は 30Hz である。

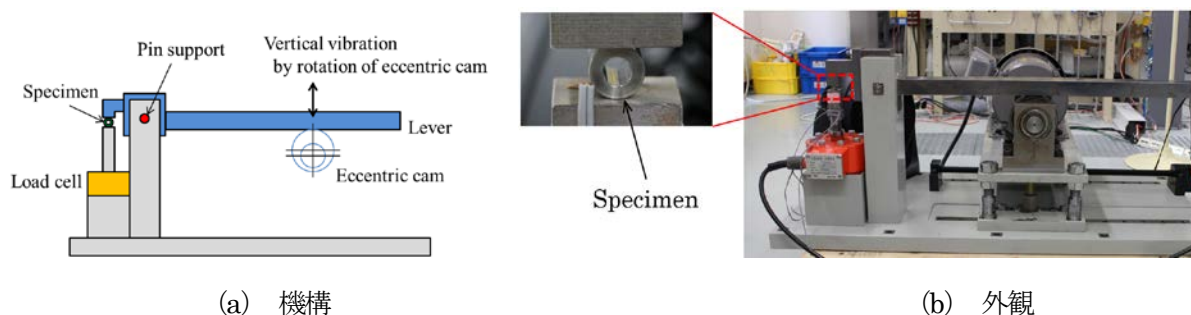


図 3.24 内圧模擬疲労試験機

図 3.25 に本研究開発で評価に用いた基礎溶接配管の外観を示す。溶接条件は今後の開発により複数あるが、現在までに基準となるもっとも基本的な溶接条件で溶接した配管の疲労強度評価を行った。図 3.26 に溶接配管

と未溶接配管の断面の硬さの分布を示す。溶接配管の硬さは溶接熱影響部 (HAZ) から溶接部に向かって低下している。疲労強度は硬さと良い相関があることが知られており、その知見からは基本溶接条件で施工した溶接部の疲労強度は未溶接部の疲労強度よりも低いことが予想される。



図 3.25 内圧模擬疲労試験に供した溶接配管

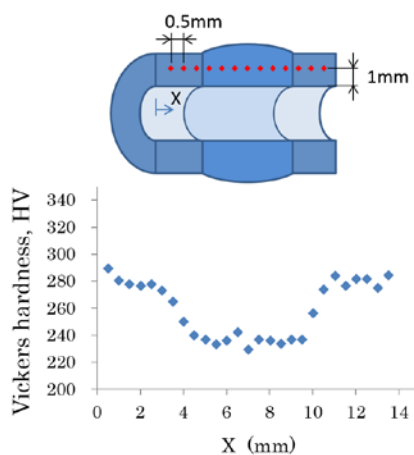


図 3.26 溶接配管（基本溶接条件）の断面の硬さ分布

図 3.27 に、溶接配管から切り出した疲労試験片を示す。外面に溶接ビードの盛り上がりがあるままでは均一な線荷重の負荷が非常に困難であるので、ビードの盛り上がりがないまで最小限外径を切削してから疲労試験に供した。疲労試験に使用した配管の外径は、未溶接管  $\phi 9.55\text{mm}$ 、溶接管  $\phi 8.91\text{mm}$  であった。

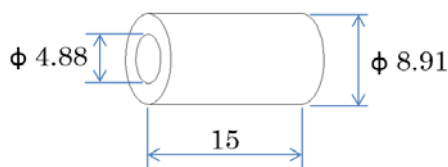


図 3.27 内圧模擬疲労試験の試験片形状・寸法（寸法の単位は mm）

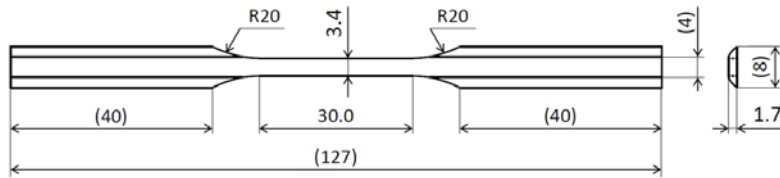
内圧模擬疲労試験は、応力比  $R=0.1$ 、負荷周波数 20Hz、室温、大気中で実施した。

配管の材料は、高窒素ステンレス鋼 XM-19 である。表 3.4 に材料の機械的性質を示す。機械的性質は図 3.28 に示す配管から切り出した平板試験片によって求めた。

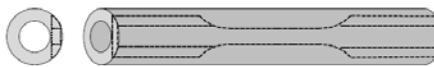


表 3.4 配管の機械的性質

材質	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	引張り強さ $\sigma_B$ (MPa)	伸び $\lambda$ (%)
XM-19	592	913	41.8



(a) 引張試験片形状・寸法



(b) 引張試験片の採取方法

図 3.28 配管の引張試験片

図 3.29 に、溶接配管の内圧模擬疲労試験の結果を示す。基本の溶接条件で溶接した配管の内圧模擬疲労試験における疲労限度は $\sigma_w = 210\text{MPa}$ であった。図 3.30 に溶接配管の疲労試験後の内面を示す。内面の微視組織は、溶接によりいったん溶融したためデンドライト状組織を呈する。微視組織には微細な粒状の析出物が見られ、溶接による高温により生成した $\delta$ -フェライトの可能性もある。疲労き裂の発生、および進展と溶接組織の関係については、今後溶接部の金属組織評価の部門と連携して解明する。

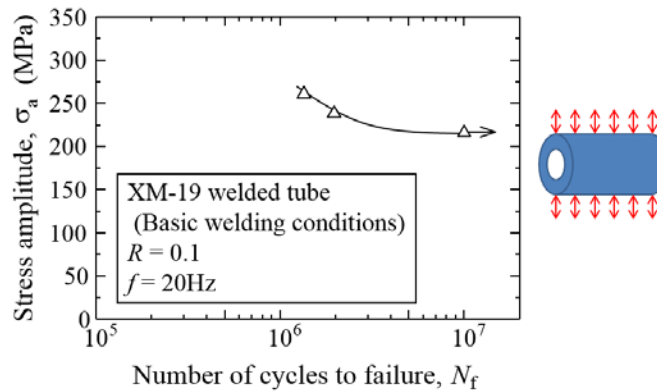


図 3.29 溶接配管（基本溶接条件）の内圧模擬疲労試験結果

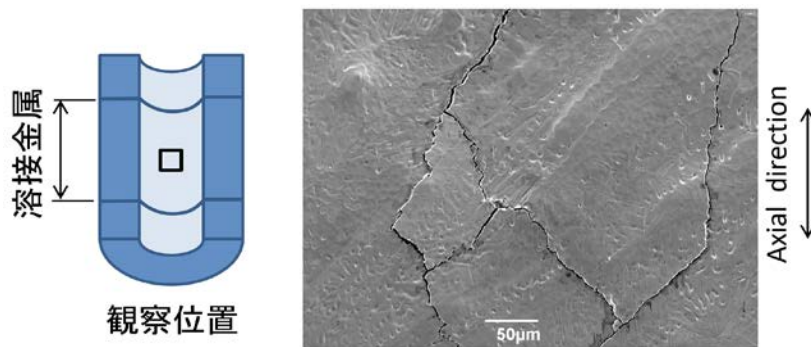


図 3.30 溶接配管の疲労き裂

### ③ 溶接配管の疲労強度に及ぼす水素の影響

溶接配管の疲労強度に及ぼす水素の影響を明らかにするため、試験片の水素量を増加させる処理である水素チャージ処理を行った。水素チャージは、試験片を高压水素ガスに曝露する方法で行った。水素チャージ条件は、水素ガス圧力 100MPa、温度 270°C、時間 72hr である。従来のオーステナイト系ステンレス鋼の水素チャージ試験の結果を参考にすると、この条件でおよそ 100mass ppm の水素が厚み方向に均一にチャージできると考えられる。

水素チャージ材の疲労試験は継続中であり、ここでは途中経過を示す。図 3.31 に、溶接配管（基本溶接条件）の水素チャージ材の内圧模擬疲労試験の結果を示す。水素チャージ材の疲労寿命は未チャージ材と同等であり、水素チャージにより配管の疲労強度低下はみられなかった。

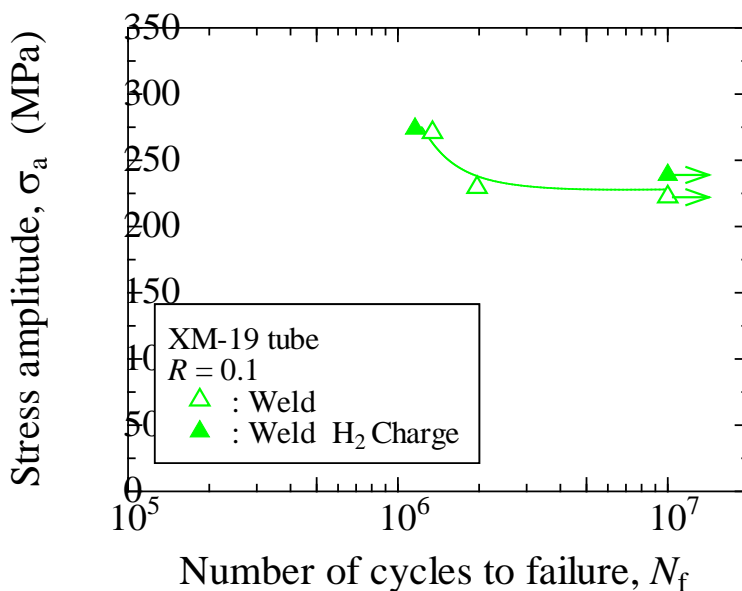


図 3.31 溶接配管の疲労寿命に及ぼす水素チャージの影響

### ④ 溶接部の水素脆性評価のまとめ

内圧の繰り返しによる溶接配管の疲労損傷に対する水素の影響を解明するために、配管の内圧疲労に特有な破壊モードをシミュレートし、効率的に研究開発を可能とする疲労試験方法を開発した。基本溶接条件で溶接した溶接配管の疲労強度を取得した。水素の影響を評価するために、溶接配管に水素チャージを施した。水素チャージによる溶接配管の疲労寿命の低下は認められなかった。



### 3. 2 成果の意義

#### (1) 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

溶接継手導入のためには安定、高品質かつ簡便な溶接を行うための溶接技術が必要となる。ここでいう高品質とは高窒素濃度、高強度維持、良好な金属組織、耐水素脆性である。本成果では、溶接材料の使用により高強度維持が可能であることが確認された。溶接材料は、既存の自動 TIG 溶接機で使用可能なので安定した溶接が簡便に得られる。また、高窒素濃度維持にはシールドガスへの窒素ガス混合が有効であると考えられるが溶接パラメータによっては十分な効果が得られない可能性があることが示された。本成果は、溶接材料、溶接ガスに加えて適切な溶接パラメータ制御が必要なることを示しており、事業化を検討する上で極めて有意義であると考えられる。

#### (2) 溶接金属の金属組織評価

溶接部の力学特性には、窒素濃度に加えて結晶粒径、析出物の種類と量、 $\delta$ 相、相間での窒素分配など様々な因子が関係しており、それらの定量評価から溶接部の強度変化が予測できることが示された。また、基礎溶接配管の金属組織観察から溶接条件最適化の指針となるデータが示された。

#### (3) 溶接部の水素脆化評価

これまで内圧サイクルによる配管の疲労特性評価には複数の制限があったが、本成果では機械的手法を用いて内圧サイクルを模擬可能な疲労試験方法を開発した。本疲労試験方法によって、広範囲の疲労特性がより短時間で評価可能かつ実際の破壊モードにおける溶接部の破壊メカニズム解明が可能となった。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

さらなる溶接継手高強度化に必要な高窒素濃度維持には溶接パラメータの改善が必要であるが前事業ですでに 0.273 mass% という高窒素濃度を達成しており、前事業での溶接パラメータを参考にすることで余盛りなし溶接継手で引張強さ 800MPa 以上、余盛りつき溶接継手強度は母材と同等すなわちオーバーマッチ継手が達成可能と考えられる。さらに、高窒素濃度を達成することで溶接金属部の  $\delta$  フェライト量が減少し、耐水素脆化特性が向上することが期待される。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

複数の溶接条件で溶接継手を作製し、その強度特性評価を行うことで溶接条件最適化に必要な情報が集まりつつある。特に、高強度維持に必要な溶接材料の使用量、高窒素濃度維持に必要な窒素混合溶接ガスの有効活用には溶接パラメータの最適化が必要なることが明らかになった。また、金属組織評価および疲労特性評価から溶接継手の健全性評価に必要な評価項目、評価手法が明らかになった。

今後の課題は、溶接継手導入に必要なクライテリアの明確化である。すなわち、どのような評価基準と評価手法が水素ステーションへの溶接継手導入に必要なかを議論する必要がある。

事業化までのシナリオとしては、まず上記のクライテリアを明確にしたうえで、溶接継手適用先の選定にあると考えている。すでに複数の配管機器メーカーとコンタクトを取り、溶接継手導入のための議論を進めている。また、事業化に必要なコスト試算についても検討を行う予定である。

## 5. 研究発表・特許等

### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015年3月13日	日本機械学会九州支部 第68期総会・講演会 (口頭発表)	高圧水素配管の疲労試験 方法の開発	山本侑生, 久保田祐 信, 松本拓哉

### －特許等－

なし

**(Ⅲ-①-(3)) 「水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に  
関する研究開発／水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」**

委託先：佐賀県  
(一社) 日本雷保護システム工業会  
(有) 鳥栖環境開発総合センター

●成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成28年度終了(または予定))

水素ステーションの雷害対策の現状を調査し、発生が懸念される人的、設備的被害リスクの洗い出しを行うとともに、直撃雷及び雷サージ (過電圧) リスクについて分析を行った。  
雷害リスクに対応した対策を検討するための評価試験の内容を検討した。

●背景/研究内容・目的

水素ステーションへの落雷を想定して、人的被害や水素ステーションに使用されている計器等の被害 (雷害) の発生リスクを検証し、被害防止に向けた研究開発を行うことで、「水素ステーションの雷被害対策ガイドライン (仮称)」を策定する。

●研究目標

実施項目	目標
A	既設水素ステーション及び類似施設の雷被害対策状況の把握
B	水素ステーションの構成機器等を分析し、構成機器毎の雷被害リスク (影響度) を想定
C	鳥栖水素ステーションにおいて実施するリスク評価 (印加) 試験の内容を決定
D	リスク評価 (印加) 試験の実施
E	リスク評価試験の分析
F	リスク評価試験の分析及び雷被害対策の検討
G	雷被害対策の実施及びリスク評価再試験の実施
H	リスク評価再試験の分析及び雷被害対策の検討
I	水素ステーション雷害対策ガイドライン (仮称) 策定

●実施体制及び分担等

NEDO	佐賀県 (実施項目A,D,G)
	(有)鳥栖環境開発総合センター (実施項目A,D,G)
	(一社)日本雷保護システム工業会 (実施項目A,B,C,E,F,H,I)

●これまでの実施内容／研究成果

開発項目	目標	成果
① 事例調査	既設水素ステーション及び類似施設の雷被害対策状況の把握	水素ステーションを視察調査するとともに、CNGステーションについて聞き取り調査を実施し、雷被害対策の現状を把握
②-1 リスクケースの想定	水素ステーションの構成機器等を分析し、構成機器毎の雷被害リスク (影響度) を想定	構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを分析し、個別ステーション毎にリスクを評価するための基準を定めるとともに、リスクに応じた対策の考え方を検討
②-2 リスク評価試験内容の検討	鳥栖水素ステーションにおいて実施する印加試験の内容を決定	鳥栖水素ステーションにおいて実施する印加試験の内容を決定

●今後の課題

リスク評価試験によって想定外の結果が得られること。

●実用化・事業化の見通し

規格化されている雷被害対策を水素ステーションに合わせて整理するものであり、雷被害対策の規格化に際し中心的な役割を担ってきた(一社)日本雷保護システム工業会が維持管理を予定していることから、実用化可能と考えている。  
また、水素ステーションに係る安全基準等を策定・運用する団体と研究成果を共有し、必要に応じ、これらの団体が策定・運用する安全基準等に反映させることで、普及が図られるものと考えている。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
事例調査	水素ステーションを視察調査するとともに、CNGステーションについて聞き取り調査を実施し、雷被害対策の現状を把握	○
リスクケースの想定	構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを分析し、個別ステーション毎にリスクを評価するための基準を定めるとともに、リスクに応じた対策の考え方を検討	◎
リスク評価試験内容の検討	鳥栖水素ステーションにおいて実施する印加試験の内容を決定	○

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
該当なし	該当なし	該当なし	該当なし

## 課題番号：Ⅲ－①－(3)

水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究

### 水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発

#### 1. 研究開発概要

ベントスタックへの落雷を想定し、人的被害及び、水素ステーションに使用されている計器類への被害の発生リスクを検証し、被害防止に向けた研究開発を実施。

#### 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

水素ステーションは、これまでは実証研究用の設備として整備し、運用が行われてきた。そのため、雷が発生した場合に、設備の運営を停止するなどの方法により人的被害を防止することが出来るとともに、設備への被害が生じた場合でも、一定期間設備を停止することが可能であった。しかしながら、水素ステーションの商用運用が始まった今日では、ガソリンスタンドが雷発生時でも運営されているように、水素ステーションも運営が求められるとともに、雷被害発生による設備の運営停止も許されない。

そこで、水素ステーションへの雷被害や雷サージ被害を想定し、水素ステーションにおける人的被害や計器類への被害を防止することを目的とした、「水素ステーションの雷被害対策ガイドライン（仮称）」を策定する。

#### 3. 研究開発成果

##### 3. 1 研究開発成果、達成度

###### (1) 事例調査

###### ① 水素ステーションへの視察調査

鳥栖水素ステーション（佐賀県鳥栖市）、尼崎水素ステーション（大阪府尼崎市）、とよたエコフルタウン水素ステーション（愛知県豊田市）及び練馬水素ステーションを対象に、視察調査を実施した。

直撃雷対策としては、多くが他の構造物の保護範囲に入っていたことから、対策の必要が無かった。他の構造物の保護範囲に入っていなかった「とよたエコフルタウン水素ステーション」については、ベントスタック及びキャノピーに対し、対策が取られていた。

雷サージ対策については、全ての水素ステーションにおいて、十分な対策が取られてはいなかった。

###### ② 水素ステーションへのアンケート調査

既に運営が行われていた商用水素ステーションを対象に、雷被害対策の実施状況についてアンケート調査を実施した。その結果、直撃雷対策については実施されていたのは1箇所のみで、雷サージ対策については実施されていなかった。

###### ③ CNGステーションへの聞き取り調査

一般社団法人日本ガス協会の協力を得て、CNGステーションにおける雷被害対策の状況について聞き取り調査を実施した。その結果、雷発生時には運営を停止するなどの方法により被害の防止を図っており、設備面での雷被害対策は特に考慮されていなかった。視察調査を行った練馬水素ステーションは、CNGステーションと併設されていたが、都市ガス事業の構造物の保護範囲に入っていたことから、同様の理由により雷被害対策としては実施されていない事が想定される。

###### (2) リスクケースの想定

水素ステーションを構成する設備について、水素漏洩リスク、損傷によるリスク及

び人的リスク発生による影響を分析し、「大」「中」「小」に分類した。

水素漏洩リスクについては、「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」の「23.ガス漏洩検知警報設備及びその設置場所」において、可燃性ガスは爆発下限界の1/4以下の値となっており、水素の爆発下限界値が4%であることから、影響度大の漏えい水素濃度を1%とし、0.1%を影響度中、0.1%未満を影響度小とした。

損傷によるリスクについては、高圧ガス保安法において重要な設備を影響度大、営業上重要な設備を影響度中、その他の設備を影響度小とした。

人的リスクについては、被害の程度に関わらず全て影響度大とした。

リスクケースと該当する設備の分析結果については、表1のとおり。

表1 リスクケースと該当する設備

影響度	被害内容	条件	該当する設備 (例)
大	水素漏洩	1% (10,000ppm) 以上	蓄圧器、水素配管
	設備の損傷	高圧ガス保安法において重要な設備	センサー類、圧力計、安全弁、防爆機器、散水、プレクーラー
		高圧ガスの製造において重要なその他の設備	圧縮機、制御盤、受電盤
	人的被害		
中	水素漏洩	0.1% (1,000ppm) 以上 1% (10,000ppm) 未満	該当なし
	設備の損傷	営業上重要な設備	計量器、精算機
小	水素漏洩	0.1% (1,000ppm) 未満	該当なし
	設備の損傷	上記に含まれない設備	一般警備機器、サービス施設、照明

また、雷保護システムにおいては、雷被害の発生頻度（発生確率）に応じて適切な対策を講じることとされていることから、対策を講じるべき発生頻度とともに、発生頻度の算出方法について整理した（IEC規格に準拠）。

対策を講じるべき発生頻度については、表2のとおり。

表2 雷被害対策を講じるべき発生頻度

影響度	被害内容	想定落雷数 (発生頻度)	想定雷サージ数 (発生頻度)
大	水素漏洩	$2 \times 10^{-3}$ 【回/年】 以下	落雷密度によらない
	設備の損傷		
	人的被害		
中	水素漏洩	$1 \times 10^{-2}$ 【回/年】 以下	1 【回/k m <sup>2</sup> /年】 以上
	設備の損傷		
小	水素漏洩	$2 \times 10^{-2}$ 【回/年】 以下	2 【回/k m <sup>2</sup> /年】 以上
	設備の損傷		

各発生頻度の算出方法については、図1及び図2のとおり。

図1 想定落雷数の算出方法

## IEC62305-2 Risk management による $N_D$ の算出方法

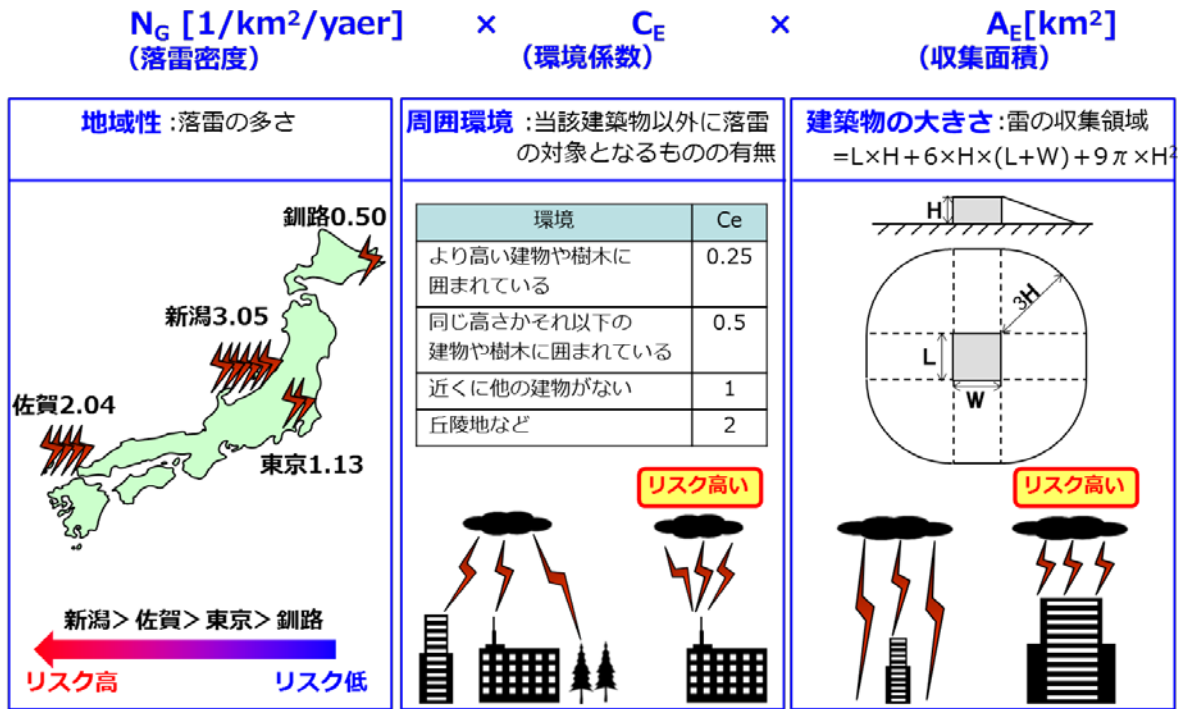


図2 想定雷サージ数の算出方法

**想定雷サージ数** = 落雷密度 (回/km<sup>2</sup>/年) × 収集面積 (km<sup>2</sup>)

現行のIEC規格では、建物の**周囲500m以内 ( $A_M$ )** への落雷を対象に、雷サージの影響を検討  
(改定時に**350m**に改められる予定)

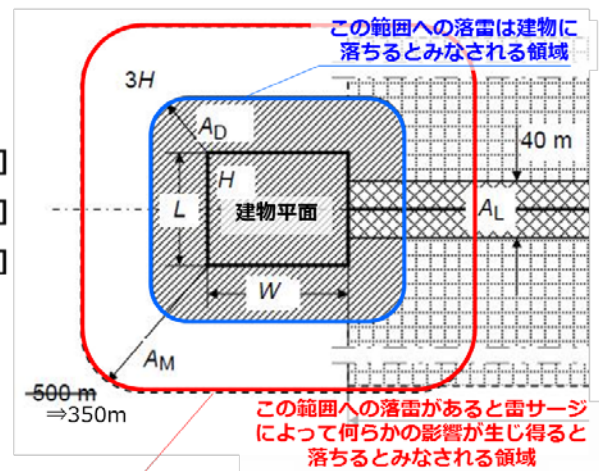
水素ステーションの場合、 $L, W \ll 350m$  であるため、 $A_M \doteq \pi \times 350^2(m) \doteq$  **0.385 (km<sup>2</sup>)**

### 想定雷サージ数の例

落雷密度:1 (回/km<sup>2</sup>/年) ⇒ **0.385 [回/年]**

落雷密度:2 (回/km<sup>2</sup>/年) ⇒ **0.770 [回/年]**

落雷密度:3 (回/km<sup>2</sup>/年) ⇒ **1.155 [回/年]**



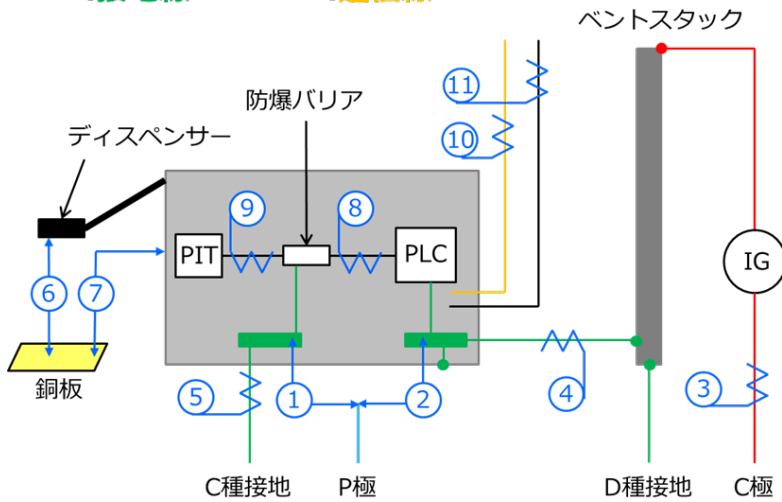
### (3) リスク評価試験内容の検討

水素ステーションにおいて直撃雷を受ける可能性が高いベントスタックや、雷サージ侵入経路として最も可能性が高い電源線・接地線に対し、落雷を模したインパルス発生器により印加し、人体及び機器の影響を評価するための試験内容を取りまとめた。

これにより、予定どおり H27 年度にリスク評価試験の実施が可能となった。

図 3 ベントスタック上部からの印加試験

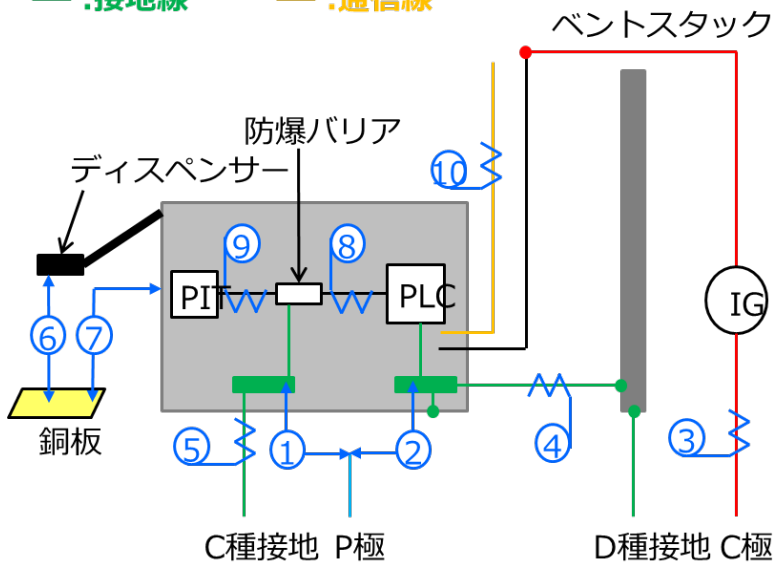
— :電流注入線 — :零電位線 — :電源線  
 — :接地線 — :通信線



番号	測定項目
1	C種接地～P極間電圧
2	D種接地～P極間電圧
3	通電電流
4	コンテナ分流電流
5	C種接地電流
6	ディスペンサー～大地間電圧
7	コンテナ～大地間電圧
8	防爆バリア 防爆側電流
9	防爆バリア 非防爆側電流
10	通信線電流
11	電源線電流

図 4 電源線からの印加試験

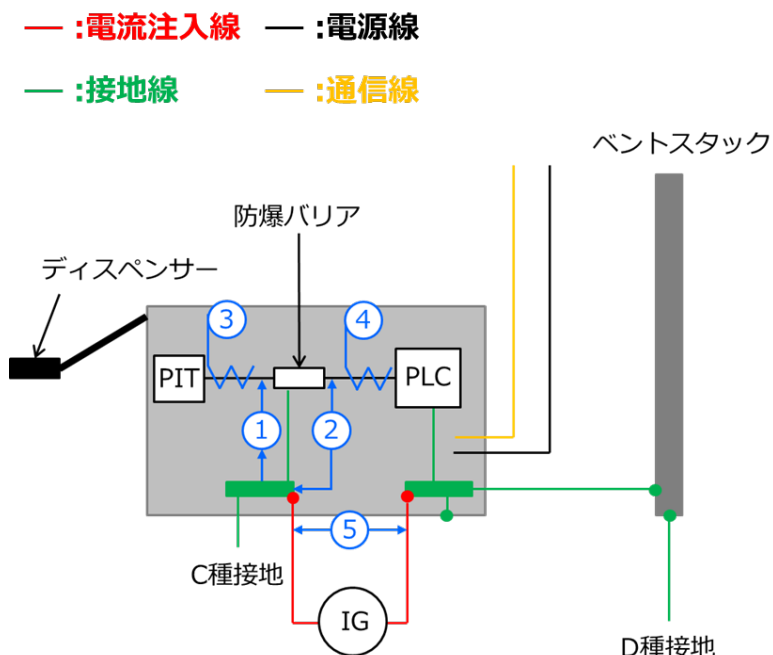
— :電流注入線 — :零電位線 — :電源線  
 — :接地線 — :通信線



番号	測定項目
1	C種接地～P極間電圧
2	D種接地～P極間電圧
3	通電電流
4	コンテナ分流電流
5	C種接地電流
6	ディスペンサー～大地間電圧
7	コンテナ～大地間電圧
8	防爆バリア 防爆側電流
9	防爆バリア 非防爆側電流
10	通信線電流



図5 ベントスタック上部からの印加試験



番号	測定項目
1	防爆側～接地端子間電圧
2	非防爆側～接地端子間電圧
3	防爆側電流
4	非防爆側電流
5	印加電圧

### 3. 2 成果の意義

事例調査による成果の意義としては、水素ステーションにおける雷保護対策の実施状況について現状を把握することができた。

リスクケースの想定については、影響度を3段階に分類し、分類条件とともに該当設備を具体的に示すことができた。併せて、雷害対策の必要性等を判断するために必要な直撃雷及び雷サージの発生頻度について、IEC規格に準拠した算出方法を取りまとめることができた。これにより、地域特性や水素ステーションの設備の状況に応じた発生頻度が算出でき、どの程度の雷害対策が必要になるのか容易に判断することが可能となる。

事例調査の結果を踏まえ、鳥栖水素ステーションにおいて実施するリスク評価試験の内容を取りまとめることができた。これにより、当初の予定どおりH27年度にリスク評価試験の実施が可能となった。なお、実際に水素ステーションにおいて印加試験を実施するのは、世界初の試み。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

H26年度に実施を予定していた項目については、全て予定どおり達成している。これにより、H27年度に実施を予定していた項目についても予定どおりに実施できると考えている。

最終目標の達成可能性については、リスク評価試験の結果にもよるが、十分に達成可能と考えている。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業は、体系的に整理されている雷被害対策を、水素ステーションに合わせて整理するものであり、雷被害対策に係る規格改正に対しては、我が国における雷被害対策の規格化に際し中心的な役割を担ってきた実績を有する「一般社団法人日本雷保護システム工業会」が対応していく予定であることから、実用化可能と考えている。

また、事業化に際しては、実際に水素ステーションを整備しようとする事業者に対し適切に周知を図ることが課題として挙げられるが、水素ステーションに係る安全基準等を策定・運用する団体と研究成果を共有するとともに、必要に応じてこれらの団体が策

定・運用する安全基準等に反映させることで、普及が図られるものと考えている。

なお、研究の成果については、関連する展示会において展示することで、更に周知を確実なものとする予定。

## 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－ 該当なし

－特許等－ 該当なし

# (Ⅲ-①)-(4) 「水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」

委託：学校法人早稲田大学、株式会社坂本電機製作所、KOA株式会社

## ●成果概要（実施期間：平成26年度～平成27年度終了）

- ・センサ素子の高感度化のために白金触媒をセンサ上に選択的に電気メッキする技術を開発した。
- ・触媒反応熱などパラメータを実験的に導出し、センサの形状から感度や応答速度、検出下限濃度、消費電力など基本的な特性を予測する方法を開発した。
- ・センサの劣化を振動子のQ値低下に伴う等価直列抵抗の変化により検出する回路について、理論的解析およびシミュレーションにより検討した。

## ●背景/研究内容・目的

既存の水素センサでは、個々のセンサが実際の使用現場において劣化等を監視する機能については研究がなされておらず、劣化状況監視機能を組込むことは容易ではない。

これに対して、要求されている性能を満足するだけでなく、センサの劣化・故障を随時監視する自己故障診断機能を組込むことで信頼性を高めた水素振動子式水素センサを開発する。

- ・検出下限：0.01%
- ・応答時間：30秒以内（吸引装置使用時）
- ・劣化・故障の定量的評価法を確立
- ・応用機器開発：ハンディ式、定置式センサ

## ●研究目標

実施項目	目標
センサ素子	センサの高感度化、製作プロセスの確立
駆動回路	発振回路、ヒータ制御回路、信号処理回路の開発
パッケージ	セラミックパッケージの開発

先行してハンディ式水素ガス検知器を開発し、平成27年度末にバラックセット完成

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- 白金触媒の構造をメッキ時の電流密度でコントロールする方法を確立した。また、パターンニング、膜厚制御性、成膜コストにおいて良好な結果を得た。（図1、2）
- センサ形状から感度などの特性を予測する方法を開発した。試作センサに対して、寸法の最適化により応答速度3倍、消費電力1/4に向上できることが判明した。（図3）
- コンタミネーションによる振動子のQ値低下をモニタするために、等価直列抵抗の変化を検出する回路について、理論的解析およびシミュレーションにより検討した。発振回路を予備試作し、Q値の異なる振動子を用いて動作テストを実施した。（図4）

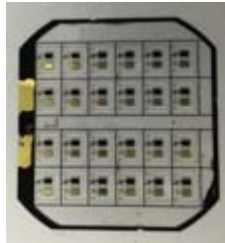


図1 触媒成膜後の水晶ウエハ

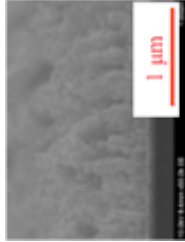


図2 触媒断面のSEM写真

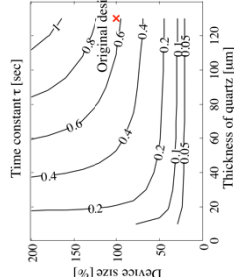


図3 素子サイズと応答速度の関係



図4 発振回路の動作テスト

## ●今後の課題

- センサ素子、駆動回路、パッケージ開発の継続的実施、本質安全（耐圧）防爆構造を満足するための改良
- ハンディ式ガス検知器のガス導入経路を含めたケースの開発
- 実用化・事業化の見通し

事業終了後にサンプル出荷を経てセンサシステム単体で販売開始。

優位性が市場認知された段階でハンディ式、定置式センサを市場投入する。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
センサ素子	触媒形成技術の開発、製作プロセスの改善	○
駆動回路	発振回路の設計と基礎実験、ヒータ制御回路の解析	○
パッケージ	パッケージの設計開始	○

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

特許出願（出願予定）	論文発表	外部発表	受賞等
1	—	—	—

## 課題番号：Ⅲ-①-(4)

水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究

### 水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発

#### 1. 研究開発概要

本プロジェクトは、2025年の水素ステーションの本格普及期に不可欠な技術要素である高度な次世代水素ガスセンサの開発を目的として実施している。水素ステーションの普及に求められる要件には、トラブルの未然防止及び迅速な解決に必要な安全技術の向上、周辺地域に理解されうる安心技術を両立することが重要な課題となっている。現状の水素センサではガスの選択性・検出感度・応答性・環境補償性・低消費電力等の要求を満たした上で、更にセンサ素子自身の劣化状況監視機能を組み込むことはセンサの動作原理上不可能である。これに対し、本グループが実現する水素センサでは、白金触媒と水晶振動子を組み合わせることにより水素ステーションで使用されている従来の水素センサの性能目標を達成し、その上でMEMS (Micro electro mechanical systems) 技術を応用することで白金の使用量を低減することにより価格低下を実現する。更に、例えば水晶振動子のQ値などの特性変化を検出することによってセンサの故障や性能劣化が随時監視できる自己故障診断機能を新たに開発し、その機能を付加することで水素センサの信頼性向上及び、維持コスト削減を実現する。

平成26年度～平成27年度のプロジェクト期間においては、以下の8項目について研究開発を行う。

- ① 水素センサの要求仕様と評価法の調査
- ② センサの高感度化と製作プロセスの確立
- ③ シミュレーション技術の開発
- ④ 水素センサ評価装置の改良
- ⑤ 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査
- ⑥ センサ駆動回路の開発
- ⑦ 水素センサ実用化における法規に関する調査
- ⑧ センサパッケージの開発
- ⑨ 検出部ケースの開発

#### 2. 研究開発目標

本プロジェクト中に、水素ステーションの設備天井裏等に設置される定置式水素センサと、水素ガス漏れ検査など保守点検で用いられるハンディータイプの水素センサの2種類の開発を行い、本年度（平成27年度）中にハンディータイプの子備試作品の完成を目指して研究開発を行う。開発する水素センサの目標仕様は、既に市販されている水素センサの調査結果及び、2015年2月13日に開催した有識者との意見交換会の内容をベースに設定した。ハンディータイプと水素ステーション定置式センサの製品仕様を以下に示す。

表1 ハンディタイプ水素センサの製品仕様（目標）

項目	目標
1 検知範囲	0～100%LEL（空气中水素濃度0～4%） ※LEL: Lower Explosion Limit 爆発下限界
2 検出下限	空气中水素濃度 0.01%
3 指示精度	試験用ガスの濃度（水素濃度 F.S.20%、F.S.50%、F.S.80%）と指示値の差が ±25%以内 ※F.S.: フルスケール
4 応答速度	水素濃度 F.S.50%において、吸引装置を用いた場合の 90%応答が 30 秒以内
5 水素防爆	本質安全防爆構造
6 自己故障診断機能	定量的評価法の確立
7 環境影響	環境温度：温度 0℃、20℃、40℃において試験用ガス（水素濃度 F.S.50%） の濃度と指示値の差が±15%以内
8 ガス選択性	メタン、イソオクタン、一酸化炭素に対する感度が同濃度の水素の 10%以下 (ISO 26142:2010)
9 耐被毒性	HMDS ガス被毒性評価：欧州規格 EN50291 に従う

他の項目については、JIS M 7653\_1996（携帯形可燃性ガス検知器）を準拠。

表2 水素ステーション定置式水素センサの製品仕様（目標）

項目	目標
1 検知範囲	0～100%LEL（空气中水素濃度0～4%） ※LEL: Lower Explosion Limit 爆発下限界
2 検出下限	空气中水素濃度 0.01%
3 指示精度	試験用ガスの濃度（水素濃度 F.S.20%、F.S.50%、F.S.80%）と指示値の差が ±25%以内 ※F.S.: フルスケール
4 応答速度	水素濃度 F.S.50%において、60%応答が 30 秒以内
5 水素防爆	耐圧防爆構造
6 自己故障診断機能	定量的評価法の確立
7 環境影響	環境温度：温度-10℃、20℃、40℃において試験用ガス（水素濃度 F.S.50%） の濃度と指示値の差が±25%以内
8 ガス選択性	メタン、イソオクタン、一酸化炭素に対する感度が同濃度の水素の 10%以下 (ISO 26142:2010)

9	耐被毒性	HMDS ガス被毒性評価：欧州規格 EN50291 に従う
---	------	-------------------------------

他の項目については、JIS M 7626\_1994（定置形可燃性ガス検知警報器）または、ISO 26142:2010（Hydrogen detection apparatus — Stationary applications）を準拠。

### 3. 研究開発成果

#### 3. 1 研究開発成果、達成度

各研究開発項目の目標と成果、達成度、今後の課題と解決方法についての一覧表を表3に示す。全ての研究開発項目の中で中間評価（平成27年9月）までに実施予定の項目のみを列記している。

以下に、主要な項目について詳細な研究開発成果を示す。

表3 研究開発項目の目標と成果、達成度の自己評価  
（自己評価 ◎：大幅達成、○：達成、△：達成見込み、×：未達）

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方法
① 水素センサの要求仕様と評価法の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>目標仕様の明確化</li> <li>定量的評価法の調査</li> </ul>	目標仕様を決定した。センサの定量的な評価法の文献調査及び検討を行った。	○	
② センサの高感度化と製作プロセスの確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>白金触媒の成膜技術開発</li> <li>製作プロセスの改善</li> </ul>	ナノ構造白金触媒の電気メッキ技術を開発した。製作プロセスの改善により歩留まり80%達成。	○	ナノ構造を含む白金触媒を付けたセンサ素子の定量的評価
③ シミュレーション技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサ素子設計のための熱・振動解析</li> </ul>	熱解析結果を基にセンサ素子設計の方向性を決定した。	△(平成27年8月達成予定)	各部の詳細な寸法を決定する
④ 水素センサ評価装置の改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>感度及び応答速度が測定できる装置の開発</li> </ul>	評価装置の解析及び設計がほぼ完了し、約半分の部品加工が終わった。	◎	部品が揃い次第、組立てに入る
⑤ 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーションにおけるセンサ設置場所や個数、サイズの調査</li> </ul>	文献調査と水素ステーション視察などを通して定置式センサの現状把握をした。市販のハンディータイプ水素センサの性能調査を行った。	○	ハンディータイプの市場調査
⑥ センサ駆動回路の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>発振回路の検討</li> <li>ヒータ制御回路の検討</li> </ul>	発振回路の設計と基礎実験を行った。ヒータ制御回路のシミュレーションを行った。	○	本質安全（耐圧）防爆構造を満足するように改良を加え、バラックセット用の回路設計を固める

⑦ 水素センサ実用化における法規に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>● JIS、ISO 等の調査</li> <li>● 防爆構造の調査</li> </ul>	<p>該当する JIS、ISO の調査を行なった。</p> <p>適応する防爆構造（定置式：耐圧防爆、ハンディ：本安防爆）を決定した。</p>	○	
⑧ センサパッケージの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>● セラミックパッケージの検討</li> </ul>	<p>以前に試作したパッケージの問題抽出と改良案の検討を進め、パッケージ設計を開始した。</p>	○	<p>センサ素子・発振回路の設計が確定し次第、それに合わせて修正、その後試作を行う</p>

## (2) センサの高感度化と製作プロセスの確立（達成度：○）

本センサは、白金触媒上での水素と酸素の反応熱を検出する接触燃焼式水素センサに属し、温度検出のために水晶振動子を用いた周波数出力型の水素センサである。図 1 にセンサ素子の概形を示す。水素を検出するための白金触媒電極を有した水晶振動子の近くに、センサ加熱用ヒータと検出用振動子と同じ周波数温度特性を有し、尚且つ水素に反応しない参照用振動子を隣接して作り込み、二つの水晶振動子の周波数変化率の差分を取ることで環境変化を補償できる構造となっている。本センサに使用する水晶ウェハは、通常の周波数基準として用いられる水晶振動子とは異なり、温度に対する共振周波数変化が大きく、尚且つ広い温度範囲において線形性に優れた温度特性を示すように独自に水晶インゴットからの切り出し角を理論的に予測し開発を行なったものである。更に、センサ加熱用ヒータにより 100℃付近まで加熱して使用することで、十分に高い触媒活性を得ると共に、外気の湿度や水素の燃焼反応によって発生した水分の影響を抑制することができる。100℃という低温で動作可能なことは、消費電力、ガス選択性、水素防爆における安全性において優位性がある。

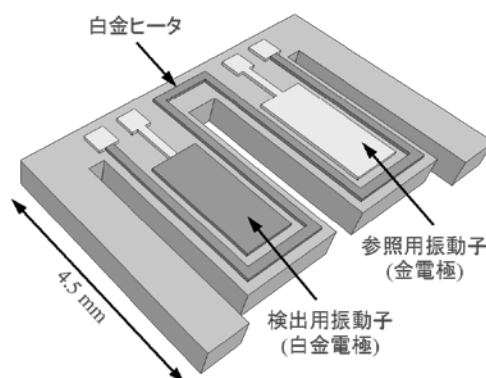


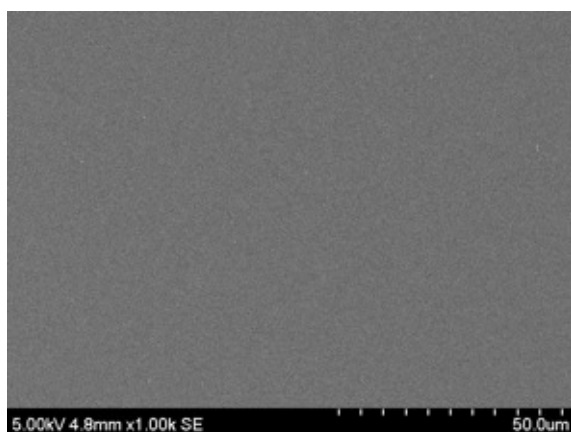
図 1 水素センサ素子の概形

接触燃焼式水素センサの高性能化のためには、触媒構造の最適化による反応熱量の増大及び、センサ形状の最適化による熱容量・熱損失の低減が有効的な手段である。接触燃焼式水素センサの感度向上を目的とした触媒の表面積増加方法としては、以下の 3 つが利用されている。一つ目は、触媒の下地となる金属電極に物理・化学的に凹凸構造を形成し、その表面に白金をスパッタリングする方法である。二つ目は、アルミナ粒子に白金の微粉を混ぜて焼成する白金担持セラミックを利用する方法である。三つ目は、白金黒と呼ばれる多孔質状のナノ構造を有した白金膜を利用する方法である。本センサはミクロンオーダーの微細パターン

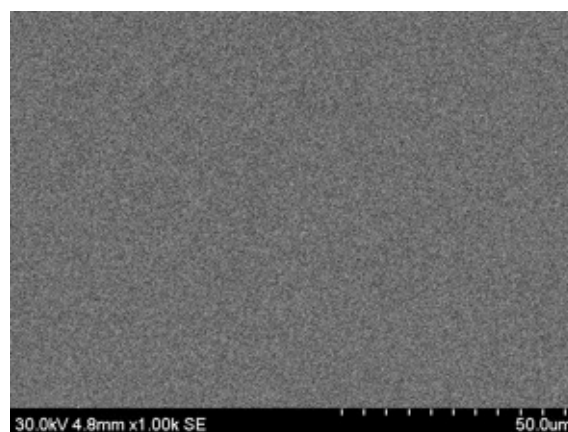


を有し、MEMS 技術を応用したウェハプロセスによって製造することから、パターニング性とウェハプロセスへの適応性が重要な要件となる。これ以外にも、プロセス温度やコストなども総合的に考慮して検討した結果、三つ目の方法が最も適していると結論付けられた。そこで、電気メッキ法を用いたナノ構造白金触媒の形成について実験を行なった。

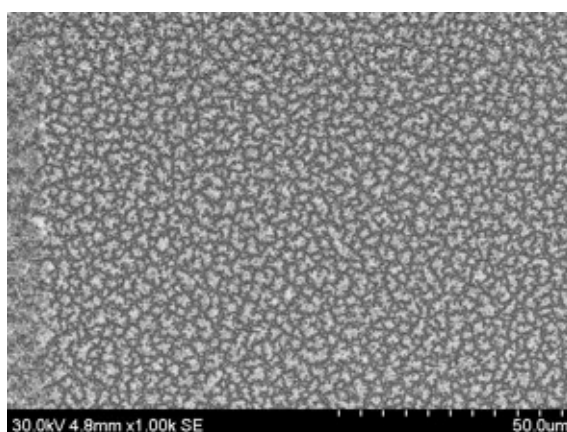
はじめに、予備実験用のサンプルを用いてナノ構造白金メッキの基礎データを文献調査と実験により取得した。図 2 と図 3 にメッキした白金皮膜の表面と断面の SEM 写真を示す。その結果、成膜した白金皮膜の構造は電流密度によって制御することが可能であり、比較的低い電流では光沢を持った白金皮膜、その後は白金グレー、白金黒へと段階的に変化することが確認された。図 2(a)及び図 3(a)に示すように、光沢白金となる電流密度範囲では極めて平坦な皮膜が得られた。一方、図 2(c)及び図 3(b)に示した白金黒となる範囲では、ナノオーダーの白金粒子が樹枝状に成長した立体構造が確認でき、効果的に触媒の表面積を増加できたと考えられる。また、本センサではメッキする面積が小さいため、使用した約 45mm 角のウェハ 1 枚あたり 50mA 以下の微小電流で電気メッキすることが可能であった。従って、高価な大出力の電源を必要とせず、実用化においてイニシャルコストの面で利点となると予想される。



(a) 光沢白金



(b) 白金グレー



(c) 白金黒

図 2 成膜した白金皮膜表面の SEM 写真

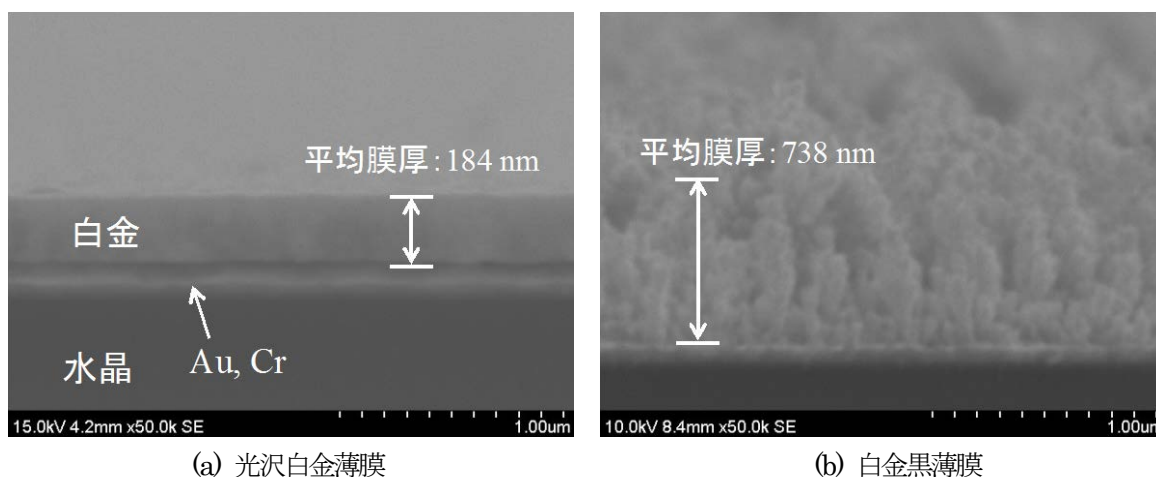


図3 成膜した白金皮膜断面のSEM写真

次に、実際の水素センサにナノ構造化白金触媒を応用するためにセンサ素子の設計と製作プロセスの変更について検討を行なった。具体的達成目標として以下の2点を掲げた。①水晶ウェハ内に縦6行、横4列の計24個配置されている全てのセンサに対して同時に一括して白金触媒がメッキできること。②測定用振動子の裏表両面に形成されている励振電極の範囲にのみ選択的にメッキできること。検討の結果、ウェハ両面に各センサ素子の励振電極を繋ぐ配線を格子状に巡らし、ウェハ上部でメッキ装置と電気的接点と採る方向で決定した。その後、センサ素子のCAD設計とウェハ固定のための専用治具を有したメッキ装置の試作を行なった。図4に新たに作製したフォトリソグラフィのためのフォトマスク4枚の写真を示す。その後、センサ設計変更に伴うウェハプロセスの加工条件の微調整を経て完成した加工後の水晶ウェハの写真を図5に示す。これまでのプロセス条件の改善により、水晶ウェハ加工の歩留まり約80%を達成し、センサ素子の安定した製作プロセスが確立できた。

その後、加工した水晶ウェハに対して開発した治具を用いて電気メッキの試験を行なった。図6に白金黒メッキした水晶ウェハの写真を示す。試験の結果、24個全てのセンサ素子の所定電極上にのみ選択的に白金皮膜を形成できることが確認できた。パターンニング性について評価した結果では、光沢白金に関しては下地の電極パターンに沿った非常に綺麗な皮膜が得られた。白金黒の結果では、パターンエッジからはみ出し量が $10\mu\text{m}$ 以下と十分な精度が得られた。これ以外にも、メッキ皮膜の膜厚制御性とその再現性の実験結果も含めて、微細なパターンを有するMEMSデバイスに対しても電気メッキ法によるナノ構造白金触媒成膜は応用可能であることが実証された。

今後は、平成27年12月を目標に、ナノ構造白金触媒を成膜した水素センサの感度など諸特性を定量的に評価する。

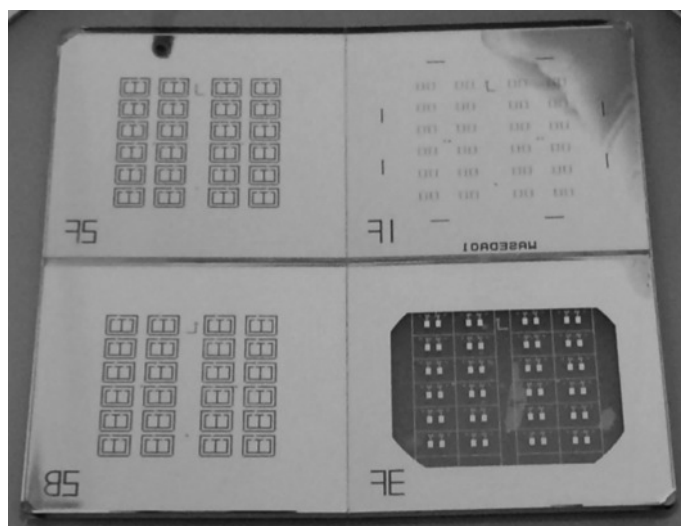


図4 製作したフォトマスク (4枚)



図5 センサ加工後の水晶ウェハ (ウェハ寸法: 48 mm×44 mm)



図6 白金黒メッキ後の水晶ウェハ

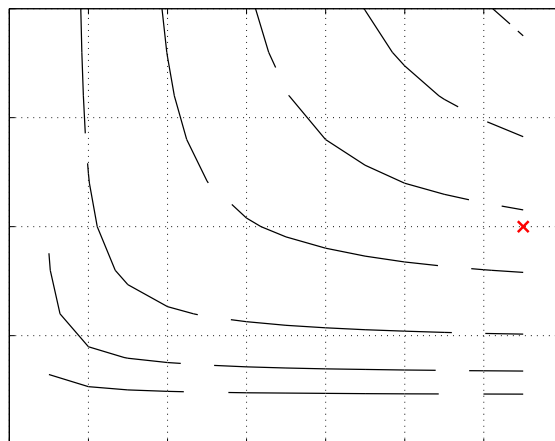
### (3) シミュレーション技術の開発（センサ素子）（達成度：△）

前述の様に水素センサの性能向上に向けたセンサ素子形状の最適化が必要である。そこで、熱伝導方程式によってセンサ素子のサイズと水素反応時の熱応答の関係性について解析を行なった。細部の形状については後の有限要素シミュレーションによって最適化を図る計画であり、ここでは前段階として熱解析に必要なパラメータの算出と設計の方向性を決定することが目的である。

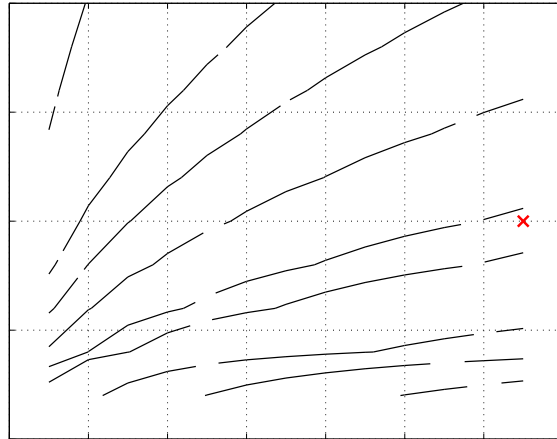
熱解析については各種シミュレータが市販されているが、水素センサでは白金触媒上での反応熱を定量的に導くことがネックとなっている。例えば、ノズルなどのマクロ的な水素拡散モデル並びに、触媒界面でのミクロ的な表面拡散モデルについてはいくつか報告例があるが、実際の触媒は成膜条件により表面構造が変化するため、これをモデル化することは困難である。一例を挙げれば、スパッタリング時のプラズマ生成パワーを変えると白金粒界が変化し、センサ感度に影響することが知られている。そこで、実際に試作した水素センサの感度測定結果から白金触媒単位面積あたりの反応熱を見積ることでこれを解決した。

次に、算出した熱量などのパラメータを用いて、水素センサの応答時間と感度、検出下限濃度、消費電力などの特性を試算した。図7は、センサ素子のサイズを変数として、濃度1%の水素反応時の時定数、測定下限濃度、ヒータの消費電力の関係をそれぞれ示したグラフである。グラフの縦軸はプロジェクト開始以前に試作したセンサの代表長さを100%とした場合の長さの拡大縮小率、横軸は具体的なセンサの厚さをそれぞれ表している。図中に“Original”と表現したポイントが試作センサの設計値である。計算結果より、試作センサの応答時間0.55秒に対して、サイズの最適化により0.2秒以下に改善できることが明らかとなった。表4に試作センサと改良案のセンサの特性比較を示す。設計の一例であるが、素子サイズを半分に、厚さを30  $\mu\text{m}$  薄くすることで、応答速度3倍、消費電力1/4に改善することができる。ただし、検出下限濃度に関しては触媒面積も比例して狭くなることから小型化により感度低下の傾向にある。しかし、上記のナノ構造白金触媒を組み合わせることで、検出下限濃度においても性能向上が期待できる。

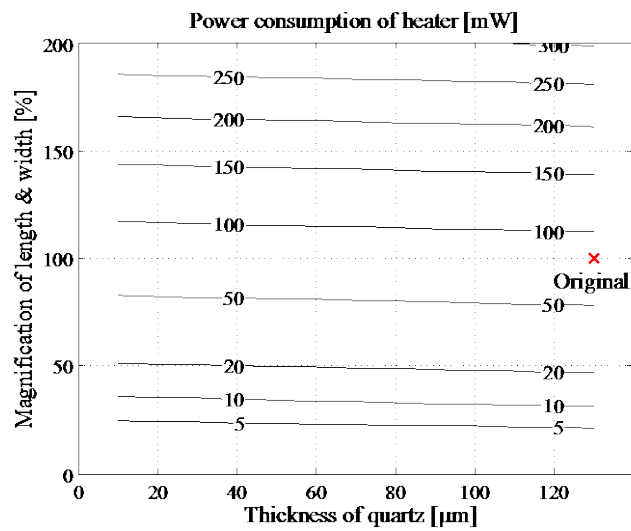
上記の解析結果により水素センサの設計方針が決定した。今後は、設計方針で示された寸法範囲について水晶振動子の振動特性を有限要素法により解析し、最適な条件を導出することで最終的な素子設計を確定する。



(a) 素子サイズと水素濃度1%での時定数



(b) 素子サイズと検出下限濃度



(c) 素子サイズとヒータの消費電力

図7 センサ素子のサイズとセンサ特性の関係性

表4 解析結果に基づく設計の一例と試作センサの対比

センサ特性	試作センサ	改良案
素子のサイズ	100%	50%
素子の厚さ [μm]	130	100
検出下限濃度 [ppm]	15.9	36.6
時定数 [sec]	0.55	0.19
消費電力 [mW]	79.5	20.9

続いて、センサ加熱用ヒータの制御回路に求められる能力を見積もることを目的として、センサ周囲の環境がヒータの消費電力に与える影響について解析を行なった。センサ上に形成したヒータを 100°C一定に維持する場合、周囲環境の温度が上昇すれば放熱が減少するため回路から供給するパワーもこれに追従して制御する必要がある。通常の民生用電子部品では-10°Cから+70°Cの温度範囲での使用が想定されているが、本センサは FCV などの自動車への展開も想定しているため、ここでは車載部品用の温度範囲-40°Cから+85°Cの範囲で検討を行なった。また、センサ周囲のガス流速が変化すると、強制対流による放熱も変化する。特に、ハンディータイプの水素センサなど吸引装置を有したセンサの場合、ガスの流速は自ずと大きくなる。実際のセンサ素子はパッケージに収められた状態で使用するため、センサ素子表面ではパッケージ周囲の流速よりもかなり小さいと予想される。そこで、吸引装置を用いたハンディータイプ水素センサにおいて想定されるパッケージ周囲の流速 (1~10 m/s) に対して、1/100 程度の範囲で解析を行なった。尚、ガスの流れはセンサ素子と並行と仮定した。その結果を図 8 に示す。凡例に示した  $v$  は素子表面での流速を表す。解析結果より、ヒータの消費電力は周囲の温度だけでなくガスの流れの影響を強く受け、最大で 50 mW 程度のパワー供給能力が必要となることがわかった。

現在、ヒータ制御回路について回路シミュレータを用いて回路設計を進めている。今後は、これらの解析結果で得られた数値を参考にして回路定数を調整し、平成 27 年 12 月までに試作と動作確認を行う。

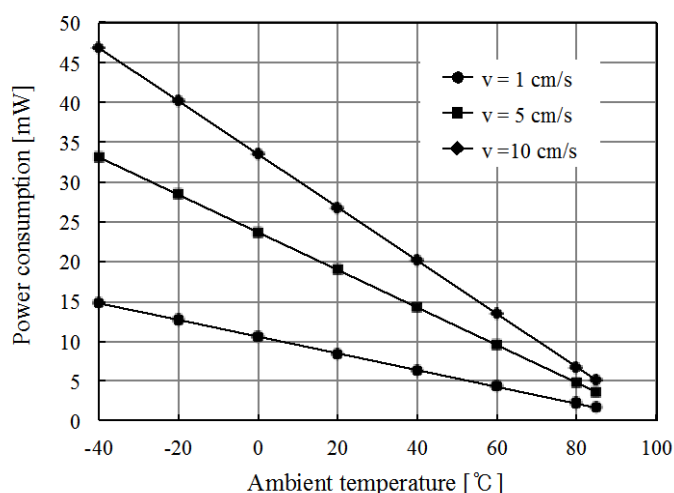


図 8 周囲温度とガスの流れがセンサ加熱用ヒータの消費電力に与える影響

#### (4) センサ駆動回路の開発 (達成度: ○)

本センサを駆動するためには、水晶振動子の発振回路、ヒータの制御回路、周波数演算回路などの電子回路が必要である。

発振回路の開発について、水晶振動子の基本波での安定した発振が維持でき、同時に自己故障診断機能を実現するための水晶振動子のQ値に相当する値が出力できることを開発目標としている。センサ素子劣化の一番の原因には、触媒表面へのコンタミネーションが考えられる。一般に、水晶振動子の表面に異物が付着するとQ値が低下する。しかし、Qの値を直接測定することは出来ないため、別のパラメータから換算あるいは推測する必要がある。水晶振動子の等価回路は図 9 のように表され、一般的にQ値が減少するとクリスタルインピーダンスである等価直列抵抗 $R_l$ が増大する。一方で、他のパラメータはほとんど変化しない性質がある。発振回路の一つの役割は、エネルギーを消費して発振を減衰させようとする $R_l$ の作用を打ち消すために負性抵抗を作ることである。そのため、 $R_l$ が大きくなり過ぎると発振回路の動作は不安定になり、いずれ発振が停止する。自己故障診断機能では、発振が停



止するよりも前の段階でQ値低下のしきい値を設け、センサ素子の交換時期を知らせるアラームを発する。現在、この性質を利用したQ値の検出回路の開発に向けて理論的な解析とシミュレーションを進めている。

図10にセラミックパッケージの構造を表したイメージ図を示す。水素センサ素子を収めたLTCC（低温同時焼成セラミック）製パッケージの裏面に発振回路の素子を表面実装する方法で開発を進めている。このように水晶振動子と発振回路の配線長を最小にする構造は、配線の浮遊容量やノイズの影響を避けるため有効な手段であり、MHz以上の高周波回路においては非常に重要な要件である。一方で、パッケージ寸法の物理的制約があり、電子回路の部品点数を減らす工夫が求められる。これは水素センサの価格を下げるためにも重要な作業である。

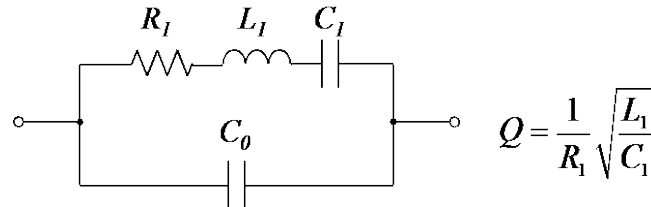


図9 水晶振動子の等価回路

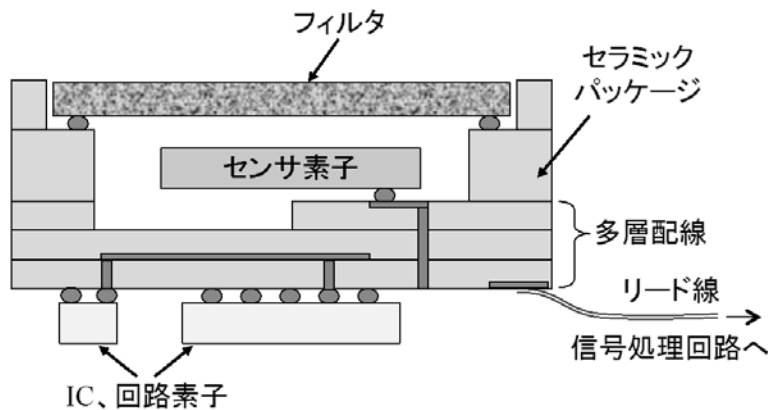


図10 パッケージのイメージ図と発振回路の搭載方法

発振回路には数種類の方式があり、以前に試作した発振回路ではコルピッツ方式を用いていた。その理由は、以下の2点である。一つ目に、これまでに試作した水素センサでは、素子の電極構造上、2つの水晶振動子の一方の端子同士がコモンランドとなっており、振動子の一方の端子をグラウンドに接続して発振させるコルピッツ方式に限定されていたためである。二つ目に、コルピッツ方式は綺麗な正弦波出力が得られる完全なアナログ回路であるため、 $R_1$ の変化を検出しやすいと考えていたためである。しかし、回路の構成が複雑で、素子点数も多くなることがデメリットであり、センサ素子を構成する2つの振動子のために2回路分の回路素子をセラミックパッケージ上に実装することは面積的に難しい。また、コルピッツ方式では大きな負性抵抗を実現することが難しく、振動子のQ値が一万以下、 $R_1$ が500Ω程度になると発振が不安定になることが実験を通して明らかとなった。そこで、より部品点数が少なく、ロバスト性に勝るインバータロジックICを用いた帰還型発振回路について検討を行なった。その際問題となる振動子のコモングラウンドの件については、センサ素子の設計変更で対応できることがわかった。

ロジックICには最大クロック周波数の違いから数種類のICが市販されており、代表的なものでは標準CMOSタイプ（～15 MHz）、高速CMOSタイプ（HC、～25 MHz）やAHC（～65 MHz）などがある。開発するセンサ素子を構成する水晶振動子の共振周波数はどちらも16 MHz程度であることから、HCシリーズが適当であると考えられる。はじめに、基本的な帰還型発振回路を試作して動作テストを行なった。テスト用発振回路の回路図を図11に、その写真を図12に示す。ここでは、発振の開始と停止の制御を行うため、インバータではなくNANDを使用した。図中のXtallには、実際のセンサ素子が接続されている。Q値が異なる12個のサンプルを用意し、発振回路に



どこまで発振させる能力があるかテストした。その結果を、表 5 に示す。その結果、 $Q$ 値が約 300、 $R_l$ が約 400  $\Omega$ の振動子まで発振できることが確認できた。 $Q$ 値とコンタミネーションの関係、コンタミネーションとセンサ感度の関係について評価については、次年度以降に実施する計画である。コンタミネーションが無い初期の状態でのセンサ素子の振動子の $Q$ 値は10000以上であることから、現時点では1/10以下まで $Q$ 値が低下したら交換時期としてアラームを発するように回路開発を進め、平成 27 年 12 月を目標に完成する計画である。

発振回路、ヒータ制御回路、信号処理回路については、水素の本質安全防爆構造 Exia IIC T4 の取得を目指して開発を進める。そのため、爆発性ガス雰囲気中にて故障があっても点火に値しないエネルギーレベルに抑えるように、定められた点火曲線（最小点火電流—電源電圧）を満足するように回路設計を行う。尚、防爆構造の検定申請については、次年度以降に行う計画である。

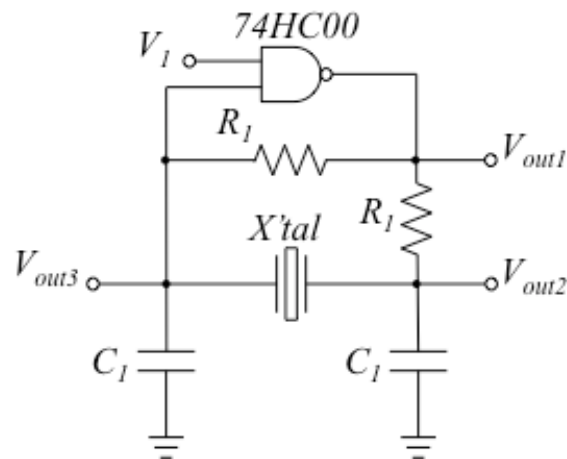


図 11 水晶振動子の発振テスト用回路の回路図

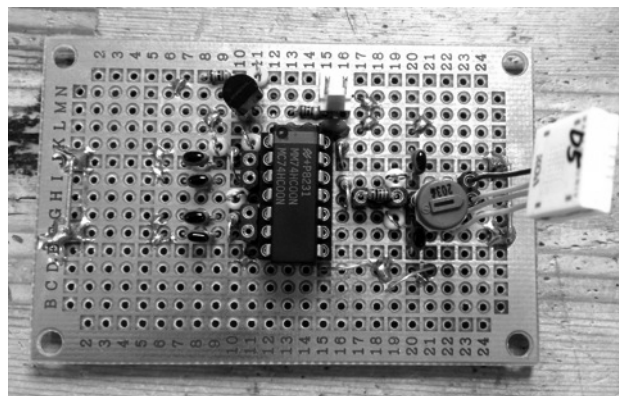


図 12 発振テストのための実験回路の写真

表 5 テストサンプルの特性と発振テストの結果

サンプル番号	共振周波数 $f_0$ [MHz]	$Q$ 値	等価直列抵抗 $R_l$ [ $\Omega$ ]	テスト結果
1	12.131	30332	72	○
2	12.363	24995	89	○
3	12.274	18221	160	○
4	12.079	17995	155	○

5	12.118	13314	198	○
6	12.424	13253	166	○
7	12.460	12781	168	○
8	12.088	11667	261	○
9	16.080	1864	1232	○
10	16.141	627	3202	○
11	16.150	280	3862	○
12	15.649	32	29177	×

### 3. 2 成果の意義

- ① 水素センサの要求仕様と評価法の調査
- ⑤ 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査
- ⑦ 水素センサ実用化における法規に関する調査

自己故障診断機能を有した水晶振動子式水素センサという世の中に無い方式の水素センサを開発にあたり、センサの長期使用により劣化や故障するものという新たな観点から現状の水安全設備を見直すことができたことに意義があり、センサ自身の信頼性の重要度について認識向上に繋がると予想される。

- ② センサの高感度化と製作プロセスの確立

水晶振動子上にナノ構造白金触媒を電気メッキするという新しい技術は、本センサに限定したのではなく、他の接触燃焼式ガスセンサにおいても同様に応用が可能な技術であり、ガスセンサ全体の高性能化に貢献できると予想される。また、MEMS デバイスへの電気メッキの適応例は依然として少ない。本プロジェクトで開発した技術を国内外に発信して小型センサ・デバイスへの金属メッキの有用性を示すことにより、産業・学術的な研究開発の発展のきっかけになると考えられる。

- ③ シミュレーション技術の開発（センサ素子）

水素利用設備の配管やポンプ等からのガス漏れなど、比較的大きな対象物についてのシミュレーション技術については NEDO 事業を筆頭に多くの蓄積が進んでいる。また、触媒界面での分子挙動を対象とした表面拡散モデルなど非常にマイクロな解析法については学術論文など多くの報告例がある。しかし、現状では水素センサのような微小デバイスのシミュレーションについては課題が多く残されている。今回、実験から導いた数個のパラメータを用いた解析によりデバイス設計と特性の関係性を導く方法を提案し、水素センサ設計の方向性を提示したことは今後の水素センサ開発において有益な情報となる。

- ④ 水素センサ評価装置の改良

これまで、各社がバラバラの方法で水素センサを評価し、測定条件を開示すること無く感度や応答速度などの数値だけを公表して優劣を議論してきた背景がある。しかし、特に水素センサの応答速度に関しては実験装置と条件がその数値の大きく影響することが検討により明らかとなった。本プロジェクトにより、より正確な評価方法と実験装置を示し、水素センサ業界や研究機関で評価法の標準がなされれば、ユーザが複数の水素センサの中から各々のニーズにマッチする最適な一つを選択する作業の簡易化に繋がると考えられる。

#### ⑥ センサ駆動回路の開発

水晶振動子のQ値測定にはインピーダンスアナライザやネットワークアナライザなどの非常に高価な測定装置が用いられている。また、電子回路によりQ値を検出する方法についても論文に発表されているが、多くのICと複雑な信号処理を必要としていた。これに対し、現在開発を進めているQ値変化を測定する回路によりセンサの劣化を簡易に検出することは非常に独創的な試みであり、他のセンサへの技術的インパクトは大きい。

#### ⑧ センサパッケージの開発

加速度センサなど様々なMEMSデバイスのパッケージとしてセラミックが利用される中、ガスセンサに関しては未だにSUS製のリードタイプのCANが主流である。セラミックパッケージが利用される理由には、MEMSデバイスだけでなくICなどの電子回路も同時にパッケージ内部あるいは外面に実装できる点が挙げられる。この技術により、非常に小型なワンチップデバイスを可能としている。従って、今回の水晶振動子式水素センサの開発に併せて、セラミックパッケージのガスセンサへの応用性について初めて検討できたことに意義がある。

また、中量多品種のセンサでは、コスト上、汎用品のセラミックパッケージを利用することが不可欠である。本プロジェクトにおいてセンサ用セラミックパッケージを開発することで、汎用パッケージの利用の道が開かれた。

#### ⑨ 検出部ケースの開発

水素利用設備においては電気機器に防爆構造を設けることが必須条件となっており、水素センサについても例外なく水素防爆構造が要求されている。一般的に防爆容器は大型で高価なため、水素センサ自身が如何に小型で安価でも結果としてその特徴を活かすことが難しい。これに対し、本プロジェクトにおいて高信頼でありながら低コストなセンサについて検討することができたことは、水素社会の本格的普及に対して非常に重要な意味を持つと考えられる。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

前述の通り、本プロジェクト中に、水素ステーションに設置される定置式水素センサと、保守点検で用いられるハンディタイプの2種類の水素センサについて開発を行い、本年度（平成27年度）は優先してハンディタイプの開発を進め、本年度末にバラックセットの完成を目標としている。現在、水素センサ素子の基本設計がほぼ決定し、製造技術についてもある程度確定している。システム化のための回路やパッケージについては設計中である。研究開発スケジュールに関しては、平成26年よりプロジェクトがスタートし、約1年間が経過した現在の状況はいずれのテーマもスケジュールに沿った開発を進めることができている。そのため、本年度末の開発目標を達成することは十分に可能であると考えられる。表6に各々の開発項目における現状と平成27年度末の最終目標達成の見通しを示す。

表6 研究開発項目の目標達成の見通し

開発項目	現状	最終目標 (平成27年度末)	達成見通し
① 水素センサの要求仕様と評価法の調査	目標使用を決定した。 センサの定量的な評価法の文献調査、及び検討を行なった。	<ul style="list-style-type: none"><li>目標仕様の明確化</li><li>定量的評価法の調査</li></ul>	達成済み。

② センサの高感度化と製作プロセスの確立	ナノ構造白金触媒の電気メッキ技術を開発した。製作プロセスの改善により歩留まりが向上した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>白金触媒の最適化</li> <li>水晶形状の最適化</li> <li>製作プロセスの確立</li> </ul>	センサ素子の設計を確定し、改善した製作プロセスによりセンサ素子を製作することで目標達成予定。
③ シミュレーション技術の開発	センサ素子の熱解析を行い、素子設計の方向性を決定した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサ素子設計のための熱・振動解析結果の提供</li> </ul>	振動解析を実施し、センサ素子の設計を確定することで目標達成予定。
④ 水素センサ評価装置の改良	評価装置の設計がほぼ完了し、約半分の部品加工が終わった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>感度及び応答速度が測定できる装置の開発</li> </ul>	部品加工後、組立作業を行い、動作試験を終えることで目標達成予定。
⑤ 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査	文献調査と水素ステーション視察を通して定置式センサの現状把握をした。市販のハンディタイプセンサの性能調査を行なった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーションにおけるセンサ設置場所や個数、サイズの調査</li> </ul>	ハンディタイプの市場調査を終えることで目標達成予定。
⑥ センサ駆動回路の開発	発振回路の設計と基礎実験を行なった。 ヒータ制御回路のシミュレーションを行なった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>発振回路の開発</li> <li>ヒータ制御回路の開発</li> <li>信号処理回路の開発</li> </ul>	発振回路及びヒータ制御回路の開発を継続し、その後、信号処理回路を開発することで目標達成予定。
⑦ 水素センサ実用化における法規に関する調査	該当する JIS、ISO の調査を行なった。 適応する防爆構造（定置式：耐圧防爆、ハンディ：本安防爆）を決定した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>JIS、ISO 等の調査</li> <li>防爆構造の調査</li> </ul>	達成済み。
⑧ センサパッケージの開発	以前に試作したパッケージの問題と、改良案の検討を進めた。新しいパッケージの設計を開始した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>セラミックパッケージの開発</li> </ul>	パッケージの設計が終わり次第試作を行い、センサ素子と回路素子を実装することで目標達成予定。
⑨ 検出部ケースの開発	ハンディタイプのケース設計とその製作方法の検討に入った。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハンディタイプのケース開発</li> <li>定置式センサのケース検討</li> </ul>	ハンディタイプのバラックセットを開発する。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4. 1 まとめ

自己故障診断機能を有した信頼性に優れた水素センサについて開発を実施している。水素ステーションでは、高圧ガス保安法に従い水素センサなど安全機器について年1回の定期点検を行ってきた。これに対して、センサの長期利用における劣化や故障と随時診断する自己故障診断機能を初めて搭載した水素センサを市場に投入することは、計測機器の分野及び、水素ステーションの安全管理において非常に意義深いことである。

提案当初（平成26年度）から水晶振動子式水素センサシステムの応用機器として設定していた水素ステーション用定置式センサと、有識者との意見交換会（平成27年2月13日）より新たにスタートした保守点検用のハンディータイプの二種類の応用機器について開発を進めている。その内、ハンディータイプの水素ガス検知器の開発を優先して実施し、本年度末にバラックセットを完成させることを目標としている。これまでの研究開発は大筋でスケジュールに沿ったかたちで進めることができている。その中で水素センサ素子の基本設計及びウエハプロセス技術と白金触媒の成膜技術の開発、システム化のための駆動回路やパッケージの設計などの成果を上げることができた。これらの理由から、平成27年度末の最終目標を達成する見込みは十分にあると考える。

## 4. 2 課題

### (1) 開発課題

市販レベルのハンディータイプ水素ガス検知器を開発するためには、吸引ポンプやフィルタなど数種の構成部品の選定作業、ディスプレイやスイッチを搭載したプリント基板の設計と制御用マイクロコンピュータのプログラム開発、更にこれらを収めるためのケース開発などが課題となる。定置式ガス検知警報器の開発においても、防爆容器とフィールドバスの検討など開発課題は多い。従って、これまで開発を行ってきた基本技術をベースに実用化技術を開発すべく、当初の研究開発スケジュールの通り平成28年度以降についても2年間の継続した研究開発が必要である。

### (2) 事業化課題

事業化までに想定する課題は実証評価段階における、試験環境の構築などが考えられる。製品開発時の試験環境の流用が望ましいが、自社での試験環境の整備、外部評価設備の調査なども視野に入れ、最終的には運用中の水素ステーションでの実証試験が不可欠である。

## 4. 3 事業化までのシナリオ

### (1) 製品の優位性

既存の水素センサでは、個々のセンサが実際に使用されている現場において劣化等を随時監視する機能については研究がなされておらず、劣化状況監視機能を組み込むことは容易ではない。これに対して、本グループで開発を進めている水晶振動子を利用した水素センサは、要求されている性能を満足するだけでなく、センサの劣化・故障を随時監視する自己故障診断機能を組み込むことが可能であり、本センサを水素ステーションへ搭載することでシステムの信頼性向上が期待できる。また、MEMS技術を応用した生産技術を確立することによって小型、低消費電力、尚且つ量産化による低価格を実現することによって、水素ステーションだけでなく並行して普及が求められる燃料電池自動車や、家庭用燃料電池にも応用可能な水素センサとして、水素エネルギー社会実現へ貢献することができる。

本製品の技術は他社技術と比較し、自己故障診断機能を有し信頼性が高い、長寿命で安定性が高い、高分解能で低消費電力、低コストなど優位性を持ち、十分な競争力があるといえる。また、本製品の投入で市場の競争力の活性化が期待できる。

### (2) シナリオ

この技術的優位性を前提に、開発計画としては、プロジェクト期間終了後1年目（現時点からは2.5年後から）に製品試作を行い、評価再設計を行う。その1年後までに製品試作を完了し、2年後までに量産用設計、試作を完了する。この間に具体的な量産設備、治具等の整備を並行して進めるとともに、サンプル出荷も並行し販売促進を行う。なお、生産開始時の量産設備としてはこれまでの試作用ラインを流用しながら1億円程度に抑える。3年後

から年間2千個程度を目標に生産を開始し、ステーションを含め各分野への売込みを開始、4年後には量産設備の増強に着手、5年後には年間4万個程度を目標に5千万円程度の量産設備を増強し、コストを下げた上で販売数の増加により年間2億円の売上を見込む。

製品試作の段階においては、試作と実証評価を繰り返し、改良を進め、プロジェクト期間内で得られなかった長期評価の結果等を設計に反映させる。信頼性などで仕様を満たせない場合には、製品試作完成予定を延長することもありうる。また、客先での実証試験等により、装置のインターフェイスやオプションなどの客先仕様へ対応するための設計製作を行う。客先仕様と量産を考慮しながらラインアップ等の検討を行い、量産用設計を行っていく。

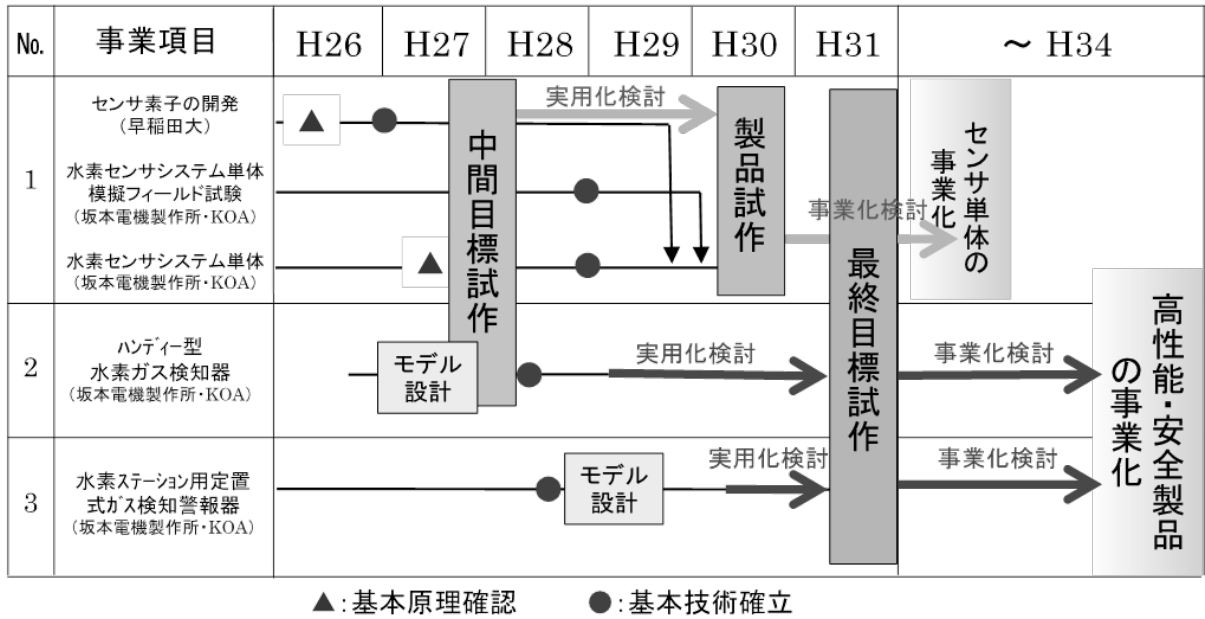
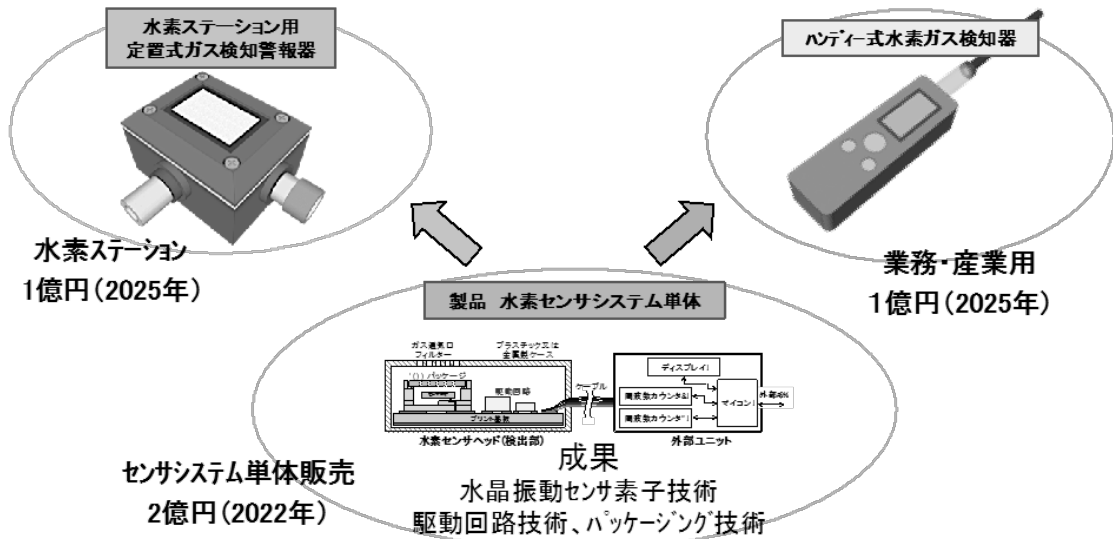


図13 事業化スケジュール

### ◆成果の実用化・事業化の見通し

- 事業終了後フィールド試験、サンプル出荷を経て2020年よりセンサシステム単体販売開始
- 2022年 センサシステム単体販売……2億円/年 目標
- 2025年 ・水素ステーション用定置式ガス検知警報器(応用製品)……1億円/年 目標  
・ハンディー型水素ガス検知器(応用製品)……1億円/年 目標



## 5. 研究発表・特許等

### －研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014年 11月3日	The 21 <sup>st</sup> Tri-University International Joint Seminar and Symposium	Development of the quartz-hydrogen gas sensor using porous platinum catalyst	Maki Nakamura, Hiroshi Oigawa, Satoshi Ikezawa, Toshitsugu Ueda

### －特許等－

「ナノ構造白金触媒を有した水素センサの製造法」に関して、近日中に特許出願予定



**(Ⅲ-①-⑤)「水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークデテクタの研究開発」**

株式会社 四国総合研究所・国立大学法人 千葉大学

**●成果概要 (実施期間：平成26年度～平成27年度終了(または予定))**

- ・エネルギー供給事業者、水素インフラ事業者等に対するニーズ調査を実施し、本研究開発における目標仕様を明確化した。
- ・応答が速く、センシング部に電気系を用いない光学式水素ガスセンサの機能モデルを開発し、水素ガス検知の性能を検証した(平成27年度未予定)。
- ・配管等における極微量の水素ガス漏洩箇所を特定する水素ガスリークデテクタの機能モデルを開発し、水素ガス検知の性能を検証した(平成27年度未予定)。

**●背景/研究内容・目的**

[背景] 水素ステーションの本格的運用を前に、現状の水素モニタリングでは、水素の選択性、応答の高速化、自己診断機能の付加などが求められ、微量のガス漏洩探索では石鹼水の塗布などによる漏洩箇所の特定に変わる有効な手法が求められている。

[目的] センシング部に電気系を用いない光学的水素ガス検知装置として、I. 防爆エリアや機器内部の水素ガスモニタリングや水素ガス漏洩監視を目的とした光学式水素ガスセンサと、II. 配管等における極微量の水素ガス漏洩を探索できる水素ガスリークデテクタを開発する。

**●研究目標**

実施項目	目標	実施項目	目標
I-①	ニーズ調査、目標仕様の設定	II-①	ニーズ調査、目標仕様の設定
I-②	センサチップの開発	II-②	システムの開発
I-③	システムの開発	II-③	プローブの開発
I-④	MEMSノックメータの開発	II-④	遠隔計測への適用検討
I-⑤	小型光学式水素ガスセンサの開発、評価試験		
I-⑥	フィールド試験		

**●実施体制及び分担等**



**●これまでの実施内容／研究成果(平成27年度未予定)**

- I. 光学式水素ガスセンサの研究開発
- ① ニーズ調査により、本研究開発の目的が市場ニーズの方向性に相応するものであることを確認し、装置の性能として、水素ガスの検出限界を500ppmに設定した。
  - ② センシング部の光学系配置を実験的に見出すと共に、同光学系配置を実現するセラミックス光学ベンチを設計・試作し、その機能を検証した。
  - ③ 単一のシステムにより複数箇所のモニタリングができるシステムの設計試作を行い、目標の機能が実現できることを検証した。
  - ④ MEMSノックメータを構成するマイクロデバイスの試作と機能検証を行い、これらを用いて、MEMSノックメータの機能モデルを開発すると共に分光測定機能を検証した。
- II. 水素ガスリークデテクタの研究開発
- ① ニーズ調査により、本研究開発の目的が市場ニーズの方向性に相応するものであることを確認し、装置の性能として、水素ガスの検出限界を500ppmに設定した。
  - ② 光源の安定化・低出力化を実現すると共に、センサシステムの機能モデルを設計・製作し、水素ガスの検出限界濃度測定機能を検証した。
  - ③ 送受信光学系の機能を実験的に検証すると共に、プローブの機能モデルを設計・製作し、システムの目標機能が実現できることを検証した。
  - ④ 本手法の遠隔計測への適用につき、理論的・実験的検討を実施中である。

**●研究成果まとめ(平成27年度未予定)**

実施項目	成果内容	自己評価
I-①	検出限界を500ppmに設定	○
I-②	試作と機能検証を完了	○
I-③	試作と機能検証を完了	○
I-④	試作と機能検証を完了	○
I-⑤	今後実施予定	-
I-⑥	今後実施予定	-
II-①	検出限界を500ppmに設定	○
II-②	試作と機能検証を完了	○
II-③	試作と機能検証を完了	○
II-④	着手済	-

**●今後の課題**

本研究成果において試作された機能モデルを基に、実用化に向けた製品モデルを製作し、機能検証を行うと共に、各種環境においてフィールド試験を実施する。

**●実用化・事業化の見通し**

今後の研究開発において進める製品コストの削減や水素ステーション関連市場の獲得を積極的に推進することで、次世代水素ステーションや、水素関連施設をターゲットとした事業化が実現される見通しである。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1		2	

## 課題番号：Ⅲ－①－(5)

水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究

### 光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発

#### 1. 研究開発概要

本研究開発では、水素ステーションの日々の運用やメンテナンスの効率化、あるいはトラブルの未然防止や発生時の対応の高速化を目的として、現在用いられている水素検知器に対し、応答が速く、センシング部に電気系を用いない光学式水素ガス検知装置として、用途別に2種類のシステムを開発する。目標仕様の設定に当たっては、最新の水素ステーションや水素利用技術関連企業を対象にニーズ調査を行い、その結果を反映させる。

##### 1. 1 光学式水素ガスセンサの研究開発概要

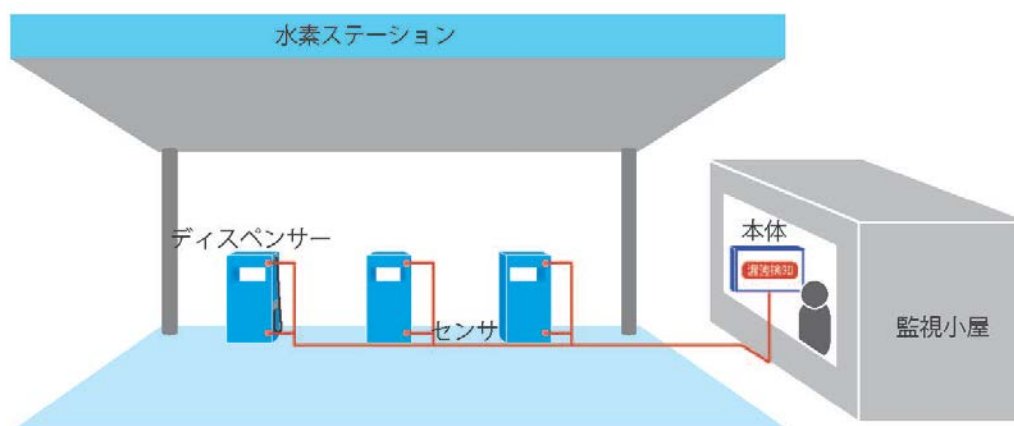


図 1-1-1 光学式水素ガスセンサの概念

防爆エリアや機器内部の水素ガス濃度モニタリングや水素ガス漏洩監視への適用を目的とした光学式水素ガスセンサを開発する(図1)。

計測原理として、ガス分子にレーザー光を照射した際に生じる分子種固有のラマン散乱光を捉えることにより、ガス種と濃度を特定するレーザーラマン分光法を用いる。

本センサシステムは、レーザー装置及び受光装置から成る本体と、観測個所に設置するセンサチップにより構成される。一つの本体に対し、センサチップを直列または並列に複数配置し、光ファイバにより、本体から各センサチップへのレーザー光の伝送と、センサチップから本体に向けたラマン散乱光の伝送を行う。得られたラマン散乱光信号強度と同信号のディレイタイムから、漏洩個所と水素ガス濃度が特定される。

センサチップは、微細加工技術を用いて製作した小型精密光学ベンチに、レーザー光の照射とラマン散乱光の集光を行う小型光学部品を集積配置した構造であり、これを光ファイバ結合により複数個所に配置することで、多点の濃度情報を一括監視できるシステムが実現される(図2)。本センサは光と水素分子の相互作用のみによって水素ガスを検知するため、センシング部に電気系は一切含まれない。また、センサチップに耐熱性を付加することにより、事故発生時に環境が高温に変化しても水素ガス検知機能を維持することができる。

本事業では、水素ステーション等への適用を目的とした、光学式水素ガスセンサ製品モデルの完成と、フィールド試験による機能の実証を目標とする。

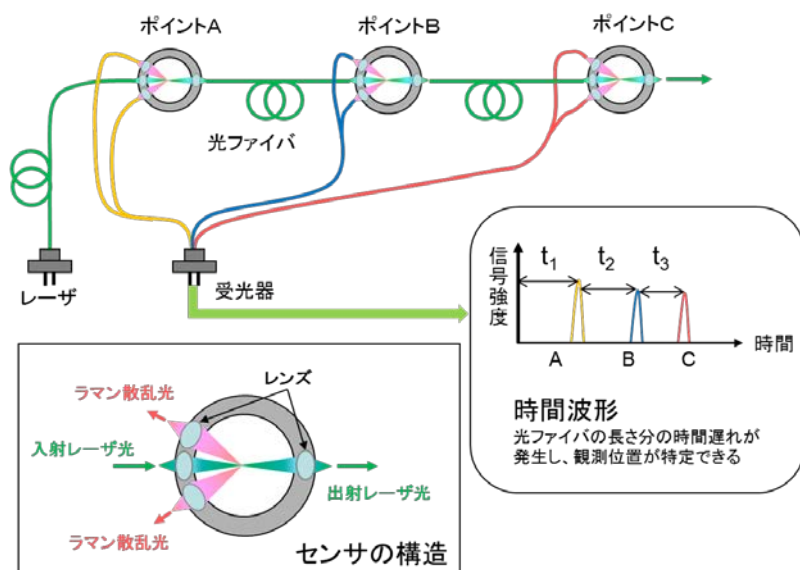


図 1-1-2 光学式水素ガスセンサの構造(直列の場合の例)

## 1. 2 水素ガスリークディテクタの研究開発概要

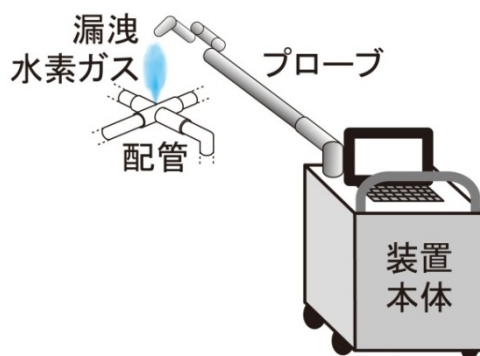


図 1-2-1 水素ガスリークディテクタの概念

水素導管等におけるごく微量の水素ガス漏洩の探査に適用できる水素ガスリークディテクタを開発する。本装置は、計測原理として、ガス分子にレーザー光とストークスラマン散乱光を同時に照射した際に生じる反ストークスラマン散乱光（レーザー光よりも短波長に発生する散乱光）を捉える CARS 法（コヒーレント反ストークスラマン散乱法）を用いる。微量水素ガス漏洩の探査では、配管の直近にプローブをかざし、レーザー光を照射し計測する状況が想定されるが、本原理によれば、測定の際に、配管等にレーザー光が照射されることにより発生するレーザー誘起蛍光の影響を回避し、高感度で応答の速い漏洩検知が可能となる。

水素ガスリークディテクタは、レーザー光源と、ストークス光を発生させるための光学系、水素ガスによる反ストークス光を検出する受光器、信号処理系等から成るシステム本体と、光送受信及びセンシング光学系から成るプローブにより構成される(図4)。プローブは、本体から観測個所までレーザー

光とストークス光を伝送すると共に、水素ガスにより生じる反ストークス光を本体まで伝送する光学系と、観測個所にレーザ光とストークス光を照射し、水素ガスにより生じる反ストークス光を集光する光学系により構成される。本装置は、水素分子と光の相互作用のみにより水素ガスを検知するため、プローブ部に電気系は一切含まれない。

本事業では、水素ガスリークディテクタの実用モデルの完成と機能の実証および、本手法を用いた水素ガス漏洩遠隔計測装置について、実現可能性を明らかにすることを目的とする。

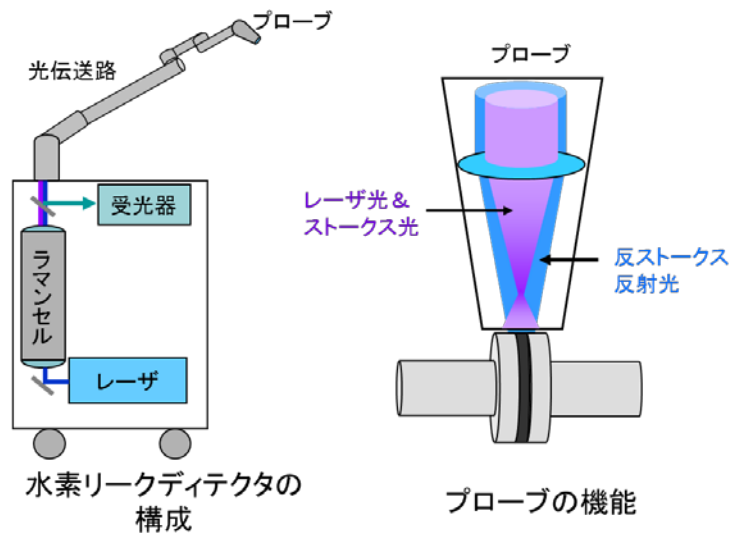


図 1-2-2 水素ガスリークディテクタの構造

### 1. 3 実施体制

本研究開発は図 1-3-1 に示す体制及び役割分担にて実施した。

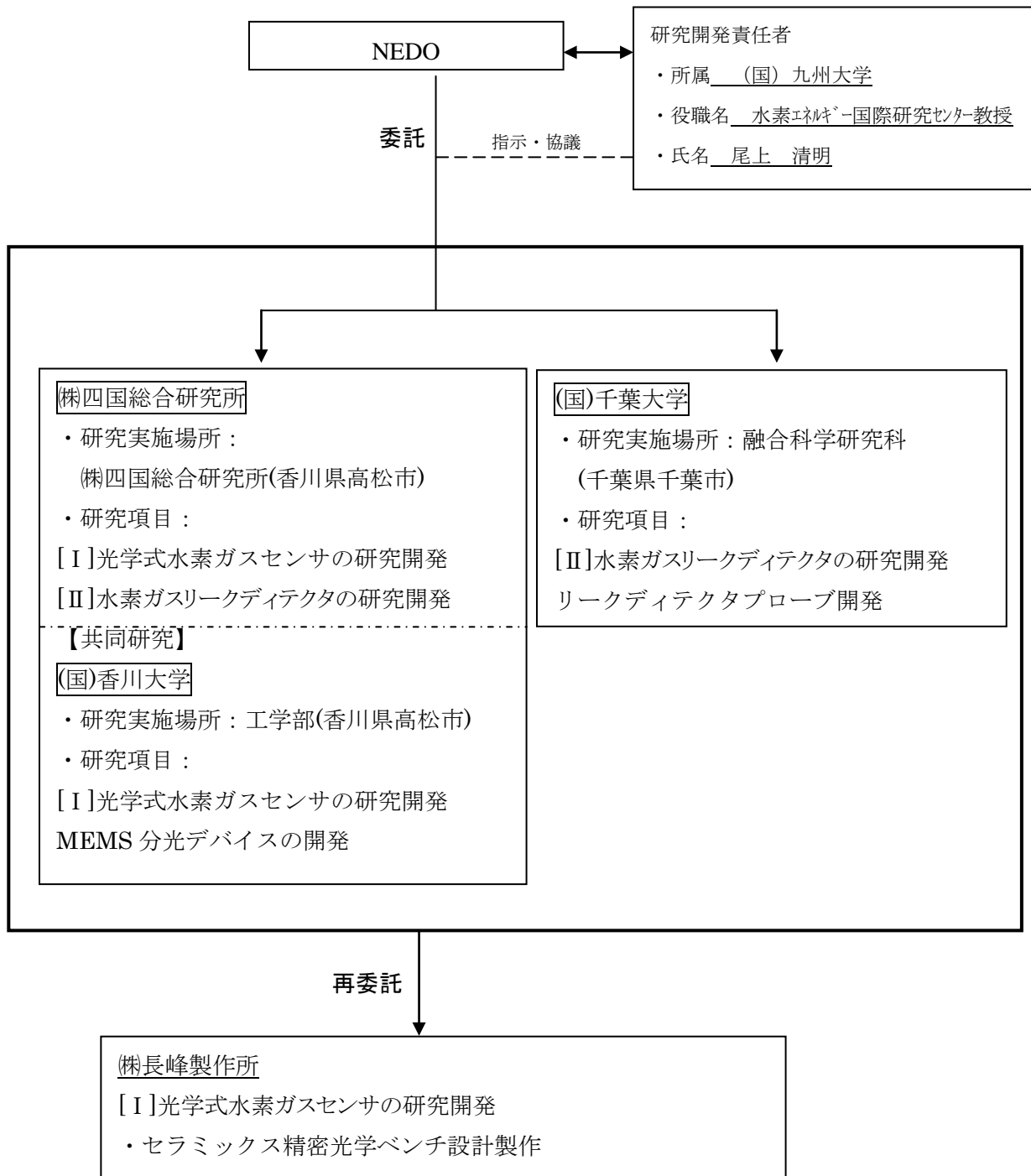


図 1-3-1 実施体制と役割分担

## 2. 研究開発目標

本事業では 2 種類の水素ガス検知装置の研究開発を行うため、それぞれについて以下に示す実施目標を掲げ研究開発を遂行した。

### 2. 1 光学式水素ガスセンサの研究開発目標

本研究開発の最終目標は、1 台のシステムで複数個所の水素ガス検知が可能な光学式水素ガスセンサを開発し、実用化に向けた製品モデルを完成させることである。その第一ステップとして、実フィールドへの適用を視野に光学式水素ガスセンサの構想を検証するための機能モデルの開発を目指し、以下の目標を設定した。

- 水素ガス検出限界 0.1%以下、測定時間：2sec 以下、設計値に対するラマン散乱光集光性能 80%以上
- センサチップ寸法 60×60×60mm 以下、使用温度上限 200℃
- 観測点数 5 点以上、伝送距離 15m 以上、本体寸法 400×500×200mm
- MEMS モノクロメータ光学系寸法 80×80×20mm 以下

同モデルについて、実験室レベルで光ファイバ結合による評価試験を行い、目標値がクリアできることを実証する。

## 2. 2 水素ガスリークディテクタの研究開発目標

本研究開発の最終目標は、配管等の障害物が漏洩個所の直近に存在する環境においても、6m 先の 1mL/min の水素ガス漏洩が検知できる水素ガスリーク遠隔計測装置を開発することである。その第一ステップとして、直近に配管等や壁が存在する環境でも微量の水素ガスを高い応答速度で非接触計測できる本計測原理を用いた、水素ガスリークディテクタの技術開発、製品モデルの完成と機能の実証および遠隔計測への適用可能性を明らかにすることを目的として、以下の目標を設定した。

- 水素ガス検出限界 500ppm、測定精度 30%
- 光源の最適条件の明確化と、反ストークス光の最適測定技術の確立
- 機能モデルの設計、試作

同モデルについて、実験室レベルで評価試験を行い、目標値がクリアできることを実証する。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果、達成度

本研究開発の成果について、各事業項目の成果概要を示す。総括して、いずれも実施計画に沿う進捗状況であり、本年度末時点において機能モデルの開発と同モデルによる機能検証とした当初目標が達成される見通しである。

#### (1) 光学式水素ガスセンサの研究開発

本目標の達成に向け、実施した事業項目と現在の達成度およびスケジュールを表 3-1-1 に示す。光学式水素ガスセンサは、レーザラマン分光法を原理とするガスセンサである。その基本構造は、小型レーザ光源と分光機能を備えた受光器等により構成される本体と、測定個所に配置しレーザ光の照射とラマン散乱光の受光を行うセンサチップから成り、両者は光ファイバで接続されレーザ光およびラマン散乱光が伝送される。この構造により、光学部品のみで構成され電気系を一切含まないセンサチップは、配置個所を制限されず、センサチップが配置された任意個所における水素ガスを瞬時に検知できる。また、一つのシステムに複数のセンサチップを備えることにより多点監視が可能となり、効率的な運用が可能となる構想である。

#### ① ニーズ調査、目標仕様の明確化

水素ステーションを設置・運営するエネルギー供給事業者や水素インフラ事業者などを調査訪問して、事前に通知してあったアンケート項目に対する意見交換を実施した。

表 3-1-1 光学式水素ガスセンサの研究開発実施内容とスケジュール

(○：達成、△：達成見込み)

事業項目	達成度	平成 26 年度		平成 27 年度	
		1	2	1	2
①ニーズ調査、目標仕様の設定	○	基礎試験、設計		機能モデルの試作、評価	
②センサチップの開発	△	基礎試験、設計		機能モデルの試作、評価	
(a)基礎試験、光学設計	○	四国総研			
(b)光学ベンチ構造設計	○		長峰製作所		
(c)試作、機能評価	△			長峰製作所、四国総研	●機能評価
③システムの開発	△	基礎試験、設計		機能モデルの試作、評価	
(a)多点監視システム構成の検討、基礎機能試験	○	四国総研			●機能評価
(b)半導体レーザ、Si 受光素子の適用性の検討	○	四国総研			
(c)信号処理系の試作	△			四国総研	
(d)ソフトウェアの試作	△				四国総研
(e)信号処理機能評価	△				四国総研
④MEMS モノクロメータの開発	△	基礎試験、設計		機能モデルの試作、評価	
(a)Si グレーティングの設計、試作、光学特性の評価	○	香川大学、四国総研			●技術・機能評価
(b)面内回転型 MEMS 回転アクチュエータの設計、試作、動特性の評価	○	香川大学			
(c)分光光学系の設計	△			四国総研	
(d)MEMS モノクロメータの試作、機能評価	△			香川大学、四国総研	

当該調査により明らかとなった事項は以下の 4 点に集約される。

- ・着火に至る前段階(水素ガス検知の段階)で安全な措置を講じることが基本である。
- ・ガス検知が優先されるべきである(濃度測定機能は十分条件であり必要条件でない)。
- ・容易にガス漏洩個所を特定できる技術に対するニーズが非常に高い(可能であれば遠隔から漏洩個所を特定したい)。
- ・可能な限り微量のガス漏洩を検知したい。

これらの調査結果を踏まえ、開発目標仕様を以下のとおり明確化した。

【開発目標仕様】

数百 ppm 程度の水素ガス漏洩を検知し、微量のガス漏洩個所を特定することができる水素ガス検知装置。

これを受け、本事業では、レーザ計測技術の適用により、応答が早く、センシング部に電気系を一切含まない、常時数百 ppm の水素漏洩監視を行う装置について研究開発を行うこととし、市場ニーズとの方向性の一致を確認した。水素ガス検出限界濃度は、ニーズと汎用水素警報器における低濃度アラームレベルを基準として 500ppm に設定した。

② センサチップの開発



センサチップは、送信ファイバから放射されたレーザ光を整形し観測部に照射するコリメート光学系と、水素ガスにより生じたラマン散乱光を高効率で受信ファイバへ結合するカップリング光学系および、これらの部品を高精度集積実装するための光学ベンチにより構成される。光学系の集積実装により、ラマン散乱光の受光に伴うレーザ光の迷光の影響が大きくなるが、レーザ光の照射光軸とラマン散乱光の受光光軸を分離することで、これを抑制することができる。また、ラマン散乱光の受光光学系を複数設置することで、検出感度が向上する。さらに、光送受信光軸の重なり角と、受光光学系の焦点位置により、検出感度が大きく変化する。

これまでに、送信光ファイバにコア径 200 $\mu\text{m}$  の SI マルチモードファイバ、コリメートレンズとして $\phi 4.0\text{mm}$  のドラムレンズ、カップリングレンズとして $\phi 8.0\text{mm}$  のボールレンズ、受信ファイバとしてコア径 550 $\mu\text{m}$  の SI マルチモードファイバを用い、受光光学系を 2 系統として、高い効率でラマン散乱光を受光できる最適な光学系配置を実験的に求めた。

これらの光学系配置を実現するための光学ベンチは、耐熱性を考慮しセラミックスを用いて製作することとした。セラミックスは、レーザ光の照射に伴い蛍光が生じ、ラマン散乱光の受光に伴う外乱要素となる可能性がある。ここでは、レーザ照射に伴う各種セラミックス材料の光学特性を実験的に検討し、材料としてレーザ光の照射に伴う蛍光の発生を抑え、かつレーザ光の受光系への漏れを防止することができるものを選定した。これらを踏まえて、セラミックス光学ベンチの試作モデルの機械設計を行った(図 3-1-1)。

現在、セラミックス光学ベンチの試作を進めており、本年度末時点において、センサチップ機能モデルの完成と同センサチップを用いた水素ガス濃度計測機能の評価を終える予定である。

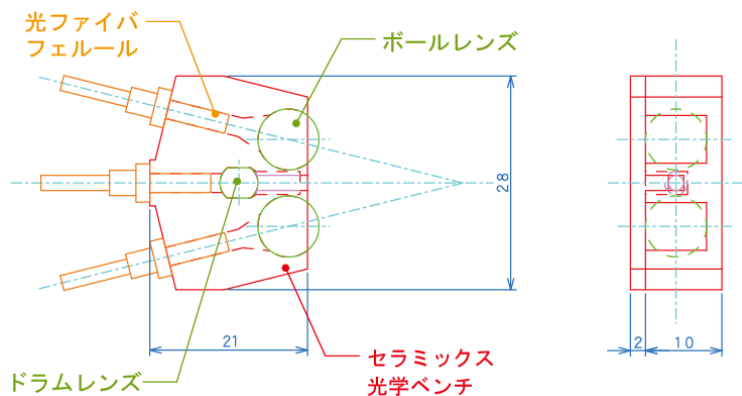


図 3-1-1 センサチップ Ver.1(並列型)の構造例

### ③ システムの開発

ラマン散乱光は極めて微弱な光であり、システムの開発にあたっては、ラマン散乱光の発生と受光の両面で効率化を図る必要がある。ラマン散乱光強度は、励起光波長の 4 乗に反比例するため、レーザ光の波長は短波長ほど優位になる。ここでは、光源に波長 349nm の小型 DPSS レーザを適用した。この場合、水素ガスのラマン散乱光波長は 408nm となる。また、受光素子として、サイドオン型光電子増倍管モジュールを採用した。このシステム構成に①に示したセンサチップ光学系を接続して水素ガス濃度計測の基礎試験を行った結果、濃度 500ppm の水素ガスを 2 秒以下の時間で検知できる可能性を見出した(図 3-1-2、3-1-3)。

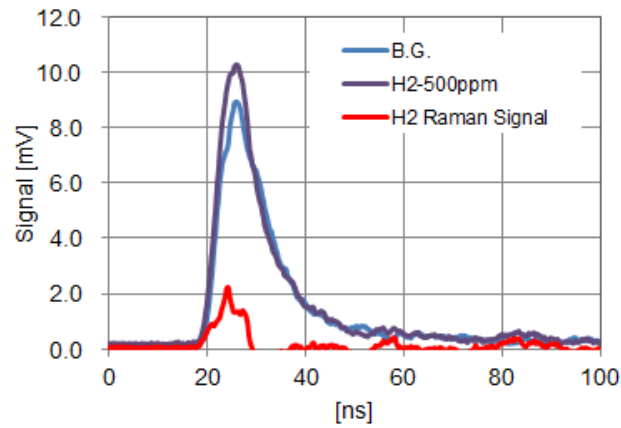


図 3-1-2 水素ガスによるラマン散乱光信号(500[ppm])

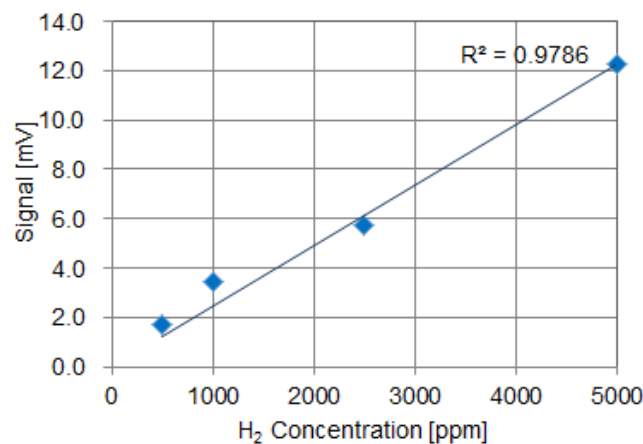


図 3-1-3 ラマン散乱光信号強度(ピーク値)の濃度依存性

多点観測に向け、センサチップを直列に接続し、観測点数を増加させる方法につき検討を行った。本方式では、センサチップから照射されたレーザ光を次の送信光ファイバへ再結合する際の効率として 80%以上を確保することが困難であり、全てのセンサにおいて高感度を維持できないことが懸念された。したがって、ここでは、光スイッチを用いたレーザ光の並列伝送によりシステムを構成することにより多点観測を実現することとした。これらの成果を受け、現在受光系、信号処理系、ソフトウェアの設計と試作を進めているところであり、本年度末の段階で、機能モデルの完成と、機能検証が完了する予定である。

システムの小型・低コスト化に向けた、半導体レーザおよび Si 受光素子の適用について、実験的検討を行った。これまでに、光源に波長 405nm の半導体レーザ(出力 200mW)、受光器に光電子増倍管を用いて、レーザ光軸に対し垂直方向からラマン散乱光を捉える配置により水素ガス濃度計測試験を行い、濃度 2%までの水素ガス検知が可能であることを検証した(図 3-1-4、3-1-5)。また、後方ラマン散乱光を捉えることで感度が 3 倍以上向上すること、Si 受光素子によっても検知可能であることを検証した。これらにより、現時点において、本システムの光源として半導体レーザを、受光素子として Si 受光素子を適用することができる可能性を見出すことができた。今後、これらの半導体素子の高度化に合わせ、適宜導入試験を実施し、機能評価を行う予定である。

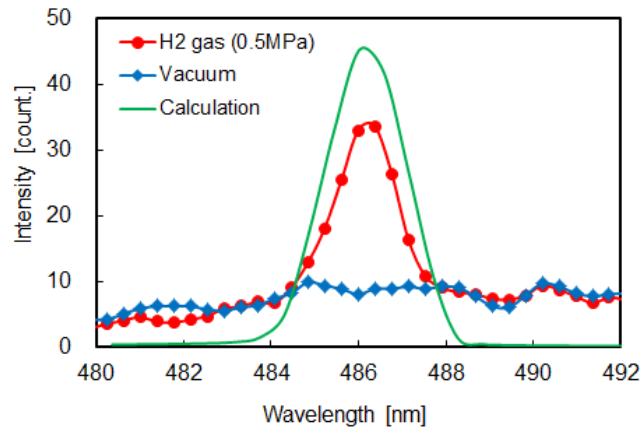


図 3-1-4 405nm 半導体レーザーによる水素ガスのラマン散乱スペクトル

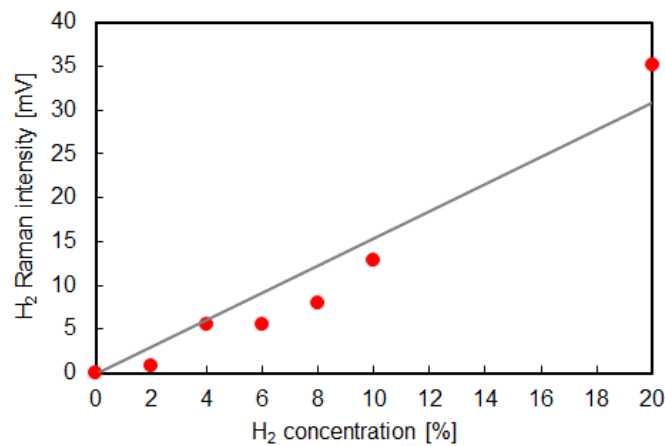


図 3-1-5 405nm 半導体レーザーにより計測した水素ラマン信号の濃度依存性

#### ④ MEMS モノクロメータの開発

MEMS モノクロメータの開発は、MEMS 回転アクチュエータと、Si マイクログレーティングにより構成される MEMS 回転グレーティングと、マイクロレンズ等の他のモノクロメータ光学系をシリコンオプティカルベンチ(以下 SiOB)上に集積実装することにより、本センサに必要な分光機能を有する小型モノクロメータを実現するものである。これまでに、MEMS モノクロメータの主要部品である MEMS 回転グレーティングについて、回転アクチュエータ(図 3-1-6)と Si グレーティング(図 3-1-7)をそれぞれ試作し、その動特性と光学特性を評価した。

MEMS 回転アクチュエータは、SiOB への集積実装が可能な形態として、面内回転型を採用し、SOI ウェハを用いて製作した。アクチュエータ構造としては、駆動構造が単純であることや、駆動時にスティッキングが生じにくく、発生力をトルクに変換することが可能な湾曲型静電櫛歯アクチュエータを採用した。SiOB 中央に設置した可動ステージは、4 本のサスペンションによって支持され、静電アクチュエータのトルク発生に伴い、サスペンションに変位が生じ可動ステージが面内回転駆動を行う。また、回転中心はこれらのサスペンションによって維持される。試作したデバイスは、寸法 10×10mm である。本デバイスについて、印加電圧に対する回転角度を測定し±1.6deg.の回転駆動が可能であることを検証した。

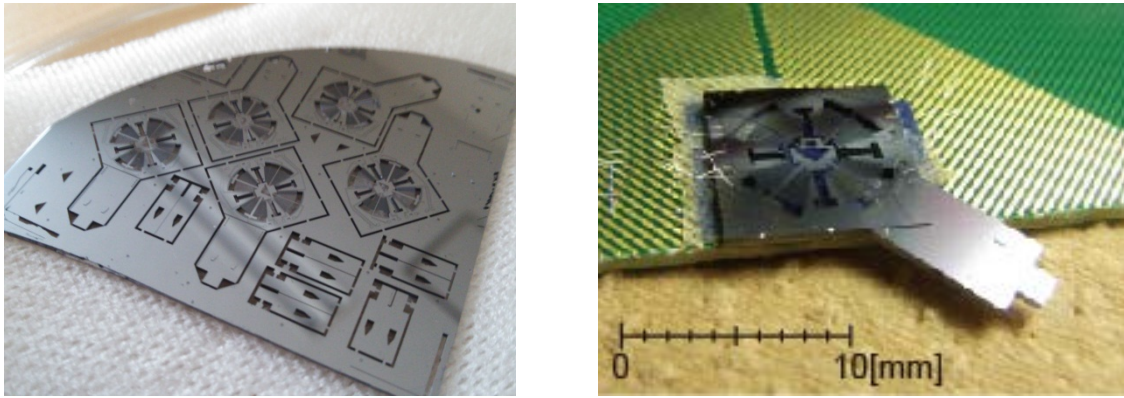


図 3-1-6 MEMS 回転アクチュエータ(一括製作事例：左、デバイス：右)

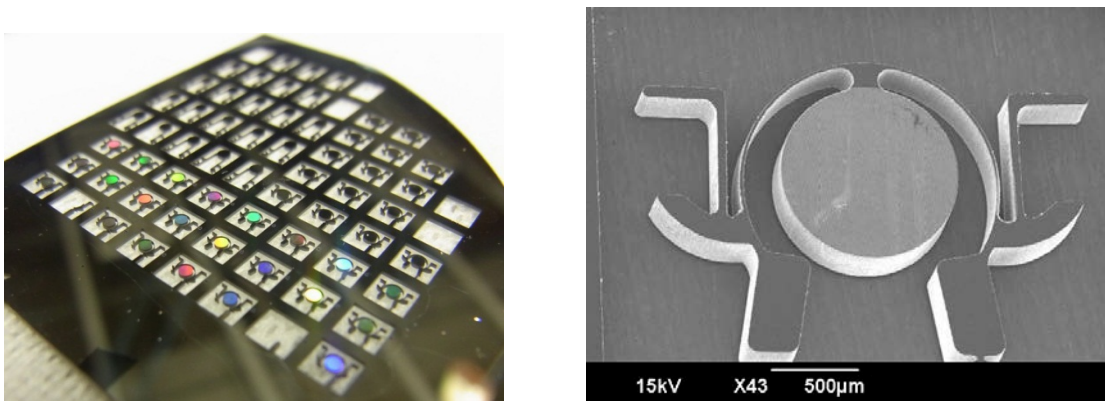


図 3-1-7 Si マイクログレーティング(一括製作事例：左、デバイス：右)

Si グレーティングは ICP-RIE を用いて製作した。有効面を $\phi 2.0\text{mm}$ とし、刻線数は ICP-RIE 工程の最適化により 500~3000Lines/mm まで刻むことができる。また、グレーティング構造にスプリング構造を一括形成し、回転アクチュエータの可動ステージに自動的に垂直実装される機能を付加した。試作した Si グレーティングについて、グレーティング方程式から求まる分散と、実測値の比較を行い、両者が極めて良好に一致することを検証した。また、入射光強度を回折光強度の比較を行い、回折効率 15%以上が確保されていることを検証した。

現在、これらのデバイスにより構成される MEMS モノクロメータの光学設計と試作を行っており、本年度末時点において、機能モデルの完成と、性能の評価が完了する予定である。

### (3) 水素ガスリークディテクタの研究開発

本目標の達成に向け、実施した事業項目と現在の達成度およびスケジュールを表 3-2-1 に示す。水素ガスリークディテクタは、誘導ラマン散乱分光法を原理とするガス検出器であり、レーザー光と水素ガスのストークスラマン散乱光を同時に照射した時に発生する水素ガスの反ストークスラマン散乱光を測定するものである。その基本構造は、レーザー光源と水素ガスのストークスラマン散乱光を発生させる光源と、測定個所までレーザー光とストークス光を導く伝送路および反ストークスラマン散乱光の受光を行うプローブから成る。この構造により、光学部品のみで構成されたプローブを被検体に近づくことで水素ガスを瞬時に検知できる。

表 3-2-1 水素ガスリークディテクタの研究開発実施内容とスケジュール

(○：達成、△：達成見込み)

事業項目	達成度	平成 26 年度				平成 27 年度			
		1	2	3	4	1	2	3	4
①ニーズ調査、目標仕様の設定	○	→							
②システムの開発	△	基礎試験、設計				機能モデルの試作、評価			
(a)光源の安定化の検討	○	四国総研							
(b)光源の低出力化の検討	○	四国総研							
(c)基礎試験と評価	○	四国総研							
(d)システム光学系の設計	○	四国総研							
(e)機能モデルの設計	○					四国総研			
(f)機能モデルの試作と評価	△					四国総研			
(g)製品モデルの設計	△					四国総研			
③プローブの開発	△	基礎試験、設計				機能モデルの試作、評価			
(a)送受信光学系の設計	○	千葉大学							
(b)基礎試験と評価	○	千葉大学、四国総研							
(c)伝送光学系の検討	○	千葉大学、四国総研							
(d)機能モデルの設計	○					千葉大学、四国総研			
(e)機能モデルの試作と評価	△					千葉大学、四国総研			
④遠隔計測への適用検討	△					→			

### ① ニーズ調査、目標仕様の明確化

光学式水素ガスセンサの研究開発と同様に、ニーズ調査を実施し、開発目標仕様を以下のとおり明確化した。

#### 【開発目標仕様】

数百 ppm 程度の水素ガス漏洩を検知し、微量のガス漏洩個所を特定することができる水素ガス検知装置。

これを受け、本事業では、レーザ計測技術の適用により、応答が早く、センシング部に電気系を一切含まない、微量水素ガスの漏洩個所を特定する装置について研究開発を行うこととし、市場ニーズとの方向性の一致を確認した。水素ガス検出限界濃度は、ニーズと汎用水素警報器における低濃度アラームレベルを基準として 500ppm に設定した。

### ② システムの開発(担当：株式会社四国総合研究所)

ストークス光(波長 416nm)の発生には、水素ガスを高圧充填したガスセル(以下ラマンセルと呼称)にレーザ光(波長 355nm)を照射する方法を用いた。図 3-2-1 に示した実験系において、水素ガスの測定に必要なストークス光を安定的に得るためのラマンセル長と水素ガス充填圧力およびレーザ集光条件を実験的に求めた。7 気圧の水素ガスを充填した光路長 470mm のラマンセルにレーザ光を集光照射することにより水素ガスのストークス光を発生させ、空間強度分布を最適化し、さらに折り返しミラーを配置することで図 3-2-2 に示したとおりストークス光のばらつきが抑制できることを明らかにした。



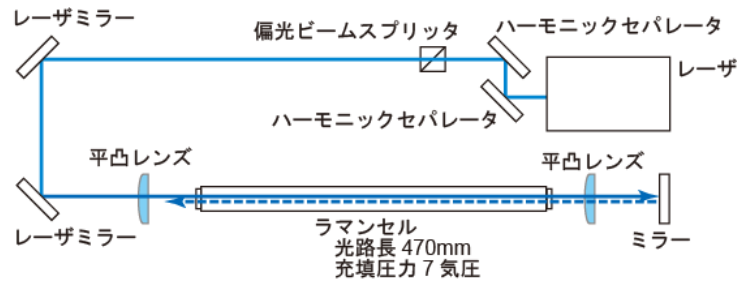


図 3-2-1 光源の実験配置図

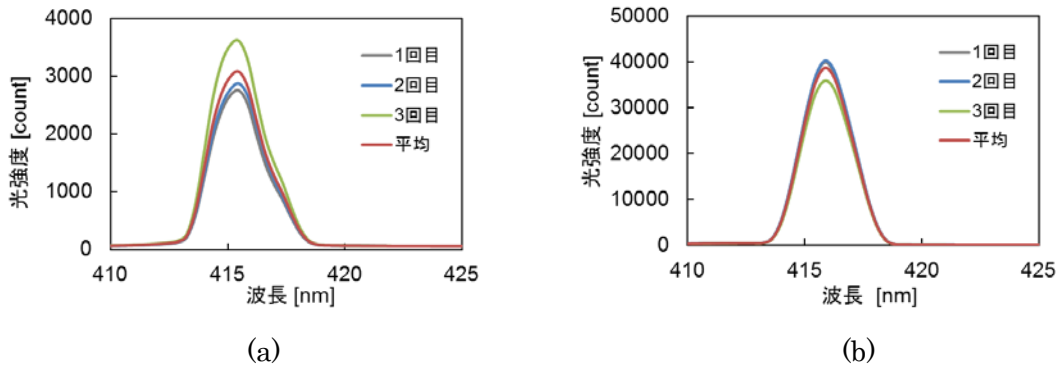


図 3-2-2 折返しミラーを配置しない場合(a)と配置した場合(b)のストークス光スペクトル

前述のとおり最適化を行った光源の仕様を基に、目標測定下限濃度を測定するための光学系の仕様および配置を検討した。前述したラマンセルからは、ストークスラマン散乱光と同時に反ストークスラマン散乱光(波長 309nm)も発生しており、この反ストークスラマン散乱光が被検体の水素検知の妨害となる。このため、ラマンセルの後方に各種のフィルタを配置して反ストークスラマン散乱光の遮断性能を測定し、フィルタとしてラマン分光用の長波長透過フィルタを用いることで、ラマンセルから発生する反ストークス光を排除できることを確認した。

また、被検体からの水素ガスの反ストークス光を測定する場合の最も大きな外乱要因はレーザー光の反射や散乱であり、波長選択ミラーと光学バンドパスフィルタを組合せて使用することによりレーザー光の影響を受けることなく被検体からの反ストークス光を測定することが可能となった(図 3-2-3)。

上述のフィルタやミラーの組み合わせることで、紫外線レーザー装置のエネルギーを mJ オーダまで低出力化した上で、濃度 200ppm の水素ガスからの反ストークスラマン散乱光を検出できることを確認した(図 3-2-4)。

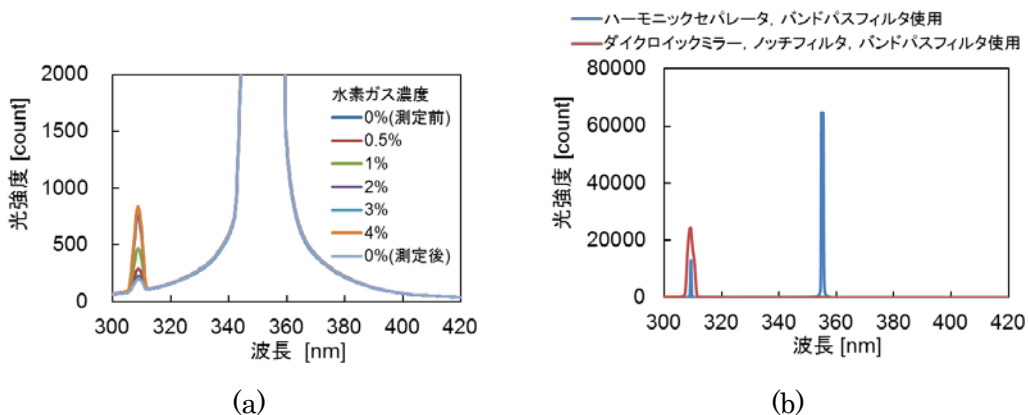


図 3-2-3 (a)バンドパスフィルタのみを配置した場合と(b)外乱抑制のためのフィルタを配置し

た場合のスペクトル

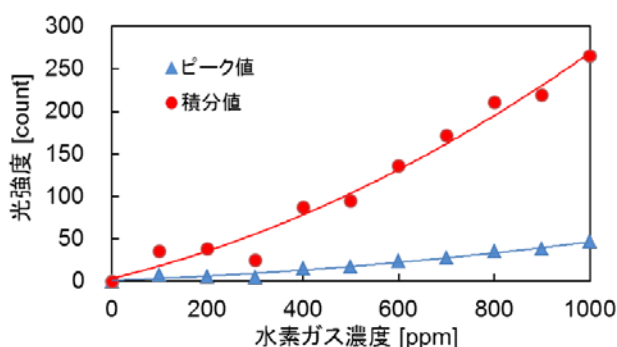


図 3-2-4 ハーモニックセパレータとバンドパスフィルタを配置して測定した反ストークス光強度の水素ガス濃度依存性

以上の経緯により最適化を行った実験系を用い、伝送距離 1.2m、レーザ光波長 355nm、レーザエネルギー 2mJ の条件で、500ppm の水素ガス濃度測定を 20%以下の精度で測定できることを検証した。

これらの試験結果を基に、水素ガスリークディテクタシステム光学系の設計を行った。光源は、紫外線レーザをラマンセルに集光して導入し、水素のストークスラマン散乱光を発生させ、ラマンセルから発生する反ストークスラマン散乱光をラマンセルの後方に設置したラマン分光用長波長透過フィルタによって排除する構造とした。伝送路は、レーザ光とストークスラマン散乱光を複数枚のミラーにより反射させて伝送する構造とし、先端のレンズにより集光して被検体に照射した。被検体周辺の水素ガスから発生する反ストークスラマン散乱光は、この伝送路あるいは光ファイバで受光部に伝送した。受光部は、フィルタと光検出器により構成し、フィルタは波長選択ミラーと光学バンドパスフィルタを組合せ、外乱光の除去と被検体周辺の水素ガスから発生する反ストークスラマン散乱光の選択を行った。光検出器は単一受光素子あるいは CCD 分光装置を用い、反ストークスラマン散乱光の強度測定と水素の反ストークスラマン散乱光の波長確認を行った。

現在、これらの成果に基づき、水素ガスリークディテクタ機能モデルを設計中である。図 3-2-5 に機能モデルイメージを示す。

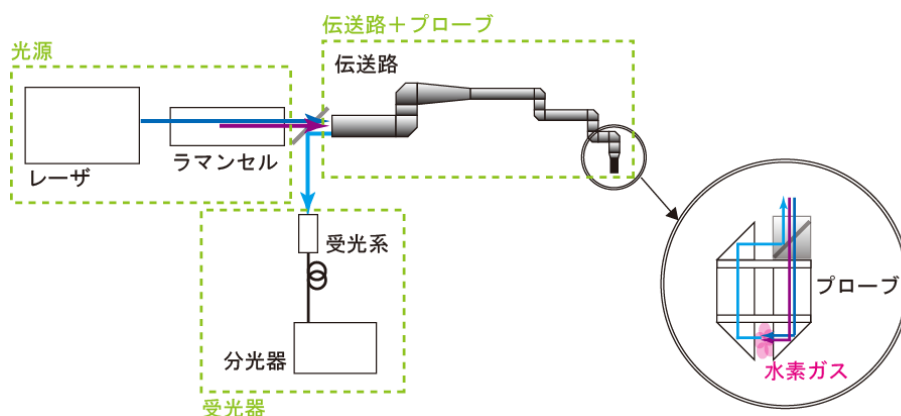


図 3-2-5 機能モデルイメージ

今後、同機能モデルの試作と機能試験を実施し、本年度末の時点で、技術検証と目標仕様の検証を完了する予定である。

③ プローブの開発(担当：国立大学法人千葉大学、株式会社四国総合研究所)



レーザ光とストークス光を被検体に照射し、被検体周辺の水素ガスから発生する反ストークスラマン散乱光測定するためのプローブを設計した。プローブは、被検体からの反射光を測定する方式と被検体周辺の透過光を測定する方式の2種類である。

反射光を測定する方式は、上述の伝送路先端に取り付けたレンズで水素ガスの反ストークスラマン散乱光を集光して、伝送路を介して受光部に導入するものである。

透過光を測定する方式は、伝送路を通過したレーザ光とストークスラマン散乱光の光軸をプリズムで90度回転させて照射し、対向したプリズムで反ストークスラマン散乱光を伝送路の方向に反射して光ファイバに導入するものである。この方式は、対向したプリズム間で発生した反ストークスラマン散乱光を測定する。

これらの方式による計測を実現するためのプローブを試作し、水素ガスの反ストークスラマン散乱光を測定した。透過光を測定する方式について、図3-2-6に部品構成図を図3-2-7に試作品外観を示す。

反射光を測定する方式では、ガスセルに既知濃度の水素ガスを封入して、ガスセルの後方に配置したアルミ板からの反射光を測定した結果、1%の水素ガスからの反ストークスラマン散乱光が検知でき、その強度から濃度測定ができることを確認した。

透過光を測定する方式では、内径φ1mmのノズルから水素ガス(濃度：4%、バランスガス：窒素)を放出し水素ガスの反ストークスラマン散乱光を測定した結果、図3-2-8に示したとおり、放出量が1.1ml/minの場合においても水素ガスの反ストークスラマン散乱光が検知できることを確認した。

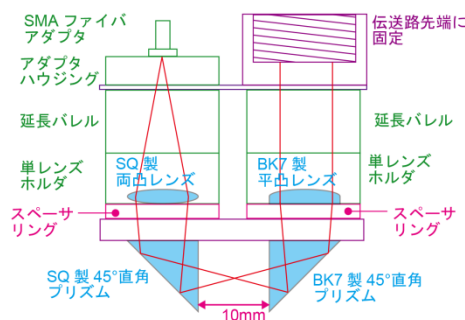


図 3-2-6 プローブ部品構成図



図 3-2-7 試作品外観

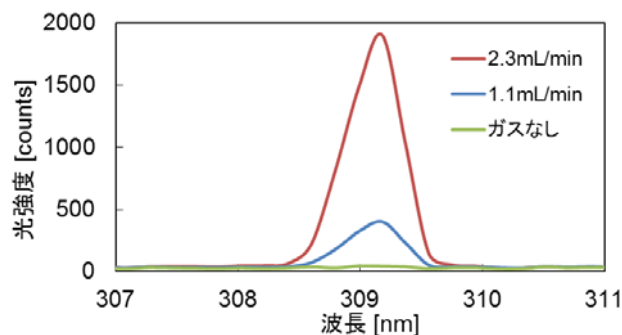


図 3-2-8 4%水素ガス測定試験結果

伝送光学系の検討として、波長の異なるレーザ光とストークスラマン散乱光および反ストークスラマン散乱光が高効率で伝送でき、かつ被検体への照射を自由に行うことを目的として、複数枚のミラーを使用した伝送光学系を検討した。レーザ光とストークスラマン散乱光の波長域を反射する7枚のミラーにより、レーザ光およびストークスラマン散乱光を1m以上伝送することができ、これを水素

ガスに照射して反ストークスラマン散乱光が測定できることを実験的に確認した。

上記伝送光学系に類似したレーザメスの伝送路を参考に、レーザ光とストークスラマン散乱光および反ストークスラマン散乱光の伝送性能を評価して、伝送距離 1m を 7 関節ミラーで実現できる伝送路と先端の照射・集光系を設計した。また、伝送用ミラーの仕様検討を行い、レーザ光とストークスラマン散乱光および反ストークスラマン散乱光の伝送に最適な光学特性のミラーを選定した。

現在、波長の異なる入射レーザ光、ストークス光ならびに反ストークス光を同一光路中で集光、検出するための光学設計を進め、プローブの機能モデルを試作中である。本年度末までに、機能モデルによる試験を実施し、機能検証を完了する予定である。

#### ④ 遠隔計測への適用検討(担当：国立大学法人千葉大学、株式会社四国総合研究所)

遠隔計測への適用検討に向け、本年度下期より実験装置の製作と基礎データの収集を進める予定である。

### 3. 2 成果の意義

本成果は、光学式水素ガスセンサ及び水素ガスリークディテクタを構成するそれぞれの各要素技術の確立と機能検証を行うものであり、当初のスケジュールどおり、本年度末に両装置共にラボベースにおける機能評価を完了する見通しである。

これらの成果は、本研究開発の構想が実用可能であることを示すものである。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

#### (1) 光学式水素ガスセンサの研究開発

本研究開発の最終目標は、事業化に向けた光学式水素ガスセンサの製品モデル(水素ガス検出限界 500ppm、応答速度 2sec、使用温度上限 200℃)の完成と、フィールドにおける機能の実証である。これらの最終目標は、本年度完成する機能モデルを基に研究開発を継続することにより、確実に達成することができる見通しである。

#### (2) 水素ガスリークディテクタの研究開発

本研究開発の最終目標は、事業化に向けた水素ガスリークディテクタ(水素ガス検出限界 500ppm、測定精度 30%)の製品モデルの完成と、フィールドにおける機能の実証である。また、より高度な水素漏洩検知装置の実現を目指し、本技術の遠隔計測への適用可能性を明らかにする。これらの最終目標は、本年度完成する機能モデルを基にした研究開発及び遠隔計測への適用に向けた基礎検討を継続することにより、確実に達成できる見通しである。

## 4. まとめ及び予定、事業化までのシナリオ

### 4. 1 まとめと今後の予定

#### (1) 光学式水素ガスセンサの研究開発

水素利用機器の内部や防爆エリア内に適用できる光学式水素ガスセンサの開発における第一ステップとして、当初計画どおり、実フィールドへの適用を視野に光学式水素ガスセンサの構想を検証するための機能モデルが完成し、機能検証が完了する予定である。

今後は、製品化に向け、機能モデルを基に、製作プロセスの簡略化や性能の最適化など、低コスト化を視野に装置開発を行い、各種環境への耐性、長期稼働試験など、実用に向けた各種フィールド試験を行う予定である。

## (2) 水素ガスリークディテクタの研究開発

パッキンやバルブからの漏洩水素ガスを探査する水素ガスリークディテクタの研究開発における第一ステップとして、当初計画どおり、機能モデルが完成し、機能検証が完了する予定である。また、本技術の遠隔計測への適用可能性検討に向け実験装置の製作と基礎データ収集に着手した。

今後は、製品化に向け、開発した機能モデルを基に、性能の最適化などによる低コスト化を視野に製品モデルの開発を行い、同装置により各種環境への耐性、長期稼働試験など、実用に向けた各種フィールド試験を行う予定である。また、本技術の遠隔計測への適用可能性について結論を導く予定である。

### 4. 2 事業化までのシナリオ

#### (1) 実用化・事業化を行う製品と販売先

##### ① 光学式水素ガスセンサ

水素ステーション及び水素製造プラント等の水素関連施設に向け、応答が速い小型の光学式水素ガスセンサを低コストで提供する。

水素ステーションや複合燃料スタンドに向け、水素ガスセンサ取扱い業者を通じて販売を行う。また、将来的に水素エネルギー利用が拡大すれば、水素供給・保管施設が大幅に増加することが予想される。これらの施設をはじめ、ガス検知器の設置が義務付けられているプラント等は、本システムの適用により保安管理の高度化が図れるため重要な市場となりうる。また、本技術によれば、水素以外の様々なガス検知や濃度計測、マルチガス計測が可能であるため、将来的には水素ガスに限らず、各種ガス製造、利用施設を対象に製品の開発、販売を目指す。

##### ② 水素ガスリークディテクタ

水素ステーション等の水素関連施設に向け、配管継手等から生じる微量の漏洩水素ガスを瞬時に検出し、現在煩雑な作業を要する水素漏洩個所の特定を、短時間で効率的に行うことができるリークディテクタを提供する。

水素燃料、水素ステーション及びステーション構成部品を取扱う水素エネルギー事業関連企業に対し、極めて微量の水素ガス漏洩個所を瞬時に特定する必要がある特殊環境を対象に事業を展開する。

#### (2) 実用化・事業化への取組み

本事業者は研究開発を生業としており、事業の成果を知財という形態で権利化することを基本とし、本事業に於いてもこの基本路線を踏襲する。本事業者自らが製品製造を行う機能を有していないため、サンプル出荷、受注生産では製造委託する場合がある。本格的な製造・販売はメーカ等へのライセンス供与により実現する。実用化・事業化の成功は、知財を実施する製造・販売パートナーが重要となることから、事業成果と関連のある企業に向けた情報発信や情報提供・情報共有などを積極的に推進する。技術指導や技術協力を行ってきた企業とは技術交流を深め、本事業者の保有知財の有利な条件での実施許諾により、低コスト製品の早期市場投入を共通目標として取り組む。

##### ① 実用化・事業化に向けた計画等

本研究開発は、プロジェクト期間中に現在想定される事業化に必要な技術開発の全てを達成する。プロジェクト終了後2～3年間を目途に、各種フィールドでの実証試験や展示会への出展・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールしていくと共に、サンプル出荷による実績を積み上げ、その後商品販売へ移る。

提案者である㈱四国総研は、これまでに自社開発技術の商品化・事業化実績を多数有し、事業化に必要な体制が確立されている。また、本件シーズ技術開発過程において、多くのエネルギー関連企業や商社

とのコネクションを構築しており、市場ニーズや実証試験フィールドの提供及び、サンプル販売の端緒を得ることができる環境にある。製造は本件各再委託先が行うが、各企業とも、自社開発技術に基づく商品化・事業化実績を有し、商品が高い品質で安定供給できる製造プロセスに必要な体制が確立されているため、これらを総合的に活用することで強力な事業化の推進が見込める。

## ② 優位性と課題

### a. 事業の新規性・独創性

現在水素ガス検知には主に、防爆構造を付加した半導体式、熱伝導式等の接触式ガスセンサが用いられている。これらのセンサは小型、低コストである一方で、応答に数十秒程度の時間を要するため、漏洩監視の観点ではガス漏洩から警報発報までにタイムラグが生じ、漏洩探査の観点では、漏洩個所を効率的に特定することが困難であるという課題が残る。

これに対し、本提案の水素ガス検知技術は光学的手法(レーザラマン分光法及び CARS)に基づき、応答速度 2sec 以内を実現することが可能であるため、漏洩監視、漏洩探査のいずれの観点からもその高度化を図ることができる。本提案に用いる光学的水素ガス検知手法は、提案者が発案した全く新しい独自の技術である。

### b. 他との競争力

これまでの研究開発過程において水素ガス検知の原理については十分に検証がなされており、これに係る産業財産権は国内外において取得済みであるため、同様の手法で他社との競争となった場合、提案者が圧倒的に有利である。

### c. 課題と解決方法

事業化までに想定される課題は、製品コストと水素ステーション関連市場の獲得である。

#### [製品コスト]

従来の光学式ガス計測装置は極めて大型であり、数百万～数千万円程度のコストであったが、提案者はこれまでに、装置の大幅な小型化(システム一式でテーブルトップサイズ)と低コスト化(500 万円以下)を実現してきた。本提案では、技術開発と量産効果により小型・低コスト化を進め、市販の水素ガス検知システム(例えば 6 点監視で 200 万円程度)と同等のコストで実現する。これによって、従来と同等のコストで、光学的手法による応答の速い水素ガスセンサを提供することができる。また、リークディテクタについては、主に特殊用途への適用が想定されるため、コストよりも機能を優先し事業化を進めるべきであると考えられる。

#### [水素ステーション関連市場の獲得]

水素ステーションのパッケージ化や試験運用が進められる中で、保安設備についても既に一定の仕様が決定されており、一般のセンサ市場と比較して開拓が困難であると言える。しかしながら、本技術による保安管理水準の大幅な向上と、近年の自然災害など、想定外事故発生時に備えた安全対策に対する世論の動向に照らせば、水素ステーションの本格普及が進められる中で、前述現行技術における課題等に起因するアクシデントが生じた際に、随時本事業における完成度の高い商品と実績を提示することで、市場を切り開くことが十分に可能であると考えられる。

## (3) 実用化・事業化のスケジュール

### ① 製品設計

小型光学式水素ガスセンサ、水素ガスリークディテクタのいずれについても、本事業が終了する平成 29 年度までに製品モデルの設計を終える。

### ② 設備投資

製造は外部委託とするため、各部品や製品検査用機器の購入が主な設備投資となる。

### ③ 生産

本事業終了後平成 30 年から生産(サンプル出荷)を開始する。

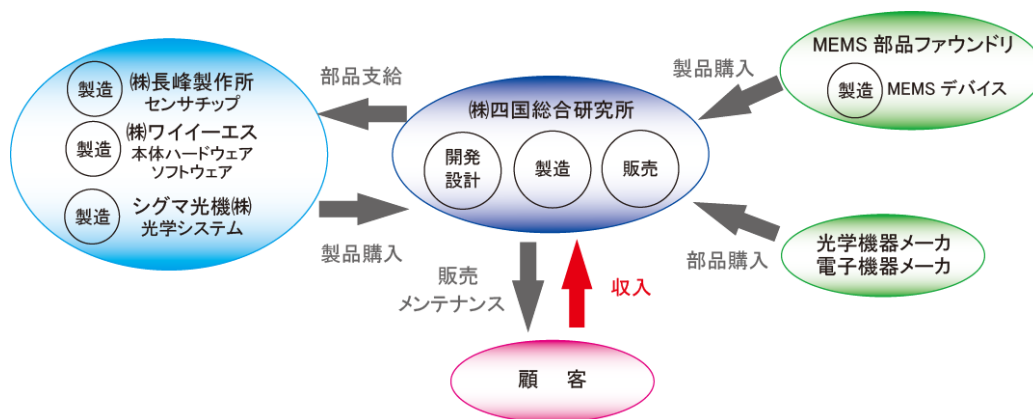
事業開始当初は、受注生産体制を想定し、本件再委託先企業や電子機器メーカ、光学機器メーカにより行う。小型光学式水素ガスセンサについては、本体を(株)ワイイーエス、センシング部については(株)長峰製作所、MEMS 部品についてはファウンドリを活用する。水素ガスリークディテクタについては、シグマ光機(株)が担当する。なお、年間生産台数が 50 台を超えた時点で、量産ラインの導入を検討する。

### ④ 販売

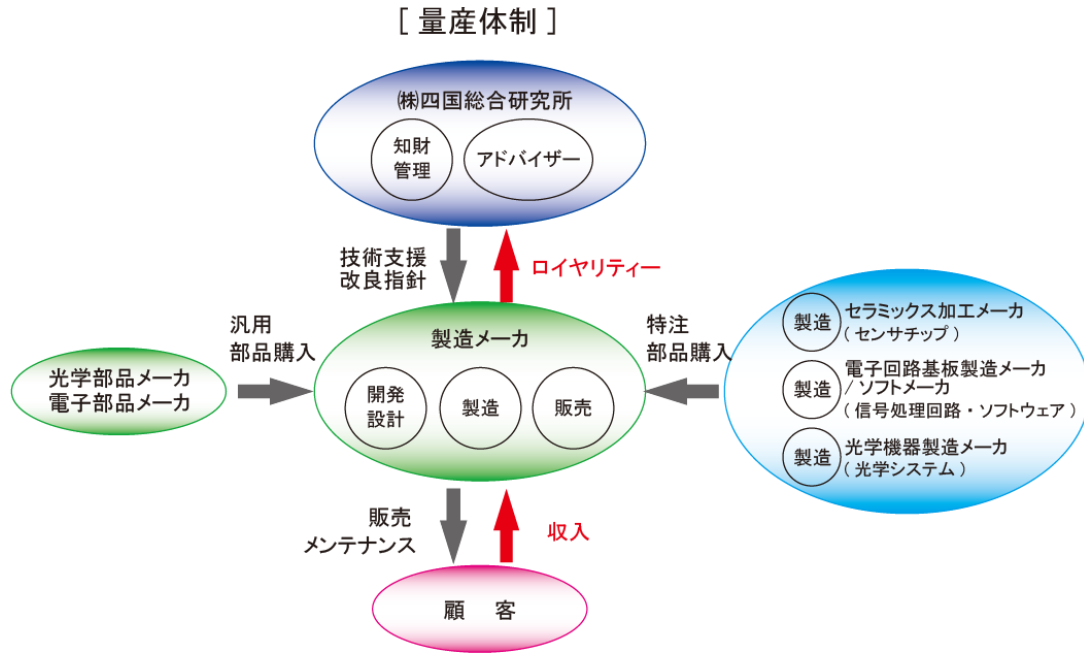
当初は提案者により販路の開拓、拡大を推進する。平成 32 年度終了時点の成果を基に、本事業の続行/中断の判断と、製造委託企業に対する受注・製造・販売業務の移管を検討する。

[事業化のスキーム]

- 受注生産体制



○ 量産体制



[事業化のスケジュール]

	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度	H33 年度	H34 年度
製品設計	■					
設備投資		■				
生産		◆ サンプル出荷開始		■	■	■
販売				■	■	■
収益発生				■	■	■
備考		◆ 事業終了	続行/中断, 業務移管を判断◆			

予想される重大な障害：

- 製品設計段階 : 製品コストの削減。
- 設備投資段階 : 特になし。
- 生産段階 : 特になし。
- 販売段階 : 水素ステーション関連市場の獲得。

## 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 11 月	第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	SiOB への適用を目指した光学自動アライメント技術の開発	高尾英邦(香川大学) 他
2	平成 27 年 5 月	18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Transducers 2015	A rotational mems diffraction grating for realization of micro sized spectroscope system	Hidekuni Takao (Kagawa Univ.) etc.

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 26 年 10 月 9 日	特願 2014-208063	水素ガス濃度計測装置および方法	(株)四国総合研究所

※基本特許については既已取得済

- ・ガス漏洩監視方法、およびそのシステム(特許第 3783019 号/平成 16 年 3 月 5 日) 他  
海外特許有(7385681 : 米国、2518491 : カナダ 他)



**(Ⅲ-①-6)「水素利用技術研究開発事業／水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発／水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発」**

委託先：株式会社四国総合研究所

●成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成27年度終了予定)

・イメージファイバを用いて防曝区域の画像を非防曝区域に伝送し、二波長分光によって選別・撮像した特定波長域の近赤外画像を背景画像（可視画像）と合成することにより、5m遠方の数cmの微小水素火炎を可視化することが出来る見通しを得た。

●背景/研究内容・目的

水素火炎は視認できないため、水素を扱う現場には保安装置として、水素火炎の中心部から発せられる紫外線に反応する火炎検知器が設置されている。当該検知器は、火炎の有無を判定するものであり、着火位置の特定は、これまで通りパトロール員の現地巡視に委ねられている。しかも、検知波長域の全ての光に反応するため誤検知が多い。

本研究では、水素火炎から発せられる各種波長域の発光を専用のカメラで画像として捉え、画像処理を行うことで、判定や火炎領域の抽出を行う手法を高度化することにより、火炎長が数cmの微小水素火炎を遠方から確実に検知して可視化する機能を具備する水素ステーション監視システムと高性能携帯型火炎可視化装置の開発をする。

●研究目標

実施項目	目標
A.二一ズ調査、目標仕様の設定	水素関連事業者を対象とする調査により、市場ニーズと開発目標を明確化する。
B.火炎可視化装置の小型高性能化	微小火炎を確実に検知するための可視化機能の高度化と、現場での利用を容易とする可搬性を実現させる。
C.水素火炎検知機能有する監視システムの開発	汎用カメラシステムで構成される火炎検知機能を具備する監視システムを実現する。
D.防曝構造の開発	ガスベンサ周辺や蓄圧器などの爆発危険区域に適用可能な防曝技術を開発する。

●実施体制及び分担等

NEDO	株式会社四国総合研究所
------	-------------

●これまでの実施内容／研究成果

- A. 二一ズ調査、目標仕様の設定  
水素関連事業者など5カ所を調査訪問し、開発目標仕様を顕在化させた。  
【目標】5mの離隔距離を以て、誤動作することなく確実に数cmの微小水素火炎を可視化する。
- B. 水素可視化装置の小型高性能化  
複数の可視化装置の画角を一致させるための波長分光手法を検討し、二波長分光方式によって5m先の数cmの水素火炎を可視化画像化出来ることを確認した。当該手法は携帯型火炎可視化装置に適用することができる。
- C. 水素火炎検知機能を有する監視システムの開発  
模擬実験を行って、水素火炎可視化のために取得する複数種類の撮像画像の適否を検討した結果、監視用途には近赤外画像よりも遠赤外画像が適切であるとの結論を得た。
- D. 防曝構造の開発  
伝送路として光ファイバを用いて防曝区域の画像を非防曝区域に伝送し、二波長分光によって抽出した特定波長の近赤外画像を背景画像と合成する防曝対応手法を検討した。基礎実験によって、適切な光ファイバを調達することが出来れば実現の可能性が高いことを明らかにする予定である。

●今後の課題

対応波長帯域の広いイメージ伝送用光ファイバの調達。

●実用化・事業化の見通し

技術面での実現の可能性はほぼ確認しており、恒長距離の長いイメージファイバの入手により、実用化・事業化は可能である。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	水素関連事業者など5カ所を調査訪問して、市場ニーズと開発目標を明確化した。	○
B	二波長分光により5m遠方の数cmの水素火炎の可視画像化が可能であることを確認した。	○
C	監視用途には近赤外画像よりも遠赤外画像が適していることを確認した。	○
D	イメージファイバを用いて防曝区域の画像を非防曝区域に伝送する方式の可能性を確認した。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	0	0

### Ⅲ－①－6

#### 水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究

#### 水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発

##### 1. 研究開発概要

水素ステーションの運用におけるトラブルの未然防止や、トラブル発生時の迅速な対応を効率的に実施するために、視認できない水素火炎を可視化することのできる防爆仕様の装置を開発することにより、水素火炎検知機能を有する監視システム、および高性能携帯型水素火炎可視化装置を提供する。

##### 2. 研究開発目標

水素火炎は視認することが出来ない。このため、水素を扱う現場には、水素火炎から発せられる紫外線に反応する火炎検知器が設置されているが、当該検知器は、火炎の有無を判定して警報発報することを基本としており、着火位置の特定は巡視員の現地パトロールに委ねられている。しかも、検知波長帯域の全ての光にセンサが反応するため、太陽光線や溶接火花の紫外線に起因する誤検知が非常に多いことが、水素関連事業者への聞き取り調査により明らかとなっている。水素ステーションの普及に向けて期待される「水素火炎を迅速・確実に検知する」ことは、水素インフラの社会受容性を確保する観点からも極めて重要である。本事業では、水素火炎の発する紫外線や近赤外線、遠赤外線を専用のカメラで撮像し、これらの撮像画像を処理することにより、視認できない水素火炎を可視化する手法を基本とする。

###### (1) 水素火炎可視化装置の高機能化

水素火炎可視化装置は、水素火炎の着火位置と火炎挙動を明瞭に視認することが出来る点が最大の特徴であるが、実用に供するためには、発光量の小さい微小水素火炎を確実に検知し得る性能が要求される。このため、受光光学系の構成や撮像波長などを最適化することによって水素火炎の検知感度を向上させるとともに、侵入監視システムへの組み込みや消火現場での操作性・可搬性などを考慮して装置を小型化する。

###### (2) 火炎判定基準の確立

水素火炎可視化装置は、紫外画像や近赤外画像、遠赤外画像の輝度情報を用いて水素火炎を可視化し、画像の輝度値や火炎の大きさ（火炎部分の面積）、持続時間の組み合わせを以て火炎を判定する。実フィールドでは、水素火炎可視化装置に直射日光や車のヘッドライト、街路灯などが当たる場合などの様々な場面が考えられるため、想定される外乱要素の組み合わせによって多様な環境・気象条件を網羅した機能検証試験を実施してデータを蓄積し、最適な火炎判定基準と処理フローを確立する。

###### (3) 侵入・火炎監視システム

水素インフラに対する社会受容性を勘案すれば、社会ニーズとして、火炎可視化や映像伝送、監視画像の記録、トラブル発生時の警報発報などの機能を具備する監視システムへの期待が高まる。このため、火炎検知と侵入監視を行う総合システムを開発し、トラブル発生時の発報内容や、画像記録の頻度や画像の種類などを検証する。

###### (4) 防爆仕様の検討

水素火炎可視化装置は、「遠方から安全・確実に」を基本とすることから、防爆区域外からの火炎監視を想定した開発が進められてきた。しかし、発光量の小さい微小火炎や配管・バルブなどが複雑に入り混じった蓄圧器室の火炎監視のためには、防爆区域内への装置設置を余儀なくされる場合があることから、防爆対応は早急に対処すべき課題である

### 3. 研究開発成果

#### 3.1 研究開発成果、達成度

##### (1) ニーズ調査、目標仕様の明確化

水素ステーションを設置・運営するエネルギー供給事業者や水素インフラ事業者、ならびに水素火災時の消防戦術を検討・策定する総務省消防庁を調査訪問して、事前に通知してあったアンケート項目に対する回答や説明・解説のほか、意見交換を実施した。

当該調査により明らかとなった事項は以下の3点に集約される(表1)。

- 火炎検知のニーズはガス検知ニーズより低い。
  - ・着火に至る前段階(ガス検知)で安全な措置を講じることが基本である。
  - ・ガス検知機能は必須であり、濃度測定機能は必ずしも必要ではない。
  - ・検漏液塗布以外の方法でガス漏洩箇所を特定する技術へのニーズが非常に高い。
- 水素火炎と一般火炎(炭化水素火炎)の区別は不要である。
  - ・火の気(火炎)の確実な検知が第一義である。
- 誤検知することなく確実に水素火炎を捉える装置が望まれている。

調査結果を踏まえ、水素火炎可視化装置の検知能力の仕様を以下のように明確化した。

##### 【開発目標】

5mの離隔距離を以て数cmの微小火炎を確実に検知する。

表 1 水素関連事業者などへの訪問調査結果

訪問先	東京ガス株式会社 千住水素ステーション	岩谷産業株式会社 尼崎水素ステーション	株式会社日立製作所 インフラシステム社	大陽日酸株式会社 水江事業所	総務省 消防庁
調査対象・目的	従来型水素ステーション (都市ガス改質)	商用水素ステーション (オフサイト方式)	水素コンプレッサ製造者 からの意見聴取	移動式水素ステーション (オフサイト・パッケージ型)	携帯型火災可視化装置の 消防戦略上の適用性調査
訪問調査日	平成26年 8月20日	平成26年 9月 3日	平成26年 9月24日	平成26年11月19日	平成26年11月20日
調査梗概	<p>①着火前に対処することを基本と 考えており、火災検知のニース は低く、ガス漏洩検知のニース は高い。</p> <p>②検漏液塗布（発泡検査）を実施 する前に別の方法でガス漏洩箇 所を特定し、増し締めなどの然 るべき措置を講じたい。</p> <p>③このため、ガス漏洩箇所を特定 することのできる技術に対する ニースは極めて高い。</p>	<p>①水素火災と一般火災（炭化水素 火災）の区別は不要であるが、 水素火災は見逃すことなく検知 されたい。</p> <p>②鎮火確認の観点から、着火位置 の特定機能は必要。</p> <p>③漏洩ガス濃度に応じて重警報と 軽警報を使い分けられていることを 勘案すれば、水素ガス濃度測定 機能が必要。</p> <p>④火災検知と水素ガス漏洩検知/ 濃度測定の必要性の観点では、 後者のニースが高い。</p>	<p>①水素インフラ事業者の立場から 発言すれば、水素火災可視化は 不要であるが、低濃度まで対応 可能な水素ガス検知器ならば、 例え高価であっても欲しい。</p> <p>②水素ステーションの現場では、 10ppmレベルの水素ガス漏洩 でワイワイ騒いでいる。</p> <p>③現地担当者は、ガス漏洩検知器 の針が若干でも振れるものなら ば、直ちにメーカーに対応を強要 する。</p>	<p>①高圧ガス保安法上、移動式水素 ステーションは防爆対応は不要 であり、水素ガス漏洩/検知器 は設置するも火災検知器の設置 は義務付けられていない。</p> <p>②水素ガス漏洩検知機能が最優先 される。ガス検知器がLELの1/4 で警報発報するため、水素ガス 濃度測定機能の必要性について 特段、考えたことがない。</p>	<p>①消火活動現場でサーモカメラを 使用している現状から言えば、 火災可視化装置の消防戦略上の 要否や消火活動上の適否に関す る積極的な回答は困難である。</p> <p>②消火活動の現場では赤熱箇所の 把握が最も重要であり、強い ニースを挙げるならば、火災可 視化装置とサーモカメラ機能の 一体化。更に、頑強な構造体で あることやズーム機能の具備。 汎用性の高い装置であることが 重要。</p> <p>③現在まで水素ステーションでの 火災事故が発生していないこと から、水素火災に対する消火活 動で何が問題なのか、そのため には何が必要なのか、正直など ころ、把握できていない。</p>

## (2) 火炎可視化装置の小型高性能化

水素分子を含む可燃性ガスが燃焼すれば、OHラジカルからの紫外線と、H<sub>2</sub>O分子からの近赤外線が発せられ燃焼によって生成した水蒸気が結露して遠赤外線を発する(図1)。このため、水素火炎から発せられる光は280~320nmの波長域(紫外線領域)で観察されるため、光学バンドパスフィルターで選別すれば水素火炎を検知することが出来る。燃焼によって生じる高温の水蒸気は、火炎周辺の空気に曝されて結露して温度相応の輻射熱を発するため、この熱輻射を検知すれば火炎周辺の温度分布の熱画像化が可能である。一方、燃焼によって火炎から発せられるH<sub>2</sub>O分子の発光スペクトルが近赤外線領域にピーク値を有していることに鑑みれば、太陽光(外乱光)の成分が少なく、かつH<sub>2</sub>O分子の発光スペクトル強度の強い波長帯域の発光を画像化することによっても火炎の可視化が可能である。本事業では、専用カメラを用いて水素火炎から発せられる紫外線や近赤外線、遠赤外線を画像として捉え、これらの撮像画像を処理して背景画像(可視画像)上に重ね合わせる手法(以下「重ね合わせ手法」)を適用する。

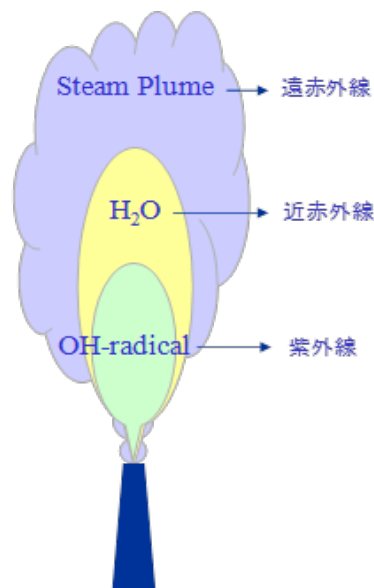


図1 水素火炎の模式図

そこで、口径1mmの火口で2cm程度(近赤外面像)の微小な水素火炎を発生させ、5mの離隔距離を以て当該火炎の撮像試験を行った。紫外画像は専用のUVカメラで、近赤外面像は930nmのバンドパスフィルターを介してCCDカメラで、遠赤外面像はサーモカメラで撮像した。OHラジカルの発光は信号強度が微弱であるため、イメージ・インテンシファイアーで約一万倍に増幅した。可視光線及び水素火炎から発せられる異なる2波長の近赤外線(900nm、930nm)と遠赤外線を同時にCCDカメラで撮像し、2つの近赤外面像の差分画像と赤外面像の共通の領域を水素火炎と判定し、当該領域を赤く着色して可視画像上に重ね合わせて表示した。図2の米粒ほどの極めて小さい赤色領域(指さしマーク部)が水素火炎

が水素火炎である。この結果により、重ね合わせ手法の適用による5mの離隔距離を以て数cmの水素火炎を検知する、

ことの可能性が示唆された。重ね合わせ手法では、水素火炎を複数台のカメラで同時に撮像し、所定の要件を満たす画像領域のみを水素火炎と判定しているため、紫外線を検知した場合であっても、他の要件が満たされなければ水素火炎と判定しない。また、周囲が高温であった場合でも、水素火

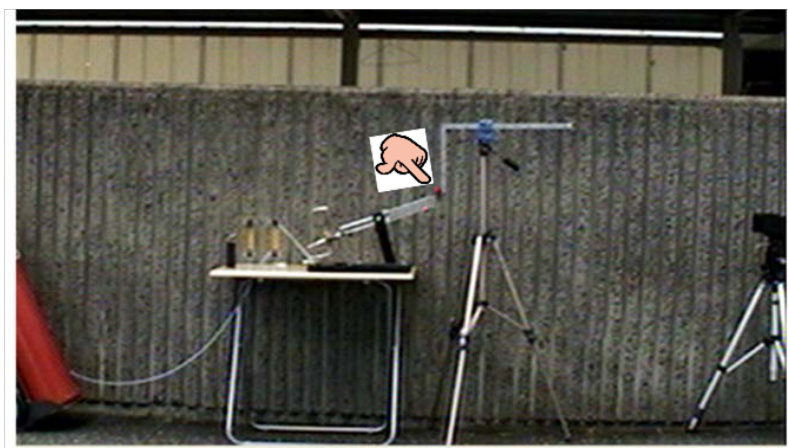


図2 水素火炎可視画像(離隔距離5m、火炎長2cm)

炎の領域のみの抽出が可能である。しかし、重ね合わせ手法では、同時に捉えた複数枚の画像を処理する必要があることから、各画像の画角を一致させることが極めて重要であることに鑑み、画角の不一致（ズレ）を最小限に抑える手法として「波長分光」を検討した。

そこで、まず、可視光線と近赤外光線の一眼 3 波長分光方式を含む三眼 3 波長分光システムの実現の適否を検討した（図 3）。石英レンズ(1)で集光した光を 2 個のダイクロイックミラーと 1 個のホットミラーを介して可視光線と異なる 2 波長の近赤外線に分光する一方で、OH ラジカルから発する紫外線は、石英レンズ(2)を介して集光してバンドパスフィルターで選別してイメージ・インテンシファイアー（図中 I.I.と表記）で増幅する。

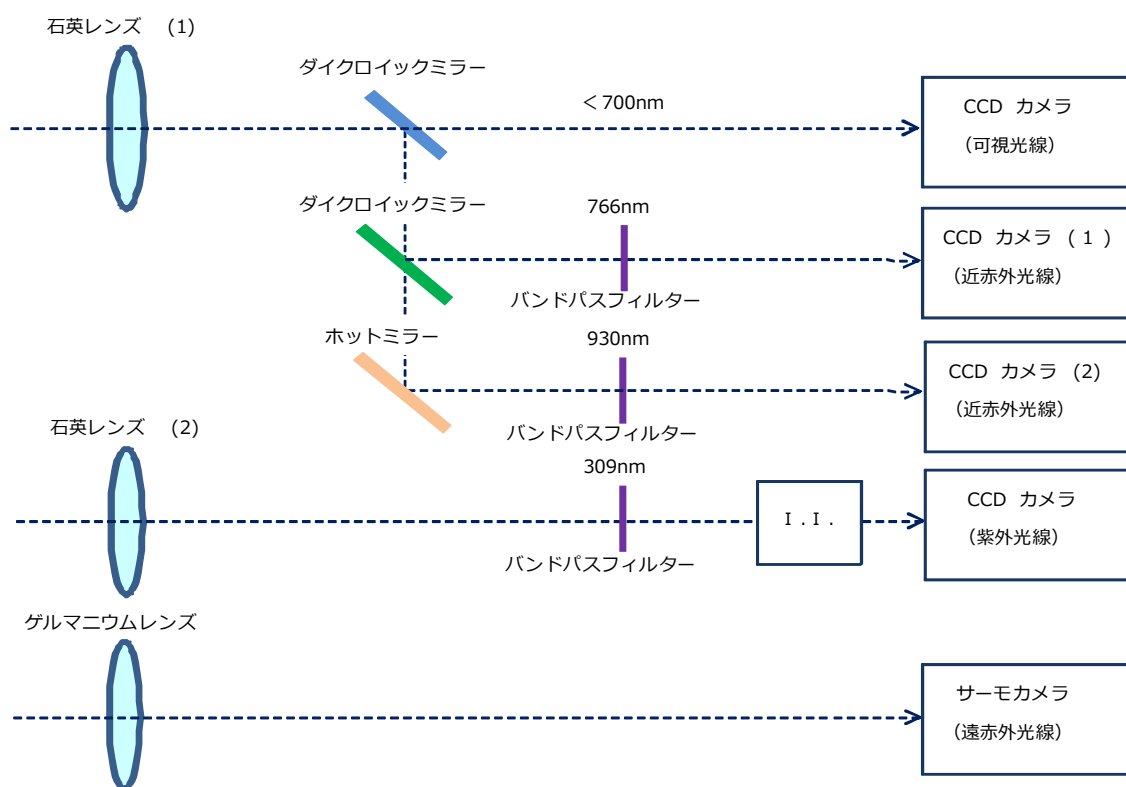
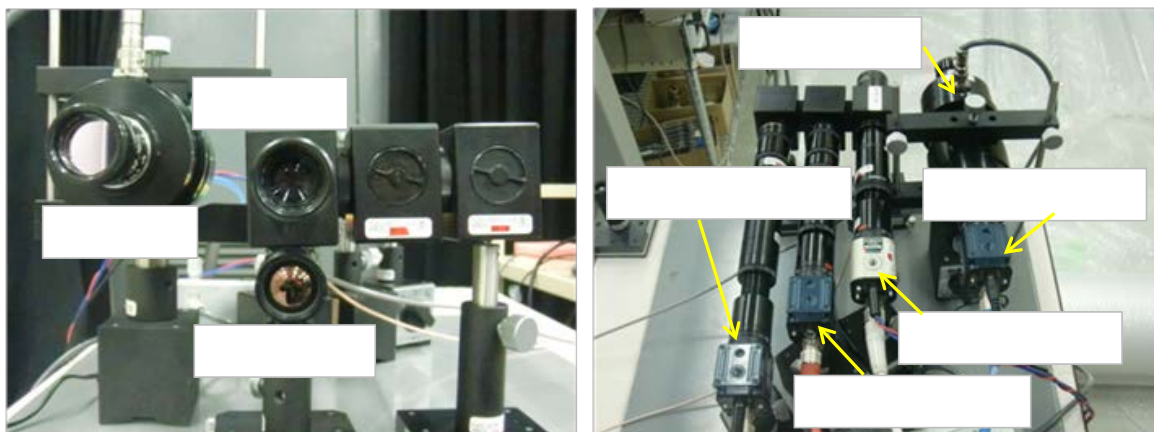


図 3 三眼 3 波長分光システムの光学的構成

当該一眼 3 波長分光方式の適用性を評価するために、図 4 に示す機能検証モデルを製作し、当該モデルを用いて屋内外で実水素火炎の撮像試験を実施した。当該試験は、火炎長 2cm 程度の微小な水素火炎の発光を撮像対象波長毎に専用の 5 台の CCD カメラで画像として捉え、パソコンに取り込んで画像処理することにより所期の目的が達せられる。しかし、現有の画像処理システムは 4 チャンネル対応であり、チャンネル数の不足により全ての画像データを同時に処理することが出来ないため、撮像に若干の時間差が生じることによる撮像画像への影響は小さいことから、パソコンに接続する CCD カメラを適宜変更することで同様の条件下で撮像試験を 2 回実施し、各々の画像データを重ね合わせた可視化画像を以て妥当性を評価した。





(a) 正面からの外観写真

(b) 上部からの外観写真

図4 機能検証モデル外観

### ①屋内試験

太陽光線の差し込まない実験室内で、5m の離隔距離を以て設置したテーブル・フード内で発生させた微小火炎を撮像した。図5に近赤外画像（左端：766nm、中央：930nm、右端：両画像の差分）を、図6には紫外画像、図7には遠赤外画像を示す。ノイズなどの影響により確認し難いが、火炎長2cm程度の微小な水素火炎から発せられる紫外光と近赤外光、遠赤外光の発光が撮像画像として捉えられている。当該試験では、可視画像を除く4画像（紫外画像、近赤外画像×2、遠赤外画像）を以て4チャンネルに供した。



図5 近赤外画像（左端：766nm、中央：930nm、右端：両画像の差分）



図6 紫外画像

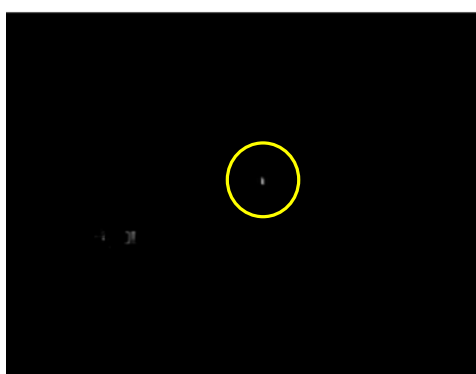


図7 遠赤外画像



## ②屋外試験

西陽の遮られた建物の陰で、屋内試験と同様、5mの離隔位置で発生させた約2cmの微小な水素火炎の発光を、光学フィルターを介してCCDカメラで撮像した(図8)。画像処理システムのチャンネル数の制約により、当該試験では、異なる2波長(766nm、930nm)の近赤外画像の差分領域と紫外画像領域を同時に満たす領域を水素火炎領域と判定して可視画像に重ね合わせて可視化するほか、異なる2波長(766nm、930nm)の近赤外画像の差分領域と遠赤外画像領域、紫外画像領域の3つの領域を同時に満たす部分を水素火炎領域と判定し、可視画像に重ね合わせて可視化した(図9)。

図10に近赤外画像(左端:766nm、中央:930nm、右端:両画像の差分)、図11に紫外画像を示す。図12は、図9の処理フローに基づき近赤外画像の差分画像領域と紫外画像領域の両領域を満たす領域を水素火炎領域と判定し、当該領域を可視画像に重ね合わせたものであり、5m遠方の2cm程度の微小水素火炎を可視化することが出来ることを確認した。



図8 機能検証屋外試験

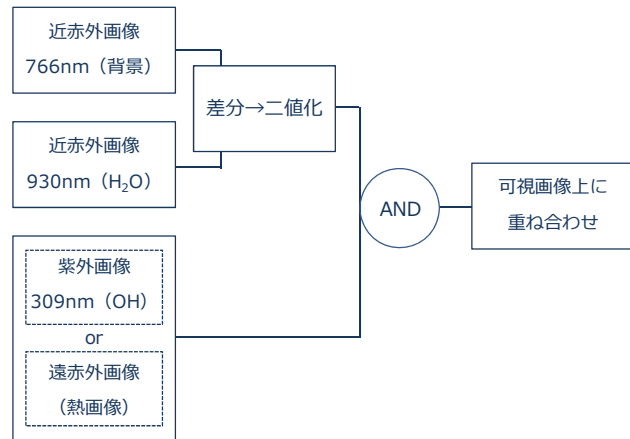


図9 画像処理フロー

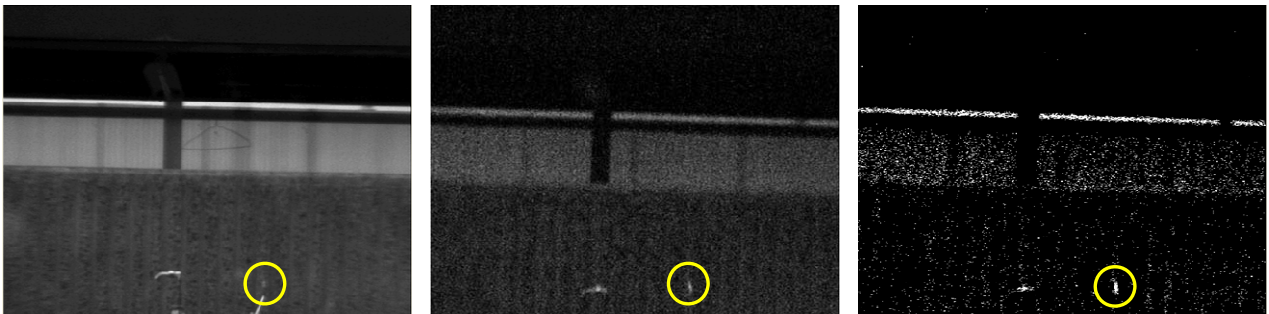


図10 近赤外画像(左端:766nm、中央:930nm、右端:両画像の差分)

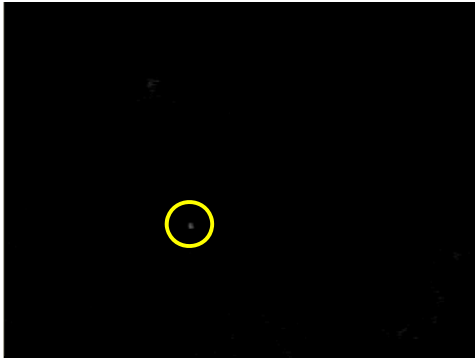


図 11 紫外画像



図 12 合成画像

一方、近赤外分光により、1300nm を超える波長帯域に強い発光が存在することが確認された (図 13)。この波長帯域の発光スペクトル強度は、これまで検討していた 900nm 近傍の近赤外線のものに比べると数倍も強いことに加えて、太陽光のスペクトル強度が弱いため、適切な波長を選別することにより撮像時の外乱要因、ひいては誤検知の要因となり得る太陽光の影響を排除することができると考えられる。そこで、950~1700nm の分光感度特性を有する近赤外カメラで 5m 遠方の火炎長約 2cm の水素火炎を撮像した (図 14)。この撮像結果により、適切なバンドパスフィルターを使用することにより、短波長域の近赤外画像のような水素火炎画像と背景画像との差分処理が不要であることが示唆された。この知見は、水素火炎可視化装置の小型化や、携帯型水素火炎可視化装置のシステム構成に反映させることができる。

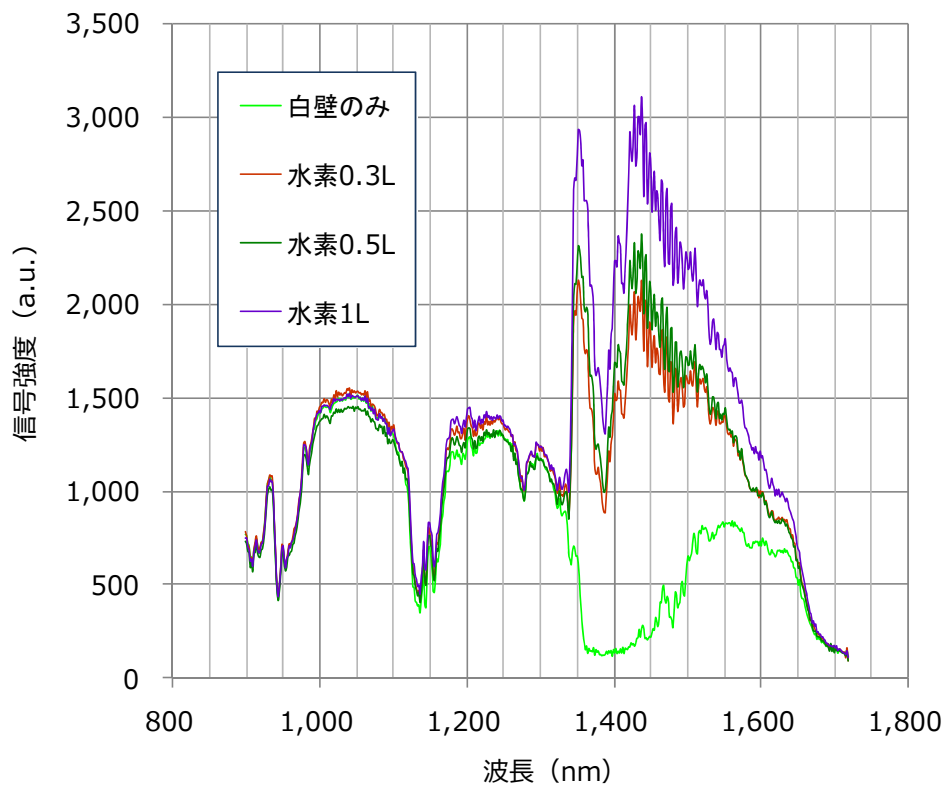


図 13 水素火炎の発光スペクトル

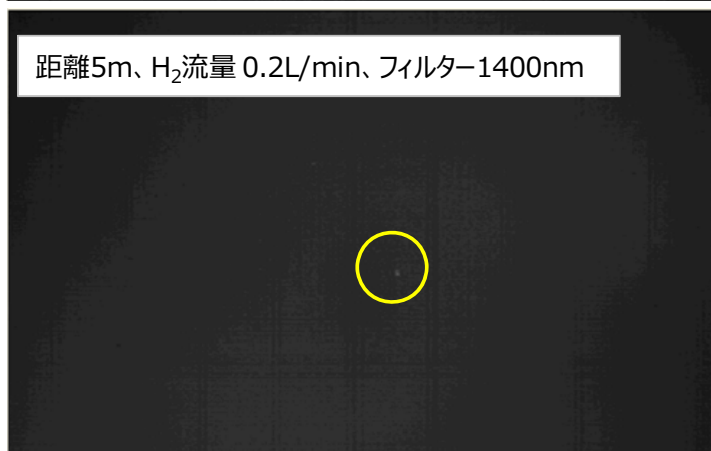
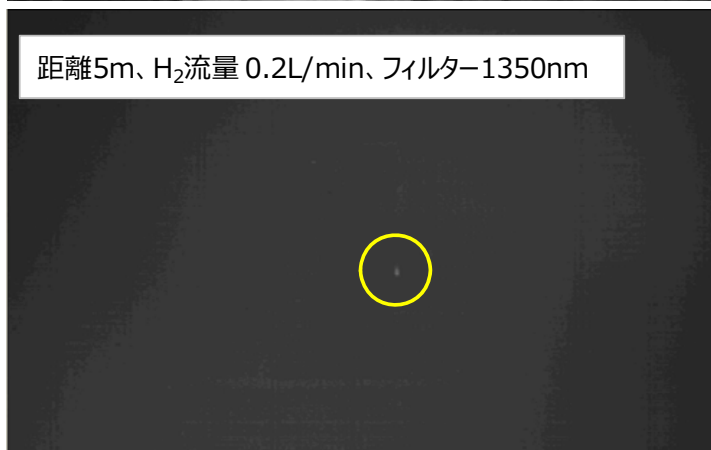


図 14 水素火炎の近赤外画像

に、水素火炎可視化機能を有機的に統合させることにより、高度な水素ステーション監視システムを提供することができる。水素火炎の可視化が、水素火炎から発せられる紫外線と近赤外線、遠赤外線を画像として捉えることにより実現していることに鑑み、これらの撮像画像の何れかを監視用途に適用することが合理的であると考え、模擬実験を実施して遠赤外画像と近赤外画像の監視用途としての適否を検討・評価した。

### ①遠赤外画像の適否

水素ステーション内への人や各種車両の進入を想定し、ビデオ解析装置と遠赤外線カメラを用いて侵入検知の可否に係る模擬実験を行った。その結果、昼間は路面と人物・車両の輝度差（温度差）が小さく背景と侵入物の見分けが困難である一方、夜間は、路面と人物・車両の輝度差も大きく検知が可能であった。つまり、画像に温度差が出ない事象では、意図的に温度差が出る工夫が必要であることが明らかとなった（図 15）。

### ②近赤外画像の適否

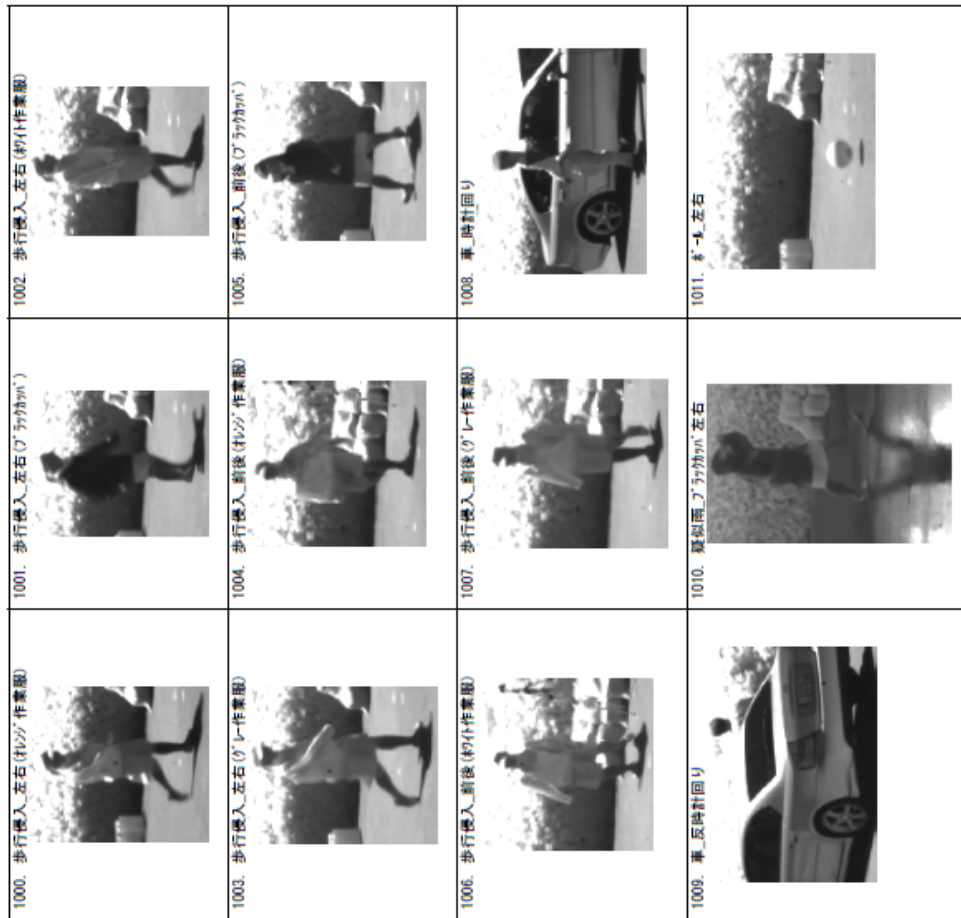
近赤外カメラ（撮像素子：InGaAs、分光感度範囲が1～1.7 $\mu$ m）の撮像画像が侵入監視用途として利用可能か否かを評価するため、先の遠赤外画像の適否検討と同様の模擬試験を行った。ボールを用いた試験（小動物を模擬した試験）でも、サイズ規格条件が有効で検知除外することが出来るなど、昼間の事象試験では全てのケースで安定した侵入検知を確認した。一方、夜間試験では、「歩行者（前後）ブラック雨合羽」の事象以外は安定した侵入検知が可能であった。車のヘッドライトに対しては、今回の試験では誤検知は認められなかったが、ヘッドライトの照射光がカメラ視野に入る場合の誤報の可能性は否定できない。一般的なハロゲン投光器（ハロゲン光波長375～4000nm）は照明として用いることが出来るが、白色LED（波長450～700nm）などの波長帯域の狭い照明は近赤外域に発光がないため、照明として不向きである。また、降雨自体は画像処理に影響するほどの輝度差や大きさはなく、誤報要因にはならないと判断されるが、水溜りへの映り込みによる誤報が懸念される（図 16）。

従って、近赤外画像を用いて夜間の侵入監視を実施する場合には、カメラへの入射光を制御するためのレンズの絞り調整操作が必要であること、ならびに監視エリアをハロゲン光や白熱光などを照射する必要があることが明らかとなった。

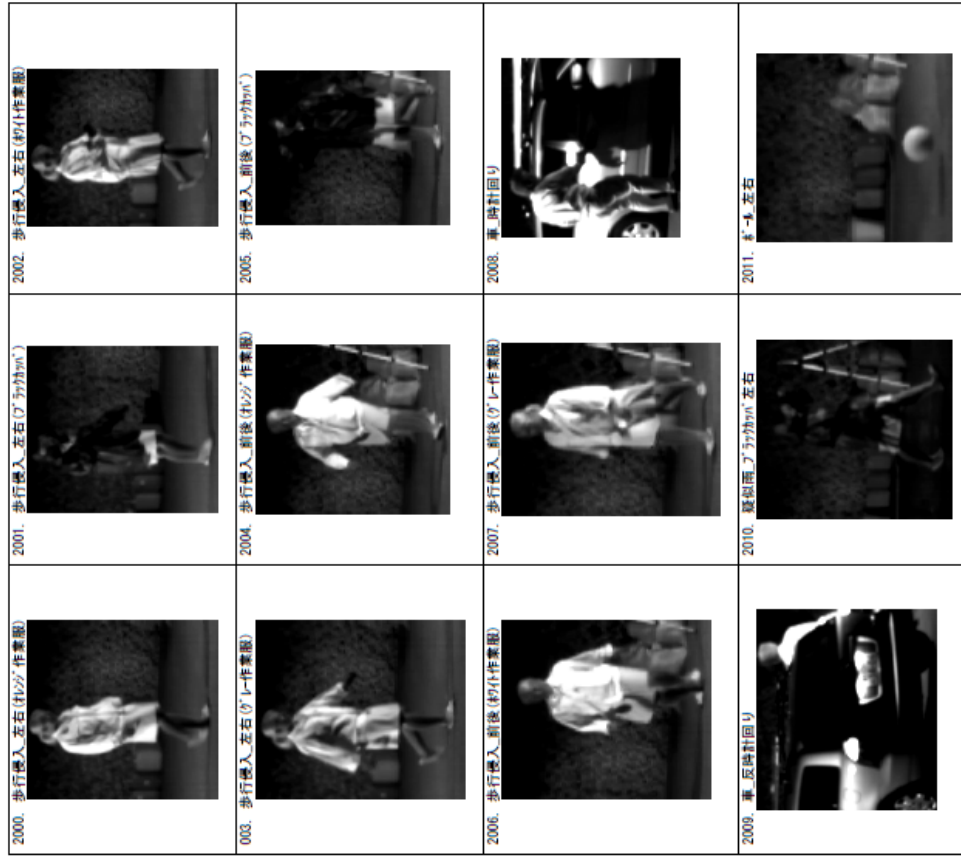
以上、遠赤外画像と近赤外画像の適用性について検討・評価した結果、侵入監視用途には遠赤外画像を用いることが適切かつ妥当であるとの結論を得た。



図 15 侵入監視模擬実験結果（遠赤外面像）



(a) 昼間



(b) 夜間

図 16 侵入監視模擬実験結果 (近赤外面像)



#### (4) 防爆構造の開発

現行の高圧ガス保安法では、圧縮水素ステーションのディスプレイ周囲及び蓄圧器には、水素火災が発する紫外線を検知する方法により、常時、水素火災の発生を監視することが義務付けられている。一方、可燃性ガスまたは引火性物質の蒸気が爆発の危険のある濃度に達する恐れのある場所で使用する電気機器類は、それらのガスや蒸気の種類と危険のある濃度に達する恐れに応じた防爆性能を有する防爆構造電気器具でなければならない。一般高圧ガス保安規則の「高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規）」では、防爆指針などに基づく防爆上の非危険場所に分類される場所に設置する電気機器類は、たとえ防爆構造を有していなくとも「火気を取り扱う施設」には該当しないが、水素ステーション設備に係る危険場所の設定基準が整備されていないことから、ディスプレイ周囲 8m（火気離隔距離）の範囲内は危険箇所と考えるべきであり、その範囲内に設置する電気機器類には防爆構造が要求される。蓄圧器周囲に設置する電気機器類に対しても同様である。ディスプレイ周囲及び蓄圧器周囲は、危険個所の分類上で「ゾーン2」に該当し、当該設備の周囲に設置する電気機器類は防爆措置の講じられた容器に格納しなければならない。防爆構造容器の設計・製作は、厚生労働省告示の「電気機器防爆構造規格」や厚生労働省労働基準局通達の「技術的基準」に準拠すればよく、設計・製作要領がある程度まで標準化されているなど、技術的難易度は低く、本事業で開発すべき要素も少ない。そこで、格納容器の防爆構造化の代替策として、「非防爆区域から監視する方式」と「画像伝送方式」を比較・検討した（表2）。その結果、水素ステーション用途以外にも幾つかの適用先が考えられることや、配管やバルブ・計器などが煩雑に入り混じった狭隘部の監視用途にも適していることなどの観点から、本事業の防爆対策として画像伝送方式を採用することとした。

##### ※非防爆区域から監視する方式

非防爆区域に望遠レンズを組み込んだ水素火災可視化装置を設置し、当該望遠レンズを介して火災検知を行う方法

##### ※画像伝送方式

光ファイバを伝送路として用いて、防爆区域の画像を非防爆区域に伝送する方法

表2 防爆対応策の比較

	防爆容器化 (耐圧防爆容器内への格納)	非防爆区域からの監視 (望遠レンズの利用)	画像伝送 (画像を非防爆区域に伝送)
特徴	監視対象（設置場所）に制約なし	ディスプレイ周囲用途には適するも蓄圧器周囲など狭隘部用途には不適	設置場所（監視対象）に制約なし
課題	1. 実用的容器の製作までに多額の費用を要する 2. 防爆容器の窓材（特に遠赤外光向け材料）の強度確保 3. カメラヘッド部の放熱処理	1. 光量減少による検知感度の低下 2. 監視領域の狭小化 3. 監視の邪魔となる要因増加 4. 蓄圧器周囲用途は防爆容器化	1. 撮像画像の鮮明度が光ファイバー画素数に依存 2. 光ファイバーの選定 3. 伝送損失
評価	・技術的難易度が低い ・狭隘部の監視用途には不適	・技術的難易度は中程度 ・狭隘部の監視は難しい	・技術難易度が高い ・狭隘部の監視用途に最適



図 17 に画像伝送方式のイメージを示す。

遠赤外光の導光が可能な適切な光ファイバを見出すことが出来なかったため、遠赤外線の撮像は、従来の遠赤外カメラを使用することを前提としている。この遠赤外カメラが非防爆仕様であるならば防爆区域外に設置しなければならないが、防爆構造となっているならば、特段、設置場所にこだわる必要はない。

水素火炎から発する紫外線と近赤外線、背景となる可視光線の三波長に分光すれば、各々の発光を専用のカメラで撮像することが出来る。この波長分光の手法は、画像伝送方式に対しては特に有効であり、本事業では可視光線と近赤外線の二波長分光手法を適用する。

一方、水素火炎の中心から発せられる OH ラジカル発光（紫外線）は、光ファイバで導光して紫外センサを動作させる。更に、侵入監視のために撮像した遠赤外画像の信号を分岐し、紫外センサの動作信号との AND 条件を満たした場合、すなわち、紫外線と遠赤外線の両方を検知した場合にのみ水素火炎可視画像データの保存を開始することにより、火炎検知精度を高めている。

図 18 に画像伝送方式の処理フローを示す。

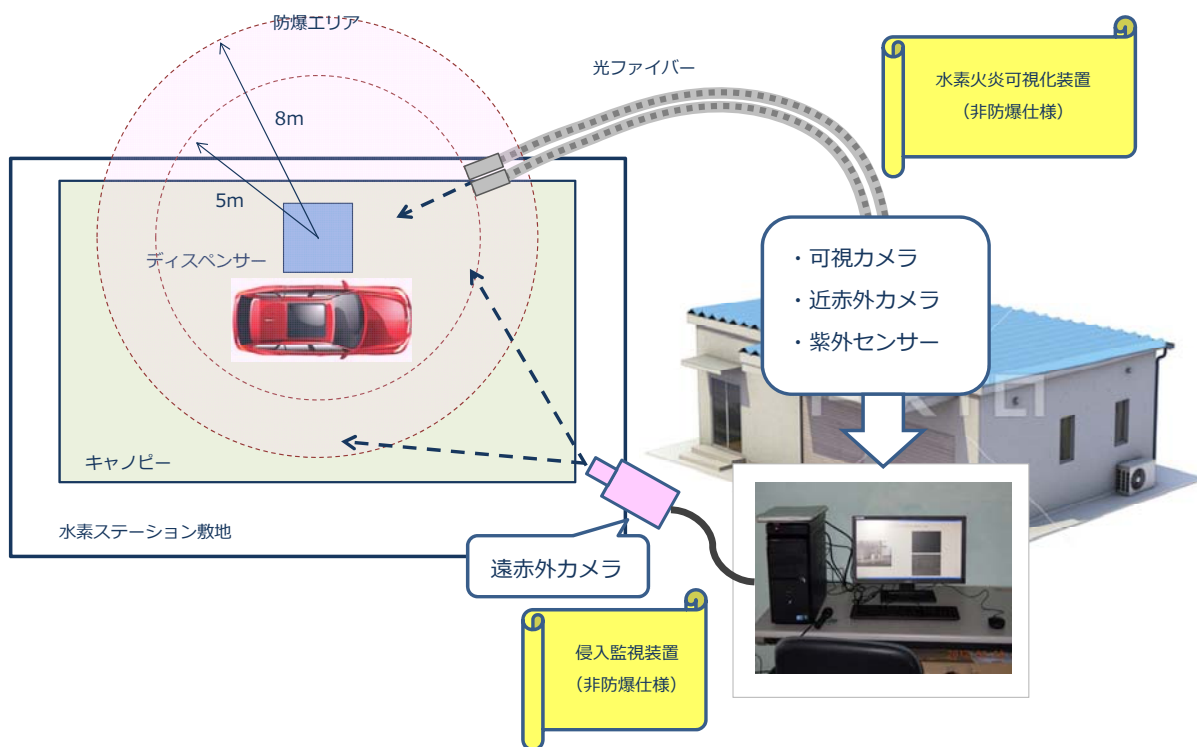


図 17 画像伝送方式のイメージ

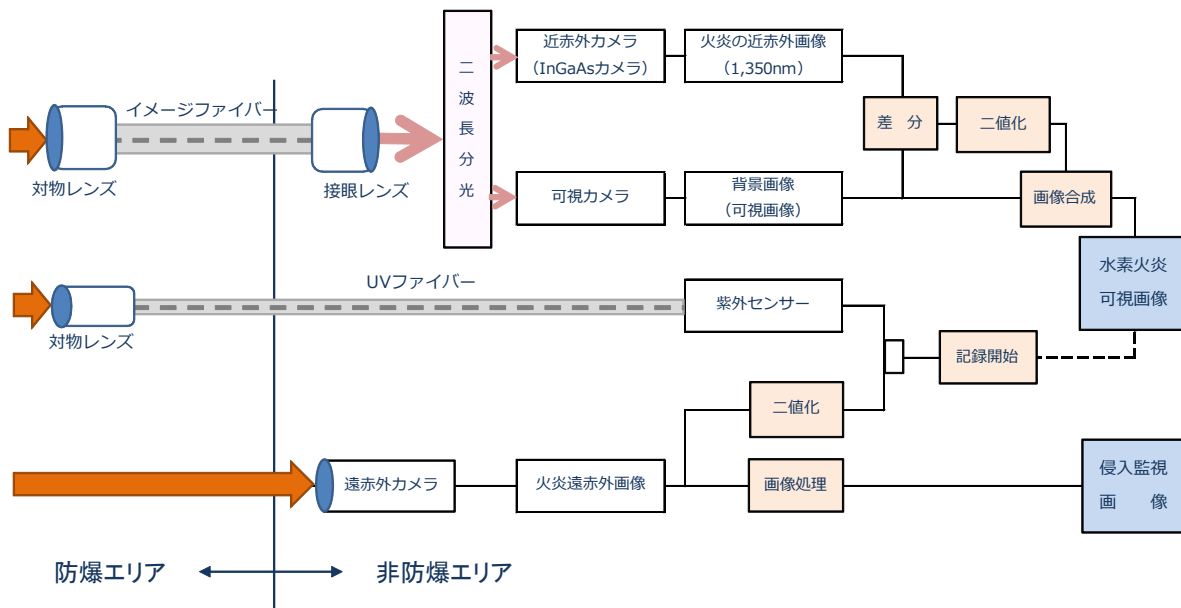


図 18 画像伝送方式の処理フロー

### 3.2 成果の意義

水素は、ガス漏洩した場合は勿論のこと、着火した場合でも殆ど肉眼では視認することができない特異性を有しているため、水素を扱う現場にはガス検知器や火炎検知器が設置されている。しかし、当該火炎検知器は、火炎の有無のみを判定して警報発報する機能を有するに過ぎず、水素火炎が発生した場合でも、着火位置の特定や火炎挙動の把握、着火原因の究明などに資することはない。このため、着火位置の特定は、座敷簀を身体の前に翳した巡視員の現地パトロール作業などに委ねられている。しかも、太陽光の反射や溶接火花などにも反応するため、警報発報が水素火炎に依るものなのか、それとも他の要因、つまり誤検知に依るものなのかを識別することができない。このような状況を鑑みれば、普及に向けての環境が整いつつある水素ステーションの社会受容性を高める観点から、安全・迅速・確実に水素火炎を捉え、迅速に安全確保に資する保安技術や保安装置の意義は極めて大きい。

本事業者は、平成 13 年以降、水素関連の要素技術の開発に取り組み、平成 16～17 年には、国の補助事業として水素火炎可視化に係る基本技術を開発し、火炎の発する紫外線や近赤外線、遠赤外線を画像として捉え、これらの画像を火炎の背景画像上に合成してモニター装置に表示する幾つかの水素火炎可視化技術の特許化している。水素火炎可視化技術には、紫外線と遠赤外線、或いは近赤外線と遠赤外線が同時に放射されている領域を火炎として判別するものと、火炎の発する波長を含む近赤外画像と火炎の波長を含まない、或いは火炎発光が極微量な波長域の近赤外画像を取得し、輝度の差分処理によって火炎を明瞭に映像化して、差分処理した火炎領域画像と遠赤外画像の重なる領域を火炎と判別した上で紫外線を検知した場合に火炎発生と判断する技術がある。これらの技術は、紫外線や近赤外線、遠赤外線の放射エリアと発光強度、および持続時間をパラメータとする。

本事業成果のうち、長波長域の近赤外画像と可視画像を重ね合わせて可視化する技術は、既に権利化している基本特許を補完する発明と位置付けて特許出願した。当該発明により、太陽光の

影響排除による誤検知の低減のみならず、一般的な近赤外光照射器を具備する従来型侵入監視装置との共存を可能とする。つまり、本事業で開発する侵入監視システムは、水素火炎可視化装置と近赤外光照射器付侵入監視装置（市販品）とを併存させた実施態様であることを勘案すれば、今後の事業化の支障となることはない。また、単眼のレンズで集光した入射光を波長分光して近赤外線と可視光線とを撮像するため、火炎画像と背景画像のズレを防止することができる。しかも、遠赤外カメラを以て遠赤外線検知手段を構成しており、高額な費用を掛けることなく水素火炎可視化機能に侵入監視機能を付加することができる点も意義深い。さらに、伝送路として光ファイバを用いることにより、水素火炎可視化装置の電気機器部品類を集光部分と切り離して非防爆区域に設置することを可能としている点は、これまでのように装置全体を重厚構造の容器に格納する必要がなく、コスト削減に対しても大きく貢献する成果である。

### 3.3 成果の最終目標の達成可能性

本事業で新たに見出した、または考案した技術や知見に対しては、都度、直営で実験を実施し、その妥当性を検証・評価している。一方、本事業者による調達が難しい高額製品などの場合には、デモ品やサンプル品を用いた実験によって妥当性を評価した。本事業では、画像伝送に用いるイメージファイバが「事業者による調達が難しい高額製品」に該当する。今年度当初に計画していたイメージファイバの入手が不可能となったため、特定波長域の近赤外線を60%以上の透過率を以て導光し得る光ファイバ素線を調達し、まずは、近赤外線の撮像の可否を検証する予定である。当該光ファイバメーカから、当該素線のバンドル化は可能であり、イメージファイバ化についても検討中との回答を得ている。本事業者の要求仕様を満たすイメージファイバを製作することが出来れば、画像伝送方式の妥当性を評価することは可能であり、それを以て本事業の成果の最終目標（侵入・火炎監視装置の製品モデルの試作）を達成することが出来ると考えている。

## 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

### 4.1 まとめ

#### (1) ニーズ調査、目標仕様の設定

水素関連事業者など5か所を調査訪問し、開発目標仕様を顕在化させた。

#### (2) 水素可視化装置の小型高性能化

複数の撮像画像の画角を一致させるための波長分光手法を検討し、二波長分光することにより、5m 遠方の火炎長 2cm の微小水素火炎を可視化画像化出来ることを確認した。当該手法は携帯型火炎可視化装置に適用可能である。

#### (3) 水素火炎検知機能を有する監視システムの開発

模擬実験を行って水素火炎可視化のために取得する複数種類の撮像画像の適否を検討し、監視用途には近赤外画像よりも遠赤外画像が適切との結論を得た。

#### (4) 防爆構造の開発

伝送路として光ファイバを用いて監視対象を含む防爆区域内の画像を非防爆区域内に伝送することによる、電子部品などを用いない、光学部品のみから構成される画像伝送方式を検討した。

### 4.2 課題

本事業者は、事業化に向けた喫緊の課題を「市場環境の醸成」と捉えている。

先般実施したニーズ調査で顕在化した通り、水素火炎検知のニーズは低い。水素ガスの漏洩を高感度に検知することが前提となっていることを勘案しても、当該ニーズ調査の結果から、現在の水素関連事業者にとって水素火炎可視化装置は十分条件ではあるも必要条件ではないことが窺い知れる。従って、事業化を成功させるためには、水素関連事業者に水素火炎を可視化することの意義や必要性を意識させるように環境を整備し、必要性を掻き立てることが重要である。このため、本事業者は、「水素火炎を可視化する方法を以て火炎を検知するための措置」と定義付けられることも必要と考えており、水素関連事業者や関係業界団体に対して、根気強く説明や広報活動など継続する。

一方、水素関連事業者にとって水素火炎可視化装置は十分条件ではあるも必要条件ではない理由の一つが、コスト面での問題と認識される。すなわち、国が設置目標を設定したことに呼応して各地に整備されつつある水素ステーションの設計は、新しい技術を採用しつつも、コスト低減という命題に対処するために、一部、従来技術の適用による標準化が進められている。この中で、全ての水素ステーションに設置されている火炎検知器は、火炎の発する紫外線を検知して警報発報するものである。安価ではあるが、太陽の直射日光はもとより、その反射光や溶接火花に至るまで検知波長域の全ての光に反応するため、誤検知が多いことが先般のニーズ調査でも明らかとなっている。通常、火炎検知器が動作すれば、警報発報とともに水素供給弁が遮断され、予め設定された機器への散水が開始する。水素ステーション設置者は、工事着工に先立って実施する地域住民への説明の席上、火災事故発生時には散水設備の起動を以て安全性が担保されることを謳っているため、散水設備の起動、即、水素ステーションの異常、と地域住民に解され得るため、火炎検知器の誤検知は是非とも避けなければならない。本事業者の提供する製品は、水素火炎の判定要件を多重化することにより、誤検知を生ずることがなく極めて高い信頼性を実現しており、水素インフラの保安全管理面の質的レベルを確実に向上させることが出来る。このため、水素社会に向けた社会ニーズとして絶対的な安全性が求められていることなどの観点から、市場獲得は可能である。

#### 4. 3 事業化までのシナリオ

本事業では、プロジェクト期間中に実用化に必要と考えられる基本技術の開発を終える。プロジェクト終了後の2～3年間を目途に、実サイトでの実証運用や展示会への出典、研究・論文発表などによる市場認知向上に努めると共に、サンプル出荷により市場の声（反響）を製品改良に反映させる。

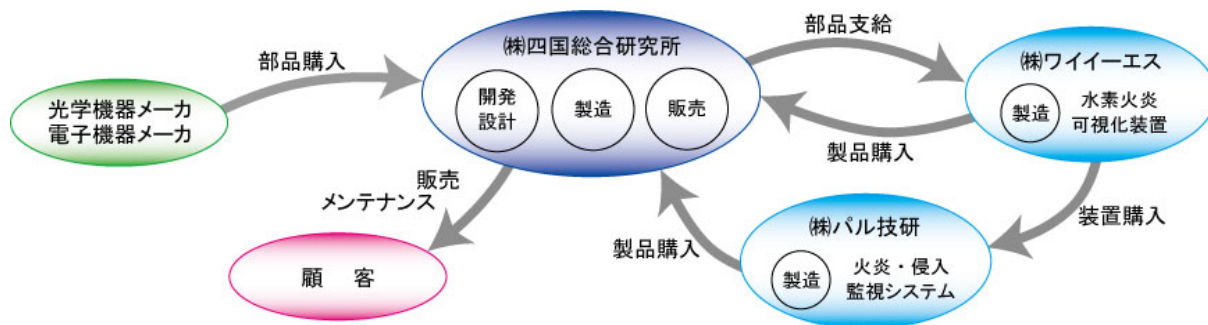
本事業者は、これまでに自社開発技術を商品化・事業化した実績を有しており、事業化に必要な社内体制が整備されていることに加えて、エネルギー供給事業者や水素インフラ関連事業者との間に広範なネットワークを有している。当該ネットワークを活かすことにより、比較的容易に実証サイトやサンプル出荷先などを選定し得る可能性を有している。

一方、研究開発を生業とする本事業者は、事業の成果を知財という形態で権利化することを基本としており、本事業に於いてもこの基本路線を踏襲する。また、本事業者は自らが製品製造を行う組織上の機能を有していないため、市場投入初期のサンプル出荷や受注生産では製造委託をするも、本格的な製造・販売の段階に至れば、メーカーなど他事業者知財の実施を許諾することで事業を拡大させる予定である。このためには、知財を実施する製造・販売パートナーの存在が重要であり、本事業成果と関連のある企業に向けた情報発信や情報提供・情報共有などを積

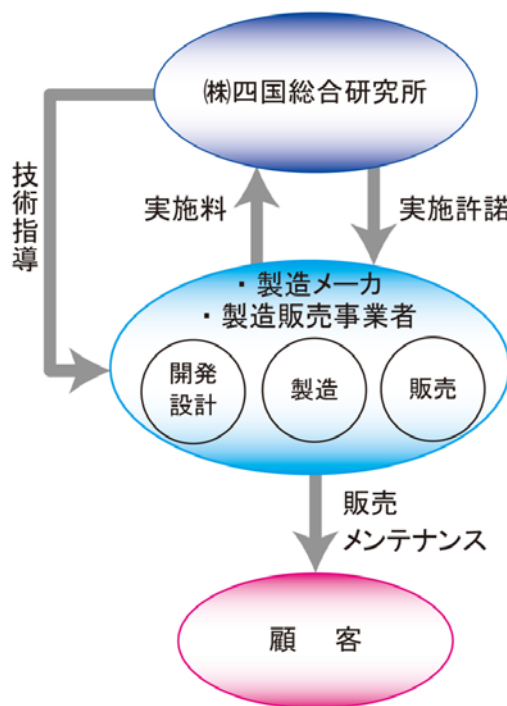
極的に推進する。また、これまで技術指導や技術協力を行ってきた企業とは、引き続いて一層の技術交流を深め、本事業者の保有する知財の実施にアドバンテージを与えるなどにより、低コスト製品の早期市場投入を共通目標として取り組む。現在、製品の委託製造を予定している事業者は、従来仕様の携帯型水素火炎可視化装置製造に対して、電子部品の最適仕様の決定や入手ルートの確立、安価な筐体設計など、低コスト化実現のための技術や知見を習得しており、これらの技術・知見が、早期に市場に受け入れて貰える価格での製品提供の一助となる。

①事業化のスキーム

【 受注生産の場合 】



【 本格生産の場合 】



## ②事業化のスケジュール

	～H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度	H34年度
製品設計	→						
設備投資			→				
生産		◆ サンプル出荷開始 (※ 量産ライン導入検討・・・年間生産台数50台を超えた時点)					
販売		→					
収益発生				→			
備考			◆ 事業終了			◆ 事業の継続・中断・移管を判断	

## ③国内マーケットと売上目標



年度		H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度	H34年度
製品①	新設水素ステーション (件) ※1	72	85	92	100	110	120
	市場規模 (百万円) ※2	576	680	736	800	880	960
	想定シェア (%)	0.0	0.0	2.0	5.0	15.0	30.0
	売上額 (百万円) ※2	0	0	15	40	132	288
製品②	消防本部・消防署 (個所)	2,500					
	市場規模 (百万円) ※3	10,000					
	想定シェア (%)	0.0	0.0	0.4	0.8	1.5	2.0
	売上額 (百万円) ※3	0	0	40	80	150	200
<b>売上予想 (百万円)</b>		0	0	55	120	282	488

※1 2012年度版水素燃料関連市場の将来展望(株)富士経済をベースに推定

※2 火炎・侵入監視システム

ディスペンサー監視用：500万円/台、蓄圧器室監視用：300万円/台として算出  
イメージファイバ費用は含まない。

※3 高性能ポータブル水素火炎可視化装置400万円/台として算出

## 5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

該当なし

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
(特許)	H27.8 末を予定	—	水素火炎監視装置および水素利用設備 (仮称)	—

以上

**(IV-①) 「水素利用技術研究開発事業／CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究／海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」**

委託先：株テクノバ

**●成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成29年度終了(または予定))**

- ・IEA/HIA(水素実施協定)、IEA/AFCIA(先端燃料電池実施協定)、IPHE(水素燃料電池国際パートナーシップ)の情報収集・分析・展開を実施した。
- ・またこれらの会議や、IEA水素ロードマップワークショップの会議ホストを通じて、我が国の情報発信に寄与した。
- ・NEDO水素エネルギー白書をドラフトした。
- ・本事業は、事業期間を通じて、継続して実施していくことが重要である。引き続き、NEDOおよび関係機関との連携を通じて、情報収集・分析・提供を行っていく。

**●背景/研究内容・目的**

CO2フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO2フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進めることが重要である。そのため海外の状況のタイムリーな把握と、その情報展開、我が国からの情報発信を実施する。

- A IEA/HIAの動向の調査・検討・普及
- B IEA/AFCIAの動向の調査・検討・普及
- C IPHEの動向の調査・検討・普及
- D 国際動向調査と情報ネットワークの運営
- E 我が国からの世界への発信

**●研究目標**

実施項目	目標
A	IEA/HIAの各作業部会、執行委員会の情報入手・分析し、関係者に提供する。
B	IEA/AFCIAの各作業部会、執行委員会の情報入手・分析し、関係者に提供する。
C	IPHEの本会議(運営委員会)やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報入手・分析し、関係者に提供する。
D	各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。水素エネルギー白書を作成する。
E	各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する。またIEA水素ロードマップワークショップの会議開催・運営を行う。

**●実施体制及び分担等**

NEDO	(株)テクノバ
------	---------

**●これまでの実施内容／研究成果**

- A IEA/HIAの動向の調査・検討・普及  
Annex 29(分散コミュニケーション用水素システム)、Annex 30(グローバル水素システムの分析)、Annex 31(水素安全)、Annex 32(水素ベースのエネルギー貯蔵)、Annex 33(ローカルH2供給)、Annex 34(光生物学的水素製造)の情報を得て、展開した。
- B IEA/AFCIAの動向の調査・検討・普及  
Annex 22(PEFC)、Annex 24(SOFC)、Annex 25(定置用FC)の情報を得て、展開した。
- C IPHEの動向の調査・検討・普及  
第19～22回の運営会議の情報を得て、展開した。
- D 国際動向調査と情報ネットワークの運営  
国際情報共有ネットワークを構築し、A、Bの情報を展開した。また水素エネルギー白書のドラフトを作成した。
- E 我が国からの世界への発信  
IEA/先端燃料電池実施協定Annex24(SOFC)、IPHE第20回運営委員会、IEA/先端燃料電池実施協定Annex22(PEFC)、IEA水素ロードマップアジアワークショップをホストするなどして、我が国の情報を世界に発信した。

**●今後の課題**

海外の状況のタイムリーな把握と、その議歩展開、さらに我が国からの情報発信という目的のために、NEDOと協力して、IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHEといった会議の情報を収集し、展開した。また主要な会議をホストし、その運営を通じて、我が国の関係者に情報を展開した。また我が国の技術の国際展開のために、国際連携の可能性を検討した。これらの活動を通じて、我が国の水素・燃料電池分野のR&Dの促進に寄与した。

**●実用化・事業化の見通し**

本事業は調査および情報展開であり、実用化は行わない。ただしNEDOプロ関係者への情報展開を通じて、実用化に寄与していく。

実施項目	成果内容	自己評価
A	各分科会の情報入手と展開	△
B	各分科会の情報入手と展開	△
C	IPHE運営委員会の対応(平成25年度2回、平成26年度2回)	○
D	国際情報共有ネットワークの構築、水素エネルギー白書の作成	△
E	第20回IIIPHE運営会議やIEA水素ロードマップワークショップの運営	○

**●研究成果まとめ**

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0



## 課題番号：IV-①

CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

### 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

#### 1. 研究開発概要

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO2フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進めることが重要である。そのため、海外の状況のタイムリーな把握と、その譲歩展開、さらに我が国からの情報発信がますます重要になってきている。この目的のために特に、以下のことを実施する。

- ・ IEAの水素実施協定と先端燃料電池実施協定、IPHEの活動等を通じ、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、収集した情報を発信する。
- ・ 重要な国際会議体等について、参加するだけに留まらずその活動を日本が主体的にリードする。

#### 2. 研究開発目標

##### 2. 1 IEA/HIAの動向の調査・検討・普及

本事業では、IEA/HIAの各作業部会に専門家を派遣し、総合的に水素分野の研究開発・分析活動を協同して行い、その動向を調査・検討する。また執行委員会(ExCo)に専門家を派遣し、情報を入手する。さらに入手・分析した情報を関係者に提供し、我が国の水素燃料電池関連事業の技術開発に資する。

上記を円滑に行うために、国内において水素実施協定対応委員会を組織し、専門家や関係者間で情報交換を行うとともに、その対応を検討する。

またこれらの作業部会のうちでも、そのテーマが担当する専門家だけでは対応が難しい場合や、NEDOおよび他の企業や研究機関にも関わりがある場合、また国際的に戦略的な情報発信が必要な場合は、その作業部会に出席する専門家や関係者とともに「サポートチーム」を設置し、必要に応じて追加的な調査・分析なども実施する。このHIAに関しては、作業部会が多いことから、全体コーディネーター役も設置する。

##### 2. 2 IEA/AFCIAの動向の調査・検討・普及

本事業では、IEA/AFCIAの各作業部会に専門家を派遣し、総合的に水素分野の研究開発・分析活動を協同して行い、その動向を調査・検討する。また執行委員会(ExCo)の情報を入手する。さらに入手・分析した情報を関係者に提供し、我が国の水素燃料電池関連事業の技術開発に資する。

上記を円滑に行うために、国内において先端燃料電池実施協定対応委員会を組織し、専門家や関係者間で情報交換を行うとともに、その対応を検討する。

##### 2. 3 IPHEの動向の調査・検討・普及

本事業では、IPHEの本会議(運営委員会)やその傘下のワーキンググループ、各種ワークショップ、さらにIPHE関連イベント等に参加し、最新動向、活動内容を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また関係

者に情報を連絡・普及する。また IPHE に関係する委員会・会合・ワークショップなどの国内開催を支援し、そこで得られた情報を関係者に発信する。さらに 2013 年からは日本が議長国になることが決まっており、そのための支援や、日本としての情報発信、国際世論のリードも必要となると考えられる。

NEDO および我が国の燃料電池・水素関係者ととともに、国際連携・対策を行う委員会を設置し、随時意見交換を行う。

また、平成 25 年秋の IPHE 運営会議の日本開催が決定した一方で、IPHE 運営事務局設立が延期されたため、関係省庁と連携の上で IPHE 運営会議の議事支援を円滑に実施する。

## 2. 4 国際動向調査と情報ネットワークの運営

IPHE、HIA、AFCIA メンバー国の発言、プレゼンテーション、各種会議およびその他の情報から、参加メンバー国や、その主要関連研究機関の政策・動向を把握し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。

また必要に応じて、燃料電池・水素分野の国際会議に出席あるいは国際動向調査専門員を派遣し、その情報を収集し、情報の分析を行う。

また情報のタイムリーな発信を目指して、NEDO、NEDO プロ関係者、そのほかの我が国の関係者を対象とする国際情報共有ネットワークを組織し、随時情報を発信する。

また本委託事業にて調査した国際動向調査を活用し、水素白書を作成する。

## 2. 5 我が国からの世界への発信

我が国の技術情報や政策情報を関係者との合意のもとでとりまとめ、上記①～③の機会を活用して情報発信を行い、我が国の政策・技術を PR するとともに、我が国の海外展開を支援する。我が国の技術情報や政策情報を関係者との合意のもとでとりまとめ、上記の①～③の機会を活用して情報発信し、我が国の政策・技術を PR するとともに、我が国の海外展開を支援する。

さらに燃料電池水素分野で、重要と思われる国際会議体等については、単に参加して情報を入手するだけに留まらず、その活動を日本が主体的にリードするため、日本における会議体の運営等も実施する。このような運営（ホスト）を通じて、日本の情報を有効に発信するとともに、我が国関係者が直接海外情報に触れる機会を提供し、また世界からの参加者に日本の R&D や製品技術を紹介することで、日本からの技術発信および日本企業の海外展開を側面から支援する。

またこの一環として、日本で開催することが決定した IEA 水素ロードマップワークショップの会議開催準備及び運営を主体的に実施し、我が国の意見や技術の適切な情報発信と PR を行う。

## 3. 研究開発成果

### 3. 1 研究開発成果、達成度

#### (1) IEA/HIA の動向の調査・検討・普及

IEA/HIA の動向の調査・検討・普及に関して、表 1 に示す成果（情報）を得た。

表1 IEA/HIA の動向の調査・検討・普及における成果

作業部会	成果
Annex 29 (分散コミュニティ用水素システム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 日本が幹事を務めた Subtask3 で、6 プロジェクトについてモデル解析が3つ完了した (2014 年末にて Annex 29 終了)。</li> <li>- SWOT (Strength, Weakness, Opportunity &amp; Threat)解析、モデル開発におけるデータ収集を通して、日本以外のプロジェクトにおける基礎情報及びコスト、運転実績などの情報に直接触れる機会を得た。</li> </ul>
Annex 30 (グローバル水素システムの分析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 全世界的な水素源と流通の描像により、日本の長期にわたる水素製造、調達戦略策定に役立つ。</li> <li>- IEA 「World Energy Outlook(WEO)」と「Energy Technology Perspective (ETP)」を通じ、世界の長期エネルギー需給シナリオにおいて水素を明確なオプションとして位置づけることができ、各国の水素・FCV導入目標や具体的なプロジェクトに関する最新情報を得た。</li> </ul>
Annex 31 (水素安全)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- リスク管理手法、水素安全に関するテスト、情報管理 (水素安全に関する情報共有) を実施。これらは水素利用の本格的市場展開過程における安全に関する基準・規格の整備に有効に利用されることが期待できる。</li> <li>- 水素利用に関する試験手法、水素システムの部品またはシステム故障が及ぼす影響など知識の収集・分析とこれらの情報の発信が役立つ。</li> <li>- Annex 31 は 2013 年末にて終了され、サブタスクとして「材料-水素脆性」が加えられ、後継として Annex 37 が承認された。</li> </ul>
Annex 32 (水素ベースのエネルギー貯蔵)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 定置式、移動体、可搬式への応用及び電気化学的エネルギー貯蔵などの水素ベースのエネルギー貯蔵の為の材料とシステムの開発が主目的で、各国からのR&amp;D状況の情報を収集・交換した。</li> <li>- Annex 32 は 2015 年 2 月にて終了予定なるも、3 年間の延長の予定。</li> </ul>
Annex 33 (ローカル H 供給)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 各国 (米、仏、独、日) における水素インフラ (ステーション) 現況と計画に関する情報を得た。</li> <li>- オンサイト水素ステーションにおける範例的コストと大型水素ステーションのコストダウンのプレゼン (独) の情報等を収集した。</li> </ul>
Annex 34 (光生物学的な水素製造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 日本・中国・台湾など北東南アジアのバイオ水素研究をコーディネートする Asia Bio Hylinks 2014 が 12 月、マレーシアにて開催され、当該研究分野への研究者が、研究面で躍進しているが著しい東南アジアの研究者からの情報収集及び各国の水素社会への取り組みについての啓蒙を試みると共に、我国のプレゼンスを高めた。</li> <li>- ブラジル (日本発の技術をブラジルのバイオマスをを用いて実証中) では、バイオエタノール蒸留廃液や生ごみを用いた数千 M3 規模の H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> 二段発酵技術を中心としたバイオ水素タウン構想を政府機関・自治体が構想中で 2014 年夏に視察団が訪日して意見交換を行った。</li> </ul>

## (2) IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及

IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及に関して、表2に示す成果（情報）を得た。

表2 IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及における成果

作業部会	成果
Annex 22 (PEFC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PEFC の電極、触媒、膜等に関する最新情報の入手。</li> <li>- 2013 年 12 月会合のホストによる情報収集と展開（FC Cubic と連携）。</li> <li>- 他では得られないメキシコなどの PEFC 関連の活動の情報入手。</li> </ul>
Annex 24 (SOFC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SOFC 関連の技術情報の入手。NEDO の SOFC プロジェクトの PL を通じた情報展開を実施。</li> <li>- 2013 年 10 月会合のホストによる情報収集と展開。</li> </ul>
Annex 25 (定置用 FC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 我が国のエネファーム各社が参画し、それらの会社の世界展開を支援。</li> <li>- 各国のマーケットや規制、インセンティブ情報を入手。</li> <li>- PEFC、MCFC、SOFC などの多様なシステムの定置での展開の状況を把握。</li> </ul>

## (3) IPHE の動向の調査・検討・普及

### ① 概要の把握

IPHE (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy、水素経済のための国際パートナーシップ) は 2003 年に設立された、政策面での国際協力組織で、水素経済実現のための政策情報の交換や国際的なコラボレーションを推進するものである (表3)。我が国は設立メンバーである。

表3 IPHE の概要

設立	2003 年
加盟国	日本、アメリカ、イギリス、オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、EC、フランス、ドイツ、アイスランド、インド、イタリア、韓国、ノルウェー、ロシア、南アフリカ、オーストリア (17 カ国・1 地域 (2015 年 7 月現在))

## ② IPHE の成果

IPHE に関わる成果は表 4～表 5 の通りである。

表 4 IPHE に関わる成果（入手情報）①

<p>第 19 回 運営委員会</p>	<p>平成 25 年 5 月 23～24 日 英国ロンドン</p> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2013 年から日本が議長国を担当（任期 2 年）。NEDO 新エネルギー部長 橋本道雄が議長に就任。</li> </ul> <p><b>【主要な議題】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>常設事務局の設立の準備</li> <li>IPHE 枠組文書の改訂作業。</li> <li>オーストリア加盟、ニュージーランド脱退</li> <li>今後の 10 年間の IPHE の取組提案（論文発表、普及促進インセンティブ、Knowledge センターなど）</li> </ul>
<p>第 20 回 運営委員会</p>	<p>平成 25 年 11 月 20～24 日 福岡</p> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>日本での運営委員会の開催は 8 年ぶり。</li> <li>経済産業省、福岡県庁、九州大学をはじめ多数のご協力をいただき開催。</li> </ul> <p><b>【主要な議題】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>常設事務局の設立の準備</li> <li>Power to Gas に関する情報交換を実施</li> <li>IPHE の取組事項を検討             <ul style="list-style-type: none"> <li>教育、人材育成の促進（奨学金など）</li> <li>水素ステーションオペレーションに関わるデータ共有活動</li> <li>IPHE からの情報発信（論文、web など）</li> </ul> </li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<p>第 21 回 運営委員会</p>	<p>平成 26 年 5 月 20～21 日 オスロ</p> <p><b>【主な議題】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ドイツに続き北欧・オーストリア・フランスなどが FCV 普及検討を開始。</li> <li>Power to Gas はドイツやフランスが実証研究に着手。</li> <li>水素ステーション資金援助に関する官民連携（PPP）と PtG の取組に関する議題を設け情報交換。</li> <li>常設事務局の設立の準備。</li> </ul>

表5 IPHEに関わる成果（入手情報）②

<p>第22回 運営委員会</p>	<p>平成26年12月2～③日 ローマ</p> <p><b>【主な議題】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 常設事務局の設立の準備のための覚書締結作業。</li> <li>・ デンマーク、オランダがオブザーバ参加。両国ともCO2排出削減目標達成のため水素・燃料電池技術を重要視。</li> <li>・ オーストリア・フランス、イギリスが具体的な水素ステーション普及計画を策定。</li> </ul>
<p>教育イベント H2igher Educational Rounds</p>	<p>平成25年11月18日 福岡</p> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHEのSCの下に設置されている教育WGが主催する、IPHE参加者（各国政策関係者）と学生等との交流会。九州大学にご協力いただき、学生からの研究紹介や学生とIPHEパネルディスカッションを実施。</li> <li>・ IPHEのSCメンバーから交流会の内容及び水素・燃料電池分野に関わる教育施策両方で相当な好評が得られた。</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<p>ワークショップ Workshop</p>	<p>平成25年11月19日 福岡</p> <p>Workshop on Commercial - ready Hydrogen Refueling Stations - design and social acceptance -</p> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2015年の水素ステーション普及開始に向け、サプライヤーとオーナーのそれぞれの視点から商用開始(Commercial Ready)時の水素ステーションモデルについて報告。 [大陽日酸、岩谷産業、JX エネルギー、Air Liquid、Air Products]</li> <li>・ 普及開始に向けた国、地域の政策面取組みを報告 [日本 (METI)、アメリカ (DOE)、欧州 (EC)]</li> <li>・ 水素の社会受容性に関する取組みを報告 [日本 (HySUT)、アメリカ (CaFCP、DOE)、ドイツ (NOW)]</li> </ul> 

#### (4) 国際動向調査と情報ネットワークの運営

##### ① 国際情報共有ネットワーク

NEDO と協力して、水素・燃料電池分野の関係者のメーリングリストネットワークを構築。登録 150 名。事業① (IEA/HIA)、② (IEA/ACIA) の情報 (分科会) を提供するとともに、以下の情報を展開した。

- ・ 2013 年 DOE メリットレビュー報告
- ・ ドイツの 2023 年への水素インフラ整備計画 (NOW プレスリリースの仮訳)
- ・ 2013 年 11 月 fcell コンファレンス報告
- ・ 2014 年 DOE メリットレビュー報告
- ・ 2014 年 11 月 fcell コンファレンス報告

##### ② 活動報告会の実施

毎年度末に、NEDO プロ実施者や関係者に対して、本事業の活動報告会を実施している。

平成 23 年度：平成 24 年 3 月 19 日

平成 24 年度：平成 24 年 3 月 25 日

##### ③ 水素エネルギー白書の作成

平成 26 年度には、NEDO や関係者からの情報提供をもとに、日本で初めての「水素エネルギー白書」の大半のページのドラフトを行った。「水素エネルギー白書」は PDF 版が 2014 年 7 月に NEDO ホームページにアップされ、また NEDO の校正を経て、冊子版が 2015 年 2 月に発行された (図 1)。



図 1 水素エネルギー白書

#### (5) 我が国からの世界への発信

NEDO と協力して、表 6 に示す国際会議をホストし、我が国の技術や政策を世界に発信した。

表 6 会議のホスト

IEA/先端燃料電池実施協定 Annex24 (SOFC)	平成 25 年 10 月 5 日 那覇 (国際会議 SOFC XIII に合わせて開催) <ul style="list-style-type: none"><li>・ SOFC に関する専門家会議。</li><li>・ 運営に当たっては、NEDO と連携して進めた。</li></ul>
-------------------------------	--



	
<p>IPHE 第20回運営委員会</p>	<p>平成25年11月20～24日、福岡（前述のとおり）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>運営に当たっては、経済産業省、NEDO、福岡県、九大、HyTreC（水素エネルギー製品研究試験センター）と連携して進めた。</li> </ul>
<p>IEA/先端燃料電池実施協定 Annex22（PEFC）</p>	<p>平成25年12月11～12日 東京（お台場）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PEFCに関する専門家会議。1日目はAnnex 会合、2日目はFC-Cubic 見学とFC-Cubic シンポジウムにも参画。</li> <li>運営に当たっては、NEDO とFC-Cubic と連携して進めた。</li> </ul> 
<p>IEA 水素ロードマップ アジアワークショップ</p>	<p>平成26年6月26～27日 山梨県 山中湖</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>IEAの水素ロードマップ作成のためのワークショップの開催。</li> <li>運営に当たっては、NEDO と山梨県と連携して進めた。</li> </ul>

### 3. 2 成果の意義

海外の状況のタイムリーな把握と、その譲歩展開、さらに我が国からの情報発信という目的のために、NEDOと協力して、IEA/HIA、IEA/AFCA、IPHE といった会議の情報を収集し、展開した。また主要な会議をホストし、その運営を通じて、我が国の関係者に情報を展開した。また我が国の技術の国際展開のために、国際連携の可能性を検討した。

これらの活動を通じて、我が国の水素・燃料電池分野のR&Dの促進に寄与した。

### 3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本事業は、事業期間を通じて、継続して実施していくことが重要である。引き続き、NEDO および関係機関と

の連携を通じて、情報収集・分析・提供を行っていく。

#### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業は調査および情報展開であり、実用化は行わない。ただし NEDO プロ関係者への情報展開を通じて、実用化に寄与していく。

#### 5. 研究発表・特許等

##### —研究発表・講演、文献等、その他—

特になし

##### —特許等—

特になし

●成果サマリ（実施期間：平成25年度～平成27年度終了）

- ・ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。
- ・容易ではないものの経済的に成り立つ可能性がある。引き続き詳細な調査を行う。
- ・日本での水素市場を同時に立ちあげていく必要がある。

●背景/研究内容・目的

本調査では、千代田化工建設が開発した有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからのCO2フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにすることを目的とする。

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。

現地の政策・電力事業・再生可能エネルギー賦存量・港湾設備・水電解設備等を調査し、案件を探索し、有望なものについてフィージビリティを試算し、導入例のシナリオを作成し、その実現に向けた課題を抽出した。

●研究目標

実施項目	目標
①エネルギー・環境政策の調査	省庁・政策
②電力事業の調査	概要
③再生エネルギー賦存量の調査	賦存量
④港湾の調査	主要港湾
⑤水電解装置の調査	形式・特徴
⑥案件の絞り込み	候補の選定
⑦フィージビリティの調査	試算
⑧水素利用方法の調査	試算
⑨実証プロジェクトの検討	試算
⑩シナリオ構築と課題抽出	実施

●実施体制及び負担等

NEDO	千代田化工建設株式会社
------	-------------

●これまでの実施内容／研究成果

1. ロシアの一般情勢については、エネルギー事情の概要、エネルギー政策、環境政策等について調査した。ロシアはエネルギー輸出大国である。関係省庁としては天然資源環境省、エネルギー省、極東開発省などがある。2. 電力業界は再編が行われ、発電電の分離、分社化などが行われた。水力発電についてはルスギドロ社が最大手である。3. 広大な国土を背景に再生可能エネルギー賦存量も多い。特に水力発電は膨大な包蔵量を持つ。4. 沿海地方には主要な港湾は約10箇所ある。主要な取扱貨物は港湾により異なり、有機ハイドライドを取り扱うには、石油類を扱える港湾が望ましい。5. 水電解槽は、主な形式であるアルカリ型・固体高分子型について技術分析を行い、大規模プロジェクトや風力とのコンビネーションの事例を調査した。6. これらの調査を受け、極東地区が有望なサイトとして抽出された。7. 極東地区での水素製造について経済性検討を行った。公的補助が必要ではあるが、経済産業省が作成した水素ロードマップに記載された30円/m3程度の価格を実現できる可能性がある。今後の詳細な調査が必要である。8. 水素を日本に輸入して利用するケースとして地域PPSでの水素発電利用可能性について調査を行った。インセンティブ制度の活用・大規模化等により水素発電単価を下げる事が可能であれば、地域PPSの枠組みに水素発電を相当量導入し、水素発電地域PPSを普及促進できる可能性がある。9. 小規模な実証プロジェクトについて検討した。10. 実証プロジェクト・商業プロジェクトを組成するには、さらなる詳細調査が必要である。そのため、RusHydro社とMOUを締結すべく調整中。

●今後の課題

今後の課題として、経済性検討の精度を上げることなどがある。

●実用化・事業化の見通し

極東地区から日本へ水素を供給する場合、公的補助等が必要ではあるが、経済産業省の水素ロードマップに記載された30円/m3を実現できる可能性がある。今後、詳細な検討を継続する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①エネルギー・環境政策の調査	省庁・政策	○
②電力事業の調査	概要	○
③再生エネルギー賦存量の調査	賦存量	○
④港湾の調査	主要港湾	○
⑤水電解装置の調査	形式・特徴	○
⑥案件の絞り込み	極東地区	○
⑦フィージビリティの調査	試算	○
⑧水素利用方法の調査	試算	○
⑨実証プロジェクトの検討	試算	○
⑩シナリオ構築と課題抽出	実施	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
		3	

## 課題番号：IV－②

CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

### 有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査研究

#### 1. 研究開発概要

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。調査の手法は、文献、インターネット等のオープンリソース、および現地訪問を含むヒアリング等によった。

#### 2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（2008年経済産業省策定）では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO2排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

水素利用技術研究開発事業では、水素のCO2フリー化に係るシナリオを構築し、シナリオに沿った研究開発等を進めることで、水素社会の早期構築と、将来の水素のCO2フリー化によるエネルギーセキュリティの向上に資することを目的の一つとしている。

そこで本調査では、千代田化工建設が開発した有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからのCO2フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにすることを目的とする。

調査終了後に、実証プロジェクト・商業プロジェクトを展開するための課題等を抽出し、事業化へのシナリオを作成することを目標とする。

#### 3. 研究開発成果

##### 3. 1 研究開発成果、達成度

###### （1）エネルギー・環境政策の調査

ロシアの一般情勢について、エネルギー事情の概要、エネルギー政策、環境政策等について調査した。2011年の1次エネルギー生産量は約13億石油換算トン、うち約6億石油換算トンが輸出されており、ロシアはエネルギー輸出大国である。代表的な政策に「2030年までのロシアのエネルギー戦略」がある。

エネルギーに関係する省庁としては天然資源環境省、エネルギー省、極東開発省などがある。

目標を達成した。

###### （2）電力事業の調査

電力業界は再編が行われ、発送電の分離、分社化などが行われた。発電部門は卸売発電会社と地域発電会社がある。水力発電については2012年の出力合計は46GWある。卸売発電会社のルスギドロ社が最大手である。ルスギドロ社は電力改革を背景に創設され、ロシアの水力発電の大部分を統合し、所有することとなった。

目標を達成した。

###### （3）再エネ賦存量の調査

広大な国土を背景に再生可能エネルギー賦存量も多い。特にシベリアの8つの河川の包蔵発電量は約87GWと膨大である。再生可能エネルギー全体では、経済的開発可能量として224百万石油換算トン／年、技術的開発可能量として17,000百万石油換算トン／年程度がある。

目標を達成した。

#### (4) 港湾の調査

沿海地方には主要な港湾は約10箇所ある。主要な取扱貨物は港湾により異なり、有機ハイドライドを取り扱うには、石油類を扱える港湾が望ましい。また、水深やバースの長さ等を考慮し、複数の港湾がサイト候補となった。

目標を達成した。

#### (5) 水電解装置の調査

水電解槽は、主な形式であるアルカリ型・固体高分子型・高温水蒸気電解について技術分析を行い、大規模プロジェクトや再生可能エネルギーとのコンビネーションの事例を調査した。大型化・低コスト化の実現可能な技術としてはアルカリ型が現時点では最適と考えられる一方、固体高分子型も研究開発が行われている。

目標を達成した。

#### (6) 案件の絞り込み

これらの調査を受け、水力発電由来の余剰電力があること、将来の電力需給がタイトでないと予想されること、大型タンカーが入れる港湾があり、石油類の取り扱い実績があることなどを考慮し、極東地区の複数の有望なサイトとして抽出した。また、現地調査にて現況を確認した。

目標を達成した。

#### (7) フィージビリティの調査

プラントの試設計を行い、極東地区での水素製造～日本での輸入までの経済性検討を行った。公的補助等が必要ではあるが、経済産業省が作成した水素ロードマップに記載された30円/m<sup>3</sup>程度の価格を実現できる可能性がある。今後の詳細な調査が必要である。

目標を達成した。

#### (8) 水素利用方法の調査

インセンティブ制度の活用・大規模化等により水素発電単価を下げる事が可能であれば、地域 PPS の枠組みに水素発電を相当量導入し、水素発電地域 PPS を普及促進できる可能性がある。

目標を達成した。

#### (9) 実証プロジェクトの検討

有機ハイドライドによる水素の大量輸出入は世界初のプロジェクトであることを考えると、実証プロジェクトを組成することは将来の商業プロジェクトの確実性を増すために有効と考えられる。

目標を達成した。

#### (10) シナリオ構築と課題抽出

今後の課題として、将来の商業プロジェクトの採算性について、今よりも精度を増した検討が必要であり、具体的に精度の向上の必要な項目を洗い出した。千代田化工建設にて、引き続き検討を継続する。

目標を達成した。

### 3. 2 成果の意義

ロシアの再生可能エネルギーである水力発電から製造した水素を日本へ輸入するプロジェクトの経済性およびその改善について、具体的な知見を得ることが出来た。引き続き検討を継続し、その確実性を増して行くためのベースを得た。

### 4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。

公的補助等が必要ではあるが、経済産業省が作成した水素ロードマップに記載された30円/m<sup>3</sup>程度の価格を実現できる可能性がある。今後の詳細な調査が必要である。

今後の課題として、経済性検討の精度を向上させる必要があり、またそのための具体的な項目を特定した。

精度を上げた検討を行った上で、実証プロジェクトを組成し、その後、商業プロジェクトへ進む、というシナリオが有効と考える。

### 5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 25 年 8 月	NEDO 成果報告会	NEDO 平成24年度 成果報告会	伊藤 正
2	平成 26 年 8 月	NEDO 成果報告会	NEDO 平成25年度 成果報告会	伊藤 正
3	平成 27 年 9 月	NEDO 成果報告会	NEDO 平成26 年度 成果報告会	伊藤 正

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名



## プロジェクト用語集

研究開発項目 I : 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発

### I-①-(1) : 「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」

	用語	説明
英数	2種製造設備	本項では高圧ガス保安法における一日の処理能力が 30m <sup>3</sup> 未満である高圧ガスの製造設備を指す。
	35MPa 水素スタンド	水素スタンドの常用圧力が 40MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 35MPa 充填に対応したもの。
	70MPa スタンド	水素スタンドの常用圧力が 82MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 70MPa 充填に対応したもの。
	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	FID	水素炎イオン化型検出器 (Flame Ionization Detector) 。物質を水素炎中で燃焼することによって発生するプラズマ電子を検知する。有機化合物 (CとHが含まれる分子) に対し高い感度を示すため、微量のサンプルガスでも分析可能。
	HFCV-gtr	水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準であり、欧州を中心に作成され、国連の認証も受けている。燃料電池自動車用の規格であるが、現在作成中の JPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」にも必要箇所は準拠させる。
	JIGA-T-S	一般社団法人日本産業・医療ガス協会の規格。JIGA-T-S/13/04「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」が、現在作成中の JPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」の基になっている。
	KHK	高圧ガス保安法第 1 条に明記されている「高圧ガス保安協会」(協会) の略称。「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する(同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う(第 59 条の 2)」団体である。
	OH・H <sub>2</sub> O 濃度	水素の燃焼反応で生成される OH、H <sub>2</sub> O の濃度
	PIV	粒子イメージ流速計測法 (Particle Image Velocimetry)。非接触で 2 次元断面中の速度分布を計測する手法。可視化された計測空間から画像処理により数多くの計測点で速度と方向を同時に算出するので、流速計よりも空間構造が把握しやすい点の特徴。
あ行	圧縮水素運送自動車用容器	水素製造装置等から圧縮水素を運送するための自動車 (トレーラー ; 圧縮水素運送自動車) に搭載される炭素繊維複合容器。地盤面に対して移動して使用するため、容器保安規則が適用される。
	圧力サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出を繰り返すことにより、繰り返し疲労を受けることから、想定繰り返し回数加圧・降圧を繰り返しても必要強度・性能が確保されていることを確認する試験
	安全弁環境試験	HFCV-gtr に準拠し、硫酸(バッテリー液を想定)、水酸化ナトリウム(洗浄剤を想定)、硝酸アンモニウム(路上の肥料を想定)、メタノール(ウォッシャー液を想定)に浸漬させ、使用上問題となる欠陥が生じないことを確認する試験。
	一般高圧ガス保安規則	高圧ガス保安法 (昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。) に基づいて、高圧ガスに関する保安 (コンビナート等保安規則 (昭和六十一年通商産業省令第八十八号) に規定する特定製造事業所に係る高圧ガスの製造に関する保安を除く。) について規定する。
	液体水素	液化した水素のこと。「液化水素」も同義。沸点は-252.6℃で融点は-259.2℃である。圧縮水素に比べて圧倒的に密度が大きく、大量貯蔵・輸送に適している。



	用語	説明
	液体水素ポンプ	「液化水素ポンプ」も同義。液体水素を移送したり加圧したりするために用いられる。圧縮水素スタンドに導入されれば、より高いエネルギー効率、よりコンパクトな設備レイアウト、とりわけ高価な蓄圧器の削減、を実現することが可能である。
	塩水腐食試験	HFCV-gtr に準拠し、海岸付近での使用を想定し塩水を噴霧しても使用上問題となる欠陥が生じないことを確認する試験。
	応力腐食割れ試験	HFCV-gtr では応力腐食割れが起こらないことの確認のため、アンモニア混合気にさらした試験の実施が規定されている。作成中の JPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」では銅系材料は対象外であり、ステンレス、アルミニウムも材料規格を指定しているので、試験対象外としている。
	オフサイト方式	水素スタンドの敷地外で製造した水素を水素スタンド内に運び込む方式の水素スタンドのこと。
	オンサイト型水素スタンド	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと。
	オンサイト方式	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと。
	温度サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出の都度、温度が上昇・下降するため、温度の上昇・下降を繰り返しても必要強度・性能が確認されていることを確認する試験。FCV よりは圧縮水素運送自動車用附属品の方が使用温度範囲が狭いので試験条件を緩和できると考えられる。
か行	加速応力破壊試験	高圧ガス保安法容器保安規則により義務化された高圧ガス充てん用容器の試験の一つ。圧縮水素運送自動車用複合容器では、同一の型式内の一つの容器において、最高充てん圧力の125%以上で加圧し、65℃以上で1000時間以上保持することにより行う。
	加速寿命試験	一般には試験時間短縮を目的とし、製品を設計条件より過酷な条件にさらし、不具合が生じないことを確認する試験をいう。 安全弁の場合は、作動条件より低い温度に規定時間さらし、劣化等により作動すべきでない温度で作動しないことを確認する。
	火気離隔距離	可燃性ガスを取り扱う高圧ガス製造設備と火気を取り扱う施設との間に確保せねばならぬ距離。一般則第6条を引用するかたちで、一般高圧ガス保安規則第7条の3において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
	ガラス球式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱によりガラス体内に封入された液体が膨張し、ガラス体が割れ、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	簡易水素充填設備	本項では JAF のレスキュー車両に搭載し、ガス欠車両に小型水素容器より差圧で水素を最低必要量充填する設備を指す。
	緊急遮断装置	緊急時に当該装置が遠隔操作により作動し、水素の流れを遮断するもの。規定した温度を超えたときに直ちに自動的に閉止作動するものも含まれる。
	公道ディスプレイ距離	水素ディスプレイと公道との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第7条の3において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
さ行	差圧式高圧水電解装置	水の電気分解により発生する水素を、閉空間に貯蔵し続けることで高圧の水素を製造する高圧ガス設備のこと。本項において「差圧式高圧水電解装置」と同意。
	シュリーレン撮影	気体や液体（もしくは透明体）の密度差を目に見える形に表す可視化手法。平行光の場に透明な被検物をセットし、被検物を透過する光を集光させ、その焦点位置にセットされたナイフエッジを通して観測すると、被検物の密度分布が明暗として観察される。
	障壁	法令（高圧ガス保安法等）で定める保安距離を緩和し、保安物件を有効に保護するために設置する強固な壁。（保安距離；高圧ガス設備から保安物件までの法令で定める距離）
	水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。現行の充填圧力は70MPa。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は70MPaである。

	用語	説明
	水素トレーラー	水素の陸上輸送手段の一つ。タイヤのついたフレームに水素を充てんする容器を固定し、これをトラクターでけん引できるようにしたもの。輸送後にトラクターとフレームを分離することができる。
	水電解機能を有する昇圧装置	水の電気分解により発生する水素を、閉空間に貯蔵し続けることで高圧の水素を製造する高圧ガス設備のこと。本項において「差圧式高圧水電解装置」と同意。
	設計確認試験	高圧ガス保安法容器保安規則により義務化された高圧ガス充てん用容器の試験の一つ。圧縮水素運送自動車用複合容器では、一定数量によって構成される組又は個々の容器ごとに行う容器検査の試験。
た行	第一種製造者	高圧ガス保安法第五条第一項に掲げる者で、高圧ガスの製造の許可を受けた者をいう。（一日の処理能力が 100m <sup>3</sup> 以上である高圧ガスの製造設備を使用する者）
	第二種製造者	高圧ガス保安法第五条第二項に掲げる者で、高圧ガスの製造の届出を行った者をいう。（一日の処理能力が 100m <sup>3</sup> 未満である高圧ガスの製造設備を使用する者）
	タイプⅢ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプⅢと呼ぶ。
	蓄圧器	高圧流体を蓄えておく装置のこと。水素スタンドでは、圧縮水素若しくは液化水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
	超音波探傷検査方法	超音波を試験体中に伝搬させたときに、試験体の示す音響的性質を利用して、試験体内部のきず又は材質を調べる非破壊試験方法。略語は UT
	定期自主検査	高圧ガス保安法 35 条の 2。第一種製造者、指定数量以上の第二種製造者は、製造又は消費のための施設であって経済産業省令で定めるものについて、経済産業省令で定めるところにより、定期に、保安のための自主検査を行い、その検査記録を作成し、これを保存しなければならない。
な行	熱作動式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により作動し、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	熱伝達率	固体表面とそれに接する流体との間での熱エネルギーの伝えやすさを表す値。単位面積、単位時間、単位温度差あたりの伝熱量で表す。
	熱電対	異種金属の 2 つの接点間の温度差により発生する熱起電力現象を利用して、温度差を測定する温度センサー。
	熱流束測定	対流熱伝達及び輻射により伝達される熱量の計測。
	燃焼圧測定	燃焼時に発生する圧力を、圧力センサーを用いて計測すること。
	濃度のゆらぎ	濃度の時間変化。外気に放出されたガスの濃度は、拡散等の要因で刻々と変化する。
	敷地境界距離	高圧ガス設備と敷地境界との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
は行	パブリックコメント	意見公募手続。行政機関が命令等（政令、省令など）を制定するに当たって、事前に命令等の案を示し、その案について広く国民から（＝パブリック）意見や情報（＝コメント）を募集するもの。通称パブコメ。
	フェーズドアレイ法	超音波探傷検査の方法の一つ。アレイ探触子の各振動子から異なったタイミングで超音波を送信および受信し、アレイ探触子を走査することなく所定の領域全体を探傷できる。
や行	保安検査	高圧ガス保安法 35 条。第一種製造者は、高圧ガスの爆発その他災害が発生するおそれがある製造のための施設について、経済産業省令で定めるところにより、定期に、都道府県知事が行う保安検査を受けなければならない。
	容器保安規則	高圧ガス保安法、高圧ガス保安法施行令（平成九年政令第二十号。以下「令」という。）に基づいて、高圧ガスを充てんするための容器であって、地盤面に対して移動することができるもの（以下単に「容器」という。）に関する保安について規定している。
	溶栓式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により金属製の溶栓が溶けて容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置

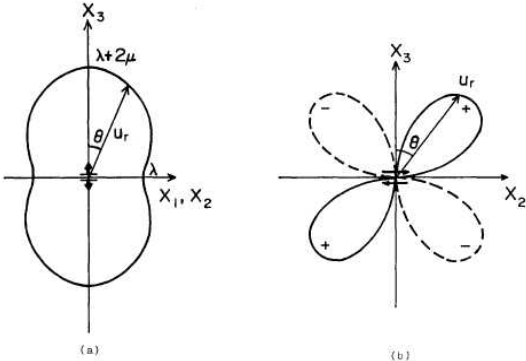
	用語	説明
ら行	レーザー計測（ラマン）	レーザーが気体に照射された場合に、気体から発生するラマン散乱光を利用し、気体の濃度計測を行う手法。
	離隔距離	水素スタンドで義務付けられている3つの距離（敷地境界距離、火気離隔距離、公道ディスプレイ距離）の総称。高圧ガス保安法で定義された用語ではない。
	例示基準	本項では「一般高圧ガス保安規則関係例示基準」のことを指す。一般高圧ガス保安規則関係例示基準は、一般高圧ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、一般高圧ガス保安規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる。
	輻射	ここでは、熱輻射の意味で、（熱）放射ともいう。伝熱の一部で、熱が電磁波によって運ばれる現象。または、物体が熱を電磁波として放出する現象をいう。

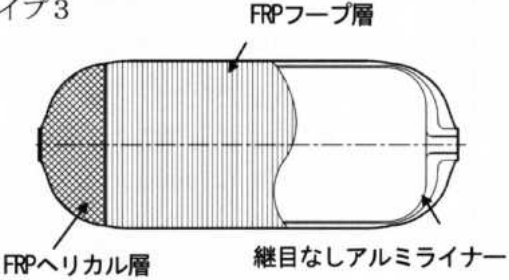
#### I-①-(2)：「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」

	用語	説明
英数	35MPa 車両	最高充填圧力が35MPaの燃料電池自動車。
	70MPa 充填ノズル	最高充填圧力が70MPaの燃料電池自動車に充填するためのノズル。安全のため、最高充填圧力が35MPaの車両には充填できない構造となっている。
	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	KHK	高圧ガス保安法第1条に明記されている「高圧ガス保安協会」（協会）の略称。「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する（同条）」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う（第59条の2）」団体である。
あ行	イベントツリー	イベントツリー解析。リスク評価手法の一つで、あるシステムの故障をもたらす事象を左端に配置し、その事象の進展を阻止するための機能を右側に列挙し、「成功」「失敗」の2通りの分岐により結んでいくことでイベントツリー（Event Tree）を作成し、最終的な事象である事故が発生する確率を算出する手法。
か行	可視炎	人の目で見える波長の光を出す炎のこと。水素ガスは燃焼しても肉眼ではほぼ透明にしか見えず、肉眼でこれを監視することは不可能である。そのため、水素では火炎に含まれる紫外線を検知することとしている。
	過流防止弁	バルブの二次側のラインに異常が生じた場合に、システム流体の過剰流出を防止するもの。
	感震装置	防災装置の一種。地震の加速度を検出し、加速度が一定値を超えると、警報または制御信号を発するもの。
	危害予防規程	高圧ガスによる災害を防止するため、第一種製造者（高圧ガスの製造をするもの）が、事業所の状況に応じて、高圧ガスの製造に関して保安の細目を定めたもの。
	キャルパー	建築物に見られるひさしのこと。水素スタンドでは充填設備（ディスプレイ）上の天蓋を言う。
	緊急遮断インターロック	緊急時に水素を遮断するように、検知器と組み合わせて動作するようにしたもの。
さ行	サイバー攻撃	コンピュータシステムやインターネットなどを利用して、標的のコンピュータやネットワークに不正に侵入してデータの詐取や破壊、改ざんなどを行ったり、標的のシステムを機能不全に陥らせたりすること。
	シビアアクシデント	設計基準事象を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な制御ができない状態により、著しい損傷に至る事象。
	充填容器等	容器置場並びに充てん容器及び残ガス容器のこと。
	重油脱臭脱硫装置	水添脱硫装置の一つ。常圧残油を減圧蒸留装置で処理して減圧軽油と減圧残油とに分け、減圧軽油のみを水素化脱硫するもの。脱硫した減圧軽油と減圧残油を混合することにより、製品としての重油の硫黄含有量を間接的に下げる方式を間接脱硫と呼ぶ。

	用語	説明
	焼鈍炉	加熱後に徐冷し、加工硬化による内部のひずみを取り除き、組織を軟化させ、展延性を向上させる熱処理を行う焼なましのための炉。
	水素カードル	小型容器を 20 本、30 本とまとめて固定された集合容器をカードルと呼び、水素を充填したものを水素カードルと呼ぶ。充填圧力は 14.7MPa と 19.6MPa の両方がある。
	水添脱硫装置	硫黄などの不純物を含む石油留分を、触媒の存在下で水素と反応させる水素化脱硫方式を使って精製する装置のこと。水素化脱硫装置、水素化精製装置などとも言う。
た行	蓄圧器	水素スタンドで、圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
	ディスペンサー	定量吐出装置であり、流体を精度良く定量供給するコントローラ及びその周辺機器の総称。水素を車両に充填するための設備。
	トリガー現象	事故を引き起こすきっかけとなる事象。
	トレーラトラック	エンジンが搭載されていないトレーラ（被けん引車）と、トレーラを引っ張るエンジンを搭載したトラック（けん引車）の組み合わせを言う。
は行	爆発下限界	可燃性ガス等が空気または酸素と混合した場合、特定のガス濃度範囲で着火源が存在するとき爆発する。この濃度範囲を爆発範囲といい、濃度の低いほうの限界を爆発下限界、高いほうの限界を爆発上限界という。水素爆発下限界は 4vol%。
	バネ式安全弁	容器内の圧力が通常の時、安全弁はバネの力によりガスなどの流体を封じ込め、容器内の圧力が上昇し過度になった時、バネがたわみ安全弁が自動的に作動して弁が開き、容器内部の流体を外部へ放出するもの。容器内の流体を外部へ放出し圧力が通常まで下がると、バネの力により弁が自動的に閉じ、流体の吹出しは終わり元の状態に戻る。
	非常措置マニュアル	各事業所で、緊急事態に対応するため策定されるマニュアル。
	ヒューマンファクター	人間や組織・機械・設備等で構成されるシステムが、安全かつ経済的に動作・運用できるように考慮しなければならない人間側の要因のこと。
	輻射熱	遠赤外線熱線によって直接伝わる熱の事。高温の固体表面から低温の固体表面に、その間の空気その他の気体の存在に関係なく、直接電磁波の形で伝わる伝わり方を輻射といい、その熱を輻射熱という。
	ベント（ベントライン）	通気穴、水素を放出する通気孔のこと。
	保安設備	水素スタンドの安全を維持するための設備。地震計、ガス漏洩検知センサ、火炎検知センサ、緊急離脱カブラ等がある。
や行	溶栓式安全弁	融点の低い金属で塞がれており、高圧ガスの容器などに取り付けられ、異常な高温になった時に融点の低い部分が溶けて穴が開くことで、高圧ガスを逃がして爆発を防ぐ安全装置。
ら行	例示基準	一般則や液石則等で定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもの。
	リサイクルコンプレッサー	リサイクルガスコンプレッサー、循環ガスコンプレッサーとも言う。 水添脱硫装置などで、反応ガスだけを再循環するために使用するコンプレッサーのこと。
	リスクアセスメント	潜在的な危険性又は有害性を見つけ出し、これを除去、低減するため手法。
	リスクマトリクス	事故の可能性（頻度）と事故の影響度（大きさ）を組み合わせるリスクを評価してリスクランクの H（高い）、M（中程度）、L（低い）のなどに区分したもの

I-②-(1) : 「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」

	用語	説明
英数	AEの放射方向	<p>AEは材料中のクラックの生成に伴って発生するが、クラックのモードによってAEの放射方向が異なる。モードIの開口型クラックの場合、図(a)のように開口方向に放射される。モードIIのせん断型クラックの場合、せん断方向から45度ずれて放射され、位相も異なる。</p>  <p>文献：岸ら、日本機械学会誌 48-9(1984)911-917</p>
	AE法	<p>アコースティック・エミッション (Acoustic Emission, AE) とは、材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波 (弾性波、AE波) として放出する現象である。AE波は主に超音波領域 (数 10kHz～数 MHz) の高い周波数成分を持つ。この AE 波を材料表面に設置した AE センサ (圧電素子センサ) によって電気信号に変換して検出し、破壊や変形の様子を非破壊的に評価する手法を AE 法と呼ぶ。</p>
	ASME	<p>アメリカ機械学会 (American Society of Mechanical Engineers, ASME) は、アメリカ合衆国における機械工学についての学会であり、職能団体である。ASME は機械装置の基準と規格を策定していることで知られている。世界最大の技術書出版社 ASME Press も運営しており、機械工学分野の論文集を発行している。</p>
	PT (浸透探傷試験)	<p>浸透探傷試験とは、赤色や蛍光の浸透性のよい検査液を用いて、表面の割れ、ブローホールなどを検出する非破壊検査方法である。金属、非金属を問わず、表面に開口したクラック (きず) であれば、検出できるため広く利用されている方法である。浸透液の色 (観察条件) と浸透液の除去方法により、次の 6 種類がある。赤色浸透液を水洗除去する方法で、大型検査物、表面の粗い検査物に適している。</p>
	S-N データ	<p>S-N 曲線。材料がどれくらいの繰り返し応力に耐えられるか、どれくらいの回数を与えるどれくらいの応力で破断するのかを明らかにするために S-N 曲線 (S-N curve) が広く使われている。S-N 曲線は、縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰り返し負荷して破断するまでの繰り返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフである。</p>
	TISS	<p>公益社団法人産業安全技術協会。労働安全衛生法令で定める機械等の検定業務や JIS 基準による安全性能試験業務および、機械等の認定業務を行っている。</p>

	用語	説明
	TypeⅢ-CFRP 複合容器	<p>圧力容器の構造は、圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添 9 などにおいて以下のように区分されている。</p> <p>Type 1 : 金属容器  Type 2 : 金属ライナー・フープ巻き容器  Type 3 : 金属ライナー・全周巻き容器  Type 4 : 非金属ライナー・全周巻き容器</p> <p>TypeⅢ-CFRP 複合容器とは、金属ライナーにアルミニウム合金を用い、炭素繊維を全周巻きした水素貯蔵用高圧容器を示す。</p> <p>タイプ3</p>  <p>FRPヘリカル層      FRPフープ層      継目なしアルミライナー</p>
あ行	アルミライナー	TypeⅢ-CFRP 複合容器のアルミ合金を用いた金属部分を呼ぶ。
	渦電流探傷試験	渦電流探傷試験は、材料の非破壊検査法の一つで、英語で ET (Eddy Current Testing) とも呼ばれる。鉄鋼・非鉄金属・黒鉛などの導電性のある材料でできているもので適用でき、材料に誘起される渦電流がクラックによって変化する性質を利用してクラックを探し出す検査である。表面及び表面近傍のクラックを検出することは出来るが、表面下の深い位置のあるクラックは検出することはできない。
	自緊処理	複合容器の製造工程において、中間体容器に内圧を付加して容器本体を塑性変形させた後、内圧を低下させ、容器本体に圧縮残留応力を与えるステップからなる工程の処理を示す。
	磁粉探傷試験	磁粉探傷試験は、材料の非破壊検査法の一つで、英語で MT (Magnetic Particle Testing) とも呼ばれる。強磁性体の材料のみ検査可能で、材料表面の開口欠陥 (クラック) と表面直下の欠陥を探し出すことができる。
	周波数スペクトラム	AE 分析の場合、AE 信号に含まれる周波数の各成分の分布を示す。
	ストライエーション	疲労により破断した面(破面)を走査型電子顕微鏡により観察すると、規則的な縞模様が見られる。この縞模様をストライエーション striation と呼ぶ。疲労亀裂進展に伴い形成されるもので、疲労による破面に特徴的に現れる。
	疲労設計安全率(Kn)	<p>複合容器の疲労試験での試験圧力サイクル数 N は、試験体の個数 n と疲労設計安全率 Kn を用いて、<math>N=Kn \times n</math> で求まる回数以上で、漏れが確認されるまでの回数とする。Kn は試験体の数であり次による</p> <p>n=2 の場合、Kn=4.0  n=3 の場合、Kn=3.5  n=4 の場合、Kn=3.0  n=5 の場合、Kn=2.6</p> <p>複合容器の使用可能サイクル数は設計圧力サイクル数を疲労設計安全率で除した数である。  文献：高圧ガス保安協会 KHKTD 5202(2014)</p>
	放射線透過試験	放射線透過検査は、非破壊検査の一つで英語で RT (Radiographic Testing) と言い、放射線を材料に照射し材料内部を透過させ、材料背後にある写真用フィルムや蛍光板に感光して投影することにより、内部の欠陥や構造を調べる検査である。

I-②-(2) : 「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」

	用語	説明
英数	ASME 規格	主に石油精製設備・石油化学設備のプロセス配管に適用される米国機械学会の規格である。
	A6061	強度があり耐食性に優れたアルミ合金。T6 は板を例にとると厚さ 6.5 未満で、溶体化処理後積極的に冷間加工を行わず、人工時効硬化処理したもの。 A6061-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にしなければ、同等の許容応力が得られるという利点がある。
	HPIS	(一社) 日本高圧力技術協会【HPI】は、高圧力という専門分野について系統的な解明を行うために設立された民間団体。高圧力に関する各種規格【HPIS】を制定している。
	JIS B 8265	圧力容器に関する法規の技術基準の整合化を図る目的で制定された規格である。 圧力 4 法（電気事業法、ガス事業法、高圧ガス保安法、労働安全衛生法）は ASME Code をベースに制定されたが、個別の改正により細部では異なったものになっていた。 そこで、2003 年に、JISB8265「圧力容器の構造－一般事項」は圧力 4 法を整合するために、また JIS B 8266「圧力容器の構造－特定規格」は、旧 JIS B 8270 の第 1 種圧力容器を一部修正の上、継承するために制定された。 JISB8265 は設計圧力 30MPa 未満、JIS B 8266 は設計圧力 100MPa 未満が対象。
	HYDROGENIUS	九州大学に設置された「水素材料先端科学研究センター」の略称。
	KHKS 0220 (超高压設備に関する基準)	高圧ガス保安法の適用を受ける超高压設備の耐圧部の材料、設計、製作、試験・検査に対して適用される基準である。高圧ガス保安法の省令、告示(例示基準)によらない場合に適用される基準である。この基準では詳細解析を実施することにより 設計係数の低減を可能としている。
	LBB	Leak Before Burst（破裂前漏洩）の略。 疲労き裂が圧力容器内面から進展して外面に達した際、不安定破壊が起こらず、容器内の水素が放出されて内圧が低下する現象。
	Ni 当量	Ni 当量は熱力学的立場から導入された Fe-Cr-Ni 系ステンレス鋼の化学組成上のオーステナイト組織の安定度を示す式で、基準の元素として Ni を用いている。Ni 当量=Ni+0.65Cr+0.98Mo+1.05Mn+0.35Si+12.6C で示される。Ni 当量約 30%程度までは Ni 当量の増加につれてオーステナイトの安定化及び歪誘起マルテンサイト生成の低減により水素脆化への抵抗が増加する。
	SA723 鋼	ASME 規格で規定されている 4% Ni 低合金鋼。従来より超高压特認容器用材料として使用されている。
	SCM435 鋼	炭素量 0.33～0.38%程度のクロムモリブデン鋼。(低合金鋼) (Cr; 0.90～1.20、Mo; 0.15～0.30 %) 降伏点は概ね 785 MPa 以上、引張り強さ 930 MPa 以上の鋼。 クロム鋼の中では比較的高めの機械的性質を持つ。
	SNCM439 鋼	2%Ni 低合金鋼。高張力鋼として強靱性が要求される機械構造用部品に汎用される。高圧水素用蓄圧器に使用されている事例あり。
	SSRT Test	Slow Strain Rate Tensile Test（低歪速度引張試験） 低ひずみ速度による応力負荷により試料を強制破断させる遅れ割れ試験法。遅れ割れ特性の評価が短期間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
	SUH660 鋼	常温、及び高温において高い強度を有する析出強化型オーステナイトステンレス鋼である。SUS-316 に比べ Ni を多量に含み（24～27%）、Ti、AL、V 等の析出硬化性元素が添加されている。固溶化熱処理（約 900℃、又は 980℃の急冷）と時効処理（700～760℃の徐冷）を行い製造される。 Ni を多量に含むため常温、低温に於ける水素脆化感受性が低く、また許容応力も約 225 MPa と SUS316L の約 2 倍の強度を併せ持っている。



	用語	説明
	SUS316,SUS316L 系オーステナイトステン レス鋼	SUS316 は、鉄の 6 大元素 (C, Si, Mn, P, S, Fe) に 18%Cr と 12%Ni を含み、それにモリブデン(Mo)を添加して耐食性・耐孔食性を向上させたオーステナイト系ステンレス鋼の代表的な鋼種。 ステンレス鋼は、表面に「不動態被膜」という薄い膜を形成し、それが安定して変化しない状態を保っており、海水や各種媒質への耐食性や耐孔食性を向上させている。 SUS316L は、SUS316 の炭素含有量(<=0.08)より低くした(<=0.03%)極低炭素鋼であり、耐粒界腐食性を有している。
	XM-19 (HRX19) 鋼	XM-19 は窒素、モリブデンを含有する耐食性に優れる高強度オーステナイトステンレス鋼。Mo を含有する SUS 316L に比較して優れた耐食性や高い強度を有する。 HRX19 は XM-19 規格内の鋼であるが、Ni 添加量を既存材の SUS316L レベルに抑えつつ、Ni と比較して安価な元素である Mn 添加量や Cr 添加量を適正化することで耐水素脆性を向上させている。優れた溶接性を有しており、溶接施工法が適用可能。
あ行	応力/Stress	連続体内部に定義した微小面積に作用する単位面積あたりの力。 (単位の例 : kgf/mm <sup>2</sup> , MPa)
	オーステナイト	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。
	オーステナイトの安定化	オーステナイトステンレス鋼に於いて固溶原子の分配などによってオーステナイト組織が安定化されて、マルテンサイト組織への変態が起こりにくくなる現象を言う。Ni 当量を上げることによりオーステナイト組織が安定化する。
か行	許容引張応力	機械や構造物に許容される引張側の強さを言う。適用する材料の常温及び設計温度での引張り強さを設計係数で除した値、又は降伏点 (又は耐力) を 1.5 で除した値の最も小さい値を用いる。
	クロムモリブデン鋼 (ク ロモリ鋼)	鉄に極わずかのクロム、モリブデン等を添加した低合金鋼の一種。略してクロモリ鋼とも呼ばれる。
	降伏比	引張強さと降伏点 (通常は上降伏点) 、又は耐力の比を言う。
	固溶化処理 (溶体化 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)
さ行	絞り、相対絞り (RRA)	引張試験や SSRT 試験での試験片破断後における最小断面積とその原断面積との差の原断面積に対する百分率を言う。相対絞り (RRA) は高圧水素ガス雰囲気における絞りを不活性ガス雰囲気における絞りで除した値。

	用語	説明
	詳細基準事前評価	「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」等の通達に基づいて行う制度。 機能性基準化された省令条項について例示基準に規定されていない方法を使用する場合、申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するか否かを判断し、その結果を検査等の申請書に添付することにより、その検査等に適用する詳細基準として採用することができる。
	水素脆化	金属材料が高圧の水素雰囲気中で使用される場合や高温の水素環境に曝露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより延性や靱性が低下する（脆化する）現象を言う。
	水素チャージ	材料中に水素を侵入・拡散させる方法。高温高圧水素環境下で保持する方法と、電気化学的にチャージする方法がある。
	析出硬化	「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「析出硬化」または時効硬化（agehardening）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。
	設計基準	圧力設備の設計時に適用する法規（高圧ガス保安法、労安法（ボイラー、圧力容器構造規格、消防法等）の技術上の基準（省令及び告示）に規定された設計上の基準類
	設計係数	圧力設備の設計時における材料の基準強度に対する余裕度を言う。 なお、旧来の安全率とは同義語である。
た行	特定案件事前評価 （大臣特認）	「高圧ガス保安法に於ける経済産業大臣特別認可申請手続きについて」に基づいて行う制度。 高圧ガス保安法の省令に定められている規定によらないで高圧ガス設備の製造を行う時にこれらの規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可を申請して適用できる。 このような、大臣への特認を申請しようとするものは予め高圧ガス保安協会の事前評価の審査を受け、その評価結果を用いて特認申請する。
	低温脆性 （ていおんぜいせい）	金属材料が温度低下によって脆くなる性質。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。
は行	引張試験	引張試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引張強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
	疲労寿命	疲労破壊を生じるまでの応力の繰り返し回数、Nの記号を用いる。
	疲労試験	材料の繰り返し応力に対する強さ（疲労強度）を測定する試験であり、応力振幅 $S$ ( $N/mm^2$ ) を変化させて材料が破壊するまでの繰り返し回数（N）を測定する。この試験結果を縦軸に応力振幅、横軸に繰り返し数で表示したグラフを「S-N 曲線」という。
	疲労き裂進展試験	人工の欠陥やスリットを有する試験片に繰り返し応力を与え疲労き裂長さの 1 サイクル当たりの増加量を測定する。き裂進展試験でのき裂進展速度 $da/dN$ ( $m/cycle$ ) を縦軸に応力拡大係数幅 $\Delta K$ ( $MPa\sqrt{m}$ ) を横軸にとったグラフを作成し、各材料のき裂進展特性を評価する。
	複合容器	ライナーと呼ばれる薄肉の容器の外側を、炭素繊維やガラス繊維等の複合強化材で多重積層した圧力容器（元は、複合強化圧力容器と呼ぶ）。 金属材料の圧力容器よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
	ブレイク設備	水素を高圧の蓄圧器から低圧の車載容器に充填時に断熱膨張により水素ガス温度が上昇する。車載容器で使用する複合容器材料（CFRP）の許容温度以下にするための冷却設備を言う。 通常ブレイク設備の出口温度は $-40^{\circ}C$ としている。

	用語	説明
ま行	マルテンサイト	マルテンサイト（martensite、d'相）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は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。
	ミルシート	鋼材メーカーが発注者に対して発行する鋼材の品質を証明する書類である。記載事項は下記の通り。 一般事項：需要家名、注文社名、証明書番号、工事番号等 化学成分：主要元素（C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Mo等）の割合 引張試験結果：降伏点又は耐力、引張強さ、伸び(%)等
ら行	冷間加工	塑性変形を利用した加工方法。常温もしくは材料の再結晶温度未満で行なう加工である。主に金属材料で用いられるが、鋼の場合、通常は摂氏 350-500 度未満で行われる。 冷間加工によって金属は加工硬化し、残留応力やひずみエネルギーが蓄積されるので加工前より不安定な性質となる。安定化するためには再度再結晶温度に加熱後、徐冷し焼なましをする。冷間加工の例では冷間圧延、引抜き、冷間鍛造、プレスなどがある。
	例示基準	省令は機能性基準であるため詳細な仕様を記載していないが、省令への適合性評価に当たって、例示基準に示されているとおりである場合には、当該機能性基準に適合すると見なされるもの。

### I-②-(3)：「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」

	用語	説明
英数	AE法	AE（アコースティックエミッション acoustic emission）は、材料のき裂の発生や進展などの破壊に伴って発生する弾性波（振動、音波）。AE法はAEを用いて破壊の情報を知ろうとする計測の技術。
	S-N線図	縦軸を Stress-amplitude（応力振幅）、横軸を Number of cycles to failure（破断までの繰返し数=疲労寿命、対数目盛）とした疲労特性の関係図。
あ行	圧力サイクル試験	容器に液体（圧力媒体）によって繰返し圧力を加え、破断までの繰返し数(=疲労寿命)を計測する試験。 KHKTD5202における疲労試験と同意。
	応力	部材内に発生している単位面積あたりの力を言い、部材の変形や破壊などに対する負担の大きさを検討するのに用いられる。 圧力によって容器に生じる応力は、周方向、軸方向、半径方向の3つの応力（主応力）に整理される。引張応力はプラス、圧縮応力はマイナスで表示する。 単位は、圧力の単位と同じになり、MPa または N/mm <sup>2</sup> を使う場合が多い。
	応力範囲	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差。
	応力振幅	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差の半分。 材料の疲労特性の整理には応力振幅が用いられる。（S-N線図項参照）
か行	技術文書 KHKTD 5202（2014）	水素ステーションの蓄圧器として用いる複合圧力容器は、特定設備検査規則の適用を受けるが、規則及び例示基準が整備されていないため、NEDO事業で検討を行った。その成果を踏まえて制定された、材料、設計、加工、構造及び検査の要求事項を定めた技術文書。 （正式名称：圧縮水素蓄圧器用複合容器に関する技術文書）
	鏡部	容器の円筒状部の両端の椀状の蓋部分。

	用語	説明
さ行	自緊処理	金属ライナーが塑性変形するのに十分な圧力を容器にかけて、金属ライナーに残留圧縮応力、金属ライナーの外周繊維に引張残留応力を発生させる圧力処理。残留する圧縮応力が、金属ライナーの疲労寿命を長くする。
	上限圧力/下限圧力	容器に繰返し圧力を加える場合の、最大の圧力値と最小の圧力値。
	ストレスアップチャー試験	一定の荷重を試験片に加え、破断するまでの寿命を測定する。
た行	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」(タイプ 1)と「複合容器蓄圧器」(タイプ 2, 3, 4)に分類される。
	胴部	容器中央の円筒状部分。
な行	伸び歪	金属材料を引張によって塑性変形させたときの引張方向の変形量。
は行	疲労	繰返し応力により金属などがき裂を生じたり破断する現象。
	部分充填	蓄圧器から燃料電池車への水素ガス充填において、蓄圧器と車両の燃料容器の圧力が平衡に達したとき、この平衡圧力より高圧力の次の蓄圧器に切り替えて充填を継続する方法が効率的であるとされている。このように圧力変動の小さい充填を繰り返すこと。
	平均応力	繰返し圧力によって容器に生じる応力の平均値。 (最大応力+最小応力) / 2。 部分充填で用いる蓄圧器は、受けもつ充填圧力の領域によって平均応力が異なる。
や行	予歪	予め金属材料に与えられた塑性変形。予歪を導入された材料は力学的特性が素材と異なると思われる。一方自緊処理では金属ライナーに一旦塑性変形(伸び歪)を与えるため、今事業では予め自緊と同様の伸び歪を与えた試験片の疲労特性を予歪なしの試験片と比較した。

#### I-②-(4) : 「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」

	用語	説明
英数	1G	溶接姿勢の一つで、下向き溶接を意味する。 下向き姿勢とは、作業者に対して下向き位置で溶接を行うこと。
	δフェライト	融点直下の温度領域にある鉄の組織。
	Ni 当量	ステンレス鋼に含まれる元素のうち、オーステナイト相を安定化させる元素としての割合を Ni 量に換算したもの。本文中の平山の式や三加の式は、Ni 当量を定式化したもの。
	SNM439 鋼	2%Ni 低合金鋼。高張力鋼として強靱性が要求される機械構造用部品に汎用される。高圧水素用蓄圧器に使用されている事例あり。
	SSRT (Slow Strain Rate Technique)	低ひずみ増加率による応力負荷により試料を強制破断させる試験法。材料の評価が比較的短時間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
	TIG	電気をを用いた溶接方法の一種である。TIG は、Tungsten Inert Gas の略で、 <u>タングステン</u> - 不活性ガス溶接の意であり、タングステンを電極に用いる溶接である。
	VIM 溶解炉	真空誘導溶解炉。溶解設備の一種。VIM は Vacuum Induction Melting の略。
あ行	オーステナイト	鉄鋼材料の組織状態の一つであり、面心立方格子の結晶構造を有する。磁化されにくいいため、磁石に付かない。
	オーステナイト相安定度	引張試験などの塑性加工によりオーステナイト相から加工誘起マルテンサイト変態してフェライト相を生成する程度。オーステナイト相安定度が高い場合、加工誘起マルテンサイト変態によるフェライト相の生成が抑制される。
か行	外圧疲労	鋼管状の試験片を用いて内圧を一定に保持し外圧を変動させて繰返し応力負荷を与える疲労試験。
	加工誘起マルテンサイト	マルテンサイトは金属組織の状態の一つであり、加工誘起マルテンサイトは冷間加工により生じたものを示す。鉄鋼の場合、一般に磁化されやすいため、磁石に付く。
	共通試験材	グループ内で複数の機関が同じ材料を試験する際の材料

	用語	説明
	擬へき開破面	破壊面の一種。破壊がへき開によって生じ、次に空孔（ポイド）合体による母材の破壊（塑性変形）が生じた破壊面。
	高圧水素中小型疲労試験機	室温の高圧水素環境にて4点曲げ疲労試験を行う疲労試験機。内容積が小さいことを特徴とする。
	鋼塊	鋳型を用いた鋳造工程により作製した、鋳物状態の鋼。インゴット。
	高NiのSUS316L	Ni含有量が規格10~14%の中で高い（この試験材は13.46%）
	降伏応力	材料の引張試験において、荷重と伸びが直線的に増加していたのが、突然荷重が低下する降伏現象を示す荷重を試験片の断面積で割った応力。高圧水素ガス環境では、通常は降伏現象を示さない材料が用いられ、引張試験の応力-歪み曲で0.2%の塑性歪みを示す点の応力を0.2%耐力と呼び、降伏応力として代用される。
	固溶化熱処理	合金成分が固溶体に溶解する温度以上に加熱して十分な時間保持し、急冷してその析出を阻止する操作。ステンレス鋼では炭化物などを素地に固溶させて安定した耐食性を確保するために行われ、また時効硬化形合金では時効処理の前の準備として行われる。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）
さ行	残留ガメント	き裂進展後に試験片の破面を観察すると、進展き裂の周囲にき裂が進展していない未破断部が観察される。この未破断部を残留ガメントと呼ぶ。
	絞り	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 <sub>0</sub> との差（小さくなった面積）を最初の材料片断面積A <sub>0</sub> で割った百分率%。
	水素助長割れ下限界応力拡大係数K <sub>IH</sub>	水素の影響によってき裂が進展する際の閾値を表す破壊力学パラメータ。本研究開発においては、高圧水素ガス環境におけるK <sub>IH</sub> を対象としている。
	水素蓄圧器	燃料電池自動車に水素を差圧充填するため、水素を貯蔵する圧力容器。その構造からType I~Type IVに分類されるが、本研究開発においてはType I（鋼製容器）を対象としている。
	スターラー	攪拌機。溶液の中に小さな磁石を入れ、台の中の磁石を廻すと攪拌子が回り、溶液の上下をかき混ぜる。
	設計係数	圧力容器の許容応力を算出する際に用いられ、引張強さに対する安全係数を示す。
	相対絞り	高圧水素中における絞り値を、大気中もしくは不活性ガス中における絞り値で除した値。高圧水素環境における延性の低下を示す尺度の一つとして、用いられている。
	ソーキング熱処理	鋳造時に生じた化学成分の偏りを除去する目的で行われる熱処理。
	組織の異方性	SUS316Lでは、熱間圧延の方向に組織が伸びることにより、圧延方向に平行と垂直方向の特性が異なる場合
	塑性ウェイク	き裂が進展する場合は、まず塑性変形を生じたのちにき裂が進展するため、き裂進展領域には塑性域が残留している。この残留塑性域を塑性ウェイクと呼ぶ。
た行	鍛伸加工	プレス装置やハンマー装置を用いた熱間加工。金属の結晶が細くなるように鍛練すると共に、目的の形状とする。
	低NiのSUS316L	Ni含有量が規格10~14%の中で低い（この試験材は12.11%）
	低ひずみ速度引張試験	腐食環境下で材料を低ひずみ速度で引っ張るといふもので、他の試験方法に比べて、比較的短時間（1日~4日）で材料の応力腐食割れ感受性を評価できる試験法。
	定変位屋れ割れ試験	予めき裂を導入した試験片にボルトロードを負荷し、高圧水素ガス中に1000h保持する。保持後のき裂の進展・停止挙動からK <sub>IH</sub> を評価する試験方法。ASME Sec.VIII Div.3 KD10に規格化されている。
	デンプル	破壊面の一種。空孔（ポイド）合体の延性破壊で生じた破壊面。デンプルと称するように穴がいた模様となるのが特徴。

	用語	説明
な行	伸び	引張試験で破断した材料片の永久伸び。
は行	非金属介在物	製造工程中に鋼の内部で生成される複合物質のことで、 $Al_2O_3$ 、 $MnS$ などがある。その測定法としては、JIS G 0555 ,ASTM E45 などが規格化されている。
	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。
	比透磁率	磁化のされやすさを示す値であり、透磁率計等を用いて測定することができる。値が 1 より大きい程、大きな磁化を示し、磁石につき易い。オーステナイトは磁化されず、マルテンサイトは磁化されることから、比透磁率を測定することで、オーステナイト組織における加工誘起マルテンサイト組織の生成の有無を知ることができる。
	評価試験方法	高圧水素ガス環境における材料の健全性を評価する試験方法であり、SSRT 試験、疲労試験、疲労き裂進展試験、ライジングロード試験、定変位遅れ割れ試験などがある。
	疲労試験	繰返し応力を与えて材料が破断するまでの繰返し数を評価する試験。本研究開発では、応力比-1 で実施した。
や行	溶接金属	溶接を施した際に溶接中に溶融して凝固した金属。
	余盛	突合せ溶接の開先やすみ肉溶接で必要寸法以上に表面から盛り上がった部分の溶着金属（溶加材から溶接部に移行した金属）のことです。
ら行	ライジングロード試験	予めき裂を導入した試験片に低変位速度で荷重を負荷し、き裂を進展させる。大気中と高圧水素ガス中で試験を行い、荷重-変位線図上で両試験結果が分岐する点を水素中でき裂が進展を開始した点と判断して、 $K_{IH}$ を評価する試験方法。
	冷間引抜加工	棒鋼をダイスと呼ばれる型に通し、引き抜くことで、丸棒、四角棒、六角棒等の所定の断面形状を得る冷間加工方法。最終製品に近い断面形状が得られると共に、冷間加工により強度が増加する。

#### I-②-(5) : 「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」

	用語	説明
英数	1958 年協定	正式名称は「車両並びに、車両への取付け又は車両における使用が可能な装置及び部品に係わる統一的な技術上の要件の採用並びに、これらの要件に基づいて行われる認定の相互承認のための条件に関する協定」。自動車の構造及び装置の安全・環境に関する統一基準の制定と相互承認を図ることを目的とし、自動車の構造及び装置に関する規則(以下「UN 規則」)について規定されている。
	1998 年協定	平成 10 年（1998 年）にジュネーブで作成された「車両並びに車両への取付け又は車両における使用が可能な装置及び部品に係る世界技術規則の作成に関する協定。自動車の安全、環境、燃費及び盗難防止にかかわる世界技術規則「UN GTR」の制定と統一基準「UN 規則」との両立を目的とする。つまり、自動車の安全分野についてメーカーが製品の基準適合性を保証し、販売後に政府が市場の自動車の適合性を確認する「自己認証制度」を採用している国を考慮した協定。
	Bi	15 族（窒素族）元素の一。元素記号 Bi 原子番号 83。原子量 209.0。融点 271.4℃。電気伝導性・熱伝導性は小さい。融点が低く、易融合金の材料にする。アルミニウム合金では、低融点元素 Bi(+Pb)を添加した快削合金 A6262 がある。
	Cr	6 族（クロム族）に属する遷移元素の一。元素記号 Cr 原子番号 24。原子量 52。常温ではきわめて安定で、空気中や水中では酸化されないなど耐食性が強く、めっき用・合金材料として用いられる。アルミニウム合金では、ミクロ組織の繊維状化、結晶粒微細化による高強度化・高耐食性を目的に添加されることが多い。
	CT 試験片	破壊靱性試験などに用いられる切欠き付試験片の 1 種（Compact Tension 試験片）。

用語	説明
END OF LIFE	国際基準 HFCV GTR で、容器寿命末期 (End of Life) に一定以上の破裂圧を確保することで安全性を確保するという基本的な考え方。
HFCV GTR Phase1	水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準の審議を行い、平成 25 年 (2013 年) 6 月に採択された。GTR No.13 の第 1 フェーズ。
HFCV GTR Phase2	Phase1 で残課題とされた項目を検討するため、2016 年度以降に審議が始まる予定。GTR No.13 の第 2 フェーズ。
HFCV GTR (GTR No.13)	水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準。
ISO/TC197 (水素技術) WG18 (車載用水素容器および安全弁)	ISO/TC197 は、「エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、輸送、測定および利用に関するシステム・装置に関わる標準化」を目的として、1989 年 11 月に設立された。WG18 では、車載用高圧水素容器および安全弁を扱い、議長国はカナダである。旧審議体である WG6 が否決後、2013 年 5 月に NWIP(New Work Item Proposal)が出されて新たに立ち上がった。
JARI S 001, JARI S 002	JARI S 001 は、35MPa 容器用の「圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」、JARI S 002 は「圧縮水素自動車燃料装置用附属品の技術基準」であり、2004 年に日本自動車研究所が制定し、例示基準として採用されている。
KHK S 0128	正式名称は「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」であり、2010 年に KHK が制定し、例示基準として採用されている。
KIsc	長期間経過しても応力腐食割れ(SCC)が発生しない場合の平面ひずみ条件を満足する応力拡大係数の最大値。
Mn	7 族 (マンガン族) に属する遷移元素の一。元素記号 Mn 原子番号 25。原子量 54.94。純粋なものは銀白色で、鉄より硬いが、非常に脆い。空気中で速やかに酸化し、被膜をつくる。マンガ鋼などの合金の材料、乾電池・化学薬品に用いる。アルミニウム合金では、ミクロ組織の繊維状化、結晶粒微細化による高強度化・高耐食性化を目的に添加されることが多い。
Ni 当量	Ni (ニッケル) と同等の効果を表すオーステナイト生成元素の指数を表したもののこと。水素の影響を示す値のひとつである RRA と Ni 等量 (平山式) の間には相関関係があり、水素用に使用できるオーステナイト系ステンレスは、Ni 等量が 28.5 以上とされている。 平山式 : $Ni \text{ 当量}(\text{mass}\%) = 12.6C + 0.35Si + 1.05Mn + 1.0Ni + 0.65Cr + 0.98Mo$
Pb	14 族 (炭素族) 元素の一。元素記号 Pb 原子番号 82。原子量 207.2。融点 327.5℃。鉛板・鉛管として用い、蓄電池の電極・放射線遮蔽板などとする。防食のためのめっき、また合金としてはんだ・易融合金などの材料にも用いる。可溶性鉛化合物は有毒。アルミニウム合金では、低融点元素 Pb(+Bi)を添加した快削合金 6262 がある。
RRA	絞りに及ぼす水素の影響を示す。水素環境における SSRT の絞りを大気環境または不活性ガス環境における SSRT の絞りで除した相対絞り値 (RRA : Relative Reduction of Area)。
SAE	Society of Automotive Engineers。現在は、SAE International (SAE インターナショナル) と呼称している。SAE International は、航空機、自動車、商用車業界の関連技術の技術者および専門家が 128,000 人以上参加している世界規模の団体。SAE International のコア・コンピテンシー (中核技術) は、生涯学習と自発的合意によって、標準を策定すること。
SAE J2579	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles (燃料電池および水素自動車の燃料装置の標準)。HFCV GTR Phase1 の審議に、その当時の J2579 ドラフトがベースとして使われた。現在もドラフト審議中であり、HFCV GTR Phase2 の審議でもベースとして使用される可能性が高いため、日本からも審議に参加している。
SEM	走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope)
SEN 試験片	破壊靱性試験などに用いられる切欠き付試験片の 1 種 (Single Edge Notched 試験片)
SN 線図	縦軸に応力振幅、横軸に破断までの繰返し数 N をとって疲労試験結果をグラフにプロットしたもの。



	用語	説明
	SSRT	低ひずみ速度試験（Slow Strain Rate Technique）。水素脆化感受性を評価する目的で、腐食液中等で水素を材料にチャージしながら、低ひずみ速度で引張試験を実施する方法。
	SS 線図	引張試験、圧縮試験等において、応力（Stress）と歪み（Strain）との関係を表す線図のこと。「応力-歪み線図」。
	T6	アルミニウム合金の熱処理条件を示す記号。溶体化処理後、人工時効処理する際に、その合金において最高強度となるような熱処理条件のことを指す。
	Type-3 (VH3)	金属ライナー製圧縮水素自動車燃料装置用複合容器。主に水素ガスバリアの役割の金属ライナー（主にアルミニウム合金）の全体を CFRP(炭素繊維強化樹脂) で補強した容器。
	Type-4 (VH4)	プラスチックライナー製圧縮水素自動車燃料装置用複合容器。水素ガスバリアの役割のプラスチックライナー全体を CFRP(炭素繊維強化樹脂) で補強した容器。
あ行	圧延	回転する 2 つのロール間に、摩擦力によって材料をかみ込み、塑性変形させることで、厚さあるいは断面形状の小さな素材・製品を得る方法。
	液圧シリース試験	HFCV GTR (GTR No.13) の設計確認試験のひとつ。規定された全耐用期間中にわたり、水素の充填・消費および極限の環境条件下で漏れあるいは破裂を生じることなくシステムがその健全性を満足できることを確認する試験。
	応力拡大係数	き裂先端近傍の局所的な力学状態を記述するパラメータ。
	応力振幅	疲労負荷での 1 サイクル中の最大応力と最小応力の差の半分、すなわち（最大応力－最小応力）/2 をいう。
	応力腐食割れ	内部あるいは外部引張応力と局部腐食との相乗作用により、それぞれが単独に作用するよりは短時間で割れにいたる現象のこと。
	オーステナイト系ステンレス	常温でもオーステナイトの組織が安定している材料（オーステナイト相がフェライト相に変化することなく、結晶構造も面心立方格子を維持する）。一般に、耐食性、耐熱性に優れる。
か行	開口変位	切欠き付試験片のき裂開口部の変位（Crack Opening Displacement）
	過剰 Si	Al-Mg-Si 系アルミニウム合金中、Al-Mg <sub>2</sub> Si 擬 2 元系組成より多く Si を添加した合金。一般的に過剰 Si 合金が擬 2 元合金に比べて著しい時効硬化性を示す。
	苛性エッチング	水酸化ナトリウム水溶液によるマイクロ組織の現出のこと。
	均質化処理	鋳造したインゴットに、偏析などの後工程に影響を及ぼす不均一な組織を除去するために行う熱処理のこと。
	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保することを目的とする法律。
	降伏点	応力・ひずみ線図において弾性域を超えると、応力は上昇せず、ひずみだけが進行するようになる。これは材料が塑性し始めたことを示している。このような変極点を降伏点と呼ぶ。
	国際標準化機構 ISO	International Organization for Standardization、略称: ISO。電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための非政府組織。
	国連基準	国連において採択された 1998 年協定により制定される世界統一技術基準のこと。
	固溶化処理	溶体化処理とも呼ばれる。主にオーステナイト系ステンレスに対して行われる。適温に加熱・保持し、材料の合金成分を固体の中に溶かし込み（固溶させる）、析出物を出さないように急冷する処理。加工・溶接などによって生じた内部応力の除去、劣化した耐食性の向上など組織改善の為に行う。
さ行	残存強度	初期（新品）の強度（破裂圧力）に対して、使用後や耐久試験後の強度（破裂圧力）のこと。
	自緊処理	容器の内圧を高め、金属からなるライナー材を塑性変形させた後、容器の内圧を低下させることによって、繊維強化樹脂層の剛性によりライナー材に圧縮応力を与える処理。
	時効	金属材料の特性が時間の経過とともに変化する。合金元素の拡散に基づく現象であり、これを利用した時効硬化は、金属材料の重要な強化手法の一つである。

	用語	説明
	自動車基準調和世界フォーラム UN/ECE/WP29	安全で環境性能の高い自動車を容易に普及させる観点から、自動車の安全・環境基準を国際的に調和することや、政府による自動車の認証の国際的な相互承認を推進することを目的としている。国連で世界的な基準調和を議論する唯一の場であり、UN 規則や UN GTR を作成している。
	常温圧力サイクル試験	HFCV GTR Phase1 等に規定されている設計確認試験のひとつ。 2MPa 以下から最高充てん圧力×125%以上の圧力の間を往復させる試験。HFCV GTR Phase1 での合格基準は、加圧回数が 11,000 回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。
	人工時効処理	室温以上で加熱することによって過飽和固溶体から微細な析出物を析出させる熱処理。
	水素脆化	鋼をはじめとする金属材料中に、水素が拡散侵入し、金属の破壊抵抗を弱める現象。同一の材料でも、水素濃度、試験温度、歪速度により水素脆性の感受性が異なる。
	水素脆化型	金属材料中に水素が侵入することが原因で生じる脆化現象を水素脆化と呼び、この現象を伴う諸現象を「水素脆化型～」と表現する。
	水素脆化感受性	水素脆化の生じやすさ。同じ環境条件、応力負荷条件においてより早期に水素脆化による破壊を生じやすい材料は、水素脆化感受性が高い材料と言える。
	脆化	材料が延性やじん性を失い、脆く壊れやすくなること。水素脆化の他に、高温脆化、低温脆化、液体金属脆化、紫外線脆化など、材料の種類や使用環境の組み合わせにより様々な脆化現象が知られる。
	脆性	物質の脆さを表す。破壊に至るクラック進展に必要なエネルギーの小さいことをいう。
	世界統一技術基準 (GTR)	GTR : Global Technical Regulation. 自動車の装置ごとの安全・環境に関する世界の知見を集めた統一的な技術基準。各国法規への導入による基準の国際調和を目的として、国連において採択された 1998 年協定により制定される。
	設計確認試験	容器の認証等を行うための容器検査において行う試験のうち、組試験に先立ち同一の型式ごとに 1 回限り行うもの。
	遷移元素	周期表で第 3 族元素～第 11 族元素の間に存在する元素の総称。第 12 族元素（亜鉛族元素、Zn、Cd、Hg）は化学的性質が典型元素の金属に似ており、またイオン化しても d 軌道が 10 電子で満たされ閉殻していることより典型元素に分類されることもある。
た行	耐力 (0.2%耐力)	引張試験において 0.2%の残留ひずみを生じる荷重のこと。構造設計では 0.2%耐力の 75%を許容応力として用いることが多い。
	鑄塊	直接製品の形状を得るのではなく、圧延、鍛造などの加工や再溶解を行うために、目的に適した大きさ、形状に鑄造した金属塊のこと。
	長期負荷割れ	一定の応力またはひずみを負荷し、長期間経過するとき裂が進展する現象。
	定変位試験	切欠き付試験片を用い、き裂を開口させて、き裂先端近傍に一定の応力拡大係数を負荷する試験。
	熱間鍛造	材料を加熱し、再結晶温度以上固相線温度未満の範囲で行う鍛造のこと。
な行	伸び	引張試験における、引張前の 2 標点間の距離 (L0) と引張後の 2 標点距離(L1)の比 (100 ×(L1 - L0)/L0) 。単位は%。
は行	バウシinger効果	金属材料を一度ある方向に塑性変形を与えたのち、逆方向の荷重を加えると、再び同方向に荷重を加えたときより塑性変形が低い応力でおこる効果。
	破断伸び	引張試験において、試験片が破断に至るまでの伸び。試験開始から破断に至るまでの標点間距離の増加量を、試験開始時の標点間距離に対する割合として算出する。
	破面	破壊により形成された新しい面。
	破裂圧	HFCV GTR Phase1 等に規定されている設計確認試験の一つである破裂試験によって測定された圧力 (破裂圧力) 。
	破裂試験	HFCV GTR Phase1 等に規定されている設計確認試験の一つ。 容器が破裂するまで昇圧することによって破裂圧を測定する試験。
	ピーリング	ピレット等を所定の寸法ならびに表面状態とするために行う機械切削のこと。

	用語	説明
	引張強さ	応力ひずみ線図で最大の応力を示すポイントをこの材料の引張強さと呼ぶ。通常この領域では試験片が大きく変形しており、力学的には意味のない値だが(変形前の断面積を元に計算される公称応力であるため)、疲労限度や硬さと強い相関があるため広く用いられる。
	疲労限	材料の疲労において、物体が振幅一定の繰返し応力を受けるとき、これ以上回数を増やしても破断まで至らない下限の応力振幅値。
	疲労き裂進展試験	規定された切欠き付試験片を用い、繰返し応力を負荷し、応力拡大係数範囲に対するき裂の進展速度を調査する試験。
	疲労試験	規定された試験片を用い、繰返し応力に対する破断繰返し数を調査する試験。
	疲労予き裂	切欠き付試験片に疲労試験により予め導入されたき裂。
	フライス加工	回転する刃物を移動することにより、材料を面加工する方法。旋削加工とならび、機械加工をする上で代表的な加工手法である。
	別添9	例示基準「圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準の解釈」。
	母相	材料の相変態において、変態前に存在する相のこと。総変態により、母相中に生じた異相を第2相と言う。
や行	焼入れ感受性	溶体化処理後の冷却速度が遅い場合には、時効後の強度が低下する現象を生じることがある。このように強度が溶体化処理後の冷却速度に敏感に影響される場合に、“焼入れ感受性が高い”といわれ、熱処理型合金では実用上大きな問題となる。
	容器則例示基準	容器保安規則（昭和41年通商産業省令第50号。以下「容器則」という。）は、高圧ガス保安法（昭和26年法律第204号。）に基づき、高圧ガスを充填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に関する保安について規定している。容器則に基づき、容器への表示の方式や容器等の漏えい試験の方法を、容器保安規則に基づき表示等の細目、容器再検査の方法等を定める告示（平成9年通商産業省告示第150号。以下「容器細目告示」という。）で規定しており、その方法や材料の具体的な技術基準については、容器保安規則の機能性基準の運用について（20130409 商局第4号。以下「容器則例示基準」という。）において示している。
	陽極溶解型	適切な電解質溶液中で金属に正電圧を印加すると、金属は電子を奪われ、陽イオンとなって液中へ溶解する。これを陽極溶解と呼び、この現象を伴う諸現象を「陽極溶解型～」と表現する。
	溶出	一般的に、成分が水などに溶けてにじみ出ること。材料表面の腐食により、水溶液等の環境に材料の成分が溶け出すことも溶出と表現する。
	溶体化処理	合金を充分に加熱して添加元素の成分を固体に溶け込ませ（固溶）、その後冷却する処理。時効硬化型合金の熱処理においては、時効処理に先立って、溶体化処理が行われる。
ら行	ライジングロード試験	切欠き付試験片に一定応力(応力拡大係数)を負荷し、その値を徐々に上げることにより、長期間経過中にき裂が進展する最低の応力拡大係数を調査する試験。
	粒界	多結晶体の結晶と別の結晶との間の不連続な境界面。
	粒界腐食	金属の粒界あるいはその周辺が選択的に侵食される腐食形態のこと。粒界に析出する異相金属間化合物が選択溶解する場合と、粒界近傍の固溶元素欠乏域が溶解する場合の二つに大別される。
わ行	ワイヤー放電加工	細い黄銅のワイヤーを電極として使う放電加工。ワイヤーを送り出しながらワーク（被工作物）との間で放電を行ない、プログラムに従って糸鋸で切るように、自在な形にワークをくり抜く加工。

### I-③：「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」

	用語	説明
英数	GC-FID	ガスクロマトグラフに水素炎イオン化検出器(Flame Ionization Detector)を搭載した分析計のことである。水素の燃焼熱によって有機化合物の骨格炭素をイオン化し、そのイオン電流の変化を測定するガスクロマトグラフ用検出器。

	用語	説明
	GC-HPID	ガスクロマトグラフにヘリウムプラズマイオン化検出器(He Plasma Ionization Detector)を搭載した分析計のことである。極めて安定な直流放電ヘリウムプラズマをイオン化源に用いた高感度検出器。TCD 検出器よりも高感度検出が可能である。
	GC-MS	ガスクロマトグラフと質量分析計(Mass Spectrometer)とを結合した分析計のことであり、ガスマスとも呼称される。高電圧をかけた真空中でイオン化して電氣的・磁氣的な作用等により質量電荷比に応じて分離する方式の分析計。質量電荷比を横軸、検出強度を縦軸とするマススペクトルを得ることができる。
	GC-TCD	ガスクロマトグラフに熱伝導度検出器(Thermal Conductivity Detector)を搭載した分析計のことである。物質の熱伝導度の違いを利用してサンプルの検出を行う。キャリアガス以外のほぼあらゆる物質を検知できる。
	HEMS	分析装置の商品名 Hydrogen Elimination Mass Spectrometer : パラジウム膜分離型四重極質量分析計。パラジウム膜により水素とその他の不純物を分離して、分離した成分を四重極質量分析計にて分析する装置である。
	HPLC/DNPH	高速液体クロマトグラフィーで用いる高速液体クロマトグラフ分析計(High Performance Liquid Chromatograph)のことであり、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)で誘導体化した試料を使用する。液体を移動相にしてカラムに試料を導入し、被検成分を固定相との相互作用の差を利用して、高速で分離、定量するための装置である。
	IC	イオンクロマトグラフ (Ion Chromatograph の略)であり、イオンクロマトグラフィーに用いる分析計のことである。電解質水溶液を移動相とし、イオン交換体などを固定相とする分離カラムを用いて、試料溶液中のイオン種成分を分離する装置のことである。
	ISO/TC197	TC は Technical Committee (専門委員会) と称し、ISO の標準化の各技術分野を統括する。各々設立順に番号で示され、TC197 は水素技術の専門委員会。
	ISO/TC197/WG12	WG は Working Group (作業部会) を表し、これも成立順に番号で示される。WG12 は FCV 用水素燃料仕様。ISO14687-2 を策定した。現在業務が終了し、閉鎖している。
	ISO 国際規格 (ISO14687-2)	燃料電池自動車の水素燃料仕様に関する ISO 国際規格で、日本が議長・幹事を務め日本主導で 2012 年 12 月に正式制定された。水素純度は 99.97%以上であり、12 種類のガス成分や微粒子について各々の閾値が決められている。
	ISO 国際規格 (ISO19880-1)	ISO にて制定予定の水素ステーションに関する国際基準
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、米国の自動車用規格を定める標準化機関
	SAE J2719	SAE の規格は J 番号で表される。J2719 は米国の自動車用水素燃料規格。ISO14687-2 とは整合している。
か行	火気距離	製造設備から漏洩した水素への火気設備による引火を防止するために定められた距離 (火気離隔距離) のことである。
	ガスクロマトグラフ	ガスクロマトグラフィー(Gas Chromatography)に用いる分析装置のことであり、ガスクロとも呼称される。気体を移動相にしてカラムに試料を導入し、被検成分を固定相との相互作用 (吸着、分配) の差を利用して、分離、定量するための機器である。
	検査充填	水素品質確認のための試料採取のための充填を指す。法令照会の結果、一定の安全要件を満たすことで高圧ガス保安法に抵触しないことを確認済みである。(水素計量、充填技術についても同様である。)
	高圧ガス保安法	公共の安全を確保することを目的として、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱について規定した法律。
	高濃度オゾン酸化処理	高濃度オゾンの高酸化力により、材質表面に緻密な不働態酸化膜を形成する表面処理のことである。
さ行	酸素計	酸素成分を選択的に分析する分析計である。

	用語	説明
	試験充填	検査充填と同じ
	水素キャリア	水素を運搬する物質のこと。有機ハイドライドやアンモニアがその例である。
	水分計	水分を選択的に分析する装置のことである。
た行	独国 NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH 水素・燃料電池機構：ドイツの燃料電池・水素ナショナルプロジェクトの研究開発をマネジメントする機関。
は行	パラジウム膜分離型四重極質量分析計	水素のみを透過するパラジウム膜を用いて水素中の微量不純物を同定・定量する質量分析計である。HEMS (Hydrogen Elimination Mass Spectrometer) と呼ばれている。
	飛行時間型質量分析装置	TOF-MS : Time-of-Flight Mass Spectrometer 粒子の質量分析計の一種で、加速させた荷電粒子（イオンまたは電子）の飛行時間を計測することにより対象の質量を測定する分析計である。
	ヒューズドシリカコーティング処理 (Si 処理)	フューズドシリカを使用して、材質表面を薄膜状に非常に滑らかにコーティングした表面処理のことである。
	米国 DOE	Department of Energy : 米国エネルギー省
	法令照会	法令適用の可能性を事前に確認する手続きである。民間企業等の行為が法令に抵触しない（違法ではない）ことを確認するための手続きであり、本事業に関しては水素品質確認のための試料採取充填行為が高圧ガス保安法に抵触しないことを確認するものである。（水素計量、充填技術についても同様である。）

#### I-④：「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」

	用語	説明
英数	CSA	Canadian Standard Association : カナダ規格協会、北米全体の安全規格を中心とした標準化機関。試験部門を有し、安全性を中心とした第三者試験機関でもある。
	FCバス	燃料電池車のバス。
	HFCV-GTR	Global Technical Regulation on Hydrogen and Fuel Cell Vehicles の略であり、国連 WP29 において制定された水素・燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準である。技術内容は圧縮水素容器、水素安全及び電気安全に大別される。
	HySUT ガイドライン	水素ステーションの充填性能が JPEC が制定する充填技術基準に合致するかどうか確認するための検査方法を規定するガイドライン。ガイドラインは HySUT がインフラ及び FCV 関連企業、団体と協議し制定する。2015 年 9 月時点で、JPEC-S0003(2012)、JPEC-S0003(2014) に対応するガイドラインが制定されている。
	International Workshop	NEDO、DOE(米国エネルギー省)、NOW(ドイツ水素・燃料電池機構) が主催する水素インフラに対する各地域の取り組みを情報交換するワークショップ。年 1 回、各拠点（日本、米国、欧州）持ち回りで開催されている。
	ISO/TC197	TC は Technical Committee (専門委員会) と称し、ISO の標準化の各技術分野を統括する。各々設立順に番号で示され、TC197 は水素技術の専門委員会。
	ISO/TC197/WG5	WG は Working Group (作業部会) を表し、これも成立順に番号で示される。WG5 は ISO17268 (水素コネクタ) を審議する WG。
	LookUp テーブル	周囲温度と容器初期圧力を基準に水素を車載容器へ安全に充填する条件を表形式で規定した充填プロトコル表。
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、米国の自動車用規格を定める標準化機関。

	用語	説明
	SAE J2601	SAE Standard J2601 “Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles”であり、米国自動車技術会（Society of Automotive Engineers）で制定された、水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器に高圧水素を安全かつ効率的に充填するための手順に関する規格である。
	SOC	State of Charge。高圧水素容器に搭載可能な最大水素量に対する実際の水素量の百分率。100%は、容器に最大水素量が格納されていることを示す。
	Type3 容器	金属製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック（CFRP）層からなる複合容器。
	Type4 容器	プラスチック製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック（CFRP）層からなる複合容器。
あ行	インターフェース	燃料の水素を燃料電池車に供給する際に、水素ステーションと車両の接続手段、接続装置等のこと。
か行	過充填	燃料電池車の燃料である水素を格納する高圧容器に規定量以上の水素を充填すること。温度条件によっては、最高充填圧力を超える可能性があるため、防止する必要がある。
	急速充填	燃料電池車に燃料の水素を供給する際、3分を目安として燃料を満タンにすることを狙いとした充填方法。ユーザーの利便性を考慮している。
	共鳴曲線	振動細線法において、細線に異なる周波数の電圧を印加し、誘導起電力を測定することで得られる曲線。共鳴周波数のところで最大値をもつ山形の形状となる。
	コールドソーク	燃料電池車の高圧水素容器内の温度が周囲の環境温度より低い状態のこと。容器から水素を取り出し走行する際に、気体膨張による冷却効果で温度降下が生じる。
	国連 WP29	自動車基準調和世界フォーラム WP29(World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation)は、国連欧州経済委員会(UN/ECE)の下に設けられた組織である。その取り組みの1つとして、自動車の装置毎の安全・環境に関する世界の知見を集めた統一的な技術基準の策定及び各国法規への導入による基準の国際調和を目的に、世界技術規則(gtr)の策定が行われている。
さ行	差圧充填	水素ステーションで水素をFCVへ充填する方法の一種。FCVの充填圧力以上の高圧バンクから圧力差を利用して、FCVへ充填する方法。充填基準では水素充填する際の圧力上昇率が定められているため、調節弁等により充填流量を制御する。
	充填プロトコル	水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器に高圧水素を安全かつ効率的に充填するための手順である。充填プロトコルは、一般的に規格化あるいは基準化されたものをいう。
	振動細線法	試料流体中で磁場をかけた金属細線を振動させ、振動の様子から流体の粘性係数を測定する手法。
た行	直充填	水素ステーションで水素をFCVへ充填する方法の一種。比較的圧力の低い中間段バンク(通常40MPa以下)からコンプレッサにより直接FCVへ充填する方法。圧力上昇率を制御するため、コンプレッサの回転数制御等により充填流量を制御する。
	通信充填	圧縮水素ステーションでの充填に際して、水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器並びに充填された燃料等に関する諸情報を、当該車両から圧縮水素スタンドへ通信する機能を、車両及び圧縮水素ステーションの双方が有している場合に、その機能を活用して行う充填をいう。
	トップオフ充填	通信充填の場合にあって、一定の条件を満たした場合に、燃料装置用容器の許容温度の範囲内で充填量を増大させるため、充填途中で、それ以前の目標圧力上昇率に対して、より小さい目標圧力上昇率で継続して行う充填をいう。
な行	ノズル	水素・燃料電池自動車への高圧水素充填を行う際のインターフェースのうち、水素ステーション側の部品。
は行	非定常短細線法	試料流体中で金属短細線を通電加熱し、細線の発熱量とその温度応答から熱伝導率を測定する手法。

	用語	説明
	フォールバック充填	通信充填の場合にあって、供給燃料温度が、充填当初に設定された供給燃料温度区分の高温側で、隣接する供給燃料温度区分に対応した供給燃料温度許容範囲に移行した場合に、新たに目標圧力及び新たな目標圧力上昇率を設定した上で、継続して実施される充填をいう。
	プレクール	高圧水素容器に燃料の水素を充填する際、予め供給水素を冷却すること。最大で-40℃まで冷却される。充填時の圧縮の影響によって容器内の気体温度が上昇する。この温度は85℃を上限としているため、これを超えないようにする必要があるために取られる措置である。
や行	容積推定	充填基準 JPEC-S0003(2014)では、安全に充填するために容器容積の範囲毎に圧力昇圧率、停止圧力が LookUp テーブルで定められている。非通信充填において LookUp テーブルを選定するために、FCV に少量水素を充填しその圧力の上昇から容器容積を推定する方法。通信充填では通信信号に容器容積情報が含まれているため、これを用い容積推定を省略することができる。
ら行	リース車充填モード	FCV を製造する自動車メーカーとステーション運営者との間で、個別に定められた充填方法で一定流量充填と一定昇圧率充填がある。両者とも昇圧率の上限を定めた JPEC-S0003(2012)以下の昇圧率で充填することで充填基準に適合した充填方法である。
	レセプタクル	水素・燃料電池自動車への高圧水素充填を行う際のインターフェースのうち、車両側の部品。
	ロックインアンプ	入力信号から特定の周波数成分を取り出し増幅する機能を有する計測機器。

#### I-⑤：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」

	用語	説明
英数	98年協定	1958年協定は、基準調和と共に相互承認を含んでいたが、アメリカは、安全基準に関しては政府認証制度がないため加盟できなかったため、アメリカの提案により、1958年協定と並行する補足的なメカニズムとして、認証の相互承認を含まず、基準の国際調和を目的とする構造的なフォーラムを形成する「国際技術規則 GTR (Global Technical Regulation)」が策定された。この協定は、1998年6月25日に公式に採択されたため、98年協定と呼ばれる。この協定は、国連の相互承認協定の基準である ECE 規則や日米欧を含む世界の主要国・地域基準を基にして、世界統一基準を実現させるプロセスを定めた協定である。
	abs	絶対真空を 0 として表示する絶対圧のこと。一方で、大気圧を 0 Pa として表示する圧力をゲージ圧という。
	CFRP 複合容器	ガスをバリアするライナーに、周方向のみ又は軸方向及び周方向に樹脂を含浸した炭素繊維を巻き付けた複合構造を有する容器のこと。燃料電池自動車用の圧縮水素容器は、すべて CFRP 複合容器である。
	FCV	燃料電池自動車（英：Fuel Cell Vehicle、FCV）とは、水素を燃料とする燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	GTR13	平成 25 年 6 月、HFCV-gtr Phase1 で採択された燃料電池自動車の世界統一基準のこと。
	SAE	米国のモビリティ専門家を会員とする米国の非営利的団体 SAE (Society of Automotive Engineers) のこと。
	SAE J2990	米国のモビリティ専門家を会員とする米国の非営利的団体 SAE (Society of Automotive Engineers) で行われているハイブリッド自動車や電気自動車の緊急時対応 (Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice) に関する標準化活動。当初は、ハイブリッド自動車や電気自動車に限られていたが、近年、その対象が燃料電池自動車へ広がっている。
	SUV	Sport Utility Vehicle の略。車高が高くてオフロード走破性がある自動車。
	TPRD	熱作動式安全弁 (Thermally-activated Pressure Relief Device) の略。火災時に容器の破裂等を防ぐため、容器内の気体を放出し、圧力を下げる装置で、圧縮水素容器の安全弁として装着される。金属性の溶栓が熱により溶けて安全弁が作動する仕組み。
	Type3 容器	金属製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック (CFRP)層からなる複合容器



	用語	説明
	Type4 容器	プラスチック製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック (CFRP)層からなる複合容器
	UN/ECE/WP29/HF CV-GTR	国連 (UN/ECE) の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) において、水素を燃料とする内燃機関自動車、燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準 (HFCV-GTR) のこと。圧縮水素容器、水素安全、電気安全に関する要件が規定されている。平成 25 年 6 月、HFCV-GTR Phase1 が採択された。今後、残された課題 (他車種への拡大、水素・燃料電池自動車独自の衝突試験方法、燃料供給口に関する要求事項、圧縮水素容器に用いる材料の試験方法や最低破裂要件の再検討等) が Phase2 で議論される。
あ行	圧縮性ガス放出モデル	流体力学における密度が圧力の変化に応じて変化する流れとし、衝撃波とチョーク流れの存在を可能とするモデル。圧縮水素からガスが放出される場合、音速を超えるため、本モデルを適用する必要がある。
	道路運送車両法	クルマの登録など所有権の公証を行うとともに、安全性の確保、公害の防止および整備についての技術向上をはかる目的で、1951年に制定された法律。目的を達成するために、クルマの構造装置が備えるべき要件を定めるとともに、その適正な使用を期するため、クルマの検査、登録制度および罰則規定を設けている。また構造装置および安全性などの性能を維持するため、クルマの点検整備をクルマの使用者に義務づけており、自動車整備事業の内容についても規定されている。さらに本法律の円滑な運用をはかるため、政令(自動車登録令など)、省令(道路運送車両の保安基準など)、通達(試験方法など)が別途定められている。
か行	局所火炎暴露試験	今までの火炎暴露試験は容器全体を火炎であぶり、熱作動式安全弁 (TPRD) が作動して安全に水素ガスが放出されるかを確認していた。HFCV-gtr では自動車の実用状態における火災に様々な形態があることを考慮し、TPRD の最も遠い場所から加熱する局所的火炎暴露 (片あぶり) 試験を加えた。メーカーは容器単体あるいは車載された状態のどちらかの方法を選択できる。
	警防活動時等における安全管理マニュアル	消防庁が作成するマニュアル。本マニュアルは、消防職団員が警防活動等を遂行するにあたって、一般的に留意しなければならない安全管理上の主な事項が列挙され、本マニュアルを参考にし、各団体のマニュアルを整備する等、組織の安全管理体制の整備を図るとともに、消防職団員の安全管理知識向上のための教育用の教材として使用すること等で、警防活動時等の事故防止を図ることを目的としている。
	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、輸入、移動、消費、廃棄等を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスに関する自主的な活動を促進し、公共の安全を確保することを目的とする。
さ行	残存強度	本研究での残存強度とは、火災を受けた容器を水圧によって破裂圧力を測定し、その圧力値が当該容器の残存強度としている。この残存強度 に基づいて、火災を受けた容器が完全であるか否かを判定する。
	衝突移動バリア	試験自動車に衝突させる移動できる車輻付フレームと衝突部分に衝突緩衝材からなる装置のこと。
	真空度	大気圧以下の空間の圧力の度合
	衝突試験後の車室内水素濃度計測試験	HFCV-gtr では、密閉空間内での水素漏れを規定するために、衝突試験後の客室内への水素流入許容限度に関する規定が付け加えられた。測定箇所は、車室内やトランクルーム内であり、主に天井部に設置された数個の水素濃度計が 4Vol.%以上になってならない。過去の事業にて評価した結果、空調の微風や衝突移動バリアの存在によって、水素濃度が変化してしまうことから、車両自体が評価されないことが明らかになり、これらの課題は HFCV-gtr Phase2 で議論されることになった。
	水素の可燃範囲	水素が燃えるために必要な濃度範囲のこと。常温、空気中においてその濃度は 4%~75%となる。
	セダン	4 ドアで、エンジンルーム、乗車空間、荷物空間が 3 つに分かれた形状を持つ自動車。
	接触燃焼式水素濃度計	触媒表面でのガスの接触燃焼による白金線コイルの抵抗変化を利用し、ガス濃度を検知する。検知濃度は 1000 ppm から数%の範囲。

	用語	説明
な行	無響室	壁、床、天井による音の反射の影響を受けないように、それらに吸音材・遮音材などを設けて、音源からの直接音だけが観測されるようにした部屋。
や行	容器のクズ化要領書	水素・燃料電池自動車燃料装置用容器(ガス容器)の残ガス処理、及びガス容器のクズ化に係わる手順を定める要領書。全国高圧ガス容器検査協会から、CNG 自動車容器残ガス処理および容器クズ化要領書が発行された。FCV 用のクズ化要領書は、本事業で得られたデータを活用し、作成中である。

## 研究開発項目Ⅱ：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

### Ⅱ-①-(1)：「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	Type3 容器	内側が金属ライナーであり、外側が FRP 全周巻きの容器。圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添 9 などにおいて、Type1～4 で容器の種類を区分している。
	CF	carbon fiber。炭素繊維。
	CFRP	carbon fiber reinforced plastics。炭素繊維強化複合材料。炭素繊維を樹脂の中に入れ、強度を向上させた複合材料。
	DRY 法	トウプリプレグを使用したフィラメントワインディング法。WET 法に比べ、フィラメントワインディング時に液状の樹脂を塗布する工程がないため DRY という。
	FRP	fiber reinforced plastics。繊維強化複合材料。
	FW	filament winding。フィラメント・ワインディング参照。
	PAN	Polyacrylonitrile。ポリアクリロニトリル。炭素繊維の原料となる。
	WET 法	繊維に樹脂を塗布しながらフィラメントワインディングを行う方法。一般的に樹脂が均一に塗布しやすいように粘度の低い樹脂を使用する。
あ行	圧力媒体	サイクル試験、破裂試験などの蓄圧器内部へ圧力をかける試験で使用する液体等の媒体。圧力媒体を蓄圧器内へポンプで押し込み、蓄圧器内の圧力を上昇させて試験を行う。
か行	外部防熱法	ライナーを外部から加熱しながらフィラメントワインディングを行う方法。加温により樹脂の粘度が下がり、繊維内に広がりやすい、樹脂を最後まで硬化させることが出来れば硬化工程を削減できるなどのメリットが期待できる。
	キャビー	(ガソリン、水素など) サービスステーションの充填場所の屋根部分。
	ゲル化	液状の樹脂が流動性をなくし、固化すること。
さ行	サイクル性能	蓄圧器の圧力振幅(減圧⇒復圧)を1回とした時の漏れが発生するまでの圧力振幅回数。サイクル試験によりサイクル性能を評価する。
	樹脂	ここでは主にエポキシ樹脂を指す。加熱により硬化し繊維間に密着力を持たせる。一般には100℃～150℃の熱を加えて硬化させる。
	使用サイクル回数	蓄圧器の圧力振幅(減圧⇒復圧)を1回とした時の認可された使用可能な回数。サイクル試験により使用サイクル回数を決定する。
た行	蓄圧器	ここでは高圧水素を蓄えておくボンベ(容器)をいう。70MPaの車載タンクを備えた燃料電池車に差圧で水素を充填する場合には常用圧力80MPa以上の蓄圧器が必要となる。
	ディスペンサー	液体・気体を充填する装置。充填量を計量する。
	トウプリプレグ(TPP)	繊維の束(通常数万本)にあらかじめ樹脂を染みこませておいたもの。
は行	複合容器	ライナーを繊維(主に炭素繊維やガラス繊維)で巻付け、樹脂で固めることによって強化した容器。
	フィラメントワインディング(FW)	ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。

	用語	説明
	プレール	水素を（燃料電池車に）高圧・高速に充填する場合、水素（および水素タンク）の温度が急激に上昇するため、あらかじめ水素を冷却しておくこと。またその装置を指すこともある。
	フープバースト	フープ巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
	フープ巻	CFRP 容器用ライナーの周方向（軸方向にほぼ 90 度）に巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。
	ヘリカルバースト	ヘリカル巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
	ヘリカル巻	フープ巻に比べ、軸方向に近い（例えば 5～70 度）角度で巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。
	ライナー	複合容器の内材。これに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻きつけ(FW)た後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。

### II-①-(2) : 「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	FW	Filament Winding の略。 ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻き付ける複合容器の製造方法。
	S-N 曲線	Stress - Number of Cycle 曲線の略。疲労試験を行った際に負荷応力振幅と破壊までの試験サイクル数をプロットした曲線。
	SSRT	Slow Strain Rate Test ( or Technique)の略。一般的には、ひずみ速度 $10^{-6}/s$ 程度での引張試験。
あ行	陰極チャージ法	試験片中に水素原子を導入する方法の一種で、溶液中に金属製の試験片を陰極として浸漬し、通電する。陽極は通常は白金。
か行	過流アレイ探傷	従来の過流探傷で使用しているコイルを多数配列したプローブを使用し、一度に広範囲の面を探傷する事が可能な探傷手法。 エンコード入力付の探傷器とスキャナーを使用する事で探傷結果を画像化し、欠陥の位置・大きさをマッピングする事が可能。
	高弾性 CFRP	引張弾性率 300～450GPa、引張強度 1800～1900MPa の CFRP。一般の CFRP は、引張弾性率 120～170GPa、引張強度 2400～3200MPa。
さ行	自緊処理	一般的にアルミライナー Type3 容器に用いられる処理。 製造後の容器に対してライナーが塑性域に入るまで圧力を加える。 ライナーに残留圧縮応力を発生させる事により、充てん時にかかる最大応力を小さく抑えることが可能となり、容器の長寿命化が計れる。
	シームレスパイプ	長手方向に溶接部を有しないパイプ。
	スチールライナ	複合容器の内部に設置される鋼製の容器。この周囲に CFRP を巻いて複合容器とする。
	設計係数	安全係数と同義語。 圧力容器においては破裂応力比（安全係数）で表される。 破裂応力比 = 最小破裂圧力 / 最高充填圧力
た行	特認	技術基準や省令に合致しない案件に関して、詳細基準事前評価・特定案件事前評価を受けて、認証を取得する場合の慣例的な呼び方。
は行	疲労き裂進展試験	疲労き裂の進展速度を測定する試験。
	疲労限	材料が一定応力振幅で疲労変形した際に、疲労破壊が生じない上限の応力振幅。
ら行	ライナ発生応力	複合容器のスチールライナに発生する応力

### II-①-(3) : 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
--	----	----

	用語	説明
英数	CAE	Computer Aided Engineering の略。製品の設計支援システムや設計した製品のモデルを使って強度や耐熱性などの特性を計算する解析システム。
	CAM	Computer Aided Manufacturing (コンピュータ支援製造) の略。製品の製造を行うために、CAD で作成された形状データを入力データとして、加工用の NC プログラム作成などの生産準備全般をコンピュータ上で行うためのシステム。
	CF の強度発現率	CF の繊維束強度がどれくらい実際の CFRP の強度に寄与したかという割合で、次の式で表される。 CF 強度発現率 = (CFRP 強度/繊維体積含有率) / CF の繊維束強度 * 100
	CF 幅変動係数	繊維束の幅の変動指標のこと。 FW 工程やタンクライナー上での幅の変化が少ないほど樹脂の付着量変化や巻き姿が良好となる。
	EPDM	Ethylene Propylene Diene Rubber (エチレン-プロピレン-ジエンゴム) の略。
	FEM	Finite Element Method (有限要素法) の略。複雑な形状・性質を持つ物体を小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測しようとするもの。構造力学や流体力学などの様々な分野で使用される。
	KHK	高圧ガス保安協会のこと。
	PE-HD	High Density Polyethylene (高密度ポリエチレン) の略。HDPE ともいう。
	S-N 曲線	材料がどれくらいの繰り返し応力に耐えられるか、どれくらいの回数を与えるとどれくらいの応力で破断するかを明らかにするために用いられる。縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰り返し負荷して破断するまでの繰り返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフ。
あ行	アロイ材料	樹脂に耐衝撃性や柔軟性などの付与し、高性能化させるため、2 種類以上の高分子材料を混合してできたもの。
	インジェクション分割成形	樹脂のインジェクション成形法は中空での一体成型が困難なため、高圧容器の様な中空部品を製作する場合にあらかじめ分割別体で成形したピースを溶着などにより一体化し中空部品を得るもの。本研究ではインジェクション成形品および押し出し成形品を熱板溶着により一体化した。
	エラストマ	ゴム弾性を有する工業用材料の総称。
	エンブラ	エンジニアリングプラスチックの略。耐熱性、機械的強度などの性能が汎用プラスチックより優れ、工業用部品として用いることが可能な高性能プラスチック。一般に耐熱性が 100℃ 以上あり、強度が 50MPa 以上、曲げ弾性率が 2.4GPa 以上あるものをいう。
	押し出し成形	可塑性・流動性ある樹脂材料を、スクリュー又はプランジャー方式を使用し脱気しながら先端金型に圧送し同一形状で押し出す成形方法。同一断面形状の連続量産に最も有利な成形方法。
か行	回転成形	粉末成形法のひとつで、熱可塑性の粉末樹脂材料を金型内に入れ、加熱炉の中で 360° 回転させながら、型の内面に材料を均等溶融させ、冷却固化して成型品を得る方法。小ロット、多品種を得意とし、大型製品や意匠性の高いものを中空一体で成形可能。
	口金	バルブを取りつける部分および FW 加工時にライナーを保持するための構造のこと。高圧容器の両端部または片端部に位置する。バルブはリングを介して口金シールする。タイプ 4 複合容器の場合はライナー本体と口金は別体構造となるため、バルブと口金のシール以外にライナー本体と口金のシール構造が必要となる。セルフシール、O リングシールなどがある。
	クリープ量	クリープとは、物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象のこと。クリープ量はクリープ変形による変位量をさす。
	結晶化度	樹脂固体の結晶領域と非晶領域との全体の中で、結晶領域が占める重量の割合を算出したもの。
	毛羽発生テンション	毛羽数を測定しながら繊維束を走行させ、同時に繊維束に加えるテンションを変化させた時、測定される毛羽数が急激に増加するテンションのこと。
	高開繊	繊維束が幅方向に広がりやすいこと。広がりやすいことにより、樹脂の含浸性向上等に効果がある。

	用語	説明
	硬化反応熱	エポキシ樹脂が硬化する時に硬化炉による加熱以外に主剤と硬化剤反応する際の発熱温度を言う。
さ行	サイズ剤	繊維へのマトリクスの含浸性や、繊維の取り扱い性（収束性）をコントロールするために、繊維に塗布される表面改質剤。
	擦過性	繊維が擦れた時、毛羽が立つことに対してどの程度強いかを表す度合。
	時間限度	疲労寿命を評価する上で S-N 曲線上の疲労限度に達しない応力振幅領域で、繰り返し回数を基準として算出した応力振幅許容値
	樹脂ライナー	樹脂材料にて主に構成されたライナー。 加圧時の荷重は分担せず、気体封止として機能する。 一部、バルブなどの接続部は口金と呼ばれる金属材料をインサートまたは機械結合で構成され、インジェクション成形法、回転成形法、ブロー成形法、押し出し成形法などで製作する。インジェクション成形法などは中空一体で成形困難なため分割されたものを溶着により中空にする。
	水素影響	本研究では、高圧水素がライナー樹脂材料に与える影響、主にプラスチック（水素が材料中に溶解し、材料中での溶解水素の発泡現象を生じる度合い）のことを表す。水素影響因子として、温度、減圧速度、ライナ成形方法などが挙げられる。
	水素飽和回数	ライナ材料に対する水素影響因子のひとつ。高圧水素環境下で長時間曝露することにより、水素が材料中に溶解し、溶解量はやがて飽和状態となる。その後、減圧を行い、溶解していた水素が材料中から放出される。この一通りの過程を水素飽和回数 1 回分と定義した。
	ストランド	フィラメントを数千～数万本束ねた繊維束のこと。トウとも言う。
	スピニング加工	アルミなどの金属ライナーを成形する際に用いられる製法。パイプ状の金属を回転させ、そこにローラーを押し付けて、成形を行う回転塑性加工の一つ。比較的板厚の薄い板を曲げる加工。
	スーパーエンブラ	エンブラよりさらに耐熱性、機械的特性に優れた高性能プラスチック。150℃以上の高温でも長時間使用できるものをいう。
	積層設計	異方性材料である CFRP を積層させて強度剛性を確保する際に層毎の巻き角度を変化させて、高圧容器の耐圧設計をすること。おもに高圧容器の胴部を強化するフープ巻き、高圧容器に長手方向の変位を抑制し、かつ鏡部を強化するヘリカル巻きなどがある。それぞれの巻きパターンを組み合わせることで最適な巻き厚みを FEM 解析などを用いて最適設計する。
	セルフシール	口金とライナー間のシールを確保するために O リングなどのシール部材を介さず、充填ガスの内圧によりライナーが口金に押圧される作用を利用しシールする方法。O リングなどの部材が省略できシンプルな構造にできるが、低圧側のシール性や温度変化による異材間線膨張差によるシール性確保が難しく各社ノウハウが必要となる。
	線膨張	熱による固体の長さの変化。温度をセ氏 1 度上げたときの物質の長さの増加する割合を、その物質の線膨張率という。
た行	タイプ 1 容器	金属のみで構成される圧力容器のこと。
	タイプ 3 複合容器	金属ライナーを耐圧部材として機能する CFRP で補強した複合圧力容器のこと。ライナーには主にアルミが用いられる。
	タイプ 4 複合容器	非金属（樹脂）ライナーを耐圧部材として機能する CFRP で補強した複合圧力容器のこと。
	多層材料	ライナーに使用する樹脂材料を異種材料を層状に組み合わせることにより、主にガスバリア性機能を付与させた複合樹脂材料を表す。
	炭素繊維(CF)	CF は Carbon Fiber の略。アクリル繊維またはピッチ（石油、石炭、コールタールなどの副生成物）を原料に高温で炭化して作った繊維。現状の複合容器にはアクリル系が使用される。
	炭素繊維強化プラスチック (CFRP)	CFRP は Carbon Fiber Reinforced Plastics の略。炭素繊維と樹脂の複合材料である。樹脂母材（マトリクス材）には主にエポキシ樹脂が用いられる。
は行	配向	高分子の固体物質中で、構成単位となる微結晶あるいは高分子鎖が一定方向に配列すること。分子配向。

	用語	説明
	汎用樹脂	一般の包装材料、雑貨、家庭用品など幅広い用途に使われる合成樹脂の総称。中でもポリエチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂、ポリスチレンが4大汎用樹脂と呼ばれる。
	フィラメントワインディング (FW)	FWはFilament Windingの略。ライナーに樹脂を含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
	フローフォーミング加工	アルミなどの金属ライナーを成形する際に用いられる製法。パイプ状の金属を回転させ、そこにローラーを押し付けて、成形を行う回転塑性加工の一つ。厚い板や塊に近い形状の金属を積極的に板厚を変化させる事によって様々な形に変化させる加工。
	分子量分布	合成高分子は、一般に分子量の異なった分子の集合体で幅広い分布を有する。物性面では通常、分子量分布が狭いことが望ましいが、加工の容易さからは分子量分布が広いことが有利になることも多い。
ま行	マイクロボイド	本研究ではライナー成形時に材料内部に発生するミクロンサイズの小さな気泡を言う。
や行	溶着	樹脂部品を接着する方法。成形された樹脂の接着したい部分を再加熱し溶融させた状態にしてから圧力をかけて接着する熱板溶着などがある。また加熱方法や圧着の方法により赤外線溶着法、レーザー溶着法、振動溶着法や回転溶着法などある。
ら行	ライナー	複合容器の内殻で、この内殻にエポキシ樹脂などを含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻回し、エポキシ樹脂などを加熱硬化させて複合容器とする。一般的に樹脂やアルミから成り容器に充填された気体を封止する機能を有する。

#### II-①-(4) : 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	G-Polymer	日本合成化学㈱が開発したビニルアルコール系樹脂材料
	CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics 炭素繊維にプラスチック材料を含浸した後、硬化させて成形した複合材料のこと。
あ行	アルミライナー	アルミニウム合金でできた肉厚の薄い容器。加圧時の荷重はあまり分担せず、ガスバリアとして機能する。
か行	回転成形	中空製品を生産する成形方法のひとつ。粉末状熱可塑性樹脂を金型に注入、回転させ、回転の遠心力で材料を金型の内面に付着させ成形する方法
	口金	バルブを取り付けるためのねじを有する金属
さ行	設計圧力	機器の強度計算で基準となる圧力 (= 許容圧力) 常用圧力 ≤ 設計圧力。
た行	多層成形	数種の特性的違ったプラスチック材料を2層、3層、5層というように重ね、壁面を形成する成形技術。
	蓄圧器	燃料電池自動車に水素を差圧充填するため、水素を貯蔵する容器。試験ステーションにおける蓄圧器の主な仕様は、常用圧力：8.2 MPa、容量：255 L（日本製鋼製）× 2本、100 L（高圧昭和製）× 2本、60 L（住金機工製）× 1本。
	継目なし容器	高圧ガスを充てんする金属容器のうち、溶接を用いずに製作する容器
は行	破裂圧力	破裂試験において容器が破裂する圧力。破裂圧力は最小破裂圧力（最高充てん圧力×225%以上、かつ、応力比2.25以上）以上とする。
	フィラメントワインディング成形 (FW成形)	ロービングに樹脂を含浸させながらテンションをかけ、型（マンドレル）に連続的に巻きつける製造方法。
	複合容器	ライナーを繊維（主に炭素繊維やガラス繊維）で巻付け、樹脂で固めることによって強化した容器。
	プラスチックライナー	複合圧力容器の最内層を構成するプラスチックの薄肉容器。加圧時の荷重は分担せず、ガスバリアとして機能する。
ら行	リアローデンポリエチレン	Linear Low Density Polyethylene（直鎖状低密度ポリエチレン）

## II-①-(5) : 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	Nm <sup>3</sup>	気体は純粋であっても温度と圧力によりその状態が変わる。 そこで、温度 0℃、圧力 1 気圧の状態を、「標準状態」とよぶ。 「Nm <sup>3</sup> 」の中で「N」とはこの標準状態であることを意味する。 「Nm <sup>3</sup> 」とは、この標準状態の気体が 1 立方メートル存在していることを意味する。
	Type 4 複合容器	プラスチックでできたライナー（殻）の外側全面にカーボン FRP（樹脂を含浸した炭素繊維）を巻付けて成形された高圧ガスの貯蔵容器。
あ行	移動式水素ステーション	トラックの荷台に水素充填装置を積むことにより、小スペースに比較的簡単に設置できる移動可能の水素ステーションとなる。燃料電池自動車の導入初期である現状において、需要地のニーズに合わせて柔軟な対応が可能というメリットがあり、設備・設置場所の法制度の遵守により安全・保安体制も確保可能となる。
か行	ガスブースター	ガスの流速の変化、流路・流量の組み合わせによってガスの圧力が変化するメカニズムを用いて、ガスの圧力を低圧から高圧へ高める装置である。装置の多段化により、出力ガス圧の限界が高められ、今日では圧縮機としての効率も高いものが現れるようになった。
	カードル	ガスを大量に供給するため、中型容器を多数集めて枠組み固定してつくられた集合貯蔵設備の一種である。さまざまな運送状況、使用状況に合わせて、容器の容量、本数、積層法が選定され、運送および使用の安全性確保が図られる。
	高圧バルブ	バルブとは（弁とは）、主に配管などの内部を通す空気やガスなどの気体、水や油などの液体、或いは粉体などの流体が通る空間の開閉や流体の制御及び調節などができる可動機構をもつ機器の総称のことをいいます。ここでは主として高圧ガス（圧力 1 MPa 以上のガス）の容器および制御機構に用いられるバルブを、総称する。
さ行	サイクル試験	試験体となる容器に、加圧・脱圧の繰り返しをかけたときの耐久性を調べる試験である。圧力変化の条件と耐久繰り返し回数との関係を調べる。 試験の目的によっては、圧力変化に加え、温度変化、環境条件の変化を重ねた時の耐久性を調べる試験もある。
	樹脂ライナー	容器の形をした樹脂で出来た「殻」である。この「殻」を「ライナー」と呼ぶ。 このライナーの外側全面にカーボン FRP（樹脂を含浸した炭素繊維）を巻付けて、軽量高強度の高圧ガス貯蔵容器が製作される。一般に CFRP 容器（繊維強化複合容器）と称する。
た行	蓄圧器	水素ステーションに設置され、水素を高圧で貯蔵する容器である。 これまで、クロム-モリブデン鋼で作られることが多かったが、容器の重量軽減のために、複合容器の使用が検討されている。
は行	破裂圧力	試験体となる容器に圧力をかけると膨張し、やがて圧力に耐え切れず破裂するに至る。この破裂するに至る圧力を「破裂圧力」とよぶ。 この破裂圧力がある限界値を下回らないように保証する限界値は「最小破裂圧力」といい、生産管理での基本指標の一つとされる。
	複合容器	「ライナー」と呼ばれる金属またはプラスチックでできた殻の外側に、樹脂を含浸させた炭素繊維（カーボン FRP）で強化して、耐圧性能を高めた高圧ガスの貯蔵容器である。 ライナーの種類と、カーボン FRP 巻付けの範囲により、次の様にタイプ分けされる。金属ライナーの容器円筒胴部分だけにカーボン FRP を巻付けたもの（フープラップ）を「Type 2」、金属ライナーの全面にカーボン FRP を巻付けたもの（フルラップ）を「Type 3」、プラスチック・ライナーの全面にカーボン FRP を巻付けたもの（フルラップ）を「Type 4」という。

## II-①-(6) : 「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」

	用語	説明
英数	CSA	Canadian Standards Association の略称。アメリカ、カナダの規格検定機関。ホースの北米規格を制定しており、ホース評価の実験設備を保有。



	用語	説明
	IPN 構造	Interpenetrating polymer network の略。 異種の架橋高分子網目が相互に侵入し合った網目構造を持つ混合物。
	ISO 19880-5	ISO にて制定予定の充填ホースに関する国際基準。
	JISB2401	JIS が規定する、O リングに関する規格。
	JPEC-S	一般財団法人 石油エネルギー技術センター (JPEC) が制定する民間自主基準。
	NREL	National Renewable Energy Laboratory の略称。アメリカの国立研究所。水素関係の研究を実施しており、ホース開発の国プロも実施している。
	O リング	溝に組み付けて単独またはバックアップリングとともに静的にまたは可動部分に用いられる円形断面をもった環状のゴムパッキン。
	Powertech Lab, Inc.	カナダの民間企業。ホース評価の実験設備を保有。
	TR10	一定伸長後低温で凍結させたゴムが、その後の温度上昇によって弾性回復し収縮する能力を測定する試験で、10%収縮した温度を表わす。JIS K 6261 で規定される。
あ行	圧縮永久ひずみ	ゴムの永久変形に関する特性のひとつで、試験片を一定温度で一定時間圧縮させた後に圧縮力を除いて一定時間静置後に残るひずみ。
	圧縮応力	ある面に対し垂直に押しあうように働く単位面積当たりの力。
	圧力保持試験	一般高圧ガス保安規則関係例示基準 49 号に記載された、設備点検に関する試験法。一定時間圧力が低下せず保持するかを確認する試験。
か行	加圧時内面層歪	無加圧状態時のホース内径に対する加圧状態時のホース内径の比率。 加圧時内面層比率 (%) = 加圧状態時のホース内径 (mm) / 無加圧状態時のホース内径 (mm) × 100
	拡散係数	拡散とは、粒子、熱などが自発的に散らばり広がる物理現象である。拡散係数とは拡散の早さを規定する物理量であり、拡散する粒子や熱の流れ (流束密度) は粒子の濃度や温度の勾配に比例し、その比例係数を拡散係数と呼ぶ。[L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> ]の次元を持つ。水素分子が金属あるいは樹脂、ゴム材料などの固体中に溶解あるいは脱離する過程において固体中の水素の拡散現象が問題となる。固体中の水素の拡散係数は高圧水素中に曝露された際に発生する破壊現象などに影響を与える。
	ガス透過曲線	ガス等透過挙動を時間とガス透過量の関係で示した曲線。
	可塑剤	熱可塑性樹脂材料に柔軟性を与えるため添加する添加剤を可塑剤と呼ぶ。主にフタル酸ジオクチルなどエステル系化合物が用いられる。
	カーボンブラック	着色剤、充てん材などの用途のため工業的に生産される炭素微粒子の総称である。粒径数 nm から 500nm 程度のもので生産されている。加硫ゴムの補強性充てん剤で黒色のゴムに用いられる。
	加硫	ゴムの原材料である生ゴムの分子鎖間の架橋反応を加硫と呼ぶ。加硫により弾性率や強度が向上する。分子鎖間の架橋反応のため硫黄を添加したことから加硫と呼ばれるが、ゴムの場合、過酸化化物による硫黄を用いない架橋反応についても加硫と呼ぶ。
	環境応力割れ	有機溶媒などの外部環境物質が存在する環境下で樹脂材料に応力が作用し歪みが発生する際、外部環境物質がない場合よりはるかに小さい歪みで破壊が発生する現象を環境応力割れと呼ぶ。
	極性基	極性を持った官能基 (あるいは原子団) を表す。主に有機化合物に対して用いられる表現である。例えば、NBR 中に含まれるアクリロニトリルのニトリル基は代表的な極性基である。
	クラック	き裂と同義語である。材料の降伏変形により発生した裂け目、ひび割れを表す。
	クレイズ	高分子材料特有の降伏変形現象であり、多数の微小な空隙が発生することによって破断面間に繊維状の構造が見られる状態を示す。繊維状の構造が切断されることによりクラックに進展することからクラックの前駆現象であると考えられる。

	用語	説明
	鋼線ブレード	ホースに耐圧性能および繰返し加圧耐久性能を付与することを目的とし、ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける鋼線の編組み。
	降伏点伸度	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
	降伏点強さ	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
さ行	サーマルブラック	加熱した炉の中で炭化水素計のガスなどを燃焼・分解することにより製造したカーボンブラックをサーマルブラックと呼ぶ。
	脂肪族系樹脂	ベンゼン環に代表される不飽和環状炭化水素基を持たない化合物を脂肪族系化合物と呼ぶ。不飽和環状炭化水素基を骨格に持たず、環状あるいは非環状の飽和炭化水素基を持つ樹脂材料を脂肪族系樹脂と呼ぶ。
	充てん材	フィラーと同義であり、樹脂やゴム材料などに、強度や各種性質を改良するため添加されるカーボンブラックやシリカなどのことを示す。
	充填プロトコル	安全で効率的に車両へ充填するための手順。停止圧力や充填速度、充填温度管理等を定めたもの。
	充てん率	Oリング溝体積に対するOリングの体積比率。
	常用圧力	その製造設備又は消費設備においてそれらが通常使用される状態での圧力（圧力が変動する場合は、その変動範囲のうちの最高の圧力）。
	シリカ	主成分として二酸化ケイ素（SiO <sub>2</sub> ）を含む物質の総称である。ここでは、主にケイ酸ナトリウムと硫酸の反応を用いた湿式法により製造されたシリカをゴムの充てん材として用いている。加硫ゴムの補強性充てん剤で黒色以外のゴムにも用いることができる。
	シランカップリング剤	シリカのゴムへの分散性を改善することで、シリカによる補強性の向上とゴムコンパウンドの加工性を改善する。
	水素インパルス試験	低温の水素ガスを用い、充填を模擬した圧力サイクル試験。
	水素ステーション普及初期	2015年のFCVの一般ユーザー普及開始以降、FCV・水素STの自立拡大が始まるまでの期間。燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）（2010年3月）資料によると、FCV・水素STの自立拡大開始を2025年目標としている。
	スキン層	射出成型の際に、冷却速度の違いにより金型面が先に冷えて発生する層。
	脆化温度	金属や樹脂材料などが塑性や延性を失う温度を脆化温度と呼ぶ。樹脂材料の脆化温度試験法はJIS K7216で定められている。
	脆性破壊	固体に力を作用させた場合、塑性変形を伴わず突然破壊する現象を脆性破壊と呼ぶ。ガラスやセラミックスなどで多く見られる破壊現象である。
	設計圧力	設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。
	接触圧力	接触面の法線方向に作用する圧力。
	繊維ブレード	ホースに耐圧性能および繰返し加圧耐久性能を付与することを目的とし、ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける繊維の編組み。 繊維を使用することにより、ホースの軽量・柔軟化が可能となる。
た行	耐圧耐久性能	設計圧力に対する耐久性。
	つぶし率	Oリング太さに対する溝組み付け時につぶした長さ比率。
	デュロA	一般ゴム（中硬さ）用硬度計であるA型デュロメータの略称である。デュロメータとは、被測定物の表面に圧子（針など）を押し込み変形させ、その変形量（押し込み深さ）を測定し、硬さを評価する装置である。押し込みの際、荷重を与える方法としてスプリングを用いる。デュロメータによるゴムの硬度測定はJIS K6253、ISO7619、ISO868、ASTM2240に準拠した方法である。
	動的弾性率	線形粘弾性体の単位立方体に正弦波のひずみを加えたときに生じる正弦波の応力を複素平面上的ベクトルとして表現した複素弾性率 $G^*(i\omega) = G_1 + iG_2$ の実数部分の弾性率 $G_1$ が動的弾性率である。
は行	バックアップリング	Oリングのはみ出しを防止するために用いられる樹脂製の部品。

	用語	説明
	反応型相溶化	化学反応等を利用して相溶性を発生する事。
	引張り強さ	材料を引張り、応力（荷重/断面積）を与えると材料が破断する。その破断するときの引張り強さ（N/mm <sup>2</sup> ）。
	比摩耗量	二つの物体間に働く摩擦による物体の体積または重量の減少量を摩耗量と呼び、単位すべり距離・単位荷重あたりの体積摩耗量を比摩耗量と呼ぶ。
	ファーンズブラック	炭化水素系の油やガスを高温ガス中で不完全燃焼させることにより製造したカーボンブラックをファーンズブラックと呼ぶ。
	プリスタ	ゴム内部に含まれている空気・ガス・水分などにより内部より生ずる膨れなどの破壊。
	ペイン効果	ゴム材において、動的弾性率は微小ひずみ下では一定値を示すが、大きなひずみになると内部構造の破壊を伴い動的弾性率が低下する現象で、特に充填剤配合ゴムで顕著になる。
	法改正（昇圧化）	一般高圧ガス保安規則関係例示基準 55 の 2 を改正することで充填圧力の上限を 70MPa から 82MPa への昇圧化が可能となる。
	芳香族系樹脂	ベンゼン環に代表される不飽和環状炭化水素基を持つ化合物を芳香族系化合物と呼ぶ。不飽和環状炭化水素基を骨格に有する樹脂材料を芳香族系樹脂と呼ぶ。
	ポリアミド	アミド基（-NH-CO-）を分子鎖中に持つ高分子の総称。ナイロンはポリアミドの一種であり、脂肪族ポリアミドをナイロンと呼ぶ。
	ポリマーアロイ	2 成分以上の高分子の混合あるいは化学結合により得られる多成分系高分子の総称。
	ホース曲率	ホース曲げ半径の逆数。
	ホース繰返し加圧耐久性評価	ホース内に-40℃水素ガスを流通し、短周期で試験圧力の加減圧を繰り返す。 特に、ホース内面層樹脂に対する水素ガス加減圧の影響（過去実証評価での内面層樹脂破損）を確認することを目的とする。
	ホース補強層構造	ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける繊維または鋼線の編組み。ホースとして要求される耐圧性能および繰返し加圧耐久性を付与することを目的とし施工する。 本開発目標性能は、以下の通り。 耐圧性能：耐圧高圧ガス保安法要求の 4 倍加圧（設計圧力×4） 繰返し加圧耐久性：6,600 回
	ホース曲げ R	ホースを車両に接続した際等のホースの曲げ半径。
ま行	摩擦係数	二つの物体の接触面に働く摩擦力と、接触面に垂直に作用する圧力（垂直抗力）との比を摩擦係数と呼ぶ。
や行	溶解拡散挙動	ガス透過がゴム高分子材料表面への溶解性とゴム内部での拡散性に依存するという考えに基づいた挙動。

## II-①-(7)：「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」

	用語	説明
英数	100Nm <sup>3</sup> /h 級水素製造装置	オンサイト型水素ステーションで水素製造能力が 100Nm <sup>3</sup> /h の装置。
	300Nm <sup>3</sup> /h 級水素製造装置	オンサイト型水素ステーションで水素製造能力が 300Nm <sup>3</sup> /h の装置。
	CO 転化器	水素製造工程を構成する反応器で、水蒸気改質反応後の一酸化炭素（CO）と蒸気（H <sub>2</sub> O）を触媒上で反応させて水素（H <sub>2</sub> ）と二酸化炭素（CO <sub>2</sub> ）に変換する。
	P&ID	Piping and instrumentation diagram の略称で、詳細プロセスフロー図の中には配管内容（配管サイズ、材質、規格等）や原料の流れ方向及び監視・制御する計器やバルブ等の詳細情報も記載する。

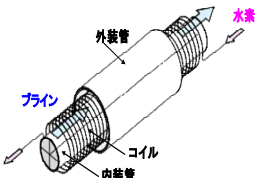
	用語	説明
	PSA 装置	Pressure Swing Adsorption の略称で、圧力変動吸着装置を言う。PSA 装置は、吸着剤のガスに対する 吸着特性の違いを利用して、加圧と減圧の操作を交互に繰り返しながら、目的とする ガスを連続的に分離・精製する。水素製造装置では改質ガスを水素純度：99.97%以上まで精製する。
あ行	オンサイト型水素ステーション	水素ステーションには、ステーションへの水素供給方法が重要となる。その方法として、水素ステーションの現場で液化石油ガス（LP ガス）や都市ガスから水素を製造する「オンサイト型」と、圧縮水素や液体水素を水素ステーションの外部からトレーラーなどで運び込む「オフサイト型」がある。
か行	改質反応管	改質触媒を充填した金属製の容器。主に高温での強度が高い遠心 casting 管が使われる。
	機器リスト	装置を構成する塔槽類、熱交換器類、回転機器類等全機器の仕様を把握するためにリストとして作成する。
	計装品リスト	装置を構成する流量計、温度計、圧力計等全計装品の仕様を把握するためにリストとして作成する。
さ行	水蒸気改質器	水蒸気改質器は、炭化水素系燃料と水蒸気（H <sub>2</sub> O）から水素（H <sub>2</sub> ）を生成する反応器。化学反応（吸熱反応）により炭化水素系燃料の組成や性質を変化させる操作のことを「改質」と呼ぶ。 本事業では予備改質部、水蒸気改質部、CO シフト部及び蒸気発生部を高度に組み合わせた複合型改質器を採用することで、装置を構成する機器類の基数を従来装置の 1/2 以下まで削減して大幅なコストダウンとコンパクト化を可能とする。
	水素製造能力	オンサイト型水素ステーションの水素製造装置では、水素製造能力が 100Nm <sup>3</sup> /h 級と 300Nm <sup>3</sup> /h 級が開発されている。
	蒸気発生器	水蒸気改質反応に必要な水蒸気を発生させるボイラー。
	製品水素純度	FCV に使用される水素の純度は、ISO（ISO14687-2：2012 年に国際規格発行）において 99.97%必要と規定されている。
た行	都市ガス昇圧機	都市ガスを原料とする水素製造装置には都市ガスを中圧（0.18MPaG 程度）から 1MPaG 未満まで昇圧する都市ガス昇圧機が搭載されている。
な行	熱交換器	水素製造装置では排熱を有効利用するために熱交換器を搭載して排熱回収を行う。
は行	配置図	装置を構成する塔槽類、熱交換器類、回転機器類等を配置した図面を作成し、架台計画、配管計画、電気計装計画等を行う。
ま行	メインスキッド	水素製造装置では装置を構成する塔槽類、熱交換器類、回転機器類等をメインスキッドと呼ばれるパッケージに収納する。純水装置等の補機類はサブスキッドに収納する。

## II-①-(8)：「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」

	用語	説明
あ行	アンロード弁	圧縮機の停止時に各段に保持された圧縮ガスを開放し、始動時のトルク負荷を低減する弁
か行	吸吐弁	容積変化する圧縮空間に装着し、ガスを吸入、吐出させる逆止弁
	吸入スナバートank	吸入側配管の圧力変動および吐出側からの戻りガスによる圧力上昇を抑えるための容器
	クランクケース	クランク軸を支持し、回転往復動変換機構を納める容器
	クランクシャフト	回転往復動変換機構において電動機の回転運動を偏心した中心軸の運動に変換する軸
	クロスヘッド	回転往復動変換機構のうち往復動側の部材
	コネクティングロッド	回転往復動変換機構においてクランクシャフトとピストンピンを連結する部材
さ行	シリンダー	内面をピストンが摺動し、容積変化を得る円筒状の部材
た行	ダイヤフラムキャピティ	ダイヤフラム板を収納し、作動油および圧縮ガスの圧力を保持する容器
	ダイヤフラム式圧縮機	薄い金属板の撓みを利用して容積変化を得る容積型圧縮機
	ダイヤフラム破損検知器	複数のダイヤフラム板で構成し一方のダイヤフラム板が破損した場合に漏洩する流体の圧力により破損を検知する装置
	ダイヤフラム板	作動油と圧縮ガスの界面を密閉する薄い金属板

	中間冷却器、後方冷却器	各段圧縮後のガス温度を下げる熱交換器
は行	ピストン	往復動で容積変化を得る部材
	ピストンピン	コネクティングロッドの小端部とクロスヘッドの間に装着し回転軸となる部材
	ピストンリング	ピストンとシリンダの気密を高める部材
	ピストンロッド	回転往復動変換機構とピストンを連結するロッド
	複合型高圧水素圧縮機	大容量低圧に適した無給油ピストン式と小容量高圧に適したダイヤフラム式を組み合わせた高圧水素圧縮機
	フライホイール	クランクシャフトの回転運動のトルク変動を吸収し、回転速度変動を押さえる慣性質量としての部材
ま行	無給油ピストン式圧縮機	往復動ピストンを用いた容積型圧縮機であり、圧縮部に潤滑油を使用しないもの
や行	油圧主プランジャー	往復動による容積変化でダイヤフラム板に撓みを与える油圧を発生させるプランジャー
	油圧調整弁	ダイヤフラムキャビティの圧力を調整するリリーフ弁
	油圧補助プランジャー	油圧主プランジャーに同期して作動油を定量流動させるプランジャー
ら行	ライダリング	ピストンに装着し往復動しながらピストンを支持する部材

## II-①-(9) : 「低コスト・プレクーラーの研究開発」

	用語	説明																																																																																																																																																																																																																																																											
英数	APRR	平均昇圧率																																																																																																																																																																																																																																																											
	JPEC—S0003(2014)	JPEC で作成した FCV への水素充填の基準となる充填プロトコル。SAE J-2601 を準拠して策定されている。																																																																																																																																																																																																																																																											
	SAE J-2601 充填プロトコル	<p>FCV への水素充填に関する米国規格。タンク圧力、外気温度により APRR を規定している。規定は下記表による。</p> <p style="text-align: center;">SAE INTERNATIONAL J2601 Revised JUL2014 Page 72 of 140</p> <p style="text-align: center;">TABLE D19 - H70-T40 4-7KG NON-COMMUNICATIONS</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">H70-T40 4-7kg non-comm</th> <th rowspan="3">APRR [MPa/min]</th> <th colspan="13">Target Pressure, P<sub>target</sub> [MPa]</th> </tr> <tr> <th colspan="13">Initial Tank Pressure, P<sub>0</sub> [MPa]</th> </tr> <tr> <th>0,5</th><th>2</th><th>5</th><th>10</th><th>15</th><th>20</th><th>30</th><th>40</th><th>50</th><th>60</th><th>70</th><th>&gt; 70</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="15">Ambient Temperature, T<sub>amb</sub> [°C]</td> <td>&gt; 50</td> <td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>5,1</td><td>77,8</td><td>77,6</td><td>77,3</td><td>76,9</td><td>76,6</td><td>76,2</td><td>75,7</td><td>75,3</td><td>74,7</td><td>73,9</td><td>72,8</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>8,1</td><td>76,3</td><td>77,2</td><td>76,9</td><td>76,5</td><td>76,4</td><td>76,2</td><td>75,6</td><td>75,3</td><td>74,7</td><td>73,9</td><td>72,7</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>11,5</td><td>73,2</td><td>75,6</td><td>76,8</td><td>76,3</td><td>76,4</td><td>76,2</td><td>75,6</td><td>75,3</td><td>74,6</td><td>73,9</td><td>72,7</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>12,4</td><td>72,9</td><td>75,3</td><td>76,4</td><td>76,0</td><td>76,1</td><td>75,9</td><td>75,3</td><td>75,1</td><td>74,5</td><td>73,8</td><td>72,7</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>15,3</td><td>70,6</td><td>73,9</td><td>75,8</td><td>75,2</td><td>75,4</td><td>75,1</td><td>74,3</td><td>74,1</td><td>73,3</td><td>72,4</td><td>71,3</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>18,5</td><td>68,0</td><td>72,8</td><td>75,1</td><td>74,5</td><td>74,7</td><td>74,3</td><td>73,3</td><td>73,0</td><td>72,0</td><td>71,1</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>21,8</td><td>67,9</td><td>72,1</td><td>74,5</td><td>73,7</td><td>74,0</td><td>73,4</td><td>72,2</td><td>71,9</td><td>70,7</td><td>69,7</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>28,0</td><td>66,3</td><td>71,1</td><td>74,1</td><td>73,2</td><td>72,4</td><td>71,6</td><td>70,9</td><td>69,6</td><td>68,4</td><td>66,9</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>28,5</td><td>74,0</td><td>73,4</td><td>72,4</td><td>70,6</td><td>70,7</td><td>69,6</td><td>68,6</td><td>67,1</td><td>65,7</td><td>64,0</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>-10</td> <td>28,5</td><td>73,4</td><td>72,9</td><td>71,9</td><td>70,0</td><td>70,0</td><td>68,4</td><td>66,5</td><td>64,4</td><td>62,9</td><td>61,2</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>-20</td> <td>28,5</td><td>72,9</td><td>72,3</td><td>71,3</td><td>71,0</td><td>69,5</td><td>68,0</td><td>65,7</td><td>62,4</td><td>60,0</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>-30</td> <td>28,5</td><td>72,1</td><td>71,6</td><td>70,6</td><td>70,4</td><td>69,0</td><td>67,4</td><td>65,2</td><td>61,8</td><td>58,7</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>-40</td> <td>28,5</td><td>71,6</td><td>71,1</td><td>70,2</td><td>70,0</td><td>68,5</td><td>66,9</td><td>64,8</td><td>61,5</td><td>58,5</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> <tr> <td>&lt; -40</td> <td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td><td>no fueling</td> </tr> </tbody> </table>	H70-T40 4-7kg non-comm	APRR [MPa/min]	Target Pressure, P <sub>target</sub> [MPa]													Initial Tank Pressure, P <sub>0</sub> [MPa]													0,5	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70	Ambient Temperature, T <sub>amb</sub> [°C]	> 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	50	5,1	77,8	77,6	77,3	76,9	76,6	76,2	75,7	75,3	74,7	73,9	72,8	no fueling	45	8,1	76,3	77,2	76,9	76,5	76,4	76,2	75,6	75,3	74,7	73,9	72,7	no fueling	40	11,5	73,2	75,6	76,8	76,3	76,4	76,2	75,6	75,3	74,6	73,9	72,7	no fueling	35	12,4	72,9	75,3	76,4	76,0	76,1	75,9	75,3	75,1	74,5	73,8	72,7	no fueling	30	15,3	70,6	73,9	75,8	75,2	75,4	75,1	74,3	74,1	73,3	72,4	71,3	no fueling	25	18,5	68,0	72,8	75,1	74,5	74,7	74,3	73,3	73,0	72,0	71,1	no fueling	no fueling	20	21,8	67,9	72,1	74,5	73,7	74,0	73,4	72,2	71,9	70,7	69,7	no fueling	no fueling	10	28,0	66,3	71,1	74,1	73,2	72,4	71,6	70,9	69,6	68,4	66,9	no fueling	no fueling	0	28,5	74,0	73,4	72,4	70,6	70,7	69,6	68,6	67,1	65,7	64,0	no fueling	no fueling	-10	28,5	73,4	72,9	71,9	70,0	70,0	68,4	66,5	64,4	62,9	61,2	no fueling	no fueling	-20	28,5	72,9	72,3	71,3	71,0	69,5	68,0	65,7	62,4	60,0	no fueling	no fueling	no fueling	-30	28,5	72,1	71,6	70,6	70,4	69,0	67,4	65,2	61,8	58,7	no fueling	no fueling	no fueling	-40	28,5	71,6	71,1	70,2	70,0	68,5	66,9	64,8	61,5	58,5	no fueling	no fueling	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
H70-T40 4-7kg non-comm	APRR [MPa/min]	Target Pressure, P <sub>target</sub> [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																											
		Initial Tank Pressure, P <sub>0</sub> [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																											
		0,5	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70																																																																																																																																																																																																																																																
Ambient Temperature, T <sub>amb</sub> [°C]	> 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																																																																																																																																																																																																																																															
	50	5,1	77,8	77,6	77,3	76,9	76,6	76,2	75,7	75,3	74,7	73,9	72,8	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	45	8,1	76,3	77,2	76,9	76,5	76,4	76,2	75,6	75,3	74,7	73,9	72,7	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	40	11,5	73,2	75,6	76,8	76,3	76,4	76,2	75,6	75,3	74,6	73,9	72,7	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	35	12,4	72,9	75,3	76,4	76,0	76,1	75,9	75,3	75,1	74,5	73,8	72,7	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	30	15,3	70,6	73,9	75,8	75,2	75,4	75,1	74,3	74,1	73,3	72,4	71,3	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	25	18,5	68,0	72,8	75,1	74,5	74,7	74,3	73,3	73,0	72,0	71,1	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	20	21,8	67,9	72,1	74,5	73,7	74,0	73,4	72,2	71,9	70,7	69,7	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	10	28,0	66,3	71,1	74,1	73,2	72,4	71,6	70,9	69,6	68,4	66,9	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	0	28,5	74,0	73,4	72,4	70,6	70,7	69,6	68,6	67,1	65,7	64,0	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	-10	28,5	73,4	72,9	71,9	70,0	70,0	68,4	66,5	64,4	62,9	61,2	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	-20	28,5	72,9	72,3	71,3	71,0	69,5	68,0	65,7	62,4	60,0	no fueling	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	-30	28,5	72,1	71,6	70,6	70,4	69,0	67,4	65,2	61,8	58,7	no fueling	no fueling	no fueling																																																																																																																																																																																																																																															
	-40	28,5	71,6	71,1	70,2	70,0	68,5	66,9	64,8	61,5	58,5	no fueling	no fueling	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																																																																																																																																																																																																																																															
か行	急速充填	FCV に常温の水素を 5gk/3min の速度で充填すると、温度上昇により、FCV 水素タンクの上限温度 85℃を超えてしまうので、超えないように、充填する水素ガスを-37℃±2℃に制御して充填する。																																																																																																																																																																																																																																																											
さ行	シェルアンドコイル型プレクーラー	<p>図のように、ブライン（熱媒体）が流れる二重管内に水素ガスが流れるコイル管を挿入した形の熱交換システム。</p> 																																																																																																																																																																																																																																																											

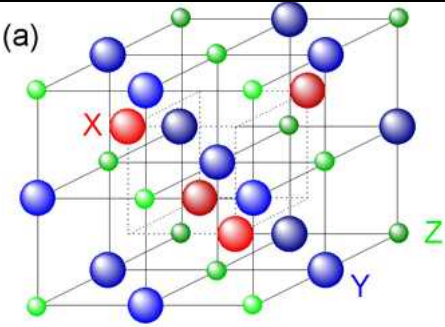
	用語	説明
た行	特定検査	「特定設備」とは、「高圧ガスの製造（製造に係る貯蔵を含む。）のための設備のうち、高圧ガスの爆発その他の災害の発生を防止するためには設計の検査、材料の品質の検査又は製造中の検査を行うことが特に必要なもの」（法第 56 条の 3 第 1 項）として定められた設備をいう。
	特定設備検査事前評価	容器保安規則、特定設備検査規則、一般高圧ガス保安規則等の省令で定められている規定に拠れないで機器の製作、高圧ガスの製造等を行おうとするときは、それらの規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可（大臣特認）を得てこれを適用することができる。
は行	ブライン	水素ガスを冷却する為に水素ガス配管に沿って循環する熱交換用の液媒体。

## II-②：「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」

	用語	説明
英数	A15 型金属間化合物	組成式 A3B で表される化合物で、立方晶構造をもつ。
	In-situ	真空中や特定のガス環境中で合成される材料を合成環境から大気開放すること無く、「合成環境内」という意味で利用している。主に大気中の酸素に影響を受けやすいナノ粒子を製造環境内で粒子経、PCT 特性評価を行う事を指す
	QCM/PCT	水晶振動子の電極表面に物質が付着するとその質量に応じて共振周波数が変動する性質を利用し極めて微量な質量変化を計測する質量センサーを用いて水素吸蔵・吸着質量変化特性 (P：圧力、C：吸蔵量、T：温度)を測定する方法
	X 線回折 (XRD)	一般に波長の決まった X 線を照射した場合、入射角と同じ角度・同じ波長で散乱することを回折現象という。この回折線から結晶構造の同定や構造の決定を行う。
	ZTC	ゼオライト鑄型炭素 (Zeolite Templated Carbon) のことであり、ゼオライトを鑄型にして合成した多孔質炭素である。ゼオライト由来の規則構造をもち、比表面積が最大で 4000 m <sup>2</sup> /g と非常に大きく、細孔がほぼマイクロ孔のみという特徴をもつ。
あ行	圧力－組成等温線 (PCT, PC 線図と表す場合もある)	金属－水素反応系は、水素平衡圧力と水素吸収量の関係を等温線として記述する。これより、最大水素吸収量や水素吸収・放出の可逆性、熱力学的安定性を知ることが出来る。
	ウルトラソフト擬ポテンシャル法	原子の核、内核電子をまとめてイオンとして扱う計算手法のひとつ。
	エンタルピー変化 (ΔH)	系の状態変化にともなう内部エネルギー変化から仕事量を差し引いた熱量 (エンタルピー) 変化。
	エッジサイト	炭素を構成しているグラフェンシート (炭素六角網面) の端の炭素原子を指す。炭素六角網面の内面に存在する炭素原子と比較するとエッジサイトの炭素原子は非常に反応性が高い。
	エネルギー分散型 X 線分光法 (EDX)	電子線照射により発生する特性 X 線を検出し、エネルギーで分光することによって、元素分析を行う手法である。多くの場合、SEM、TEM や STEM に付属している。とくに STEM と組み合わせた EDX では原子レベルのマッピングが可能である。
	オングストローム	10 <sup>-10</sup> m。原子間の距離を表現するために用いられる SI 補助単位
か行	化学吸着	吸着とは、物体の界面において濃度が周囲よりも増加する現象のことであり、たとえば固体表面で気体分子が引きつけられ濃縮されている現象をさす。その際に気体分子と固体表面とが化学的な強い結合をする場合を化学吸着という。
	希土類金属	定義は必ずしも一定しないが、ここでは周期律表上で Y および La～Lu の金属を言う。
	局所密度近似に密度勾配補正を施す	密度汎関数法において交換相関エネルギーを近似する方法のひとつ。
	空間群	結晶の対称性を記述・分類するための理論。

	用語	説明
	高圧容器システム	700 気圧 (70MPa) の充填圧力の水素高圧容器。現在、燃料電池自動車への水素搭載法として利用されている。
	高角散乱環状暗視野法 (HAADF)	上記の STEM で行われる手法で、細く絞った電子線を試料に走査させながら当て、透過電子のうち高角に散乱したものを環状の検出器で検出する。これにより重い元素ほど明るい STEM 像が得られる。
	交換相関エネルギー	電子間の多体量子効果に起因するエネルギー。
	格子振動	結晶中の原子が温度の効果により平衡格子点まわりに振動する現象。
	格子定数	結晶を形成する最小単位を結晶格子と呼び、その大きさを格子定数と言う
	固溶体	液体のように原子が規則性をもたず、ランダムに並んだ状態の固体
さ行	死蔵サイト	いったん水素を吸蔵してしまうと、数百℃以上に加熱し真空排気を行わないと水素を放出することができなくなるような水素吸蔵サイト。
	質量貯蔵密度	水素貯蔵材料中の水素の重量と材料全体の重さの比率。
	昇温脱離 (TPD)	炭素材料の分野においては、炭素表面にある含酸素官能基等の定性定量分析で使用される手法である。炭素材料を不活性雰囲気あるいは真空下で高温まで一定速度で昇温し、その際に脱離してくる CO <sub>2</sub> 、CO、H <sub>2</sub> O、H <sub>2</sub> 等を定量する。また、脱離温度から含酸素官能基の熱安定性が分かり、それより官能基の種類を推定できる。
	水素吸蔵サイト	結晶格子内の水素を吸蔵することが可能な場所で、水素吸蔵合金を構成している金属原子 4 個で作る 4 面体等である。
	水素貯蔵材料容器システム	水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム。高圧容器システムよりも、コンパクトで安価なシステムである。
	水素平衡圧力 (プルトー圧力と表す場合もある)	金属-水素反応系において、水素吸収・放出に伴って相変態が起こると、圧力-組成等温線上に圧力が一定となる領域が現れる。熱力学的には、この領域が現れる圧力が高いほど水素化合物の安定性が低い。水素貯蔵材料を水素供給源として考える場合、水素供給圧力はこのプルトー圧力によって支配される。
	水素誘起空孔	水素が金属に吸蔵される際に、生成する原子の隙間 (空孔)。
	水素ラジカル	水素原子のことである。水素原子は一つの不対電子をもっているので水素ラジカルとも呼ばれる。
	スピルオーバー	H <sub>2</sub> などの分子が担体上の金属粒子表面で解離吸着し、解離した原子が金属から担体上に流れ込む現象をいう。
	零点エネルギー	絶対零度における量子力学に起因する粒子の運動エネルギー。古典力学では運動エネルギーは零となる。
	線形応答計算	系に原子変位、一様電場などの摂動が加わった時、その摂動による系の状態変化を求める計算方法。
	走査透過電子顕微鏡 (STEM)	0.1 nm 以下程度まで細く絞った電子線を試料面上で走査させ、試料により透過散乱された電子線の強度で、試料中の原子位置を直接観察する電子顕微鏡である。
た行	第一原理計算	量子力学に基づく実験値や経験定数を参照しない計算方法。既存材料だけでなく、新規材料に対しても高精度予測が可能。
	第一原理分子動力学計算	分子動力学計算において、原子間のポテンシャルエネルギーを第一原理計算から求める方法。
	調和振動近似	系のエネルギーに対する原子振動の影響を振幅の 2 次項まで考慮する近似法。
	中性子回折法	中性子線を照射し、物質から散乱してくる中性子の強度と角度から結晶構造を調べる方法
	中性子散乱半径	中性子を照射した際に、原子から中性子が散乱してくる強度を長さの単位で示した数値
	中性子全散乱	中性子線を照射して得られる散漫散乱と回折を足し合わせたもの
	超多量空孔生成 (SAV)	水素が金属中に入る際に金属原子が押し出され原子によって埋められていない空間 (空孔) が生成する、そこに水素が複数個入る現象。中央大学の深井有教授によって提唱された現象。
	定圧定温アンサンブル	分子動力学計算において、系の圧力・温度を一定値に制御する手法。



	用語	説明
	テルミット法	金属アルミニウム Al を用いて金属酸化物から金属を取り出す方法。Al は酸化されて高温を発生しながら酸化物となり、金属酸化物は還元され金属となる。
	透過型電子顕微鏡 (TEM)	試料を透過した電子や散乱された電子を結像して拡大観察する電子顕微鏡である。
な行	ナノ粒子	ナノ粒子 (ナノリゅうし) は、物質をナノメートルのオーダー (1-100 ナノメートル) の粒子。比表面積が極めて大きいこと、量子サイズ効果によって特有の物性を示すことなど、一般的な大きさの固体 (バルク) の材料とは異なる事が各方面の研究で確認されている
	ナノクラスター	数個から数百個の原子・分子が集合した、数ナノメートル以下の大きさの超微粒子のことである。
は行	ハーフホイスター合金	 <p>図のような構造を有する三種の金属 XYZ が作る合金。熱電材料などに用いられる。</p>
	ハイブリッドタンク	高圧水素と水素貯蔵材料を用いて、水素を吸蔵するシステム。高圧水素よりも高い密度で水素貯蔵材料単独の容器よりも軽量なシステムとなる
	比表面積	ある物体について単位質量あたりの表面積または単位体積あたりの表面積のことをいう。
	微分型電気移動度分析器 (DMA)	電荷の分布は粒径ごとに異なり、ボルツマン分布に従う特性を利用し、粒子を荷電させ、その電気移動度を測定する事によりナノ粒子の粒径を測定する分析方法
	物理吸着	上記の吸着現象において、気体分子と固体表面とがファンデルワールス力で相互作用している場合を物理吸着という。物理吸着は比較的弱く、温度や圧力の制御で可逆的に吸脱着できる。
	プラズマ	気体を構成する分子が電離し、陽イオンと電子に別れて運動している状態であり、電離した気体に相当。工業的には、熱集中性が良い、アーク指向性が高い、スパッタが発生しない、電極消耗が少ない、ランニングコストが安価などの特徴を活かして、長時間高品質の溶接、自動溶接に利用される
	フーリエ変換	実変数の複素または実数値関数を別の同種の関数に写す変換。ここでは、中性子の散漫散乱を含む回折から原子間の相関 (原子間距離と周囲の原子数) を求める際に用いられる
	分子動力学計算	古典力学における運動方程式を解いて、有限温度下における粒子 (原子) の運動を解析する方法。
	ベーサル面	炭素を構成しているグラフェンシート (炭素六角網面) の表と裏の両面を指す。
	ヘテロ員環	ここでは六員環以外の五員環あるいは七員環を指している。
	ヘテロ原子	異原子であり、炭素と水素以外の原子を指す。
	放射線吸収微細構造解析 (XAFS)	X 線吸収スペクトル上で X 線の吸収端付近に見られる固有の構造。XAFS の解析によって X 線吸収原子の電子状態やその周辺構造 (隣接原子までの距離やその個数) などの情報を得ることができる
ま行	密度汎関数法	実験値や経験定数を参照しない第一原理計算手法のひとつ。物性物理・化学の分野で広く用いられている。
	メタロセン	5 員環であるシクロペンタジエニル環 ( $C_5H_5^-$ ) 2 個が平行に並び、その間に遷移金属イオンが入り込んだサンドイッチ構造の有機金属化合物の総称である。
	誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP-AES)	分析試料にプラズマのエネルギーを外部から与えると含有されている成分元素 (原子) が励起され、その原子が低いエネルギー準位に戻るときに放出される光を測定することで成分元素の種類と量を求める分析法である。特徴としては、多元素同時分析、逐次分析が可能であり、検量線の直線範囲が広いことがあげられる。

	用語	説明
ら行	立方晶	7つある結晶系の中で最も対称性が高いもの。基本格子軸の長さは全て等しく、軸間の角度は90°。
	リートベルト解析	粉末の微結晶へX線、中性子線などを照射した際の回折の様子から結晶構造を求める方法。オランダの化学者リートベルトによって開発された。
	量子効果	古典力学では説明できない粒子波動性により生じる効果。原子・分子のミクロスケールで顕著になる。

### II-③：「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」

	用語	説明
英数	CFD 解析	数値流体力学（Computational Fluid Dynamics）による解析のこと。
	SAE 国際規格	米国の自動車技術者団体である SAE が定める国際規格。
か行	計量法第 2 条に定める特定計量器化	計量器のうち、取引もしくは証明における計量に使用され、主として一般消費者の生活の用に供される計量器について、適正な計量の実施を確保するためにその構造または器差に係る基準を定める必要があるものとして政令で定める計量器のことを特定計量器という（法 2 条第 4 項）。
	高圧ガス保安法上の 7 条 3 ステーション	高圧の水素ステーションを市街地に建設するために定めた一般高圧ガス保安法一般則第 7 条の 3 に則った水素ステーション。
	高圧ガス保安室	経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室のこと。高圧ガスの取扱いについて、事業者の自主的な保安活動を尊重しつつ、高圧ガスの製造等の許可や、施設の完成時や定期的の検査を行うこと等により、技術基準適合状況を確認し、公共の安全を確保している。
	コネクタ規格（ISO17268, SAE J2600）	圧縮水素充填装置と燃料電池車に使用されるコネクタ、ノズル、レセプタクルの設計、試験に適用され、H11（ISO17268 のみ）、H25、H35HF（ISO17268 のみ）、H50（SAE J2600 のみ）、H70 の圧力クラスがある。
さ行	重量法	水素充填質量をはかりで計量して充填装置の表示と比較評価する方法。
	充填プロトコル（充填手順）	燃料電池自動車に安全かつ迅速に水素を充填するための技術基準。
	水素計量基準検討会	水素計量管理方法に関する当該研究開発に関して、開発実施者からの進捗報告と有識者や業界関係者からの意見を踏まえて、今後の開発方針を検討する会議。
た行	脱圧ロス量	水素ステーションのディスペンサー付属ノズル取り外しのため行われる、脱圧時の水素ロス量のことである。
	ディフューザーの角度	臨界ノズルの出口部のディフューザーの拡がり角度のこと。
	ディフューザーの長さ	臨界ノズルの出口部のディフューザーの長さのこと。
	トレーサビリティ	ここでは、「計量トレーサビリティ」を指す。国家標準又は国際標準で決められた標準に関連づけられ得る測定結果又は標準の値の性質のこと。
な行	ノズル上流側よどみ点	臨界ノズルの上流側流動場において、流れの速度がゼロになる点のこと。
	ノズルの曲率半径	臨界ノズルの入口部形状を表すパラメータのこと。
は行	不確かさ	測定の結果に付随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴付けるパラメータ。測定された結果がどの程度確かなのかを示す指標で、計量トレーサビリティが確保できていることを証明するもの。
ま行	マスターメーター法	トレーサビリティが確保された流量計であるマスターメーターを用いて、ディスペンサーの計量評価を行う方法のこと。
ら行	流出係数	臨界ノズルを実際に通過するときの質量流量と、臨界ノズルのスロート部の条件から計算される理論質量流量との比。
	流動場	流体の流れが生じている場所のこと。

臨界ノズル式標準流量計	ISO9300 で規定された臨界ノズルを組み込んだ流量計で、国立研究開発法人産業技術総合研究所の気体流量国家標準によって校正されたもの。
臨界背圧比	臨界ノズルを流れる質量流量が最大値に達したときの臨界ノズルスロートにおける静圧のよども店圧力に対する比のこと。

### 研究開発項目Ⅲ：水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発

#### Ⅲ-①-(1)：「水素ステーション高度安全・安心技術開発」

	用語	説明
英数	CNG スタンド	圧縮天然ガス（CNG）自動車に燃料として圧縮天然ガスを販売する事業所。
	FCCJ-TF	FCCJ は、'Fuel Cell Commercialization Conference of Japan'の略で燃料電池実用化推進協議会である。FCCJ の活動推進体制の中で、緊急性の高い特定課題に取り組むためにタスクフォース（TF）と呼ばれるプロジェクトチームが設置されている。
	FC-EXPO	水素・燃料電池の研究開発、製造等に必要ならゆる技術、部品・材料、装置、および燃料電池システムが一堂に出展する国際展示会。通常毎年 1 回、2 月下旬または 3 月上旬に東京で開催される。
	JHFC	「水素・燃料電池実証プロジェクト」の英名 Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project の略称。経済産業省のプロジェクトとして、第 1 期(JHFC1)：2002-2005 年度、第 2 期(JHFC2)：2006-2010 年度、第 3 期（JHFC3）：2011 年度-2013 年度に実施された。 JHFC1、JHFC2 では主に燃料電池自動車の本格的量産と普及の道筋を整えるため、各種原料からの水素製造方法、現実の使用条件下での燃料電池自動車の性能、環境特性、エネルギー総合効率や安全性などに関する基礎データを収集し、そのデータの共有化を進めるための研究・活動を行った。JHFC3 では水素を圧縮、貯蔵し、70 メガパスカルという高圧で燃料電池自動車やバスに充填する技術・社会実証を行うため、実証ステーションの運営を通じて 3 年間データを蓄積した。
	KHK 事事故例データベース	高圧ガス保安協会（KHK）が製作し、運営管理している高圧ガス関連事故情報データの一覧表。収集した高圧ガス関連の事故情報データを決まった形式で整理し、一般公開している。
	MPa	圧力の単位。35MPa（メガパスカル）は大気圧の約 350 倍、70MPa（メガパスカル）は大気圧の約 700 倍となる。
	OJT	'On-the-Job Training'の略。現場業務を通じた従業員教育のこと。
あ行	エネルギー源のベストミックス	エネルギー政策におけるエネルギー源の多様化の中でのベストな選択の比率。
	オフサイト水素ステーション	水素を外部から持ち込んで燃料電池自動車等へ供給する方式の水素ステーション。
	オンサイト水素ステーション	構内で原料から水素を作り出し燃料電池自動車等へ供給する方式の水素ステーション。
か行	カプラー	水素配管の接続・切り離しを簡単かつスピーディに行う継手。 ここでは、水素を充填する際に車と接続する機器のこと。
	危害予防規程	災害発生防止や災害が起きた場合において、事業者が行うべき保安活動について規定したもの。
	業界自主基準	各水素供給事業者が個別に作成する従業員教育・訓練マニュアルに必要な項目と内容を定めたもの。
さ行	社会受容性	水素及び燃料電池自動車、水素ステーション等が一般市民の理解を得て受け入れられること。
	商用水素ステーション	実証ではなく、営利を目的として燃料電池自動車等に水素を販売する事業所のこと。
	事象展開図	事故・トラブル事例の分析において、本質を容易に理解できるようにする為、事故に至るシナリオの流れを時系列で整理した図。
	水素圧縮機	車両タンクにできるだけたくさん水素を積めるよう水素を圧縮する装置。

	用語	説明												
	水素カードル	水素ガスを圧縮して充填した容器を束ね集合させたもの。オフサイト水素ステーションで、さらに圧力を上げて燃料電池自動車等に充填する。												
	水素供給インフラ	燃料電池自動車等に水素を充填するために必要な製造・輸送・貯蔵・充填等一式の設備。												
	水素ステーション集中管理システム	実証水素ステーションの水素の在庫状況や充填情報、稼働情報などのデータをトータルに管理するシステム。2010年より水素供給・利用技術研究組合（HySUT）が構築／運用管理している。												
	水素ステーショントレーニングセンター	人材育成を主目的として、車両の誘導／水素充填／水素ステーション設備の運転・点検・メンテナンス等、一連の水素ステーション運営業務を安全に遂行するのに必要な知識、経験を習得させる場所。												
	セーフティーデータベース	水素ステーションにおける事故、不具合等事例データの一覧表。 NEDO 事業の一環として、水素供給・利用技術研究組合（HySUT）が2014年度より製作／運営管理を行っている。現状 HySUT 組合員にて試運用中である。												
	先行整備水素ステーション	4大都市圏を中心に2015年度までに100箇所程度建設が予定される商用水素ステーション。												
た行	蓄圧器	水素ステーション内に設置される水素を蓄えるための容器。												
	ディスペンサー	水素ステーションの設備で、燃料電池自動車等に燃料として高圧水素ガスを供給する装置。筐体、ガス用流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填ノズル等で構成される。												
	電気化学式水素ポンプ	外部から電気エネルギーを加える事により水素を圧縮するポンプ。原理は電解質膜で隔てた電極に外部から電気エネルギーを加える事により水素イオンが電解質膜を移動し、水素を圧縮する。従来のレシプロ式圧縮機と比較して、高効率で水素を圧縮でき、機械的な可動部がないことから優れた耐久性や静音性も期待できる。												
	トラブル事例データベース	「セーフティーデータベース」と同義。												
な行	燃料電池自動車（FCV）	水素と酸素を化学反応させて電気をつくる「燃料電池」を搭載し、モーターで走行する電気自動車的一种。												
	ノズル	水素を車両に供給するための機器。水素を充填する際に車と接続する箇所ので、セルフ式ガソリンスタンドに例えると実際にドライバーが手にとって給油する部分。												
は行	バックカスティング	2025年頃の次世代水素ステーションの姿を想定し、将来どういった技術開発が必要となるかをブレインストーミングにより検討する手法。												
	ファーストレスポnder	水素ステーションでの事故、災害等発生時、現場に最初に到着し初期対応を行う緊急対応要員（主に消防警察等）。												
	フォアカスティング	これまでに収集した水素ステーションの事故・不具合等事例データの分析結果を基に2025年頃の次世代水素ステーションに必要な技術開発課題を抽出する手法。												
	プレクーラー	水素ステーションの設備の一つで、急速充填による車載タンク温度の上昇を防止するため、事前に水素を冷却する設備。熱交換器と冷凍機から構成される。												
	保安全管理項目	水素ステーション従業員が保安全管理業務を行うにあたって、留意すべき項目。												
	保安検査	高圧ガス保安法に基づいて、一定の期間（通常1年）ごとに水素ステーションが高圧ガス保安法で定める技術上の基準に適合しているかどうか確認を行うため実施する検査。												
ら行	ランク区分	水素ステーションで発生した事故、不具合等事例データについて、セーフティーデータベース上、AからEのいずれかに区分している。なお、ランクA、B、Cについては高圧ガス保安法上の事故に該当する。各ランク区分の定義は以下の通りである。 表. ランク区分 <table border="1" data-bbox="502 1832 1289 2063"> <thead> <tr> <th>ランク区分</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A,B,C</td> <td>事故（高圧ガス保安法上の分類）</td> </tr> <tr> <td>D1</td> <td>「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等</td> </tr> <tr> <td>D2</td> <td>「D1」以外の水素設備の故障</td> </tr> <tr> <td>D3</td> <td>「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>ヒヤリ・ハット</td> </tr> </tbody> </table>	ランク区分	定義	A,B,C	事故（高圧ガス保安法上の分類）	D1	「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等	D2	「D1」以外の水素設備の故障	D3	「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障	E	ヒヤリ・ハット
ランク区分	定義													
A,B,C	事故（高圧ガス保安法上の分類）													
D1	「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等													
D2	「D1」以外の水素設備の故障													
D3	「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障													
E	ヒヤリ・ハット													

	用語	説明
わ行	ワンストップポータル	水素エネルギーに関するあらゆる情報を包括したホームページのこと。

### Ⅲ-①-(2) : 「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」

	用語	説明
英数	0.2%耐力	引張試験で 0.2%の塑性ひずみが生じる応力。
	2G 溶接	管溶接の溶接姿勢の一種であり、横向き姿勢で溶接を行い、溶接中に管を回転させない。
	5G 溶接	管溶接の溶接姿勢の一種であり、管の軸がほぼ水平な管継手の姿勢で、溶接中に管を回転させない。
	δフェライト	鉄鋼材料の組織の一種であり、オーステナイト系ステンレス鋼を溶接すると形成される。少量のδフェライトは高温割れの防止に有効だが、多量のδフェライトは耐食性や切欠き靱性を低下させるだけでなく耐水素脆化特性を低下させる。
	Hall-Petch の関係	多結晶体の降伏応力と結晶粒径との間に成立する関係式。 $\sigma_Y = \sigma_0 + k_Y(1/\sqrt{d})$ ここで、 $\sigma_Y$ : 降伏応力、 $\sigma_0$ 、 $k_Y$ : 材料定数、 $d$ : 結晶粒径
	Ni 当量	あ Ni と同等の効果を表すオーステナイト生成元素 (C、Mn、Ni、N) の指数を表したもの。Ni 当量が大きいほどオーステナイトは安定となり耐水素脆化特性が向上すると考えられている。
あ行	アンダーカット	溶接の止端にそって母材が掘られて、溶接金属が満たされないで溝となって残ったもの。
	応力	物体内部の断面で単位面積あたりに作用する力
	応力拡大係数	き裂先端近傍の応力場の大きさを示す数値。
	オーステナイト	鉄鋼材料の組織の一種であり、723℃以上の高温で形成される。Ni や Mn を多く含むことで常温でも安定して存在する。面心立方格子構造 (FCC 構造) をしている。
か行	ガスタングステンアーク溶接	アーク溶接の一種であり、アークを発生させる電極にタングステンを使用したもの。
	結晶粒径	金属組織を構成する結晶粒の大きさ。
	結晶粒微細化強化	金属の強化機構の一種であり、結晶粒が微細であるほど強度が向上する。結晶粒径と強度の関係は Hall-Petch の関係によって説明される。
	固溶強化	金属の強化機構の一種であり、炭素や窒素といった原子が結晶中に固溶することで強度が向上する。
さ行	絞り	材料の延性を示す指標の一つであり、引張試験から求められる。計算式は以下である。 $\phi = (A_0 - A_f)/A_0$ ここで、 $A_0$ は試験部の初期断面積、 $A_f$ は破断後のくびれ部の最小断面積である。
	シールドガス	溶接中にアークと熔融金属を覆って、空気が溶接雰囲気内に侵入することを防ぐ目的で使用されるガス。
	水素脆化	材料中または雰囲気中に存在する水素が、金属材料の強度や延性といった機械的性質を低下させる現象。
	全姿勢溶接	下向き、横向き、立向き、上向き溶接全てを含む溶接。
た行	突合せ溶接	母材面の端部同士で接合され、両母材がほぼ同一面となるような溶接。
	低速度引張試験 (SSRT)	引張試験の一種であり、極めて遅い引張速度で行う試験。試験時間が長時間となるので水素脆化評価に適している。英名である Slow Strain Rate Testing を略して SSRT 試験とも呼ばれる。
	電子線マイクロアナライザ (EPMA)	電子線を対象物に照射することにより発生する特性 X 線の波長と強度から構成元素を分析する装置。
	デンドライト組織	熔融金属が凝固時に生じる金属組織で樹枝形状をしている。
な行	内圧疲労	高圧配管や高圧容器内の圧力変動によって生じる疲労。
	熱影響部	熱によって組織に変化が生じた部分のことで、溶接においては母材と溶接金属の中間部分に当たる。英名の Heat Affected Zone を略して HAZ とも呼ばれる。

	用語	説明
	ノンファイラー突合せ溶接	ファイラーを使用しない突合せ溶接
は行	配管圧力サイクル試験	配管内の媒体圧力を変動させることで行う疲労試験の一種。
	配管破裂試験	配管が破裂（破壊）するまで配管内の媒体圧力を上昇させる試験。バースト試験とも呼ばれる。
	配管引張試験	配管形状の試験片を用いた引張試験。
	バックシールドガス	溶接中、配管内に流すガスのことでビード表面の酸化を防止するとともにビード裏面が母材と同一面となるよう圧力を調整する。
	ひずみ	物体の単位寸法あたりの変形量。
	ひずみゲージ	ひずみを電気信号として出力する装置。ひずみを測定する箇所に貼り付けつことで使用する。
	ピッカース硬さ	硬さを表す尺度の一つであり、四角錐形状の圧子を試験体に押し込み、そのときにできるぼみ（圧痕）の面積から計算される。
	引張試験	材料の機械的性質を知る上で最も基本的な試験であり、試験片に単引張負荷をかけて応力とひずみの関係を取得する材料試験。
	引張強さ	引張試験力の最大値を初期断面積で除した値。
	疲労限度	材料に応力振幅を何回繰り返しても破断しない限界応力振幅。鉄鋼材料では、 $10^7$ 回繰り返しても破断しない応力振幅の最大値とする場合が多い。
	疲労破壊	一回の荷重負荷では破壊しない低い応力でも、繰り返し負荷することで生じる破壊現象。
	ファイラー	溶接材料のこと。
	平滑材	試験部に切欠きやき裂の無い試験片のこと。
ま行	マルテンサイト	鉄鋼材料の組織の一つであり、オーステナイトから急冷することで得られる。体心立方格子構造（BCC 構造）をしており、一般に水素脆化の影響を強く受ける。
や行	有限要素法（FEM）	対象となる物体を有限個の小さな要素に分割してモデル化し、要素全体では複雑な微分方程式を近似的に解く数値解析手法。
	溶接ガス	溶接に使用するガスのこと。本事業ではシールドガスとバックシールドガスのことを指す。
	溶接金属	溶接を施した際に溶接中に溶融して凝固した金属。
	溶接欠陥	変形、アンダーカット、割れ、ブローホール、溶け込み不良といった溶接部の性能、強度に悪影響を及ぼす欠陥。
	溶接材料	溶接金属を作るため、母材の溶融部に溶かして加えられる材料。
	溶接姿勢	溶接作業（本事業では自動溶接機のタングステン電極）と溶接部の位置関係のことであり、下向き溶接、横向き溶接、立向き溶接、下向き溶接の4種類がある。
	溶接入熱	アークから投入される単位長さ当たりの熱量。 $H = (E \cdot I / v) \times 60$ ここで、H：溶接入熱（J/mm）、E：アーク電圧（V）、I：溶接電流（A）、v：溶接速度（mm/min）
	溶接ビード	一回の溶接で形成される溶接金属。
	溶接部	溶接金属部と熱影響部を合わせた部分。
	溶接ヘッド	溶接機器の一部であり、溶接箇所に取り付けアークを発生させる。
	余盛り	溶接金属の一部であり、母材表面から見て盛り上がった部分。
ら行	ロードセル	荷重を電気信号に変換する装置。

### Ⅲ-①-(3)：「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」

	用語	説明
	CNGステーション	高圧天然ガス（Compressed Natural Gas：CNG）を燃料とする自動車に燃料となるCNGを供給するための施設。

	用語	説明
	C極	接地抵抗測定器やインパルス発生器を使用し測定をおこなう場合に設ける電流を流す為の補助接地極。
	C種接地	保安用接地のうち、300Vを超える低圧用鉄台及び金属製外箱に施される接地。
	D種接地	保安用接地のうち、300V以下の低圧用鉄台及び金属製外箱に施される接地。
	IEC規格	国際電気標準会議で制定される規格。
	P極	接地抵抗測定器やインパルス発生器を用いて測定をおこなう場合に設ける大地に誘起する電圧を感知する為の補助接地極。
	インパルス発生器	雷サージを人工的に発生させるための装置。
	環境係数( $C_E$ )	IEC規格で規定される、当該対象物に対して落雷の発生しやすさを評価する際の指数の一つで、対象物の周囲環境に依存するもの。落雷を遮蔽するものがない場合は大きく、高い建物等で囲まれた場合は小さくなる。
	キャノピー	ガソリンや水素などを自動車に充填する設備の上部にある屋根部分。
	収集面積( $A_E$ )	IEC規格で規定される、当該対象物に対して落雷の発生しやすさを評価する際の指数の一つで、建物の高さの3倍の水平投影面積。
	接地線	機器筐体等と接地極とを接続する導体。
	零電位線	接地抵抗測定やインパルス発生器を使用する場合に設ける電圧用の補助接地極とインパルス発生器間の導体。
	想定雷サージ数( $A_M$ )	当該対象物に1年間に生じる雷サージの数。
	想定落雷数( $N_D$ )	当該対象物に1年間に生じる落雷の数。
	ディスペンサー	燃料電池自動車に燃料となる高圧水素ガスを供給する装置で、筐体、ガス用流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
	爆発下限値	可燃性ガスの燃焼反応が連鎖的に伝播し、爆発を起こす濃度の下限値。水素の大気中における爆発下限値は4%。
	プレクーラー	燃料電池自動車に燃料となる水素ガスを短時間で高い圧力まで圧縮すると、燃料タンク内の温度が上昇し、タンク構成材料の許容温度85℃を超える危険性があることから、水素の充填時にタンク内の温度が85℃を超える事が無いよう、予め水素を冷却する設備で、熱交換器と冷凍機から構成される。
	ベントスタック	水素を大気中に安全に放出するための煙突状の設備。
	防爆バリア	電源線や信号線におけるエネルギーを安全なレベルに制限し、爆発の発生を防止する機器。
	雷害対策	落雷や雷サージから人体や機器を保護するための対策。
	雷サージ	雷電流によって抵抗結合、誘導結合及び静電結合によって生じる過渡的な電流や電圧。
	雷サージ侵入経路	電源線や信号・通信線など雷サージを建物や機器の内部へ引き込む導体の経路。
	雷保護システム	建築物等への落雷による物的損傷及び生物への傷害を低減するために使用するシステム全体。
	落雷密度( $N_G$ )	IEC規格で規定される、当該対象物に対して落雷の発生しやすさを評価する際の指数の一つで、対象物の位置を含む1km <sup>2</sup> 内に1年間に発生する落雷数。

### Ⅲ-①-(4) : 「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」

	用語	説明
英数	LTCC	低温同時焼成セラミックス (Low Temperature Co-fired Ceramics) の略称。主に積層セラミック基板の基材として利用され、耐熱性、耐湿性、高周波特性に優れることが特徴である。
	MEMS	Micro Electro Mechanical Systems (微小電気機械システム) の略称。ミクロンスケールの機構を有したセンサ・デバイスの総称であり、半導体製造技術を利用して製造され可動部や立体構造を有することが特徴である。



	用語	説明
	Q 値	品質係数 (Quality factor) の略称。振動の状態を表す無次元数であり、1 周期の間に系に蓄積されたエネルギーを系から散逸するエネルギーで除したもの。値が大きいほど振動の減衰が小さく、安定であることを意味する。電気分野においては、共振回路の共振ピークの鋭さを表す指標。
か行	ガス選択性	ガスセンサにおいて、測定対象ガス種以外のガスに対するセンサの反応性。対象ガスに対するセンサの感度と他のガスに対する感度の比で表される。
	環境補償	各種センサにおいて、温度や湿度など測定環境の変化による出力の変動を補正する機能のこと。
さ行	水晶振動子	水晶の圧電効果を利用して周波数安定性の高い発振が得られる受動部品の一つ。コンピュータやクォーツ時計のクロック源として利用される。
	接触燃焼式センサ	白金などの触媒を有し、触媒上での酸化反応における発熱を温度センサによって検出するセンサ。
た行	定置式ガス検知警報器	鉱山、工場、船舶などにおいて可燃性ガスの存在を検知し、警報を発する固定式のガス警報機。
は行	発振回路	一定周期のクロックや正弦波信号を作るための電子回路。RC 発振回路や LC 発振回路に対してセラミック発振子や水晶振動子を用いることで高い周波数安定性を得ることができる。
	ハンディー式ガス検知器	携帯形、或いはハンディー式ガス検知器とも呼ばれる。可燃性ガスの存在の有無、或いはその濃度を検知することができる可搬型のガスセンサ。設備の保守点検などに用いられる。

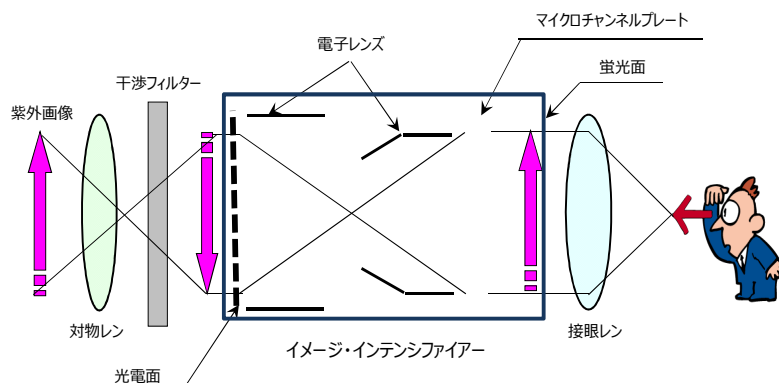
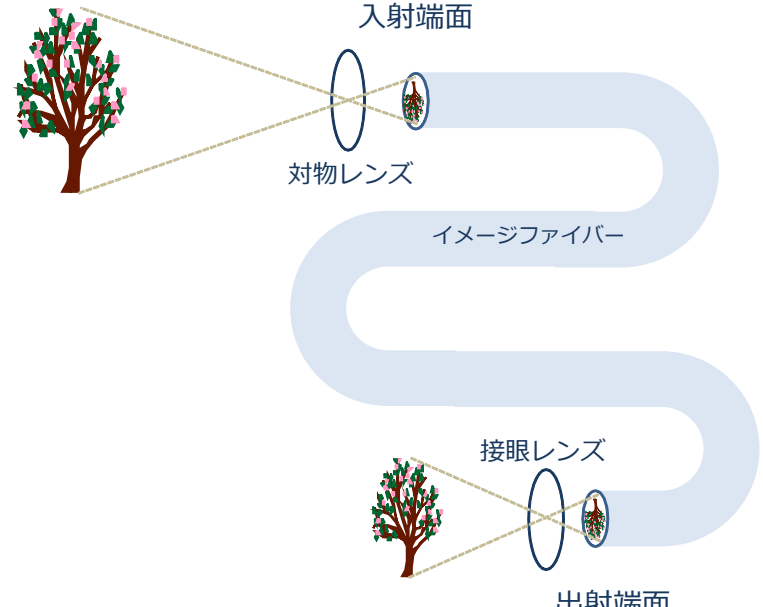
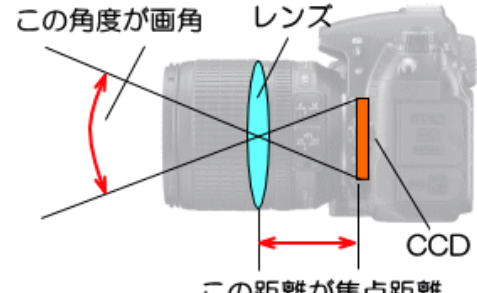
### Ⅲ-①-(5) : 「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」

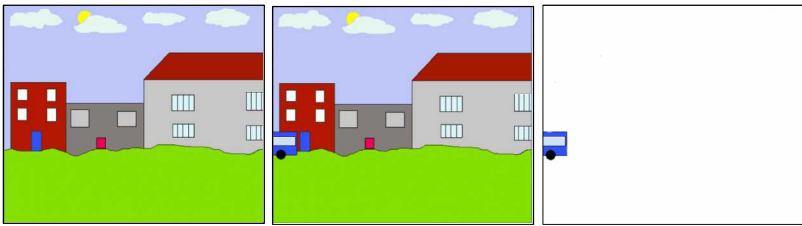
	用語	説明
	CARS 法 : コヒーレント反ストークスマン散乱法	物質にレーザ光とストークスマン散乱光を同時に照射することにより発生する測定対象分子の反ストークスマン散乱光を検出し、定量を行う手法。励起レーザ波長よりも短波長側に発生する反ストークスマン散乱光を検出するため、レーザ誘起蛍光の影響を受けることなく測定を行うことが可能である。通常のラマン散乱が分子密度に比例するのに対し、CARS の場合は分子密度の 2 乗に比例した信号が得られる。
	ICP-RIE	電極のない誘導放電によってプラズマを作りエッチングする手法。誘導結合放電プラズマ反応性イオンエッチング (Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching : ICP-RIE) と呼ばれ、ドライエッチングに分類される微細加工技術。高密度で微細なパターンのエッチングに有効である。
	MEMS (メムス)	Micro Electro Mechanical Systems の略であり、機械部品、センサ、アクチュエータ、電子回路等を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料基板などの上に集積化した、ミクロンオーダの構造をもつマイクロデバイス。
	Si (シリコン) 受光素子	PD(Photodiode)や APD(Avalanche photodiode)に代表される光半導体受光素子。紫外線から近赤外線に感度を有する。光電管等の検出器に比べ、一般に感度は劣るものの、長寿命・小型・低コストである。
	SI (ステップインデックス) マルチモードファイバ	コアとクラッドの屈折率が異なるマルチモード光ファイバ。長距離伝送には不向きであるが、高エネルギー耐性が比較的高く、低コストである。
	グレーティング回折効率分散	格子状等のパターンにより生じる光の回折を利用して、多波長の光が混在した光を波長毎に分ける光学素子。回折格子。グレーティングに入射する光のうち、特定次数の回折光に回折される光の割合を <b>回折効率</b> といい、グレーティングに異なる波長の光が入射した際の、回折角の変化を <b>分散</b> という。
	光電子増倍管	光電効果(物質の表面にある電子が光子のエネルギーを受けて物質から放出される現象)を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換する光電管に電流増幅機能を付加した高感度光検出器。フォトマルまたは PMT と呼ばれる。先端頂部へ光が入射するヘッドオン型と、側方から光が入射するサイドオン型に大別される。
	シリコンオプティカルベンチ : SiOB	マイクロマシニングにより Si 基板上に V 溝等のガイド構造が施されたデバイス。光ファイバやマイクロレンズ等の超小型光学部品の高精度集積配置に用いられる。

用語	説明
光スイッチ	光信号の光路切替えや分岐を電気信号へ変換せず、光のまま行うデバイス。
ファウンドリ	半導体チップや MEMS の生産受託を専門とする企業。
モノクロメータ	入射光をグレーティング等により波長分散させ、ある波長域の光のみを取り出す分光装置。
誘導ラマン散乱分光法	誘導ラマン散乱により発生したラマン散乱光を検出することにより分子種の特特定量を行う光学的計測手法。
ラマン散乱 後方ラマン散乱 ストークスラマン散乱 反ストークスラマン散乱 誘導ラマン散乱	<p>物質に光を照射すると、入射光の周波数と異なる周波数の光が散乱する現象。この周波数の差をラマンシフトと呼ぶ。ラマンシフトは分子の内部エネルギーレベルで決まるため分子毎に固有の値を示す。</p> <p>入射光に対し低周波数側にシフトした散乱を<b>ストークスラマン散乱</b>、高周波数側にシフトした散乱を<b>反ストークスラマン散乱</b>といい、励起レーザ光軸上における光源側への散乱を<b>後方ラマン散乱</b>という。</p> <p>ラマン散乱光は物質中においてランダムに生じるが、励起レーザ光強度がある閾値を超えると、誘導放出(励起された分子がエネルギーを放出する際に、外部から入射した光に誘導され、同じ波長、同じ方向、同じ位相で光を放出する現象)によりラマン散乱が促進され、急激に成長する。これを<b>誘導ラマン散乱</b>という。CARS 法において、ラマンセルから生じるストークス光の発生と、レーザ光とストークス光の照射による反ストークス光発生は誘導ラマン散乱によるものである。</p>
レーザ誘起蛍光	レーザの照射により励起された分子が、基底状態に遷移する際に放出される光。一般に、励起レーザ光に対し長波長側に生じ、ラマン散乱光と比較して高強度、長寿命である。
レーザラマン分光法	<p>光源にレーザを用い、物質を構成する分子から生じるラマン散乱光を検出することにより、分子種の特特定量を行う光学的計測手法。</p> <p>ラマン散乱光は、励起レーザ光と分子の内部エネルギーとの相互作用を経て生じる散乱光の一種であり、励起光と異なる波長に散乱する。励起光波長に対するラマン散乱光波長のシフト量は分子毎に特定の値を有し、散乱光強度は分子密度に比例するため、物質の同定と定量が可能である。</p>

### III-①-(6) : 「水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発」

用語	説明										
英数 CCD カメラ	光を電気信号に変換する電荷結合素子 (CCD) を利用したカメラ。CCD センサの表面にはフォトダイオード (光検出器として動作する半導体) が規則正しく高密度に配列されており、フォトダイオードの各々が画像を構成する一つの部分の光を電気信号に変換し、この画素単位の情報が集まって一枚の写真としての画像情報を構成する。										
InGaAs	<p>インジウム・ガリウム・ヒ素。光電素子に InGaAs を用いるフォトダイオードは、900~1700nm の波長帯域で優れた感度特性を有し、光通信や近赤外波長の光検出用途に適している。</p> <p>各種受光素子の感度帯</p> <table border="1"> <tr> <td>シリコン(Si)</td> <td>水銀カドミウム・テルル(HgCdTe)</td> </tr> <tr> <td>ガリウム・リン(GaP)</td> <td>インジウム・アンチモン (InSb)</td> </tr> <tr> <td>ガリウム・ヒ素リン (GaAsP)</td> <td>セレン化鉛(PbSe)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>硫化鉛(PbS)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>インジウム・ガリウム・ヒ素 (InGaAs)</td> </tr> </table> <p>波長 200 nm 400 nm 600 nm 800 nm 1 μm 2 μm 4 μm 6 μm 8 μm 10 μm 20 μm</p> <p>区分 紫外 (UV) 可視 (VIS) 赤外 (IR)</p>	シリコン(Si)	水銀カドミウム・テルル(HgCdTe)	ガリウム・リン(GaP)	インジウム・アンチモン (InSb)	ガリウム・ヒ素リン (GaAsP)	セレン化鉛(PbSe)		硫化鉛(PbS)		インジウム・ガリウム・ヒ素 (InGaAs)
シリコン(Si)	水銀カドミウム・テルル(HgCdTe)										
ガリウム・リン(GaP)	インジウム・アンチモン (InSb)										
ガリウム・ヒ素リン (GaAsP)	セレン化鉛(PbSe)										
	硫化鉛(PbS)										
	インジウム・ガリウム・ヒ素 (InGaAs)										
OH ラジカル	ヒドロキシ基 (水酸基) に対応するラジカルで、いわゆる活性酸素と呼ばれる分子種の中では最も反応性に富み、最も酸化力が強い。過酸化水素 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) に紫外線を照射することにより生成する。										

	用語	説明
あ行	イメージ・インテンシファイアー	<p>微弱な光やX線、粒子線などがつくる像の強度を増幅する装置（光電子増倍管）で、光電面上に増幅すべき像（可視光以外の像は蛍光物質によって可視光に変換）をつくり、光電面から放出される光電子を加速して電子レンズで蛍光面に結像させる。</p> 
	イメージファイバー	<p>画像伝送が可能なファイバーで、多数の光ファイバー素線を両端で正しく対応するように一本のファイバとして束ねたもの。片端から入射した画像をそのまま他端まで伝送することができる。</p> 
	遠赤外線	<p>可視光線の赤色より波長が長く、電波より波長の短い電磁波であり、波長ではおよそ0.7<math>\mu</math>m～1mmに亘って分布し、波長によって近赤外線（0.7～2.5<math>\mu</math>m）、中赤外線（2.5～4<math>\mu</math>m）、遠赤外線（4～1000<math>\mu</math>m）に分けられる。赤外線は大気に吸収され、その一部が地上に届く。水は遠赤外線よりも近赤外線を強く吸収する。</p>
か行	画角	<p>レンズが写す画像のうち、撮像素子に写る範囲を角度で表したもので、視野角とも言われる。</p> 
	画像処理	<p>カメラやスキャナーなどから得た画像を加工して、所要の画像情報を抽出する手法。</p>

	用語	説明
	近赤外光照射器付 侵入監視装置	例えば、近赤外の投光 LED と特殊 CCD から構成される。投光 LED から照射された光が対象物に反射して返ってくるまでの到達時間を画素ごとに計測する。画像情報と重ね合わせて対象画像と対象までの距離を画素ごとに出力することにより、3次元距離画像をリアルタイムに取得することができる。
	検漏液	ガス漏洩箇所を特定するために、試験体表面に塗布する界面活性剤などを含む溶液（発泡液）のこと。ガス漏洩を発泡現象で検出する。 簡易的には石鹼水などの家庭用洗剤で代替することが多いが、条件によっては発泡しないことがあるほか、試験体の材質によっては応力腐食割れなどの発生原因となる。 【参考】JIS Z 2329「ニッケル基金属、オーステナイト系ステンレス鋼、チタン合金などの試験体においては、低硫黄、低ハロゲン発泡液を使用することが望ましい。一般の家庭用洗剤は使用してはならない」
	光学バンドパスフィルタ	入射光のうち、所定の特定波長帯の光のみを透過し、それ以外の不要な光を透過しない光学素子。透過しない光を反射することにより光を二方向に分けることを目的とする素子を「ビームスプリタ」と呼ばれる。
さ行	撮像素子	レンズを通して入射した光を電気信号に変換する電子部品。光情報を記録可能な形式に変換するという点で、フィルム式カメラ（銀塩カメラ）のフィルムに相当する機能の一部を果たしている。撮像素子の表面には無数の受光素子が隙間なく並んでおり、レンズを通じて光を感じた受光素子は光を電気に変換する。撮像素子そのものはモノクロであり、原色フィルムや補色フィルムなどのカラーフィルタを通すことによって色彩を再現することができる。撮像素子の代表が CCD イメージセンサや CMOS イメージセンサ。
	差分	対象画像と事前取得しておいた画像を比較して、事前取得した画像には存在しない領域を抽出する画像処理。事前取得した画像を背景画像、背景画像に存在しない物体が占める領域を前景領域、それ以外を背景領域と呼ぶ。手法によっては、事前に複数枚の画像を取得して背景モデルを構築し、その背景モデルと新たに観測された画像の比較により前景領域と背景領域を分割する場合もある。  【背景画像】                      【対象画像】                      【差分画像】
	サーモカメラ	熱分布を画像として表示する装置の一般名称。物体表面から放出される赤外線を計測し、それを温度に変換する方法により熱の分布図を得る。
	紫外線	波長が 10 - 400nm の電磁波。赤外線が熱的な作用を及ぼすことが多いのに対し、紫外線は化学的な作用が著しい。火災検知器には紫外線が用いられる。物質は燃焼する際に特有のスペクトルを放出するが、ほとんどの物質は紫外線領域と赤外線領域両者に発光スペクトルを持つ。水素が燃える炎は 185-260 nm の範囲で強く、赤外線領域で弱く発光が存在する。一方、石炭の炎は非常に弱い紫外線と非常に強い赤外線の波長の光を放出する。このように火災検知器は、紫外線と赤外線両者の検知器を備えた方が、紫外線だけの検知器より信頼性が向上する。
	スペクトル	複雑な情報や信号をその成分に分解し、当該成分ごとの大小に従って配列したものであり、原子や分子がエネルギーの高い励起状態から低い状態へ遷移するときに放射する電磁波のスペクトルの総称が発光スペクトル。

	用語	説明																																																																
た行	ダイクロイックミラー	<p>特殊な光学素材を用いて作成された鏡の一種で、特定波長域の光を反射し、その他の波長域の光を透過するもので、近紫外線から近赤外線領域を対象とするものが存在する。多層光学機能反射鏡や二色鏡とも呼ばれる。誘電体コーティングを用いていることを強調する場合には、誘電体鏡、誘電体多層膜鏡などと呼ばれることがある。なお、プリズムを用いているものはダイクロイックプリズムと呼ばれる。</p> <p style="text-align: center;">【ダイクロイックミラー（2枚）による光の色分解】</p>																																																																
な行	二値化	<p>濃淡のある画像を白と黒の2階調に変換する処理。ある閾値を定めて、例えば、各要素ごとの値が閾値を上回っていれば「白」、下回っていれば「黒」に置き換える。</p> <table border="1" data-bbox="651 909 944 1200"> <tr><td>3</td><td>54</td><td>118</td><td>137</td><td>149</td><td>195</td><td>15</td><td>54</td></tr> <tr><td>75</td><td>149</td><td>15</td><td>0</td><td>75</td><td>49</td><td>124</td><td>34</td></tr> <tr><td>124</td><td>54</td><td>34</td><td>66</td><td>91</td><td>86</td><td>54</td><td>118</td></tr> <tr><td>151</td><td>66</td><td>137</td><td>86</td><td>49</td><td>100</td><td>26</td><td>214</td></tr> <tr><td>179</td><td>86</td><td>91</td><td>26</td><td>3</td><td>75</td><td>0</td><td>149</td></tr> <tr><td>100</td><td>0</td><td>34</td><td>179</td><td>151</td><td>91</td><td>54</td><td>100</td></tr> <tr><td>49</td><td>237</td><td>86</td><td>75</td><td>54</td><td>3</td><td>179</td><td>26</td></tr> <tr><td>66</td><td>15</td><td>151</td><td>118</td><td>137</td><td>124</td><td>49</td><td>86</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">【各画素の値】      【閾値 100、で二値化した画像】</p>	3	54	118	137	149	195	15	54	75	149	15	0	75	49	124	34	124	54	34	66	91	86	54	118	151	66	137	86	49	100	26	214	179	86	91	26	3	75	0	149	100	0	34	179	151	91	54	100	49	237	86	75	54	3	179	26	66	15	151	118	137	124	49	86
3	54	118	137	149	195	15	54																																																											
75	149	15	0	75	49	124	34																																																											
124	54	34	66	91	86	54	118																																																											
151	66	137	86	49	100	26	214																																																											
179	86	91	26	3	75	0	149																																																											
100	0	34	179	151	91	54	100																																																											
49	237	86	75	54	3	179	26																																																											
66	15	151	118	137	124	49	86																																																											
は行	輻射熱	<p>赤外線の熱線によって直接伝わる熱。高温の固体表面から低温の固体表面に、その間の空気その他の気体の存在に関係なく、直接電磁波の形で伝わる伝わり方を輻射といい、その熱を熱輻射という。太陽の自然な暖かさや、薪ストーブの熱なども輻射熱によるもの。</p>																																																																
	分光	<p>さまざまな波長が含まれている光を波長成分に分けること。プリズムは分光の一例であり、プリズム内の波長による屈折率の差を利用して光を分光する。波長が短くなるに従い屈折率が大きく、光が曲がる角度(屈折角)が大きくなる。この屈折角の差により分光する。</p>																																																																
	分光感度特性	<p>入射光の波長と光電流（光電感度）の関係。受光感度、量子効率などで表現する。受光感度とは、入射光量をワット（W）、光電流をアンペア（A）で表した時の両者の比率を指す。量子効率は、光電流として取り出される電子、あるいは正孔の数を入射光子数で除した値。</p>																																																																

	用語	説明																																	
	ホットミラー	<p>赤外線のみを反射させ、可視光線を透過させる多層膜を施した鏡で、遮熱に用いられる場合が多い。←→ コールドミラー</p> 																																	
	防爆	<p>国際標準用語の「Type of protection」と同意語であり、「防爆性能を構築する」との意味合いを有し、「電気機器の防爆構造」を指すものではない。つまり、可燃性ガス・蒸気の爆発性雰囲気</p> <p>の発生頻度と電機火花が点火源となる確率を極力小さくすること。</p> <p>[危険場所の種別] 爆発性雰囲気の存在する時間と頻度に応じて危険場所が3種類 (Zone 0、Zone 1、Zone 2) に分類される。</p> <p>[防爆構造の種類] ・本質安全防爆・耐圧防爆・内圧防爆・安全増防爆・油注防爆</p> <table border="1" data-bbox="635 873 1308 1097"> <thead> <tr> <th rowspan="2">危険箇所</th> <th colspan="5">防爆構造</th> <th rowspan="2">危険度 (大) ↑ ↓ (小) 危険度</th> </tr> <tr> <th>本質安全 防 爆</th> <th>耐圧防爆</th> <th>内圧防爆</th> <th>安全 増 防 爆</th> <th>油注防爆</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zone 0</td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zone 1</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zone 2</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	危険箇所	防爆構造					危険度 (大) ↑ ↓ (小) 危険度	本質安全 防 爆	耐圧防爆	内圧防爆	安全 増 防 爆	油注防爆	Zone 0	○						Zone 1	○	△	△				Zone 2	○	○	○	○	○	
危険箇所	防爆構造					危険度 (大) ↑ ↓ (小) 危険度																													
	本質安全 防 爆	耐圧防爆	内圧防爆	安全 増 防 爆	油注防爆																														
Zone 0	○																																		
Zone 1	○	△	△																																
Zone 2	○	○	○	○	○																														
ら行	ラジカル	<p>不対電子を有する原子や分子、或いはイオンを指す。通常、原子や分子の軌道電子は2個ずつ対になって存在し、安定な物質やイオンを形成するが、ここに熱や光などの形でエネルギーが加えられ、電子が励起されて移動したり、化学結合が二者に均一に解裂することにより、不対電子が生じ、ラジカルが発生する。反応性が高いため、生成すると直ぐに他の原子や分子との間で酸化・還元反応を起こして安定な分子やイオンとなる。</p>																																	

研究開発項目IV：CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

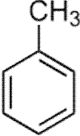
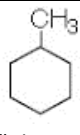
IV-①：「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

	用語	説明
英数	AFCIA	Advanced Fuel Cells Implementing Agreement（先端燃料電池実施協定）。1990年にIEA傘下に設置された燃料電池に関する研究交流組織。我が国からはNEDOが中心になり専門家を派遣して情報交換を行っている。
	CaFCP	California Fuel Cell Partnership。カリフォルニア燃料電池パートナーシップ。1999年にDaimlerChrysler（当時）、Ford、カリフォルニア州大気保全局（CARB）によるFCVデモンストレーションとして発足、その後GMや日本の自動車メーカーも参画し、世界最初の本格的燃料電池自動車デモンストレーションとなった。当初は2003年までであったが、燃料電池自動車の実用化目標が先に延びるにつれて、継続されてきた。実際の燃料電池自動車デモンストレーションは終了しているが、その活動は拡大し、教育・社会受容性プロジェクトや水素ステーションの基準標準活動も行っている。2012年には燃料電池自動車普及に備えた水素ステーションの整備に関するロードマップ（California Road Map）を発表した。現在のパートナーは、米国エネルギー省やカリフォルニア州エネルギー委員会（CEC）、世界の主要の自動車メーカーを含む37企業・団体。
	DOE	Department of Energy（米国エネルギー省）。水素燃料電池のプログラムは、エネルギー効率・再生可能エネルギー局（Office of Energy Efficiency & Renewable Energy：EERE）にあるFuel Cell Technology Officeが実施している。
	FCH JU	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking（欧州燃料電池水素共同実施機構）。欧州連合の多年度研究開発プログラム（フレームワークプログラム）のうち、水素燃料電池関係の公募・補助金管理・R&D政策を行う官民パートナーシップ（「共同技術イニシアティブ」ともいう）。従来は欧州委員会の研究総局（DG Research）が公募と助成を行っていたが、より企業ニーズをR&Dに反映させるために2008年に設置された（なおこのような官民パートナーシップが設置されたのは、水素・燃料電池分野を含め5分野のみである）。資金は研究総局の第7次フレームワークプログラムから拠出するものの、最高意思決定機関である欧州運営委員会の委員の半数以上が民間企業となっており、民間主導で助成が行われるようになってきている。2013年に終了し、2014年に後継組織であるFCH 2 JU（Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking）が2020年までの予定で設置されている。
	H2 Mobility	ドイツで2009年に、2016年以降の水素ステーション整備を検討する組織として結成された。我が国の自動車メーカーも参画。ビジネスプランやエリア分析を実施している。その後、この官民パートナーシップをモデルとして、英国にUK H2 Mobilityが、フランスでH2 Mobility Franceが発足した。
	H2igher Educational Rounds	IPHEが、運営委員会にあわせて現地の大学と連携して実施している教育ワークショップ。現地の大学生に、最新の水素・FCに関わる各国政策を提供している。
	HIA	Hydrogen Implementing Agreement（水素実施協定）。1977年にIEA傘下に設置された水素エネルギーに関する研究交流組織。我が国からはNEDOが中心になり専門家を派遣して情報交換を行っている。
	IEA	International Energy Agency（国際エネルギー機関）。第1次石油危機を契機にアメリカの呼びかけで設立された。エネルギー安全保障、気候変動政策、再生可能エネルギー技術開発を実施。加盟国は28。傘下に約40の実施協定（Implementing Agreement）が設置されIEA加盟国だけでなく非加盟国の研究者も参加して、特定の研究分野で国際協力・情報交換を実施。
	IEA水素・燃料電池ロードマップ	Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells。IEAは各分野の技術ロードマップを約20程度発行しているが、IEA水素・燃料電池ロードマップは2015年に発表された。NEDOは、2014年6月にアジアワークショップを開催したり、内容の精査を行った。



NOW	Nationale Organisation Wasserstoff-und Brennstoffzellentechnologie (ドイツ水素燃料電池機構)。ドイツの国家プロジェクトである水素・燃料電池技術革新プログラム (NIP) の実施とファンド管理 (公募)、政策提言のための機関。その後、電気自動車プログラムである National Development Plan Electromobility の実施も担当することになった。
Power-to-Gas	再生可能エネルギー由来の電力 (Power) で水電解し、水素やさらにメタンを生産する技術。ドイツが国家的に進めているほか、米国、カナダ、フランスなどでも研究を進めている。

#### IV-② : 「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究」

	用語	説明
か行	高温水蒸気型電解槽	水を電気分解して水素と酸素を発生させる装置 (水電解槽) のうち、高温水蒸気電解は固体酸化物形燃料電池 (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) の逆反応で電解する方法で、700-1,000℃の高温で作動させ、水電解に必要な電気エネルギーの一部を熱エネルギーで補い電力コストを低減させるタイプのもの。
	固体高分子型水電解槽	水を電気分解して水素と酸素を発生させる装置 (水電解槽) のうち、固体高分子形燃料電池 (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell) の逆反応で水電解する方法。電解質膜-電極接合体 (MEA: Membrane Electrode Assembly) を構成し、電解質と電極間のギャップが存在しないため電極間距離が非常に小さくなり、電極間のイオン抵抗が小さく高い電流密度で運転ができる。純水を用いることができるので腐食性の電解質溶液が不要となる。
た行	地域 PPS	PPS は Power Producer and Supplier の略で、電気事業法で特定規模電気事業者と規定される電気事業者のこと。新電力とも呼ばれる。自由化対象である「特定規模需要」の顧客に対し、一般電気事業者 (10 電力会社) の送電ネットワークを介して電気を供給する。地域 PPS は、地域の事業者・行政・市民等を中心とした出資で新しく PPS 事業を立ち上げ、その PPS に地域の電力を調達させ、再び地域に電力を供給するというもの。
	トルエン	 <p>沸点 110.6℃、融点-95.0℃。 消防法上は危険物 (第 4 類第 1 石油類) に分類される。</p>
は行	包蔵水力	水資源のうち、技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量のこと。
ま行	メチルシクロヘキサン	 <p>沸点 100.9℃、融点-126.6℃。MCH とも略記される。 消防法上は危険物 (第 4 類第 1 石油類) に分類される。</p>
や行	有機ハイドライド	有機化合物に水素を化学的に結合させたもの。水素を可逆的に放出する。

## 「水素利用技術研究開発事業」基本計画

新エネルギー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

「エネルギー基本計画」（2010年閣議決定）では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、2015年からの燃料電池自動車（FCV）の普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・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。また、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（2008年経済産業省策定）では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO<sub>2</sub>排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

## ②我が国の状況

これまで「燃料電池システム等実証研究」（2006～2010年度）、及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」（2011～2013年度）において、実証水素ステーション19箇所、FCV約140台を活用し、FCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性、環境負荷低減性能等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めた。また、水素ステーションの運用から得られた知見等を安全ハンドブックとしてまとめ、今後各水素ステーションに配布予定である。

一方、2010年7月には燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）によって、産業界の総意として、2015年にFCVの一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案された。さらに、2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。また、先行整備促進のため、設備導入に係る費用の補助を行う制度が経済産業省により2013年より開始されている。

今後、水素ステーションの設置や運用に係る規制見直し、初期・運用コストの削減を更に進めるとともに、商用水素ステーションの設置の一層の拡大に向け、社会受容性を高める観点からも、より一層の安全・安心を確保するための技術開発等の取り組みが不可欠である。

## ③世界の取り組み状況

欧米においても、国家レベルで基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みが行われ、さらに、我が国同様に2015年以降からのFCV及び水素供給インフラの一般普及を目指している等我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。

## ④本事業のねらい

2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FC

Vの普及展開及び国際競争力確保に資する。

## (2) 研究開発の目標

### ①アウトプット目標

F C V及び水素供給インフラ機器等の国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に係る研究開発等を行うとともに、近年追加された安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性確保のための要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を仕様で反映した上で、さらなる低コスト機器・システム等の実用化技術開発を行い、水素ステーションコスト・性能目標達成（下記参照）に向けた見通しを得る。

また2015年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用した、より安全に運用する運転管理方法やより安全且つ利便性の高い水素ステーションの部品・構成機器等の技術開発をするとともに、2025年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、F C Vの普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。

更に、将来、水素をCO<sub>2</sub>フリー化していくことを目指すシナリオを作成し、シナリオに沿った研究開発に繋げる。

### 『水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標』

#### <水素ステーション>

コスト2億円以下／システム [300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]。

水素充填30万回以上の耐久性を有すること。

水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分間以内。

#### <F C V用水素貯蔵システム>

水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下、かつF C V低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

以下に、各研究開発項目の最終目標、中間目標を記載する。

#### 研究開発項目 I :

「F C V及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」  
(委託事業)

#### 『最終目標』(平成29年度)

2010年12月28日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び2012年中に開催された規制・制度改革委員会グリーンWGにおいて検討対象として取りまとめられている新たな規制見直し検討項目(検討項目(案)一覧表No. 71～75。以下、「公知の規制見直し項目」という。)について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、F C Vにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。

『中間目標』(平成27年度)

新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

研究開発項目Ⅱ：

「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

(委託事業、共同研究事業 [負担率：1/2]、助成事業[負担率：1/2])

『最終目標』(平成29年度)

上記水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

『中間目標』(平成27年度)

- ・水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見直し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。
- ・水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。  
(容器質量を勘案してもシステムで6mass%を実現できる水素貯蔵能力、 $-30^{\circ}\text{C}$ のFCV起動に対応可能なこと、 $1000\text{NL}/\text{min}$ が必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等)

研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」(委託事業)

『最終目標』(平成29年度)

- ・より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

『中間目標』(平成27年度)

- ・2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- ・2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

研究開発項目Ⅳ：「CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」(委託事業)

『最終目標』(平成29年度)

「国際エネルギー機関 (IEA)」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ」(IPHE)における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

『中間目標』(平成27年度)

IEAやIPHEにおいて海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO<sub>2</sub>フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動

向調査や、CO<sub>2</sub>フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO<sub>2</sub>フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

## ②アウトカム目標

水素ステーションについては、2020年以降の整備コスト2億円以下の実現とそれによる水素ステーションの普及拡大を実現するとともに、FCVについては、2020～2030年頃の上述の性能を持つFCV用水素貯蔵システムを実現させ、このシステムを搭載することによるFCVの更なるコンパクト化、軽量化等を実現する。

また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

## ③アウトカム目標達成に向けての取り組み

研究開発項目（Ⅰ）で得られた規制見直し等の成果を研究開発項目（Ⅱ）の機器の技術開発に反映する等積極的に項目間連携を実施することにより、水素ステーションに係るコスト低減等を着実に図る。

また、研究開発項目（Ⅲ）で得られた運用管理手法について、水素ステーション事業者で共有し、水素ステーションに関する社会受容性を高める。

## （3）研究開発の内容

### 研究開発項目Ⅰ：

「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」（委託事業）

FCV及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、規制の適正化、国際基準調和、国際標準化に資する研究開発等を行う。水素ステーションに関しては、設置・運用等における規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法の確立等を実現させるための研究開発等を行う。FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を行う。

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

### （イ）水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発

水素供給インフラ市場の立上げ（2016～20年頃）及び普及拡大（2020年以降）を図るためには、水素ステーションを含めた水素供給インフラのコスト低減及び安全性向上に係る国内法規制の適正化が必要であり、特に市街地における水素ステーションの設置面積縮小や緊急時の安全確保等は早急な対応が必要である。

そのため、高圧ガス保安法等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を行う。具体的な研究開発項目は、公知の規制見直し項目に基づき決定する。

### （ロ）FCV及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大及び複合容器の基準整備等に関する研究開発

現状、高圧ガス保安法一般則の例示基準として使用が認められている鋼材は、成分比に制限のあるSUS材等の高価格鋼材に限定されていることから、クロムモリブデン鋼等の低価格鋼材の材料評価データを取得するとともに、その耐水素性に応じて使用する手法を確立するための検討を行う。また、低温となるプレクール設備や高温となる圧縮機で使用する鋼材について、使用温度領域での材料評価データが十分には取得できていないことか

ら、より広温度範囲の材料評価技術等を確立し、必要なデータを取得して使用するために必要な技術基準の整備につなげる。

加えて、FCV、水素ステーション及び圧縮水素輸送自動車等に用いられる複合容器に係る基準整備等のための研究開発を行う。

(ハ) 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発

水素供給インフラの整備に当たって、高純度水素燃料の適正かつ安価・簡便な品質管理を実施し、トラブルなく安定した品質の水素燃料をFCVに供給することが必要である。現状、実験的に水素の分析が実施されているが、器具、作業、分析装置等サンプリング・分析に要するコストは大きい。このため、商用化時の課題調査を行い、品質管理の方式等を検討するとともに、サンプリング方法・器具・容器、分析方法・機器等、品質管理手法を開発し、ISO14687等の国際標準への反映を行う。

(ニ) FCVへの水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発

FCVの普及拡大には、ガソリン車と同等に短時間で水素の充填が可能なが重要である。よって、より高い安全性を確保した上で、航続距離を損なうことなく急速充填を実現するため、充填中のFCV側のタンク温度を水素ステーション側からリアルタイムでモニターする通信充填や充填インターフェイス等の基準化に係る研究開発を行う。

(ホ) FCVの水素安全基準等の国際調和に関する研究開発

国際商品であるFCVの普及拡大には、UN/ECE/HFCV-gtr等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献でき、水素インフラに係る各種技術においても仕様標準化によるコスト低減は普及拡大のために極めて重要である。そのためFCVの水素安全基準等を国際的に調和させるための研究開発を行う。

研究開発項目Ⅱ：

「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

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

水素エネルギーの導入・普及のためには、機器単体及び要素技術レベルにおいて高性能化、軽量化、効率向上及びコスト低減が不可欠である。水素製造・輸送・貯蔵・充填の各機器並びにシステムとしての効率向上に繋がる技術について、ユーザーの立場を考慮した高性能化、コスト低減、長寿命化及びメンテナンス性向上のため、以下の研究開発を行う。また、FCVに関しては、水素貯蔵容器のコスト低減に向けて水素貯蔵材料の開発を行う。

本研究開発項目は、(1) 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業、又は(2) 試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、(1) については、上記以外のもの(※1)は、共同研究事業(NEDO 負担率：1/2)として実施する。

また、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発は、助成事業(NEDO 負担率：1/2)として実施する。

※1 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。

(イ) 水素ステーション用低コスト機器・システム及びその構成材料等に関する研究開発

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。このため、複合容器等高圧蓄圧器の大型化、コスト

ダウン等実用化に資する技術開発、高圧水素用ホース及び各種機器における樹脂・ゴム材料の開発等の実用化技術開発を行う。

(ロ) F C V用水素貯蔵材料に関する研究開発

F C Vの国際競争力を高めるためにはF C Vの低価格化が必要であり、特に水素貯蔵容器のコスト低減が強く求められている。このため、高性能かつ安価な新規水素貯蔵材料の開発を行うとともに、貯蔵材料を活用した低コスト水素貯蔵材料容器の実用化技術開発を行う。

(ハ) 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

一般消費者に水素を販売するためには、充填量を信頼できる方法で計量する必要があるが、現状、低コストで信頼性の高い高圧水素の計量基準が存在しない。このため、水素ガス流量計の測定精度を確認するとともに、流量計の精度管理を実現するための研究開発等を行う。

研究開発項目Ⅲ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」（委託事業）

2015年の普及初期開始期に向けて、一般ユーザーに安定したサービスを提供できるための運用技術の開発を実施する。

また、2025年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民の方々がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。具体的な目標設定については、実施項目毎に個別に行う。

更にこれら技術開発と並行して、ステークホルダーへの情報提供・コミュニケーションも含めたリスクマネジメントについての検討を行う。

本研究開発項目は、(1) 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業、又は(2) 試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。

(イ) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始初期に向けた水素ステーションの運用にあっては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。必要に応じて、業界自主基準となるガイドラインを策定する。

(ロ) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発（水素ステーションの高度モニタリング技術、セルフ充填・自動給ガス等のユーザー対応技術、雷対策等自然災害対応技術等）について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発（非破壊検査技術等）も含めて総合的に実施する。

なお実施にあっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行った上で、技術開発を実施する。



#### 研究開発項目Ⅳ：「CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究開発」(委託事業)

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO<sub>2</sub>フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO<sub>2</sub>フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO<sub>2</sub>フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進める。

本研究開発項目は、国際共同研究等に係る事業であり、原則、委託事業として実施する。

##### (イ) 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

I E Aの水素実施協定と先端燃料電池実施協定、I P H Eの活動等を通じ、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、収集した情報を発信する。重要な国際会議体等については、参加するだけに留まらずその活動を日本が主体的にリードする。

##### (ロ) 水素エネルギーの導入・普及・CO<sub>2</sub>フリー水素等に関する調査研究

水素エネルギーのCO<sub>2</sub>フリー化に向けて開発が必要な要素技術についてその技術動向を調査するとともに、有機ハイドライドや液体水素等水素の大量輸送キャリアに応じたケーススタディやフィージビリティスタディ等の調査研究を行い、各水素キャリアが導入できるケースを明らかにし、その実現に向けた課題を抽出してCO<sub>2</sub>フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

## 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、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又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。)から公募により実施者を選定して実施する。また、国立大学法人九州大学 水素エネルギー国際研究センター 教授 尾上 清明氏、国立大学法人九州大学 水素材料先端科学研究センター センター長 杉村 丈一氏をプロジェクトリーダー(PL)として設置し、目標達成に向けた助言及び実施者間の連携を行い、運営管理を強化する。

### (2) 研究開発の運営管理

経済産業省、PL、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、推進助言委員会等を設置し、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は平成25年度～平成29年度の5年間とする。

## 4. 評価に関する事項

N E D O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等について、外部有識者による中間評価を平成27年度に、事後評価を平成30年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

得られた研究開発の成果は、機構及び実施者ともに普及に努める。

#### ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

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

#### ③知的財産権の帰属

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

### (2) 基本計画の変更

研究開発の内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本研究開発は、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号二及び第三号に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

### (1) 平成25年2月制定

### (2) 平成26年2月研究開発項目Ⅱに助成事業を追加、研究開発項目Ⅲを追加

以上

研究テーマ名 水素利用技術研究開発事業

研究目的

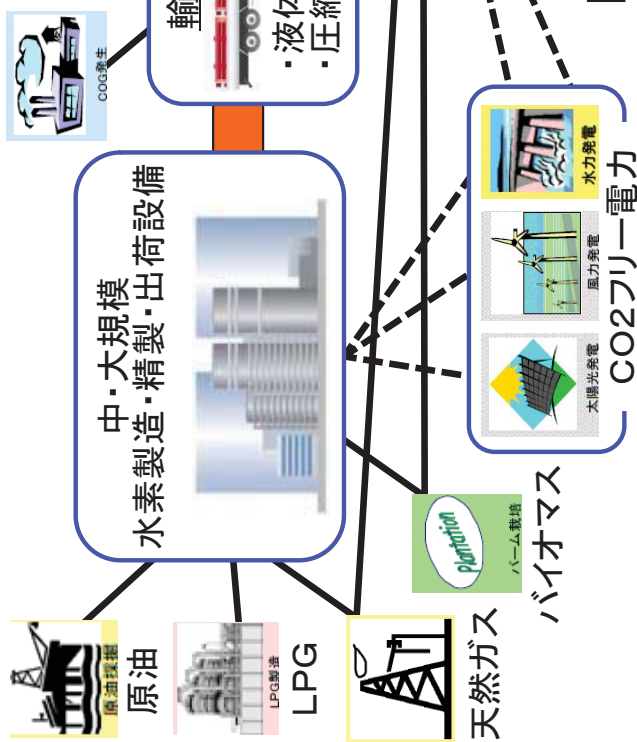
本事業では、2020年以降の燃料電池自動車(FCV)及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開、及び国際競争力確保に資する。  
また、サステイナブルな水素市場の構築に向け、政策・市場・研究開発動向調査を行い、水素のCO2フリー化に係るシナリオを構築して研究開発等に繋げることで、将来の水素のCO2フリー化とともに、エネルギーセキュリティの向上に資する。

プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間

事業費 20億円(平成25年度:想定)  
研究期間 平成25～平成29年度(5年間)

事業イメージ



【水素供給インフラのイメージ】

研究内容概略

- (Ⅰ)FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和等に関する研究開発  
水素ステーションの設置・運用等における国内規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法等の国際標準化の研究開発等を行う。また、FCVに関する国際基準調和、国内規制の適正化及び国際標準化の研究開発等を行う。
- (Ⅱ)FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発  
水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムのコスト低減、高性能化、長寿命化及びメンテナンス性向上のための研究開発を行う。また、FCV用水素燃料容器のコスト低減に向けた水素貯蔵材料の開発を行う。
- (Ⅲ)CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究  
国内外における政策・市場・研究開発動向の調査を行う。また、CO2フリー化に係るシナリオを構築し、シナリオに沿った研究開発等を進める。

研究開発の目標

- 水素ステーション コスト2億円以下/システム[300Nm3/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く(注1)、水素充填30万回以上の耐久性、水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分以内。  
(注1)近年追加された、安全確保に対する要求(通信充填、温度制御)や、事業性上の要求(直接充填、急速充填)によるコストアップ分を含む。
- FCV用水素貯蔵システム 水素5kg搭載時、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する。

## 事前評価書

	作成日	平成25年2月6日
1. プロジェクト名	水素利用技術研究開発事業	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要（予定）		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>燃料電池自動車（以下、FCV）及び水素供給インフラの自立拡大の早期実現と、FCV関連産業の競争力向上に向けて、水素ステーションの整備コスト、水素価格、FCV価格の低減に資する研究開発、国内規制適正化、国際標準化等への取組みを一層強化する必要がある。</p>		
2) 目的		
<p>本事業では、2020年以降のFCV及び水素ステーションの本格普及に必要な実用性の高い成果を生み出す研究開発を実施する。特に、FCV及び水素供給インフラの低コスト化に資する国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する。また、サステナブルな水素市場の構築に向け、政策・市場・研究開発動向調査を行い、水素のCO<sub>2</sub>フリー化に係るシナリオを構築して研究開発等に繋げることで、将来の水素のCO<sub>2</sub>フリー化とともに、エネルギーセキュリティの向上に資する。</p>		
3) 実施内容		
<p>本事業では、FCV及び水素供給インフラ機器等の国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に係る研究開発等を行うとともに、近年追加された安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性確保のための要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を仕様に反映した上で、さらなる低コストの機器・システム等の実用化技術開発を行い、水素ステーションコスト・性能目標達成（以下参照）に向けた見通しを得る。更に、将来、水素をCO<sub>2</sub>フリー化していくことを目指すシナリオを策定し、シナリオに沿った研究開発等に繋げる。</p>		
○水素ステーションのコスト・性能目標		
コスト2億円以下／システム [300Nm <sup>3</sup> /h規模の場合、水素製造装置		

及び土地取得価格を除く]。

○FCV用水素貯蔵システムのコスト・性能目標

質量貯蔵密度6mass%。容器体積100L/水素5kg、コスト30～50万円以下かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。

ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

本事業では、以下（Ⅰ）～（Ⅲ）の3項目を実施する。

（Ⅰ）FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発

FCV及び水素供給インフラのコスト低減や性能の目標達成に向け、規制の適正化、国際基準調和、国際標準化に資する研究開発等を行う。水素ステーションに関しては、設置・運用等における規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法の確立等を実現させるための研究開発等を行う。FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を行う。

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

2010年12月28日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び2012年中に開催された規制・制度改革委員会 グリーンWGにおいて検討対象として取りまとめられている新たな規制見直し検討項目（検討項目（案）一覧表No. 71～75。以下、「公知の規制見直し項目」という。）について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施する。

（Ⅱ）FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

水素エネルギーの導入・普及のためには、機器単体及び要素技術レベルにおいて高性能化、軽量化、効率向上及びコスト低減が不可欠である。水素製造、輸送、貯蔵及び充填の各機器並びにシステムとしての効率向上に繋がる技術について、ユーザーの立場を考慮した高性能化、コスト低減、長寿命化及びメン



テナンス性向上のため、以下の研究開発を行う。また、FCVに関しては、水素貯蔵容器のコスト低減に向けて水素貯蔵材料の開発を行う。

[中間目標（平成27年度（2015年度））]

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

水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。（容器質量を勘案してもシステムで6mass%を実現できる水素貯蔵能力、-30℃のFCV起動に対応可能なこと、1000NL/minが必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等）

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

上述した、水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

(Ⅲ) CO<sub>2</sub>フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO<sub>2</sub>フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO<sub>2</sub>フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO<sub>2</sub>フリー化実現に向けたシナリオを構築し、構築したシナリオに沿って研究開発等を進める。

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

「国際エネルギー機関（IEA）」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ」（IPHE）における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

また、水素エネルギーのCO<sub>2</sub>フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO<sub>2</sub>フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO<sub>2</sub>フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

(2) 事業費 約20億円（平成25年度想定）

(Ⅰ)：委託事業

(Ⅱ)：委託事業、共同研究事業 [負担率：1/2]

(Ⅲ)：委託事業

(3) 期間 平成25～29年度(5年間)

#### 4. 評価内容

##### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

###### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

「エネルギー基本計画」(2010年閣議決定)では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、2015年からのFCVの普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・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。また、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」(2008年経済産業省策定)では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO<sub>2</sub>排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

家庭用燃料電池の更なる普及拡大、産業用燃料電池の実用化、FCVの2015年の普及開始とその後の拡大に貢献するためには、技術開発、実証研究、基準・標準化の取り組みを長期展望の下、総合的に推進することが必要であるが、このような長期展望に基づいた総合的な取り組みは企業単独では実施困難なため、NEDOの関与が必要不可欠である。

2015年からのFCVの普及開始に最低限必要な100箇所の水素ステーションを先行整備する計画があるものの、FCVの本格的な普及に向けては、更なる水素ステーションの整備が必要であり、そのためには水素ステーションの更なる低コスト化、耐久性向上が必要不可欠である。FCVについても、世界的に2015年からの普及開始を目標に研究開発が進められており、市場の拡大とともに国内メーカーの競争力を確保するためには、低コスト化、耐久性向上が必要不可欠である。

これらを実現するためには水素ステーションの設置・運用等における規制適正化、FCVに係る国際標準化と規制適正化及び水素ステーションに係る国際標準化が必要不可欠であり、これら基準化・標準化のための研究開発には、極めて高い技術レベルと多大な開発ソースが必要となる。従って、本プロジェクトによるFCV及び水素供給インフラ研究開発に対する支援を継続しない場合、本格普及が大幅に遅れるリスクが大きい。さらに、FCV及び水素供給インフラについては欧米韓で精力的な研究開発と実証が行われているため、本プロジェクトを実施しない場合、現在の日本の技術的優位性の維持は困難と思われる。

###### 2) 目的の妥当性

2011年1月に自動車メーカー及び水素供給事業者13社がFCVの国内市場導入に向けて共同で取り組むことに合意して共同声明を公表し、



2015年に自動車会社がFCV量産車を販売することと、エネルギー事業者が4大都市圏を中心としてFCV量産車の販売台数の見通しに応じて必要な規模（100箇所程度）の水素ステーションを先行的に整備することを目指すことが示されたことから、FCV及び水素供給インフラの早期実用化と低コスト化が強く望まれている。

さらに、2021年以降のFCV・商用水素ステーションの自立拡大に向けては水素供給コストの大幅な低価格化が必須である。本プロジェクトの目標は世界最先端レベルであると同時に、「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」における2020年目標とも整合しており、適正である。

### (1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は国の政策等を踏まえた世界最先端の取り組みであり、本技術が実用化されれば、FCV産業・水素燃料利用産業の創出、我が国のエネルギーセキュリティ向上、国際競争力の強化等に大きく寄与することになり、位置付け・必要性は妥当と考えられる。

### (2) プロジェクトの運営マネジメントについて

#### 1) 成果目標の妥当性

本研究開発の最終目標は、民間の燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）による「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」における産業戦略である2015年のFCVの一般ユーザー普及開始までの技術課題の解決と規制見直しの推進及びその後の普及開始期における技術課題・規制見直しの継続実施と合致するものである。

水素ステーション設備コストの目標値（2億円以下／システム〔300Nm<sup>3</sup>/h規模、水素製造装置及び土地取得価格を除く〕等）と水素貯蔵システムの目標値（質量貯蔵密度6mass%、容器体積100L／水素5kg、コスト30～50万円以下等）は「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」に記載された2020年頃の普及初期の開発目標であり、ロードマップの開発目標との整合を取っており、戦略的な目標設定がなされている。

海外の政策・市場・研究開発動向の把握とこれらの情報発信、水素エネルギーの導入・普及及びCO<sub>2</sub>フリー化に向けた可能性調査と水素導入シナリオの作成等の最終目標は、固定価格買い取り制度で再生可能エネルギーが加速的に普及していること及び再生可能エネルギー由来の電力利用の要望が高まる中で、水素のサプライチェーンに対する期待と合致するものである。

#### 2) 実施計画の想定と妥当性

本事業は、世界に先駆けて70MPa水素ステーションの自律的整備の実現を目指す研究開発のため、過去に例が無く、新規のものであり、世界に確立された技術が無い。例えば、70MPa水素ステーションを建設するために必要な最大106MPaの超高压水素ガスを用いたデータ取得とその評価技術は世界に類が無く、調達不可能な技術であり、取り上げるべき最も重要な技術的課題である。100MPa（1000気圧）を超える高压水素ガスの物性評価技術・取得データや100MPaを超える高压水素ガス中における金属材料や高分子材料の評価技術・取得データを活用するとともに-40℃以下の極低温や120℃以上の高温での評価技術開発とデータ取得を実施する。また、「水素製造・貯蔵・輸送システム等技術開発」において蓄積された水素ステーション用の機器及びシステムについては「地域水素供給インフラ技術・社会実証」（平成23～27年度）の技術・社会実証研究において耐久性を検証することとし、本事業では水素ステーションの低コスト化に大きく資する研究開発への集中を図る。さらに、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」及び「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究」において蓄積された水素貯蔵材料技術については策定された技術開発戦略、開発計画、開発ロードマップに基づきFCVのコスト低減に向けた水素貯蔵材料を開発し、FCV用水素貯蔵材料容器の開発を進める。

2015年の普及開始を行うための事業化を阻害している国内法規制については、関係省庁（経済産業省、国土交通省、消防庁）間で調整のうえ作成された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目（2010年12月28日に原子力安全・保安院から公表）及び内閣府 規制・制度改革委員会 グリーンWGにおいて2013年1月の閣議決定を目指して審議されている「制度改革の検討項目（案）」の検討項目No. 71～75（2012年開催）の基準案等の作成に必要な実証データ収集等を実施し、科学的データに基づいた安全性の検証を行い、高压ガス保安法の省令改正等に必要な基準案等を民間の業界・団体に策定する。なお、基準案等の策定にあたっては民間の業界・団体の参画だけでなく、独立した第三者民間機関の参画を設定し、安全性の検証と基準案等の策定に対してその知見を活用し、早期の課題解決を図る。

### 3) 評価実施の想定と妥当性

研究開発項目（Ⅰ）（Ⅲ）では、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等について随時確認を行い、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、外部有識者による中

間評価を平成27年度(2015年度)に、事後評価を平成30年度(2018年度)に実施する。

研究開発項目(Ⅱ)では、前半3年間(平成25～27年度(2013～2015年度))、後半2年間(平成28～29年度(2016～2017年度))に分けて段階的に実施する。平成27年度(2015年度)に採用テーマごとの中間評価をスクリーニング的に行い、後半も継続するか否かを判断する。後半に進んだテーマに関しては、外部有識者による事後評価を平成30年度(2018年度)に実施する。

#### 4) 実施体制の想定と妥当性

高圧ガス保安法に定める使用可能鋼材の制約や複合容器の設計基準等の規制への対応については、実使用環境である100MPa(1000気圧)を超える高圧水素ガスに関する物性や材料特性の評価技術及び取得データが必要である。このため、この分野におけるトップランナーを実施体制に入れることを想定している。また、成果の受け取り手として自動車会社、石油会社、都市ガス会社、産業ガス会社等があり、これら全ての業界の企業・団体からの参画を想定している。

F C V及び水素供給インフラにおける国際標準化の取り組みにおいて、水素充填プロトコル、水素充填コネクタ、水素燃料仕様等について協調領域としてオープンにしている。一方、燃料電池セル・スタック、燃料電池～水素系のシステム化技術、システム制御技術等について競争領域としてクローズとしている。これによりF C V及び水素供給インフラの互換性確保を通じた利便性向上及び市場規模拡大が図れるだけでなく、性能及び安全性に関する評価基準による日本企業の優位性及び製品差別化が見込まれる。また、本事業では研究開発項目(Ⅰ)において、研究開発項目(Ⅱ)で実施を想定している実施者からのデータ提供等情報交換や委員会等への参画といった連携を想定している。これにより国内規制適正化における産業界の合意形成をスムーズに図ることができるとともに、研究開発成果の実用化を加速できる。

#### 5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

国際競争力確保と市場拡大に資する国際標準化活動のための要素技術の研究開発については、標準化項目に該当する部品のメーカーや関連サービスを提供する企業等が直接的受け取り手となり、水素供給事業者やF C Vメーカーが実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

水素供給インフラの建設・運営コストの削減に資する要素技術や規制合理化のための研究開発については、水素ステーションの建設を受注するエンジニアリング企業が直接的受け取り手となり、水素供給事業者が実用

化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

水素価格の低減に資する水素の輸送・貯蔵に係る要素技術や規制合理化のための研究開発については、水素輸送用トレーラーのメーカーや水素出荷設備を受注するエンジニアリング企業が直接的受け取り手となり、水素の製造・卸売りをを行う企業や水素の輸送業者が実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

F C Vの価格低減に資する水素貯蔵材料の研究開発については、貯蔵材料メーカーや貯蔵材料を用いたタンクシステムのメーカーが直接的受け取り手となり、F C Vメーカーが実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

## (2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画、予算等はF C V及び水素供給インフラの普及拡大に向けた取り組みとして妥当と考えられる。

## (3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

### 1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

F C V、商用水素ステーション、燃料水素、水素製造装置、水素輸送トレーラー等ように具体的な製品想定があり、成果の実用化・事業化可能性は明確である。

### 2) 成果の波及効果

F C V及び水素ステーションに関連する業種は多岐にわたることから、当該分野の新たな研究開発テーマの創出が期待できる。また、本事業にはこの分野におけるトップランナーであり、高圧水素に関する世界的研究拠点である九州大学水素エネルギー国際研究センターの参画を想定しており、若手研究者の積極的な登用も含め、人材育成面においても波及効果が期待できる。

関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できるとともに、技術の世界展開によるアウトカムは更に大きい。例えば、水素需給が広がるにつれて電力の効率的利用やエネルギーのクリーン化に対する要望が高まることから、水素キャリア利用や水素関連産業の広がりが期待できる。また、2011年の東日本大震災以降、昨今の防災意識の高まりは、F C V及び水素ステーションに対する非常電源としての期待度を増大させている。

## (3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

現時点で可能な限り市場等を明確に見通している。

「水素利用技術研究開発事業 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成25年2月14日  
NEDO 新エネルギー部

NEDOPOST3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございます。

1. パブリックコメント募集期間  
平成25年2月6日～平成25年2月12日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>  
計1件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
<p>全体について</p> <p>[意見1]（1件） 水素利用技術研究開発事業となっているが、開発の出口は水素ステーション、燃料電池自動車となっている。現段階での出口が燃料電池自動車であることは理解できるが、研究目的で記述されているサステイナブルな水素市場とは、自動車だけではなく、再生可能エネルギーの水素によるエネルギー貯蔵やスマートグリッドへの展開なども視野に入れる必要があると思われる。調査研究では、長期的な視野で出口を限定せずに、水素社会へのシナリオ作成をお願いしたい。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございます。 ご指摘の再生可能エネルギーの水素によるエネルギー貯蔵やスマートグリッドへの展開の観点は、非常に重要だと捉えています。本事業で採択する事業者とも問題意識を共有しつつ、調査研究を実施して参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] なし。</p>

以上



作成：平成26年2月

## プロジェクト名：水素利用技術研究開発事業

※当該プロジェクトへの追加を計画している新規テーマ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」について記載。

### 研究開発の目的

2015年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用し、より安全に運用する運転管理方法等を確立するとともに、2025年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、FCVの普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会必要性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

### プロジェクトの規模

- ・NEDO 予算総額 32.5億円(平成26年度)  
→内約2億円を追加新規テーマへ
- ・実施期間 平成26～29年度(4年間)

### 成果適用のイメージ

**水素ステーション**




**燃料電池自動車の本格普及に向け  
地域の方々に安心して受け入れられる必要**

### 研究開発の内容

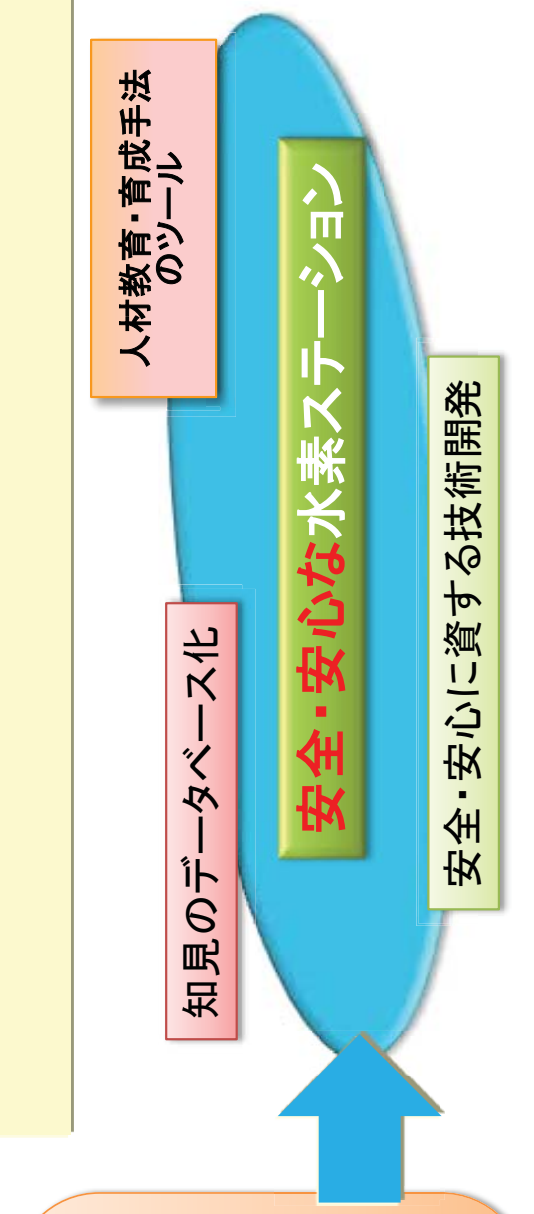
#### (イ) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。

#### (ロ) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コストで高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発(水素ステーションの高度モニタリング技術、セルフ充填・自動給ガス等のユーザー対応技術、雷対策等自然災害対応技術等)について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあつては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行った上で、技術開発を実施する。



## 事前評価書

	作成日	平成 26 年 2 月 14 日
1. プロジェクト名	水素利用技術研究開発事業 (水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発)	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要 (予定)		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>燃料電池自動車 (F C V) 及び水素供給インフラの自立拡大の早期実現と、F C V 関連産業の競争力向上に向けて、水素ステーションの整備コスト、水素価格及び F C V 価格の低減に資する研究開発、国内規制適正化、国際標準化等への取組みを一層強化する必要がある。一方で、普及拡大の段階においては、水素ステーションを安全に運用し、安心して利用できる仕組みを構築し、社会受容性を向上させる必要がある。</p>		
2) 目的		
<p>本事業では、2025年以降のF C V及び水素ステーションの本格普及に必要な実用性の高い成果を生み出す研究開発を実施する。特にF C V及び水素供給インフラの低コスト化に資する国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、F C V及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、F C Vの普及展開、及び国際競争力確保に資する。また、F C Vへの充填のみならず、非常時の電源供給、地域への避難拠点として機能するなど、様々な用途に利用できる次世代水素ステーションの調査・技術開発を行うことで、社会受容性の向上に資する。</p>		
3) 実施内容		
【研究開発の目標】		
<p>2015年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用した、より安全に運用する運転管理方法やより安全且つ利便性の高い水素ステーションの部品・構成機器等の技術開発をするとともに、2025年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、F C Vの普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。</p>		
【研究開発項目】		



### (Ⅲ) 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発

#### (イ) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始初期に向けた水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。必要に応じて、業界自主基準となるガイドラインを策定する。

#### (ロ) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発（水素ステーションの高度モニタリング技術、セルフ充填・自動給ガス等のユーザー対応技術、雷対策等自然災害対応技術等）について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発（非破壊検査技術等）も含めて総合的に実施する。

なお実施にあつては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行った上で、技術開発を実施する。

『中間目標』『最終目標』については、適宜追加修正を行う。

#### 『中間目標』（平成27年度）

- ・2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- ・2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

『最終目標』（平成29年度）

- ・より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

(2) 規模 事業費（需給）32.5億円（平成26年度予算）

（項目により委託、共同研究、助成）

研究開発項目Ⅲ：内約2億円

(3) 期間 平成26年度～29年度（4年間）

#### 4. 評価内容

##### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

###### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

「日本再興戦略」（2013年6月）において、「2015年の燃料電池自動車の市場投入に向けて、燃料電池自動車や水素インフラに係る規制を見直すとともに、水素ステーションの整備を支援することにより、世界最速の普及を目指す。」と記載されている。また、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の「エネルギー基本計画に対する意見」（2013年12月）には、「“水素社会”の実現に向けた取組の加速」という項目が掲げられ、「水素ステーションの整備を拡大していくことで、燃料電池自動車が日常生活でも利用できる環境を実現する」と記載されており、燃料電池・水素が注目されていることから、必要なプロジェクトとして位置付けられている。

###### 2) 目的の妥当性

2011年1月に自動車メーカー及び水素供給事業者13社がFCVの国内市場導入に向けて共同で取り組むことに合意して共同声明を発表し、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売することと、エネルギー事業者が4大都市圏を中心としてFCV量産車の販売台数の見通しに応じて必要な規模（100箇所程度）の水素ステーションを先行的に整備することを目指すことが示されている。

今後、水素ステーションの設置や運用に係る規制見直し、初期・運用コストの削減を更に進めるとともに、商用水素ステーションの設置の一層の拡大に向け、社会受容性を高める観点からも、より一層の安全・安心を確保するための技術開発等の取り組みが不可欠である。

## (2) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は国の政策等を踏まえたFCV産業・水素利用産業の創出、我が国のエネルギーセキュリティー向上、国際競争力の強化等に大きく寄与するものであり、位置付け・必要性は妥当と考えられる。

## (3) プロジェクトの運営マネジメントについて

### 1) 成果目標の妥当性

時期を2つに分け、目標を設定している。

『中間目標』（平成27年度）

- ・2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- ・2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

『最終目標』（平成29年度）

- ・より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

### 2) 実施計画の想定と妥当性

本事業は次世代の水素ステーションのあり方を目指す研究開発のため、過去に例が無く、新規のものであり、世界に類似技術が無い。特に社会受容性の安心性については明確な尺度を有していない。そのため、水素ステーションの運用・管理の観点から必要と考えられる要素技術を明確化する。

ステーションの運営については既にガソリンスタンド、CNGスタンドなどの先行例があるため、安全教育、情報共有などについて参照する。

また、さらなる安全・安心確保のため、水素の可視化技術等、技術開発項目を検討する。個々の技術開発項目の成果目標については、必要な技術開発の調査を実施した後、適切に設定する。

### 3) 評価実施の想定と妥当性

外部有識者による中間評価をFCVの一般ユーザーへの普及が開始する平

成27年度（2015年度）に合わせて行い、事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

#### 4) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

安心・安全な次世代水素供給設備のコンセプトを民間の安全経験者等によりソフト面、ハード面から検討する。

ソフト面では国内外の水素ステーションの運用事例の収集、分析を継続して行い、データベース構築することによって原因解析・究明と再発防止を図り、事故・トラブル発生時の緊急時ガイドラインを策定する。これらの運用データベースおよび緊急時ガイドラインについては、水素供給事業者が受け取り手となり、ステーション運営者が実用化・事業化のユーザーとなる。

ハード面ではステーションにおける水素漏洩の位置や事故状況を可視化する水素検知方法等を開発する。この水素検知器についてはメーカーや研究機関が受け取り手となり、ステーション運営者が実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

#### 6) 知財戦略の想定と妥当性

水素ガスは見えない、臭わない、爆発範囲が広く（4～74%）、炎が見えない等の性質を有しており、水素の検知技術、疑似可視化技術等が知的財産として考えられる。水素検知器自体のデバイス単体の開発については研究開発成果を上げた後の実用化、事業化を優位にするためにも特許を積極的に出願し権利化を推奨する。システムとしての安全性、安心性の向上につながる部分については、水素インフラの関係者間で研究開発成果を有効に使うため、安全性に関する評価におけるガイドラインの作成（国内）などによる基準化を進める。

### (2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画、予算等は燃料電池自動車及び水素供給インフラの普及拡大に向けた取り組みとして妥当と考えられる。

### (3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

#### 1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

2025年頃のFCV普及期に向けて、水素ステーション運営上の安全・安心として水素の『見える化』が基本的な必要課題となっている。また技術の信頼性、事故の種類や可能性のシステムに対する不安が社会受容性を低下させることも明らかとなっており、解決策として、センサシステムによる水

素の見える化、水素ステーション運用事例データベースや教育システムの確立などの方針を検討している。

これらにより、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

## 2) 成果の波及効果

本事業では水素供給事業者や水素ステーション運営者だけでなく大学や研究機関等の参画を想定しており、研究開発や人材育成面においても波及効果が期待できる。

## (3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

現時点で可能な限り市場等を明確に見通している。

「水素利用技術研究開発事業基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月28日  
NEDO  
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間  
平成26年2月27日～平成26年3月12日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞  
計0件

以上