

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」

事業原簿【公開】

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

- 目 次 -

概要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

- 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性…………… I-(1)
 - 1.1 NEDO が関与することの意義…………… I-(1)
 - 1.2 実施の効果（費用対効果）…………… I-(1)
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ…………… I-(2)

II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標…………… II-(1)
 - 1.1 研究開発項目Ⅰ：「システム技術開発」の目標…………… II-(1)
 - 1.2 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」の目標…………… II-(2)
 - 1.3 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」の目標…………… II-(8)
- 2. 事業の計画内容
 - 2.1 研究開発の内容…………… II-(15)
 - 2.1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」実施内容…………… II-(15)
 - 2.1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」実施内容…………… II-(16)
 - 2.1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」
実施内容…………… II-(21)
 - 2.2 研究開発の実施体制…………… II-(27)
 - 2.3 研究の運営管理…………… II-(31)
 - 2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性…………… II-(37)
- 3. 情勢変化への対応…………… II-(37)
- 4. 中間評価結果への対応…………… II-(39)
- 5. 評価に関する事項…………… II-(43)

III. 研究開発成果について

- 1. 事業全体の成果…………… III-(1)
 - 1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」…………… III-(1)
 - 1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」…………… III-(1)
 - 1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」…………… III-(2)
 - 1.4 事業全体の成果概要…………… III-(2)
 - 1.5 特許、論文、外部発表等の件数…………… III-(18)
- 2. 研究開発項目毎の成果…………… III-2.1
 - 2.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」…………… III-2.1
 - 2.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」…………… III-2.2
 - 2.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」…………… III-2.3

IV. 実用化、事業化の見通しについて

(実用化の見通しについて)

- 1. 実用化、事業化の見通しについて…………… IV-(1)
 - 1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」の実用化、事業化の見通しについて…………… IV-(2)
 - 1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」の実用化、事業化の見通しについて…………… IV-(2)
 - 1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」
の実用化等の見通しについて…………… IV-(3)

(添付資料)

添付ー1：イノベーションプログラム基本計画

添付ー2：プロジェクト基本計画

添付ー3：技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

添付ー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）

添付ー5：特許、論文、外部発表、受賞リスト

「研究開発テーマ毎の成果部」目次

2.1 研究開発項目Ⅰ：「システム技術開発」	Ⅲ-2.1
Ⅰ-1 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（実施体制： （財）石油エネルギー技術センター、東邦ガス（株）、トキコテクノ（株）、日立オートモティ ブシステムズ（株）、大陽日酸（株）、横浜ゴム（株）、（国）佐賀大学）	Ⅲ2.1-1-1(0)
Ⅰ-2 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発（実施体制：日本重化学工業 （株）、サムテック（株）、（独）産業技術総合研究所）	Ⅲ2.1-2(0)
2.2 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」	Ⅲ-2.2
Ⅱ-1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発（実施体制：東京ガス（株）、 日本特殊陶業（株））	Ⅲ2.2-1(0)
Ⅱ-2 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発 （実施体制：三菱化工機（株））	Ⅲ2.2-2(0)
Ⅱ-3 CO ₂ 膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発（実施体制：（株）ルネサンス・ エナジー・リサーチ、（国）神戸大学、（国）京都大学、（独）産業技術総合研究所、（株）ミクニ）	Ⅲ2.2-3(0)
Ⅱ-4 ホウ素系水素貯蔵材料の開発（実施体制：（株）豊田中央研究所、（国）東北大学）	Ⅲ2.2-4(0)
Ⅱ-5 ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発（実施体制：日本重化学工業（株））	Ⅲ2.2-5(0)
Ⅱ-6 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発（実施体制：（株）タツノ）	Ⅲ2.2-6(0)
Ⅱ-7 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（実施体制：JX日鉱日石 エネルギー（株）、サムテック（株））	Ⅲ2.2-7(0)
Ⅱ-8 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発（実施体制： （財）石油エネルギー技術センター、（株）キッツ、アズビル（株）、（財）金属系材料研究開発 センター、（株）日本製鋼所）	Ⅲ2.2-8(0)
Ⅱ-9 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発（実施体制：清水建設（株）、岩谷産業（株））	Ⅲ2.2-9(0)
Ⅱ-10 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発（実施体制：（株）神戸製鋼所）	Ⅲ2.2-10(0)
Ⅱ-11 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見 直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発（実施体制：新日鐵 住金（株）、愛知製鋼（株）、（独）物質・材料研究機構）	Ⅲ2.2-11(0)

Ⅱ-12 水素用アルミニウム材料の評価・開発（実施体制：（国）茨城大学、古河スカイ（株）、
日本軽金属（株）、（株）神戸製鋼所）……………Ⅲ2.2-12（0）

2.3 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」

Ⅲ-1 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討（実施体制：
（株）テクノバ）……………Ⅲ2.3-1（0）

Ⅲ-2 IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討
（実施体制：（財）エンジニアリング振興協会）……………Ⅲ2.3-2（0）

Ⅲ-3 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発
（実施体制：（独）産業技術総合研究所）……………Ⅲ2.3-3（0）

Ⅲ-4 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発
（実施体制：（国）横浜国立大学）……………Ⅲ2.3-4（0）

Ⅲ-5 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発（実施体制：（独）物質・材料研究機構、
（国）金沢大学）……………Ⅲ2.3-5（0）

Ⅲ-6 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発（実施体制：（国）東京大学）
……………Ⅲ2.3-6（0）

Ⅲ-7 超高圧水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発（実施体制：（独）産業技術総合
研究所、（国）東北大学）……………Ⅲ2.3-7（0）

Ⅲ-8 ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発
（実施体制：（国）東北大学）……………Ⅲ2.3-8（0）

Ⅲ-9 Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発
（実施体制：（学）東海大学）……………Ⅲ2.3-9（0）

Ⅲ-10 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発
（実施体制：（財）日本自動車研究所）……………Ⅲ2.3-10（0）

Ⅲ-11 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発（実施体制：（独）産業技術総合
研究所）……………Ⅲ2.3-11（0）

Ⅲ-12 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ（実施体制：（財）エネルギー総合工学
研究所、岩谷産業（株）、川崎重工業（株）、関西電力（株）、清水建設（株）、
三菱重工業（株）、千代田化工建設（株））……………Ⅲ2.3-12（0）

Ⅲ-13 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発（実施体制：高圧ガス保安協会、
（国）東京大学）……………Ⅲ2.3-13（0）

Ⅲ-14 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発（実施体制：水素
供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会）……………Ⅲ2.3-14（0）

概要

		最終更新日	平成 24 年 10 月 21 日
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発	プロジェクト番号	P08003
担当推進部/担当者	<p>新エネルギー部 担当者氏名 山本主研、森主査、伊藤主査、主藤主査、藤井主査、橋本主査、畠山主査、柏木主査（24 年度）</p> <p>新エネルギー部 担当者氏名 細井主研、中山主査、曾根主査、森主査、伊藤主査、主藤主査、藤井主査、橋本主査（23 年度）</p> <p>新エネルギー部 担当者氏名 橋本主研、青塚主査、中山主査、大河原主査、曾根主査、深江主査、伊藤主査（22 年度）</p> <p>燃料電池・水素技術開発部 担当者氏名 橋本主研、青塚主査、山下主査、中山主査、大河原主査、山本主査、高橋主査、伊藤主査（21 年度）</p> <p>燃料電池・水素技術開発部 担当者氏名 檜山主研、橋本主研、石原主研、川村主査、青塚主査、中山主査、大河原主査、山本主査、高橋主査、山下主査（20 年度）</p>		
0. 事業の概要	<p>来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立上げ（2015 年頃を想定）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、フィージビリティスタディ等を実施する。それにより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を確立する。具体的には、</p> <p>（1）システム技術開発：水素ステーション機器や車載等水素貯蔵/輸送容器について、低コスト化・コンパクト化開発及びそれら機器を組み合わせたシステムとして耐久性検証</p> <p>（2）要素技術開発：水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術の開発・検証</p> <p>（3）次世代技術開発・フィージビリティスタディ等：新規概念に基づく革新的な技術（例えば、化石燃料以外からの水素製造等）の開発及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの検討等</p> <p>を実施する。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>資源の乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。</p> <p>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（2006 年 3 月）においては「先進燃料電池</p>		

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、エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年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 50-エネルギー革新技術に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられている。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る。

また、本分野における産業界の健全な育成については、産業界各社が自ら活動・対応するだけでなく産業界共有・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活動の重複を避け、短期集中的に仕上げることにより産業界全体として効率的な技術開発が可能となる。さらに、世界に先駆けて水素関連技術の実用化に先立ちシステム技術検証や要素技術開発を行うことは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となり、さらに我が国経済力を向上させることに繋がる点で非常に有効である。

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>「水素安全利用等基盤技術開発事業」（平成15年度～19年度）において、水素の安全性に係るデータの取得に基づく安全技術の確立、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術開発を行い、関連する各機器について基本仕様を固め、性能において世界をリードできるレベルにまで到達させた。このような関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト、耐久性に優れた機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行うことが事業の目標である。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	
	システム技術開発	<p>低コスト化・コンパクト化・耐久性に繋がる開発・検証</p> 					
	要素技術開発	<p>低コスト化・耐久性等のための開発・検証</p>  <p>材料開発及び材料データ取得</p> 					
	次世代技術開発等	<p>脱化石燃料による水素製造技術、シナリオ、FS等</p>  <p>基準・標準化のためのデータ取得等</p> 					
開発予算 (単位： 百万円)	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計 (需給)	1730	1350	1300	1540	1560	7480

	補正予算	180	0	0	0	0	180
	総予算額	1910	1350	1300	1540	1560	7660
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課・燃料電池推進室					
	プロジェクトリーダー	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					
	委託先	<p>(財)石油産業活性化センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学、日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所、東京ガス(株)、日本特殊陶業(株)、三菱化工機(株)、(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ、(株)豊田中央研究所、(国)東北大学、日本重化学工業(株)、(株)タツノ、JX日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株)、(株)キッツ、アズビル(株)、(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所、清水建設(株)、岩谷産業(株)、(株)神戸製鋼所、新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構、(国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所、(株)テクノバ、(財)エンジニアリング振興協会、(独)産業技術総合研究所、(国)横浜国立大学、(独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学、(国)東京大学、(学)東海大学、(財)日本自動車研究所、(財)エネルギー総合工学研究所、川崎重工業(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株)、高圧ガス保安協会、(国)東京大学、水素供給・利用技術研究組合</p>					
情勢変化への対応	<p>本事業開始後、平成22年3月、燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）が「2015年、一般ユーザーへの普及開始を目指す」とする『FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ』を発表し、平成23年1月、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、共同声明を公表。声明においては、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売すること、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。このような情勢変化に対して下記の通り対応している。</p>						

	<p>(1) 鋼種拡大に係る規制の再点検に対する対応</p> <p>平成22年6月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針（グリーンイノベーション分野）」を受け、平成22年末に水素ステーションの鋼種拡大に係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表が作成され、「例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大」が項目の一つに位置付けられた。</p> <p>⇒「水素先端科学基礎研究事業」と連携して、鋼種拡大に資するデータ・安全性のデータ取りの加速に役立てた。</p> <p>⇒工程表の進捗に貢献。平成24年度末に技術基準(案)完成見込み。</p> <p>(2) 水素ステーション100箇所の先行整備に向けた対応</p> <p>平成23年1月、2015年のFCV普及開始に先駆け、100箇所程度の商用水素ステーション設置・実証を行う共同声明が発表された。</p> <p>⇒2015年の商用水素ステーションの目標コスト達成に資する低コスト水素ステーション実証が可能となる見込み。</p>													
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>平成19年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部</p>												
	<p>中間評価</p>	<p>平成22年度実施 担当部 研究評価部</p>												
	<p>事後評価</p>	<p>平成24年度実施 担当部 研究評価部</p>												
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術に関して、性能向上、経済性、信頼性・耐久性向上、コンパクト化など研究開発を行った。これまでの関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行った。</p> <p>【研究開発目標と成果】</p> <p>●研究開発項目Ⅰ：システム技術開発</p> <p>(Ⅰ-1) 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</p> <table border="1" data-bbox="406 1422 1428 1982"> <thead> <tr> <th>実施項目</th> <th>中間目標 (H22年度)</th> <th>最終目標 (H24年度)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ステーション建設 コスト低減検討</td> <td>検討前提仕様作成、 設計費50%減</td> <td rowspan="4">設備コスト2億円以下、 各機器メンテナンス回数1回以下/年 に繋がる技術を開発・評価</td> </tr> <tr> <td>ステーションシステム運転技術 開発検討</td> <td>水素ステーション完成、 1年以上の耐久性確認</td> </tr> <tr> <td>ディスペンサー機器 コスト低減検討</td> <td>機器に関し50%減</td> </tr> <tr> <td>機器耐久性検証 故障予知技術検討</td> <td>1年以上耐久性確認 故障予知技術確立</td> </tr> </tbody> </table>		実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)	ステーション建設 コスト低減検討	検討前提仕様作成、 設計費50%減	設備コスト2億円以下、 各機器メンテナンス回数1回以下/年 に繋がる技術を開発・評価	ステーションシステム運転技術 開発検討	水素ステーション完成、 1年以上の耐久性確認	ディスペンサー機器 コスト低減検討	機器に関し50%減	機器耐久性検証 故障予知技術検討	1年以上耐久性確認 故障予知技術確立
実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)												
ステーション建設 コスト低減検討	検討前提仕様作成、 設計費50%減	設備コスト2億円以下、 各機器メンテナンス回数1回以下/年 に繋がる技術を開発・評価												
ステーションシステム運転技術 開発検討	水素ステーション完成、 1年以上の耐久性確認													
ディスペンサー機器 コスト低減検討	機器に関し50%減													
機器耐久性検証 故障予知技術検討	1年以上耐久性確認 故障予知技術確立													

プレール設備開発検討	初期改良型プレール設備製作、コスト低減方法立案	
<p><成果></p> <p><標準仕様検討></p> <ul style="list-style-type: none"> ・「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションは、設備費が2億円以下となることを確認した。 ・設備費2億円以下となった水素ステーション設備仕様は、標準仕様として図面整備を行った。 <p><運転技術開発></p> <ul style="list-style-type: none"> ・70MPa級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の1年相当の充填回数（270回、945回）の繰返し充填試験を行うことで、構成機器の耐久性を確認し、技術課題を明らかにした。 <p><ディスペンサー機器開発></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ディスペンサーの主要構成機器（流量計、バルブ類）において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。 ・実ステーションの繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースについては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。 ・ディスペンサーの故障予知技術としてディスペンサー配管に設置したフィルタでの異物捕集・監視技術を検証し、捕集異物と不具合の関係を明らかにした。 <p><プレール設備開発></p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレール熱交換器（熱交出口温度-20℃）の小型化と低コスト化を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。 ・水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレール熱交解析プログラムを開発した。 <p>（I-2）車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発</p> <p>『中間目標』</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素容積貯蔵密度は、28g/L以上（中間目標）、34.5g/L以上（最終目標） ・水素吸蔵合金の吸蔵量:2.7mass%（中間目標）、3.0mass%（最終目標） ・水素充填時間は、90%/10min.以内（中間目標）、90%/5min.以内（最終目標） <p><成果></p> <ul style="list-style-type: none"> ・中間目標である28g/Lを上回る31g/Lの体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの 		

- 設計・製作を実施した。また、中間目標である 2.7 質量%を超える水素吸蔵量 3.2 質量%を有する Ti-V-Mn 系 BCC 合金を合成した。
- ・ 中間目標値 (28 g/L) を上回る体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンク的设计・製作を実施した。
 - ・ 中間目標である 2.7 質量%を超える水素吸蔵量 (3.2 質量%) を有する Ti-V-Mn 系 BCC 合金を合成した。
 - ・ 低コスト化を目的として、V系合金の量産性のトライをした。その結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標値の¥10,000 以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の使用について検討が必要。
 - ・ 2015 年の実用化に間に合うのか再評価し、研究目標の達成は困難と評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

●研究開発項目Ⅱ：要素技術開発

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証する。

(Ⅱ-1) 水素分離型リフォーマーの高耐久性・低コスト化研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
耐久性	モジュールレベルで 8000 時間以上	リフォーマーレベルで 8000 時間以上
起動時間	モジュールレベルで 3 時間未満	リフォーマーレベルで 3 時間未満
リフォーマー耐久性	リフォーマーレベルで 耐久性検証・課題抽出	日常的なメンテナンスを除いて、8000 時間の運転
概念設計	—	水素製造効率 \geq 80% 設備サイズ \leq 10m ³ 設備コスト \leq 30 万円/Nm ³ -h

<成果>

①ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。

- ・ 装置能力： 300Nm³/h
- ・ 装置コスト： 9000 万円以下
- ・ 設置スペース： 5.5m×10m (周辺スペース含む)

- ・ 起動時間：1時間（DSS 運用）
- ②改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。
 - ・ 改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
 - ・ 触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価な Ni 系改質触媒にて S/G2.5 以下の適用可能性を見出した。
 - ・ 水素製造装置のプロセス検討により改質効率 85%の見込みを得た。
- ③吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率 90%の見通しを得た。
 - ・ パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
 - ・ 実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比 1/2 とする見通しを得た。
- ④水素製造装置試作機的设计、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率 84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。
 - ⇒継続研究にて2時間まで短縮した。
- ⑤ステーション運用者の視点から試作機設計図書の検討、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。

さらに、300Nm³/h 商用機設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。

(II-2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施項目	最終目標（H22 年度）
水素製造装置要求仕様の調査、検討	装置仕様の確定
高性能反応器の開発	改質効率：HHV85%以上 スチームカーボン比：2.5 以下
高性能水素 PSA の開発	水素回収率：85% システムサイズ：現状比 1/3
50Nm ³ /h 試作機的设计、製作、 検証運転	改質効率：HHV82.5%以上 起動時間：1 時間
50Nm ³ /h 試作機的设计、 検証運転のユーザ評価	試作機設計、運転結果に対しユーザ視点で評価を行う。

<成果>

- ・ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。
 - 1) 装置能力：300Nm³/h, 2) 装置コスト：9000 万円以下, 3) 設置スペース：5.5m×10m (周辺スペース含む), 4) 起動時間：1 時間 (DSS 運用)
- ・改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比 1/5 とする見通しを得た。
- ・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
- ・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価な Ni 系改質触媒にて S/G2.5 以下での適用可能性を見出した。
- ・水素製造装置のプロセス検討により改質効率 85%の見込みを得た。
- ・吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率 90%の見通しを得た。
- ・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
- ・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比 1/2 とする見通しを得た。
- ・水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率 84.4%を得た。ただし起動時間は 3 時間と目標を超過した。
⇒継続研究にて 2 時間まで短縮した。
- ・ステーション運用者の視点から試作機設計図書の検討、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。さらに、300Nm³/h 商用機設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは 1 億円を超過する結果となった。

(Ⅱ-3) CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
CO ₂ 選択透過膜の開発	170℃以上にて：1x10 ⁻⁴ mol/(m ² s kPa) の CO ₂ 透過速度にて、CO ₂ /H ₂ 選択性が 200	
メンブレンリアクター用 CO 変成触媒の開発	160℃以下、SV2000 h ⁻¹ にてメタン生成が 1%以下、10%程度含まれる CO 0.1%以下に低減(メンブレンの効果を含む)	
メンブレンリアクターの開発	1m ³ /h 原理検証機での性能実証	10m ³ /h 用プラントでの性能実証

水素ステーショントータルシステムの最適化	次世代 H ₂ ステーションコンプレックス確立。PSA 1/4, オガスタック不要化, S/C = 2, 効率 80%以上	改質系、PSA を含む 10m ³ /h の能力を持つトータルシステムを、実証するとともに、300m ³ /h トータルシステムの F/S 完了
<p><成果></p>		
<p>①CO₂ 選択透過膜の開発</p>		
<p>耐熱性の向上については、180°Cにおいて CO₂/H₂ 選択性\geq200 (mol 比)、CO₂透過速度$\geq 1 \times 10^{-4}$ mol/(m² s kPa)の性能を安定して示す膜を開発した。さらに、モジュール化が容易な円筒型メンブレンの開発に成功した。</p>		
<p>②CO₂ 変性触媒の開発</p>		
<p>Cu系触媒、貴金属触媒共に高性能化に成功し、目標の性能を達成した。さらに、入り口用触媒（高濃度COで高活性）、と出口用触媒（低濃度COで高活性）を開発。リアクター各部分で有効に機能する2種類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率、99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した。</p>		
<p>③メンブレンリアクターの設計</p>		
<p>平板型、円筒型などのリアクターの形状や加工性の検討を行った。また、円筒型メンブレンによるリアクター設計を検討している</p>		
<p>(II-4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発</p>		
実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
複合化によるホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	反応パスの理論解明と実験検証と、最適組み合わせ選定	—
中間相を用いたホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	中間相の組成・構造の解明と、中間相の絞り込み	—
添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明 (H21-H22)	添加物の選定、微細構造の評価および、反応速度の支配因子の解明	—
ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化 (H22)	150°C以下の水素放出温度、6wt.%級の再吸蔵量を見極め	—

反応サイクル時の劣化要因の 解明 (H23-)	—	劣化要因の解明とその対処 法の確立
実用化技術開発 (H23-)	—	材料系の最適化、大量合成 技術の開発、低コスト化の 指針
実用性評価 (H23-)	—	耐久性評価、小型タンク 評価、実用化の課題抽出

<成果>

理論計算に基づく材料設計、合成、評価・解析を三位一体で展開することにより、新たなホウ素系水素貯蔵材料を開発した。

- ・複合化に関しては、水素貯蔵に有利な反応経路を理論計算により予測し、複合水素化物の貯蔵特性における複合比の効果なども検討し、それらの最適化を進めた。
- ・中間相に関しては、水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明し、水素貯蔵特性における中間相の役割を検討した。
- ・水素放出・再吸蔵反応ともに促進できる添加物を選定し、その促進機構を解明した。また、微細構造を調査することによって、反応速度の支配因子を抽出した。

これらの研究を通して、低温での水素放出ならびに再吸蔵が可能な新たなホウ素系水素貯蔵材料の開発指針を明確化することができた。

- ・2015年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきているとの評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

(II-5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
MgNi ₂ 系 C15 型 ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、 合金組成改良による吸蔵 量の向上	3 質量%, 150°C, 1000 サイクルを 満たした合金の開発
RENi ₂ 系 C15 型 ラーベス合金	不均化の進行過程を各種 手法にて調査して挙動を 把握する	水素吸蔵による不均化反応のメカニズ ムの解明

CaMg ₂ 系 C14 型 ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、 合金組成改良による放出 温度の低下	150℃以下でも 6 質量%を放出する合金 の開発
CaLi ₂ 系 C14 型 ラーベス合金	格子定数および原子半径 比を変えた合金の作製・ 評価	不均化等を抑制し、室温で 6 質量%を 吸蔵する合金の開発

<成果>

- ・ 2 段のプラトーが出現することで水素吸蔵量がそれまでの 1.0 質量%から 1.7 質量%に増加した、MgPrNi₄ 組成の C15b 型のラーベス構造を有した合金を開発した。
- ・ 313K で 300 サイクルの水素吸蔵・放出を繰り返した後でも、95%以上の水素吸蔵・放出量を維持することができる Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ 組成の合金を開発した。
- ・ C14 型のラーベス構造を有した CaLi₂ 組成合金および第 3 元素置換を行った合金を正確に作製することができる、ヘリウム雰囲気での浮遊溶解による手法を開発した。
- ・ 2015 年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきているとの評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

(Ⅱ-6) 低コスト型 7 OMP a 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
ディスペンサー 全体	基礎制御評価 防爆申請・コスト検証	低価格・高耐久性ディスペンサーの開発 コスト： 従来比 50% 耐久性： メンテ 1 回以下/年
コリオリ流量計 の開発	大流量用検出部、計測部の簡素化試作 基礎評価・防爆申請	
ディスペンサー 制御部開発	簡素化試作 基礎評価・防爆申請	

<成果>

①ディスペンサー開発

- ・ 他の NEDO 事業で開発した新素材のボールバルブ、流量調節弁を組み、ディスペンサーを開発した。
- ・ 機能を集約化した制御基板による基本的な充填制御方法が確立できた。
- ・ 水素対応の防爆を申請しほぼ取得完了した。

・構成機器の信頼性データを調査取得し耐久性を確認した。

②コリオリ流量計開発

- ・SUH660を使用したフローチューブで器差測定、圧力損失測定等の性能試験を行い、良好な結果が得られた。
- ・改良したコアプロセッサ用の制御基板を開発し、この基板上で動作する流量計測プログラムの動作検証をおこなった。
- ・水素対応の防爆申請のために評価試験をおこない、必要となるデータを取得した。申請図面、計算書を作成し防爆申請をおこなった。

③プレクール装置

- ・社内ヘリウムガス設備に設置した基礎評価装置で性能試験から課題を抽出した。
- ・試験結果、検討課題から水素ステーションにおけるプレクール装置の最適化検討を行った。

(Ⅱ-7) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合容器の開発

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
常用圧力	80MPa	充填圧対応圧力
容量	200L	300L
重量	1000kg以下	1500kg以下
コスト	1000万円以下	1000万円以下

<成果>

①FW成形技術の開発

- ・大型複合蓄圧器の製作：TPPを利用したDRY法を用い、200LのCFRP蓄圧器において破裂圧力345MPaを達成した。
- ・大型複合蓄圧器の製造および評価技術の開発：大型FW装置を設計開発し、6m、1600kgまでの大型蓄圧器の作製及び評価（破裂試験、サイクル試験、他）が可能となり、300L蓄圧器の試作を行い、長尺化による問題点のないことを確認した。

②内部加熱法の開発

- ・外部加熱装置の併用検討：内部加熱に外部加熱を加えることで、CFRP層を均一に、効率よく加熱することが可能となった。
- ・小型容器での効果確認：外部加熱を併用により、これまで以上に高温での加熱が可能となるため、小型容器で樹脂をゲル化させる温度としFWし破裂強度を評価した。結果、容器の破裂強度が向上することを確認した。

③炭素繊維（CF）・TPPの開発

- ・TPP用樹脂の開発：TPPが収束しにくい樹脂を開発し、蓄圧器の破裂強度を向上させることができた。

④開発蓄圧器の検証

- ・200LのCFRP蓄圧器で水素ステーション実証に提供しうる蓄圧器の設計を完了し、使用認可を取得した。今後、実証テスト用CFRP蓄圧器の製造を行い、実証テストにおいて安全性等の検証を行う。

（Ⅱ-8）低コスト型70MPa級充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
全体	435百万円/システムの技術的見通し確認	2億円/システムに向けコスト低減策提示
総合的エンジニアリング	ステーション主要機器の最適構成提示	2億円/システム達成可能性提示
鋼製蓄圧器開発	材料評価、施工法、検査技術開発	本体価格、検査・更新費用低減
水素用高圧バルブ開発	ボールバルブ開発の技術的見通し確認	バルブ単価低減 圧力損失低減
高強度金属材料開発	金属材料候補絞込	高強度耐水素性 金属材料開発
制御システム開発	制御システム機器費用低減	制御システム設計費低減
流量調節弁開発	シール技術開発	動作保証回数達成 調節弁価格低減

<成果>

①ステーション全体のコスト低減策候補の提案と総合的エンジニアリング技術の開発（JPEC/九州産業大学）

- ・連名委託先とともにステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を進めた。
- ・ダイナミックシミュレーションにより充填時間を検討し、圧縮機併用を含めた差圧充填での最適機器構成を検討した。

- ・平成23年度より、水素ステーション充填解析プログラム開発に着手した。
- ②鋼製蓄圧器開発（日本製鋼所）
 - ・高容量化による蓄圧器設備コスト低減と高耐久化を目的とし、材料、施工法、検査法の技術を開発した。
 - ・開発技術を適用して蓄圧器を試作、高圧水素中データ等に基づく特認取得を通じ、蓄圧器の高耐久化を実現した。
- ③水素用高圧バルブ開発（キッツ）
 - ・バルブ単価の低減と圧力損失の低減を目的とし、高圧水素用ボールバルブの開発に取り組み、高圧水素下でのラボ試験等に基づき、ボールバルブのシートおよびパッキンのシール技術を開発した。
 - ・高圧水素下での開閉作動耐久試験により、開発バルブの耐久性を確認した。
- ④低コスト・高強度材料開発（JRCM）
 - ・JIS SUS316L 材と耐水素性が同等で、強度が30～50%向上する材料を開発した。
 - ・量産化を目指し溶製規模のスケールアップを実施した。
 - ・バルブ、調節弁メーカー等への開発材料を提供し、加工性評価で良好な結果を得た。
- ⑤コントロールシステム開発（アズビル）
 - ・ステーション制御集中化による制御機器費用低減、標準化によるソフト設計費低減を目的とし、制御システムのコンセプトを構築、ソフトウェア仕様を確定させ、制御機器費用の低減を確認した。
 - ・制御システムソフトウェア、ハードウェアを試作し、数値モデルを用いた制御検証を行った。
- ⑥流量調節弁開発（アズビル）
 - ・シール部の長寿命化および、JRCMと連携した調節弁本体小型化によるコスト低減を検討した。
 - ・温度サイクル下における摩擦磨耗試験等を通じ、高圧水素中における表面処理技術、パッキン材の選定を完了した。

（Ⅱ-9）都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
試設計	コンパクトした場合の課題抽出	課題解決（案）の提示
安全要素技術開発	安全性を担保する技術開発	開発技術の検証
水素ステーションの	安全要素適用検討	標準設計に対する安全の検

安全性評価		証
水素ステーションの 経済性評価	建築試設計、コスト比較	建設合理化検討
モックアップ実験	実験計画策定	実験実施および評価
標準設計	—	標準設計（案）の提示

<成果>

①試設計

- ・ステーションの試設計を実施し、キャノピー上機器設置化や地下化することで配置計画、コンパクト化（敷地面積 517m² 及び 390m²）を実現できることを確認した。
- ・地上式（631m²）、高架式（517m²）、および地下式（517, 390m²）のレイアウト完成した。

②安全要素技術の開発

- ・反射圧低減壁の開発において、数値解析により反射波のピーク圧力を低減することが可能な壁（反射圧低減壁）の開発を行い、検証実験によりその性能を確認した。
- ・反射圧低減壁、水素燃焼制御システム、水素の不活性化の各技術を確立した。

③安全性評価

- ・水素燃焼制御システムの開発にて、燃焼伝播の防止に必要な条件を確認した。また、水素の不活性化に関する研究では、着火に至らせない「安全濃度」を決定した。
- ・安全要素技術適用検討および安全性の検証、リスク評価を実施した。

④経済性評価

- ・建築および各システム導入コスト比較した。

⑤検知システム

- ・既存検知器の仕様を調査した。

（Ⅱ-10）直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
1	—	設計吐出圧力 95 MPa、 運転吐出圧力 87.5 MPa、 流量 1200 Nm ³ /h の圧縮機の 試作機を開発・設計・製作 する。

	2	—	インバーター制御による可変速度運転に対応する。
	3	—	直接充填方式ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見通しをつける。
	4	—	圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機特性（下流圧力の変化に伴う流量変化など）を含めてシミュレーションするプログラムを開発する。
	5	—	試作機的设计・製作・試験結果、およびHySUTなどユーザーと連携により、実証水素ステーション用の設計吐出圧力100MPa超級圧縮機的设计を完了し、試験計画を策定する。

<成果>

①直接充填用大容量高圧水素圧縮機の仕様

- ・ 運転吸込圧力 40MPa／設計吸込圧力 45MPa
- ・ 運転吐出圧力 87.5MPa／設計吐出圧力 96MPa
- ・ 流量 1200Nm³/h シリンダ 2本
- ・ 運転中にベントを大気放出しない
- ・ 上記仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中である。圧縮機ユニットの小型化のために別途開発した超高圧用熱交換器をアフタークーラーとして採用

②インバーター制御可能な仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中であり、検証方法を検討中。

- ③高頻度起動停止運転に対し耐久性の見直し
摺動部の劣化評価が必要なため運転により検証する。
- ④圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。この成果を利用して千住・海老名ステーションなどの HySUT 実証事業と連携した対応を進めた。
- ⑤試作機の運転評価による試設計
運転結果を反映して実施する。
- (Ⅱ-11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発	—	新規水素用高機能ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下におけるその材料データを取得し、基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータとして提示する。
高圧水素配管・容器材料の研究開発	—	高強度ステンレス鋼・高強度低合金鋼を開発し、新規水素用材料として提案する。
高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発	—	高圧水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、材料種類の拡大を提案する。
低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	—	低温および高温における高圧水素環境下で引張及び疲労試験を行い、材料特性を評価する。

<成果>

- ①高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発：
新規開発低 Ni, 省 Mo 系高強度鋼 STH2 の固溶化熱処理材について、高圧水素中での強度、

疲労、疲労亀裂伝播などの諸特性を評価し SUS316L と変わらない特性を示すことを確認した。SUS316L ほか γ 系ステンレス鋼の評価結果から、水素脆化が合金元素の偏析部に生じやすいこと、及びその機構を明らかにした。

②高圧水素配管・容器材料の研究開発：高窒素高強度 SUS を開発し、固溶化熱処理材が N 量の増加と共に強度が増加することを確認し、高圧水素中下の SSRT 試験(室温、85MPa)、疲労試験においても良好な特性を確認した。

低合金鋼において高 Mo-V 添加による組織改良鋼を開発し、高圧水素下 SSRT 試験(室温、45MPa)、疲労試験において既存鋼と比較して水素の影響が大幅に改善されたことを確認した。

③高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発：Mo を含有しないオーステナイト系 SUS を開発し、冷間引抜加工材が高い 0.2%耐力、引張強さを示すことを確認し、高圧水素下の SSRT 試験(-40°C、70MPa)において良好な相対絞り示すことを確認した。

SUS316L 固溶化熱処理材は水素チャージしても室温でのクリープ特性に明瞭な影響が見られないことを確認した。

④低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究：簡易試験法を用いて-200~120°Cの温度範囲における 316 系 SUS を中心とする材料の特性を測定し、水素の影響が少ない良好な材料特性を示すことを確認した。

以上の開発を加速するため、高圧水素中小型疲労試験装置を共通して持つことにより、簡易かつ迅速に新規材料の高圧水素中の疲労特性の測定を可能とし、開発の加速を図った。

また、有明、霞ヶ関、千住、セントリア各水素ステーションにおける長期使用設備の解体調査に協力し、材料特性にも問題はないものの、製作・施工時に注意、改善点があることを示した。

加えて、これら成果を国際標準化、規制見直しの作業に資するため、関係団体等に対して情報を提供し、議論・検討に参画した。

(Ⅱ-12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
Al-Mg 系合金の耐水素脆性評価	—	Al-Mg-(Cu) 合金の水素脆化感受性に及ぼす Mg 量、熱処理の影響を明らかにする
水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定	—	添加元素の影響を把握し、脆化感受性指数<0.2、耐力≥400MPa の合金系を見出す

高強度で切削性に優れるバルブハウジング用合金を開発する	—	耐力 \geq 380MPa で、切削性が6061 合金よりも優れ、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
VH4 容器の口金等の部材用の鍛造合金を開発する	—	耐力 \geq 360MPa で、鍛造可能で、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
水素の侵入サイトを可視化法により明らかにする	—	外部環境が、水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトの異同を明らかにする
開発材の耐水素脆性を評価する	—	開発材の耐水素脆性を、湿潤大気中での SSRT 引張・疲労試験などにより評価する

<成果>

- ① Mg 量 5%で鋭敏化処理を行わない限り Al-Mg 系合金は水素脆化を示さないことを確認した。添加元素の影響は、組合せや熱処理条件によっても変化することを見出した。開発目標（水素脆化感受性指数：0.2 未満、耐力値：400MPa）を満たす合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出した。
- ② 試作合金の耐力は、380MPa 以上で、切削性は標準の 6061 押出棒より優れていること、耐水素脆性、その他水素用材料として満たすべき基準を満たしていることを確認した。
- ③ 6069 規格組成内の中で、Cu 下限・Si 過剰組成とした試作材で開発目標を達成した。6066 規格組成の中で、主要組成 Mg、Si、Cu、Mn の添加量を規格下限域とした試作材で目標達成の可能性が高いことを示した。
- ④ 6061、7075 合金において、外部環境が水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトが同じ(第二相粒子)であることを明らかにした。
- ⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。

●研究開発項目Ⅲ：次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

(Ⅲ-1) 水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

NO	目標
1	IEA/HIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析

	する
2	IEA/AFCIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
3	IPHE の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
4	IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討
5	1～4 で把握した技術開発動向及び分析活動ならびに関連国際会議やウェブサイトから得られた水素関連活動等を、国内関係者に定期的に発信し、情報共有を図る
6	再生可能エネルギー由来水素の技術動向のとりまとめ

<成果>

- ・ IEA/HIA の各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成 24 年度は関係者との連携の下で Annex 28(大規模水素インフラ) 会合を日本でホストし(平成 24 年 10 月、東京)、情報収集とその内容の発信を行った。
- ・ IEA/HIA の執行委員会に参加し(専門委員:エンジニアリング協会)、各作業部会の半期毎の活動報告、年次報告書概要等の報告(事務局)、各国の水素関連研究開発動向(各国代表)などの情報を入手した。
- ・ IEA/AFCIA の各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成 24 年度は関係者との連携の下で Annex 25(定置用 FC) 会合を日本でホストし(平成 24 年 10 月、福岡)、情報収集を行った。
- ・ 平成 24 年度より、IEA/AFICA の執行委員会(平成 24 年春季、カナダ、トロント)に参加、各国の燃料電池関連研究開発動向(各国代表)などの情報を入手した。
- ・ IPHE の各委員会に出席し、最新動向、活動内容を入手、わが国からの情報を発信した。また IPHE の議論を分析、わが国の政策や技術開発への影響を分析した。対応が必要な議論や動きに関しては、国内関係者と連携し、その対応を行った。
- ・ IPHE 対応の一環として、平成 23 年 3 月に定置用 FC 国際ワークショップを運営・開催した。
- ・ IPHE が隔年で実施してきた IPHE アワード(IPHE によって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2 年毎に実施)に関して、経済産業省および関係機関と連携し、日本からの推薦の支援と IPHE 会議での紹介を行なった(優秀リーダーシップ賞に福岡水素エネルギー戦略会議、技術功績賞に秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長)。この推薦 2 件は、IPHE アワードの受賞を得ることができた。

- ・ JHFC プロジェクト（平成 14～22 年度に実施された FCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成 21 年度より NEDO 事業） と連携し、IPHE が企画した IPHE スチューデントコンペティション（IPHE が企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHE メンバー国が自主的に優秀校を推薦 ）にわが国から秋田工業高校を推薦し、IPHE スチューデントコンペティション授賞式およびスチューデントプログラム（各国学生との国際交流） に派遣することができた。
- ・ IPHE、AFCIA における情報をもとに、政策情報を取りまとめ、関係者に提供した（内容は、米国、ドイツ、欧州連合に加え、カナダ、ノルウェー、アイスランド、韓国、中国、オーストラリア）。
- ・ 欧州連合およびドイツが実施したマッキンゼー「パワートレインのポートフォリオレポート」を翻訳して関係者に配布した。
- ・ 我が国の水素ステーション規制見直しのために水素規制見直しリーダー会議にオブザーバーとして参画、IPHE などのネットワークを用いて DOE、Air Products、Shell、CaFCP、Linde、TUV 等にヒヤリングを実施、米国・ドイツの水素ステーション規制を日本との対比でとりまとめ、関係者に提供した。
- ・ 平成 22 年度（平成 23 年 2 月）は IEA/HIA に関して、また平成 23 年度（平成 24 年 2 月）は IEA/HIA と IEA/AFCIA の両方に関して、年度末に活動報告会を開催している。活動報告会では、各作業部会を担当する専門家が部会の活動を報告し、質疑応答を行っている。活動報告会参加者は、産学官における水素関連の研究開発・実証試験などに携わる研究者・技術者（約 40 数名が参加）。
- ・ 平成 23 年度 10 月より、FC/水素政策関係者、NEDO、NEDO プロの委託先等を中心に国際情報ネットワークを構築、登録者は現在約 100 名。発信している内容は、作業部会や国際会議の報告、海外政策情報、マンスリーニュースなど。これにより従来は IEA/HIA や IEA/AFCIA の活動報告は年間 1 回（毎年 2 月の活動報告会）のみであったが、タイムリーに国際情報を関係者に提供できるようになった。
- ・ IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHE など得られた情報、また各国の動きがある場合に、その情報（レポート翻訳、概要解説、会議参加報告書）を前述の国際情報共有ネットワークを活用して発信（平成 23 年度はほぼ隔月～3 ヶ月に 1 回程度、平成 24 年度上旬は隔月で発信）。平成 24 年 7 月からはマンスリーレポートも配信。
- ・ IEA/HIA、IEA/AFCIA 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、他の企業や研究機関にも関わりがある場合、また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のサポートチームを構築した。
- ・ 経済産業省燃料電池分科会（平成 23 年 6 月 3 日）に海外情報を提供した。また FCCJ や関係機関・組織と連携し、2015 年～2030 年に向けての FCV 普及予測を行い、あわせて提供し

た。その後も業界（FCGJ など）の意見を参考に、FCV 普及予測を修正・アップデートした。FCV 普及予測は、大手自動車 3 社の意見を元に、4 つのパラメータ（車両の魅力、燃料経済性、強力な政策支援、車両価格低減）で分析を行った。その結果、普及台数は、2025 年における FCV の普及予測は、36 万台から 240 万台の間となった。

- ・再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、世界の政策動向と最新の技術動向をとりまとめ、「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」（120 ページ）として報告した。

（Ⅲ-2）IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

NO	目標
1	国際技術開発動向の把握
2	各 Annex（作業部会）の分析活動動向の把握
3	得られた情報の展開・普及及び共有化活動

<成果>

水素経済社会の実現に向けて国際協同研究開発を目的とする IEA/HIA（国際エネルギー機関/水素実施協定）に積極的に参加した。各作業部会にて、収集・交換した水素に関する技術開発動向・情報を国内に展開し、共有化を図った。

（Ⅲ-3）可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

実施項目	目標
多孔質半導体光電極の高性能化	既存半導体光電極の改良で WO_3 光電極の性能を超える。
光触媒-電解ハイブリッドシステムによる水素製造	レドックス媒体を用いた効率的な酸素発生用光触媒の高性能化により太陽エネルギー変換効率の最高値を目指す。
新規可視光応答性半導体探索	高速自動半導体探索システムを用いてできるだけ多くの可視光応答性の新規半導体を探索する。

理論効率や将来性の試算

太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより
低コスト水素製造できるか検証する。

<成果>

- ・ W03 光触媒の量子収率をセシウム表面処理で既報の 48 倍に向上できた。太陽エネルギー変換効率(0.3%)は陸上植物並で、人工光合成実現可能レベルに達した。
- ・ BiVO4 光電極の光電流を炭酸塩電解液を利用することで従来の電解液より 6 倍向上できた。高速自動半導体探索システムを活用し、新規半導体の特許を 5 件出願した。
- ・ 光触媒-電解ハイブリッドシステムの小型実証試験を行った。太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより将来低コスト水素製造が可能、という結論を得た。

(Ⅲ-4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

実施項目	目標
触媒能評価	現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
電解試験	非貴金属系材料をアノード触媒に用いて、現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

<成果>

- ・ 評価法の確立し、比活性が IrO_2 を上回る Zr 及び Ta 系材料の触媒の作製に成功した。
- ・ Zr 及び Ta 系化合物は表面が酸化物であると酸素発生反応の活性が向上した。
- ・ Zr 系化合物を電極触媒として電解試験を行い、水電解効率は 60%であった。

(Ⅲ-5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

NO	目標
1	実用磁気冷凍磁性材料の開発
2	高効率水素液化機構の開発
3	蓄冷型磁気冷凍機の開発
4	測定技術要素研究
5	水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

<成果>

- ・ AMR サイクルに適合した希土類ガーネットと金属間化合物磁性材料の開発を進め、粒状化の実用材料製造技術を確立した。
- ・ 2つの駆動機構をもつ AMR 磁気冷凍サイクル試験装置を設計・作製し、AMR サイクルを実証した。
- ・ 水素液化サイクルの効率改善と高感度水素液量の計測技術を開発した。

(Ⅲ-6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

実施項目	目標
水素脆性評価試験	水素濃度；2ppm 以下、負荷速度；準静的～5m/s
実大破壊強度試験	圧力；15MPa 程度、パイプ；X65 高強度鋼管、500mm 径、40m 長
高速き裂伝播計算モデル構築	き裂伝播限界圧力とき裂伝播停止長さを+/-20%で予測
外部からの指導及び協力	大学・企業の研究者・技術者からなる研究会を組織し、指導と協力を得る。

<成果>

- ・ 水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力・温度件では鋼中に拡散侵入する水素濃度は低く、準静的・動的条件ともに水素脆化は顕著ではない。
- ・ 水素ガスパイプラインの実大強度試験を実施し、き裂は長距離伝播することはないことを実証した。
- ・ 開発した高速き裂伝播数値計算モデルを用いて、天然ガスと同程度の靱性を有していれば、水素ガスパイプラインでき裂の伝播を防止できることを確認した。

(Ⅲ-7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

実施項目	目標
超高压合成法による新規 Mg 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する。
超高压合成法による新規 Li 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する。

超高压合成法による新規 Al 合金系水素貯蔵材料の開発

「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する。

<成果>

- ・ Mg-(V, Zr)-(Li, Na)-H 系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出する新規水素化物を見出すとともに、水素放出温度と結晶構造との相関を示し得た。
- ・ 7 種の Li-M-H 系新規水素化物 (M: 遷移金属元素) を見出し、Li-Y 系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出することを確認した。
- ・ Al 系共晶合金、アラネート、AlH₃ を原料として試みたが、適用条件下では新規水素化物相は得られなかった。

(Ⅲ-8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

実施項目	目標
細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の構造最適化	ZTC 表面積の増大 (目標 5000m ² /g) と細孔径の最適化 (範囲 0.65 nm~1.2 nm)
金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化	Å、更には原子レベルの金属担持、及び貴金属以外 (Ni、Ti) の担持
ZTC の水素吸蔵性能評価	上記で得られた ZTC の水素貯蔵性能を評価する。

<成果>

- ・ スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に同定できた。
- ・ 炭素担体に担持する Pt の粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することを見出した。また、安価な遷移金属 (Ni) による貯蔵にも成功した。
- ・ スピルオーバー水素貯蔵サイト候補である、含酸素官能基の大量ドーピング法の開発に成功した。

(Ⅲ-9) Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発

実施項目	目標
Mg 基合金の開発	Mg 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Mg 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Mg 基相分離型水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C

Ti 基合金の開発	Ti 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Ti 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Ti 基水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C
Al 水素化合物の合成技術の開発	Al 水素化合物の物理的合成法を設計・開発

<成果>

- ・水素吸収・放出に伴う合金の「相分離」によって、MgH₂ が熱力学的に著しく不安定化することが実証された（合金構成元素間の結合력에依存）。
- ・Ti 基を有する非固溶系 b. c. c. 合金の合成に成功し、室温で 3.5 mass % 以上の水素吸収・放出反応が実証された。
- ・Al 水素化合物の物理合成装置の設計・開発を行った。AlH_{2.5} 組成を得ており、物理的合成の可能性が実証された。

(Ⅲ-10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施項目	目標
圧縮水素を燃料とする FCV の事故後の安全作業の標準化	適正な基準策定のための妥当性検証、事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発
車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動	適正な基準策定のための妥当性検証および新規構造附属品の国内導入に資するデータ取得
水素充填プロトコルの標準化 水素充填コネクタの標準化	水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得、および関連する国際標準化活動の推進
その他国際標準化に関わる技術検討	上記の国際標準化に加え、水素燃料仕様、性能・用語等の国際標準化の審議と推進

<成果>

- ・FCV の事故後の乗員救助等、安全作業のための漏洩水素の送風拡散効果の検証、高圧水素容器内の残圧確認手法の開発し、警防マニュアル等の策定に資するデータを取得。
- ・FCV 車両運搬船での火災リスク課題を調査。安全上、問題ないことを確認。
- ・HFCEV-gtr に新規提案された車室内水素濃度計測方法の妥当性を調査し、試験方法等の問題点

を指摘。

- ・ HFCV-gtr の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災データを提供し、世界に先駆けて当該試験に使用できるバーナーを開発し、国内での試験実施体制を構築。
- ・ HFCV-gtr に日本から液圧での使用環境負荷試験を提案するにあたり、必要な根拠データを提供し、試験法の検証を実施し、国際基準に反映。
- ・ 急速充填試験による充填プロトコル等の検証を行い、安全性を確認し、その結果が国内基準に採用。
- ・ FCV 燃料仕様の国際規格の H2 4 年度内発行段階に目処。

(Ⅲ-11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

実施項目	目 標
水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究 (H20-21)	種々の FCV 導入シナリオの下で、既存の市場で経済価値として評価されていない、FCV 特有の便益を経済価値として評価すると共に、導入普及による経済的波及効果を評価する。
水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築 (H20-21)	FCV や水素インフラの導入施策は、エネルギー・環境を巡る情勢の変化や、技術開発の進捗などを反映して、ダイナミックに変化する可能性があるため、これらの情勢変化に対応したシナリオに対する便益評価を柔軟にするためのシステムを構築する。

<成果>

- ・ FCV の導入普及初期の 5 年間 (H20 年度)、及び COCN の新導入シナリオ (H21 年度) をベースとし、環境便益の外部便益 (外部費用の削減)、および経済的波及効果を評価し、導入普及施策に対する示唆を得た。
- ・ 複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した。

(Ⅲ-12) 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

NO	目標
1	前提条件の設定及び全体の評価を行う
2	高圧水素供給フローの検討を行う
3	液体水素供給フローの検討を行う

<成果>

- ・平成 27 年（2015 年）を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、各水素キャリア（高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド）を用いた、オフサイト型水素製造から水素ステーションにおける燃料電池自動車への充填までの一連のフローにおける、経済的成立性や実現性及び普及に向けた今後の技術開発課題について抽出・検討を行なった。また、課題の解決策についての提言も行った。

(Ⅲ-13) 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施項目	目標
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	新規使用可能材料の選定
圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	例示基準案※
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	KHK 特認ガイドライン※
圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	KHK 事前評価ガイドライン※ KHK 特認ガイドライン※

※基準案及びガイドラインは石油エネルギー技術センターが作成

<成果>

A. 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

- ・絞りが 75%以上の SUS316 及び SUS316L については、Ni 当量が 28.5%以上の場合には 70MPa において-40～85℃、Ni 当量が 26.3%以上の場合には 90MPa において 20～85℃で一般則例示基準に追加可能である。

B. 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

- ・圧力、安全を確保するための設計確認試験及び組試験の方法等について検討を行い、JIGAT-S/12/04 をベースとした最高充てん圧力 45MPa の圧縮水素運送自動車用容器の例示基準案

作成のための助言を行った。

C. 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

- ・特定設備として申請するためのガイドラインを ASME Sec. X Appendix 8 をベースとすることを提案した。CFRP 製複合容器の設計基準の基礎となる CFRP のストレスラプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図った。JPEC で行われた小型複合容器及び中型複合容器を設計製作、試験条件及び試験結果の評価に対して助言を行った。

D. 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発

- ・国内に置いて実績があり設計係数の最も小さな KHKS0220 超高压ガス設備に関する基準の水素適用について検討した。水素の影響に応じて、従来通り大気中のデータを利用して KHKS0220 で設計する場合と、水素中のデータを使用して KHKS0220 で設計する場合とに分けることを提案した。

(Ⅲ-14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施項目	目標
圧縮天然ガス（CNG）スタンド併設時の設備間距離	技術基準案の作成
水素ステーションの保安検査基準	保安検査基準案、定期自主検査指針案の作成
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁	技術基準案の作成
水素ステーションを併設する給油取扱所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 並列設置：安全対策の立案 ・ 無人暖機運転：安全対策、技術基準整備資料の作成
公道とディスペンサーの離隔距離	<ul style="list-style-type: none"> ・ 技術基準案の作成 ・ 海外基準の離隔距離設定方法等の調査
セルフ充填式水素ステーション	設備仕様等の資料、技術・運用指針案の作成
水素ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準の明確化	民間自主基準案の作成
公道でのガス欠対応のための水素充填法	充てん場所・使用設備など、公道充てん実施に必要な要件の取りまとめ

	フル充填に対応した水素ステーション	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
	水素ステーションでの水素保有量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 35MPa 級複合容器水素トレーラーの製作 ・ 水素貯蔵量規制値超えの許可事例を取得
	プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
	複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
	<p><成果></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「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」に基づく12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成した。 	
	投稿論文	「査読付き」64件、「その他」66件
	特許	「特許出願」54件、「PCT出願」7件
	その他の外部発表（プレス発表等）	「外部発表」313件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）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と位置づけられている。さらに、特出すべき内容は2025年がFCV・ステーションの自立拡大開始の年として、前提条件としてFCVユーザーのメリット（価格・利便性等）が確保されて順調に普及が進んだ場合、FCV累計200万台程度、水素ステーション1000箇所程度としている。これは、水素ステーション設置及び水素コストが目標に達し、水素ステーションビジネスが成立する時期として、1水素ステーション当たりFCV2000台という目標数値である。このようなシナリオに基づき、本研究開発も2015年をターゲットとして実用化とその後の事業化を睨んでいる。</p> <p>本事業で得られた成果として、70MPa級水素ステーション機器システム・要素技術の開発を行い、事業適用可能性の見通しが得られたこと、これにより設備コスト2億円以下を見通せる技術を確立できたことがあげられる。さらに、規制合理化に関する各種技術基準案、一般則例示基準案等を作成し、使用可能鋼材拡充に関して、一般則例示基準の改正の見込みが得られた。これらの成果より、70MPa商用水素ステーションの建設が可能となる。</p> <p>今後2025年水素ステーション1000ヶ所への拡大に向けては、更なる低コスト化が必要となるため、低コスト材料の開発や広温度範囲の材料評価技術確立や、使用鋼種拡大に関する規格化や蓄圧器の非解体検査化に取り組むことが重要と考えられる。</p>	

V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成20年3月 制定
	変更履歴	平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。平成21年3月、中間目標等を追記して改訂。 平成22年2月、研究開発項目Ⅱ、Ⅲの拡充、関連事業との連携を追記して改訂。

プロジェクト用語集

研究開発項目 I : 「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」

用語	説明
圧縮機	水素を圧縮する装置。東邦瓦斯水素ステーションに設置されている圧縮機の仕様は、流量 300Nm ³ /h、常用圧力 82MPa である。
圧縮機併用差圧充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。蓄圧器による差圧充填と、圧縮機による直充填を同時並行で行う方法。圧縮機は、蓄圧器への水素補給と充填タンクへの水素充填の両方を行う。
緊急離脱カップリング	充填ホースに取り付ける車両誤発進時の安全装置。車両誤発進により一定の張力が両端にかけると、同装置が 2 つに分離し、かつ水素を安全に遮断する機能を有する。
顕微赤外分光分析 (FTIR)	FT-IR とは Fourier Transform Infrared Spectroscopy の略でフーリエ変換赤外分光法のこと。化合物分子の赤外線吸収を利用して化合物を定性・定量する測定法である。
差圧充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。蓄圧器と燃料電池車の水素充填タンク（または試験充填容器）の水素ガス圧力の差のみを利用して充填を行う方式。この際、蓄圧器の上流にある圧縮機は、蓄圧器への水素ガス補給のためだけに私用される。
試験充填容器	燃料電池車が無くとも水素の繰り返し充填試験が可能となるよう設けた容器（鋼製）。東邦瓦斯水素ステーションにおける主な仕様は、常用圧力 70MPa、容量 160L である。
水素回収ライン	東邦瓦斯水素ステーションにおいて試験充填容器に充填した水素を、減圧して再利用するためのライン配管。試験充填容器に充填した水素を放散する必要がなく、効率的に繰り返し充填試験を進めることができる。
スキッド化	機器を同一の盤(スキッド)に載せて製作工場に付帯設備も含めて組立を完成させる手法。本事業では水素ステーションの現地工事量の低減による建設コスト低減を目的として実施した。
Cv 値（読み：シーバイチ）	バルブの性能を表す工学的数値。バルブの開度を一定にし、その前後差圧を 1psi に保ち、60° F の水が 1 分間に流れる量を US ガロンで表した値。この数値が大きいほど、バルブを流体が流れやすい。
遮断弁	水素ステーション設備内の水素ガスの流れを遮断するバルブ。
充填カップリング	水素充填時に水素ステーションと燃料電池車充填タンクまたは試験充填容器間を接続するための水素ステーション側の機器。（燃料電池車充填タンク側の接続機器は「レセプタクル」と呼ぶ）
充填タンク（車載タンク）	燃料電池車で水素ガスを貯蔵する容器。構造は、金属またはプラスチックの膜（ライナー）の外側に接着用の樹脂を含浸させた炭素繊維を幾重にも積層（巻いた）ものとなっている。充填タンクにおける接着用の樹脂は、85°C を超過すると溶解し、耐圧性能を維持できないことから、充填タンクの耐熱温度は 85°C となっている。
充填ホース	水素充填時に水素ステーションと燃料電池車充填タンクまたは試験充填容器間を接続するための水素ステーション側の機器。緊急離脱カップリングと充填カップリング（ノズル）間を接続するもの。

蓄圧器	燃料電池車に水素ガスを充填するために水素ガスを貯蔵する容器。蓄圧器は、その構造、材料により「鋼製蓄圧器」と「複合容器蓄圧器」に分かれる。東邦瓦斯試験ステーションの蓄圧器は、常用圧力 82MPa、容量 255L (日本製鋼製)、100L (高圧昭和製)、60L (住金機工製) がある (すべて鋼製蓄圧器)。
調節弁	水素ステーション設備内の水素ガスの流量を調節するバルブ。
直充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。圧縮機から蓄圧器を介さずに燃料電池車 (または試験充填容器) に水素を直接充填する方式。
ディスペンサー	水素ステーションにおいて水素ガスの計量、流量制御等を行う機器。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、充填カップリング等で構成される。
電子後方散乱像法	電子後方散乱像法 (EBSP: Electron Back Scattering Pattern) のこと。SEM に組合せ、ミクロな結晶方位や結晶系を測定する。結晶粒毎の情報が得られる。また、集合組織や結晶相分布を解析できる。
動的解析	ある系において、時間と共に変化する圧力、流量といった物理量を、経験式や理論式に基づき計算により求める手法。本事業では、水素ステーションの各構成機器、配管等における水素ガスの圧力、温度、流量の時間的変化を解析するために活用している。
2 段直充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。前段圧縮機 (吐出圧力 40MPa)、中間段蓄圧器 (常用圧力 40MPa 程度)、後段圧縮機 (吐出圧力 100MPa) の順に連結し、充填タンクまたは試験充填容器への充填を行う。前段圧縮機で 40MPa 程度まで昇圧した水素ガスを後段圧縮機で 70MPa まで昇圧し充填タンクへ充填を行う。差圧充填方式と比較して蓄圧器設計圧力を小さくでき、蓄圧器コスト低減効果が見込める。また、後段圧縮機の吸込み圧力を高く設定できるため、圧縮比を小さくすることができ、圧縮機コスト低減効果が見込める。
燃料電池自動車試験車両	燃料電池車の水素充填タンクの温度などを計測する機能を持つ車両。
パッケージ化	機器をコンテナ内に収納し、製作工場 で付帯設備も含めて組立を完成させる手法。本事業では、水素ステーションの現地工事量の低減による建設コスト低減を目的として実施した。
普及期前 1 年分に相当する充填回数	普及期前のポスト JHFC (2011~2015 年) 期間における稼働率を、JHFC2 と同様の 0.9 回/ステーション・日と想定し、1 年分に相当する充填回数を 270 回と設定した。
普及初期時 1 年分に相当する充填回数	普及初期時 (2015 年以降) における稼働率を、2.7 回/ステーション・日と想定し、1 年分に相当する充填回数を 945 回と設定した。
プレクール設備	燃料電池車の充填タンク内の温度の上昇*を防止するため、高圧の水素ガスを充填タンクに充填する前に冷却する設備。熱交換器と熱交換器用冷媒冷凍機から構成される。本事業における東邦瓦斯水素ステーションにおけるプレクール設備の要求仕様は、充填ノズル出口での水素温度が-20℃以下としている。 < * 参考 > 高圧水素の充填においては、充填圧力が高いほど燃料電池車の水素充填タンク内の温度上昇も高くなる現象がある。このため 70MPa 充填では、充填タンクの耐熱許容温度 85℃を超えないよう、水素ガスを冷却して充填タンクに充填する必要がある。

ブライン	プレクール設備に使用される冷媒。プレクール設備におけるブラインは、熱交換器において水素ガスを冷却する2次冷媒をさす（1次冷媒は、冷凍機において2次冷媒を冷却するものを指す）。一般的なブラインとしては、塩化カルシウム水溶液、エチレングリコール水溶液等がある。
平均充填流量	1回の充填における時間あたりの単純平均流量のこと。水素の総充填量(kg)を充填時間(min)で除して算出される。
流量計	水素ステーション設備内の水素ガスの流量を測定する機器。水素ステーションにおいては、コリオリ式質量流量計が採用されている。
[水素インフラの技術基準に関する検討関連]	
安全率	安全率は、容器の破裂試験と圧力サイクル試験において使われることが多い。破裂試験における安全率は、容器の設計圧力に対する破裂圧力の比率であり、2.25倍としている。圧力サイクル試験における安全率は、実使用における圧力サイクル数に対する、試験で合格とする圧力サイクル数の比率のことである。
応力/Stress	荷重 = N (kgf) を材料片の平行部のはじめの断面積 (mm ²) で割ったものが応力である。: N/mm ² (kgf/mm ²)
応力集中部と応力解析	機械設備等において形状の不連続部の近傍に大きな応力が発生することを応力集中という。応力集中係数 (α) は切り欠き部の底に発生する応力と平滑部に発生する応力の比で表す。 $\alpha = \sigma_{max} / \sigma_0$ で表す。応力解析はこの応力集中部での応力を FEM 解析や形状に基づいて実験的に求められた係数 (形状係数) による方法等を用いて解析する手法である。
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。 γ Fe、 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度	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。
許容引張り応力	機械や構造物に許容される引っ張り強さを言う。適用する材料の常温及び設計温度での引っ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。
降伏比	引張強さに対する降伏点 (通常は上降伏点) 又は耐力の割合を言う。

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 G0201 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）
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、金属ライナーに圧縮残留応力、金属ライナーの外周繊維に引張り残留応力を発生させる圧力処理。
絞り、相対絞り（RRA）	引っ張り試験や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。
常温圧力サイクル試験	常温にて容器に一定の圧力範囲の負荷を繰り返しかけて、疲労強度を評価する試験方法。
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暴露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより靱性が低下する（脆化する）現象を言う。
ストレスラプチャー試験	静的荷重を与えて、破断までの時間を時間を計測する破断強度の時間依存性試験法。水素用非金属材料の基礎物性として実施した。
ストライエーション	疲労によって破面上に形成される縞状の模様をいう。負荷時のき裂先端の塑性鈍化と除荷時のき裂先端の再鋭化によってこのような模様が形成される。破面の上下面では山と山、谷と谷が対応しており、ストライエーション間隔はそのときの繰返し負荷1サイクル間に進展したき裂の長さ、すなわち疲労き裂進展速度に対応している。 ただし疲労破面全体がすべてストライエーションによって覆われているわけではない。
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。
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。
特認（事前評価）申請	「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であり、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

	きる制度である。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、その評価結果で特認申請を実施する。
低温脆性 (ていおんぜいせい)	鋼は-20~-30℃で急激にもろくなる特性がある。これは特にりん(P)の成分の多い鋼種に多く現れる。またアルミニウムは、超低温範囲に至るまで低温脆性を示さない。
引張り試験	引張り試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引っ張り強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
ピーク応力振幅	繰り返し応力が作用する環境に於いて、その応力振幅(最大応力と最小応力の差の1/2)のうち最大のものを言う。
疲労強度、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	人工の傷を与えた試験片に繰り返し応力を与え疲労き裂の長さの増加量を測定する。亀裂進展試験での亀裂進展速度(da/dN)(m/cycle)を縦軸に応力拡大係数幅(ΔK)(MPa√m)を横軸にしたグラフを作成し各材料の亀裂進展特性を評価する。
複合容器	ライナーの外側を、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。
複合容器タイプ	圧力容器の構造によりタイプ1~4に分類されている国際規格。 タイプ1; 全部金属製 タイプ2; 金属製の容器の胴体をリング状の“たが”で補強し、レジンを含浸したもの タイプ3; 金属製容器の全体を繊維で補強し、レジンを含浸したもの タイプ4; 非金属製容器の全体を繊維で補強し、レジンで含浸したもの
フル充填	FCV燃料容器の設計基準で安全が担保されている性能上の上限まで、水素を充填すること。
プレクール設備	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。通常プレクール設備の出口温度は-40℃としている。
マルテンサイト	マルテンサイト(martensite、α'鋼)は、Fe-C系炭素鋼を、安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織。刀の作成段階で見られる焼入れなどは、鋼をこの組織へと変態させる作業の事である。組織構成は、オーステナイトが炭素を固溶したままの状態で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き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、幸治番号等 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
ライナー	複合容器の内層部品。材質は金属またはプラスチック。ライナーの目的はガスの保管、およびガス圧力をライナーの外周繊維に伝達すること。
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。
ASME B31.12	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 ASME 基準である。設計係数を 3 としている。
A6061-T6	A6061 は熱処理合金のアルミで、強度があり耐食性に優れています。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です。A6061-T6 は耐力 245N/mm ² 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ります。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics (炭素繊維強化プラスチック) は、強化材に炭素繊維を用いた繊維強化プラスチックであり、高い強度と軽さを併せ持つ材料のため、様々な用途に使用されている。CFRP の母材には主にエポキシ樹脂が用いられる。
CNG	Compressed Natural Gas (圧縮天然ガス)。天然ガスは、地下に存在するガス、または地下から地表に噴出するガス一般のことであり、この中には化石燃料ガス（可燃性ガス）だけでなく、窒素や酸素、炭酸ガス、水蒸気、硫化水素ガス、亜硫酸ガス、硫酸化物ガスなどの不燃性ガスも含まれる。
FEM 解析	Finite Element Method 有限要素法は数値解析手法の一つ。方程式が定義された領域を小領域（要素）に分割し、各小領域における方程式を比較的単純で共通な補間関数で近似する。
Hydrogenius	産業総合技術研究所（産総研）の水素エネルギー社会構築に向けて水素の安全利用技術の確立のために設立された。「水素材料先端科学研究センター」の略称である。
JHFC	Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project (水素・燃料電池実証プロジェクト) とは、経済産業省が実施する燃料電池シ

	<p>ステム等実証試験研究補助事業に含まれる「燃料電池自動車等実証研究」と「水素インフラ等実証研究」から構成されるプロジェクト。平成14年度～平成22年度まで、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FCV（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・活動を行ってきた。</p>
<p>KHKS 0220 (超高压設備に関する基準)</p>	<p>高压ガス保安法の適用を受ける超高压設備の耐压部の材料、設計、製作、試験・検査に対して適用される基準である。高压ガス保安法の省令、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例示基準の設計係数の低減を可能としている。</p>
LBB	<p>Leak Before Break (破裂前漏洩) 長期間の疲労を受けた場合、亀裂が内面から進展して外面に達し、容器内の水素が放出されて内圧が低下し、不安定破壊には至らない現象。</p>
Ni 当量	<p>ニッケル当量 (Ni 当量) は、組織図法でフェライト量を決定する場合に、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 当量は次の式で表される。</p> <p>1) シェフラの組織図のニッケル当量 $\text{ニッケル当量} = 30\%C + 0.5\%Mn + \%Ni$</p> <p>2) FN 組織図 (デロングの組織図) のニッケル当量 $\text{ニッケル当量} = 30\%C + 0.5\%Mn + \%Ni + 30\%N$</p>
SSRT	<p>Slow Strain Rate Test (低歪速度引張試験) 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れる遅れ割れ試験法。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。</p>
SUS316, SUS316L	<p>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「酸化被膜」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。</p>
SUH-660	<p>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225N/mm² と SUS-316L の約2倍の強度を併せ持っている。</p>

研究開発項目 I : 「車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発」

用語	説明
圧力損失係数	<p>充填層の圧力損失を求める Cozeny-Carman の式</p> $\frac{\Delta P}{L} = k \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \mu \cdot S_v^2 U$ <p>を下記の式に変換したときの α を圧力損失係数 [1/m²] とした。</p> $\frac{\Delta P}{L} = \alpha \cdot v \cdot \frac{\dot{m}}{A} \qquad \alpha = k \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot S_v^2$ <p>ΔP : 充填層の圧力損失, L : 充填層の長さ, ε : 空隙率 d : 粒子径, k : Kozeny 係数 (=5), $S_v = 6/d$</p>
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。
火炎暴露試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている設計確認試験の一つ。装置すべきバルブ等を取り付け、最高充てん圧力まで水素ガスを充てんした容器を火炎の中へ曝す試験。合格基準は、容器が破裂することなく、容器内のガスが安全弁から排出されること。
極端温度試験	ANSI/NGV2 (アメリカ国家規格/圧縮天然ガス車両 (NGV) 用燃料容器に対する基本的要求事項) に規定されている試験の一つ。85°C (使用上限温度) で最高充てん圧力×125%を 4,000 回、-40°C (使用下限温度) で最高充てん圧力×80%を 4,000 回行う試験。合格基準は、加圧試験終了後に容器に漏れが無いこと。
高圧水素圧力組成等温線 または P-C 等温線	水素圧力 (P) - 組成 (C) 等温線の呼称。水素貯蔵材料の一定温度下での水素吸蔵放出平衡特性を示す。
固定端/自由端	MH カートリッジは、容器にその両端を保持されている。そのうちの一方はアルミライナーに固定されていて、固定端と呼んでいる。他方は、口金部へ挿入しているプラグで支持され、長手方向に動くことができ、自由端と呼んでいる。
質量貯蔵密度	貯蔵システムの単位質量あたりに貯蔵できる水素質量。水素質量 / (容器質量+水素質量) の値。
常温サイクル試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている設計確認試験の一つ。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。合格基準は、加圧回数が 11,250 回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。
耐圧試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている性能確認試験の一つ。最高充てん圧力の 150%以上の圧力に加圧し、30 秒以上保持して容器を十分膨張させる試験。合格基準は、容器に漏れ又は異常膨張がなく、かつ、恒久膨張量が規定値を満足すること。
体積貯蔵密度 (容器体積密度)	貯蔵システムの単位体積あたりに貯蔵できる水素質量。水素質量 / 容器外体積 の値。
バースト試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 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行う試験。合格基準は、破裂圧力が最小破裂圧力 (最高充てん圧力×225%以上、かつ、応力比 2.25 以上) 以上でありこと。

落下試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている設計確認試験の一つ。水平落下、垂直落下、斜め 45° 落下を実施した容器について、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。合格基準は、加圧回数が 11,250 回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。 ただし、今回のハイブリッド貯蔵タンクの評価については、落下方法のみを参照した。
BCC 相	体心立方 (Body Centered Cubic) 構造をもつ相。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics の略。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。
C14 型ラーベス相	AB ₂ の組成式で表される金属間化合物のうち、MgZn ₂ 型の六方構造をもつもの。
FCC 相	面心立方 (Face Centered Cubic) 構造をもつ相。本研究の場合、Ti-V-Mn 系 BCC 合金相を水素化すると FCC 水素化物相が生成する。
MH	MetalHydride (水素吸蔵合金)
MH カートリッジ	熱交換用のフィン、配管などがついた水素吸蔵合金を入れておくための容器。
Ti-V-Mn 系合金	チタン、バナジウムおよびマンガンからなる合金。金属組成によって BCC 相および C14 型ラーベス相を生成する。

研究開発項目Ⅱ：「水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発」

用語	説明
オフガス (Off gas)	改質側ガスから、水素分離膜により水素を分離精製した残りのガスの呼称。
カーケンダルボイド (Kirkendall void)	異種元素が接し相互拡散する場合、各元素の拡散速度の差異が大きいために生じる空孔。
グラファイトフェルール (Graphite ferrules)	グラファイト製のフェルール（別途説明あり）。本事業では、触媒一体化モジュールの継手部に使用している。
フェルール (Ferrules)	配管の継手部の流体密封手段のひとつで、チューブ端近くの接続部に咬ませるリング状の部品。
触媒一体化モジュール	水素分離膜モジュール（別途説明あり）の一種。本事業のテーマのひとつで研究開発対象としている。水素分離膜を支持する多孔質支持体に触媒機能を持たせている。別置きで改質触媒を必要としないため、システムのコンパクト化が期待できる。
水素製造効率	水素製造のためのエネルギー効率。定義式は以下のとおり。 $\frac{F_p(H_2) \times Q(H_2)}{F_c(NG) \times Q(NG) + W(AUX)} \times 100(\%)$ <p> $F_p(H_2)$: 製造水素流量 (Nm³/h) $Q(H_2)$: 水素の熱量 (J/Nm³) $F_c(NG)$: 消費される天然ガス流量 (Nm³/h) $Q(NG)$: 天然ガスの熱量 (J/Nm³) $W(AUX)$: 補機の消費エネルギー (J) </p>
水素分離型リフォーマー	水蒸気改質による水素生成と水素分離膜による水素精製を単一の反応管内で行う水素製造システム。従来システムに比べて、高効率でシンプルかつコンパクトという特長を有する。
水素分離膜モジュール	水素分離型リフォーマー（別途説明あり）の構成要素のひとつ。水素分離膜とそれを支持する支持体からなる。反応管（別途説明あり）の中で使用される。
反応管	本事業では、水素分離膜モジュールを改質触媒（触媒一体化モジュールの場合は必要なし）とともに内蔵する高温耐圧容器を指す。この中で水素の生成と精製を同時に行う。
ホットモデル	本事業では、補機類（ボイラー、圧縮機、水処理装置等）を別置きした試験用水素分離型リフォーマーを、ホットモデルと称している。
膜モジュール	水素分離膜モジュール（別途説明あり）。
メンブレン (Membrane)	本事業では、水素分離膜を指す。
MOC	Membrane On Catalyst. 触媒一体化モジュールの英語略称。

研究開発項目Ⅱ：「水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発」

用語	説明
改質効率	水素製造装置に投入した原燃料の熱量に対する送出水素の熱量の比。
製造効率	水素製造装置に投入した原燃料の熱量及び投入電力量の合計に対する送出水素の熱量の比。
HHV	High-Heating Value 高位発熱量。水蒸気の凝縮潜熱を含んだ可燃性ガスの発熱量。
起動時間	装置の起動開始から定格能力の30%程度で水素を送出するまでの時間。
DSS	Daily Start-up Shut-down。装置を毎日起動、停止すること。
ホットスタンバイ	反応器運転温度を維持するため最低負荷状態で運転し、待機した状態。
水蒸気改質	原料（炭化水素）と水蒸気を反応させ、水素を主成分とする改質ガスを生成させる反応操作。
脱硫	原料中の有機硫黄分を除去する反応操作。
変成	改質ガス中の一酸化炭素と水蒸気を水素と二酸化炭素に変換する反応操作。
S/C	Steam Carbon Ratio。水蒸気と炭素のモル比。
PSA	Pressure Swing Adsorption。吸着剤への吸着量が成分によって差異があることを利用し、ガスを精製する装置。水素 PSA は水素以外の成分を吸着除去し、高純度の水素を製造する。
VPSA	Vacuum Pressure Swing Adsorption。PSA の一種で、真空下で吸着剤から吸着成分を脱離する方式。
水素回収率	水素 PSA で供給ガス中の水素量に対する製品水素量の比。
改質ガス	水素を主成分とし、一酸化炭素、二酸化炭素、メタンからなる。
変成ガス	改質ガスを変成器で処理した後のガス。改質ガスと比して、水素濃度、二酸化炭素が増加し、一酸化炭素が数%まで低下する。
オフガス	水素 PSA に供給される変成ガスのうち、製品水素以外のガス改質器のバーナ燃料に使用される。
SV	Space Velocity。単位触媒量、単位時間に流体が触媒層を通過する流量。
メタン転化率	原料中の炭素原子モル量に対する改質ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素モル量の比。同じ反応温度においてメタン転化率が高いほど触媒性能が高い。

研究開発項目Ⅱ：「CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発」

用語	説明
キャリア	運び手のこと。本研究では、膜内で物質（二酸化炭素等）を輸送する物質のことある。
パーミアンス	透過速度。本研究では、mol/（m ² skPa）という単位で評価している。
メンブレン	膜のこと。
水蒸気改質反応	炭化水素と自ら、二酸化炭素と水素を得る反応。副生成物として一酸化炭素が発生する。
変性反応	一酸化炭素と水から二酸化炭素と水素を得る反応。
CO転化率	変性反応において、一酸化炭素が反応する割合。
メンブレンリアクター	本研究で開発している、触媒とメンブレンを組み合わせ、CO変性反応を行う反応器。
水素ステーション	燃料電池車に水素を供給するための施設。水素を輸送して貯蔵するオフサイト型と、都市ガスを改質して、水素をその場で製造するオンサイト型があり、水素製造装置（オンサイト型の場合）、貯蔵タンク、圧縮装置、注入装置から構成される。
PSA	pressure swing adsorption：圧力変動吸着。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する装置。

研究開発項目Ⅱ：「ホウ素系水素貯蔵材料の開発」

用語	説明
エリンガム図	標準生成自由エネルギー-温度図のことで、反応の進む方向をこの図から読むことができる。
ガスクロマトグラフィー	気化しやすい化合物の同定・定量に用いられる機器分析の手法である。
赤外分光分析	物質に赤外線を照射し、透過（あるいは反射）光を分光することで得られるスペクトルから分子構造や状態を知る。
μ SR零磁場測定	μ SR（下記参照）を外部磁場なしの状態で行う。本研究では、水素化物中の水素原子の内部磁場にのみに影響された μ SRスペクトルとなる。
第一原理計算	実験結果を含めて経験的パラメーター等を用いなくて、物質に関する計算を行う。本研究では、既知あるいはモデル構造を元に水素化物の熱力学的安定性などを理論的に予測する。
動径分布関数	ある原子のまわりに存在する原子の数が、平均の密度と比べて、どれくらいであるかをあらわす量で距離の関数となる。X線散乱実験などから求めることができる。
熱重量・示差熱分析	物質を恒温保持あるいは昇温・冷却することによって生じる、重量変化や熱変化を捉えることによって、相変態、分解・結合などの反応を分析する。
放射光	高エネルギーの電子等の荷電粒子が磁場中でローレンツ力により曲がるとき、電磁波を放射する現象であり、強力なX線や赤外線が得られ、各種の分析に用いられる。
ホウ素系水素化物	$M(BH_n)_x$ で表される水素化物である。Mはアルカリ、アルカリ土類、遷移金属元素からなる。B（ホウ素）は水素原子と共有結合して(BH _n)の陰錯イオンを形成し、Mの陽イオンと結合している。
密度汎関数法	物質の電子状態を求める方法のひとつで、多電子系の基底状態における電子密度分布は、電子密度分布関数の汎関数である全エネルギーを最小にするものとして一意的に与えられることを利用する。
ミリング処理	遊星ボールミリング装置等によって行われる物質の処理方法のひとつである。容器内に鋼等の球体と試料をいれ、回転運動を与えることによって、ボールや容器内壁面と試料、試料同士が衝突を繰り返して、粉碎加工される。
無機錯体系水素化物	$M(M'H_n)_x$ で表される一連の水素化物群の総称である。Mはアルカリ、アルカリ土類、遷移金属元素、M'はAl, B, Nなどの元素からなる。M'は水素原子と共有結合して(M'H _n)の陰錯イオンを形成し、Mの陽イオンと結合している。
ラマン分析	物質にレーザのような単色光を照射し、散乱される光を分光器に通し観測して得られたスペクトルより、物質の微視的な構造や不純物の同定などを行う。
RHC (reactive hydride composite)	金属水素化物と MgB ₂ の混合物。ホウ素源としてBのかわりに MgB ₂ を用いることで、水素化反応によるボロハイドライドの合成が促進される。

<p>μSR (muon spin rotation)</p>	<p>スピン偏極したミュオンを物質に注入し、ミュオンスピンの感じる内部磁場の大きさや揺らぎを実時間で捕らえることにより物質の様々な性質を明らかにする手法</p>
<p>マジック角回転法 (MAS)</p>	<p>MAS は、Magic Angle Spinning の略称である。試料を強い磁場の中に入れ、磁場の方向に対して 54.7 度傾いた軸の周りで高速回転する方法。固体試料の NMR シグナルは非常に線幅が広くスペクトルの分解能が低い、マジック角回転法を用いて測定することにより、線幅の狭いシグナルとなり、高分解能スペクトルが得られる。</p>
<p>核磁気共鳴分析 (NMR)</p>	<p>外部静磁場に置かれた物質中の原子核が固有の周波数の電磁波と相互作用する現象を利用した分析手法。原子核の内部構造、物質の分析、同定の手段として用いられる。</p>
<p>XANES分析 (X-ray Absorption Near Edge Structure)</p>	<p>エックス線吸収端近傍構造分析を示す。吸収端の前後 50 eV 程度までの領域に見られるピーク構造を解析することで、X線吸収原子の電子状態や局所構造に関する情報が得られる。</p>

研究開発項目Ⅱ：「ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発」

用語	説明
原子半径比 (R_A/R_B)	AB ₂ 型のラーベス合金のA元素と、B元素の原子半径の比。2元素系のC15ラーベス合金ではこの値が1.37以上であると、水素を吸蔵して非晶質化が起こるとされている。 なお、理想的なラーベス構造では1.225程度である。
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。
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。
水素化分解（不均化）	水素吸蔵合金が水素を吸蔵した後に水素化物と金属に分解すること。一般に水素化分解が起こると可逆的な吸蔵放出が起こらなくなる。 例： $\text{CaNi}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CaH}_2 + 2\text{Ni}$ （水素化分解＝不均化） 例： $\text{CaNi}_5 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CaNi}_5\text{H}_6$ （水素吸蔵）
水素雰囲気での粉末X線回折測定（in Situ XRD測定）	水素圧下で粉末X線回折測定を行い、様々な水素吸蔵量での水素吸蔵合金の結晶構造を調べる。
水素誘起非晶質化（アモルファス化）、単に非晶質化	水素吸蔵合金が水素を吸蔵した後に結晶構造が崩れアモルファスの水素化物になること。一般に非晶質化が起こると可逆的な吸蔵放出が起こらなくなる。
不均化（水素化分解）	水素吸蔵合金が水素を吸蔵した後に水素化物と金属に分解すること。一般に不均化が起こると可逆的な吸蔵放出が起こらなくなる。 例： $\text{CaNi}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CaH}_2 + 2\text{Ni}$ （不均化＝水素化分解） 例： $\text{CaNi}_5 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CaNi}_5\text{H}_6$ （水素吸蔵）
ラーベス構造	A原子とB原子の半径のサイズの比 (R_A/R_B) が1.225あるいはそれに近い値をもちAB ₂ の形の化学式で表される、緻密で安定な金属間化合物の結晶構造。C15型、C14型、C36型の3種に分類できる。結晶格子内に多数の水素吸蔵サイトが多数存在しており最大でAB ₂ H ₆ (H/M=2) まで到達する合金がある。
BCC（体心立方）構造 Body-Centered-Cubic	立方体の格子の頂点以外に中心にも格子点がある結晶構造。格子内に多数の水素吸蔵サイトが存在しており最大でMH ₂ (H/M=2) まで到達する。
C14型ラーベス構造	3種類あるラーベス構造の内のひとつで、プロトタイプはMgZn ₂ である。ZrやTi系の水素吸蔵合金が多数報告されている。CaMg ₂ やCaLi ₂ 等の高容量が規定できる軽量の化合物が存在する。
C15型ラーベス構造	3種類あるラーベス構造の内のひとつで、プロトタイプはMgCu ₂ である。C14型よりは少ないもののZrやTi系の水素吸蔵合金が報告されている。(Mg, Ca)Ni ₂ 組成の室温で可逆的に吸蔵放出可能な合金が存在する。
C15 _b 型ラーベス構造	C15型のラーベス構造のAサイトが2種類のサイトに規則化した構造。C15はAB ₂ であるがC15 _b は(A _{1.0.5} A _{2.0.5})B ₂ =A ₁ A ₂ B ₄ で表される。具体的にはMgPrNi ₄ が相当している。またこの組成ではMg、Prそれぞれにそれぞれが置換固溶できるため、Mg _{1.4} Pr _{0.6} Ni ₄ やMg _{0.8} Pr _{1.2} Ni ₄ が存在する。最近この系の合金の特異的な水素吸蔵放出特性が明らかになってきている。

ΔH	水素分子 1 モルを水素吸蔵合金が吸蔵もしくは放出する反応時のエンタルピーの変化量。実用的な水素吸蔵合金では、-20~-30 kJ/mol H ₂ 程度である。
ΔS	水素分子 1 モルを水素吸蔵合金が吸蔵もしくは放出する反応時のエントロピーの変化量。理想的にはおおよそ、-130J/molH ₂ ・K となる。実際には-100~-130 程度である。
H/M	水素吸蔵量を表す方法のひとつ。金属水素化物の金属原子 M と水素原子 H の比。例えば Mg ₂ NiH ₄ では H/M=4/3=1.33 (3.6mass%)。
PCT 曲線 Pressure-composition -Temperature curve	水素吸蔵合金の性能を表す最も重要な水素吸蔵量や水素吸蔵・放出温度および圧力を示している曲線。圧力-組成等温線図と呼ばれている。
2 段プラトー	PCT 曲線に低圧、高圧の 2 段のプラトー領域が存在していること。水素圧力あるいは水素量に依存した 2 種類の金属水素化物が存在しているために出現する。本事業で MgPrNi ₄ で 2 段プラトーが存在している事を見出した。

研究開発項目Ⅱ：「低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発」

用語	説明
圧力計	圧力を計測し表示する装置。(機械式)
圧力伝送器	圧力を計測し、結果を電気信号にて伝送する装置。
安全弁	高圧ガス機器の内圧が設計圧力以上にならないように圧力を逃がすための安全装置。
カウンター	充てんした水素量およびエラーなどを表示する装置。
ガス検知器	水素ガス検出装置。
気密試験	設計圧力以上の圧力で気体を使用して行う試験。
緊急離脱カップリング	水素充てん中に燃料電池自動車が誤発進したとき、ホース断裂前に離脱し水素の漏洩を防止する安全装置。
コアプロセッサ	コリオリ流量計で計測部と一体化したデジタル信号処理回路を内蔵する変換器。
コリオリ式流量計	振動するパイプ内を流体が流れるときに発生するコリオリ力を測定することにより質量流量を計測する流量計。
コントロールボックス	充てんおよびディスペンサーを制御する装置。
シーケンサー	リレー回路の代替装置として開発された制御装置。プログラマブルコントローラとも呼ばれる。
遮断弁	水素の供給、遮断を制御するバルブ。
充てんカップリング	燃料電池自動車の水素供給口と接続するディスペンサーからの水素供給の出口。
常用圧力	装置の使用状態での最高圧力。
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。
操作スイッチ	緊急停止、充てん開始・終了、脱圧などをおこなうためのスイッチ。
耐圧試験	設計圧力の1.5倍以上の圧力で水その他の安全な液体を使用して行う試験。(液体の使用が困難な場合、設計圧力の1.25倍以上の圧力で気体を使用)
脱圧弁	ベントラインに接続され充てん終了時にディスペンサー内部配管から水素を抜くためのバルブ。
ディスペンサー	燃料電池自動車の水素タンクに水素を充てんする装置。
バリア	危険場所で使用する電気回路の安全保持回路。
ブライン槽	水素ガスを冷却するために使用する冷却液の容器。
プレクール	水素充てん時、車載タンクの温度上昇を抑制するために前もって水素ガスを冷却すること。
フローチューブ	コリオリ流量計で計測される流体が流通する振動管。
防爆ボックス	全閉構造で爆発性ガス(水素)の内部爆発の圧力に耐え、さらに内部爆発による火炎が外部の爆発性ガス(水素)へ引火を生じることがない容器。
ホース	充てん作業を容易にするためのフレキシブル性を持った水素の通路。
流量調整弁	水素充てん時に水素の流速を制御するためのコントロールバルブ。
レセクタプル	燃料電池自動車の充てんカップリング接続口。


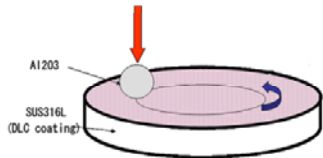

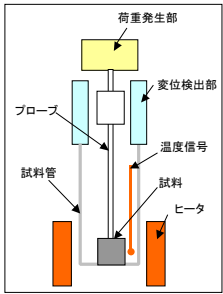
研究開発項目Ⅱ：「低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発」


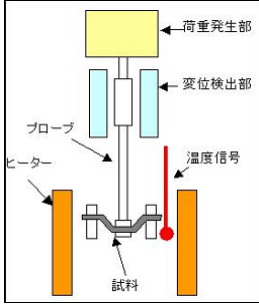
用語	説明
外部加熱法	ライナーを外部から加熱しながらフィラメントワインディングを行う方法。内部加熱法と同様の効果が期待できると共に、内部加熱法と組合せることで効率よく加温することが可能となる。
キャノピー	(ガソリン、水素など) サービスステーションの充填場所の屋根部分。
ゲル化	液状の樹脂が流動性をなくし、固化すること。
硬化	ここでは主にエポキシ樹脂を固めることを指す。樹脂項参照。
樹脂	ここでは主にエポキシ樹脂を指す。加熱により硬化し繊維間に密着力を持たせる。一般には100℃～150℃の熱を加えて硬化させる。
蓄圧器	ここでは高圧水素を蓄えておくボンベ(容器)をいう。70MPaの車載タ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。
内部加熱法	ライナーを内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。
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。
プレクール	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)した後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。
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。
WE T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。

研究開発項目Ⅱ：「低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に関する研究開発」

用語	説明
アクチュエータ	自動弁に用いられる駆動機のこと。水素ステーション関連機器では主に空気圧を動力としたものを使用する。
圧縮機併用方式	蓄圧器からの差圧充填と、圧縮機からの直充填とを同時に用いることにより車両に充填する方式。単純な差圧充填と比較して蓄圧器の容量ができ、また直充填と比較して圧縮気風量を低減できる。 差圧充填方式：蓄圧器と車両充填容器との圧力差を利用して充填を行う方式 直充填方式：圧縮機から蓄圧器を介せず車両充填容器に直接充填を行う方式
圧力上昇率	水素充填時の温度上昇の観点から充填に際し考慮する圧力の上昇率が提案されている。
応力緩和	グランドパッキン等の材料内に作用していた応力が、クリープ変形により低下していく現象。
グランドパッキン増し締め	グランドパッキンは、スタフィングボックス内のパッキンをパッキン押さえで締め付けることによって、軸表面を押し付ける力が発生し、その接触圧力で内部の流体をシールする。日常運転中に漏れが増大したときに行う締め付け調整のこと。
固溶強化	窒素添加等により固溶体を作ることにより高強度化する手法。
自緊 自緊処理 (自己緊縮法：autofrettage)	<p>製造工程中で、水圧などを利用して、容器内面に弾性限度以上になるような高い内圧を加えると、内圧をのぞいた後も変形は元に戻らず、図のように内層には圧縮応力、外層には引っ張り応力が残留し、容器内層が外層によって緊縛された状態になる。</p> <p>自緊により実効的なき裂進展率が低減されるので、蓄圧器の耐久性向上が見込まれる。</p> <div data-bbox="1037 1030 1404 1411" data-label="Figure"> </div> <p>図1 充填時の円周方向応力</p>
靱性 (vE-30°C)	マイナス 30°Cにおけるシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー。鋼の靱性はこの数値が高いほど高いとされる。
析出強化	炭化物の代わりに金属間化合物の微細な析出物粒子を熱処理により分散させ強度を高める手法。析出硬化系ステンレス鋼としてSUS630が知られている。
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場合が多い。
ダイナミックシミュレーション	システムの微小時間の変化をあらゆる微分方程式を立て、数値解法を用いて解くことにより、対象とする流量、圧力等の時間変化を計算する予測計算手法

<p>ナノインデンテーション試験 (超微小押し込み硬さ試験)</p> <p>摩擦磨耗試験</p>	<p>薄膜や微小領域の硬さとヤング率の測定を高精度で行う試験。圧子を材料や薄膜の表面に押し込み、表面硬さ等を求める。</p> <p>試験体の磨耗量、摩擦係数を求める目的で、実供用を模したボールとディスクとの間に荷重をかけ擦り合わせる試験</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="667 450 911 725">  </div> <div data-bbox="1050 461 1374 618">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="624 770 967 801"> <p>図2 超微小押し込み硬さ試験機</p> </div> <div data-bbox="1018 757 1406 831"> <p>図3 摩擦磨耗試験 (荷重増加式ボールオンディスク試験)</p> </div> </div>
<p>熱機械分析装置</p>	<p>試料の温度を一定のプログラムによって変化させながら、圧縮、引張り、曲げなどの非振動的荷重を加えてその物質の変形を測定する装置。試料の膨張収縮、軟化といった情報を温度又は時間の関数として定量的に測定できる。主に熱膨張、熱収縮、軟化点などの測定に用いられる。パッキン形状で熱履歴を加えた場合の変形状態を把握するために使用。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="608 1128 783 1435">  </div> <div data-bbox="815 1137 1038 1429">  </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">図4 熱機械分析装置の外観と装置構成</p>

粘弾性装置	<p>試料に動的な歪みまたは応力変化（正弦振動）を与えて、発生する応力または歪みを測定する装置。この応力と歪みの温度・周波数依存性から高分子材料のもつ弾性的な特性と粘性的な特性を温度または時間の関数として定量的に測定できる。パッキン材質のガラス転移を代表とする各種の緩和現象や観測し、適切な材料選定のために使用。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>図5 動的粘弾性装置の外観と装置構成</p>
引張強度 (UTS)	限界引張強さ (Ultimate Tensile Strength – UTS)
フェーズドアレイ UT (Ultrasonic Testing) 法	<p>小さい振動子を多数配列し、そのうちの数個を同時または若干の時間の遅れを持たせて電氣的に制御して振動させ、超音波ビームの方向、集束点等を制御する技術である。フェーズドアレイ技術には従来の方法と比べて、超音波ビームの方向、集束点を任意に設定することが可能で、きずの検出能力が高く広範囲を一度に探傷できることと、その結果が断面画像で見ることができ、材料内部の詳細な情報が得られる。</p>
プレクール設備	車両充填容器に急速充填を行う目的で設けられる熱交換器および冷凍機からなる設備
ボールバルブ (手動弁、遮断弁)	バルブ構造の一つ。弁棒を90°回転させることにより開閉を行う。他構造のバルブと比較して、流量を大きくすることが可能である。
冷間加工	塑性変形を利用した常温で行う加工。オーステナイト系ステンレスは、熱処理により軟化し、冷間加工により硬化、高強度化する。
AE (Acoustic Emission) 法	<p>材料に許容以上の外力などが加わると、材料に蓄えられていたひずみエネルギーは変形やき裂の発生や進展に費やされ、この時の、一部のエネルギーが音に変わる。これをアコースティック・エミッションと呼んでいる。この AE 信号を検出することで稼働中に異常を検出することができるため、装置を停止させることなく監視することが可能である。</p>
CrN	窒化クロムのコーティング。高硬度のため、耐磨耗、摺動性に優れる。プラグの耐エロージョン用として採用実績あり。プラグの摺動性向上のために検討。
Cv 値	バルブの持つ容量係数で、流体がある差圧でバルブを流れる時の流量を表した場合の数値。大きいほど流れやすい。
DLC	ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-like carbon) のこと。主として炭化水素、あるいは、炭素の同素体からなる非晶質 (アモルファス) の硬質膜である。一般的な特長は、硬質、潤滑性、耐摩耗性、化学的安定性、表面平滑性、耐焼付き性等。

MC-E	ナイロンモノマーを重合・成形した耐磨耗性、自己潤滑性に優れた樹脂。シールパッキンとして検討。
PEEK	ポリエーテルエーテルケトンの略称。熱可塑性樹脂の一種。硬く潤滑性に優れるため、シールパッキンをバックアップするパッキンとして検討。
PEEK-S	PEEK の摺動性を向上させるために添加材を含有させたもの。PEEK よりも耐久性を向上させるために検討。
POM	ポリオキシメチレンの略称。一般的にはポリアセタール、アセタール樹脂と呼ばれる熱可塑性樹脂。硬く摺動性に優れるため、シールパッキンのバックアップとして検討
PPS	ポリフェニレンサルファイド樹脂の略称。高結晶性の熱可塑性樹脂。硬く摺動性に優れるため、シールパッキンのバックアップとして検討。
PTFE	ポリテトラフルオロエチレンの略称。テトラフルオロエチレンの重合体で、フッ素原子と炭素原子のみからなるフッ素樹脂（フッ化炭素樹脂）。柔らかく自己潤滑性に優れるため、シール用パッキンとして検討。
PTFE-S	PTFE に強度を向上させるための補強材を含有したもの。通常のPTFE では柔らかすぎ、耐久性が乏しいために検討。
PVDF	ポリフッ化ビニリデンの略称。高耐性、高純度な熱可塑性フッ素重合体の一種。硬く潤滑性に優れるため、シールパッキンをバックアップするパッキンとして検討。
Sachs 法	試験体の残留応力を切削前後の寸法変化から求める破壊測定方法。
SA723 鋼	4%Ni 低合金鋼。従来より超高圧特認容器用材料として規定されている。
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 (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遅れ割れ試験法。遅れ割れ特性の評価が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。
TiC	チタンカーバイドのコーティング。高密着力で高硬度の特性を持つ。耐磨耗性に優れ、平滑性も良いため摺動性も良い。プラグの耐エロージョン用として採用実績あり。摺動性向上のために検討。
TOFD → (TimeofFlightDiffraction) 法	送信用探触子と受信探触子を一定の間隔で対向させ、探触子間を直接伝わる波を検出し表示する方法である。この時、き裂が内在しているとき裂の上端・下端で回折波が発生するので、き裂先端からの回折波の伝搬時間の差を利用して、検出または寸法測定を行なうことが可能である。き裂の高さ寸法の測定精度が良いという特徴がある。
UPE	超高分子量ポリエチレンの略称。熱可塑性樹脂の一種。柔らかく自己潤滑性に優れるため、シール用パッキンとして検討。
UPE-S	UPE の摺動性を向上させるための添加材と、強度を向上させるための補強材を含有したもの。UPE よりも耐久性を向上させるために検討。

研究開発項目Ⅱ：「都市型コンパクト水素ステーションの研究開発」

用語	説明
安全濃度	本研究ではCO ₂ を加えることによりある空間に水素が漏洩しても着火しないCO ₂ /空気の分圧比と、水素が漏洩した空間内の混合気を外部に排出しても着火の恐れが無いCO ₂ /水素分圧比を決定した。本研究ではこの両方の条件を満たすCO ₂ /空気/水素混合気の濃度を安全濃度と呼ぶ。
可燃濃度の境界	空气中で水素の可燃限界は下限が4%、上限が75%とされ、その間の濃度が可燃濃度である。空気にCO ₂ を加えるとCO ₂ の増加とともに下限が上昇、上限が下降して可燃濃度が狭まり、本研究の結果CO ₂ 75%で消滅する。CO ₂ 濃度を変化させて可燃限界を測定し、それを結んだ曲線が可燃濃度の境界である。
水素燃焼制御	水素混合気の水噴霧や不活性ガスを混合し、水素の燃焼を抑制すること。
水素の不活性化	本研究開発では不活性気体により漏洩した水素が着火・爆燃・爆轟に至らないようにすることを表す。(ハロン消火剤の場合には化学反応により燃焼を抑えるが、本研究のCO ₂ の場合には熱的影響により燃焼を抑制している)
パイロットバーナ	燃焼器では主たる燃料と空気の流れとは別に常に安定して燃焼する小さなバーナを備えて、最初の点火や条件変動の際の消炎防止に用いるものをパイロットバーナと呼ぶ。本研究では安定して燃焼する火炎(パイロットバーナ)の周囲にCO ₂ /空気/水素混合気を流通させて火炎が広がるか否かを調べた。
爆風圧エネルギー吸収壁	入射する圧力波が壁面で反射する時に、圧力波のエネルギーの一部を吸収して反射圧を低減する機構を取り入れた壁。
反射圧低減壁	入射する圧力波が壁面で反射する時に、反射波のピーク圧力を低減する機構を取り入れた壁。

研究開発項目Ⅱ：「直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発」

用語	説明
水素ステーション	水素を燃料とする自動車に水素ガスや液体水素を充填する施設。
HySUT	水素供給・利用技術研究組合。
吐出圧力	圧縮機から吐出される空気（本研究開発の場合は水素ガス）の圧力。
特認申請	高圧ガス保安法における経済産業大臣特別認可申請手続。
プレートフィン熱交換器	板状の突起が設けられたタイプの熱交換器。
J2601	充填プロトコル対応 国際基準・SAE J2601 のこと。

研究開発項目Ⅱ：「水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発」

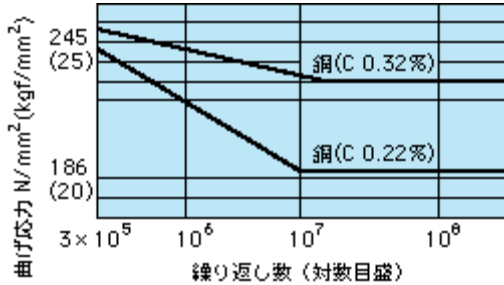
用語	説明
応力/Stress	荷重＝N (kgf) を材料片の平行部のはじめの断面積 (mm ²) で割ったものが応力である。: N/mm ² (kgf/mm ²)
応力・ひずみ曲線 (S-S 曲線)	応力 (stress) - ひずみ (strain) から S-S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力 (荷重)、横軸に引張ひずみ (伸び) の量または伸び率% をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。
オーステナイト/オーステナイト系ステンレス	オーステナイト (austenite) とは、純度 100% の鉄において 911°C ~ 1392°C 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。γ Fe、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°C 以上の高温で安定な組織であり、通常、常温では存在しない。しかし、オーステナイト生成元素の Ni、Mn を多量に固溶すると常温においてもハチの巣のような六角形の結晶粒を示すオーステナイト組織が得られる。18Cr-8Ni に代表されるオーステナイト系ステンレスは Ni によりオーステナイト組織を持ち、粘り強く、柔らかく、成形性と耐食性に優れた性質を示す。またオーステナイトは常磁性体 (非磁性体) であるが、加工等によりマルテンサイト組織が誘起されて磁性を帯びることがある。逆に、マルテンサイト組織にオーステナイト組織が残ることを残留オーステナイトと言う。
応力拡大係数 範囲 ΔK	き裂を有する部材に繰返し応力が作用するとき、き裂の寸法および応力の最大値と最小値から算出される応力拡大係数の最大値と最小値との差として定義される。一般に、小規模降伏状態における疲労き裂伝搬速度の評価に用いられる。
応力振幅	応力振幅とは、疲労試験において、試験片に生じる変動応力の範囲の半分。S-N 線図の作成には、通常、応力振幅が使われる。
応力比	応力比とは、疲労試験での繰返し荷重 1 サイクルにおける最大応力に対する最少応力の比。引張応力を正、圧縮応力を負とする。
遅れ破壊	水素脆化のうち、静荷重下の材料が、加工時あるいは使用中に侵入した水素によって使用開始後一定期間で突然に破壊する現象を、特に遅れ破壊と呼ぶ。
加工硬化	「ひずみ硬化」ともいう。鉛など特異な例を除き、金属に応力を与えると結晶のすべりが生じ、そのすべり面に対しての抵抗がだんだん増してくる。そしてその抵抗がある程度大きくなると他の面に順次移っていく (塑性変形)。冷間加工により変形が進めば進むほど抵抗が大きくなり金属は硬さを増していくが、これを加工硬化という。伸銅品、ステンレス板やアルミの非熱処理合金板などはこの加工硬化の程度 (加工率) によって質別の区分がされている。
加工誘起マルテンサイト変態	18Cr-8Ni の代表鋼種である SUS304 は常温ではオーステナイト組織であるが、曲げ加工や深絞り加工その他加工が加えられるとオーステナイトの一部がマルテンサイトに変わる。その変わる量は加工の程度が大きくなればなる程多く、また同じ程度の加工であっても SUS304 の範囲内での化学成分値の違いによってもマルテンサイト

	量は違ってきます。このように、冷間加工によって生じたマルテンサイトのことを「加工誘起マルテンサイト」と呼ぶ。
機械的性質	材料の機械的な特性、つまり弾性、非弾性反応、応力と歪み、弾性率、引張強さ、疲れ限、硬さなどのように力が加えられた場合に発生する材料性質。
許容応力	機械や構造物が破壊しないために材料に生じても差し支えない最大の応力のこと。また同じ材料でも応力の種類や荷重のかかり方によって変わってくるので注意が必要である。
繰返し荷重	動荷重の一つで一定の周期と振幅で繰返し作用する荷重のことをいう。
強化プラスチック	「FRP」の項を参照のこと。プラスチックが熱硬化性プラスチックの時はFRP、熱可塑性プラスチックの時は、FRTP (TPはThermo Plasticsの略) という。
降伏点	引張試験の途中で応力(引張荷重)が急に低くなり、その後応力が大きくならないう伸びが進むという現象が起こる。その転機の応力 W を試験前の材料片の断面積 A_0 で割った値を降伏点(yield point)という。また降伏点はスプリングバック発生の目安ともなる。
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°C~1,100°C前、アルミニウム合金 450°C~550°C前後)
再結晶	冷間加工によって加工硬化した材料をある温度まで加熱すると急に軟化する。これは、加工によって変形した結晶が、多角形の細粒に分割結晶するため、増加していた転位も消滅し、結晶粒は内部ひずみを持たない安定したものとなる。これを再結晶といい、この再結晶の始まる温度を「再結晶温度」という。またこの再結晶温度以上の加熱後に除冷することが「焼なまし」に当たる。
絞り/reduction of area	引張試験で破断した材料片の最小断面積 A と最初の断面積 A_0 との差(小さくなった面積)を最初の材料片断面積 A_0 で割った百分率%。
シャルピー衝撃試験	衝撃試験の方法で試験片の両端を支えて中央部を折って衝撃値を求める。シャルピー衝撃試験で試験片を破断するために使われた吸収エネルギーを、その破断した部分の面積で割った値を求める方法で、一般にこの値が小さいものはもろい。
衝撃試験	材料の動的衝撃に対する抵抗の度合いを測定するもので、ねばり強さ[靱性]、もろさ[脆性]を知ることができる。特に脆性を知る有効な試験方法である。シャルピー衝撃試験、アイゾット衝撃試験が代表的である。
衝撃強さ	材料が衝撃荷重に対して示す抵抗値。

時効硬化	「固溶化熱処理」（非鉄金属、特にアルミニウム合金では「溶体化熱処理」という）した合金は、本来ならば低温で析出するはずの合金元素が急冷により析出する間もなくむりやり溶け込まされた状態となっており不安定である。これが時間の経過につれ本来の安定な状態にもどろうとして、ところどころ析出してくる。この析出により結晶はすべりにくく硬くなる。これを時効硬化(age hardening)または「析出硬化」という。時効硬化には常温時効硬化と人工時効硬化があり、後者を「析出硬化処理」ともいう。
修正 Ni 当量	ステンレス鋼からニッケル基合金までの広い範囲での水素環境脆化に及ぼす化学成分の影響の指標として単に Ni 含量では依存性が十分明らかでないことから、この修正 Ni 当量を当てはめることにより、広い範囲の金属材料の水素環境脆化がこの指標で整理できることを見出した。
靱性（じんせい）	物質のねばり強さを技術用語で「靱性」という。引張試験での「伸び」の大小とは直接関連しないが、衝撃にあっても割れにくい性質であるため、衝撃試験の数値が大きければ、一般にねばり強いといえる。
析出硬化処理	固溶化熱処理（溶体化処理）の後、時効硬化（析出硬化）を人工的に行うことをいい、ペリリウム銅、ステンレス鋼の 600 番台のものやアルミニウム合金の 2000 番系、6000 番系、7000 番系及びアルミニウム合金鋳物などの T6 処理が代表例である。熱処理としての析出硬化処理は、合金に応じて人工的に温度を上げ、溶け込んでいる元素の原子運動を容易にしてから冷やして行くもので、時効硬化を早める。これを人工時効硬化ともいい、アルミニウム合金では「焼戻し」に当たる。一方常温で行われる時効硬化を「常温時効硬化」あるいは「自然時効硬化」という。アルミニウム合金では T4 処理が代表的であり、人工時効硬化（T6）とは区別されている
脆性（ぜいせい）	物質の“もろさ”（Brittle）を技術用語で「脆性」という。（脆性 ↔ 靱性）。衝撃試験である程度脆性の大小をいうことができる。また金属の脆化現象には次の様なものがある。
ストレスラプチャー試験	静的荷重を与えて、破断までの時間を時間を計測する破断強度の時間依存性試験法。水素用非金属材料の基礎物性として実施した。
ストライエーション	疲労によって破面上に形成される縞状の模様をいう。負荷時のき裂先端の塑性鈍化と除荷時のき裂先端の再鋭化によってこのような模様が形成される。破面の上下面では山と山、谷と谷が対応しており、ストライエーション間隔はそのときの繰返し負荷 1 サイクル間に進展したき裂の長さ、すなわち疲労き裂進展速度に対応している。ただし疲労破面全体がすべてストライエーションによって覆われているわけではない。
疲れ限度／fatigue limit	金属を繰返し折り曲げると、引張って切れるよりはるかに小さな力で破断する。これを疲れ破断と言う。鋼の場合は応力（荷重）が小さくなるに従って破壊にいたる繰返し数が増えていき、応力がある程度以下になると繰返し数をいくら多くしても材料は破壊されにくくなる。この限度を「疲れ限度」と言う。非鉄金属の場合は、この「疲れ限度」が明確に現れないため、応力（S）の繰返し

	し数 (N) が 1 千万回 (10 ⁷) の繰返しに耐える応力 (S ₀) を「疲れ強さ」と言い、S ₀ kgf/mm ² (10 ⁷) と表示する。実際に金属を使用する際の強度比較数値として重要である。参考: 「S-N 曲線」、「耐疲労性」
低温脆性 (ていおんぜいせい)	鋼は -20 ~ -30℃ で急激にもろくなる特性がある。これは特にりん (P) の成分の多い鋼種に多く現れる。またアルミニウムは、超低温範囲に至るまで低温脆性を示さない。
停留き裂	鉄鋼材料のように明確な疲労限度が現れる材料において、疲労限度の繰返し応力下で発生し、少しだけ進展した後に停止した疲労き裂をいう。停留き裂が生じる材料の疲労限度は、発生した疲労き裂が進展するか停留するか限界の応力を意味する。
転位	金属の格子欠陥の一つ。金属は原子が規則正しく並んでいる結晶とされているが、実在の金属中には原子の並びに乱れ (欠陥) があり、線状の欠陥を転位と呼ぶ。転位の移動に必要なエネルギーは、すべり面の金属格子全体を一度に移動させるエネルギーの数千分の 1 とわずかである。即ち、実在の金属結晶の塑性変形は転位の運動によって容易に行えるものとされている。
疲労き裂進展速度	繰返し応力 1 サイクルあたりの疲労き裂の長さの増加量をいう。き裂長さを a、応力負荷の繰返し数を N としたとき da/dN と表記される。通常、応力拡大係数範囲や J 積分範囲を用いて整理される。
ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、s ⁻¹ の単位を持つ。多くの材料において、変形中の応力は、ひずみと温度およびひずみ速度によって変化する。ひずみ速度は、材料の構成式において重要な変数の一つである。一般に、ひずみ速度が大きくなると材料の変形中の応力も大きくなるが、ある種のアルミニウム合金のようにひずみ速度の変化に比較的鈍感な材料もある。
疲労限度	鉄鋼系の材料では、S-N 曲線がある応力で水平に折れ曲がり、それ以下の応力をいくら繰返しても破断しない現象が現れる。このときの破断しなくなる最大の応力をいう。耐久限度ということもある。通常、S-N 曲線の折れ曲がりには 10 ⁶ ~ 10 ⁷ 回の繰返し数の範囲に見られる。
偏析 *正偏析 *逆偏析	不純物や合金元素を含む合金を鑄造するとき、鑄型に接した外部から内部へ凝固していく。このとき溶融点の低い成分や不純物は最後に凝固する部分、すなわち、中心部に集中して偏在することになる。これを偏析 (正偏析) といい、ガスの圧力や急冷などによって、内部より外周部にしみ出して集まる現象を「逆偏析」という。逆偏析は、青銅にみられる。
マルテンサイト	マルテンサイト (martensite、α' 鋼) は、Fe-C 系炭素鋼を、安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織。刃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

	<p>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。</p>								
曲げ試験/bend test	<p>規格の試験片を規定の半径で規定の曲げ角度まで変形を与え、曲げられた部分の外側を検査し、亀裂や欠点の有無によって合否判定をする試験法である。</p>								
面心立方格子	<p>X、Y、Z方向の3軸の長さが等しく、すべて垂直であるような構造を有する立方晶系の1つで、立方体の角の他にその正方形をなす各面の中心にも結晶原子または分子を有するもの。</p>								
焼入れ/quenching	<p>一旦、加熱、保持したものを急冷するもので、常温の水や60℃～80℃の油で冷やすことが多い。刃や刃物の焼入れはよく知られている様に、硬度、耐摩耗性を得ることができるが、反面もろくなったり、残留応力が生じ、条件によっては焼割れ、焼曲がりが発生する。アルミニウムの熱処理合金では「溶体化処理」がこの焼入れにあたる。</p>								
焼なまし/annealing	<p>「焼鈍(ショウドン)」ともいう。再結晶温度に加熱、保持の後、普通炉冷によりゆっくり冷ます。残留応力の除去、材料の軟化、切削性の向上、冷間加工性の改善、結晶組織の調整などを目的とする。また鋼種、目的により加熱温度と徐冷の方法が変わってくる。</p>								
焼なまし温度	<p>焼きなまし温度は鋼種や目的により幅が大きい目安にすぎないが代表例は下記の通りのようになる。</p> <table border="1" data-bbox="587 1126 949 1361"> <thead> <tr> <th>合金名</th> <th>加熱温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A6061 A6063</td> <td>345～415</td> </tr> <tr> <td>A7075</td> <td>345～410</td> </tr> <tr> <td>SUS304</td> <td>900～1000</td> </tr> </tbody> </table>	合金名	加熱温度 (°C)	A6061 A6063	345～415	A7075	345～410	SUS304	900～1000
合金名	加熱温度 (°C)								
A6061 A6063	345～415								
A7075	345～410								
SUS304	900～1000								
溶体化処理/solution heat treatment	<p>「固溶化熱処理」の項を参照のこと。アルミニウム合金の場合「固溶化熱処理」のことを溶体化処理という。合金を均一固溶体範囲の温度に加熱して合金元素を固溶させ急冷することで、常温における合金元素の固溶化をはかる熱処理のことである。</p>								
冷間加工 (C)	<p>再結晶温度未満、または常温で行なわれる加工を冷間加工といい、またこれは塑性変形を利用した加工である。冷間加工によって金属は加工硬化し、残留応力やひずみエネルギーが蓄積されるので加工前より不安定な性質となる。安定化するためには再度再結晶温度に加熱後、徐冷し焼なましをする。冷間加工の例では冷間圧延、引抜き、冷間鍛造、プレスなどがある。</p>								
α 鉄	<p>鉄の同素体のうち常圧、低温度域で安定な体心立方晶の純鉄。一次固溶体も含めてフェライトと呼ばれる。α 鉄は常圧下では、912℃、A3点以下で安定。A3点で $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ 変態を起こす。</p>								

bcc	体心立方格子構造(たいしんりっぽうこうしこうぞう)とは、結晶構造の一種。立方体形の単位格子の各頂点と中心に原子が位置する。略称 BCC (Body-Centered Cubic lattice)。
δ フェライト	デルタフェライト (delta ferrite) とは、純度 100%の鉄において 1392°C~1536°C (融点) の温度領域にある鉄の相 (組織) である。この領域において、鉄は体心立方格子構造をとる。δFe、δ 鉄 (デルタてつ) ともいう。純度 100%の鉄において、1536°Cを超えると鉄は液体になる。 デルタフェライトは、Fe-C 状態図において、1494°Cで最大溶解量 0.1 [mass %] までの炭素を固溶できる。
fcc	面心立方格子構造(めんしんりっぽう こうしこうぞう)とは、結晶構造の一種。単位格子の各頂点および各面の中心に原子が位置する。略称 FCC (face-centered cubic lattice)。充填率は六方最密充填構造と等しい。
FRP	ガラス繊維などの強力な繊維を加えたプラスチックで、強度、剛性、耐熱性などの性質を向上させた複合材料 (fiber reinforced plastics)。
Md30 (°C)	30%の加工により、50%のマルテンサイト相が生成する 温度。 Md30 (°C) = 413-462 (C+N) - 9.23Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 9.5Ni - 18.5Mo 各温度域における水素脆化を起こさない成分範囲を決める。
S-N 曲線	疲れ強さ試験において、材料に発生する応力 S (N/mm ²) を縦軸にとり、横軸に材料が破壊するまでの繰返し数 N をとったグラフを「S-N 曲線」という。「疲れ強さ」を図示できる。 
(S-S 曲線)	応力 (stress) - ひずみ (strain) から S-S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力 (荷重)、横軸に引張ひずみ (伸び) の量または伸び率% をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。
SSRT 試験	低ひずみ速度引張試験。高圧水素環境下で、表面被服を破壊しながら、引張試験を行うため、材料に定常的に水素を吸収させながら、水素脆化の評価が可能。

研究開発項目Ⅱ：「水素用アルミニウム材料の評価・開発」

用語	説明
SSRT 試験	SSRT は、低ひずみ速度法 (Slow Strain Rate Technique) の略称である。主に材料の脆化感受性を評価すること目的として、脆化促進環境中において、非常に小さいひずみ速度条件で材料に引張変形を付与する試験方法を指す。
水蒸気雰囲気試験	水蒸気分圧を制御した環境（一定の湿度環境中）にて、材料特性を評価する試験一般を指す。特にアルミニウム合金の場合は、試験雰囲気中の水蒸気と新生アルミニウム表面が反応して、原子状の水素が発生するために、試験水蒸気分圧を制御することによって容易に高圧水素ガス環境を模擬できるため、水蒸気雰囲気中で SSRT 試験や疲労試験を行って、材料の水素脆性を評価する簡便試験方法として用いられる。
水素脆化感受性指数	材料の水素脆化しやすさを定量的に表す指数。多くの場合は SSRT 試験において、水素脆化を生じない不活性ガス環境中での破断伸び ($\delta 0$)、水素脆化が生じる脆化促進環境中での破断伸び (δE) を用いて以下の式で求められる。 水素脆化感受性指数 = $(\delta 0 - \delta E) / \delta 0$
粒界腐食深さ	材料の耐食性の評価基準の一つである。所定の条件で腐食試験を行った後に、材料断面について組織観察をするなどして、粒界腐食が材料表面からどの程度の深さまで進んでいるかを測定して求める。粒界腐食深さが小さいほど、粒界腐食に対する耐性が高い。
耐 SCC 寿命	SCC は、応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking) の略称であり、材料が応力負荷された状態での使用環境中での腐食によって想定寿命よりも早期に破壊する現象を指す。ここで耐 SCC 寿命とは、所定の試験条件で材料の SCC 試験を行った場合に、破断を生じるまでに要する時間を意味する。
ディンプル破面	金属材料の破面形態の分類の一つ。金属材料の破面を走査型電子顕微鏡などにより高倍率で観察を行うと、表面にくぼみ (ディンプル) が多数認められる形態の破断面を意味する。この形態の破面が存在する場合は、破壊が延性的に生じたことを示す。
粒界割れ	金属材料の破壊形態の分類の一つ。金属材料を引張試験等によって破断させた場合に、結晶粒界面で破壊が生じることを指す。この場合、破面を観察すると粒界面が認められる。水素により材料が脆化した場合は、この破面形態を呈する場合が多い。
T6 処理	溶体化処理後、室温以上の温度でピーク強度に達するまで、時効すること。
マクロ組織観察	金属材料の組織観察方法の一つ。比較的粗大な結晶粒組織を有する材料に適用され、所定のエッチング処理を行った後の組織形態を目視等により観察して、写真撮影等により記録する組織観察方法。
再結晶組織	金属材料のミクロ組織の分類形態の一つ。材料の製造工程等で一旦熱間加工または冷間加工が加わった後に、加熱処理等が行われた場合に、加工組織から再結晶および粒界移動が生じて、組織の大部分が再結晶粒で構成されるようになった組織を意味する。

ファイバー組織	金属材料のミクロ組織の分類形態の一つ。比較的等軸の形状であった結晶粒が、材料の加工によって一方向に著しく引き伸ばされることによって形成されたミクロ組織であり、主に押出加工で形成される。
過剰 Si 型 (6000 系合金)	6000 系合金 (Al-Mg-Si 系合金) の分類の一つ。主要成分である Mg と Si によりなる析出物 (Mg ₂ Si) を構成する Mg と Si の原子数比 (2:1) に対して、Si 量が多く添加されている成分の合金を指して、過剰 Si 型と呼ぶ。典型例は 6066 合金である。
バランス型 (60000 系合金)	6000 系合金 (Al-Mg-Si 系合金) の分類の一つ。主要成分である Mg と Si によりなる析出物 (Mg ₂ Si) を構成する Mg と Si の原子数比 (2:1) に成分調整された合金を指してバランス型と呼ぶ。典型例は 6061 合金である。
疲労き裂進展試験	材料に予め疲労き裂を導入しておき、この材料に繰り返しの応力を付加して、疲労き裂の進展速度等を評価する試験方法。
破壊靱性試験	破壊靱性とは、材料中にき裂が存在する場合におけるき裂進展に対する材料の抵抗力を広義において意味する。このき裂進展に対する材料の抵抗力を定量的に求めるための試験が破壊靱性試験である。
重水蒸気雰囲気	重水とは、通常水分子を構成する水素原子 (H: 質量数 1) が、重水素原子 (D: 質量数 2) で置換された特殊な水分子を多く含む水を意味する。この重水が蒸発して、空気中に多数の重水分子が含まれる雰囲気を重水蒸気雰囲気と呼ぶ。
昇温脱離分析	省略して、TDS (Thermal Desorption Spectrometry) とも呼ばれる材料中のガスの分析方法の一つである。供試材料の温度を一定速度で高め、その昇温過程で材料中から放出されるガス成分を連続的または一定期間毎に分析して、ガスが放出される温度と放出ガス量の関係等を調べることができる。
陰極電解法	試験片を陰極にして水溶液を電気分解させ、試験片に水素をチャージする方法。
水素マイクロプリント法	英語では Hydrogen Microprint Technique と呼ばれる。金属中の水素は原子状水素 (H) であり強い還元性を持つため、AgBr (写真乳剤の主成分) + H → Ag + HBr の反応により写真と同様に銀 (Ag) が生じることを利用して水素の放出場所を特定する手法。
トリチウムオートラジオグラフィ	オートラジオグラフィは放射線写真法とも呼ばれ、対象物中に分布している放射性物質から放出される β 線や γ 線から画像を作成する手法である。トリチウムオートラジオグラフィはこの手法の一種であり、放射性物質として水素の放射性同位元素であるトリチウムを用いて対象物中の水素 (トリチウム) の分布を調べることができる。
イメージングプレート	X 線、電子線、中性子線による励起で蛍光を発する現象を利用した積分型の二次元検出器である。トリチウムオートラジオグラフィにおいて、トリチウムの崩壊に伴い発生する β 線 (電子線) の発生位置を記録して、水素 (トリチウム) の存在位置を調べるための測定装置である。
SEM	走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscopy: SEM) の略称。試料表面を 1,000 倍以上の高倍率で観察することができる。

研究開発項目Ⅲ：「水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討」

用語	説明
Annex (作業部会)	国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) における実施協定 (Implementing Agreement) において設置されている作業部会の名称。Task ともいう。
BOP (バランス・オブ・プラント)	Balance of Plant。燃料電池システムにおける、燃料や空気の供給系 (ポンプ等) や発電制御系の総称。
CaFCP (カリフォルニア燃料電池 パートナーシップ)	California Fuel Cell Partnership。1999 年にスタートした官民パートナーシップで、カリフォルニア州における FCV 展開やそのための水素ステーション展開計画の策定、水素燃料品質の検討などを行っている。メンバーは、自動車メーカー、エネルギー供給会社に加えて、カリフォルニア州政府の行政機関 (大気資源局、カリフォルニアエネルギー委員会) も参画。
DFMA	Design for Manufacture and Assembly。米国で開発された製品組み立て手法・ツール。部品数の低減によりコストダウンを図る。
FCH JU (欧州燃料電池水素共同 実施機構)	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking。欧州連合の多年度研究開発 (フレームワークプログラム) は、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、2007 年より重要分野 (5 分野) には官民パートナーシップ (民が主導的に助成方針を決める) が設置された。燃料電池水素共同実施機構 (FCH JU) もそのひとつ。
HyNor プロジェクト	ノルウェーが 2003 年より進めている水素利用自動車・水素ステーションの実証プロジェクト。首都オスロからスタバングル (北海油田の基地都市) までを水素ステーションのネットワークでつなげることを目指している。スウェーデンやデンマークとも連携。
IA (実施協定)	国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) において実施されている研究交流組織。約 40 の実施協定が実施されている。タスクシェアを基本とする。各実施協定には、Annex (アネックス) あるいは Task (タスク) と呼ばれる作業部会が設置されている。
IEA/AFCIA (IEA 先端燃料電池実施 協定)	先端燃料電池実施協定 (Advanced Fuel Cell Implementing Agreement) は、IEA の実施協定の一つ。AFCIA 傘下には作業部会として、Annex 22 (固体高分子形燃料電池 : PEFC)、Annex 23 (熔融炭酸塩形燃料電池 : MCFC)、Annex 24 (固体酸化物形燃料電池 : SOFC)、Annex 25 (定置用 FC)、Annex 26 (交通用 FC)、Annex 27 (ポータブル用 FC) が設置されている。
IEA/HIA (IEA 水素実施協定)	水素実施協定 (Hydrogen Implementing Agreement) は、IEA の実施協定の一つ。HIA 傘下には作業部会として、Annex21 (バイオ水素製造)、Annex22 (基礎的・工学的な水素貯蔵材料開発)、Annex23 (水素供給用の小規模改質器)、Annex24 (風力水素)、Annex25 (水素の高温製造技術)、Annex26 (水の光分解による水素製造)、Annex28 (大規模水素インフラ)、Annex29 (分散型水素供給)、Annex30 (グローバル水素システム分析)、Annex31 (水素安全) が設置されている。

IPHE (水素燃料電池国際 パートナーシップ)	水素燃料電池国際パートナーシップ (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy : IPHE) の略。米国の2003年に設立した、水素・燃料電池に係る政策レベルの国際協力組織。議長国は、2003～2007年が米国、2007～2009年がカナダ、2009～2012年がドイツ。行政担当者間の連携と情報交換を行っている。2010年までは、名称は International Partnership for Hydrogen Economy であった。
IPHE アワード	IPHEによって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2年毎に実施。
IPHE スチューデント コンペティション	IPHEが企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHEメンバー国が自主的に優秀校を推薦。
JHFC プロジェクト	平成14年度から日本で実施されているFCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成21年度よりNEDO事業。
NOW (ドイツ水素燃料電池機構)	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie。ドイツの水素・燃料電池技術革新プログラム(2007～2016年)の実施のために設立された組織で、形式は有限会社。民間の意見をくみ上げて政府の政策立案を支援するとともに、政府のファンドを管理する。ドイツのFCV実証であるCEPプロジェクトや、定置用FCプロジェクトであるCalluxを管轄。最近では、電気自動車(BEV)関連プログラムも管轄しており、「E-Mobility」(注:ドイツでは、FCVとBEVをあわせてE-Mobility呼ぶ)関連プロジェクトの実施機関ともなっている。
PEMEC (固体高分子形電気 分解セル)	PEFC (PEMFC) のセルを電解に用いる技術。一般に膜・電解質は、耐久性の観点から発電利用よりも厚くなっている。
SOEC (固体酸化物形電気分解 セル)	SOFCのセルを電解に用いる技術。一般に膜・電解質は、耐久性の観点から発電利用よりも厚くなっている。
Task (作業部会)	国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) における実施協定 (Implementing Agreement) において設置されている作業部会の名称。Annexともいう。
水素貯蔵材料	金属系では、遷移金属系水素化物 (理論値4%←実績2.5%)、マグネシウム系水素化物 (理論値7.6%←実績6.4%)がある。無機系では、アルミニウム水素化物 (理論値10.1%←実績10%【水素放出は不可逆】)、アラネート系水素化物 (理論値5.6%←実績4.8%)、ボロハイドライド系水素化物 (理論値14.9%←実績11%【水素吸蔵は高温・高圧】)、アンモニアボラン系水素化物 (理論値19.6%←実績11%【水素放出は不可逆】)がある。数値はいずれも重量%。
パワートレインのポート フォリオレポート	欧州連合およびドイツがマッキンゼー (欧州) に委託して作成した報告書。世界の主要自動車会社や欧州の主要エネルギー会社が参加し、コストや性能の実データをマッキンゼーに提供、マッキンゼーは限定的なスタッフのみがその実データを加工し、平均値かされたデータのみで将来予測を行った。このような実データの取り扱いを「クリーンルームプロセス」といい、そのスタッフを「クリーンチーム」ということが定着している。

非化石資源由来水素	再生可能エネルギーを利用して製造した水素。米国の「水素実行プラン」(2010年、ドラフト)においては2040年の水素需要の半分をカーボンニュートラル源とすることが想定されている。ドイツのロードマップ研究「GermanHy」は、2050年の水素需要の8割以上を、風力由来水素と石炭ガス化水素(CCS適用あり/なしの両方)とすることを想定している。
-----------	--

研究開発項目Ⅲ：「可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水電解水素製造の研究開発」

用語	説明
可視光応答性	可視光は 400 nm(380 nm)から 800 nm までの波長領域の光である。代表的な光触媒である二酸化チタンはちょうど可視光領域の短波長側より短い波長の光を利用する紫外光応答性光触媒であるので、一般には二酸化チタンの吸収より長い波長の光を利用できる光触媒が可視光応答性光触媒とされる。
酸化タングステン	黄緑色の可視光応答性の半導体。調製法により異なるが、光吸収スペクトルの吸収端は 460~480 nm であり、それよりも短い波長の光を吸収できる。環境浄化利用分野でも銅やパラジウム助触媒を表面に担持することで高い有機物分解性能を示す。強酸性でも非常に安定。
人工光合成	研究分野によって定義は異なる。例えば錯体化学では、植物の光吸収用ポルフィリン錯体や酸素発生用 Mn 錯体の機能を部分的に模倣する研究自体を示す。反応で区分する場合は、光エネルギーを化学エネルギーに「直接」変換・貯蔵する反応（エネルギー蓄積型反応またはアップヒル反応）を起こすシステムを示す。本研究の水を酸素に分解して Fe^{3+} を Fe^{2+} に還元する反応もエネルギー蓄積型反応である。水を水素と酸素に完全分解する反応、炭酸ガスと水から有機物を合成する反応、窒素と水からアンモニアなどを合成する反応も典型的なエネルギー蓄積型の人工光合成反応である。（均一・不均一）光触媒反応や光電極反応がその範疇になる。太陽電池と電気分解を組み合わせた水素製造では、直接的な変換ではないので、人工光合成ではない。
スイッチグラス	イネ科・キビ属の永年性草本植物。米国では大統領の一般教書演説でバイオエタノールを生産するための有望燃料作物として言及されて有名になった。トウモロコシと同じ光合成能力が高い種類で、乾燥にも耐え、農地に適さない土地でも栽培容易なのが特徴。
太陽エネルギー変換効率	単位時間当たりの、入射する太陽エネルギーに対して、取り出したエネルギーの割合。本研究の場合、ソーラーシミュレーターからの疑似太陽光（ラジオメーターで調整）に対して、水を酸素に分解して Fe^{3+} を Fe^{2+} に還元する反応として蓄積されたエネルギーの割合を示す。農作物の場合は、年間の太陽エネルギー総量に対して、年間で収穫された作物の乾燥物から計算した蓄積エネルギーの割合を示す。
光触媒	光触媒は光吸収により励起され、酸化反応および還元反応を引き起こす触媒物質である。不均一系の半導体光触媒や均一系の色素光触媒などがあるが、本発表は前者。半導体触媒は伝導帯と価電子帯が禁制帯で隔てられたバンド構造を持つ。バンドギャップ以上のエネルギーを持つ光により、価電子帯の電子が伝導帯に励起され、伝導帯に電子が、価電子帯にその抜け殻の正孔が生成する。伝導帯に励起された電子は価電子帯の電子よりも還元力が非常に強く、暗時では起こらない還元反応を起こすことができる。同様に、正孔も強力な酸化反応を起こす。今回の反応の場合、正孔により水が酸化さ

	れて、酸素が生成される。一方、伝導帯に励起された電子は Fe^{3+} を還元し、 Fe^{2+} が生成する。
光電極	本多藤嶋効果で有名な酸化チタン半導体の単結晶を用いた水分解で用いられた。n型半導体による水分解では、光照射によってその表面で酸素発生、対極で水素発生が起こる。この研究から原理が類似している酸化チタン光触媒の研究が盛んになった。
量子収率	本研究での量子収率は「外部量子収率」で表している。入射する光子の数に対して、反応に利用された光子の割合であり、見かけの量子収率とも言う。光子が反射または透過して吸収されなかった場合や、吸収されて電子-正孔対ができて再結合して熱になった場合、その量子収率は低くなる。一方、吸収された光子の数に対して、反応に利用された光子の割合の場合は内部量子収率と言う。外部量子収率は内部量子収率より低くなる。
レドックス媒体	酸化と還元を安定に繰り返す物質。二次電池材料にも用いられる。本研究については Fe^{2+} と Fe^{3+} のイオン。植物の光合成にも酸化や還元を起こす部分に電子移動を仲介する有機物のレドックス媒体が多数存在する。

研究開発項目Ⅲ：「非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発」

用語	説明
アノード(anode)	正電荷が電極相から溶液の方へ向かって移動する電極。電極反応が全体として酸化方向に進行している電極。
アルカリ形水電解 (alkaline electrolyte water electrolysis)	電解質にアルカリ溶液を用いて水の電気分解をおこなう方法ならびに装置。
カソード(cathode)	溶液側から電極相へ正電荷が移動していく電極。電極反応が全体として還元方向に進行している電極。
過電圧(overvoltage)	電極と電解質界面でのただ1つの電気化学反応しか生じていない場合の平衡電位からの電極電位のずれのこと。過電圧は反応や電極の“遅さ”を表す。
固体高分子形水電解 (polymer electrolyte water electrolysis)	電解質に固体高分子膜を用いて水の電気分解を行う方法ならびに装置。
酸素発生電極 (oxygen evolution electrode)	水の電気分解(水電解)におけるアノードのこと。アノードにおいて酸素が発生する反応が起こるので、このように呼ぶ。
質量活性(mass activity)	質量当たりの活性のこと。
定常分極 (steady state polarization)	十分に遅い電位走査速度で自然電位から電極電位をずらしていく操作ならびに測定法。
電解質 (electrolyte)	その内部をイオンが電荷担体として移動して、電流を流すことができるイオン伝導体のこと。
電気二重層 (electrical double layer)	電極を電解液に浸漬すると帯電し、それに液中のイオンが引き寄せられ、電極と電解液中にそれぞれ電荷層が形成される。この層を電気二重層という。
比活性(specific activity)	実面積当たりの活性のこと。

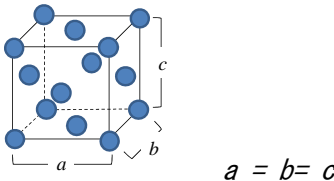
研究開発項目Ⅲ：「高効率水素液化磁気冷凍の研究開発」

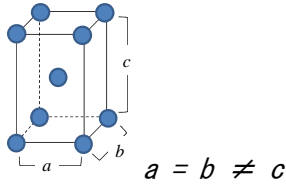
用語	説明
エントロピー変化	磁場により変化する磁性体のエントロピーのこと。これが大きいほど磁性体の冷凍能力が高い。磁性体の磁気相転移温度近傍でのみ大きいため、冷凍温度領域に転移温度を持つ磁性体を選択することが重要である。
カルノー型磁気冷凍	磁気冷凍サイクルの一種。熱機関のカルノーサイクルを磁気冷凍で実現するサイクル。原理的には熱力学最高効率が可能である。
球状化磁性体	磁気作業物質の充填率、熱交換効率を向上し、ガスの圧力損失を減少させるために用いられる球状化した磁性材料である。
磁気熱量効果	磁性体に磁場変化を与えるとき磁性体の温度が変化する。あるいは外部へ放熱、吸熱を起こす効果。磁気冷凍の原理となる物理現象。
磁性体駆動型磁気冷凍サイクル	磁気冷凍サイクルに必要な磁性体の磁場変化を与える方式の一つ。磁性体を駆動することで、超電導マグネットは永久電流モードで運転することができるため、効率的なサイクル運転が可能になる。
蓄冷型磁気冷凍	磁気冷凍サイクルの一種。外部熱交換器(蓄冷器)と熱交換することで、広い温度範囲での冷凍サイクルを可能とする。
ディスプレイサー	シリンダーとピストンによって熱交換ガスを駆動する機構のこと。一般のコンプレッサーと異なり、低温でガスを往復運動させることができる装置のことである。
AMR	Active Magnetic regenerator の略。能動型磁気蓄冷器。蓄冷型磁気冷凍サイクルの一種で、磁性体に蓄冷器と冷凍作業物質の二つの役割をさせることで効率的に蓄冷型冷凍サイクルを実現させる方式である。
%カルノー効率	熱力学的最高効率であるカルノー効率に対する実際のサイクルの効率の割合である。

研究開発項目Ⅲ：「水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発」

用語	説明
ガスパイプライン実大強度試験	天然ガスパイプラインで広く適用される試験で、他工事損傷などにより鋼管にき裂が発生した場合を想定して、所定の圧力下で初期き裂を強制的に与え、き裂が高速で伝播する挙動を計測する実験方法。
き裂伝播抵抗	延性破壊によりき裂が伝播する際の抵抗値を破壊力学パラメータで表わしたもの。パラメータとして、応力拡大係数やJ積分が使われる。
高速き裂伝播	材料中を高速でき裂が伝播する現象で、鋼の場合には、延性破壊と脆性破壊でき裂が伝播する。前者では、100~300m/s、後者では600~2000m/sの速度である。
水素脆性	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。
水素チャージ	材料の水素脆性感受性を評価するために、材料中に水素を拡散侵入させる方法。高温高圧水素環境下、電気化学的にチャージする方法がある。
TMCP プロセス	鋼管や厚鋼板を製造するプロセスで、Thermo-Mechanical Control Process の略。制御圧延・制御冷却からなる。結晶粒が微細化して強度と靱性が向上する。
TMR プロセス	鋼管や厚鋼板を製造するプロセスで、Thermo-Mechanical Rolling の略。制御圧延を適用する。結晶粒が微細化して強度と靱性が向上する。

研究開発項目Ⅲ：「超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発」

用語	説明
FCC	Face-centred cubic (面心立方晶) の略。 
共晶合金 Eutectic alloy	共晶反応によって生成する凝固組織を共晶組織と呼び、そのような組織を持つ合金をいう。共晶組織は一般に2種類の板状結晶が交互に配列した層状であるが、稀に棒状、螺旋状をとる。いずれにせよ、数 μm 程度のレベルの微細な組織である。共晶合金が融解するときは、純粋な単体の結晶のように一定温度（共晶点）を保つ。
金属間化合物 Intermetallic compound	2種以上の金属元素から構成される化合物。元素の原子比は整数である。成分元素個々とは異なる、特有の物理的・化学的性質を示す。
空孔 Vacancy	格子欠陥の一種である点欠陥の一つ。原子空孔ともいう。原子が規則正しく配列した結晶格子において、原子が本来在るべき場所から欠落している格子点をいう。絶対零度 (0 K) でない限り、結晶は空孔が存在した方が安定である。
合金 Alloy	金属元素単体からなる純金属に対し、複数の金属元素あるいは金属元素と非金属元素から成る金属様のものをいう。形態としては、完全に溶け込んでいる固溶体や上述の金属間化合物等がある。また、必ずしも単相でなくてもよく、複数の相から構成されるものも含む。金属成分が各々微細に独立した結晶組織を構成している共晶も合金である。
サイト Site	結晶格子における格子点、あるいは複数の原子によって構成される多面体の重心位置を指す。
錯水素化物 Complex hydride	錯体系水素化物の略称。 $[\text{AlH}_4]^-$ 、 $[\text{AlH}_6]^{3-}$ 、 $[\text{BH}_4]^-$ など水素を含み負の電荷を持つ錯イオンと正の電荷を持つ金属イオンとから構成される塩。LiAlH ₄ 、NaAlH ₄ 、Na ₃ AlH ₆ 、Mg(BH ₄) ₂ などが該当する。
水素化アルミニウム Aluminum hydride	化学式 AlH ₃ 。アランとも呼ばれる。質量水素密度 10.6 %。式量 30.01。密度 1.486 g/cm ³ 。無色の固体。融点約 423K (150°C)。強力な還元剤で、熱力学的に非常に不安定である。金属アルミニウムを直接水素化させる、所謂、気相-固相反応から得ることは平衡解離圧の関係から非常に困難であるが、有機溶媒中でのアラネートを原料としたメタセシス反応により比較的容易に得ることができる。結晶構造が異なる7つの多形 (α 、 α' 、 β 、 γ 、 δ 、 ε 、 ζ) の存在が知られている。

DSC	<p>Differential scanning calorimetry (示差走査熱量分析) の略。 測定試料と基準物質との間の熱量差を計測することで、相変態温度（融点、ガラス転移点、水素吸蔵・放出温度など）を測定する熱分析の手法である。</p>
TG-TDS	<p>Thermogravimetry-Thermal desorption spectroscopy (熱重量-昇温脱離ガス分析) の略。 昇温過程で試料表面及び試料中から脱離するガス成分を分子量毎（定性的）に質量分析計により検出するとともに、試料の質量変化を連続的に測定する。複数種類のガスの放出が並行して起きていなければ、脱離ガス成分毎の定量も可能である。</p>
熱力学的特性 Thermodynamic property	<p>熱伝導率、各種変態温度、エンタルピー、エントロピー、活性化エネルギー、比熱、潜熱、膨脹率、蒸気圧などの数値として表される。</p>
BCT	<p>Body-centred tetragonal (体心正方晶) の略。</p> 
ミリング Milling	<p>ボールミリング、メカニカルアロイング、あるいはメカニカルグラインディングともいう。セラミック製や金属製の硬球と、材料の粉末を円筒形の容器（材質は硬球と同じ）に入れて自転・公転させることによって、材料を磨り潰して均質な微粉末とする処理。</p>

研究開発項目Ⅲ：「ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究
開発」

用語	説明
エッジ	グラフェンの端の部分のこと。通常は水素で終端されているが、含酸素官能基で終端されることもできる。
含酸素官能基	グラフェンに付加可能な酸素原子を含む官能基。カルボキシル、フェノール性水酸基、ラクトン、カルボニル、エーテルなど様々な種類がある。
含窒素官能基	グラフェンに付加可能な窒素原子を含む官能基。4級炭素（グラフェンシート内の炭素原子1個が窒素原子1個に置換された形）、ピリジン、ピリドン、ピロール、ニトロ基など様々な種類がある。
グラフェン	炭素六角網面からなるシート状物質。グラフェンが規則正しく積そうすると、グラファイトになる。活性炭やゼオライト鑄型炭素などの炭素材料の基本的な構成要素であるが、これらの物質を構成するグラフェンには、大量の構造欠陥（ダングリングボンド、5員環、7員環など）が存在する。
スピルオーバー	金属担持触媒において、気相中の水素分子が金属表面に解離吸着した後、原子状水素（H・）の状態で担体へと流れ出す現象。
スピルオーバー水素	スピルオーバーによって担体へと移動した、原子状水素（H・）のこと。
スピルオーバー貯蔵	スピルオーバー水素を可逆的に吸蔵／放出する、という方式の水素貯蔵。
ゼオライト鑄型炭素	ゼオライトの細孔内部に炭素を充填し、ゼオライトを溶解除去することで得られる多孔性炭素。ゼオライトが鑄型となり、その規則構造が転写された炭素である。鑄型であるゼオライトと同じ長周期規則構造をもち、比表面積は最大で 4000 m ² /g に達する。
物理吸着	静電相互作用の一種であるファンデルワールス力により、気体分子が固体表面に引き寄せられる現象。固体物質の比表面積が大きいほど、物理吸着量は増加する。

研究開発項目Ⅲ：「Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発」

用語	説明
圧力－組成等温線	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。
グロー放電発光分光分析	分析材料を陰極として異常グロー放電を起こさせ、発する光を分光することにより元素組成分析を行う方法。スパッタリングによって深さ方向にも分解能を持ち、水素のような軽元素も定量できる。
プラトー圧力	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ラトー圧力によって支配される。

研究開発項目Ⅲ：「燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発」

用語	説明
FC	燃料電池 (Fuel Cell) の略称。燃料及び酸化剤が外部から連続的に供給され、電気化学反応によって連続的に発電する装置。燃料がもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し発電する発電機。
FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) の略称。燃料電池の発電した電気により走行する自動車。
EV	電気自動車 (Electric Vehicle) の略称。電気で駆動する自動車の総称。BEV (バッテリー電気自動車)、HEV (ハイブリッド電気自動車)、FCV (燃料電池自動車) が含まれる。
WP29	World Forum for Harmonization of vehicle Regulations (自動車基準調和世界フォーラム) 自動車基準を国際的に調和することや、認証を輸出入国あるいは地域間でお互いに認め合う相互承認の導入を図ること等を目的としたフォーラムで協定に基づく規則の制定・改正作業を行うとともに、以下の協定の管理・運営を行っている。 <ul style="list-style-type: none"> ・「車両等の型式認定相互承認協定 (略称)」(通称「1958 年協定」) ・「車両等の世界的技術規則協定 (略称)」(通称「1998 年協定」) ・「国連の自動車検査協定 (略称)」メンバーは国土交通省
GRPE	WP29 の下に設けられた 6 つの専門分科会のひとつである排出ガス専門分科会 (Working Party on Pollution and Energy) の略称
gtr	自動車の安全・環境に関する世界統一基準 (global technical regulation) の略称。
UN	国際連合 (United Nations) の略称。
AC3	Administrative Committee for co-operation of work for WP29 (3: steering group of gtr) gtr を審議・策定している WP29 傘下の第 3 運営委員会
HFCV gtr	燃料電池自動車の安全・環境に関する世界統一基準 (global technical regulation) の略称。
ECE	Economic Commission for Europe (欧州経済委員会)
IEC	International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)
ISO	International Organization for Standardization (国際標準化機構)
TC	Technical Committee (専門委員会)
SC	Sub Committee (分科委員会)
WG	Working Group (作業グループ)
ISO/TC22	自動車 (専門委員会)
ISO/TC22/SC21	電気自動車 (分科委員会)
ISO/TC21/SC21/WG2	電気自動車の性能 (FCV 燃費試験法) (作業グループ)
ISO/TC197	水素技術 (専門委員会)
ISO/TC197/WG5	水素充填コネクタ (作業グループ)
ISO/TC197/WG6	車載用高圧水素タンク (作業グループ)
ISO/TC197/WG12	燃料電池自動車用水素燃料仕様 (作業グループ)
ISO/TS14687-2	燃料電池自動車用水素規格 技術仕様書
ISO 14687-2	燃料電池自動車用水素規格 (国際規格)

ISO 15869	車載用高圧水素タンク
ISO 17268	水素コネクタ
ISO 23828	FCV 燃費測定法
ISO 6469-1~4	電気自動車の安全規格
NWIP	New Work Item Proposal (新作業項目)
WD	Working Draft (作業原案)
CD	Committee Draft (委員会原案)
DIS	Draft of International Standard (国際規格原案)
FDIS	Final Draft of International Standard (最終国際規格案)
IS	International Standard (国際規格)
TS	Technical Specification (技術仕様書)
DTS	Draft Technical Specification (技術仕様書案)
SAE	Society of Automotive Engineers (米国自動車技術会)
SAE TIR J2601	小型水素ガス使用自動車用の燃料供給プロトコル (TIR: Technical Information Report、まだ本規格ではない技術情報): この規格は水素ガス燃料ディスペンサーの安全限界と性能要件を確立するもので、コミュニケーションを使わない燃料供給およびコミュニケーションを使う燃料供給それぞれにガイドラインを設定する。
SAE J2579	燃料電池および他の水素自動車の燃料システムに関する技術情報: 自動車用水素貯蔵および取扱いシステムの設計、製造、操作、整備に関する要求事項、水素貯蔵および取扱いシステムの初期設計および製造に関する性能に基づく要求事項。
KHK	高圧ガス保安協会の略称。
ENAA	一般財団法人エンジニアリング協会の略称。
JEMA	一般社団法人日本電機工業会
JARI	一般財団法人日本自動車研究所
JAMA	一般社団法人日本自動車工業会
JASIC	自動車基準認証国際化研究センター
JARI-S001	圧縮水素自動車燃料装置用容器技術基準
JARI-S002	圧縮水素自動車燃料装置用容器附属品技術基準
KHK S 0128 Step 1	70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (H22. 7. 23 制定)
KHK S 0128 Step 2	今後準備される上記基準改訂版
VH3	ガスをバリアするライナーがアルミニウム合金でできた圧縮水素複合容器。
VH4	ガスをバリアするライナーが樹脂でできた圧縮水素複合容器。
CFRP	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 (carbon fiber reinforced plastics)。
安全弁 (PRD)	ガスが充填される容器などが火災時の熱などにより、内部圧力が異常に上昇した際に自動的に圧力を放出させる弁のことである (Pressure Relief Device)。安全弁には圧力作動式、熱作動式、圧力と温度の併用式の三通りがあるが、自動車用圧縮水素容器については、熱作動式安全弁 (TPRD、thermal pressure relief device) のみが認められている。

ガラスボール式安全弁	熱を検知して安全弁を作動させる方式として、熱により破損するガラスボール方式を採用した安全弁。本安全弁は日本では使用を認められていない。
溶栓式安全弁	熱を検知して安全弁を作動させる方式に、熱により溶融する金属を利用した方式を採用した安全弁のこと。
充填コネクタ (ノズル・レセプタクル)	燃料電池自動車の燃料装置用容器に高圧ガスを充てんするための装置の充てんホース先端の接続部(ノズル)と、燃料電池自動車側で圧縮水素を受け入れるための充てんカプラー接続部をいう。
水素充填プロトコル	燃料電池自動車等の燃料容器仕様をフル活用し、ガソリン自動車並の充填時間を達成するために、水素充填時の温度上昇を十分に考慮した安全な充填方法のことをいう。
通信充填	水素ステーション側と燃料電池自動車側の圧力や温度を赤外線などで通信しながら充填方式を演算しながら水素充填する方式。
プレクール	水素充填時の温度上昇を抑えるために、あらかじめ、冷却した水素ガスを充填すること。
充填マップ	充填時の容器の使用温度を超えないために、水素充填速度が記載された表。
LBB	破断前漏洩(Leak Before Break)の略。被害低減のため、破断前に漏洩させる設計指針のこと。
FP	全圧力(Full Pressure)の略。
NWP	定格最高充填圧力(Normal Working Pressure)の略。
振り子試験	評価物を、定められた大きさの振り子によって衝撃を与える試験。
局所火炎暴露試験	安全弁から最も離れた箇所を局所的な火源により、一定時間、容器を炙る試験。局所火炎の間は、熱作動式安全弁が作動しにくいいため、容器に対しては過酷な試験となる。

研究開発項目Ⅲ：「水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発」

用語	説明
一般高圧ガス保安規則	主に工業用等に使用される高圧ガスに関する保安について規定された規則。コンビナート地域以外の水素スタンドは、本規則が適用される。
一般則別表 3	保安検査基準が定められていない技術基準のための保安規定。
液化石油ガス保安規則	LPG(液化石油ガス)に関する保安について規定された規則。
火気離隔距離	高圧ガス設備と火気を引き離してへだてる距離のこと。高圧ガス保安法における火気とは、ライター・マッチ、ボイラー、ストーブ、たばこの火のことを言う。
ガラス球式安全弁	温度の上昇で作動する安全弁の一種で、熱感温部がガラス球製で出来ており、その内部に液体が密閉されている安全弁。
給油取扱所	専用のタンクから給油設備を使用して、自動車や航空機、船舶等の燃料タンクへ給油する施設で消防法上による区分を示す。ガソリンや軽油などの各種エンジン用燃料を主として販売している給油取扱所をガソリンスタンドという。
危険箇所	電気機器の構造、設置及び仕様について特別な安全対策を必要とするほどの爆発性雰囲気が存在し、又は存在することが予想される箇所。
技術基準	法令等で定められた技術的な基準。
技術指針	水素ステーションの設置・運用が適切かつ円滑に実施されるように、技術的に基準となる目安や標準的な方法について示したものの。
建築審査会	<p>行政委員会的一种。建築基準法により特定行政庁（建築主事を置く地方公共団体とその長）の裁量が認められた例外的許可などに対する同意を与えたり、建築基準法などの規定により特定行政庁、建築主事、建築監視員、指定確認検査機関の行った処分や不作為についての審査請求に対する裁決を行う。また、特定行政庁の諮問に応じて建築基準法の施行に関する重要事項を調査審議する。</p> <p>建築審査会の同意が必要とされる内容は、建築制限に対する例外的許可である。</p> <p>建築審査会の委員は、法律、経済、建築、都市計画、公衆衛生または行政に関する学識経験を有し、公共の福祉に関して、公正な判断をすることができる者の中から、特定行政庁の長によって任命される。建築審査会は、これら5～7人の委員で構成される。</p> <p><参考>建築基準法第48条(用途地域等)による建築規制物件の個別許可において、特定行政庁は、許可をする場合においては、あらかじめ、その許可に利害関係を有する者の出頭を求めて公開による意見の聴取を行い、かつ、建築審査会の同意を得なければならない。</p>
建築基準法	国民の生命・健康・財産の保護のため、建築物の敷地・設備・構造・用途についてその最低基準を定めた法律。
公聴会	<p>建築基準法に基づく行政命令や許可申請などに対して、公開の場で、その当事者や利害関係者から意見を聞くもの。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 違反建築物への命令（法第9条）に対する意見 ・ 壁面線の指定（法第46条）に対する意見 ・ 建築物の用途制限許可（法第48条ただし書）に対する意見

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建築協定の認可申請（法第 70 条）に対する意見などが対象 <p><参考>建築基準法第 48 条（用途地域等）による用途制限の個別許可において、特定行政庁は、許可をする場合においては、あらかじめ、その許可に利害関係を有する者の出頭を求めて公開による意見の聴取を行い、かつ、建築審査会の同意を得なければならない。</p>
工場電気防爆指針	電気設備を設置し又は使用する場合に電気設備が原因となって生じる爆発又は火災を防止するために独立行政法人産業安全研究所が必要な事項を推奨基準として定めた指針。
厚生労働省労働基準局長通達	厚生労働省労働基準局長から都道府県労働局長及び関係団体等に出している通知・事務連絡をいう。内容としては、法令の解釈、告示や指針の運用基準など様々なものがある。
障壁	爆発等の事故の影響から他を防護するために設置される強固な壁。
敷地境界距離	水素ステーションにおいて高圧ガス設備と敷地境界の間に確保せねばならない距離であり、一般高圧ガス保安規則に規定されている。
設備間距離	本稿では天然ガススタンドの処理設備及び貯蔵設備と水素ステーションの処理設備及び貯蔵設備の間の距離。
第二类危険箇所	労働安全衛生規則に規定する「爆発の危険のある場所」の内、通常状態においてガス又は蒸気が爆発の危険のある濃度に達する恐れが少なく、又は達している時間が短いものをいう。
蓄圧器	圧縮水素を高圧で蓄えておくための貯蔵設備。通常、鋼製ポンペを複数本を架構内に設置する。
定期自主検査指針	高圧ガス設備の運転に関し、保安のために必要な事項を定めた保安規定の遵守状況について、自主的に行う定期検査（通常 1 回/年）のこと。
ディスペンサー	特定圧縮水素スタンドで用いられる設備であって、燃料電池自動車（FCV）の燃料装置用容器に高圧ガスを充填するための装置をいう。
電気機械器具防爆構造規格	厚生労働大臣が定めた防爆構造電気機械器具についての規格。
特定圧縮水素スタンド	一般高圧ガス保安規則により定義された圧縮水素スタンド。一般則第 7 条の 3 に技術基準が規定されている。
道路運送車両法	自動車・原動機付自転車・軽車両について、所有権の公証、安全性の確保、公害の防止、整備等に関し規定した法律。
複合容器	母材の周りを、炭素繊維やガラス繊維等の強化材で多重積層した容器。金属材料よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
フル充てん	FCV 燃料容器の設計基準で安全が担保されている性能上の上限まで、水素を充填すること。
複合容器	繊維強化プラスチック複合容器のこと。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 金属ライナー製複合容器 : 金属製ライナーに樹脂含浸連続繊維を巻きつけて製造される。金属ライナーにはアルミニウム合金、ステンレス鋼、繊維には主に炭素繊維またはガラス繊維、樹脂にはエポキシ樹脂が使用されている。 ・ プラスチックライナー製複合容器 : 金属製ライナーの代わりに、おもにポリエチレンライナーが用いられる。
複合容器蓄圧器	鋼製ポンペの代わりに複合容器を用いる蓄圧器。

プレクール	FCV 燃料容器を保護するために、充填する前に水素を冷却すること。
保安検査	高圧ガス設備の運転に関し、保安のために必要な事項を定めた保安規定の遵守状況について、定期的（通常1回/年）に行う検査のこと。
保有量	水素の貯蔵量は、建築基準法で用途地域毎に最大量が規制されている（建築基準法第48条、施工令第116条、第130条の9）（商業地域・準工業地域でそれぞれ700Nm ³ および、3500Nm ³ ）
保安検査基準	保安検査を行うための検査方法や実施間隔を定めたもの。
保安距離	高圧ガス設備や危険物取扱設備の事故の影響が他に及ぶことを防止するために、当該設備の周囲に確保することが必要な距離。
保安検査告示	民間が策定した保安検査基準を経済産業省が審査し合格した際に保安検査基準として採用することを示す告示。
防爆	爆発を防ぐこと、あるいは爆発の被害をくい止めること。
民間自主基準	民間団体又は業界として法規や例示基準と同様に遵守すべき内容として合意された基準をいう。
容器保安規則	高圧ガスを充てんするための容器であつて、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された規則。
溶栓式安全弁	高圧ガス容器に取り付けられる、火災時に内部に焼結されている溶解合金が溶融することにより作動する非再閉塞式圧力解放弁。熱感温部が青銅、黄銅、砲金などの可溶栓で出来ている。
離隔距離	高圧ガス設備と火気を取扱う設備等の間で保安上の理由で確保することが義務付けられている距離。
離隔距離	安全のため高圧ガス設備と一定の距離以上離隔する場合の距離。
冷凍機	低温度を作り出して物を冷却・冷蔵・凍結させる機械の総称。高圧ガス保安法上は、冷凍機は「冷凍のためガスを圧縮し、又は液化して高圧ガスの製造をする設備」（保安法第5条）と定義される。
例示基準	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。
冷凍機圧縮機	冷凍機において冷媒ガスを圧縮する圧縮機。
CNG	Compressed Natural Gas の略。圧縮天然ガス
FCV	Fuel Cell Vehicle の略。燃料電池自動車
HFCV-gtr	燃料電池自動車の世界統一基準（Global Technical Regulations）。FCV の環境・安全性能等に関する技術基準であり、国連の傘下に設けられた「自動車基準調和世界フォーラム（WP29）」で検討が進んでいる。
NWP	Nominal Working Pressure の略。FCV 燃料容器を満充填した時の、基準温度における圧力。
SAE J2601	水素ステーションからFCVに対して燃料水素を安全に充填する方法を定めた基準であり、充填プロトコルと呼ばれる。米国の非営利団体 SAE（Society of Automotive Engineers）が発行準備中。

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。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池及び水素技術は、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（2006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（2006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（2006年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ている。エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年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 50－エネルギー革新技術に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられている。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、産業界各社が自ら活動・対応するだけでなく産業界共有・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活動の重複を避け、短期集中的に仕上げることにより産業界全体として効率的な技術開発が可能となる。また、世界に先駆けて水素関連技術の実用化に先立ちシステム技術検証や要素技術開発を行うことは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となり、さらに我が国経済力を向上させることに繋がる点で非常に有効である。

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、総合科学技術会議の「環境エネルギー技術革新計画」（平成20年5月）の技術評価において、2030年の市場規模：日本1兆円以上、世界3兆円以上と評価される燃料電池自動車と水素製造・輸送・貯蔵は「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」（平成20年3月）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（FCGJ）（次頁参照）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、位置づけられており、2025年には、FCV累計200万台程度、水素ステーション1000箇所程度のシナリオが示されている。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、本事業は正に当該シナリオに合致するものである。

このような研究開発投資がもたらす効果として、燃料電池の導入・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

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、「水素安全利用等基盤技術開発事業」（平成15年度～19年度）において、水素の安全性に係るデータの取得に基づく安全技術の確立、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術開発を行い、関連する各機器について基本仕様を固め、性能において世界をリードできるレベルにまで到達させた。安全技術の確立は、「水素社会構築共通基盤整備事業」（平成17年度～21年度）に引き継がれ、燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得、国際標準の提案並びに製品性能の試験・評価手法の確立を、産業界との密接な連携のもとで実施している。

また、「水素先端科学基礎研究事業」（平成18年度～24年度）では、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、水素社会到来に向けた基盤整備に資することを目的に、液化・高圧化した状態における水素物性の解明並びに液化・高圧化による材料の水素脆化に関する基本原理の解明及び対策検討など、根本的な現象解析を実施中である。加えて、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」（平成19年度～23年度）では、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中であり、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ブレイクスルーに繋がることを企図している。

本研究開発では、これらの動向や並行実施事業の進捗状況を踏まえ、来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立上げ（平成27年／2015年頃を想定）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、フィージビリティスタディ等を行い、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を確立することを目的と

する。また、技術開発の一翼を担いつつ、実証研究や基準・標準化に関する事業と連携を図りながら推進することにより、燃料電池の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資するものである。

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

- ・ 高圧水素ガス貯蔵が主流である。また、貯蔵圧力として、1 充填走行距離延伸のため、高圧化の方向（70MPa）となっている。
- ・ 水素貯蔵の目標値は、日本、米国でほぼ同じ状況である。具体的には以下のとおりである。
（重量／体積貯蔵密度：2015 年 5.5wt%/40g/L、究極 7.5wt%/70g/L）

○水素供給インフラ技術

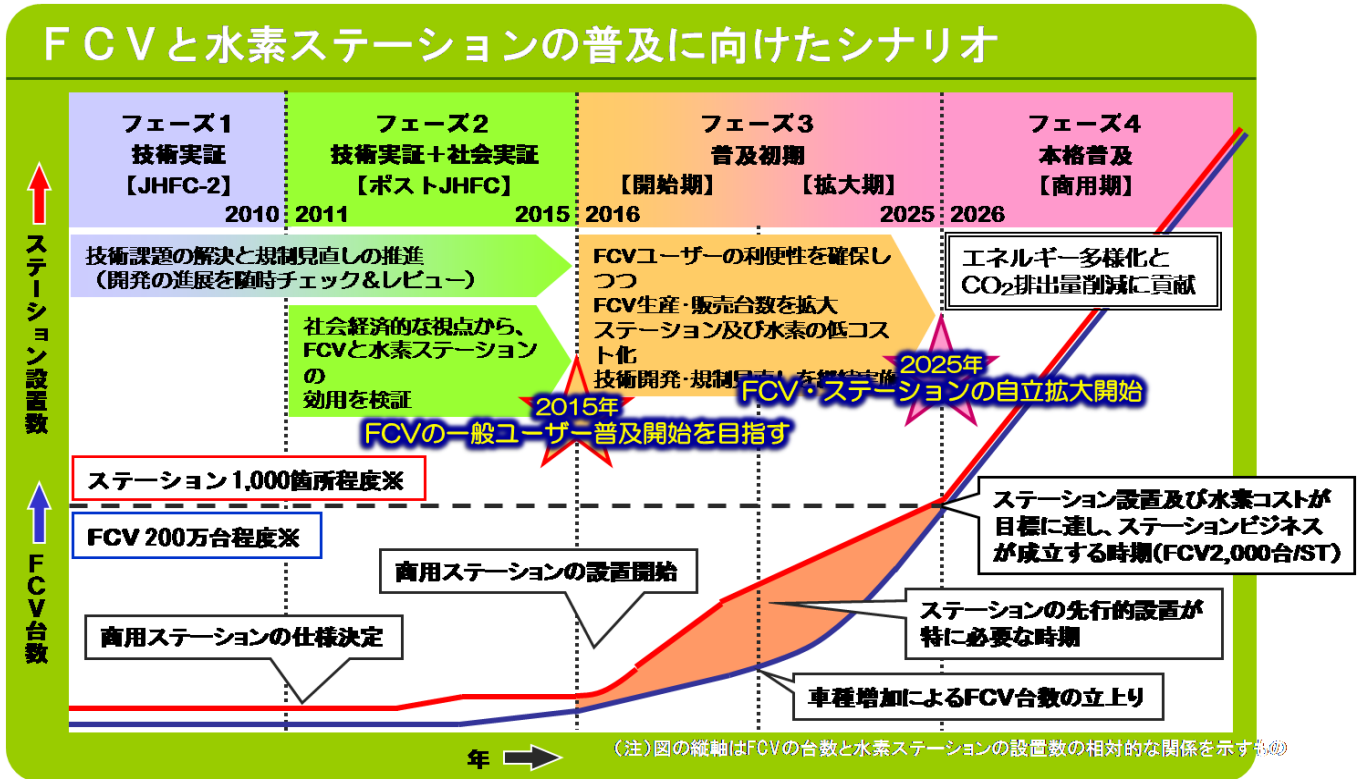
- ・ FCVの水素貯蔵の方向性に合わせ、水素ステーションも高圧ガス充填が主流であり、35MPa→70MPaへと移行する方向である。
- ・ 充填方式は、圧縮機から蓄圧器を介し充填する差圧充填方式と圧縮機から直接充填する直接充填方式がある。両方式ともコスト、技術課題があり実用化のためには検証が必要である。
- ・ 充填速度は、ガソリンスタンド並みの3分/5kg-H₂が要求されている。
※日本は、大容量圧縮機による直接充填、FCVの車載水素容器の状態をステーションに逐次伝えて充填する通信充填の開発には未着手。また、規制の面で厳しい状況である。

○各国の技術レベル

技術開発において、北米（特に米国）、欧州（特にドイツ）、日本が進んでいるが、今後、韓国、中国等も追い上げてくる状況である。

次頁以降に「燃料電池実用化推進協議会（FCGJ）」によるシナリオ、「NEDOロードマップ 2010年度版 水素製造・輸送・貯蔵技術ロードマップ、水素貯蔵技術ロードマップ」を添付した。

「燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）」によるシナリオ

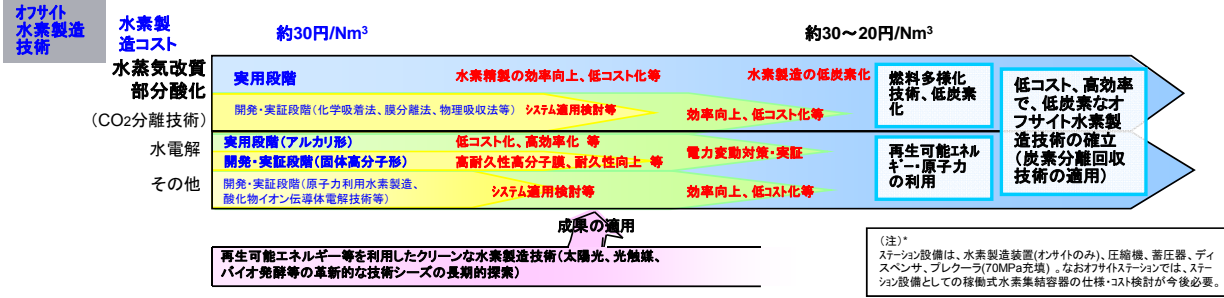
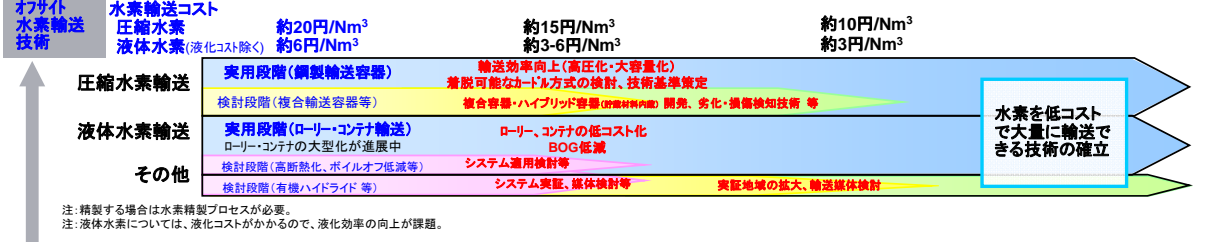
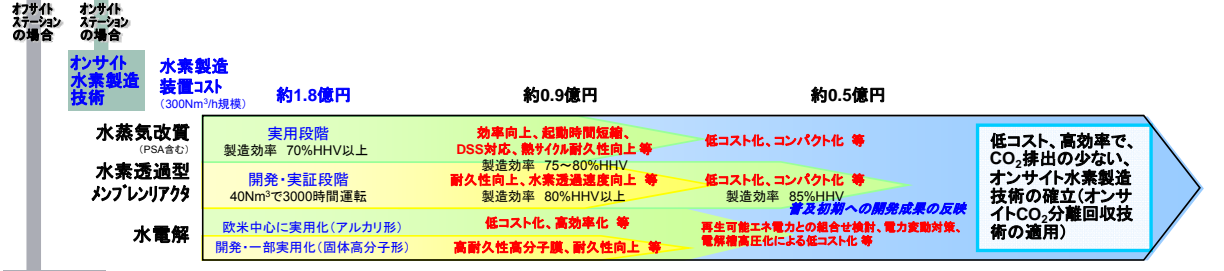


※前提条件:FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

水素製造・輸送・供給技術ロードマップ

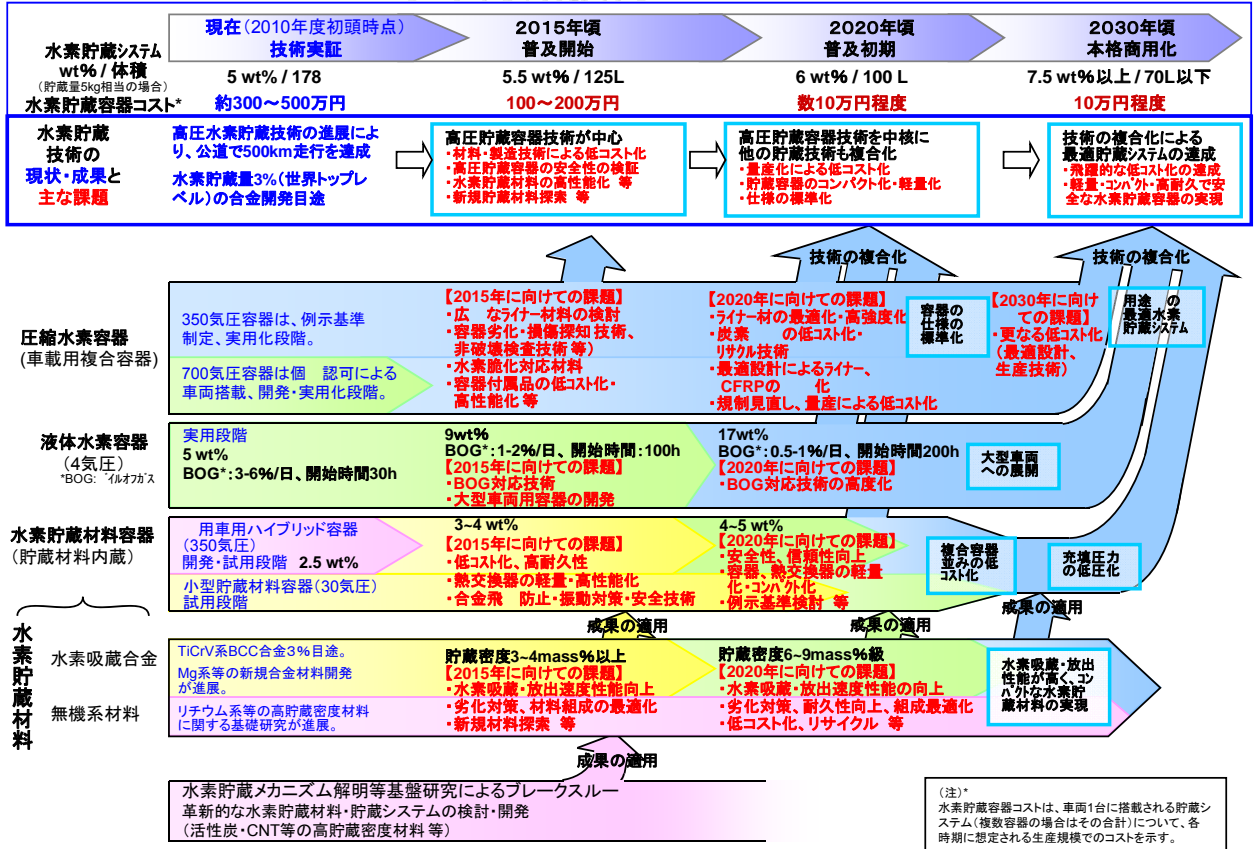
想定・原油価格 \$85/バレル(2010)→\$95/バレル(2020)
LNG価格 \$520/トン(2010)→\$805/トン(2020)

	現在(2010年時点) 技術実証	2015年頃 普及開始	2020年頃 普及期	2030年頃 本格商用化
ステーションコスト (オンサイト、300 Nm ³ /h) (オンサイト、500 Nm ³ /h)	10億円(700気圧)~5億円(350気圧)	4億円(700気圧)~3億円(350気圧)	1.5億円 2億円	更なる 低コスト化
水素供給コスト (オンサイト・オフサイト共通、ステーション稼働率80%程度と仮定)	120円/Nm ³ わサイト5億円ステーション(300Nm ³ /h)における現状の水素供給コスト(ステーションコストから計算)	90円/Nm ³ わサイト3億円ステーション(300Nm ³ /h)における水素供給コスト(ステーションコストから計算)	約60円/Nm ³ HEVと競合するコスト(ガソリン等価燃費)わサイト2億円ステーション(500Nm ³ /h)で達成可能	約60~40円/Nm ³ 更なる低減(ガソリン等価燃費以下)
水素ステーションの現状・成果と主な課題	<ul style="list-style-type: none"> 各要素技術は、世界と同等レベルの性能に到達。 例示基準策定・規制見直しの進展。 都市ガス、LPG、灯油等のオンサイト方式(350気圧)、700気圧対応ステーションを実証運用中(JHFC2)。 	<ul style="list-style-type: none"> 規制見直し: <ul style="list-style-type: none"> 使用可能鋼材の拡大 水素関連圧力設備の設計基準の係数見直し 複合容器の利用検討 市街地における水素貯蔵量の増加 CSへの併設 等 要素技術の高性能化・軽量化等効率向上、長寿命化・メンテナンス性向上、コスト低減 ステーション総合効率改善(稼働率、DSS運転) 700気圧フル充填方式の検討・実証(通信充填技術・プロトコルの開発、国際標準化) 直接充填方式の検討・実証 オンサイトCO₂分離回収の検討・実証 	<ul style="list-style-type: none"> インフラ技術課題を解決し、商用ステーションの整備 走行距離でガソリン等価(HEV)となる水素供給コストの実現と、それを達成しうるステーションの低コスト化の実現 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー等を利用した水素製造技術への取組の強化 水素供給コストの大幅低減(ガソリン等価以下) 新規の水素ステーション、水素供給コンセプトの検討・実証



(注)ステーション設備は、水素製造装置(わサイトのみ)、圧縮機、蓄圧器、水素センサー、プレクラ(70MPa充填)。なおわサイトステーションでは、ステーション設備としての稼働式水素供給システムの仕様・コスト検討が今後必要。

水素貯蔵技術ロードマップ



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「水素安全利用等基盤技術開発」（平成19年度終了事業）等の関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に、水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行った。

以下の最終目標は、国内外の技術動向、市場動向を踏まえて策定したNEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップに沿った各機器仕様を満足すると共に、関係産業界の要望を反映し、水素インフラ市場立ち上げ・普及に必要な技術開発目標値を設定した。

1. 1 研究開発項目 I : 「システム技術開発」の目標

各研究開発テーマに関する達成目標は下記の通り。

(1) 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

2015年頃の市場立ち上げ時期に必要な70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして以下を満足する技術を確立する。

『中間目標』

「水素安全利用等基盤技術開発」にて開発した要素機器等に必要な改良を加えつつ、水素ステーションシステムとして構成配置し、延べ1年以上（DSS運転等を含む）の耐久性を検証する。

『最終目標』

低コスト化：設備コスト 2億円以下／システム

[300Nm³/h規模の場合、土地取得価格を除く]

高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年

[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]

(2) 車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発

水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、以下を満足する技術を確立する。

『中間目標』

低コスト化：水素貯蔵合金のコストを¥10,000/kg以下にする目処をつける。

高性能化：容器体積密度（外容積）=28（g-H₂/L）以上

（ハイブリッド容器システムの場合）

『最終目標』

低コスト化：20万円以下／容器システム

ハイブリッド容器システムの場合は、

圧力=35MPa

質量貯蔵密度（システム）＝3 w t %

水素量/容積/容器質量＝5 k g / 1 0 0 L / 1 6 5 k g

1.2 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」の目標

達成目標は下記の通り。なお、いずれもシステム技術に適用できる要素技術であることから、システム技術開発で設定した達成目標を満たす内容とする。

（1）水素製造機器要素技術

水蒸気改質方式に関して、

『中間目標』

小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証を行う。

『最終目標』

改質効率＝80%以上

起動時間＝3時間未満

設備サイズ＝10m³以下

設備コスト＝30万円/Nm³・h

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

（Ⅱ-1）水素分離型リフォーマーの高耐久性・低コスト化研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
耐久性	モジュールレベルで8000時間以上	リフォーマーレベルで8000時間以上
起動時間	モジュールレベルで3時間未満	リフォーマーレベルで3時間未満
リフォーマー耐久性	リフォーマーレベルで耐久性検証・課題抽出	日常的なメンテナンスを除いて、8000時間の運転
概念設計	—	水素製造効率≥80% 設備サイズ≤10m ³ 設備コスト≤30万円/Nm ³ -h

(Ⅱ-2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
水素製造装置要求仕様の調査、検討	—	装置仕様の確定
高性能反応器の開発	—	改質効率：HHV85%以上 スチームカーボン比：2.5 以下
高性能水素 PSA の開発	—	水素回収率：85% システムサイズ：現状比 1/3
50Nm ³ /h 試作機的设计、製作、検証運転	—	改質効率：HHV82.5%以上 起動時間：1 時間
50Nm ³ /h 試作機的设计、検証運転のユーザ評価	—	試作機設計、運転結果に対しユーザ視点で評価を行う。

(Ⅱ-3) CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
CO ₂ 選択透過膜の開発	170℃以上にて：1x10 ⁻⁴ mol/(m ² s kPa) の CO ₂ 透過速度にて、CO ₂ /H ₂ 選択性が 200	
メンブレンリアクター用 CO 変成触媒の開発	160℃以下、SV2000 h ⁻¹ にてメタン生成が 1%以下、10%程度含まれる CO 0.1%以下に低減(メンブレンの効果を含む)	
メンブレンリアクターの開発	1m ³ /h 原理検証機での性能実証	10m ³ /h 用プラントでの性能実証
水素ステーショントータルシステムの最適化	次世代 H ₂ ステーションコンセプト確立 PSA 1/4, オフガスタック不要化, S/C = 2, 効率 80%以上	改質系、PSA を含む 10m ³ /h の能力を持つトータルシステムを、実証するとともに、300m ³ /h トータルシステムの F/S 完了

(2) 水素貯蔵材料 (同材料容器を含む)・水素貯蔵/輸送容器要素技術

『中間目標』

材料系の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込み、最終目標の質量水素密度 6 w t % 以上および水素放出温度 150℃以下を達成する新規材料の開発の可能性を見極める。

『最終目標』

貯蔵材料 (同材料容器や関連部品を含む) に関しては、

質量貯蔵密度 = 6 w t % 以上、

水素放出温度 = 150℃以下、

耐久性 = 1000 回吸放出で初期貯蔵性能の 90% 保持、

材料コスト = 1000 円/kg

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

(II-4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
複合化によるホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	反応パスの理論解明と実験検証と、最適組み合わせ選定	—
中間相を用いたホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	中間相の組成・構造の解明と、中間相の絞り込み	—
添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明 (H21-H22)	添加物の選定、微細構造の評価および、反応速度の支配因子の解明	—
ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化 (H22)	150℃以下の水素放出温度、6wt%級の再吸蔵量を見極め	—
反応サイクル時の劣化要因の解明 (H23-)	—	劣化要因の解明とその対処法の確立
実用化技術開発 (H23-)	—	材料系の最適化、大量合成技術の開発、低コスト化の指針
実用性評価 (H23-)	—	耐久性評価、小型タンク評価、実用化の課題抽出

(II-5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
MgNi ₂ 系 C15 型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、合金組成改良による吸蔵量の向上	3 質量%, 150℃, 1000 サイクルを満たした合金の開発
RENi ₂ 系 C15 型ラーベス合金	不均化の進行過程を各種手法にて調査して挙動を把握する	水素吸蔵による不均化反応のメカニズムの解明
CaMg ₂ 系 C14 型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、合金組成改良による放出温度の低下	150℃以下でも 6 質量%を放出する合金の開発
CaLi ₂ 系 C14 型ラーベス合金	格子定数および原子半径比を変えた合金の作製・評価	不均化等を抑制し、室温で 6 質量%を吸蔵する合金の開発

(3) 水素ステーション機器要素技術

水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、下記目標達成に繋がる技術として確立する。

『中間目標』

普及に向けた水素ステーションシステム及び機器に関するコストダウン検討を行い、その対策案を検証する。

『最終目標』

低コスト化：設備コスト 2億円以下/システム

[300Nm³/h規模の場合、土地取得価格を除く]

高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年

[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

(II-6) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
ディスペンサー全体	基礎制御評価 防爆申請・コスト検証	低価格・高耐久性ディスペンサーの開発 コスト： 従来比50% 耐久性： メンテ1回以下/年
コリオリ流量計の開発	大流量用検出部、計測部の簡素化試作 基礎評価・防爆申請	
ディスペンサー制御部 開発	簡素化試作 基礎評価・防爆申請	

(II-7) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合容器の開発

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
常用圧力	80MPa	充填圧対応圧力
容量	200L	300L
重量	1000kg以下	1500kg以下
コスト	1000万円以下	1000万円以下

(Ⅱ-8) 低コスト型 70MPa 級充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
全体	435 百万円/システムの技術的見通し確認	2 億円/システムに向けコスト低減策提示
総合的エンジニアリング	ステーション主要機器の最適構成提示	2 億円/システム達成可能性提示
鋼製蓄圧器開発	材料評価、施工法、検査技術開発	本体価格、検査・更新費用低減
水素用高圧バルブ開発	ボールバルブ開発の技術的見通し確認	バルブ単価低減 圧力損失低減
高強度金属材料開発	金属材料候補絞込	高強度耐水素性 金属材料開発
制御システム開発	制御システム 機器費用低減	制御システム設計費低減
流量調節弁開発	シール技術開発	動作保証回数達成 調節弁価格低減

(Ⅱ-9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
試設計	コンパクトした場合の課題抽出	課題解決(案)の提示
安全要素技術開発	安全性を担保する技術開発	開発技術の検証
水素ステーションの安全性評価	安全要素適用検討	標準設計に対する安全の検証
水素ステーションの経済性評価	建築試設計、コスト比較	建設合理化検討
モックアップ実験	実験計画策定	実験実施および評価
標準設計	—	標準設計(案)の提示

(Ⅱ-10) 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
1	—	設計吐出圧力 95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm ³ /h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作する
2	—	インバーター制御による可変速度運転に対応する
3	—	直接充填方式ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見直しをつける
4	—	圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特長(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発する
5	—	試作機の設計・製作・試験結果、および HySUT などユーザーと連携により、実証水素ステーション用の設計吐出圧力 100MPa 超級圧縮機の設計を完了し、試験計画を策定する

(Ⅱ-11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発	—	新規水素用高機能ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下におけるその材料データを取得し、基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータとして提示する
高圧水素配管・容器材料の研究開発	—	高強度ステンレス鋼・高強度低合金鋼を開発し、新規水素用材料として提案する
高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発	—	高圧水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、材料種類の拡大を提案する
低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	—	低温および高温における高圧水素環境下で引張及び疲労試験を行い、材料特性を評価する

(Ⅱ-12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
Al-Mg 系合金の耐水素脆性評価	—	Al-Mg-(Cu) 合金の水素脆化感受性に及ぼす Mg 量、熱処理の影響を明らかにする
水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定	—	添加元素の影響を把握し、脆化感受性指数<0.2、耐力≥400MPa の合金系を見出す
高強度で切削性に優れるバルブハウジング用合金を開発する	—	耐力≥380MPa で、切削性が 6061 合金よりも優れ、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
VH4 容器の口金等の部材用の鍛造合金を開発する	—	耐力≥360MPa で、鍛造可能で、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
水素の侵入サイトを可視化法により明らかにする	—	外部環境が、水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトの異同を明らかにする
開発材の耐水素脆性を評価する	—	開発材の耐水素脆性を、湿潤大気中での SSRT 引張・疲労試験などにより評価する

1.3 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フーズビリティスタディ等」の目標

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

(Ⅲ-1) 水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

NO	目標
1	IEA/HIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
2	IEA/AFCIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
3	IPHE の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
4	IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討
5	1～4 で把握した技術開発動向及び分析活動ならびに関連国際会議やウェブサイトから得られた水素関連活動等を、国内関係者に定期的に発信し、情報共有を図る
6	再生可能エネルギー由来水素の技術動向のとりまとめ

(Ⅲ-2) IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

NO	目標
1	国際技術開発動向の把握
2	各 Annex (作業部会) の分析活動動向の把握
3	得られた情報の展開・普及及び共有化活動

(Ⅲ-3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

実施項目	目標
多孔質半導体光電極の高性能化	既存半導体光電極の改良で WO_3 光電極の性能を超える。
光触媒-電解ハイブリッドシステムによる水素製造	レドックス媒体を用いた効率的な酸素発生用光触媒の高性能化により太陽エネルギー変換効率の最高値を目指す。
新規可視光応答性半導体探索	高速自動半導体探索システムを用いてできるだけ多くの可視光応答性の新規半導体を探索する。
理論効率や将来性の試算	太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コスト水素製造できるか検証する。

(Ⅲ-4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

実施項目	目標
触媒能評価	現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
電解試験	非貴金属系材料をアノード触媒に用いて、現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

(Ⅲ-5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

NO	目標
1	実用磁気冷凍磁性材料の開発
2	高効率水素液化機構の開発
3	蓄冷型磁気冷凍機の開発
4	測定技術要素研究
5	水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

(Ⅲ-6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

実施項目	目標
水素脆性評価試験	水素濃度 ; 2ppm 以下、負荷速度 ; 準静的 ~5m/s
実大破壊強度試験	圧力 ; 15MPa 程度、パイプ ; X65 高強度鋼管、500mm 径、40m 長
高速き裂伝播計算モデル構築	き裂伝播限界圧力とき裂伝播停止長さを +/-20% で予測
外部からの指導及び協力	大学・企業の研究者・技術者からなる研究会を組織し、指導と協力を得る

(Ⅲ-7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

実施項目	目標
超高压合成法による新規 Mg 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する
超高压合成法による新規 Li 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する
超高压合成法による新規 Al 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する

(Ⅲ-8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

実施項目	目標
細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の構造最適化	ZTC 表面積の増大 (目標 5000m ² /g) と細孔径の最適化 (範囲 0.65 nm~1.2 nm)
金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化	Å、更には原子レベルの金属担持、及び貴金属以外 (Ni、Ti) の担持
ZTC の水素吸蔵性能評価	上記で得られた ZTC の水素貯蔵性能を評価する。

(Ⅲ-9) Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発

実施項目	目標
Mg 基合金の開発	Mg 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Mg 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Mg 基相分離型水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C
Ti 基合金の開発	Ti 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Ti 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Ti 基水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C
Al 水素化合物の合成技術の開発	Al 水素化合物の物理的合成法を設計・開発

(Ⅲ-10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施項目	目 標
圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化	適正な基準策定のための妥当性検証、事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発
車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動	適正な基準策定のための妥当性検証および新規構造附属品の国内導入に資するデータ取得
水素充填プロトコルの標準化 水素充填コネクタの標準化	水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得、および関連する国際標準化活動の推進
その他国際標準化に関わる技術検討	上記の国際標準化に加え、水素燃料仕様、性能・用語等の国際標準化の審議と推進

(Ⅲ-11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

実施項目	目 標
水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究 (H20-21)	種々のFCV導入シナリオの下で、既存の市場で経済価値として評価されていない、FCV特有の便益を経済価値として評価すると共に、導入普及による経済的波及効果を評価する
水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築 (H20-21)	FCVや水素インフラの導入施策は、エネルギー・環境を巡る情勢の変化や、技術開発の進捗などを反映して、ダイナミックに変化する可能性があるため、これらの情勢変化に対応したシナリオに対する便益評価を柔軟にするためのシステムを構築する

(Ⅲ-12) 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

NO	目 標
1	前提条件の設定及び全体の評価を行う
2	高圧水素供給フローの検討を行う
3	液体水素供給フローの検討を行う
4	有機ケミカルハイドライド法の検討を行う

(Ⅲ-13) 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施項目	目 標
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	新規使用可能材料の選定
圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	例示基準案※
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	KHK 特認ガイドライン※
圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	KHK 事前評価ガイドライン※ KHK 特認ガイドライン※

※基準案及びガイドラインは石油エネルギー技術センターが作成

(Ⅲ-14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施項目	目 標
圧縮天然ガス（CNG）スタンド併設時の設備間距離	技術基準案の作成
水素ステーションの保安検査基準	保安検査基準案、定期自主検査指針案の作成
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁	技術基準案の作成
水素ステーションを併設する給油取扱所	・並列設置：安全対策の立案 ・無人暖機運転：安全対策、技術基準整備資料の作成
公道とディスプレイの離隔距離	・技術基準案の作成 ・海外基準の離隔距離設定方法等の調査
セルフ充填式水素ステーション	設備仕様等の資料、技術・運用指針案の作成
水素ディスプレイ周辺の防爆ゾーン基準の明確化	民間自主基準案の作成
公道でのガス欠対応のための水素充填法	充てん場所・使用設備など、公道充てん実施に必要な要件の取りまとめ
フル充填に対応した水素ステーション	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
水素ステーションでの水素保有量	・35MPa 級複合容器水素トレーラーの製作 ・水素貯蔵量規制値超えの許可事例を取得
プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(水素ステーションシステム・機器関連)」に関するマスタープラン

研究開発項目	担当	平成20年度 (2008年度)	平成21年度 (2009年度)	平成22年度 (2010年度)	平成23年度 (2011年度)	平成24年度 (2012年度)	最終目標(出力)
1.システム技術開発 70MPa級水素ステーションシステム技術開発 ①システム検討・評価 ②圧縮機 ③蓄圧器 ④プレクール ⑤ディスペンサー ⑥システム低コスト検討	東邦ガス他 東邦ガス 東邦ガス 大陽日酸 佐賀大 トキコテクノ 日立AMS 横浜ゴム PEC	要素機器の改良、ステーションシステムの構築、耐久性検証			耐久性検証の継続、システムとしての更なる低コスト化 ※JHFC等にも提供		最終目標 ①普及初期運用を想定した延べ1年間の耐久性検証・有効性確認 ②ステーションコスト低減のための技術的課題明確化、技術的課題解決によるコスト低減効果の評価 ※基本計画目標値 a.設備コスト：2億円以下/システム b.耐久性：メンテナンス回数1回/年以下
2.要素技術開発 低コスト型70MPa級水素ステーション機器要素技術開発 [ディスペンサー開発] [大型複合蓄圧器] [低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器] ①機器仕様検討 ②バルブ開発 ③コントロール弁 ④鋼製蓄圧器 ⑤材料開発 [コンパクト型水素ステーション検討] 水素製造機器(改質器低コスト化/高耐久性化) [水素分離膜方式] [改質器・PSA精製方式] [CO2分離膜方式]	タツノ JX、サムテック PEC キッツ 山武 JSW JRCM 岩谷 清水建設 東京ガス 日本特殊陶業 三菱化工機 ルネッサンス、産総研 神戸大、京都大 ミクニ	各機器のコストダウン検討、その対応策の検討			目標仕様に基づく水素ステーション機器の製作、耐久性検証 中間目標 各機器のコストダウン検討、その対応策の検討		最終目標 コスト低減対策要素機器による実用上耐久性検証及び普及期生産時のコスト低減目標(基本計画目標値)の達成可能であることを示す。 ※基本計画目標値 a.設備コスト：2億円以下/システム b.耐久性：メンテナンス回数1回/年以下を支える機器
3.他並行事業 燃料電池システム等実証研究(JHFC) 水素社会構築事業 水素先端科学事業	PEC, JARI, ENAA, JGA JARI, PEC等 産総研、九大						※進捗状況及び成果を技術開発へフィードバック
4.フイージビリティスタディ等 フイージビリティスタディ ①オフサイト型水素供給 ②液体水素供給 ③ケミカルハイドライド供給	エネ総工研 岩谷、川重、関電、清水、三菱重工 千代田化工		技術開発課題抽出・整理	※経済性等評価基準を揃えるなど、連携実施			最終目標 今後の技術開発における課題を抽出する。

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(水素貯蔵システム関連)」に関するマスタープラン

研究開発項目	担当	平成20年度 (2008年度)	平成21年度 (2009年度)	平成22年度 (2010年度)	平成23年度 (2011年度)	平成24年度 (2012年度)	最終目標(出力)
1.システム技術開発 車載等水素貯蔵システム技術開発 ①システム検討・評価 ②熱交換器開発 ③広口容器開発 ④貯蔵材料低コスト化	日重化 サムテック 産総研	容器体積密度 $\geq 28\text{g/l}$ 、MHの低コスト化等			容器システムとしての更なる高密度化、コンパクト化、低コスト化	システム検証・評価	最終目標 ①低コスト化: 20万円以下/容器システム ②水素体積貯蔵密度: 5kg/100L以上 ③水素重量貯蔵密度: 3wt% ④充填速度: 吸蔵量90%/10分以内
2.要素技術開発 高容量貯蔵合金開発 吸放出速度及び低温化ホウ素系貯蔵材料開発	日重化 豊田中研 東北大	最終目標を達成する新規材料の可能性見極め	最終目標を達成する新規材料の可能性見極め	最終目標を達成する新規材料の可能性見極め	目標達成に向けた新規材料の開発、性能評価	システム検証・評価	最終目標 ①重量貯蔵密度: 6wt%以上 ②水素放出温度: 150℃以下 ③耐久性:1000回吸放出で初期貯蔵性能の90%保持 ④材料コスト: 1000円/kg以下
3.次世代技術開発 ①可視光応答性半導体 ②非貴金属化合物 ③磁気冷凍 ④水素ガスバイブライン ⑤超高压水素合成 ⑥ゼオライト構造炭素 ⑦Mg及びTi系相分離型	産総研 横浜国大 物材研、金沢大 東大 産総研、東北大 東北大 東海大			★継続審査により2件延長	★中間評価	中間目標 将来的な水素技術基盤の確立	最終目標 現有ガソリン供給インフラと同等の設備コストで対応可能となる材料、機器、システムの設計指針または概念設計を確立する。
4.他並行事業 水素社会構築事業 水素貯蔵材料事業	JARI、PEC等 産総研、原研等						
5.フィージビリティスタディ等 技術動向調査 ①IEA/HIA ②IEA/AFC等 社会便益性検討 ①FCV、H2便益	エン振協 テクノバ 産総研	動向整理・技術開発課題抽出▽			★新規公募	★中間評価 ★新規な課題が判明した場合新規公募	最終目標 今後の技術開発における課題を抽出する。

2. 事業の計画内容

2. 1 研究開発の内容

事業の目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙のマスタープランに基づき、研究開発を実施する。

I. システム技術開発:

「水素供給システム」を構成する機器である、水素ステーション機器や車載等水素貯蔵/輸送容器について、低コスト化・コンパクト化に繋がる開発を行うと共に、複数機器を組み合わせた「水素供給システム」の全体として耐久性等の検証を行う。

II. 要素技術開発:

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証する。

III. 次世代技術開発・

フイージビリティスタディ等:水素エネルギーの導入・普及に関する新規の概念に基づく革新的な技術(例えば、化石燃料以外からの水素製造等)の開発(国外研究機関を活用した国際共同研究や国際協力を含む)及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの検討、水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ等を行う。

2. 1. 1 研究開発項目 I 「システム技術開発」実施内容

(1) 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

(実施体制: (財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学)

2015年頃を想定した水素供給インフラ市場立上げに向け、低コストかつ耐久性に優れた水素ステーションを実現する必要がある、本研究開発では、それに向けたシステム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ステーション建設コスト低減検討

・ステーション仕様検討、建設コスト低減検討、材料物性評価支援(サーベイルランス試験)

②ステーションシステム運転技術開発検討

・ステーションシステム耐久性検討、運転技術検証

③ディスペンサー機器開発検討

・ディスペンサーコスト低減、耐久性検討

・故障予知技術開発、配管材料探索

・充填ホースコスト低減、耐久性検討

④プレクール設備開発検討

- ・初期改良型プレクール設備製作、プレクール設備コスト低減検討
- ・シミュレーション技術による開発支援

(2) 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

(実施体制：日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所)

車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術の低コスト化、コンパクト化および高耐久性に関する機器および市場立ち上げ時期に必要なシステムの仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、実際の充填や輸送を模擬した条件下における性能検証・評価を実施する。

具体的には、燃料電池車の燃料装置用容器として期待されている「水素吸蔵合金と高圧水素ガスによる水素貯蔵方式を組み合わせたハイブリッド貯蔵タンク」を対象に、70MPaの高圧水素容器以上の容器体積密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの開発及び実用的なハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発を行い、その性能評価と安全性評価を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・ハイブリッド貯蔵タンク用MHカートリッジの開発
- ・計算による熱伝導構造の最適化
- ・ハイブリッド貯蔵タンク用広口高圧タンクの開発
- ・ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発

2. 1. 2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」実施内容

(1) 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

(実施体制：東京ガス(株)、日本特殊陶業(株))

水素分離型リフォーマーは、従来のリフォーマーと比較して、最も高効率に水素を製造することが可能であるだけでなく、シンプルかつコンパクトという特長を有している。

本事業は、実用的な燃料である天然ガスを用いた水素分離型リフォーマー技術に関するものであり、平成24年度末に社会実証試験に供試できるレベルの技術を確立する。具体的には、平成17年度～平成19年度までの前事業「水素安全利用等基盤技術／水素インフラに関する研究開発／高効率水素製造メンブレン技術の開発」において得られた成果を活用しつつ、水素分離型リフォーマーの高耐久化と低コスト化を目指して、以下の2テーマを実施する。

- ・水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発
- ・触媒一体化モジュールの研究開発

(2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

(実施体制：三菱化工機(株))

本研究開発では、FCV普及初期(2015年頃を想定)での事業化に対応した実用的な水素ステーション用水素製造装置に要求される性能、仕様をユーザの視点から調査、検討し、その結果により水素製造装置の仕様目標を明確にするとともに、改質器と水素PSAの高効率化開発を軸とした研究開発を行い、50Nm³/h規模試作装置による検証運転を実施し、その結果とユーザ視点での評価を商用水素製造装置の設計に反映させる。具体的には以下の内容を実施する。

- ・水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査、検討
- ・高性能反応器の研究開発
- ・高性能水素PSAの研究開発
- ・50Nm³/h水素製造装置試作機の設計、製作、検証運転
- ・50Nm³/h水素製造装置試作機のユーザ評価

(3) CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

(実施体制：(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ)

選択的、高効率にCO₂分離が可能なCO₂選択透過膜と高性能なCO変成触媒を組み合わせたメンブレンリアクターを開発する。その完成度を高めるために、メンブレンリアクターを構成するCO₂選択透過膜、CO変成触媒等の各種要素技術の耐久性、信頼性を確立するとともに、量産化検討、コストダウン研究等を実施する。さらに、1m³/hr規模のメンブレンリアクターシステム(原理検証装置)での性能実証、メンブレンリアクターの特長を活かしたPSAの最適化検討を行ない、その成果を基に10m³/hr規模の小型パイロットプラント(改質器、メンブレンリアクター、PSAを含むトータルシステムを想定)の設計を行なうとともに、実機(300m³/hr規模の能力)を想定した一次FSを行う。

(4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発(実施体制：(株)豊田中央研究所、(国)東北大学)

無機錯体系水素化物のうちホウ素系水素化物(以下M-B-H)は、理論的には最大18wt%も水素を含有することができる。M-B-Hの潜在能力を引き出し、車載用の水素貯蔵材料としての要求を満たすことができれば、燃料電池車の普及を大きく進めることが可能である。しかしながら、M-B-Hは熱力学的に安定であるため水素を取り出す際に高温にする必要がある。M-B-Hを車載用水素貯蔵材料として実用化するには、最大の特長である水素密度を損なうことなく、室温~150°C程度の比較的低温において迅速に水素を吸蔵・放出可能な特性を付与する必要がある。本研究開発では、先の「水素安全利用等技術開発事業」において得られた

M-B-H に関する知見を活かし、新しいコンセプト（複合化、中間相、添加物）に基づくホウ素系水素貯蔵材料の開発を推進する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・複合化によるホウ素系水素化物開発
- ・中間相を用いたホウ素系水素化物開発
- ・添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明
- ・ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化
- ・反応サイクル時の劣化要因の解明
- ・実用化技術開発
- ・実用性評価

(5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発（実施体制：日本重化学工業(株)）

本研究開発では、蒸気圧が高い Mg や Li および Ca 等の軽量な金属を主要な構成元素とするラーベス構造を有した合金の放出特性の改善や不均化反応のメカニズム解明を行い、その抑制を目指した組成の改良・設計を行うことで、6mass%級合金の開発を目指す。また放出特性の改善や不均化反応の抑制に関する開発指針を得るために、質量貯蔵密度は少ないが同じ C15 型ラーベス構造を有した Mg 系合金や希土類系合金の水素化物の詳細な調査を実施し、得られた開発指針を高容量な Ca 系合金に応用することを試みる。具体的には以下の内容を実施する。

- ・Mg 系合金による水素吸蔵サイトの解析
- ・希土類-Ni 系合金による不均化のメカニズム解析
- ・CaMg₂ 系合金の開発
- ・CaLi₂ 系合金の開発

(6) 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

（実施体制：(株)タツノ）

水素ディスペンサーは、ガス流路として遮断弁、流量調整弁、コリオリ流量計、ホース、緊急離脱カップリング、充てんカップリングなど多数のコンポーネントが組み合わされ、またそれらをコントロールする制御部および充てん量を表示するカウンターで構成されている。これらの構成機器のうち、具体的には低コスト化に向けたコリオリ流量計の開発と、ディスペンサー制御部の開発（機器の簡素化、集約化）を行う。

プレクール装置は 70MPa 水素ガスを燃料電池自動車へ短時間に充てんする場合、水素を冷却するためのシステムである。現時点ではディスペンサーとは独立機器として運用されているため、ディスペンサーとの最適化システムを低価格化と併せて検討する。

コリオリ流量計のフローチューブは現時点では水素脆化の懸念が持たれているため、安全

性、計測精度における問題有無確認のため従来フローチューブでの水素暴露試験を実施すると共に、水素に対して低感受性新素材のフローチューブによるコリオリ流量計製作を実施する。

(7) 70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発

(実施体制：JX日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株))

現状の鋼製蓄圧器と比較して、コスト的にもスペース的にも有利な蓄圧器用大型炭素繊維強化複合材料(CFRP)容器の開発を行う。これにより、蓄圧器コストを50%以下とし、水素ステーション建設コストの6%以上を削減することが可能となる。また、蓄圧器重量が軽量化(目標30%以下)されることにより、蓄圧器をキャノピー上に設置するなどレイアウトの自由度が増し、余剰スペースの有効活用や耐震強度軽減によるコスト削減などが期待できる。

効率の面からも水素ステーション蓄圧器はFCV用容器よりも高容量(200L以上)のものが望まれるため、大型・長尺の容器の製造・評価技術の開発が必要である。

具体的には以下の内容を実施する。

①FW成形技術の開発

- ・ 高圧CFRP容器の作製の開発
- ・ 大型(長尺)CFRPの作製の設計開発

②内部加熱法の開発

- ・ 中型内部加熱装置の設計開発
- ・ 内部加熱装置の適用検討

③炭素繊維(CF)・トウプリプレグ(TPP)の開発

- ・ 等幅FW技術の開発と開繊トウプリプレグの開発
- ・ 低温硬化型樹脂の開発

(8) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

(実施体制：(財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、アズビル(株)、
(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所)

70MPa級水素ステーション構成機器に対して技術、コスト両面から分析したうえで、充填時間を考慮した最適化検討と、要素技術開発を実施する。専門分野の異なる連名委託先が相互に連携し、ダイナミックシミュレーションを核とした総合的エンジニアリング技術と、これら最先端、最高水準の開発要素技術を組み合わせることにより、低コスト型水素ステーション機器の研究開発を推進する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・水素ステーションの設備、運用の最適化検討
- ・鋼製蓄圧器の開発
- ・水素用高圧バルブ開発
- ・低コスト・高強度材料開発に係わるF S検討および開発
- ・コントロールシステム開発に係わるF S検討および開発
- ・流量調節弁開発に係わるF S検討および開発

(9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

(実施体制：清水建設(株)、岩谷産業(株))

本研究開発においては、都市部での燃料電池自動車の普及のために必要となる安全でコンパクトな水素ステーションを提案し、その安全性・経済性について検証するものである。また、その普及については、既存のガソリンスタンドとの併設についても視野にいれ、実用化・事業化を図っていくものとする。具体的には以下の内容を実施する。

- ・コンパクト水素ステーションの試設計と課題の抽出
- ・水素ステーションの安全要素技術開発（反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁の開発、水素燃焼制御システムの開発、水素の不活性化技術の開発）
- ・開発した各安全要素技術を適用した水素ステーションの安全性評価、経済性評価
- ・上記開発成果を踏まえたモックアップ試験
- ・都市型コンパクト水素ステーションの標準設計

(10) 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発（実施体制：(株)神戸製鋼所）

燃料電池自動車の電気自動車に対する優位点として、電気自動車では大容量高速充電が難しいのに対して燃料電池自動車用水素は高速充填が可能であるという点がある。差圧充填方式では高価な高圧蓄圧タンクが多数必要となることに加えて運用上の制限も大きいため、大容量直接充填用水素圧縮機を開発・実証し短時間での水素充填・連続充填を可能にし、FCVの早期普及を可能にすることを目的とする。

(11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

(実施体制：新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構)

水素製造・輸送・貯蔵に用いられる材料に関し、低コスト、高強度、高加工性等の特性を有する耐水素脆性特性に優れた、ステンレス鋼を中心とする金属材料を開発し、高圧水素下における強度、靱性、疲労特性、等の基礎物性値を、水素脆化機構の解明や、新しい測定法の開発も平行して行いつつ取得し、当該材料を用いるために必要な基準、標準の制定等に必要データとして提供することによって材料種の拡大を図ると共に、基準見直し、国際標準化活動等に資する研究開発を行う。

(12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発

(実施体制：(国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所)

車載用水素関係の金属材料には、耐水素脆性を示さずに高強度であることが求められる。本事業では、①アルミニウムの水素脆化性に及ぼす添加元素の影響を明らかにし、高強度で耐水素脆性を示さない合金系を見出す、②現行の SUS316L を代替できる程度に高強度で切削性に優れたバルブハウジング用アルミニウム合金を開発する、③VH4 容器の口金等車載関係部材用のアルミニウム鍛造合金を開発する、④水素の侵入サイトを明らかにする、⑤開発材の耐水素脆性を評価する、ことを目的とした。

2. 1. 3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フイージビリティスタディ等」実施内容

(1) 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

(実施体制：(株)テクノバ)

IEA の先端燃料電池実施協定(AFCIA)は 41 ある IEA の実施協定のひとつで、現在 19 カ国が参加しており、各種燃料電池や主要アプリケーション(自動車、定置、マイクロ)分野での研究協力を行っている。また水素経済のための国際協力(IPHE)は、2003 年に米国エネルギー省の主導で設立した水素・燃料電池の政策面での国際コラボレーション組織であり、現在 16 カ国・1 地域が参加している。IPHE では政策面での情報交換、研究開発のプライオリティの決定、水素ロードマップ比較などの活動を行っているとともに、わが国の政策・研究開発にも影響を与えかねない基準・標準活動や FCV デモンストレーション評価活動も行っている。今後 IPHE と AFCIA は、連携も深めつつ、水素のアプリケーションとしての燃料電池分野でも情報交換し、水素・燃料電池の両面で活動領域を広げていくことが予想される。

そのため、わが国の将来の水素・燃料電池政策、技術開発のために、IPHE と AFCIA の両面から情報を収集するとともに、その動向を調査・検討する。

(2) IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

(実施体制:(財)エンジニアリング振興協会)

IEA/HIA(国際エネルギー機関/水素実施協定)のビジョンである「経済のあらゆる分野の要となるクリーンで持続可能なエネルギー源による水素の未来」に向けて、現在、水素統合システムの評価、水素安全、水の光分解による水素製造、バイオ水素製造、基礎的・工学的な水素貯蔵材料開発、各水素供給用の小規模改質器、風力エネルギーと水素の統合を目標に掲げている。

本調査では、メンバーである我が国も積極的に参加して総合的な水素に関する技術開発動向の把握と分析活動動向の把握を行い、情報を関係者に共有する。

(3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

(実施体制:(独)産業技術総合研究所)

可視光応答性半導体を用いた光触媒及び多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発に関して、太陽光による水分解水素製造の実用化のための基礎要素技術を開発するとともに、理論効率、経済性・将来性の試算に必要な実験データを収集し、太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムの水素製造コストよりも大きく下回る新しい低コスト水素製造システムの実現可能性を検討する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・多孔質半導体光電極の構造制御による高性能化
- ・レドックス媒体を用いた効率的な光触媒—電解ハイブリッドシステムによる水素製造
- ・高速自動半導体探索システムと計算化学を用いた新規可視光応答性半導体探索
- ・理論効率、経済性・将来性の試算

(4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発

(実施体制:(国)横浜国立大学)

固体高分子形水電解(PEWE)は貴金属由来の材料が酸素発生電極として使用され、システムにおけるコストの割合が大きい。今後の商用化を考えると、貴金属材料の低減が必須であり、更には酸素発生における過電圧の低い材料の開発が望まれている。

本研究開発では、低コスト並びに高活性PEWE酸素極材料の創生を目指し、非貴金属化合物を用いて水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発を行う。具体的には、以下の内容を実施する。

- ・触媒能評価として現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
- ・現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

(5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

(実施体制:(独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学)

磁気冷凍によるエネルギー効率の高い水素液化・貯蔵に関する基盤技術の確立を行う。水素液化サイクルと蓄冷型サイクルとを組み合わせた高効率水素液化磁気冷凍実証システムの構築と検証を行い、液体水素製造プラントや水素貯蔵および輸送に関する磁気冷凍の実用技術へ発展させる。

具体的には以下の内容を実施する。

- ・実用磁気冷凍磁性材料(酸化物系材料、金属間化合物系磁性材料)の開発
- ・高効率水素液化機構の検証
- ・蓄冷型磁気冷凍試験装置の開発
- ・液面測定技術の要素研究
- ・水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

(6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発(実施体制:(国)東京大学)

水素社会における大量の水素輸送をガスパイプラインによって実現するためには水素ガスパイプラインの信頼性に関する信頼性指針を確立する必要がある。平成18～19年度に実施した「水素安全利用等基盤技術水素に関する共通基盤技術—国際共同研究水素ガスパイプライン高速破壊防止技術の研究開発」において小径のパイプを用いた破壊強度試験を世界で初めて実施して、水素ガスパイプラインの信頼性評価に関する研究を行った。

上記を背景として、本研究開発では、高強度鋼管材料に対する水素脆化感受性の評価、大口径の鋼管を適用した水素ガスパイプラインの実大強度試験による高速き裂伝播の現象の調査、水素ガス漏出を想定した燃焼熱輻射に関する検討、ガスパイプライン高速延性き裂伝播の数値計算モデルの開発、水素ガスパイプライン大規模破壊を防止するための条件に関する試算を行った上で、これらを総合的に検討するとともに、水素ガスパイプラインの耐破壊信頼性指針を確立するために必要な検討課題を整理する。

(7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

(実施体制:(独)産業技術総合研究所、(国)東北大学)

本研究開発は、水素吸蔵合金を用いた自動車向けの水素貯蔵装置を成立させるため、また、燃料電池を熱源として水素を放出可能とするために、「質量貯蔵密度6質量%以上、放出温度100°C以下、耐久性1,000回以上」を可能とする革新的な水素貯蔵材料を探索し、同材料の有効性を検証・確認する。

具体的には、数GPa(数万気圧)の水素雰囲気下で新規高密度水素化物の合成を行う超高压水素合成法を利用して、開発目標値を満たすことができる革新的な水素貯蔵材料の探索研究を実施する。水素貯蔵材料として、新規マグネシウム合金系材料、新規リチウム合金系材料、新規アルミニウム合金系材料の合成を行い、これら新材料の可逆的な水素吸蔵・放出特性評価を行うとともに、放射光などを利用しての精密構造解析を体系的に行い、高密度水素貯蔵材料の設計指針を確立する。

(8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

(実施体制:(国)東北大学)

水素吸蔵材料として、活性炭、カーボンナノチューブ(CNT)、有機金属錯体等に代表される吸着系材料は、化学反応を一切伴わず物理吸着により水素を貯蔵するため、水素の吸蔵・放出に加熱は不要であり、しかも吸蔵・放出速度が大きく、繰り返し耐久性も極めて高い。しかし、吸着系材料の室温における水素吸蔵能は、我々が近年報告したゼオライト鑄型炭素による2.2wt%(30°C、34MPa)が最高値であり(J. Phys. Chem. C 113 (2009) 3189)、物理吸着だけを利用して同じ温度・圧力条件においてこれ以上の水素吸蔵能を達成することは極めて困難である。そこで近年着目されているのが、水素分子(H₂)の物理吸着に加え、スピルオーバーにより生成する原子状水素(H \cdot)の可逆貯蔵も併用した新しい貯蔵方式である。

本研究開発では、室温・高圧における物理吸着量が極めて大きいゼオライト鑄型炭素をベースに、スピルオーバー水素の貯蔵も併用した高容量水素吸蔵材料の開発を行う。

具体的には、ゼオライト鑄型炭素をベースとし、「物理吸着+スピルオーバー」のメカニズムにより水素を高密度で貯蔵可能な吸蔵材料(水素貯蔵量6mass%以上)の開発を行う。

(9) MgおよびTi系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発

(実施体制:(学)東海大学)

本研究開発では、合金の相分離によって発現する「吸熱反応」を利用して、水素化合物の熱力学的な不安定化を実証することを目指すとともに、新しい「相分離型水素吸蔵合金」の開発として、Mg基およびTi基を有し、ⅢA族、ⅣA族元素との合金を作製し、水素吸蔵特性を明らかにする。また、Tiを中心に非固溶反応系の合金設計と水素吸収・放出反応についての検討、軽量な水素化合物の代表である AlH_3 の物理的合成法の開発を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・Mg基を有する合金の作製と熱力学的平衡反応特性
- ・Ti基を有する合金の作製と熱力学的平衡反応特性
- ・Al水素化合物の物理合成法の開発

(10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

(実施体制:(財)日本自動車研究所)

2015年頃のFCV普及開始期の市場形成に向けて必要な安全確保のための技術的知見の系統的構築や基準・標準の整備に注力し、FCVの実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資することを目的とする。

(11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

(実施体制:(独)産業技術総合研究所)

本研究開発は、特に、水素エネルギーシステム技術の導入と社会との関わりから研究を実施し、本プロジェクトが目標とする、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の確立による新しいエネルギーシステムの構築を支援することを目的とする。

本研究は、このような基本的認識に基づいて、堅実な形での水素エネルギーシステムの社会導入を図るため、水素燃料電池自動車及び上記システムの導入に伴う社会的・経済的便益の分析評価を通じて、有効な施策を提言するものであり、燃料電池自動車の本格的導入普及に向けた水素供給インフラ市場立上げ時期を念頭において、堅実な形での水素燃料電池自動車の社会導入を図るための方策について、①水素燃料電池自動車の導入に伴う社会的・経済的便益の評価、及び②社会的便益評価システムの構築を通じて、燃料電池自動車の有効な導入施策の検討などを行い、燃料電池自動車及び水素の社会的受容の拡大と導入普及の効率的な実現施策を支援するものである。

(12)水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

(実施体制:(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株))

本研究開発は、各種水素キャリア(高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド)を用いた、オフサイト型水素製造拠点から水素ステーションにおける燃料電池自動車(FCV)への充填までの一連のフローにおける経済的成立性や実現性を検討・評価し、普及に向けた今後の技術開発課題を抽出することを目的とする。

本研究開発を実施するにあたっては、水素供給インフラ立上げの想定である2015年のほか、FCVの普及が始まると予想される2020年、本格的普及時期と予想される2030年におけるFCVの普及台数と水素供給ステーション設置数を想定し、各年における水素需要量、対象となる3種の水素キャリアに共通の前提条件を設定する。

この前提条件に基づき、フィージビリティスタディは、始めに各水素キャリア毎に現状の技術を用いた場合の各年における水素供給コストを算出し、コスト構成を把握した上で技術開発が期待できる項目を抽出し、技術開発が達成された際の水素供給コストを集め求め、経済性、WtTのエネルギー効率、環境性(CO₂排出量)の評価を行うとともに、それらの検討を基に、各水素キャリア毎に普及に向けての技術開発課題を抽出するものである。

(13)水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

(実施体制:高圧ガス保安協会、(国)東京大学)

70MPa級水素ステーションを構成する配管、バルブなど各部品を製造する前提となる高圧水素ガス設備に使用可能な金属材料の鋼種拡大、高圧水素ガスの輸送・貯蔵を目的とした複合容器(CFRP)に係る技術基準の整備を見据えた調査及び試験に加え、水素ステーションに用いる圧力設備のより合理的な設計を可能とすべく、圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する検討を行う。本事業の成果物は、広く一般に公開され、将来の水素ステーション等の規制見直しに資することが可能な資料となる。

(14)水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

(実施体制:水素供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会)

2015年のFCV普及開始に向け、主要な規制の合理化の検討を示した「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」に基づき12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成するものである。

2.2 研究開発の実施体制

本事業は、3分類され「水素ステーション機器システム、車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術」のシステム技術開発、「水素製造機器、貯蔵材料・輸送機器、水素ステーション機器」の要素技術開発、「技術開発シナリオ、革新的次世代技術」の次世代技術開発・フィージビリティスタディ等となっている。システム技術開発の最終目標に向けて要素技術開発の各テーマが個々の目標を設定し実施している。また、技術開発シナリオの調査結果等により研究開発の方向付けの微調整等も行える体制である。下記に実施者を記載したが、各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。

また、2.3項の「研究の運営管理」で記載したように関連するテーマ毎にWGを立ち上げWG毎にリーダーを選出し情報の共有化等を図るためにWG体制を構築した。

2.2.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」の実施体制

(1) 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

実施体制:(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、
日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

(2) 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

実施体制:日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所

2.2.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」の実施体制

(1) 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

実施体制:東京ガス(株)、日本特殊陶業(株)

(2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施体制:三菱化工機(株)

(3) CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施体制:(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、
(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ

(4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施体制:(株)豊田中央研究所、(国)東北大学

(5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施体制:日本重化学工業(株)

(6) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施体制:(株)タツノ

- (7) 70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発
実施体制: JX日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株)
- (8) 低コスト型 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発
実施体制: (財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、アズビル(株)、
(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所
- (9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発
実施体制: 清水建設(株)、岩谷産業(株)
- (10) 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発
実施体制: (株)神戸製鋼所
- (11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発
実施体制: 新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構
- (12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発
実施体制: (国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株) 神戸製鋼所

2. 2. 3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」の実施体制

- (1) 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討
実施体制: (株)テクノバ
- (2) IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討
実施体制: (財)エンジニアリング振興協会
- (3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発
実施体制: (独)産業技術総合研究所
- (4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発
実施体制: (国)横浜国立大学
- (5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発
実施体制: (独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学
- (6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発
実施体制: (国)東京大学
- (7) 超高圧水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発
実施体制: (独)産業技術総合研究所、(国)東北大学
- (8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発
実施体制: (国)東北大学
- (9) Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発
実施体制: (学)東海大学

(10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施体制:(財)日本自動車研究所

(11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

実施体制:(独)産業技術総合研究所

(12) 水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ

実施体制:(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、関西電力(株)、
清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株)

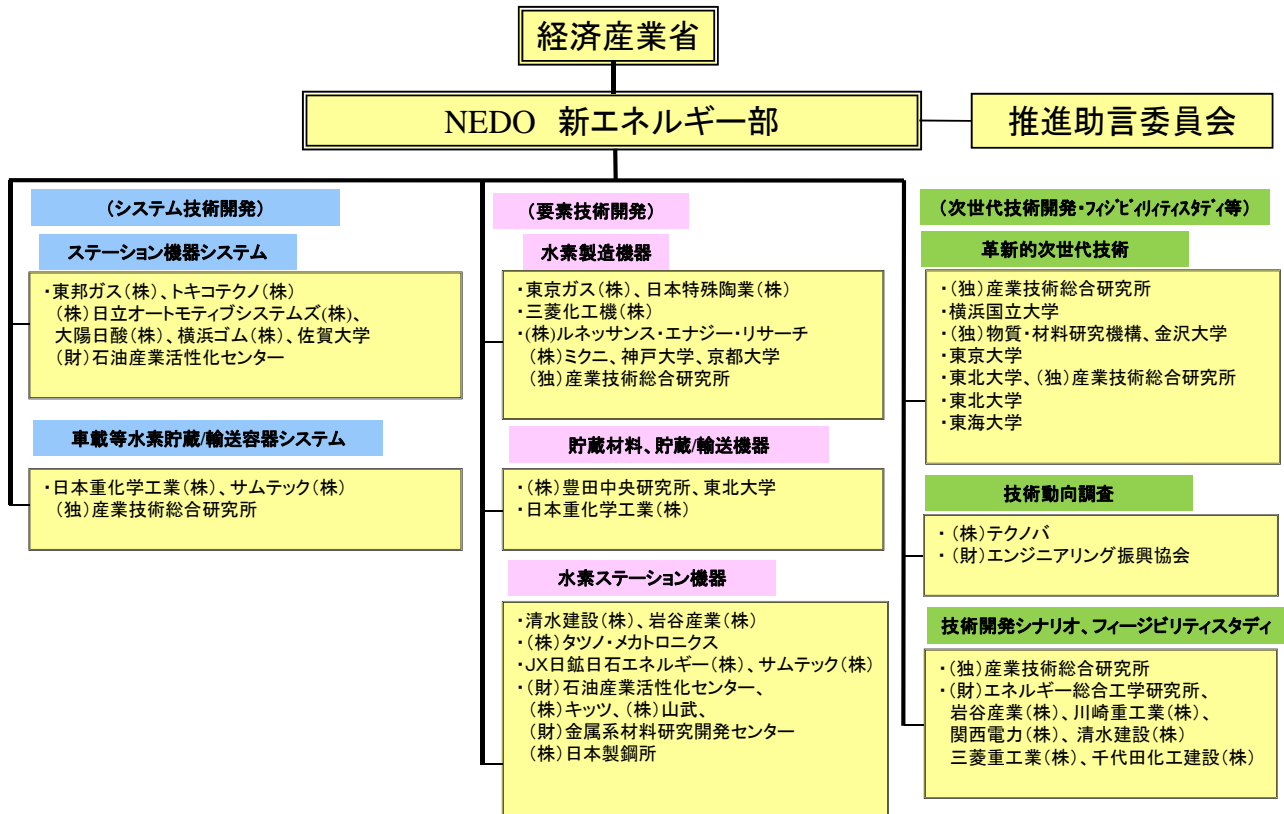
(13) 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施体制: 高圧ガス保安協会、(国)東京大学

(14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施体制: 水素供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会

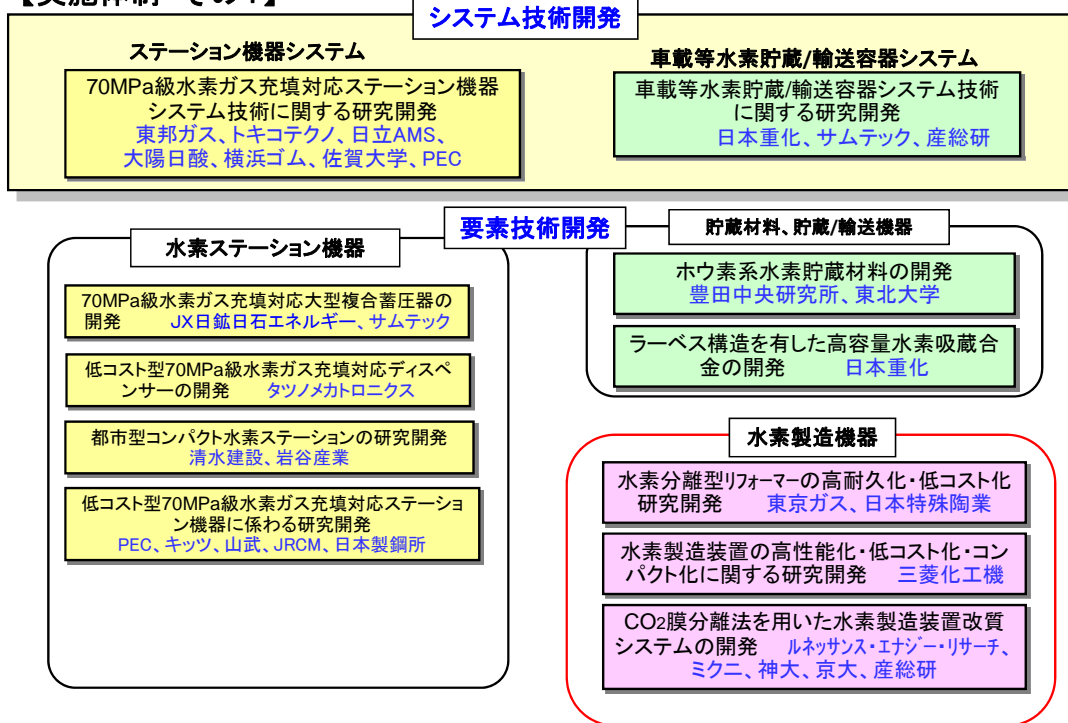
<事業実施体制の全体図>



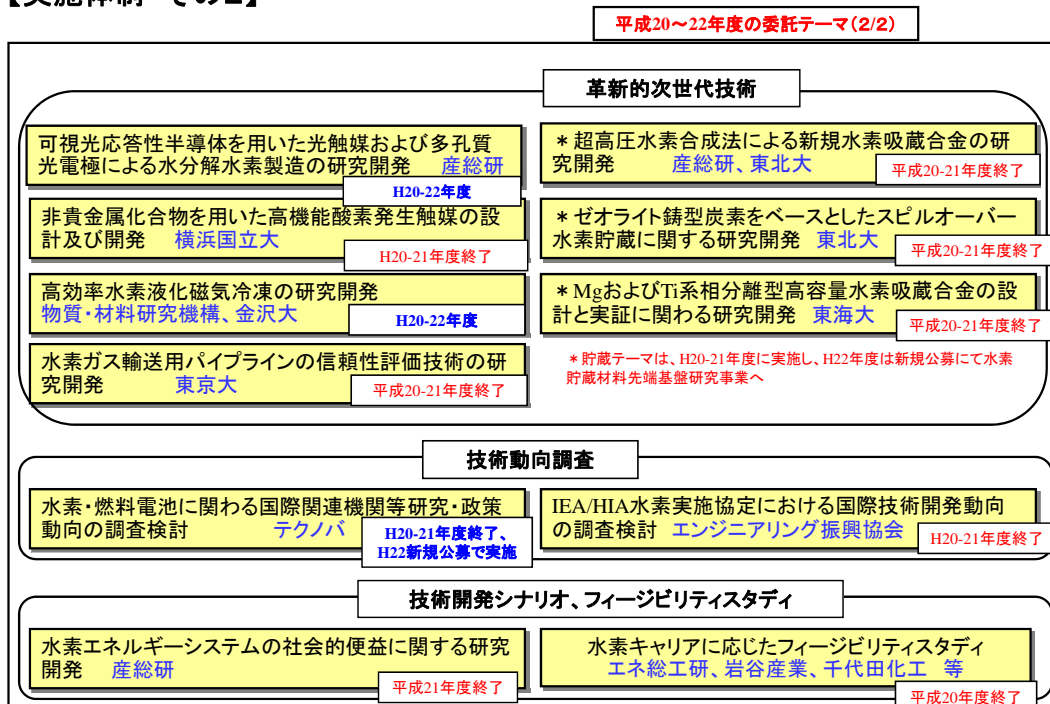
【実施体制 その1, その2】として各区分での実施テーマ名と実施者について下記に記す。

【実施体制 その2】では、実施年度についても記載した。

【実施体制 その1】



【実施体制 その2】



2. 3 研究の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者や研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。

具体的には、必要に応じてNEDOに設置する技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、適時委託先からプロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。

また、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。

水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発に関する外部有識者（関係産業界、学識経験者、関連事業関係者）による「推進助言委員会」を平成21年11月に開催し事業の進め方等について意見及び助言を頂き取り進めた。また、実施者間での意見交換等のため「水素ステーション関連WG」、「（下部WGとして水素ステーション関連サブWG1、WG2）」、「水素製造関連WG」、「水素貯蔵関連WG」、「水素キャリア委員会」を開催し各プロジェクトの目標の共有化、進捗状況等について報告を行い事業の推進を図った。下記に各WGの参加対象テーマと実施者の構成及び実施内容を示す。

【研究開発の運営管理（WGの目的、実施状況）】

WG名	実施者 リーダー	目的	実施状況
水素ステーション関連WG	(財)石油産業活性化センター	<ul style="list-style-type: none"> 各社進捗状況の紹介、意見交換 水素ステーション建設コスト2億円に向けた各社目標コストの設定、コスト低減策の討議・検討 	WGを4回開催（システム、機器に関するサブWGを各2回開催）
水素製造関連WG	東京ガス(株)	<ul style="list-style-type: none"> 各社進捗状況の紹介、意見交換 水素製造装置の効率等の定義、現状及び将来の技術水準の統一 補機類等共通機器のコスト低減策の検討・討議 	WGを3回開催（他に水素分離型リフォーマーの開発の外部助言委員会を4回開催）
水素貯蔵関連WG	日本重化学工業(株)	<ul style="list-style-type: none"> 各社進捗状況の紹介、意見交換 自動車メーカー等ユーザーとの意見交換によるユーザー・ニーズの研究開発への取り込み 	WGを3回開催（他に貯蔵容器システム技術は自工会と意見交換）
水素キャリア委員会	(財)エネルギー総合工学研究所	FSの前提条件、実施方針、評価方法、まとめ方等の討議・検討	委員会を2回開催

● 「水素ステーション関連WG」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：(財)石油エネルギー技術センター

- ・ 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

実施者：(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、

日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

- ・ 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施者：(株)タツノ・メカトロニクス

- ・ 70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発

実施者：JX日鉱日石エネルギー(株)

- ・ 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施者：(財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、(株)山武、

(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所

- ・ 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施者：清水建設(株)、岩谷産業(株)

- ・ 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

実施者：(株)テクノバ

- ・ IEA/HIA水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

実施者：(財)エンジニアリング振興協会

さらに、サブWGによりテーマを絞り込んで「水素ステーション関連サブWG1」はシステム技術テーマを中心に実施したサブWGであり、「水素ステーション関連サブWG2」は要素機器技術テーマを中心に実施したサブWGである。

このWGでは、最終目標である設備コスト 2億円以下/システム [300Nm³/h規模の場合、土地取得価格を除く] に向けて各機器メーカーと検討を行い、現時点で約2.5億円程度の見通しを得ており、最終目標値へ向けて検討中である。また、耐久性に関しても各機器メンテナンス回数1回以下/年 [日常的な簡易検査やメンテナンスを除く] について各実施者が試験室レベルでデータ検証中であり、これに並行して各要素機器を組み合わせたシステムとして東邦ガス総合研究所でデータ検証試験中であり試験室レベルのデータとシステム実証データとを総合的に検討しながら最終目標値に向けて取り進めている。

● 「水素製造関連WG」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：東京ガス(株)

- ・ 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

実施者：東京ガス(株)、日本特殊陶業(株)

- ・水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施者：三菱化工機(株)

- ・CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施者：(株)ルネッサ・エッジ・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、(独)産業技術総合研究所、
(株)ミクニ

2015年のオンサイト型の水素ステーションの水素製造装置の低コスト化、高耐久性に向けて各実施間で実施内容、進捗状況を報告し共有化を図った。また、各実施者間で相違していた効率の定義、機器の稼働率の考え方について整理し目標値に対する整合性を図った。補機等の共通機器のコスト低減策の検討討議を実施した。また、実施者による外部助言委員会にNEDOも参加し本事業での位置づけあるいは方向付けについて助言を行った。

●「水素貯蔵関連WG」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：日本重化学工業(株)

- ・車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

実施者：日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所

- ・ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施者：(株)豊田中央研究所、(国)東北大学

- ・ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施者：日本重化学工業(株)

水素貯蔵に関する情報交換を行い、熱処理時の温度履歴測定、スピニング時の温度変化測定について討議検討した。ハイブリッド貯蔵タンクに関する法令対応については高圧ガス保安法だけでなく、道路運送車両法についても検討する必要があることが判明した。熱処理工程、研究設備、破裂試験等の見学を行うと共に意見交換を実施し、情報の共有化に努めた。また、自動車メーカー等のユーザー・ニーズの研究開発への取り組みのためWGへの参加と意見交換を実施した。

●「水素キャリア委員会」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：(財)エネルギー総合工学研究所

- ・水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

実施者：(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株)

本委員会では、実施者のみならず外部有識者、関係業界団体等も委員会の委員として参加し、ユーザー側での立場としての見解も網羅した。高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライドによる供給フローについて検討し、各フローについて経済性等も検討した結果、普及初期では高圧水素供給が有利であることが判明した。これにより現在、高圧水素供給に集中した研究開発体制で実施している。

各「水素ステーション関連WG」、「水素ステーション関連サブWG 1」、「水素ステーション関連サブWG 2」、「水素製造関連WG」、「水素製造プロジェクトで実施者独自での外部有識者による外部助言委員会」、「水素貯蔵関連WG」、「水素キャリア委員会」での会議実績表を頁WG-(1)～(7)に提示した。

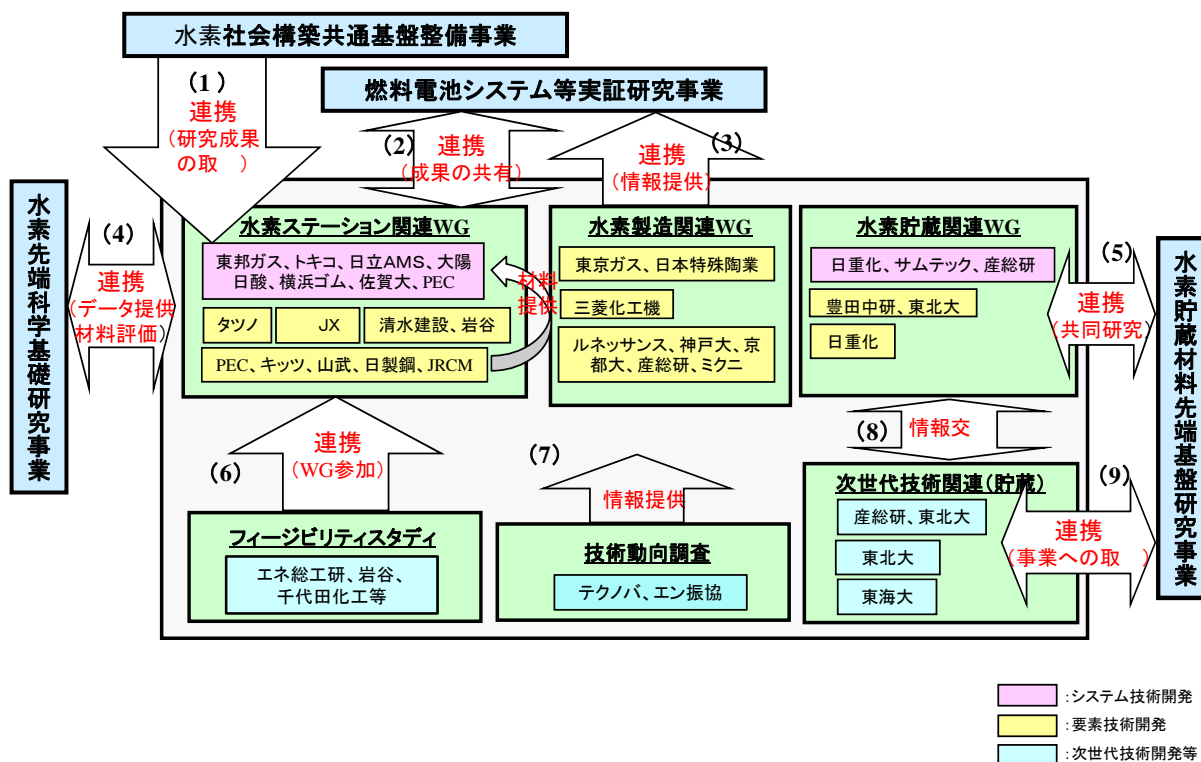
●NEDOと実施者との面談及び意見交換について

平成20年より開始した事業で約1.5年経過した時期である、平成21年度の間中期に各テーマの実施者との面談を約1～2時間程度を掛け行い「進捗状況の報告、予算執行状況、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進言等を行った。これ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WGの連係体制について

基礎基盤研究である「水素先端科学基盤研究事業、水素貯蔵材料先端基盤研究事業」、技術実証である「燃料電池等システム実証研究」、また水素社会構築共通基盤整備事業（平成21年度終了）とも連携を図り取り進めている。

【研究開発の運営管理(他事業及び事業内の連携)】



上記の(1)～(9)までの連携については以下のとおりである。

- (1) 水素インフラに関する安全技術研究において設計、製作した70MPa充填対応の蓄圧器を東邦ガスに建設したステーションに設置し、耐久性を検証している。また、蓄圧器に使用した材料の水素脆化を評価するため同ステーションでサーベランス試験を実施している。
- (2) 水素ステーション関連WGで実施している低コスト化検討とJHFCで実施しているWG1でのコスト評価分科会と連携し、ステーションの低コスト化に向けた検討を連携し実施している。また、水素ステーション関連WGで検討している東邦ガスステーションとJHFCの千住ステーションでの共通課題であるプレクール設備、充填速度等の検討について連携を図り検討を実施している。
- (3) JHFCインフラモデル検討会で検討している水素製造装置のランニングコストの資料について、水素製造関連WGで詳細を検討し数値の見直し等の助言を実施したりし情報の共有化を図った。
- (4) 本事業で開発した流量調整弁等の水素用機器の部材を水素先端科学基礎研究事業に提供し、水素環境下のトライボロジー評価研究の題材とすると共に、材料評価結果を本事業の機器開発にフィードバックした。

水素先端科学基礎研究事業で開発した水素物性データベースの情報をNEDO関連事業関係者に公開する場(2009年10月)に参画し、機器設計等への成果活用を検討するとともに、

データベースの改善提案を行った。

JHFC水素実証で用いた水素ステーションの解体材料を水素先端科学基礎研究事業に提供し、水素環境での長期間使用材料の特性評価を行った。ここで明らかになった蓄圧器材料における熱処理の重要性情報を、JHFCワーキングG会議にて報告し、安全な機器製造に関する情報の共有を図った。

- (5) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業へは開発中の貯蔵材料を提供する。代わりに開発・整備している先進的な解析技術等での解析データを受け取ることにより互いの目標達成に向けた連携を実施した。
- (6) 水素キャリアで検討した知見を水素ステーション関連WGのメンバーにも公表し情報の共有化を図るとともにWGへも参加し意見交換を図った。
- (7) 技術動向について実施者よりNEDOをはじめ、各関連WGのメンバーも参加してセミナーを実施し情報の共有化を図った。
- (8) NEDO主催の水素貯蔵材料フォーラム及び連携成果報告会等で開発の進捗に関する情報を共有化した。
- (9) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業へは先進的技術により開発中の貯蔵材料を提供する。代わりに開発・整備している先進的な解析技術での解析データ、あるいは計算科学的手法による性能予測データ等を受け取ることにより互いの目標達成に向けた連携を実施した。

水素貯蔵材料に関しては、平成22年度より水素貯蔵材料先端基盤研究事業に新規公募により実施する。

2. 4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

2015年をFCV、水素インフラの普及開始期としての位置付けである。

- (1) FCV、水素インフラの実証試験を行う「燃料電池システム等実証研究」の後継実証事業（2011～2015年度）を立ち上げ、本事業（2008～2012年度）により技術開発が完了したシステム、機器から順次、実使用条件下での実証試験に移行し、その技術が確立したことを検証する実用化、事業化への道筋を構築した。
- (2) 技術開発が完了しても、実用化、事業化には現行の法規制等が支障となる場合がある。そのため、実用化、事業化に支障となるFCV、水素インフラの規制見直し、国際標準化に資するデータ取得等を2010年度より本事業に取込んで実施した。（例えば、使用鋼種の拡大、複合容器の蓄圧器としての使用可、設計基準としての耐圧係数の見直し等）
- (3) 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た。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た。

3. 情勢変化への対応

本事業開始後、平成22年3月、燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）が「2015年、一般ユーザーへの普及開始を目指す」とする『FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ』を発表し、平成23年1月、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、共同声明を公表。声明においては、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売すること、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。

このような情勢変化に対して下記の通り対応している。

(1) 鋼種拡大に係る規制の再点検に対する対応

平成22年6月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針（グリーンイノベーション分野）」を受け、平成22年末に水素ステーションの鋼種拡大に係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表が作成され、「例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大」が項目の一つに位置付けられた。

⇒「水素先端科学基礎研究事業」と連携して、鋼種拡大に資するデータ・安全性のデータ取りの加速に役立てた。

⇒工程表の進捗に貢献。平成24年度末に技術基準(案)完成見込み。

(2) 水素ステーション100箇所の先行整備に向けた対応

平成23年1月、2015年のFCV普及開始に先駆け、100箇所程度の商用水素ステーション設置・実証を行う共同声明が発表された。

⇒2015年の商用水素ステーションの目標コスト達成に資する低コスト水素ステーション実証が可能となる見込み。

(3) 国際標準化への寄与

水素充填速度は、ガソリンスタンド並みの5kg/3分-H₂が要求される。

1. 水素充填プロトコルの標準化（急速充填、-40℃のプレクール技術の対応）

⇒SAE J2601-TIR FCV への水素急速充填プロトコルに従った急速充填の安全性を検証し、水素ステーション例示基準に採用となる見込み。

2. 水素充填コネクタの標準化

⇒ISO17268 FDISに基づき、ノズル・レセプタクルの低温信頼性評価（氷結状況確認等）を実施し、水素ステーション例示基準に採用となる見込み

4. 中間評価結果への対応

4. 1 中間評価の主な指摘に係る対応

(1) 指摘：本プロジェクトは、非常に広範な内容を含んでいる。

各開発技術間のインターフェイスの部分を、責任を持って管理する強力なリーダーシップを持ったプロジェクトリーダー（PL）を設置することが望ましい。

対応：広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトに精通し、的確な方向性をもって全体を強力にリードできるPLを選任。

（九州大学：尾上先生）

成果：各開発技術の進捗管理を的確に実施し、各開発技術の目標に対し大きな成果を得た。

（都市型コンパクト水素ステーションの実現の目処が立った等）

(2) 指摘：NEDOの他の水素関連事業と一体感をもって実施することが必要。

対応①：「水素先端科学基礎研究事業」との連携強化。

成果①：・規制合理化、国際標準化に資する材料データを特定し、取得の推進を実施。

・水素充填ホース亀裂対策について、「耐水素性を有する水素バリア樹脂」のデータを取得することにより水素充填ホース実用化（亀裂対策）に向けた課題検証（水素溶解量低減／異物対策）完了見込み。

・弾性特性の感度の高い因子を把握することにより、緊急離脱カップリングのリングの水素漏洩対策の指針を得た。

対応②：「地域水素供給インフラ技術・社会実証」との連携強化。

成果②：・水素供給インフラの低コスト化に繋がる技術実証、調査等を行い、水素供給インフラ導入の可能性を明らかにした。

4. 2 中間評価の指摘に係る対応（詳細）

(1) 総合評価

本プロジェクトは国際的にも国内的にも重要な技術開発であり、水素社会の構築を目指して、水素製造、輸送・貯蔵の実用化、普及のための技術開発に向けて精力的な取り組みが行われており、着実に成果を上げている。個別の研究開発成果については、高く評価できるものがあり、実用化の可能性を期待させるものである。

一方、本プロジェクトは、非常に広範な内容を含んでいるので、目標達成のためには、システム技術開発と要素技術開発、次世代技術開発の3つの研究開発項目とそこに含まれる個々のテーマの進捗状況を横断的に把握し、インターフェイスの部分について責任を持って管理することが極めて重要である。そのために強力なリーダーシップを持ったプロジェクトリーダーを設置することが望ましい。

また、個別の技術には成熟度の高いものも見られるが、2015年を目標とする水素供給インフラとしてのシステムの事業化という観点からは、事業化までの明確なシナリオが描け

ていない。

【対処方針】

プロジェクトリーダーの設置：広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトの内容に精通し、強力なリーダーシップを発揮するPLを設置。（九州大学：尾上先生）また、本プロジェクトが他のプロジェクトと連携を深めさらに効果的な成果を得るため、水素事業に関連するPL連絡会等の課題共有化の場を新に設ける。

事業化に向けたシナリオ作成：事業化という視点で、目指すべき技術成果とその活用方法を見直し、システムとしての事業化までのシナリオを構築する。

(2) 今後に対する提言

個々の技術開発のレベルが、基礎研究レベルから耐久性実証レベルまでばらばらであり、2015年という早期の実用化開始をめざす基幹となる技術構成が不明確である。当面はコスト低減も重要であるが、フィールドテストに移行できるだけの信頼性のある技術確立に注力すべきである。果たして社会システムとして成立するのかという観点から、例えば特区を設定して推進することも必要であろう。同時に、平成22年度からは本プロジェクトに基準・標準化研究が組み入れられているが、海外の強力な企業がしのぎを削る中、海外の動向も十分注視して国際標準に対応できる基準、標準化を進めるべきである。

さらに、副生水素をクレジットや税制として優遇することや、安全面は重視したうえで、高圧ガス保安法・消防法・建築基準法の規制緩和の検討が進むことを期待している。

【対処方針】

実用化開始時の基幹となる技術構成の明確化：早期の実用化を目指す技術については、基幹となる技術構成を明確にした上で今後2年間の開発においてより力点を置いた取り組みを行う。

信頼性のある技術確立への注力：インフラ技術においては、安全性を含む信頼性は最優先すべきものである。信頼性と経済性の両立が不可欠であり、現状でも十分な信頼性を考慮した開発を行っているが、実証試験等のプロジェクトに円滑に移行できるよう、更に信頼性を向上させるよう取り組む。

特区での実証の検討：社会システムとしての成立の検証のため、開発成果は、今後広く実施が計画されている実証試験プロジェクトに適用を図る。

国際標準化の推進：これまでISO/TC197（水素技術）やISO/TC22（電気自動車）等、日本が国際標準化を主導するにあたって必要な基礎的データの取得を本事業において実施しており今後もデータ取得等を引き続き行う。

規制緩和に向けた検討の推進：規制緩和関連テーマは、水素供給インフラ普及には不可欠で、今後重要テーマとして取り組むことを検討する。本年度は、規制緩和に関する研究開発

テーマを複数立ち上げたが、来年度も新たな取り組みを検討する。

(3) 事業の位置付け・必要性

本プロジェクトは、水素社会を構築するために燃料電池自動車（FCV）の導入と普及を図ることを大前提として、水素製造・輸送・貯蔵システムなどの実用的な技術開発を目的としており、システム・要素技術の開発と事業化調査に傾注している。基礎的かつ萌芽的な研究要素も多く、産官学が一体となってNEDOが関与して開発を促進することは十分な意義がある。エネルギー供給の安全保障、低炭素社会の構築などを鑑みると、本事業の重要性は益々高まると考えられ、2030年の時点では市場規模に対する開発投資という観点から、費用対効果は大きいものと考えられる。(指摘・問題点なし)

(4) 研究開発マネジメント

本プロジェクトは、開発が広範であるがゆえに多くの企業、大学が参画しており、研究開発の進展に応じて、計画の見直しも適切に実施されている。

一方、主要テーマ毎にワーキンググループを設置し運営や実施状況を管理、確認している体制は見られたが、テーマ間の連携が具体的にどのようなおこなわれているのか明確でない。システム技術開発と要素技術開発の整合性を図るマネジメントを強力に推進する必要がある。

本プロジェクトの目標は2015年頃の水素供給インフラ市場立上げに必要な一連のシステムや機器の技術確立にあるので、中間評価という観点から最終目標達成のための手段を明確にする必要がある。目標においては、経済性の面が強調されている。安全性と相反する面があり、費用対効果とともに安全性の確保も重要である。

これらの観点から、全体の整合性を図りながらプロジェクトを進めるプロジェクトリーダーが不可欠である。また、技術の普及への取り組みについては実証事業との連携、標準化についても基準・標準化の研究開発との連携を強化すべきである。特に、国際標準を目指す戦略が明確でなく、戦略策定が重要である。

【対処方針】

テーマ間連携方法の明確化：これまで定期的にワーキンググループにおける情報交換を実施してきたが、情報交換が具体的にみえるように検討する。

システム・要素の両技術開発の整合性を図るマネジメントの推進：新に設置するPLとNEDOにより、プロジェクト全体にわたってより整合の取れたマネジメントを推進する。

最終目標達成手段の明確化：中間評価の結果を踏まえ、事業化までを考慮した技術開発全体シナリオを構築し、最終目標達成のための課題と手段を明確にする。

経済性と安全性の両立：インフラ技術においては、安全性確保は最優先されるものである。安全性と経済性の両立が不可欠であり、現状十分な安全性を検証する開発を行ってはいるが、

更にその成果が実用的に受け入れられるよう安全性の確保に配慮する。

プロジェクトリーダーの設置：広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトの内容に精通し、強力なリーダーシップを発揮するPLを設置。また、本プロジェクトが他のプロジェクトと連携を深めさらに効果的な成果を得るため、水素事業に関連するPL連絡会等の課題共有化の場を新に設ける。

関連する他事業との連携強化：関連する他のプロジェクトとの連携強化に向け、情報提供および成果の共有化の場を設ける。具体的には①「水素先端科学基礎研究事業」との連携強化を行い、(a)規制合理化、国際標準化に資する材料データを特定し、取得の推進を実施。(b)水素充填ホース亀裂対策について、「耐水素性を有する水素バリア樹脂」のデータを取得することにより水素充填ホース実用化（亀裂対策）に向けた課題検証（水素溶解量低減／異物対策）完了見込み。(c)弾性特性の感度の高い因子を把握することにより、緊急離脱カップリングのリングの水素漏洩対策の指針を得た。②「地域水素供給インフラ技術・社会実証」との連携強化を行い、(a)水素供給インフラの低コスト化に繋がる技術実証、調査等を行い、水素供給インフラ導入の可能性を明らかにした。

国際標準の戦略策定：これまでISO/TC197（水素技術）やISO/TC22（電気自動車）等、日本が国際標準化を主導するにあたって必要な基礎的データの取得を本事業において実施している。なお、現在、内閣官房知的財産戦略本部・国際標準化戦略タスクフォースで戦略検討が進められており、NEDOとしてもデータ提供をしているが、その検討結果を受けて、本事業での対応も検討する。

（5）研究開発成果

中間目標については、システム技術開発、要素技術開発、及び次世代技術開発において概ね達成されており、最終的な成果は、新しい技術領域の創出につながるものであり、最終目標達成のための素地は十分できているものと考え。特に、ステーションあたり2億円という線が見えてきたのは重要である。また、ホウ素系は2015年の実用化には困難も予想されるものの、世界最高水準の学術的成果を挙げている。

一方、個々のテーマのいくつかは、最終目標の達成が困難で有るように見受けられる。2015年頃までに事業化等も見通せないテーマに関しては、知財権取得をしっかりとすべき。特に、水素貯蔵材料の開発は、水素エネルギーシステムにおいて最重要な要素技術であるが、質量貯蔵密度、水素放出温度、耐久性及び材料コストに関しては目標達成を見通せない状況にあるため、中長期の課題としての再考や見直しを含めて再検討も必要と考える。

また、水素の供給源の見通しを明確にし、水素をステーションまで運搬するのか、ステーションで水素を発生させるのか、開発のターゲットをもっと絞り込むべきである。総花的な開発では、費用対効果が少なくなる恐れがある。

【対処方針】

最終目標達成困難なテーマへの対応：最終目標達成の確度にかかわらず、知財権取得を積極的に推進する。

水素貯蔵材料テーマの再検討：水素貯蔵材料の開発は、現状を見極めた上で、大幅な見直しを視野に入れた検討を行う。

水素供給源の絞り込み：「水素供給価格シナリオ分析等に関する研究」等過去のNEDO事業において、オンサイト水素供給とオフサイト水素供給の詳細について評価を行っており、水素発生源については、供給エリア等供給状況によってそれぞれに強みがある。その供給エリア等供給状況に応じた普及が見込まれることから本研究開発における絞り込みは行わない。

(6) 実用化・事業化の見通し

初期の水素スタンド向け技術・製品のめどは立ちつつあるなど実用化に繋がる可能性のある研究成果も見られ、それによる波及効果も期待できる。

一方、競合しかつ先行するであろう電気自動車（EV）に対するFCVの優位性の強調とユーザー側の評価が今後重要な視点となるであろう。

また、目標に到達していない実施項目については、ロードマップを見直すとともに、将来技術として可能性を検討するか、他の代替技術への展開も含めて再考することも必要がある。

水素供給インフラとしてのシステムの事業化という観点からは、事業化までの明確なシナリオが描けておらず、このままでは2015年を目標とする早期の事業化は困難である。特に、水素製造設備と燃料電池自動車の開発・普及との整合性が取れておらず、再度事業化のシナリオを練り直す必要がある。

【対処方針】

目標未達の実施項目への対応：目標未達の実施項目については、その技術の必要性和実現困難度を再評価した上で、中断等を含む対処方法を検討する。

事業化に向けたシナリオ作成：事業化という視点で、目指すべき技術成果とその活用方法を見直し、システムとしての事業化までのシナリオを構築する。

5. 評価に関する事項

本事業に対し、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について評価を行うと共に、各研究開発項目毎に、進捗及び成果達成状況、実用化の見通し等の中間評価を行い、研究開発計画・実用化見通しに反映した。

水素ステーション関連WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年9月17日 13:30~15:30 NEDO日比谷オフィス	(1)水素ステーション 関連WGの実施 について (2)今後のスケジュール	(1)検討方針 ・検討体制 ・サブワーキングの設置 ・概略スケジュール (2)検討項目と最終成果の まとめ方	東邦ガス (2名) トキコテクノ (2名) 日立オートモティブシステムズ (1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (2名) 佐賀大学 (1名) 新日本石油 (1名) タツノ・メカトロニクス (2名) 清水建設 (2名) 岩谷産業 (1名) 日本製鋼所 (2名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (2名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (4名) 石油産業活性化センター(9名) 合計出席者 38 名
2	平成21年11月9日 13:30~15:30 NEDO日比谷オフィス	(1)前回議事録確認 (2)検討要領について ・検討前提 ・実施体制 (3)コスト低減の検討 目標コストの設定	(1)前回議事録承認 (2)検討要領の承認 ・検討前提 ・検討の連携体制 (3)検討目標コスト	トキコテクノ (1名) 日立オートモティブシステムズ (1名) 横浜ゴム (1名) 新日本石油 (2名) タツノ・メカトロニクス (1名) 清水建設 (1名) 岩谷産業 (1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (3名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (3名) 石油産業活性化センター(6名) 合計出席者 25 名
3	平成22年1月14日 13:30~16:00 NEDO日比谷オフィス	(1)前回議事録確認 (2)中間報告 (3)検討目標コストの 見直し	(1)前回議事録承認 (2)個別中間報告内容 (3)検討目標コスト	東邦ガス (1名) トキコテクノ (1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (1名) 新日本石油 (2名) タツノ・メカトロニクス (1名) 清水建設 (2名) 岩谷産業 (1名) 日本製鋼所 (1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (3名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(8名) 合計出席者 30 名

4	平成22年3月19日 13:30～16:00 石油産業活性化センター	(1)前回議事録確認 (2)最終報告	(1)前回議事録承認 (2)個別最終報告内容 (3)最終コスト低減見込み	東邦ガス (1名) トキコテクノ (1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (1名) 新日本石油 (2名) タツノ・メカトロニクス (1名) 清水建設 (2名) 岩谷産業 (1名) 日本製鋼所 (2名) キッツ (1名) 金属系材料研究開発センター(1名) 山武 (3名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(7名) 合計出席者 28 名
---	--	-----------------------	--	--

水素ステーション関連サブWG1 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年10月1日 14:00~16:00 航空会館	(1)サブWG1の検討 体制及び分担 (2)検討の前提モデル	(1)検討の体制及び分担 (2)検討前提モデルとして PECモデルを選定	東邦ガス (2名) 新日本石油 (2名) 清水建設 (1名) 岩谷産業 (1名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (1名) 石油産業活性化センター(4名) 合計出席者 13 名
2	平成21年10月16日 13:00~15:00 石油産業活性化センター	(1)前回議事録の確認 (2)PECモデルの説明 (3)検討の進め方	(1)前回議事録の承認 (2)PECモデルの承認と検討 前提へのコメント (3)検討目標の設定と今後の 予定	東邦ガス (1名) 新日本石油 (2名) 清水建設 (1名) 岩谷産業 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(6名) 合計出席者 14 名

水素ステーション関連サブWG2 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年10月7日 14:00~16:00 航空会館	(1)検討の進め方 (2)検討の前提モデル	(1)検討の体制及び分担 (2)検討前提モデルとして PECモデルを選定 (3)検討前提として考慮すべ き項目	トキコテクノ (1名) 日立オートモティブシステムズ(1名) 横浜ゴム (2名) タツノ・メカトロニクス(1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (3名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (1名) 石油産業活性化センター(6名) 合計出席者 20 名
2	平成21年11月5日 14:00~16:00 石油産業活性化センター	(1)前回議事録の確認 (2)検討前提の確認 (3)検討の進め方	(1)前回議事録の承認 (2)検討前提の承認 (3)検討目標の設定と今後の 予定	トキコテクノ (2名) 日立オートモティブシステムズ(1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (2名) タツノ・メカトロニクス(1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (4名) エンジニアリング振興協会(1名) 石油産業活性化センター(4名) 合計出席者 20 名

水素製造WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年4月27日 15:00 - 17:00 NEDO川崎 2101会議室	(1)各委託先進捗報告 (2)WGのあり方について	(1)効率の定義、補機の低コスト化など共通の議題を議論する場とする。	NEDO(5名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(3名) 三菱化工機(3名) ルネッサンス・エネジー・リサーチ(1名) 合計出席者15名
2	平成21年9月25日 13:30 - 16:00 NEDO川崎 2303会議室	(1)水素製造WGのアンケート結果について (2)水素製造装置の各社現状報告	(1)効率の定義について統一化を目指す。 (2)東京ガス白崎氏をWGリーダーとする。	NEDO(2名) 東京ガス(1名) 日本特殊陶業(2名) 三菱化工機(2名) ルネッサンス・エネジー・リサーチ(2名) 合計出席者 9名
3	平成22年2月8日 13:30 - 16:30 NEDO川崎 2302会議室	(1)水素製造装置コスト低減に向けた検討 (2)効率の定義、稼働率の考え方の共有化 (3)水素製造装置の防爆基準について	(1)効率の定義、稼働率の考え方について、WG内では東京ガス案に統一する。	NEDO(3名) 東京ガス(2名) 日本特殊陶業(1名) 三菱化工機(2名) ルネッサンス・エネジー・リサーチ(1名) 合計出席者 9名

水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発 外部助言委員会 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	主な発言・助言	出席者
1	平成20年11月4日 14:30～17:00 東京ガス(株)横浜研究所	(1)NEDO挨拶 (2)研究開発経緯の報告 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)試験計画はかなり厳しい内容である。 (2)毎日ON/OFFする運転は、繰り返しクリーブが懸念される。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(4名) 合計出席者11名
2	平成21年3月9日 14:00～16:00 東京ガス(株)横浜研究所	(1)NEDO挨拶 (2)各テーマの実施計画報告 (3)その他事務連絡	(1)FeO付着試験を行なっているが、FeとFeOではメカニズムが違う。 (2)実証試験を行なう時期なので、予算面でもNEDOにぜひ支援してほしい。 (3)モジュール中の流れが層流だとすると境膜がしやすい。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(4名) 日本特殊陶業(3名) 合計出席者11名
3	平成21年11月2日 13:30～15:00 九州大学 伊都キャンパス	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)難しい課題に取り組んでいるなか早く進捗している。 (2)最終目標であるリーク量に最初から拘らないこと。 (3)触媒の変化と水素分離膜の変化を切り離して評価すべき。 (4)触媒にセリアを添加するという方法もある。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(2名) 東京ガス(4名) 日本特殊陶業(3名) 合計出席者12名
4	平成22年5月24日 14:00～16:00 東京ガス(株)横浜研究所	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)モジュール単体とシステムの違いを究明できれば実用化が見えてくる。 (2)Fe系異物が気相で飛来する可能性も調べるべき。 (3)2つのテーマそれぞれの位置づけを明確にすべき。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(6名) 日本特殊陶業(3名) 合計出席者13名
5	平成23年2月21日 12:30～14:30 日本特殊陶業(株)小牧工場	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)中間評価結果概要の報告 (4)各テーマの実施計画報告 (5)その他事務連絡	(1)中間評価の点数は非常に高かった。 (2)起動時間3時間未満という目標は、廃止し、より実用化を意識した目標に見直す。 (3)本テーマ内では要素技術をしっかり固め、その後の実用化は会社の努力で行うという当初方針を維持すべきである。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(3名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(4名) 合計出席者13名
6	平成24年2月16日 15:00～19:30 東京ガス(株)本社	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)起動停止12回耐久性の目標を追加する。 (2)メタン化触媒により不純物はほぼ全量メタン化されるので、水素純度99.99%を達成すればISO基準も達成できる。 (3)緊急停止時の支持体クラックは、Niの水蒸気酸化のほか、膜起因の可能性もある。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(4名) 合計出席者11名

水素貯蔵WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年3月16-21日 サムテックインターナショナル	(1) 熱処理の影響調査 (2) スピニング時の熱影響調査 (3) 熱処理工程の見学	(1) 熱処理時の温度履歴測定 (2) スピニング時の温度変化測定	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 合計出席者 7名
2	平成21年7月8日 11:00-17:00 佐賀大学 理工学部	(1) 情報交換 (2) 秘密保持について (3) 研究設備見学	(1) 各グループの開発状況に関する報告	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 豊田中央研究所 東北大学 NEDO 合計出席者 14名
3	平成21年7月8日 10:00-12:00 NEDO川崎	(1) ハイブリッド貯蔵タンクの法令対応について	(1) 法令対応について、高圧ガス保安法だけでなく、道路運送車両法についても検討する必要がある。	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 自動車工業会 NEDO 合計出席者 10名
4	平成22年3月9日 13:00-17:00 サムテックインターナショナル	(1) 情報交換 (2) 高圧容器の設備見学 (3) 破裂試験の見学	(1) 各グループの開発状況に関する報告	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 豊田中央研究所 NEDO 合計出席者 14名
5	平成22年5月10日 13:30-16:30 航空会館	(1) 意見交換会	(1) 水素貯蔵材料開発や、ハイブリッド貯蔵タンク開発に関して意見交換会を行い、ユーザーの立場から、多くの貴重な意見を頂いた。	燃料電池実用化推進協議会 日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 豊田中央研究所 東北大学 NEDO 合計出席者 25名

水素キャリア委員会 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成20年12月19日 14:00～16:00 第1回水素キャリア評価 委員会 航空会館204会議室	(1)業務の概要説明 (2)前提条件の設定 (3)各水素キャリアの FSの進め方とこ れまでの結果 報告	(1)前提条件 (2)各水素キャリアのFSの 実施方針と方法 (3)FSの評価方法 他	委員(11名) 横浜国大・委員長 燃料電池実用化推進協議会 日本電機工業会 日本ガス協会 エンジニアリング振興協会 産総研 新日本石油 石油産業活性化センター 出光興産 経済産業省 2名 NEDO 3名 岩谷産業 川崎重工 関西電力 清水建設 三菱重工 千代田化工建設 エネルギー総合工学研究所 事務局(6名) 合計出席者 29名
2	平成21年2月23日 10:00～12:00 第2回水素キャリア評価 委員会 富国生命ビル 中会議室	(1)前回議事録確認 (2)前提条件(その2) (3)各水素キャリアの FS結果報告	(1)各水素キャリアのFS結果 に対する評価 (2)成果報告書のまとめ方 他	委員(10名) 横浜国大・委員長 燃料電池実用化推進協議会 日本電機工業会 日本ガス協会 エンジニアリング振興協会 産総研 新日本石油 出光興産 NEDO 3名 岩谷産業 川崎重工 関西電力 清水建設 三菱重工 千代田化工建設 エネルギー総合工学研究所 事務局(6名) 合計出席者 26名

水素ステーション定例会議 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成22年2月24日 16:00～17:30 JPEC	東邦瓦斯水素ステーションの 評価試験内容検討	①評価試験の詳細内容検討 耐久性評価試験内容 連続充填試験	NEDO(3名) 東邦瓦斯(3名) トキコテクノ(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(1名) 佐賀大学(1名) JPEC(4名) 合計出席者14名
2	平成22年3月26日 13:30～15:30 JPEC	東邦瓦斯水素ステーションの 運転状況、評価試験内容検討	①評価試験の詳細内容検討	NEDO(2名) 東邦瓦斯(2名) トキコテクノ(1名) 日立AMS(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(2名) JPEC(6名) 合計出席者15名
3	平成22年4月20日 13:30～17:00 東邦瓦斯技術研究所	東邦瓦斯水素ステーションの 運転状況確認、課題検討	①技術課題の抽出と対策検討 圧縮機 充填カップリング 充填容器内温度測定方法 配管圧力損失(熱電対)	NEDO(1名) 東邦瓦斯(3名) トキコテクノ(2名) 日立AMS(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(1名) 佐賀大学(1名) JPEC(2名) 合計出席者12名
4	平成22年5月20日 15:00～17:30 JPEC	①東邦瓦斯水素ステーションの 運転状況確認、課題検討 ②JHFCステーション情報収集	①技術課題の抽出と対策検討 最大流量試験 昇圧率一定充填試験 プレクール設備熱交換器 通信充填 水素ガス中の水分の影響 充填解析シミュレーション 充填容器内温度測定方法	NEDO(2名) エンジニアリング協会(3名) 東邦瓦斯(3名) トキコテクノ(1名) 日立AMS(2名) 大陽日酸(2名) 横浜ゴム(2名) 佐賀大学(1名) JPEC(7名) 合計出席者23名
5	平成22年8月2日 14:00～16:00 JPEC	技術課題対応の進捗確認	①技術課題の抽出と対策検討 耐久性検証のための充填回数 緊急離脱カブラ耐久性検証方法 故障予知、材料評価検証方法 充填ホース耐久性検証方法 建設コスト低減方法	東邦瓦斯(1名) トキコテクノ(2名) 日立AMS(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(2名) JPEC(5名) 合計出席者12名
6	平成23年5月27日 13:30～16:00 東邦瓦斯技術研究所	技術課題対応の進捗確認	①技術課題の抽出と対策検討 複合容器充填タンクの導入方法 充填設備の運転上の課題 緊急離脱カブラ改良状況 充填ホース改良状況 故障予知技術開発状況 配管材料評価 プレクール設備開発状況 充填解析プログラム開発状況 技術基準、規制合理化検討状況	NEDO(1名) 九州大学(PL)(1名) 東邦瓦斯(4名) トキコテクノ(2名) 日立AMS(2名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(1名) 佐賀大学(1名) JPEC(3名) 合計出席者16名

高強度配管材料WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成22年12月16日 10:30~12:15 NEDO川崎 会議室	(1)新規金属材料 による開発機器の 提供時期について (2)KHKへの申請 について	(1)提供時期 ・素材 ・調節弁 (2)確認結果報告、 協力体制確認	タツノ・メカトロニクス (1名) キッツ (2名) 山武 (1名) 金属系材料研究開発センター(2名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(2名) 合計出席者 10 名
2	平成23年1月18日 10:00~11:30 PEC第1会議室	(1)高圧ガス申請方法 (2)高圧ガス申請の 評価試験内容	(1)申請の窓口、分担 (2)試験方法、試験条件	タツノ・メカトロニクス (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 石油産業活性化センター(5名) 合計出席者 9 名
3	平成23年1月25日 13:30~16:30 NEDO川崎 会議室	(1)前回議事録確認 (2)評価試験 (3)素材の提供 (4)高圧ガスの 申請について	(1)前回議事録追記事項確認 (2)試験材、試験時期、 試験実施者 (3)試験素材形状 (4)申請の実施者	タツノ・メカトロニクス (2名) キッツ (1名) 山武 (1名) 新日鐵(2名) 金属系材料研究開発センター(2名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(3名) 合計出席者 13 名
4	平成23年5月9日 16:00~17:45 NEDO日比谷 会議室	(1)前回までの 打合内容確認 (2)進捗とスケジュール	(1)内容確認 ・ステーション仕様 ・試験材手配方法 ・高圧ガス申請方法 (2)各機器開発の進捗、 ステーション仕様面の懸案	タツノ・メカトロニクス (2名) キッツ (1名) 山武 (1名) 新日鐵(2名) 金属系材料研究開発センター(3名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(7名) 合計出席者 18 名

水素ステーション開発・実証連携会議 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者	
				(団体・会社・大学名等)	(人数)
1	平成23年6月17日 13:00～15:00 石油エネルギー技術センター	・技術開発分野 全般の技術発表	【発表テーマ】 ①水素ステーション技術開発 (石油エネルギー技術センター) ②先行4項目基準検討 (石油エネルギー技術センター) ③規制合理化(10項目) (石油エネルギー技術センター)	九州大学	1
				HySUT	10
				NEDO	2
				石油エネルギー技術センター	9
				合計 出席者	22
2	平成23年7月22日 13:30～17:30 NEDO日比谷オフィス	・技術開発分野 個別の技術発表	【発表テーマ】 ①新規開発鋼種の材料特性 (金属系材料研究 開発センター) ②鋼製蓄圧器の高耐久化、 低コスト化 (日本製鋼所) ③70MPa級高圧ボールバルブ (キッツ) ④水素用流量調節弁 ⑤制御システム (アズビル) ⑥直接充填方式圧縮機 (神戸製鋼所) ⑦高圧水素用ディスプレイ (日立、トキコテクノ) ⑧フレール熱交換器の小型化 (大陽日酸) ⑨水素充填シミュレーション (佐賀大学) ⑩水素製造装置 (三菱化工機) ⑪ステーション用複合容器 (JX日鉱日石エネルギー) ⑫先行4項目基準検討 (石油エネルギー技術センター) ⑬規制合理化(10項目) (石油エネルギー技術センター)	九州大学	1
				佐賀大学	1
				日立オートモティブシステムズ	1
				トキコテクノ	2
				大陽日酸	3
				横浜ゴム	1
				日本製鋼所	3
				キッツ	2
				山武(アズビル)	3
				神戸製鋼所	2
				三菱化工機	3
				サムテック	2
				日本特殊陶業	1
				ミクニ	1
				タツノ	1
				東京ガス	5
				大阪ガス	1
				東邦ガス	1
				岩谷産業	2
				日本エア・リキード	2
				JX日鉱日石エネルギー	1
				出光興産	1
				コスモ石油	1
				コスモエンジニアリング	4
				昭和シェル石油	1
				燃料電池推進協議会	2
				金属系材料研究開発センター	3
				日本自動車研究所	2
				日本ガス協会	1
				HySUT	7
				NEDO	5
				石油エネルギー技術センター	11
				合計 出席者	77
3	平成23年12月12日 14:00～17:30 石油エネルギー技術センター	・ディスプレイ、 バルブ、周辺機器類 の技術発表	【発表テーマ】 ①新規開発鋼種の材料特性 (金属系材料研究 開発センター) ②70MPa級高圧ボールバルブ (キッツ) ③水素用流量調節弁 (アズビル) ④高圧水素用ディスプレイ (日立、トキコテクノ) ⑤フレール熱交換器の小型化 (大陽日酸)	九州大学	1
				日立オートモティブシステムズ	2
				大陽日酸	1
				神戸製鋼所	2
				ヤマト産業	
				横浜ゴム	1
				キッツ	3
				山武(アズビル)	1
				東京ガス	4
				大阪ガス	1
				東邦ガス	1
				日本エア・リキード	1
				金属系材料研究開発センター	3
				燃料電池推進協議会	1
				HySUT	6
				NEDO	3
				石油エネルギー技術センター	9
				合計 出席者	41

4	平成24年1月20日 13:30~17:00 石油エネルギー技術センター	・蓄圧器、圧縮機の 技術発表	【発表テーマ】	九州大学	1
			①直接充填方式圧縮機 (神戸製鋼所)	佐賀大学	1
			②鋼製蓄圧器の高耐久化・ 低コスト化 (日本製鋼所)	日立オートモティブシステム*	1
			③制御システム (アズビル)	大陽日酸	5
			④高圧水素ディスペンサー (タツノ)	神戸製鋼所	4
			⑤水素ステーション動的解析 (石油エネルギー技術センター)	日本製鋼所	3
				ヤマト産業	1
				タツノ	2
				キッツ	1
				山武(アズビル)	3
				東京ガス	4
				大阪ガス	2
				東邦ガス	2
				岩谷産業	1
				JX日鉱日石エネルギー	4
				出光興産	1
				コスモ石油	2
				日本エア・リキード	3
				川崎重工	1
				三菱化工機	1
				ハマイ	1
				経済産業省	2
				福岡県	1
				燃料電池推進協議会	1
				HySUT	8
				NEDO	2
				石油エネルギー技術センター	8
				合計 出席者	66
5	平成24年1月26日 13:30~17:00 石油エネルギー技術センター	・解析、エンジニアリ ング技術の技術発表	【発表テーマ】	九州大学	1
			①水素ステーション構築 (大陽日酸)	佐賀大学	1
			②水素ステーション構築 (日本エア・リキード)	九州産業大学	1
			③蓄圧器(複合容器) (JX日鉱日石エネルギー)	日立オートモティブシステム*	1
			④水素ステーション構築 (岩谷産業)	大陽日酸	5
			⑤充填モデル(理論) (佐賀大学・九州産業大学)	神戸製鋼所	1
			⑥低コスト水素ステーション (ヤマト産業)	ヤマト産業	4
				タツノ	2
				キッツ	1
				アズビル	2
				東京ガス	6
				大阪ガス	2
				東邦ガス	2
				岩谷産業	1
				JX日鉱日石エネルギー	1
				コスモ石油	3
				日本エア・リキード	2
				川崎重工	1
				三菱化工機	1
				千代田化工	2
				ハマイ	1
				福岡県	1
				金属系材料研究開発センター	1
				燃料電池推進協議会	2
				HySUT	10
				NEDO	2
				石油エネルギー技術センター	8
				合計 出席者	65

6	平成24年6月26日 13:30~16:00 NEDO震ヶ関分室	・鉄鋼材料の技術発表	【発表テーマ】	日立オートモティブシステムズ	1
			①技術基準に関する検討 (鋼種 拡大) (石油エネルギー技術センター)	日立プラントテクノロジー	1
			②鋼製蓄圧器の材料選定と 安全性評価 (日本製鋼所)	日東工器	1
				巴商会	2
			合計 出席者	大陽日酸	2
				日本製鋼所(JSW)	2
				トキコテクノ	1
				タツノ	1
				キッツ	1
				東京ガス	2
				岩谷産業	5
				JX日鉱日石エネルギー	4
				出光興産	1
				昭和シェル	1
				東邦ガス	3
				日本エア・リキード	2
				燃料電池推進協議会	2
日本ガス協会	1				
HySUT	6				
NEDO	3				
石油エネルギー技術センター	5				
合計 出席者				47	

水素充填プログラム開発全体報告会 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者	
				(団体・会社・大学名等)	(人)
1	平成23年12月1日 15:00～17:45 JPEC	プログラム開発の課題検討	①開発項目、優先順位、期限 ②既存プログラム改造方法	NEDO	1
				佐賀大学	2
				九州大学	2
				九州産業大学	1
				JPEC	6
				合計 出席者	12
2	平成24年3月22日 15:00～18:00 佐賀大学	プログラム開発の進捗確認と 技術課題検討	①技術課題の抽出と対策検討 直充填プログラム HYSYS動的解析 温度計測誤差	NEDO	2
				佐賀大学	2
				九州大学	1
				九州産業大学	1
				JX	2
				JPEC	3
				合計 出席者	11
3	平成24年8月10日 15:00～18:15 佐賀大学	プログラム開発の進捗確認と 技術課題検討	①技術課題の抽出と対策検討 プレカール解析プログラム 差圧充填解析プログラム 温度計測誤差 HYSYS動的解析	NEDO	1
				佐賀大学	2
				明石工専	1
				九州産業大学	1
				東京ガス	1
				JPEC	3
				合計 出席者	9

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

研究目標に対して総じて達成したものと判断できる。本事業の最終目標はFCV、水素ステーションの普及であるが現在これらが実証段階の国は米国、独国そして日本である。世界的に見ても日本は先駆者であり、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、また新たな周辺産業として例えば、定期メンテナンス、点検検査等の業務が立ち上げることも考えられる。

1. 1 研究開発項目Ⅰ「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」では市場立上げ時期に必要な70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして低コスト化（設備コスト2億円以下／システム<300Nm³/h>）、高耐久性（メンテナンス回数1回／年以下）を満足する技術を確立することが研究目標であるが、2億円以下を見通せる技術を確立、5kg/3分充填、充填プロトコル、通信充填の連携を確認し達成見込みで、70MPa級ステーション機器システム技術の水素ステーション事業への適用可能性の見通しを得ており、目標に対して十分な成果を達成した。「車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発」では水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、中間目標に十分な成果を達成していたが、2015年の実用化に間に合うのか再評価し、研究目標の達成は困難と評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

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「要素技術開発」

要素技術については、いずれもシステム技術に適用できる技術であることから、システム技術開発で設定した達成目標を満たす内容となっている。水素製造機器要素技術での水蒸気改質方式に関して、小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証をほぼ達成しており十分な成果を得ている。また、メンブレンタイプの研究開発に関しても研究目標に対して十分な成果を得ている。水素貯蔵材料（同材料容器を含む）・水素貯蔵/輸送容器要素技術に関しては中間目標に対して一部未達成な部分があり、2015年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきているとの評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。また、水素ステーション機器要素技術では、水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、コスト低減に向けて検討をし、システム技術へ適用できる

よう実施しており、研究目標に対して十分な成果を得ている。

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「次世代技術開発・フイージビリティスタディ等」

水素エネルギーの導入・普及に対し、新規の概念に基づく革新的な次世代技術（たとえば、化石燃料以外からの水素製造等）の探索及び同技術の有効性確認・検証を行うと共に、水素社会実現のための技術開発シナリオの検討、水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ、基準・標準化に資するデータ取得等を行うことが必要である。次世代技術開発について、平成20年、21年を実施し成果を得ており、また技術開発シナリオについては、平成20年度に「水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ」、平成22年度に「水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発」を実施し、他プロジェクトへ内容を反映し成果を上げている。

国際研究協力を含む国内外技術開発動向の調査、革新的な次世代技術の探索・有効性検証を実施するとの研究目標に対し、水素・燃料電池関連国際機関（IEA/ AFCIA、IEA/HIA、IPHE）の研究・政策動向を調査し、情報を産業界に展開しており、目標を達成出来た。この成果により、2015年のFCV商用化にむけたインフラ整備の議論が進む中で、わが国の研究開発促進に貢献出来た。

国内規制見直しでは使用可能鋼材拡充等に資するデータ取得し見直すとともに、国際標準化では水素燃料仕様等の標準化を日本が主導的に進めるとの研究目標に対し、規制見直しに関する一般則例示基準案、各種技術基準案等を作成し、水素燃料仕様、安全規格、性能規格の標準化への進捗を達成した。この成果により、使用可能鋼材拡充において一般則例示基準が改定の見込みが得られ、水素充填コネクタ国際規格の統一によるFCV普及を促進した。

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 事業全体の成果概要

1.4.1 事業全体

研究開発項目の研究目標に対して、下記の表のとおり概ね達成する見込みである。

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

研究開発項目	研究目標	成果	アウトカム	評価
(1) システム技術開発 ・70MPa級ステーション機器システム技術開発 ・車載等水素貯蔵／輸送容器システム技術開発	・低コスト化（設備コスト2億円以下／システム$300\text{Nm}^3/\text{h}$）、高耐久性（メンテナンス回数1回／年以下）	・2億円以下を見通せる技術を確立 ・5kg/3分充填、充填プロトコル、通信充填の連携を確認し達成見込み	・70MPa級ステーション機器システム技術の水素ステーション事業への適用可能性の見通しを得た	△
	・低コスト化（合金コスト=1万円/kg以下に目処）、高性能化（容器体積密度=28g-H ₂ /L以上）	・水素貯蔵材料に関して、2015年の実用化に間に合うのか再評価し、最終目標の達成は困難と評価	・中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した	—

<p>(2) 要素技術開発 ・水素製造機器要素技術に関する研究開発</p>	<p>・改質効率=80%以上、起動時間=3h未 満、設備サイズ= 10m³以下、設備コス ト=30万円/Nm³・h 以下</p>	<p>・水蒸気改質方式で 改質効率84.4%、起 動時間2hを達成、 概念設計により設備 サイズ・コストの見 通し得た</p>	<p>・70MPa級実証ス テーションにおいて 本事業で試作した水 素製造装置の実証運 用が行われている</p>	<p>○</p>
<p>・水素貯蔵材料・水素貯 蔵/輸送機器要素技術に 関する研究開発</p>	<p>・貯蔵材料に関し て、質量貯蔵密度= 6wt%以上、水素放出 温度=150℃以下を 達成する可能性を見 極める</p>	<p>・2015年に普及開始 のインフラ技術確立 を目指す本事業の目 的と乖離が出てきて いる評価</p>	<p>・中間評価後、基礎 研究の段階であると 判断し、「水素貯蔵 材料先端基盤研究事 業」に移管した</p>	<p>—</p>
<p>・水素ステーション機器 要素技術に関する研究開 発(低コスト機器開発、 高耐久化)</p>	<p>・設備コスト 2億 円以下/システム <300Nm³/h>、メンテ ナンス回数 1回/ 年以下に繋がる要素 技術の確立</p>	<p>・個別性能(蓄圧 器、バルブ、制御シ ステム、調節弁)目 標は達成、2億円/ システム達成可能性 を提示</p>	<p>・70MPa級実ステー ション、および実証 ステーションへの個 別機器の導入を計画 中または検討中</p>	<p>○</p>
<p>・水素ステーション機器 要素技術に関する研究開 発(低コスト材料開発)</p>	<p>・例示基準材 (SUS316L、A6061- T6)より高強度、安 価な材料の開発、基 準・標準化に必要な データを取得</p>	<p>・鉄鋼系では低Ni、 省Mo系、高N系、 省Mo系ステンレス を、アルミ系では Al-Cu-Mg系、6000 系合金を開発</p>	<p>・鉄鋼系ではバルブ 等の特認取得に必要 なデータを提供、ア ルミ系では自動車業 界に情報を提供</p>	<p>○</p>
<p>(3) 次世代技術開発 ・フィージビリティスタ ディ等(革新的な次世代 技術の探索、有効性検 証)</p>	<p>・国際研究協力を含 む国内外技術開発動 向の調査、革新的な 次世代技術の探索・ 有効性検証</p>	<p>・水素・燃料電池関 連国際機関(IEA/ AFCIA、IEA/HIA、 IPHE)の研究・政策 動向を調査し、情報 を産業界に展開</p>	<p>・2015年のFCV商用 化にむけたインフラ 整備の議論が進む中 で、わが国の研究開 発促進に貢献</p>	<p>○</p>
<p>・規制見直し、基準・標 準化、技術開発動向調査</p>	<p>・国内規制見直しで は使用可能鋼材拡充 等に資するデータ取 得し見直す ・国際標準化では水 素燃料仕様等の標準 化を日本が主導的に 進める</p>	<p>・規制見直しに関す る一般則例示基準 案、各種技術基準案 等を作成 ・水素燃料仕様、安 全規格、性能規格の 標準化への進捗を達 成</p>	<p>・使用可能鋼材拡充 において、一般則例 示基準が改定の見込 み ・水素充填コネクタ 国際規格の統一によ るFCV普及の促進</p>	<p>◎</p>

1. 4. 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。

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

研究開発項目Ⅰ：「システム技術開発」

研究目標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 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</p> <p>市場立上げ時期に必要なとなる70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして以下を満足する技術を確立する。</p> <p>『中間目標』 「水素安全利用等基盤技術開発」にて開発した要素機器等に必要な改良を加えつつ、水素ステーションシステムとして構成配置し、延べ1年以上(DSS 運転等を含む)の耐久性を検証する。</p> <p>『最終目標』 低コスト化：設備コスト2億円以下／システム [300Nm³/h 規模の場合、土地取得価格を除く] 高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年 [日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]</p>	<p><標準仕様検討></p> <ul style="list-style-type: none"> 「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションは、設備費が2億円以下となることを確認した。 設備費2億円以下となった水素ステーション設備仕様は、標準仕様として図面整備を行った。 <p><運転技術開発></p> <ul style="list-style-type: none"> 70MPa 級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の1年相当の充填回数(270回、945回)の繰返し充填試験を行うことで、構成機器の耐久性を確認し、技術課題を明らかにした。 <p><ディスペンサー機器開発></p> <ul style="list-style-type: none"> ディスペンサーの主要構成機器(流量計、バルブ類)において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。 実ステーションの繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースについては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数(270回)の耐久性を確認した。 ディスペンサーの故障予知技術としてディスペンサー配管に設置したフィルタでの異物捕集・監視技術を検証し、捕集異物と不具合の関係を明らかにした。 <p><プレクール設備開発></p> <ul style="list-style-type: none"> プレクール熱交換器(熱交出口温度-20℃)の小型化と低コスト化を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数(270回)の耐久性を確認した。 水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレクール熱交解析プログラムを開発した。 	○
<p>(2) 車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発</p> <p>水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、以下を満足する技術を確立する。</p> <p>『中間目標』 低コスト化：水素貯蔵合金のコスト</p>	<ul style="list-style-type: none"> 中間目標値(28g/L)を上回る体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの設計・製作を実施した。 中間目標である2.7質量%を超える水素吸蔵量(3.2質量%)を有するTi-V-Mn系BCC合金を合成した。 低コスト化を目的として、V系合金の量産性のトライをした。その結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標値の¥10,000以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルコストとして、安価な原料の 	△ 中間評価 後移管

<p>を ¥10,000/kg 以下にする目処をつける。 高性能化：容器体積密度（外容積） =28 (g-H₂/L) 以上 ハイブリッド容器システムの場合</p> <p>『最終目標』 低コスト化：20 万円以下／容器システム 高性能化 ハイブリッド容器システムの場合は、 圧力=35MPa 質量貯蔵密度（システム）=3wt% 水素量/容積/容器質量 =5kg/100L/165kg</p>	<p>使用について検討が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2015 年の実用化に間に合うのか再評価し、最終目標の達成は困難と評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。 	
---	---	--

研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」

中間目標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 水素製造機器要素技術</p> <p>水蒸気改質方式に関して、</p> <p>『中間目標』 小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証を行う。</p> <p>『最終目標』 改質効率=80%以上、 起動時間=3 時間未満 設備サイズ=10m³ 以下、 設備コスト=30 万円/Nm³・h</p>	<p><水素分離型リフォーマー></p> <ol style="list-style-type: none"> ①ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。 <ul style="list-style-type: none"> ・装置能力：300Nm³/h ・装置コスト：9000 万円以下 ・設置スペース：5.5m×10m（周辺スペース含む） ・起動時間：1 時間（DSS 運用） ②改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比 1/5 とする見通しを得た。 <ul style="list-style-type: none"> ・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。 ・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価な Ni 系改質触媒にて S/G2.5 以下での適用可能性を見出した。 ・水素製造装置のプロセス検討により改質効率 85% の見込みを得た。 ③吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率 90%の見通しを得た。 <ul style="list-style-type: none"> ・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。 ・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比 1/2 とする見通しを得た。 ④水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率 84.4%を得た。ただし起動時間は 3 時間と目標を超過した。 ⇒継続研究にて 2 時間まで短縮した。 ⑤ステーション運用者の視点から試作機設計図書の検討、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。 	<p>○</p>

さらに、300Nm³/h 商用機試設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。

<改質器・PSA精製>

- ・ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。
1) 装置能力：300Nm³/h, 2) 装置コスト：9000万円以下, 3) 設置スペース：5.5m×10m（周辺スペース含む）, 4) 起動時間：1時間（DSS運用）
- ・改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。
- ・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
- ・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価なNi系改質触媒にてS/G2.5以下での適用可能性を見出した。
- ・水素製造装置のプロセス検討により改質効率85%の見込みを得た。
- ・吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率90%の見通しを得た。
- ・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
- ・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比1/2とする見通しを得た。
- ・水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。
⇒継続研究にて2時間まで短縮した。
- ・ステーション運用者の視点から試作機設計図書の見直し、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。
さらに、300Nm³/h 商用機試設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。

<CO₂膜分離法>

①CO₂選択透過膜の開発

耐熱性の向上については、180°CにおいてCO₂/H₂選択性 ≥ 200 (mol比)、CO₂透過速度 $\geq 1 \times 10^{-4}$ mol/(m² s kPa)の性能を安定して示す膜を開発した。さらに、モジュール化が容易な円筒型メンブレンの開発に成功した。

②CO₂変性触媒の開発

Cu系触媒、貴金属触媒共に高性能化に成功し、目標の性能を達成した。さらに、入り口用触媒（高濃度COで高活性）と出口用触媒（低濃度COで高活性）を開発。リアクター各部で有効に機能する2種

	<p>類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した。</p> <p>③メンブレンリアクターの設計 平板型、円筒型などのリアクターの形状や加工性の検討を行った。また、円筒型メンブレンによるリアクター設計を検討している</p>	
<p>(2) 水素貯蔵材料(同材料容器を含む)・水素貯蔵/輸送容器要素技術</p> <p>『中間目標』 材料系の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込み、最終目標の質量水素密度6wt%以上および水素放出温度150℃以下を達成する新規材料の開発の可能性を見極める。</p> <p>『最終目標』 貯蔵材料(同材料容器や関連部品を含む)に関しては、 質量貯蔵密度=6wt%以上、 水素放出温度=150℃以下、 耐久性=1000回吸放出で初期貯蔵性能の90%保持、 材料コスト=1000円/kg</p>	<p><ホウ素系></p> <ul style="list-style-type: none"> 複合化に関しては、水素貯蔵に有利な反応経路を理論計算により予測し、複合水素化物の貯蔵特性における複合比の効果なども検討し、それらの最適化を進めた。 中間相に関しては、水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明し、水素貯蔵特性における中間相の役割を検討した。 水素放出・再吸蔵反応ともに促進できる添加物を選定し、その促進機構を解明した。また、微細構造を調査することによって、反応速度の支配因子を抽出した。 <p><ラーベス構造></p> <ul style="list-style-type: none"> 2段のプラトーが出現することで水素吸蔵量がそれまでの1.0質量%から1.7質量%に増加した、MgPrNi₄組成のC15_b型のラーベス構造を有した合金を開発した。 313Kで300サイクルの水素吸蔵・放出を繰り返した後も、95%以上の水素吸蔵・放出量を維持することができるMg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄組成の合金を開発した。 C14型のラーベス構造を有したCaLi₂組成合金および第3元素置換を行った合金を正確に作製することができる、ヘリウム雰囲気での浮遊溶解による手法を開発した 	<p>△ 中間評価 後移管</p>
<p>(3) 水素ステーション機器要素技術 水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、下記目標達成に繋がる技術として確立する。</p> <p>『中間目標』 普及に向けた水素ステーションシステム及び機器に関するコストダウン検討を行い、その対策案を検証する。</p> <p>『最終目標』 低コスト化：設備コスト 2億円以下/システム [300Nm³/h規模の場合、土地取得価格を除く] 高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年</p>	<p><ディスペンサー></p> <p>①ディスペンサー開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 他のNEDO事業で開発した新素材のボールバルブ、流量調節弁を組み込み、ディスペンサーを開発した。 機能を集約化した制御基板による基本的な充填制御方法が確立できた。 水素対応の防爆を申請しほぼ取得完了した。 構成機器の信頼性データを調査取得し耐久性を確認した。 <p>②コリオリ流量計開発</p> <ul style="list-style-type: none"> SUH660を使用したフローチューブで器差測定、圧力損失測定等の性能試験をおこない、良好な結果が得られた。 改良したコアプロセッサ用の制御基板を開発し、この基板上で動作する流量計測プログラムの動作検証をおこなった。 水素対応の防爆申請のために評価試験をおこな 	<p>○</p>

<p>[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]</p>	<p>い、必要となるデータを取得した。申請図面、計算書を作成し防爆申請をおこなった。</p> <p>③プレクール装置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・社内ヘリウムガス設備に設置した基礎評価装置で性能試験から課題を抽出した。 ・試験結果、検討課題から水素ステーションにおけるプレクール装置の最適化検討をおこなった。 <p><大型複合容器></p> <p>①FW成形技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型複合蓄圧器の製作：TPPを利用したDRY法を用い、200LのCFRP蓄圧器において破裂圧力345MPaを達成した。 ・大型複合蓄圧器の製造および評価技術の開発：大型FW装置を設計開発し、6m、1600kgまでの大型蓄圧器の作製及び評価（破裂試験、サイクル試験、他）が可能となり、300L蓄圧器の試作を行い、長尺化による問題点のないことを確認した。 <p>②内部加熱法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外部加熱装置の併用検討：内部加熱に外部加熱を加えることで、CFRP層を均一に、効率よく加熱することが可能となった。 ・小型容器での効果確認：外部加熱を併用により、これまで以上に高温での加熱が可能となるため、小型容器で樹脂をゲル化させる温度としFWし破裂強度を評価した。結果、容器の破裂強度が向上することを確認した。 <p>③炭素繊維（CF）・TPPの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・TPP用樹脂の開発：TPPが収束しにくい樹脂を開発し、蓄圧器の破裂強度を向上させることができた。 <p>④開発蓄圧器の検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・200LのCFRP蓄圧器で水素ステーション実証に提供しうる蓄圧器の設計を完了し、使用認可を取得した。今後、実証テスト用CFRP蓄圧器の製造を行い、実証テストにおいて安全性等の検証を行う。 <p><低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器></p> <p>①ステーション全体のコスト低減策候補の提案と総合的エンジニアリング技術の開発（JPEC/九州産業大学）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・連名委託先とともにステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を進めた。 ・ダイナミックシミュレーションにより充填時間を検討し、圧縮機併用を含めた差圧充填での最適機器構成を検討した。 ・平成23年度より、水素ステーション充填解析 	
-----------------------------	---	--

	<p>プログラム開発に着手した。</p> <p>②鋼製蓄圧器開発（日本製鋼所）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高容量化による蓄圧器設備コスト低減と高耐久化を目的とし、材料、施工法、検査法の技術を開発した。 ・開発技術を適用して蓄圧器を試作、高圧水素中データ等に基づく特認取得を通じ、蓄圧器の高耐久化を実現した。 <p>③水素用高圧バルブ開発（キッツ）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バルブ単価の低減と圧力損失の低減を目的とし、高圧水素用ボールバルブの開発に取り組み、高圧水素下でのラボ試験等に基づき、ボールバルブのシートおよびパッキンのシール技術を開発した。 ・高圧水素下での開閉作動耐久試験により、開発バルブの耐久性を確認した。 <p>④低コスト・高強度材料開発（JRCM）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・JIS SUS316L 材と耐水素性が同等で、強度が 30～50%向上する材料を開発した。 ・量産化を目指し溶製規模のスケールアップを実施した。 ・バルブ、調節弁メーカー等への開発材料を提供し、加工性評価で良好な結果を得た。 <p>⑤コントロールシステム開発（アズビル）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステーション制御集中化による制御機器費用低減、標準化によるソフト設計費低減を目的とし、制御システムのコンセプトを構築、ソフトウェア仕様を確定させ、制御機器費用の低減を確認した。 ・制御システムソフトウェア、ハードウェアを試作し、数値モデルを用いた制御検証を行った。 <p>⑥流量調節弁開発（アズビル）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シール部の長寿命化および、JRCMと連携した調節弁本体小型化によるコスト低減を検討した。 <p>（H24）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・温度サイクル下における摩擦磨耗試験等を通じ、高圧水素中における表面処理技術、パッキン材の選定を完了した。 <p><都市型コンパクト水素ステーション></p> <p>①試設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステーションの試設計を実施し、キャノピー上機器設置化や地下化することで配置計画、コンパクト化（敷地面積 517m² 及び 390m²）を実現できることを確認した。 ・地上式（631m²）、高架式（517m²）、および地下式（517m²、390m²）のレイアウト完成した。 <p>②安全要素技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・反射圧低減壁の開発において、数値解析により反射波のピーク圧力を低減することが可能な壁（反射波低減壁）の開発を行い、検証実験によりその性能を確認した。 ・反射圧低減壁、水素燃焼制御システム、水素の不 	
--	--	--

	<p>活性化の各技術を確立した。</p> <p>③安全性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素燃焼制御システムの開発にて、燃焼伝播の防止に必要な条件を確認した。また、水素の不活性化に関する研究では、着火に至らせない「安全濃度」を決定した。 ・安全要素技術適用検討および安全性の検証、リスク評価を実施した。 <p>④経済性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建築および各システム導入コスト比較した。 <p>⑤検知システム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既存検知器の仕様を調査した。 <p><直接充填方式水素ステーション用圧縮機></p> <p>①直接充填用大容量高圧水素圧縮機の仕様</p> <p>運転吸込圧力 40MPa/設計吸込圧力 45MPa 運転吐出圧力 87.5MPa/設計吐出圧力 96MPa 流量 1200Nm³/h シリンダ 2本 運転中にベントを大気放出しない</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中である。圧縮機ユニットの小型化のために別途開発した超高圧用熱交換器をアフタークーラーとして採用 <p>②インバーター制御可能な仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中であり、検証方法を検討中。</p> <p>③高頻度起動停止運転に対し耐久性の見直し 摺動部の劣化評価が必要なため運転により検証する。</p> <p>④圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。この成果を利用して千住・海老名ステーションなどの HySUT 実証事業と連携した対応を進めた。</p> <p>⑤試作機の運転評価による試設計 運転結果を反映して実施する。</p> <p><金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発></p> <p>①高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発：新規開発低 Ni, 省 Mo 系高強度鋼 STH2 の固溶化熱処理材について、高圧水素中での強度、疲労、疲労亀裂伝播などの諸特性を評価し SUS316L と変わらない特性を示すことを確認した。SUS316L ほか γ 系ステンレス鋼の評価結果から、水素脆化が合金元素の偏析部に生じやすいこと、及びその機構を明らかにした。</p> <p>②高圧水素配管・容器材料の研究開発：高窒素高強度 SUS を開発し、固溶化熱処理材が N 量の増加と</p>	
--	---	--

	<p>共に強度が増加することを確認し、高圧水素中下の SSRT 試験(室温、85MPa)、疲労試験においても良好な特性を確認した。</p> <p>低合金鋼において高 Mo-V 添加による組織改良鋼を開発し、高圧水素下 SSRT 試験(室温、45MPa)、疲労試験において既存鋼と比較して水素の影響が大幅に改善されたことを確認した。</p> <p>③高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発： Mo を含有しないオーステナイト系 SUS を開発し、冷間引抜加工材が高い 0.2%耐力、引張強さを示すことを確認し、高圧水素下の SSRT 試験(-40℃、70MPa)において良好な相対絞り示すことを確認した。</p> <p>SUS316L 固溶化熱処理材は水素チャージしても室温でのクリープ特性に明瞭な影響が見られないことを確認した。</p> <p>④低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究： 簡易試験法を用いて-200～120℃の温度範囲における 316 系 SUS を中心とする材料の特性を測定し、水素の影響が少ない良好な材料特性を示すことを確認した。</p> <p>以上の開発を加速するため、高圧水素中小型疲労試験装置を共通して持つことにより、簡易かつ迅速に新規材料の高圧水素中の疲労特性の測定を可能とし、開発の加速を図った。</p> <p>また、有明、霞ヶ関、千住、セントレア各水素ステーションにおける長期使用設備の解体調査に協力し、材料特性にも問題はないものの、製作・施工時に注意、改善点があることを示した。</p> <p>加えて、これら成果を国際標準化、規制見直しの作業に資するため、関係団体等に対して情報を提供し、議論・検討に参画した。</p> <p><水素用アルミニウム材料の評価・開発></p> <p>① Mg 量 5%で鋭敏化処理を行わない限り Al-Mg 系合金は水素脆化を示さないことを確認した。添加元素の影響は、組合せや熱処理条件によっても変化することを見出した。開発目標(水素脆化感受性指数：0.2 未満、耐力値：400MPa)を満たす合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出した。</p> <p>② 試作合金の耐力は、380MPa 以上で、切削性は標準の 6061 押出棒より優れていること、耐水素脆性、その他水素用材料として満たすべき基準を満たしていることを確認した。</p> <p>③ 6069 規格組成内の中で、Cu 下限・Si 過剰組成とした試作材で開発目標を達成した。6066 規格組成の中で、主要組成 Mg、Si、Cu、Mn の添加量を規格下限域とした試作材で目標達成の可能性が高いことを示した。</p> <p>④ 6061、7075 合金において、外部環境が水蒸気の</p>	
--	---	--

	<p>場合と水素の場合の侵入サイトが同じ(第二相粒子)であることを明らかにした。</p> <p>⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。</p>	
--	---	--

研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フイージビリティスタディ等」

研究目標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 革新的な次世代技術の探索・有効性検証</p> <p>革新的な次世代技術の探索・有効性検証</p> <p>現有ガソリン供給インフラと同等の設備コストで対応可能となる(水素供給インフラを構成する)材料、機器、システムの設計指針または概念設計を確立する</p>	<p><可視光応答性半導体 水分解></p> <ul style="list-style-type: none"> WO₃光触媒の量子収率をセシウム表面処理で既報の48倍に向上できた。太陽エネルギー変換効率(0.3%)は陸上植物並で、人工光合成実現可能レベルに達した。 BiVO₄光電極の光電流を炭酸塩電解液を利用することで従来の電解液より6倍向上できた。高速自動半導体探索システムを活用し、新規半導体の特許を5件出願した。 光触媒-電解ハイブリッドシステムの小型実証試験を行った。太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより将来低コスト水素製造が可能、という結論を得た。 <p><非貴金属化合物を用いた水電解></p> <ul style="list-style-type: none"> 評価法の確立し、比活性がIrO₂を上回るZr及びTa系材料の触媒の作製に成功した。 Zr及びTa系化合物は表面が酸化物であると酸素発生反応の活性が向上した。 Zr系化合物を電極触媒として電解試験を行い、水電解効率は60%であった。 <p><高効率水素液化磁気冷凍></p> <ul style="list-style-type: none"> AMRサイクルに適合した希土類ガーネットと金属間化合物磁性材料の開発を進め、粒状化の実用材料製造技術を確立した。 2つの駆動機構をもつAMR磁気冷凍サイクル試験装置を設計・作製し、AMRサイクルを実証した。 水素液化サイクルの効率改善と高感度水素液量の計測技術を開発した。 <p><水素ガスパイプライン></p> <ul style="list-style-type: none"> 水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力・温度件では鋼中に拡散侵入する水素濃度は低く、準静的・動的条件ともに水素脆化は顕著ではない。 水素ガスパイプラインの実大強度試験を実施し、き裂は長距離伝播することはないことを実証した。 開発した高速き裂伝播数値計算モデルを用いて、天然ガスと同程度の靱性を有していれば、水素ガスパイプラインでき裂の伝播を防止できることを確認した。 <p><超高压水素合成法></p> <ul style="list-style-type: none"> Mg-(V, Zr)-(Li, Na)-H系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出する新規水素化物を見出すとともに、水素放出温度と結晶構造との 	<p>△</p> <p>中間評価 後移管</p>

	<p>相関を示し得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> 7種のLi-M-H系新規水素化物（M：遷移金属元素）を見出し、Li-Y系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出することを確認した。 Al系共晶合金、アラネート、AlH₃を原料として試みたが、適用条件下では新規水素化物相は得られなかった。 <p><ゼオライト鑄型炭素></p> <ul style="list-style-type: none"> スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に同定できた。 炭素担体に担持するPtの粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することを見出した。また、安価な遷移金属（Ni）による貯蔵にも成功した。 スピルオーバー水素貯蔵サイト候補である、含窒素官能基の大量ドーブ法の開発に成功した。 <p><MgおよびTi系相分離型></p> <ul style="list-style-type: none"> 水素吸収・放出に伴う合金の「相分離」によって、MgH₂が熱力学的に著しく不安定化することが実証された（合金構成元素間の結合力に依存）。 Ti基を有する非固溶系b.c.c.合金の合成に成功し、室温で3.5 mass %以上の水素吸収・放出反応が実証された。 Al水素化合物の物理合成装置の設計・開発を行った。AlH_{2.5}組成を得ており、物理的合成の可能性が実証された。 	
<p>（2）水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィジビリティスタディ等</p> <p>水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィジビリティスタディ等</p> <p>国際標準に関して、取得したデータを基に、水素燃料仕様等の国際標準化において日本が主導的にIS化を進め、期限内に完了する。国内規制見直しに関しては、水素エネルギー導入・普及に向け、使用可能鋼材の拡充、耐圧安全係数検討等に資するデータを取得し、産業界主導で見直しを完了する（平成24年度までの目標）。</p>	<p><IEA/HIA/AFCIAの動向></p> <ul style="list-style-type: none"> IEA/HIAの各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成24年度は関係者との連携の下でAnnex 28(大規模水素インフラ) 会合を日本でホストし（平成24年10月、東京）、情報収集とその内容の発信を行った。 IEA/HIAの執行委員会に参加し（専門委員：エンジニアリング協会）、各作業部会の半期毎の活動報告、年次報告書概要等の報告（事務局）、各国の水素関連研究開発動向（各国代表）などの情報を入手した。 IEA/AFCIAの各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成24年度は関係者との連携の下でAnnex 25(定置用FC) 会合を日本でホストし（平成24年10月、福岡）、情報収集を行った。 平成24年度より、IEA/AFICAの執行委員会（平成24年春季、カナダ、トロント）に参加、各国の燃料電池関連研究開発動向（各国代表）などの情報を入手した。 <p><IPHEの動向></p> <ul style="list-style-type: none"> IPHEの各委員会に出席し、最新動向、活動内容を入手、わが国からの情報を発信した。またIPHEの 	○

	<p>議論を分析、わが国の政策や技術開発への影響を分析した。対応が必要な議論や動きに関しては、国内関係者と連携し、その対応を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ IPHE 対応の一環として、平成 23 年 3 月に定置用 FC 国際ワークショップを運営・開催した。 ・ IPHE が隔年で実施してきた IPHE アワード（IPHE によって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2 年毎に実施）に関して、経済産業省および関係機関と連携し、日本からの推薦の支援と IPHE 会議での紹介を行なった（優秀リーダーシップ賞に福岡水素エネルギー戦略会議、技術功績賞に秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長）。この推薦 2 件は、IPHE アワードの受賞を得ることができた。 ・ JHFC プロジェクト（平成 14～22 年度に実施された FCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成 21 年度より NEDO 事業）と連携し、IPHE が企画した IPHE スチューデントコンペティション（IPHE が企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHE メンバー国が自主的に優秀校を推薦）にわが国から秋田工業高校を推薦し、IPHE スチューデントコンペティション授賞式およびスチューデントプログラム（各国学生との国際交流）に派遣することができた。 <p><IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ IPHE、AFCIA における情報をもとに、政策情報を取りまとめ、関係者に提供した（内容は、米国、ドイツ、欧州連合に加え、カナダ、ノルウェー、アイスランド、韓国、中国、オーストラリア）。 ・ 欧州連合およびドイツが実施したマッキンゼー「パワートレインのポートフォリオレポート」を翻訳して関係者に配布した。 ・ 我が国の水素ステーション規制見直しのために水素規制見直しリーダー会議にオブザーバーとして参画、IPHE などのネットワークを用いて DOE、Air Products、Shell、CaFCP、Linde、TUV 等にヒヤリングを実施、米国・ドイツの水素ステーション規制を日本との対比でとりまとめ、関係者に提供した。 <p><情報の展開・普及及び共有化活動></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 平成 22 年度（平成 23 年 2 月）は IEA/HIA に関して、また平成 23 年度（平成 24 年 2 月）は IEA/HIA と IEA/AFCIA の両方に関して、年度末に活動報告会を開催している。活動報告会では、各作業部会を担当する専門家が部会の活動を報告し、質疑応答を行っている。活動報告会参加者は、産学官における水素関連の研究開発・実証試験な 	
--	---	--

	<p>どに携わる研究者・技術者（約 40 数名が参加）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 23 年度 10 月より、FC/水素政策関係者、NEDO、NEDO プロの委託先等を中心に国際情報ネットワークを構築、登録者は現在約 100 名。発信している内容は、作業部会や国際会議の報告、海外政策情報、マンスリーニュースなど。これにより従来は IEA/HIA や IEA/AFCIA の活動報告は年間 1 回（毎年 2 月の活動報告会）のみであったが、タイムリーに国際情報を関係者に提供できるようになった。 ・ IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHE など得られた情報、また各国の動きがある場合に、その情報（レポート翻訳、概要解説、会議参加報告書）を前述の国際情報共有ネットワークを活用して発信（平成 23 年度はほぼ隔月～3 ヶ月に 1 回程度、平成 24 年度月上旬は隔月で発信）。平成 24 年 7 月からはマンスリーレポートも配信。 ・ IEA/HIA、IEA/AFCIA 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、他の企業や研究機関にも関わりがある場合、また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のサポートチームを構築した。 ・ 経済産業省燃料電池分科会（平成 23 年 6 月 3 日）に海外情報を提供した。また FCCJ や関係機関・組織と連携し、2015 年～2030 年に向けての FCV 普及予測を行い、あわせて提供した。その後も業界（FCCJ など）の意見を参考に、FCV 普及予測を修正・アップデートした。FCV 普及予測は、大手自動車 3 社の意見を元に、4 つのパラメータ（車両の魅力、燃料経済性、強力な政策支援、車両価格低減）で分析を行った。その結果、普及台数は、2025 年における FCV の普及予測は、36 万台から 240 万台の間となった。 <p><再生可能エネルギー由来水素の技術動向></p> <ul style="list-style-type: none"> ・再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、世界の政策動向と最新の技術動向をとりまとめ、「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」（120 ページ）として報告した。 <p><水素エネルギーシステム便益></p> <ul style="list-style-type: none"> ・FCV の導入普及初期の 5 年間（H20 年度）、及び COCN の新導入シナリオ（H21 年度）をベースとし、環境便益の外部便益（外部費用の削減）、および経済的波及効果を評価し、導入普及施策に対する示唆を得た。 ・複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した。 	
--	--	--

	<p><水素キャリアに応じた></p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 27 年（2015 年）を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、各水素キャリア（高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド）を用いた、オフサイト型水素製造から水素ステーションにおける燃料電池自動車への充填までの一連のフローにおける、経済的成立性や実現性及び普及に向けた今後の技術開発課題について抽出・検討を行なった。また、課題の解決策についての提言も行った。 <p><燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直し></p> <ul style="list-style-type: none"> ・FCV の事故後の乗員救助等、安全作業のための漏洩水素の送風拡散効果の検証、高圧水素容器内の残圧確認手法の開発し、警防マニュアル等の策定に資するデータを取得。 ・FCV 車両運搬船での火災リスク課題を調査。安全上、問題ないことを確認。 ・HFCV-gtr に新規提案された車室内水素濃度計測方法の妥当性を調査し、試験方法等の問題点を指摘。 ・HFCV-gtr の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災データを提供し、世界に先駆けて当該試験に使用できるバーナーを開発し、国内での試験実施体制を構築。 ・HFCV-gtr に日本から液圧での使用環境負荷試験を提案するにあたり、必要な根拠データを提供し、試験法の検証を実施し、国際基準に反映。 ・急速充填試験による充填プロトコル等の検証を行い、安全性を確認し、その結果が国内基準に採用。 ・FCV 燃料仕様の国際規格の H2 4 年度内発行段階に目処。 <p><水素インフラ等に係る基準整備></p> <p>A. 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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・絞りが 75%以上の SUS316 及び SUS316L については、Ni 当量が 28.5%以上の場合には 70MPa において -40～85℃、Ni 当量が 26.3%以上の場合には 90MPa において 20～85℃で一般則例示基準に追加可能である。 <p>B. 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圧力、安全を確保するための設計確認試験及び組試験の方法等について検討を行い、JIGA-T-S/12/04 をベースとした最高充てん圧力 45MPa の圧縮水素運送自動車用容器の例示基準案作成のための助言を行った。 	
--	--	--

	<p>C. 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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 特定設備として申請するためのガイドラインを ASME Sec. X Appendix 8 をベースとすることを提案した。CFRP 製複合容器の設計基準の基礎となる CFRP のストレスラプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図った。JPEC で行われた小型複合容器及び中型複合容器を設計製作、試験条件及び試験結果の評価に対して助言を行った。 <p>D. 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国内に置いて実績があり設計係数の最も小さな KHKS0220 超高圧ガス設備に関する基準の水素適用について検討した。水素の影響に応じて、従来通り大気中のデータを利用して KHKS0220 で設計する場合と、水素中のデータを使用して KHKS0220 で設計する場合とに分けることを提案した。 <p><水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「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」に基づく 12 項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成した。 	
--	---	--

1. 4. 3 研究開発成果の意義

(1) 成果の市場性

水素ステーションに係わるシステム、要素機器、水素製造装置の成果は、2015年のFCV・水素インフラの普及開始期の市場の創造に繋がる。一方、車載等水素貯蔵・輸送容器、水素貯蔵材料等の成果は、水素の高圧水素貯蔵だけでは限界があり、複合化（高圧＋貯蔵材料）によるコンパクト化等が可能となり、2020年以降の市場の創造に繋がることが期待されている。

水素ステーションシステム、要素機器及び水素製造装置等の技術開発成果、並びに、規制見直し案の策定により、水素インフラ普及期に水素ステーションを2億円／システムで設置することが可能となった。

(2) 成果の水準

開発成果は、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る。また、安全性を担保した規制見直し案を策定したことにより、欧米製の水素ステーション機器に対してコスト的に競合可能な水準になった。

(3) 成果の汎用性

水素製造装置等の技術開発成果は、他用途向けの水素製造に適用可能である。また、超高压 70MPa の水素貯蔵・輸送・充填等に係る成果は、天然ガス等、他の高圧ガスにも適用可能である。

(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、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、CO₂削減の面からも優位である。ただし現時点では経済性が課題である。

(5) 成果の普及

(a) 国際基準調和への寄与

1. HFCV-gtr (Hydrogen and Fuel Cell Vehicles global technical regulation)

- ・圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化を行った
- ・国際基準(HFCV-gtr)で審議されている衝突試験後の車室内水素濃度計測手法の妥当性を検証した(世界で初めて取得された成果。HFCV-gtrの審議の場で活用)
- ・車載容器の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災試験データを提供、世界初のバーナー製作、試験実施体制の構築した

2. ISO (International Organization for Standardization)

- ・水素燃料仕様 ISO14687-2 の FDIS 投票→発行に目処がたった(議長：日本)
- ・FCVも含む電動車両安全規格 ISO6469-1, -2, -3 の発行(リーダー：日本)

3. SAE (Society of Automotive Engineers)

- ・SAE J2719 (FCV用水素の品質に関するガイドライン)をISOに整合した。

(b) 国内基準化への寄与

1. 高圧ガス保安法

- ・車載用高圧水素容器／容器附属品の国内基準(KHK S 0128)に係る使用環境負荷試験の検証、HFCV gtr との国際基準調和に向けた液圧シリーズ試験の妥当性検証を実施

2. 消防関係

- ・警防活動時における安全管理マニュアル等に資するデータ取得した

1. 5 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以下の表のとおりである。平成20年度に成果を上げ、その成果を平成21年度に反映したものであり特許、論文の件数が増加しており研究内容を踏まえ適切に発信した。また、外部発表について平成20年度は61件、平成21年度は143件、平成22年度は46件、平成23年度は42件、平成24年度は21件の件数であり一般に向けて広く研究内容及び研究成果を情報発信した。

具体的な特許、論文、外部発表の内容については添付リストを参照のこと。

特許、論文、外部発表等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部 発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20 年度	9	0	2	10	6	61
H21 年度	25	0	1	25	13	143
H22 年度	11	0	1	13	15	54
H23 年度	9	0	3	15	17	56
H24 年度	4	0	0	8	16	36
合計	58	0	7	71	67	350

平成24年10月31日現在

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 研究開発項目 I 「システム技術開発」

- I-1 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
(実施者：(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、
日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学)

- I-2 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発
(実施者：日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所)

(I-1) 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／技術開発

委託先: (一財)石油エネルギー技術センター(JPEC)、東邦瓦斯(株)、トキコテクノ(株)、日立オートモティブシステムズ(株)(日立AMS)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

●成果サマリ(H20年度～H24年度10月)

- ・低コスト型水素ステーションの基本仕様を検討し、建設費2億円以下/システムの実現可能性の見込みを得た。
- ・実車での3分間充填が可能な70MPa級水素ステーションを建設し、模擬タンクを用いた充填試験を行い、メンテナンス回数1回以下/年の見通しを得た。

●事業目標

水素エネルギー普及のため、2015年頃を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、低コスト(建設費2億円以下)かつ耐久性に優れた(メンテナンス1回/年)水素ステーションを実現する。

実施項目	最終目標(H24年度)
①低コスト型水素ステーション検討	標準設計資料の作成 建設費2億円以下の可能性確認
②運転技術開発	システム耐久性確認(1年以上) 運転課題抽出
③ディスペンサ及び関連機器開発	機器耐久性確認(1年以上) 充填制御技術確立 故障予知技術確立
④プレクール設備開発	設備の低コスト化 設備耐久性確認(1年以上) 水素充填での温度解析プログラム開発

●実施体制および分担等

PL/NEDO	実行額
JPEC 項目①②	年度 百万円
東邦瓦斯 項目②	H20 161
トキコテクノ 項目②③	H21 470
日立AMS 項目②③	H22 213
横浜ゴム 項目②③	H23 265
大陽日酸 項目②④	H24 321
佐賀大学 項目④	

●研究成果

- ①低コスト型水素ステーション検討
 - ・低コスト型水素ステーションの基本仕様として、「圧縮機併用差圧充填方式」を前提に、「機器・設備のパッケージ化」を組合せる設備仕様を提案し、標準仕様として、機器リスト、図面類を整備を行っている。
 - ・規制見直し、大量生産効果を考慮した場合、建設費2億円以下の可能性がある見込みを得た。
- ②運転技術開発
 - ・70MPa級水素ステーションを建設し、普及初期を想定した年間充填回数に相当する945回の充填試験を行い、開発機器の技術課題を明らかにすることにより、耐久性向上を実現した。
- ③ディスペンサ及び関連機器開発
 - ・ディスペンサで使用する流量計、バルブ類に関しては、普及初期に対応した耐久性を有していることを確認した。
 - ・繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースについては、NEDO「水素先端科学基礎研究」事業との連携により、耐低温の改良を行い、普及前に想定される270回の充填回数に対する耐久性を確認し、更に耐久試験を継続している。
 - ・給油型圧縮機を使用した本水素ステーションでも、ディスペンサーに影響を及ぼす異物、ミスト等の発生がないことを確認した。
- ④プレクール設備開発
 - ・プレクール設備熱交換器(水素ガス温度-20℃)の小型化と低コスト化を実現した。
 - ・水素ステーション設計や運転解析に活用できる温度解析プログラムとして、充填タンク解析プログラム、プレクール熱交解析プログラムを開発した。

●実用化・事業化の見通し

以下により、水素ステーションの全国的な整備が加速される。

- ・水素ステーションの構成機器の耐久性確認を行い、技術開発成果が実用化可能であることが確認できた。
- ・技術課題の改善を行い、ステーションの信頼性が向上した。
- ・更なる耐久性向上に向け、本水素ステーションによる継続研究が計画されている。
- ・今後の水素ステーション整備において、開発品の採用が計画されている。

●研究成果まとめ

項目	成果	自己評価
①	低コスト型水素ステーション仕様検討	○
②	運転技術開発	◎
③	ディスペンサ及び関連機器開発	○
④	プレクール設備開発	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	3	22	0

注)「水素インフラの技術基準に関する検討」は別に成果概要を纏める。

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

実施者：(一財)石油エネルギー技術センター、東邦瓦斯(株)、トキコテクノ(株)

日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

1. 事業概要

平成 27 年(2015 年)頃を想定した水素供給インフラ市場立上げに向け、低コストかつ耐久性に優れた水素ステーションを実現する必要がある。本事業では、それに向けたシステム技術開発に取り組む。本事業の研究テーマと担当は表 1-1、本事業と関係する事業を含めた実施体制図を図 1-1 に示す。

表 1-1 研究テーマと担当

実施項目	研究テーマ	担当
①標準仕様検討	ステーション建設費低減 ステーション標準設備仕様検討	JPEC
②運転技術開発	ステーションシステム耐久性検討 運転技術課題抽出	東邦瓦斯 トキコテクノ 大陽日酸 JPEC
③ディスペンサー機器開発	ディスペンサー耐久性検証、コスト低減 充填制御技術開発	トキコテクノ
	故障予知技術開発、配管材料探索	日立 AMS
	充填ホース耐久性検証	横浜ゴム
④プレクール設備開発	プレクール設備コスト低減、耐久性検証	大陽日酸
	水素充填シミュレーション開発	佐賀大学

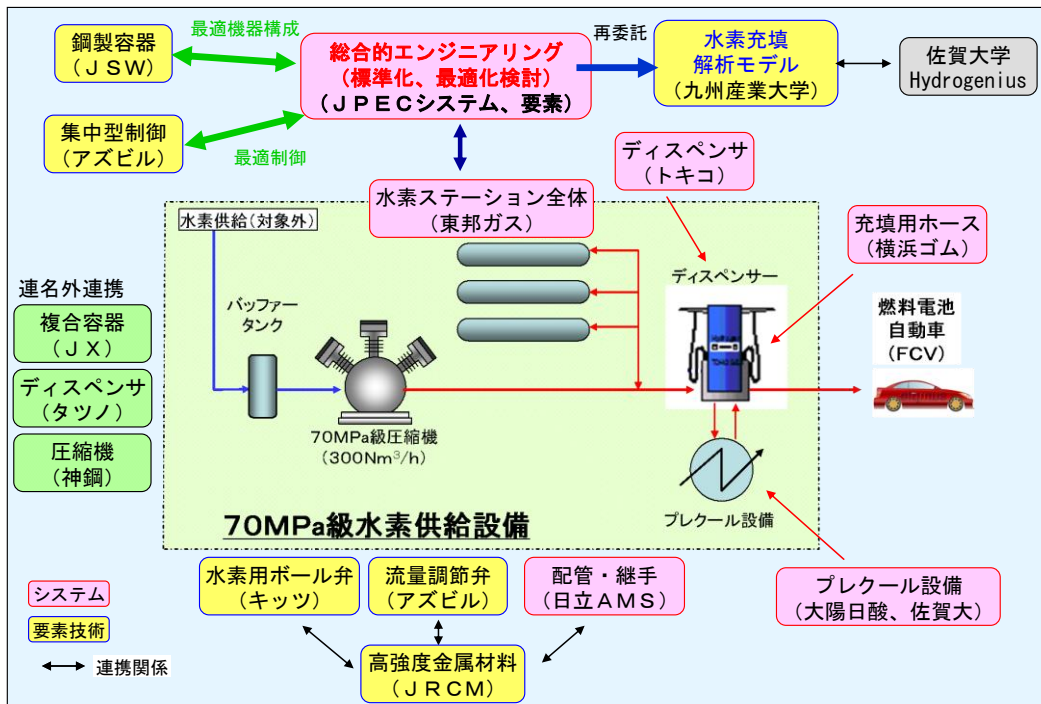


図 1-1 実施体制図 (他事業との連携関係も併せて記載)

2. 事業目標

本事業の目標は、水素エネルギー普及のため、2015年頃を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、「低コスト」かつ「耐久性に優れた」水素ステーションを実現することである。コストと耐久性に関する具体的な目標値は以下の通りである。

また、目標達成に向けて4つの実施項目（標準仕様検討、運転技術開発、ディスペンサー機器開発、プレクール設備開発）を設定し、実施項目毎に目標を定めた。

- ①低コスト : コスト2億円以下/システム（水素供給能力300Nm³/h規模、土地取得価格除く）
- ②高耐久性 : 年間メンテナンス回数1回以下（日常的な簡易検査やメンテナンスを除く）

水素ステーションを構成する大型機器（金属材料、蓄圧器、バルブ類、運転制御）については、「水素ステーション機器要素技術に関する研究開発」等にて研究開発が行われており、本事業（システム技術開発）では、実際の水素ステーション建設・運転や車両充填性能に関わる4つの実施項目（標準仕様検討、運転技術開発、ディスペンサー機器開発、プレクール設備開発）を設定し、実施項目毎に目標を定めた。

2.1 標準仕様検討

事業目標の1つである「水素ステーションコスト2億円以下/システム」の実現可能性を検証する。本事業ならびに他事業にて得られた水素ステーション機器類の耐久性検証結果、コスト低減検討結果を総合し、低コスト型水素ステーションの標準仕様を確立し、標準設計資料として整備する。

2.2 運転技術開発

70MPa級水素ステーションを建設し、繰り返し充填試験ならびに日常点検、定期点検等を通じて、水素ステーション構成設備、システム全体の年間メンテナンス回数1回以下の実現可能性を検証する。水素ステーションでの各種試験、点検を通じて明らかになった技術課題は、開発担当にフィードバックし、技術開発を加速させる。

2.3 ディスペンサー機器開発

(1) ディスペンサー耐久性検証、コスト低減

ディスペンサー装着状態での構成機器の耐久性検証・評価として、プレクール設備を含めた運転条件において、各構成機器の性能が1年間維持でき、ディスペンサーとして1年間ノーメンテナンスに相当する耐久性を確保する技術を確立する。

(2) ディスペンサー等故障予知技術開発

ディスペンサー等の故障予知を行うための定量的な評価技術を確立する。バルブ故障の予兆を把握する技術の確立に向け、バルブ故障現象と水素中不純物の関係を明示する。

(3) 充填ホース耐久性検証、コスト低減

普及期に必要となる耐久性（目標：充填回数30000回）を確保する充填ホース仕様を確立する。

2.4 プレクール設備開発

(1) プレクール設備耐久性検証、コスト低減

プレクール設備を設計製作し、水素ステーションにおける各種試験、点検を通じて、1年間ノーメ

メンテナンスならびにコスト低減の実現可能性を検証する。上記試験、点検を通じて明らかになった技術課題は、プレクール設備仕様に反映する。

(2) 水素充填シミュレーション開発

水素ステーション設計や運転解析に活用できる汎用的なシミュレーションプログラムを開発する。

3. 事業成果

3.1 標準仕様検討

本実施項目の成果は以下の通りである。

- ・「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションにおいて、コストが2億円以下の見通しを得た。
- ・コスト2億円以下となった水素ステーション設備を標準仕様として確立し、設計資料をまとめた。

本成果の詳細を以下に示す。

(1) 水素ステーション関連ワーキンググループにおけるコスト低減検討

水素ステーションのコスト低減のため、水素ステーション関連ワーキンググループ(WG)を開催し、コスト区分毎に検討を実施した。検討の前提を表3-1に示す。

表 3-1 水素ステーション関連 WG のコスト低減における検討前提

項目	前提	備考
0.全般	<ul style="list-style-type: none"> ・70MPa 差圧充填を基本とする。ブースター型(2 段圧縮)も検討する。 ・5 台/時間を満足する仕様とするが、充填時間は制約としない。最大流量、充填時間については、ステーション全体で推算し、充填時間短縮の技術課題を整理する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・87.5MPa 充填は課題検討を行う。 ・仕様検討で最大流量が必要な場合は、個別設備の条件として仮置きする
1.圧縮機	<ul style="list-style-type: none"> ・100MPa 級、300Nm³/h、1 基とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・別途ブースター型も検討する。
2.蓄圧器	<ul style="list-style-type: none"> ・70MPa 差圧充填を基本とし、必要容量、必要バンク数は WG(最適化検討)にて提示する。 	
3.ディスペンサー	<ul style="list-style-type: none"> ・1 基/ステーションとする。 最大流量 3kg/min として、その可否を検討する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ディスペンサーが複数のケースも検討する。
4.プレクール設備	<ul style="list-style-type: none"> ・熱交出口で水素ガス温度 -20℃とする。 最大流量 3kg/min で仕様(伝面等)を検討する。 	
5.配管、バルブ類	<ul style="list-style-type: none"> ・配管サイズ 9/16B とする。 ・機械特性は SUS316 冷間加工と同等とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・設置箇所、個数は P&ID に記載する。
6.計装・制御	<ul style="list-style-type: none"> ・制御方式は WG(最適化検討)にて提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ディスペンサー制御との取合は個別に検討する。 ・設置箇所、基数は P&ID に記載する。
7.土木、機器設置等工事	<ul style="list-style-type: none"> ・プロット図をベースに検討する。 ・オフサイト型を考慮する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・用役、保安設備を含む。
8.設計費等	<ul style="list-style-type: none"> ・新規の 70MPa 級水素ステーションの単独設置を想定する。 ・ガソリンスタンド等との併設はなしとする。 	
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・土地の取得価格は考慮しない ・水素ガスは最大量での保有が可能とする。 ・高圧ガス保安法(一般則第 7 条の 3 第 2 項)の法規制、基準を満足する。 ・最適化検討により P&ID の見直しが発生する可能性はある。 ・制御システムの検討では、オンサイト型についても検討を行う。 ・車両通信は含まず、課題の整理を行う。 	

検討の結果、水素ステーションコストは、平成 21 年度時点での推定コスト 5.98 億円から 2.55 億円まで低減可能であることを確認した(表 3-2)。

表 3-2 水素ステーション関連 WG 検討結果 (単位：百万円)

コスト区分	検討担当	H21 年 WG 時点での 現状コスト	H21 年 WG での コスト低減見込み
1. 圧縮機	JPEC	92	75
2. 蓄圧器	JSW、JX	90	
3. ディスペンサー	タツノ、横浜ゴム	40	15
4. プレクール設備	大陽日酸	40	24
5. 配管・バルブ類	キッツ、アズビル、日立 AMS	21	7
6. 計装・制御関連	アズビル	35	30
7. 土木・機器設置等工事	JPEC	180	76
8. 設計費等	JPEC	100	28
合計		598	255

(2) 更なるコスト低減検討

差圧充填方式の水素ステーションのコスト低減検討として、水素ステーション関連 WG にて主要構成機器のスキッド化(蓄圧器、圧縮機、用役設備をそれぞれ一つの土台(スキッド)に載せ、製作工場 で組み立てることによって現地組立工事量を削減する方法)や充填方式の最適化検討(2 段直充填方式(図 3-2)の採用)を実施してきた。しかし、コスト 2 億円達成見込みを得ることが困難であると判断し、以下のコスト低減施策を立案した。

① 「圧縮機併用差圧充填方式」の採用による蓄圧器機器費の低減

蓄圧器機器費を低減するために、蓄圧器総容量を小さくすることができる「圧縮機併用差圧充填方式(図 3-3)」を採用した。要素技術開発事業において最適機器構成を検討した結果、蓄圧器 300L×2 バンクの方式が最適であるとの結論を得たため、本設備仕様にて、水素ステーション設備仕様を作成した。

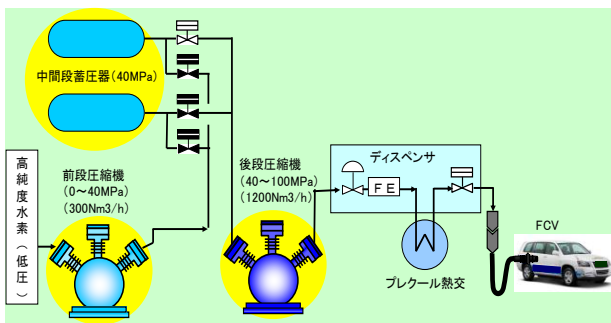


図 3-2 2 段直充填方式の概略フロー

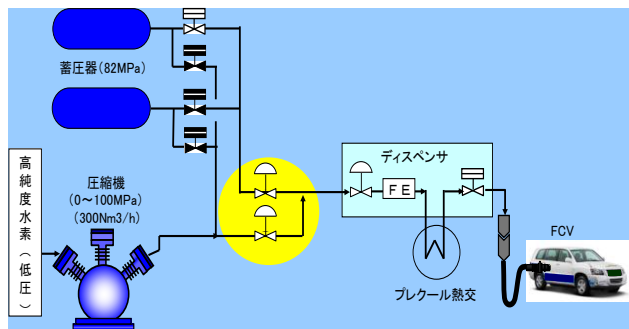


図 3-3 圧縮機併用差圧充填方式の概略フロー

② 「機器パッケージ化」の採用による現地工事費の低減

現地工事費を低減するという観点から、主要機器のスキッド化を更に発展させ、圧縮機および蓄圧器、プレクール設備、ディスペンサー等をコンテナ内に収納し、関連配管、付帯設備等を製造工場 で事前に組み立てる方式(「機器パッケージ化」)を採用した。

機器のパッケージ化による主な工事費低減項目は以下の通りである。

- ・ プレハブ率の更なる向上（スキッド化検討時対比）

蓄圧器、ディスペンサー、プレクール設備熱交換器を一つのコンテナに収納することにより、付帯設備も含めた現地据付工事量の更なる低減が可能となる。

- ・ 障壁工事の省略

コンテナ側壁を補強することで、コンテナ側壁を障壁代わりにすることができ、障壁設置工事の現地工事費低減が可能となる。

これらコスト低減施策を反映した水素ステーション設備に対して詳細積算を行った結果、2億円の見通しを得た（表3-3）。

表3-3 水素ステーション建設費内訳（単位：百万円）

コスト区分	H21年WG時点での 現状コスト（再掲）	H21年WGでの コスト低減見込み（再掲）	H24年度検討結果
1. 圧縮機	92	75	65 ※1
2. 蓄圧器	90		50 ※2
3. ディスペンサー	40		
4. プレクール設備	40		
5. 配管・バルブ類	21	7	3
6. 計装・制御関連	35	30	24
7. 土木・機器設置等工事	180	76	47
8. 設計費等	100	28	11
合計	598	255	200

※1 圧縮機パッケージの金額

※2 蓄圧器・ディスペンサーパッケージの金額

蓄圧器（300Lx2バンク複合容器、6百万円）、プレクール設備（-20℃対応 24百万円）

コスト2億円となった水素ステーション設備については、標準仕様として設計資料をまとめた。

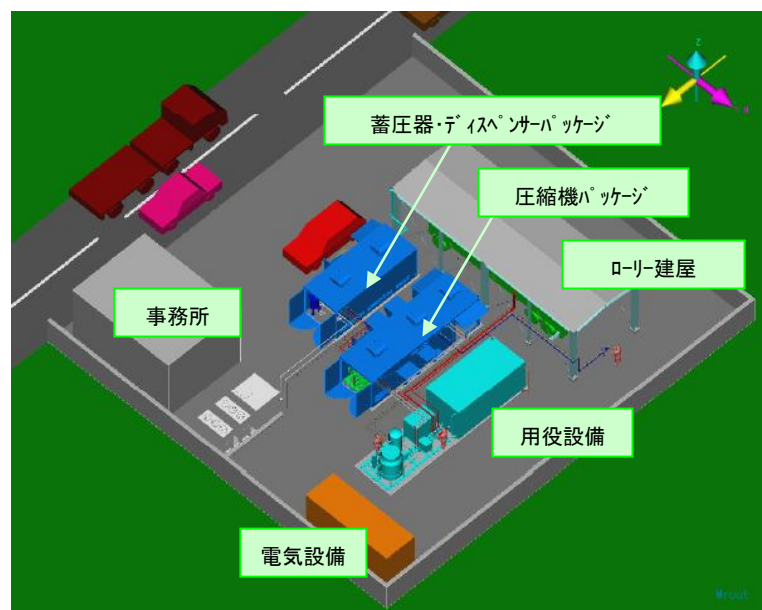


図3-4 パッケージ化を導入した水素ステーションレイアウト図

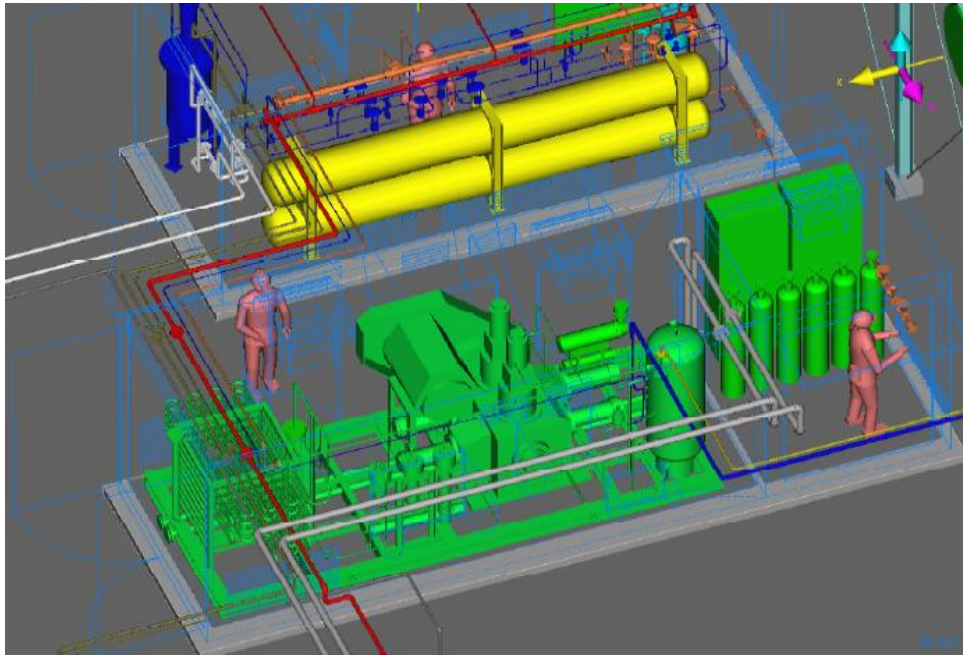


図 3-5 圧縮機パッケージのイメージ図

3.2 運転技術開発

本実施項目の成果は以下の通りである。

70MPa 級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の 1 年相当の充填回数（270 回、945 回）の繰返し充填試験を達成した。
この試験で構成機器の耐久性が確認でき、併せて今後の技術課題を明らかにした。

本成果の詳細を以下に示す。

(1) 70MPa 級水素ステーションシステムの構築

構成機器・配管類の点検部位、点検方法、周期を立案したうえで、平成 21 年 4 月より 70MPa 級水素ステーションの設計に着手し、平成 22 年 2 月に完成させた（東邦瓦斯技術研究所内に設置）（図 3-6）。

平成 22 年 3 月から、「水素ステーションシステムの耐久性評価」「蓄圧器およびプレクール設備の最適設計」「圧縮機による直接充填」「充填制御方法の最適化」等を目的とした各種試験ならびに点検を開始した。本水素ステーションにおける充填試験の結果、平均充填流量は約 1.7kg/min（最大瞬間流量：約 3.0kg/min）、プレクール熱交出口水素ガス温度は約 -30°C を示し、国内最大級の充填能力を有していることが確認できた（図 3-7）。

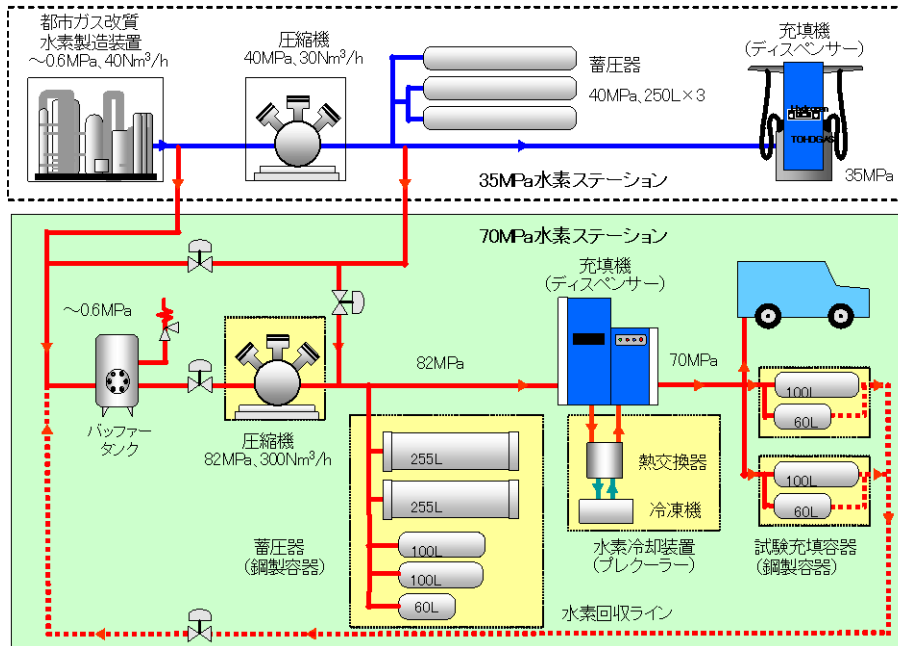


図 3-6 東邦瓦斯技術研究所水素ステーションの概略フロー図

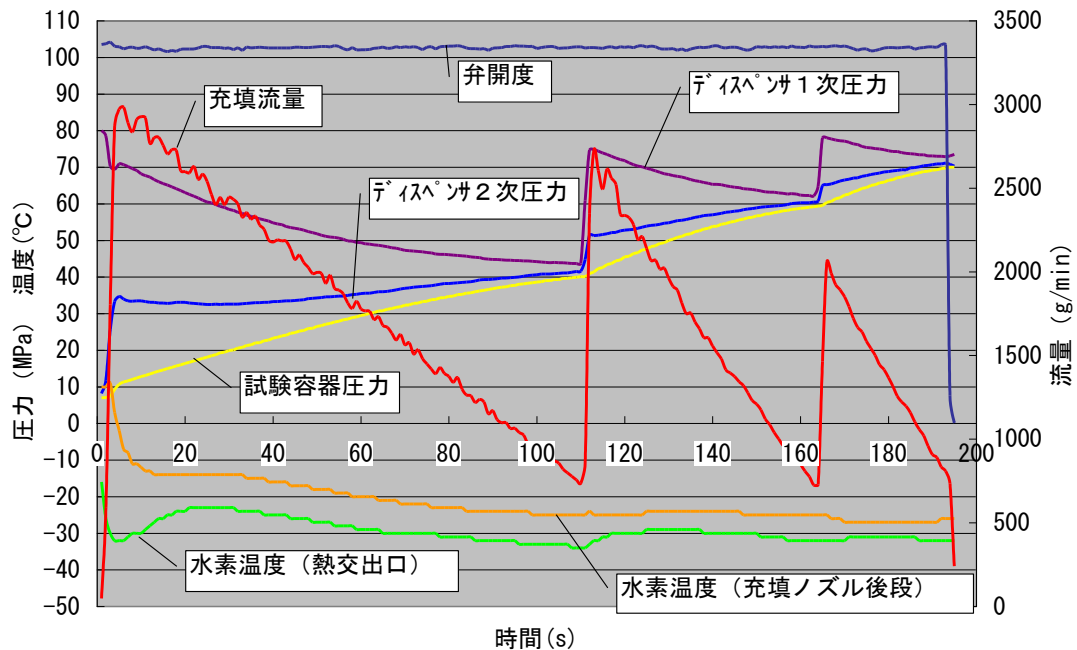


図 3-7 充填能力確認試験結果

(2) 耐久性向上に関する検討

水素ステーションシステム1年間ノーメンテナンスの実現可能性を検証するために、試験項目の詳細を立案した。耐久性の検証は、試験充填容器（鋼製容器）と燃料電池車両（複合容器）への繰り返し充填によって行った。試験充填容器への繰り返し充填試験は、普及期前の1年分に相当する充填回数（270回）と普及初期の1年分に相当する充填回数（945回）を行い、運転時点検ならびに定期点検によってシステムの健全性を確認した。

耐久性検証の結果、圧縮機、ディスペンサー（緊急離脱カップリング、充填ホースを除く）、蓄圧器、プレクール設備、配管バルブ類において1年間ノーメンテナンスを達成した。

緊急離脱カップリング（Oリング）、充填ホース（ホース樹脂材料）については、低温時の耐性不足という技術課題が明らかとなった。本技術課題は、当該機器の開発担当（緊急離脱カップリング：トキコテクノ、充填ホース：横浜ゴム）にフィードバックし、機器開発を加速した。改良された緊急離脱カップリングならびに充填ホースは、再度、水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験を行うことで、普及期前における1年間ノーメンテナンスが実現可能であることが確認できた。

3.3 ディスペンサー機器開発

本実施項目の成果は以下の通りである。

- ・ ディスペンサーの主要構成機器（流量計、バルブ類）において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。
- ・ 水素ステーションの繰り返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カップリング、充填ホースについては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数に対する耐久性を確認した。
- ・ ディスペンサーにフィルタを設置することで、捕捉異物の分析による異物発生（不具合）箇所の推定と、フィルタの定期調査による故障の予測が可能である見込みを得た。

本成果の詳細を以下に示す。

(1) ディスペンサー構成機器の耐久性評価

水素ステーションでの繰り返し充填試験を通じて、緊急離脱カップリング以外のディスペンサー構成機器（バルブ類、充填カップリング、流量計等）について1年間のノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。

低温状態でのOリング部の耐性不足という課題が明らかとなった緊急離脱カップリングについては、「NEDO 水素先端科学基礎研究事業」にてOリングの開発を実施している九州大学の材料研究チームと連携し、低温で耐ブリスタ特性を有するOリングを開発した。開発したOリングを組み込んだ緊急離脱カップリングについては、低温（-30°C）高圧水素環境下での健全性（水素シール性）を低温加減圧試験によって確認した。

改良した緊急離脱カップリングは、改めて水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験を実施した（図3-8）。試験の結果、改良した緊急離脱カップリングは、1年間のノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。

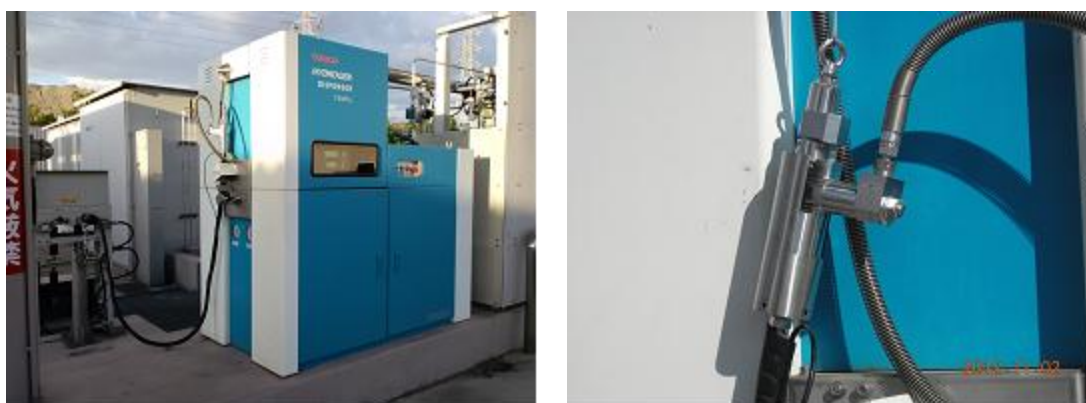


図3-8 ディスペンサー全景（左）および改良した緊急離脱カップリング拡大図（右）

(2) ディスペンサー等故障予知技術開発

フィルタ捕獲物に関して形態観察や元素・組成解析をすることで、異物、樹脂成分等の識別が可能であることを確認した。そこで実際に充填試験を実施しているディスペンサーに異物捕集用フィルタ（図 3-9）を設置し、異物のサンプリング分析を行うことで、バルブ故障事象と水素中不純物の関係有無について調査を実施した。これまでに3回のフィルタ分析（図 3-10）を行い、フッ素系樹脂やオーステナイト系ステンレスを確認した。この他入口部フィルタで、平成 22 年（6 ヶ月）には設置時に混入したと思われる珪酸類が見られた。平成 23 年（1.5 年）には鉄腐食生成物やガラスファイバーが異物として捕捉され、圧縮機潤滑油オーバーフローによる圧縮機ロッドパッキン、ピストンリングの破片と推測された。平成 24 年（2.5 年）は、点検時に混入したと思われる化学繊維が見られた。

バルブ故障と水素中不純物の関係有無についての調査を加速させるため、バルブ故障時の現象把握試験装置（図 3-11）を製作し、バルブ動作試験を実施した。初期（0～5 万回）では比較的大きな水素中不純物が捕獲され、20 万回以降では回数に応じた小さな異物が捕獲（図 3-12）された。これらのことから、定期点検時のフィルタを分析し、そのデータを蓄積することで、不純物による故障予測が可能となる見通しを得た。

物理的、機械的評価機器による故障診断の可能性検討として、アコースティックエミッション装置によるバルブ微小漏れ検知の下限を測定し、920cc/min を得た。

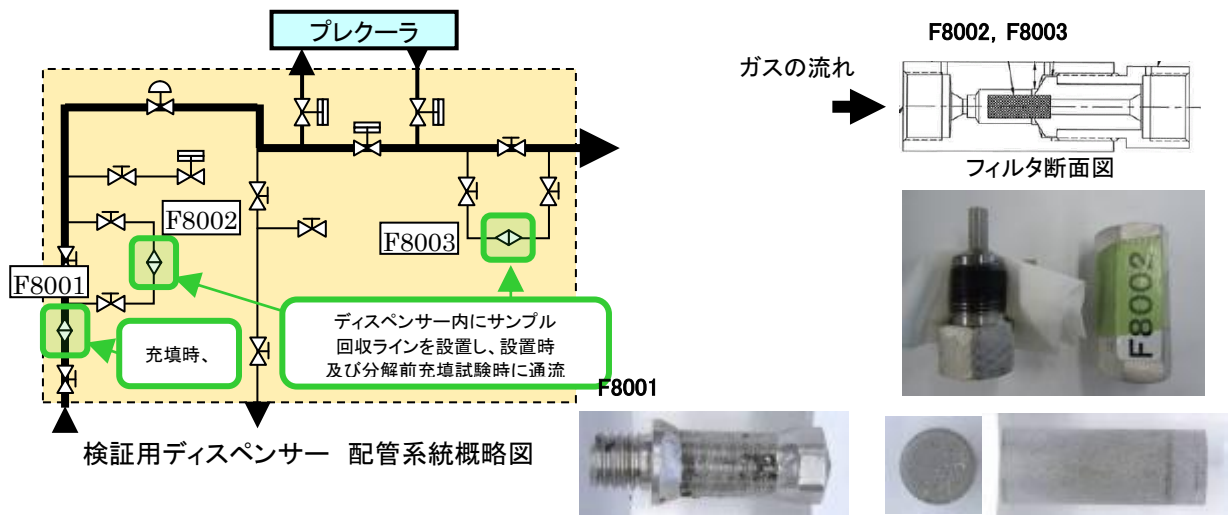


図 3-9 異物捕集用フィルタと設置構成

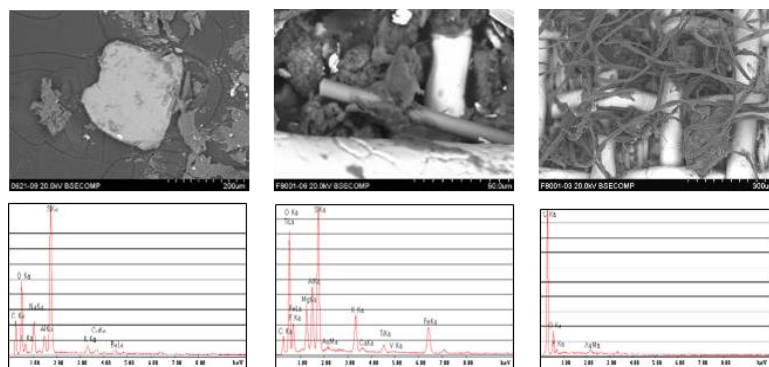


図 3-10 フィルタ異物分析例（F8001）

（H20 年回収：珪酸類、平成 21 年：ガラス繊維、平成 22 年：化学繊維）

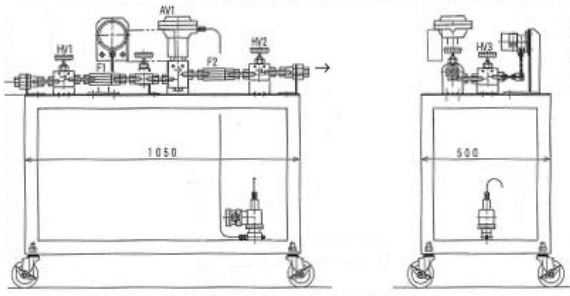


図 3-11 バルブ故障時の現象把握試験装置

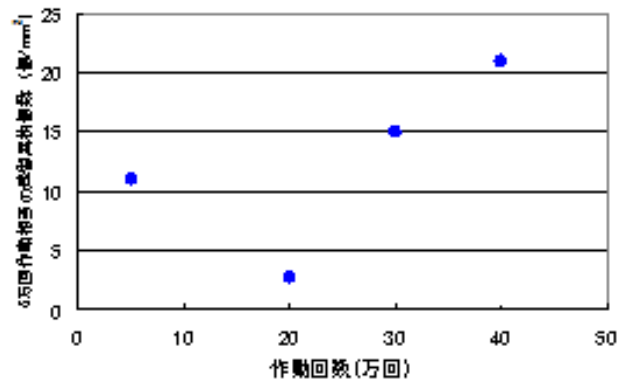


図 3-12 試験装置による捕捉異物量の推移

(3) 充填ホース耐久性検討

水素ステーションにおいて繰り返し充填試験を実施した結果、充填ホースの耐久性に関して以下 2 つの対策が必要であることを確認した。

- ①配管内混入物による充填ホース内面傷（耐久性低下の起点）発生の抑制
- ②充填ホース内面への水素透過によるブリスタ（耐久性低下の起点）発生の低減

①については、充填ホース内面保護のために、ホース最内層へフッ素樹脂を積層した改良型充填ホースを開発した。改良型充填ホースについては、水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験による耐久性評価を実施した（図 3-13）。繰り返し充填試験は普及期前の 1 年間の想定充填回数（270 回）まで実施し、健全性を確認した。

②については、耐水素ガス透過性に優れた材料の選定および積層構造等について検討を行った。本検討は、「NEDO 水素に対して耐性に優れた適用材料の研究開発事業（実施者：日本合成化学工業株式会社）」との連携して行った。



図 3-13 改良充填ホース外観写真

3.4 プレクール設備開発

本実施項目の成果は以下の通りである。

- ・プレクール設備（熱交換器出口温度 -20°C ）の小型化と低コスト化を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性が確認できた。
- ・水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレクール熱交解析プログラムを開発した。

本成果の詳細を以下に示す。

(1) 初期改良型プレクール設備の開発および耐久性検証

NEDO 事業におけるプレクール設備の技術的課題（運転上の課題対応、製作期間短縮のための使用部品点数の削減、冷却効率向上等）およびプレクール設備設計に必要な運転データ取得を考慮し、「初期改良型プレクール設備」を設計・製作した。

初期改良型プレクール設備の熱交換器部分は、大陽日酸試験フィールドにて単体試運転を実施し、設計時の要求仕様を満足していることを確認した。その後、東邦瓦斯水素ステーションに初期改良型プレクール設備を設置し、繰り返し充填試験による耐久性検証を行った。充填試験の結果、普及期前の1年間の想定充填回数(270回)において耐久性を確認した。さらに、初期改良型プレクール設備出口の水素ガス温度が「年間を通じて -20°C 以下」を維持可能であることを国内で初めて実証した。

(2) 次期プレクール設備の開発および耐久性検証

初期改良型プレクール設備における繰り返し充填試験データおよび東邦瓦斯が水素ステーションオーナーとして提示する要望（経済性、使い勝手、メンテナンス性等）を考慮したうえで、「冷却性能は維持したままで、コスト低減ならびに小型化、1年間ノーメンテナンス」を満足する「次期プレクール設備（図3-14）」を設計・製作した。

コスト低減については、初期改良型プレクール設備熱交換器と比較して3.6百万円の低減を実現した。また、小型化については、初期改良型プレクール設備熱交換器と比較して占有面積を1/4まで縮小した。なお、次期プレクール設備熱交換器の1年間ノーメンテナンスを実現するための技術として、溶接配管の螺旋加工技術も次期プレクール設備熱交換器の設計・製作に併せて開発した。これによりプレクール設備における熱交換器高圧配管に継手を全く使用しない構造が実現し、プレクール設備熱交換器の更なる信頼性の向上を実現させた。

次期プレクール設備を水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験による耐久性検証を継続中である。これまでにプレクール設備の冷却性能の観点から1年間のうち最も過酷な条件となる夏季（8月）に、次期プレクール設備熱交換器出口の水素ガス温度が「 -20°C 以下」を維持することを確認した。

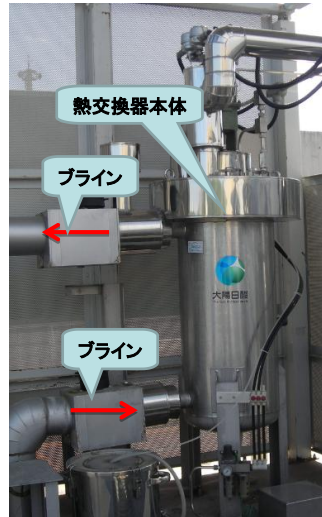


図 3-14 次期プレクール設備熱交換器外観図

(3) 水素充填シミュレーション技術開発

①水素充填タンク温度解析プログラム

NEDO 事業「水素社会構築共通基盤整備事業-圧縮水素容器系の高圧化要素技術の開発」において開発した「水素を高圧容器に急速充填した時の容器内の水素ガス温度を解析するシミュレーションプログラム」は、充填容器への水素供給条件または放出条件（初期水素ガス圧力、温度等や充填容器の形状）を与えると、充填容器内の水素ガスの温度上昇を解析することができるものであった。

本事業では、当該プログラムを改造し、充填水素ガスを規定の温度（85℃）以下で充填するための条件（充填流量、充填水素ガス温度等）を推定できるシミュレーションプログラム（以下、水素充填タンク温度解析プログラムと記す）を開発した。

この結果、既存プログラムと改良プログラムの両者を活用することにより、蓄圧器形状ならびに水素ガス初期圧力、温度が既知の場合に、充填容器内の充填水素ガスを規定の温度（85℃）以下に充填するために必要なプレクール設備の冷却性能が導出できるようになった。

②プレクール設備解析プログラム

前項①で説明した水素充填タンク温度解析プログラムによって、プレクール設備に必要な冷却性能を導出できるようになった。そこで必要な冷却性能を得るためのプレクール設備の詳細仕様を導出し、設備設計に反映するためのシミュレーションプログラム（以下、プレクール設備解析プログラムと記す）を開発した。

プレクール設備解析プログラムは、プレクール設備仕様（熱交配管形状、冷媒温度等）およびプレクール設備入口の水素ガス供給条件（圧力、温度、流量の時間変化）を与えた際に、プレクール設備出口での水素ガスの圧力、温度、流量を解析するものである。

本プログラムの解析精度検証は、東邦瓦斯に設置されているプレクール設備の充填試験結果との照合によって行った。解析精度検証の結果、本プログラム解析結果は、実際のプレクール設備の充填試験結果と精度良く一致していることを確認した（図 3-15）。

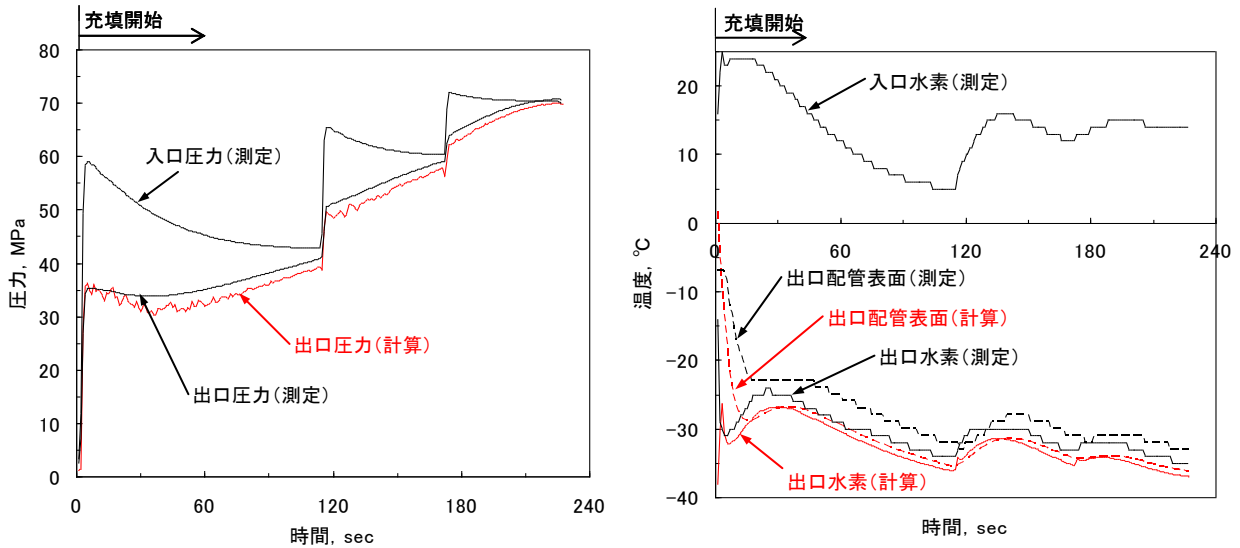


図 3-15 プレクール設備解析プログラムと実際のプレクール設備充填試験データとの照合結果
 (左図：水素ガス圧力変化 右図：水素ガス温度変化)

「水素充填タンク温度解析プログラム」ならび「プレクール設備解析プログラム」の解析結果は、大陽日酸が開発した「次期プレクール設備 (3.4 項参照)」の最適設計に反映されている。さらに、要素技術開発事業にて実施している「水素ステーション充填解析プログラム開発」へも当該プログラムが応用されている。

3.5 その他の事業成果

本事業の実施内容、成果について、実施計画書との対比を表 3-4 に示す。

表 3-4 実施計画書と成果の比較一覧

実施計画書記載内容 (表中番号は、実施計画書の章番号)	実施内容
1.普及開始時の水素ステーションシステムの基本仕様の導出【JPEC】	<p>①検討前提仕様の設定 FCV 普及初期、本格普及期など、時期毎の区分、FCV 普及台数、ステーション面積、設置場所(立地条件)、水素供給量(圧縮機容量、蓄圧器容量等)等、水素ステーション規模に関する要因を整理した。</p> <p>②普及開始時の基本仕様の導出 300L×3バンク差圧充填型水素ステーションのプロセスフローを策定した。</p>
2.システム技術課題の整理検討	
2-1 イニシャルコスト低減に関する検討【JPEC】	<p>①コスト低減検討基準値の設定 平成 20 年度時点の既設水素ステーションの機器構成に関する資料を収集し、その結果をもとにコスト積算を行い、300L×3バンク差圧充填型水素ステーションコストは 5.98 億円であるという結果を得た。</p>

	<p>②差圧充填型水素ステーション図面整備 コスト低減検討の基礎となる資料として、300L×3バンク、450L×2バンク差圧充填型水素ステーションのPFD図、機器リスト、P&ID、PLOT図を整備した。</p>
	<p>③低コスト型水素ステーション概略仕様検討 差圧充填型水素ステーションの蓄圧器機器費の低減を目的とし、「直充填2段型水素ステーション」のプロセスフローを策定し、コスト低減効果を検証した。</p>
	<p>④水素ステーションの動的解析 「300L×3バンク差圧充填型」「直充填2段型」水素ステーションにおける水素充填状態を動的解析モデルによって検証した。</p>
<p>2-2 ランニングコスト低減に関する検討【東邦瓦斯】</p>	<p>①水素ステーションの設計段階において、70MPa級水素ステーションの運用上、日常点検の対象となる要素機器を整理した。</p>
	<p>②日常点検や定期点検時の検証・評価項目を整理し、ステーションシステム構築後から日常点検を開始した。</p>
	<p>③システムの運転試験を実施する中で、メンテナンス上の課題および構成要素機器の機能上の課題を抽出し、関連機器メーカー及びプロジェクトメンバーに提示することで、メンテナンスコスト低減に関する技術開発を推進すると共にその成果を評価した。</p>
	<p>④蓄圧器、プレクール設備、圧縮機からの直接充填、充填制御方法についてシステム運転を通じて問題点の把握・整理を行い、プロジェクトメンバーおよび関連機器メーカーによるシステムの効率化につながる検討を推進した。</p>
	<p>⑤圧縮機の消耗品交換の考え方について、試験結果をもとに推定した普及初期の稼働率における消耗品の消耗度合いを、年1回の圧縮機点検において消耗品を取外し検査することで適正さを検証し、各消耗品の交換時期を設定した。</p>
<p>2-3 耐久性向上に関する検討【東邦瓦斯】</p>	<p>①「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(2011年～2015年)に向けた水素ステーションシステムの1年間ノーメンテナンスのための技術開発課題について、耐久性検証の対象、試験項目及び試験方法を整理した。</p>
	<p>②70MPaFCVへの実充填と鋼製容器等への充填試験により、耐久性を評価・検証した。</p>
	<p>③試験充填容器などへの繰り返し充填試験により、普及期前の1年分に相当する充填試験(270回/セット)を1セット、普及初期の1年分に相当する充填試験(945回/セット)を2セット実施した。高圧設備点検及び日常点検等により、システムの健全性をモニターし、普及期前及び普及初期における1年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p>

	④プレクール熱交換器での圧力損失上昇、緊急離脱カップリングの低温状態での O-リング部の耐性不足、充填ホースのゴム材料の耐性不足等、発生した不具合や技術的課題については、プロジェクトメンバーへ情報提供し、技術開発課題を設定し、開発成果について評価した。
3 水素ステーションのシステム構成機器に関する試作・検証・評価	
3-1 圧縮機の単体予備試験【東邦瓦斯、JPEC】	①圧縮機単体での耐久試験の結果、実測の圧力・温度は設計圧力、設計温度以内であり、問題ないことを確認した。また、耐久試験後の開放点検により全ての部品の耐久性を確認した。本結果から、システム試験に活用することとした。 ②移設後の圧縮機について、1年間ノーメンテナンスの対象とすべき点検部位、点検方法、点検サイクル等の点検内容を、石油エネルギー技術センターと共に、圧縮機メーカーからの情報収集等に基づいて明らかにした。
3-2 ディスペンサーに関する試作・検証・評価	
3-2-1 ディスペンサー構成機器の耐久性事前評価【トキコテクノ】	検証用ディスペンサーを試作し、トキコテクノ事業所内 70MPa 級水素ガス用充てん試験設備を用いて高圧水素ガスによる事前評価試験を実施した。
3-2-2 ディスペンサー等故障予知技術の検討【日立 AMS、トキコテクノ】	①ガス中異物のサンプリング方法選定 予備試験よりフィルタで異物が捕捉され、評価法として可能性があることが判った。フィルタは流体特性(圧力損失)やフィルタ交換時の作業性から、カップタイプを選定した。ディスペンサー入口部および出口部にフィルタを設け、比較することにより、ディスペンサー内部からの異物の発生状況も把握できるものとした。 ②異物分析手法の確立 フィルタで捕捉された異物を、(1)光学的観察(顕微鏡)、(2)走査型電子顕微鏡(SEM)観察により形状を把握、(3)エネルギー分散型X線分光法(EDS)により元素を分析した。油分(有機化合物)や樹脂については、(4)赤外線分光分析(FT-IR)により材料組成を同定した。 ③物理的、機械的評価機器による故障診断の可能性検討 アコースティックエミッション装置によるバルブ微小漏れ検知の下限を測定し、920cc/min を得た。
3-2-3 水素充填制御技術の検討	
3-2-3-1 充填制御シーケンスの製作と予備試験【トキコテクノ】	充てん開始前の車両容器圧力と外気温とに対応して、設定した圧力上昇率を選択しディスペンサー側で圧力等を監視しながら充てんを行う制御を開発した。
3-2-4 ディスペンサーのコスト低減検討	
3-2-4-1 ディスペンサー構成機器についての検討【トキコテクノ】	自社開発品、他社開発品について量産効果を見込んだ分析を実施してコスト低減策を抽出、目標である 50%コスト低減の見通しを得た。

<p>3-2-4-2 ディスペンサー構成機器・配管用材料についての検討【日立 AMS、トキコテクノ】</p>	<p>①コスト低減材料の検討 他研究機関による材料への高圧水素ガス暴露の影響評価や、合金開発についての研究動向を調査し、SUS316L 材に対し有利な材料の選定を行った。</p>
	<p>②水素環境脆化に対する影響検証・評価 予備試験として、配管材料の水素暴露試験を行った。さらに実証ディスペンサーに試験体(ダミー配管)を併設し、検証試験を行った。水素暴露後も、水素浸入量や機械特性に変化は見られなかった。</p>
	<p>③加工性の検証・評価 配管曲げ加工による加工誘起マルテンサイトの増加が見られないことを確認した。加工性(旋削、穿孔)において、SUS316L 材と比較して、同等以上の加工性、ドリル寿命を確認した。</p>
<p>3-3 プレクール設備に関する製作・検証・評価</p>	
<p>3-3-1 プレクール設備の開発・事前検証【大陽日酸】</p>	<p>①初期改良型プレクール設備の設計を完了した。</p>
	<p>②初期改良型プレクール設備の製作・単体試運転を実施し、設計時の要求仕様を満足していることを確認した。</p>
	<p>③プレクール設備の健全性評価方法の検討し、高圧配管に継手を使用しない構造にすることを前提に、1 年毎に定期自主検査 (KHKS 0850) を実施することが、適正であると判断した。</p>
	<p>④次期プレクール設備の製作及び試運転を完了した。そして、初期改良型プレクール装置に対し、3.6 百万円のコストダウンを達成した。また、フットプリントの縮小(1/4)によるディスペンサーとの一体化を可能とすると共に、シェル内部の高圧配管に継手を全く使用しない構造とし、水素漏洩リスクのミニマム化を実現した。</p>
	<p>⑤初期改良型プレクール熱交換器の高圧配管材料の安全性確認を目的に水素先端科学基礎研究事業として、その事業の受託先である九州大学に、評価用サンプルとして、高圧配管材料を提供した。</p>
<p>3-4 ディスペンサーホースに関する試作・検証・評価</p>	
<p>3-4-1 充填ホースの単体耐久性評価・検証【横浜ゴム】</p>	<p>①充填ホースの耐久性評価方法の検討 ステーションシステムへのプレクール設備導入に対する充填ホースの耐久性評価のため、低温水素を用いる試験仕様の検討を行い、より実用に近い条件を実現すべく、試験設備の高圧化および低温水素を供給可能とする改造を実施した。</p>
	<p>②充填ホースの低温耐久性評価 低温水素耐久性および低温屈曲耐久性について評価を実施し、加圧および屈曲回数 2,200 回(ステーション耐久性評価での目標値)以上の耐久性</p>

	<p>を有していることを確認した。</p>
	<p>③高圧水素による材料への影響評価 ホース使用材料について、内面層および補強層材料の高圧水素環境での暴露試験を行い、材料物性の変化やブリスタ発生のないことを確認した。</p>
	<p>④ステーション充填試験にて発生したホース内面層き裂に関する調査・検証 ・各種再現試験を実施し、ホース内面に傷が生じた場合のみ加圧の繰返しにより内面層の亀裂が進展し貫通に至ることが判明した。 ・ステーション充填試験時の配管内に微小な金属片や氷結水分の混入が確認されており、「配管内異物による外的な要因」がき裂発生の原因と推測した。</p>
	<p>⑤ホース内面き裂に対する対策(改良型)検討・評価 ・外的要因によるホース内面への傷防止のため、ホース最内面に「傷に強い材料(フッ素樹脂)」を積層する仕様へ改良を行った。 ・改良型ホースについて傷進展の再現試験を実施し、傷に対する積層の抑制効果を確認した。</p>
	<p>⑥ホース仕様最適化(水素透過量の低減)の検討 ・内面層材料および構成に関する基礎検討成果(連携事業※の成果)を活用したホース仕様の検討およびホース試作・性能評価を実施した。 ・ホース単体での水素耐久性評価にて層間の水素溜まりやはく離が確認されたため、層間接着力や材料物性の改善の検討を行い、最適化仕様の確立へつなげる。 ※「水素先端科学基礎研究／水素に対して耐久性に優れた適用材料の研究開発(実施者:日本合成化学工業株式会社)」</p>
<p>3-4-2 充填ホースおよび継手金具の低コスト化検討【横浜ゴム】</p>	<p>①ホースおよび継手金具のコスト構成分析ホースアセンブリの構成部品について材料・加工・組立等のコスト構成比率の分析を実施した。また、他社高圧ホースに関する情報収集を行い、コスト低減目標値の設定を行った。</p> <p>②コスト低減策の検討と効果確認 ・材質、構成、サイズ等の仕様検討により、金具の材質・形状変更およびホースの構成材料・構造変更により、約 20%のコスト低減策を明らかにした。 ・また、コスト低減実現のために必要な技術課題(規制緩和等)を明確にした。</p> <p>③改良型充填ホースのコスト再検証 改良型ホースについて、上記コスト低減策の有効性について確認を行い、同様のコスト低減の見込みを得た。</p>

4 総合的なシステム構築・検証・評価	
4-1 70MPa 級水素ステーションシステムの構築【東邦瓦斯】	<p>①システム仕様検討を基に、70MPa 級水素ステーションシステムの設計・設置を完了した。</p> <p>②蓄圧器の最適設計、プレクール設備の最適設計、圧縮機からの直接充填、充填制御方法の最適化等の項目についてシステム運転を通じて問題点の把握・整理を行い、その結果をもとに、プロジェクトメンバーおよび関連機器メーカーによるシステムの効率化につながる検討を推進した。</p>
4-2 圧縮機に関する検証・評価【東邦瓦斯、JPEC】	<p>①定期点検・日常点検及び運転時において、圧縮機の健全性をモニターし、普及期前及び普及初期における1年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p> <p>②圧縮機の運用中に発生した技術課題については、石油エネルギー技術センター等を通じて開発者へのフィードバック提言を行った。</p>
4-3 ディスペンサーに関する試作・検証・評価	
4-3-1 ディスペンサー装着状態での構成機器の耐久性検証・評価【トキコテクノ】	<p>①低温状態でのOリング部の耐性不足という課題を抽出した緊急離脱カップリングについては、「水素先端科学基礎研究」にてOリングの開発を実施している九州大学の材料研究チームと連携し、低温で耐ブリスタ特性を有する材料を開発し、極低温(-30℃)下でのOリングのシール性確保について目処を立てた。</p> <p>②開発したOリングを組み込んだ緊急離脱カップリングを用いて、実証試験において検証を実施した。</p>
4-3-2 ディスペンサー等故障予知技術の確立【日立 AMS、トキコテクノ】	<p>①フィルタ水素不純物分析による故障予知技術の有効性検証 これまでに3回のフィルタ分析を行い、フッ素系樹脂やオーステナイト系ステンレスを確認した。この他入口部フィルタで、2010年(6ヶ月)には設置時に混入したと思われる珪酸類が見られた。2011年(1.5年)には鉄腐食生成物やガラスファイバーが異物として捕捉され、圧縮機潤滑油オーバーフローによる圧縮機ロッドパッキン、ピストンリングの破片と推測された。2012年(2.5年)は、点検時に混入したと思われる化学繊維が見られた。</p> <p>②バルブの故障事象と水素中不純物との関係を明示 バルブ故障時の現象把握試験装置を用い、バルブ動作試験を実施した。バルブ出入口に設置したフィルタで不純物を捕捉し、定期的に分析・評価した。初期(0~5万回)では比較的大きな水素中不純物が捕獲され、20万回以降では回数に応じた小さな異物が捕獲された。これらのことから、定期点検時のフィルタを分析し、そのデータを蓄積することで、不純物による故障予測が可能となる見通しを得た。</p>
4-3-3 水素充填制御技術の検証・評価	
4-3-3-1 充填制御のフィールド運用試験【トキコテクノ】	<p>充てん開始前の車両容器圧力と外気温とに対応して、設定した圧力上昇率を選択しディスペンサー側で圧力等を監視しながら充てんを行う制御を開発した。</p>

<p>4-3-3-2 最適充填制御に向けた検討【トキコテクノ】</p>	<p>①車両非通信での制御方式について、充填プロトコルに対応する充填制御シーケンスの設計、及びソフトウェアの改良を実施、実証試験における検証を実施した。</p> <p>②車両通信用モジュールをシステムに組み込み、車両通信を用いた充填実証試験を実施した。</p>
<p>4-4 プレクール設備に関する試作・検証・評価</p>	
<p>4-4-1 プレクール設備の開発・耐久性検証【大陽日酸】</p>	<p>①初期改良型プレクール設備を試験フィールドである東邦瓦斯技術研究所に設置し、試運転を完了した。そして、設計時の要求仕様を満足することを実証した。</p> <p>②初期改良型プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを蓄積した。</p> <p>③次期プレクール設備を試験フィールドである東邦瓦斯技術研究所に設置し、試運転を完了した。そして、設計時の要求仕様を満足することを実証した。</p> <p>④次期プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを蓄積を継続中。</p>
<p>4-4-2 次期プレクール設備の仕様検討【大陽日酸、東邦瓦斯】</p>	<p>①次期プレクール設備の仕様検討するために必要な測定項目を決定し、初期改良型プレクール設備の稼働時に、測定可能とした。</p> <p>②初期改良型プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを収集した。そして、年間を通じて、初期改良型プレクール装置出口の水素温度が「常時-20℃以下維持」を満足することを実証（日本初）した。</p> <p>③次期プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを収集を継続中。そして、1年間の中で最も過酷な条件となる夏季(平成24年度8月)に、次期プレクール装置出口の水素温度が「常時-20℃以下維持」を満足することを確認した。</p> <p>④初期改良型プレクール設備を用いた各種データの検討等を実施し、年間を通じた性能目標である「常時-20℃以下維持」を満足させる次期プレクール装置の仕様を検討し、設計を完了した。</p> <p>⑤次期プレクールの仕様検討において、水素ステーション運用者としての要望(経済性・使い勝手・メンテナンス性等)を整理した。</p> <p>⑥次期プレクールを水素ステーションシステムへ設置後、冷却能力等について評価した。</p>
<p>4-4-3 普及型プレクール設備の仕様検討【大陽日酸】</p>	<p>①次期プレクール設備水素充填データの収集を継続中。</p> <p>②普及期のプレクール設備の仕様検討を行い、次期プレクール装置と同一の、シェルアンドチューブ方式が優位であると判断した。また、冷凍機はコストダウンを目的に市販品の採用を前提とするのが良好であると判断した。</p>

<p>4-4-4 水素充填のためのシミュレーションソフト開発【佐賀大学】</p>	<p>①水素充填タンク温度解析プログラム開発 充填水素ガスを規定の温度(85℃)以下で充填するための条件(充填流量、充填水素ガス温度等)を推定できるシミュレーションプログラム(以下、水素充填タンク温度解析プログラムと記す)を開発した。</p> <p>②プレクール設備解析プログラム開発 必要な冷却性能を得るためのプレクール設備の詳細仕様を導出し、設備設計に反映するためのシミュレーションプログラム(以下、プレクール設備解析プログラムと記す)を開発した。 本プログラムの解析精度検証を東邦瓦斯に設置されているプレクール設備の充填試験結果との照合によって行った。解析精度検証の結果、本プログラム解析結果は、実際のプレクール設備の充填試験結果と精度良く一致していることを確認した。</p>
<p>4-5 圧縮機からの直接充填技術に関する研究</p>	
<p>4-5-1 直充填システムの構築【東邦瓦斯】</p>	<p>直接充填用制御内容をシーケンス化して、制御ソフトとして全体制御盤へ直接充填制御機能を組み込み、充填試験を実施した。充填試験は四季を通じて行い、夏場においても水素冷却温度-20℃以下、圧力脈動なし、タンク内温度管理値(85℃)以下で充填可能であることを確認した。制御性等に関する課題に対して改良開発を実施し、その効果を検証した。</p>
<p>4-5-2 直接充填向けディスペンサー充填制御の検証・評価【トキコテクノ】</p>	<p>①圧縮機単独運転の直接充填制御、及び蓄圧器と連動した直接充填制御等の上位システムとの連動運転について検証試験を実施し、課題を抽出した。</p> <p>②抽出した課題について充填制御シーケンスを設計、及びソフトウェアの改良を実施し、実証試験において検証を実施した。</p>
<p>4-5-3 直接充填向けプレクール設備の評価【大陽日酸】</p>	<p>①直充填時のプレクール設備の運用方法を検討し、差圧充填対応のプレクール設備の流用することが良好であると判断した。また、直充填時のプレクール設備管理において必要な計測点も差圧充填対応のプレクール設備と同一であることが良好だであると判断した。</p> <p>②直充填時のプレクール設備の運転上の課題及び技術的な問題点に関する検討を行い、差圧充填対応のプレクール設備と同仕様とすることで、安全に水素冷却が可能であるとの結論に至った。</p> <p>③直充填専用のプレクール設備への要件の整理を行い、差圧充填対応のプレクール設備と同一の仕様とすることが良好であると判断した。</p>
<p>4-6 ディスペンサーホースに関する耐久性評価・検証</p>	

<p>4-6-1 充填ホースのステーションにおける耐久性評価・検証【横浜ゴム】</p>	<p>①充填ホースのステーション耐久性検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ホース単体耐久性評価結果を踏まえ、ステーションでの耐久性評価を実施した。 ・充填回数 165 回でホース内面層き裂によるガス漏れが発生し、ホースの耐性不足が実用上の課題として明らかとなった。 ・発生原因の調査および対策検討を行い、改善策を改良型ホース仕様へ反映した。 <p>②改良型充填ホースのステーション耐久性評価</p> <p>充填回数約 150 回を実施し問題のないことを確認した。10 月末までで 270 回までの耐久性確認を見込んでおり、継続し、耐久性評価を実施する。</p>
<p>4-7 バルブ、弁、配管等に関する検証・評価【東邦瓦斯、JPEC】</p>	<p>①検証・評価対象機器及び日常点検や定期点検時の検証・評価項目を整理した。</p> <p>②東邦瓦斯水素ステーションにおける繰返し充填試験で明らかになった技術課題を、開発者にフィードバックし、耐久性向上開発に反映させた。</p> <p>③日常点検および高圧設備点検によりデータを蓄積し、普及期前及び普及初期の 1 年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p>
<p>4-8 蓄圧器に関する検証・評価【東邦瓦斯、JPEC】</p>	<p>①蓄圧器について、日常点検や定期点検時の検証・評価項目を整理し、システム構築後から日常点検を実施した。日常点検および高圧設備点検によりデータを蓄積し、普及期前及び普及初期の 1 年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p> <p>②要素技術開発事業にて別途開発予定の SA723 材蓄圧器を水素ステーションシステムに組み込み、繰返し充填試験を実施し、日常点検により健全性を確認した。</p> <p>③鋼製蓄圧器の最適材料選定のために、サーベイランス試験スケジュールおよび鋼材における水素の影響を確認する試験内容を社会構築事業と連携して実施した。</p>
<p>5 総合評価・まとめ【JPEC】</p>	<p>①水素ステーション関連 WG によるコスト低減検討</p> <p>技術開発成果ならびに要素技術開発にて検討した機器スキッド化等による機器設置工事費低コスト化検討を行い、水素ステーション全体コストを 2.55 億円まで低減できる見込みを得た。</p> <p>②圧縮機併用差圧充填型水素ステーションの検討</p> <p>水素ステーション関連 WG 検討結果である、水素ステーションコスト(2.55 億円)をさらに低減するために、「圧縮機併用型差圧充填方式」水素ステーション設備仕様を検討した(要素技術開発と連携)。検討に際しては、動的解析技術等を活用した。</p> <p>③機器パッケージ化によるコスト低減検討</p> <p>水素ステーション建設コスト低減のうち、現地工事費の低減を目的として、要素技術開発で検討した「機器スキッド化」を更に発展させた「機器パッケージ化」を立案した。</p>

	<p>④標準設計資料の整備による設計費の低減効果検討 低コスト型水素ステーションの標準設計資料として「圧縮機併用型差圧充填方式(300L×2バンク)」のPFD図、P&ID図、PLOT図、機器リスト等をまとめた。本標準化により、水素ステーション建設コストのうちの、設計費の低減を行った。</p>
	<p>⑤水素ステーションコスト低減検討 上記の検討結果の効果を積算し、水素ステーション全体のコストが2億円となる見通しを得た。</p>
	<p>⑥普及に向けた開発成果・技術課題の展開および検討 「水素ステーション開発・実証連携会議」を開催し、システム技術開発、要素技術開発の成果の活用・普及を推進した。また、技術開発に関する個別の課題等については、「水素ステーション連絡会」等の会議を開催し、技術課題の検討を行った。</p>

3.6 年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件
H22FY	1件	0件	0件	2件	0件	9件
H23FY	0件	0件	0件	1件	0件	7件
H24FY	0件	0件	0件	1件	0件	4件

4. まとめ

(1) 標準仕様検討

- ・「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションにおいて、建設費が2億円以下の見通しを得た。
- ・建設費2億円以下となった水素ステーション設備を標準仕様として確立し、設計資料をまとめた。

(2) 運転技術開発

70MPa級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の1年相当の充填回数(270回、945回)の繰返し充填試験を達成した。この試験で構成機器の耐久性が確認でき、併せて今後の技術課題を明らかにした。

(3) ディスペンサー機器開発

- ・ディスペンサーの主要構成機器(流量計、バルブ類)において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。
- ・実ステーションの繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースにつ

いては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。

- ・ディスペンサーにフィルタを設置することで、捕捉異物の分析による異物発生（不具合）箇所の推定と、フィルタの定期調査による故障の予測が可能である見込みを得た。

(4) プレクール設備開発

- ・プレクール設備熱交換器（熱交出口温度-20℃）の小型化と低コスト化、設備信頼性向上を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。
- ・水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレクール設備解析プログラムを開発した。

5. 実用化・事業化見通し

- ・ディスペンサーは、今後の水素ステーション整備において、開発品の採用が計画されている。
- ・充填ホースは、更なる最適仕様検討（充填ホース材料、構造等）を進め、商品化を検討している。
- ・プレクール設備は、平成25年度の市場導入が可能となった。
- ・充填タンク解析プログラムならびにプレクール設備解析プログラムは、プレクール設備設計ならびに水素ステーション全体の充填解析プログラム開発に応用されている。

(I-1) 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／基準検討

委託先: 国立大学法人 東京大学／一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)

●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度11月)

- ・水素ステーション用鋼種拡大のため、水素中での材料評価試験を行い、SUS316系鋼材の評価方法・使用基準を決定し、例示基準の整備に資する資料を作成した。
- ・圧縮水素運送自動車用容器の例示基準JIGA-T-S/12/04に代わる、最高充填圧力45MPaに対応したJPEC技術基準案の整備に資する資料を作成した。
- ・水素ステーション用複合容器製蓄圧器に関する小型・中型複合容器試験を実施し、特認申請のガイドラインとなる技術基準案の整備に資する資料を作成した。
- ・KHKS0220の水素適用方法を検討し、水素用圧力設備の設計係数変更に係わる特認申請のガイドラインとなる技術基準案の整備に資する資料を作成した。

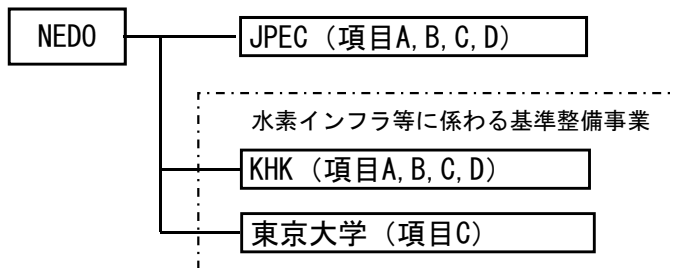
●背景/研究内容・目的

70MPa級水素ステーションを構成する配管、バルブなど各部品を製造する前提となる高圧水素ガス設備に使用可能な金属材料の鋼種拡大、高圧水素ガスの輸送・貯蔵を目的とした複合容器(CFRP)に係る技術基準の整備を見据えた調査及び試験に加え、水素ステーションに用いる圧力設備のより合理的な設計を可能とすべく、圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する検討を行うことにより、全体として高効率で可能な限りのコスト抑制・高耐久性の水素ステーションの実現に資する研究開発を行う。

●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
A.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	新規使用可能材料の選定と例示基準の整備に資する資料の作成
B.圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	高圧化(45MPa)に対応した複合容器基準案に資する資料の作成
C.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	水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料の作成
D.圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	水素用圧力設備の設計係数変更に係るKHK特認ガイドラインに資する資料の作成

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- A ・鋼種拡大候補として、SUS316 (Ni>12%)、同冷間加工品 (CW=20%,40%)、SUH660、A6061の鋼種を選定し、Hydrogeniusと連携し、使用条件に応じた材料評価試験を実施した。
 ・KHKから提案されたSUS316系の使用基準案等をベースに、例示基準の整備に資する資料を作成するとともに、これまで十分な評価がなされていない高温領域での追加水素試験を開始した。
- B ・圧縮水素運送自動車用容器の最適最高充填圧力の検討を行い、45MPaと決定した。
 ・KHKの助言を得ながら、JIGA-T-S/12/04をベースとして、45MPaに対応した圧縮水素運送自動車用複合容器のJPEC技術基準案の整備に資する資料を作成した。
- C ・東京大学と連携し、試験用小型・中型複合容器を設計・製作を行い、複合容器試験を実施するとともに、試験結果から複合容器技術基準検討に活用する技術データを取得した。
 ・KHKの助言を得ながら、ASME Sec. X Appendix 8をベースとして、水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料を作成した。
- D ・超高压ガス設備に関する基準(KHKS0220)の水素適用について、KHKの検討内容に基づき、水素ステーションでの使用を想定した特認取得のガイドライン案を検討した。
 ・他NEDO事業での水素ステーション建設に特認取得ガイドライン案を適用し、設計係数変更に係る特認取得ガイドラインに資する資料として整備した。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	・新規使用可能鋼材の評価実施 ・例示基準の整備に資する資料作成	◎ ◎
B.	最高充填圧力45MPaの圧縮水素運送自動車用容器技術基準案の作成	◎
C.	・小型複合容器評価試験の実施と寿命予測線図の検討 ・水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料の作成	◎ ○
D.	・KHKS0220の水素適用方法を確立 ・特認ガイドラインに資する資料作成	○ ○

●実用化・事業化の見通し

- ・鋼種拡大については、既に本事業の成果に基づいた、材料選定が行なわれている。
- ・圧縮水素運送自動車用容器については、最高充填圧力45MPaの容器の試作計画が進んでいる。
- ・水素ステーション用複合容器については、既に特認取得実績が得られ、更なる特認申請が予定されている。
- ・設計係数見直しについては、今後の水素ステーション整備に合わせ具体的な計画を検討している。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	6	0

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 水素インフラの技術基準に関する検討

実施者：（一財）石油エネルギー技術センター（JPEC）

1. 事業概要

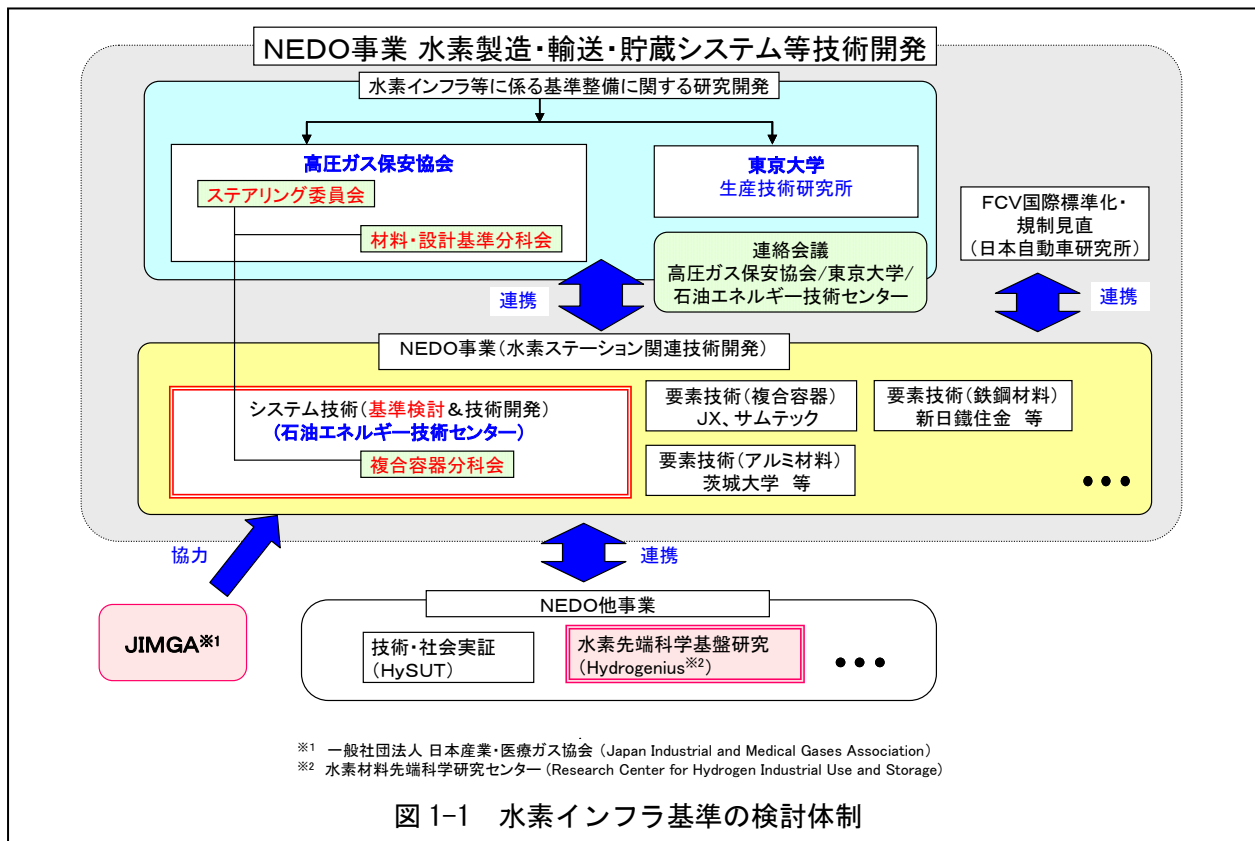
燃料電池自動車・水素ステーションの 2015 年における一般ユーザーへの普及開始に際し、水素ステーション、水素貯蔵及び水素輸送に係わる水素インフラ整備が必要不可欠である。

中でも先行実証研究にて抽出された水素インフラに関する規制見直しはインフラ整備の核となる重要課題であり、水素ステーションに関連するコストに重大な影響を与える以下の 4 項目の技術基準については、水素インフラ関連業界からも最重要課題として高いニーズが掲げられている。

このような背景から本検討では、図 1-1 に示す高圧ガス保安協会（KHK）、東京大学と共同した検討体制で、表 1-1 の研究開発を実施した。併せて水素ステーションの規制基準全般の調査検討を行った。

表 1-1 研究開発項目

	研究開発項目	担当
1.	水素ステーション用金属材料の鋼種拡大	JPEC、KHK
2.	水素輸送用複合容器に係る基準整備	JPEC、KHK
3.	水素ステーション用複合容器に係る基準整備	JPEC、KHK、東京大学
4.	圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用	JPEC、KHK



*1 一般社団法人 日本産業・医療ガス協会（Japan Industrial and Medical Gases Association）
*2 水素材料先端科学基盤研究センター（Research Center for Hydrogen Industrial Use and Storage）

2. 事業目標

2.1 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大

水素ステーションでの使用を目的とした配管、バルブ用材質として耐食性ステンレス鋼 (SUS316L) は、高圧水素雰囲気下で劣化を起こしにくいことが知られており、35MPa 水素ステーションで使用可能な鋼材として認められていたが、より高圧の 70MPa 水素ステーションで使用するのは、材料強度が不足し、SUS316L では水素ステーションとしての必要性能を満足できないことが判明した。そのため、SUS316L に代わる高圧水素環境下で使用可能な耐水素劣化特性を有する強度の高い材料を見出すための検討を行い、水素ステーション用金属材料の鋼種拡大を実現する技術基準に資する資料を作成する。

2.2 水素輸送用複合容器に係る基準整備

水素輸送用のCFRP製複合容器に関して、より高圧化し輸送効率を向上させるために、現行の35MPa以上の高圧化に対応した容器の技術基準に関する検討を行い、新たな輸送用複合容器の技術基準に資する資料を作成する。

2.3 水素ステーション用複合容器に係る基準整備

CFRP製複合容器については、軽量化が可能なこと、またコスト低減が見込まれることから、水素ステーションで使用する蓄圧器として活用することが強く望まれている。しかし、蓄圧器としての利用に対しては、これまで実績がなく、省令・例示基準等を含めた技術基準類の整備がなされていない。そこで、複合容器を水素ステーション用蓄圧器として使用するために必要となる技術基準に関する検討を行い、特認取得のためのガイドラインに資する資料を作成する。

2.4 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用

圧力設備の設計基準における設計係数に関して、海外の設計基準における設計係数との違いが問題となり、水素ステーション設備のコンパクト化やコスト低減の観点から、設計係数の低減を実現することが強く望まれている。そこで十分な安全レベルを確保しつつ、設計係数を既存の技術基準よりも小さくした技術基準の導入及びその水素への適用検討を行い、設計係数低減の特認取得のためのガイドラインに資する資料を作成する。

3. 事業成果

3.1 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大

(1) 鋼種拡大候補材の選定と評価試験の実施

70MPa 水素ステーションを実用化するために必要な材料について、ステーション設置者、機器設備メーカー、水素材料評価機関等の産学関係者から幅広く情報収集を行った。その結果、水素の影響を受ける材料については、まだ水素の影響の定量的評価が体系化されていないことなどから、短期間の検討は不可能なことが判明し、70MPa 水素ステーションを実用化するために必要最低限の金属材料として、SUS316L と同等の水素の影響を受けにくい金属材料から候補を選定した。

表 3-1-1 鋼種拡大候補材

順位	鋼材名	用途
1	SUS316 (高 Ni>12%)	配管、バルブ類
2	同冷間加工材 (加工度 20%、40%)	配管、バルブ類
3	SUH660	流量計、ノズル、他
4	A6061	ステーション用複合容器ライナー材

これら材料評価については、120MPa 水素評価試験装置を所有している Hydrogenius と連携し、将来的な国際標準との整合性も視野に入れ、115MPa での高圧水素条件下で評価を実施することとし、水素の影響を受けにくい材料であることから、SSRT、疲労試験、疲労き裂進展試験の3種類の試験を実施した。

尚、材料評価と並行して実施した文献などの調査から、プレクール設備を使用する場合にガス温度として想定される-40℃前後の低温領域で、水素の影響を受けにくいとされている SUS316L においても水素の影響が見られることが判明したため、SSRT 試験については、低温 (-40℃)、常温 (室温)、高温 (85~120℃) の3点での測定を実施した。表 3-1-2 に材料評価試験スケジュールを示す。

表 3-1-2 材料評価試験スケジュール

	H22 年度	H23 年度		H24 年度	
		上期	下期	上期	下期
・ SUS316 (高 Ni>12%) 及び 冷間加工品 ・ SUH660 ・ A6061	試料準備	材料評価試験			
	試料準備			材料評価試験	
				試料準備	材料評価試験
	材料評価試験は、Hydrogenius が実施				

(2) 本事業の成果

平成 23 年度に実施した、SUS316L (Ni>12%) 及び同冷間加工品 (加工度 20%及び 40%) の評価において、SSRT、疲労試験、疲労き裂進展試験の水素中での評価結果は、大気中との差がほとんどないことが確認された。また、温度の影響を確認するために実施した-40℃の低温領域での SSRT についても、顕著な水素脆化は確認されなかった。

平成 24 年度に実施の SUH660 についても、-40℃の低温から 85℃までの温度範囲において、水素による脆化傾向は確認されなかった。尚、A6061 については、現在評価を実施中である。

これらの結果から、KHK は、材料評価に関する以下の技術基準案を提案し、材料・設計基準分科会及びステアリング委員会で審議を行っている。

- ① SUS316L 等の水素の影響を受けにくい材料については、使用条件における SSRT 試験及び疲労試験の結果から材料選定を行うことができる。
- ② SSRT 試験では、引張試験またはミルシートの絞りに、設計圧力以上で水素と大気中 (または不活性ガス中) の絞りの比 (相対絞り値) を掛けた値が、材料規格に規定する規格値以上で合格とする。
- ③ 尚、SUS316 や SUS316L の場合、Ni 量のみで相対絞り値を整理することが困難であることから、オーステナイトの安定化度を示す指標である Ni 当量 (%) = $12.6C + 0.35Si + 1.05Mn + 1.0Ni + 0.65Cr + 0.98Mo$ で整理を行う。

- ④ 疲労試験では、大気中における 10^7 回の疲労強度が、許容引張応力の 1.6 倍以上であるものを合格とする。

これらの技術基準案の材料・設計基準分科会及びステアリング委員会での審議を経た後、「水素ステーション用金属材料に係わる技術基準の整備に資する資料」として取りまとめる。

3.2 水素輸送用複合容器に係る基準整備

(1) 容器圧力に関する検討

水素輸送用のCFRP製複合容器に関しては、容器保安規則例示基準（JIGA-T-S/12/04）が既に制定されている。そこでは容器の最高充てん圧力が35MPaと規定されているが、燃料電池自動車の燃料水素圧力高圧化に伴い水素ステーションにおける水素供給量が増えることが予測され、輸送効率を向上させるために、水素輸送用容器をより高圧化した容器について検討を行った。

その結果、複合容器の最高充てん圧力については、以下の理由から45Maとした。

- ・最高充てん圧力35MPaのJIGA-T-S/12/04が既に存在し、材料の水素劣化特性およびガス透過率を考慮すれば最高充てん圧力45MPa技術基準への適用範囲拡大が可能となる。破裂試験、圧力サイクル試験等に関しても、車載用複合容器では70MPaが実現されていることから、最高充てん圧力45MPa、サイクル試験等の圧力（45MPa×1.25）試験データを整備することは技術的に可能である。
- ・輸送コスト試算で、最高充てん圧力45MPaが最も経済的である。
- ・DOT(米国運輸省)は最高充てん圧力45MPaでSpecial Permit（特認）を与えている。国際的な整合性という意味で45MPaが妥当と言える。
- ・水素充てん時の温度上昇は、到達圧力70MPaより45MPaの場合が低い。

(2) 最高充てん圧力（45MPa）の変更に伴う検討

水素輸送用のCFRP製複合容器の最高充てん圧力を35MPaから45MPaに変更することに伴い、現行基準（JIGA-T-S/12/04）において見直し検討が必要と思われるものについて項目の整理を実施した。

その結果、「① 最高充てん圧力が基準に直接影響する項目」が全29項目中13項目あり、「② 最高充てん圧力変更の影響を確認する必要がある項目」が5項目あることを確認した。

このうち、「① 最高充てん圧力が基準に直接影響する項目」については、容器検査、破裂試験、圧力サイクル試験など主に検査方法に関する項目であり、国内外の関連基準や検査機関を含めた関係者への確認を行い、現行の技術基準内容で問題ないことを確認した。

(3) その他の技術検討

「② 最高充てん圧力変更の影響を確認する必要がある項目」については、複合容器の技術開発状況に関する情報収集結果も参考にして検討を行い、その結果、最高充てん圧力の変更以外に、以下の3項目についても、検討を行った。

ア) ライナー材料の検討

ライナー材料についての鋼種拡大の要望があり、複合容器メーカーから見直しの意見が出されたが、水素の影響を受け易い低合金鋼などの材料については、その影響の度合いがまだ十分解明

されておらず、今回の検討期間で結論を出すことが困難と考えられた。

一方、現行基準（JIGA-T-S/12/04）でライナー材料として使用が認められている金属材料であるSUS316L、A6061-T6については、KHK S 0128（自動車用燃料容器最高充てん圧力70MPa）検討時に水素圧90MPaまでの材料評価が行われ、問題ないことが確認されている。

そのため、今回の見直しでは、SUS316L、A6061-T6については、容器材料の鋼種変更は必要なしとした。

イ) 内容積の検討

内容積については、複合容器メーカーから見直しの意見が出されたが、以下の検討を行い、今回は、現状と同じく360L以下とした。

- ・ 300L程度までの内容積の容器はタイプ3容器がCNG用のバス天井設置用として使用されているが、水素用としての生産実績はない。また、これ以上の大容量容器製作については具体的な計画がなく、評価用試験装置等のインフラも整備されていない。
- ・ 海外情報や国際基準の動向等の情報が十分でなく、まず大型容器に関する国内外の実態調査から行う必要がある。
- ・ 従って目的の早期実現のためには現行基準(JIGA-T-S/12/04)の内容積で十分であることを関係先と確認を行った。

ウ) ガス透過率の検討

ガス透過率については、日本自動車研究所(JARI)によるプラスチックライナーを使用するタイプ4容器のガス透過率の検討にて、ガス透過率が、HDPEをライナーに使用したタイプ4容器【35MPa時、15℃、20℃】でJIGA-T-S/12/04の合格基準値である2(cm³/hr・L)を超えるが、ポリアミドを使用した容器ではこの基準値を満足することが明らかになっている。

試験結果より、45MPaで、200L程度以上の大容量の容器を使用した場合、ガス透過率は合格基準値である2(cm³/hr・L)に入るものと推定されることより、合格基準値2(cm³/hr・L)で変更は必要なしとし、ライナー材の種類でガス透過率が異なるが、ライナー材種類の制約ではなくガス透過率として規定することとした。

(4) 技術基準の整備に資する資料

以上の検討をもとに、水素輸送用複合容器に係る技術基準の整備に資する資料を作成した。輸送用複合容器、及び輸送用複合容器積載(例)を図3-2-1に示す。

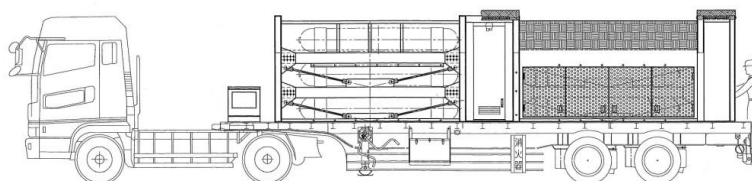


図 3-2-1 輸送用複合容器、及び輸送用複合容器積載(例)

3.3 水素ステーション用複合容器に係る基準整備

(1) 材料試験法、評価指標に関する検討

水素ステーションでCFRP製複合容器を蓄圧器として使用することを想定した場合のニーズ、使用条件、技術開発状況等に関する情報をユーザーやメーカー等の関連業界から幅広く調査、収集すると共に、小型複合容器の評価試験法の検討を行い、対象とする複合容器タイプ（タイプ2：荷重分担金属ライナー製円筒胴繊維強化圧力容器、タイプ3：荷重分担金属ライナー製円筒胴・ドーム部繊維強化圧力容器、タイプ4：非荷重分担ライナー製円筒胴・ドーム部繊維強化圧力容器）について検討した。

水素ステーション用CFRP製蓄圧器としての使用条件、技術開発状況等を取りまとめると共に、複合容器の評価基準に関する海外調査を行い、必要な情報提供を行った。

(2) 評価試験の実施

関連業界及び有識者の意見を参考に、評価試験を実施する対象としてタイプ3複合容器を選定した。評価試験計画の策定及び評価試験に供する試験用複合容器の設計については、連携する東京大学が主体となって実施した。JPECは上記(1)の材料試験法、評価指標に関する検討結果等及び水素ステーション用CFRP製蓄圧器としての使用条件、技術開発状況等を取り纏め、試験用複合容器の設計に必要な不可欠な情報の提供を行った。

(1)で得られた「材料試験法、評価指標」と「評価試験計画」及び「試験用複合容器の設計」の検討結果に基づき、小型複合容器評価用の供試体を製作し、外注により複合容器評価試験を実施した。

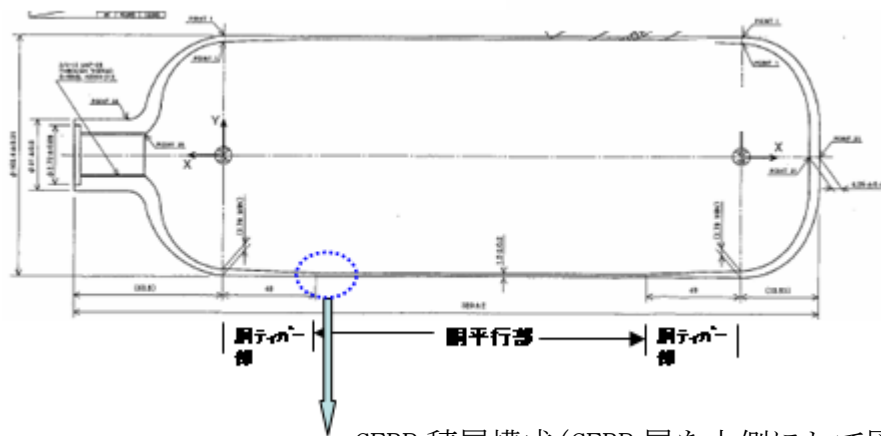
①有限要素法解析に基づく試験用小型複合容器の設計と評価試験計画策定

有限要素法解析により、アルミ合金ライナーに発生する応力変動を明らかにし、試験用小型複合容器を設計した。小型複合容器の基本設計・製作仕様を表3-3-1、小型複合容器の外観とCFRP積層構成を図3-3-1に示す。ライナーの疲労強度評価に必要な寿命予測線図を作成するために有限要素法解析により、ライナーに発生する応力を正確に把握し、常温圧力サイクル試験の適切な自緊処理圧力と試験圧力範囲を探索し、評価試験計画を策定した。試験用小型複合容器は50本製作した。

表 3-3-1 小型複合容器の基本設計・製作仕様

項目	仕様
最高充填圧力	20 MPa
内容積	2 ℓ
ライナー材質	J I S A 6 0 6 1 - T 6
ライナー寸法（直径×長さ×胴平行部肉厚）	103×320×1.5 mm
最小破裂圧力	70 MPa
ライナー0.2%耐力： σ_y	286.81 MPa
ライナーヤング率	70,600 MPa
ライナーポアソン比： ν	0.3
繊維材料	炭素繊維：TRH50, 12L FILAMENT
CFRP ヤング率（繊維方向）： E_1	142.79 GPa
CFRP ヤング率（繊維直行方向）： E_2	14.681 GPa
繊維直行方向の引張りに関するCFRPせん断弾性係数率： G_{23}	8.268 GPa

繊維厚み方向の引張りに関する CFRP せん断 弾性係数率 : G_{31}	14.014 GPa
CFRP ポアソン比 : ν_{21}	0.029
CFRP ポアソン比 : ν_{31}	0.029
CFRP ポアソン比 : ν_{32}	0.379
繊維の体積含有率 : V_f	0.57
ワインディング方法	ウェットワインディング
積層構成	1層 : フープワインディング 約 1.0mm (胴平行部)
	2層 : ヘリカルワインディング 約 1.2mm (胴平行部)
	3層 : フープワインディング 約 0.9mm (胴平行部)



CFRP 積層構成 (CFRP 層を上側にして図示)

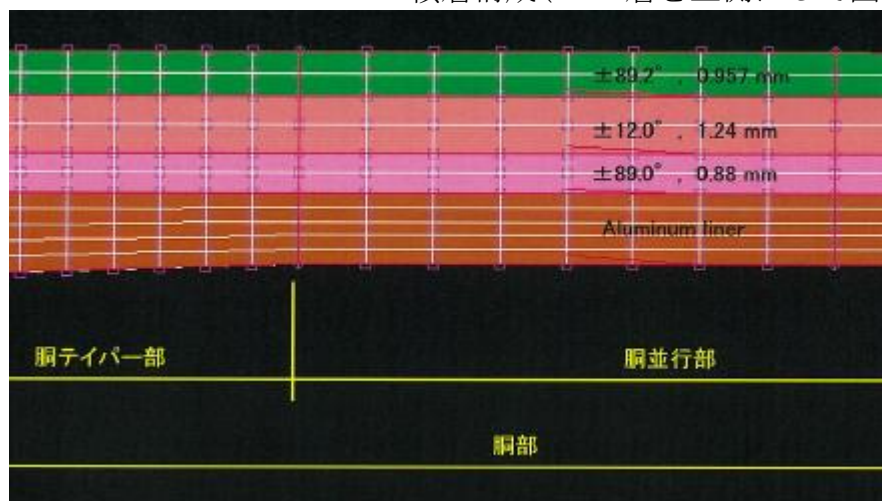


図3-3-1 小型複合容器の外観とCFRP積層構成

②小型複合容器の評価試験

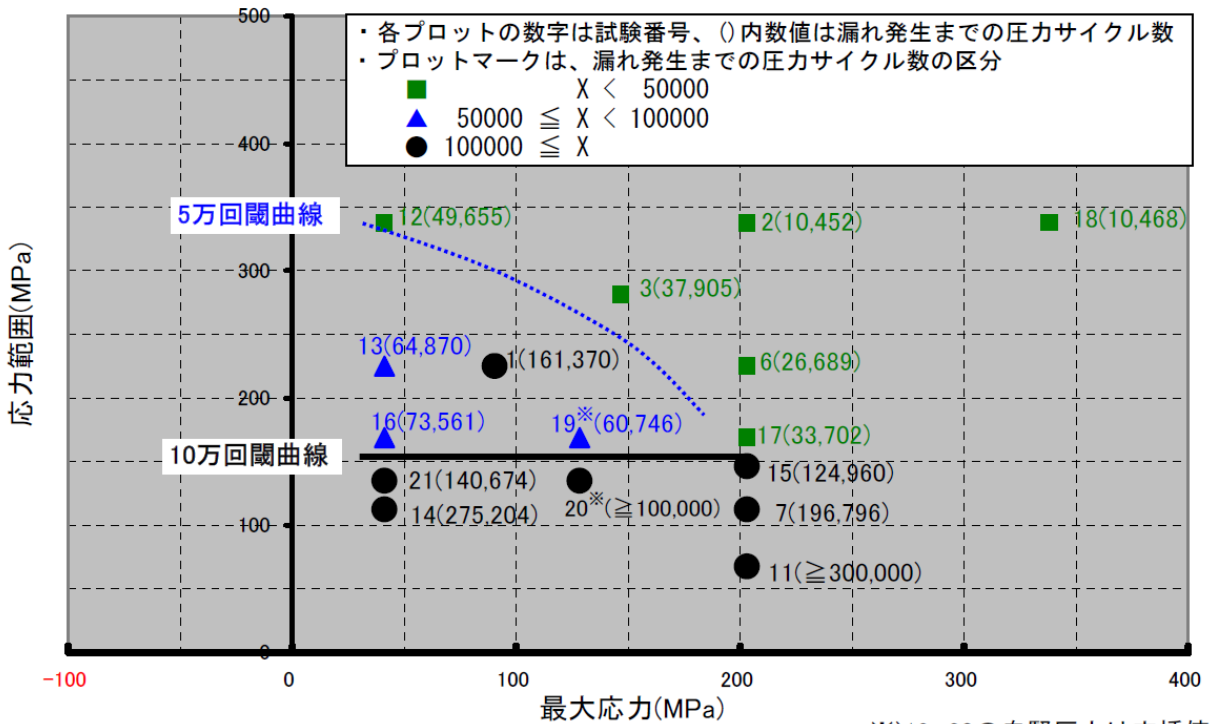
策定された評価試験計画に基づき、常温圧力サイクル試験と破裂試験の評価試験を実施し、一部の容器については評価試験後に亀裂発生部の調査を実施した。表3-3-2に小型複合容器評価試験等のスケジュールを示す。常温圧力サイクル試験結果を取り纏めた「応力範囲に基づく寿命予測線図 (最大応力-応力範囲)」を図3-3-2に示す。

その寿命予測線図の解析により、想定される10万回寿命を達成するためには、圧力サイクルにより発生する応力範囲を100MPaとすればよいことを見出した。

表3-3-2 小型複合容器評価試験等のスケジュール

評価試験番号・亀裂部調査	試験条件概要		平成22年度		平成23年度												平成24年度						
	自緊差圧(MPa)	圧力範囲(MPa)	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	
No. 1	37	0-20	■																				
No. 1追加	37	0-20																					
No. 2	37	0-30				■																	
No. 3	37	0-25					■																
No. 4	75	0-25						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
No. 5	75	0-30																					
No. 6	37	10-30																					
No. 7	37	20-30																					
No. 8	75	10-40																					
No. 9	75	20-40																					
No. 10	75	25-40																					
No. 11	37	24-30																					
No. 12	50	0-30																					
No. 13	50	10-30																					
No. 14	50	20-30																					
No. 14追加	50	20-30																					
No. 15	37	17-30																					
No. 16	50	15-30																					
No. 17	37	15-30																					
No. 18	0	0-30																					
No. 19	43	15-30																					
No. 20	43	18-30																					
No. 21	50	18-30																					
亀裂部調査	-	-																					
亀裂部調査(追加1)	-	-																					
亀裂部調査(追加2)	-	-																					

試験・調査期間: ■



※)19、20の自緊圧力は内挿値

図3-3-2 応力範囲に基づく寿命予測線図 (最大応力-応力範囲)

③中型複合容器の設計・製作、及び評価試験

小型複合容器を用いて得られた結論の普遍性を確認するため、また大型複合容器の製作の可否を確認すると共に、複合容器の大型化により発生する可能性がある不確定要素を抽出し解決するため、中型複合容器を8本製作し圧力サイクル試験と破裂試験に供した。基本設計・製作仕様を表3-3-3に示す。完成容器の外観を図3-3-3(写真)に示す。

表3-3-3 中型複合容器の基本設計・製作仕様

設計圧力	110MPa
設計破裂圧力	330MPa以上
材料	ライナー：A6061-T6 繊維：炭素繊維
内容積	100L
寸法	外径396.2mm×長さ2072.6mm
重量	約230Kg
設計圧力サイクル数	試験圧力範囲が0～110MPaでの常温圧力サイクル試験において漏れ発生まで10万回を目標
調達本数	8本

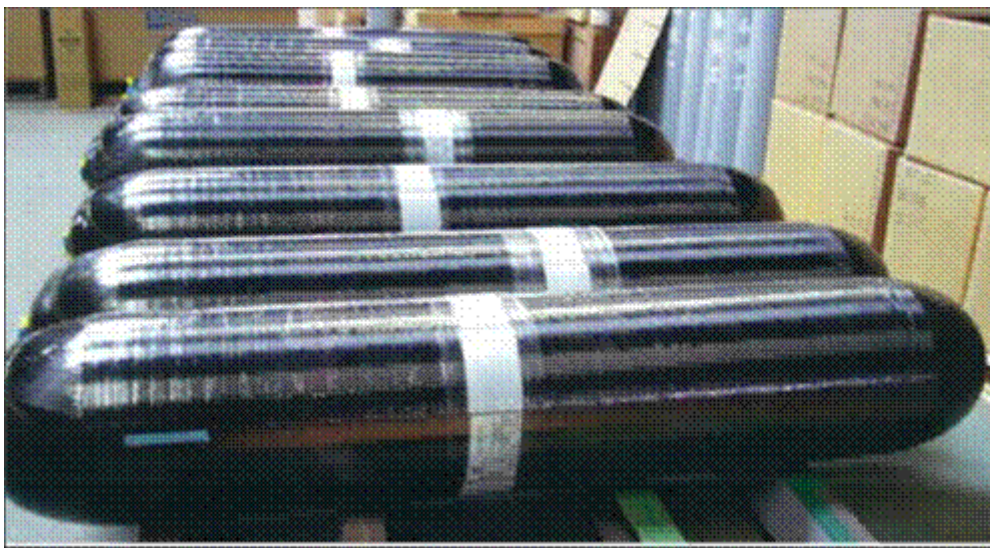


図3-3-3(写真) 完成容器の外観写真

容器メーカーが米国で独自に行った試験では、圧力変動が最も厳しい0-100%設計圧力の圧力サイクルで、LBBが成立すると共に10万回以上の疲労寿命を有することが確認されたが、国内の試験機関で行った試験では目標回数を大きく下回る結果となった。調査の結果、温度管理等の試験手順が異なることがわかり、容器の寿命を的確に評価するための方法論を確立することが全世界的な課題となっていることが判明した。そのような課題を有しながらも、実際の蓄圧器の運転条件に近い圧力変動である50%、または75%設計圧力と100%設計圧力との間の圧力条件の試験を実施し、疲労寿命が大幅に延長すること、破裂試験では破裂安全率が設計圧力の3倍以上あることを確認し、タイプ3大型複合容器の蓄圧器としての成立性が検証できた。

(3) 評価試験結果の取りまとめと技術基準の整備に資する資料の作成

小型複合容器と中型複合容器の各評価試験の結果を取りまとめ、水素ステーション用複合容器の製作に必要な技術的要件について検討し、「水素ステーション用複合容器に係わる技術基準の整備に資する資料」を作成した。これらの検討や資料の検証内容等については、関係者による検討会や産学官との連絡会等で内容を確認し、要素技術開発事業、規制合理化事業、並びに技術・社会実証

事業と連携して内容を精査すると共に、「複合容器分科会」と上位の「基準検討ステアリング委員会」で審議した。

3.4 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用

(1) 欧米規格、実績等に関する情報収集

圧力設備の設計係数を検討するにあたり、国内外の規格、基準の調査を行い、設計係数の比較を実施した。この結果、表 3-4-1 に示すように、SUS316L 冷間加工品の配管の場合、内径で約 4 割、配管断面積で約 2 倍の向上が期待できることが確認できた。

このことから、国内において実績があり、最も小さな設計係数が可能な「超高压ガス設備に関する基準 (KHKS0220)」の水素適用を対象に検討を進めることとした。

表 3-4-1 国内外の規格・基準における設計係数の比較

No	材料	適用基準	外径 (mm)	最小厚さ (mm)	内径 (mm)	許容応力 値 (MPa)
1	SUS316L (JISG 4303)	一般則例示基準 8 特定則例示別添 1 (設計係数 4)	14.2	6.1	2.0	104
2	SUS316L 冷間加工 20%相当 品	同上		3.4	7.4	180
3		ASME B31.12 (設計係数 3)		2.6	9.0	240
4		KHKS 0220 (設計係数 2.4)		2.1	10.0	258

注) SUS316L (JISG 4303) は降伏比 0.5 以下のため、KHKS 0220 は適用できない

(2) KHKS0220 の事前評価ガイドラインの作成

KHKS0220 は、事前評価申請を前提とした基準であり、その水素適用において、KHK から、以下の提案がなされた。

- ・従来通り LBB (破裂前漏洩) 判定を行い、LBB が成立しない材料も除外しない
- ・材料特性として大気中データを用いる場合と、水素中データを用いる場合とに区分する。

しかしながら、水素の金属材料に対する影響がまだ十分解明されておらず、限られた水素の影響評価データしかない状況のなかで、そのまま KHKS0220 を水素適用することは、機器・設備メーカーにとって困難であった。

そのため、現状での水素ステーション設置を前提にした、KHKS0220 の水素適用のためのガイドラインを検討した。

このガイドラインの前提は、以下の通りである。

- ・水素ステーションでの使用のニーズが最も高い、鋼種拡大において検討が行われている水素の影響を受けにくい材料 (オーステナイト系ステンレス鋼) を対象とする。
- ・これら材料は、基本的に LBB が成立するとともに、大気中のデータの使用が可能と考えられる。

図 3-4-1 に設計フローの比較を示すように、KHKS0220 の場合、強度計算に加え、応力集中部に対する応力解析によるピーク応力振幅と疲労寿命の評価を行う必要がある。

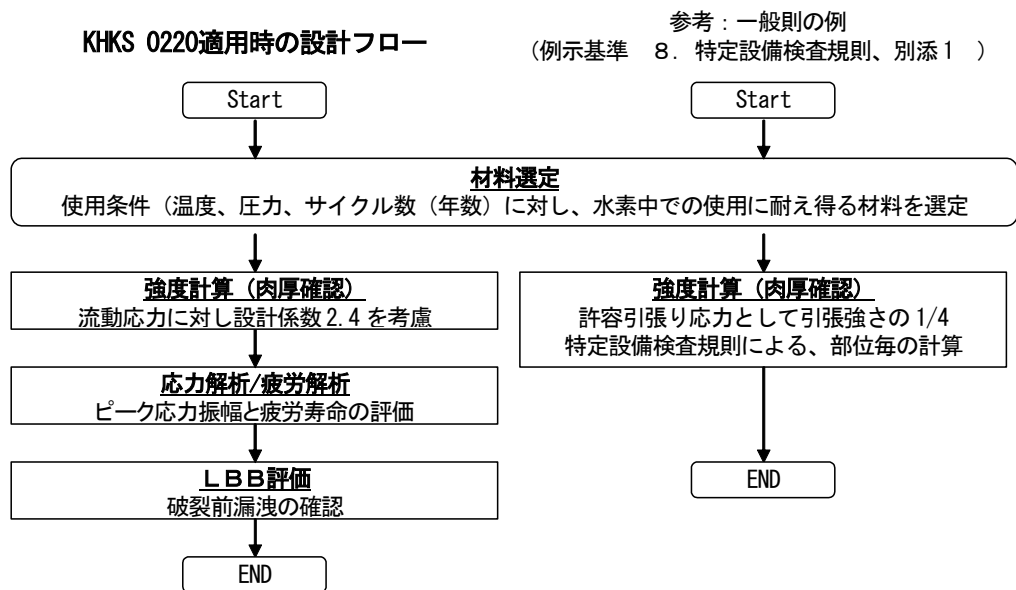


図 3-4-1 設計フローの比較

(3) KHKS0220 の水素適用の実施例

事前評価ガイドラインを用いた KHKS0220 の水素適用申請は既に行われており、公表の許可が得られた実施例を表 3-4-2 に示す。尚、表 3-4-2 の事例では、水素ステーションの設置計画に対し、十分な事前評価時間がなかったため、設計係数の変更は達成していない。

表 3-4-2 事前評価ガイドラインを用いた実施例

メーカー	対象となる設備・機器	設計温度・圧力		使用材料		
		圧力(MPa)	温度(°C)	材料種類	耐力(MPa)	引張強さ(MPa)
A 社	弁類	96.3	-40~50	SUH660	590	900
B 社	圧縮機出口 小型圧力容器	90.2	~70	SUH660	590	900
C 社	圧縮機出口 配管	95	180	ASTM Type316 Ni≥12%,冷間加工	517	724
D 社	圧縮機出口 継手類	95	180	SUH660 相当品 ASME SA638	585	895

3.5 水素ステーションの規制基準全般に関する調査検討

規制見直しの必要な項目として、「JHFC WG1 安全性・規制見直し検討会」で検討された 44 項目のうち、水素供給インフラの整備に向けて、必要な以下の 15 項目を取り上げた。

(1) ステーション設置環境面の課題

- ・ CNG スタンドとの併設
- ・ ディスペンサーの並列設置

- ・ 35MPa および 70MPa 水素ステーションに係る法整備
 - ・ 保安距離の更なる緩和
 - ・ 水素ディスペンサー周辺の危険ゾーン基準の明確化
- (2)ステーション建設材料面の課題
- ・ 設計係数の見直し
 - ・ 使用可能鋼材の拡大
 - ・ 高圧水素輸送用トレーラーへの複合容器使用
 - ・ 水素ステーション蓄圧器への複合容器使用
- (3)ステーション運営面の課題
- ・ 改質器の無人暖気運転の実現
 - ・ 保安検査の簡略化
 - ・ 市街地における水素保有量の増加
 - ・ 公道での FCV への充填
- (4)2015 年の普及開始時のあるべき姿を想定した課題
- ・ セルフ充填式水素ステーション
 - ・ フル充填に係る法整備

この 15 項目について、以下の観点から、整理した。

これにより、2015 年普及開始時に必要な規制見直し項目の抽出は満足できていると考えられる。

- ① 現行法規（法、政令、省令、告示、通達等を含む）における規制の現状の整理
 - ・ 関係者が規制の現状を理解するための、条文抽出や関係資料の整備を含む
- ② 海外における同種規制の現状の整理
 - ・ 新たに海外調査は実施せず、国内で入手可能な情報を整理
- ③ 国内における同種規制の現状の整理
 - ・ 国内における同種規制の現状、見直し状況、見直しのために取られた施策等を整理
- ④ 業界の規制見直しニーズの整理
 - ・ 業界ニーズを踏まえ、当局に要望すべき規制見直しの内容を整理
- ⑤ 法令上の見直し箇所の整理
 - ・ ④を実現するために必要な法令上の見直し箇所を整理
- ⑥ 解決のアプローチ（案）の提示
 - ・ 見直しのためのアプローチ（案）を提示

3.6 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読 付き	その他	
H22FY	0	0	0	0	0	なし
H23FY	0	0	0	0	0	JPEC平成23年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) 福岡水素エネルギー戦略会議 平成23年度研究分科会(第3回)「水素 社会システム実証研究分科会/高効率水素製造研究分科会」(JPEC) 触媒学会「水素の製造と利用のための触媒技術研究会」「水素の製 造と利用に関するシンポジウム」(JPEC)
H24FY	0	0	0	0	0	JPEC平成24年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) 日本ゴム協会第2回水素機器用エラストマー材料研究分科会(JPEC) 一般財団法人日本高圧力技術協会平成24年度秋季講演会(JPEC)

4. まとめ

(1) 鋼種拡大

- ・ 鋼種拡大候補として、SUS316 (Ni>12%)、同冷間加工品 (CW=20%, 40%)、SUH660、A6061 の鋼種を選定し、Hydrogenius と連携し、使用条件に応じた材料評価試験を実施した。
- ・ KHK の助言を得ながら、Ni 当量で整理した SUS316 系鋼材の水素中での使用基準に基づき、例示基準の整備に資する資料を作成した。

(2) 輸送用複合

- ・ 圧縮水素運送自動車用容器の最高充填圧力を 45MPa と決定し、JIGA-T-S/12/04 をベースとして、45MPa に対応した圧縮水素運送自動車用複合容器の技術基準案の整備に資する資料を作成した。

(3) 水素ステーション用複合容器

- ・ 東京大学と連携し、小型・中型複合容器を設計・製作を行い、複合容器試験を実施するとともに、試験結果から複合容器技術基準検討に活用する技術データを取得した。
- ・ KHK の助言を得ながら、ASME Sec. X Appendix 8 をベースとして、水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料を作成した。

(4) 設計係数

- ・ KHK の助言を得ながら、水素ステーションでの使用を想定した特認取得のガイドライン案を検討した。
- ・ 他 NEDO 事業での水素ステーション建設に特認取得ガイドライン案を適用し、設計係数変更に係る特認取得ガイドラインに資する資料として整備した。

5. 実用化・事業化見通し

- ・ SUS 316 系鋼材の使用基準については、既に例示基準に反映させるため、インフラ業界として働きかけを行なうとともに、HySUTで整備予定のステーションについては、この使用基準に基づく材料調達が行なわれている。
- ・ 45MPa に対応した圧縮水素運送自動車用複合容器の技術基準として JPEC-S を制定し、45MPa の輸送用複合容器製作の事業が進行している。
- ・ 普及初期を想定した水素ステーション用複合容器での特認取得の見込みを得たが、本格的な複合容器の普及を促進するためには、容器寿命を的確に評価する試験方法の検討が必要なことが判明した。
- ・ 既に KHK S0220 の水素適用のための特認取得ガイドラインを用いた検討が行われているが、今回の水素ステーションの先行整備においては申請期間に制約があり、まだ設計係数低減は実現していない。

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

- ・中間目標値(28g/L)を上回る体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの設計・製作を実施した。
- ・中間目標である2.7質量%を超える水素吸蔵量(3.2質量%)を有するTi-V-Mn系BCC合金を合成した。
- ・低コスト化を目的として、V系合金の量産性のトライをした。その結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標値の¥10,000以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の使用について検討が必要。

●背景/研究内容・目的

近年、自動車メーカーにより燃料電池自動車の実証試験が実施されているが、水素の搭載方式としては、高压複合容器(Type-3、Type-4)が主流となっている。最近では1充填あたりの航続距離の伸長を目的として、充填圧力を35MPaから70MPaへ高压化した容器を搭載した燃料電池自動車の実証試験も実施されており、車載に適した、よりコンパクトな貯蔵方法が必要とされている。本研究開発では、70MPa高压容器以上の体積貯蔵密度を有し、かつ、より低压での水素貯蔵を可能とする水素吸蔵合金と高压複合容器を組み合わせたハイブリッド水素貯蔵タンクの開発を実施し、開発したハイブリッド貯蔵タンクの性能試験・安全性試験を実施する事を目的としている。

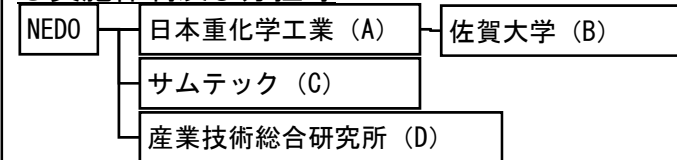
●研究目標

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
(A)ハイブリッド貯蔵タンク用MHカートリッジの開発	MHカートリッジの設計・製作・MHの低コスト化	性能向上、安全性試験の実施
(B)計算による熱伝導構造の最適化	シミュレーションの精度向上	シミュレーションを用いた最適化
(C)ハイブリッド貯蔵タンク用広口高压タンクの開発	広口高压タンクの設計・製作	性能向上、安全性試験の実施
(D)ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発	Ti-Mn-V系水素吸蔵合金の開発	性能向上、耐久性試験の実施

【ハイブリッド貯蔵タンクの開発目標】

- 1)水素容積貯蔵密度は、28g/L以上(中間目標)、34.5g/L以上(最終目標)
- 2)水素充填時間は、90%/10min.以内(中間目標)、90%/5min.以内(最終目標)
- 3)水素吸蔵合金の吸蔵量:2.7mass%(中間目標)、3.0mass%(最終目標)
- 4)水素吸蔵合金のコスト ¥10,000以下(中間目標)、¥3,000円/kg(最終目標)

●実施体制及び分担等

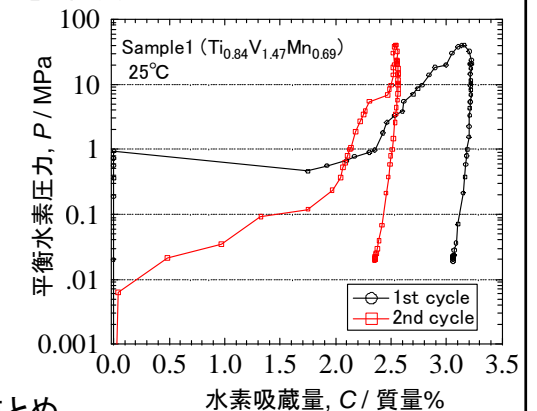


●これまでの実施内容／研究成果

高融点金属であるVを多く含むMHの量産性の検討のため、コールドクルーシブル炉での溶解をトライし、量産規模で溶解可能なことを確認した。2本のタンクで5kgの水素を貯蔵することを想定(現状のMHでは4kg)し、内容積を50L、車載を想定して全長を1m未満として、ハイブリッド貯蔵タンクを設計・製作した。水素吸蔵試験を今後、実施する予定であるが、容積貯蔵密度は70MPaの高压容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発した。今後、性能試験、安全性試験を実施する予定である。また、性能試験の結果、充填性能を向上させたハイブリッドタンクを今年度、製作し、中間目標値の90%/10min.を目指す。



新規容器のスペック	(一部は設計値)
内容積(L)	50.8(L)
外容積(L)	66(L)
高压容器質量	29.6(kg)
MHカートリッジ質量	68.2(kg)
水素重量(kg)	2.0(kg)
体積貯蔵密度	31(g/外容積-L)
質量貯蔵密度	2.0(%)



●今後の課題

／スケジュール(H24年度まで)

- ・性能試験の実施、熱交換器の改良
- ・安全性試験の実施
- ・体積貯蔵密度を追求したハイブリッド貯蔵タンクの設計・製作
- ・低コスト化・高性能化

●実用化・事業化の見通し

質量貯蔵密度は高压容器に劣るが、ハイブリッド貯蔵容器の利点である体積貯蔵密度の高さを生かした車両への適用が期待されている。今後も「技術課題」の解決に取り組み、実用化を目指し、FCVの2025年の自立拡大開始に間に合うよう開発を継続する必要がある。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(A)ハイブリッド貯蔵タンク用MHカートリッジの開発	中間目標を超える体積貯蔵密度を有するタンクを開発	○
(B)計算による熱伝導構造の最適化	MH充填層の圧力損失係数の測定を実施した。	○
(C)ハイブリッド貯蔵タンク用広口高压タンクの開発	中間目標を超える体積貯蔵密度を有するタンクを開発	◎
(D)ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発	中間目標を超える水素吸蔵量を有する合金を合成した。	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	1	14	0

開発項目 「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／車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発」

実施者：サムテック（株）、日本重化学工業（株）、（独）産業技術総合研究所

1. 事業概要

本事業は、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」を対象として、車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術の低コスト化、コンパクト化および高耐久性に関する機器および市場立ち上げ時期に必要なシステムの仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、実際の充填や輸送を模擬した条件下における性能検証・評価を実施する。

具体的には、燃料電池車の燃料装置用容器として期待されている「水素吸蔵合金と高圧水素ガスによる水素貯蔵方式を組み合わせたハイブリッド貯蔵タンク」を対象に、70MPa の高圧水素容器以上の容器体積密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの開発及び実用的なハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発を行い、その性能評価と安全性評価を実施する。

2. 事業目標

本事業の平成 24 年度の開発最終目標は基本計画に掲げられているとおり、システムの仕様として、水素量／容積（内容積）／容器質量＝5kg／100L／165kg を前提とする。この目標値に外容積基準値を追加すると、水素量／容積（内容積）／外容積／容器質量＝5kg／100L／145L／165kg となり、本開発対象システムの最大の特徴である容器体積密度（外容積基準）は約 34.5g-H₂/L となる（5kg／145L＝34.5）。これは、競合する技術である 70MPa 高圧容器の容器体積密度を上回る目標値である。なお、H22 年度の間目標としては、下記の目標を掲げ、開発を推進している。

（平成 22 年度：中間目標）

- (i) 容器体積密度（システム） 28(g-H₂/L)以上（最高使用圧力：35MPa）
容器体積密度＝定格水素貯蔵量(g)/ハイブリッド貯蔵タンクの外容積(L)
以下、容器体積密度は外容積を基準とする。
参考値：1)平成 17～19 年度、NEDO 事業でのハイブリッドタンクの実績値：26(g-H₂/L)
2)70MPa 高圧容器(35MPa 容器の 1.3 倍の貯蔵量と仮定し計算)：24(g-H₂/L)
- (ii) 水素充填時間（システム）
10 分間で定格水素貯蔵量の 90%以上の量を貯蔵できること
- (iii) 実用的水素吸蔵合金の水素貯蔵量
2.7mass%
- (iv) 水素吸蔵合金のコスト
10,000 円/kg 以下のめどを立てる（現状 30,000～40,000 円/kg）

3. 事業成果

2本のタンクで 5kg の水素を貯蔵することを想定（現状の MH では 4kg）し、内容積を 50L、車載を想定し、全長を 1m 未満として、ハイブリッド貯蔵タンクを設計・製作した。水素吸蔵試験を今後、実施する予定であるが、容積貯蔵密度は 70MPa の高圧容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発した。今後、性能試験、安全性試験を実施する予定である。

表 3.1 新規試作容器スペック（一部は設計値）

内容積(L)	50.8(L)
外容積(L)	66(L)
高圧容器質量	29.6(kg)
MHカートリッジ質量	68.2(kg)
水素重量(kg)	2.0(kg)
体積貯蔵密度	31(g/外容積-L)
質量貯蔵密度	2.0(%)



図 3.1 開発したハイブリッドタンク

I ハイブリッド貯蔵タンク用広口高压タンクの開発 (サムテック株式会社)

(1)性能向上開発

ハイブリッド貯蔵タンクの高性能化に焦点を絞り、広口高压タンクの開発を行った。新規試作容器の概要を図 3.1-2 に示す。今回の開発するハイブリッド貯蔵タンクは、中間目標である体積貯蔵密度 (外体積) 28[H₂-g/L]を達成でき、31[H₂-g/L]となる。

今回試作するハイブリッド貯蔵タンクは、70MPa 高压タンクよりも多くの水素を貯蔵できるため、破裂試験および常温サイクル試験の基準は、70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (仮称) を参考にした。主要要素技術開発成果を以下に示す。

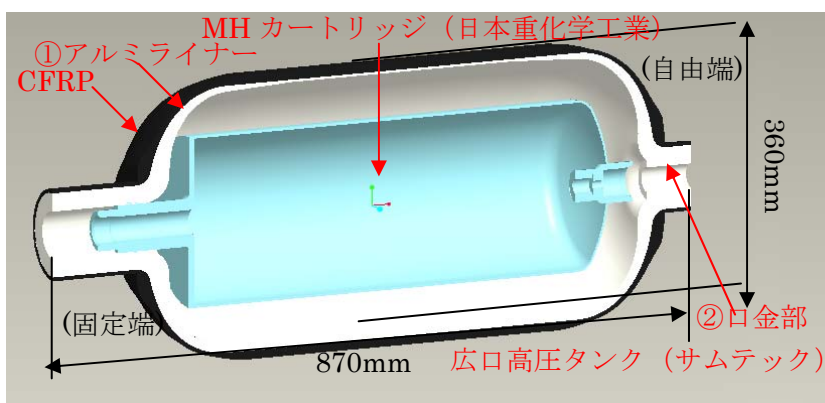


図 3.1-2 三次試作容器の概略図

①熱処理不要なアルミライナーの開発

ハイブリッド貯蔵タンクの性能 (充てん速度) 向上を図るために、MHカートリッジの設計自由度を向上できる熱処理不要なアルミ材料を用いた容器開発を行った。小型試験容器を用いた評価の結果、熱処理不要なアルミ材料をハイブリッド貯蔵タンクに適用する場合、応力設計は従来材料と比べ、1割程度低く設定する必要があるものの、ハイブリッド貯蔵タンクの性能としては、同等であることが確認できた。

②容器口金部の見直しによる軽量化

固定端側は、ライナーで MH カートリッジを保持しているが、自由端側は、プラグおよび口金部で保持するために、シールへの負担が大きいことがわかった。これより、三次試作容器においては、MH カートリッジの保持方法を見直すことにより、自由端側の口金部の径を小さくすることにより、シールへの負担を軽減し、軽量化を達成した。

(2)安全性確認・評価試験

前事業より、ハイブリッド貯蔵タンクの安全性について、車載用高压水素容器の技術基準 (JARIS 001) に基づく評価試験を進めてきた (バースト試験、常温サイクル試験、極端温度試験、火炎暴露試験は前事業で実施済み)。本事業では、JARIS001に基づいて落下した広口高压タンクと従来仕様のハイブリッド貯蔵タンクの損傷について、各容器を耐圧試験圧力まで加圧し、その際のひずみ測定から剛性の低下率を算出することで評価した。

この結果、図3.2-1のようにハイブリッド貯蔵タンクは広口高压タンクと比べて約2倍剛性が低下していることがわかった。これより、ハイブリッド貯蔵タンクの耐衝撃性の評価として、通常の高圧タンクと同じ評価方法の適用は困難であることがわかった。

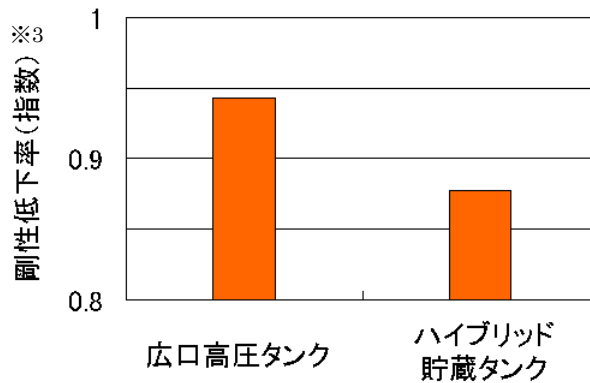


図 3.2-1 剛性低下比較

※3 剛性低下率(指数) = 各容器の損傷していない箇所の弾性率を1とした時の損傷した場所の弾性率の指数

II ハイブリッド貯蔵タンク用 MH カートリッジと水素吸蔵合金の開発

(日本重化学工業株式会社)

① ハイブリッド貯蔵タンクの基本諸元の策定

昨年度検討した結果、コストの観点からは低圧化することにより、FRP の肉厚の減少や熱交換器の材質の薄肉化等が可能となり、低コスト化が可能となるが、現状、室温で使用可能な水素吸蔵合金 (2.2~2.4mass%) を考慮すると、体積貯蔵密度、重量貯蔵密度の観点からは 35MPa が最適な圧力となる事を確認した。そこで貯蔵圧力を 35MPa とし、内容積を 100L とした場合、50L とした場合のアルミライナー+CFRP の設計を共同実施先であるサムテックにて設計し、その広口高压容器に対して、MH カートリッジの基本設計を実施した (図 3.2-1、2 参照)。中間目標である 28g/L を超える貯蔵密度とするには、100L タンクの場合には MH カートリッジの重量が 140kg 程度となる。100kg を超える MH カートリッジをハイブリッド貯蔵タンク内部に保持するためには、アルミライナーの肉厚を増加する必要があり、現時点の水素吸蔵合金の吸蔵量では、現実的でない設計となってしまう。そこで、ハイブリッド貯蔵タンクの基本諸元としては、充填圧力を 35MPa、内容積を 50L として、設計を実施することとした。

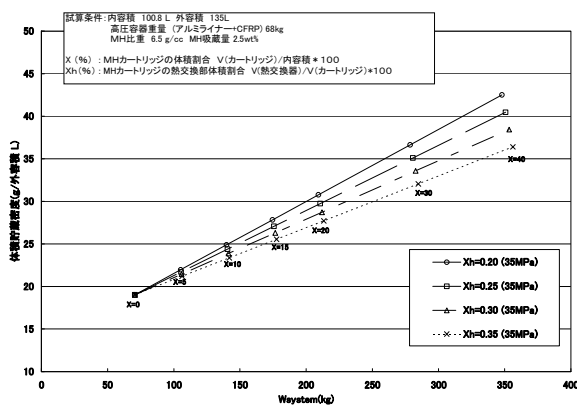


図 3.2-1 体積貯蔵密度 (内容積 100L)

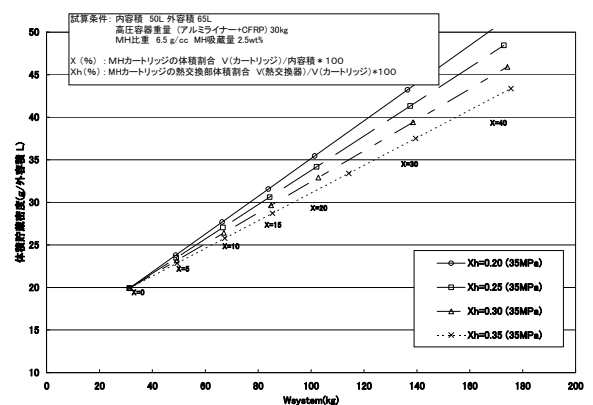


図 3.2-2 体積貯蔵密度 (内容積 50L)

② 小型フランジ容器による水素吸蔵特性評価

ハイブリッド貯蔵タンクに求められる性能の一つに水素スタンドでの急速充填性能があげられる。本プロジェクトでは、中間目標として 90%/10min の性能の達成を目標に MH カートリッジの熱交換器の検討を実施している。前事業では、MH の吸蔵反応時の反応熱を除去するため、熱媒管を MH カートリッジの外筒の周囲に溶接加工し、合金層の発熱を熱媒管へ伝えるために、合金層内部にアルミニウムフィンを設置した熱交換器を採用した。その結果、水素吸蔵特性は 81%/10min であり、目標を達成するためには、更なる伝熱効率の向上が必要とされている。そこで、MH の反応熱を直接、

熱媒管へ効率良く伝えるために、熱媒管を合金層内部に設置する構造について小型フランジ容器を用いて検討した。具体的には、熱媒管にアルミ製のエロフィン巻きつけた熱交換器を製作し水素吸蔵特性試験を実施した。実験結果より 10 分間に熱媒管の管壁からどの範囲まで反応が進んでいるかを熱電対の測定結果、水素吸蔵量から算出した。今後、これらの結果を元に、熱交換器を最適化した MH カートリッジの設計・製作を実施し、中間目標値の達成を目指す。

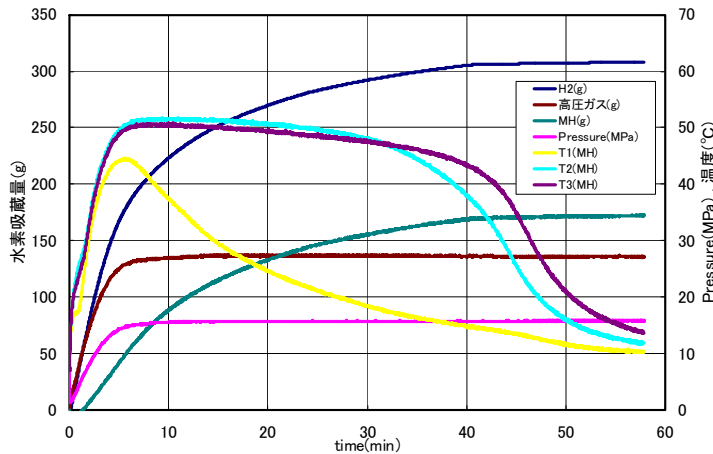


図 3.2-3 フランジ容器を用いた水素吸蔵特性評価



図 3.2-4 熱交換器 (小型フランジ容器)

② 水素吸蔵合金の開発

MH カートリッジに、水素吸蔵合金を充填した状態で工程を進める場合、水素吸蔵合金にはアルミライナー加工時の熱負荷や、熱処理による熱負荷がかかる。その影響を調査するため、アルミライナーの加工工程における影響を調査した。その結果、ライナーのスピニング加工後に取り出した水素吸蔵合金の水素吸蔵量は、熱処理工程を経していない合金との差は無く、スピニング加工における熱影響は無かった。しかし、その後の T6 処理まで行くと、水素吸蔵量が減少した。水素吸蔵量の減少は、酸素濃度測定の結果、熱処理中に水素吸蔵合金の表面が酸化したことによるものと考えられる。熱処理の影響を排除するためには、スプレーでの急冷処理や熱処理の必要の無い材料の検討が必要である。

また、量産化技術の検討を行うため、V 等の活性な高融点金属の溶解に用いられているコールドクルーシブ炉での溶解をトライし、量産性の検討を実施した。溶解に用いた炉は鉄換算で 10 kg 規模の CCM 炉であり、溶解量を 7kg とし、溶解を実施した。CCM 炉による溶解は水冷銅るつぼ内にて実施するため、初回の溶解時にるつぼ底面に凝固相 (スカル) が残存するが、化学分析の結果、ほぼ目標組成どおりに溶解できることを確認した。また、アーク溶解法では酸素濃度が 1000~2000ppm であったのに対し、CCM 炉の溶解では、原料の酸素濃度と同等の 400ppm 程度であった。量産試験の結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標である ¥10,000 以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の使用について検討が必要。

Ⅲ 計算による熱伝導構造の最適化 (国立大学佐賀大学：日本重化学より再委託)

前事業において、模擬的な 3 次元モデルを用いた水素吸蔵特性のシミュレーションを実施し、熱交換器を設計したが、実験データとの差異があり、目標の吸蔵特性を達成することができなかった。その差異の要因として、合金層の圧力損失の影響を考慮していなかったことが原因の一つではないかと考えた。そこで、昨年度、圧力損失の影響を考慮したシミュレーション方法を検討した。そのシミュレーション手法から予

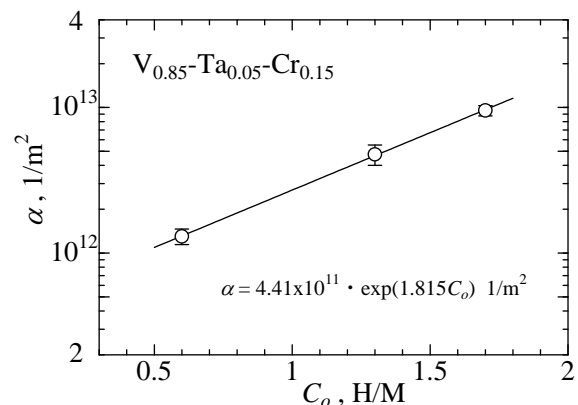


図 3.2-5 圧力損失係数の測定

測された圧力損失係数の値は $3.8 \times 10^{16} [1/m^3]$ であった。今年度は、水素吸蔵状態の圧力損失係数を実験的に求める装置を設計・製作し、シミュレーションで予測された値との比較を実施した。実験により観測された圧力損失係数の値は $10^{13} [1/m^3]$ のオーダーであった。この結果より、シミュレーションと実験結果との差異の原因を全て圧力損失の影響であるとは言えないことが確認できた。今後、その他の要因について調査し、シミュレーションコードの精度を向上し、熱伝導構造の最適化を実施する。

IV ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発 (独立行政法人産業技術総合研究所)

現在ハイブリッド貯蔵タンクに用いられている水素貯蔵材料は、過去に産業技術総合研究所がトヨタ自動車との共同研究により開発した体心立方 (BCC) 構造をもつチタン系合金がベースとなっている。Ti-V-Mn 系 BCC 合金は水素化によって BCC 相および 2 つの面心立方 (FCC) 相の 3 種類の水素化物相を生成する。本研究では、これら 3 種類の水素化物間の水素吸蔵放出を利用することで高い水素貯蔵量を目指した。また、Ti-V-Mn 系合金は合金の組成によって BCC 相の他に C14 型ラーベス相を生成する。我々は本研究課題開始以前に BCC 相が C14 型ラーベス相に比べて高い水素貯蔵量をもつことを明らかにしており、平成 20 年度より BCC 相を主たる成分とする合金の開発を進めてきた。図 3.4-1 は $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}$ 、 $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}$ および $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}$ 合金の 25°C における水素圧力 (P) - 組成 (C) 等温曲線を示したものである。 $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}$ 合金は、25°C において中間目標である 2.7 質量%を越える 3.2 質量%の水素を吸蔵したが放出はほとんど観察されなかった。この合金は 120°C で水素を放出した後であれば再び 25°C において 2.6 質量%の水素を吸蔵することが分かった。他方、 $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}$ 合金は吸蔵した水素の約 40%、 $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}$ 合金はほぼ 100%の水素を 25°C において放出した。X 線回折実験により、 $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}$ 合金は BCC 単相合金であることが、 $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}$ および $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}$ 合金は BCC 相および C14 型ラーベス相からなる 2 相合金であることが分かった。現時点ではその機構は不明であるが、C14 型ラーベス相が BCC 相に共存した合金では室温付近で水素放出が観察されることが分かった。

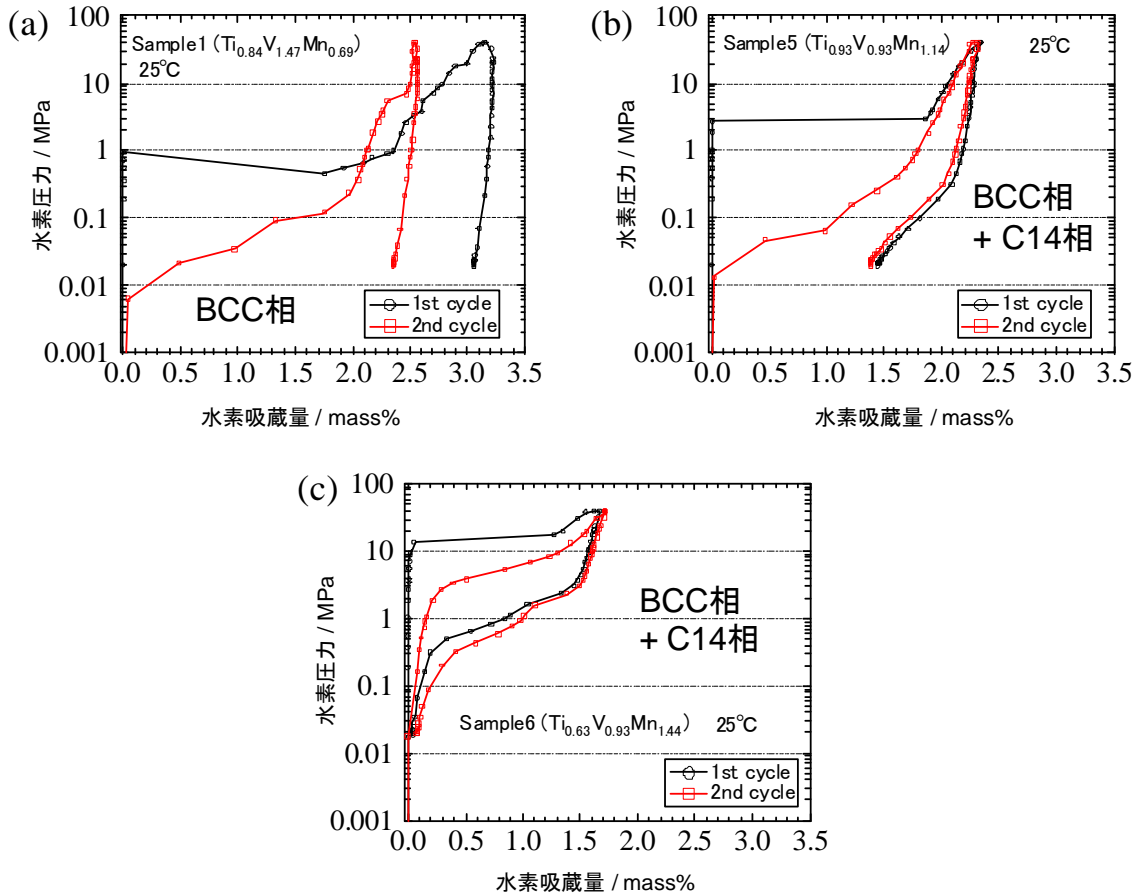


図 3.4-1 : (a) $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}-H_2$ 、(b) $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}-H_2$ および(c) $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}-H_2$ 系の 25°C における PC 等温曲線。

特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	件	0件	4件
H21FY	2件	0件	0件	1件	0件	9件
H22FY	0件	0件	0件	件	0件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

ハイブリッド貯蔵タンクの開発では、2本のタンクで5kgの水素を貯蔵することを想定（現状のMHでは4kg）し、内容積を50L、車載を想定して全長を1m未満として、ハイブリッド貯蔵タンクを設計・製作した。水素吸蔵試験を今後、実施する予定であるが、容積貯蔵密度は70MPaの高圧容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発した。今後、性能試験、安全性試験を実施する予定であり、急速充填試験を実施し、性能を改善したタンクの設計・製作を今年度中に実施する予定である。

安全性については、落下試験後のハイブリッド貯蔵タンクと落下試験後の通常の高圧容器（Type-3）を耐圧試験圧力まで加圧し、その際のひずみ測定から剛性の低下率を算出したところ、ハイブリッド貯蔵タンクは広口高圧タンクと比べて約2倍剛性が低下していることがわかった。

水素吸蔵合金の開発に関しては、種々の組成をもつTi-V-Mn系合金を合成して、その水素吸蔵放出特性を明らかにした。その結果、水素貯蔵量の間目標である2.7質量%を上回る合金の合成に成功した。現時点では室温付近でのこの合金の水素放出は確認されていない。Ti-V-Mn系合金は組成を変化させることによりBCC（体心立方）相の他にC14型ラーベス相を生成させることができる。これまでに、BCC相およびC14型ラーベス相が共存した合金では室温付近での水素放出を観察できたため、今後はBCC相およびC14型ラーベス相からなる2相合金を合成して、水素貯蔵量および水素吸蔵放出圧力を最適化する予定である。特に、合金が室温付近で繰り返して水素を吸蔵放出することを目指して、水素放出過程の平衡水素圧力を上昇させることが課題である。

5. 実用化・事業化見通し

体積貯蔵密度に関して、70MPaの高圧容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発できたが、実用化へ向けての課題として、コスト低減や安全性評価方法の確立が必要である。コスト低減に関しては、高圧容器（Type-3,Type-4）の低コスト化の課題と共通するが、安価な炭素繊維の採用、製造コストの低減等があげられる。また、水素吸蔵合金の高容量化及び低コスト化も課題である。

安全性評価方法については、高圧ガス保安法や道路運送車両法への対応が必要となる。落下試験、水素吸蔵合金の膨張・収縮による影響、振動試験の影響等、従来の高圧容器の安全性評価だけでは評価できない項目について整理し、安全性に関するデータを蓄積する必要がある。

現時点では、重量貯蔵密度は複合容器に劣るが、ハイブリッド貯蔵容器の利点である体積貯蔵密度の高さを生かした車両への適用が期待されている。今後も「技術課題」の解決に取り組み、実用化を目指し、FCVの2025年の自立拡大開始に間に合うよう開発を継続する必要がある。

2. 2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」

- Ⅱ－1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発
(実施者：東京ガス(株)、日本特殊陶業(株))
- Ⅱ－2 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発
(実施者：三菱化工機(株))
- Ⅱ－3 CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発
(実施者：(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、
(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ)
- Ⅱ－4 ホウ素系水素貯蔵材料の開発
(実施者：(株)豊田中央研究所、(国)東北大学)
- Ⅱ－5 ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発
(実施者：日本重化学工業(株))
- Ⅱ－6 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスプレイの開発
(実施者：(株)タツノ)
- Ⅱ－7 70MPa 級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発
(実施者：J×日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株))
- Ⅱ－8 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発
(実施者：(財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、アズビル(株)、
(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所)
- Ⅱ－9 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発
(実施者：清水建設(株)、岩谷産業(株))
- Ⅱ－10 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発
(実施者：(株)神戸製鋼所)
- Ⅱ－11 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制
見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発
(実施者：新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構)
- Ⅱ－12 水素用アルミニウム材料の評価・開発
(実施体制：(国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所)

(II-1) 水素分離型リフォーマーの高耐久性・低コスト化研究開発

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度予定)

テーマ(i) 水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発

- ・水素製造モジュール単体において、膜反応器用のPd合金水素分離膜としては他の研究例(数百時間レベル)を大幅に上回る**1300時間超**の耐久性を実証した。
- ・40Nm³/h級水素分離型リフォーマシステム(世界で唯一、実証レベルにあるシステム)において、安定性の向上を図ることにより、**8000時間超**の運転時間を実証した。

テーマ(ii) 触媒一体化モジュールの研究開発

- ・触媒機能を持たせたセラミックス支持体+めっき膜から構成され、量産による低コスト化が見込める「触媒一体化モジュール」の製造技術を確立した。
- ・モジュール単体(電気炉試験)で**8000時間超**の耐久性を実証した。ガス燃焼炉では、現在試験を継続中であり、来夏に8000時間に到達する予定。

●背景/研究内容・目的

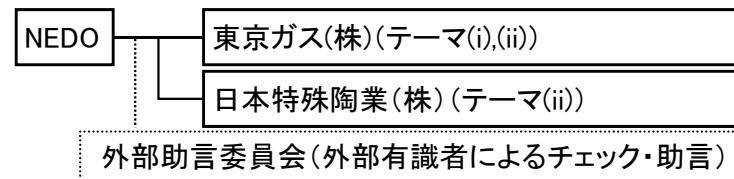
FCVと水素供給インフラの普及には、水素製造装置の高効率化・低コスト化・コンパクト化が必要である。なかでも、装置稼働率が上がるFCVの本格普及期には、高効率化が水素製造コストを下げるための最も重要な要素となる。

本事業は、前事業で高効率・コンパクトを実証した「水素分離型リフォーマー」について、高耐久性・低コスト化研究開発を行うものであり、FCVの本格普及期(平成32年頃～)に実用化・事業化することを想定し、平成24年度末に実証機の開発を開始(平成27年度に実証試験を開始)できるレベルの技術の確立を目的とする。

●研究目標

項目	目標内容
A	【連続改質耐久性】8000時間以上の運転経過後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。(i)(ii)
B	【起動停止耐久性】12回起動以上の停止後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。(i)(ii)
C	【運転安定性】システムとして、8000時間以上の運転が可能であることを実証。(i)
D	【概念設計】100～300Nm ³ /h規模のシステム概念設計を行う。条件は、
E	D: 水素製造効率≥80%HHV
F	E: 設備サイズ≤10m ³ F: 設備コスト≤30万円/Nm ³ -h

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容/研究成果

テーマ	実施内容	研究成果
(i)	水素製造モジュールの耐久性を向上させ、システムの長期耐久運転を実証。	電気炉で 1300時間超 の耐久性を実証済。システムで 8000時間超 の耐久性を実証済。
	オフガス中CO ₂ の分離回収を実証。	わずか3%ポイントのエネルギーロスで、CO ₂ を液化分離し、オフガス中のCO ₂ の90%以上を回収した。分散型水素製造としてのCO ₂ 回収実証は 世界初 。
(ii)	触媒一体化モジュールの製造技術を確立。	電気炉で 8000時間 の耐久性を実証済。
	ガス燃焼炉を製作し、耐久試験を実施。	1300時間 の耐久性を実証し、試験継続中。
共通	効率計算のプロセスシミュレーションを実施。	スケールアップした際の効率向上分を予測。
	触媒一体化モジュールを前提とし、コンパクト・低コストなシステム概念設計を実施。	補機について一定のコンパクト化・低コスト化を見込んだうえで、目標サイズ・コストへの見通しを得た。

●今後の課題

- ・8000時間耐久試験後の水素製造モジュールを分析することにより、さらに長期の耐久性が見通せるかを調査・検討する。

●実用化・事業化の見通し

- ・テーマ(i)で得たシステムレベルでのノウハウを活かし、テーマ(ii)で開発した低コストな水素製造モジュールを用いて、速やかに実用化開発に移行する*1。
- ・水素性状に関するISO基準に対応する*2。
- ・本事業の実施項目外であった補機についても、最適機種を選定、あるいはよりコンパクト、低コスト、高効率な補機の開発を行う。

(*1, *2: 詳細は事後評価分科会で報告)

●研究成果まとめ

項目	成果内容	自己評価
A	(i) 8000時間超 の耐久性を実証済。	○
	(ii) 1300時間 を経過し、試験継続中。来夏8000時間に到達予定。	○ 予定
B	(i) 目標を大幅に超える耐久性(起動停止97回)を実証済。	◎
	(ii) 12回 の耐久性を実証済。	○
C	(i) 8000時間超 の耐久性を実証済。	○
D/E/F	所定の条件で概念設計を実施済。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
19	9	46	12

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 水素製造機器要素技術に関する研究開発 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発」

実施者： 東京ガス株式会社
日本特殊陶業株式会社

1. 事業概要

将来の燃料電池自動車等の本格普及に向けては、先行して水素供給インフラの整備が必須であり、2015（平成 27）年頃より、水素供給インフラの立上げが期待されている。水素供給インフラの立上げおよびその拡大に際しては、安定かつ低価格な水素製造法の早期の確立が求められているが、その最も有力な候補が、炭化水素系燃料を水蒸気と反応させて水素を生成させる水蒸気改質法である。なかでも、水素分離型リフォーマーは、従来のリフォーマーと比較して、最も高効率に水素を製造することが可能であるだけでなく、シンプルかつコンパクトという特長を有している。燃料電池自動車の本格普及期には、水素供給インフラの稼働率が上がることが想定されるため、水素製造効率が特に重要な要素となる。

本事業は、実用的な燃料である天然ガスを用いた水素分離型リフォーマー技術に関するものであり、燃料電池自動車の本格普及期（平成 32 年頃～）に実用化・事業化することを想定し、平成 24 年度末に実証機の開発を開始（平成 27 年度に実証試験を開始）できるレベルの技術の確立を目的としている。具体的には、平成 17 年度～19 年度までの前事業「水素安全利用等基盤技術／水素インフラに関する研究開発／高効率水素製造メンブレン技術の開発」において得られた成果を活用しつつ、水素分離型リフォーマーの高耐久化と低コスト化を目指して、以下の 2 テーマを実施する。

- (i) 水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発
- (ii) 触媒一体化モジュールの研究開発

2. 事業目標

下記 A、B について、電気炉およびガス燃焼式リフォーマー（試験用小容量リフォーマーを含む）で達成する。C については、前事業で開発した 40 Nm³/h 級システムを用いた長期運転試験により検証する。また、D～F については、普及機を想定した 100～300 Nm³/h 規模へスケールアップしたシステムの概念設計による検証を目標とする。

なお、B については、起動停止時間に関する目標を達成したうえで、起動停止回数に関する目標に変更した。これは、水素分離型リフォーマーは、実用化時においては、稼働率が高くなり、ほぼ連続運転（起動停止回数は最大でも月 1 回）になることが想定されるためである。

- A 高耐久性： メンテナンス回数を 1 回／年以下とするための長期耐久性を持つ水素分離膜モジュールを開発すること。（指標としては、リフォーマーレベルでの耐久試験を実施し、8000 時間以上の運転経過後においても、水素純度 99.99%以上を維持するものとする）。
- B 起動停止回数： メンテナンス回数を 1 回／年以下とするための起動停止耐久性を持つ水素分離膜モジュールを開発すること。（指標としては、リフォーマーレベルでの起動停止試験を実施し、12 回以上の起動停止後においても、水素純度 99.99%以上を維持しているものとする）。

- C 運転安定性： システムを構成する補機類について、メンテナンス回数を1回／年以下とするための耐久性を確認すること。(指標としては、日常的な簡易検査やメンテナンスを除いて、8000時間以上の運転が可能であることを実証するものとする。)
- D 水素製造効率： 水素製造効率が80%以上を達成可能であること。
- E 設備サイズ： 設備サイズが10m³以下を達成可能であること。
- F 設備コスト： 設備コストが30万円/Nm³・hを達成可能であること。

3. 事業成果

3.1 (i) 水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発

A 連続改質耐久性 (○達成)

・電気炉での耐久性実証

水素分離膜モジュール2本を組み込んだ反応管を用いて、膜モジュール単体レベル(電気炉)での連続改質試験を継続実施した。使用した膜モジュールは、前事業で開発した改良品であり、従来品から耐久性に悪影響を及ぼす膜材料中不純物を低減したものである。試験の結果、目標の8000時間を大幅に上回る13000時間にわたる試験後においても、製品水素純度は99.9968% (不純物濃度は32ppm)であった(図1)。この試験結果から、膜の高純度化によって大幅に耐久性向上がなされたことが確認された。

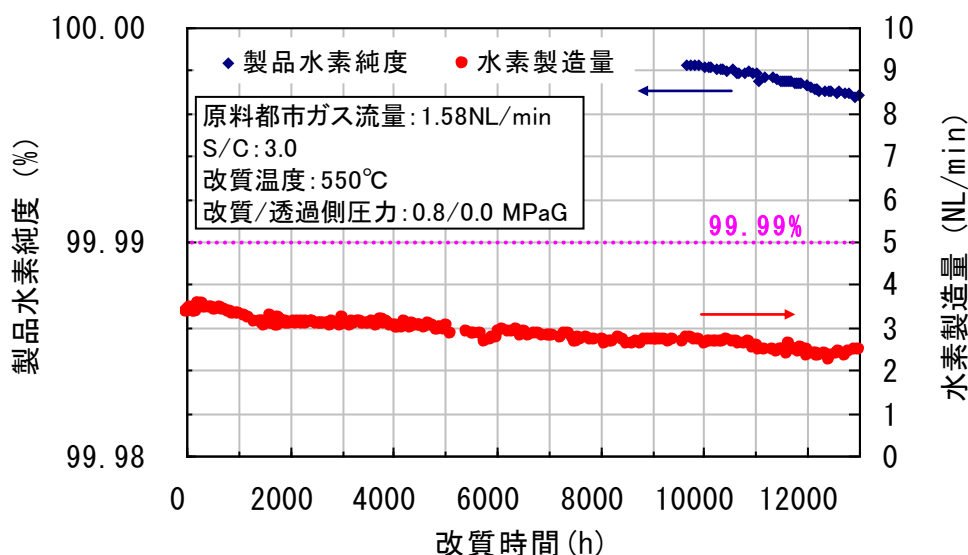


図1 モジュール耐久試験結果 (電気炉)

・ガス燃焼炉での耐久性実証

前事業で開発した40 Nm³/h級システム(図2)を活用し、ガス燃焼式リフォーマーによる加熱環境下での耐久試験を実施した。40 Nm³/h級システムは反応管ユニット16個から構成され、1つの反応管ユニットは前記水素分離膜モジュール16個を内蔵している。運転継続のため、途中で一部のユニットを交換したが、総運転時間、総改質時間とも8000時間超を実証した。こ

のとき、初期から交換していないユニットで製品水素純度 99.9943%（不純物濃度 57 ppm）を実証した。

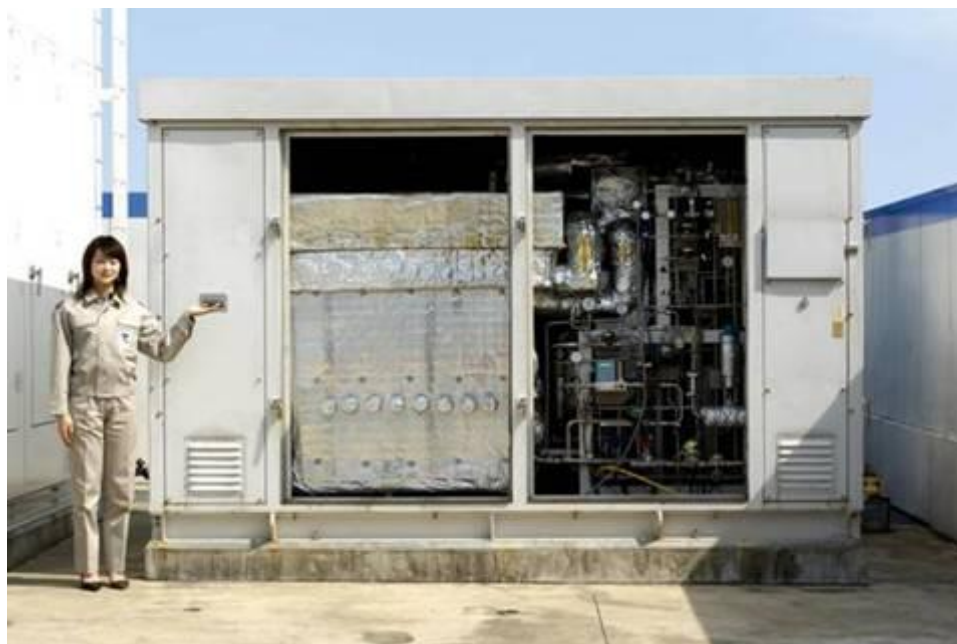


図 2 40 Nm³/h 級システム

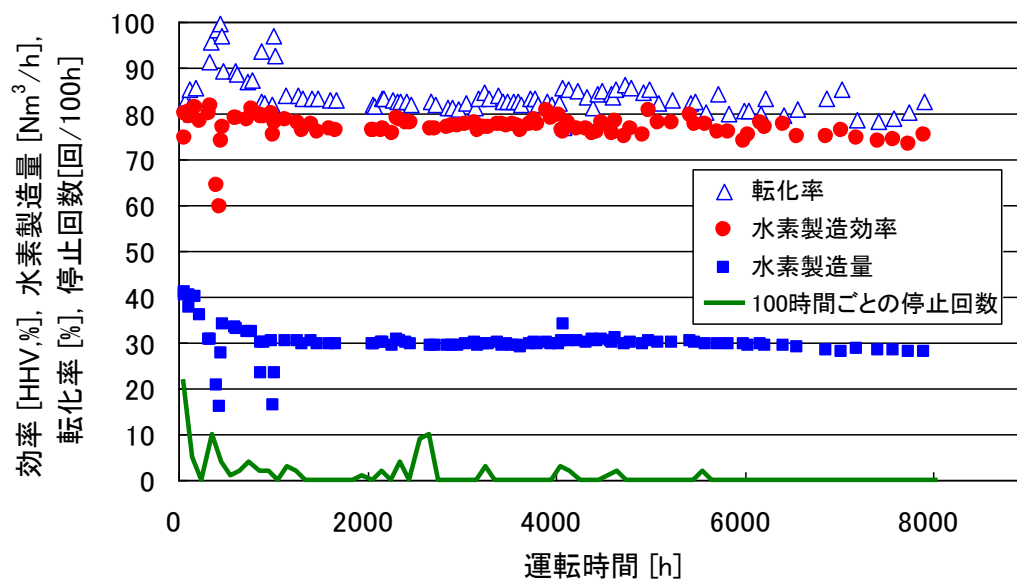


図 3 40 Nm³/h 級システム運転試験結果

B 起動停止耐久性 (◎大幅達成)

40 Nm³/h 級システム (図 2) の運転試験をもって、ガス燃焼式リフォーマー環境下での起動停止試験とした。起動停止回数は目標の 12 回を大幅に上回る 97 回を数えているが、製品水素純度は 99.99%以上を維持している。97 回の起動停止耐久性は、月一回のメンテナンスによる起動停止を想定すると、約 8 年間の耐久性を示すものである。

C 運転安定性 (○達成)

40 Nm³/h 級システム (図 2) の運転試験を行い、補機を含むシステムとして実使用環境下での耐久性を検証した。総運転時間、総改質時間は 8000 時間以上、起動停止回数は 97 回を数えているが、水素製造量、水素製造効率とも安定していた (運転時間 840 時間以前は負荷変動試験、以降は 75%負荷耐久運転を実施した) (図 3)。システムの信頼性に関しては、主に運転時間 2000~2500 時間において、ボイラーやフレアスタックなどの補機類で蒸気圧低下や失火などの不具合が発生したが、修理や改良の対策を行った結果、これらの補機類に起因する不具合 (異常停止) を低減することができた。特に、5500 時間~8000 時間では停止回数はゼロ回であり、長期の安定運転が可能であることが示された。システムトラブルに対する知見は、今後のシステム実用化開発で活用していく。

3.2 (ii) 触媒一体化モジュールの研究開発

A 連続改質耐久性 (○来夏確認予定)

・電気炉での耐久性実証

本事業の初期において、触媒一体化モジュールが 40 Nm³/h 級システムに搭載されている水素分離膜モジュールと同等の水素製造性能を有することを実証した。一方で、リーク (製品水素純度低下) という課題があることがわかり、結果的にはこれが触媒一体化モジュール開発における最大の課題であった。本事業においては、詳細にリーク箇所を分析することにより、リーク発生要因を解明し、各要因ごとに対策を実施した (図 4)。

リーク対策の効果は顕著であり、リーク対策後のモジュールを用いた連続改質耐久試験において、リークに対する耐久性が大幅に向上することを実証した (図 5)。ただし、このモジュールは、装置トラブルによる緊急停止の後、リークが大幅に増加してしまった。

このほかにも、緊急停止の後にリーク量が増大し、製品水素純度が低下する場面があることを確認している。この原因は、緊急停止操作 (一時、水蒸気によるプロセス側ページ処理) に起因する支持体中の Ni の水蒸気酸化の可能性が高い。Ni の水蒸気酸化のリスクを排除するために、水素透過方向を「内→外」から「外→内」に変更した連続改質試験では、複数回の緊急停止にもかかわらず、製品水素純度は高いレベルで安定しており、8000 時間の耐久性 (8000 時間経過後も製品水素純度は約 99.9989%) を実証済みである (図 5)。

・ガス燃焼式リフォーマー (試験用小容量リフォーマー) での耐久性実証

ガス燃焼炉での連続改質耐久試験については、当該試験用にリーク対策後のモジュールの開発・製造に長期間を要したことから、試験開始が遅れた。また評価装置のトラブル解消に時間がかかったことも、試験遅延の要因である。電気炉試験はモジュール 1 本を評価するものであ

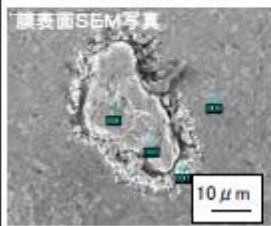
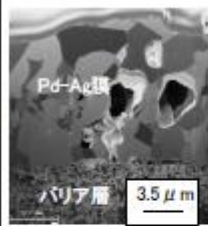

	リーク箇所写真	リーク発生要因	リーク対策
1	 <p>膜表面SEM写真 10 μm</p>	<p>・使用条件に起因</p> <p>外部からFe系の異物が膜に飛来・付着した結果、Pdと反応しポイド(カーケンダルポイド)を生じた。</p>	<p>試験用反応管内面からのFe系異物飛来を防止するため、試験用反応管内面をめっき処理した。</p>
2	 <p>Pd-Ag膜 バリア層 3.5 μm</p>	<p>・製造プロセスに起因</p> <p>水素分離膜製膜中に膜中空孔が生じ、使用中にリークに発展した。</p>	<p>めっき条件の適正化により、膜の密着性を向上した。</p>
3		<p>・製造プロセスに起因</p> <p>継手の異種材料間の熱膨張差等の影響で使用中にリークが発生した。</p>	<p>GFにガラスを併用してシール性を向上し、リークフリー化を実現した。</p>

図4 触媒一体化モジュールリークの原因と対策

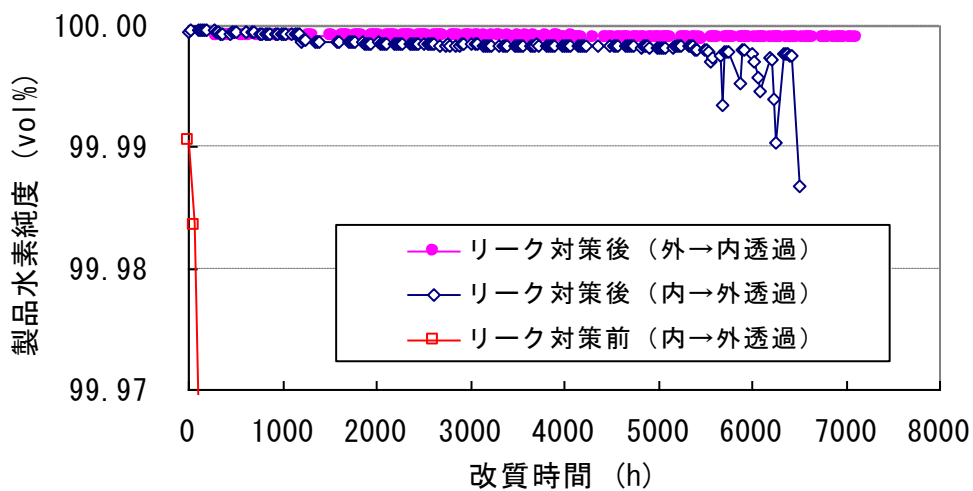


図5 触媒一体化モジュール耐久試験結果 (電気炉)

り、完成度の高い市販の試験装置を用いたため、装置トラブルは少ない。一方、ガス燃焼式リフォーマー試験は最大モジュール12本までを評価するものであり、試験装置を自作したため、装置トラブルが多い。さらに、装置トラブルにより、一度に多数のモジュールを破損することがあったことで、モジュール準備に時間を要した。

しかしながら、ガス燃焼炉での試験と電気炉での試験との間の本質的違いは、炉内温度分布の大小のみである。電気炉試験では容易に数℃程度まで温度分布を小さくできるのに対し、ガス燃焼炉では温度分布の低減は困難である。本事業では、ガス燃焼炉内の温度分布を、モジュール内温度差<50℃、モジュール間温度差<20℃まで低減した。また、電気炉による試験で、モジュールに最大300℃の温度分布を意図的に生じさせても、損傷を受けないこと、特にリークは発生しないことを別途確認している。したがって、ガス燃焼式リフォーマーでの試験も、モジュールの耐久性の観点からは、電気炉での試験と本質的に変わらないと考えられる。実際、ガス燃焼式リフォーマー試験において、電気炉での試験と同等の劣化ペースであることを確認している。したがって、リフォーマー試験においても、試験開始が遅れた事情はあるものの、来夏には電気炉試験と同様8000時間の耐久性を確認できる予定である。

B 起動停止耐久性 (○達成)

・電気炉での耐久性実証

リーク対策後のモジュールを用いて、起動停止を繰り返す試験を実施した(N=3)。その結果、全てのモジュールにおいて、目標である起動停止回数12回の後も、製品水素純度99.99%以上を維持していることを確認した。

・ガス燃焼式リフォーマー (試験用小容量リフォーマー) での耐久性実証

リーク対策後のモジュールを用いて、起動停止を繰り返す試験を実施した(N=3)。その結果、全てのモジュールにおいて、目標である起動停止回数12回の後も、製品水素純度99.99%以上を維持していることを確認した。

3.3 概念設計 (テーマ(i)(ii)共通)

D 水素製造効率 (○達成)

汎用プロセスシミュレーターを用いて、シミュレーションを実施した(図6)。シミュレーションにおいては、まず40Nm³/h級システムの運転をできる限り正確に再現できるようにパラメーター・フィッティングを行い、その後システムを普及機を想定した容量(100~300Nm³/h規模)へスケールアップした際の水素製造効率を計算した。一般に、スケールアップすると放熱ロス低減し、補機の効率は向上するため、水素製造効率はスケールアップ前よりも高くなる。

40Nm³/h級システムでは、前事業において、すでに80%HHVの水素製造効率を実証している。したがって、普及機を想定した容量(100~300Nm³/h規模)へスケールアップしたシステムに対して、シミュレーションによって得られる水素製造効率は、80%HHV以上となる。今後は、スケールアップにより水素製造効率をどの程度まで上げられるか、定量評価する予定である。

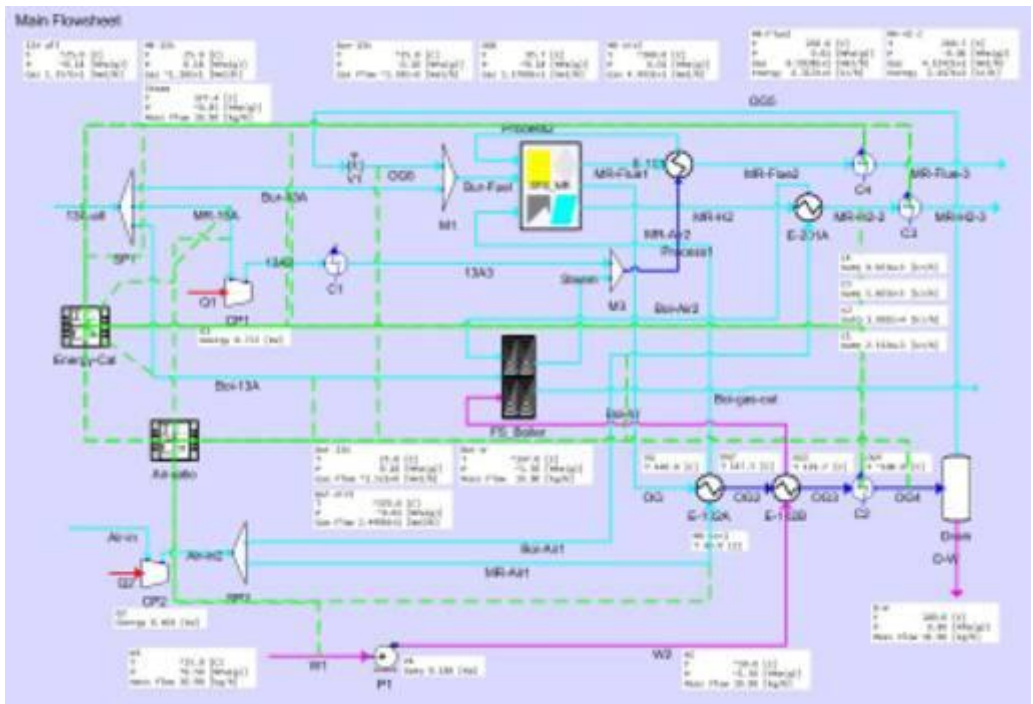


図6 40 Nm³/h 機プロセスシミュレーション

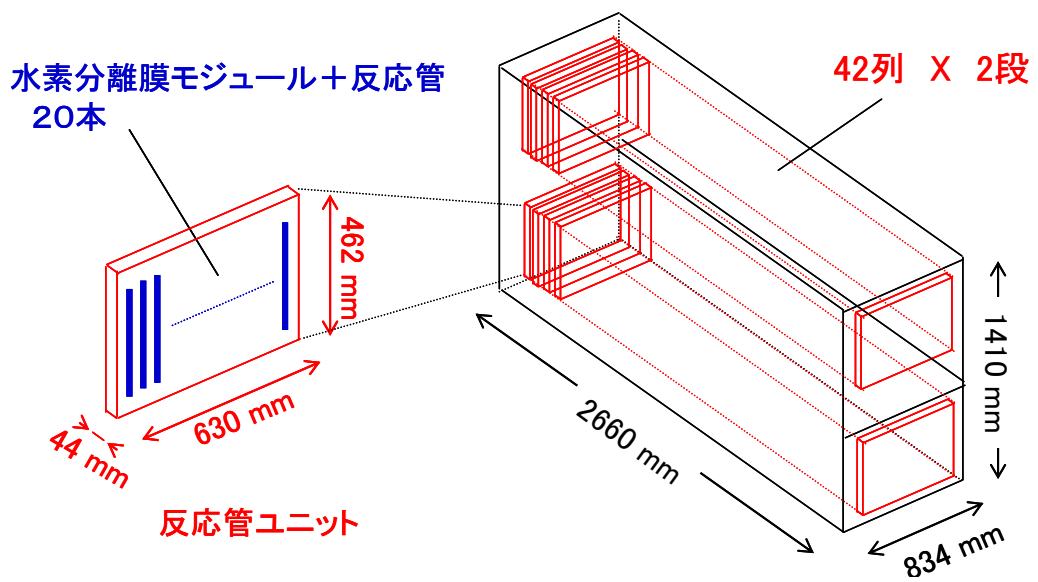


図7 リフォーマー炉サイズ概念設計

E 設備サイズ (○達成)

普及機を想定した容量としては最も小さい 100 Nm³/h 規模を前提として、設備サイズの試算 (概念設計) を行った。水素分離膜モジュールについて、コンパクト性に優れた「触媒一体化モジュール」のサイズを前提として、100 Nm³/h 級リフォーマー炉を概念設計した結果、リフォーマー炉のサイズを W2.05 (m) x D1.08 (m) x H1.41 (m) = 3.12 m³ となった (図 7)。補機については本事業の実施項目対象外であるが、普及機の実用化開発において補機についても相当のサイズダウンを行い、残り 6.18 m³ のスペースに入る補機を実現して、設備サイズ目標 (10 m³) を達成する。

F 設備コスト (○達成)

普及機を想定して設備コストの試算 (概念設計) を行い、1 Nm³/h あたりの設備コストに換算した。現状の 40 Nm³/h 級システムは水素分離膜モジュールのコストが高価になっており、これを低減することが目標コスト達成のための、最重要課題である。

40 Nm³/h 級システムで採用されている水素分離膜モジュールのコストが高い理由は、量産効果が見込めない構成である事である。これに対して、「触媒一体化モジュール」では、セラミックス製品の量産技術が適用できる構成であるため、コストダウンが期待できる。普及機を想定したモジュールコストを試算した結果、システム目標コスト (30 万円/ Nm³-h) の 30%以下となった (図 8)。補機については本事業の実施項目対象外であるが、普及機の実用化開発において相当のコストダウンを行い、残り約 70%のコスト (約 6300 万円@300 Nm³/h) まで補機コストを低減し、設備コスト目標を達成する。

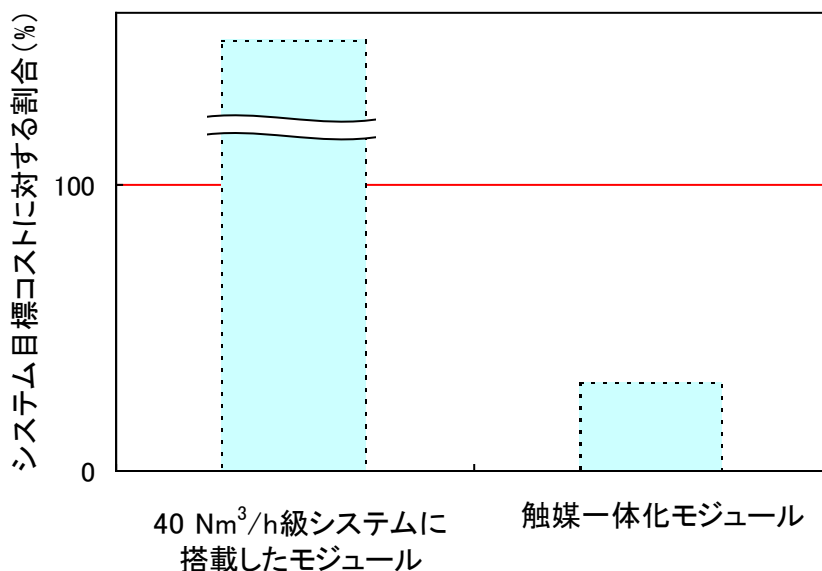


図 8 システム目標コストに対するモジュールコスト割合

3.4 その他（テーマ(i)(ii)共通）

1) CO₂回収実証（分散型水素製造としては世界初）

CO₂分離回収装置（図9）を製作し分散型水素製造として世界で初めてCO₂の分離回収を実証した。水素分離型リフォーマーは、オフガス（改質側ガスから、水素分離膜により水素を分離精製した残りのガス）中のCO₂濃度が高い（参考：LNG火力排ガス：3～4%、石炭火力排ガス：12～14%、PSAオフガス：40～45%）という特長がある。このため、オフガスを除湿した後、加圧・冷却して液化することにより、容易にCO₂を液化回収できる（図10）。本事業では、わずか3%ポイントのエネルギーロスでCO₂の液化回収まで成功し、その結果としてオフガス中のCO₂の90%以上を分離回収することができた。



図9 CO₂分離回収装置外観

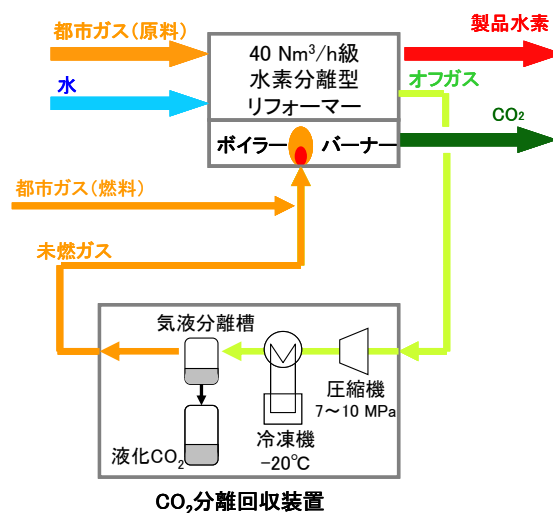


図10 CO₂分離回収フロー

2) 技術調査

多数の学会・国際会議（Fuel Cell Seminar & Exposition, HYPOTHESIS, International Conference on Catalyst in Membrane Reactors, NHA Hydrogen Conference and Expo, International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, World Hydrogen Energy Conference, World Hydrogen Technology Convention, International Gas Union Research Conference, Low Carbon Earth Summit, International Conference on Hydrogen Production）に参加し、水素分離型リフォーマーに関する情報収集を行った。

3) 特許・論文発表・外部発表・プレス発表

積極的に特許出願・論文発表・外部発表・プレス発表を行った。本事業に関わる特許、論文、外部発表（講演発表）、プレス発表の件数は表1のとおりである。

表1 特許・論文・外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読有り	査読無し	
H20年度	2	0	0	1	1	3件+ ⁷ 以発表9件
H21年度	7	0	0	0	2	13件
H22年度	2	0	0	0	1	10件
H23年度	4	0	0	3	1	14件+ ⁷ 以発表3件
H24年度	3	0	0	0	0	6件
合計	18	0	0	4	5件	46件+ ⁷ 以発表12件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

H24年10月10日現在

4) 外部助言委員会

外部有識者によるチェックと助言を得るため、伊藤直次教授(宇都宮大)、石原達己教授(九州大)、香川豊教授(東京大)を招き、外部助言委員会を計6回実施した。

4. 研究成果のまとめ及び今後の課題

目標に対する達成度を表2にまとめる。

表2 目標に対する達成度一覧

実施項目	最終目標	テーマ	成果内容	自己評価
A	【連続改質耐久性】 8000時間以上の運転経過後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。(i)(ii)	(i)	8000時間超の耐久性を実証済。	○達成
		(ii)	電気炉では8000時間超の耐久性を実証済。	○来夏確認予定
B	【起動停止耐久性】 12回起動停止後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。	(i)	目標を大幅に超える耐久性(起動停止97回)を実証した。	◎大幅達成
		(ii)	12回の耐久性を実証した。	○達成
C	【運転安定性】 日常的な簡易検査やメンテナンスを除いて、8000時間以上の運転が可能であることを実証。(i)	(i)	8000時間超の運転安定性を実証済。	○達成
D	【水素製造効率】 ≥80%HHV	共通	所定の条件で概念設計を実施。	○達成
E	【設備サイズ】 ≤10m ³	共通	所定の条件で概念設計を実施。	○達成
F	【設備コスト】 ≤30万円/Nm ³ -h	共通	所定の条件で概念設計を実施。	○達成

5. 実用化・事業化見通し

- ・ テマ(i)で得たシステムレベルでのノウハウを活かし、テマ(ii)で開発した低コストな水素製造モジュールを用いて、速やかに実用化開発に移行する。
- ・ 水素性状に関する ISO 基準に対応する。
- ・ 本事業の実施項目外であった補機についても、最適機種を選定、あるいはよりコンパクト、低コスト、高効率な補機の開発を行う。

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成23年度3月完了, 継続研究:平成23年9月～平成24年1月完了)

- ・FCV普及初期に向けた水素ステーション用水素製造装置の仕様を明確にした。
- ・プロセス検討、改質器構造の概念検討、模擬改質器燃焼試験、改質触媒試験により、改質効率85%、S/C2.5、改質器サイズ従来比1/5とする見通しを得た。
- ・水素PSAの検討により、PSA回収率90%、実規模システムサイズ従来比1/2とする見通しを得た。
- ・ステーション運用者視点での評価を反映した75Nm³/h水素製造装置試作機にて目標以上の改質効率(84.4%)を確認し、300Nm³/h商用機の改質効率目標(85%)の達成見込みを得た。

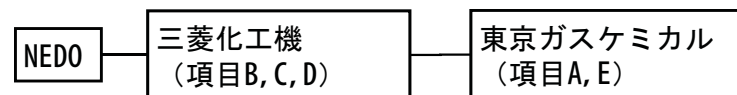
●背景/研究内容・目的

水素インフラの中心である水素ステーションを普及可能なものとするためには、水素製造装置の高性能化、低コスト化等に加えて、水素ステーションの運用に求められる起動時間の短縮化、首都圏等の狭小エリアへの設置等を想定した開発が必要である。FCV普及初期での事業化に対応した実用的な水素ステーション用水素製造装置を提供するため、水素製造装置仕様の明確化と装置仕様を満足する水素製造技術の確立を目的とする。

●研究目標

実施項目	最終目標
A.水素製造装置要求仕様の調査, 検討	装置仕様の確定
B.高性能反応器の開発	改質効率: HHV85%以上 スチームカーボン比: 2.5以下
C.高性能水素PSAの開発	水素回収率: 85% システムサイズ: 現状比1/3
D. 試作機の設計, 製作, 検証運転	製造効率: HHV77.5%以上 起動時間: 1時間
E. 試作機の設計, 検証運転のユーザ評価	試作機設計, 運転結果に対しユーザ視点で評価を行う。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- A. ・ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。
1) 装置能力: 300Nm³/h, 2) 装置コスト: 9000万円以下, 3) 設置スペース: 5.5m×10m(周辺スペース含む), 4) 起動時間 : 1時間(DSS運用)
 - B. ・改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。
・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価なNi系改質触媒にて S/C2.5以下での適用可能性を見出した。
・水素製造装置のプロセス検討により改質効率85%の見込みを得た。
 - C. ・吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率90%の見通しを得た。
・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比1/2とする見通しを得た。
 - D. ・水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。⇒継続研究にて2時間まで短縮した。
 - E. ・ステーション運用者の視点から試作機設計図書の見直し、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。
- さらに、300Nm³/h商用機試設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。



75Nm³/h試作機外観

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	水素製造装置仕様の明確化	○
B.	改質効率85%(HHV基準) S/C=2.5(Ni系改質触媒) 改質器サイズ従来比1/5	○
C.	水素回収率90% システムサイズ1/2	△
D.	製造効率79.2% 起動時間3時間⇒2時間	△
E.	ユーザ視点から試作機設計を評価検討し、設計に反映	○
商用機試設計	設置エリア: 10m×5.5m コスト: ≤9000万円	△

●今後の課題

試作機は「地域水素供給インフラ技術・社会実証(1)技術・社会実証研究」にて千住水素ステーションに設置され、実証運用を通し、長期性能、耐久性等を検証する。
コストは材料、生産から見直し、徹底的なコストダウンを図る。

●実用化・事業化の見通し

試作機の検証結果を元に、コストダウンを含め商用規模水素製造装置の商品化開発を進め、2015年頃までの先行整備期での市場投入を計画している。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	2	0

水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施者：三菱化工機株式会社

再委託先：東京ガスケミカル株式会社

1. 事業概要

現在、JHFC ステーションでは従来の工業用途向け水素製造装置を転用して実証中であるが、効率やコスト等未だ多くの解決すべき課題がある。水素インフラの中心である水素ステーションを普及可能なものとするためには、水素ステーション用として水素製造装置の高性能化、低コスト化等のための要素技術開発に加えて、水素ステーションの運用に求められる起動時間の短縮化、首都圏等の狭小エリアへの設置等を想定した開発が必要である。

本研究開発では、表1の研究開発を実施する。FCV 普及初期（2015年頃を想定）での事業化に対応した実用的な水素ステーション用水素製造装置に要求される性能、仕様をユーザの視点から調査、検討し、その結果により水素製造装置の仕様目標を明確にするとともに、改質器と水素 PSA の高効率化開発を軸とした研究開発を行い、試作装置による検証運転を実施し、その結果とユーザ視点での評価を商用水素製造装置の設計に反映させた。

表1 研究開発項目

研究開発項目	担当（再委託）
水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査、検討	（東京ガスケミカル株）
高性能反応器の研究開発	三菱化工機株
高性能水素 PSA の研究開発	三菱化工機株
水素製造装置試作機の設計、製作	三菱化工機株
水素製造装置試作機の検証運転	三菱化工機株
水素製造装置試作機のユーザ評価	（東京ガスケミカル株）

2. 事業目標

2-1 商用水素製造装置の目標仕様

水素ステーション用商用水素製造装置の想定目標仕様を表1の通り設定したが、各数値は、要求仕様の調査、検討の結果を反映させ、見直しを図った。

表2 商用水素製造装置想定仕様

	当初想定目標仕様	現状（工業用途向け）
水素製造能力	300Nm ³ /h	~200Nm ³ /h
改質効率（HHV 基準）	85%以上	75%程度
（製造効率（HHV 基準））	（80%以上）	（70%程度）
装置サイズ	20m ³ 以下	80m ³ 程度
装置コスト	90 百万円以下	180 百万円程度
起動時間	1 時間	4 時間程度
原料	13A 都市ガス	13A 都市ガス、LPG 等

2-2 開発項目の目標

本研究開発は、改質器と水素 PSA の高効率化開発を軸とした研究開発を行い、50Nm³/h 試作装置を設計、製作し、検証運転による成果の確認を実施する。各研究開発項目の目標は以下の通りである。

(1) 高性能反応器開発目標

- ①改質効率：85%以上（HHV 基準，300Nm³/h 相当商用機）
- ②S/C：2.5 以下（都市ガス原料では従来 3.0 程度）

(2) 高性能 PSA 開発目標

- ①水素回収率：85%以上（300Nm³/h 相当実用機）
- ②システムサイズ：現状の 1/3 以下

(3) 試作機開発目標

- ①水素製造能力：50Nm³/h
- ②改質効率：82.5%以上（HHV 基準）
- ③起動時間：1 時間

3. 事業成果

3-1 水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査，検討

天然ガススタンドの建設・運転管理・設備管理の経験を元に装置サイズ、コスト、メンテナンス方法、起動時間、ステーション運営に応じた装置の運転方法につき仕様を検討し、表 2 の通り目標仕様を決定した。

表 3 水素製造装置目標仕様

	目標仕様
水素製造能力	300Nm ³ /h
設置面積	10m × 5.5m (周囲スペース含む)
装置コスト	90 百万円以下
装置運用	起動時間 1 時間 DSS 運用

(1) 水素製造能力

既存給油スタンドの需要実績を参考とし水素ステーションでの車両充填スケジュールを仮定し、供給量および稼働率の点から装置能力を検討した結果、300Nm³/h が妥当と判断した。

(2) 装置サイズ

FCV 普及初期は既存天然ガススタンドを水素ステーションに置き換えることが主流になるものと想定し、既存天然ガススタンドの敷地面積を調査した結果、単独設置型天然ガススタンドの 80~90%は、その敷地面積が 450m²程度であった。この敷地面積に対し、水素ステーションのレイアウト検討を行った結果、キャノピー上に各装置が配置できるものとした場合、水素製造装置の設置面積としては、装置周囲歩廊，メンテナンスエリア等を含め 10m × 5.5m 程度になるとの結果を得た。

(3) 装置コスト

設備投資費による水素単価の影響を検討した結果、FCV 普及初期の水素価格を 70~80 円 /Nm³とするには装置稼働率を 100%としても、水素ステーション建設費は 3 億円程度とする必要があり、他の建設、設備コストを考慮すると水素製造装置は 90 百万円とする必要がある。

(4) 運用方法

既存のガソリンスタンド、天然ガススタンド、LPG スタンド等の調査結果を参考に、水素ステーションの営業時間と充填台数の時間帯別分布を想定し、要求される起動時間を検討した結果、開店準備時間内に起動する必要があるとあり、1 時間以内の起動時間が求められると判断した。また DSS 運用と夜間ホットスタンバイ運用でのコスト比較の結果、DSS 運用が有利と判明した。

(5) メンテナンス

水素単価低減には、装置稼働率を高めることが必須であり、メンテナンスに伴うステーション休業日数は出来るだけ短期間にする必要がある。水素製造装置および付帯設備に関する法定検査及び定期修理項目別に実施内容を検討し、短縮化を図ることが必要である。

3-2 高性能反応器の研究開発

(1) 改質効率の向上

1) 水素製造装置プロセス検討

改質方式には高い改質効率を得られる水蒸気改質方式を採用し、水素製造装置のプロセス並びに装置構成を検討した。検討の結果、S/C=2.5、水素 PSA の水素回収 90%以上とすることで改質効率 85%を達成できる見通しを得た。最終的なプロセス、装置構成についてはコスト、装置サイズとのバランスより決定した。

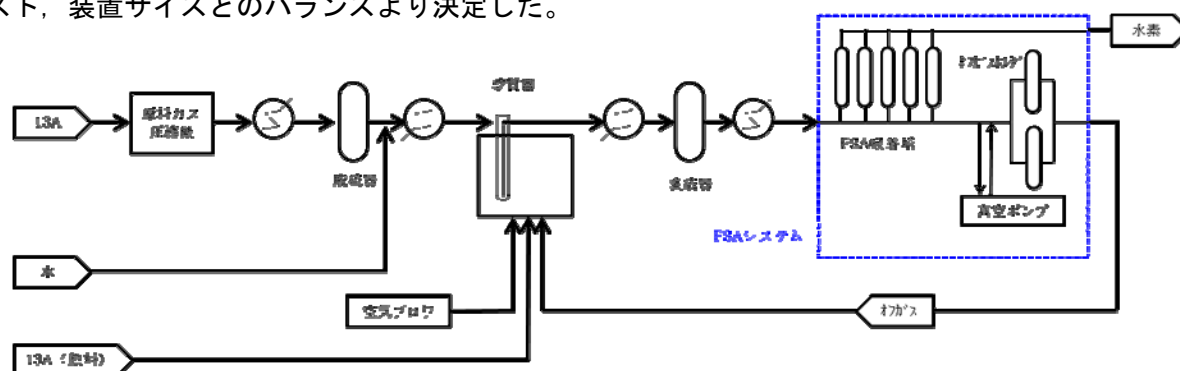


図1 水素製造装置概略フロー

2) 改質触媒の評価試験

マイクロ試験設備にて S/C=2.5 において十分な活性を有する改質触媒を探索するため、触媒試験装置にて Ni 系触媒と Ru 系触媒の短期性能試験を行った (図 2)。原料には 13A 都市ガスを用いた。300 時間程度の短期試験では触媒の違いによるメタン転化率の低下、改質ガス中に C2 以上の成分が検出されるなどの劣化兆候は見られなかった。また、使用済触媒の炭素量分析では S/C=1.5 では Ni 系触媒の炭素析出量が多い結果となったものの、S/C=2.0 では Ni 系と Ru 系での炭素析出に差異は見られず、13A 都市ガス原料では Ni 系触媒を S/C=2.5 で使用できる可能性があると判断し、さらに長期連続試験にて適用可能性を追求した (図 3)。4000 時間経過後も触媒性能劣化は認められなかったことから、比較的安価な Ni 系改質触媒を S/C=2.5 の条件にて運転可能なことを確認し、水素製造装置試作機に採用

し、実装置環境下で検証することとした。

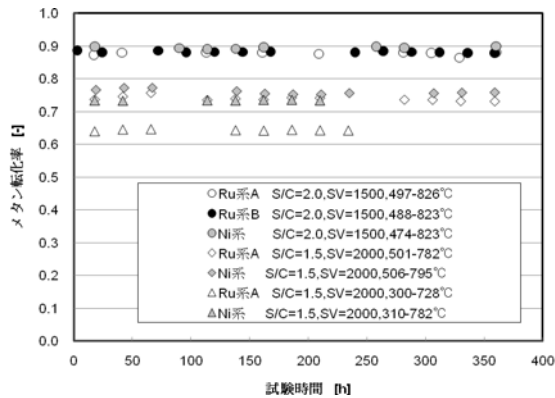


図2 改質触媒短期比較試験結果

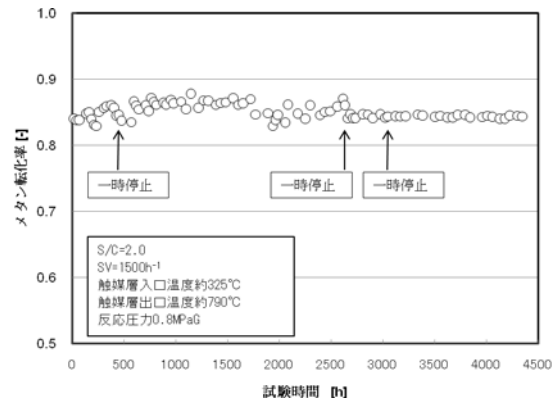


図3 Ni系改質触媒長期試験結果

(2) 小型化

1) 改質器構造の検討

従来装置では主要機器である改質器が多くのスペースを占有していることから、改質器の大幅な小型化を検討した。反応管の小径多管化、配置の極小化、バーナ構造を検討した結果、改質器の占有容積を従来装置の1/5程度まで低減可能との見通しを得た。

2) 模擬改質器による検証

改質器の反応管への改質反応熱を有効に伝達させるには改質器炉内の温度分布が均一になることが望ましく、改質器、バーナ構造の検証のため、熱流体解析と模擬改質器による検証を行った。水素製造量 50Nm³/h 相当規模の模擬改質器を製作し、バーナ燃焼試験を行った。バーナはパイロットバーナ、メインノズル、オフガスノズルを有した混焼バーナであり、各ノズル径、数量及び配置等を種々変更し、都市ガス単独燃焼、オフガス混合燃焼において良好な燃焼状態を確認し、改質器及びバーナ設計へ反映した。

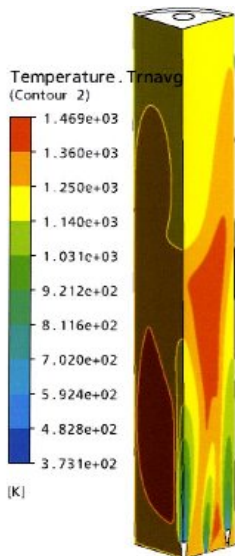


図4 模擬改質炉解析例



図5 模擬改質器

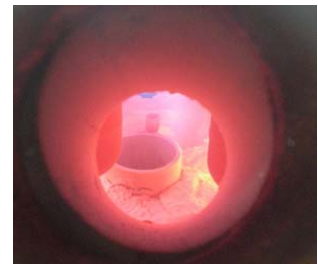


図6 模擬改質器炉内状況

(1) パイロット規模検証試験

パイロット規模試験装置にて検証試験を実施した。試験設備規模の制約から吸着剤量に対し配管等のデッドスペースが過大なため、高純度での評価が困難であったが、システム各操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握し、PSA システムのシーケンス設計データを入手した。

(2) 実規模システムの検討

パイロット規模検証試験結果と吸着シミュレーション検討結果を元に、実規模 PSA システムの検討を行った。真空再生方式の採用、高サイクル化により、吸着剤充填量およびオフガスホルダ容積が低減できることを確認し、最終的に従来に比して1塔当りの吸着剤量を1/3に、オフガスホルダについてはさらに2塔化による吸着塔脱圧工程の改良により、ホルダ容積を1/5に低減可能であることが分かった。なお、真空再生方式では常圧再生方式にはない真空ポンプが必要となるが、その占有容積を加味しても常圧再生方式 PSA システムと比較し占有機器容積で1/2に縮小出来ることが分かった。この結果を水素製造装置設計に反映した。

表4 PSA システム比較

	従来	本研究開発
方式	4塔常圧再生	5塔真空再生
サイクル時間比	1	0.33
水素回収率	75%	90%
吸着剤量比(1塔当り)	1	0.33
オフガスホルダ容積比	1	0.2
真空ポンプ	なし	あり
システム機器占有容積比	1	0.5

3-4 水素製造装置試作機の設計、製作及び検証運転

上記の各研究開発項目の検証として、300Nm³/h 商用機を考慮した試作機を設計、製作した。



図7 試作機改質器



図8 試作機外観

試作機の設計仕様は下記の通りである。改質効率については装置規模を考慮し、82.5%とした。水素製造能力については特に主要機器である改質器のスケールアップを考慮し、商用機の1/4である75Nm³/hとした。

表5 試作機設計仕様

項目	商用機	試作機	備考
水素製造量	300Nm ³ /h	75Nm ³ /h	
改質効率	85%以上	82.5%以上	装置規模による熱損失を考慮
製造効率	80%以上	77.5%以上	
起動時間	1時間	1時間	

延べ運転時間 168 時間，起動停止 21 回の運転を実施し、定格原料負荷にて水素製造量 75Nm³/h、改質効率 82.5%以上を確認した。ただし、水素回収率、製品水素純度は設計値に及ばなかったため、水素 PSA のさらなる調整が必要である。また、起動時間も3時間を要したが、平成 23 年度の継続研究にて起動工程の見直しにより起動時間を2時間まで短縮した。商用化に向け、さらに工程の見直しを検討する。

3-6 水素製造装置試作機のユーザ評価

工業用途向け水素製造装置の運用経験を元に試作機の基本設計図書について評価、検討を行い、設計に反映させた。

試作機の検証運転の評価を行い、装置機能，メンテナンス性等の改善項目を明確にした。

3-7 300Nm³/h 商用機試設計

試作機製作の結果を元に 300Nm³/h 級商用機の試設計とコスト試算を行い、装置サイズは「3.2m×7.5m×3.3m」と、目標設置スペースに設置できる見込みである。

コストは1台当り1億円を超過する結果となり、さらなる検討が必要であることが明らかになった。

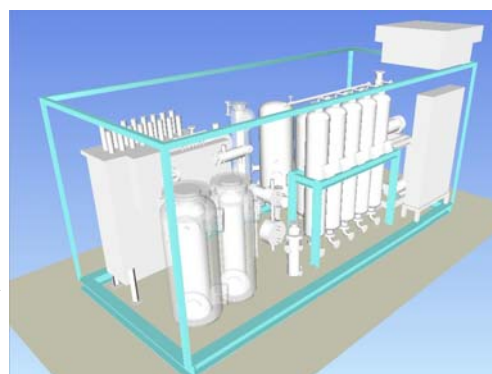


図9 300Nm³/h 商用水素製造装置イメージ

3-8 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT [*] 出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H22FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

4-1 まとめ

- (1) 水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査, 検討
 - ・水素製造装置の目標仕様を明確化した。
- (2) 高性能反応器の研究開発
 - ・水素製造装置プロセス、機器構成を検討、決定した。
 - ・改質器構造検討により従来の約 1/5 のサイズとした。
 - ・模擬改質器燃焼試験結果をバーナ設計に反映した。
 - ・低 S/C 下でも安価な Ni 系改質触媒が使用できる見通しを得た。
- (3) 高性能水素 PSA の研究開発
 - ・パイロット規模試験装置にて実機設計データを取得した。
 - ・PSA システム検討により、システムサイズを従来の 1/2 に縮小可能なことを確認した。
- (4) 水素製造装置試作機の設計・製作及び検証運転
 - ・ユーザ評価を反映させた 75Nm³/h 級試作機を製作し、検証試験を実施した。
 - ・設計目標から 2 ポイント程度高い改質効率及び製造効率を達成した。
 - ・起動時間は目標 1 時間に対し 3 時間を要した。(継続研究で 2 時間まで短縮)
- (5) 水素製造装置試作機のユーザ評価

水素製造装置試作機の基本設計についてユーザの観点から評価を行い、装置の信頼性、耐久性、メンテナンス性等を向上させるべく、設計仕様に反映させた。また、水素製造装置試作機の検証運転結果から、装置改善項目を明確にした。

4-2 課題

本委託研究終了後の継続研究にて水素製造装置試作機の検証運転を実施し、起動操作等の見直しにより DSS 運用下での起動時間を当初の 3 時間から 2 時間程度まで短縮できることを確認した。ただし、目標である 1 時間達成のためにはさらなる検討が必要である。

また実用化に当たっては長期運転による検証が必要であるが、「地域水素供給インフラ技術・社会実証事業 (1) 技術・社会実証研究」にて、本事業の成果品である水素製造装置試作機は千住水素ステーションに移設され、実証運用を継続中である。実証運用での検証結果を商用機設計に反映することで、より水素ステーション事業に適した水素製造装置の提供が可能となるものとする。

コストについては構成材料、部品数量、加工法等の見直しや生産検討により、徹底的なコストダウンを図る。

5. 実用化・事業化見通し

弊社は既に工業用途向水素製造装置について事業化しており、多数の実績を有している。本研究開発で得られた成果を元に水素ステーション用水素製造装置の商用化開発を進めており、2015 年頃までの先行整備期に市場投入を計画している。

(Ⅱ-3) CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

委託先: (株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、神戸大学、京都大学
(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ、再委託先: 大分大学

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度7月末)

- ・CO₂選択透過膜は180℃で、目標レベルの安定した性能を有する膜の開発に成功した。
- ・CO変性触媒については、より高活性な触媒への改良、コストダウン、量産化の実現に近づいている。
- ・高性能化と加工性の向上・低コスト化を両立すべく、触媒の組み合わせやリアクター構造の検討を実施した。

●背景/研究内容・目的

水素ステーションの小型化、低コスト化、高効率化を目的として、選択的、高効率にCO₂分離が可能なCO₂選択透過膜と高性能なCO変性触媒を組み合わせたメンブレンリアクターを開発する。その完成度を高めるために、メンブレンリアクターを構成するCO₂選択透過膜、CO変性触媒等の各種要素技術の耐久性、信頼性を確立する。さらに起動停止を含む実使用条件下での性能・寿命等のエンジニアリングデータを取得しフルスケール(300Nm³/Hr規模)の水素ステーション用改質システムのコスト、効率、サイズを含めた一次FSを行う。

●これまでの実施内容／研究成果

(A)CO₂選択透過膜の開発

耐熱性の向上については、180℃においてCO₂/H₂選択性 ≥ 200 (mol比)、CO₂透過速度 $\geq 1 \times 10^{-4}$ mol/(m² s kPa)の性能を安定して示す膜を開発した(図1)。さらに、モジュール化が容易な円筒型メンブレンの開発に成功した。

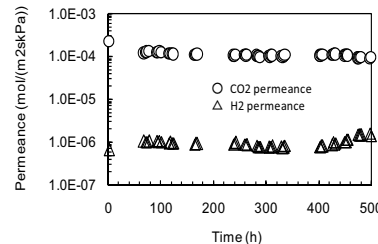


図1 180℃での性能試験結果

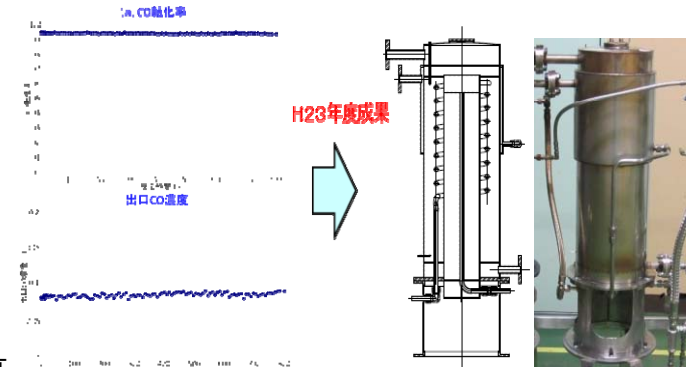


図2 高性能CO変性触媒と熱交換型等温CO変成器によるCO低減効果

(B)CO₂変性触媒の開発

Cu系触媒、貴金属触媒共に高性能化に成功し、目標の性能を達成した。さらに、入り口用触媒(高濃度COで高活性)、と出口用触媒(低濃度COで高活性)を開発。リアクター各部で有効に機能する2種類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率、99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した(図2)

(C)メンブレンリアクターの設計

平板型、円筒型などのリアクターの形状や加工性の検討を行った。また、円筒型メンブレンによるリアクター設計を検討している

●今後の課題／スケジュール(H24年度まで)

課題

開発した要素技術を組み合わせてメンブレンリアクターとしての実証を行う。

スケジュール

- 22年度 1Nm³/Hr 規模の原理検証機による検証
- 23年度 機動停止を含む実使用条件下での性能・寿命エンジニアリングデータ取得
- 24年度 フルスケール(300Nm³/Hr規模)の水素ステーション用改質システムのコスト、効率、サイズを含めた一次FSを行う。

●実用化・事業化の見通し

水素ステーションへの応用については、共同開発先の株ミクニが水素関連ビジネスの一環として実施予定。

●研究成果まとめ

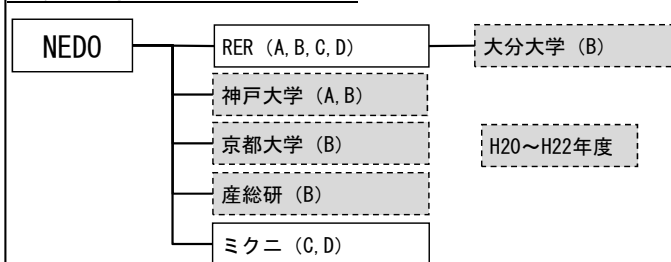
実施項目	成果内容	自己評価
(A)	開発目標性能を達成。円筒型メンブレンの開発に成功。	◎
(B)	入り口用触媒(高濃度COで高活性)、と出口用触媒(低濃度COで高活性)を開発。リアクター各部で有効に機能する2種類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率、99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した	◎
(C)	実機想定条件下での各種エンジニアリングデータを取得した	○
(D)	フルスケール(300Nm ³ /Hr規模)の水素ステーション用改質システムのコスト、効率、サイズを含めた一次FS実施(予定)	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
6	1	22	2

●研究目標

実施項目	中間目標(H22年度)	最終目標(H24年度)
(A) CO ₂ 選択透過膜の開発	170℃以上にて: 1×10^{-4} mol/(m ² s kPa) のCO ₂ 透過速度にて、CO ₂ /H ₂ 選択性が200	
(B) メンブレンリアクター用CO変性触媒の開発	160℃以下、SV2000 h ⁻¹ にてメタン生成が1%以下、10%程度含まれるCO 0.1%以下に低減(メンブレンの効果を含む)	
(C) メンブレンリアクターの開発	1m ³ /h原理検証機での性能実証	起動停止を含む実使用条件下での性能・寿命等エンジニアリングデータの取得
(D) 水素ステーショントータルシステムの最適化	次世代H ₂ ステーションコンセプト確立。PSA 1/4, オフガスタク不要化, S/C = 2, 効率80%以上	フルスケール(300Nm ³ /Hr規模)の水素ステーション用改質システムの試設計を行いコスト、効率、サイズを含めた総合的なFSを行う。

●実施体制及び分担等



事業名：「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素製造機器要素技術に関する研究開発／
CO₂膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発」

実施者：株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ

(再委託先：国立大学法人大分大学)

株式会社ミクニ

国立大学法人神戸大学

国立大学法人京都大学

独立行政法人産業技術総合研究所

1. 事業概要

水素ステーションの小型化、低コスト化、高効率化を目的として、選択的、高効率に CO₂ 分離が可能な CO₂ 選択透過膜と高性能な CO 変成触媒を組み合わせたメンブレンリアクターを開発する。その完成度を高めるために、メンブレンリアクターを構成する CO₂ 選択透過膜、CO 変成触媒等の各種要素技術の耐久性、信頼性を確立するとともに、量産化検討、コストダウン研究等を実施する。さらに、小規模のメンブレンリアクターシステム(原理検証装置)での性能実証、メンブレンリアクターの特長を活かした PSA の小型化検討を行ない、その成果を基に実機(300m³/Hr 規模の能力)を想定した一次 FS を行う。

2. 事業目標

2-1 研究開発の目標(本開発プロジェクト全体の目標)

従来の水素ステーション用改質システムの代替技術として CO、CO₂ を化学平衡の制約を越えて同時に低減できるメンブレンリアクターを開発し、メンブレンリアクターの特長を活かし PSA の小型化検討を行なう。また下記の性能・特長を有するメンブレンリアクターを 1Nm³/Hr 規模の原理検証装置を用いて耐久性、信頼性も含めて実証する。

2-2 全体の目標を達成するための開発項目毎の目標

1) CO₂ 選択透過膜の開発

前プロジェクトで得られた 160℃ の操作で CO₂ 透過速度が 1x10⁻⁴ mol/(m² s kPa)、CO₂/H₂ 選択性が約 100 の性能を有する CO₂ 選択透過膜をベースに、耐熱性をさらに向上させると共に、長期耐久性の確認、量産化技術の検討を実施する。

開発目標： 耐熱性	170℃以上(前プロジェクトで160℃を達成)
CO ₂ /H ₂ 選択性	約200(前プロジェクトで100を達成)
CO ₂ 透過速度	1x10 ⁻⁴ mol/(m ² s kPa)以上

2) 高性能 CO 変成触媒の開発

現状(断熱型変成器)：200℃、SV 1000 h⁻¹ で CO を 0.5～1.0% 以下に低減

開発目標：動作温度 170℃ 以下(銅系触媒：ただし耐熱 170℃ のメンブレンを前提)

SV 約 2000 h⁻¹

メタン生成 1% 以下

10% 程度含まれる CO を 0.1% 以下に低減

(ただし前提となるCO₂透過速度 $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 、メンブレンの効果を含む)
 メンブレンの耐熱性、長期耐久性の確保の観点から、より低温活性の優れた貴金属系触媒も
 平行して開発する。

開発目標: 貴金属系触媒: 動作温度目標160°C

(触媒の量産化手法の確立、貴金属濃度約1/2、コスト半減を目指す)

3) メンブレンリアクターの開発

開発目標: 出口CO濃度 0.1%以下(従来のCO変成器は1.0~0.5%)

出口CO₂濃度 2.0%以下(従来のCO変成器は20%以上)

メンブレンリアクター操作温度: 170°C以下で使用可能

(従来のメンブレン耐熱性は160°C)

メンブレン・触媒複合化の効果を合せてSV2000 h⁻¹程度を達成

4) 水素ステーショントータルシステムの最適化

次世代H₂ステーションコンセプト確立。PSA 1/4, オフガスタク不要化, S/C = 2, 効率80%以上

3. 事業成果

3-1 CO₂ 選択透過膜の開発研究成果

① 耐熱性の向上

前プロジェクトで開発した CO₂ 選択透過膜をベースにキャリアや製膜方法の改良による耐熱性の向上を検討した結果を図-1 に示す。図中の波線はそれぞれ本プロジェクトの CO₂ パーミアンス、CO₂/H₂ 選択性の目標値である。図に示されるように 160°C~200°Cの範囲において、初期性能では目標値をクリアすることができた。図-2(a)に同膜を改良した膜の 170°Cでの耐久性試験結果を示す。170°Cにおいて、CO₂ パーミアンスは 350 時間以上経過後も $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 以上の性能を安定して維持していることがわかる。また 180°Cでの耐久性も図-2(b)に示すが、安定した性能を維持している。

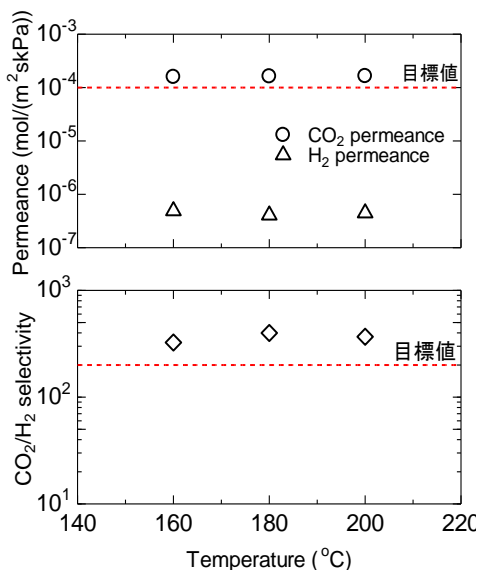


図-1 CO₂ パーミアンス、H₂ パーミアンス、CO₂/H₂ 選択性に対する温度の影響

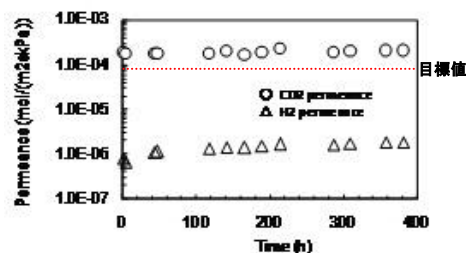


図-2(a) 170°Cでの耐久性試験結果

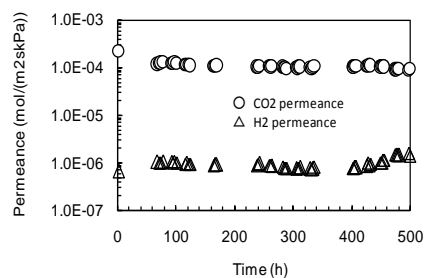


図-2(b) 180°Cでの耐久性試験結果

②円筒型支持体への製膜法の確立

従来メンブレンは成膜が容易な平膜での研究を進めてきたが、本 PJ では量産化が容易で、触媒との組み合わせにも自由度が大きい、円筒型支持体内側への製膜方法を検討した。図-3 に円筒内コート膜、外コート膜の評価結果を示す。製膜方法の検討の結果、内コート膜、外コート膜共に、CO₂透過速度が $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ を超える性能を示す製膜法の開発に成功した。

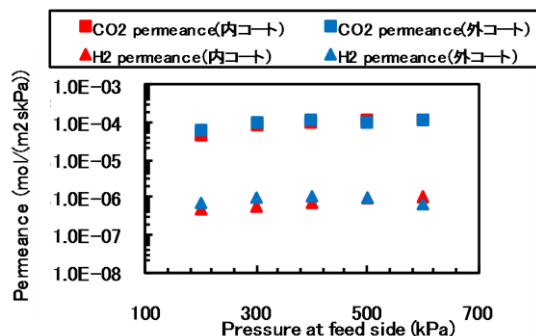


図-3 円筒内コート膜、円筒外コート膜の評価結果

③CO₂選択透過膜のモジュール化に関わる開発成果

従来のメンブレン性能評価やモジュール試験は主として常圧条件で行われてきたが、実機では中圧(1MP以下)の都市ガスを原料とするケースが最も有利なため、加圧条件下でのメンブレン性能評価、加圧対応型の製膜条件の改良を行った。さらに加圧対応型メンブレンモジュールの検討・試作・評価も実施した。具体的には、従来の平板型スタックに比べ、耐圧性に優れた円筒内コート型メンブレンをベースにしたシリンダー型メンブレンモジュール構造を検討し、単管メンブレン 36 本から成っている 1m² モジュールの設計、試作を行った。試運転の結果、円筒型単管メンブレンの性能とほぼ同等の性能が 1m² モジュール(単管メンブレン 36 本から成っている)でも確認できた。

図-4 に CO₂ 選択透過膜のモジュール化に関わる製膜手法を含めた性能改良結果を示している。図中、a、b には本プロジェクト当初から開発を進めてきた平膜型メンブレンの性能を示している。図中 b の平膜型スタックモジュールの小型試作機の外観写真を図-5 に示している。本試作機では 1310mm² の円形の平膜を用いているが、1枚当たりの膜面積を増大させると共に、多層に積層することが可能な構造となっている。a、b とも同等の性能を示しており、本試作機構造はメンブレンの性能をスポイルすることなくスケールアップできることを示している。

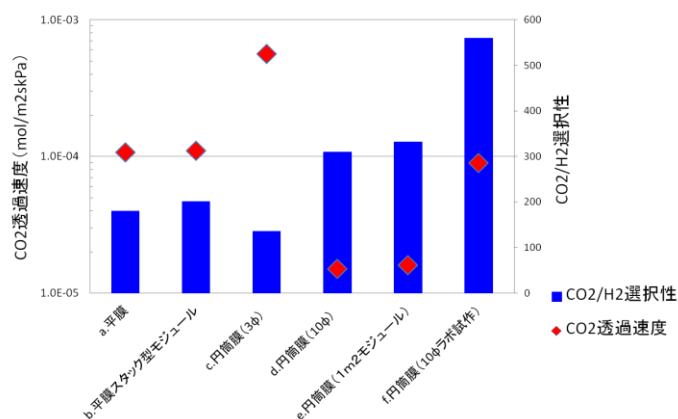


図-4 CO₂ 選択透過膜の改良・モジュール化進捗状況

図-4の c, d は平膜よりも耐圧性に優れた円筒内コート型メンブレンの性能を示している。c は従来円筒型メンブレンの支持基体としてきた 3mm φ のセラミックスチューブを用いた円筒内コート型メンブレンで、優れた CO₂ パーミアンスが得られているが、絶対的な強度が低く、大型化を想定した長尺化には限界がある事が分かった。そこで次に長尺化が可能な 10mm φ のセラミックスチューブを支持基体として用いる事を検討してきた。しかし、その場合、図-4 の d を見ればわかるようにチューブの肉厚増加に伴う CO₂ の透過抵抗の増大により、CO₂ パーミアンスの低下が認められた。そこで対策としてセラミックス細孔径を増大させることにより、CO₂ パーミアンスを向上させる事を検討した。その結果を図-1 の f に示しているが、CO₂ パーミアンス、対水素選択性共に大幅な性能向上に成功した。ただし、細孔径を大きくした 10mm φ のセラミックスチューブは、まだラボ試作の段階であり、今後量産製造プロセスの確立に注力する予定である。

図-4の e には今年度設計・試作した、10mm φ の単管メンブレン 36 本から成る 1m² モジュールの性能が示している。それを見ればわかるように、円筒型単管メンブレンの性能とほぼ同等の性能が 1m² モジュールでも確認できた。本モジュールの構造は円筒型メンブレンの性能をスポイルすることなくモジュール化できることを示している。

図-5 に 1m² モジュールのイメージ図(外筒なし)、図-6 には、今回のモジュール評価に使用したモジュール評価装置の外観写真を示す。



図-5 1m² モジュール円筒膜のイメージ図

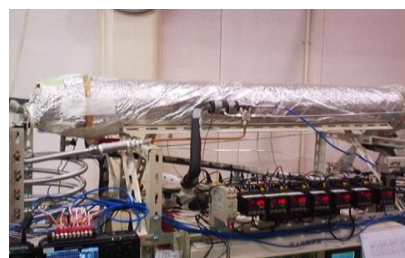


図-6 1m² モジュール評価装置

④CO₂ 選択透過膜の対水素選択性の向上

これまでの検討で、180°Cにおいて、目標であるパーミアンス $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 以上の CO₂ 透過性能を安定して維持する CO₂ 選択透過膜の開発に成功した。しかし①で報告している様に、180°Cの連続運転結果(図-2(b))では、400 時間経過後から水素選択性の低下が認められ、500 時間後には 100 以下に低下していた。水素選択性の低下は、メンブレンリアクターでの水素ロスを増大させるため、水素ステーションの効率低下の原因となる。そこで、目標である、CO₂/H₂ 選択性 200 以上を達成できるように、CO₂ 選択透過膜の対水素選択性の向上を目指した検討を実施した。製膜法としては②で報告した円筒型支持体内部への量産型製膜技術をベースに各種製膜条件を見直し、最適化することで対水素選択性を改良していった。

図-7に CO₂ キャリアのゲル膜への含有方法を最適化した水素選択性改良膜の 160°Cでの性能を示す。本実験は、水素ステーションシステムの建設を考えた場合、エネルギー効率的にも、コンパクト化の点からも有利な加圧条件下でのデータ取得を目的として原料側圧力 400~600Kpa の中圧条件で実施している。(スイープ側圧力はいずれも 100Kpa)

図-7を見れば分かるように、今回開発した水素選択性改良膜では、中圧条件下でも $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 以上の CO₂ パーミアンスと 800 以上の非常に高い CO₂/H₂ 選択性を併せ持っていることが分かる。

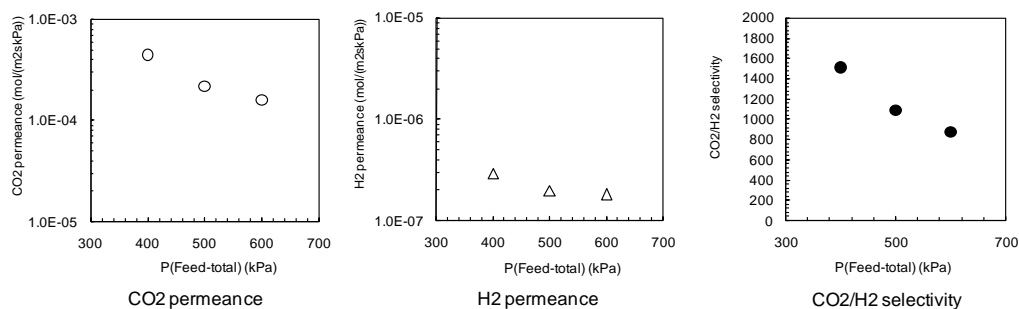


図-7 対水素性改良膜の160°Cでの性能試験結果

⑤ 起動停止の影響把握

モジュール化が容易な10mmφ円筒型セラミックチューブを支持基体とした加圧対応型CO₂選択透過膜を用いて起動停止を繰り返し、膜性能に与える起動停止の影響を調べた。その結果を図-8に示すが、CO₂パーミアンスは起動停止の影響を受けずに安定している事が分かる。またH₂パーミアンスについても、初期に大きな変動が認められたものの、その後は安定していることが分かった。今後、モジュールについても同様の検討を行う予定である。図-8に認められたH₂パーミアンスの初期の性能変動については、現在その原因・対策等を検討中である。

本実験条件については、後述する3-2③で得られた成果を基に、CO変性反応部とCO₂メンブレンによるCO₂除去部を切り離れたメンブレンリアクター方式を想定している。

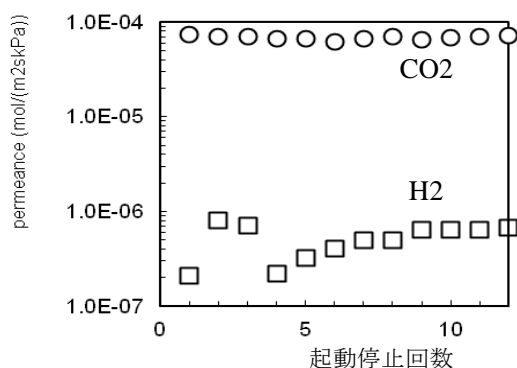


図-8 CO₂選択透過膜に対する起動停止の影響

⑥ 長期耐久性能の確認

モジュール化が容易な10mmφ円筒型セラミックチューブを支持基体とした加圧対応型CO₂選択透過膜を用いて3000時間の長期耐久テストを実施した。本実験条件についても、CO変性反応部とCO₂メンブレンによるCO₂除去部を切り離れたメンブレンリアクター方式を想定している。

その結果を図-9に示すが、CO₂パーミアンスは3000時間以上ほぼ安定している事が分かる。本試験では当初は長期連続運転の安全性を考慮してCO₂-N₂系で運転を開始し、その後、定期的にCO₂-H₂系の原料ガスに切り替えることで、対水素選択性と対窒素選択性の安定性も調べた。図-9を見ればわかるように、対水素選択性については、継時的に若干の選択性の低下は認められるものの、2000時間以降はほぼ一定であり、目標である200以上を維持している事が分かる。対窒素選択性については運転初期よりほぼ一定で、非常に安定しており数千以上の非常に高い選択性を維持していることが分かる。

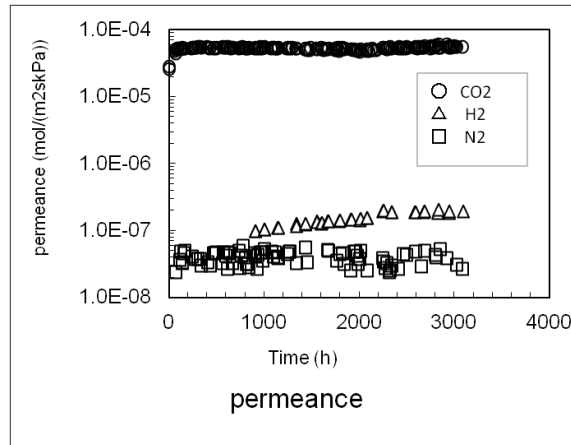


図-9 CO₂ 選択透過膜の長期耐久性

3-2 高性能 CO 変成触媒の開発成果

① 銅系触媒の改良

CO₂ 分離膜と組み合わせるメンブレンリアクター用の CO 変性触媒は、分離膜の熱安定性の問題からなるべく低温で操作できることが好ましいが既存 Cu 系 CO 変性触媒は 180℃以下の温度域での性能は不十分であった。

180℃以下での Cu 系 CO 変性触媒の活性向上を目指し、Cu 系触媒(Cu-ZnO-Al₂O₃ 触媒)をベースに調製法および第4成分の添加効果を検討した結果を図-10 に示す。検討した第4成分のうち、M4, M5, M6 または M7 を添加すると触媒性能(CO 転化率)が向上することを見出した。これらの添加効果を詳細に解析してみると、M4 と M5 は低濃度 CO₂ 条件(1 容量%程度) 下での反応速度の向上が期待できる元素であり、一方、M6 と M7 は共存 CO₂ による CO 転化率低下の抑制が期待できる元素であることが分かった。

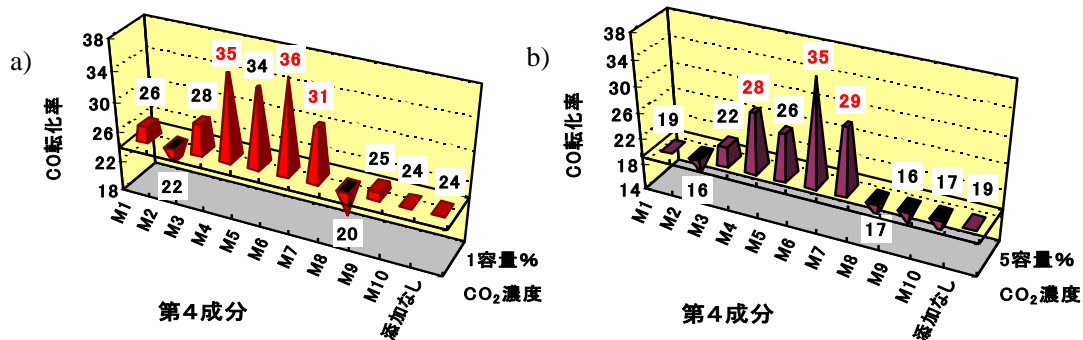


図-10 Cu-ZnO-Al₂O₃ 触媒への第4成分の添加効果(CO₂濃度依存性)
CO₂濃度は a) 1容量% と b) 5容量%の比較、反応温度は150℃

以上の知見をベースに調製法の改良や第4成分の添加効果を調べ、Cu の分散性を向上させることにより、活性の向上につなげる事が出来た。さらに、Cu 系触媒の試作・評価を繰り返し改良を積み重ねた結果、低温活性を目標としてきた 20℃以上向上することに初めて成功した。図-11 に 変性触媒の性能向上を経時的に整理しているが、図-11(b)に示す平成 22 年度の Cu 系改良触媒は 160℃で既存 Cu 系工業触媒の 180℃以上の活性を示していることが分かる。このレベルの性能は従来、貴金属触媒(図-11(a)参照)でしか達成できなかったもので、メンブレンリアクターの経済性の向上に大きく寄与するものである。

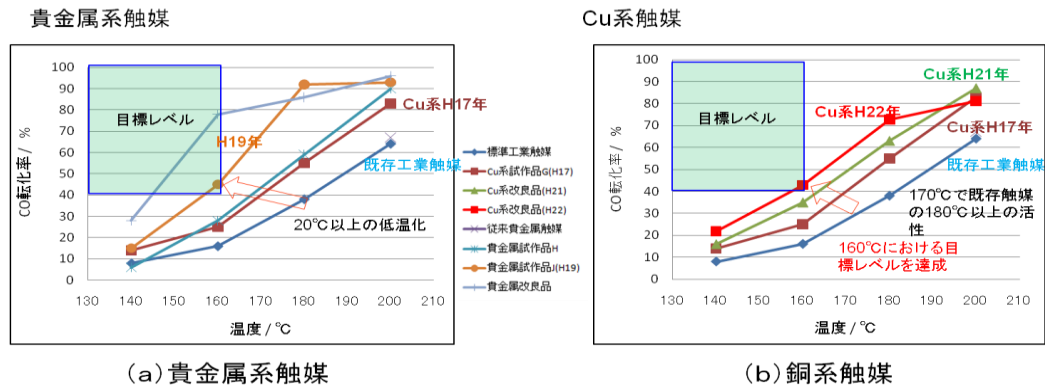


図-11 CO変性触媒の開発経過

② 貴金属系CO変性触媒の改良

前PJの開発成果として既存の銅触媒の180°Cの活性レベルを160°Cで発揮する貴金属触媒の開発に成功している。本PJではさらに貴金属濃度の低減を目的とした研究をおこない、貴金属担持方法の改良により従来の1/3程度の貴金属量で十分な性能を持たせることに成功した。

③ メンブレンリアクターへの触媒充填方法の最適化 CO変性触媒の改良の過程で、高CO濃度(CO変成器入口部)で高活性を示す触媒と逆に、低CO濃度領域(CO変成器出口部)で高活性を示す特性の異なる2種類の触媒を見出した。

前者はメンブレンリアクター入口部に適しており、後者はメンブレンリアクターの出口部に適している。その2種の触媒を組み合わせることで大きなCO低減効果があることを確認した。その結果を図-12に示す。

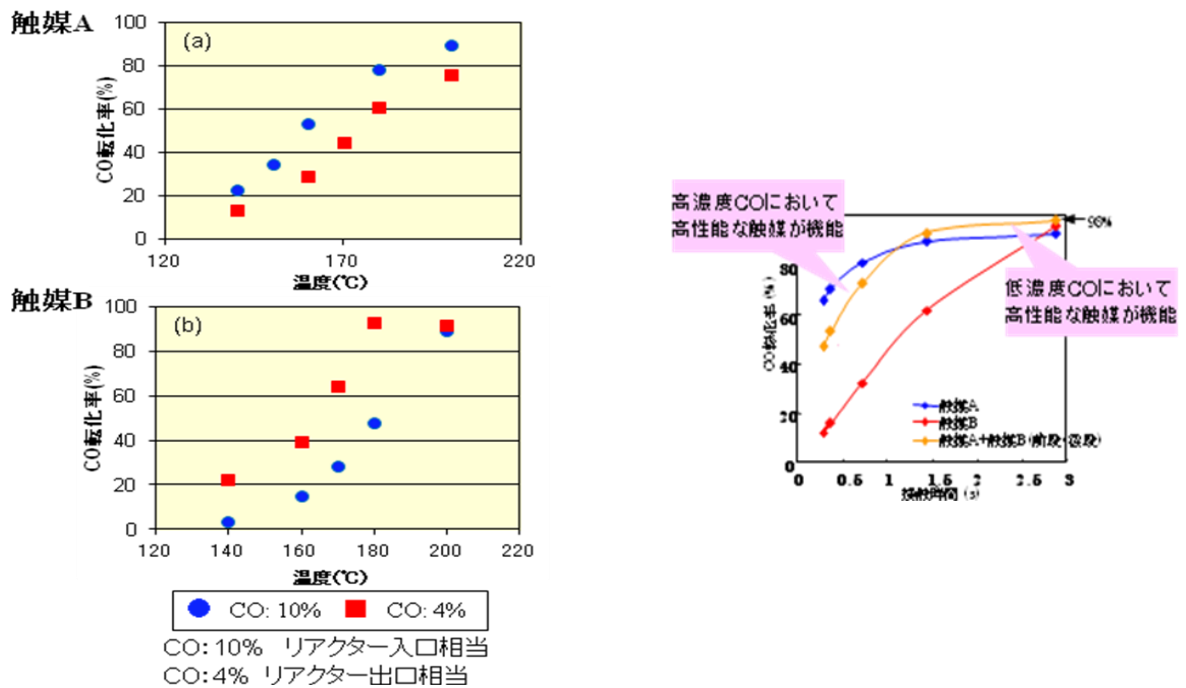


図-12(a)機能の異なる2種類の触媒の性能

図-12 (b) 2種類の触媒の組合せ効果

本項目については、さらに実際の使用条件を想定した条件で耐久テストを実施した。原料ガスはメンブレンリアクター入口ガスを模擬した混合ガス(CO:CO₂:H₂O:H₂=10:5:30:55)を用い、反応温度条件はメンブレンリアクターの温度制御方式を考慮し160℃の等温反応とした。また反応圧力は装置の制約から常圧条件を採用した。その結果を図-13 に示す。それを見れば分かるように、本方式を採用することで、CO 濃度を0.1%以下に低減することができた。当初の計画では、CO 濃度の0.1%レベルへの低減は触媒の高性能化と CO₂ メンブレンによる CO₂ 除去効果と合わせて達成できると想定していたが、本PJの成果である特性の異なる2種類の触媒の組み合わせにより、CO₂メンブレンによるCO₂除去効果抜きで達成できた。

この事は、メンブレンリアクターは必ずしも、CO 変性触媒と CO₂メンブレンを同時に動作させる必要はない事を示しており、今後のプロセス最適化に当たり、大きな自由度を与えるものである。

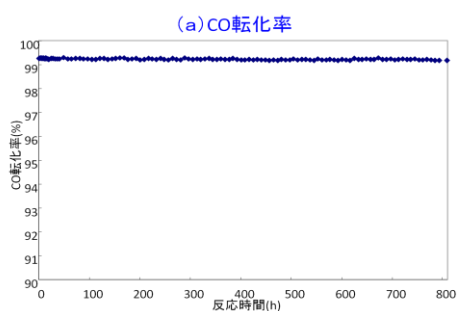


図-13-a CO 変性触媒の組み合わせによる
CO 低減効果とその経時変化 (CO 転化率)

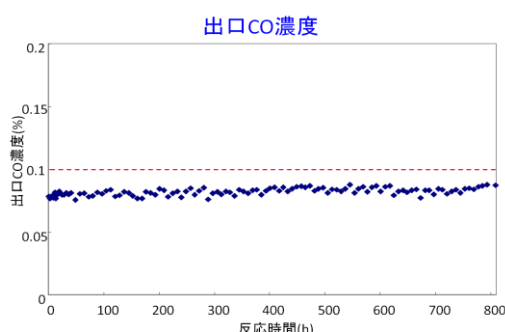


図-13-b CO 変性触媒の組み合わせによる
CO 低減効果とその経時変化 (出口 CO 濃度)

3-3 メンブレンリアクターの開発成果

前プロジェクトの成果として CO₂ 選択透過膜と CO 変性触媒を組み合わせたメンブレンリアクターの実証に成功し、出口 CO 濃度は 5ppm、CO₂ も 0.3%と、コンベンショナルな CO 変性技術では原理的に不可能な CO、CO₂ の低減が達成されている。本PJでは、最終的なターゲットである 300Nm³/Hr 規模の水素ステーションを想定した時のスケールアップ手法を検討し、メンブレンのモジュール化を実施する。

本PJでは、メンブレンリアクターの試作研究成果を基に生産性を意識した構造および加工方法の検討を実施した。更なる量産性の向上を目指し、量産性の高いプレス加工を主体とした透過膜保持部の構造・加工方法検討、および小中規模生産に対応可能な積層シール構造のメンブレンリアクターの設計を行った。

図-14 に設計・試作したメンブレンリアクターの概略図を示す。図-14(a)のような従来の方形のリアクターを、図-14(b)、(c)のような円形のリアクターとすることで、円筒状の部品構成が可能となりコスト面及び強度面で有利となった。また、プレス加工、へム加工を可能とすることにより、従来のリアクターより、加工面での設計自由度やコストの優位性を高めることが期待できる。

さらに、以上の内容の検討結果をもとに試作した各種メンブレンリアクター構造での基本性能の確認を行っている。

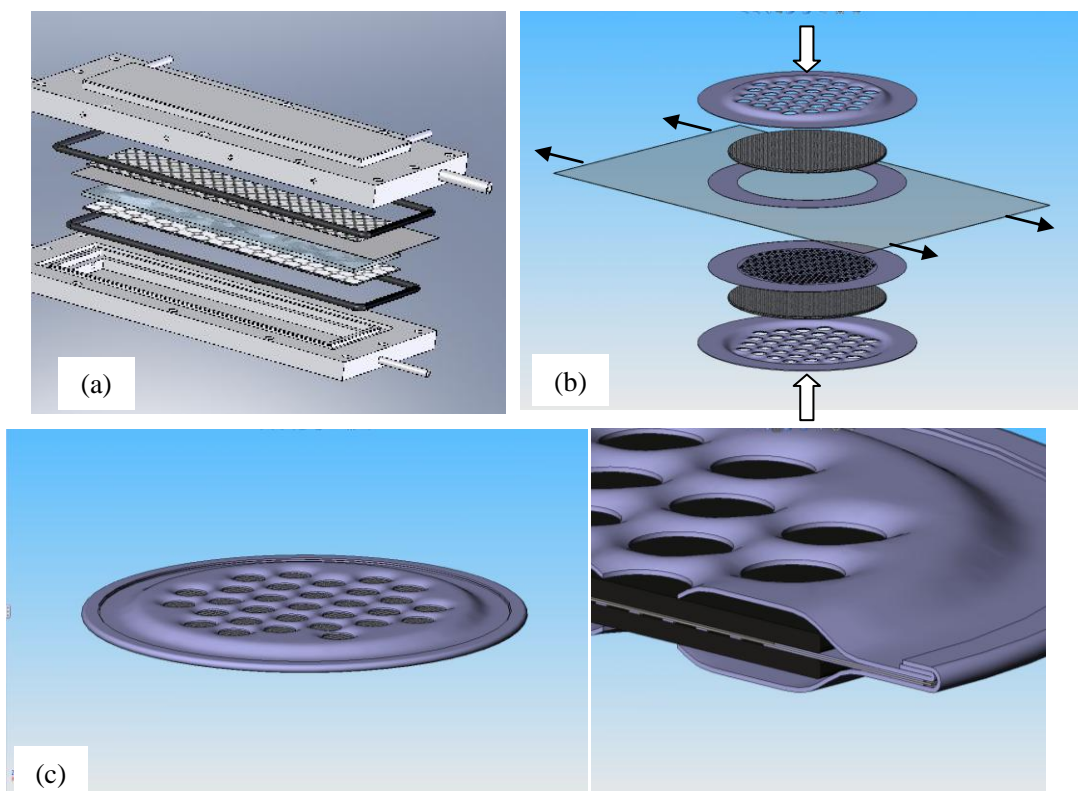


図-14 透過膜保持気密部概略図

(a) 従来のリアクタ構造, (b) 透過膜保持部の構造展開, (c) 透過膜保持部の外観および断面

図-15 は平板型スタック構造の小型試作機の外観写真である、本試作機では 1310mm^2 の円形の平膜を用いているが、1枚当たりの膜面積を増大させると共に、多層に積層することが可能な構造となっている。本試作機を用いたテストの結果から、 CO_2 メンブレンの性能は $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 以上の CO_2 パーミアンスと 200 近い CO_2/H_2 選択性を合わせ持っていることが計算された。これは本試作機構造はメンブレンの性能をスポイルすることなくスケールアップできることを示している。

また並行して、円筒型支持体内面に製膜したチューブ型メンブレンによるモジュール構造の検討も実施しているが、 $3\text{mm} \phi$ のセラミックスチューブは強度的な不安があったため、十分な強度を有し、長尺化が可能な $10\text{mm} \phi$ のセラミックスチューブを用いたシェルアンドチューブ型のモジュールの設計、試作も実施した。その場合、 $3\text{mm} \phi$ のセラミックスチューブでは達成できた $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 以上の CO_2 パーミアンスが量産型の $10\text{mm} \phi$ セラミックチューブでは達成できず $1 \times 10^{-5} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 位の低いパフォーマンスにとどまっている(3-1③項参照)。しかし、モジュールとしての性能については、3-1③項に示すように、円筒型単管メンブレンの性能とほぼ同等の性能が 1m^2 モジュールでも確認できた。本モジュールの構造は円筒型メンブレンの性能をスポイルすることなくモジュール化できることを示している。



図-15 透過膜セル外観

また前項(3-2 の③)の成果として、本PJの成果である特性の異なる2種類の高性能 CO 変性触媒を組み合わせ使用すれば、メンブレンリアクターは必ずしも従来考えていたように触媒層と CO₂ メンブレンによる CO₂ 除去層が同じ空間にある必要はなく、分離していても CO 濃度を 0.1% 以下にすることが可能であることがわかった。この結果を基に、現在、CO 変性反応部分と CO₂ 除去部分を分離したタイプのメンブレンリアクター方式も検討している。

平成 23 年度には高性能 CO 変性触媒の組み合わせ効果のスケールアップ検討として 10m³/Hr の水素製造能力を持つ熱交換型等温 CO 変成器の設計・試作を行った。試作したスケールアップ装置(熱交換型等温 CO 変成器)の試運転結果では、ラボ評価と同様に、触媒のみで CO 転化率 99% 以上、出口 CO 濃度 0.1% 以下を達成しており、良好な性能が得られている。(図-16 にスケールアップ装置の内部構造のイメージ図と外観写真を示す)

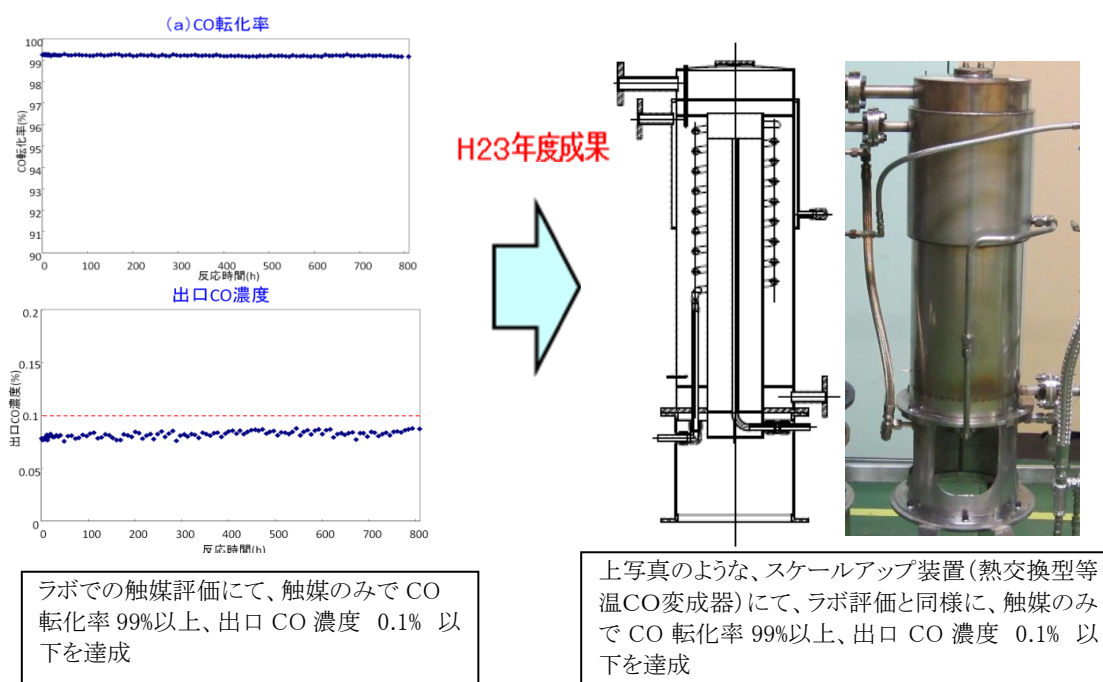


図-16 高性能 CO 変性触媒と熱交換型等温CO変成器によるCO低減効果

3-4 水素ステーショントータルシステムの最適化の成果

本PJでは前PJに引き続き、改質器の効率、改質器出口ガス組成、PSAの設計、パージガス必要量、水素回収率等をパラメーターとした水蒸気改質器関連のプロセススタディを実施すると共に、最近の PSA 吸着剤の進歩を調査し、メンブレンリアクター出口ガス組成が与える、PSA 吸着剤必要量への影響をアップデートした。既存あるいは最新型の PSA 吸着剤をもとにしたシミュレーションの結果では、CO やメタンは 0.1% 程度の濃度でも吸着剤必要量に影響するが、CO₂ 濃度はある程度まで(～2%)低減されていれば、全体の PSA 吸着剤必要量(PSA サイズ)への影響はあまり大きくないことが分かった。このことはメンブレンリアクターの基本設計において、CO 変性触媒量と CO₂ 選択透過膜の膜面積のバランスは、従来の設定よりも CO 変性反応の進行に考慮した設計が有利なことを示している。この結果は今後のシステム検討に反映させる予定である。

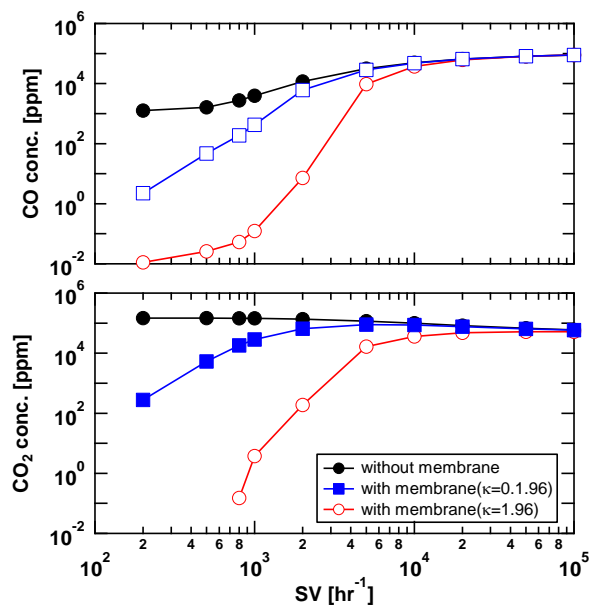


図-17 プレート型メンブレンリアクターにおける CO、CO₂ の濃度変化 (Cu 系触媒 $\kappa \approx 0.2, 2.0$)

また今までの検討により、膜分離速度と反応速度の比である無次元パラメータ κ を用いて分離膜の効果と転化率の関係を表現する簡便な反応器設計法を提案しており、コンパクトリアクターでは膜の比表面積を大きくできるためメンブレンリアクターが有効に作用することを明らかにしている。 κ が大きいほどメンブレンリアクターの効果が大きくなるが、現状の分離膜の性能を考慮するとコンパクトなリアクターを用いても $\kappa=2$ 程度が限界であり、それ以上 κ を大きくするためには触媒活性を低下させる必要がある。これは触媒量を増加させる結果となる。また、触媒活性を大きくしても、 κ が小さくなるため、結果としてメンブレンの効果小さくなる。よって、触媒活性については本研究で開発した触媒性能で十分であり、むしろ効率的に CO₂ を膜分離することによって活性低下を抑えることが重要であると考えられる。

図-16 に Cu 系改質触媒改質ガス流路深さ $d_f=400 \mu\text{m}$ 、触媒層厚さ(コーティング厚さ、膜状触媒厚さに対応) $d_c=200 \mu\text{m}$ のプレート型メンブレンリアクターによる CO 変成および CO₂ 分離結果を示す。分離膜の CO₂ 透過速度が $5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$ の場合、このサイズのメンブレンリアクターでは $\kappa \approx 2$ となる。

図-17 より、分離膜が無い場合や κ が小さい場合は反応による CO 濃度の低下にともなって CO₂ 濃度が増加するが、分離膜を設置した場合は CO₂ 濃度も単調に減少することが分かる。SV が大きい範囲すなわち反応率が低い場合は、分離膜による反応の促進効果はほとんどないが、 $\kappa \approx 2$ の条件において SV を小さくして反応率を大きくすると CO₂ 分離され、CO₂ 阻害の抑制と平衡反応の進行によって CO 濃度が大きく低減する。すなわち、CO₂ の膜分離を行わない場合は SV を数百まで小さくしても CO 濃度の低下は小さく、0.1%程度が限界であるが、 $\kappa=2$ 程度となる条件に反応器を設計すると数千程度の SV で ppm オーダーまで CO 濃度を低減することが可能であることを示している。これは PSA をさらに小型化できる可能性を示している。

当初平成 23、24 年度で計画していた改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む水素ステーショントータルシステムのパイロットプラント(10m³ クラスを予定していた)の建設・運転の工程については実施しないことが決定しているため、今後は、改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む全体システムの最適化検討を、具体的な、既存水素ステーションへの部分的な要素技術の適用を検討する中で進めて行く予定であり、最終的には、実機(300m³/Hr 規模の能力)を想定した一次 FS につなげる。

3-5 成果の意義

本研究開発により得られる CO₂ 分離型メンブレン CO 変性器は、CO を既存の CO 変性器と違い平衡の制約を越えて一桁低い 0.1% レベル以下にまで除去できると共に、CO₂ の除去も同時に行える。従って、水素ステーションに適用すれば、最大のコストを占めていた PSA の大幅な小型化と共に、低 S/C による大幅な効率向上も可能となるため、水素ステーションの普及促進に貢献できると考えている。また自動車用および家庭用の PEFC システム向けの新技术として大きなインパクトがあり、PEFC システムの早期実用化、普及拡大に貢献できるものと考えている。

3-6 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT** 出願	査読付き	その他	
H20	1件	0件	1件	0件	1件	6件
H21	0件	0件	0件	0件	0件	14件
H22	0件	0件	0件	0件	0件	6件
H23	3件	0件	1件	0件	0件	3件
H24	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(**Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

前 PJ で開発した促進輸送膜の更なる開発を行ない、170℃の高温で高い CO₂ 透過速度(目標: $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s} \cdot \text{kPa})$ 以上)と高い対水素選択性(目標:200 以上)を合せ持つ CO₂ 選択透過膜の開発に成功した。促進輸送膜は、過去の研究ではもっぱら低温域で研究がなされ、100℃以上のデータは得られていなかったが、キャリアを含めた膜の製造方法を最適化することでこれらの目標を達成する事ができた。耐久性についても、当初は初期劣化が著しく、耐久性に問題があったが、製膜条件を改良することで、使用条件下で安定な性能を発揮する膜を開発し、長期耐久性の確立にメドをつけた。またガス透過選択性についても、既に述べたように、対水素選択性は既に目標であった CO₂ / H₂ のモル比で 200 以上の性能が達成できているが、最近では 160℃で 700 を超える性能の膜の試作にも成功している。

本研究開発のベースとなる CO₂ 分離膜は、出来るだけ低温で操作する事が望ましく、前 PJ では 160℃で十分な活性を有する CO 変成触媒の開発を目指し、Cu 系触媒の 180℃の活性レベルを示す貴金属系高性能触媒の開発に成功した。本 PJ では、Cu 系触媒の更なる性能向上と、貴金属系触媒の、量産技術の確立を進めてきた。その結果、Cu 系触媒では第 4 成分の添加による活性向上を見出し、貴金属系触媒では、従来の 1/3 の貴金属量で十分な性能を持たせることに成功した。さらに、反応特性が異なる 2 種の触媒を組み合わせることにより、触媒だけでも出口 CO 濃度を 0.1% 未満とできることを見出した。

上記、CO₂ 選択透過膜の開発成果と、触媒の開発成果を組み合わせ、メンブレンリアクターにより、従来の CO 変性器の出口 CO 濃度および、出口 CO₂ 濃度をそれぞれ、0.1% 以下(従来の CO 変成器は 1.0~0.5%)、1.0% 以下(従来の CO 変成器は 20% 以上)という非常に高性能な CO 変性器が可能となる事が示唆されており、PSA の小型化による水素ステーションのコストダウン、サイズダウンが期待できる。今後、メンブレンリアクターの要素技術である CO₂ 選択透過膜と CO 変性触媒を合わせたメンブレン

リアクターの原理検証装置(メンブレンリアクターとして $1\text{m}^3/\text{Hr}$ 規模のシステムを想定、改質器、PSA は含まない)に組み込み、千時間以上の耐久性を確認し、1 年以上のメンブレンリアクターおよび各要素技術の耐久性を見通す予定である。当初平成 23、24 年度で計画していた改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む水素ステーショントータルシステムのパイロットプラント(10m^3 クラスを予定していた)の建設・運転の工程については実施しないことが決定しているため、今後は、改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む全体システムの最適化検討を、具体的な、既存水素ステーションへの部分的な要素技術の適用を検討する中で進めて行く予定であり、最終的には、実機($300\text{m}^3/\text{Hr}$ 規模の能力)を想定した一次 FS につなげる。

5. 実用化・事業化見通し

開発成果の実用化・事業化については、早期導入の望まれる水素ステーションへの応用については、共同開発先の(株)ミクニが水素関連ビジネスの一環として実施する。(株)ミクニは自動車部品メーカーであり、家庭用燃料電池の(改質器を始めとする)各種部品の開発・事業化を行っており、本開発成果についても水素ステーション用のみならず、燃料電池自動車や家庭用 PEFC システムのパーツとしての CO_2 分離型メンブレンリアクター単体での商品化も想定している。将来的には、メーカーの海外部門を通じて海外事業化展開も行う計画である。

今後の事業化計画としては、本研究開発成果である CO_2 メンブレンリアクターの完成度を高めると共に、コストダウンや信頼性向上を目的として、 CO_2 選択透過膜の長期耐久性の確立、選択性、動作温度の最適化、高性能 CO 変成触媒の長期耐久性の確立、コストダウン研究等を実施し、さらに改質器、メンブレンリアクター、PSAを含むトータルシステムでの性能実証を行ない、スケールアップのためのエンジニアリングデータを取得し、2015年以降できるだけ早い時期での実用化を目指す。平成24年度以降の開発については、長期耐久性の確認および商品化のための量産化・コストダウンのための検討を2年間程度行った後、国内外での事業化展開を考えている。

水素ステーションや燃料電池分野以外の一般化学分野や石油精製分野の CO 変性器の省エネルギー技術としての事業化については、本プロジェクト終了後にスケールアップ、高圧対応の検討を必要があればエンジニアリング会社との連携により実施し、(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチがライセンスビジネスとして国内外に展開する。

(II-4)ホウ素系水素貯蔵材料の開発

委託先: (株)豊田中央研究所、東北大学金属材料研究所

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

理論計算に基づく材料設計、合成・評価・解析を三位一体で展開することにより、新たなホウ素系水素貯蔵材料を開発した。
 ・複合化に関しては、水素貯蔵に有利な反応経路を理論計算により予測し、複合水素化物の貯蔵特性における複合比の効果なども検討し、それらの最適化を進めた。
 ・中間相に関しては、水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明し、水素貯蔵特性における中間相の役割を検討した。
 ・水素放出・再吸蔵反応ともに促進できる添加物を選定し、その促進機構を解明した。また、微細構造を調査することによって、反応速度の支配因子を抽出した。
 これらの研究を通して、低温での水素放出ならびに再吸蔵が可能な新たなホウ素系水素貯蔵材料の開発指針を明確化することができた。

●背景/研究内容・目的

背景: 地球環境およびエネルギー供給に関する問題解決の手段として燃料電池車の普及が重要であるが、そのためには実用的な走行距離を実現する必要がある。

目的: 車載可能な高容量新規水素貯蔵材料を開発して燃料電池車の走行距離を向上させ、その普及に貢献することを最終的なターゲットとする。

研究内容: 本事業では高水素密度を有するホウ素系水素化物(M-B-H)に着目し、理論計算・合成・評価・解析技術を結集した体制で、新しいコンセプト(複合化、中間相、添加物)に基づくホウ素系水素貯蔵材料の開発を推進する。

●研究目標

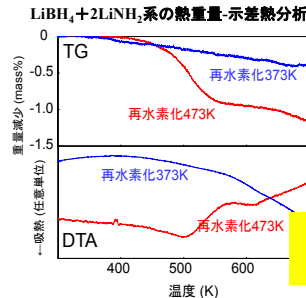
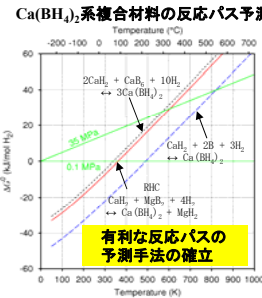
実施項目	目 標
1. 複合化によるホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	反応バスの理論解明と実験検証と、最適組み合わせ選定
2. 中間相を用いたホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	中間相の組成・構造の解明と、中間相の絞り込み
3. 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明 (H21-H22)	添加物の選定、微細構造の評価および、反応速度の支配因子の解明
4. ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化 (H22)	150℃以下の水素放出温度、6wt.%級の再吸蔵量を見極め
5. 反応サイクル時の劣化要因の解明 (H23-)	劣化要因の解明とその対処法の確立
6. 実用化技術開発 (H23-)	材料系の最適化、大量合成技術の開発、低コスト化の指針
7. 実用性評価 (H23-)	耐久性評価、小型タンク評価、実用化の課題抽出

●実施体制及び分担等

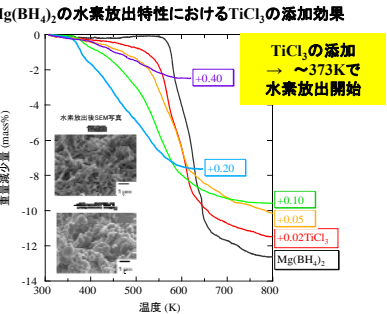
NEDO	(株)豊田中央研究所	実施項目 1, 2, 4, 5, 6, 7
	東北大学金属材料研究所	実施項目 2, 3, 4, 5, 6

●これまでの実施内容/研究成果

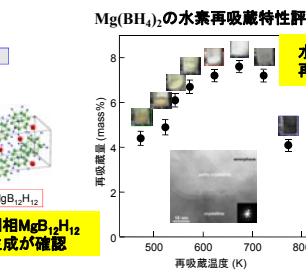
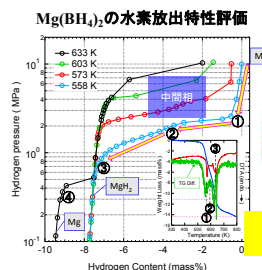
<複合化によるホウ素系水素化物開発>



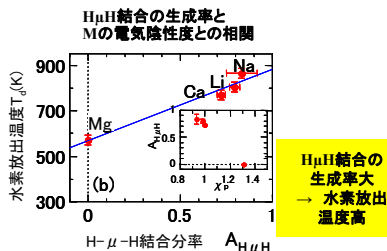
<添加物による反応活性化>



<中間相を用いたホウ素系水素化物開発>



<μSR解析>



●今後の課題

スケジュール(H24年度まで)

開発目標を達成するには、さらなる温度低下、反応速度の大幅な改良が必要である。今後、本事業で開発したLi-B-N-H系複合材料の組成、添加物、および微細構造等の最適化を行い、実用可能なホウ素系水素貯蔵材料の開発を推進する。

●実用化・事業化の見通し

ホウ素系水素化物は10mass%以上の水素を貯蔵可能である。本事業の開発により、100℃付近まで水素放出温度が低下し、再吸蔵反応が部分的に進行することを見出した。実用レベルまでには、さらなる温度低下、反応速度の大幅な改良が必要である。これらの課題を解決することにより実用化検討へ進むことが期待される。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1. 複合化によるホウ素系水素化物開発	第一原理に基づく反応バスの予測手法を確立 M-B-N-H系複合材料を開発	○
2. 中間相を用いたホウ素系水素化物開発	水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明 および、貯蔵特性における中間相の役割を解明	◎
3. 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明	水素放出・再吸蔵反応を促進する添加物の選定 微細構造と反応速度の相関を検討 反応速度の支配因子を抽出	○
4. ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化	200℃付近で水素放出・再吸蔵できるLi-B-N-H系複合材料を選定	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	16	45	0

ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施者：(株) 豊田中央研究所、(国) 東北大学 金属材料研究所

1. 事業概要

無機錯体系水素化物のうちホウ素系水素化物（以下 M-B-H）は、理論的には最大 18wt% もの水素を含有することができる。M-B-H の潜在能力を引き出し、車載用の水素貯蔵材料としての要求を満たすことができれば、燃料電池車の普及を大きく進めることが可能である。しかしながら、M-B-H は熱力学的に安定であるため水素を取り出す際に高温にする必要がある。M-B-H を車載用水素貯蔵材料として実用化するには、最大の特長である水素密度を損なうことなく、室温～150℃程度の比較的低温において迅速に水素を吸蔵・放出可能な特性を付与する必要がある。本事業では、先の「水素安全利用等技術開発事業」において得られた M-B-H に関する知見を活かし、新しいコンセプト（複合化、中間相、添加物）に基づく取り組みを活発に展開することによって目標達成を図る。

2. 事業目標

水素貯蔵材料（同材料容器や関連部品を含む）の開発目標は i) 質量貯蔵密度=6wt%以上、ii) 水素放出温度=150℃以下、iii) 耐久性=1000 回吸放出で初期貯蔵性能の 90%保持、iv) 材料コスト=1000 円/kg である。前期事業(平成 20-22 年度)では、M-B-H 系水素化物の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込む。22 年度末の時点で、最終目標の質量水素密度 6wt%以上および水素放出温度 150℃以下を達成可能な新規材料の可能性を見極める。

3. 事業成果

理論・実験・解析の三位一体として研究開発を展開し実施計画の遂行に努め、下記の成果を得た。

(1) 複合化によるホウ素系水素化物開発

①MgB₂ をホウ素源として金属水素化物と混合することで、ホウ素系水素化物への水素化反応が促進されることが報告されており、このような混合体は Reactive Hydride Composite (RHC) と呼ばれている。この RHC の熱力学的安定性と水素化・脱水素化反応の可逆性について、密度汎関数法に基づく第一原理計算により解析した。

図 1 は Ca 系 RHC の水素化・脱水素化反応に対する温度と標準生成自由エネルギーの関係を示したエリンガム図である。水素平衡圧を一定とした場合、通常の水素化反応に比べ RHC の方が平衡温度は低いことから、RHC により水素化反応の熱力学的特性が改善されていることがわかる。ただし、RHC を水素化した後の脱水素化反応は Ca(BH₄)₂ 単体の分解反応と比べて、平衡温度がわずかに低い。すなわち Ca 系 RHC の水素化・脱水素化反応は可逆的ではない可能性が高い。

②Mg(BH₄)₂+xMg(NH₂)₂ は純粋な Mg(BH₄)₂ や Mg(NH₂)₂ に比べて水素放出温度が低い。このため、まず水素化反応に対する複合比 x の影響を調べた。熱重量・示差熱分析(TG/DTA) 曲線を図 2 に示す。723K までの各複合体の水素放出量は x の増加に伴い減少する結果となった(x=1, 1.5, 2 でそれぞれ 10.1, 8.2, 7.7 mass%)。623K で比較すると x=1.5 が最も水素放出量が多い。一方、x の増加に伴い水素放出ピーク温度(523K

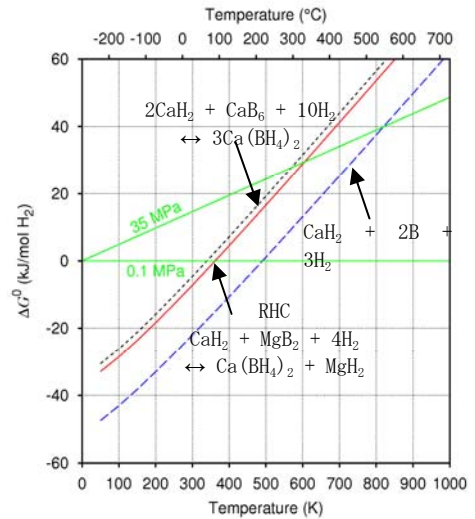


図 1 Ca 系 RHC に関するエリンガム図。

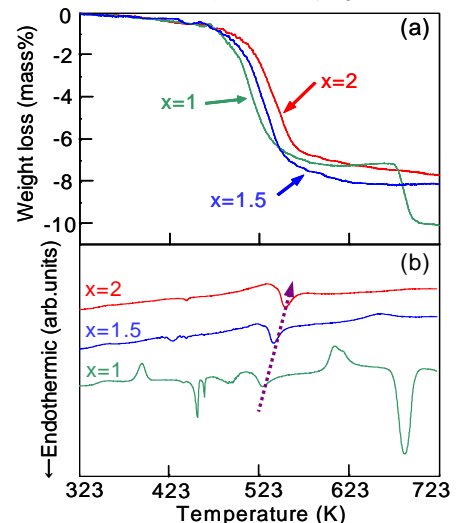


図 2 Mg(BH₄)₂+xMg(NH₂)₂ の (a) 熱重量分析結果と (b) 示差熱分析結果。

付近)は上昇する傾向を示した(図2(b)中に矢印で示す)。

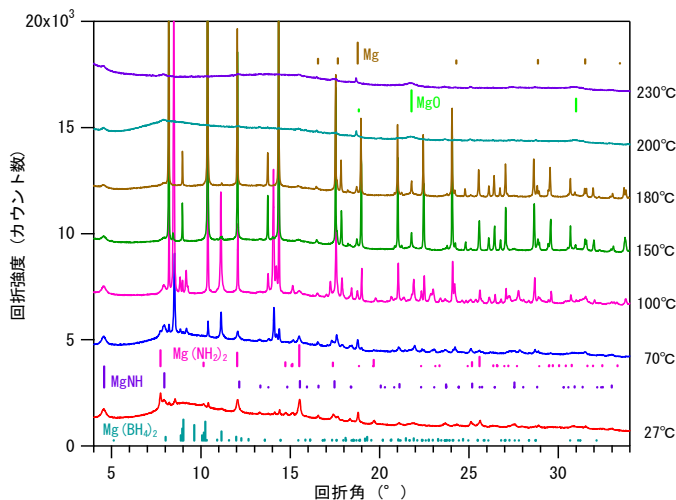


図3 Mg(BH₄)₂+Mg(NH₂)₂のXRD プロファイル

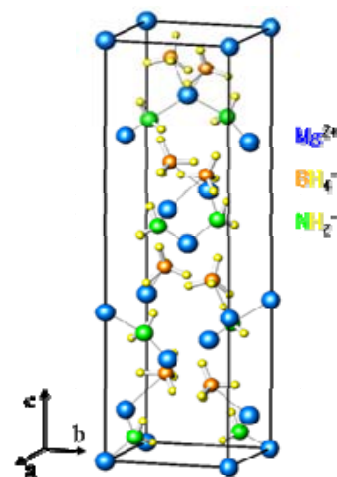


図4 Mg(BH₄)(NH₂)の結晶構造

次にMg(BH₄)₂+xMg(NH₂)₂ (x=1, 1.5, 2)のミリング処理後(水素放出前)と水素中573Kで水素放出した試料について、放射光(SPring-8 BL19B2)によるX線回折測定および汎用XRD装置を改良した水素雰囲気中でのin-situ XRD測定(図3)を行なった。Mg(BH₄)₂+Mg(NH₂)₂は加熱に伴い、結晶相1→結晶相2(2Mg(BH₄)(NH₂))→非晶質相の過程を経て水素を放出する。結晶相2について、第一原理計算に基づく安定構造予測結果と比較しながら結晶構造を精密化した結果、図4に示すように、c軸方向にMg²⁺、NH₂⁻、Mg²⁺、BH₄⁻、Mg²⁺の順に陽イオンMg²⁺と陰イオンBH₄⁻、NH₂⁻が交互に積み重なる構造であることが明らかになった。この構造はLiBH₄+nLiNH₂ (n=1~3)複合系の場合と同様に、性質の異なる2種類の陰イオンBH₄⁻とNH₂⁻が共存しており、この結果水素放出が低温化しているものと考えられる。

③LiBH₄+2LiNH₂混合体(5wt%NiCl₂添加)は423Kで9mass%以上の水素を放出する。本実験では再水素化の可能性について検討した。水素圧力0.1MPa、523Kで脱水素化した後、水素圧力50MPa、温度373Kまたは473K、24時間保持の条件で再水素化処理を行なった。図5にTGおよびDTA分析結果を示す。TG曲線から見積もると、473Kで再水素化処理した試料の水素放出量は1.2mass%であった。また、423K付近で水素の放出が開始していることから、本複合材料の一部が再水素化されていることが明らかになった。

④Ca(BH₄)₂にLiAlH₄と複合化させた材料を合成し、その水素放出特性を評価した。ガスクロマトグラフによる水素検出では、各試料とも約130°C付近から水素の放出が開始した(図6)。Ca(BH₄)₂とLiAlH₄を複合化させることで、水素の放出温度を下げる事が可能であることが明らかになった。

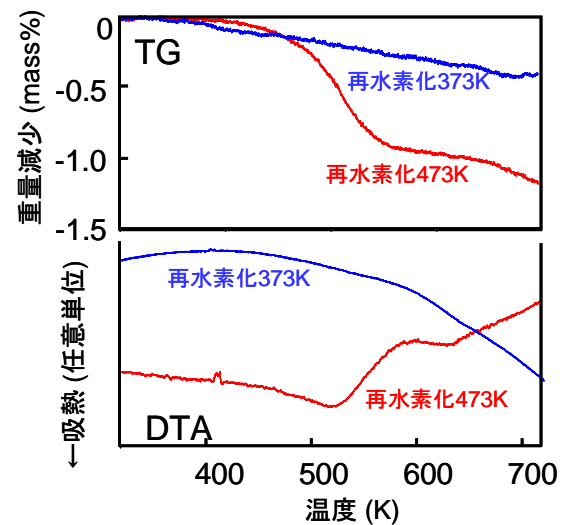


図5 LiBH₄+2LiNH₂再水素化試料のTG/DTA分析

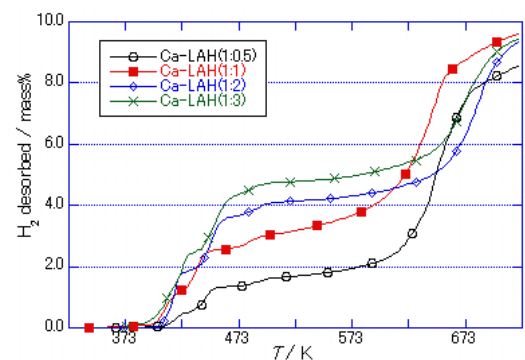


図6 TPD-GCによるCa(BH₄)₂+nLiAlH₄からの放出水素量(n=0.5~3)

(2) 中間相を用いたホウ素系水素化物開発

① 14.9 mass%もの高い水素貯蔵密度を有する $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ に着目して、水素放出反応の過程で生成する中間相に対して、水素放出条件（等温または昇温過程）が及ぼす影響について詳細に解析した。

図7に等温過程における $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の水素放出特性を示す。633 K での2つのプラトーは、それぞれが $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ から MgH_2 まで、 MgH_2 から Mg までの水素放出に相当する。また558 Kにおけるプラトーの形状から、多段階反応で $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の中間相が生成していることが示唆された。図7の挿入図に示す熱重量-示差熱分析の結果からは、昇温過程における水素放出反応でも等温過程と同様に多段階で進行し、中間相が生成することが判明した。ラマン・赤外分光分析および第一原理計算などの結果を総合すると、この中間相は $\text{MgB}_{12}\text{H}_{12}$ を中心とする B-H 系化合物であることが確認された。

② $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の再水素化特性を調査するために、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ を 623K、6h で脱水素化処理後、473~773K の温度域（いずれも 40MPa、12h）で再水素化処理を行った。各温度で再水素化した試料の再水素化量を図8に示す。再水素化量は 673K 付近で最大値の 7.6mass%となることから分かる。即ち、再水素化温度の上昇に伴い、その反応が速度論的に促進されるために再水素化量が顕著に増加する。一方、再水素化温度が 700K を超える場合には、再水素化した試料が熱力学的に不安定となり逆に再水素化量が減少する。図9に示す再水素化した試料の ^{11}B マジック角回転法核磁気共鳴分析 (^{11}B MAS NMR) の結果から、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ および中間相 $\text{MgB}_{12}\text{H}_{12}$ の再生成が確認できた。これらの結果から、再水素化温度を制御することによって、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ および中間相 $\text{MgB}_{12}\text{H}_{12}$ の再生成が可能になることが示唆される。

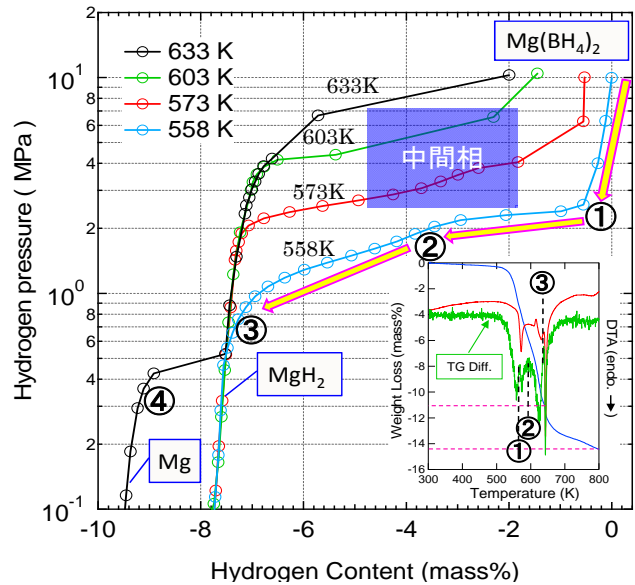


図7 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の水素放出特性（挿入図は昇温過程における熱重量-示差熱分析の結果）。

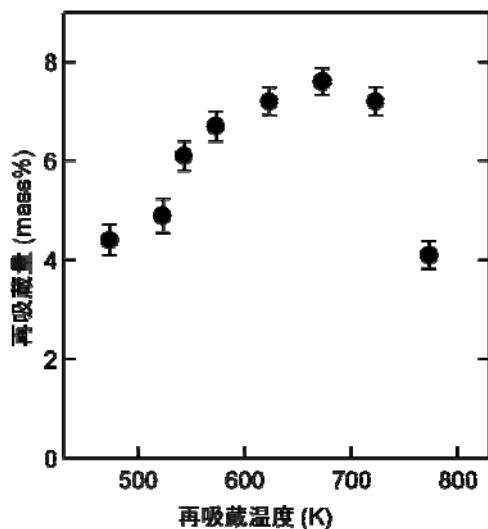


図8 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の各温度で再水素化（40MPa H_2 、12h）で再水素化処理した試料の水素含有量（=再水素化量）

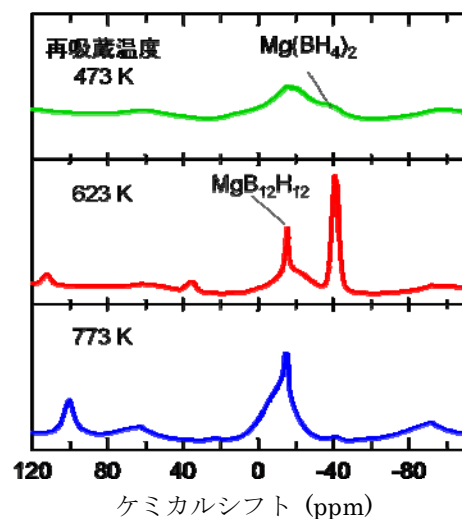


図9 再水素化した試料の ^{11}B MAS NMR 分析結果【共同研究先 東北大学 前川英己氏、高村仁氏】

③200°C付近での水素放出反応が期待される $Y(BH_4)_3$ に注目して、その合成条件を確立するとともに、水素放出反応や中間相組成を解析した。

YCl_3 と $LiBH_4$ を出発原料として、ジエチルエーテル中でのメタセシス反応と $LiCl$ 分離により高純度の目的化合物を合成した。粉末 X 線回折測定の結果、生成物である $LiCl$ の一部が残留しているものの、主成分は $Y(BH_4)_3$ であることを確認した。図 1 0 に昇温過程における熱重量一示差熱分析および質量分析の結果を示す。 $Mg(BH_4)_2$ と比較して水素放出量 (6.8 mass%) は少ないが、約 460K で水素放出反応が開始している。水素放出反応は $Mg(BH_4)_2$ と同様に多段反応であり、昇温に伴い 1) 相変態 (低温相 → 高温相)、2) 融解、3) $Y(BH_4)_3$ の中間相と YH_3 への分解、4) 中間相の分解、5) YH_3 の分解が順に起こることが明らかになった。

(3) 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明

① $Mg(BH_4)_2$ の水素放出特性における添加物効果を調査した。

図 1 1 に各種の化合物を添加した試料の熱重量分析の結果を示す。いずれの試料においても 14mass% 前後の水素放出量が確認される。また、各試料の水素放出開始温度を単独の $Mg(BH_4)_2$ (約 550K) と比較すると、C、TiC、 TiB_2 を添加した場合は明確な変化が見られないが、 $TiCl_3$ を添加することで約 370K から水素放出反応が開始することが明らかになった。また水素再吸蔵反応においても、 $TiCl_3$ はもっとも良い反応促進効果を示した。

$TiCl_3$ の促進効果を明らかにするために、XANES 測定により Ti の動径分布関数を解析、評価した。図 1 2 に 10mol% $TiCl_3$ を添加した試料を再吸蔵処理した試料、及びそれを 523K、773K まで加熱した試料の Ti の動径分布関数を示す。全ての試料において観測された Ti の動径分布関数は Ti が TiB_2 として存在していることを示唆している。このため、添加した $TiCl_3$ は $Mg(BH_4)_2$ と反応することで $Ti(BH_4)_3$ を形成し、この $Ti(BH_4)_3$ が分解することで TiB_2 が生成したと考えられる。このように生成した TiB_2 は、 $Mg(BH_4)_2$ の水素放出温度の低下および、再吸蔵反応の促進に寄与すると考えられる。

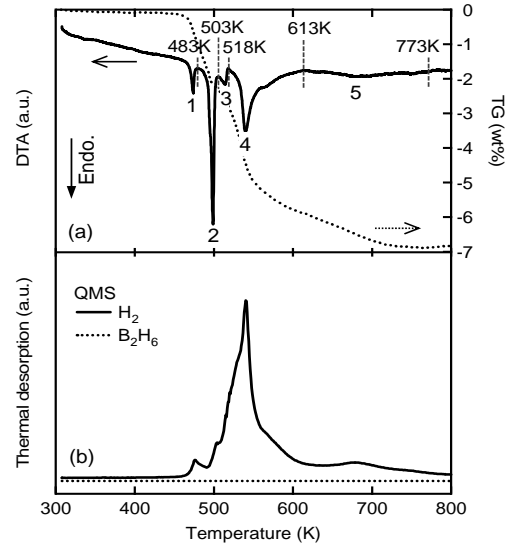


図 1 0 昇温過程における $Y(BH_4)_3$ の熱分析結果 ((a) 熱重量一示差熱分析、(b) 質量分析)。

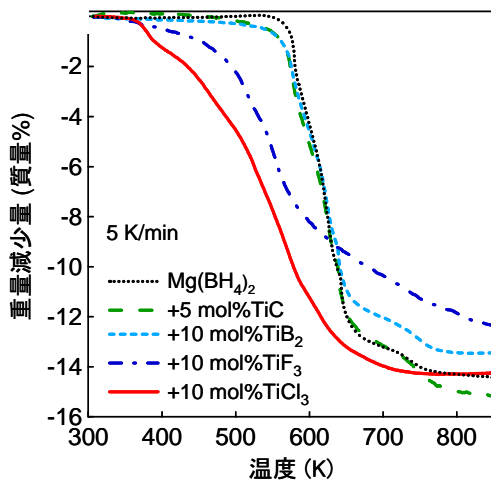


図 1 1 各種添加物を混合した $Mg(BH_4)_2$ 試料の熱重量分析結果

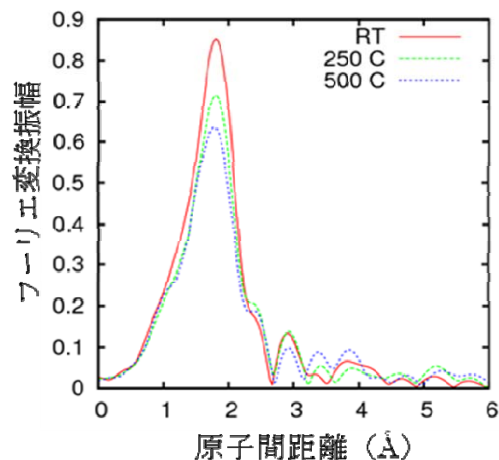


図 1 2 10mol% $TiCl_3$ を添加した試料を再吸蔵処理した後、及びそれを 523K、773K まで加熱した試料の Ti の動径分布関数【共同研究先 日本原子力研究開発機構 西畑保雄氏】

水素放出後試料の微細構造観察から、 TiCl_3 の添加により $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ の再吸蔵反応が促進されたもう一つの原因として、水素放出反応時における MgH_2 の析出の抑制であると考えられる。

図13に TiCl_3 無添加の $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ と TiCl_3 を10mol%添加した試料をそれぞれ水素放出処理した試料のSEM像を示す。単独の $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ では試料表面に針状の MgH_2 の析出が観察される。一方で TiCl_3 を添加した試料では数 μm 前後の粒子が凝集しており、針状の MgH_2 の析出は確認できなかった。

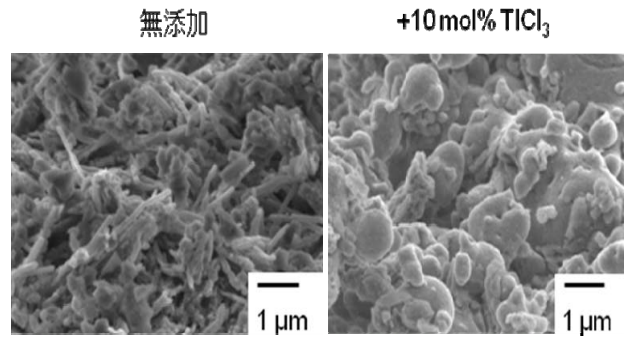


図13 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ および $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ に10mol% TiCl_3 を添加した試料の水素放出後のSEM像

TiCl_3 無添加試料では、水素放出後に試料表面に MgH_2 が析出するため、試料中の Mg と B 原子を偏在する結果となる。このため、水素を再吸蔵させるためには Mg と B 原子の長距離拡散が必要となり、結果として反応速度が低下したのと考えられる。 TiCl_3 を添加した試料では、 MgH_2 の析出が抑制され、水素放出後の試料中に Mg や B 原子が高分散状態を保つことで、拡散距離の短縮、さらには再吸蔵反応が促進されたと考えられる。

(4) μSR (ミュオン・スピン回転・緩和法) によるホウ素系水素化物の分析・解析

ホウ素系水素化物中に微量の不純物としてプロトンが存在したときのプロトンの占有サイト及び結合状態を調べるため、 μSR 実験を行った。正ミュオン (μ^+) は軽いプロトンの同位体 (質量はプロトンの $1/9$) と考えられ、物質中の振舞いはプロトンとほぼ同様であるため、 μ^+ の状態を解析することにより、プロトンの状態を知ることができる。図14に結果の一例を示す。実験はカナダの TRIUMF 研究所の M20 ビームラインで行った。 LiBH_4 の零磁場測定では自発的な回転信号を観測した。これは、 μ^+ と核スピン $1/2$ のプロトンが結合状態 ($\text{H}-\mu^+-\text{H}$ 結合) を形成していることに起因する。

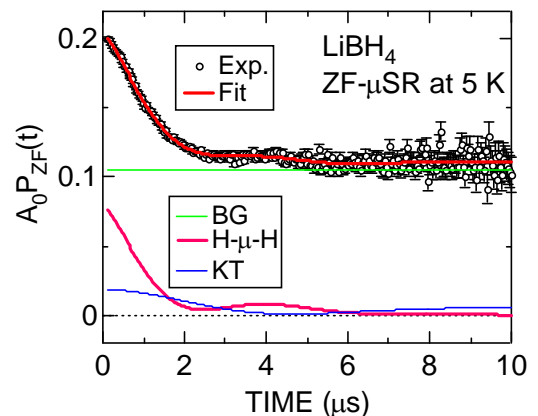


図14 LiBH_4 中のミュオンスピン偏極度の時間変化

各種のホウ素系水素化物中のプロトンの状態を調べるため μSR 実験を行った。試料には LiBH_4 、 NaBH_4 、 KBH_4 、 $\text{Ca}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Sc}(\text{BH}_4)_3$ 6種の粉末多結晶を用いた。零磁場測定 (図15) では $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ を除く3種の試料で測定した全ての温度範囲で、回転信号

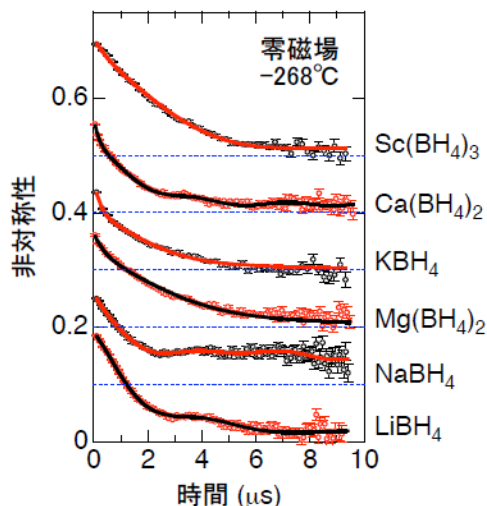


図15 μSR プロファイル

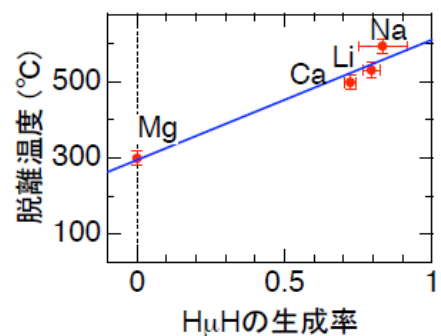


図16 脱離温度と $\text{H}-\mu^+-\text{H}$ 生成率の関係

を観測した。磁性を持たない物質における零磁場ミュオンスペクトルの回転信号は、正ミュオン (μ^+) と水素 H が結合状態を形成していることに起因する。図 16 に零磁場スペクトルの解析結果を示す。横軸は試料中に打ち込んだ μ^+ が H- μ^+ -H 結合を形成する確率、縦軸は試料からの水素脱離温度 T_d である。 T_d と H- μ^+ -H 結合の生成率に明瞭な相関を見出した。

特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	3 件	3 件	13 件
H21FY	2 件	0 件	0 件	5 件	5 件	32 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

理論計算・実験・解析チームが一体となって、ホウ素系水素貯蔵材料の研究開発を実施した。

(1) 理論計算では、ホウ素化物を用いた RHC (reactive hydride composite) の水素化・脱水素化の反応経路を予測し、複合化の方向性を示した。

(2) 種々の錯体水素化物の複合化を実施し、単体 BH_4 および NH_2 化合物よりも水素放出温度が低い複陰イオン錯体水素化物 Mg-B-N-H を開発した。同様の複陰イオン錯体水素化物である Li-B-N-H について、塩化物の添加と高温高圧水素化処理により、一部再水素化が可能であることを示した。一部の水素が $130^\circ C$ で放出可能な複陽イオン錯体水素化物 Li-Ca-Al-B-H を開発した。

(3) $Mg(BH_4)_2$, $Y(BH_4)_3$ のホウ素系水素化物を合成し、水素放出過程での中間相の生成を明らかにした。また、再水素化過程においても中間相は重要な役割を有していることが示唆された。

(4) $Mg(BH_4)_2$ の水素放出・再水素化反応への添加物効果を検討し、 $TiCl_3$ 化合物が水素放出・再水素化の両反応に極めて効果的であることを見出すとともに、その機構についても解析を進めた。また、添加物により水素放出後試料の微細構造を制御することで、構成元素の良好な分散状態を維持することが再水素化反応の速度向上に寄与することを示した。

(5) ホウ素系水素化物の微細構造解析技術として μSR を導入し、陽イオン種の違いによるホウ素系水素化物の熱力学的安定性と H- μ^+ -H 生成率との相関を見出した。

5. 実用化・事業化見通し

ホウ素系水素化物は 10mass%以上の水素を貯蔵可能である。本研究開発では、複合化、中間相、添加物等の最適化によって、水素放出温度が $100^\circ C$ 付近まで下がり、高温高圧ではあるが一部再水素化も可能であることを見出した。実用レベルまでには、さらなる温度低下、反応速度の大幅な改良が必要である。今後の研究開発によって、これらの課題を解決したうえで、実用化検討へ進むことが期待される。

(Ⅱ-5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

委託先: 日本重化学工業株式会社

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

- ・2段のプラトーが出現することで水素吸蔵量がそれまでの1.0質量%から1.7質量%に増加した, MgPrNi₄組成のC15_b型のラーベス構造を有した合金を開発した
- ・313Kで300サイクルの水素吸蔵・放出を繰り返した後も, 95%以上の水素吸蔵・放出量を維持することができるMg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄組成の合金を開発した
- ・C14型のラーベス構造を有したCaLi₂組成合金および第3元素置換を行った合金を正確に作製することができる, ヘリウム雰囲気での浮遊溶解による手法を開発した

●背景/研究内容・目的

ラーベス合金ではZrV₂H₆のようにH/Mが2.0まで到達する合金が存在している。一方Mgを含んだ軽なラーベス合金では, H/M=0.7程度までしか水素を吸蔵しない。その理由を調べるために水素化物の構造等の情報を取得し, ZrV₂のそれらと比較・検討を行う。また得られた知見をもとにMg系ラーベス合金が, H/M=0.7程度までしか水素を吸蔵しない理由および常温常圧で可逆的に水素を吸蔵・放出できる理由を解明する。その結果をもとに, より高吸蔵量が期待できる合金系であるC14型のCaMg₂系およびCaLi₂系の合金が吸蔵・放出可能となるような改良へのフィードバックを行う。

●研究目標

実施項目	中間目標(H22年度)	最終目標(H24年度)
MgNi ₂ 系C15型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ, 合金組成改良による吸蔵量の向上	3質量%, 150°C, 1000サイクルを満たした合金の開発
RENi ₂ 系C15型ラーベス合金	不均化の進行過程を各種手法にて調査して挙動を把握する	水素吸蔵による不均化反応のメカニズムの解明
CaMg ₂ 系C14型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ, 合金組成改良による放出温度の低下	150°C以下でも6質量%を放出する合金の開発
CaLi ₂ 系C14型ラーベス合金	格子定数および原子半径比を変えた合金の作製・評価	不均化等を抑制し, 室温で6質量%を吸蔵する合金の開発

●実施体制及び分担等

NEDO — 日本重化学工業(株)

●これまでの実施内容/研究成果

右の図には2段目のプラトー領域が確認できたMgPrNi₄の各温度でのPCT曲線を記した。水素吸蔵量は0°C, 8MPaで約H/M=1.1, 1.7質量%であった。上段および下段のプラトー領域の水素放出の平衡圧力値からファントホッププロットにより求めたΔHおよびΔSはそれぞれ-19.6, -42.4kJ/molH₂および-98.2, -126.8kJ/molH₂・Kであった。また上段の水素化物は立方晶C15b, 下段の水素化物は斜方晶であった。Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄組成合金では313Kで300サイクルの吸蔵・放出後も95%以上の水素移動量を維持していた。

RE系合金: 各種RE, 微量添加合金の試作・評価
Ca系合金: 第3元素を置換した合金の試作・評価

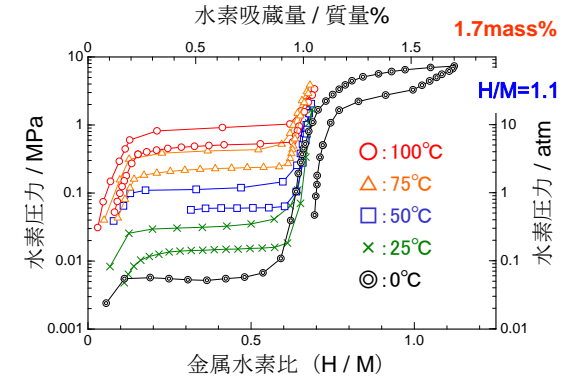


図. MgPrNi₄組成合金のPCT曲線

●今後の課題

／スケジュール(H24年度まで)

- MgおよびRE系
 - ・不均化の挙動解析によるメカニズムの解明および抑制方法の考案
 - 23年度まで: 不均化挙動の観察, 測定
 - 24年度まで: メカニズム解明および抑制方法の考案, 実証
- Ca系
 - ・改良した組成合金の水素化物の構造解析を行い, 死蔵水素の情報を取得し, 再度の組成設計に反映させる
 - 23年度まで: 水素化物の構造調査
 - 24年度まで: 再設計合金の試作・評価

●実用化・事業化の見通し

現状では, 2段プラトーによる吸蔵量の増加と断片的な不均化に関する情報の取得に留まっており, 今後これらを基にCa系の改良ができれば実用化の見通しがたつと考えている。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
MgNi ₂ 系C15型ラーベス合金	2段プラトーによる吸蔵量が增加する合金の発見および2種類の水素化物の構造解析	○
RENi ₂ 系C15型ラーベス合金	不均化挙動に関する情報を取得。抑制案に基づいた試作の実施	△
CaMg ₂ 系C14型ラーベス合金	室温で水素化物の高真空による放出の有無の調査実施	×
CaLi ₂ 系C14型ラーベス合金	ヘリウム雰囲気での浮遊溶解炉を用いたCaLi ₂ 系合金の作製方法を開発	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	6	0

ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施者：日本重化学工業（株）

1. 事業概要

高容量な水素貯蔵材料を開発するために重要なことは、軽量な元素で構成された材料を開発することである。Mg、Li および Ca 等は軽量であるためそれらの水素化物(MgH₂ 等)の水素含有量(水素貯蔵量)は高濃度(高容量)となる。しかしながらそれらの水素化物は通常、非常に安定であるため、大気圧力程度の水素放出圧力を得るためには、少なくとも 300℃以上の高温が必要になる。この課題を克服するために現在までに、さまざまな試みが行われてきたが、Mg、Li および Ca 等が室温程度の温度で可逆的に大気圧力程度の水素を速やかに放出するような改良は成功していない。

また様々な手法で Mg、Li および Ca を主要な構成元素とする合金を作製することで、室温程度の温度で可逆的に大気圧力程度の水素を速やかに吸蔵・放出することを目指した改良も試みられているが、満足のいく結果は得られていない。水素の吸蔵反応は室温程度の温度で開始するようにはなるものの、放出反応は依然として 300℃程度を必要とし、かつ可逆性や反応速度にも問題がある結果となっているのが現状である。反応速度に関しては通常の AB₅ 型の合金では、平衡状態に達するまでに要する時間が数分程度であるが、一部の Mg 系合金では数時間から数日かかるものがあり、大きな課題となっている。

また一部の Mg、Li および Ca 系の合金は水素を吸蔵した後に、合金の分解反応(不均化反応)が起こり、MgH₂ や CaH₂ および LiH 等の水素化物が生成してしまう。一旦これらが生成すると、大気圧力程度の水素の放出には MgH₂ や CaH₂ および LiH 等の分解反応に必要な、少なくとも 300℃以上の高温が必要になる。また上記のように、遅い反応速度、高温を要する放出特性および不均化反応等の問題のほかにも、Mg、Li および Ca 等を含有した合金を開発する際の問題点として、通常の溶解法では蒸発によって生成する Mg、Li および Ca の微粉末の危険性がある。このため、多種多様な合金を系統的に作製し研究することが困難であることが、この系の合金開発の進展を妨げている理由のひとつでもある。この問題に関しては、これまでの研究開発で、溶解時の雰囲気ガスの成分を変化させることや、融点が低い母合金を用いる 2 段階の溶解法で、Mg などの蒸気圧の高い金属群がチャンバ内壁に凝縮して微粉末となり、自然発火性の危険性が高くなる合金開発実験上の障害を取り除くことが可能であることを見出した。

当社では平成 15 年度～19 年度にかけて「水素安全利用等基盤技術開発—水素に関する共通基盤技術開発—高容量水素吸蔵合金と貯蔵タンクの開発」事業において(独)産業技術総合研究所殿と共同で Mg 系合金の開発および溶解作製法の改良を行ってきた結果、室温で可逆的かつ速やかに水素を吸蔵・放出することが可能な Mg 系 C15 型および C15_o 型ラーベス構造の合金を開発した。開発した合金は Mg を 30at%程度含有しており、質量貯蔵密度は 1.5mass%程度である。この Mg を多量に含有し室温で可逆的かつ速やかに吸蔵・放出する合金の開発は世界的にも注目を集めている。この系の合金の水素吸蔵量を増やす目的で新たに開発した Ca 系 C14 型ラーベス構造の合金は、Mg を 70at%程度含有しており、室温で速やかに 5mass%以上の水素を吸蔵する。またこの合金は水素吸蔵後でも不均化反応による MgH₂ を生成することなく、合金は分解せず、結晶構造を維持した状態で水素を吸蔵する。しかし大気圧力程度の水素を放出する反応は室温では起こらず、ターボ分子ポンプによる高真空までの減圧や 250℃程度の加熱によって、はじめて水素を放出する。この 250℃の加熱もしくは真空排気による水素放出反応を詳細に調べた結果、室温での水素吸蔵後では生成していなかった、MgH₂ からの放出が起こっていることが判明した。

これらの結果をふまえ、本事業の研究開発では蒸気圧が高い Mg や Li および Ca 等の軽量な金属を主要な構成元素とするラーベス構造を有した合金の放出特性の改善や不均化反応のメカニズム解明を行い、その抑制を目指した組成の改良・設計を行うことで、6mass%級合金の開発を目指す。また放出特性の改善や不均化反応の抑制に関する開発指針を得るために、質量貯蔵密度は少ないが同じ C15 型ラーベス構造を有した Mg 系合金や希土類系合金の水素化物の詳細な調査を実施し、得られた開発指針を高容量な Ca 系合金に応用することを試みる。

C15 型ラーベス構造を有する Mg 系や希土類系のメカニズム解析は、基本的には 6mass%が期待できる C14 型 Ca 系合金の高容量化のアプローチの手段である。

なお本研究に使用する合金の試作方法に関しては、先に記した開発した溶解方法を用いる予定である。

本事業では、以下のメカニズム解析と研究開発を実施する。

1) Mg 系合金による水素吸蔵サイトの解析

室温で可逆的に吸蔵・放出可能な C15 型ラーベス構造の Mg 系合金が、なぜ室温でも放出可能なのかを調べる目的で水素吸蔵サイトの情報を取得し、得られた情報をもとに、高吸蔵量型合金である C14 型の

CaMg₂系合金が、室温で水素を放出可能となるような改良にフィードバックを行う。

2) 希土類-Ni系合金による不均化のメカニズム解析

C15 型ラーベス構造の希土類-Ni 系合金の水素吸蔵による不均化反応のメカニズム解明を行い、得られた情報をもとに、高吸蔵量型合金である C14 型ラーベス構造の CaLi₂ 系合金の不均化反応抑制を目指した合金設計にフィードバックして 6mass%級合金の開発を行う。

3) CaMg₂系合金の開発

CaMg₂ 系合金の水素が吸蔵されているサイトおよび吸蔵されていないサイトの情報を取得し、その情報をもとに元素置換等によりサイトの構成元素を変化させることおよび C15 型ラーベス合金によるメカニズム解明の結果を応用することで放出特性を改善する。

4) CaLi₂系合金の開発

高吸蔵量の C14 型ラーベス構造の CaLi₂ 系合金では水素吸蔵後の CaH₂と LiH への不均化反応の抑制を目指し、不均化反応のメカニズムを解明することにより得られた情報および C15 型ラーベス合金での解析情報をもとに不均化反応抑制を目指した合金設計を行い、実用的な 6mass%級合金を開発する。

2. 事業目標

本事業は燃料電池自動車等の普及と水素エネルギーの導入・普及に向けて必要となる水素製造・輸送・貯蔵・充填等一連の機器およびシステムに関する要素技術開発のうち、高容量水素吸蔵合金を開発するために実施するものである。また本事業では、水素貯蔵技術に関する要素技術の開発として、ラーベス構造を有した新規高容量水素吸蔵合金の研究開発を実施し、水素貯蔵機器およびシステムの高性能化・軽量化等効率向上に繋がる技術を開発することを目的としている。

具体的には以下の性能を満たした水素吸蔵合金を開発することが事業の目標である。

- ・水素質量貯蔵密度が 6mass%を有すること
- ・0.1MPa 以上の水素圧力での水素放出温度が 150°C以下であること
- ・初期貯蔵性能の 90%を維持した吸蔵・放出回数としての耐久性が 1000 サイクル以上であること

また、実用化を考慮して-10°C~50°Cでの温度範囲での使用を想定した水素貯蔵タンクに合金を充填することを想定した結果、以下の数値に関しても目標とする。

- ・反応熱|ΔH|が 20~30kJ/molH₂ 程度(ただしΔSは-100J/molH₂・Kとする)
- ・水素の体積貯蔵密度が 0.25~0.10g/cm³程度
- ・水素の吸蔵・放出速度が 10 分で最大吸蔵量の 90%以上を吸蔵・放出
- ・材料コストが 1000 円/kg

3. 事業成果

3-1. Mg 系合金

以下の図 1 には Mg_{2-x}Pr_xNi₄ 組成の C15_b 型のラーベス合金の 0~100°Cで 0.01~8MPa までの範囲の PCT 曲線を示した。これらの結果から分かるとおり、PCT 曲線は、化学組成がわずかにかわることで大きく特徴が変化することが分かった。x=0.6 合金の PCT 曲線では平坦で幅が広

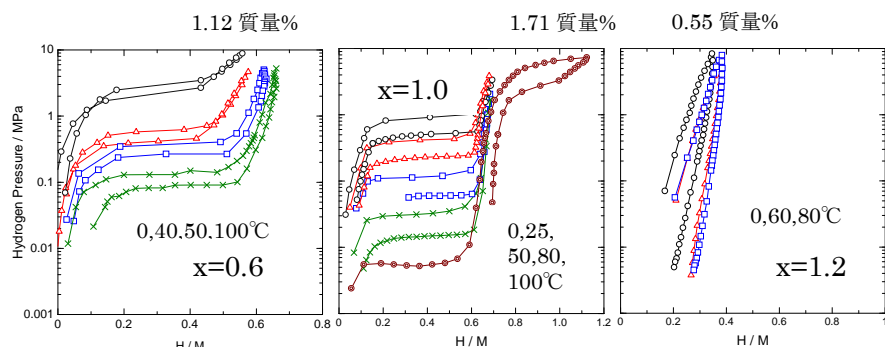


図 1. Mg_{2-x}Pr_xNi₄ の PCT 曲線 (x=0.6, 1.0, 1.2)

い1段のプラトー領域が確認できたが、化学量論組成である $x=1.0$ 合金での 0°C で 8MPa までの測定の結果では、高圧部分で2段のプラトー領域の出現が確認できた。その結果、水素吸蔵量は $\text{H}/\text{M}=0.6$ (1.0 質量%)から $\text{H}/\text{M}=1.1$ (1.7 質量%)まで増加した。下段のプラトー領域の水素放出の平衡圧力値からファントホッププロットにより求めた ΔH および ΔS は $x=0.6, 1.0$ 合金でそれぞれ $-39.2, -42.4\text{kJ}/\text{molH}_2$ および $-133.0, -126.8\text{kJ}/\text{molH}_2\cdot\text{K}$ であった。より高圧の水素を用いて $x=1.0$ 合金の上段プラトーの詳細を調べた結果、 ΔH および ΔS は $-19.6\text{kJ}/\text{molH}_2$ および $-98.2\text{kJ}/\text{molH}_2\cdot\text{K}$ であった。化学量論組成より Pr がリッチな $x=1.2$ 合金では、明確なプラトー領域が存在しておらず、吸蔵量も極端に少ない結果となっていた。

図2には、同合金の水素吸蔵時の構造の変化を調べた粉末X線回折測定結果を示した。測定領域は、水素固溶相(合金相)、プラトー領域(2相共存領域)および水素化物相の3つの領域である。 $x=0.6$ 合金では生成する水素化物の金属副格子はホストの合金と同じ C15_b 型のラーベス構造であった。つまり水素吸蔵時に合金は等方的に膨張していた。一方 $x=1.0$ 合金は生成する水素化物は斜方晶系の結晶構造であった。つまり異方的に膨張していた。 $x=1.2$ 合金では水素吸蔵によって非晶質化が起っていた。また Mg, Pr の加重平均した原子半径と Ni の原子半径の比 ($R_{\text{Mg,Pr}}/R_{\text{Ni}}$) が、 $1.39(x=1.2)$ であり、2元素の C15 型ラーベス合金で非晶質化が起こるとされている 1.37 以上の値となっている。よって本系でも「原子半径比が 1.37 以上で非晶質化が起こる」という経験則が有効であることが分かった。従って今後の実用合金の化学組成を設計する際には、非晶質化を抑制するために、この原子半径比を考慮する必要があると言える。

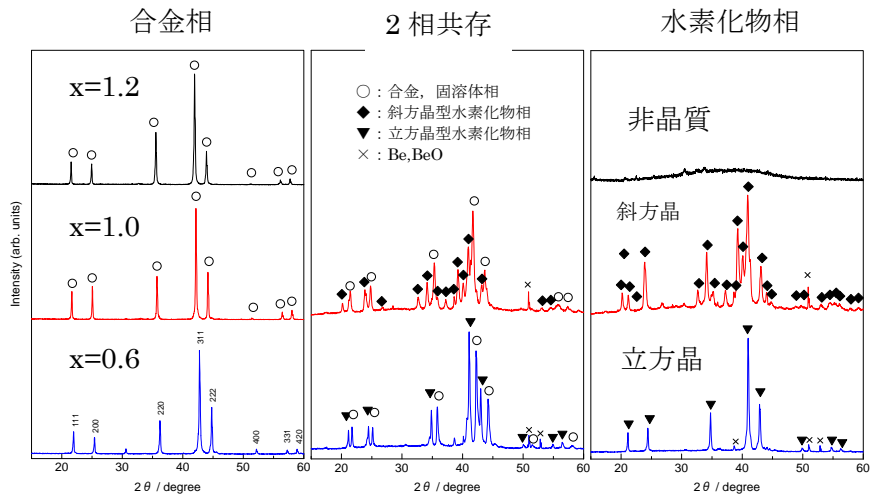


図2. $\text{Mg}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_4$ の各状態での XRD プロファイル ($x=0.6, 1.0, 1.2$)

図3には、 MgRENi_4 合金 ($\text{RE}:\text{La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd}$) の PCT 曲線を示した。La, Ce 合金以外では明確にプラトー領域が確認できた。また Nd, Sm, Gd 合金では格子定数が Pr 合金より小さくなっており、そのため平衡圧力が上昇し、測定した温度、圧力範囲では2段目のプラトーが観察できなかったものと思われる。Nd, Sm, Gd 合金での ΔH および ΔS はそれぞれ、 $-43.9, -33.3, -34.5\text{kJ}/\text{molH}_2$ および $-133.5, -108.2, -120.8\text{kJ}/\text{molH}_2\cdot\text{K}$ であった。La 合金では、 1 質量%程度の水素の吸蔵・放出は確認できたが、プラトーは確認できなかった。Ce 合金では水素の吸蔵が確認できなかった。これらに関しては今後詳細を調べ明らかにしていきたいと考えている。

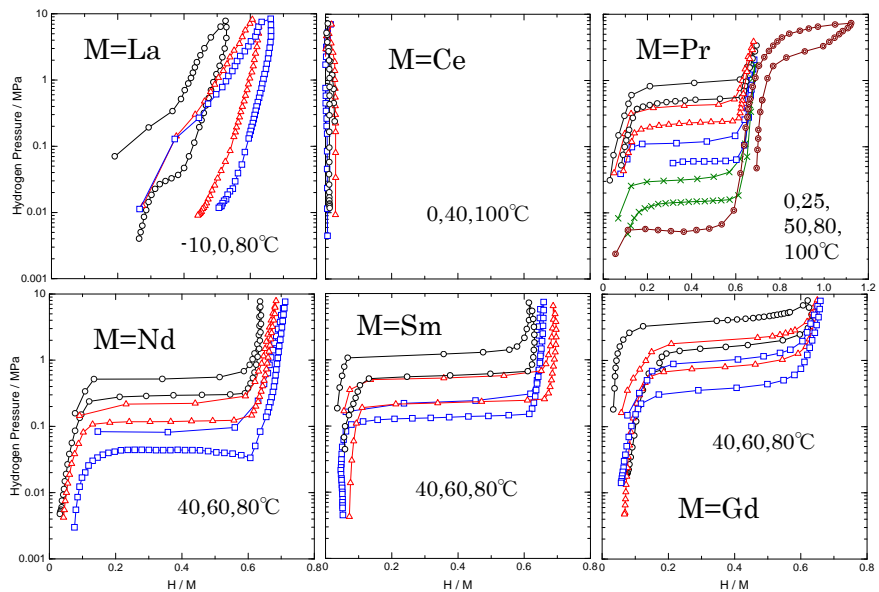


図3. MgRENi_4 の PCT 曲線 (RE : La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd)

下の図4には化学量論組成合金である MgRENi_4 ($\text{RE}:\text{Pr, Nd, Sm, Gd}$) の水素化物の水素雰囲気中での XRD 測定の結果を示した。この結果から分かるとおり、いずれの希土類元素を用いた合金でも MgPrNi_4 と同様に、水素化

物の金属副格子は◆印で示した元の合金と同様の C15_h 型の結晶構造を取ることが分かった。つまり水素化物は異方的に膨張していることが分かった。

また以前の研究で Mg_{1.4}RE_{0.6}Ni₄ (RE: Nd, Sm, Gd) 合金では Pr の場合と同様に1段のプラトー領域が確認でき、かつ水素化物が等方的に膨張した C15_h 型の構造を取ることが分かっている。これらのことと今回の結

果を合わせて考えると、Mg_{2-x}Pr_xNi₄ 合金で観られた x の値の違いでの水素化物が、①C15_h 型(等方的膨張, 1段プラトー)、②斜方晶化(異方的膨張, 2段プラトー有り)、③非晶質化と変化する傾向が、RE: Nd, Sm, Gd 合金でも観られるものと予想される。ただし非晶質化に関しては原子半径が Pr>Nd>Sm>Gd となっているため、それぞれの合金で非晶質化が起こる x の値は変化してくるものと思われる。またこの x の値は臨界値の 1.37 から逆算すると、x=1.1(RE: Nd)、x=1.2(RE: Sm)、x=1.3(RE: Gd)と予想される。

図 5 には MgPrNi₄ および Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ 合金のサイクル特性を調べた結果を示した。測定は 313K で、約 3MPa の水素圧をチャージし 10 分間吸蔵させた後、ロータリーポンプで同じく 10 分間真空排気を行うサイクルを繰り返した。またサイクル測定の中で、313K で最高 8MPa までの条件で PCT 測定を実施した。その結果を図 6 に示した。図 5 の結果から明らかのように、Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ 合金では非常にサイクル特性に優れており、300 サイクル後も 97% 程度の水素吸蔵量を維持していた。この値から推定すると目標の 1000 サイクルで 90% 以上を達成するものと思われる。一方 MgPrNi₄ 合金では、初期の 50 サイクルで 25% 以上吸蔵量が減少してしまう結果となっていた。同様の傾向が PCT 測定結果でも得られた。サイクル測定後の合金の XRD 測定および粒度分布測定を行った結果より、MgPrNi₄ 合金では XRD ピークのプロードニングが顕著に確認できた。一方 Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ 合金では 300 サイクル後も XRD ピークはシャープなままであった。また、粒度の変化にも違いがみられ、MgPrNi₄ 合金にくらべて Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ 合金では微粉化が顕著に起こっていた。これらの結果からサイクル特性に影響を与えている要因を考察し、今後の特性の向上に向けての化学組成や構造の改良に反映していくことが重要であると思われる。

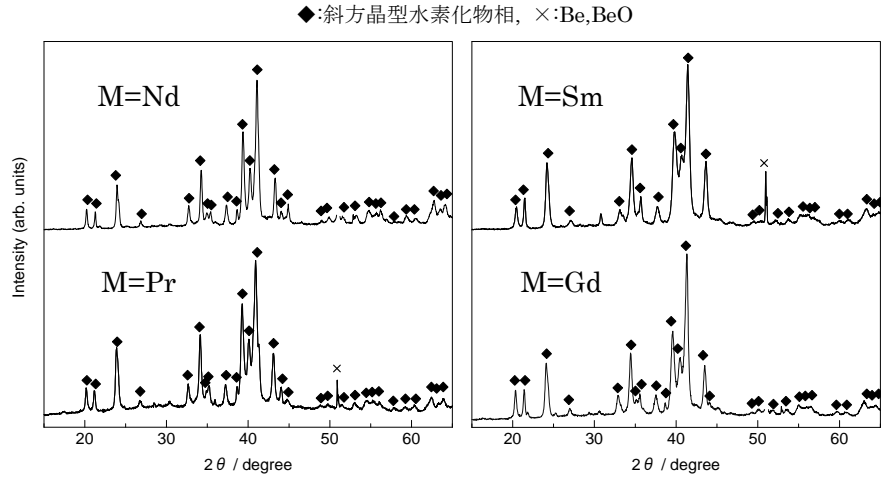


図 4. MgRENi₄ の水素化物の XRD プロファイル (RE : Nd, Pr, Sm, Gd)

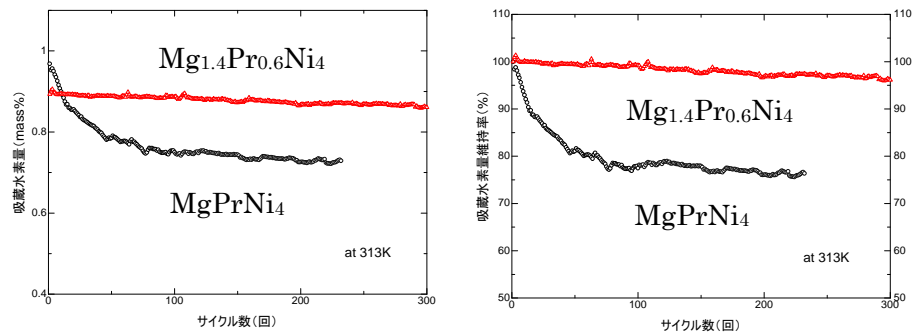


図 5. MgPrNi₄ および Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ のサイクル特性

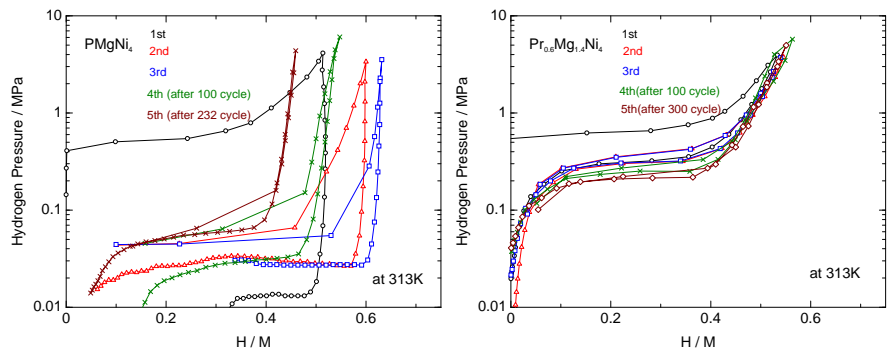


図 6. MgPrNi₄ および Mg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄ のサイクル試験途中の PCT 曲

3-2. 希土類 Ni₂ 系合金

CaNi₂ でみられた水素吸蔵による不均化を抑制するために、格子定数および原子半径比を減少させた RENi₂ 系合金の作製、評価を行った。RE が La, Pr, Gd 合金では不均化が確認できた。より格子定数および原子半径比を減少させた合金での不均化抑制効果を確認する目的で RE が Eu, Er, Yb, Lu での合金をアーク溶解法にて作製した。また第 3 元素添加による不均化反応の抑制効果を確認する目的で RENi₂B_{0.25} 合金 (RE:Ca, La, Pr, Gd, Eu, Er, Yb, Lu) を高周波誘導溶解およびアーク溶解法により作製した。

RENi₂ 合金 (RE:Pr, Gd) の RE サイトを 50% 以下の量で Mg で置換した合金では水素吸蔵による非晶質化が確認できた。この非晶質化は合金の化学組成に敏感に依存しており、置換量が 50% をこえると非晶質化が起こらなくなる事がわかった。また水素化時の温度が高いとより非晶質化しやすいことも分かった。

3-3. CaMg₂ 系合金

CaMg₂ 系の不均化の抑制ができた (Ca_{0.8}La_{0.2})Mg₂Ni_{0.1} 組成合金が C14 構造を維持しての 150°C 以下での放出が可能かどうかを確認するために、ターボ分子ポンプを用いて (Ca_{0.8}La_{0.2})Mg₂Ni_{0.1}H_{5.8} の真空排気を 100°C にて行った。実験手順は以下の通りである。

1. 水素化物作製
2. ターボ分子ポンプによる真空排気 (100°C、約 10 時間)
3. 室温、3MPa の水素チャージ (1 回目)
4. R.P. による真空排気 (80°C、約 10 時間)
5. 室温、3MPa の水素チャージ (2 回目)
6. 粉末 X 線回折測定 (大気中)

なお、ターボ分子ポンプによる最高到達真空度は約 3×10^{-3} Pa であった。1 回目の水素チャージでは、吸蔵量は 24 時間で約 1.7mass% であった。1 回目の水素チャージでは、70 時間で約 1.0mass% であった。粉末 X 線回折測定の結果、C14 相は観られず、Mg、Ca に分解していた。以上の結果のように、ターボ分子ポンプによる排気後では水素の再吸蔵は起こったつまり放出は起こったが、C14 構造を維持することができなかった。(Ca_{0.8}La_{0.2})Mg_{2.14}Ni_{0.11}H_{5.8} を不安定化させる目的で (Ca_{0.8}La_{0.2})Mg₂Ni_{0.1} の格子定数を小さくするよう La を Ce, Pr, Nd, Sm で置換した合金を作製した。また生成した C14 相の格子定数がわずかに小さくなっていることを確認した。

3-4. CaLi₂ 系合金

CaLi₂ の水素吸蔵による不均化を抑制するために、格子定数および原子半径比を変化させた合金の試作を試みた。具体的には高周波誘導溶解炉により B, C, Al, Mg, La, Ni の添加・置換合金の作製を試みた。しかし高温、長時間の溶解により、るつぼと熔融金属との反応が確認できた。様々な素材のるつぼでの溶解を試みたが、結果は同様であった。そこで、るつぼからの不純物の混入を防ぐため浮遊溶解炉での試作を試みた。その結果、最初に溶けた Li の液体が Ca 等の固体と良く反応し、均一な合金組成の湯が容易に作製できた。また雰囲気ガスを He にすることで Li や Mg の蒸発挙動を制御でき、安全に精度良く正確に目的組成の合金を作製することができた。以下の図 7, 8 には浮遊溶解中の CaLi₂ 系合金および凝固後のインゴットの写真を示した。なおインゴットは直径が 2~3cm で 5~10g 程度である。粉砕等の作業はグローブボックス内で行っている。



図 7. 浮遊溶解中の CaLi₂ 系合金の様子

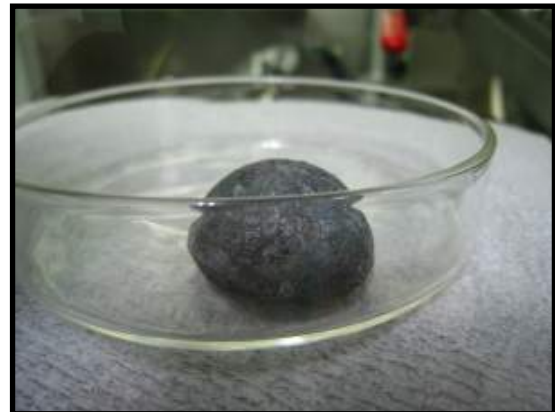


図 8. 作製した CaLi₂ 系合金インゴット

特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件
H22FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

○Mg系 C15_b型合金 : MgRENi₄組成合金で2段のプラトー領域が出現し、水素吸蔵量が向上することを見出した。低圧および高圧で出現する2種類の水素化物の結晶構造は斜方晶および立方晶(C15_b型)であることがわかった。水素化特性は化学組成に非常に敏感であり、MgとREの量比がわずかにずれるだけで2段プラトーが消滅したりアモルファス化が起こったりする。サイクル特性ではMg_{1.4}Pr_{0.6}Ni₄組成合金が優れており300サイクル後でも95%以上性能を維持していた。

課題 : 2段プラトーの詳細およびMgCeNi₄およびMgLaNi₄組成合金でみられる他の希土類組成合金とは異なる挙動の調査を行う。

○希土類 Ni₂系合金 : 水素吸蔵による非晶質化(不均化)の挙動に関する情報を取得できた。また非晶質化の有無が合金の化学組成に敏感に依存していることがわかった。

課題 : 不均化の初期段階を各種手法で観察することで挙動の解析を行い、メカニズムを解明することで抑制方法を考案し、実際の合金組成に反映させ実証する。

○CaMg₂系合金 : C14型の結晶構造を維持した状態で生成する水素化物は150°C以下で高真空での排気により水素を放出するものの、不均化が起こってしまう。放出温度の低下を目指した格子定数が(Ca_{0.8}La_{0.2})Mg₂Ni_{0.1}より小さい合金を試作した。

課題 : 格子定数を小さくした合金の評価を行い、生成する水素化物の構造解析を実施する。また中性子回折等で死蔵水素の情報を取得し、不安定を目指した組成設計に反映する。

○CaLi₂系合金 : 格子定数や原子半径比を変化させた組成の合金を精度良く作製可能な、ヘリウムガス雰囲気中での浮遊溶解炉を用いた手法を開発し、CaLi₂のCaおよびLiサイトを第3元素で置換した合金を作製した。

課題 : 改良した組成合金の水素化物の構造解析を行い、死蔵水素の情報を取得し、更なる組成設計に反映させる。不均化抑制メカニズムを盛り込んだ組成合金の試作評価を行う。

5. 実用化・事業化見通し

現状では、Mg系合金での2段プラトーによる吸蔵量の増加、RE系合金での断片的な不均化に関する情報の取得およびCaLi₂系での試料作製手法の開発に留まっており、今後これらを基に高容量が期待できるCa系合金の組成設計により、不均化抑制や放出特性の改良ができれば実用化・事業化の見通しがたつものと考えている。

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度10月末)

- ・ディスペンサーの性能を評価するため充填試験をおこない、基本的な充填制御方法が確立できた。構成機器の信頼性データから目標とする耐久性を確認した。
- ・コリオリ流量計の性能検証から良好な結果が得られた。水素に対応した防爆申請をおこなった。
- ・評価装置によるプレクール基礎評価おこない、プレクール装置の課題抽出と改善方法を検討した。

●背景/研究内容・目的

背景: 世界的な環境意識の高まりや、我が国エネルギー供給の安定化・効率化・地球温暖化、環境問題の解決および新エネルギーの開発等を図る目的の一環として水素社会構築の重要性が認識され、その早期実現が求められている。また、普及促進のためには安全性を担保した低価格、高耐久性の水素ステーションの早期実現が必須である。

目的: 水素供給インフラ立ち上げ(2015年頃)に向けた低コスト、高耐久性を実現した水素ディスペンサーを開発する。

●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)	
ディスペンサー開発	充填制御評価 防爆申請・コスト検証	低価格・高耐久性 ディスペンサーの開発
コリオリ流量計開発	性能試験・耐久試験・ 防爆申請	コスト: 従来比50% 耐久性: メンテ1回以下/年
プレクール装置	評価試験・課題抽出・ 最適化検討	

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容/研究成果

- ①ディスペンサー開発
 - ・他のNEDO事業で開発した新素材のボールバルブ、流量調節弁を組み込み、ディスペンサーを開発した。
 - ・機能を集約化した制御基板による基本的な充填制御方法が確立できた。
 - ・水素対応の防爆を申請しほぼ取得完了した。
 - ・構成機器の信頼性データを調査取得し耐久性を確認した。
- ②コリオリ流量計開発
 - ・SUH660を使用したフローチューブで器差測定、圧力損失測定等の性能試験をおこない、良好な結果が得られた。
 - ・改良したコアプロセッサ用制御基板を開発し、この基板上で動作する流量計測プログラムの動作検証をおこなった。
 - ・水素対応の防爆申請のために評価試験をおこない、必要となるデータを取得した。申請図面、計算書を作成し防爆申請をおこなった。
- ③プレクール装置
 - ・社内ヘリウムガス設備に設置した基礎評価装置で性能試験から課題を抽出した。
 - ・試験結果、検討課題から水素ステーションにおけるプレクール装置の最適化検討をおこなった。



ディスペンサ



コリオリ流量計

●今後の課題

- ①ディスペンサー、コリオリ流量計の水素防爆取得
- ②ディスペンサーの改良設計にともなう、コスト検討、耐久性検討
- ③コリオリ流量計の新規格適合材料検討

●実用化・事業化の見通し

実用化の目途が立ち、インフラ立ち上がり状況に合わせて事業化を予定。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己達成度
ディスペンサー開発	開発したディスペンサーの実用化に見通しを得た。	○
コリオリ流量計開発	コアプロセッサタイプの実用化に目処がついた。	○
プレクール装置	性能評価の結果から最適化検討を実施した。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	1	0

低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

委託先：(株)タツノ

1. 事業概要

本研究開発は、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」を対象として、「水素ステーション機器要素技術に関する研究開発」を行うこととし、研究開発項目「低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発」を実施する。

燃料電池自動車へ高圧水素を供給する重要な機器である水素ディスペンサーは、ガス流路として遮断弁、流量調整弁、コリオリ流量計、ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングなど多数のコンポーネントが組み合わされ、またそれらをコントロールする制御部および充填量を表示するカウンターで構成されている。これらの構成機器のうち、具体的には低コスト化に向けたコリオリ流量計の開発と、ディスペンサー制御部を開発（機器の簡素化、集約化）を行うと共に、同NEDO事業内の他のプロジェクトで開発予定の廉価版遮断弁、流量調整弁等の搭載および機器メーカーでの新規開発品の搭載によりコスト低減を図る。尚、各機器の開発時にはコスト低減のための製造手法（一体化、樹脂化、板金金型化等）について検討し、その手法による開発の有効性が顕著であれば実施する。

プレクール装置は70MPa水素ガスを燃料電池自動車へ短時間に充填する場合、水素を冷却するためのシステムである。現時点ではディスペンサーとは独立機器として運用されているため、ディスペンサーとの最適化システムを低価格化と併せて検討する。

コリオリ流量計のフローチューブは現時点では水素脆化の懸念が持たれているため、安全性、計測精度における問題有無確認のため従来フローチューブでの水素暴露試験を実施すると共に、水素に対して低感受性新素材のフローチューブによるコリオリ流量計製作を実施する。

2. 事業目標

我が国エネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題・地球環境問題の解決および新エネルギーの開発等を図る目的の一環として、水素社会構築の重要性が広く認識され早期実現が求められている。水素インフラ立ち上げは2015年に燃料電池自動車の一般ユーザーへの普及開始を目指すFCCJが表明しているが、その後の普及促進のためには安全性を担保した低価格、高耐久性の水素ステーションの早期実現が急務である。よって、本事業における低コスト型70MPa級水素ディスペンサーの研究開発（機器開発を含む、低コストおよび高耐久性機器開発）では、水素ステーションの普及促進、ひいては水素エネルギー社会の実現を図るため以下を目標とする。

- ①低価格ディスペンサーの開発（現行比50%）
- ②高耐久ディスペンサーの開発（メンテ周期1年以上）

また、実施にあたり各研究機関等で得られたデータを有効に活用する必要があるため、水素充填に関係する委員会、W. Gなどへ積極的に参画する等、本事業の他分野の委託先（財団法人 石油エネルギー技術センター等）、並びに関連機器メーカー、車両メーカーと緊密に連携して取り組むこととする。

3. 事業成果

3. 1 ディスペンサー開発

(1) 仕様・特長

ディスペンサーの概略仕様は以下のとおりである。

- ①型式：EAIT1111（暫定）、シングル、両面カウンター、サイドカップリング掛け
- ②充填圧力：70.0MPa
- ③常用圧力：上流側 80.0MPa 下流側 70.0MPa
- ④設計圧力：上流側 89.0MPa 下流側 78.0MPa
- ⑤計量範囲：0.25～5.0kg/min
- ⑥計量精度：±1.5%
- ⑦カウンター：液晶 6桁 0～999999g
- ⑧流量計：コリオリ式流量計

- ⑨遮断弁／脱圧弁：ボールバルブ
- ⑩流量調節弁：電空式制御弁
- ⑪安全弁：設定圧力 78.0MPa
- ⑫圧力伝送器：出力レンジ 0～120MPa
- ⑬圧力計：測定レンジ 0～120MPa

また、他のNEDO事業での規制見直しの観点から以下の追加内容を実施した。

- ①ホース断裂保護のため緊急離脱カップリングの設置



ディスペンサー外観

特長は以下に示すとおりである。

- ①新開発コリオリ流量計を採用。
本事業で開発したコアプロセッサタイプのコリオリ流量計を組込んだ。
- ②遮断弁、脱圧弁にNEDO事業で株式会社キッツが開発した安価なボールバルブを採用。
- ③流量調節弁についても同じくNEDO事業でアズビル株式会社が開発した新バルブを採用。
- ④配管（9／16in）のベンディングによりディスペンサーの小型化を実現。
構成機器の配置を見直し効率的に設置することにより、35MPaディスペンサーと同サイズ（当社比）を実現した。



ディスペンサー内部

⑤プレクーラー内蔵に対応可能。

現在のプレクーラー熱交換器はディスペンサーに内蔵することが困難な大きさであるが、高効率で小型化された熱交換器が開発され、ディスペンサーへの内蔵が可能となった場合にも対応できる配管構成とした。

⑥シーケンサーを削除、新開発コリオリ流量計に対応した高機能制御基板を搭載。

従来からの充填制御、高圧ガス機器の制御、制御盤との信号授受などの機能に加えて、いままでシーケンサーが受け持っていた機能を移植し、さらにコリオリ流量計の表示操作機能を統合、集約化した高機能制御基板を開発した。



制御基板



電源基板

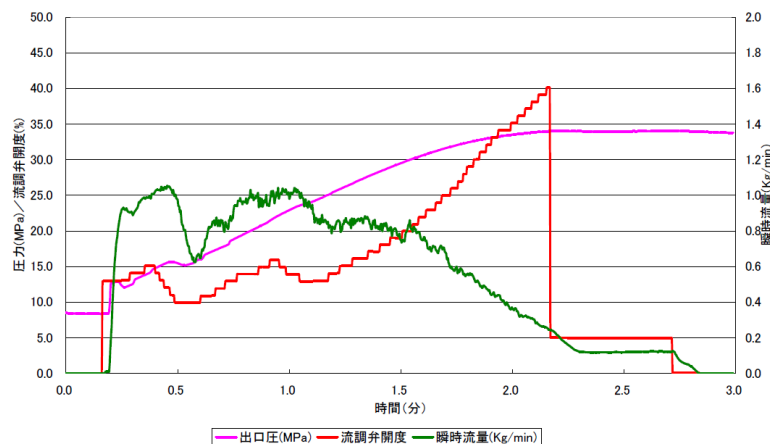
(2) 機能・性能評価試験

制御基板に搭載する充填制御プログラムの開発は、まずシーケンサーを削除するために、22年度に開発したオープンキットと模擬制御盤をCC-Link（通信）で接続してディスペンサーと制御盤間の動作を検証した。検証結果から必要な通信機能プログラムを作成し制御基板に搭載することで、シーケンサーを削除することができた。

つぎに充填制御用のプログラムは、充填検証用モニターを使って蓄ガス圧力、充填圧力、流量調節弁開度等に対応して擬似的に流速を変動させ、その変動に適合した制御を検証することにより作成した。

これら検証結果から作成した充填制御プログラムをディスペンサーに搭載し、社内にあるNED O高圧ヘリウム設備を使用して充填動作を検証した。充填容器の都合上35MPaまでの充填検証ではあるが、新規に開発したボール弁の遮断弁動作、流量調整弁に対して要求した開度動作について良好な結果が得られ、使用上問題なきことを確認した。また、従来シーケンサーで行っていた制御盤との通信連動についても、遅れ、エラー等の不具合がなく良好な結果が得られ、シーケンサーを削除したディスペンサーの構成において、基本的な充填制御方法を確立することができた。

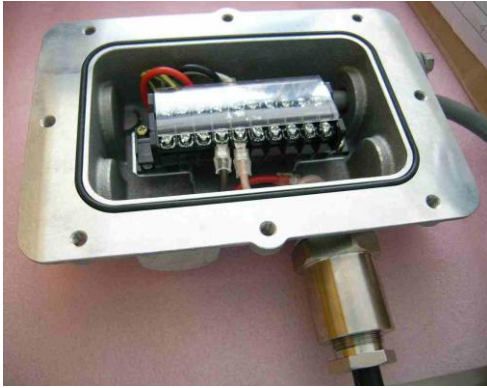
計量機検証



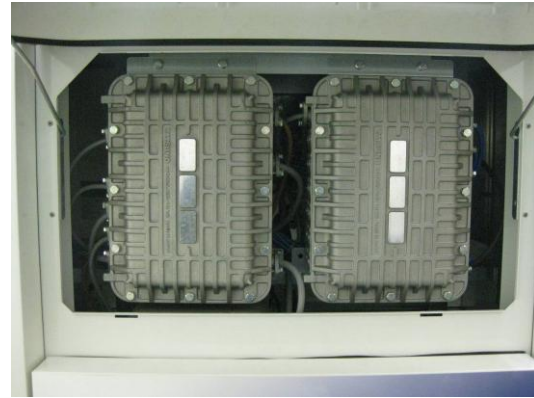
充填データ

(3) 防爆申請

ディスペンサーを構成する電子関係部品につき水素防爆が必要な、ジョイントボックス、2種類のコントロールボックス、ディスプレイ関係の4品について必要な評価試験、型式試験の実施、申請図面、計算書等の書類作成、供試品の組み立てを行った。平成23年8月にジョイントボックスの防爆申請を行い取得した。平成24年1月には2種類のコントロールボックスの申請を行い合格した。ディスプレイ関係は平成24年4月に申請し、審査結果待ちの状況である。防爆取得後は水素ガスへの展開が可能となる。



ジョイントボックス



防爆ボックス

(4) コスト検討

開発したディスペンサーについて暫定的ではあるがコストを試算し、計画立案時コスト、目標コストとの比較検討を行った。

(千円)

	計画立案時コスト	目標コスト	開発モデルコスト
ハウジング	3,000	1,000	2,000
制御機器	1,800	600	600
高圧ガス機器	30,000	14,700	13,700
配管等	3,000	2,200	2,100
合計	37,800	18,500	18,400

表に示したとおり計画立案時の目標コストを達成し、計画立案時コストに対して50パーセント以上のコストダウンを達成した。ディスペンサーのコストに占める流量調整弁、遮断弁、流量計、充填カップリング等の高圧ガス機器の費用割合が大きいことには変化はないが、これら高圧ガス機器のコストダウンが全体のコスト抑制に対して大きく寄与している。これはコストダウン化された新規開発品の採用、自社製品化および従来品の量産化による効果である。制御機器に関しては充填制御をおこなっていた本体制御部に、従来シーケンサーが受け持っていた制御盤との通信機能を統合させ、ガソリン計量機の部品を流用した新しい本体制御用電子基板を開発し、電子部のコンパクト化、コストダウン化を実現した。

今後、ヘリウムガス、水素ガスによる試験結果、防爆検定に合格した防爆ボックスの量産効果、加えて高圧ガスに関する規制緩和、高圧水素に対する使用可能鋼種の拡大等の効果を取り入れることによりさらなるコストダウンが期待できる。

(5) 信頼性検討

ディスペンサーを構成する要素機器において、充填時に高圧水素に接し動作する機器について信頼性に関するデータの調査を実施した。以下の調査結果から各機器の健全性は、想定される1年間の充填回数7300回(20回/日×365日)を十分満足すると考えられ、ディスペンサーは目

標とするメンテナンスの周期1回／1年を達成できることを確認した。

①遮断弁

NEDO事業にて開発されたボールバルブの耐久性については、水素閉開作動耐久試験において40000回をクリアしている。これは充填回数40000回に相当する。

②流量調節弁

NEDO事業にて開発された流量調節弁の耐久性については、水素雰囲気下での耐久試験において30万回をクリアしている。これは1回の充填において3回閉開するとすれば10万回の充填に相当する。

③コリオリ流量計

本事業において85MPaの静圧試験および0～95MPa、-40℃～常温のサイクル試験にて、耐久性評価を計画している。

④緊急離脱カップリング

メーカーで実施した耐久試験の結果から十分な耐久性を確認した。

⑤ホース

以前のNEDO事業（水素社会構築共通基盤整備事業）の安全性検証にて弊社が実施した低温応力繰り返しおよび低温屈曲繰り返し試験において9万回をクリアしている。

⑥充填カップリング

メーカーで実施した耐久試験の結果から十分な耐久性を確認した。

3. 2 コリオリ流量計開発

(1) 仕様・特長

コリオリ流量計の概略仕様は以下のとおりである。

- ①適用流体：水素
- ②周囲温度：-20～50℃
- ③流体温度：-40～80℃
- ④許容最大流量：480Kg/h
- ⑤器差（工場校正時）：±0.5% rate
(48～480Kg/h)
- ⑥温度精度（参考値）：±1℃
- ⑦フローチューブ素材：SUH660
- ⑧ボディ素材：SUS316L
- ⑨カバー素材：AC4C-T6
- ⑩接続規格：3/8HP オートクレーブ継手（メス）
- ⑪設計圧力：99MPa
- ⑫防爆認定：Ex dib IIB+H2 T4
- ⑬電源：DC24V
- ⑭デジタル出力：オープンコレクタ出力 流量パルス出力
- ⑮アナログ出力：電流出力（4～20mA）瞬時流量、温度出力



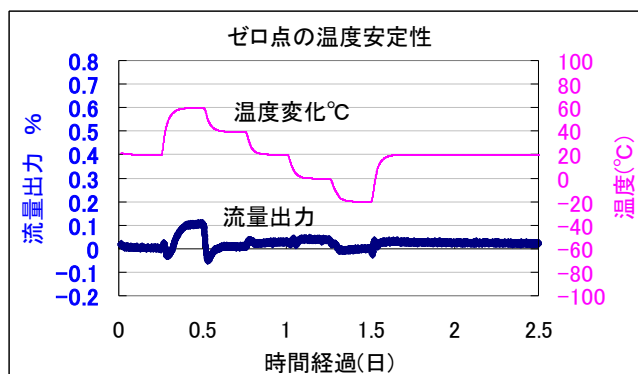
また、特長を以下に示す。

- ①最大480Kg/hまで計量が可能。
大型バスへ充填する大流量充填用ディスペンサーに対応した。
- ②±0.5%の高精度。
480Kg/hの大流量でも±0.5%の精度を実現した。
- ③一体型コンパクト。
電子部品を見直し高密度実装した専用基板を開発し、コンパクトな構造とした。

(2) 検出器の性能評価

開発したコリオリ流量計について以下の評価試験を行った。本開発ではSUH660製、新形状フローチューブの採用により、耐水素脆化性に優れ、大流量化に対応しつつ、流量計としての安定性向上、流量精度の向上が実現できた。

- ①耐圧・気密試験 150MPa（耐水圧）、100MPa（ガス圧）にて問題なし。
- ②ゼロ点安定性試験（温度影響） -20℃～60℃において安定、（下図参照）

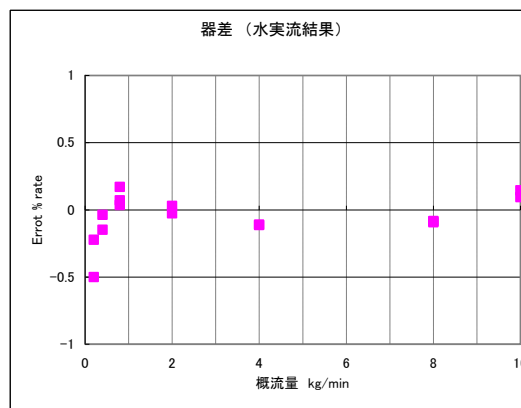
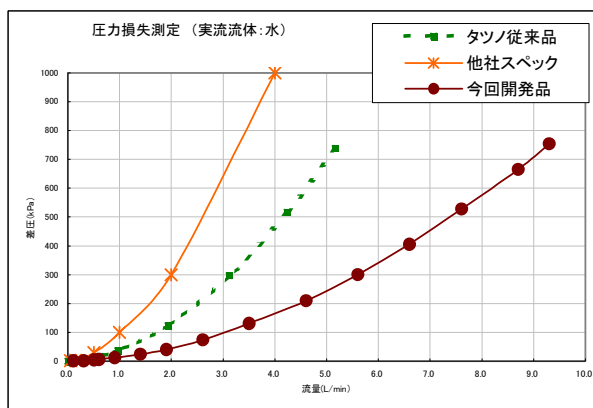


③サイクル耐久試験

NEDOの他のプロジェクト（水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素ステーション機器要素技術に関する研究開発／低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係る研究開発）と連携し、外部研究試験機関にて長期の高圧水素暴露試験を行った。ろう付け部に極微量の水素リークが確認された。ろう付け部を分析し、ろう付けの最適な条件を検討、試作し、引張り試験および断面観察結果、改善が確認できたので、高圧水素環境下での耐久試験にて最終評価を計画している。

④圧力損失試験、精度試験

タツノ従来のコリオリメータ、他社コリオリメータと比較し良好な結果が得られた。



(3) 検出器接ガス部（フローチューブ、ボデー）の材質

今回、フローチューブには SUH660、ボデーには SUS316L を採用した。フローチューブに使用した SUH660 は水素感受性が低く水素脆化が少なく、かつ高圧ガスに耐えうる強度を併せ持った材料で、開発当初は最も有力な材料であった。

但し、2011 年以降、低温での水素脆化の問題や、法規制の改訂が予定されており、材料選定基準が従来から急激に変わってきた。SUH660 は引き続き有力材料ではあるが、通常 SUS316L の使用は困難な状況で、流量計の使用材も見直す必要に迫られている。

下表に示したように、各材料とも一長一短があるが、それら材料単独の特性だけでなく、各材料のろう付け性の調査とサイクル耐久試験等の総合評価が必要である。低コスト、高耐久性のコリオリ流量計を実現するにあたり、材料の見極めと実水素下でのサイクル耐久試験を早急を実施する必要がある。

材質	許容応力	耐水素脆化	法規制等	判定・選定結果
SUS316L	△	○	△	当初使用、低温に難あり
SUS310S	○	○	△	
NW0276	◎	△	△	当初使用
SUH660	◎	○	○	今回採用

< 以下、2011年以降登場の新有力材料 >

新 SUS316 ※1	△	◎	◎	ボデー材に有望
新 SUS316CW ※1,2	◎	◎	◎	ろう付け不可
XM19	◎	◎	○	フローチューブに有望

※1：所定のNi当量、絞り値を満たす材料

※2：冷間加工による加工硬化材

(4) 変換器の性能評価

コアプロセッサ用の制御基板は評価と改良を繰り返して行い、防爆要件を満足しつつ部品の高密度実装化を実現し、電源基板の改良と併せコンパクトな変換器に結びつく電子基板を具体化した。この制御基板に搭載する流量計測プログラム、入出力制御プログラムの評価は信号発生器を模擬的に検出器として接続して検証を行った。信号発生器からの信号を変化させることにより擬似的に水素流量の変動を発生させ、その変動に対応した流量を確認し良好な結果が得られた。



変換器のケースについては、大きな容積が必要となる

二室構造から小型一室構造の鋳物ケースを開発した。パッキングランドはディスペンサーの防爆ボックスと共用化した。これらの改善により防爆要件を満たしながらコンパクトで軽量、低コストな変換器を開発した。

(5) 防爆申請

開発したコリオリ流量計を水素計量するため防爆申請を行った。動作検証を行った試作機をベースとして接続配線の設計、評価試験、型式試験の実施、申請図面、計算書の作成、供試品の製作等を実施した。平成24年度中に防爆を取得する予定である。

3. 3 プレクール開発

燃料電池自動車へ70MPa水素ガスを充填するときには、車両容器の温度上昇を抑えるため、水素ガスを冷却するプレクール装置が設置されている。現行のプレクール装置は独立した装置でディスペンサーとは連動して制御していない。充填システム全体の簡素化、低価格化の観点からプレクール機能を統合した充填システムを検討した。プレクールの機器構成を検討するため、ヘリウムガスでの基礎評価設備の設計、試作を実施した。



プレクール評価用冷凍機・循環装置



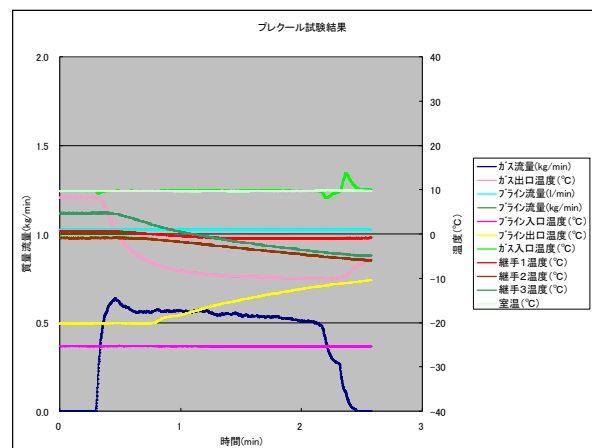
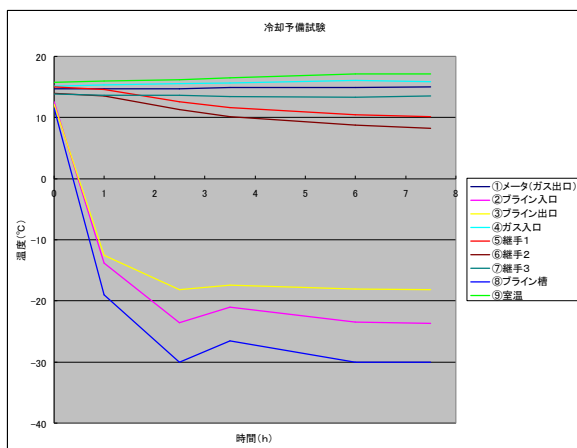
熱交換器（試験装置）

試験は冷凍機にて指定温度に調整した液体ブラインを循環させ熱交換器（試験装置）を冷却し、高圧のヘリウムガスを熱交換器に流入し試験を行った。

試験データからこの試験装置について次の課題が判明した。

ヘリウムガスを流していない状態では、この二重管対向流方式の熱交換器では二重管になっていない接続用配管、継手部分の冷却は金属の伝熱に依存している。この部分を十分に冷却することができず、装置全体で温度分布にばらつきが生じていると考えられる

この状態でヘリウムガスを0.5 Kg/min程度流すと、ヘリウムガスは開始後1分程度で-10℃まで冷却されている。これは冷却されている二重管の部分での熱交換によるものと考えられる。しかし流し続けても二重管になっていない接続用配管、継手を冷却するために熱を奪われ、ブライン温度が上昇するために-10℃以下には冷却できなかった。これを解消するためには1 Kg/minで循環しているブラインの流量を増加することで冷却性能の向上が期待できるが、循環ポンプの性能を勘案すると、同じブラインで粘度を下げるためには希釈しなければならないが、希釈したブラインでは冷却性能が低下してしまうため、低温で低粘度のブラインが必要となる。



この評価用装置は実際の水素ステーションで想定されるプレクール装置の5分の1程度の流量であるが、プレクール装置に二重管対向流方式の熱交換器を使用する場合には、

- ①十分に水素ガスを冷却するための熱交換器の大型化。
- ②大型熱交換器を冷却するためには低温で低粘度のブラインが大量に必要。

が想定され、プレクール装置のイニシャルコストダウン、ランニングコストダウン、スペース効率アップを妨げる要因となることが予想される。

これらの課題を解消するためには、高効率で小型の熱交換器の開発が必要である。現在、水素ステーションで使用が検討されている熱交換器の方式は、二重管対向流方式とシェル&チューブ方式が主流であるが、いずれも装置が大型のため、今後スペース効率を考慮したディスペンサーとの一体化による小型化、コストダウン化が困難になると懸念される。NEDOの他の事業で紹介され、圧縮機等で使用実績がある積層型多流路熱交換器は、耐圧性、耐熱性に問題がなく単位体積あたりの伝熱効率に優れているため小型化が可能であり、水素ディスペンサーとの一体化した熱交換器が期待できる装置である。また、燃料電池自動車への水素充填後の脱圧時間短縮、脱圧量減少にも適した熱交換器である。

冷却システムの効率化、小型化のためには低温で低粘度のブラインが必要となるが、液体のブラインでは小型化が困難なため LCO_2 による冷却を検討した。

LCO_2 による冷却するシステムの場合

- ①配管の小口径化
液体ブラインでは60A程度の配管が必要と想定されるが、気体では25A程度と小口径化が可能である。
- ②循環ポンプの小型化
粘度の高い液体ブラインを循環させるために10KW以上のポンプが必要になるが、気体であれば、1KW程度のポンプで循環が可能である。

といった特長がある。

また、CO₂は

- ①爆発性がない
- ②漏れに対するリスクが少ない
- ③低コストで入手性がよい

といった特長があり、プレクール装置に適したものと考えられる。

以上のような検討結果から、現時点では水素ステーション用プレクール装置にはLCO₂による積層型多流路熱交換器が最適なシステムと考える。

3. 4 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H2 0FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 1FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 2FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 3FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 4FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

4. 1 まとめ

実施計画書の事業目標と照らし合わせ、ほぼ計画どおりの成果が見込まれる。

- ①機能を集約した制御システム、新開発コリオリ流量計、新素材のボールバルブ、流量調節弁を組込んだディスペンサーを開発した。
- ②ディスペンサーの基本的な充填制御に目途がついた。
- ③ディスペンサーのコスト検証についても計画どおりの見通しを得た。
- ③コアプロセッサタイプのコリオリメータの開発に目処がついた。
- ④プレクール装置の基礎評価から実ステーション向け最適化検討を実施した。

4. 2 課題

この事業の完成度を更に向上させるために以下の課題を示す。

- ①ディスペンサーの改良設計
実ステーションでの充填を考慮した充填プロトコル、車両との通信機能に対応した改良設計。
- ②コリオリメータの製品展開
ディスペンサー組込み専用として開発は完了した。汎用品への商品展開。新基準、新規格に適合したフローチューブ材料の選定とろう付け評価。
- ③プレクール装置の具体化
最適化検討をおこなったLCO₂による冷却、積層型多流路熱交換器の実機評価。

5. 実用化・事業化見通し

ディスペンサーの実用化の目途がついたと判断ができる。事業化については社会情勢、インフラ立ち上がり状況を鑑みて判断したい。

(Ⅱ-7) 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

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度7月末)

- ・新開発樹脂を採用したトウプリプレグ(TPP)を用いたDRY法によって、アルミライナー製大型複合蓄圧器の開発を行い、200L蓄圧器で破裂圧力345MPaを達成した。
- ・大型・長尺複合蓄圧器を製造する大型フイラメントワインディング(FW)装置の設計開発が終了し、300L級複合蓄圧器の製造が可能となった。
- ・小型容器で内部加熱法の有効性を確認するとともに、外部加熱装置を併用することで大型蓄圧器製造時においても均一に加熱することが可能となった。
- ・常用圧力82MPa、内容量200Lの複合蓄圧器を完成し、別事業で実施中の水素ステーション実証に採用され、規制当局から使用認可を取得した。

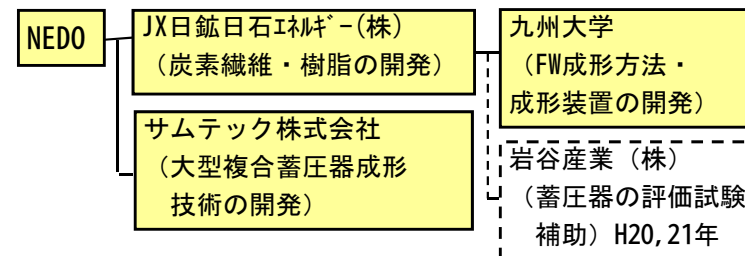
●背景/研究内容・目的

燃料電池自動車(FCV)の2015年度からの普及に向け、2013年度末までに水素供給インフラ整備の目処を立てる必要がある。現在、FCVに搭載されている圧縮水素用容器の圧力仕様は、70MPaが主流となっており、水素ステーションに必要な蓄圧器の常用最高圧力は80MPa以上となる見込みである。この高圧水素用蓄圧器として、本研究では、現行の鋼製蓄圧器と比較して、コスト的にもスペース的にも有利な蓄圧器用大型炭素繊維強化複合材料(CFRP)蓄圧器の開発を行う。この開発により、水素ステーション建設コストを6%以上削減し、水素供給インフラの整備に貢献する。本研究では、従来のWET法に比べ、品質が安定し高速でFWすることのできるTPP(DRY法)とFW時の巻崩れや樹脂の加熱硬化工程時間の削減が期待できる内部加熱法を組み合わせた新規のFW手法によりコストダウンを目指す。

●研究目標

実施項目	中間目標(H22年度)	最終目標(H24年度)
常用圧力	80MPa	82MPa
容量	200L	300L
重量	1000kg以下	1000kg以下
コスト	1000万円以下	1000万円以下

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- 炭素繊維(CF)・樹脂の開発
 - TPP用樹脂の開発

TPPが収束しにくい樹脂を開発し、蓄圧器の破裂強度を向上させることができ、200Lの複合蓄圧器において破裂圧力345MPaを達成した。
- FW成形方法、成形装置の開発
 - 大型複合蓄圧器の製造技術の開発

大型FW装置を設計開発し、6m、1600kgまでの大型蓄圧器のFWを可能とし、大型硬化炉を導入し、適切な温度条件で樹脂を硬化させ、300L級大型蓄圧器を製造することが可能となった。
 - 内部加熱FW装置の開発

小型容器内部加熱FW法の有効性を確認した。更に、外部加熱を併用することで、均一に加熱させることが可能となり、大型蓄圧器への適用を検討している。
- 大型複合蓄圧器成形技術の開発
 - 評価試験法の確立

大型、高圧蓄圧器に対応可能な破裂試験機、サイクル試験機、ハイドロ試験機を設計、導入し、評価試験が可能となった。また、内面検査機によるライナーの評価手法を開発中である。
- 検証テスト用大型複合蓄圧器の開発

200Lの複合蓄圧器で水素ステーション実証に提供しうる設計を完了し、使用認可を取得した。今後、別事業で実施中の水素ステーション実証に投入し、安全性等の検証を行う。

●今後の課題

／スケジュール(H24年度末まで)

更にコストダウンを目指した量産可能な300L蓄圧器の設計確立と別事業と連携し200L複合蓄圧器の実証ステーションでの安全性等を検証する。

●実用化・事業化の見通し

NEDO別事業で実施している規制合理化検討と連携し、水素ステーションでの使用認可を簡略化することで納期・費用を削減するとともに、製造技術の向上検討を継続し、商用仕様水素ステーションへの採用を目指す。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
CF・樹脂	大型蓄圧器に適した樹脂を開発し、200L、破裂圧力345MPa達成	○	
FW成形方法・装置開発	目標に達し得る82MPa、300L級蓄圧器の製作実施	○	
大型蓄圧器成形技術	大型蓄圧器の製造条件、評価方法確立	○	
検証テスト	検証用200L蓄圧器の認可取得	○	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
7件	5件	9件	—

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

委託先: JX日鉱日石エネルギー株式会社
サムテック株式会社

1. 事業概要

燃料電池自動車(FCV)の2015年度からの普及に向け、2013年度末までに水素供給インフラ整備の目処を立てる必要がある。現在、FCVに搭載されている圧縮水素用容器の圧力仕様は、70MPaが主流となっており、そのFCVに水素を供給する水素ステーションに必要となる蓄圧器は、常用最高圧力が80MPa以上となる見込みである。この蓄圧器を既存の鋼製材料を用いて製造した場合には、かなり厚肉な容器となり、重量が過大になるばかりでなく、製造の困難さからコストも大幅に上昇してしまう。(250Lの鋼製蓄圧器コスト:2500万円、重量:3800kg)

本事業では、現状の鋼製蓄圧器と比較して、コスト的にもスペース的にも有利な大型蓄圧器用の炭素繊維強化複合材料(CFRP)蓄圧器の開発を行う。これにより、蓄圧器コストを50%以下にすることによって、水素ステーション建設コストの6%以上を削減することが可能となる。また、蓄圧器重量が軽量化(目標30%以下)されることにより、蓄圧器をキャンピアー上に設置するなどレイアウトの自由度が増し、余剰スペースの有効活用や蓄圧器設置部の耐震強度軽減によるコスト削減などが期待できる。

FCVでは、70MPa級水素用CFRP容器の設計・製造・評価技術が確立されているが、水素ステーション蓄圧器に求められる技術基準は、FCV用CFRP容器の技術基準*1より厳しいものとなる見込みであり、炭素繊維(CF)を厚巻にすることによる技術的課題は大きい。また、効率の面からも水素ステーション蓄圧器はFCV用容器よりも高容量(200L以上)のものが望まれるため、大型・長尺の蓄圧器の製造・評価技術の開発が必要となる。

本事業では、この技術的課題をクリアし、より低コストのCFRP蓄圧器を製造するために、以下の手法を用いて高圧大型複合蓄圧器の開発を進める。

①あらかじめCFに樹脂を塗布したトウプリプレグ(TPP)を用いたドライ(DRY)法によりフィラメントワインディング(FW)を行う。これにより、従来のFW直前に樹脂を塗布するウェット(WET)法に比べ、高速でのFWが可能となり、量産化時のコストダウンが期待できる。

②ライナーの内部を加熱しながらFWを行う(内部加熱法)。このFW手法により、FW時に樹脂の硬化を開始させ、厚巻による内層のCFの巻崩れ防止、FW後の樹脂硬化工程の時間短縮、厚巻時の樹脂硬化発熱による過昇温の低減などが期待できる。

*1)最小破裂圧力:最高充填圧力(70MPa)の2.25倍以上(158MPa以上)、サイクル寿命:11,250回以上

2. 事業目標

2.1 平成20-22年度開発目標(達成済)

- (1) 常用圧力80MPa、200LのCFRP蓄圧器の完成。コスト1000万円以下、重量1000kg以下。
- (2) 技術基準が確定していないため、蓄圧器性能として破裂圧力300MPa以上を目標とする。

2.2 平成23-24年度開発目標

- (1) 常用圧力82MPa、300LのCFRP蓄圧器の設計完成。コスト1000万円以下、重量1000kg以下。
- (2) 当事業とは別に実施しているNEDO実証事業に適用可能な性能の大型CFRP蓄圧器を設計開発し、水素ステーションでの使用認可を取得後、実証事業で安全性等を検証する。

2.3 その他事業との協力

- (1) 平成23年度～平成24年度に、「水素インフラ等に係る規制見直しのための研究開発」で検討中の技術基準案に沿ったCFRP蓄圧器(200L)を作製し、水素ステーションでの使用認可取得を目指す。
- (2) 平成24年度、水素ステーションでの使用認可を取得したCFRP蓄圧器でNEDO別事業の水素ステーション実証テストにおいて、疲労劣化のないこと、システムとして問題の起こらないことなど安全性の確認を行う。
- (3) 「水素インフラ等に係る規制見直しのための研究開発」事業後の措置として、平成26年度までに例示

基準化が計られる見込みである。これに対応し、300L の CFRP 蓄圧器を作製し、平成 27 年度からの FCV 普及開始に向けたインフラ整備に着手する。

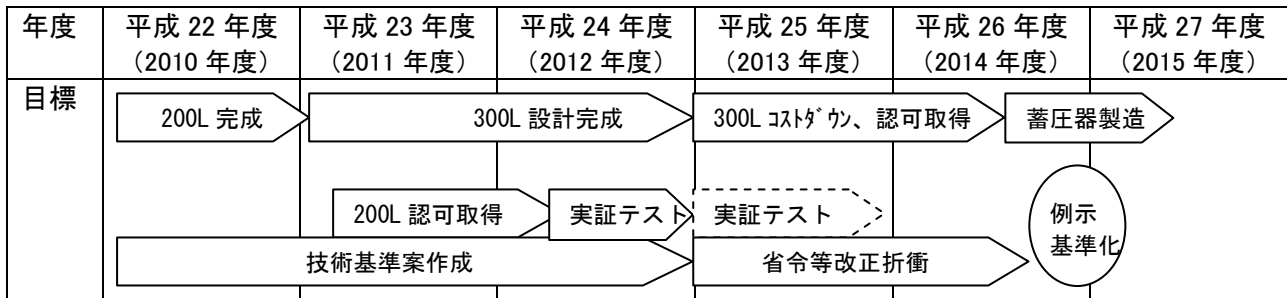


図1 事業目標とスケジュール(案)

3. 事業成果

3.1 CF・樹脂の開発

(1) 樹脂の開発

TPPに使用する樹脂の開発を行い、容器の破裂強度を向上させることができた。その中で繊維束が収束しにくい樹脂を使用したTPP3を実証テスト用として採用することとした。開発したTPPの比較評価結果を図2に示す。

【試験条件】

- ・ライナー容量 : 7.5L
- ・容器設計 : ヘリカルバースト(破裂圧力 120MPa 程度)
- ・CFRP 層厚 : 約 10mm
- ・TPP1: 汎用TPP、 TPP2: 平成22年度開発TPP、 TPP3: 平成23年度開発TPP

【結果】

当初採用していたTPP1に比べ、新規に開発したTPP3では約10%程度破裂強度を向上させることが可能となった。

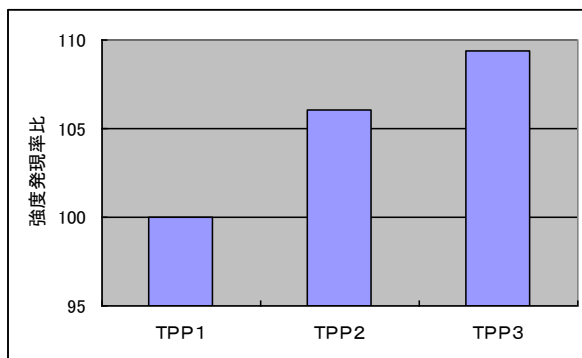


図2 TPPの開発検討結果

(2) 大型複合蓄圧器の試作

(1)で開発したTPP2と3. 2項で述べる FW 成形技術を使い 200L 蓄圧器の試作を行い、破裂圧力 345MPa を達成した。試作した蓄圧器と破裂試験後の写真を図3、4に示す。

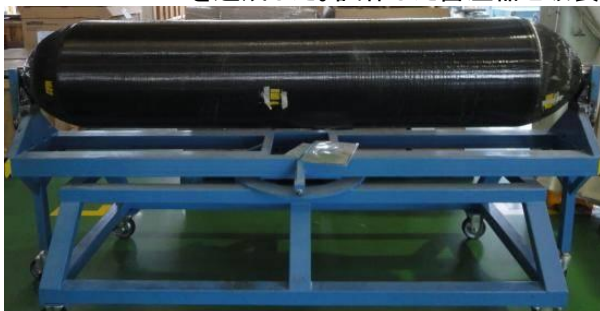


図3 試作 200L 蓄圧器



図4 破裂試験後の試作 200L 蓄圧器

【試作 200L 蓄圧器の仕様】

ライナー : アルミニウム合金 (T6061-T6)

長さ : 2800mm、 外径 : 561mm、 重量 : 752kg

適用TPP仕様 : CF・・・ポリアクリロニトリル (PAN) 系

樹脂・・・JX日鉱日石エネルギー株式会社製 TPP2

●破裂圧力 : 345MPa

この結果により、実証水素ステーションにおいて常用圧力とされる 80～82MPa の 4 倍耐圧以上の蓄圧器の製造が可能となり、水素ステーションでの仕様認可を取得するに十分な製造技術の確立ができた。

3. 2 FW 成形方法、成形装置の開発

(1) 大型複合蓄圧器の製造技術の開発

最大 FW 可能長さ: 6m、最大 FW 可能重量: 1633kg、最高水平移動速度 (ヘッド、水平軸など): 従来機の 5 倍である FW 装置 (図5) を設計開発し、運転を開始した。また、6m 長尺蓄圧器に対応し、硬化時の容器温度を確認可能な硬化炉 (図6) を導入した。



図5 大型 FW 装置



図6 大型硬化炉

これらの装置導入により、大型・長尺蓄圧器の製造が可能となった。これらを用いて試作した 300L 蓄圧器を図7に示す。



図7 試作 300L 蓄圧器

【試作 300L 蓄圧器の仕様】

ライナー : アルミニウム合金 (T6061-T6)

長さ : 3800mm、 外径 : 485mm、 重量 : 660kg

適用TPP仕様 : CF・・・ポリアクリロニトリル (PAN) 系

樹脂・・・JX日鉱日石エネルギー株式会社製 TPP3

(2) 内部加熱FW装置の開発

(2)-1 小型容器での効果確認

7.5L 小型容器を用いて内部加熱法の効果の確認を行い、温度条件によっては、130%近い破裂強度の向上が期待できることがわかった。結果を図8に示す。

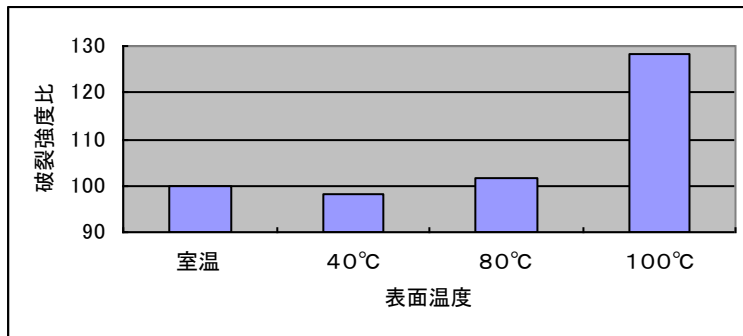


図8 FW時の内部加熱温度を変えたときの破裂強度比

【試験条件】

- ・ライナー容量 : 7.5L
- ・容器設計 : フープバースト(破裂圧力 60MPa 程度)
- ・CFRP 層厚 : 約 5mm
- ・FW時の表面温度条件 : 室温、40°C、80°C、100°C

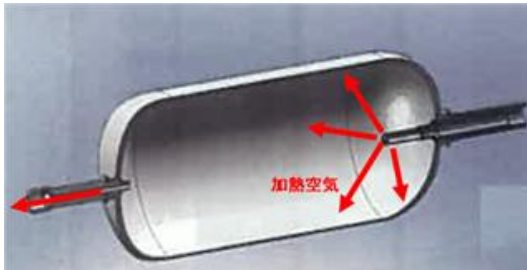


図9 内部加熱概略図*2

【結果】

表面温度を 100°Cにコントロールすることで、著しく破裂強度が向上した。これは、FW時に樹脂がゲル化(硬化)することによって、フープ巻き部分の巻き緩みや波打ち現象が起こりにくくなったためと推測される。

*2) 本内部加熱装置は、コンプレッサーで圧縮した空気を、流量計を介して電磁弁で制御しつつ給気部へと流す。給気部の内部には空気を加熱するためのヒータが内蔵されており、流れてきた空気を加熱する。CFRP 容器温度は 2つの熱画像装置(サーモグラフィ)によって PC へ転送し、リアルタイムでモニタリングを行い、ヒータ温度へとフィードバックし、温度調整を行う。

(2)-2 大型容器への内部加熱法検討

内部加熱法は、CFRP 層が厚くなるほど、温度ムラが生じやすいことや、内部と表面の温度差が大きくライナーに影響を与えない温度での加熱では CFRP 外表面を十分に加熱できないという問題がある。この問題を改善すべく、外部加熱の併用を検討した。

図10に内部外部加熱装置での運転状況を、図11に温度測定位置を、図12にこれまでの内部加熱のみでの温度分布を、図13に内部加熱に外部加熱を組合せた場合の温度分布を示す。尚、温度の測定は、40mm厚の CFRP 層を巻いた CFRP 容器で行った。



図10 内部外部加熱装置

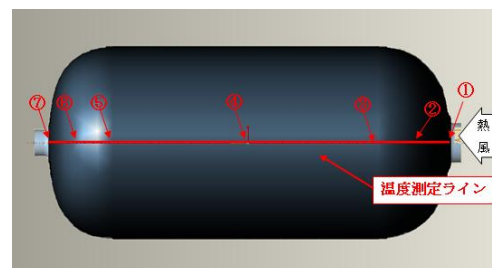


図11 温度測定位置

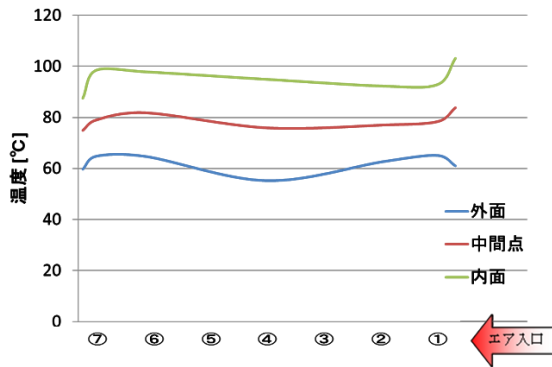


図12 従来の内部加熱のみでの各部温度

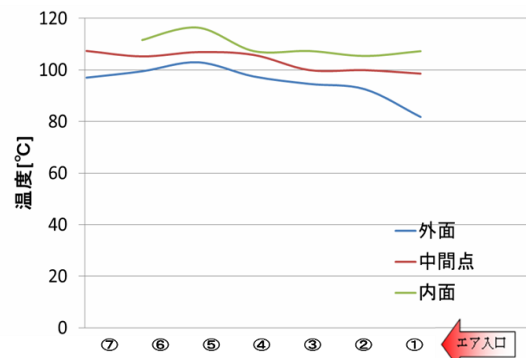


図13 内部外部加熱を行った場合の各部温度

内部加熱に外部加熱を加えることで内面と外面(CFRP 表面)の温度差が減少し、口金部を除き全体の温度ムラが改善された。

【課題】

実際の FW 工程においては、フープ巻、ヘリカル巻の変更時など、容器の回転を止めてTPPをセッティングするなどの作業が必要となり、外部加熱装置の付け外しが必要となる。そのため、より効率的に加熱できる外部加熱装置の開発が必要である。

3.3 大型複合蓄圧器成形技術の開発

(1) 評価装置

各種大型・長尺蓄圧器を試験する評価装置を設計導入した。導入した評価装置を図14～16に示す。



図14 破裂試験用高圧ポンプ



図15 ハイドロ試験装置



図16 サイクル試験装置

- ・破裂試験用高圧ポンプ :最大 400MPa までの昇圧能力があり、高耐圧蓄圧器の評価が可能である。
- ・ハイドロ試験装置 :非水槽式で 270MPa の圧力まで、6m の長尺蓄圧器に対応可能である。
- ・サイクル試験装置 :最高圧力 120MPa、容量 300L、試験圧力 0⇔120MPa の条件でサイクル速度 15 秒/1 サイクルの試験が可能である。

これにより、外部機関でも評価できない大容量・高圧・長尺蓄圧器の評価試験が可能となった。

(2) 検査手法の確立

図17に探傷検査器(レーザー超音波方式)を示す。これにより目視の難しい長尺ライナー内面の検査を行い、0.1mm 深さの傷の検知が可能となるよう検討中である。



図17 探傷検査機(レーザー超音波方式)

3.4 開発容器の検証

(1) 実証テスト用蓄圧器の開発

「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の仕様を以下の通り確定した。完成した蓄圧器を図18に示す。

【実証テスト用 200L 蓄圧器仕様】

内容量 :200L 常用圧力 :82MPa

長さ :2805mm 外径 :488mm 重量 :484kg

適用TPP仕様 :CFRP・ポリアクリロニトリル(PAN)系

樹脂・JX日鉱日石エネルギー株式会社製 TPP3

●最小破裂圧力 :210MPa ●常温圧力サイクル性能 :2万回以上(0⇔102.5MPa)

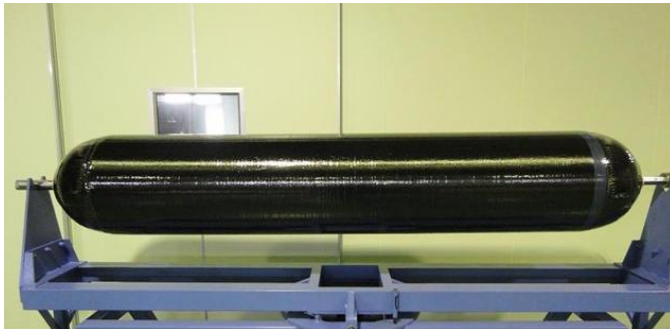


図18 実証テスト用 200L 蓄圧器

(2) 水素ステーションで使用するための認可取得

上記(1)の仕様の CFRP 容器を複合蓄圧器として初めて水素ステーションで使用すべく、認可の取得を行った。使用期間条件は、水素の充填放出回数 5000 回または3年間のいずれか早い方とする。平成24年度中に実証ステーションに本蓄圧器を提供し、安全性の検証を行う予定である。

3.5 特許、論文、外部発表等の件数一覧

表1 特許、論文、外部発表等の件数

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (件)
	国内 (件)	外国 (件)	PCT*出願 (件)	査読付 (件)	その他 (件)	
平成20年度	1	0	0	0	0	0
平成21年度	3	0	1	0	0	1
平成22年度	0	0	0	0	0	5
平成23年度	2	0	0	3	1	2
平成24年度	0	0	0	1	0	1

*Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

4. まとめ及び課題

TPP を用いた DRY 法で 300L 級の高圧(破裂圧力 200MPa 以上)複合蓄圧器の製造が可能となり、実証テストに提供する 200L 蓄圧器の仕様を確定し、水素ステーションでの使用認可を取得した。今後水素ステーション実証テストに提供する複合蓄圧器を製造すると共に、水素ステーションでの安全性を検証する。現行 DRY 法は生産効率的には十分勝れているものの、強度的にはまだ向上の可能性があるため、更なる TPP の改良(開繊、樹脂の改良)、DRY 法 FW 技術の向上を行いながら、内部外部加熱法を量産化に適用しうよう検討することで、低コスト型蓄圧器の完成を目指す必要がある。

5. 実用化・事業化見通し

NEDO事業「水素インフラ等に係る規制見直しのための研究開発」およびポストJHFCプロジェクトと協力し、平成 24 年度から実証化テストを行い、水素ステーションにおける複合蓄圧器の安全性等の確認と技術基準の法制化を行い、認可のための評価費用の削減と納期の短縮を実現し、実用化を目指す。

また、平成 27 年度からのインフラ整備に対しては、本事業で開発した 300L 級の複合蓄圧器を更にコストダウンして投入する予定である。

(Ⅱ-8) 低コスト型70MPa級充填対応ステーション機器に係わる研究開発

委託先: 一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)/九州産業大学、(株)日本製鋼所、(株)キッツ、一般財団法人金属系材料研究開発センター(JRCM)、アズビル(株)

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度9月末)

- ・70MPa級水素ステーションに関する要素技術開発として、鋼製蓄圧器、高強度配管材料、高圧水素用ボール弁、流量調節弁、並びに水素ステーション制御システムの開発に取り組み、コスト低減、耐久性の両面で開発目標を達成した。
- ・総合的エンジニアリング技術開発として、水素ステーション構成機器の最適化検討を行い、設備コスト2億円が達成可能であることの見込みを得た。

●背景/研究内容・目的

水素供給インフラ市場立上げ(平成27年/2015年頃を想定)に向け、水素ステーション全体の開発目標達成に繋がる要素技術開発を行う。

最終目標 低コスト化: 設備コスト2億円以下/システム
耐久性: 各機器メンテナンス回数1回以下/年

●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
①総合的エンジニアリング技術開発	・水素ステーション構成機器の最適システムの提示 ・設備コスト2億円以下の達成可能性確認
②鋼製蓄圧器開発	・蓄圧器価格の半減(1億→5千万円) ・検査更新費用の低減、耐久性向上
③水素用高圧バルブ開発	・バルブ単価の半減(遮断弁:70→35万円) ・バルブ圧力損失の低減
④高強度金属材料開発	・耐水素脆化特性がSUS316Lと同等で、30～50%高強度の金属材料の開発
⑤制御システム開発	・制御システムのコスト低減として、構築費30%低減、設計費50%低減
⑥流量調節弁開発	・流量調節弁価格の30%低減 ・30万回以上の作動耐久性の実現

●実施体制及び分担等

NEDO /PL	JPEC/九産大(項目①) 日本製鋼所(項目②) キッツ(項目③) JRCM(項目④) アズビル(項目⑤、⑥)	実行額	
		年度	百万円
		H20	27
		H21	245
		H22	310
		H23	253
		H24	253

●これまでの実施内容/研究成果

- (1)総合的エンジニアリング技術の開発 (JPEC、再委託先:九州産業大学)
 - ・全委託先がステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を行った。
 - ・ダイナミックシミュレーションを用いた充填解析を行い、差圧充填型、続いて、圧縮機併用型差圧充填型での最適機器構成の検討を行った。
 - ・システム技術開発、水素先端基礎研究事業と連携し、九州産業大学と共同で、温度変化も含めた水素充填状態の推定が可能な数値解析プログラム開発を行った。
- (2)鋼製蓄圧器開発 (日本製鋼所)
 - ・鋼製蓄圧器の高容量化を実現するために、材料検討を行い、SA723鋼を選定するとともに、大型蓄圧器に対する自緊処理技術を確立し、世界初となる450Lの高容量蓄圧器を試作した。
 - ・高圧ガス保安法の特認申請において、大幅な寿命延長を実現するとともに、コスト低減目標も達成した。
- (3)水素用高圧バルブ開発 (キッツ)
 - ・世界初となる高圧水素用ボールバルブを開発し、8万回の作動確認を行った。
 - ・遮断弁(自動弁)、手動弁ともコスト低減目標を達成した。
- (4)低コスト・高強度材料開発 (JRCM)
 - ・JIS SUS316L材と耐水素性が同等で、強度が30～50%向上する材料を開発した。
 - ・バルブメーカー等へ開発材料を提供し、加工性においても問題がないことを確認した。
- (5)制御システム開発 (アズビル)
 - ・水素ステーション制御集中化による制御機器を統合し、制御機器費用の低減を実現した。
 - ・水素ステーション仕様の標準化、ソフトウェアの共通化によりシステム設計費の低減を達成した。
- (6)流量調節弁開発 (アズビル)
 - ・世界最高水準のシール技術を開発し、水素中で30万回の作動耐久性を実現した。
 - ・流量調節弁のコスト低減においても、目標とするコスト低減を実現した。

●実用化・事業化の見通し

- ・鋼製蓄圧器は、既に特認申請を終了し、今後システム技術開発と連携して、実ステーションでの耐久性評価を継続研究する予定である。
- ・バルブ、調節弁は、一部ステーションでの採用が計画され、高圧ガス保安法に基づく事前申請を行っている。
- ・今後の水素ステーション整備においても、開発品の採用が計画されている。
- ・高強度金属材料開発については、製品開発まで視野に入れた開発計画の検討が行われている。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
項目①	最適化検討、コスト低減見込み	○
項目②	高容量蓄圧器試作、コスト低減	◎
項目③	水素用ボール弁開発、コスト低減	◎
項目④	高強度配管用材料開発	○
項目⑤	集中制御システム試作、コスト低減	○
項目⑥	高耐久流量調節弁試作、コスト低減	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
8	2	12	0

低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）/九州産業大学、株式会社日本製鋼所、株式会社キッツ、一般財団法人金属系材料研究開発センター（JRCM）、アズビル株式会社

1. 事業概要

70MPa級水素ステーション構成機器に対して技術、コスト両面から平成20年度分析したうえで、充填時間を考慮した最適化検討と、要素技術開発に取り組んだ。個々の要素技術開発の技術的見通しを高圧水素中のラボ試験等により確認のうえで、機器試作と耐久性評価に取り組み、水素ステーション用として世界初となる以下機器等の提供を可能とした。

高容量鋼製蓄圧器 水素用高圧ボールバルブ 高強度金属材料 集中型制御システム 高耐久型流量調節弁

2. 事業目標

本研究開発における開発内容、最終目標を表1に示す。

表1 開発内容および最終目標

実施項目	開発内容	最終目標
①総合的エンジニアリング	・ステーション構成機器最適化検討 ・水素ステーション充填解析プログラム開発	2億円/システム達成可能性提示
②鋼製蓄圧器開発	高容量化材料評価、高耐久化施工法、 検査技術開発	本体価格、検査・更新費用低減
③水素用高圧バルブ開発	ボールバルブ開発	バルブ単価低減、圧力損失低減
④高強度金属材料開発	金属材料候補絞込、試作・試製、評価	高強度耐水素性金属材料開発
⑤制御システム開発	制御システム機能集約化、標準化	制御システム設計費低減
⑥流量調節弁開発	シール技術開発、本体コンパクト化	動作保証回数達成、価格低減

3. 事業成果

委託先ごとの主要な事業成果を以下に述べる。なお、個別の要素技術開発におけるその他試験研究等の実施状況は表6にまとめて記載する。

3.1 水素ステーション最適化検討、水素充填プログラム開発（JPEC/九州産業大学）

(1) 差圧充填モデルでの最適化検討

水素ステーションのコスト低減検討を行うためには、蓄圧器の容量を決定する必要がある。蓄圧器の容量は、充填可能な燃料電池車（FCV車）の台数や水素充填時間によって決まるが、本事業での水素ステーションの要求仕様が、水素供給能力300Nm³/hであることから、FCV車への充填能力を1時間当たり5台（1台当たり60Nm³）とし、充填能力と必要蓄圧器容量の検討を行った。

水素充填方式としては、高圧蓄圧器を使用する差圧充填方式を選定し、ダイナミックシミュレーションが可能な市販の汎用ソフトを用いて、差圧充填における流量圧力および充填時間の解析を行なった。図1に差圧充填モデルの概略フローを示す。

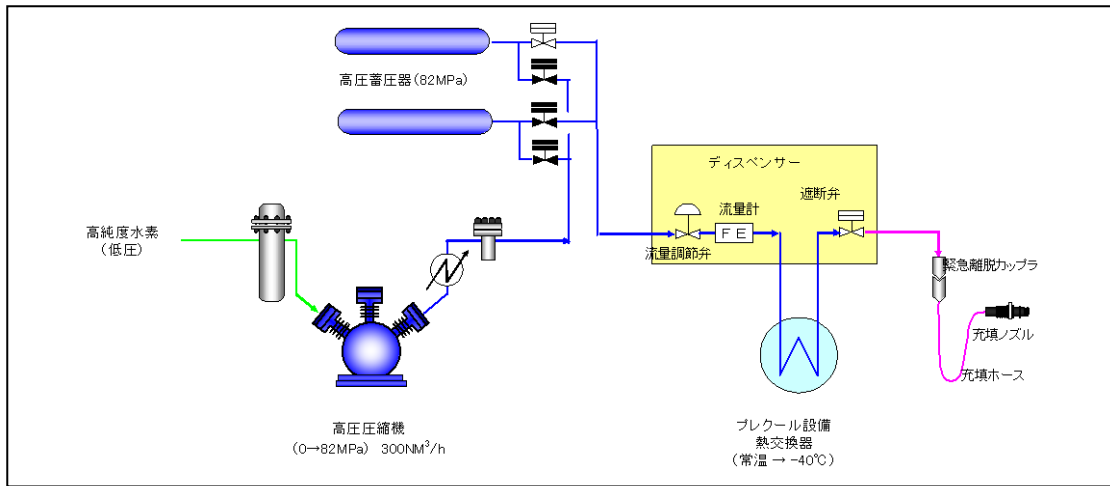


図1 差圧充填モデルの概略フロー

差圧充填モデルでのダイナミックシミュレーションを用いた解析結果として、蓄圧器450L×2バンクと蓄圧器300L×3バンクの例を図2に示す。蓄圧器450L×2バンクの場合と、蓄圧器300L×3バンクの場合とを比較した結果、蓄圧器の総容量は同じであるが、2バンクシステムの方が、バンク容量が450Lと大きいいため、圧力降下が小さく、平均ガス流速が大きくなることと、バンク切替回数が少なくなるため切替時間が1回分削減できることにより、充填時間の短縮化について有利であることが確認された。また、コスト面においても、バンク数が少ない方が、バルブや配管付属品類が少なくなり、有利である。

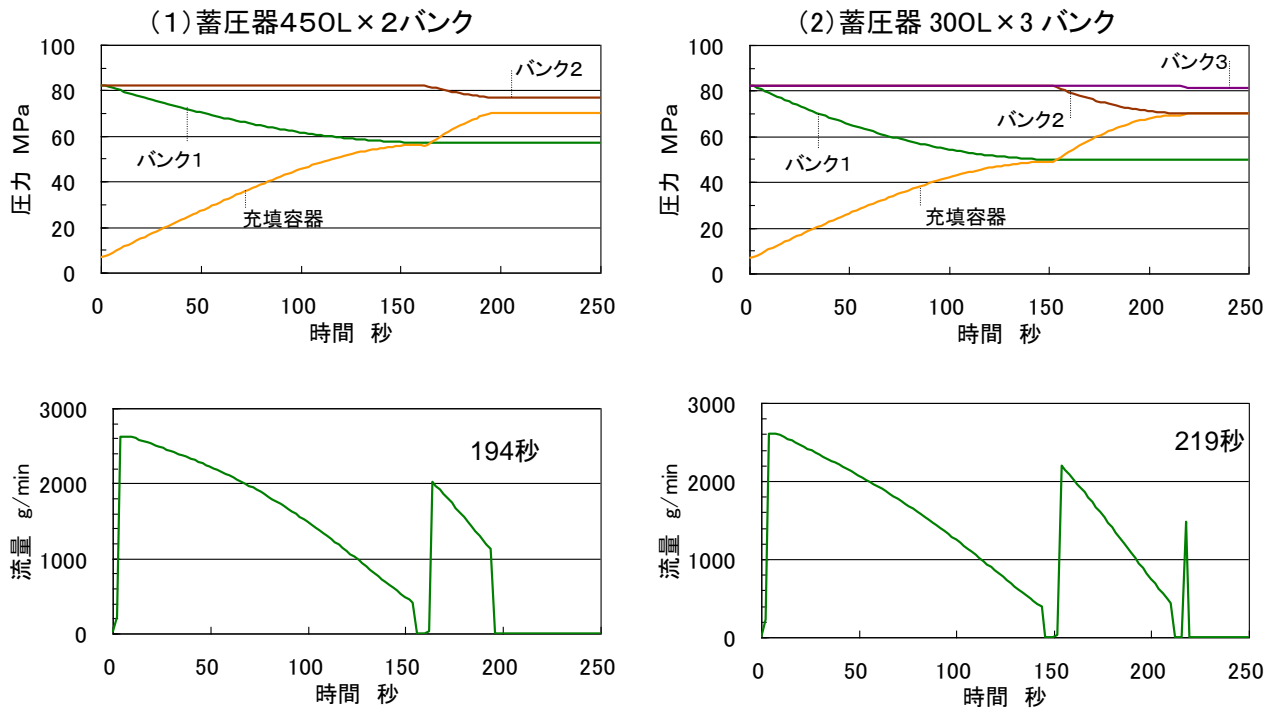


図2 差圧充填モデルでのダイナミックシミュレーションによる解析結果

また、水素ステーションとしての充填能力、即ち、1時間当たりFCV車5台(1台当たり 60Nm³)充填に関する検討を行い、充填に供しない蓄圧器を再昇圧することにより、蓄圧器基数を増やすことなく、1時間当たりFCV車5台の充填が可能となる、最低蓄圧器容量があることが判明し、2バンクの場合で450L/基、3バンクでは300L/基であった。図3に2バンクでの連続充填時の圧力変化を示す。

以上のことから、差圧充填モデルでは蓄圧器450L×2バンクを最適モデルと選定した。

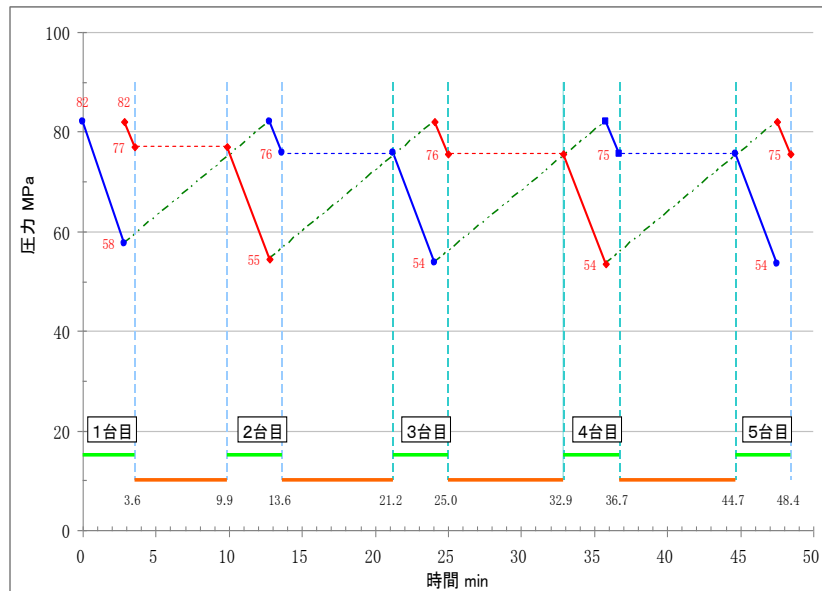


図3 連続充填時の圧力変化(差圧充填モデル: 450L×2バンク)

(2)スキッド化検討

2バンク差圧充填(蓄圧器450L×2基)を基本仕様として、ステーション機器のスキッド化仕様を検討したうえで、ステーション現地工事費用の低減効果を試算した。スキッド化の対象とした機器および範囲を図4に、現地工事費低減の評価結果を表2に示す。

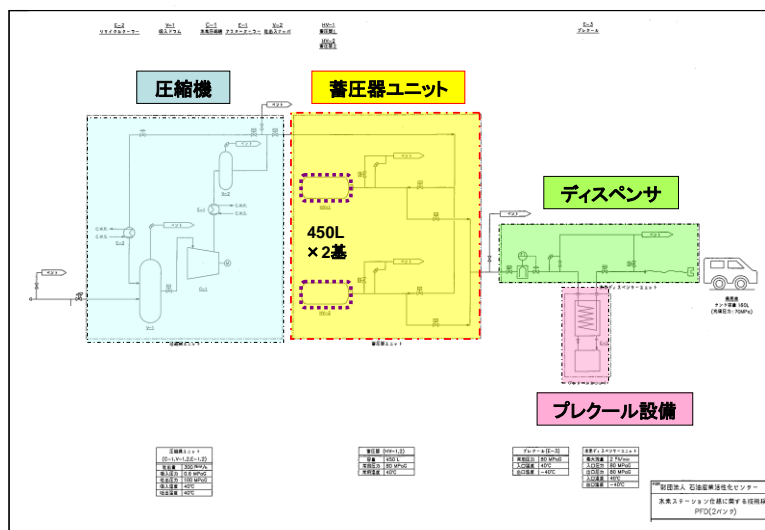


図4 スキッド化の対象とした機器および範囲(高圧水素関係)

表2 スキッド化による現地工事費低減の評価結果

(単位:百万円)

区分	スキッド化対象項目	H21 積算結果 (スキッド化前)	H22 見直し結果 (スキッド化後)	スキッド化効果
基礎、土木、建築工事		105	44	
据付配管工事 (据付配管工事) (蓄圧器ユニット化工事)	○	34 (34) (-)	14 (4) (10)	▲20
計装、電気、現場管理	○	31	10	▲21
ユーティリティ設備		10	8	
スキッド化効果合計				▲41

(3) 更なる最適化検討

平成24年度以降は、ステーションコスト面で大きな割合を占める蓄圧器コストの更なる低減を図るため、差圧充填時に圧縮機充填も併用する、「圧縮機併用充填」モデルの検討に取り組んだ。圧縮機併用充填モデルの特徴は、これまでの差圧充填モデルが、圧縮機からの直接充填は行わず、蓄圧器を介しての充填のみを行っていたのに対し、蓄圧器からの差圧充填に加え、圧縮機からの直接充填を行なうことで、蓄圧器容量の低減が可能となることである。図5に圧縮機併用充填モデルの概略フローを示す。

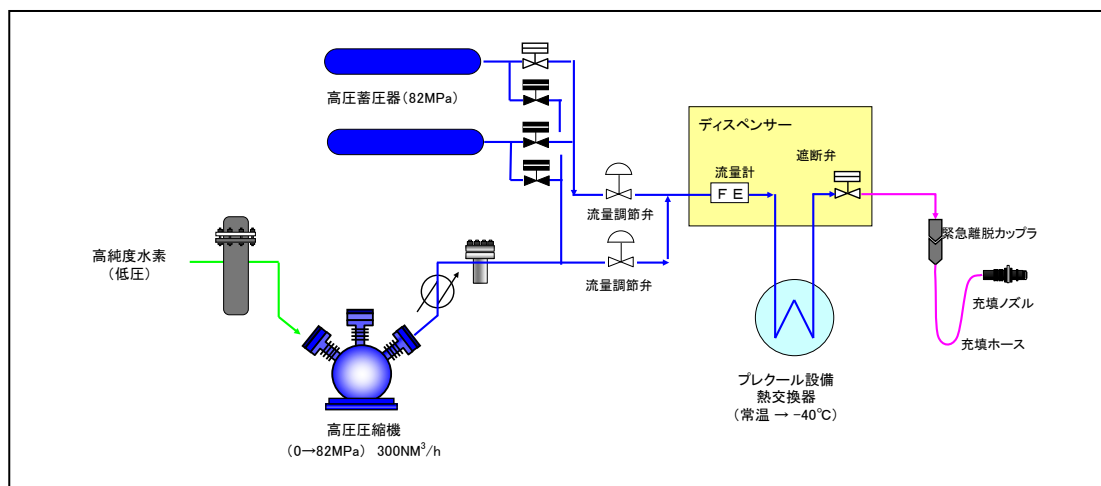


図5 圧縮機併用充填モデルの概略フロー

圧縮機併用充填モデルでは、もともと蓄圧器容量ゼロの場合でも、圧縮機(供給能力300Nm³/h)からの直接充填で、概ね12分でFCV車(1台当たり60Nm³)への場合の充填が可能あり、蓄圧器からの差圧充填と併用することにより、少ない蓄圧器容量でも充填時間の短縮化が可能となる。図6に蓄圧器300L×2基の圧縮機併用充填モデルの解析例を示すが、この場合、充填時間が約197秒であり、差圧充填モデルでの蓄圧器450L×2基の充填時間194秒にほぼ匹敵している。

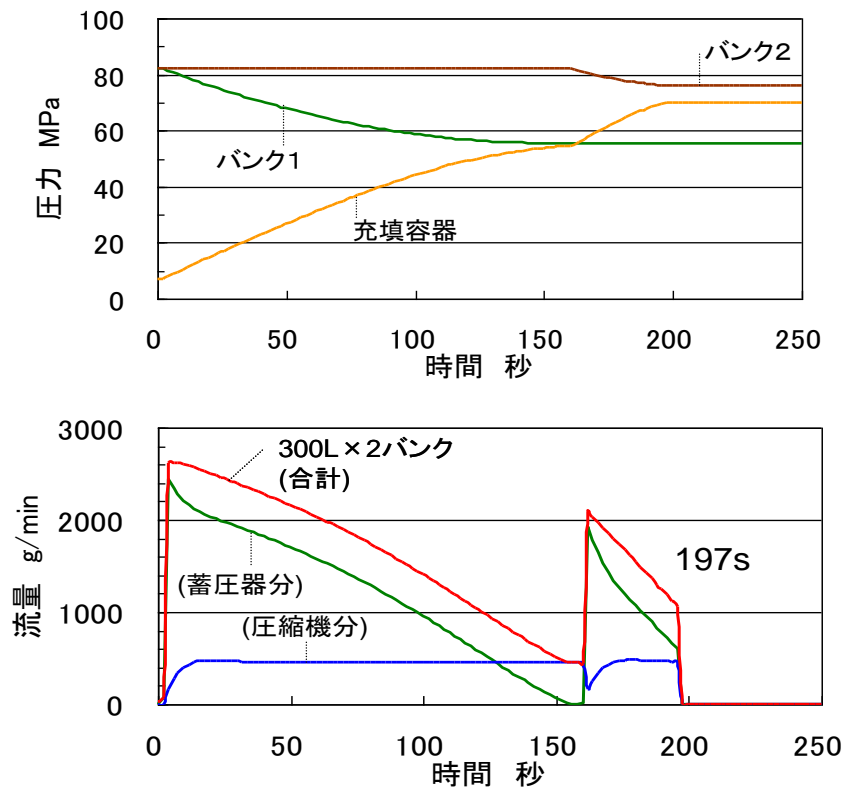


図6 圧縮機併用充填モデルでのダイナミックシミュレーションによる解析結果

続いて、図 7 に示すように差圧充填モデルの蓄圧器2バンクおよび3バンクケース、ならびに圧縮機併用充填モデルの蓄圧器2バンクケースについて、蓄圧器総容量と1台あたり充填時間の関係と比較した。

蓄圧器容量が同じ場合では、圧縮機併用充填モデルは差圧充填モデルと比較して、充填時間が短くなる。充填時間 200 秒以下を許容時間とし、蓄圧器容量が最少となる300L × 2基のケースを、圧縮機併用充填モデルでの最適機器構成として選定した。

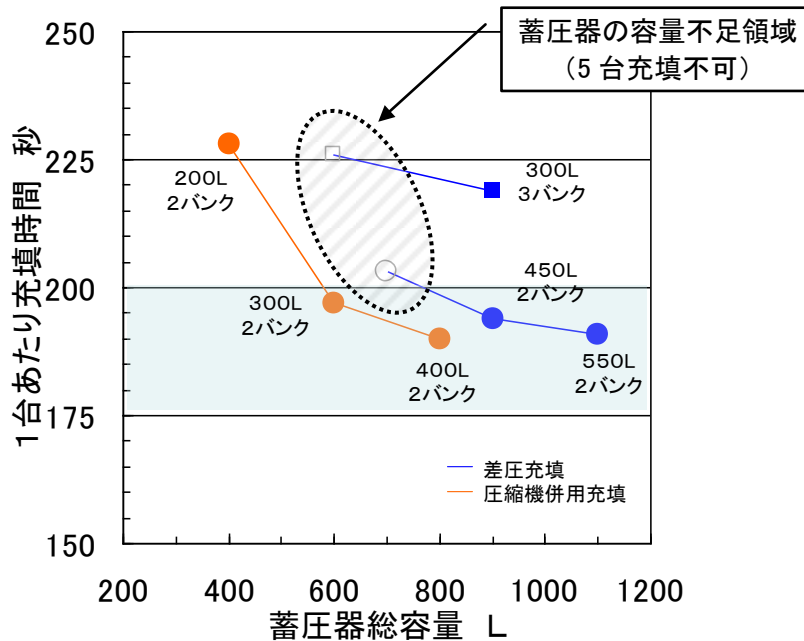


図 7 蓄圧器容量と1台あたり充填時間の関係(圧縮機能力 300Nm³/h)

(4) 水素ステーション充填解析プログラムの開発

これまで実施してきた市販のダイナミックシミュレーションソフトによる解析では、水素充填時の温度変化を正確に検証することができなかった。そこで、水素充填時の状態をより正確に解析するため、平成 23 年度から、世界最高の精度を有する Hydrogenius の水素物性データベースと佐賀大学が開発したタンク充填プログラムおよびプレクール熱交解析プログラムを活用した、新たな水素ステーション充填解析プログラムの開発を開始した。

これまでに、水素充填解析プログラムのプロトタイプを作成し、市販プログラムによる検証を実施した。図 8 に市販プログラムによる開発モデルの検証結果を示す。今後、実機データとの照合を行い、プログラムとして使用可能であることを確認する。

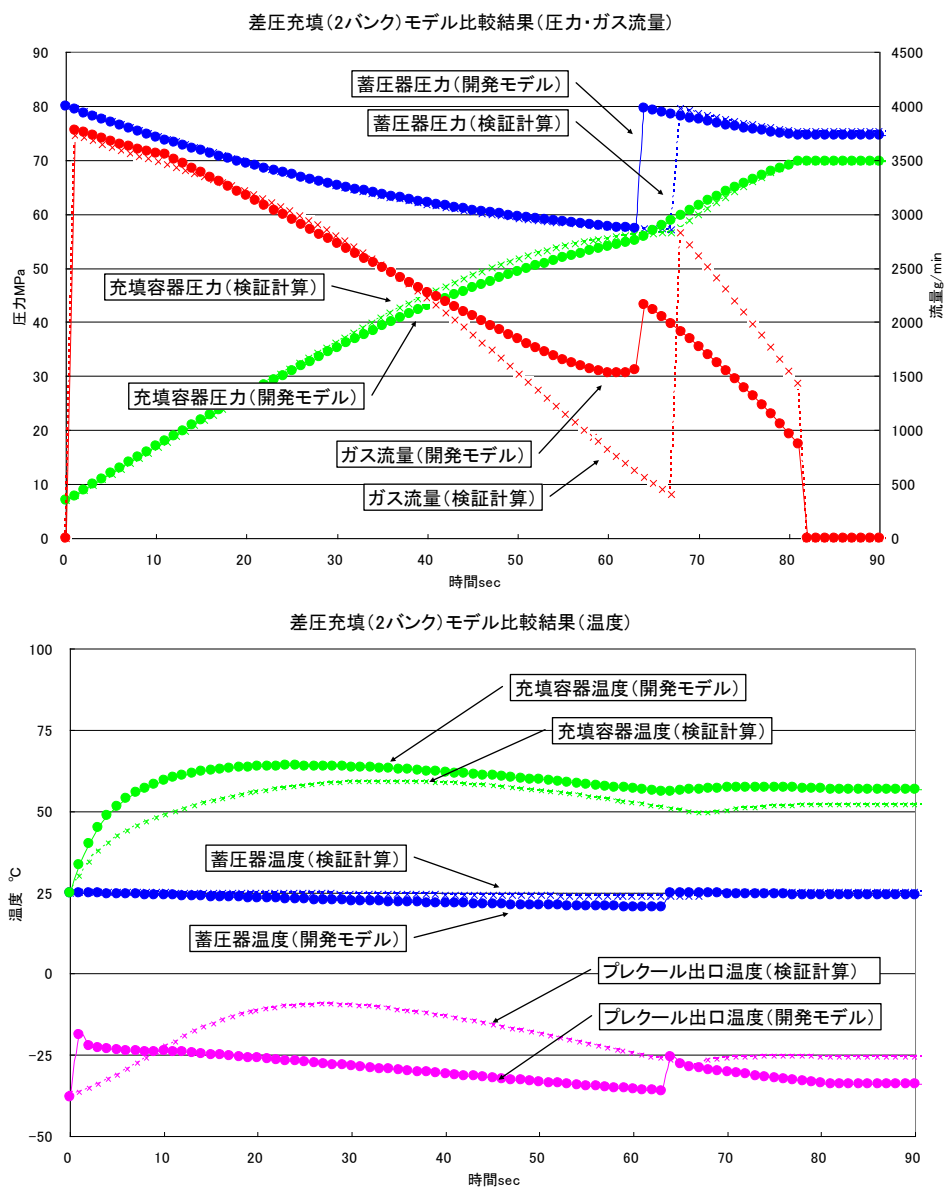


図8 水素充填解析プログラム(開発モデル)の検証結果

3.2 鋼製蓄圧器の開発(日本製鋼所)

蓄圧器の高容量化が可能な SA723 鋼の安全性検証試験と、高耐久化のための施工技術開発を行ったうえで、世界初となる高耐久・高容量化蓄圧器の試作・事前評価申請を行った。開発目標とした本体価格、検査更新費用低減を可能とした蓄圧器の仕様を従来と比較し表3に示す。試作蓄圧器の外観を図9に示す。

表3 本事業開発蓄圧器の仕様

項目	従来蓄圧器 (SNCM439 鋼強度低減材)	開発蓄圧器 (SA723 鋼/高耐久化施工)
容量	255L/基	450L/基
製造コスト	10 万円/L	30~60%低減
使用上限回数	3 千回、5 年間	5 万回、10 年間
設計圧力	90MPa	99MPa
検査コスト	300 万円/年 (毎年開放検査)	30~50%低減 (毎年 UT 検査、3年毎開放検査)

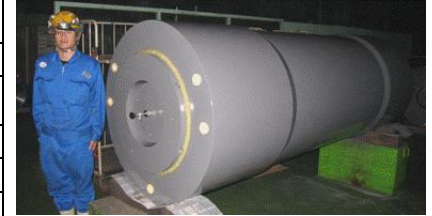


図9 試作蓄圧器の外観写真 (450L/基)

① 高容量化蓄圧器用材料の検討

ASME SA-723 鋼の化学成分や熱処理条件の最適化を図ることで肉厚中心部まで均一組織且つ微細な結晶粒を得、高温焼き戻しの適用により水素脆化感受性を低減することが出来た。SA-723 鋼の 100 万回の疲労試験を実施し、疲労き裂の発生しないことを確認した(図10)。最低設計温度(-15°C)において SA723 鋼の SSRT (Slow Strain Rate Tensile)試験を実施し、水素ガス中においても最高荷重点まで到達することを確認した。

② 設計・施工技術の開発

高容量化蓄圧器の耐久性向上を目的として内面への高耐久化処理を検討した。1.6mm 深さ(規格で示される設定初期き裂深さ)のき裂が胴部内面に存在する場合のき裂進展解析結果を図 11に示す。高耐久化施工を行った蓄圧器では普及期における水素ステーションの耐久性(充填回数>30 万回)を確保できることが示された。高耐久化施工上必要とされる製造技術を検討し、これまでに例のない大口徑容器に対する高耐久化施工技術を開発した。高耐久化施工を施した高容量化蓄圧器は、本年度中にシステム技術開発と連携し、耐久性評価の実証試験を開始する予定である。

③健全性監視技術の開発

鋼製水素蓄圧器の運用コスト低減を目的とし、AE(アコースティック・エミッション)法による水素脆性き裂発生を検出と TOFD/UT(超音波探傷)法による微小き裂進展量の測定を併用した常時状態監視手法適用の可能性について検討を実施した。エコーの反射特性やノイズレベルを考慮して TOFD/UT の条件設定を行うことで、厚肉の鋼製蓄圧器内面に発生する 1.6mm 深さ以上の疲労き裂が検出可能であることが示された。開放検査を行わず外面からの TOFD/UT 法の検査を行うことにより、検査コストを 1/3 程度に低減できる見込みを得た。

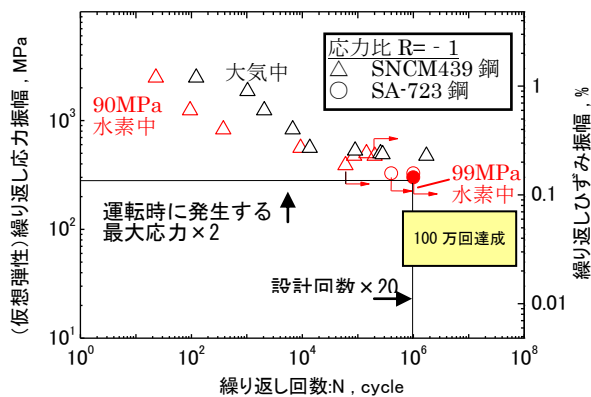


図10 SA-723 鋼の疲労試験結果

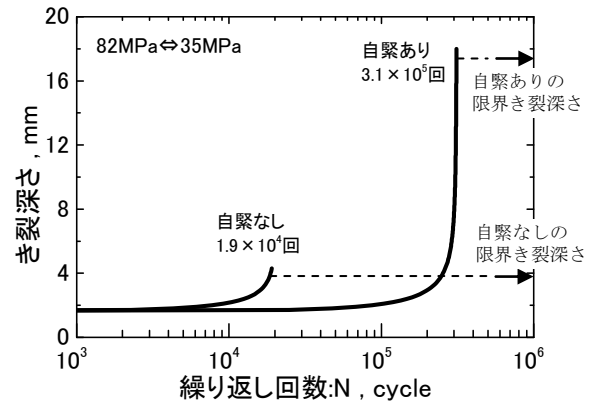


図11 蓄圧器胴部のき裂進展解析結果

3. 3 水素用高圧バルブ開発 (キット)

既に確立したCNGステーション用ボールバルブの設計技術を基礎とし、加えてバルブ重要部位構造、材質に関する試験検討を行った。国内初の水素用高圧ボールバルブ開発の技術的見通しを得、手動弁、遮断弁の設計を完了(図12)させ、JRCM提供材料等を用いて試作を行い、異なる温度サイクル条件下において、1年間ノーメンテナンスを目的とした8万回の開閉作動耐久性を確認した。

ボールシート及びパッキンは候補材料に対し、高圧水素環境下長期保持試験を実施し、シール材として使用可能な非金属材料を選定した。遮断弁は、バルブの作動トルクにマッチしたアクチュエータの設計及びバルブとの接続方式を考案することでアクチュエータ搭載時のコンパクト化を実現した。

耐久試験に合格した構造に対し、水素材料先端科学研究センター(Hydrogenius)水素高分子材料研究チーム、水素トライボロジー研究チームと連携し、以下試験を実施することで、最適化を図ると共に、信頼性を確立させた。パッキン封止構造部は Hydrogenius との検討により優れた封止構造であることを確認した。シート封止構造部は今回選定したDLCコーティングが水素環境下において非常に優れた性能であることを確認した。

- ・パッキン封止構造部 : 部分試作による漏れ(透過)測定試験、構造材料の水素暴露試験、摩擦試験
- ・シート封止構造部 : 摩擦試験

以上の結果を反映させ、バルブの改良商品化設計、量産試作を行い、加工性の確認と商品化の見通しをつけ、目標としたバルブ単価低減を確認した(図13)。更に、量産試作を行ったバルブに対し、東邦ガス技術研究所70MPa水素ステーションのディスベンサ入口、出口側各1台ずつ取り付け、実機評価を実施した(図14)。また、東邦ガスの定修に合わせ、バルブの分解調査を行った。

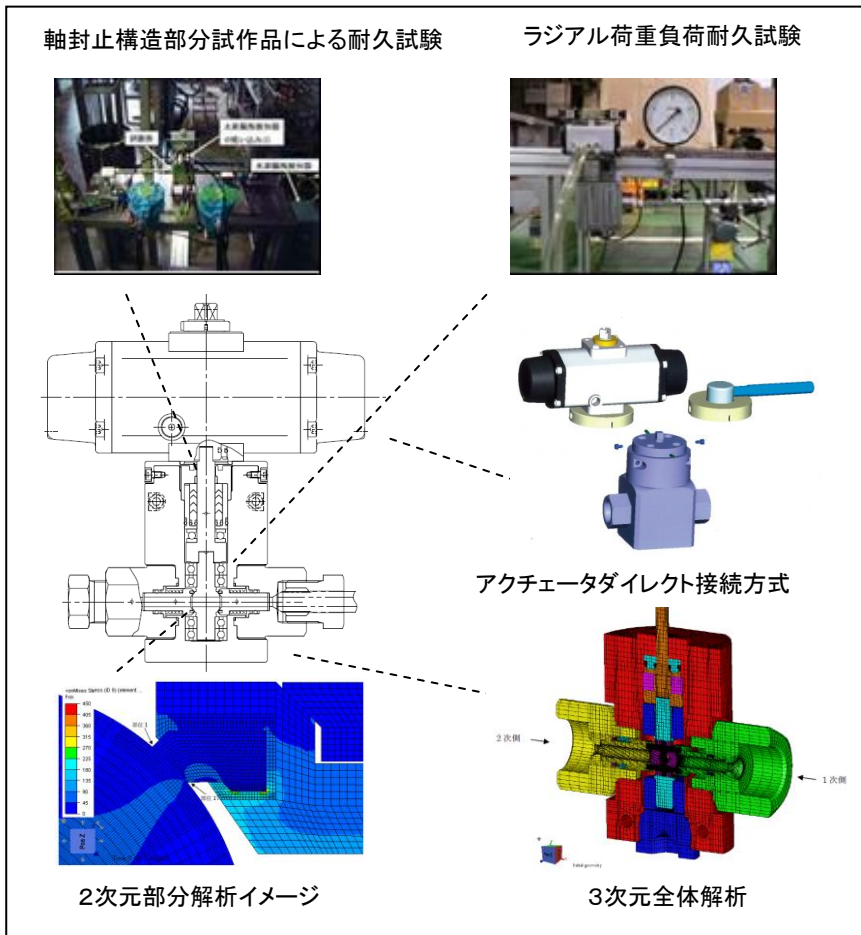


図12 開発ボールバルブ(遮断弁)の断面構造

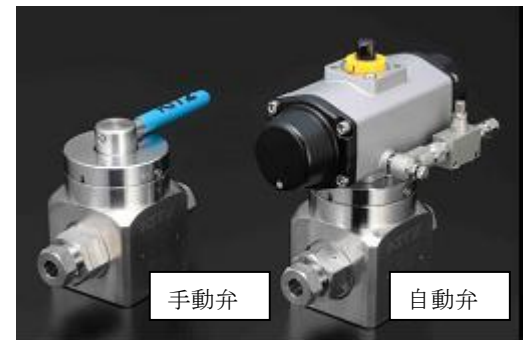


図13 改良商品化設計バルブの外観写真
(Cv値2.1 内径6.4mm)



図14 試作バルブの実機評価状況

3. 4 低コスト・高強度材料開発に係わる F S 検討および開発 (J R C M)

(1) ラボレベルでの溶製→圧延による材料試作

水素ステーション用材料として世界最高水準の低コスト・高強度材料開発を目的として(表4)、特性評価用試験材の試作を実施した(表5)。比較材である JIS SUS316L 材の機械的強度(耐力)の 30~50%向上を開発目標とした。材料の高強度化のため方策として固溶強化、析出強化、冷間加工等の方法を用いることで、試作する鋼種の成分を決定した。試作は、ラボレベルでの溶製、圧延、熱処理を行って、特性等の検討・評価のための試験片を作製した。

表4 開発目標

項目	開発目標
機械的強度(耐力)	比較材の 30%~50%向上
耐水素脆性	比較材と同等

比較材：JIS SUS316L 材

表5 試作鋼種の特徴

#1	SUS316L ベース(Ni: 12.5%)
#2	Type316 ベース(Ni: 12.5%)
#3	SUS316L + Mn + 高窒素添加
#4	高 Mn 低 Ni 鋼(高窒素添加)
#5	窒化物析出強化

(2) 試作材料の特性等の検討・評価及び絞り込み

(1)項で作製した試験片(試作試料)の機械的特性、耐水素特性の検討・評価を行った。特性評価として SSRT(Slow Strain Rate Technique)試験や組織観察等を実施し、開発目標を達成した。試作材料の中で機械的特性、耐水素特性の優れた材料(#4)を絞り込み、今後の開発に供する候補材料とした(図15)。

(3) バルブ、調節弁メーカーへの試作材料提供と一次評価

(2)項で絞り込まれた試作材等を、(1)項で溶製した材料の一部から丸棒等に加工し、バルブ、調節弁メーカー等3社へ提供し、加工性の評価を実施した。その結果はいずれも問題なく、今後の開発に供する候補材はこの評価結果をもふまえて選定した。

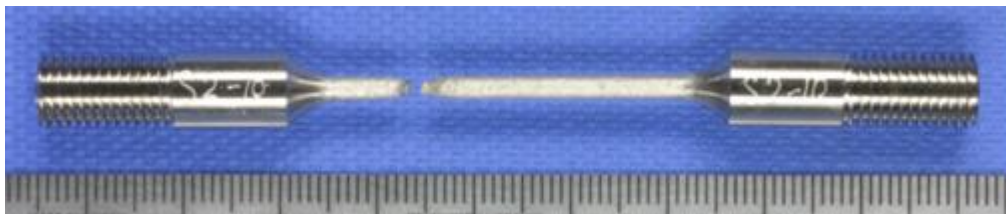


図15 SSRT 試験結果の例 (#4: 高圧水素ガス中(85MPa))

(4) 候補材の量産化を想定した溶製とバルブ、調節弁メーカーへの試作材料提供

(3)項の結果をもとに候補材の量産化を想定して溶製のバッチ処理量を増大させた。当初の処理量は 150kg/バッチであったが、加速財源を原資として 300kg/バッチの溶製を実施した。さらに、将来の大型炉での溶製を目指し、700kg/バッチの溶製を実施しバルブ、調節弁メーカー等3社へ提供し、加工性の評価を実施した。その結果はいずれも問題なく、今後の開発に供する候補材として適切であることが判明した。

(5) 他プロジェクトとの連携

効率的な開発を進めるために「金属材料開発および国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発」プロジェクト(以下「連携プロジェクト」と表記)と連携して次の項目を実施した。

まず、上記の 300kg/バッチの溶製で作成した候補材を「連携プロジェクト」へ提供し、疲労亀裂進展試験等の疲労試験を実施した。また、更なる高強度化による鋼種拡大を目指して「連携プロジェクト」で見出した 2 鋼種の溶製方法を変更した場合に関して、機械的特性試験、SSRT 試験、疲労試験を実施する予定である。

3.5 コントロールシステム開発に係わるFS検討および開発(アズビル株式会社)

制御システムのハードウェア(制御盤)を集約化、ソフトウェアを標準化することによるコスト低減を検討し、試作に基づき、ハードウェアについてコスト低減(目標 2100 万円以下)を確認するとともに、制御システムの作動検証を行った。検証用システム試作機の外観を図16に示す。

(1)室内設置制御盤のコンパクト化によるコスト低減

複数の設備メーカーの提供する制御盤を集中化し、計装制御盤の面数を低減することでのコンパクト化と、コスト低減を可能とする構成を検討した。

(2)ソフトウェア、設計図書類の徹底的な再利用

各設備との入出力や実施する制御機能を標準仕様として定義しソフトウェア仕様書としてまとめ、検証用システム試作機を通じ仕様書の有用性と再利用性検証を実施した。このソフトウェア標準化により今後の制御システム設計費の低減(目標 50%低減)が可能となる。

(3)FS検討ベースモデルに対応する効率化制御機能の検討

ステーション全体へのコスト低減と運用上の効率化を目的とし、最大4台の圧縮機やディスペンサ、さらに充填方式の切替、将来の車両通信にも対応できる国内初の制御機能の検討を行っている。加えて最新の圧力上昇率を一定に保つ制御仕様を反映し、既に顕在している実用要求への対応を実施した。

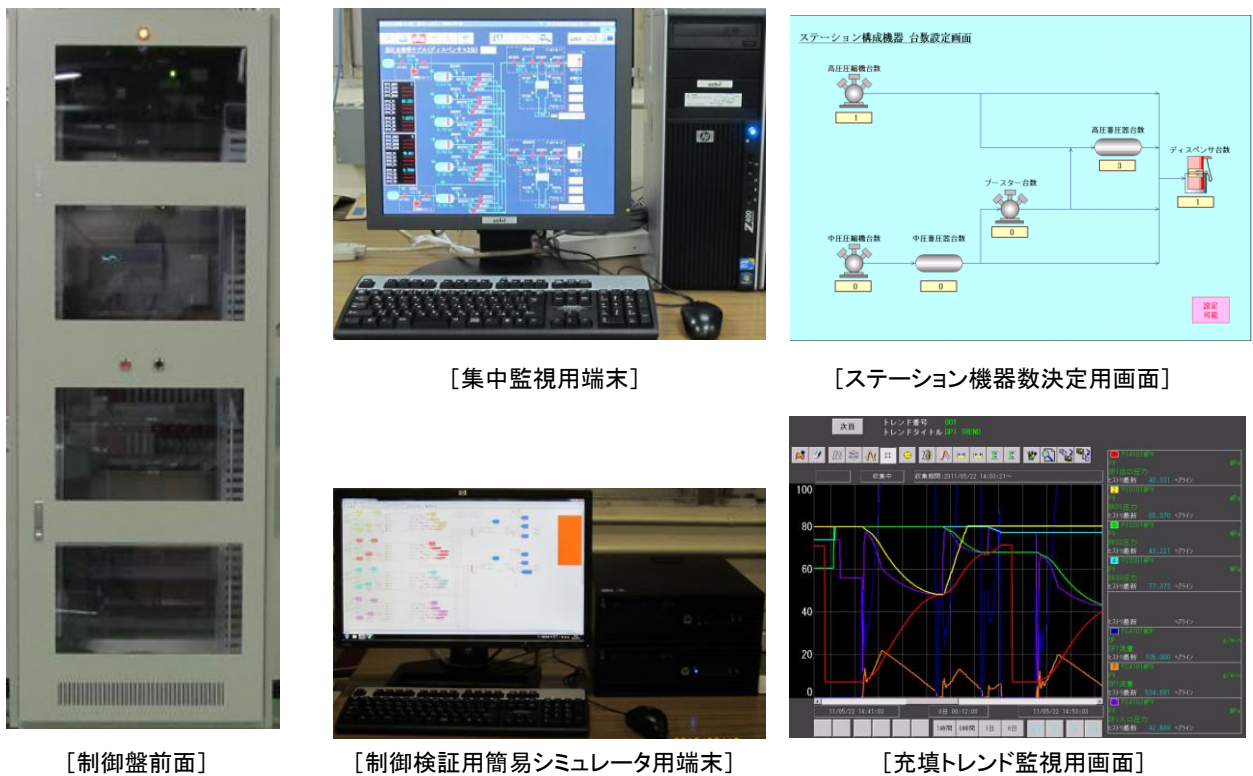
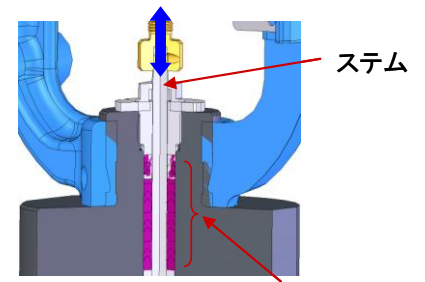


図 16 検証用システム試作機外観

3. 6 流量調節弁開発に係わるFS検討および開発（アズビル株式会社）

世界最高水準である30万回以上のシール寿命を有する流量調節弁を実現するため、調節弁のシール構造（図17）に対して高圧水素下での基礎的試験検討を行うとともに、高強度耐水素性金属材料を用いた調節弁本体の設計製作を検討した。温度サイクルを加えた高圧水素下での開閉作動耐久試験により、目標とした30万回以上の連続作動を確認し（図18）、JRCM提供材料等を用いて流量調節弁の製作を行い、調節弁価格20%低減を確認、提供可能とした（図19）。



グランドパッキン
図17 流量調節弁シール構造

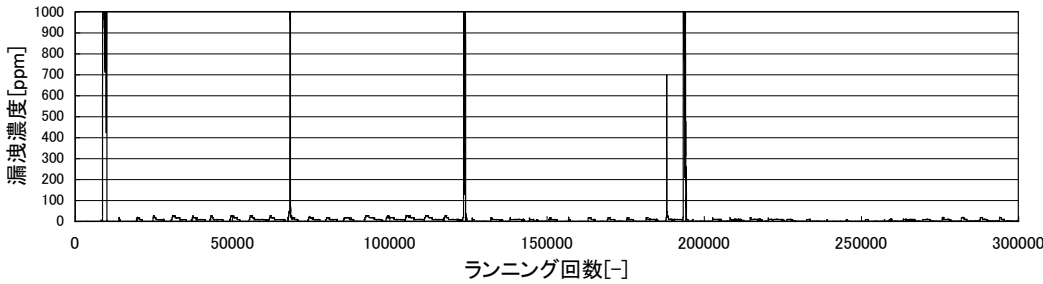


図18 水素雰囲気下のシール部試験結果(温度サイクル有)



図19 流量調節弁外観写真

(1) ステム表面処理技術の開発とグランドパッキン材料組合せの選定

水素雰囲気においても剥離しないバルブステムの表面処理技術の開発を行った。いくつかの表面処理候補に対して、ナノインデンテーション試験及び水素雰囲気中における摩擦摩耗試験等を実施することで、水素に対して耐久性のある表面処理候補を得た(図20)。水素充填時における調節弁内部の温度一圧力変化の状態を調査検討し、この状態変化に対して適応可能なグランドパッキン材料の候補の評価を行った(図21)。

(2) 温度サイクルのある高圧水素雰囲気下でのシール寿命延長の検討

(1)で検討した条件に加え、プレクールおよび外気温の変化(主に低温領域)に対しても応力緩和が生じないグランド構造の検討を行った。パッキン材料については熱機械分析、粘弾性装置を使用して絞込みを行い(図22、23)、この材料に対して水素耐久試験を実施した。目標である30万回は達成のうえ、さらに増し締め回数を低減することができた。

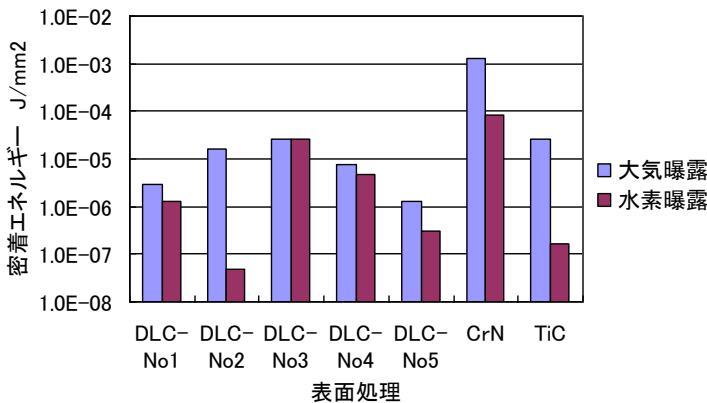


図20 各表面処理膜の密着エネルギー

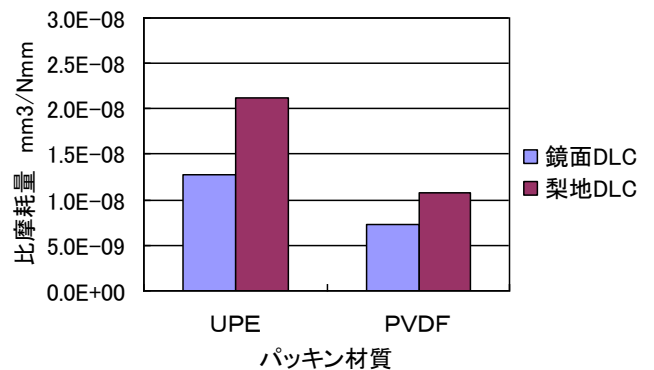


図21 パッキン候補材料の比摩耗量 (摩擦摩耗試験結果)

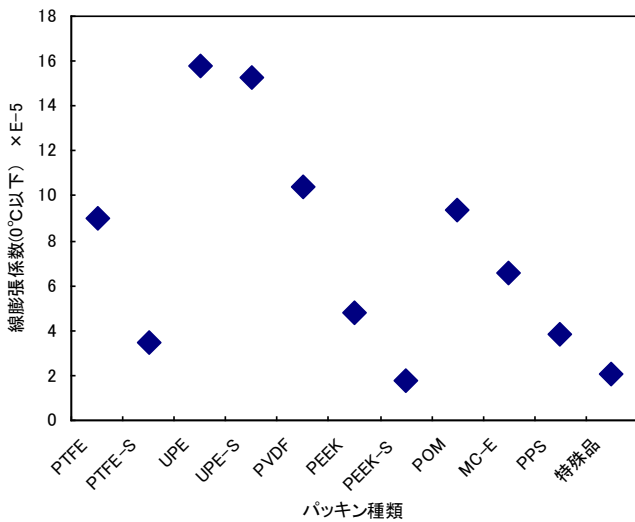


図22 熱機械分析評価結果

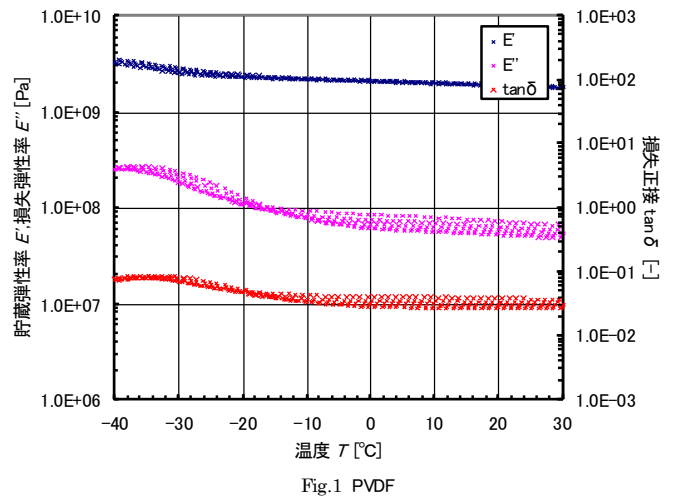


図23 粘弾性評価結果(PVDF)

3. 7 その他実施項目

個別の要素技術開発における上記以外の試験研究等の実施状況を次表6にまとめて記載する。

表6 個別要素技術開発におけるその他試験研究等の実施状況

実施項目	実施内容
〈総合的エンジニアリング技術の開発〉(JPEC、再委託先:九州産業大学)	
水素ステーション要求仕様の整理	一日あたりの充填台数や、立地条件など、水素ステーションの普及段階における前提条件についての情報分析を実施した
水素ステーションベースモデルの設定、及び建設コストの試算	整理した要求仕様に基づいてステーションの基本仕様(ベースモデル)を設定した。 ベースモデルに対して、コスト試算に必要な情報を収集して、現状の技術を前提としたコスト構造を明らかにした
水素ステーション全体のコスト低減策の整理	コスト構造に対する分析を実施し、コスト低減策のアイデア出しを行い、ステーション全体におけるコストインパクトや技術的解決の難易度等から、ステーションの低コスト化検討のために取り上げるべき、コスト低減策候補を選定した。
コスト低減型水素ステーション基本仕様の整理	ステーション全体を視野にいれた技術開発、例えば、圧縮機・蓄圧器の最適設計等については、まだ十分な検討がなされていないことが判明した。そのため、平成21年度以降は、総合的エンジニアリング技術開発として、複数の技術を組合せた技術開発を行った。
連名委託先の検討結果を反映した水素ステーション全体の建設コスト試算	連名委託先のコスト低減検討結果はそれぞれの委託先報告で総合的エンジニアリング技術開発として、他の NEDO 事業も含めた水素ステーション関連 WG でのコスト低減検討を「システム技術開発」で実施した。
プレクール設備の機器構成、運用の最適化検討	プレクール設備と充填方式について、機器仕様や設備コスト、充填時間等の面から比較検討を行い、冷却システムの最適化技術を提示した。

<p><鋼製蓄圧器開発の開発> (日本製鋼所)</p>	
<p>高容量化蓄圧器最適素材の絞り込み</p>	<p>複数の候補材について焼入性や強度・靱性バランスを調査し、厚肉の高容量化蓄圧器においても均一組織が得られる SA-723 鋼を最適候補材として選定。</p>
<p>SA-723 鋼の安全性データの採取</p>	<p>大気中および水素中における引張試験、シャルピー衝撃試験、き裂進展試験、疲労試験、遅れ割れ試験、ライジングロード試験等により、水素ガス環境下における安全性データの採取を実施した。</p>
<p>サーベイランス試験の実施</p>	<p>システム開発事業と相互に連携し、SA-723 鋼と、実際に水素ステーションで使用している蓄圧器用材料である SNCM439 鋼の遅れ割れ試験片を稼働中の蓄圧器内に挿入したサーベイランス試験を実施した。</p>
<p>供用終了後の蓄圧器の解体調査</p>	<p>これまでの NEDO 事業で製造し、実際の水素ステーションで使用されていた蓄圧器を解体調査し、供用後の蓄圧器の健全性について調査中。非破壊検査や引張試験など、一部の試験は完了。</p>
<p>水素侵入特性の評価</p>	<p>熱処理条件の変化によって認められる材料中の拡散性水素量の違いについて、析出物や組織の観点から評価を実施した。</p>
<p>最適な自緊施工条件の見極め</p>	<p>予ひずみが付与された SA-723 鋼の機械的特性の調査、自緊圧と容器内表面に発生する圧縮残留応力の関係調査、内圧疲労試験による圧縮残留応力の減衰傾向を調査し、高耐久化を実現できる自緊施工の条件を決定した。</p>
<p>健全性監視手法の検討</p>	<p>通常の鋼製大型容器に適用されている健全性監視手法である知らせ穴法やアコースティック・エミッション法、従来より行われている超音波探傷法や渦流探傷法に関して、大型蓄圧容器を想定した総合的な検討を行った。</p>
<p>初期の微小欠陥検出技術の開発</p>	<p>蓄圧器を架台から外すことなく定期的に全内周の探傷を行うことを想定し、外面からの微小欠陥検出精度に関する調査と検査条件の検討を実施した。</p>
<p><水素用高圧バルブの開発>(キッツ)</p>	
<p>ボールシート及びパッキンの封止構造の検討</p>	<p>バルブ重要部位である、ボールシート部、パッキン部に対し部分構造設計を行い、各々の構造解析を実施し、その解析結果の評価を行った。</p>
<p>バルブ重要部位構造及び材質の決定</p>	<p>複数案の部分設計及び部分試作を実施し、高圧ガス昇圧ユニットを用いたヘリウム気密試験及び水素気密試験を行い、90MPa のシール性能等を確認し、バルブ重要部位の構造及び材質を決定した。</p>
<p>バルブ設計</p>	<p>手動弁、遮断弁のバルブ設計を完了した。</p>
<p>バルブ試作</p>	<p>アクチュエータ、バルブの部品図を作成、各部品の試作を実施した。バルブ及びバルブの性能上重要な部品に関してはシリアルナンバーをつけると共に重要な部位に関しては全数寸法検査を実施、他の部位に関してはロットの初品、終品のみ寸法検査を実施した。</p>
<p>高圧ヘリウムによるバルブ性能試験及び作動耐久試験</p>	<p>90MPa の高圧ヘリウムによるバルブ性能試験をヘリウム気密試験機にて実施し、気密性能や作動特性等に問題がないことを確認した。</p>

メンテナンス性能評価	高圧水素による常温での開閉作動耐久試験終了後のバルブを分解し、構成部品の摩耗状態を確認し、メンテナンス時に交換する必要がある部品を仮に決定させた。次に、仮決定した部品を実際に交換し、性能が良好であることを確認した。
高圧水素によるバルブ性能試験	90MPa の高圧水素によるバルブ性能試験を実施し、問題がないことを確認した。
使用温度を考慮した高圧水素による作動耐久試験	高圧水素によるバルブ性能試験に合格したバルブ 3 台に対し、高圧水素による低温、高温での開閉作動耐久試験を実施し、目標とする4万回まで完了させた。
高圧ガス保安法に基づくバルブの供給	JRCM より提供された金属材料で試作したバルブをディスペンサーメーカーへ供給するため、タツノ、アズビル、JRCM と連携して、水素ガスでの試験に供されるバルブの提供を可能とする法対応を行った。
改良商品化設計	パッキン封止構造部、軸摺動構造部等を改良した新たな設計を完了させた。
バルブ量産試作	改良設計したボールバルブを 15 台製作した。また遮断弁用のアクチュエータに関しては、アルミダイキャスト用金型を製作、初品として 50 台量産試作を実施した。アルミダイキャスト製量産試作アクチュエータには単品で負荷耐久試験を実施し、10 万回までの耐久性能を確認した。
高圧水素による作動耐久試験の実施	90MPa の高圧水素によるバルブ性能試験を実施し、問題がないことを確認した後、プレクール熱交換器を模擬した水素ガス冷却装置を用いた、開閉作動耐久試験を実施した。 また、耐久試験では、NEDO の他プロジェクト(水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素ステーション機器要素技術に関する研究開発／低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発)と連携し、機器開発品の水素評価を共同で行った。
流量試験の実施	流量試験を行い、高圧水素でのバルブの流量特性を確認し、定格 Cv 値を確定させた。
シールキットの量産試作	メンテナンス時に交換する必要がある部品を確定させた。12 月に試作品の完成予定。
コスト試算	遮断弁、手動弁ともコスト試算を行った。目標単価を達成するため、生産ロットを確定させた。
＜低コスト・高強度材料開発＞金属系材料研究開発センター	
低コスト化材料開発の方針検討(H2OFS)	材料に関する情報を収集し、低コスト化に向けた材料設計に活かす基礎とした。これら知見をベースに、高価素材原料(Ni 等)の安価素材原料(Mn 等)による置換等、高強度化を見据えた窒素添加による固溶強化等について FS を進めた。
高圧水素ステーション機器用の低コスト配管及びバルブ等を得るための技術方策の整理	将来の実ステーション中での材料(バルブ、配管)の使用環境や動作環境などの情報を勘案し、金属系構造材料候補の絞込みを行い、SUS316L 並みもしくはそれ以上の加工特性を有し、高圧水素下における疲労特性及

(H20FS)	び引張特性も SUS316L 並みであることを開発目標とした。
試製、試験計画案検討 (H20FS)	試製計画、評価項目および試験計画等を検討し、高強度化を第一優先、低コスト化を第二の目的とし、耐水素脆化特性が SUS316L 同等程度で 30～50%高強度の金属材料を開発することとした。
ラボレベルでの溶製→圧延による材料試作	H21:H20 の試製、試験計画案を基に、材料特性評価用の材料試作を行った。試作にあたっては、材料の高強度化のための固溶強化、析出強化、冷間加工の方策を用い、鋼種の成分を決めた。ラボレベルでの溶製、圧延、熱処理を行って、特性等の検討・評価のための試験片を作製した。 ②項で H22～H24: 絞り込んだ材料のラボレベルでの溶製、圧延、熱処理を行って、特性等の検討・評価のための試験片を作製した。
試作材料の特性等の検討・評価及び絞り込み	H21:①項で作製した試験片の機械的特性、耐水素特性の検討・評価を行った。特性評価のために SSRT(Slow Strain Rate Technique)や組織観察等による試験を実施した。試作材料の中で機械的特性、耐水素特性の優れた材料を絞り込んだ。
バルブ、調節弁メーカーへの試作材料提供	H21:溶製した材料の残材から丸棒素材等に加工し、バルブ、調節弁メーカー等へ提供し、加工性の評価を受けた。 H22～H24:溶製した材料の残材から丸棒素材等に加工し、バルブ、調節弁メーカー等へ提供し、加工性の評価を受けた。また、H22 から開始された「要素技術開発」「水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発および国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発」と密に連携し、効率良く研究を実施した。 H24: 高圧ガス保安法に則った実部品製作が可能な高強度耐水素性材料の仕様を確立する見込である。
＜コントロールシステム開発＞アズビル	
既設水素ステーションの詳細実態調査による低コスト化視点の検討(H20FS)	制御システムハードウェアとしては、設備ベンダーや設備区分に複数設けられた制御装置(PLC)と監視端末の統合と制御盤を小型化がコスト低減の焦点になることを認識した。
室内設置制御盤のコンパクト化によるハードウェアコスト低減(平成 21 年～22 年)	設備の稼動や保安機能を含む制御内容、機器構成、盤面での監視表示関連機器が、機能上必要なレベルで過剰なく実装されていることの総合的な評価を行い、現状存在する制御盤等の最少化を図ることによるコスト低減を検討し、当初推定コストに対し目標であった 30%低減を達成する構成を確認した。
ソフトウェア、設計図書類の徹底的な再利用によるソフトウェアコスト低減(平成 21 年～22 年)	ソフトウェア面でのコスト低減に向け、フィールド計器や相互配線接続を含むステーション全体の制御システムの標準モデルを作成した。 特に、制御システム関連図面や作業工数自体の削減も含め、監視操作に使用する計器タグ名や各種設定値の名称、表示画面レイアウトや表示色などまで、徹底した共通化、標準化を実施し、仕様書としてまとめた。
室内設置制御盤の試作、検証(平成 23 年～24 年)	平成 22 年度までに実施した室内設置制御盤のコンパクト化設計を基に、検証用システム試作機、製作、検査における課題を抽出し、改良・改善項

	目として取り纏めを行うとともに、更なるコンパクト化、及びコスト低減の可能性を検討した。結果としてハードウェアコスト低減目標が達成可能であることを検証した。
試作システムによる訓練システムの構築検討(平成23年～24年)	検証用試作機の一環で製作したシミュレーションシステムを単独でステーション運転員訓練システムへの発展の可能性を検討した。 結果として、当面の建設においてはステーションオーナー等での技術者に対する充填方法と充填時間のシミュレーションシステムとしての活用価値が認められた。
遠隔監視機能の検討(平成23年～24年)	ステーション外の遠隔地へ提供する情報内容(水素在庫量、ステーションの稼働状態、等)及びシステム化の形態、条件を取り纏めた。 制御システムへの実装と実用性を検討中であり期限内に結果を得る。
〈流量調節弁開発〉アズビル	
コスト低減のための水素用高圧調節弁候補の構造・材料に係わる代替技術の洗い出しと定量的なコスト評価等に基づくアプローチの選定(H2OFS)	流量調節弁のコスト低減着眼点抽出および低減効果の推定を行った結果、流量調節弁に関してはコスト低減よりも信頼性の向上が重要であるとの結論に至り、特に要求の高いシール部の信頼性向上(=長寿命化)に主眼を置いて開発を進めることを決定した。
流量弁のコンパクト化技術の開発	H22年度は金属系材料研究開発センターが開発する新材料を用いた調節弁を試作し、製作における問題点の確認を実施した。 H23年度は新材料の目標仕様をもとに調節弁のコンパクト化設計を実施し、性能上の問題点および目標コスト達成の可能性の検討を実施した。

3. 8 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読 付き	その他	
H20FY	0	0	0	0	0	なし
H21FY	0	0	0	0	1	学術振興会第129委員会 ((株)日本製鋼所) Hydrogenius Tribology Symposium (アズビル(株)) 第6回国際水素・燃料電池展「FC EXPO 2010」(アズビル(株))
H22FY	6	0	1	0	0	なし
H23FY	0	0	1	0	1	JPEC平成23年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) 福岡水素エネルギー戦略会議平成23年度第2回研究分科会(キッツ) 福岡水素エネルギー戦略会議平成23年度研究分科会(第3回)「水素社会システム実証研究分科会/高効率水素製造研究分科会」(JPEC) 触媒学会「水素の製造と利用のための触媒技術研究会」「水素の製造と利用に関するシンポジウム」(JPEC) JPEC平成24年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) JPEC平成24年度技術開発・調査事業成果発表会(九州産業大学)
H24FY	0	0	0	0	0	日本非破壊検査協会超音波部門講演会 (日鋼検査サービス/日本製鋼所) HESS 機関紙「水素エネルギーシステム」(JPEC) 日本ゴム協会第2回水素機器用エラストマー材料研究分科会

4. まとめ

以下に技術開発内容と課題を示す。本事業においては平成20年度のFS検討に基づき、平成22年度までにラボ試験等により個々の要素技術開発の技術的見通しを得、平成23年度以降は試作、耐久性検証等、最終的な製品としての開発目標達成に向けた技術開発を行った。

項目	技術開発内容(H21~H24)
総合的エンジニアリング技術の開発 (JPEC、再委託先:九州産業大学)	<ul style="list-style-type: none"> ・連名委託先とともにステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を行った。 ・ダイナミックシミュレーションを用いた充填解析を行い、差圧充填型、続いて、圧縮機併用型差圧充填型での最適機器構成の検討を行った。 ・システム技術開発、水素先端基礎研究事業と連携し、九州産業大学と共同で、温度変化も含めた水素充填状態の推定が可能な数値解析プログラム開発を行った。
鋼製蓄圧器開発 (日本製鋼所)	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製蓄圧器の高容量化を実現するために、材料検討を行い、SA723鋼を選定するとともに、大型蓄圧器に対する自緊処理技術を確立し、耐久性向上を実現した。 ・世界初となる450Lの高容量蓄圧器を試作し、特認申請において大幅な寿命延長を実現するとともに、コスト低減目標も達成した。
水素用高圧バルブ開発 (キッツ)	<ul style="list-style-type: none"> ・世界初となる高圧水素用ボールバルブを開発し、8万回に作動確認を行った。 ・遮断弁(自動弁)、手動弁ともコスト低減目標を達成した。
低コスト・高強度材料開発 (JRCM)	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS SUS316L材と耐水素性が同等で、強度が30~50%向上する材料を開発した。 ・バルブメーカー等へ開発材料を提供し、加工性においても問題がないことを確認した。
制御システム開発 (アズビル)	<ul style="list-style-type: none"> ・水素ステーション制御集中化による制御機器を統合し、制御機器費用の低減を実現した。 ・水素ステーション仕様の標準化、ソフトウェアの共通化によりシステム設計費の低減を達成した。
流量調節弁開発 (アズビル)	<ul style="list-style-type: none"> ・世界最高水準のシール技術を開発し、水素中で30万回の作動耐久性を実現した。 ・流量調節弁のコスト低減においても、目標とするコスト低減を実現した。

5. 実用化・事業化見通し

- ・鋼製蓄圧器は、既に特認申請を終了し、今後システム技術開発と連携して、実ステーションでの耐久性評価を継続研究する予定である。
- ・バルブ、調節弁は、既にステーションでの採用が計画され、高圧ガス保安法に基づく事前申請を行っている。また、今後の水素ステーション整備においても、開発品の採用が計画されている。
- ・集中型制御システムは、試作デモ機による作動検証を行い、来年度以降設置のステーションへの導入を検討している。
- ・高強度金属材料開発については、製品開発まで視野に入れた開発計画の検討が行われている。

(Ⅱ-9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度5月末)

- ・ステーションの試設計を実施し、キャノピー上機器設置化や地下化することで配置計画、コンパクト化(敷地面積517m²及び390m²)を実現できることを確認した。
- ・要素技術として、換気による水素拡散性状の把握、反射圧低減壁、水素燃焼制御システムおよび水素不活性化に関する技術を確認した。
- ・各要素技術の実機への適用検討を行い、安全性の検証(一部方針の策定のみ)および経済性を検証し、成立性を確認した。

●背景/研究内容・目的

都市部に水素ステーションを設置する際には、人・建物が密集するため通常以上の安全性の確保が重要な課題となる。また、現行法規制下の一般的な水素ステーションの敷地面積が1000m²程度であるのに対し、都市部の既存ガソリンスタンドの2/3が敷地面積660m²以下となっていることから、都市部の狭い敷地に建設可能で安全なコンパクト水素ステーションの実現が必要である。

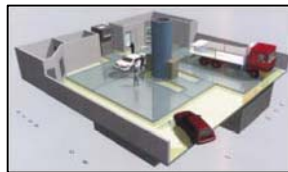


図1 都市型コンパクト水素ステーション(案)

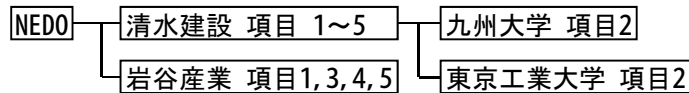
本研究開発では、このような背景を踏まえ、敷地面積500m²、さらには350m²といったコンパクトな70MPa水素ステーション(図1)の実現のため、機器配置計画を行い、建設合理化等も含めた低コスト化を図るとともに、多重防護の考えに基づく安全要素技術を開発し、安全性を確保することを目的としている。

さらに、これらの計画・設計・施工技術を統合して、コンパクト・低コスト・安全な70MPa水素ステーションを構築し、既存のガソリンスタンドとの併設も含め、水素ステーション建設促進につなげる。

●研究目標

実施項目	中間成果(H24/9)	最終目標
1. 試設計	コンパクトした場合の課題抽出	課題解決(案)の提示
2. 安全要素技術開発	安全性を担保する要素技術の確立	開発技術の検証
3. 水素ステーションの安全性評価	安全要素適用検討 安全性の検証およびリスク評価	標準設計に対する安全の検証
4. 水素ステーションの経済性評価	各建屋形式のコスト比較 各システムの導入コスト算定	合理化検討
5. 検知システムの構築	既存検知器の仕様調査	検知システムの設計

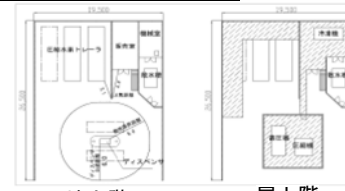
●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

1. 試設計と課題の抽出

- 1) 試設計
機器配置を地下化、屋上化することで、配置計画、コンパクト化を実現できることを確認(図2)



地上階 屋上階
図2 敷地面積517m²の配置例

2. 安全要素技術の開発

- 2-1) 換気システム
漏洩水素の拡散解析を実施、可燃濃度以下に換気可能であることを確認(図3)

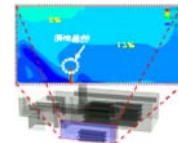


図3 水素ガスの濃度分布

- 2-2) 反射圧低減壁及びエネルギー吸収壁
反射圧低減壁およびエネルギー吸収壁の効果を検証(図4)

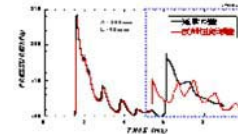


図4 反射波の圧力の時刻歴波形

2-3) 燃焼制御システム開発

燃焼伝播の防止条件を実験的に確認(図5)

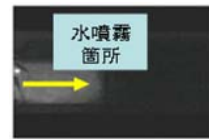


図5 燃焼伝播の防止

2-4) 不活性化に関する研究

燃焼実験により安全濃度を示す2つのCO₂分圧比を決定(図6)

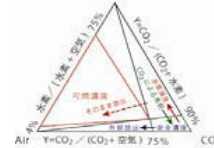


図6 不活性化の概念

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1. 試設計	地上式(631m ²)、高架式(517m ²)、および地下式(517, 390m ²)のレイアウト完成	○
2. 安全要素技術の開発	反射圧低減壁、水素燃焼制御システム、水素の不活性化の各技術の確立	○
3. 安全性評価	安全要素技術適用検討および安全性の検証、リスク評価の実施	△
4. 経済性評価	建築および各システム導入コスト比較	△
5. 検知システム	既存検知器の仕様調査	△

3. 安全性評価

実機への適用検討を行い、換気システム、爆風圧低減システムについて検証を行い効果を確認。またリスク評価を実施

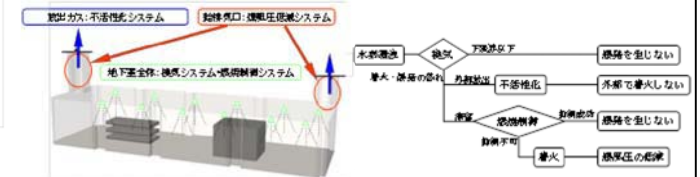


図7 適用結果と防護のフロー

表1 リスク評価結果

大1 中 小	①安全対策なしケース				②安全対策実施ケース				③多重防護対策付加ケース			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
大1	4	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3
中	7	7	7	30	2	4	3	11	2	2	3	11
小	2	1	1	1	2	3	3	3	1	2	3	3
V	2	1	1	1	2	3	3	3	1	2	3	3

4. 経済性評価

建屋各形式別コスト比較を行い、土木・建築工事費と土地代の合計がベース配置の約半分になることを確認

	地上式	高架式	地下式
機器設置等	ベース配置	緩和適用	キャノピー式
敷地面積(m ²)	876	613	517
土木・建築工事費(億円)	0.72	0.54	0.56
土地代(億円)	6.12	4.40	3.82

注) 貯蔵容器は70MPaを想定
地下式: 低圧容器設置は貯蔵容器を35MPaとして、必要離隔距離を緩和した場合
斜体の数値は概算値
地下は都区内の主要駅から10km圏内とする
土木・建築費は直接工事費とする

	費用(億円)	備考
不活性化	0.60	機器弁類: 0.31億/配管工事: 0.19億
燃焼制御	0.47	機器弁類: 0.22億/ミスト配管工事: 0.05億/He配管工事: 0.12億
爆風圧低減	0.03	

●実用化・事業化の見通し

コンパクトな機器配置が実現され、安全要素技術の目的が立ったことから、H24年度までの検証で成立性が確認できた。都市型コンパクト水素ステーションの実用化にむけては、安全性、経済性および運用面での実証の為のモックアップ実験が不可欠である。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
6	3	0	0

都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施者：清水建設(株)・岩谷産業(株)

1. 事業概要

燃料電池自動車の実用・普及に伴って、水素ステーションの全国的な需要が高まると予想される。特に、都市部に水素ステーションを設置する際には、人や建物が密集するため通常以上の安全性が必要となるとともに、敷地の確保が重要な課題となる。図1-1に東京都の既存ガソリンスタンドの敷地面積に関する統計によると、全スタンドの2/3が敷地面積660m²以下であるのに対し、従来の（現行法規制下で建設される一般的な）水素ステーションが1000m²程度の敷地を要していることから、同程度のコンパクト化が必要と考えられる。

本研究開発においては、都市部での燃料電池自動車の普及のために必要となる安全でコンパクトな水素ステーションを提案し、その安全性・経済性について検証するものである。また、その普及については、既存のガソリンスタンドとの併設についても視野にいれ、実用化・事業化を図っていくものとする。

コンパクト化に関しては、現行法規制、前提条件を踏襲し、考え得る最小面積の水素ステーションの機器配置図を策定した。この基本配置案に基づいてさらに緩和規定を考慮し、地上式、キャノピー上機器設置式、地下式の3種類の機器配置図を提案した。例として図1-2に敷地面積390m²の水素ステーション(案)を示す。さらには、これらの機器配置図を基に、ステーションの建築設計を行い、建設工事費等を算出して経済性評価を行い、低コスト化のための合理化検討の基礎とする。

安全性の検討に当たっては、多重防護の考えに基づいて、3つの安全要素技術の開発を進めている。3つの安全要素技術としては、「着火・爆発しても被害を低減する」技術として、反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁の開発、「着火しても燃焼を制御する」技術として水素燃焼制御システムの開発、および「漏洩ガスに着火させない」技術として、水素の不活性化の研究を実施した。

今年度は、これらの要素技術を組み合わせ、水素ステーションに適用し、安全性の確認をするとともに、経済性評価を実施している。安全性の確認について具体的な内容は、検知システムの構築（岩谷産業）、安全要素技術の安全性評価（清水建設）、リスク評価（岩谷産業）である。

今後は、設定した安全レベルを達成する構造および設備の実現へと繋げていく。

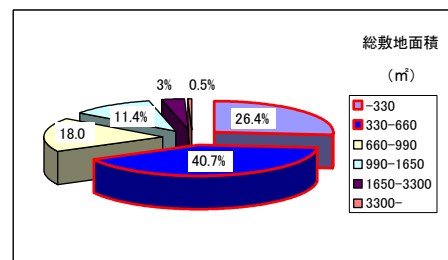


図1-1 東京都ガソリンスタンド総敷地面積統計
（「H17年度 給油所経営・構造改善等実態調査報告書」
H18.3(財)日本エネルギー経済研究所石油情報センター）

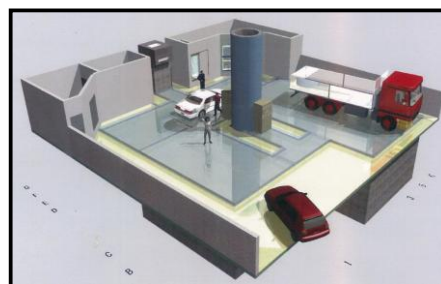


図1-2 都市型コンパクト水素ステーション(案)

2. 事業目標

本研究開発の事業目標は、水素ステーションのコンパクト化および安全性確保による都市型水素ステーションの標準設計の確立であり、燃料電池自動車の将来の普及に繋がる技術を確認することである。そこで、本研究開発においては、水素ステーションの「コンパクト化」および「安全性確保」を実現するために次のような要素技術の開発を行い、安全要素技術を適用した水素ステーションの試設計および試設計に対する安全性と経済性の評価を行うこととした。

① 水素ステーションの試設計と課題の抽出

現行の法規制に則り、ベースとなる水素ステーションの機器配置を確定する。それと同時に、関連法規整理、機器仕様明確化を行う。さらにこの基礎配置に基づき、機器の地下設置、キャノピー上設置、地下とキャノピー上の分散設置などの配置検討を行うとともにそれぞれの課題を抽出する。

② 水素ステーションの安全要素技術開発

1) 反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁の開発

「着火・爆発しても被害を低減する」ことを目標に、反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁を開発する。ここでは、反射波のピーク圧力を低減すること、反射波のエネルギーを吸収して反射圧を弱めることを目標とする。

2) 水素燃焼制御システムの開発

「着火しても燃焼を制御する」ことを目標に、漏洩水素ガスに着火しても、その燃焼伝播を防止、あるいは被害を低減可能な水素燃焼制御システムを開発（確立）する。

3) 水素の不活性化技術の開発

「漏洩ガスに着火させない」ことを目標に、水素ステーション機器のある空間に対し、常時不活性気体を充満しておくことで、仮に水素が漏洩しても空間内で着火させず、さらに不活性気体と混合することで安全に外部に放出する安全技術を開発することを目標とする。

③ 水素ステーションの安全性評価

②で開発した各安全要素技術の水素ステーションに適用し、安全性の評価・検証を行う。

④ 水素ステーションの経済性評価

経済性評価のデータとして、①で提案された機器レイアウトについて、設計・施工等の検討を行い、都市型水素ステーションのコスト評価を行う。さらに、このコストをベースとして、設計・施工合理化検討による低コスト化へと繋げる。

⑤ 水素漏洩検知システムの構築

多重防護安全システムの検出・作動条件となる水素漏洩検知システムに関する仕様、開発動向の調査を行い、検知システムの構築を行う。

3. 事業成果

1) コンパクト水素ステーションの試設計と課題の抽出

燃料電池自動車の導入・普及が先行されると目される都市部での水素ステーション設置に向けて、従来よりも設置面積の低減を目指したコンパクト水素ステーションの試設計を実施した。

燃料電池自動車への充填圧力は、一充填走行距離を延ばすことを目的として、従来の 35MPa から 70MPa へと高圧化する傾向にある。水素ステーションに適用される技術基準（一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3）もそれに合わせた改定が進められているが、70MPa 級水素ステーションにおいては、35MPa 級水素ステーションに比べ、離隔距離が延びることから大きな敷地面積が必要となるため更なるコンパクト化が必要となる。

敷地面積削減のひとつの方法として、高圧ガス設備の地下設置、屋上設置が考えられるが、これについては法文上記載がないため、こういった配置計画は国内では前例がない。そこで 70MPa 級水素スタンドにおいて、①一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3（離隔距離の緩和措置なし）に従った場合、②一

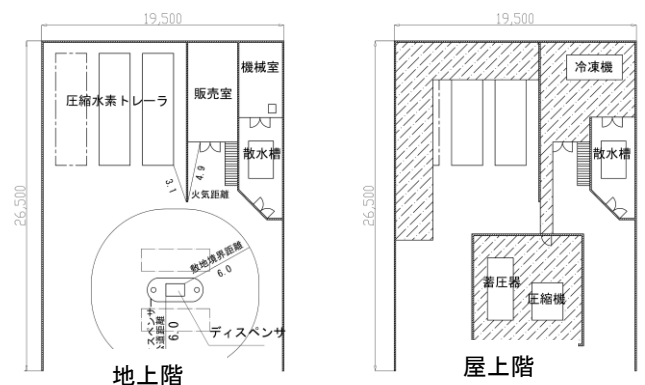


図 3-1 屋上設置の設計例

般高圧ガス保安機側第7条の3（離隔距離の緩和措置あり）に従った場合、③高圧ガス設備を地下に設置した場合、④高圧ガス設備を屋上に設置した場合、について配置検討を行い課題の抽出を行った。ここで、離隔距離については未制定のため、火気距離8m、敷地境界距離、ディスペンサ公道距離6mと仮定した。図3-1に屋上設置の設計例を示す。

これらの配置検討を行った結果、法整備がなされていない地下式、屋上式の安全面に対する課題としてあがった項目を表3-1に記載する。

表 3-1 安全面に対する課題

方式	課題
地下式	閉鎖空間となるため強制換気等の滞留防止措置を取る必要がある。
	爆発時の爆風圧が周囲・地上に与える影響を考慮する必要がある。
屋上式	着火時の火炎・輻射熱、爆発時の爆風圧が周囲に与える影響を考慮する必要がある。

2) 安全要素技術開発

2-1) 換気システム

提案された地下式コンパクト水素ステーションに対して、漏洩水素の拡散解析を実施し、必要換気量を確認した。現状の圧縮天然ガススタンドの法定換気量の6割程度の換気量があれば、直径0.2mmのピンホール連続漏洩に対しては水素ガスの可燃濃度以下に換気可能であることを確認した。また、換気システムが停止した場合の水素ガス濃度の拡散性状を解析し、時間経過に伴い水素ガスの可燃濃度範囲がどの程度まで拡大して行くかを確認した。図3-2に水素ガスの濃度コンター図を示す。

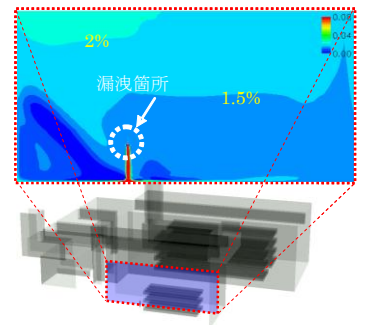


図 3-2 水素ガスの濃度コンター図

2-2) 反射圧低減壁及びエネルギー吸収壁

反射圧低減壁の材料および構造の検討を行い、効果的な反射圧低減壁を提案するとともに、提案された低減壁の低減性能、および低減メカニズムを数値解析により確認した。その結果、反射波のピーク圧力を4割程度低減できることが明らかになった。図3-3に反射波の圧力の時刻歴波形を示す。

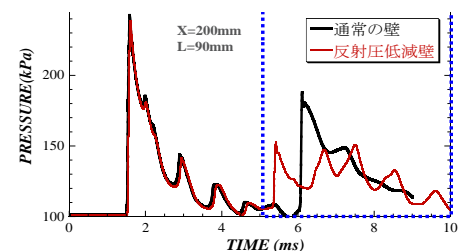


図 3-3 反射後の圧力の時刻歴波形

数値解析により開発した反射圧低減壁の低減効果を検証するために爆発実験を実施した（図3-4）。数値解析同様、反射波のピーク圧力が低減することが確認された。さらに、爆風圧のエネルギーを吸収するエネルギー吸収壁について提案し、その効果を検証した。本技術を機器室の壁に適用する際の設置イメージ図を

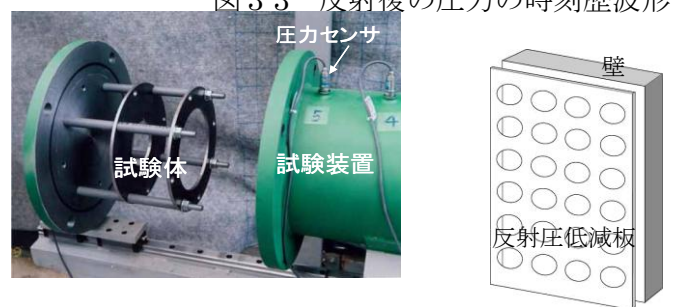
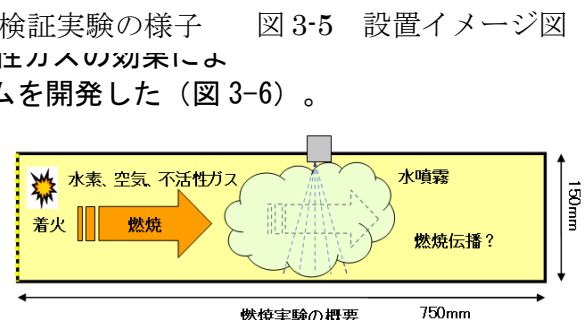


図3-5に示す。

2-3) 水素燃焼制御システム

漏洩水素ガスの燃焼・爆発のリスクに対し、水噴霧による燃焼抑制効果により、水素の燃焼を抑制し、その空間の安全を維持するシステムを開発した（図3-6）。

水噴霧はその粒径が重要であり、平均粒径が16ミクロンのものを用いた。不活性ガスとしては、ヘリウム、二酸化炭素、および窒素の様々な濃度の組み合わせを検討した。



実験の結果、水素濃度 8% および 16% いずれの場合でも、水噴霧と不活性ガスの効果により燃焼伝播の防止が可能であることが判明した (図 3-7)。結果の一部を表 3-2 に示す。

これらの結果から、水素濃度が 8% の場合に、燃焼伝播を防止するためには、水噴霧が 8 ノズル、ヘリウム 20% が適当である。水素濃度が 16% の場合には水噴霧が 8 ノズル、二酸化炭素 5% + ヘリウム 50% あるいは窒素 55% が適当である。

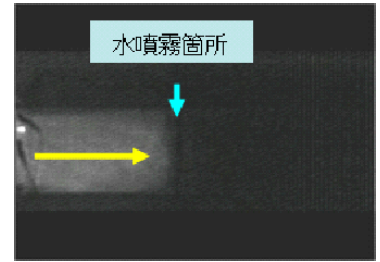


図 3-7 燃焼伝播の防止

表 3-2 水素濃度 8%、水噴霧 8 ノズルの場合の各ガスでの伝播限界濃度と燃焼速度

ガス	He	CO2	N2	CO2+He	CO2+He	CO2+N2	CO2+N2
伝播限界濃度 (%)	20	25	35	5+15	10+10	5+15 以上	10+10 以上
最少燃焼速度 (m/s)	0.127	0.094	0.141	0.113	0.102	0.132	0.105

* 伝播限界濃度は燃焼伝播を防止できる最少ガス濃度 (体積%)

* 最少燃焼速度は燃焼が防止できなかった実験条件のなかで、最も遅い燃焼速度である。

水噴霧による気流により燃焼が促進される可能性があるため、気流速度を低減するための器具 (図 3-8) について検討した。高速度カメラで撮影した画像を処理することで気流速度を測定する (図 3-9)。水噴霧用のノズルに適当な形状の囲いを設けることで気流速度が抑制できることを実験的に確認した。最適な囲いの形状を今後検討する必要がある。

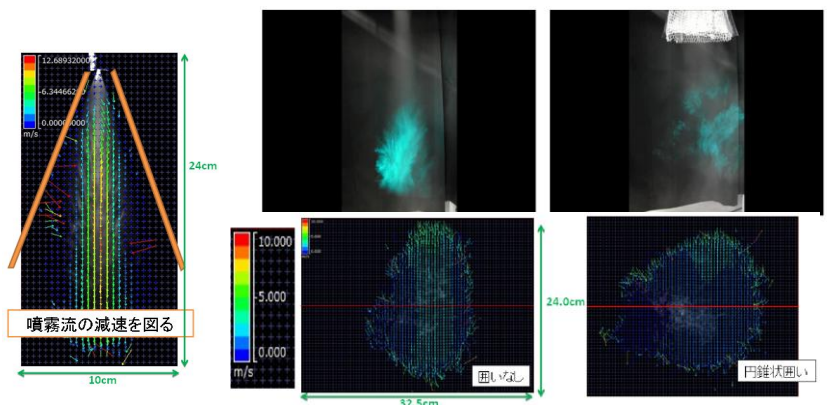


図 3-8 気流抑制の概念

図 3-9 実験と画像処理による評価

また実機への適用にあたり、水噴霧の濃度を定量的に評価する方法について検討した。実験装置の一端から光を当て、もう一方で光強度を照度計で測定すること (図 3-10) により噴霧濃度を評価できることを確認した。

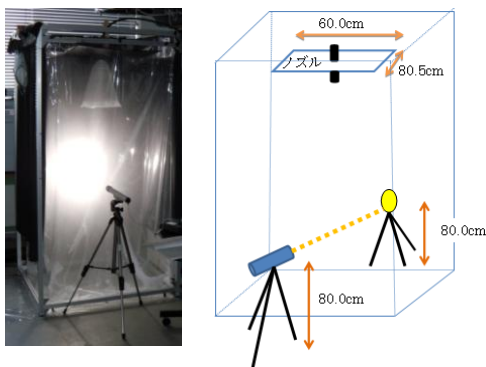


図 3-10 実験装置の概要

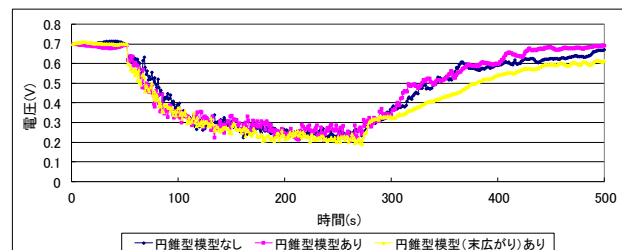


図 3-11 噴霧濃度の変化

2-4) 水素の不活性化に関する研究

地下室のような半閉鎖空間に不活性気体を注入することにより、漏洩水素の着火を防止するのに加えて、排気筒から外気に放出した場合にステーションの近隣での着火を防止する安全濃度を保つという新しい概念の安全技術である。

図 3-12 に CO₂ による不活性化の概念を示す。空気中における水素の可燃範囲は、水素濃度が燃焼の下限界（4%）から上限界（75%）であるので、H₂、Air、CO₂ 混合気の可燃濃度は図に示す 3 角形に近い形状になる。

この可燃濃度の境界（いわゆる可燃限界）は測定装置、測定方法に依存する値であるが、ここでは特に厳しい条件として裸火が存在する場合の可燃限界を測定するために、パイロットバーナの周囲に H₂、Air、CO₂ 混合気を流通させる燃焼器を制作した。本測定結果と従来の火炎伝播による測定結果（途中まで伝播した場合も含む）から最も厳しい条件を可燃濃度とした。H₂ および Air の頂点から可燃と判断された実験結果の外側に接する直線を引いて安全濃度を示す 2 つの CO₂ 分圧比を定義した。

$$Y = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{空気}) \geq 0.75 \quad (1)$$

$$Z = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{H}_2) \geq 0.9 \quad (2)$$

これら両方の条件を満たす領域が図の「安全濃度」と記された四角形であり、不活性化の対象空間を常にこの濃度範囲に制御することにより、水素が漏洩しても空間内が可燃濃度になることが避けられる。さらに、漏洩した水素が拡散混合により安全濃度になれば外部に放出してもステーション外の点火源により着火することが避けられる。

さらに、熱流体解析ソフト STAR-CD を用いて空間内に放出された水素の流動・拡散挙動を計算することにより、漏洩水素の流動・拡散の基本的特徴を明らかし、水素ステーションにおける不活性化空間設計の指針を得た。

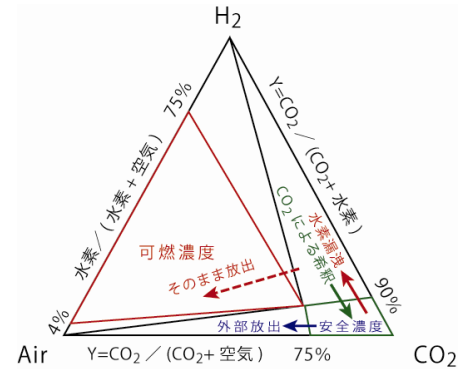


図 3-12 CO₂ による不活性化の概

3) 水素ステーションの安全性評価

3-1) 適用検討

標準型として地下式 517m² のステーション形式を選択し、各安全システムの適用を検討した。原則として換気により水素漏洩時の滞留を防止するものとし、配管破断などの大規模漏洩時に対して安全性を確保できるよう各安全システムの適用を検討した。具体的には、地下室内での着火・燃焼拡大を防止するため地下室全体に燃焼制御システムを適用し、高濃度な水素ガスが換気筒から外部に放出される際に、外部での燃焼・爆発を防止するため、放出ガスを不活性化することとした。また換気筒内に圧力低減板を設け、地下室内での爆発が生じた際に、換気筒から外部に放出される圧による周辺の被害を低減する構造とした。例として燃焼制御システムの系統図を図 3-13 に示す。

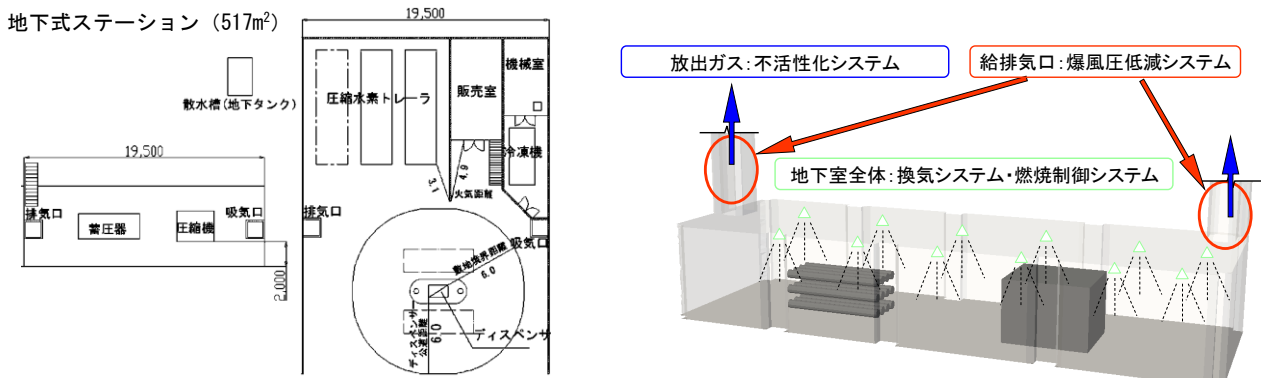


図 3-13 安全システムの適用概念

3-2) 爆風圧低減システムの検証

圧力低減板による効果を検証するために、換気筒の一部および外部空間を再現し、解析的な検討を行った。低減板の数および間隔を変えて検討した圧力時刻歴を図 3-15 に示す。低減板の数が多いほど、間隔が広いほど圧力が低減されており、複数枚の低減板を設けることで、外部空間での圧力が 3 割程度低減できることを確認した。

また数値解析結果の妥当性を検証するため、数値解析と同様の条件での実験を行い、両者の整合を確認した (図 3-16)。

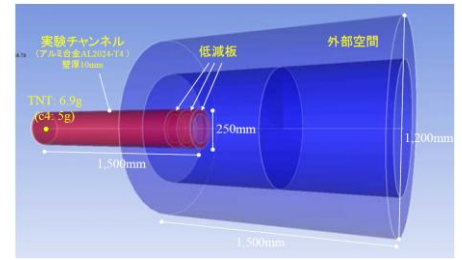


図 3-14 数値解析モデル

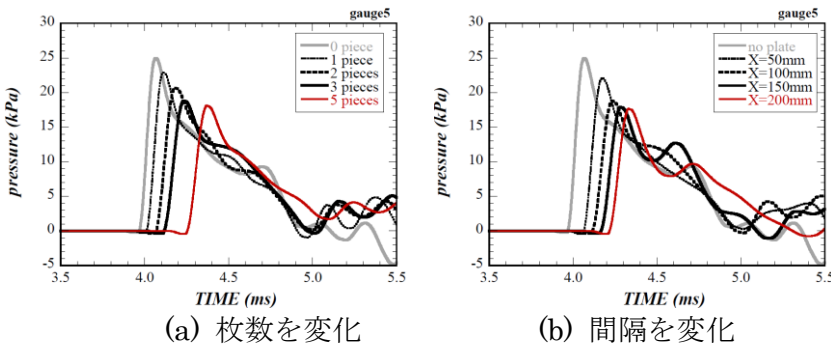


図 3-15 低減板の効果

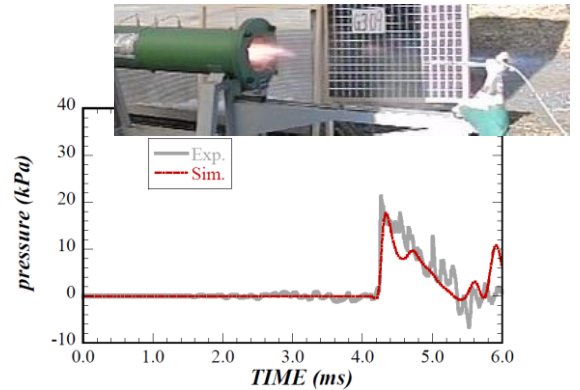


図 3-16 検証実験

3-3) 換気システムの検証

ピンホールが生じた場合の水素漏洩量に対して必要な換気量を解析的に検証した。圧縮天然ガススタンドに準じた換気量 (水素ガス漏洩量の 64 倍) を確保した場合に、圧力 80MPa の配管に、径 0.2mm のピンホールが生じ、水素ガスが連続漏洩するものとして検討を行っている。

解析結果からは高濃度の水素ガスが滞流している部位は見られず、地下室のほとんどで水素ガス濃度は 1% 以下となっていることがわかる。

漏洩条件は連続漏洩としているが、仮に検知器が作動しない場合でも、換気が確保されている場合は、地下室全体が下限濃度以下となることを確認した。

一方で配管破断時においては、地下室全体に高濃度の水素が滞流することが想定される。配管破断時の水素の拡散挙動および換気により排出される水素ガスについて定量的な評価を行い、ステーション外での着火・爆発を防止するための不活性化処置について検討する。

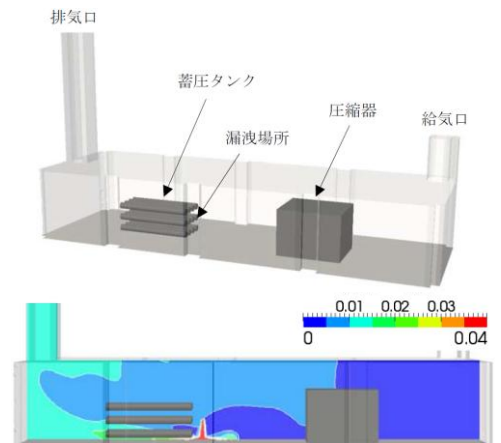


図 3-17 換気検証解析

3-4) 耐圧建屋成立性検討

水素漏洩に対しては原則として換気により対応し、燃焼制御システムにより地下室内での着火・爆発を抑制するが、最悪の事態として地下室内での漏洩水素への着火・爆発に対し内圧を抑え込める建屋耐力を確保するものとする。水素量としては 1 バンク内の全量 (3 × 100ℓ) を想定する。

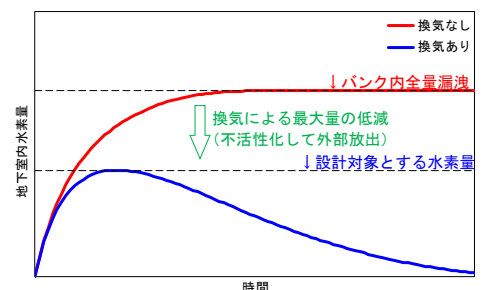


図 3-18 水素量変化イメージ

3-5) リスク評価

リスク評価の前提とした各安全システムの作動フローを図 3-19 に示す。

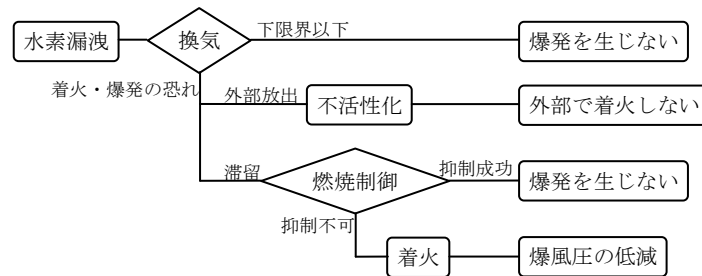
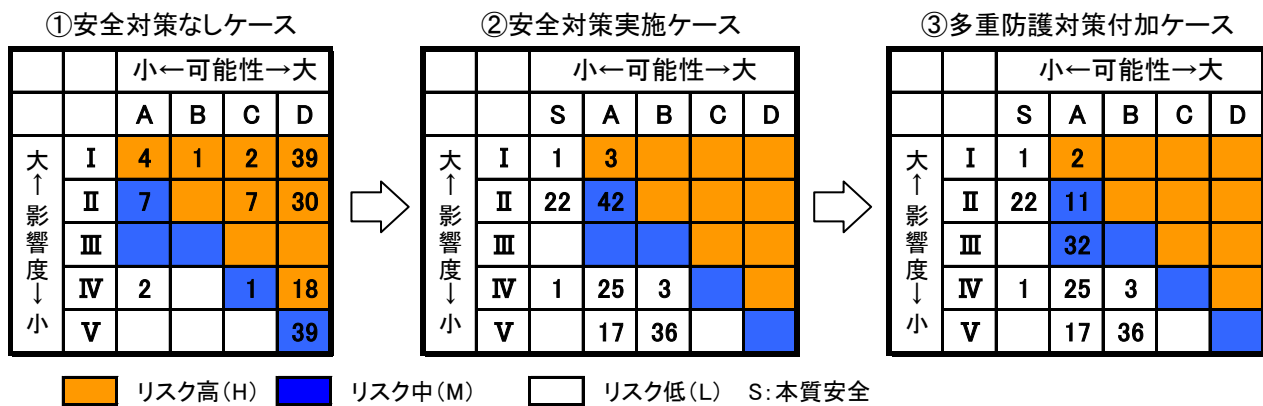


図 3-19 安全システムのフロー

蓄圧器ならびに圧縮機の地下設置に際して、抽出された150 件の事故シナリオ(FMEA143 件、Hazop7 件)に関し、多重防護安全対策(不活性化システム、爆風圧低減システムならびに燃焼制御システム)を採用した場合のリスク評価を実施した。

多重防護対策付加ケースのリスク評価結果は、既存安全対策実施ケース(一般則第7条の3 で採用されているような安全対策)と比べ、改善効果(H→M:1 件、M(AⅡ)→M(AⅢ):31 件)が得られた。



3-6) 安全性評価結果

地下室内は密閉空間であることから、漏洩水素に着火した場合は、建屋が破壊し、周辺に甚大な被害を及ぼすこととなる。そこで原則として換気を行い、地下室内に水素が滞留しないよう措置を講じた。

十分な換気を行うことにより、軽微な漏洩においては安全性を担保できる。一方で配管破断時には、地下室全体に高濃度の水素が滞流することが想定されるが、放出ガスに対する不活性化、地下室内の燃焼抑制により、着火・爆発の可能性を低減できる。また地下室内での爆発の際には内圧を十分に抑え込める建屋耐力を確保し、圧力低減板を用いることで、周辺への影響を低減できるものと考えられる。

4) 水素ステーションの経済性評価

4-1) 土木・建築工事費

各建屋形式別に行ったコスト比較を表 3-3 に示す。

表 3-3 各建屋形式別コスト比較

機器設置等	地上式		高架式	地下式	
	ベース配置	緩和適用	キャノピー式	地下設置	低圧容器設置
敷地面積 (m ²)	876	613	517	517	390
土木・建築工事費(億円)	0.72	0.54	0.56	0.78	0.81
土地代(億円)	6.12	4.40	3.82	3.82	2.88

注) 貯蔵容器は 70MPa を想定

地下式低圧容器設置は貯蔵容器を 35MPa とし、必要離隔距離を緩和した場合
斜体の数値は概算値

地下は都区内の主要駅から 10km 圏内とする

土木・建築費は直接工事費とする

4-2) 各安全システムのコスト概算

表 3-4 に各システムのコスト概算を示す。不活性化システムの CO₂ および燃焼制御システムの He ガス関係設備が高コストとなっていることが確認できた。

表 3-4 各安全システムのコスト概算

	費用(億円)	備考
不活性化システム	0.60	機器弁類 : 0.31 億/配管工事 0.19 億
燃焼制御システム	0.47	機器弁類 : 0.22 億/ミス配管工事 : 0.05 億/He 配管工事 : 0.12 億
爆風圧低減システム	0.03	

4-3) 経済性評価結果

建屋形式を地下式とした場合、ベースとなる配置に対し、土木・建築工事費は同程度となるものの、必要敷地面積の縮小による土地代の低減効果が大きく、合計ではベースとなる機器配置に比べ、約 6 割程度になることを確認した。

また各安全システムについて導入コストについては、ガス関係の機器・弁類が大きなコストを占めており、コストの低減には各安全システムの要求性能および仕様を明確にし、合理化を行う必要がある。

5) 水素漏洩検知システムの構築

多重防護安全システムの検出・作動条件となる水素漏洩検知システムに関する仕様、開発動向の調査を実施した。

現状、水素ステーションでは、設置場所、検出濃度に応じて、接触燃焼式(高濃度用)、熱線型半導体式(低濃度用)の 2 種類の水素漏洩検知器が使用されている。これらの漏洩検知器は応答の速い熱線型半導体式においても、秒単位の応答速度となっている。

一方で、超音波や水素吸蔵合金といった他の検出原理を用いて応答速度を改善した新規の水素漏洩検知器の開発も進められているが、未だ実用段階になく、コスト低減等の課題も存在する。

このため、本研究では、既存の水素漏洩検知器をベースにシステム構築を行い、応答性等の問題点の洗い出しを行うこととした。

表 5-1 水素漏えい検知器の仕様と特徴

方式	ステーション 利用	水素 選択性	応答性	測定レンジ	精度等その他
熱線型半導体式	○	あり	◎	低濃度域	長寿命、長期安定性、耐久性 ディスプレイ部に用いられる
接触燃焼式	○	なし	○	LEL 付近	高精度、温度、湿度の影響なし 水素ステーションでよく用いられる
気体熱伝導式	△	なし	○	高濃度域	触媒の劣化、被毒なし
半導体式	×	なし	○	低濃度域	長寿命、長期安定性

6) 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	3 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	3 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H23FY	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件
H24FY	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty : 特許協力条約)

4. まとめ及び課題

1) 水素ステーションの試設計と課題の抽出

一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 をベースに、高圧ガス設備を地下に設置した場合、屋上に設置した場合等のコンパクト化配置検討を行った。

試設計を実施した各配置案に関し、万一の漏洩・着火・爆発時の周囲に与える影響の評価ならびに安全対策の付与によるコンパクト化案の妥当性を検証する必要がある。

2) 安全要素技術開発

2-1) 換気システム

提案された地下式コンパクト水素ステーションを対象に必要な換気量を明らかにした。今後の課題として、地下室サイズと換気量および最適な給排気口の位置の関係を明らかにする必要があると考えられる。

2-2) 反射圧低減壁及びエネルギー吸収壁

数値解析により反射圧低減壁の開発を行い、検証実験によりその性能を確認した。さらに、エネルギー吸収壁について提案し、その効果を検証した。今後の課題として、水素ガスでの検証や実規模サイズでの性能確認が必要であると考えられる。

2-3) 水素燃焼制御システムの開発

漏洩水素ガスの燃焼・爆発のリスクに対し、水噴霧と不活性ガスの効果により、水素の燃焼を抑制し、その空間の安全を維持するシステムを開発した。また、噴霧時において、燃焼を促進する可能性のある気流の抑制方法および噴霧濃度の定量的評価手法について実験的に検証した。今後、実規模に近いサイ

ズでの燃焼制御実験、ならびに可能性としての水素の最強の濃度である 30%程度での燃焼抑制実験が必要であると考えられる。また、誤報の識別を含め、水素センサとの連動によるシステム化を検討する必要がある。

2-4) 水素の不活性化に関する研究

CO₂による半閉鎖空間の不活性化の指標となる安全濃度については信頼性の高い値が得られたが、漏洩水素の流動・拡散挙動については空間内の機器の配置、水素漏洩場所、水素漏洩量に依存するので、ステーションの設計に当たっては実状に合った条件設定による流動・拡散挙動の計算が必要である。

3) 水素ステーションの安全性評価

各安全システムの実機への適用を検討した。爆風圧低減板の効果として、出口での爆風圧を 3 割程度低減可能であることを確認した。また換気システムにより、0.2mm ピンホール発生時の連続漏洩に対し、地下室内が下限界濃度以下となることが確認できた。

耐圧建屋として事故時の圧力を抑え込む構造とし、構造形式を選定した。

また安全システムを適用したステーションに対しリスク評価を行った。蓄圧器、圧縮機の地下設置に際して、多重防護安全対策を採用することにより、改善効果が得られたが、多重防護安全対策がより効果を発するためシステム改善、システムの組合せが課題となる。

4) 水素ステーションの経済性評価

各建屋形式別コスト比較を行った。都市部における水素ステーションの建設においては、その地代を考慮した場合、機器の高架設置式、地下設置式が低コストであることが確認できた。さらには、このコストをベースとして、合理化検討による低コスト化へと繋げる。また各システムの要求性能および仕様を明確にし、システムの合理化をはかる必要がある。

5) 水素漏洩検知システムの構築

多重防護安全システムの検出・作動条件となる水素漏洩検知システムに関する仕様、開発動向の調査を実施した。

応答速度を改善した新規の水素漏洩検知器の開発も進められているが、未だ実用段階にないため、本研究では、既存の水素漏洩検知器をベースにシステム構築を行う必要がある。検知の確実性、応答速度等、信頼度の高い検知システムの構築が課題となる。

6) 総合評価

都市型コンパクト水素ステーションとして、地下室型のステーション形式について検討を行った。

密閉型であることから、水素の検知が確実となり、安定的な環境であることから、解析結果の信頼性が向上するものと考えられる。また暴露環境下にならないことから、機器・配管類の更新頻度が低減でき、ランニングコストが圧縮できるものと考えられる。

また地下に埋め込まれていることにより、車両や航空機といった外部飛来物に対して潜在的に安全性が向上し、万が一の事故時には側面地盤により、建屋の壁を支持することが可能となる。また必要敷地面積の縮小により、土地代が低減でき、イニシャルコストが低減できる。

一方で、機器へのアクセスが煩雑となることにより、維持運転上の手間が増加する可能性があり、大型の機器更新は困難になるものと予想される。また耐圧構造による躯体の物量増加および安全システムの導入により、コストが増加することが予想される。

5. 実用化・事業化見通し

コンパクトな機器配置が実現され、安全要素技術の目途が立ったことから、H24 年度までの検証で成立性が確認できた。都市型コンパクト水素ステーションの実用化にむけては、安全性、経済性および運用面での実証の為のモックアップ実験が不可欠である。

図 5-1 に燃料電池自動車と水素ステーションの普及に向けたシナリオを示す。燃料電池自動車等が普及開始する H27 年度には、今後の低コスト検討・標準化により事業化できる見通しである。

水素ステーション以外にも水素供給インフラ全体、例えば水素製造プラント、および大量需要のための大・中規模水素貯蔵施設等の建設へ事業展開ができる。

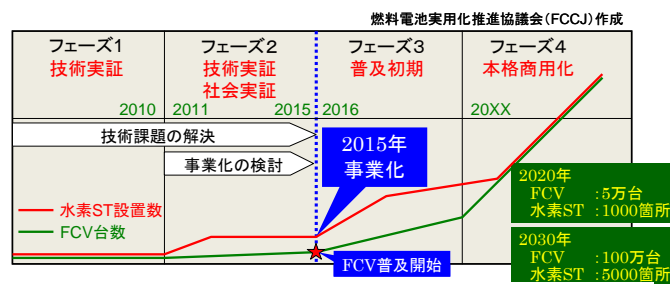


図 5-1 水素ステーション普及シナリオ

●進捗成果サマリ(平成23年度～平成24年度10月)

- ・直接充填方式水素ステーション用高圧水素圧縮機を開発・設計し、高圧ガス保安協会に特認申請を行なって認可をうけスケジュール通りに製作工程を進捗させた。
- ・圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係をシミュレーションするプログラムを開発した。
- ・上記シミュレーションプログラムにより圧縮機の運用方法やステーションにおける機器最適化の検討を実施し圧縮機の仕様・運用の最適化検討を実施中である、

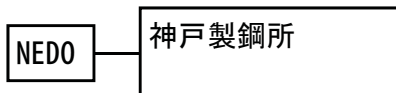
●背景/研究内容・目的

燃料電池自動車の電気自動車に対する優位点として、電気自動車では大容量高速充電が難しいのに対して燃料電池自動車用水素は高速充填が可能であるという点がある。差圧充填方式では高価な高圧蓄圧タンクが多数必要となることに加えて運用上の制限も大きいため、大容量直接充填用水素圧縮機を開発・実証し短時間で水素充填・連続充填を可能にし、FCVの早期普及を可能にすることを目的とする。

●研究目標

- A. 設計吐出圧力95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作する。
- B. インバーター制御による可変速度運転に対応する。
- C. 直接充填方式ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見直しをつける。
- D. 圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機特性(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発する。
- E. 試作機の設計・製作・試験結果、およびHySUTなどユーザーと連携により、実証水素ステーション用の設計吐出圧力100 MPa超級圧縮機的设计を完了し、試験計画を策定する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- A. 直接充填用大容量高圧水素圧縮機の仕様
 運転吸込圧力 40 MPa／設計吸込圧力 45MPa
 運転吐出圧力 87.5MPa／設計吐出圧力95MPa
 流量 1200Nm³/h シリンダ 2本
 運転中にベントを大気放出しない
 ・上記仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中である。圧縮機ユニットの小型化のために別途開発した超高压用熱交換器をアフタークーラーとして採用
- B. インバーター制御可能な仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中であり、検証方法を検討中。
- C. 高頻度起動停止運転に対する耐久性の見直し
 摺動部の劣化評価が必要なため運転により検証する。
- D. 圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。この成果を利用して千住・海老名ステーションなどのHySUT実証事業と連携した対応を進めた。
- E. 試作機の運転評価による試設計
 運転結果を反映して実施する。

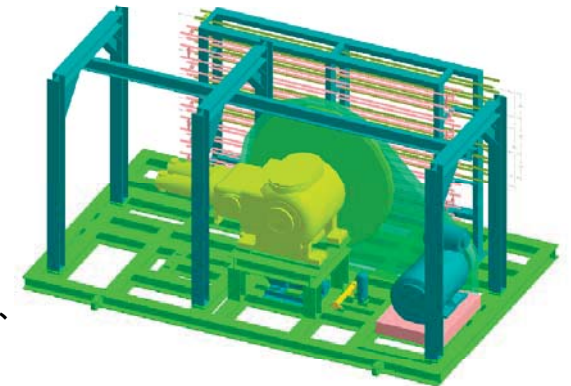


図 試作機イメージ(メインスキッド)

●今後の課題

／スケジュール(H24年度末まで)

試作機の製作・設置工事完了後、運転を実施し、試作機機能、性能の検証を行う。

●実用化・事業化の見直し

試作機による検証結果を反映させた水素ステーション用高圧水素圧縮機を2013年度より市場投入の予定である。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	直接充填用大容量高圧水素圧縮機的设计・製作	○
B.	インバーター制御による可変速度運転への対応	○
C.	高頻度起動停止運転の対応	○
D.	水素流量・車載タンク圧力・温度シミュレーションPGM開発	○
E.	試作機設計の運転結果を設計に反映	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	0	0

直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

実施者: 株式会社神戸製鋼所

1. 事業概要

燃料電池自動車の電気自動車に対する優位点として、電気自動車では大容量高速充電が難しいのに対して燃料電池自動車用水素は高速充填が可能であるという点がある。燃料電池自動車の本格的普及のためには、連続充填が可能な普及型水素ステーションが設置整備されていることが前提となるといわれている。これまで天然ガスステーションで適用されていた差圧充填方式では、高価な高圧蓄圧タンクが多数必要となることに加えて運用上の制限も大きいため、大容量直接充填用水素圧縮機を開発・実証し、短時間での高速充填・連続充填を可能にすることを計画した。

本研究開発では、直接充填方式の水素ステーションに適用する運転吐出圧力 87.5 MPa かつ水素流量 1200 Nm³/h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作し、単体試験により性能および耐久性を確認し、実用化課題の抽出を行う。なお、試作機の開発・設計・製作に際しては、所定の安全性、耐久性、実用性、経済性等を得るために必要な構造、使用材料(水素脆化も考慮する)等を検討する。

さらに、上記の設計・製作、試験結果に基づいて、設計吐出圧力 100 MPa 超級圧縮機の設計を行うとともに、この圧縮機を実際の水素ステーションに設置して性能、耐久性、安全性等を実証する場合の試験計画を策定する。なお、この圧縮機の仕様は、水素供給・利用技術研究組合(HySUT。以降、HySUT と記す。)などのユーザーの意向に基づき設定されるものとする。

2. 事業目標

2-1. 目標

設計吐出圧力 95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作する。

圧縮機および電動機・ガスクーラーなどをひとまとめにした高圧圧縮機ユニットは、その大きさが概略 5 m×2.7 m×3 m(H) 以下であり、インバーター制御による可変速度運転に対応する。試作機で運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の運転ができることを確認し、さらに直接充填方式の水素ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見通しをつける。試作機の接ガス部に使われた部材に対して機械試験を実施し、材料の耐水素脆性性能に係るデータを取得する。

また、圧縮機の運転方法の検討のため、圧縮機の水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発する。

上記の試作機の設計・製作・試験結果、および HySUT などのユーザーと連携して、実証水素ス

ーション用の設計吐出圧力 100 MPa 超級圧縮機の設計を完了し、試験計画を策定する。

2-2. 高圧水素圧縮機の試作仕様

高圧水素圧縮機の試作仕様を下記表1に記す。

【表1】

	高圧圧縮機(試作)
運転吸込圧力 (MPa)	40
設計吸込圧力 (MPa)	45
運転吐出圧力 (MPa) 目標値	87.5 (最大)
設計吐出圧力 (MPa)	95
流量 (Nm ³ /h) 目標値	1200 (最大)
シリンダ本数	2 本
シリンダ材料	SUH660相当材
運転中の水素の大気ベント 量	0 Nm ³ /h。ベントを外部放出しない。 ベントは、低圧圧縮機吸込ラインに戻す。
備考	吸込圧力 35 MPa、吐出圧力 87.5 MPa の ときの流量は、1050 Nm ³ /h (参考値)。

3. 事業成果

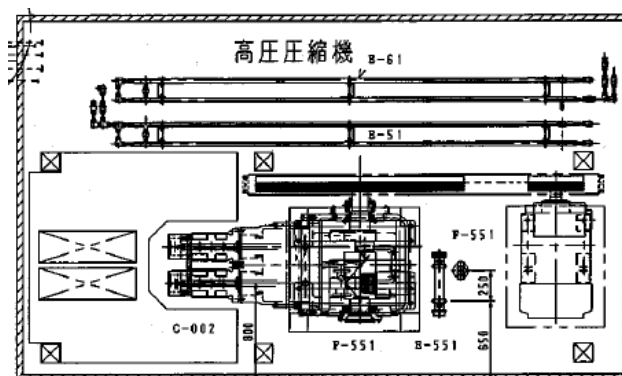
3-1 試作高圧水素圧縮機の開発・設計

耐水素脆化材料を調査した上で総合的に考慮し、使用材料・材料の強度値を決定した。高圧ガス保安協会に特認申請を行なって認可を受け、スケジュール通りに製作工程を進捗させた。この特認申請においては、ユーザーサイドである HySUT と連携して全体工程を進めた。

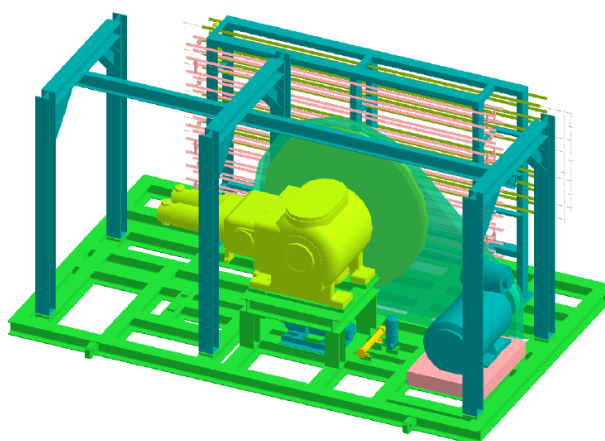
圧縮機および電動機・ガスクーラーなどをひとまとめにした高圧圧縮機ユニットの大きさは 実質的に 5 m × 2.3 m × 2.7m(H) となった。

今回のユニット平面図を以下の図1に示し、その外形を図2に示す。

【図1】



【図2】



占有面積は5 m×3.1 m×.2.7m(H)となっているが、図1を参照してわかるように、上部に設置しているチューブタイプのアフタークーラーの占有面積が大きい。図1にはE-51・E-61の2基が記載されているが、上側のE-51は単体試験で水素循環させるための吸込ガス冷却クーラーであり、実機では存在しない。この部分を除くと5 m×2.3 m×.2.7m(H)である。70MPaという超高圧水素が圧縮により150°Cの高温になったガスを冷却水により冷却するためにアフタークーラーが必要である。耐圧的に難しいこともあり、従来は高圧チューブの外側を水冷するタイプのアフタークーラーが採用されてきたが、その設置面積が大きくなってしまふことが問題であった。既存の高圧水素圧縮機は、いずれもアフタークーラーが非常に大きなものになっている。この超高圧水素の冷却に、神戸製鋼所機器本部の開発した新型プレートフィン熱交換器(本研究開発の範囲外で開発した熱交換器)を採用することで、熱交換器部を1/30~1/100のサイズにコンパクト化することを可能にし、今回の技術開発の中で大容量超高圧水素圧縮機用アフタークーラーとして採用可能であることを示す予定である。

これら確認結果を反映し、年度末の報告書においては、さらなる小型化の見通しを反映した設計結果を報告する。

3-2 運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の運転の確認

2012年10月からの試運転において、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の運転性能・耐久性を確認する。

運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の能力を示すこと、シール部リークガス量、運転期間を通したシール部リークガス量の変化をデータとして取得し、耐久性を検証する。この試験により必要なシール機構の目処をたてられる予定である。

3-3 インバーター制御による可変速度運転・高頻度起動停止運転

直接充填方式ステーションにおける高圧水素圧縮機の運転においては、高頻度起動停止が求められる。

実際の起動時にモーターコイル部の温度上昇が無視できるほど少ないことを確認し、コイル部での温度上昇・絶縁低下による再起動への障害がないことを確認する。またインバーター制御により30%~+130%までの可変速度運転を行い問題なく運転できることを確認する。

さらに J2601 に対応するために必要な流量制御を確認する。充填モデル流量カーブに従った

35MPa/45MPa2段階の吸い込み圧力において、圧力／流量毎にバイパスバルブ・流量制御バルブとインバーターの組み合わせで運転を実証する。また高頻度起動停止運転を繰り返して行い、試作機における接ガス部の劣化状況を観察し耐久性の見通しを得る。

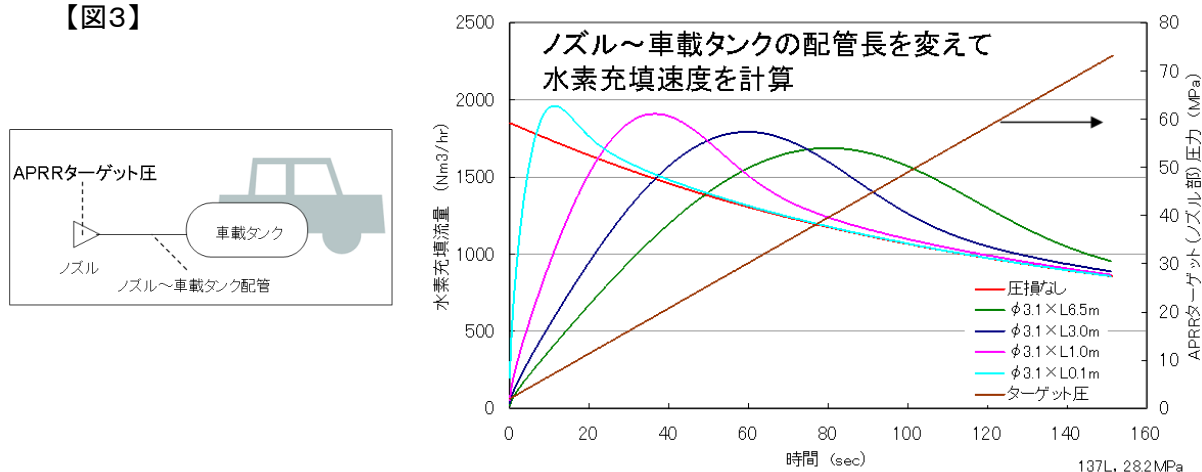
3-4 材料の耐水素脆性

試作機の接ガス部に使われた部材に対して機械試験を実施し、材料の耐水素脆性性能を取得する予定である。

3-5 圧縮機運転方法の検討

圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特長(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。

【図3】



このプログラムをもとに、HySUT と連携して水素ステーションに求められる運転形態を明確にし、千住ステーションや海老名ステーションの運転形態を検討・報告した。
(後日、その内容を追記予定)

3-6 実証試験の計画

実証試験を想定し、性能とコストに関するユーザーニーズをもとにさらなる小型化の検討を反映した高圧水素圧縮機ユニットを計画・設計する。

3-7 HySUT 実証事業との連携

HySUT 実証事業で計画中のプロトコル検証・ステーション検証に協力し、本研究で試作する圧縮機と同一仕様の別の圧縮機を NEDO 殿ご指示により製作し、千住ステーション、海老名ステーションそれぞれに納入する予定である。

3-6 特許、論文、講演、報道等の件数

下記表2に、特許、論文、講演、報道等の件数を示す。

【表2】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT [※] 出 願	査読付き	その他	
H23FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件
H24FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

(1)直接充填方式ステーション用高圧水素圧縮機の試作

設計吐出圧力 95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm³/h の圧縮機の試作機を開発・設計した。この圧縮機は平成 24 年度にも引き続いて製作中で、機械試運転を完了し続いての実ガス運転の準備中である。

運転を通してシール部リークガス量の変化をデータとして取得し、耐久性を検証する。材料の耐水素性についても確認する。

(2)インバーター制御による可変速度運転・高頻度起動停止運転

試作機によりインバーター制御・可変速度運転・高頻度起動停止運転が可能であることを検証する予定である。

(3)圧縮機運転方法の検討

圧縮機の運転方法の検討のため、圧縮機の水素流量と車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発し、実証試験計画に適用するとともに千住・海老名ステーションなどの計画に適用するなど、HySUT 実証事業と連携した対応をおこなった。

(4)実証試験の計画

実証試験を想定し、性能とコストに関するユーザーニーズをもとに、小型化のニーズを反映した高圧水素圧縮機ユニットを計画・設計する。

5. 実用化・事業化見通し

本研究開発で得られた成果をもとに、水素ステーション用高圧水素圧縮機を 2013 年度より市場投入の予定である。また試作の成果を反映し、継続的に小型化低コスト化を実施していく。

高圧水素圧縮機のみでなくプレクーラーにも適用可能な小型の熱交換器も開発し、水素ステーション全体のコンパクト化・最適化やインバーター採用による受電設備の低コスト化に貢献した。

直接充填方式水素圧縮機は、充填プロトコル J2601 に対応した柔軟な運転・3 分間の短時間で
の充填／連続運転に対応しており、中間蓄圧タンクの最適化、高圧蓄圧タンクを低減することが可能であるため、水素ステーション全体の設備コスト低減・小型化に寄与することが確実な状況である。

以上

(II-11)水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

委託先：愛知製鋼株式会社
 新日鐵住金株式会社
 (新日本製鐵株式会社、住友金属工業株式会社)
 共同実施：新日鐵住金ステンレス株式会社
 (独)物質・材料研究機構

●進捗成果サマリー(平成22年度～平成24年度6月末)

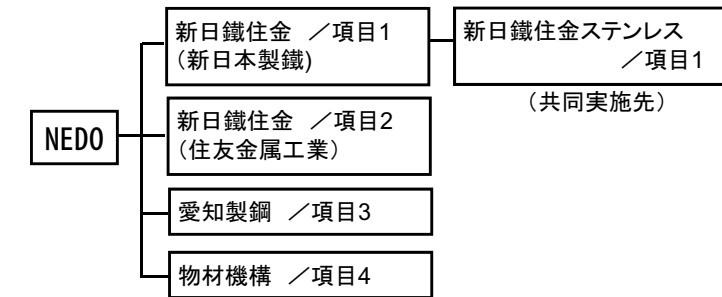
省Ni省Moステンレス鋼、高窒素高強度型ステンレス鋼、Moレスステンレス鋼、高Mo,V型低合金鋼を開発し、高圧水素中で引張強度、疲労特性等の材料特性を測定した結果、これらが高圧水素中で既存のステンレス鋼あるいは低合金鋼と変わらないか、上回る材料特性を示すことを確認した。

●背景/研究内容・目的

水素製造・輸送・貯蔵に用いられる材料に関し、低コスト、高強度、高加工性等の特性を有する耐水素脆性特性に優れた、ステンレス鋼を中心とする金属材料を開発し、高圧水素下における強度、靱性、疲労特性、等の基礎物性値を、水素脆化機構の解明や、新しい測定法の開発も平行して行いつつ取得し、当該材料を用いるために必要な基準、標準の制定等に必要データとして提供することによって材料種の拡大を図ると共に、基準見直し、国際標準化活動等に資する研究開発を行う。

●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
1)高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発	新規水素用高機能ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下におけるその材料データを取得し、基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータとして提示する。
2)高圧水素配管・容器材料の研究開発	高強度ステンレス鋼・高強度低合金鋼を開発し、新規水素用材料として提案する。
3)高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発	高圧水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、材料種類の拡大を提案する。
4)低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	低温および高温における高圧水素環境下で引張及び疲労試験を行い材料特性を評価する



●これまでの実施内容／研究成果

- 1)高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発：
 新規開発低Ni,省Mo系高強度鋼STH2の固溶化熱処理材について、高圧水素中での強度、疲労、疲労亀裂伝播などの諸特性を評価しSUS316Lと変わらない特性を示すことを確認した。SUS316Lほかγ系ステンレス鋼の評価結果から、水素脆化が合金元素の偏析部に生じやすいこと、及びその機構を明らかにした。
- 2)高圧水素配管・容器材料の研究開発：
 高窒素高強度SUSを開発し、固溶化熱処理材がN量の増加と共に強度が増加することを確認し、高圧水素中下のSSRT試験(室温、85MPa)、疲労試験においても良好な特性を確認した。
 低合金鋼において高Mo-V添加による組織改良鋼を開発し、高圧水素下SSRT試験(室温、45MPa)、疲労試験において既存鋼と比較して水素の影響が大幅に改善されたことを確認した。
- 3)高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発：
 Moを含有しないオーステナイト系SUSを開発し、冷間引抜加工材が高い0.2%耐力、引張強さを示すことを確認し、高圧水素下のSSRT試験(-40℃、70MPa)において良好な相対絞り示すことを確認した。
 SUS316L固溶化熱処理材は水素チャージしても室温でのクリープ特性に明瞭な影響が見られないことを確認した。
- 4)低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究：
 簡易試験法を用いて-200～120℃の温度範囲における316系SUSを中心とする材料の特性を測定し、水素の影響が少ない良好な材料特性を示すことを確認した。

以上の開発を加速するため、高圧水素中小型疲労試験装置を共通して持つことにより、簡易かつ迅速に新規材料の高圧水素中の疲労特性の測定を可能とし、開発の加速を図った。
 また、有明、霞ヶ関、千住、セントレア各水素ステーションにおける長期使用設備の解体調査に協力し、材料特性にも問題はないものの、製作・施工時に注意、改善点があることを示した。
 加えて、これら成果を国際標準化、規制見直しの作業に資するため、関係団体等に対して情報を提供し、議論・検討に参画した。

●今後の課題

／スケジュール(H24年度まで)

新規材料の開発と評価を継続し、新規材料の提案を行うべく、材料特性データの取得と検討を行う。

●実用化・事業化の見通し

2015年度の商用化初期段階以降の採用に向け、より安価で高強度、かつ信頼性の高い金属材料の開発を継続すると共に、それらの材料特性の継続的な検討と基準化・標準化に資するデータをも取得することにより実用化を図る。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
1)高圧水素用新規SUS開発	低Ni省Mo型高強度SUSについてSUS316Lより高強度で、同等以上の耐水素脆化特性を確認した。水素脆化の機構を明らかとした。各地で解体調査を実施した。関係団体等に成果を提供した。	○	
2)高圧水素配管材開発	高窒素高強度SUS、組織制御型低合金鋼を開発し、良好な特性を得た。	○	
3)高圧水素バルブ・継手用SUS開発	Moを含有しない冷間仕上オーステナイト系SUSを開発し、良好な特性を得た。	○	
4)低温及び高温特性	簡易評価法により316系SUSの特性を評価した。	○	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	6	10	0

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発」

愛知製鋼株式会社

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

独立行政法人物質・材料研究機構

1. 事業概要

本研究開発は、水素環境下で用いられる車載用機器類、供給用インフラ、あるいは関連機器、設備等を支える金属材料について、主としてステンレス鋼および低合金鋼を対象として、より高強度で、より安価で、より使いやすい新たな材料を開発し、基準化、標準化されるものとすべく、それらに向けたデータを取得し、本分野におけるブレークスルーに資することを目的とする。このために必要な以下に示す課題を実施者が連携を図りつつ、分担して実施する。

なお、この開発の背景として、平成21年度まで実施された「水素社会構築基盤整備事業」において実施された、SUS316L等の高い耐水素脆性を示す金属材料の特性をも参照しつつ、同事業で蓄積された基準化・標準化のための技術の活用および発展をも目指すものである。

なおまた、本研究開発は、金属材料に関する研究開発であり、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」において十分に活用されるべき内容であることから、実施者間の連携はもちろんのこと、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」に参加する各社、各機関との連携、情報交換等を密接に行って、適切かつ速やかな研究開発の実施を図るものとする。

- ①高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発
- ②高圧水素配管・容器材料の研究開発
- ③高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発
- ④低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

2. 事業目標

2-1 高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発

高圧水素ガスを燃料として搭載した燃料電池自動車、それに水素を供給する水素ステーション等のインフラ、水素を製造・輸送・貯蔵する際に用いる低～高圧水素および液体水素用の容器等の各種機器・部品に使用する金属材料について、自動車業界やインフラ業界等の関係ユーザからの要望を踏まえ、低コスト・高強度・高加工性等の高機能特性を有する水素関連機器用新規ステンレス鋼を開発する。また、各種水素環境下にて材料特性評価を実施し、これら材料の基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータを取得する。取得されたデータは、本開発を実施する他社のデータと併せ、「水素基盤整備事業」で開発されたデータベース

システムに蓄積を図るものとする。これらの結果をもとに、国際標準化・規制見直しに資する評価試験法を整備する。

2-2 高圧水素配管・容器材料の研究開発

燃料電池自動車や水素ステーションに用いられる金属材料については、高圧化や軽量薄肉化に対応するためより高強度の材料が要望されている。本研究は配管・容器用金属材料について、高強度かつ優れた耐水素脆性を有する新規ステンレス鋼・低合金鋼を開発する。

2-3 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発

水素用機器、システムおよび燃料電池自動車用高圧水素システム等で用いられる高圧水素バルブ・継手等の軽量化（高強度化）、低コスト化（省資源化）及び長寿命化を目的として、高圧水素バルブ・継手等に使用する冷間仕上オーステナイト系ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下で使用できる材料種類の拡大を提案する。

また、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長期使用の観点から、室温クリープ特性に及ぼす水素の影響を明らかにし、長期間使用に資する材料データを取得する。

2-4. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

試験片内の微小な空隙に水素を封入する簡便な水素環境下材料試験法において、封入するガス量を大幅に削減することで、70MPa 高圧水素環境で使用される材料の特性評価や選定の予備評価手段としての本試験手法を確立し普及を図る。また、本簡便な水素環境評価法を用いて、開発したステンレス鋼や基準化・標準化の対象材料の低温から高温にかけての引張特性や疲労特性等の材料特性を評価し、基準化・標準化に資するデータを取得し解析する。試験温度は対象材料ごとに異なるが、低温としては、水素環境脆性が消滅する約-200℃から室温にかけて、高温は急速充填時の最高温度より上の約 120℃までを想定している。さらに、新たな水素環境下材料試験の簡便法を開発し、破壊靱性特性や疲労き裂進展特性の評価を行う。

以上の開発に加えて、これらの開発で得た知見を活用して、国内における長期使用水素関連機器類について、バルブ、配管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、程度を調査する。

3. 事業成果

3-1 高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発

a. 高圧水素ガス用材料の研究開発

低コスト型水素ステーションのバルブ類、計器類、配管類への適用が期待されている低コスト・高強度型の低Ni省Mo水素用ステンレス鋼「STH2(Fe-15Cr-6Ni-9Mn-2.5Cu-0.16N)」の溶体化処理材(15mm厚板)から各種試験片を採取し、高圧ガス保安協会への特認申請や水素ステーション設置都道府県の認可に必要なと考えられる引張試験(-40~85℃、大気中、45および90MPa水素ガス中、試験片平行部7mmφ)、疲労亀裂伝播試験(室温、大気中、45および90MPa水素中、1TCT試験片)を実施し、データ採取を完了した。図1に示すとおり、-40℃の高圧水素中でやや絞り(伸び)が低下する試験片も認められたが、高圧水素中で特に顕著な脆化や材料特性劣化はなく、所望の特性を有することが確認された。また、図2に示す通り、疲労き裂伝ば特性も高圧水素中で低下しないことが確認された。

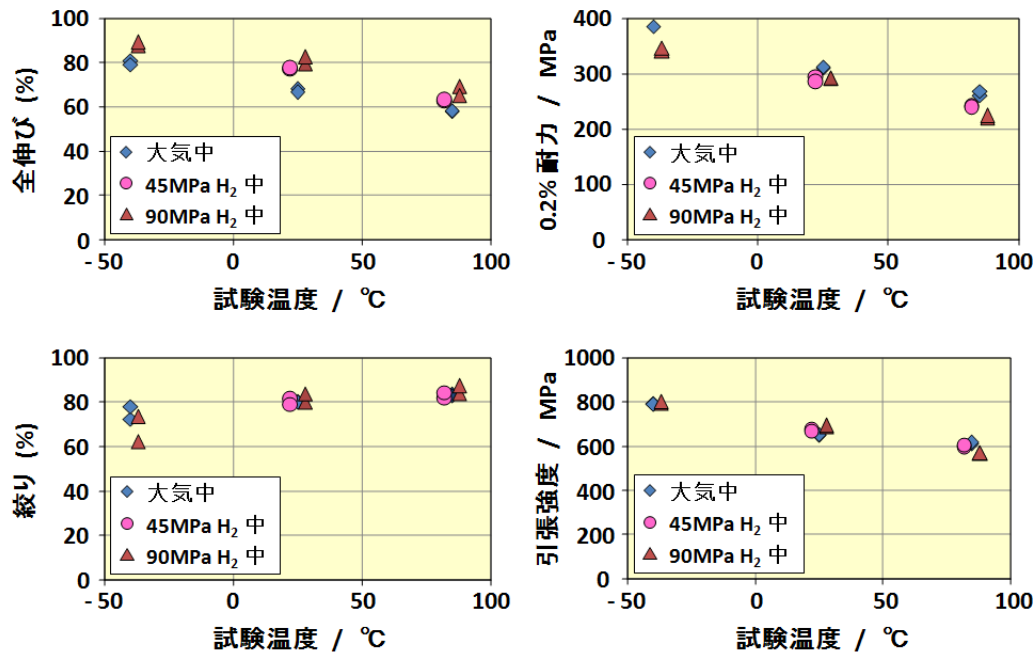


図1 STH2(Fe-15Cr-6Ni-9Mn-2.5Cu-0.16N)鋼溶体化処理材の高圧水素ガス中における引張特性。平行部 7mmφ, 35mm 長の丸棒試験片を使用。歪速度は、水素中 $8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 、大気中 $8 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$

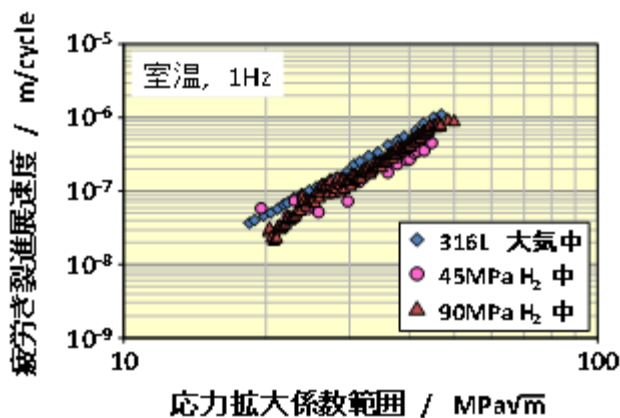


図2 STH2 鋼溶体化処理材の高圧水素ガス中における疲労亀裂伝播特性および比較鋼 (SUS316L) の大気中における疲労亀裂伝播特性 (室温)

また、40%冷間加工した材料（室温0.2%耐力；905MPa）の評価も実施し、図3に示す通り、-40℃でやや絞りが低下する試験片もあったが、その程度はわずかであり、40%程度冷間加工しても、問題となるような水素脆化を示さず、高強度材として期待できることが示された。

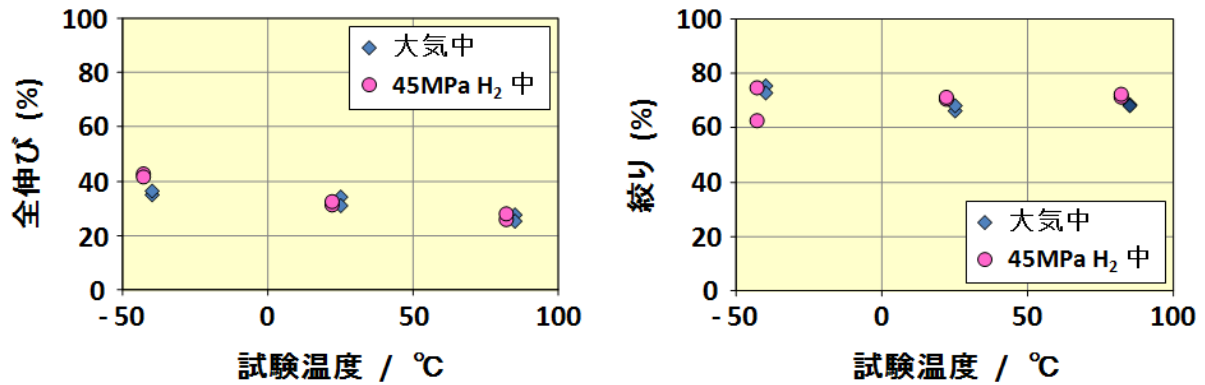


図3 40%冷間加工（冷間圧延）した STH2 鋼の高圧水素ガス中における引張特性。平行部 7mmφ, 35mm 長の丸棒試験片を使用。歪速度は、水素中 $8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 、大気中 $8 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$

さらに、STH2鋼の評価に加え、水素用の標準材であるSUS316L鋼厚板(28mmt)から切り出した試験片(7mmφ)を用いて引張試験を行い、STH2やSUS316Lのように顕著な水素脆化を示さない材料でも、低温、高圧水素ガス中では若干の脆化を示し、破面にその傾向が表れることを示した（図4、図5）。また、厚板や太径棒等の厚肉材では一般に合金元素の偏析が含まれており、試験片採取位置、試験片寸法、偏析の程度によっては見かけ上大きな脆化が起こっているかのような低延性値が得られる場合があることを示した。

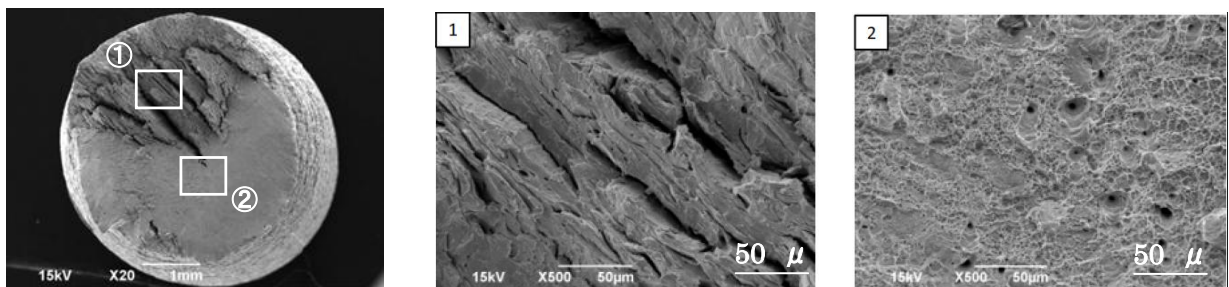


図4 STH2 鋼溶体化処理材の-40℃、90MPa 水素中引張試験破断試験片破面 ① 脆性破面（Ni,Cu,Mn の負偏析部に対応）、② 延性破面

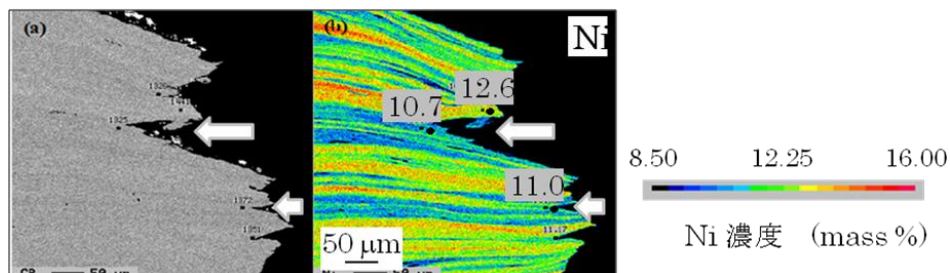


図5 SUS316L 鋼溶体化処理材の-40℃、90MPa 水素中引張試験破断試験片の破面近傍断面組織および Ni 分布。Ni 負偏析部に沿って割れが発生

また、最高120MPaの水素中で疲労特性を評価できる高圧水素中小型疲労試験装置(図6)を導入し、運転を開始した。

b. 液体水素用材料の研究開発

STH2鋼の溶接資料を作製し、液体水素中におけるSTH2溶接部の引張特性評価を開始した。

c. 長期使用水素関連機器の解体調査

JHFC君津液体水素製造設備解体調査に引き続き、JHFC有明水素ステーションで使用した配管類(液体および高圧水素)、霞ヶ関水素ステーションで使用した配管類(高圧水素)の各種解体調査結果をまとめ、水素中で長期使用したことによる材質特性の劣化や水素侵入の痕跡は認められないことを示した。加えて、水素中で使用する機器であることから、製作・施工時に注意・改善すべき点があることを示した。さらに、千住水素ステーション蓄圧器の解体調査に着手した。



図6 新規導入高圧水素中小型疲労試験装置および機械試験機

d. 国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発

「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」および「燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発」の水素系材料評価法検討会に委員として参画し、a.で述べた材料試験法、試験結果を報告するとともに、評価基準について議論するなど、今までに蓄積してきた知見や専門性を基に、関連技術情報の提供・助言や意見の具申を行い、材料基準の策定を支援した。また、社団法人自動車工業会や「水素ステーション機器要素技術に関する研究開発」プロジェクト参画企業にa.で述べた研究成果を報告し、早期実用化に向け技術的な支援を行った。

e. データベースへの蓄積、充実

本開発に関わる4機関が平成22~24年度中に得た各種試験データを、過去実施した水素用材料関連プロジェクトで開発したデータベースシステムに蓄積するため、本データベースシステムの構造・機能および運用方法に高度の知見・技術を有する機関にデータのインプットを外注委託し、過去の公開データも含め、関連技術データの調査・収集を図った。

3-2 高圧水素配管・容器材料の研究開発

a. 高強度低合金鋼の開発

0.45%Mn鋼をベースに、C含有量を0.2~0.6%、Cr含有量を0~1.25%、Mo含有量を0.3~2.5%、V含有量を0~0.25%の範囲で変化させた低合金鋼を溶製し評価に供した。これらの鋼材を熱間鍛造、熱間圧延により12mm厚の板材とし、焼入れ焼戻し処理により強度を調整し

た。板材から図7に示す切欠付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45MPa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 を行い、水素中の破断強度と大気中の破断強度を比較した。

熱間鍛造後焼入れ焼戻し処理により強度を調整した丸棒から図8に示す内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 で変動させ疲労試験を行った。

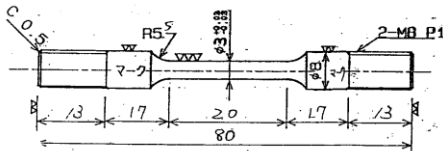


図7 SSRT 用試験片

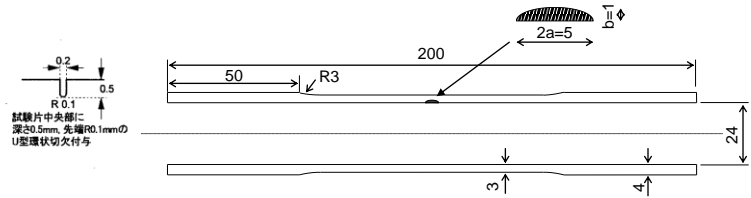


図8 外圧疲労試験片

図9に性能が良好であった組織改良鋼(0.4~0.6C-1Cr-0.5~0.7Mo-0.1V 鋼)の SSRT の結果を示す。図中には比較鋼として既報の SCM435 の試験結果も示した。縦軸は大気中と水素中の破断強度の比(相対切欠引張強さ)である。組織改良鋼は SCM435 に比べて高い相対切欠引張強さを示し、耐水素脆性が改善されていることが確認された。

図10に外圧疲労試験結果を示す。アルゴン中疲労寿命は引張強度によらず 20000cycle 程度であったが、高強度材ほど水素中疲労寿命は低下した。組織改良鋼は SCM435 に比べて水素中疲労寿命が長いことが確認された。

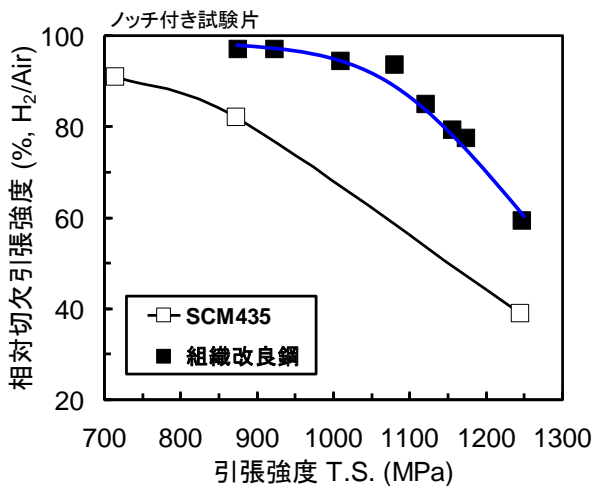


図9 水素中 SSRT 特性
(45MPa H₂, RT)

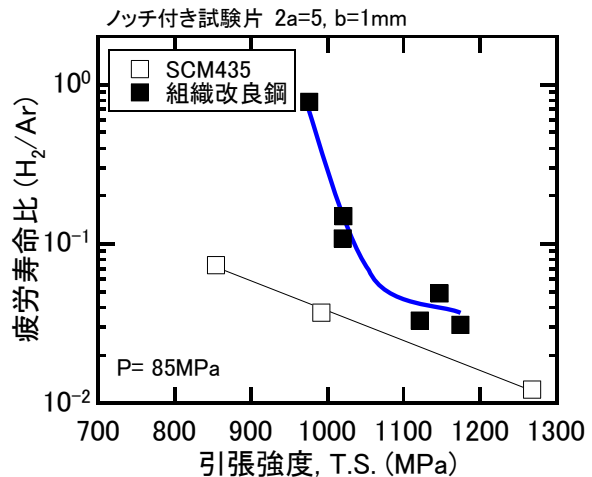


図10 水素中疲労特性
(85MPa H₂, RT)

図11に従来鋼と組織改良鋼の疲労試験後の破面および炭化物形態を比較した。従来鋼では旧オーステナイト結晶粒界に炭化物がフィルム状に選択析出し粒界割れを促進するのに対し、

組織改良鋼では高温焼戻しによる粒界炭化物球状化と微細 MC(M=V,Mo)炭化物への水素トラップ効果により SSRT・疲労特性が改善されたと考えられた。

鋼種	従来鋼 (SCM435) TS=1268MPa	組織改良鋼 TS=1121MPa
組織	焼戻しマルテンサイト	
破壊形態	<p>水素中破面観察</p> <p>粒界</p> <p>M₃C ⊥ 転位</p>	<p>水素中破面観察</p> <p>析出物制御</p> <p>M₃C MC ⊥ 転位</p>
劣化機構	粒界析出したM ₃ Cに水素をトラップした転位が集積	粒内析出したMCに水素をトラップした転位が集積

図 11 組織改良鋼の特性改善機構

b. 高強度ステンレス鋼の開発

高強度ステンレス鋼として高窒素系の SA312 -TPXM19 鋼 (22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N) に着目した。この鋼種をベースに窒素量の異なる鋼を溶製し、熱間鍛造、圧延、固溶化熱処理を行い評価に供した。

常温の 85MPa 水素中ならびに大気中で、丸棒平滑試験片を用いてひずみ速度 $3 \times 10^{-6} (s^{-1})$ で SSRT 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。また、図 9 の内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 で変動させ疲労試験を行った。

図 12 に SSRT の結果を示す。図中には比較鋼として既報の SUS316L、SUS16L の 30% 冷間加工材の結果も示した。縦軸は大気中と水素中の破断伸び(EI)、絞り(RA)の比(相対破断伸び、相対絞り)である。今回検討した鋼は窒素量の増加に伴い強度は上昇するが、相対破断伸び・相対絞りはほぼ 100%で、良好な耐水素環境脆化特性を有することが確認

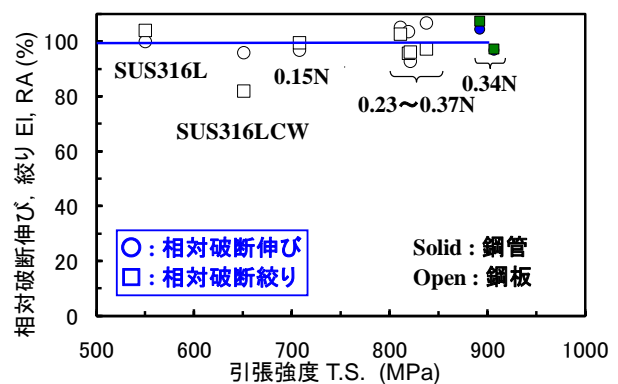


図 12 水素中 SSRT 特性
(85MPa H₂, RT)

された。

図 13 に外圧疲労試験結果を示す。XM19 鋼の水素中の疲労寿命はアルゴン中の疲労寿命に比べてやや低下するが、その度合いは SUS316L と同程度であった。A286(既報)は図中の材料のうち最も強度が高いことから大気中では最も疲労寿命が長い。水素による寿命低下が顕著であった。図 14 に Ar 中と大気中の疲労寿命比を示す。今回の検討鋼は窒素量・強度に関わらず SUS316L と同程度の疲労寿命比を示した。以上の結果から、XM19 鋼は引張強さが 800MPa 超の高強度で、かつ水素中で使用実績のある SUS316L と同等以上の耐水素脆性を有していることが確認された。

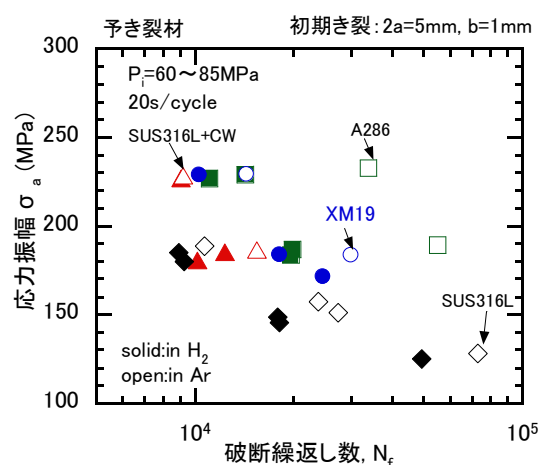


図 13 水素中疲労特性-1
(85MPa H₂, RT)

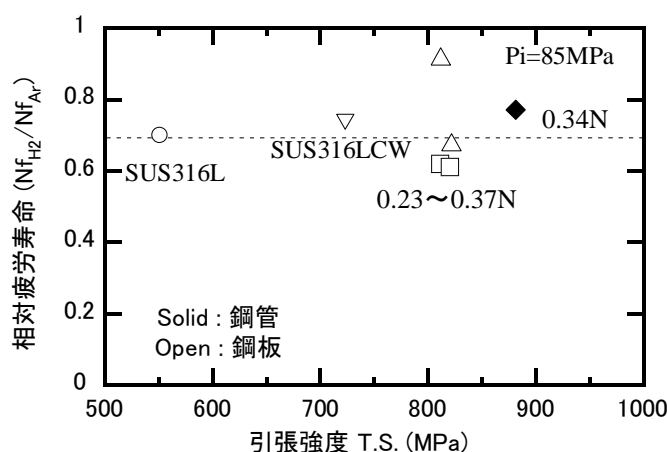


図 14 水素中疲労特性-2
(85MPa H₂, RT)

さらに、疲労特性の簡易評価装置として高圧水素中小型疲労試験装置を導入し、試験技術の確立を進めている。

また、長期使用水素関連機器の解体調査として、セントレア水素ステーションの解体調査を実施中である。

3-3 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発

a. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の研究開発

SUS316L と比較して Mo の添加量を低減した数種類のオーステナイト系ステンレス鋼を VIM 溶解し、図 15 に示す工程にて固溶化熱処理後冷間引抜状態の供試材を作製した。表 1 に示すように、供試材の化学成分は比較鋼だけでなく開発鋼も何らかの JIS 規格鋼成分に該当するようにしている。これらの供試材において、高圧水素環境下における使用を念頭に特性評価を進めた。

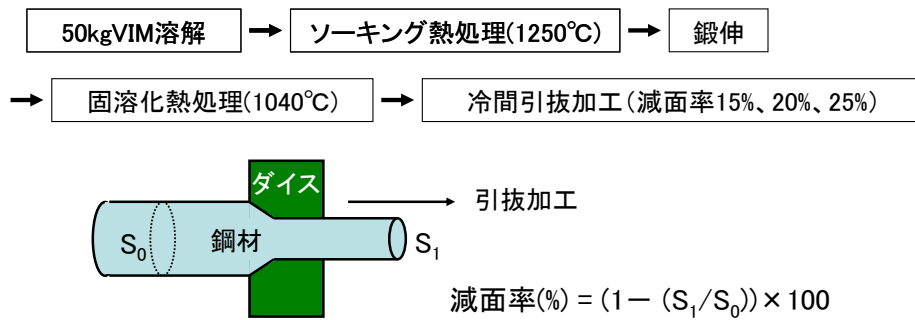


図 15 供試材の作製工程

表 1 化学成分(mass%)

	相当鋼種	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo
比較鋼	SUS316L	0.02	0.51	1.23	0.21	13.06	17.25	2.77
開発鋼	SUS316J1L	0.02	0.50	1.21	1.50	13.17	17.17	1.23
	SUS316J1	0.04	0.50	1.22	1.50	13.19	17.06	1.23
	SUS305J1	0.05	0.48	1.22	0.20	13.19	18.87	<0.01
	SUS309S	0.05	0.48	1.21	0.20	14.91	22.34	<0.01

鋼材に取り込まれた水素による延性への影響を確認するために、供試材から図 16 に示す引張試験片を機械加工により採取して、高圧水素チャージを実施し、室温大気中における低速引張試験を実施した。

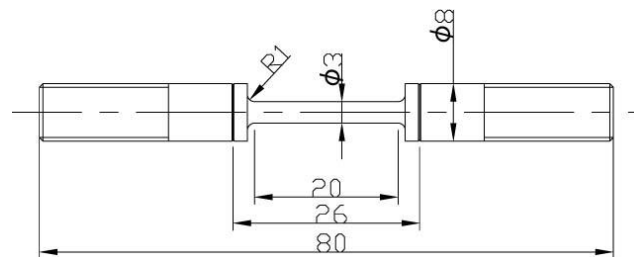


図 16 引張試験片の形状 (寸法単位: mm)

高圧水素チャージにおいては、試験片を 300°C 15.5MPa の水素ガス雰囲気中に 120 時間暴露することで、試験片に水素を吸収させた。尚、水素チャージを施した厚さ 3mm の水素分析用試験片に含まれるトータル水素量は 33~45ppm であり、冷間引抜加工の減面率に対するトータル水素量の変化は認められなかった。

図 17 に室温大気中における低速引張試験の結果を示す。水素チャージなし材と比較して水素チャージあり材の絞り僅かに低下するものの、Mo の添加が無くとも良好な延性を示すことが確認された。

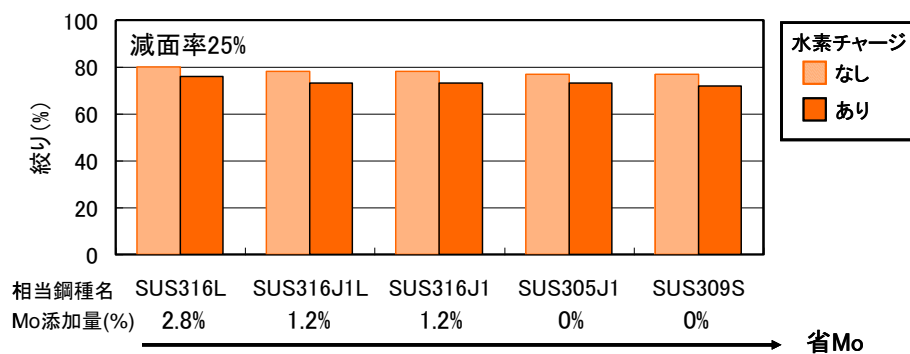


図 17 低速引張試験の結果 (減面率 25%)

低速引張試験の結果等を踏まえ、Mo を含有せず省資源性に優れ、高圧水素チャージ後の低速引張試験における絞りの低下も少ない SUS305J1 相当の開発鋼に重点を置き、さらなる開発鋼の特性評価に取り組んだ。

SUS305J1 相当の開発鋼の機械的性質を表 2 に示す。固溶化熱処理材と比較して冷間引抜材は著しい 0.2% 耐力の増加と共に、引張強さも増加することが確認された。

表 2 機械的性質

供試材		0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
比較鋼 SUS316L相当	固溶化熱処理材	246	564	57	77
	冷間引抜材 減面率20%	673	739	31	73
	冷間引抜材 減面率25%	725	780	27	71
開発鋼 SUS305J1相当	固溶化熱処理材	239	565	56	78
	冷間引抜材 減面率15%	613	696	33	73
	冷間引抜材 減面率20%	674	746	29	71
	冷間引抜材 減面率25%	739	794	26	71

(試験方法：JISZ2241、試験片：JIS14A 号引張試験片平行部直径 φ 8mm)

SUS305J1 相当の開発鋼の SSRT 試験結果を表 3 に示す。良好な相対絞り（水素中／大気圧もしくは窒素中）が得られている。

これらの評価結果から、SUS305J1 相当の開発鋼冷間引抜材が、一般例である SUS316L 固溶化熱処理材と比較して高強度で省資源性に優れると共に、高圧水素中においても SUS316L と同等レベルの耐水素特性を有する可能性が期待できる。そのため、開発鋼に関する低温 SSRT 試験結果等を学会で報告すると共に、他の NEDO 事業等への開発鋼の紹介を実施した。

なお、冷間仕上オーステナイト系ステンレス鋼の評価試験技術として、高圧水素中小型疲労試験装置の導入を実施し、評価試験技術の確立に向けた取り組みを進めている。

表 3 SSRT 試験結果

供試材	減面率	試験環境	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	相対絞り (水素中/大気中 もしくは窒素中)
比較鋼 SUS316L相当	25%	-40°C大気圧窒素中	810	934	32	73	0.96
		-40°C70MPa水素中	810	946	35	70	
		室温大気圧大気中	780	795	18	74	1.00
		室温85MPa水素中	780	799	18	74	
		90°C大気圧大気中	695	719	14	73	1.03
		90°C85MPa水素中	695	719	13	75	
開発鋼 SUS305J1相当	25%	-40°C大気圧窒素中	840	920	35	72	0.96
		-40°C70MPa水素中	840	924	36	69	
		室温大気圧大気中	780	802	21	74	0.97
		室温85MPa水素中	780	802	19	72	
		90°C大気圧大気中	715	730	12	73	1.01
		90°C85MPa水素中	715	720	12	74	
	20%	-40°C大気圧窒素中	760	908	37	72	1.00
		-40°C70MPa水素中	760	912	40	72	
		室温大気圧大気中	715	754	25	75	0.99
		室温85MPa水素中	715	756	27	74	
		90°C大気圧大気中	645	687	15	73	1.00
		90°C85MPa水素中	645	686	15	73	
	0% (固溶化 熱処理 まま)	-40°C大気圧窒素中	290	741	68	81	0.91
		-40°C70MPa水素中	290	741	58	74	
		室温大気圧大気中	245	568	60	80	1.01
		室温85MPa水素中	245	568	60	81	
		90°C大気圧大気中	200	548	46	81	0.99
		90°C85MPa水素中	200	548	42	80	

(試験片平行部直径：φ3mm(図 16)、歪速度：5×10⁻⁶s⁻¹)

b. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の長期使用に資する評価試験法の研究開発

図 16 に示す形状の引張試験を用いて、表 1 に示す化学成分の SUS316L 固溶化熱処理材に高圧水素チャージを実施し、水素チャージの有無が室温クリープ特性に及ぼす影響を調査した。

図 18 は、約 1000 時間のクリープ試験により得られた試験時間とクリープ伸びの関係を、対数クリープ (クリープ伸び (%) = α × log(h) + β) の関係に回帰計算し、係数 α および、係数 β を求め、初期応力に対して示したものである。室温クリープ特性に及ぼす水素チャージの影響は明瞭には認められないことが確認された。

尚、水素チャージを施した試験片は、室温クリープ試験後においても 33ppm 程度の水素を含有していることが確認されている。

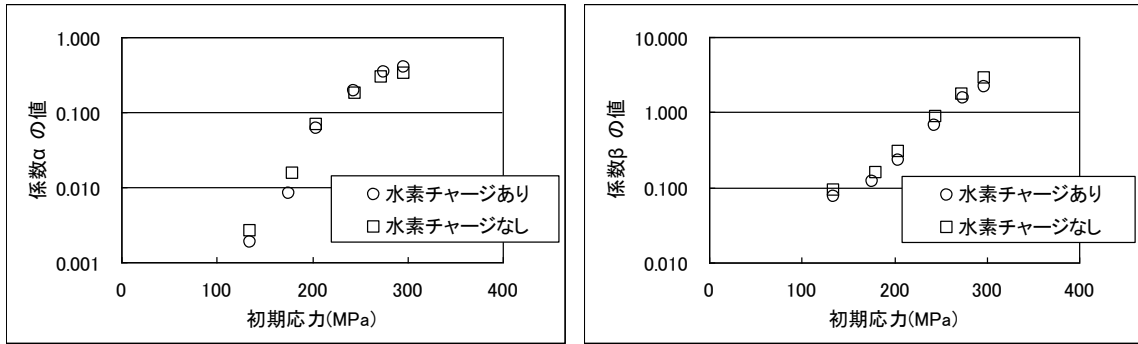


図 18 室温クリープ試験結果(SUS316L 固溶化熱処理材)

c. 長期使用水素関連機器の解体調査

有明、セントレア水素ステーションにおける自動弁、配管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、程度を調査した。

3-4 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

a. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

(1) 試験法の概要と試験手順

本課題で用いている簡便な水素環境下材料試験法の模式図を図19に示す。この方法の特徴は、試験片を高圧水素環境に設定した容器内に入れて試験するのではなく、試験片内の微小空隙に環境設定することにより、試験片外部に環境設定した場合と同様の結果が得られることである。試験環境のための高圧容器が不要になるだけでなく、試験片の加熱・冷却も容易である。

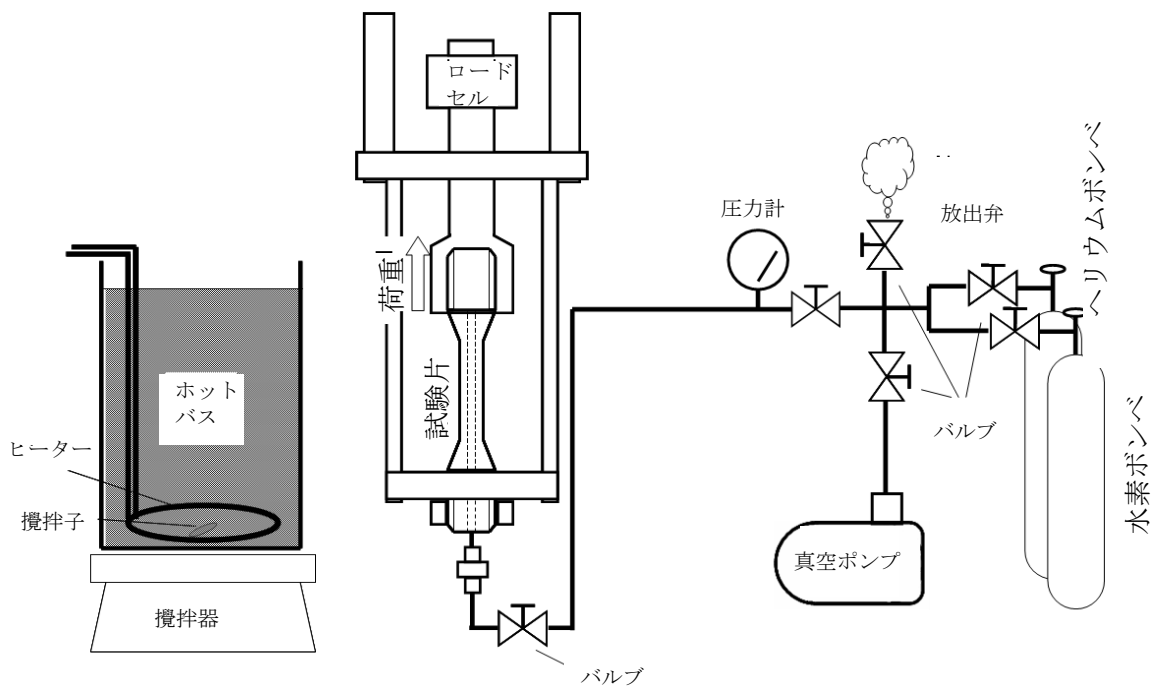


図19 簡便な高圧水素環境中材料試験法

図19に示すように治具を貫通させた試験片の端部からガスを封入する。試験片の平行部直径は6.25mmで、試験片端部より中心軸に1mm～2mmの穴をワイヤカットで加工する。本簡便法による120℃の試験は、図19に示すホットバスの中の、120℃に加熱し攪拌しているシリコンオイルの中に、治具部を挿入し試験片を加熱する。試験片温度は、試験片の平行部中央に取り付けた温度センサーでモニターし、設定温度到達後、試験片内圧力を調整する。

(2)供試材と引張試験速度

供試材は、表4に示すようにSUS304Lと316Lおよび冷間加工をした316で、この316は米国で実際の配管部材に使われている材料として棒材(直径12.5mm)を購入したものである。316_Rは冷間引き抜き材で、316_Aはアニール材である。

試験片の平行部長さは33mmであり、引張試験速度は、弾性領域においては0.6mm/minであり、それ以降は0.06mm/minである。

表 4 供試材の化学成分 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	N
SUS304L	0.016	0.53	1.03	0.029	0.003	9.42	18.01			
SUS316L	0.007	0.47	1.54	0.026	0.027	12.09	17.31	2.26		
316_R	0.050	0.41	1.66	0.028	0.021	12.22	17.66	2.07	0.090	0.037
316_A	0.46	0.42	1.66	0.030	0.020	12.14	17.65	2.10	0.090	0.042

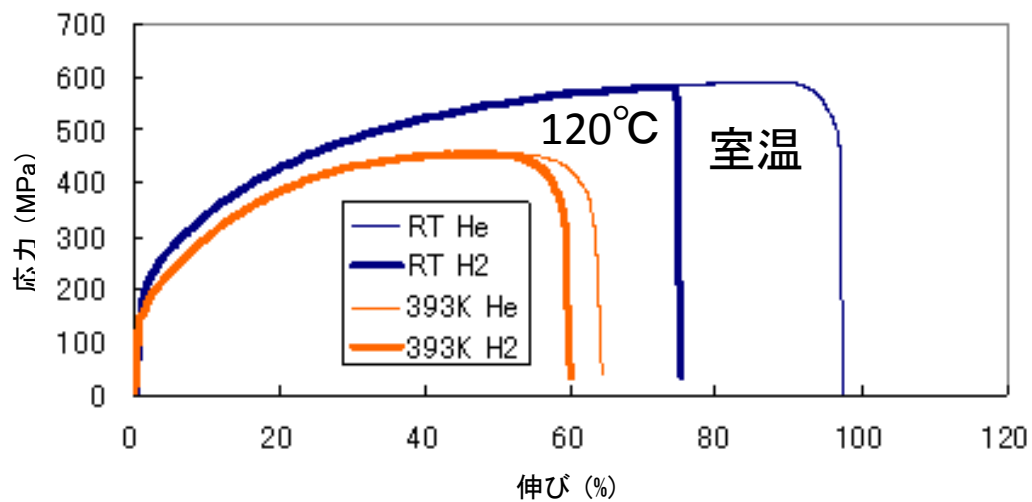


図 20 SUS304L の室温と 120°Cでの水素中とヘリウム環境中の荷重－変位曲線

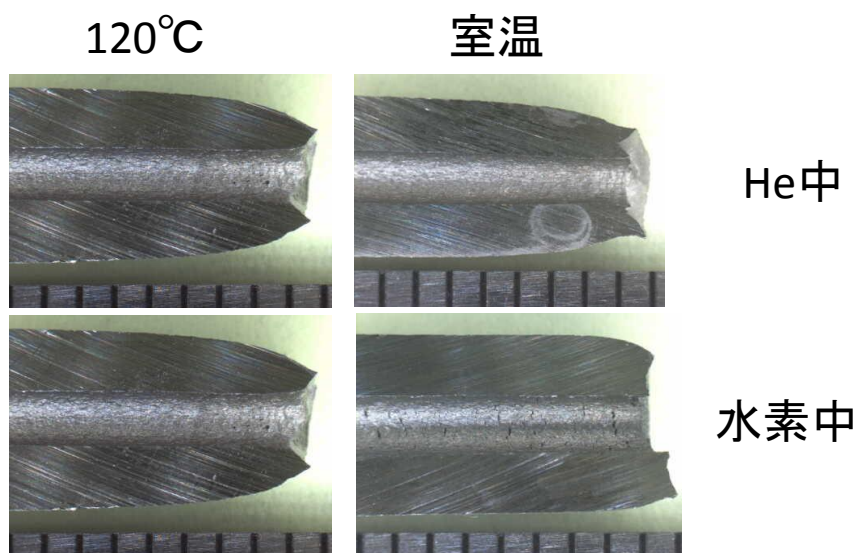


図21 SUS304Lの室温と120°Cでの水素中とヘリウム環境中試験後の破断部と穴の内面の様子

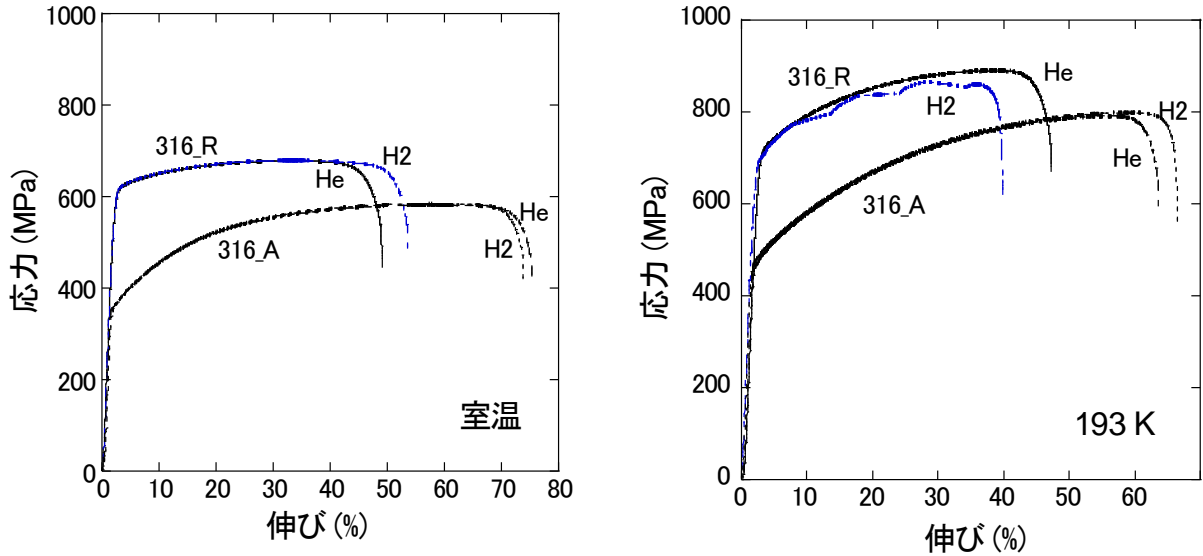


図22 冷間加工316材(316_R)とアニール材(316_A)の室温と193Kにおける引張曲線

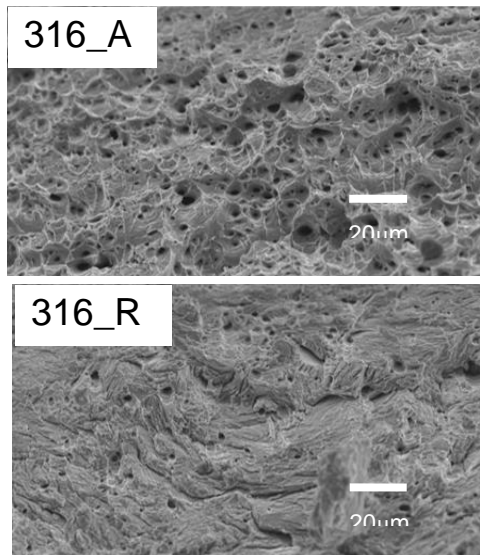


図23 冷間加工316材(316_R)とアニール材(316_A)の193Kにおける破面

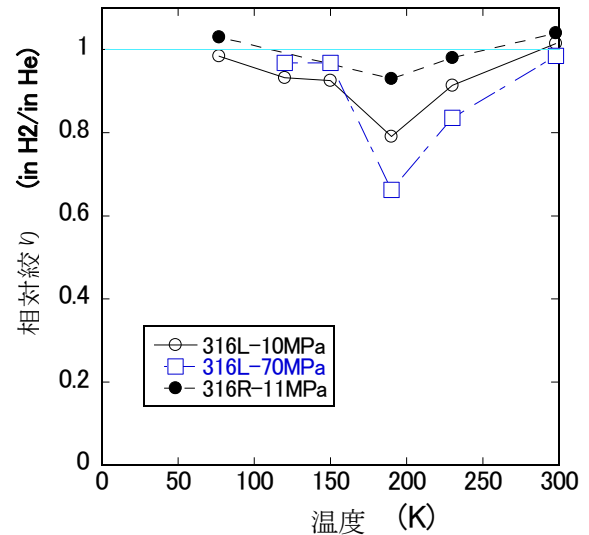


図24 冷間加工316材(316_R)とSUS316Lの相対絞りの温度変化

(3) 試験結果と考察

図20にSUS304Lの室温と120°Cでの約10MPa水素中とヘリウム環境中の荷重-変位曲線を示す。120°Cの方が室温よりも強度が低く伸びも短い、水素の影響は小さくなっている。室温よりも伸びが短いのは、ネッキングが早期に生じるためと推察する。316Lでは10MPa級ではあるが、室温でも高温側でも水素環境の影響は見られず、この結果では水素中の方が若干伸びが大きい。

図21にSUS304Lの室温と120°Cでの水素中とヘリウム環境中試験後の破断部と穴の内面の様子を示す。室温水素中だけ内部にクラックが観察され、他のものに比べ直線的に破断している。

図 22 に AISI316 の冷間引き抜き材(316_R)とアニール材(316_A)の室温と低温(193K)での 10MPa 級水素中とヘリウム環境中の荷重-変位曲線を示す。アニール材と冷間引き抜き材の荷重-変位曲線を比較すると、冷間引き抜き材は 40%程度の加工が加わっていると見られる。よって、冷間引き抜き材の破断伸びは約 50%で、アニール材より小さくなっている。水素圧は 10MPa 級ではあるが、室温と低温(193K)において冷間引き抜き材もアニール材も水素環境の明瞭な影響は見られなかった。

図 23 に、193K の低温における引張破断面を示す。アニール材は全面ディンプル破面であるが、冷間加工 316 材は加工の影響と考えられる組織の流れが見られる。

図 24 に、冷間加工 316 材と SUS316L の相対絞りの液体窒素温度 77K から室温 300K (RT) までの温度変化を示す。冷間加工材ではあるが、10MPa 水素環境中では低温での相対絞りの低下は顕著ではなく、70MPa のデータを追試する。

3-5. 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	海外	PCT 出願	査読付き	その他	
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件
H23FY	0 件	0 件	0 件	5 件	0 件	3 件
H24FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	5 件

4. まとめと課題

まとめ：

4-1 高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発

a. 高圧水素ガス用材料の研究開発

- ・低 Ni 省 Mo 水素用ステンレス鋼(STH2)の引張試験、疲労亀裂伝播試験等を高圧水素中で実施して顕著な脆化や劣化が無いことを確認した。

b. 液体水素用材料の研究開発

- ・液体水素中における STH2 溶接部の引張特性評価を開始した。

c. 長期使用水素関連機器の解体調査

- ・水素ステーションで使用した配管類の各種解体調査結果をまとめた。

d. 国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発

- ・各種検討委員会で材料基準の策定を支援するための試験データを取得、提供した。

e. データベースへの蓄積、充実

- ・参画機関の関連技術データを中心に、過去の公開データ含めて調査・収集を図った。

4-2 高圧水素配管・容器材料の研究開発

a. 高圧水素用高強度鋼の開発

- ・低合金鋼と高窒素系高強度ステンレス鋼を用いる高圧水素用高強度鋼を開発した。

b. 高圧水素ガス中の低ひずみ速度引張特性と脆化機構評価

- ・開発した低合金鋼と高窒素系高強度ステンレス鋼が低ひずみ速度引張特性試験と脆化機構評価を実施した。

c. 高圧水素ガス内外圧疲労特性評価

- ・開発した低合金鋼と高窒素系高強度ステンレス鋼が外圧疲労特性に優れることを確認した。

4-3. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発

a. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の研究開発

- ・高圧水素環境下における使用条件で低 Mo オーステナイト系ステンレス鋼を評価した。

b. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の長期使用に資する評価試験法の研究開発

- ・SUS316L 固溶化熱処理材を用いて、水素チャージの有無が室温クリープ特性に及ぼす影響を調査した。

c. 長期使用水素関連機器の解体調査

- ・水素ステーションの自動弁等の解体調査を実施して劣化の有無、程度を調査した。

4-4. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

a. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

- ・実配管材料を用いて低温及び高温水素環境下における材料特性を評価した。

課題：

水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する新規な金属材料の開発を目的として、引き続き、新規材料の開発と評価を継続し、新規材料の提案を行うべく、材料特性データの取得と検討を行う。

新規な金属材料の実用化には、国際標準化や規制の見直しが重要であることから、継続して、国際標準化・規制見直しに資する評価試験法を開発すると共に、開発した評価試験方法を用いて、材料データの取得とデータベースの構築を行う。

5. 実用化・事業化見通し

高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼を始めとする金属材料、および関連評価試験法、並びに材料特性に関する研究を実施して目的の成果を上げており、2015年度の商用化初期段階以降の採用に向け、より安価で高強度、かつ信頼性の高い金属材料の開発を継続すると共に、それらの材料特性の継続的な検討と基準化・標準化に資するデータをも取得することにより実用化を図る。

以上

●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度9月末)

- ① アルミニウム合金の水素脆化感受性に及ぼす添加元素の影響を明らかに、水素脆化を示さず0.2%耐力が400MPa以上の合金系を見出すという開発目標を達成した。
- ② 0.2%耐力、切削性において6061合金を上回るバルブハウジング用合金を開発し、目標を達成した。
- ③ 0.2%耐力において6061合金を上回る口金等容器関連部材用の素材を開発し、目標を達成した。
- ④ トリチウムオートラジオグラフィなどの可視化法により、外部環境が水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトが同じであることを明らかにした。
- ⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。

●背景/研究内容・目的

車載用水素関係の金属材料には、耐水素脆性を示さずに高強度であることが求められる。本事業では、①アルミニウムの水素脆化性に及ぼす添加元素の影響を明らかにし、高強度で耐水素脆性を示さない合金系を見出す、②現行のSUS316Lを代替できる程度に高強度で切削性に優れたバルブハウジング用アルミニウム合金を開発する、③VH4容器の口金等車載関係部材用のアルミニウム鍛造合金を開発する、④水素の侵入サイトを明らかにする、⑤開発材の耐水素脆性を評価する、ことを目的とした。

●研究目標

実施項目	最終目標
①-1. Al-Mg系合金の耐水素脆性評価	Al-Mg-(Cu)合金の水素脆化感受性に及ぼすMg量、熱処理の影響を明らかにする。
①-2. 水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定	添加元素の影響を把握し、脆化感受性指数<0.2、耐力≥400MPaの合金系を見出す。
②高強度で切削性に優れたバルブハウジング用合金を開発する	耐力≥380MPaで、切削性が6061合金よりも優れ、水素用として使用可能な6000系合金を開発する。
③VH4容器の口金等の部材用の鍛造合金を開発する	耐力≥360MPaで、鍛造可能で、水素用として使用可能な6000系合金を開発する。
④水素の侵入サイトを可視化法により明らかにする	外部環境が、水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトの異同を明らかにする
⑤開発材の耐水素脆性を評価する	開発材の耐水素脆性を、湿潤大気中でのSSRT引張・疲労試験などにより評価する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ① Mg量5%で鋭敏化処理を行わない限りAl-Mg系合金は水素脆化を示さないことを確認した。添加元素の影響は、組合せや熱処理条件によっても変化することを見出した。開発目標(水素脆化感受性指数:0.2未満、耐力値:400MPa)を満たす合金系としてAl-Cu-Mg系合金を見出した。(図1)
- ② 試作合金の耐力は、380MPa以上で、切削性は標準の6061押出棒より優れていること、耐水素脆性、その他水素用材料として満たすべき基準を満たしていることを確認した。
- ③ 6069規格組成内の中で、Cu下限・Si過剰組成とした試作材で開発目標を達成した。6066規格組成の中で、主要組成Mg、Si、Cu、Mnの添加量を規格下限域とした試作材で目標達成の可能性が高いことを示した。
- ④ 6061、7075合金において、外部環境が水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトが同じ(第二相粒子)であることを明らかにした。
- ⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。

●今後の課題／スケジュール(H24年度末まで)

- ① Al-Cu-Mg系合金(必要に応じて耐食クラッド実施)の強度・耐水素脆化性以外の特性評価。
- ② 特性の裏付け解析。
- ③ 6066系開発材の熱処理条件の最適化。
- ④ 第二相粒子の侵入サイト効果の程度の解析。
- ⑤ 引張・疲労試験データの追加・蓄積

●実用化・事業化の見通し

使用実績を積みめば6000系開発合金の2015年市場投入は可能。Al-Cu-Mg系合金も耐食性改善の見通しがつけば、実用化の見込み大。

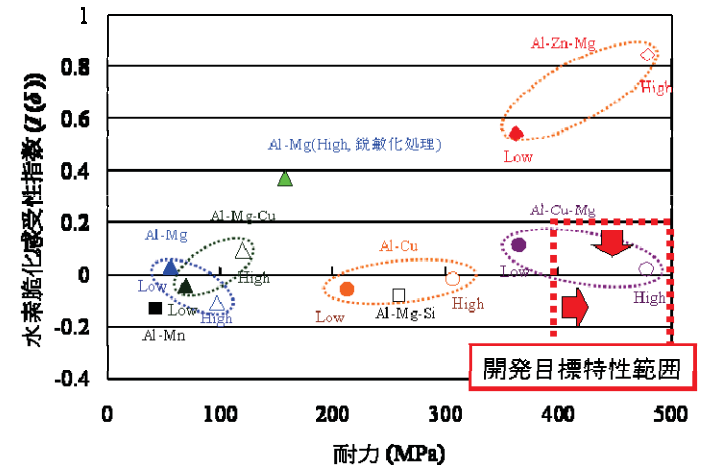


図1 各合金の水素脆化感受性と耐力の関係

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	添加元素の影響を明らかにし、耐水素脆性に優れかつ高強度の合金系を見出した。	○
②	高強度で切削性に優れたバルブハウジング用合金を開発した。	○
③	高強度の口金等容器関連部材用の素材を開発した。	○
④	水素侵入サイトを明らかにした。	○
⑤	開発材の耐水素脆性を評価し、問題のないことを確認しつつある。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	25	2	0

水素用アルミニウム材料の評価・開発

実施者：古河スカイ株式会社
日本軽金属株式会社
株式会社神戸製鋼所
国立大学法人茨城大学

1. 事業概要

本事業は、水素製造・輸送・貯蔵充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証した。すなわち、水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用するアルミニウム材料開発および国際標準化、規制見直しに資する材料データの取得、評価試験法の開発を行った。

平成 21 年度までの事業(以下、前事業と略記する)において、燃料電池自動車 (FCV) 搭載高圧水素容器用アルミニウム合金として 6061 合金を評価し、6061 合金の範囲内で上限まで Si 量を増量し高強度化した合金 (6061HS) を含めて安全性を確認した。70MPa 対応の例示基準策定に大きく貢献した。さらに高強度の 6000 系合金として 6066 および 6069 合金、また 7000 系合金として 7N01、7003 合金等について、水蒸気分圧制御環境下 SSRT 試験および疲労試験によって、その水素脆化感受性の評価を行い、これらの合金についても、高圧水素ガス中で使用する上での一定の指針を示した。

本事業では、これまで実施してきた自動車用高圧水素タンク等に加え、水素製造・輸送・貯蔵充填のための水素関連機器及びシステムの高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための開発をさらに加速するために、この種の機器・部材に要求されるアルミニウム材料の開発を目指した。また、FCV や水素インフラ (HIS) 等の普及促進のために、高圧水素環境下で使用するアルミニウム材料の安全性・信頼性等に係る材料評価試験法開発および材料データ取得を行った。本コンソーシアムでは、高圧水素環境下での材料試験装置を保有していないこと、及び当然ながら FCV 側・HIS 側のニーズ、規制当局側の見解などを総合的に踏まえて事業を進める必要があることから、関連 NEDO 事業の他コンソーシアムとの連携を密接に行った。

具体的な研究開発項目を表 1 に示すとともに、それぞれの事業概要を以下に記した。

表 1 研究開発項目

研究開発項目	担当 (再委託)
①耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発	古河スカイ株式会社
②バルブハウジング用アルミニウム素材の開発	日本軽金属株式会社
③口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発	株式会社神戸製鋼所
④アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析	国立大学法人茨城大学
⑤開発材の耐水素脆化性評価	古河スカイ株式会社 国立大学法人茨城大学
⑥関連 NEDO 事業との連携調整	国立大学法人茨城大学

①耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発

車載用高圧水素ガスタンクでは、ライナー素材に高強度かつ耐水素脆化性に優れた素材を用い、廉価な CFRP 適用によるタンクのコスト低減が求められている。一方、インフラ用水素タンクは、車載用タンクと比較して大容量が求められることから、大型構造物を構成するための優れた加工性も重要となる。大型一体成形を可能とする成形性、あるいは圧力容器としての高い信頼性が確保できる接合性が求められることになる。これらのことから、本事業では、最適なアルミニウム合金材料の選定を可能とするため、アルミニウムの水素脆化性に及ぼす添加元素の影響を明らかにすることを目的とした。

②バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

車載用高圧水素容器以外の水素用部品としてバルブハウジング（図 1）があり、こちらも軽量化・低コスト化のニーズが大きい。燃料電池自動車用水素容器のバルブハウジングは、現状ステンレスを切削加工することで作られている。しかし、ステンレスは素材比重が大きいことから部品が重くなること、難切削材料であるため加工時間が長く生産コストが高くなるなどの課題を有しており、軽合金で、かつ切削加工しやすい材料への期待が大きい。アルミニウム系材料はこれら課題を解決できる可能性を有しており、現行ボンベ材で使用される 6061 合金以上の強度を有し、かつ切削性、耐水素脆化性に優れた素材を開発できれば、軽量かつ切削性に優れた燃料電池自動車用水素容器のバルブハウジング素材を提供できる。そこで、部品形状に近い形の製造が可能な押出工法でバルブハウジング用アルミニウム合金素材を開発した。

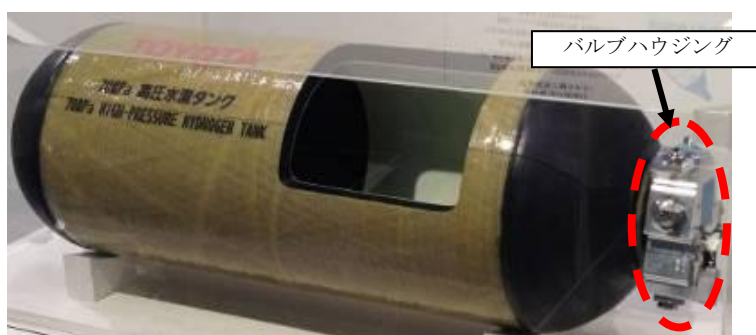


図 1 高圧水素タンクとバルブハウジング（トヨタ VH4 水素タンク；2011 東京モーターショー）

③口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

高圧水素ガス容器等への使用を、JARI-S001 が認めているアルミニウム合金は、中強度合金の 6061-T6 のみである。バルブハウジングや VH4 複合容器の口金においては、自緊処理が施されないため、高強度材適用による軽量化の効果は大きいと考える。茨城大学、古河スカイ株式会社、日本軽金属株式会社ならびに弊社(株)神戸製鋼所からなる共同事業体の中で、弊社は特に「口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発（口金部材）」に注力し、高強度 6000 系合金材適用による軽量化、さらには低コスト化の可能性を整理する。

④アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析

水蒸気雰囲気中での試験と高圧試験との関係づけを行った。市販のアルミニウム材は高圧水素中で水素脆化を示さないため、相関を取ることができない。そこでコンソーシアム内で特別に調製された試験材について、水蒸気雰囲気中および高圧水素ガス中での引張・疲労試験を行った。高圧試験は、(独)物質材料研究機構で開発された内圧型の手法を用いる。他方、理論的には両試験法での違いは、水素の侵入サイトおよび侵入量であり、これらについて両試験法で途中まで引張変形を与えた試験材について、各種手法により、水素侵入サイトが試験法によらないことを明らかにしようとした。

⑤開発材の耐水素脆化性評価

コンソーシアム内で調製された試験材について、水蒸気分圧制御大気環境下および内圧式の高圧水素ガス中での SSRT 引張、および疲労試験を行った。特定用途に限定した材料選定に当たる他の 2 企業の評価材とともに、大型水素用タンクに求められる成形性や接合性の観点から非熱処理系アルミニウム合金材料の水蒸気雰囲気試験による水素脆化性の評価を行った。

⑥関連 NEDO 事業との連携調整

FCV 側・HIS 側のニーズ、規制当局側の見解などを把握するために、NEDO 事業の他コンソーシアムとの連携を密接に行った。

2. 事業目標

2-1 コンソーシアム全体での目標

本事業では、これまでの水素社会構築のための燃料電池／水素エネルギー利用分野における技術開発成果や近年の社会動向を踏まえ、燃料電池自動車等の普及のための水素供給インフラ市場立上げ（平成 27 年（2015 年）頃を想定）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構築に用いるアルミニウム素材の開発およびその評価技術の確立を目的とした。

2-2 開発項目の目標

各研究開発項目の目標は以下の通りである。

①耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発 高強度アルミニウム合金材の開発目標

- (1)耐水素脆性：水素脆化感受性指数（ $I(\delta)$ 、乾燥窒素ガス環境を基準環境、RH90%環境を苛酷環境として SSRT 試験を行った際の伸びの低下割合）が 0.2 未満であること
- (2)材料強度：耐力値 400MPa 以上

②バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

現行の 6061 合金中の高強度材と同程度の押出性を有し、強度（0.2%耐力）が 15%高く（約 380MPa）かつ切削性、耐水素脆化性に優れるバルブハウジング用アルミニウム材料を開発することを目標とした。

③口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

口金等容器関連アルミニウム部材（口金部材）の想定目標仕様を表 2 の通り設定した。

なお、各数値は、要求仕様の調査、今後の試験ならびに調査結果を反映させ、適宜見直しを図る。引張特性のうち耐力は、高強度 6000 系合金口金部材と同工程（表 3、図 2）で作製した 6061-T6 材の耐力 (314MPa) に対して、+約 15% の 360MPa を当面の目標仕様値とした。

なお、高圧水素ガス容器ならびに周辺部材においても、耐水素脆化性の他に、「圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準（別添 9）」による一般耐食性も必要となることが示唆されたため、想定仕様には、同技術基準による一般耐食性も盛り込んだ。

表 2 口金等容器関連アルミニウム部材の想定仕様

		想定仕様1)	JIS H4140 (型打鍛造品) 2)
引張特性	引張強さ, MPa	—	265MPa 最小値)
	耐力, MPa	360MPa 以上 (実体)	245MPa (最小値)
	伸び, %	—	5% (最小値)
水素脆化感受性3)		6061-T6 と同程度	—
一般耐食性3)	粒界腐食深さ	200 μ m 以下 (ST 方向)	—
	耐SCC寿命	30 日間以上 (ST 方向)	—

1) 引張方向: LT。

2) 引張方向: 鍛造フローと平行とは異なる方向。

3) SSRT による特性評価、引張方向: LT。

4) 圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準 (別添 9) を鍛造部材に適用。

表 3 口金模擬鍛造品の製造工程 (鋳塊から最終調質まで)

鋳塊	均質化熱処理	面削	熱間鍛造	溶体化処理と焼入	高温時効
ブックモールド材 底部: Φ 65mm 上部: Φ 100mm 高さ: h200mm	550°C × 4hr	Φ 65 × h100mm	500°C 60mm/分 h100→h20mm	555 × 3hr →40°C 焼入	180°C × 9hr (T6) 190°C 過時効工程も実施

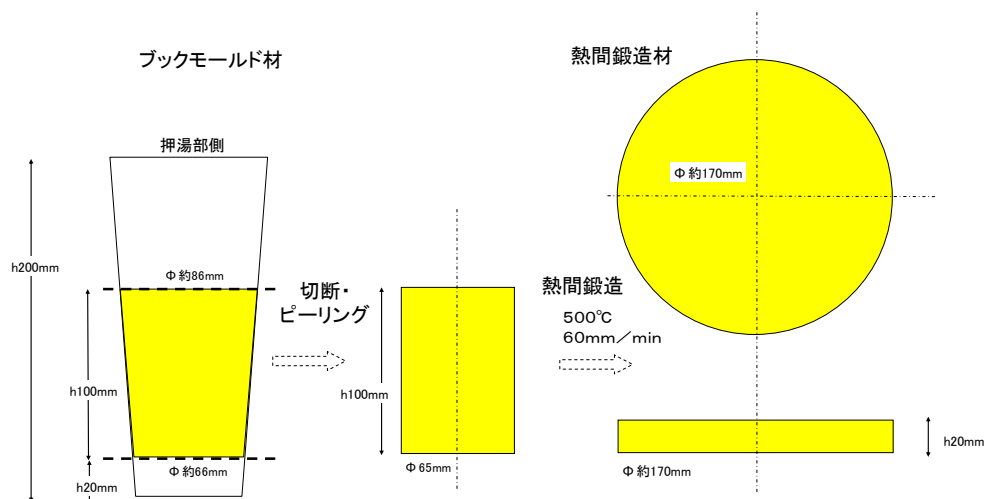


図 2 口金部模擬鍛造品の製造工程 (鋳塊から鍛造まで)

④ アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析

水素侵入サイトが環境によらないこと、水蒸気分圧を制御することにより水素侵入量も同等にできることを明らかにすることを目標とした。

⑤開発材の耐水素脆化性評価

コンソーシアム内で特別に調製された試験材について、水蒸気雰囲気中および高圧水素ガス中での引張・疲労試験を行い、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構築に用いるアルミニウム素材のデータを提供することを目標とした。

⑥関連 NEDO 事業との連携調整

FCV 側・HIS 側のニーズ、規制当局側の見解などを把握するために、NEDO 事業の他コンソーシアムとの連携を密接に行い、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構築に貢献することを目標とした。

3. 事業成果

3-1 耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発

(1) Al-Mg 系合金の耐水素脆性評価

インフラ用大型構造物を構成するために優れた強度とともに、特に良好な加工性が強く求められることから、これまでは重点を置いていなかった非熱処理型のアルミニウム合金について検討した。具体的には、非熱処理型のアルミニウム合金系の中で、比較的強度調整が可能で、成形性や接合性に富んだ 5000 系アルミニウム合金についての評価を行った。供試材として作製した Al-Mg 系合金の組成を表 4 に示す。Mg 量は低添加である 2.5mass% と高添加である 5.0mass% の 2 水準、Cu 量は無添加、および 0.4mass% 添加した 2 水準の計 4 材料を用いた。本供試材の製造方法は、DC 鑄造により作製した鑄塊を面削後に、450°C で加熱して 2~3 時間保持後に、熱間圧延（板厚 4mm まで）、冷間圧延（板厚 1mm まで）を行い、得られた冷間圧延板について、再結晶処理（500°C×1min）を行った。本合金板より JIS5 号試験片を圧延方向と直角方向に採取して、引張試験を行って調べた機械的特性を表 5 にまとめた。

表 4 供試材として作製した Al-Mg 系合金の成分（mass %）

合金系	合金名	Mg	Cu	Mn	Cr	Fe	Si	Ti
Al-Mg	Al-2.5Mg(Low-Mg)	2.41	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01
	Al-5.0Mg (High-Mg)	4.94	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.01
Al-Mg-Cu	Al-2.5Mg-Cu (Low-Mg-Cu)	2.51	0.41	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01
	Al-5.0Mg-Cu (High-Mg-Cu)	4.98	0.40	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01

表 5 供試材の機械的特性（N = 3 平均値）

合金名	TS, MPa	YS, MPa	EL, %
Al-2.5Mg	168	56	30.0
Al-5.0Mg	247	97	32.8
Al-2.5Mg-Cu	199	70	33.3
Al-5.0Mg-Cu	282	120	31.8

供試材の引張変形時の水素脆化感受性を調べるために、水蒸気分圧制御環境下での低ひ

ずみ速度引張試験（Slow strain rate tensile test: SSRT test）を実施した。試験片は供試圧延板から、引張方向が圧延方向に対して直角となるように採取し、SSRT 試験の雰囲気は、乾燥窒素ガス（Dry nitrogen gas、以下 DNG と略記）と、相対湿度 90%（以下 RH90% と略記）の 2 条件とした。DNG 環境の試験温度は、25～30℃の室温であり、RH90%環境の試験温度は、25℃とした。また、SSRT 試験のクロスヘッド速度は 0.0005mm/min（初期ひずみ速度 $6.94 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ ）とした。図 3 に、DNG、RH90%の各環境下試験により得られた破断伸びにより、以下の式（1）を用いて算出した水素脆化感受性指数を示す。再結晶処理を行った供試材では、いずれの場合も水素脆化感受性指数は 0.2 未満と低く、また観察結果は省略するが、いずれの場合も破断面は全面的に延性的なディンプル破面を呈しており、水素脆化が生じていないことが確認された。

$$\text{水素脆化感受性指数} = (\text{DNG 中伸び} - \text{RH90\% 中伸び}) / \text{DNG 中伸び} \quad \text{----式 (1)}$$

一方で、特に Mg 濃度が比較の高い Al-Mg 系合金では、Mg の粒界析出に伴う耐 SCC 性の経時劣化が知られていることから、促進試験として加工歪導入後に 150℃程度の高温で数時間の熱処理を施す鋭敏化処理を用いた評価が行われている。Al-Mg 系合金を水素用材料として適用するためには、耐水素脆性の経時劣化の有無についても確認する必要がある。そこで、鋭敏化処理を施した Al-5.0Mg 材について、水素脆化感受性評価を行った。

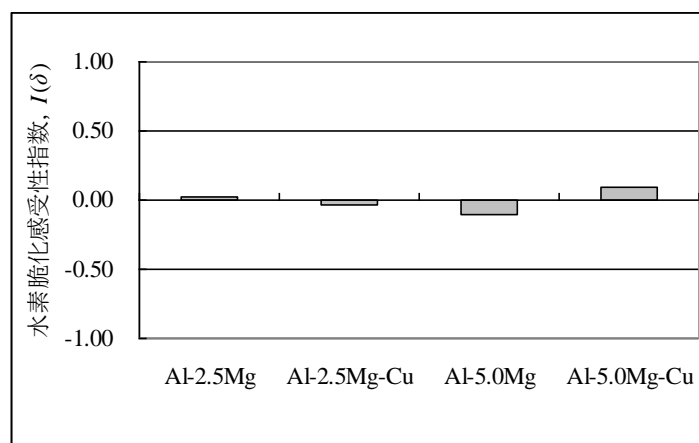


図 3 Al-Mg 系合金の水素脆化感受性指数

図 4 に、20%冷延後、150℃で 64h の鋭敏化処理を行った試料の水素脆化感受性指数を示す。この結果より、鋭敏化処理によって水素脆化感受性指数が若干増大することが確認された。図 5 に SSRT 試験後の破面を SEM にて観察した結果を示す。RH90%環境下における破面端部の一部では図 3 (c)に示すような粒界割れが確認され、RH90%環境下では脆性的な破面形態に変化した。これより、鋭敏化処理材では水素脆化によって粒界割れが生じ、延性が低下したものと考えられる。観察結果は省略するが、鋭敏化処理材では β 相が粒界に

析出していることが組織観察により確認しており、水素脆化感受性の増加は β 相の粒界析出に起因するものと考えられる。

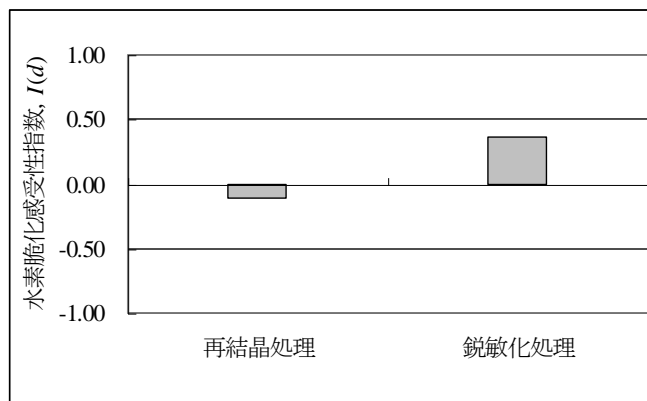


図4 鋭敏化処理を施した Al-5.0Mg 合金の水素脆化感受性指数

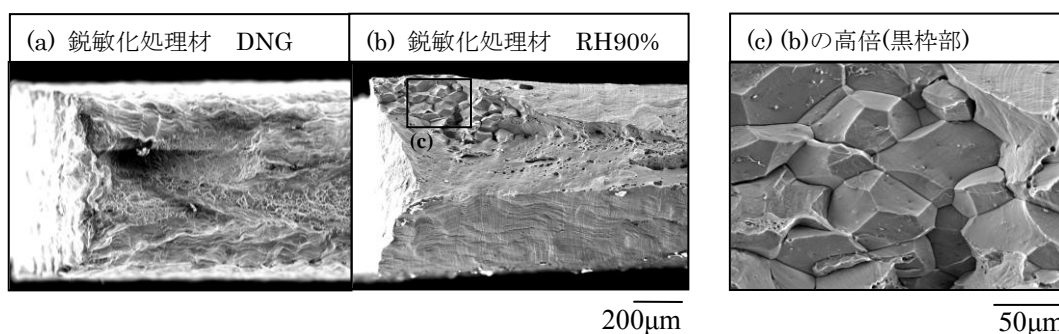


図5 鋭敏化処理を施した Al-5.0Mg 合金の SSRT 試験後の破面観察結果

(2) アルミニウム合金の水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定

平成 22～23 年度およびそれ以前のプロジェクトで評価を行った各種 2 元および 3 元合金の合金成分を表 6 に示した。また、上記 (1) にて Al-Mg 系合金について SSRT 試験により水素脆化感受性を評価した方法と同じ方法によって、これらの合金の水素脆化感受性指数を評価した結果を、各合金の耐力値とともに図 6 に示した。これらの合金の熱処理型の Al-Mg-Si 系、Al-Cu 系、Al-Cu-Mg 系、Al-Zn-Mg 系合金はいずれも最高強度が得られる T 6 処理材について評価を行い、他の Al-Mn 系および Al-Mg 系合金では、再結晶処理ままの状態の評価を行い、一部の Al-Mg 合金に関してはさらに鋭敏化処理を行った状態でも評価した。これらの処理を行った各合金の機械的特性（圧延直角方向に JIS5 号試験片を採取して引張試験により評価）を表 7 に示した。7000 系合金に相当する Al-Zn-Mg 合金においては低・高組成ともに高い水素脆化感受性を示した。一方これと同程度の高強度を有する 2000 系合金に相当する Al-Cu-Mg 系合金の水素脆化感受性は小さかった。また Al-Mn 合金および Al-Cu 系合金の水素脆化感受性も同様に小さかった。一方で、上記 (1) で述べたように Al-Mg 合金のうち Al-5.0%Mg 合金では、再結晶処理ままの状態では水素脆化感受性が小さかったものの、鋭敏化処理を行うと水素脆化感受性が増加することが確認された。以上の結果より、各種の添加元素は、水素脆性に対して、必ずしも単純に抑制元素・有害元素に分類されず、添加元素の組合せおよび熱処理条件等によっても変化することが示された。

また、以上の結果より、高強度かつ耐水素脆性に優れる（水素脆化感受性指数が小さい）合金としては、Al-Cu-Mg合金が最適であると判断された。

表6 各種2元および3元アルミニウム合金の成分(mass%)および機械的特性

合金系	表記	Mn	Cu	Zn	Mg	Fe	Si	Ti	Al	TS(MPa)	YS(MPa)	EL(%)
Al-Mn	Al-Mn	1.20	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.01	Bal.	105	43	42
Al-Mg-Si	Al-Mg-Si	0.00	0.00	0.00	0.82	0.06	0.82	0.02	Bal.	287	244	13
Al-Cu	Low-Cu	0.00	2.46	0.00	0.00	0.06	0.03	0.01	Bal.	213	118	14
	High-Cu	0.00	4.53	0.00	0.00	0.07	0.03	0.01	Bal.	307	203	13
Al-Cu-Mg	Low-Cu-Mg	0.00	4.52	0.00	0.48	0.07	0.03	0.01	Bal.	366	306	10
	High-Cu-Mg	0.00	4.50	0.00	1.48	0.06	0.03	0.01	Bal.	479	424	7
Al-Zn-Mg	Low-Zn-Mg	0.00	0.00	4.19	1.46	0.06	0.02	0.01	Bal.	362	312	15
	High-Zn-Mg	0.00	0.00	5.57	2.48	0.06	0.02	0.01	Bal.	479	444	11
Al-Mg	Low-Mg	0.00	0.00	0.00	2.41	0.04	0.02	0.01	Bal.	168	56	30
	High-Mg	0.00	0.00	0.00	4.94	0.06	0.02	0.01	Bal.	244	97	33
Al-Mg-Cu	Low-Mg-Cu	0.00	0.41	0.00	2.51	0.03	0.02	0.01	Bal.	199	70	33
	High-Mg-Cu	0.00	0.40	0.00	4.98	0.03	0.02	0.01	Bal.	279	120	32

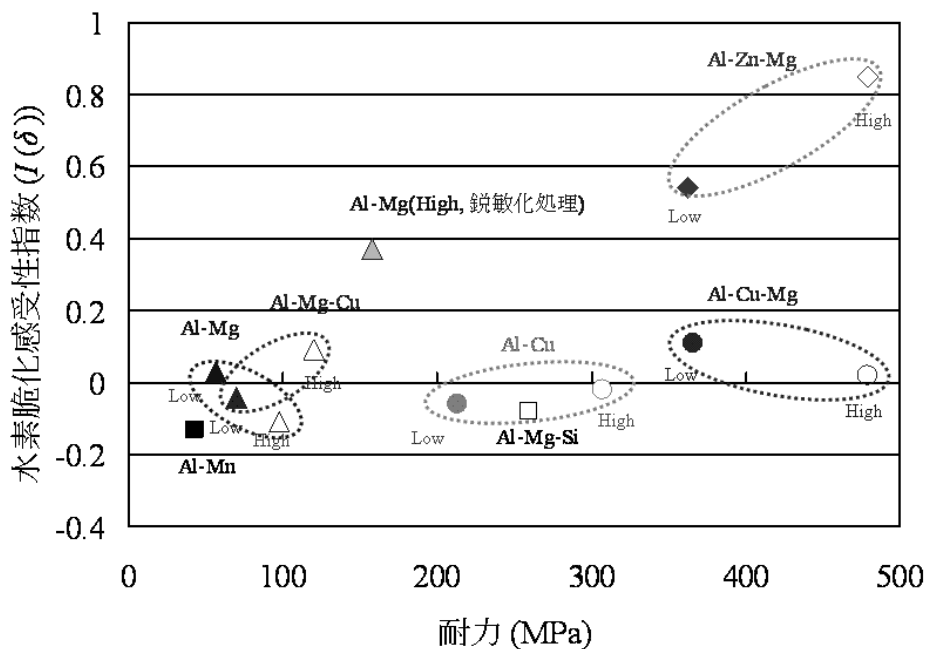


図6 各種2元および3元合金の水素脆化感受性指数と耐力値の関係

3-2 バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

(1) 設計した合金の組成

表7 合金組成

合金	組成(mass%)							備考
	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Cr	Ti	
1	1.00	0.78	0.35	0.16	-	0.24	0.02	6061HS BASE
2	0.80	0.78	0.80	0.16	-	0.24	0.02	Cu増による強度アップ
3	0.80	1.50	0.80	0.16	-	0.24	0.02	Si増による強度、切削性アップ
4	0.80	3.00	0.80	0.16	-	0.24	0.02	
5	0.80	3.00	0.50	0.16	-	0.24	0.02	No.4よりCu減で耐食性アップ
6	0.80	3.00	0.50	0.16	0.37	0.27	0.02	遷移元素増によるファイバー組織、強度アップ

表7に示す6種類の材料を選定し押出工法を用いてφ35mm（合金No.6のみはφ33mm）の丸棒をラボ試作（調質T6511）した。得られた材料の結晶粒組織および基本特性（引張特性、切削性、耐食性）を評価した。

(2) 材料のマクロ組織観察及び引張特性

マクロ観察により結晶粒組織を評価した結果を図7に示す。合金No.1~No.5は全面再結晶組織であったが、合金No.6は外周部を除きファイバー組織であった。引張特性の評価結果を表8に示す。合金No.6が0.2%耐力の目標である380MPa以上を達成した。そこで合金No.6に絞って切削性、耐食性、水素脆性などの評価を実施することとした。

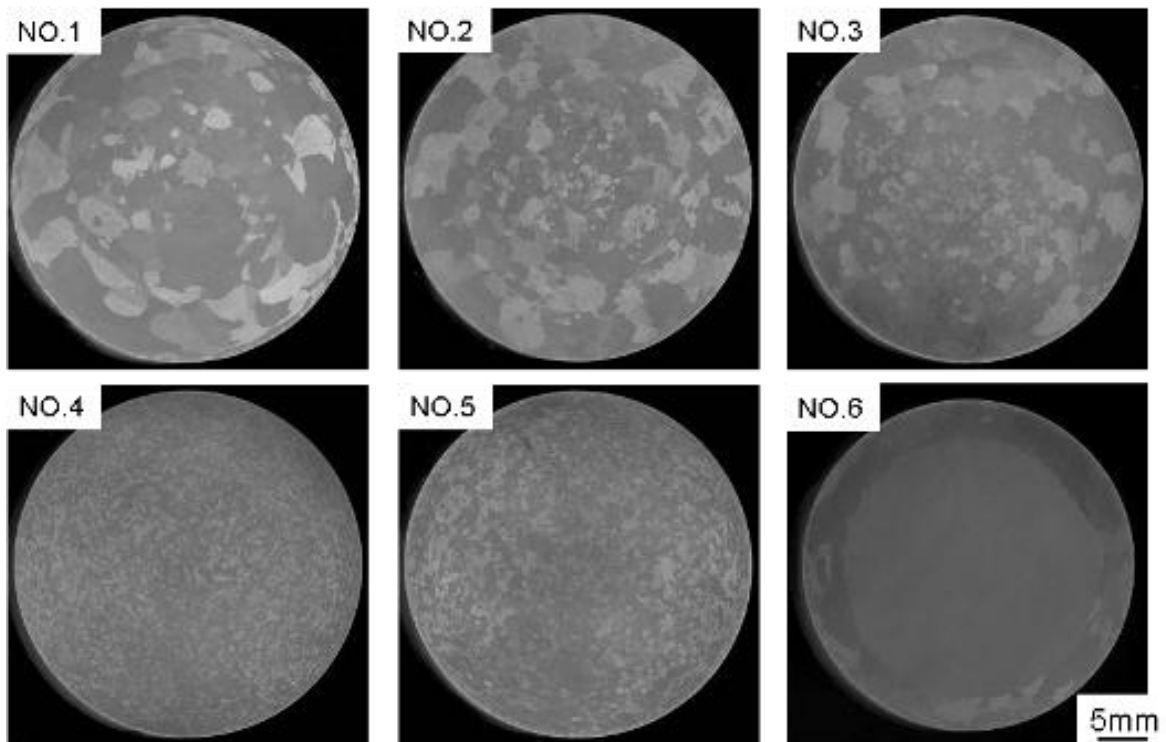


図7 押出棒のマクロ組織

表 8 押出棒 (T6511) の引張特性

合金No.	σ_B (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)
1	321	314	20
2	361	342	20
3	330	290	24
4	346	302	21
5	337	299	20
6	416	386	14

(3) 合金 No. 6 の切削性評価

切削性評価は、市販の 6061 合金押出棒 (調質 : T6) を比較材とした。ドリルにより穴あけ加工し加工面の粗さを測定した。粗さ測定結果を図 8 に示す、合金 No. 6 の加工面は 6061 より平滑であり、合金 No. 6 は良好な切削性を有していることを確認した。図 9 はドリル穴あけ加工後の切粉の外観写真である。合金 No. 6 の切粉は 6061 より細かい。切粉のドリルへの絡まりが少なく、ドリル切削加工性に優れることが示唆される。これらから、合金 No. 6 のドリル切削性は 6061 より優れることが明らかとなった。

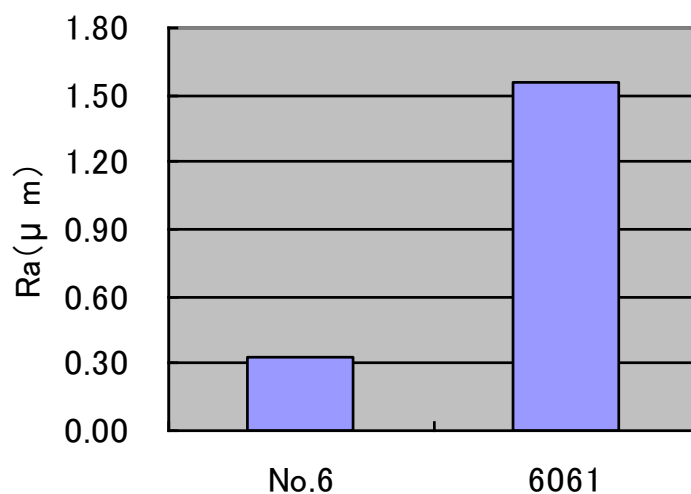


図 8 ドリル穴明け加工後の加工面の粗さ測定結果



図9 ドリル穴明け加工後の切粉外観写真（同重量で比較）

（4）合金 No. 6 の耐食性評価

社団法人日本ガス協会が作成した圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に基づく試験（粒界腐食試験）方法にて合金 No. 6 の耐食性を評価した。比較材は 6061 合金組成範囲内である合金 No. 1 とした。図 10 に粒界腐食試験後の外観写真を、腐食深さの測定結果を図 11 に示す。合金 No. 6 の試験後外観はやや黒っぽいが、腐食深さの最大値はいずれも $200\mu\text{m}$ 以下であった。

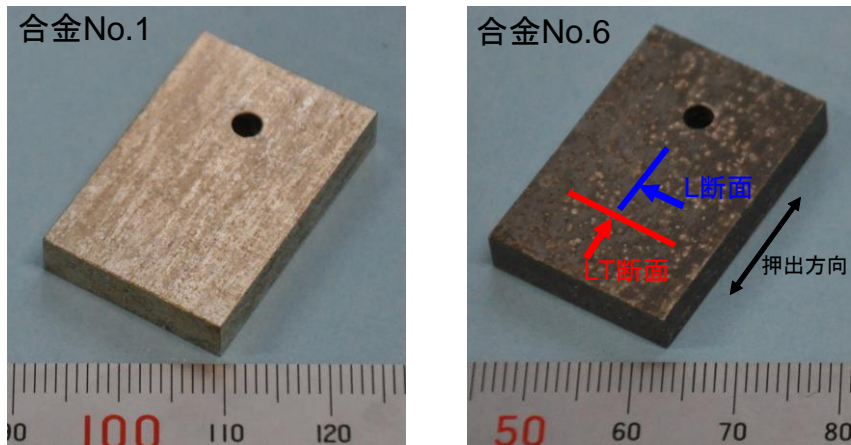


図 10 粒界腐食試験後の外観写真

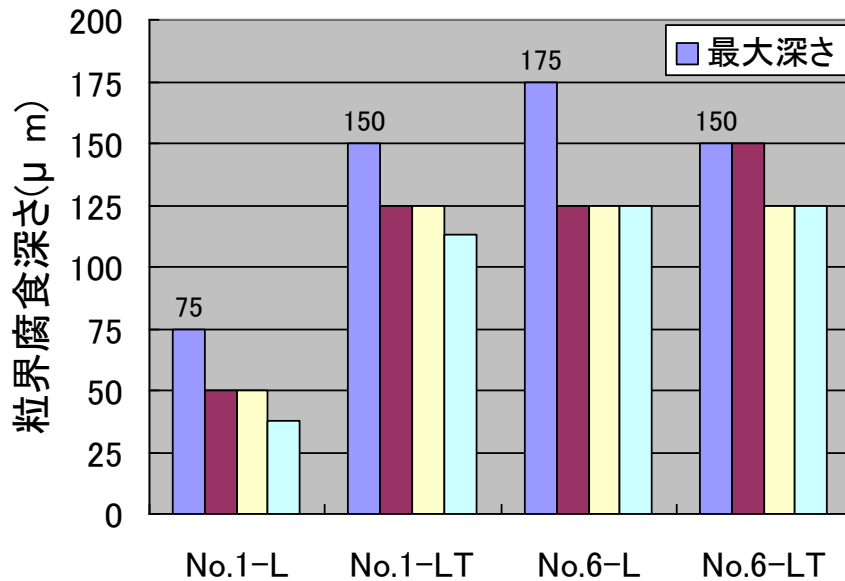


図 11 粒界腐食深さ測定結果

3-3 口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

高圧水素ガス容器の口金部(図 12)を対象に、高強度アルミニウム 6000 系合金の中より、過剰 Si 型高 Cu 添加の 6066-T6 ならびにバランス型高 Cu 添加の 6069-T6 を 2 種類の合金を選択した。口金部模擬鍛造部材の作製ならびに特性調査(引張特性、SSRT による脆化感受性、一般耐食性)を進めたところ、下記 2 種類の候補材を得た。

① バランス型高 Cu 系合金

- 6069 規格組成内の中で、表 9 および図 13 の合金番号⑪、⑫のように Cu 下限・Si 過剰組成を選択することにより、耐力が約 370MPa(図 14)で、脆化感受性は 6061-T6 と同等(図 15)、耐 SCC 寿命は 30 日間以上(図 16)、粒界腐食深さは 200 μm 以下(図 17)の口金等容器関連アルミニウム部材の想定仕様を満足することがわかった(表 10)。今後、確認調査を進めるとともに、過時効処理適用による一般耐食性の向上も図り、安定して仕様値を満足する組成・高温時効条件を把握する。

② 過剰 Si 型高 Cu 系合金

- 6066 規格組成の中で、合金番号①のように、主要組成 Mg、Si、Cu ならびに遷移元素 Mn の添加量を規格下限域とし、さらに高温時効処理ではやや過時効条件を選定(図 14, 16, 17 の図中に条件を記載)することにより、耐力は 335MPa(図 14)とやや低いものの、脆化感受性は 6061-T6 と同等(図 15)で、口金等容器関連アルミニウム部材の想定仕様の耐 SCC 寿命(図 16)、粒界深さ(図 17)を満足することがわかった(表 10)。今後、過時効条件を見直して耐力の向上を図り、候補材として継続して検討する。

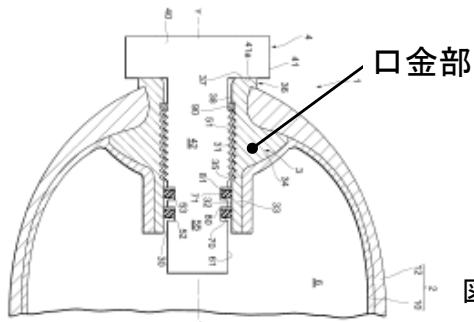


図12 口金部の例(特願2006-183522より)

表9 化学成分

		(wt%)											
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	V	Sr	
6069	中心組成	0.91	0.19	0.75	0.00	1.5	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	④
	Cu下限	0.91	0.19	0.52	0.00	1.5	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	⑤
	Cu下限(n2)	0.87	0.24	0.52	0.00	1.5	0.18	0.00	0.03	0.00	0.10	-	⑩
	CuSi下限	0.67	0.21	0.51	0.00	1.4	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	⑥
	CuSiMg下限	0.66	0.21	0.51	0.00	1.3	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	⑦
	Cu下限・過剰Si	1.08	0.24	0.51	0.00	1.5	0.18	0.00	0.03	0.00	0.10	-	⑪
	Cu下限・過剰Si-2	1.25	0.23	0.52	0.00	1.5	0.18	0.00	0.03	0.00	0.10	-	⑫
6066	中心組成	1.4	0.20	0.89	0.77	1.2	0.02	<0.01	0.02	-	-	-	②
	低組成	1.1	0.19	0.69	0.60	0.89	0.02	<0.01	0.03	-	-	-	①
6061	中心組成	0.61	0.21	0.26	<0.01	0.96	0.15	<0.01	0.03	-	-	-	③
規格	6069	0.6 /1.2	0.40	0.55 /1.0	0.05	1.2 /1.6	0.05 /0.30	0.05	0.10	-	0.01 /0.3	0.05	
	6066	0.9 /1.8	0.50	0.7 /1.2	0.6 /1.1	0.8 /1.4	0.40	0.25	0.20	-	-	-	
	6061	0.4 /0.8	0.7	0.15 /0.4	0.15	0.8 /1.2	0.04 /0.35	0.25	0.15	-	-	-	

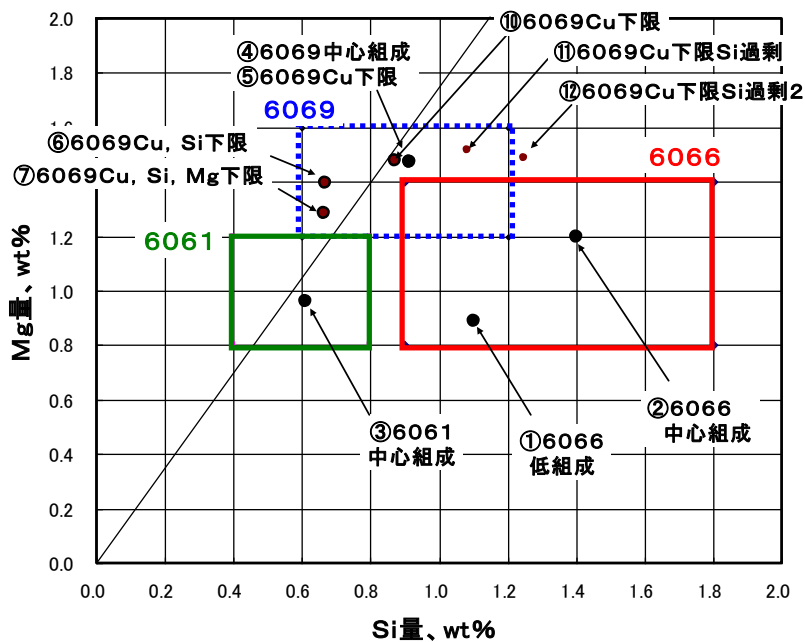


図13 供試材の化学成分(Si, Mg)

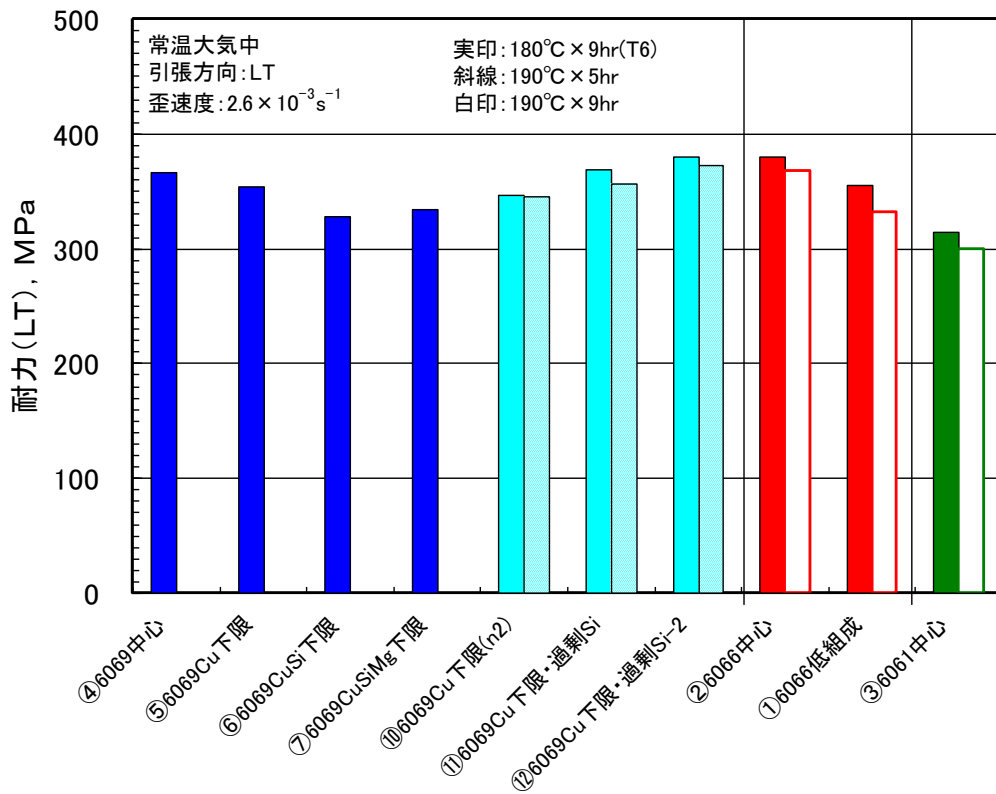


図 14 口金部模擬鍛造品の引張特性

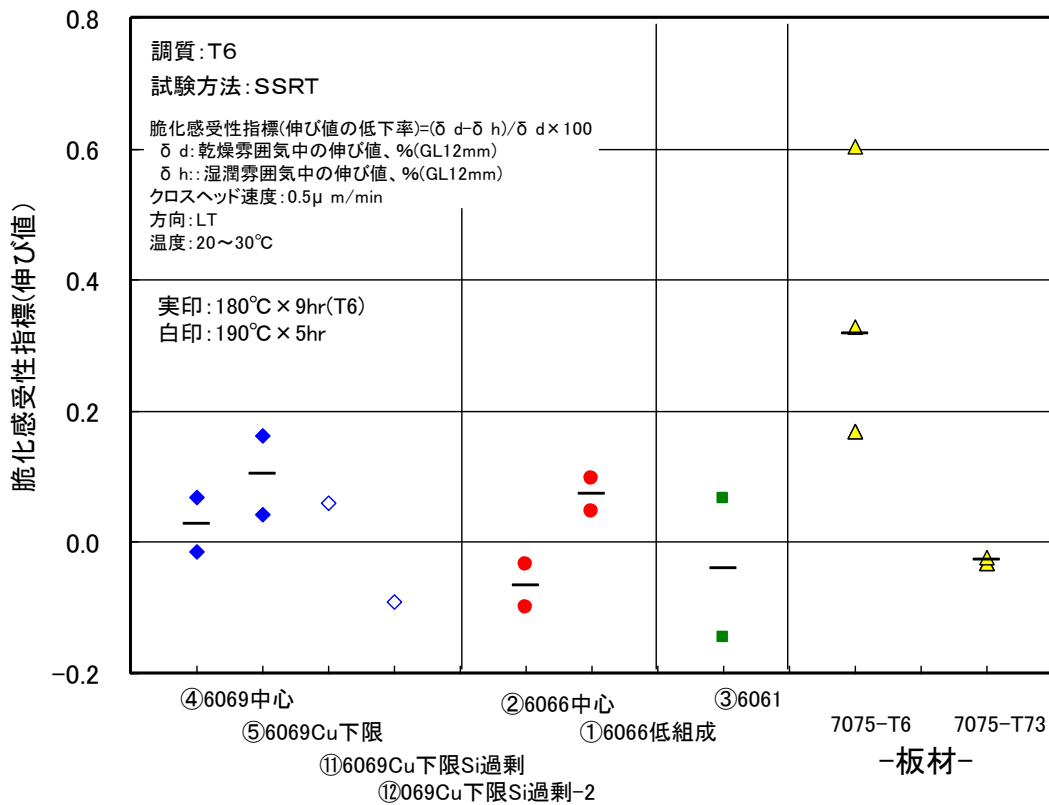


図 15 口金部模擬鍛造品の脆化感受性

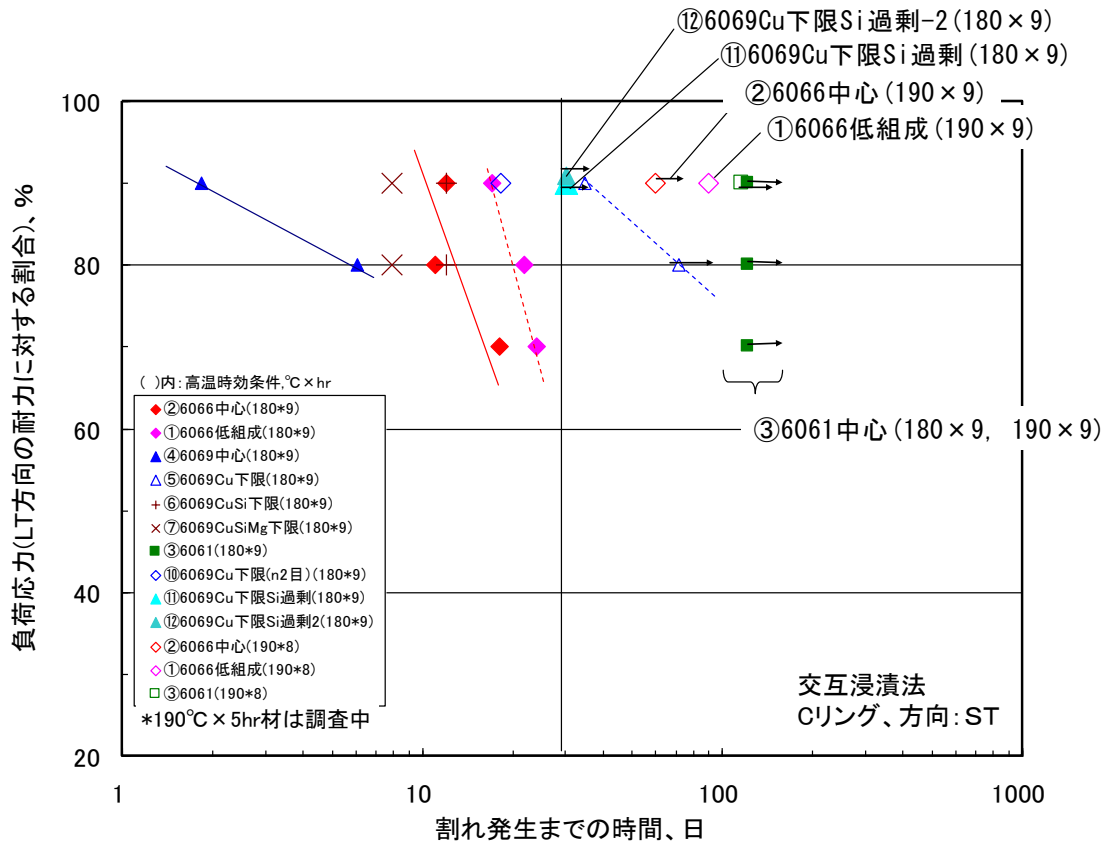


図 16 口金部模擬鍛造品の耐 SCC 性

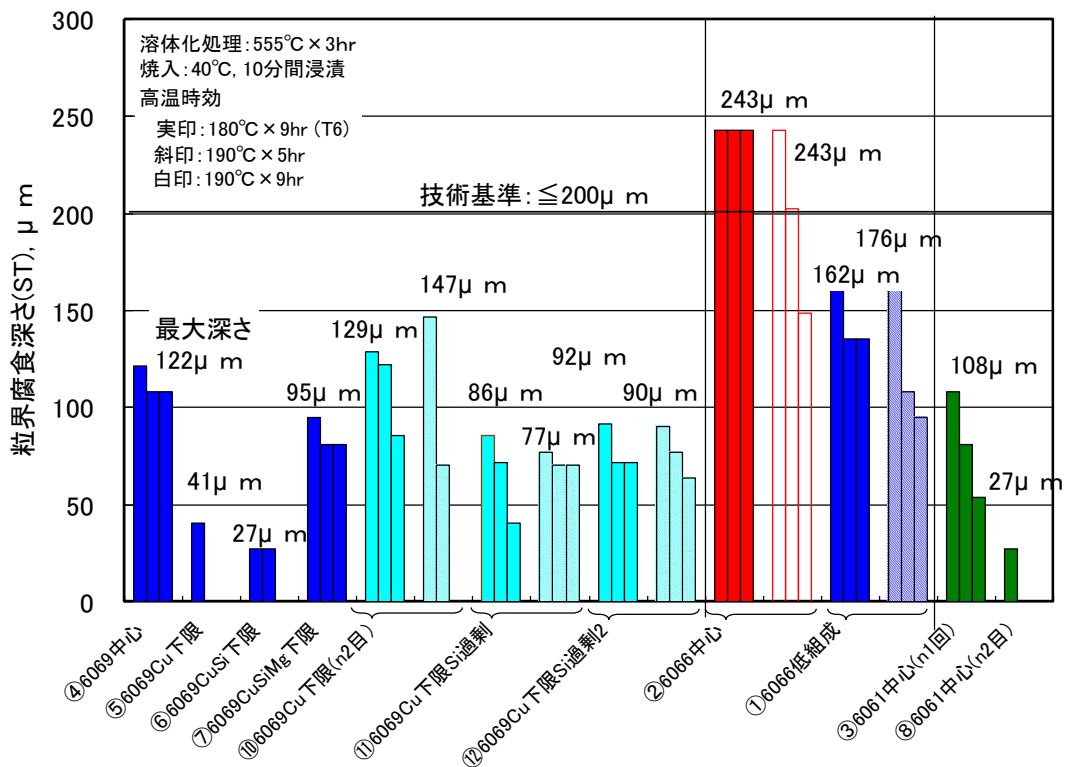


図 17 口金部模擬鍛造品の粒界腐食深さ

表 10 口金容器関連アルミニウム部材の想定仕様と候補材

		想定仕様1)	①6069Cu下限過剰Si材 180°C×9hr	②6069Cu下限過剰Si材- 2 180°C×9hr	③6066低組成材 190°C×9hr
引張特性	引張強さ, MPa	—	406	412	359
	耐力, MPa	360MPa以上 (実体)	369	380	332
	伸び, %	—	18	18	9
水素脆化感受性3)		6061-T6と同程度	←	←	←
一般耐食性3)	粒界腐食深さ	200 μm以下 (ST方向)	86	96	176
	耐SCC寿命	30日間以上 (ST方向)	≥30(継続中)	≥30(継続中)	≥30(×90)

- 1)引張方向:LT。
 2)引張方向:鍛造フローと平行とは異なる方向。
 3)SSRTによる特性評価、引張方向:LT。
 4)圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準(別添9)を鍛造部材に適用。

3-4 アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析 (茨城大学担当)

以下に研究開発項目ごとに内容と成果を述べる。

(a) 内圧型高圧水素環境下引張・疲労試験装置の製作

図 18 に高圧水素充填装置の概略(完成図)を示す。製作前は、図の V_1 と V_2 を一つのニードル弁(流量調節可能)とする予定であったが、ニードル弁の耐压性能の関係で、設計の変更を余儀なくされた。充填ガスとしてアルゴンを用い、液体窒素による冷却と室温への昇温の結果、圧力が約 2 倍上昇することを確認した。本来、平成 23 年度第 1 四半期に装置が完成しているはずであったが、東日本大震災の影響で、大幅に遅れ、とりあえず充填装置の組み立てが完了した段階である。液体窒素による冷却と室温への昇温による圧力上昇の確認を、実際の水素を用いて行ったが、上昇は認められなかった。そこで、液体ヘリウムを

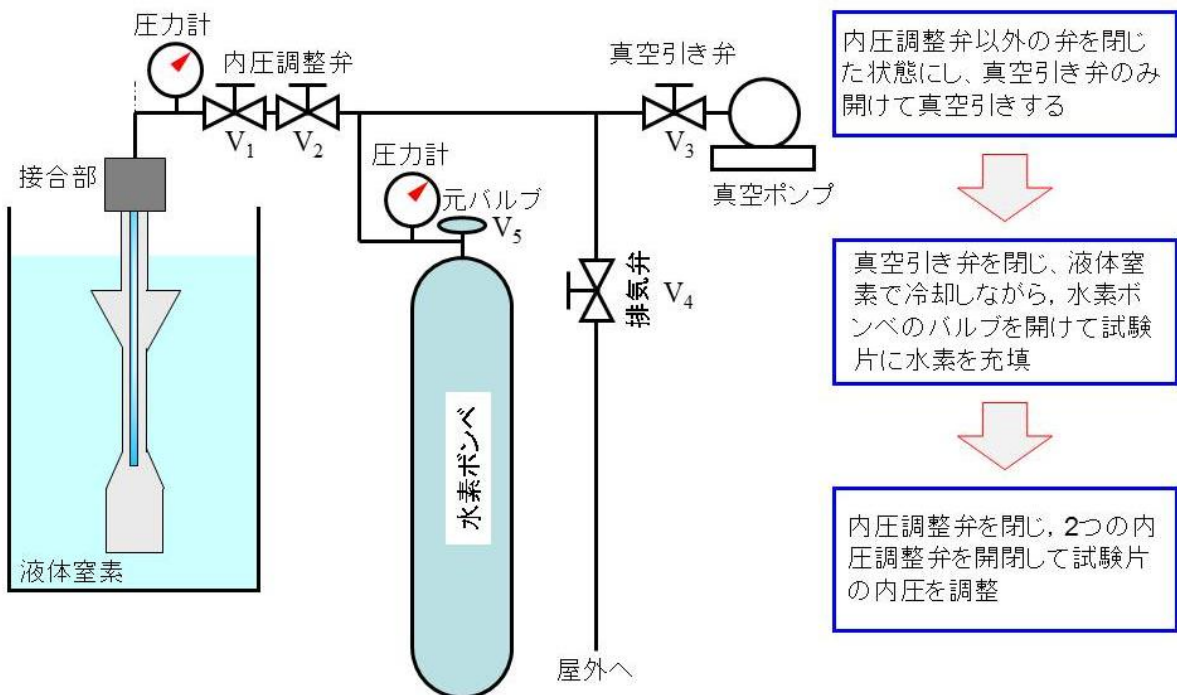


図 18 内圧型高圧水素環境下引張・疲労試験に用いる試験片の高圧水素充填装置の概略。

用いての圧力上昇を平成 24 年度第 3 四半期以降に確認し、試験する予定である。それまでの間ボンベ圧以下の圧力 (10MPa) で試験することとした (成果は項目 (g) で述べる)。

(b) 水蒸気分圧制御雰囲気中での引張・疲労試験

6061-T6 および 7075-T6 材を用い、疲労き裂進展試験および破壊靱性試験を行い、き裂進展特性および破壊靱性に及ぼす外部環境水素の影響を調べた。外部環境を実験室大気から、重水蒸気で飽和させた大気に変えても、き裂進展速度や破壊靱性に影響は見られなかった。

(c) 重水素・昇温脱離分析による侵入水素量の調査

上記のように、重水蒸気雰囲気中で疲労き裂進展および破壊靱性試験を行い、き裂前方 (確認できるき裂から 1mm 以上離れた位置) から試験片を切り出し、昇温脱離分析 (TDS) を行った。前年度、重水蒸気雰囲気中で負荷した材料において、重水素量が増加すると報告したが、無負荷で同じ雰囲気中に暴露した試験片における重水素増加量とほとんど差がなかった。したがって表面酸化膜に吸着または水和膜中の普通の水素と置換した重水素以外に、内部に侵入する水素 (重水素量の増加) は検出されないと結論された。

次に、疲労予き裂の入った厚さ 5mm、高さ 8mm、幅 25mm の最終試験片を使用し、試験片に水素をチャージする直前に試験片にテーパピンを挿入して予き裂を進展させた。そしてこの応力負荷状態にて陰極電解法を用いて水素チャージを行った。電解液には、水素再結合毒としてひ酸 2 ナトリウム 7 水和物 ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) を 1g/L 添加した 2N 硫酸水溶液を用い、試験片を陰極、白金を陽極とし電流密度約 $100\text{A}/\text{m}^2$ で 30min チャージを行った。チャージを行う際、チャージ面はき裂面および試験片中央部に設けられた切欠き面 (ワイヤー放電加工面) のみとし、他の面は絶縁テープにてマスキングを施した。き裂前方に侵入した水素を調査するため、き裂前方からき裂面と平行に $5 \times 5 \times 2\text{mm}$ の正方形の試片を切り出した。このとき表面 (き裂面) が含まれないようにするために、き裂に近い側の試片端面は、き裂が確認できなくなるまで湿式研磨し、#2000 で仕上げた。その後、これらの水素をチャージした試片、および応力は負荷するが無チャージの試片を TDS に供した。

TDS によって得られた各試験片の水素総放出量を図 19 に示す。6061 合金は応力を負荷し、水素チャージした試験片のほうが応力負荷、無チャージの試験片よりも水素放出量は多かった。これに対して 7075 合金では、チャージに伴う水素量の増加はほとんど見られない。

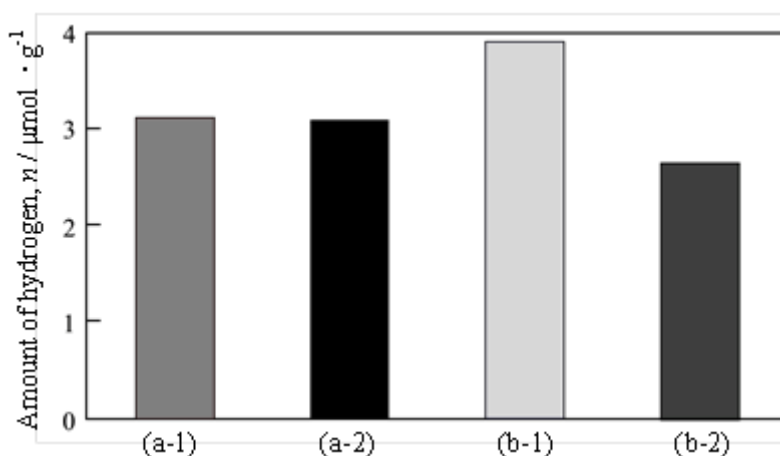


図 19 TDS により評価されたき裂前方における水素量。(a) 7075、(b) 6061 ; (1) 陰極電解チャージ材、(2) 無チャージ材。

無応力状態で陰極電解を行い、水素を可視化することのできる水素マイクロプリント法により水素侵入量を調査した結果では、7075 合金のほうが 6061 合金よりも水素侵入量が多い (67 倍) が、6061 合金では深さ約 $400\ \mu\text{m}$ まで侵入するのに対し、7075 合金では極浅い表面 (約 $5\ \mu\text{m}$) までしか水素は侵入しないと報告されている。本研究ではき裂表面に吸着した水素の影響を除き、き裂前方に侵入した水素量を調査するため、切り出した試片の端面からき裂が確認できなくなるまで研磨を行っている。そのため、き裂の先端から最大で $10\ \mu\text{m}$ 程度試料が除去された可能性がある。このことから、7075 合金ではき裂付与および応力負荷を行っても、き裂前方から採取した試片では陰極電解チャージしても水素量がほとんど増加しなかったと考えられた。

(d) トリチウムオートラジオグラフィ (TARG) による侵入サイトの調査

7075-T6 および 6061-T6 試験材にテーパピンを挿入して予き裂を進展させ、応力負荷状態にてトリチウムガス環境でトリチウムをチャージした。試験片は室温で圧力 453Pa のトリチウムガス (モル比で $T/(D+T)=0.16$ 、 T : トリチウム、 D : 重水素) 中に 3h 保持した。チャージ後、試験片深さ方向のトリチウム侵入挙動を観察するために、厚さを 5mm から約 2mm になるように切断し、切断面を耐水研磨紙にて #1500 までの湿式研磨で仕上げた。そしてイメージングプレート (IP) 上で 14d 露光した後、IP リーダーを用いて、光輝尽発光 (PSL) 強度を測定し、試験片に侵入したトリチウム分布を求めた。

各試験片のトリチウム (PSL 強度) 分布像を図 20 に示す。試験片は β 線 (PSL) 強度が高い黒色の領域で囲まれている。応力を負荷するためにテーパピンを挿入したことで試験片が変形している。 β 線強度は、試験片の表面 (図の試験片上下面、切欠き面、き裂面) の外側で高いが、これは表面に吸着したトリチウムが壊変した際に放出された β 線の影響を受けたものと考えられる (β 線の空気中の飛程は試料中の約 2200 倍)。き裂前方にトリチウムが侵入し、集中している様子は確認できなかった。

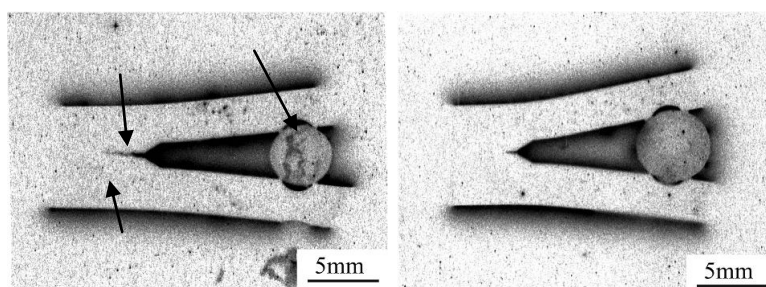


図 20 IP により計測された β 線像。(a) 7075、(b) 6061。

H22 年度に、水素脆化が報告された 7075 アルミニウム合金の主たる金属間化合物である $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 相が水素の侵入挙動に与える影響を、材料中に存在する水素の存在位置を調査するのに有効な手法であるトリチウムオートラジオグラフィ (TARG) を用いて調査した。TARG では、水素の放射性同位体であるトリチウムをトレーサーとして試料中に導入した後、写真用乳剤を試料表面に塗布し、トリチウムから放射される β 線による感光作用を利用するため、表面近傍にとどまっている水素 (トリチウム) を検出することができる。そして、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ 相は水素の侵入および拡散を助長する効果があることが明らかになった。しかし、7075 合金にはその他にも多くの金属間化合物を有しており、その中でも 7000 系合金の主要合金元

素である Mg、Zn からなる金属間化合物 ($MgZn_2$ 相) において、水素の侵入挙動に与える影響を明らかにすることは重要である。そこで H23 年度に、 $MgZn_2$ 相のみを生じ、その体積率が異なる 3 種類の Al-Zn-Mg 合金を作製し、TARG を用いて水素の侵入挙動を調査し、その結果と前報までの結果とを比較、検討した。

Zn と Mg の原子比が一定 (2 : 1) となるように組成を決定した 2 種類の合金 (Al-32Zn-6Mg、Al-11Zn-2Mg、組成は mass%)、および 7075 の組成範囲に入るよう Zn、Mg の組成を決定した合金 (Al-6Zn-3Mg、組成は mass%) を電気炉にて溶解し、六塩化エタンを用いた脱ガス処理を施した後、金型に鑄造し、厚さ 20mm×幅 27mm×長さ 200mm の鑄塊を作製した。これらの鑄塊を 440°C で 1d の均質化処理、厚さ方向に各面 3mm の両面面削、1.1mm 厚までの熱間圧延を行った。その後 Al-32Zn-6Mg には 410°C で 1h の焼鈍を施し、Al-11Zn-2Mg・Al-6Zn-3Mg には $MgZn_2$ 相の体積率を変える目的で、460°C で 1h5min の溶体化処理を施した後に、時効処理として Al-11Zn-2Mg は 110°C で 7h、その後 170°C で 24h 保持し、Al-6Zn-3Mg は室温で 24h、その後 120°C で 24h 保持した。これらの熱処理を施した板材から 12mm×12mm の試片を切り出し、両面を #2000 まで湿式研磨、そして片面のみアルミナ、ダイヤモンドペーストを用いたバフ研磨により鏡面に仕上げた。

これらの試片にトリチウムガスにより材料中へトリチウムをチャージした。チャージは、装置中の試料ホルダーに試片を入れた後に真空排気処理を施し、その後トリチウムガス ($T/(D+T)=0.16$) をホルダー内圧力が 1333Pa になるよう送り込み、その雰囲気下にて室温で 3h 保持した。

チャージ直後に、Al-32Zn-6Mg には表面および断面に、Al-11Zn-2Mg・Al-6Zn-3Mg には表面に暗室にて写真用乳剤 (コニカミノルタ NR-H2 を脱イオン水で 4 倍に希釈したもの) をワイヤーループ法により塗布した。なお断面はチャージ直後に試片を 2 つに切断した後、切断面を上述と同様の手法で鏡面に仕上げた後に乳剤を塗布した。乳剤を塗布した試片は、液体窒素中で 28d 露光した後、フジスーパープロドールを用いた 3.75min の現像およびスーパーフジフィックスを用いた 6min の定着処理を施し、SEM にて観察した。

各合金における表面の TARG/SEM 像を図 21 に示す。この Al-32Zn-6Mg および Al-11Zn-2Mg に見られる矢印部の白色粒子を EDXS 分析した結果、銀粒子であることを確認した。また、銀粒子は全て $MgZn_2$ 相上で検出された。一方 Al-6Zn-3Mg では銀粒子を検出することができなかった。このことから比較的大きな寸法 (0.5 μ m 以上) の $MgZn_2$ 相は水素の侵入サイトになると考えられた。

ここで、同手法を用いて 7075 の主要な金属間化合物である Al_7Cu_2Fe 相について調査した結果¹⁾と今回の Al-32Zn-6Mg の結果とを比較すると、表面での銀粒子の検出量が、 Al_7Cu_2Fe

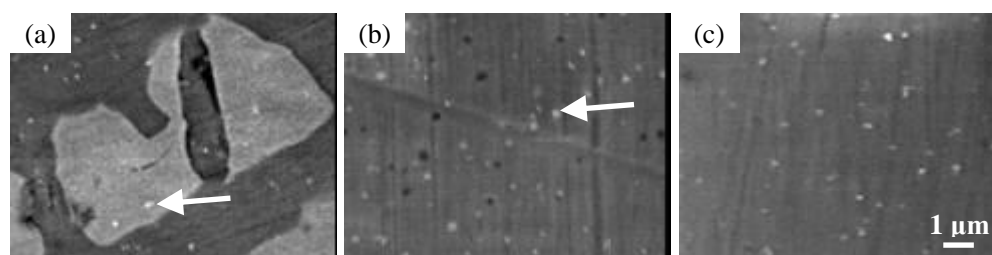


図 21 各試料の TARG/SEM 像。(a) Al-32Zn-6Mg、(b) Al-11Zn-2Mg、(c) Al-6Zn-3Mg。

>MgZn₂ であり、断面でのトリチウムの侵入深さも Al₇Cu₂Fe>MgZn₂ であることが分かった。これらのことから MgZn₂ 相の水素の侵入および拡散への助長効果は Al₇Cu₂Fe 相に比べ小さいと考えられた。そして、水素の侵入量が異なる要因としては、母相、MgZn₂ 相、Al₇Cu₂Fe 相それぞれの酸化皮膜が異なり、それらの酸化皮膜の水素の透過のしやすさが、Al₇Cu₂Fe 相>MgZn₂ 相>母相となっていることが考えられた。

(e) 調査結果のまとめ

以上の調査の結果を総合すると、き裂先端での水素の分布を明らかにすることはできなかったが、無応力の状態で、水素は水蒸気雰囲気や水素ガス環境から、比較的大きな寸法の MgZn₂ 相をサイトとして侵入すると考えられた。しかし MgZn₂ 相は Al₇Cu₂Fe 相よりも侵入を助長する効果が少ないことが分かった。ただし今回の結果は、応力を負荷しない場合であったので、平成 24 年度は応力負荷の影響を明らかにする予定である。

(f) 関連 NEDO 事業との連携調整

3-6 節に記載した。

(g) 内圧型高圧水素環境下引張・疲労試験

3-5 節に記載した。

【参考文献】

- 1) 伊藤吾朗, 渡壁尚仁, 波多野雄治: 軽金属学会第 120 回春期大会講演概要, (2011), pp. 33-34.

3-5 開発材の耐水素脆化性評価

3-2 で設計・試作した 6 種類の合金の耐水素脆性評価を茨城大学で行った。項目 3-4 (a) で製作したシステムに液体窒素を用いて水素ガスの昇圧を試みたが、圧力の上昇が認められなかった。同じ内圧型の試験片 (図 22) を用いて、ボンベ圧以下の一定圧力 (10MPa) の水素または窒素ガスを充てんして試験した。試験条件を表 11 に示す。各合金

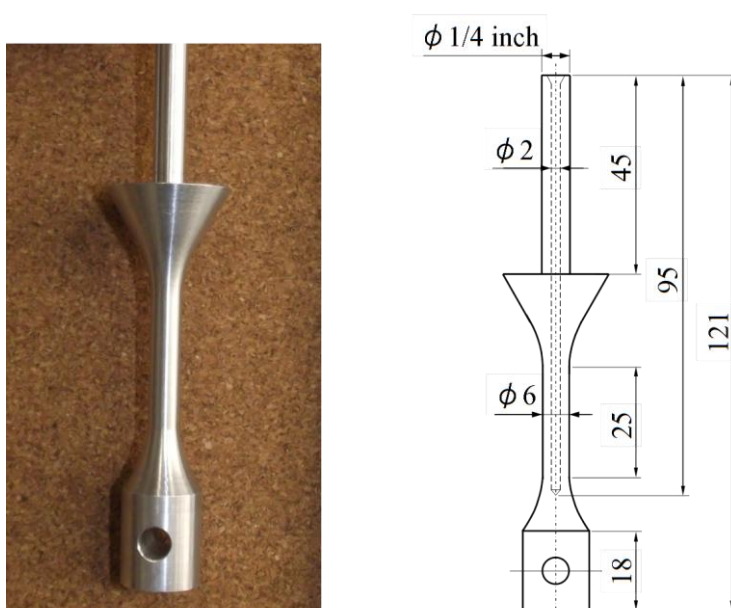


図 22 内圧型引張試験片の外観、形状、寸法 (断りのない数値は、mm 単位)

表 11 内圧型引張試験片を用いて行った引張試験条件。

試験圧力[MPa]		10	
試験環境	試験片内	窒素ガス	水素ガス
	試験片外	大気	
	温度[°C]	25	
初期ひずみ速度[s ⁻¹]		2.67×10 ⁻⁵	

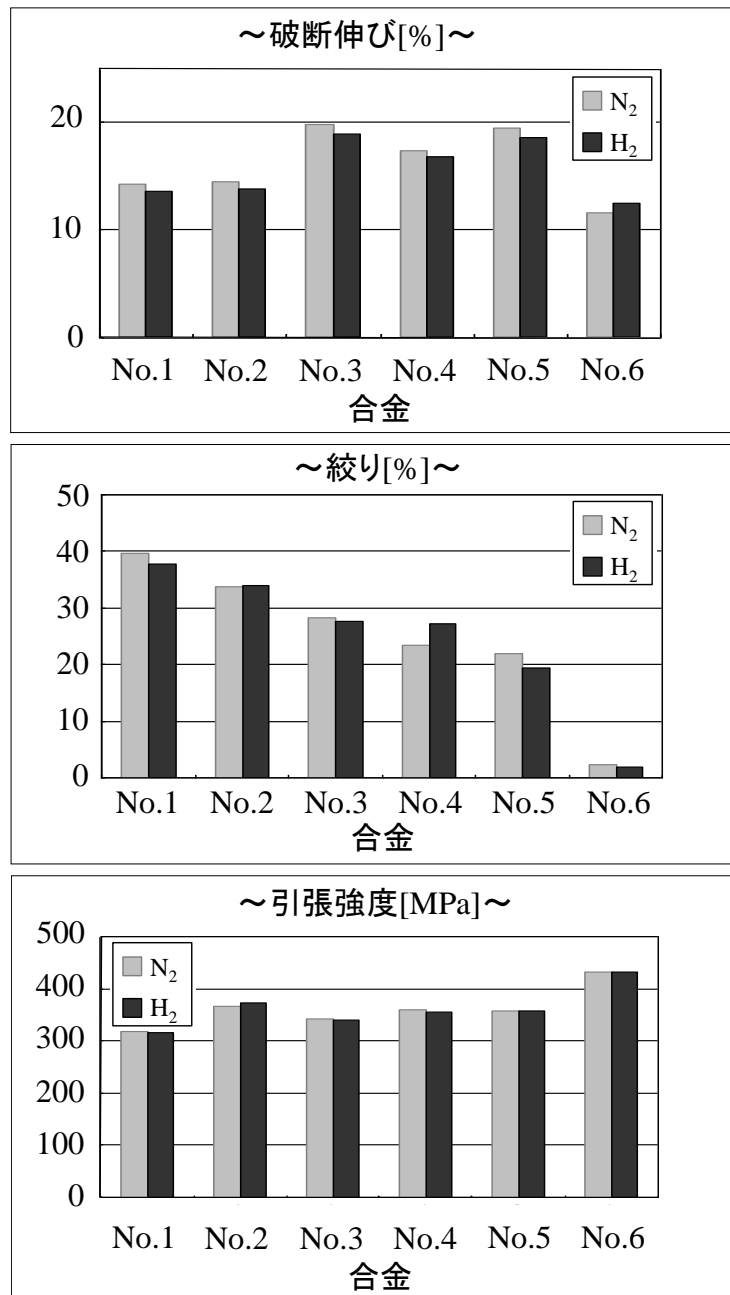


図 22 表 11 の条件で試験して得られた各合金の破断伸び、絞り、引張強さ。

の水素および窒素雰囲気における破断伸び、破断絞り、引張強さを図 23 に示した。なお、破断絞りは試験前の断面積を測定できなかったため、設計寸法通りに加工されているとして試験前断面積を算出し、一方試験後の断面積は破面の SEM 像から測定した。これより、0.2%耐力が目標の 380MPa 以上を達成した No.6 をはじめすべての試験材において、十分な耐水素脆性を示すことが確認される。同じ試験材について、1 気圧の湿潤大気中および乾燥窒素中で SSRT 引張試験し、耐水素脆性の評価を進めている。

項目 3-4(a)で製作したシステムに液体ヘリウムを用い水素ガスの昇圧を検討しているが、液体ヘリウム供給業者（太陽日酸東関東）からは、日立地域で企業等からまとまった量の発注があった時のみ供給できるとのことで、その時期を待っている状態である。

3-3で試作した開発材の湿潤大気中での疲労試験を古河スカイ(株)で実施中である。

3-6 関連 NEDO 事業との連携調整

これまで、平成 22 年 11 月 18 日、平成 22 年 12 月 22 日、平成 23 年 2 月 28 日、平成 23 年 6 月 28 日、平成 23 年 9 月 26 日、平成 23 年 12 月 7 日、平成 24 年 2 月 22 日、平成 24 年 6 月 27 日の計 8 回水素用アルミニウム材料の評価・開発研究調整WGを開催し、グループ内での研究の進捗状況の確認、その後の研究計画の調整を密接に行った。また、平成 23 年 2 月 28 日、平成 23 年 10 月 21 日、平成 24 年 7 月 20 日に水素用アルミニウム材料の評価・開発事業 推進委員会を開催し、グループ構成機関のメンバーに、高圧ガス保安協会および自動車工業会メンバー・オブザーバーを加えて、規制の見直しの方向を議論した。

さらに、財団法人石油産業活性化センター主催の水素ステーションの技術基準に関する検討「複合容器分科会」の委員として、伊藤が参画し、アルミニウム材料に関する知見を提供し、ステーションにおける複合容器の技術基準策定に貢献した。他方、その基準策定の過程から逆にアルミニウム材料の課題を抽出し、今後の検討に生かす予定である。

その他に、平成 22 年 12 月 13 日に水素用材料評価関係者会議、平成 23 年 6 月 8 日水素系材料評価法検討会準備会、平成 23 年 8 月 2 日第 1 回水素系材料評価法検討会、平成 23 年 10 月 26 日に第 2 回水素系材料評価法検討会に、伊藤が委員として参画し、国際標準化や材料評価法に関する情報収集を行うとともに、アルミニウム材料の研究開発の状況を述べ、国際標準化や材料評価法の進展に貢献した。

これらと平行して、HYDROGENIUS（水素先端科学基礎研究事業）と連携し、VH3 複合容器のステーション蓄圧器への利用に関する規制緩和をめざし、これに必要な 100MPa 級の高圧水素中での試験のための材料提供を行った。

3-7 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT**出願	査読付き	その他	
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	7 件	0 件
H23FY	0 件	0 件	1 件	0 件	11 件	0 件
H24FY	2 件	0 件	0 件	1 件	6 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

以上、得られた成果のまとめ及び課題を研究開発項目ごとに、以下に記す。

(1) 耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発

- ・ Al-Mg 系合金は、再結晶処理ままの状態においては水素脆化を示さないことが確認されたが、このうち Al-5.0Mg 材について、鋭敏化処理（20%冷延後に 150°C で 64 時間時効処理）を行うと、若干水素脆化感受性指数が増加して、試料の破断面の一部で粒界割れを伴う水素脆化が生じることが確認された。
- ・ 上記の Al-Mg 系合金に加えて、過去の水素脆化感受性を評価した各種の 2 元および 3 元アルミニウム合金の評価結果より、アルミニウムに対する各種の添加元素は、その水素脆化に対して必ずしも単純に抑制元素や有害元素に分類されるわけではなく、添加元素の組合せによって大きく変化し、また熱処理条件等によっても変化することが示された。
- ・ アルミニウム合金の水素脆化性に及ぼす各種添加元素の影響について評価した結果、優れた耐水素脆性と高強度を合わせ持つ合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出し、水素脆化感受性指数（ $I(\delta)$ ）が 0.2 未満、耐力値 400MPa の両方を満足するアルミニウム合金の基本組成を見出すことができた。

(2) バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

- ・ 6 種類の合金の設計、試作及び試作材の特性評価を行った。その中で、合金 No. 6 の 0.2% 耐力が目標の 380MPa 以上を達成した。また、合金 No. 6 の切削性は市販の 6061 押出棒より優れていることを確認した。現在、合金 No. 6 の応力腐食割れ感受性評価（日本軽金属）及び耐水素脆性評価（茨城大学）を実行中である。

(3) 口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

- ・ 口金等容器関連アルミニウム部材向け高強度 6000 系合金として、6066 合金では 6066Cu 下限過剰 Si 材、6069 合金では主要組成 Mg、Si、Cu ならびに遷移元素 Mn の添加量を低減し、且つ過時効処理を施した 6066 低組成材を候補材とすることが出来た。耐力の向上とともに安定して仕様値を満足する最適な組成・高温時効条件の把握を今後も継続するものの、高圧水素ガス雰囲気中での評価試験機には限りがあり、実環境下での材料特性評価が難しい状況にある。評価では、実形状に試作した口金部材の調査ならびに課題の抽出は必要と考える。なお、口金部材は、容器材に比べて、高強度化によるメリットを数値化することは、現状は難しく水素推進委員会等からも意見をヒアリングし、最終報告書に向け明確にしてゆきたい。

(4) アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析

- ・ 湿潤大気中での SSRT 試験は、高圧水素ガス中での試験に比べて、厳しいことが分かっている。そして湿潤大気中での SSRT 試験でも、脆化を示す合金は限られている。長期的課題として、アルミニウム合金の場合、高圧水素中での試験を不要として、基準に盛り込めるようにしたい。むしろ、圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に基づく試験（粒界腐食、応力腐食割れ、長期負荷割れ）のほうが、ハードルが高い。これについても、圧縮天然ガスのように金属単体容器に必要な試験が、VH3 容器にも必要かどうかなど、必要に応じて実験を行いつつ、安全を担保しつつも効率的な試験方法の確立を追及する必要がある。

- ・き裂先端での水素の分布を明らかにすることはできなかったが、無応力の状態で、水素は水蒸気雰囲気や水素ガス環境から、比較的大きな寸法の $MgZn_2$ 相をサイトとして侵入すると考えられた。しかし $MgZn_2$ 相は Al_7Cu_2Fe 相よりも侵入を助長する効果が少ないことが分かった。ただし今回の結果は、応力を負荷しない場合であったので、平成 24 年度は応力負荷の影響を明らかにする予定である。

(5) 開発材の耐水素脆化性評価

- ・3-2 で設計・試作した 6 種類の合金の特性評価を行った。その中で、0.2% 耐力が目標の 380MPa 以上を達成した No.6 の耐水素脆性評価を 10MPa の水素ガス中で行った結果、十分な耐水素脆性を示すことを確認した。
- ・種々のアルミニウム合金の水素脆化性を評価した結果、優れた耐水素脆性と高強度を合わせ持つ合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出し、水素脆化感受性指数 ($I(\delta)$) が 0.2 未満、耐力値 400MPa の両方を満足するアルミニウム合金の基本組成を見出すことができた。

(6) 関連 NEDO 事業との連携調整

- ・これまで、計 8 回水素用アルミニウム材料の評価・開発研究調整WGを開催し、グループ内での研究の進捗状況の確認、その後の研究計画の調整を密接に行った。また、計 3 回水素用アルミニウム材料の評価・開発事業推進委員会を開催し、グループ構成機関のメンバーに、高圧ガス保安協会および自動車工業会メンバー・オブザーバーを加えて、規制の見直しの方向を議論した。
- ・財団法人石油産業活性化センター主催の水素ステーションの技術基準に関する検討「複合容器分科会」の委員として、伊藤が参画し、アルミニウム材料に関する知見を提供し、ステーションにおける複合容器の技術基準策定に貢献した。他方、その基準策定の過程から逆にアルミニウム材料の課題を抽出し、今後の検討に生かす予定である。
- ・NEDO主催の水素系材料評価法に関係する関係者の協議会に参画し、国際標準化や材料評価法に関する情報収集を行うとともに、アルミニウム材料の研究開発の状況を述べ、国際標準化や材料評価法の進展に貢献した。
- ・HYDROGENIUS（水素先端科学基礎研究事業）と連携し、VH3 複合容器のステーション蓄圧器への利用に関する規制緩和をめざし、これに必要な 100MPa 級の高圧水素中での試験のための材料提供を行った。

5. 実用化・事業化見通し

開発に関係する項目について、項目ごとに実用化・事業化の見通しを以下に記す。

- (1) 優れた耐水素脆性と高強度を合わせ持つ Al-Cu-Mg 合金は一般耐食性に劣ることが懸念されるので、純アルミニウムを表面にクラッドするなどの技術と組合せて、一般耐食性を改善した上で、実用化に向けてユーザー提案を行っていく予定である。
- (2) 今後、実用化に当たって、2013 年度までにバルブハウジングメーカーへ開発合金素材を提供し、実際にバルブハウジングの作製を行うとともに、実環境下での検証を進め、素材製造事業化へつなげる。
- (3) 本研究開発で得られた口金等容器関連アルミニウム部材向け高強度 6000 系合金の成果を元に、継続して認証に必要な高圧水素ガス中等でのデータを整備し、早期の市

場投入を進めたい。また、VH3 容器向け材にも展開していきたい。

本研究開発で得られた成果を基に、新たに材料種拡大の基準策定を進めれば、2015 年頃より市場投入予定の HIS および FCV に、本研究開発で提案した材料が使用される可能性が大である。