

# 「水素利用等先導研究開発事業」

## 事業原簿【公開】

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

## —目次—

### 概要 プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について	
1. 事業の背景・目的・位置づけ	5-1-14
2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	5-1-14
2.1 NEDOが関与することの意義	5-1-14
2.2 実施の効果(費用対効果)	5-1-14
2. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	5-1-15
2. 事業の計画内容	5-1-15
2.1 研究開発の内容	5-1-15
2.2 研究開発の実施体制	5-1-66
2.3 研究開発の運営管理	5-1-66
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	5-1-66
3. 情勢変化への対応	5-1-67
4. 中間評価結果への対応	5-1-67
5. 評価に関する事項	5-1-67
3. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	5-1-68
2. 研究開発項目毎の成果	5-1-68
4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて	
(添付資料)	
・「水素利用等先導研究開発事業」基本計画	
・事前評価報告書(産業構造審議会産業技術分科会 評価小委員会)	
・事前評価書(NEDO)	
・特許論文等リスト	

# 概要

		最終更新日	2015年7月24日				
プロジェクト名	水素利用等先導研究開発事業	プロジェクト番号	P14021				
担当推進部/担当者	新エネルギー部 主任研究員(PM) 大平 英二 (H26年4月～H27年7月) 新エネルギー部 主査 橋本 秀昭 (H26年4月～H26年9月) 新エネルギー部 主査 久保 和也 (H26年4月～H27年6月) 新エネルギー部 主査 高橋 誠一郎 (H26年4月～H27年3月) 新エネルギー部 主査 城 衛 (H26年10月～H27年7月) 新エネルギー部 主査 坂口 善樹 (H27年4月～H27年7月) 新エネルギー部 主査 寺尾 勝廣 (H27年7月～H27年7月)						
0. 事業の概要	<p>将来の二次エネルギーとして、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、このような水素を本格的に利活用する水素社会を実現していくことが求められている。</p> <p>本事業では、二次エネルギーとしての水素等を最大限に活用するため、2030年といった長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料と競合できる価格の実現を目指す。このため、4年間の期間で再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術ならびに水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術の先導的な研究開発に取り組む。</p> <p>※研究開発の実施期間について</p> <p>経済産業省は、未来開拓研究プロジェクト「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」の事業期間として平成25年度から平成34年度(10年間)を予定し、平成25年度から平成29年度までの5年間の実施体制を公募した。同事業がNEDOへ移管することを受け、NEDOは平成26年度から平成29年度までの4年間の基本計画を策定し、研究開発を実施する。</p>						
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>福島第一原子力発電所における事故に対し「国民の安全の確保」を最優先とした上で、望ましいエネルギーミックスが可能となるようなエネルギー供給体制を構築することが求められている。</p> <p>エネルギーミックスの実現には、社会インフラの変革をも視野に入れ、省エネルギー・節電対策を抜本的に強化すること、再生可能エネルギーの開発・利用を最大限加速させること、天然ガスを始め、環境負荷に最大限考慮しながら、化石燃料を有効活用すること(化石燃料のクリーン化利用)等が重要である。</p> <p>このうち、再生可能エネルギーについては、出力変動のある太陽光発電、風力発電等を極力有効利用するため電力貯蔵用、電気自動車用の二次電池の開発が進められているが、電池のエネルギー容量が必ずしも十分でないため、変動周期が長い風力発電に対する貯蔵能力向上、電気自動車では航続距離の向上が課題となっている。また、海外では再生可能エネルギーあるいは炭酸ガス貯留技術と組み合わせた未利用化石燃料等の大規模開発が急速に進められているが、エネルギー適地がエネルギー消費地から長距離隔てられている場合には効率的な輸送が難しいことが開発の障害となっている。</p> <p>本事業では、このような問題に対し、①再生可能エネルギー等からの高効率低コスト水素製造技術と②高効率水素-エネルギーキャリア転換・輸送技術等の技術開発により国内外の再生可能エネルギー等の大規模利用、再生可能エネルギー適地等の経済発展を支援するとともに、世界規模での炭酸ガス排出削減を図るものであり、我が国のエネルギーセキュリティの確保、並びに世界的な地球温暖化対策への貢献のために、本事業に国として投資を行うことは極めて重要である。</p>						
2. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	再生可能エネルギー等からの低コスト水素製造技術開発、水素の長距離輸送が容易となるエネルギーキャリアへの高効率転換・輸送技術開発に取り組む。水素については、水素原料価格20～40円/Nm <sup>3</sup> を目標とし、化石燃料等の他のエネルギー源と競合できる価格を実現するための要素技術を開発する。また、我が国のエネルギーセキュリティの確保、再生可能エネルギーの適地等の経済発展に貢献する。						
事業の計画内容	主な実施事項	H25fy※	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	
	低コスト水素製造システムの研究開発	電解電流密度の向上、設備コスト低減、変動する再生可能エネルギーの有効活用					→
	高効率水素製造技術の研究	セル・スタック製造技術の開発、水素製造技術の飛躍的向上、技術実証					→
	周辺技術の研究開発	水素液化貯蔵システムの基盤技術開発					→
	エネルギーキャリアシステム調査・研究	有機ハイドライド、メタン、アンモニアのエネルギーキャリアについてシステム全体の性能・経済性、開発課題、開発目標の把握					→

	<b>トータルシステム導入シナリオ調査研究</b>	再生可能エネルギーのポテンシャル調査、コスト分析、許容コストの分析等に基づいてシナリオ策定					
開発予算 (単位:百万円)	会計・勘定	H25fy※	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計	0	0	0			0
	特別会計 (需給)	1079	1278	1419			3776
	開発成果促進財源	0	0	0			0
	総予算額	1079	1278	1419			3776
	(委託)1/1	1079	1278	1419			3776
	(助成) (共同研究)						
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局研究開発課					
	プロジェクトリーダー	一般財団法人 エネルギー総合工学研究所 後藤 新一					
	委託先	<p>(1) <b>低コスト水素製造システムの研究開発</b>  旭化成株式会社  [再委託先]  富士電機株式会社  株式会社日本製鋼所  日立造船株式会社  [再委託先]  私立大学法人 東北工業大学</p> <p>(2) <b>高効率水素製造技術の研究</b>  株式会社東芝  [再委託先]  学校法人 大同学園大同大学  エクセルギー・パワー・システムズ株式会社  国立大学法人 東京大学</p> <p>(3) <b>周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発</b>  川崎重工業株式会社  [再委託先]  新日鐵住金株式会社</p> <p>(4) <b>エネルギーキャリアシステム調査・研究</b>  一般財団法人 エネルギー総合工学研究所  日立造船株式会社  アイ‘エムセップ株式会社  [再委託先]  学校法人 日本大学  一般財団法人 電力中央研究所  公益財団法人 地球環境産業技術研究機構  千代田化工建設株式会社</p> <p>(5) <b>トータルシステム導入シナリオ調査研究</b>  国立研究開発法人 産業技術総合研究所  国立大学法人 横浜国立大学</p>					
情勢変化への対応	2013年6月、内閣府にて戦略的イノベーションプログラム(SIP)が創設された。この情勢に対応し、研究者間の交流が促進されるよう、SIPとの連携を図った。 (ワークショップの開催 2015年3月)						

中間評価結果への対応	中間評価後に実施													
評価に関する事項	事前評価	平成25年度実施 担当部 新エネルギー一部												
	中間評価	平成27年度実施 担当部 評価部												
	事後評価	平成29年度実施予定												
3. 研究開発成果について	<p><b>◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義</b> 研究テーマ毎の中間目標は達成及び達成見込みであり、プロジェクトとしての中間目標は全て達成の見込みである。</p> <p><b>◆個別研究開発項目の目標と達成状況</b></p> <p>(1) <b>低コスト水電解水素製造システムの研究開発</b> 旭化成・日立造船共に、中間目標(電流密度等)を達成、低コスト化に繋がる大型装置試作へ向けた技術的見通しを得た。</p> <p>(2) <b>高効率水素製造技術の研究</b> 東芝、エクセルギー共に、ラボスケールで中間目標達成を確認、平成27年度末までに両者共試作機を完成させ、中間目標(性能)確認できれば、実用化装置開発目処づけが可能となる。</p> <p>(3) <b>周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発</b> 5t/d 級水素液化システムおよび 3,000m<sup>3</sup> 級液体水素タンクシステムの開発を実施し、再生可能エネルギー由来水素液化システム実現に必要な重要基盤技術の見通しを得た。</p> <p>(4) <b>エネルギーキャリアシステム調査・研究</b> 3種のエネルギーキャリアの経済性評価と特性解析ツール(フレームワーク)の開発を完了、また各エネルギーキャリアの対比システム想定と各種エネルギーキャリアの特性を踏まえ、それぞれの強みを活かせる市場の想定まで検討が進んだ。</p> <p>(5) <b>トータルシステム導入シナリオ調査研究</b> 水素エネルギーキャリア技術の導入・普及拡大の実現に必要な技術課題を見出す為のシナリオ作成の枠組みの構築及び評価法の開発を完了。H27年度末迄に電源構成比率などの前提条件の見直しで再評価を実施できれば、本テーマの目標を達成可能。</p> <table border="1" data-bbox="400 1256 1479 1496"> <tr> <td>特許出願(外国出願)</td> <td>14件(1件)</td> </tr> <tr> <td>論文(査読付き)</td> <td>5件</td> </tr> <tr> <td>研究発表・講演</td> <td>52件</td> </tr> <tr> <td>受賞実績</td> <td>0件</td> </tr> <tr> <td>新聞・雑誌等への掲載</td> <td>25件</td> </tr> <tr> <td>展示会への出展</td> <td>11件</td> </tr> </table>		特許出願(外国出願)	14件(1件)	論文(査読付き)	5件	研究発表・講演	52件	受賞実績	0件	新聞・雑誌等への掲載	25件	展示会への出展	11件
特許出願(外国出願)	14件(1件)													
論文(査読付き)	5件													
研究発表・講演	52件													
受賞実績	0件													
新聞・雑誌等への掲載	25件													
展示会への出展	11件													
4. 実用化・事業化の見通しについて	<p>(1) <b>低コスト水電解水素製造システムの研究開発</b> 最終目標(H29年度)を達成できれば、実用化の見通しあり。</p> <p>(2) <b>高効率水素製造技術の研究</b> 実用化検討を進めつつ、基礎技術の確立に集中。</p> <p>(3) <b>周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発</b> 最終目標(H29年度)を達成できれば、実用化の見通しあり。</p> <p>(4) <b>エネルギーキャリアシステム調査・研究</b> 実用化検討をすすめつつ、基礎技術の確立に集中。</p> <p>(5) <b>トータルシステム導入シナリオ調査研究</b> 各研究開発テーマの事業化検討に要するベースデータ提供の役割。</p>													
5. 基本計画に関する事項	作成時期	H26年3月作成												
	変更履歴													

## プロジェクト用語集

### 低コスト水素製造システムの研究開発

アルカリ水電解	電解質にアルカリ水溶液(KOH)を用いた水電解。
エネルギーキャリア	エネルギーの輸送・貯蔵のための担体となる化学物質。石油、ガソリン、天然ガスなども含まれるが、環境関連技術として昨今注目されているのは、水素、有機ハイドライド、アンモニアなどのエネルギーキャリアである。
オンサイト	水素を現地で改質や水電解などの方法で製造する方式をいう。
隔膜	陰極を有する陰極室と陽極を有する陽極室とを区画し、陰極と陽極の直接的な接触を防止するとともに、陰極室と陽極室で発生したガス物質の混合を防止し、且つイオン透過性を有する膜をいう。
電解セル	陰極を有する陰極室と陽極を有する陽極室とを区画する隔膜を装着し、陰極室及び陽極室に電解液を充填して、陰極・陽極間に理論分解電圧以上の電圧を印加することで物質を電気分解するための構成の最小単位をいう。
スタック	電解セルが複数個連結された状態のものをいう。
電解ユニット	スタックされた電解セルの両端にエンドプレートを設置し、油圧機構やタイロッド等の締付装置を用いて締付けた構造物をいう。
周波数応答性	周期的に変動する入力電流(供給電流)に対する、電解槽の出力電圧(槽電圧)の追従性をいう。
バッファータンク	発生ガス量の急激な変化に伴う圧力変動の緩和や、ガスの後工程への供給のバランスを取るためのタンクをいう。
水電解装置と電源の協調性	電解に供する電源の発電状況、電力需要や電解により発生するガス需要等に応じて、発電された電気を系統電力や水電解装置等に分配する割合を調整することにより、システムの経済性・安定性を向上させる機能または装置をいう。
エネルギーバッファ	エネルギーの需要・供給の時間的・空間的なずれを緩和するための機能または装置をいう。
低酸素過電圧 (陽極材料)	電気化学反応において、熱力学的に求められる反応の理論電位(平衡電極電位)と、実際に反応が進行するときの電極の電位との差のことである。低酸素過電圧とは、陽極側において酸素を発生させるのに必要な過電圧が低い状態を表す。低いという事は理論値に近いので、酸素過電圧が低い方が陽極材料として優れていると言える。
低水素過電圧 (陰極材料)	陰極側において水素を発生させるのに必要な過電圧が低い状態を表す。低いという事は理論値に近いので、水素過電圧が低い方が陰極材料として優れていると言える。
ガスケット	電解槽や装置内を流れる液体や発生するガスを外部へ漏洩させないためにゴムパッキン等で流体を封止する電解槽構成部材の一つ。
シール性	ガスケット等で流体を封止可能な性能。
隔膜材料	アルカリ水電解槽において、酸素ガスを発生させる陽極室と水素ガスを発生させる陰極室とを物理的、電氣的に仕切るための隔膜またはその材料。物理的な隔離により発生ガスの混合による爆発を防ぎ、電氣的な隔離によりショート発生を防止する役割を担う。
電解槽構造材料	電解槽を構成する部材の総称。
複極板	通電方式を複極式とする場合におけるスタックセル構造内の個々のセル構造を仕切る隔壁。隔壁面の一方は電氣的に陰極、他方は陽極となる。
シールガスケット	ガスケットと同意。
協調運転	太陽光や風力等の再生可能エネルギー発電によって発生する変動電力に追従した電解運転の方法。

### 高効率水素製造技術の研究／高温水蒸気電解システムの研究

SOEC(固体酸化物形電解セル)	Solid Oxide Electrolysis Cell. SOFC(Solid Oxide Fuel Cell:固体酸化物形燃料電池)の逆反応で水電解(水蒸気電解)を行うセル。
------------------	--

高温水蒸気電解	SOEC を用い、700~1000℃の高温で、水蒸気の電気分解を行う技術。水電解に要する電気エネルギーは、原理的に高温ほど小さい。
セル・スタックの両端封止構造	内部ガス流路を形成した円筒平板型セルで、水素回収を行うスタックの構造。電氣的に直列積層した複数セルの両端に水蒸気供給と水素回収を行うマニフォールドを封着したもの。
高温蓄熱技術	SOEC と SOFC を組合せた水素電力貯蔵システムでは、SOFC 発電時の発熱を蓄熱し、SOEC 水素製造時の吸熱反応に用いることで高い充放電効率が見込める。そのため、SOEC/SOFC の作動温度に近い高温での蓄熱技術が必要になる。
I-V 特性	SOEC、SOFC 運転時の電流－電圧特性。
電力変動時の応答性	SOEC への電気入力変動(変化割合、変化速度)に対する水素生成量の応答特性。

#### 高効率水素製造技術の研究／次世代水素製造システムの研究

水素吸蔵合金	金属の中には、水素を取り込む性質のあるものが複数あることが知られている。水素吸蔵合金とは、このような性質を合金化によって最適化し、水素を吸わせることを目的として開発された合金のこと。水素貯蔵合金とも呼ばれる。
ニッケル水素電池	二次電池の一種で、正極に水酸化ニッケルなどのニッケル酸化化合物、負極に水素または水素化合物を用い、電解液に濃水酸化カリウム水溶液(KOH (aq)) などのアルカリ溶液を用いる二次電池(充電可能な電池)である。
NiOOH	化学式 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ で表される 2 価のニッケルの水酸化物が充電により酸化された状態の物質である。
負極規制	正極の容量よりも負極の容量を小さく、電池容量が負極の電位変化によって充電または放電が停止する電池の容量規制。
MnO <sub>2</sub>	4 価のマンガンの酸化物で常温では固体である。強い酸化作用を持つ。
電子導電性	電場(電界)を印加された物質中の荷電粒子を加速することによる電荷の移動現象、すなわち電流が流れる物性。
ぬれ性	固体表面に対する液体の親和性(付着しやすさ)を表すものである。
活物質	電池反応の中心的役割を担い、電子を送り出し受け取る酸化／還元反応を行う物質である。
伝導助剤	電極活物質が酸化物のような非金属の場合は電子導電性が乏しく、活物質単独での使用は難しい。そこで、電池の合材に電気の流れをよくするために加える材料を伝導助剤(導電助剤)という。アセチレンブラックなどの炭素系材料などが用いられる。
バインダー	活物質や導電助剤、集電箔を結着させるために用いられる。バインダー自身は直接的には素反応に関与はしないが、電子の通り道をつなぐ重要な役割を担う。
集電体	電池内でそれ自体は充放電反応に関与するものではないが、活物質の保持や発生した電流の導体としての役割を担う。
三次元電極	活物質、導電助剤、バインダーを混ぜて練り込み、固めて粒状にした電極をいう。電解液またはガスとの接触が既存の電池電極より優れる。
混練造粒	複数の異なる材料を混ぜて練り込み、固めて粒状に形成する。
波状構造	凹凸の表面微細構造である。大面積を簡単に作製可能である。
多孔質充填構造	多孔質の存在する電極構造をいう。孔径は 2nm 以下から 5 $\mu\text{m}$ 以上の大きさまで制御することにより、電極の表面積を増やし、電解液やガスの接触が向上された構造である。
ファイバー状構造	直径が数ミクロンの細長い繊維の形をした構造をいう。電極では、炭素繊維の表面に活物質を電解析出法によりコーティングして作製する。
電解析出	電流を使う物質合成法で、生成したい物質を含む溶液、熔融塩、または、固体電解質からその物質を還元させ、電導性のある物体にその物質の薄い層を形成させる。

接触抵抗	2つの導体を互いに接触させて電流を流すと、その接触部に電圧降下と温度上昇が生じる。これは接触部に抵抗ができるため、その値は導体の種類、圧力、酸化膜の有無、吸着気体の状態、電流密度などによって異なる。
スタック構造	複数のセルを重ねる構造をいう。各セルは直列に接続され、高電圧を得ることができるので、複数のセルを重ねて必要な電圧が得る。

周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発

ボイルオフガス	低温 LP ガスや LNG のような低温液体を輸送・貯蔵する場合に、自然入熱などにより気化するガス。
カルノー効率	液化システムの効率の定義であり、理論液化動力を実際に要した液化動力で除した値、なお理論液化動力は液化サイクルのすべての過程が可逆的に行われた場合(逆カルノーサイクルにより液化した場合)の動力である。
コールドボックス	液化システムを構成する機器のうち、熱交換器、触媒や各種搭槽類が収められた真空断熱容器。
エゼクタ	高圧の主流ガスにより低圧のガスを誘引し圧縮する機器。
膨張タービン	高圧のガスを膨張することにより膨張仕事を取り出し、取り出したエネルギーの分流体の温度を下げて冷熱を得る機器。
ウェットタービン	膨張タービンの一種でタービン出口が気液二相となるタービン、ジュールトムソン弁が不要となりより高効率な液化が可能となる。
ジュールトムソン弁	低温、高圧の流体を断熱膨張することにより流体の温度を下げて液化させる弁。
レシプロ圧縮機	容積型圧縮機の一つでシリンダ内のピストンを往復運動させることで流体を圧縮する機械。
遠心圧縮機	ターボ圧縮機の一つでインペラにより遠心方向(径方向)に徐々に流路を狭くすることにより流体を圧縮する機械。
インペラ	回転型圧縮機の羽根車。
デューザー	インペラで加速された流体の速度を落として、流体の運動エネルギーを静圧に回復する機器。
GFRP サドル	GFRP (Glass fiber reinforced plastics:ガラス繊維強化プラスチック)により作成された真空二重殻タンクの内槽を支持する構造物、構造的には外槽とつながっているが熱伝導率が金属より非常に小さいため、断熱性能を維持しつつ大型真空二重殻タンク構造を成立させることができる。
真空パネル	薄い中空金属プレートで真空層を形成し、この金属プレートを接合して真空パネルタンクを構成することにより、超大型タンクで真空断熱を実現できるものである。
オーステナイト系ステンレス鋼	ステンレス鋼は主要元素としてクロムを含む「クロム系」と、クロムとニッケルとを含む「ニッケル系」に大別され、ニッケル系のうち結晶構造がオーステナイト結晶構造(面心立方格子)を持つものがオーステナイト系ステンレス鋼である。代表的なオーステナイト系ステンレス鋼として、SUS304L や SUS316L 等が現行の液体水素用鋼材として実績がある。
極低温ガスシール	圧縮機の回転側と静止側の間にはわずかなすきまがあり、ここから流体が漏れいすのを防止するため、樹脂等のシール部材とシールガスの圧力バランスにより主流ガスの漏れいを防止している。極低温ガスシールは、シールガスが主流ガスに漏れこんで凍結するなど製品不純物の原因となるのを防止する特殊な構造となっている。

エネルギーキャリアシステム調査・研究/エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析

フレームワーク	再生可能エネルギーから得た電力から水の電気化学分解等により水素を得て、これをエネルギーキャリア等に転換し、エネルギーとして消費するまでのフローを展開する枠組み。空間的な広さ、発送配電のネットワーク、火力発電、エネルギーインフラの規模・広がり等代表的な規模にて構成したもの。
---------	--

エネルギーキャリア	エネルギーの輸送・貯蔵のための担体となる化学物質。石油、ガソリン、天然ガスなども含まれるが、環境関連技術として昨今注目されているのは、水素及び熱分解反応や脱水素反応で水素を放出する有機ハイドライド、アンモニアなどである。
水素分離膜	水素ガスを含む混合ガスより選択的に水素のみを透過させ、水素のみを分離して取り出すために使われる膜。
有機ハイドライド	芳香族有機化合物で、水素を可逆的に放出するもの。多様な系が検討されているが、特にトルエン＝メチルシクロヘキサン系が、脱水素触媒の新規開発により実用化が期待されている。このトルエン＝メチルシクロヘキサン系を用いて中東の随伴ガスから水素(CO2フリー水素)を日本に輸入するプロジェクトが実施されている。
アンモニア	NH <sub>3</sub> は0.86Mpaに圧縮することで室温で液化され、液体状態での水素貯蔵量は17.8%と有機ハイドライドの2倍以上と高く、高容量の水素貯蔵媒体とされる。分解して水素を放出されるのに必要なエネルギーは、水素の燃料エネルギーの10%程度にとどまる。海外にて再生可能エネルギーから製造された水素はNH <sub>3</sub> に変換された後に国内に輸送され、「水素キャリア」として水素製造プラントで水素に変換され、または直接的に燃料電池や発電用として利用されることが期待されている。
メチルシクロヘキサン	有機溶剤のトルエンと水素を化学反応させメチルシクロヘキサン(MCH)という液体の化学物質となる。貯蔵や輸送が難しいとされる水素を、超低温で液化したり、ポンペで圧縮したりすることなく、常温・常圧で消費地への長距離輸送ができるなど、液体化して体積を500分の1に小さくなるため、貯蔵性、可搬性がよいとされる。水素変換には350℃程の熱が必要とされ、触媒や膜の研究開発が実施されている。
メタン	天然ガスの主成分。ドイツでは、Power-to-Gasの取り組みにおいて、再生可能エネルギー由来水素転換後、さらにメタネーションさせ、天然ガスパイプライン網へ注入しているケースが近年みられる。注入割合の制限に応じ、水素を注入しているケースもある。
GRAPE モデルプロトタイプ	GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect the Environment) モデルはマクロ経済、土地利用・農業、エネルギー、気候モジュールからなる統合評価モデル。低炭素エネルギーキャリアを用いた世界モデル枠組みとして拡張中である。
随伴ガス	原油の生産に随伴して発生するガスで、天然ガスの一種でもある。現在、中東地域の随伴ガスを現地で水素に変換し、EORを適用することで、CO <sub>2</sub> フリーな水素を日本に輸入するプロジェクトが進められている。
EOR	Enhanced Oil Recovery。石油増進回収法。CO <sub>2</sub> を油田に埋め戻すことで油田の残存原油を回収する方法。

エネルギーキャリアシステム調査・研究／高効率メタン化触媒を用いた水素・メタン変換

グリーンメタン	再生可能エネルギーから水素を発生させ、これを二酸化炭素と反応させたメタンで、再生可能エネルギーから作られたという意味でグリーンメタンと呼ぶ。
LHV 基準	LHV: Lower Heating Value. 力発電設備の発電端熱効率の表示方法の1つ。高位発熱量基準(HHV、Higher Heating Value)と異なり、燃料中の水分および燃料により生成された水分の凝縮熱を含まないで表示する。
シェルアンドチューブ型リアクタ	多管式反応器の事で、発熱反応のような熱を伴う反応に用いられるものであって、チューブ内に触媒、チューブの外側に熱媒を流し、温度を制御しながら運転を図る反応塔。

エネルギーキャリアシステム調査・研究／溶融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成

溶融塩	溶融塩とは、狭義には「有機塩、無機塩が融解したイオン性を帯びた液体」と定義されるが、本開発では特に、常温では固体であるアルカリハライドなどの無機塩を高温で溶融させたイオン性の機能性液体を意味する。溶融塩を利
-----	---

	用することにより、特殊な触媒や還元剤を用いなくとも、電気化学的にわずかな駆動力を与えるだけで、窒素ガスは3電子反応による陰極還元を受けて、窒化物イオン(N <sup>3-</sup> )を生成することが伊藤等により見出された。
ハーバー・ボッシュ法	水素と窒素を、鉄などの触媒上で500℃、150～300気圧という高温・高圧下で直接反応させるアンモニア合成法。スケールメリットを生かし大規模に生産が行われているが、必要な場所(オンサイト)で必要な時に必要な量だけ(オンデマンド)製造することには不向きである。近年、低圧で合成するための触媒の研究が進められているが、付帯設備の消費エネルギーの増大を招く可能性があり、実際の工業的な使用例は非常に少ない。現状では天然ガス等の水蒸気改質により得られる水素が用いられているが、再生可能エネルギーの利用を考えた場合は、水素を水電解等により製造する必要がある。また水蒸気改質時のエネルギーを有効利用して高温高圧の合成条件を得ていた従来技術と異なり、電力を利用して最適な合成条件を達成する必要があるため、従来ほどの高いエネルギー効率での合成を短期間で容易に達成できるとは考え難い。
アンモニア電解合成	熔融塩中において、陰極での窒素ガスの還元反応により窒化物イオン(N <sup>3-</sup> )が生成することを発見したことに基づき、新原理に基づいて創出したアンモニア合成法。原料に水素を用いる方法と、水(水蒸気)を直接用いる方法がある。通電する電流値によってアンモニア生成量を変動させ得るので、必要な場所(オンサイト)で必要な時に必要な量だけ(オンデマンド)製造することもできる。アイ・エムセップ以外には開発主導のできない純国産の独自技術である。
水素透過金属膜	水素を透過する金属や合金からなる膜であり、金属原子が作る格子内の空間を伝って水素原子が拡散する現象を利用するものである。二室結合型の電解方式では、一方の膜表面で水の陰極還元により膜内に吸蔵された原子状水素が、もう一方の膜表面まで拡散し、N <sup>3-</sup> との陽極酸化反応によりアンモニアを生成する。
アミド	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup> で表されるイオン。N <sup>3-</sup> と水蒸気とのアンモニア生成反応においてアンモニアが熔融塩中に残留する場合の形態のひとつと考えられる。
イミド	NH <sup>2-</sup> で表されるイオン。アミドと同様に、N <sup>3-</sup> と水蒸気とのアンモニア生成反応においてアンモニアが熔融塩中に残留する場合の形態のひとつと考えられる。
拡散反射型 FT-IR	フーリエ変換赤外分光測定(FT-IR)手法の一種。粉末試料中に入射した赤外線は試料内で反射を繰り返すうちに試料の化学結合に由来したエネルギー帯で吸収される。したがって、得られた赤外吸収スペクトルから試料の定性・定量分析が可能となる。触媒開発をはじめ主に粉末試料の測定に使用される手法であるが、本研究では試料ホルダー底面からの反射を利用して、液体サンプルの測定に適用した。
パルス NMR	静磁場の中の試料に高周波磁場をパルス状に印加して、原子核の持つ磁気モーメントが遷移(核磁気共鳴:Nuclear Magnetic Resonance)する挙動を調べる方法。共鳴後、元の状態に戻るまでの時間を緩和時間とよび、その逆数である緩和速度の温度依存性から、金属内に吸蔵された水素の運動の活性化エネルギーを求めることができる。
MCFC 製作技術	MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell: 熔融炭酸塩形燃料電池)の製作技術。本プロジェクトで扱う塩化物熔融塩とは異なるが、固気液三相界面での電極反応が寄与する点で、電極の高性能化のための濡れ性(メニスカス形成)の考え方が参考となる。本アンモニア電解合成装置の大型化時には対向平行平板電極、ウエットシール技術、電解質保持材などの MCFC 製作技術の適用が期待される。
エネルギーキャリアシステム調査・研究／水素分離膜を用いた脱水素	
有機ケミカルハイドライドによる水素輸送方法	トルエンなどの芳香族の水素化反応によって上記の有機ケミカルハイドライドとして水素を固定し、水素の利用先で脱水素反応により水素を取り出して利

	用する方法。適切な有機ケミカルハイドライドを選定することで、常温・常圧の液体状態で貯蔵輸送を行うことが可能。但し、脱水素反応が吸熱反応であり、そのための反応熱を供給することが必要。
トルエン	ベンゼンの持つ水素の一つがメチル基(CH <sub>3</sub> )に置換されたもの。ベンゼンと同様の芳香がある無色透明の可燃性液体。化学式 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> 、分子量 92.14、融点 -95.0℃、沸点 110.6℃。染料・樹脂などの原料や溶剤として広く用いられる。生産量は日本 130 万トン/年、世界 2180 万トン/年(2011 年) <sup>1)</sup> 。 1 経産省資料「世界の石油化学製品の今後の需給動向(総論)」
メチルシクロヘキサン	トルエンの芳香環を水素化したもの。化学式 C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> CH <sub>3</sub> 、分子量 98.19、融点 -126.6℃、沸点 100.9℃。トルエンやキシレン等より毒性が低いため、修正液・インキ等の文具用の溶剤や医薬・農薬等製造用の溶媒として使用されている <sup>2)</sup> 。 2 丸善石油化学株式会社 HP より ( <a href="http://www.chemiway.co.jp/product/data/me_data02.html">http://www.chemiway.co.jp/product/data/me_data02.html</a> )
水素分離膜	混合ガスから水素を分離する膜。原理として、気体分子の大きさにより分離する分子篩機構によるもの、水素が原子状に解離して膜中を透過する解離溶解・拡散機構によるものに大別される。前者の機構を持つものとして、高分子膜、シリカ膜、ゼオライト膜、炭素膜など、後者としてパラジウム膜などが知られている。有機ケミカルハイドライドの脱水素反応の温度条件下では、高分子膜は適用が難しく、セラミック系水素分離膜が検討されている。
セラミック系水素分離膜	セラミック材料を用いた水素分離膜。細孔を持つセラミック薄膜を調製することで、分子篩効果により水素のみを選択的に透過させることが可能。セラミックのため、高温条件化でも使用可能であり、シリカ膜、ゼオライト膜などが知られている。通常は、多孔質アルミナ等の管状支持体の表面あるいは細孔内に形成される。
対向拡散 CVD 法	多孔質支持体の両面から原料ガスを供給し、支持体の細孔内で反応させて化学蒸着する製膜法。高透過性、高選択性の膜が再現よく得られる。シリカ膜の場合は、管状支持体の内側から酸素を、外側から原料であるアルコキシシラン類(シリカプレカーサ)を供給し、加熱して製膜する。他に、多孔質支持体の片側から全ての原料ガスを供給する一方供給 CVD 法が知られている。
長尺 CVD シリカ膜	CVD 法で作製された長尺のシリカ膜。水素分離用シリカ膜としては、これまで 5~7cm の短尺のものしか検討されていなかった。シリカ系水素分離膜の実用化を行う場合、数 10cm 程度の長尺化が必要と考えられ、本事業ではその中間段階として H27 年度末までに 20cm の長尺化を目標として設定している。
単管メンブレンリアクター	触媒反応器に分離膜を組み合わせた装置。二重管構造になっており、内側の管に環状の水素分離膜を適用する。内側の環状水素分離膜の内側に触媒を設置する場合と、外側に設置する場合がある。本装置を平衡反応に適用した場合、分離膜によって生成物を選択的に系外に取り出すことにより、平衡シフト効果(転化率の向上や反応温度の低減)が期待できる。実用化の際は、単管のメンブレンリアクターを複数本組み合わせることでモジュール化することが必要となる。
250℃~300℃対応シール部材	メンブレンリアクターは、どのようなシール方法を採用するかが技術開発課題の一つとなる。メチルシクロヘキサンの脱水素反応の場合、メンブレンリアクターの平衡シフト効果によって反応温度が 250~300℃になると想定されるために、その温度に対応したシール方法の開発が必要となる。
トータルシステム導入シナリオ調査研究	
炭酸ガスの地中貯留(CCS)	様々なプロセスから発生する二酸化炭素を分離し、枯渇した油田やガス田などに圧入して閉じ込める技術。

褐炭	石炭化度が低い石炭で、水分や不純物が多い。乾燥すると自然発火するのでそのままでは輸送に適さない。現在、オーストラリアの褐炭を現地で水素に変換し、CCS を適用することで、CO <sub>2</sub> フリーな水素を日本に輸入するプロジェクトが進められている。
IRR	内部収益率 (Internal rate of return)。投資に対する1期間あたりの事業収益率を示す指標。
LP 解法	一次式で制約条件を記述し、その制約条件の中で目標値が細大となる値を求める線形計画法 (LP) を用いて解くこと。
バックキャスト	設定した将来のあるべき姿に対し、そこを起点に現在を振り返って目標実現のための計画を立てる方法。
MARKAL モデル	MARKet Allocation モデル。わが国のエネルギーシステムの長期的な最適技術構成を分析するために、IEA-ETSAP (国際エネルギー機関エネルギー技術システム解析プログラム) の仕様に基づき開発された数理モデル。
IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis)	産総研安全科学研究部門で2008年より開発を行っているライフサイクルインベントリデータベース。統計データをベースとした積み上げ型データベースであり、日本標準産業分類および各産業の統計分類に準じた約3800のプロセスデータの網羅性・完全性・代表制・透明性を担保した上で、その上流への波及効果も含めた環境負荷を収録している。
CLA 的評価 ライフサイクルインベントリ分析	ライフサイクルアセスメント (LCA) とは、製品やサービス・社会システムのライフサイクル全体 (ゆりかごから墓場まで) の環境負荷を定量化する手法。LCA の実施手順は、ISO14040 では 1) LCA の実施目的と適用範囲の設定、2) 分析対象の入出力に関する明細表の作成 (ライフサイクルインベントリ分析)、3) ライフサイクルインベントリに付随する潜在的環境影響評価、4) 結果の解釈、の4つに従って分析・評価するように規定されている。本事業では、LCA のうち、GHG 排出量に関するライフサイクルインベントリ分析のみを実施しているため、「LCA 的評価」と表記している。

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1. 事業の背景・目的・位置づけ

### ①政策的な重要性

東日本大震災を契機とした福島第一原子力発電所における事故に対し、現行のエネルギー基本計画をゼロベースで見直し、新たなエネルギーミックスとその実現のための方策を含む新しい計画について議論しているところである。

我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギーの安定供給を確保し、安定的かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。また、厳しさを増す国際エネルギー情勢や地球温暖化問題などを踏まえ、技術先進国である我が国が、主要国や国際機関等と連携し、いかにして国際的な責任を果たしていくかが重要である。同時に、我が国の成長戦略にも資するという観点から、安定供給確保や技術開発の強化を含めた強靱なエネルギー政策が必要である。

### ②我が国の状況

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギー・節電対策の抜本的強化、再生可能エネルギー導入・普及の最大限の加速、環境負荷に最大限配慮した化石燃料の有効活用等が求められている。

また、将来の二次エネルギーとして、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、このような水素を本格的に利活用する水素社会を実現していくことが求められている。

### ③世界の取組状況

再生可能エネルギーの導入については、例えば、風力発電の導入量は、世界では2011年40.5GW／年で増加し、2030年には最大2541GW※1程度まで拡大するとの予測もある。この際、再生可能エネルギーは出力変動が大きいので、再生可能エネルギー発電設備の増大とともに、余剰電力量も増大していく見込みである。

このような余剰電力量の有効利用には、蓄電池あるいは水素等への変換によるエネルギー貯蔵技術が不可欠であり、特に変動周期が長く、容量が必要とされる場合は、水素等に変換して利用することが有効である。ドイツにおいては、風力発電の電力を水素に転換して利用する実証事業が行われている。

※1 Global wind energy council, 'Global wind energy outlook 2012', 2012.

### ④本事業のねらい

本事業では、二次エネルギーとしての水素等を最大限に活用するため、2030年といった長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格の実現を目指す。このため、4年間の期間で再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術ならびに水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術の先導的な研究開発に取り組む。

## 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の「エネルギー基本計画に対する意見」(2013年12月)には、水素は、「無尽蔵に存在する水や様々な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができるエネルギー源であり、気体、液体、固体(合金に吸蔵)というあらゆる形態で貯蔵・輸送が可能であるため、利便性が高い。また、エネルギー効率が高く、利用段階で温室効果ガスの排出がないなど、多くの優れた特徴を有している。」ため、「“水素社会”の実現に向けた取組の加速」が必要であると記載されている。このように国家的な施策と照らし合わせても、国内外の再生可能エネルギーの大規模利用の実現等を目標としている本事業は必要なプロジェクトであると言える。

NEDO中期計画では、水素を利用したエネルギーシステムの実現、出力変動緩和のための蓄エネルギーシステムの可能性評価及び開発等、再生可能エネルギーの調整電源化に貢献するため、技術開発、実証研究、基準・標準化の取り組みを長期展望の下、総合的に推進することとされている。このような長期的かつ総合的な取り組みは企業単独では実施困難なため、NEDOの関与が必要不可欠である。

### 2.2 実施の効果(費用対効果)

下記アウトカム予測により、本事業の効果は予算と比較して十分と判断する。

2011年の世界の風力発電導入量は40GW／年で、今後さらに増大する見込みである。「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発 事前評価報告書」(平成24年6月、METI研究開発課)によれば、仮にこの5%程度を水素に変換するとした場合、2GW／年程度の水素発生機が必要であり、その市場は2千億円／年(発生機価格として10万円／kWを想定)となる。また、海外の再生可能エネルギー適地としては、アルゼンチン・パタゴニア地方、オーストラリア、サハラ砂漠等が考えられているが、例えばパタゴニアの風力発電につ

いては出力23億kW、エネルギー量9.7兆kWh/年(日本の総発電電力量の約10倍)程度と膨大なエネルギーを供給できる可能性がある。これらの1%を水素等に変換し自動車に利用可能とすると、日本の家用車エネルギー消費量(2010年)の18%程度をまかなうことが可能となる。

このように本事業により、炭酸ガスの排出無しに膨大なエネルギー供給が可能なCO<sub>2</sub>フリーエネルギーネットワークとそれを構築するためのエネルギー機器市場の形成が可能となる。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### ①アウトプット目標

【中間目標(平成27年度末)】

- ・各研究開発テーマの目標(平成27年度末)の達成
- ・研究戦略を策定し、新規テーマとの入れ替えも含め、各研究開発テーマを再編する。

【最終目標(平成29年度末)】

- ・中間目標の達成状況や中間目標をふまえ、研究戦略に基づく設定目標(平成29年度末)の達成
- 注:(3)の研究開発項目④および研究開発項目⑤について、研究成果を評価した上で必要性が認められるテーマを本格研究へ移行する。

#### ②アウトカム目標

再生可能エネルギー等からの低コスト水素製造技術開発、水素の長距離輸送が容易となるエネルギーキャリアへの高効率転換・輸送技術開発に取り組む。水素については、水素原料価格20~40円/Nm<sup>3</sup>を目標とし、化石燃料等の他のエネルギー源と競合できる価格の実現を目指す。

また、我が国のエネルギーセキュリティの確保、再生可能エネルギーの適地等の経済発展に貢献する。

#### ③アウトカム目標達成に向けての取組

再生可能エネルギーからの電力を用いて水素を製造する場合には一般に水電解が用いられるが、生成した水素は大規模水力発電を利用する場合を除き、現状では高価格で化石燃料とは競合できない。水素コストの過半は電力変換システムと電解システムから構成される水素製造システムの設備コストと消費電力のコストが占めるため、本技術開発では、まず、設備コストを25万円/Nm<sup>3</sup>/h(技術戦略マップ2010)程度に低減する低コスト水素製造システムの研究開発を行い、さらに高効率水素製造技術の研究により電解システムの電解効率を向上させ消費電力コストの低減を図る。

次いで製造した大量の水素を効率よく貯蔵するため、周辺技術の研究開発において高効率な水素液化装置、ポイルオフの少ない水素タンクなど、周辺機器のための基盤技術を開発する。

エネルギーキャリアシステム研究では、従来プロセスに対し、エネルギー効率、経済性等を飛躍的に向上させる可能性のある新規プロセスについてシステムの性能、経済性、開発課題等を把握するための解析評価研究を行う。

また、トータルシステム導入シナリオ研究では本事業で開発する技術の速やかな実用化・普及と技術課題の明確化を目指し、普及シナリオを作成する。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### ●事業全体

上記目標を達成するために、以下の研究開発を実施する。なお、各研究開発項目の具体的内容は、(別紙)の研究開発計画に示す通りとする。これらの事業は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術開発」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則として委託事業として実施する。

研究開発項目① 低コスト水素製造システムの研究開発

研究開発項目② 高効率水素製造技術の研究

研究開発項目③ 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発

## ●個別研究開発項目

### 研究開発項目① 低コスト水素製造システムの研究開発

#### 1. 研究開発の必要性

我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギー安全保障を確保し、安定的かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。そのため、本研究開発項目を実施する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

アルカリ水電解、固体高分子型水電解等の水電解システムについて、電解電流密度の向上、電解セル大型化等により設備コストを低減するとともに、従来システムと同等の耐久性を維持しつつ、変動する再生可能エネルギーの有効活用が可能な水素製造システムの研究開発を行う。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・風力発電システム等からの交流出力を交直変換して水電解システムに直流電力を供給する従来システムに対し、風力発電システム等の発電機出力を水電解用の直流電力へ変換する効率を5%以上向上させる技術を確立する。
- ・電解電圧1.8Vにおいて電流密度0.6A/cm<sup>2</sup>以上を達成する電解セル技術を確立する。
- ・風力発電システム等の変動が水素製造システムに及ぼす影響を明確化する。

##### 【最終目標(平成29年度末)】

- ・耐久性を低下させずに、変動する風力発電システム等との協調運転を可能とする技術を確立する。
- ・電解電圧1.8Vにおいて電流密度0.6A/cm<sup>2</sup>以上の性能を維持しつつ、単セルの電極面積を1~3m<sup>2</sup>程度まで大型化する技術等により、大量生産時の水電解装置コスト、電力変換装置コストとして20万円/Nm<sup>3</sup>/h、6万円/Nm<sup>3</sup>/h以下が見通せる技術を確立する。

(旭化成株式会社)

## アルカリ水電解水素製造システムの研究開発

### (1)事業概要

太陽光・風力発電等の再生可能エネルギーの導入が世界中で活発になっている。また、ドイツの最新の状況では、需要と供給のバランスのアンマッチや季節間変動の吸収などが難しくなりつつある等、電気エネルギーを二次エネルギーに変換し貯蔵・輸送する技術開発が注目されている。そこで本事業は、設備コストが安く、高耐久性を維持し、風力発電等の出力変動する再生可能エネルギーを効率的に活用できるアルカリ水電解—水素製造システムを提供することを目的とする。

### (2)事業内容

①アルカリ水電解装置用高耐久性・低過電圧電極の開発(旭化成株式会社)従来使用されてきたアルカリ水電解技術は、安定な直流電源を用いたオンサイト小型電解装置(100Nm<sup>3</sup>/hr-H<sub>2</sub>以下)での工業用水素生産が主流であり、そのままエネルギー貯蔵に用いるには設備コストやメンテナンスコストが高く、水素利用の普及のためには、大幅な設備コストダウンが必要となり、メンテナンスも極力簡易化することが必要である。加えて風力や太陽光といった不安定電源の貯蔵に際しては、電極への寿命等への影響が懸念され、より耐久性の高い電極の開発が必要である。本項目では、設備コスト、メンテナンスコストダウンのための重要な要素技術である高耐久性・低過電圧電極の開発を以下の開発目標をたてて検討する。

<平成 26 年度開発目標>

1)小型電解槽(電極面積 0.0025m<sup>2</sup>/1セル)を用いた、不安定電源(風力等を想定、平成 25 年度株式会社日本製鋼所が作成した様々な風力発電でのパターンを使用予定)における電極への影響の評価や電解電圧に関する考察。(影響の境界条件の特定、劣化メカニズムの解析、改良へ向けた方向性考察)

2)中型電解槽(電極面積 0.25m<sup>2</sup>/1セル)を用いた定電流での電解槽評価

(小型での電解電圧 1.8V 以下@0.6A/cm<sup>2</sup>の検証と必要に応じて改良)

<平成 27 年度開発目標>

1)不安定電源による電極への負の効果低減検討

風力等の不安定電源における発電ゼロ化時の影響のほか、電流変動周波数の影響の明確化

(例えば)電極組成、形成方法の再検討

2)中型電解槽を用いた不安定電源での電解評価(中長期)

平成 26 年度で把握する電極への影響の境界条件を加味した中長期電解評価

電力量vs電解効率等の定量的な把握等。

3)大型電解槽(電極面積 2.7m<sup>2</sup>/1セル)を用いた定電流(一部変動電源)での電解槽評価

(電解電圧 1.8V 以下@0.6A/cm<sup>2</sup>の検証と必要に応じて改良)

②アルカリ水電解装置用隔膜の開発(旭化成株式会社)

①項で記述した通り、アルカリ水電解装置用隔膜に対しても、膜の電圧抵抗の低減とともに、不安定電源に対する長期安定性が求められる。本項目では、設備コスト、メンテナンスコストダウンのための重要な要素技術であるアルカリ水電解に用いる隔膜の高耐久性・低電圧抵抗化を更に深耕するとともに、大型化装置への供給を目指して、大型隔膜の安定製造技術の基盤を作る。

<平成 26 年度開発目標>

1)自社膜を含めた、小型電解槽を用いた不安定電源での性能評価

初期値及び長時間での特性変化の把握と改良

<平成 27 年度開発目標>

1)中型電解槽を用いた不安定電源での評価(中長期)

スケールアップによる、ガス・液流の物理的影響を含めた評価の実施

～課題抽出と改良(①の(2)と並行して実施する)

2)大型電解槽用の広幅隔膜連続製造装置(幅 1.5m 程度)の設計検討

平成 27 年度製作予定の大型電解装置への膜供給実施を目標とする。

3)大型電解槽を用いた定電流下(一部変動電源)運転の隔膜への影響の把握

③アルカリ水電解ユニットの開発(旭化成株式会社)

①、②項の要素技術で得られた結果を踏まえ、電解セルを複数スタックさせた電解ユニットでの電解性能の

確認と改善、及びスケールアップでの課題抽出とユニット設計開発を行い、設備及びメンテナンスコストダウンのための方向性を明らかにする。

<平成 26 年度開発目標>

- 1) 中型水電解ユニット製作・設置、電解性能確認  
・スケールアップでの初期性能比較／課題抽出／改善
  - 2) 水電解装置の周波数応答性等の装置特性の把握
- ⑤、⑥での水電解装置と電源の協調性を高める手法の開発の基礎データ取得

<平成 27 年度開発目標>

- 1) 中型水電解ユニットでの変動電源に対する長期的影響の検討
- 2) 大型水電解ユニット製作・設置、電解性能確認  
・スケールアップでの初期性能比較／課題抽出／改善

#### ④アルカリ水電解プロセス開発実証(旭化成株式会社)

①から③で得られた知見を踏まえ、本事業の最終目標である再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造の実現に向けて、エネルギーの入り口としての電力供給からエネルギーキャリアとしての水素供給までのプロセスの総合的開発実証を行う。早い時期にプロセスのスケールアップを行って、変動電源に対しても安定で効率良く長期に連続運転できるプロセス設計と運転技術の獲得を目指す。

<平成 26 年度開発目標>

- 1) 中型電解プロセスの設置と運転実施によるプロセス上の課題抽出。  
～電解有効面積100倍のスケールアップの影響の整理とプロセス対応の実施

<平成 27 年度開発目標>

- 1) 中型電解プロセスでの電力負荷変化へのプロセス対応検討  
～短時間でガス発生量の大幅な変化等とプロセスコントロールに必要な計装設備やバッファータンク等の周辺機器の最適設計等の実施
- 2) 大型電解プロセスでのスケールアップのプロセス運転上影響の把握

#### ⑤ 水電解用直流電力供給装置開発(富士電機株式会社)

電解設備のコスト低減のためには、電解装置のみならず電力供給装置の高効率化と低コスト化が求められる。特に風力発電のような発生電力の変動が大きいものに対しては、水電解装置と電源の協調性を高める手法の開発が重要な課題である。

<平成 26 年度開発目標>

低コスト水素製造に資する低電圧・大電流直流電力供給装置の開発、および風車・分配器・電力変換器・水電解装置の協調制御法の検討

- 1) 低電圧・大電流直流電力供給装置の開発  
・風力発電量変動データに基づいた風力発電を模擬的に電解装置に直流電力を供給する120kW級(セル面積 0.25m<sup>2</sup>相当)の直流電源装置のシステム設計, 電気回路設計, 装置製作, 動作検証まで実施する。  
・1000kW級(セル面積 2.7 m<sup>2</sup>相当)実規模の電源装置の基本設計およびその効率試算を行い, 目標効率向上値(5%)達成の目処づけを行う。

※具体的な作業

- ・1kW級装置からの120kW級装置へのシステム・制御方式拡張、および120kW装置の電気回路設計, 設計図面作成, 制御ソフト作成(拡張), 装置単体動作検証, 水素生成試験検証。
  - ・1000kW級実規模装置仕様検討, システム設計, 電気回路概略設計, 各運用モードでの効率試算。
- 2) 風車・分配器・電力変換器・水電解装置の協調制御法の検討  
(株式会社日本製鋼所と共同で実施)  
・水電解装置の周波数応答特性を元に, エネルギーバッファとしての風車の慣性を最大限に活用して, 風車・分配器・電力変換器・水電解装置の協調制御法を検討する。(詳細は、⑥の日本製鋼所の平成 26 年度開発目標の項参照)

<平成 27 年度開発目標>

低コスト水素製造に資する低電圧・大電流直流電力供給装置の開発、および風車・分配器・電力変換器・水電解装置の協調制御法の検討

- 1) 低電圧・大電流直流電力供給装置の開発

・風力発電量変動データに基づいた風力発電を模擬的に電解装置に直流電力を供給する1000kW(セル面積 2.7m<sup>2</sup>級)の直流電源装置のシステム設計, 電気回路設計, 装置製作を完了させ, 動作検証に着手する。

※具体的な作業

120kW級(セル面積 0.25m<sup>2</sup>)装置からの1000kW級装置へのシステム(保護)ノ制御方式拡張、および1000kW級装置の電気回路設計, 設計図面作成, 制御ソフト作成(拡張), 装置単体動作検証(基本動作確認)。

2)風車・分配器・電力変換器・水電解装置の協調制御法の検討  
(株式会社日本製鋼所と共同で実施)

・平成 26 年度に開発する水電解装置の周波数応答特性に基づいた風車・分配器・電力変換器・水電解装置の協調制御法に対して, シミュレーションを駆使してシステムを最適に動かす制御パラメータ決めを行う。また, 生成水素の貯蔵, 圧縮までを含めたトータルシステムでの運用検討にも取り組む。(詳細は、⑥の日本製鋼所の平成 27 年度開発目標の項参照)

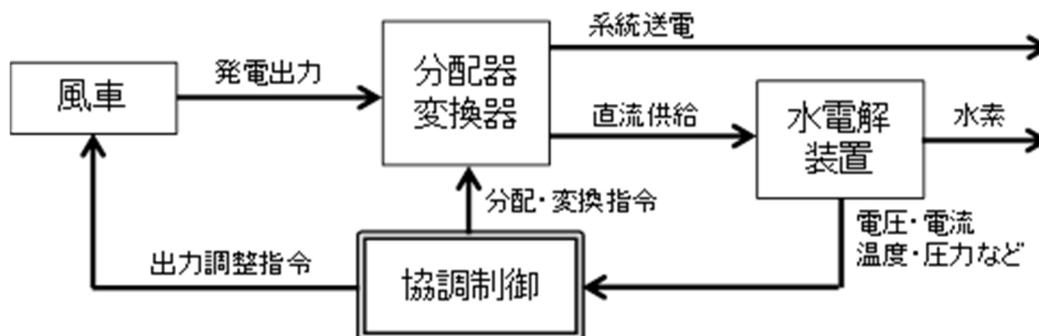
⑥ 水電解装置協調制御に係る研究開発(株式会社日本製鋼所)

⑤項で触れたように、水電解装置と電源の協調性を高める手法の開発が重要であり、③で行う水電解装置の周波数応答性等の装置特性測定の結果を踏まえて、特に風車との協調について検討する。併せて、システムへの売電条件等を変化させた場合の水素製造コストの試算等、国内における経済性が期待できるシステム構成について検討する。

<平成 26 年度開発目標>

1)低コスト水素製造に資する風力発電および水電解装置の協調制御法の検討  
(富士電機株式会社と共同で実施)

風車の出力変動特性と、水電解装置の周波数応答特性(平成 26 年度旭化成株式会社にて検討予定)を元に、両者の協調制御方法を検討する。

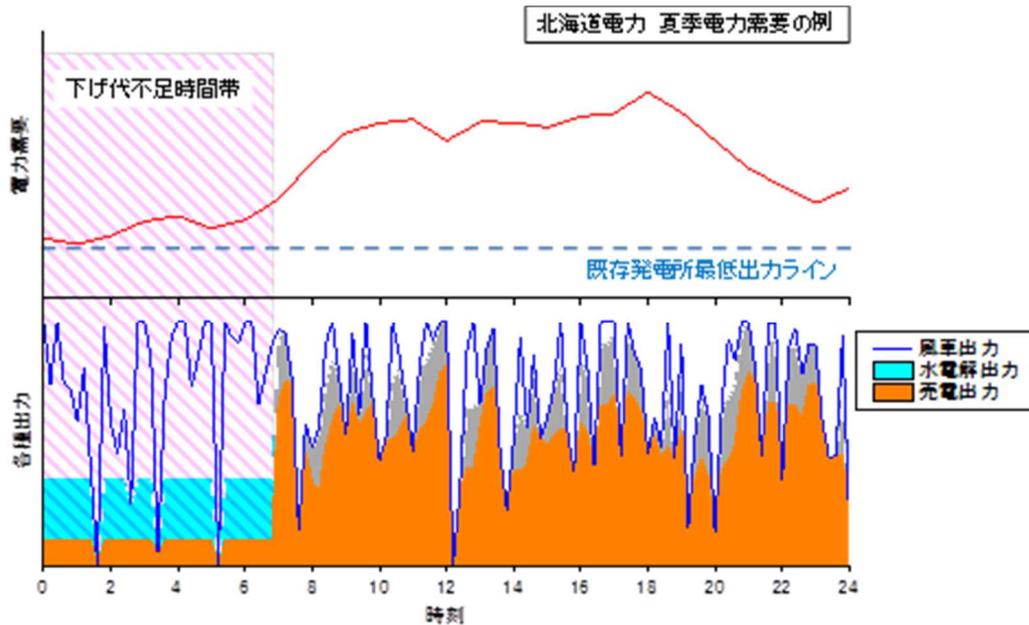


水電解装置の電圧や電流値などをリアルタイムに計測し、許容範囲を超えると予想された場合、協調制御によって風車や分配器、変換器をコントロールし、水電解装置の電力変動を緩和するための動作アルゴリズムを検討する。

2)風力-水電解システム運用スキームの検討

風力-水電解システムにおいて、風況や電力需要の季節変動を考慮した運用スキームの最適化を検討する。

具体的検討候補地区: 北海道地域

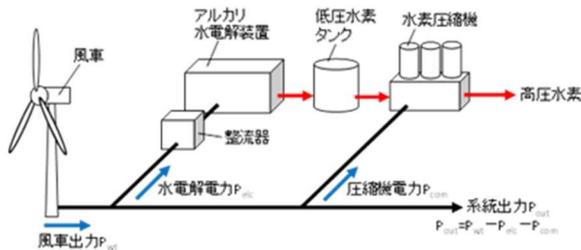


図⑥-4 検討想定図(下げ代不足時間帯に対する運用スキーム変更など)

<平成 27 年度開発目標>

1) 低コスト水素製造に資する風力発電および水電解装置の協調制御法の検討  
(富士電機株式会社と共同で実施)

平成 26 年度の成果を元に高精度化した風車モデルと水電解モデルを結合し、シミュレーションによって両者の最適制御パラメータを決定する。生成水素の圧縮、貯蔵までをトータルに考慮した運用も検討する(例えば下図)。



2) 風力-水電解システム運用スキームの検討

平成 26 年度に考案した運用スキームで風力-水電解システムを実測風況で運用した場合のケーススタディ(発電量、水素製造量)を実施する。

(日立造船株式会社)

## 高効率低コスト水電解水素製造システムの研究開発

### (1)事業概要

平成 26 年度から 4 年間の期間で再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術の実現を目指す本事業の目標及び課題を図-1 にまとめる。

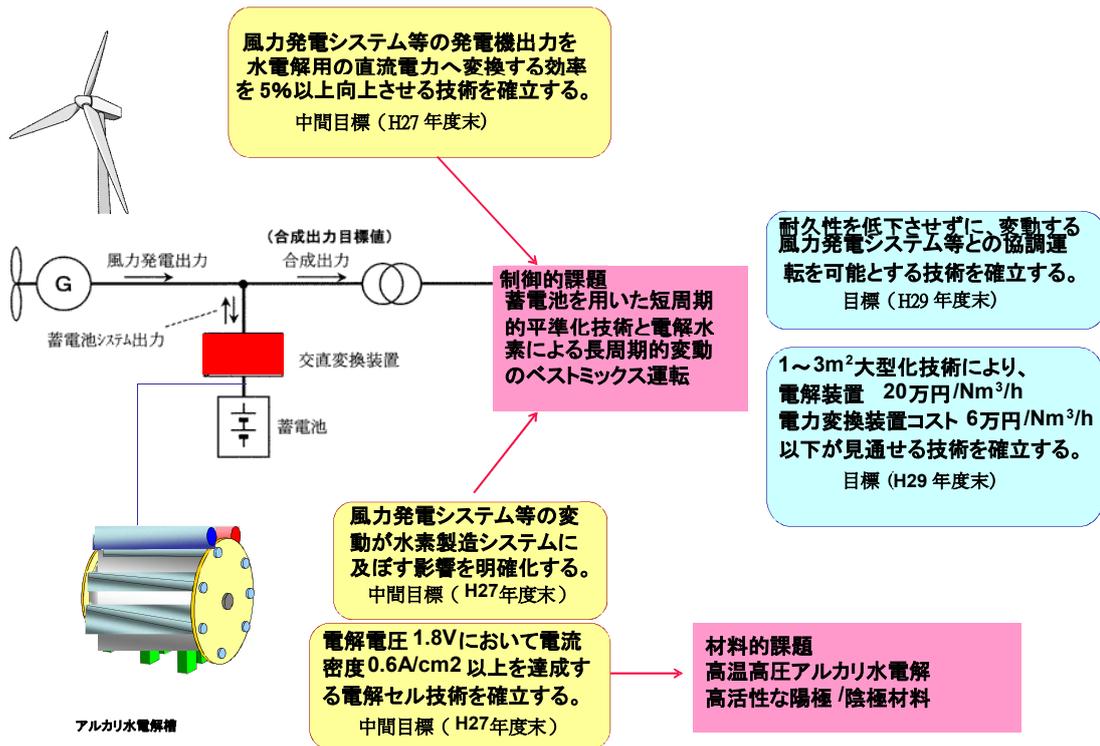


図-1 本事業の目標及び課題

また、(1)の事業目的に述べたように、平成 26 年度から 4 年間の期間で再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術の実現を目指すことであり、全体のスケジュールは表-2 に示すようなものであるが、研究期間内に小規模の離島のエネルギー自立のビジネスを開始したいと考える。

事業全体では「再生可能エネルギー発電設備と組み合わせた水素製造システムの開発」と「高効率かつ低コストのアルカリ型水電解装置開発」を委託先の日立造船が担当する。電極材料の組成改良や、腐食等の解析等の電解槽要素技術開発は、再委託先の東北工業大学 加藤善太 准教授の研究グループが担当する。本電極材料の研究は橋本功二東北大学/東北工業大学大名誉教授から引き継がれており、継続的に研究が続けられている点が、再委託の理由である。



表-3 従来技術の現状と研究開発目標

メーカー	国	圧力 Barg	電力原単位 kWh/Nm <sup>3</sup>	電流密度 A/cm <sup>2</sup>	電解槽電圧 V	容量 Nm <sup>3</sup> /h	電極面積 m <sup>2</sup>
NEL (Norsk Hydro)	ノルウェー	1	4.1			50-377	3
		12	4.8	0.2	1.8	10-65	
Hydrogenics	カナダ	10/25	4.2	0.44	1.85	63-200	2
IHT	スイス	1	3.9			3-330	0.8-3
		32	4.61	0.2	1.9	110-760	
AccaGen	スイス	6/10/30	4.6-4.8			1-100	
サンシャイン計画	日本	10/20	4.0-4.2	0.4	1.67-1.75	20	0.64
公募目標			4.3	0.6	1.8		1-3

表-4 サンシャイン計画における高温高压アルカリ水電解槽の条件

サンシャイン計画での主な仕様	
電解液	25-30%KOH
電極	表面拡大ニッケル電極
隔膜	多孔質PTFE+チタン酸カリウム
圧力	20気圧
温度	120°C
電流密度	0.4 A/cm <sup>2</sup>
電解電圧	1.67V(初期性能)、1.75V(長期性能)

本事業における高効率アルカリ水電解装置の開発では、過去サンシャイン計画での経験を踏まえ、表-4の材料的課題を克服し目的を達成するものとする。具体的には、東北大学、東北工業大学で研究開発された図-2に示すような電極材料の適用を検討し、さらに図-3に示すようなその他の電解槽構成材料の検討を行い、目的を達成するものとする。

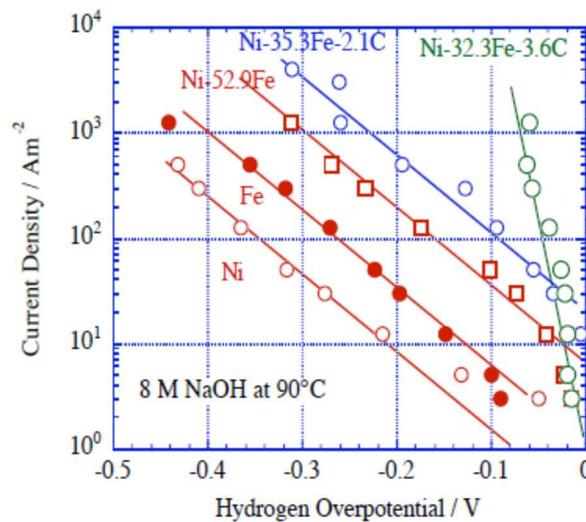


図-2 水素発生用陰極材料の電極性能

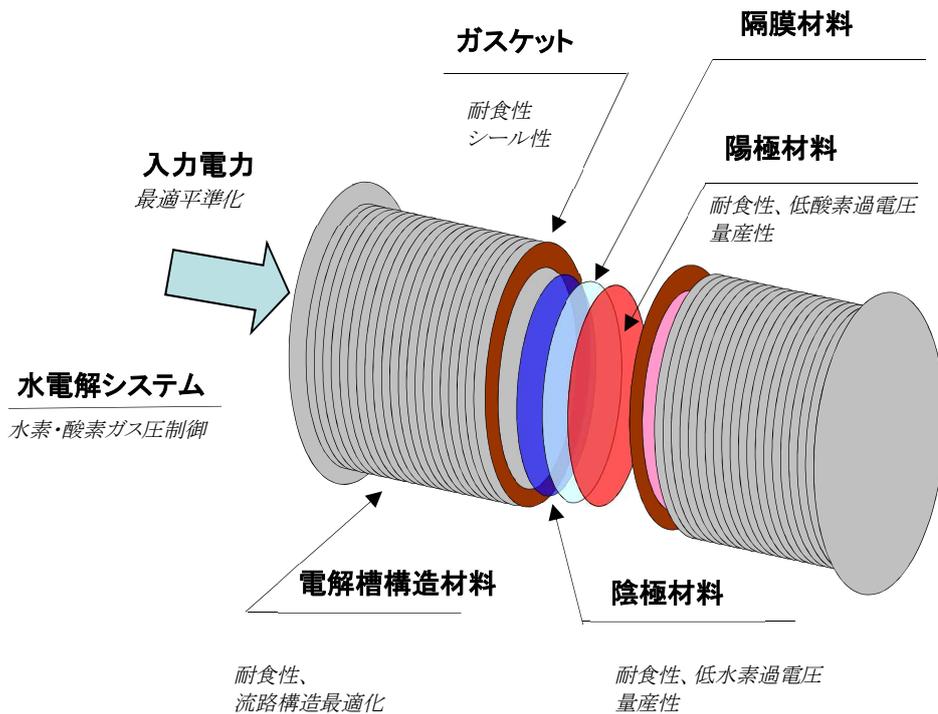


図-3 高効率アルカリ電解槽の研究開発イメージ

さらに、本事業では再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術の実現を目的としており、再生可能エネルギーとりわけ風力発電とアルカリ水電解との連携が非常に重要な技術開発課題である。

日立造船では風力発電設備、太陽光発電設備等の再生可能エネルギー発電設備とそれに付随する蓄電池とディーゼル発電設備の出力制御に関するシミュレーション技術を保有している。

低負荷対応ディーゼルと風力発電のハイブリッドシステムの構成を図-4 に示す。

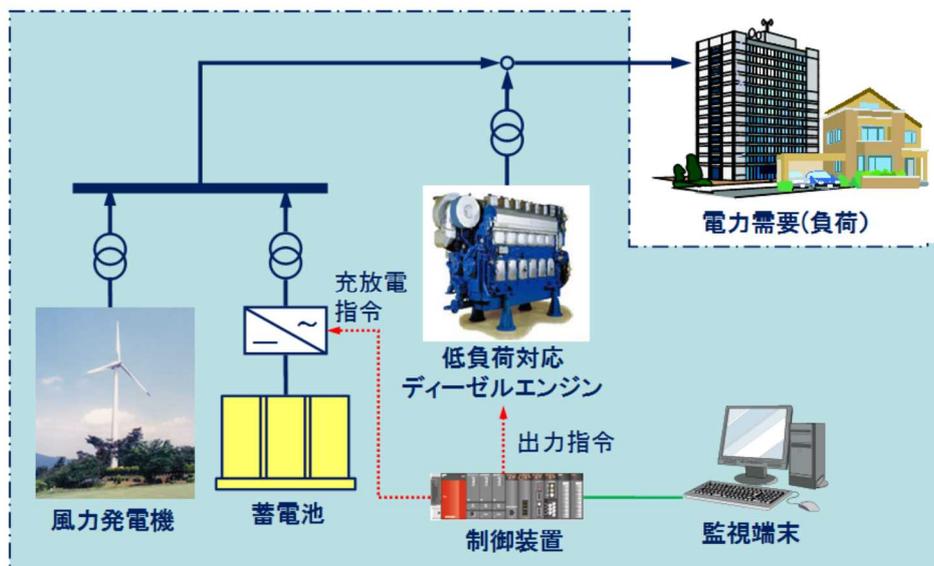


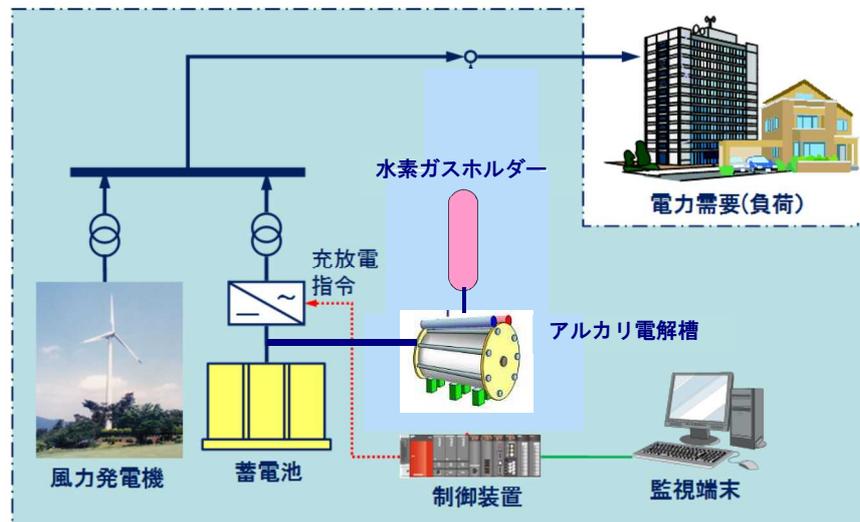
図-4 低負荷対応ディーゼルと風力発電のハイブリッドシステムの構成

本事業では、上記のシミュレーション技術を応用し、風力発電の出力変動と消費側の需要変動のマッチング及び余剰電力の利用の最適化を図るために両変動のデータを収集すると共にシミュレーション計算にて

解析する。

図-5 に示すような再生可能エネルギー発電設備と組み合わせた水素製造システムの全体のシステム構築のため、制御システムのソフトウェア開発及びそれに必要な周辺機器の研究を行い、本事業の目的を達成するものとする。

図-5 風力発電とアルカリ水電解装置を組合せた制御イメージ



## (2)事業内容及び研究開発目標

### ①アルカリ水電解の高効率化(担当:日立造船株式会社、東北工業大学)

本項目では、「電解電圧 1.8V において電流密度 0.6A/cm<sup>2</sup> 以上」という平成27年度末中間目標を達成するため、電極材料の改良および電解槽と電解装置による電解評価試験を実施する。ここで、電極材料の改良は東北工業大学が実施し、高活性かつ耐久性を有する電極組成を見出すことを目的とする。

また、電解評価試験については日立造船が実施する。はじめに電解槽の各構成要素の組み合わせを最適化し、電解性能を高効率化するため、電極面積 64cm<sup>2</sup> の電解槽を用いたラボスケール試験を実施する。次に最適構成要素による実機スケールの電解槽性能を評価するため、電極面積が数 1,000cm<sup>2</sup> 程度の小型実機スケール電解槽および 50Nm<sup>3</sup>/h のアルカリ電解装置を製作し、両者による実機スケール評価試験を実施する。本試験とラボスケール試験の性能とを比較することでスケールアップによる課題を抽出し、平成29年度目標である、さらなる電解槽の大型化によるコストダウンへの指標を獲得する。

さらに、平成26年度から「耐久性を低下させずに変動する風力発電システム等との協調運転を可能とする技術の確立」という平成29年度末目標を達成するため、ラボスケールの電解装置および電解槽を使用して定電流連続電解試験を開始し、電解装置を構成する各種機器や計装品、電解槽の各種構成部材におけるアルカリ電解試験における耐久性のベースデータを把握する。続けて、風力発電による変動電流を模擬した負荷変動連続試験を行い、一定電流連続試験後の電解装置および電解槽の耐久性データと比較することで負荷変動に特有の耐久性課題を把握し、耐久性向上に効果的な装置改良や耐久性の視点からの電解槽構成材選択を進める。

#### ①-1 アルカリ水溶液電解用陰極材料の改良(担当:東北工業大学)

アルカリ水溶液電解用陰極材料として、通常、ニッケルが使われているが、これに鉄、コバルト、炭素を添加することは、水素発生に対する電極活性向上に有効で、これら3元素を合わせて添加することが特に有効であることを見出し、量産化が可能であるめっき法で作製したNi-Fe-Co-C合金電極が、水素発生に極めて高活性であることを見出している。電極作製(めっき法)において、ニッケル、鉄、コバルト源には硫酸塩あるいは塩化物のような無機塩を用い、炭素源にはアミノ基とカルボキシル基をもつ長鎖のアミノ酸であるリシンを用いている。したがって、高活性と耐久性の確保のため、メッキ条件(浴組成、温度、電流密度等)を調整することにより、合金組成の最適化を行なうことが必要である。

これまでにコバルトと共に十分な鉄および炭素を含み、水素発生に最高活性を示すニッケル合金を調製する最適条件を検討してきた。

これらの合金は、陰極として水素発生中は安定であるが、電解を停止して高温アルカリ溶液に放置すると鉄とコバルトが溶け出す可能性があり、炭素の存在がこれを防止することが判明している。よって、

平成26年度では、水素発生活性および耐久性を兼ね備えた電極を得ることを目的とし、耐久性試験等の基礎試験を実施し、水素発生の活性と自然放置時の耐久性を保証する機構の検討を行なう。

#### ①-2 ラボスケール試験(担当:日立造船株式会社)

ラボスケールの電解槽(電極面積 64cm<sup>2</sup>)および電解試験装置を設計・製作し、電解槽構成要素(隔膜、電極、シール材等)の候補材料を電解槽に組み込んで電解試験を行い、材質や構造について選定を行う。選定基準としてはアルカリ水電解に適合した物理的、化学的強度や電解槽構造への適用性、電解電圧に与える影響等である。各構成要素の候補としては、隔膜の場合、PPS 繊維膜やポリアンチモン酸隔膜、PVA(ポリビニルアルコール)系ハイブリッド膜等を検討する。また、電極については①-1 で開発する高活性電極(特許第 4085772 号および 4561149 号)とともに、メッキ基材の選定を行う。さらにシール材については、一般的に強アルカリに耐性を持つ EPDM ゴムを原料としたシール材開発を行う。

これまでに電解槽構成要素である隔膜および電極について電圧低減の観点で絞り込みを行い、大気圧下で電流密度 0.6A/cm<sup>2</sup> において 1.85V 程度の電圧を示すことを確認している。また、ラボスケール試験装置および電解槽を設計・製作して両者を使用したバッチ試験を行い、平成26年度実施予定の耐久性評価試験やラボスケール試験環境を整えた。

平成26年度は、ラボスケール試験装置を用いて圧力、循環流量、温度、濃度等の各種運転パラメータを変化させたバッチ試験を行い、運転パラメータの設定検討を行うとともに、各電解槽構成要素の絞込みを継続する。その際、安全性の観点から重要となる隔膜のガスバリア性について、運転中の酸素中水素濃度を評価し、選定基準の一つとする。なお、試験にはラボスケール用温水循環装置を購入して取り付けることで、高温温度制御を可能とする。

平成27年度は、中間目標である電流密度 0.6A/cm<sup>2</sup> で電解電圧 1.80V 以下を達成するための運転パラメータの最適化を行う。

## ②アルカリ水電解装置の耐久性評価(担当:日立造船株式会社)

耐久性評価試験の目的は、長時間運転による電解特性(電解電圧やガスバリア性等)の経時変化を評価し、運転後の隔膜や電極材、シール材、複極板等の電解槽構成要素について物理的(強度、シール性、構造保持等)および化学的(電極活性、アルカリ腐食耐性、ラジカル酸化耐性、導電性保持等)観点から分析を行い、劣化要因を把握し、対策を立てて克服することである。

平成26年度は、ラボスケール試験装置および電解槽を使用した1,000時間単位の定電流連続電解試験を実施し、電解特性の経時変化を測定する。併せて、試験後の電解槽構成要素の分析により耐久性改善のための課題を抽出する。また、ラボスケール用負荷変動試験装置を用いて、風力発電の電力変動を模擬した変動電流連続電解試験を100時間単位で実施し、定電流連続試験データとの比較により、電力変動に起因する劣化要因を把握する。

平成27年度は、平成26年度にて把握した耐久性改善のための要因および電力変動に起因する劣化要因に対策を講じ、定電流連続試験および変動電流連続試験を1,000時間単位で実施し、耐久性の向上について確認を行う。

なお、各年度において運転パラメータの選定や安全性の観点から必要なラボスケール試験装置の改造を行う。

## ③アルカリ水電解装置の低コスト化(担当:日立造船株式会社)

平成29年度末目標である「大量生産時の水電解装置コストとして20万円/Nm<sup>3</sup>/h以下が見通せる技術」を達成するため、電解槽、電解装置の各々でコストダウン要素の導入を試行する。電解槽材料の中で量産効果による低コスト化が特に期待されるものとして、電極、隔膜、複極板、シールガスケット等が挙げられ、これらの材料を中心に電解槽の低コスト化を図り、大量生産時の製作コストを把握する。また、アルカリ電解試験装置における構成材料の耐久性確認や必要十分な装置フロー設計を確認することで、コスト削減の観点から最適な装置設計を行う。

平成26年度は電解槽の電極について合金メッキを大型・量産化した場合のメッキ品質の均一化、再現性および耐久性を確認する。また、合金メッキよりも低コスト化が見込める熱処理による電極製造方法について試作を行う。さらに、複極板、隔膜材、シールガスケットに関しても量産を見越した材料選定、製造方法検討を行う。

平成27年度は上記の電解槽に関する低コスト要素検討の継続とともに電解装置の運転パラメータや装置フローの点から低コスト化要素を洗い出し、平成29年度目標達成に向けた装置全体のコスト目標を明確化する。

## ④アルカリ水電解装置の大型化(担当:日立造船株式会社)

①-2のラボスケール試験により選定した電解槽の各構成要素を適用して実機スケールの電解槽(電極面積:数1,000cm<sup>2</sup>)の設計・試作を行う。また、日立造船が持つ固体高分子型水素製造装置の設計・製造ノウハウを駆使して実機スケールのアルカリ水電解評価装置(水素製造量:50Nm<sup>3</sup>/h)を設計・試作する。これに、試作した電解槽を組み込んで、気液分離器の構造や循環液流量、運転圧力、運転温度といった各種パラメータを変動させた実機スケールの電解評価試験を実施し、運転条件最適化による電解高効率化を行った後、中間目標値との比較を行う。

これまでに、小型実機スケール電解槽(電極面積:約2,500cm<sup>2</sup>)を設計し、小型実機スケール電解槽用ガスケットシール金型により作製したシール材を含む構成部材を試作し、小型実機スケール電解槽用組立治具を用いて20セルスタック電解槽の試組立を行い、部材間の整合および組立方法を確認した。また、50Nm<sup>3</sup>/hアルカリ水電解試験装置を設計し、平成26年度の装置組立に備えて整流器・計装機器・ポンプ等の購入ならびに気液分離器・制御盤等の試作を行った。

平成26年度は、電解槽架台および電解槽取付用クレーンを含む50Nm<sup>3</sup>/hアルカリ水電解試験装置の組立・試運転を実施する。電解装置並びに電極面積大型化に伴う課題を把握するため、小型実機スケール電解槽用の電極メッキ方法検討および4セルスタックの電解槽の試作および運転試験を行う。また、電解槽のさらなる大面積化・高積層化・量産化に資するため、シール材の改良(設計およびシール金型を用いた試作)を行なう。

平成27年度は、セル積層化に伴う電解槽並びに電解装置の更なる課題を抽出するため、20セルスタックの電解槽(12.5Nm<sup>3</sup>/h)を試作および電解試験を行なう。

次いで50Nm<sup>3</sup>/hアルカリ電解装置を使用して小型実機スケール電解槽の連続運転試験を実施し、運転パ

ラメータや構成部材の検討および装置改良を進め、その検討を元に水素発生量 50Nm<sup>3</sup>/h の実証試験用電解装置を設計する。さらに、小型実機スケール電解槽の設計・製作・解析の結果や経験を駆使し、平成29年度末目標である電極面積1～3m<sup>2</sup>を有する大型電解槽の設計・解析作業および製作方法の検討を行う。

⑤水素製造システムのFS(担当:日立造船株式会社)

⑤-1 シミュレーション計算による水素製造システムの検討(担当:日立造船株式会社)

これまでに調査した文献に記載されている離島の風速データと風車パワーカーブより風車発電電力量を推定し、年間余剰電力量を仮定した。

平成26年度は、離島の風速データを用いて実用的な水素製造システムの構成機器の仕様をシミュレーション計算により設定する。具体的には、本システムを用いたピークカット運用などを検討し、貯蔵タンク容積や機器構成を最適化するとともに発電制御システムの基本設計を実施する。

⑥水素製造システムの実証試験(担当:日立造船株式会社)

⑥-1 余剰電力に関する調査(担当:日立造船株式会社)

これまでに風力発電を中心とした再生可能エネルギーの平準化のための蓄電池等で実施しているエネルギー貯蔵および負荷分配制御に関する制御方法の国内の文献調査を実施してきた。また、再生可能エネルギーの有効利用方法に関する海外調査も実施した。具体的には、発電量に対する再生可能エネルギーの導入割合が22%(2012年)に達するドイツでは、再生可能エネルギーの余剰電力を利用したPower to Gas(再生可能エネルギーを燃料ガスに変換する技術の総称)のプロジェクトが進められており、その調査を実施した。

平成26年度は、風力発電などの余剰電力を利用した水素製造システムおよび発電システムの国内外の文献をさらに調査する。また、現地調査として、風力発電の余剰電力を利用した水素製造システムの最先端の研究に取り組んでいる研究機関を訪問し、制御技術などに関してより詳細に技術調査を実施する。

⑥-2 高効率の交直変換器の調査(担当:日立造船株式会社)

風力発電システムの変動が交直変換器に及ぼす影響、風力発電システムによる電力品質が交直変換器に及ぼす影響、負荷であるアルカリ水電解装置へ出力した場合の影響、設置環境による影響を調査し、交直変換器の仕様を設定する。

平成26年度は、⑤-1により設定された仕様に合わせて実証試験のための具体的な交直変換器の設計を実施する。

⑥-3 水素製造システムの設計(担当:日立造船株式会社)

⑤-1にて実施されたシミュレーション計算結果に基づいた水素製造システムの構成機器の仕様を設定し、各機器の基本設計を実施する。

平成26年度は、水素製造システムの構成機器(電気設備、ガス貯蔵設備、発電設備等に関する機器)の仕様を設定し、数通りの水素製造システムの基本設計を実施する。基本設計された数通りの水素製造システムの中で、運用面および経済性を考慮して実証試験に最適な水素製造システムを選定する。

平成27年度は、平成26年度にて選定された仕様に基づいて水素製造システムを設計する。

⑥-4 実証試験場所の検討(担当:日立造船株式会社)

水素製造システムの実証試験に適した離島条件の検討を実施する。

平成26年度は、水素製造システムに最適な離島条件の選定を実施する。

⑥-5 水素製造システムの構成機器の製作(担当:日立造船株式会社)

⑥-3にて設計された実証試験のための水素製造システムの構成機器の製作を実施する。

平成27年度は、実証試験のための水素製造システムの構成機器の中で、⑥-2にて設計した交直変換器のみの製作を実施する。

## 研究開発項目② 高効率水素製造技術の研究

### 1. 研究開発の必要性

水素を利用して、出力変動緩和のための蓄エネルギーシステムの可能性評価及び開発、再生可能エネルギーの調整電源化等を行うことで再生可能エネルギーを効率的、安定的に活用可能とすることとなり、エネルギーセキュリティ、エネルギー産業の国際競争力強化の観点から極めて重要である。そのため、本研究開発項目を実施する。

### 2. 研究開発の具体的内容

原理的に電解効率に優れた高温水蒸気電解等の技術について、電解セル構成材料、セル構造、セル運転条件等の革新およびセル・スタック製造技術の開発、耐久性向上の研究等により変動する再生可能エネルギーへの追従性を確保するとともに、水素製造効率を飛躍的に向上させる次世代水素製造技術の研究開発を行い、水素製造電力消費の低減、電力貯蔵等への適応可能性を明らかにする。さらに、小規模な水素製造システムを試作して技術実証を行う。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・高温水蒸気電解システムとして、入力2kW程度の電解スタックにおいて各電解セルの平均電圧1.3V、水蒸気利用率70%程度の時、平均電解電流密度0.5A/cm<sup>2</sup>以上を達成するセル・スタック製造技術を確立する。
- ・次世代水素製造システムとして、水素製造電圧1.6Vで電流密度0.6A/cm<sup>2</sup>以上または水素製造装置の単位体積あたりの水素生成能力50Nm<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>を達成する技術を確立する。

#### 【最終目標(平成29年度末)】

- ・高温水蒸気電解システムとして、入力2kW程度の電解スタックにおいて各電解セルの平均電圧1.3V以下、平均電解電流密度0.5A/cm<sup>2</sup>程度の初期条件でスタックを2,000時間以上電流密度一定で運転した時の1000時間あたりの電圧上昇率0.5%以下を達成する技術を確立する。
- ・次世代水素製造システムとして、入力20kW程度の水素製造システムを試作し、既存の燃料電池等の発電システムとの組み合わせを想定した場合に、直流電力から水素を経て再び直流電力に変換する効率(直流電力→水素→直流電力変換効率)について70%以上が見通せる技術を確立する。

(株式会社東芝)

## 高効率水素製造技術の研究／高温水蒸気電解システムの研究

### (1)事業概要

今後、水素エネルギー社会への移行が進む過程で、水素製造においては、化石燃料・改質水素からグリーン水素の利用への移行が、また、電力貯蔵においては、効率を追及せず余剰電力吸収能確保を一義的な目的とした“Power to Gas”システムから、より経済性を重視した電力貯蔵システムへの移行が、順次進むものと考えられる。こうした社会ニーズに対して、「グリーン水素製造」と「水素電力貯蔵システム」に適用する高温水蒸気電解の技術は、極めて高い意義を持つ開発課題である。

本事業では、高温水蒸気電解法を用いた、水素製造システムおよび電力貯蔵システムに関する要素技術を開発し、実験機の製作・運転に目処を得る。結果、以後の商用機開発と、市場形成を先導していくことに大きく寄与することを目的とする。

### (2)事業内容及び研究開発目標

高温水蒸気電解法を用いた、水素製造システムおよび電力貯蔵システムに関する要素技術を開発し、実験機の製作・運転に目処を得ることを目標に、固体酸化物形電解セルの材料技術、将来の大型化を見通せる電解セル・スタック製造技術、熱利用等の周辺機器要素とモジュール形成技術、並びにシステム設計・制御技術の開発を実施する。

固体酸化物形電解セルについては、材料系の適正選択、および工学寸法のセル製造技術の確立、を検討し、システム設計に反映するため、電解運転条件と開発セル特性について、詳細データを取得する。

セル・スタックについては、製造水素をロス無く回収するための高温ガスシール技術の開発を実施する。併せて、セル・スタックは装置費に占める割合が高いと想定されるため、将来の実用化に向けて低コスト化を追求した構造検討を並行して進める。

モジュールについては、断熱、熱回収、熱供給、熱交換の周辺機器要素について、各々技術確立し、システム効率の向上のため各周辺機器要素のモックアップ試作・評価による特性データ取得を行い、熱機器の計算解析技術を用いて、部材選択・機器設計を進める。さらに電力貯蔵システムでは、蓄熱技術の確立と、蓄熱器との熱授受機構を加えたセル・スタック構造の開発を進める。

システム設計・制御では、プラント運転特性のシミュレーション技術の構築を実施する。(化学反応－電気－熱流動)カップリング解析モデル、運転シミュレータ等の開発を進めるとともに、システムの詳細設計と運転仕様の検討を実施する。具体的な検討実施内容は、以下である。

#### ①セル・スタック評価試験装置の設計製作

H25 年度に、開発セル・スタックの水蒸気電解特性を評価するための試験装置を設計製作した[図 1]。今後、導入した装置を用いて、セル・スタックの特性評価を継続して実施する。なお、評価条件などの必要に応じて、装置の改造などを実施する。

#### ②セル・スタックの試作、特性評価

##### a) 円筒平板型セルの電解基礎データの取得

H25 年度に、現行の燃料電池発電で用いられている円筒平板型セル(片端開放)について、切出しボタン形状セル／単セル／ショートスタック(7 セル)／フルスタック(140 セル)を用いて、電解特性を概略評価した。H26 年度は、耐久性を継続評価するとともに、特性ばらつきを評価する。セル・スタックの耐久性と特性ばらつきは、システムの成立性に関係する重要因子であり、評価結果をシステム設計検討に逐次反映する。

##### b) 円筒平板型セル(両端封止)の電解基礎データの取得

H25 年度に、生成水素の回収を可能とする、両端封止型の円筒平板型セル・スタックの候補構造を開発した[図 2]。H26 年度は、この両端封止構造のショートスタック(7 セル)／フルスタック(d項の検討でセル数を決定)について、想定する運転温度領域(650～800℃)で、温度、水蒸気濃度、利用率などをパラメータに、初期の電解特性を評価する。また、連続運転を行い、耐久性の評価を行う。H27 年度は、耐久性評価を継続するとともに、モジュール化に向けた基礎検討を行う。

##### c) セル・スタックの物性データの取得

後述のシミュレーション技術開発、およびシステム設計のため、セル・スタックの諸物性値が必要である。

具体的には、シミュレーション技術開発において、電極・電解質・集電体などの熱的・機械的物性および構造体の圧損など、システム設計において、水素極／酸素極間の耐差圧およびセル・スタックの熱的・機械的(等価)物性、などである。H26 年度に、円筒平板型セル・スタック(先端開放、あるいは両端封止構造)の適切な試験体で、評価を実施する。

#### d) 円筒平板型セル・スタックの両端封止構造の検討

H25 年度に、円筒平板型セル・スタックの両端封止について候補構造を選定し、7 本ショートスタックまで良好に製造可能なことを確認した。H26 年度は、円筒平板型セル・スタック(両端封止構造)について、フルスタックの構成を決定する。そのため、適切なセル数、スタック方式などについて、試作と試験検証を中心とした検討を行う。H27 年度は、製造プロセスの改良検討を実施する。

#### e) 低コスト化に向けた検討

低コスト化に向けた検討として、平板型の電極支持型セル・スタックを試作し、電解特性評価を行い、将来に向けた適用可能性を評価する。

### ③ 水素製造システム設計

水素製造システムの規模は、実験的 FCV 用水素ステーションの 150kW 程度(約 50Nm<sup>3</sup>/h)から、再生可能エネルギー電力貯蔵用の MW 級まで考慮する必要がある。大容量化に対しては、開発リスク低減の観点から、汎用性のある規模のモジュールを複数設置することを想定する。また、1 モジュールには、スタックが 50~70 個(1 スタック=2~3kW)収納されることを想定する[図 3]。

H25 年度は、150kW 級システムについて概念設計を行い、系統仕様、運転方法、主要機器であるモジュールの仕様を検討した。更に、これらのシステムの妥当性確認、及び設計ツールとしてのシミュレーション技術の開発を行った。H26 年度は、セル・スタック試験結果のシステム設計への反映、モジュールの熱的挙動に着目したモックアップ(スタックを装荷しない)試験の実施、これらの知見を反映したシミュレーション技術の開発を行う。H27 年度は、H26 年度のセル・スタック試験でのレファレンス構造のセル・スタックを複数用いたマルチスタック試験を行い、水素製造を実施する。そして、I-V 特性、電力変動時の応答性データを取得する。

#### a) 系統及び機器仕様の検討

H25 年度は、系統構成[図 4]、運転条件(流量・圧力・温度)、系統内で熱回収を行う熱交換器等の主要機器仕様を暫定した。H26 年度は、セル・スタックの電解性能、還元用水素流量等の試験結果を反映し、システム検討の詳細化を図る。検討にあたっては、市販のシステム解析コード(VMG-Sim)等を用いて、静バランス評価を行う。また、製品水素の用途によっては、下流システムの余剰熱を本システムで利用することができる。そこで、これら下流システムとの適合検討を行う。H27 年度は、検討結果を受けて、系統設計に反映する。

#### b) 運転・制御方法の検討

H25 年度は、再生可能エネルギーを念頭に変動する電力に対応する運転・制御方針を決め、これに則した制御ブロック図を作成した。H26 年度は、後述する統合シミュレータにて、本システムの運転性、制御性の確認検討を行う。H27 年度は、検討結果を受けて、運転・制御方法に反映する。

#### c) モジュールの機器設計

モジュールは、セル・スタック、反応容器、配管、ケーブル等で構成され、500℃以上の高温環境下に耐える必要がある。H25 年度は、モジュール基本設計検討により機器仕様を決定した。H26 年度は、本機器仕様をベースにセル・スタックと整合をとった構造検討を行う。検討にあたっては構造解析評価も実施する。H27 年度は、H26 年度のモックアップモジュール試験結果、構造解析結果を受け、構造検討を行い、機器構造図を作成する。

#### d) 高温機器等の設計

H25 年度の検討で、各機器の使用条件を定めた。高温下で使用可能な機器は在るものの、高濃度水素雰囲気、高濃度酸素雰囲気下でのデータは少ない。そこで、既存の材料データの整備、及び不足分については取得の計画を行う。また、熱交換器等については、これらのデータに基づき設計を行う。H27 年度は、高温熱交換器の小規模な試作機を作り、マルチ試験装置に組み込み、性能を確認する。

#### e) プラント配置／サイジング検討

H25 年度は、当該システムの機器・配管配置検討を行い、機器配置図を作成した。H26、H27 年度は、構成機器についての検討を反映した見直しを行う。

### ④ 水素製造システムのシミュレーション

本システムの設計は、シミュレーション手法を開発し、これを用いて進める。シミュレーション手法の妥当性は、部分試験で検証し、最終的にはシステム試験で確認する[図 5]。シミュレーション技術として、以下の開発を実施する。

#### a) セル・スタックの(化学反応－電気－熱流動)カップリング解析

セル内における電解反応は、化学反応、電気、熱流動現象が、相互に影響し合って進行する。そこで、これらを統合したシミュレーション手法を開発する。解析コードは、Fluent として、H25 年度は、単セルのモデルを作成し、試験結果との比較を行った。H26 年度は、単セルモデルの改良を行うとともに、セル・スタックのモデルを作成し、試験結果との比較を行う。また、本解析結果より、b項のモジュール内の伝熱流動解析、c項の統合シミュレータでのセル・スタックモデル化を検討する。H27 年度は、H26 年度のセル・スタック試験を受け、モデルの改良を行う。この改良を、b項のモジュール内の伝熱流動解析、c項の統合シミュレータでのセル・スタックモデルへ反映する。

#### b) モジュール内の伝熱流動解析

H25 年度は、モジュール内の温度均一化のために、外部ヒータ配置をパラメータとした熱流動解析を実施した。ここではセル・スタック発熱は入力とした。H26 年度は、セル・スタック発熱にa項で検討したモデルを反映する。また、モジュール設計を反映した熱流動解析を実施する。更に、モックアップモジュール試験結果を用いて本解析手法の妥当性を確認する。H27 年度は、H26 年度のモジュール試験結果との比較知見を受けモデル改良し、この知見を反映した実機解析を行う。また、マルチスタック試験結果を用いて本解析手法の妥当性を確認する。

#### c) 統合シミュレータ(大同大学)

前述③のb項の運転・制御方法を検討するため、統合シミュレータ(動特性)を開発する。H25 年度は、熱交換器群および SOEC セル・スタックの近似モデルを組み合わせたシミュレータの基本構成、フレームを作成した。これにより、SOEC セルの結合方法に関する検討、ボイラ等の制御のための対象モデルの基本構成を作成できた。H26 年度は、要素試験データを反映したシミュレータの改良を行う。また、③の検討結果を受け、制御系モデル等の組み込みを行う。H27 年度はマルチスタック試験の運転データに基づき、モデルの改良を行うとともに、制御系を改良する。

### ⑤モジュール試験およびマルチスタック試験の検討

H25 年度は、モックアップモジュール(スタックを装荷しない)試験の計画立案、装置の仕様を決定し、装置の設計を実施した。H26 年度は、装置の作製および試験を実施し、セル・スタックを除くモジュール部分について、課題抽出と改良検証を先行して行う。具体的には、スタック間およびスタック系列間の流量配分確認試験、モジュール内の温度分布確認試験[図 6]、およびバルブやオリフィスに対する高温水蒸気の圧力損失測定試験である。各々専用の開発装置により試験する。H27 年度は、H26 年度の試験で挙げられた改善点を試験装置へ反映する。

さらに、H26 年度までのセル・スタック試験結果、モックアップモジュール試験結果を反映して、複数のセル・スタックを反応容器に収納したマルチスタック試験を、H27 年度に実施する。H26 年度は、この試験の計画を立案し、試験装置の設計を行う。

### ⑥電力貯蔵システム設計

高温水蒸気電解法による電力貯蔵システムは、電池反応で生じた熱を電解反応で利用することにより高い充放電効率を達成できるポテンシャルを有する。一方、本システムを普及するためには、他の電力貯蔵システムに対してコスト競争力をもつシステムを開発する必要がある。H25 年度は、低コスト化の検討を行い、コスト低減効果が大きい概念を抽出した。H26 年度はこれらについてシステム概念を構築する。H27 年度は、H26 年度の検討をまとめ、系統設計仕様書、主要機器の仕様をまとめる。

### ⑦高温蓄熱技術の開発

H25 年度は、MW 級電力貯蔵システムを想定した高温蓄熱装置の概念設計を行い、蓄熱セル構成について課題を抽出した。また、最適運転温度(700~800℃)に対応する候補材料を選定し、低コスト化施策を検討した。並行して、蓄熱材(熔融塩)の漏れ検知方法の検討、および構成材料の腐食量評価を行った。H26 年度は、蓄熱構造要素試験、抽出候補材料の特性評価と低コスト化、漏れ検知効率向上と構成材料の耐食性向上について検討する。H27 年度は伝熱要素試験と 10kW 級水素電力貯蔵システム用蓄熱試験装置の設計を行う。また、選定した材料での蓄熱セルの試作試験と健全性評価、高温での漏れ検知試験、選定した構成材料の施工試験を行う。

## 高効率水素製造技術の研究／次世代水素製造システムの研究

### (1) 事業概要

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギー・節電対策の抜本的強化、再生可能エネルギー導入・普及の最大限の加速、環境負荷に最大限配慮した化石燃料の有効活用等が求められている。このうち再生可能エネルギーの導入については、再生可能エネルギーは出力変動が大きいので、発電設備の増大とともに余剰電力量も増大していく見込みである。このような課題に対し、本事業では余剰電力あるいは風力発電を中心とする国内外の再生可能エネルギー適地等での低コスト電力の有効利用のために、再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術の研究開発に取り組み、水素、各種エネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格の実現を目指す。

### (2) 事業内容及び研究開発目標

#### ①負極材料の探索(担当:エクセルギー・パワー・システムズ株式会社)

負極には水素吸蔵合金を用いるが、操作圧力、温度によって水素の吸脱着平衡を考慮して、最適材料を選択する必要がある。これまではニッケル水素電池で用いられている材料を用いて試験を行ってきたが、高圧水素で貯蔵することを考えて、より吸脱蔵の平衡圧力がより高圧側の水素吸蔵合金を用いた方が良いと考えられる。そこで、材料メーカーの協力を得て、水素吸蔵合金のデータベースを検索し、候補材料を絞り込み、過充電ー水電解水素発生試験を行い、最適負極材料を選択する。

#### ②正極材料の探索(担当:東京大学)

正極は通常のニッケル水素電池と同じNiOOHを用い、負極規制の電池で開発をすすめるが、最終的には、正極も燃料電池・蓄電池化を図る必要がある。この場合、電気化学的に酸化・還元できるとともに、酸素を吸脱着できるか、あるいは、化学的に酸化できることが必要となる。このような正極材料を探索する。現在までに、MnO<sub>2</sub>が化学的に酸化、電気化学的に還元できることを見だし、電位を制御することで繰り返し反応が可能であり、数千回以上のサイクル試験をすでに実施し確認済みである。しかし、反応速度、特に化学的酸化反応速度が遅く、これを向上させる工夫が必要になる。これには、電極構造の最適化(界面積の増大、ぬれ性制御など)と共に、触媒の添加等の検討を予定している。

#### ③負極構造の最適化(担当:エクセルギー・パワー・システムズ株式会社)

電極の構造としては反応面積が大きく、電子導電性に優れることが、電流密度および電解電圧の低下につながる。したがって、このような電極構造の最適化が大きな課題である。また、反応界面のぬれ性が悪い場合は、生成した水素が反応界面を被い電解液でぬれなくなるため、反応が進まなくなる。このようにぬれ性の制御も重要な課題である。これに対しては、電極構造の最適設計とこれを実現する電極製造方法の開発が求められる。一般的に、電極は活物質と伝導助剤をバインダーとともに混練して集電体に塗布して作る。これに対して、本研究では、親水性と疎水性の両特性を持つバインダーを使用し、混練造粒した三次元電極を作製して水電解により発生する水素ガスを電極表面から速やかに除去できる電極構造を検討する予定である。

#### ④正極構造の最適化(担当:東京大学)

負極と同様、正極の場合も大きい反応面積、優れた電子導電性、濡れ性の制御等が必要であり、電極構造の最適設計とこれを実現する電極製造方法の開発が求められる。正極の電極構造としては、波状構造、多孔質充填構造、ファイバー状構造のものを試験しており、MnO<sub>2</sub>をカーボンファイバー状に電解析出させたファイバー状構造の正極が、最も優れているという結果を得ている。これは、界面積が大きく、電気抵抗も小さいためと考えられる。そこで、ファイバー状構造を中心に、表面のぬれ性の制御、さらには酸素還元能を高める触媒の探索等と合わせて最適構造を検討していく。

#### ⑤最適スタック構造の設計(担当:エクセルギー・パワー・システムズ株式会社、東京大学)

負極・正極間距離を短くして内部抵抗を下げて電解効率を上げる。接触抵抗が小さく大電流を流せるとともに、集積化・スケールアップした場合、除熱が容易で、温度を一定に保持できるスタック構造を設計する。また、水素ガスと酸素ガスが混合しないシステムを研究・開発する。

#### ⑥全体システム設計(担当:エクセルギー・パワー・システムズ株式会社、東京大学)

負極規制(正極活物質が大過剰)のニッケル水素電池を用いて、過充電し水電解水素を発生させ、それを負極水素吸蔵合金に吸蔵させて電池反応により放電させる新しい水電解システムを構築するとともに、逆反応の発電システムも開発する必要がある。発電システムではMnO<sub>2</sub>を正極の活物質とする。それによって

直流電力－水素－直流電力変換効率を70%以上達成する。

⑦ベンチ試験装置の試作と実験(担当:エクセルギー・パワー・システムズ株式会社)

①～⑥までの結果を踏まえ、ベンチ試験装置を試作し、実験を行う。1kWの電解スタックの試作・実験により、システムの初期性能の確認、問題点の抽出および改良を行う。最終的に、20kWの実用システムを試作し、直流電力－水素－直流電力変換効率70%以上を見通せる技術を確立する。

以上の7項の実施内容に関して、平成26年度は主に①から④項目の負極および正極の材料開発と電極構造の最低化を行い、電解時の電圧が正極および負極の電圧を足し合わせたものが1.6V以下になる電極の開発を進める。平成27年度では、さらにこれらの電極の性能向上を進めるとともに、これらの正極と負極を組み込んだスタック構造の設計を行うとともに、1/10のベンチ試験装置を試作し、電解性能の評価を行う。

## 研究開発項目③ 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発

### 1. 研究開発の必要性

大量の水素の貯蔵・輸送に当たり、エネルギー密度を向上させるため、水素を液化、貯蔵することが有効である。現状では、液化のエネルギー効率が低い、液体水素のボイルオフ率が大きい等の課題が普及の障害となっている。また、再生可能エネルギーを利用して水素を製造する場合は、水素生成量の変動するので、その変動に対応した水素液化システムが必要となる。そのため、本研究開発項目を実施する。

### 2. 研究開発の具体的内容

本事業では、水素生成量の変動に対応可能な大型(50～100t/day)高効率液化システム、断熱性に優れた大型(50,000m<sup>3</sup>級)液体水素タンク等からなる水素液化貯蔵システムの基盤技術を開発する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・液化容量1t/day以上、液化効率<sup>※1</sup>20%程度のシステムを試作・開発して高効率化、大型化への課題と解決策を明確化する。また水素製造量の時間変動がシステムに及ぼす影響を把握し、技術課題を明確化する。
  - ・3,000m<sup>3</sup>程度の液体水素タンクシステムに用いる液体水素ポンプ、ボイルオフ水素用圧縮機について、それぞれ、容量200m<sup>3</sup>/h以上、ポンプ効率<sup>※2</sup>50%以上の液体水素ポンプ(揚程260m程度を想定)および容量3000m<sup>3</sup>/h、効率60%以上のボイルオフ水素用圧縮機(入口圧力110kPaA、入り口水素温度30K、出口圧力200kPaAを想定)を可能とする技術を開発する。
  - ・3,000m<sup>3</sup>程度の液体水素タンクシステムに使用可能な十分な耐久性を有する断熱材料(熱伝導率0.01W/m・K以下)を開発する。
- ※1 液化効率(逆カルノー効率) = 液化のための最小仕事 / 実際の投入エネルギー × 100  
※2 ポンプ効率 = ヘッド圧 × 体積流量 / 投入動力 × 100

#### 【最終目標(平成29年度末)】

- ・想定液化容量5～10t/day程度の水素液化システムに対し、25%以上の液化効率が見通せる技術を開発する。また水素製造量の時間変動に対応するための解決策を明確化する。
- ・液体水素ポンプ技術、ボイルオフ水素用圧縮機技術等と組み合わせ、ボイルオフ水素発生率がタンク容量の0.1%/dayの液体水素タンクシステム(容量3,000m<sup>3</sup>程度)を可能とする技術を開発する。

(川崎重工業株式会社)

## 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発

### (1)事業概要

現在想定している供給地における水素液化貯蔵システム(積荷基地)を図3に示す。水素の供給地は国内外の再生可能エネルギーの適地が想定される。水素は風力発電等の海外の安価な再生可能エネルギーから水電解水素製造装置にて製造され、水素液化システムで液化された後に液体水素タンクに貯蔵される。液体水素タンクは外部からの入熱により蒸発したボイルオフガスは圧縮機で圧送されて水素液化システムで再液化される。さらに貯蔵された液体水素は液体水素輸送船に積荷され、供給地から需要地に輸送されることを想定する。また、一部の液体水素はトラック輸送等で供給地でも利用される。本事業での研究開発範囲を破線内で示した。なお、需要地における水素液化貯蔵システム(揚荷基地)に使用される機器は供給地と同様である。

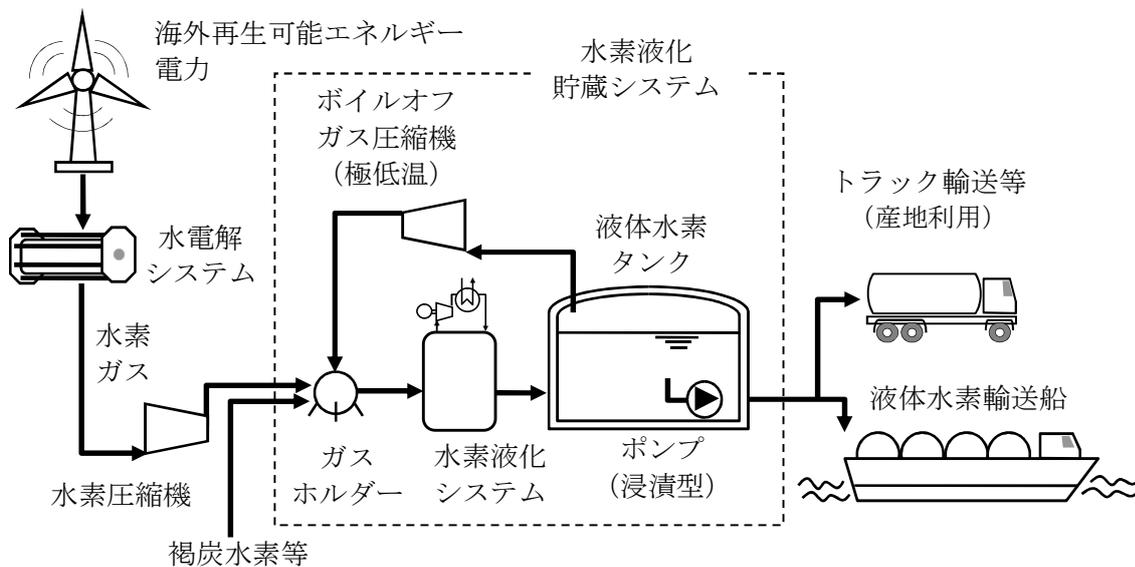


図3 供給地における水素液化貯蔵システム(積荷基地)

以降、それぞれの機器についての事業概要を述べる。なお、本実施計画書は平成26年度～平成27年度の実施計画に関するものであるが、事業の継続性を考慮して前年度に着手した内容および平成28年度以降の事業概要もあわせて記述している。

#### (A)水素液化システムの開発

当社は既に液化能力5t/dayの水素液化システムの実証を開始しており、産業用を想定した水素液化システムについては既の実証段階にある。図4に現在実証中の水素液化システム外観図を示す。したがって、今回の委託業務においては再生可能エネルギー由来水素を想定した負荷変動対応技術開発とエネルギー用途水素液化システムで重要な高効率化技術開発を実施する。これにより国内外の再生可能エネルギー適地での余剰電力等により製造された水素を高効率・高エネルギー密度で貯蔵することが可能になる。



図4 実証試験中の水素液化システム外観

高効率水素液化システムの開発概要を図5に示す。以下それぞれの開発要素について述べる。

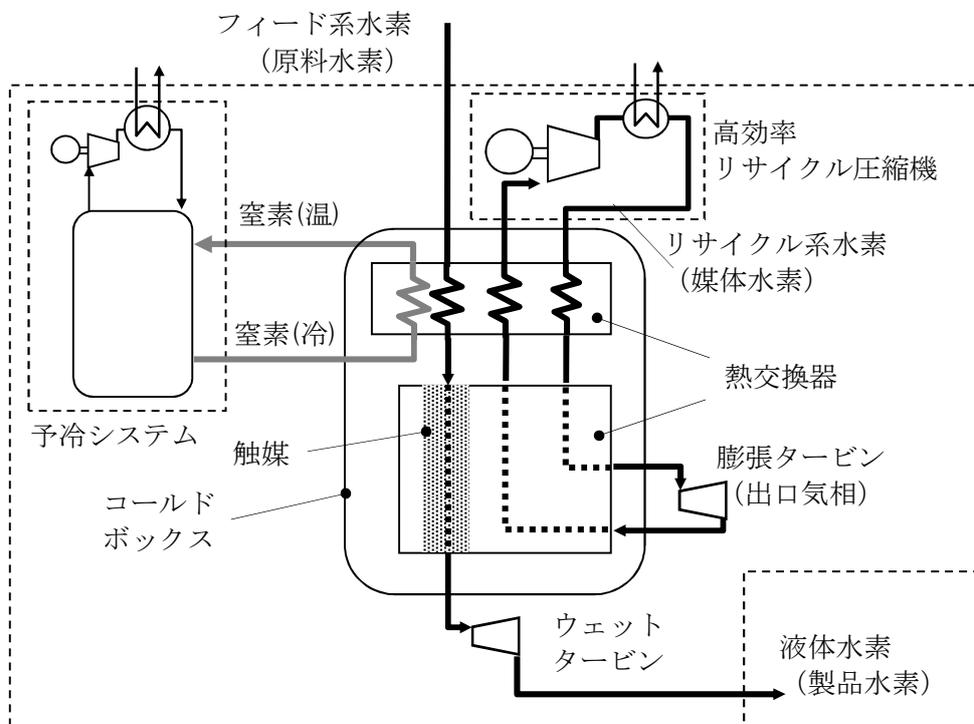


図5 高効率水素液化システム開発概念図

・ 予冷システム

既存の予冷システムでは深冷分離等、別プロセスの副生液体窒素を利用しているため、予冷の効率が深冷分離による液体窒素製造原単位(液体窒素 1L あたり 0.4kWh 程度)で既定されてしまうほか、大型化を見通した場合は副生液体窒素の調達が困難な量となる。したがって、予冷システムにより窒素の液化温度(77K)レベルの冷凍サイクルを実現することで予冷原単位を向上し、水素液化における多段冷凍サイクルを実現するプロセスを検討する。

・ ウェットタービン

現状技術では水素の液化はジュールトムソン弁による絞り膨張で実現されており、この場合は圧力のエネルギーはすべて捨てられる。ウェットタービンは水素の圧力のエネルギーを冷熱のエネルギーに変換することで効率的に液化を実現するもので、極低温(30K)における二相膨張タービンの形状を考案する。

- ・ コールドボックス

コールドボックスは熱交換器、触媒や各種搭槽類が収められた真空断熱容器であり、水素液化システムの中核となる機器である。ウェットタービンや膨張タービンなどの極低温機器もコールドボックス上に取り付けられる。

- ・ 高効率リサイクル圧縮機

現行の水素液化システムでは規模が小さいことから、配置計画上の制約で二段圧縮(1段中間冷却と1段のアフタークーラ)程度の採用にとどまっている。高効率リサイクル圧縮機は等温圧縮により高効率を実現する圧縮機システムである。等温圧縮は圧縮機と冷却器を多段配置して中間冷却することで可能であるが、等温圧縮の実現には大型・高圧力比を見通した、レシプロ圧縮機や遠心圧縮機による多段中間冷却の実現が課題である。特に遠心圧縮機はインペラの高周速化や新型ディフューザの開発により高効率化を実現する。図6に高効率リサイクル圧縮機開発の概念図を示す。小容量のレシプロ圧縮機あるいは圧縮比の小さい遠心圧縮機は既存技術であるが、高効率リサイクル圧縮機は多段中間冷却による高効率化を想定した、インペラ・ディフューザ解析と高効率リサイクル圧縮機のプロセス検討を実施する。

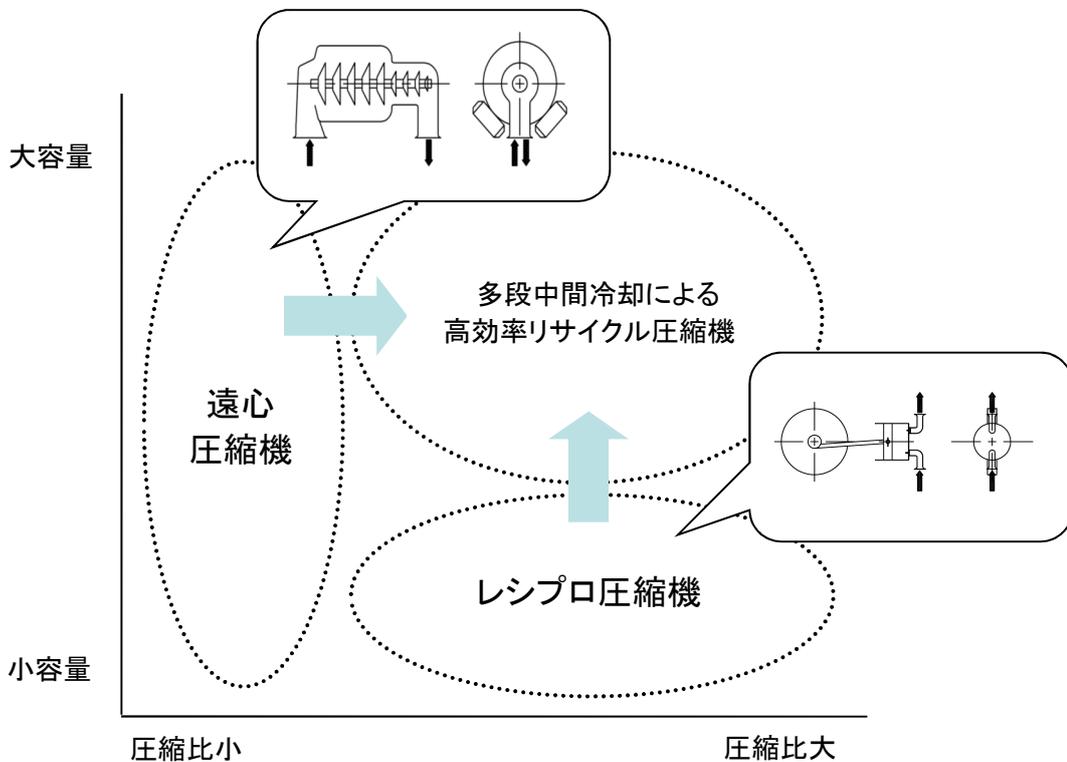


図6 高効率リサイクル圧縮機開発概念図

(B) 液体水素タンクシステムの開発

液体水素タンクシステムの断熱技術について、既存技術と今回開発する技術を表5にまとめる。

表 5 液体水素タンクシステムの既存技術と開発技術

既存技術	開発技術
 <p>容量 300m<sup>3</sup> 産業ガス用途 高真空積層フィルム断熱</p> <p>容量 540m<sup>3</sup> ロケット燃料用途 真空パーライト断熱</p>	 <p>容量 3,000m<sup>3</sup> 高真空積層フィルム断熱</p>  <p>容量 50,000m<sup>3</sup> 高真空パネル断熱</p>

既存技術は産業ガス用途やロケット燃料等の特殊用途であり、再生可能エネルギー由来水素などエネルギー用途として水素を大量貯蔵することを想定していない。したがって、3,000m<sup>3</sup>級(現状の約10倍)、50,000m<sup>3</sup>級(現状の約100倍)規模の高性能タンクシステム技術は現存せず、新規開発が必要となる。以下に液体水素タンクシステムの開発概要について述べる。

・ 高真空排気技術

タンクが大型化すると、真空層の容積が増大し高真空を得るのが困難になる。したがって、大型タンクにおいても高真空を達成する真空排気技術の開発を実施する。

・ 真空積層フィルム断熱の開発

タンク施工する積層フィルム断熱材は、大型化によるフィルムの自重で層密度が増大し、熱伝導により断熱性能が低下する。したがって、大型化の際にも断熱性能が低下しない真空積層フィルム断熱の開発を実施する。

3,000m<sup>3</sup>級の液体水素タンクとして提案する真空積層フィルム断熱について、図7に示す。従来技術では300m<sup>3</sup>級のタンクに本方式の適用実績があるが、大型タンクに真空積層フィルムを適用する際には、上部は自重の影響を大きく受けるため、層密度が大きくなる可能性がある。真空積層フィルムは、アルミフィルムとスペーサーを交互に積層する構造となっており、アルミフィルムで輻射伝熱を防ぎ、スペーサーでフィルム同士の熱伝導を抑制している。そのため、層密度が大きくなると、アルミフィルム同士の熱伝導の影響が大きくなり、真空積層フィルム断熱が十分に機能しない可能性がある。したがって、大型タンクに適用する場合でも、積層フィルムの空間が維持され、断熱性能を確保できる真空積層フィルム断熱の開発が必要となる。

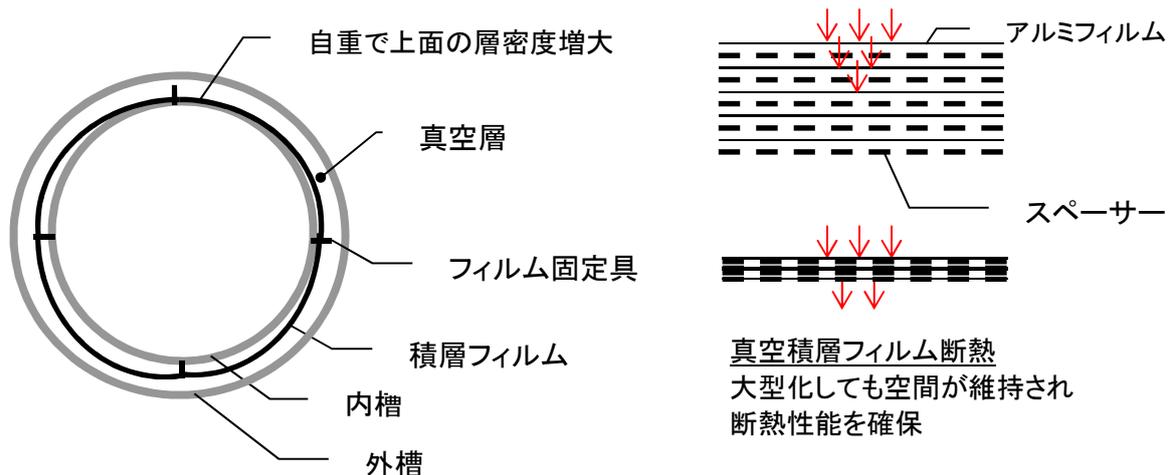


図 7 大型化における課題と真空積層フィルム断熱の特徴

・ GFRPサドルの開発

タンク断熱にはタンク支持部の熱伝導の影響も大きく、大容量タンクの重量を確実に支えながら、支持部からの入熱を低減するガラス繊維強化プラスチック(GFRP)サドルの開発を実施する。

・ 真空パネルの開発

さらなる大容量タンクの製造は現地施工となるため、現地施工でも高真空が実現可能な真空パネルタンク技術が必要である。

50,000m<sup>3</sup>級液体水素タンクを想定した真空パネルタンクの断熱方法を図8に示す。真空パネルは薄い中空金属プレートで真空層を形成し、この金属プレートを高温側は極低温用断熱材、低温側は硬質発泡断熱材で覆い、外側を金属のパネル外殻で一体化したものである。この真空パネルを接合して真空パネルタンクを構成することにより、真空積層フィルムタンクが製造不能な50,000m<sup>3</sup>級大容量液体水素タンクで真空断熱を実現できる画期的なものである。真空パネルタンクは真空層が複数の小さな空間に分割されているので、パネル単体およびパネル施工時の断熱性能のばらつきがタンク全体の性能に影響しない、いわゆるロバスト性も確保される。本委託開発ではこの重要基盤技術となる真空パネルの開発を実施する。なお、大気温度からLNG温度レベル(111K)までの断熱は、従来技術であるグラスウールと粒状パーライトによる断熱等可能であり、今回の技術開発の対象とはしない。

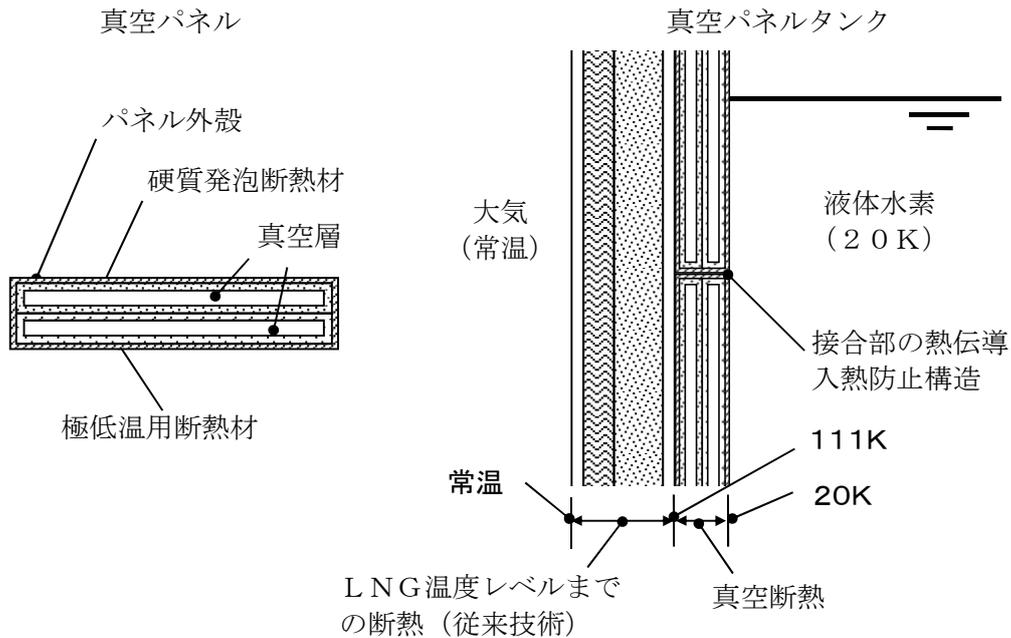


図8 真空パネルタンクの断熱方法

・ 液体水素用新鋼材の開発

液体水素タンクシステムの鋼材としてはオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304、304L、316、316L等)が選定可能であるが、資源セキュリティを向上させるために、ニッケルなどのレアメタル含有量の少ない液体水素用新鋼材の開発を実施する。

(C) 液体水素ポンプおよびボイloff水素圧縮機の開発

現状、液体水素のような極低温環境下で作動する大流量液体水素ポンプは存在しない。液体水素移送は液体水素を蒸発させてタンクに蓄圧して圧送する、いわゆる自己加圧方式が用いられているが、これは液化した水素の一部を蒸発させてしまうので、貯蔵効率が悪い。また、自己加圧方式による移送は、大型になるほど蓄圧タンクの肉厚を大きくする必要があるため、大型液体水素タンクにおいては、自己加圧方式による移送は困難となる。ポンプには液中で使用する浸漬型ポンプと陸上ポンプがあるが、本開発では、大気等周囲からの入熱を防ぐことのできる浸漬型ポンプを開発する。図9に液体水素の圧送移送方式とポンプ移送方式を示す。

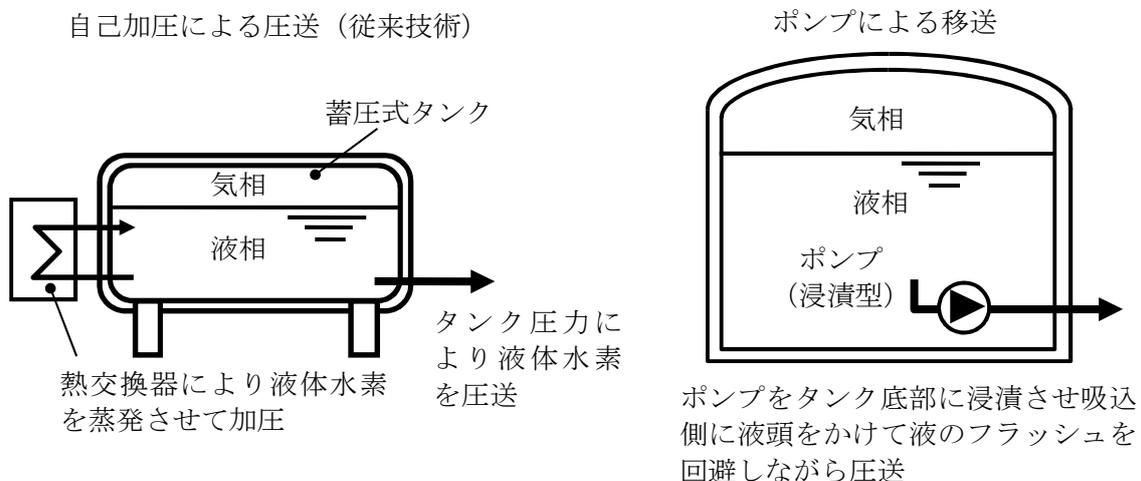


図9 液体水素の圧送移送方式とポンプ移送方式

- ・ 軸受および絶縁材料の開発

低温環境下でポンプ運転負荷に対応可能な高耐久性を有する軸受材料の選定が必要である。また、浸漬型ポンプに必要な絶縁材について、液体水素への適用性を確認する。

また、ボイルオフ水素圧縮機について、現状はボイルオフ水素の極低温(30K)に対応できる圧縮機が存在しない。そのため、一旦水素を加熱して低密度のガスを圧縮しているので、効率が低い。したがって、高効率化のためには、極低温の水素ガスを直接圧縮できる圧縮機を開発する必要がある。ボイルオフ水素圧縮機の役割を図 10 に示す。なお、大容量タンクシステムには大容量化の点で遠心圧縮機が優位となる。本開発ではボイルオフ水素圧縮機の開発要素として以下を実施する。

- ・ インペラの開発

ボイルオフ水素圧縮機成立にはインペラの高周速化や極低温水素に対応した新型インペラ・ディフューザの開発が必要である。極低温水素は圧縮するにつれて大きく物性が変化するため、物性の变化を考慮した高度な流体機器設計を実施する。圧縮機設計において重要な物性値の例として比熱比を図 11 に示す。温度によって大きく比熱比が変化し、さらに圧力によって比熱比が変化する温度が移動することから、水素ガスを圧縮するにつれて物性値が複雑に変化する。

- ・ 極低温ガスシールの開発

可燃性ガスのシールには窒素を用いることが多いが、窒素の液化温度は水素の液化温度より高く、窒素が水素ガス中に混入すると再液化の際に窒素も液化されてしまうので分離が困難になる。したがって、ボイルオフ水素圧縮機のシールガスは水素と窒素を併用して、圧力バランスを調整してわずかに窒素側に水素が流れるようにする必要がある。ボイルオフガス水素圧縮機のシール構造例を図 12 に示す。

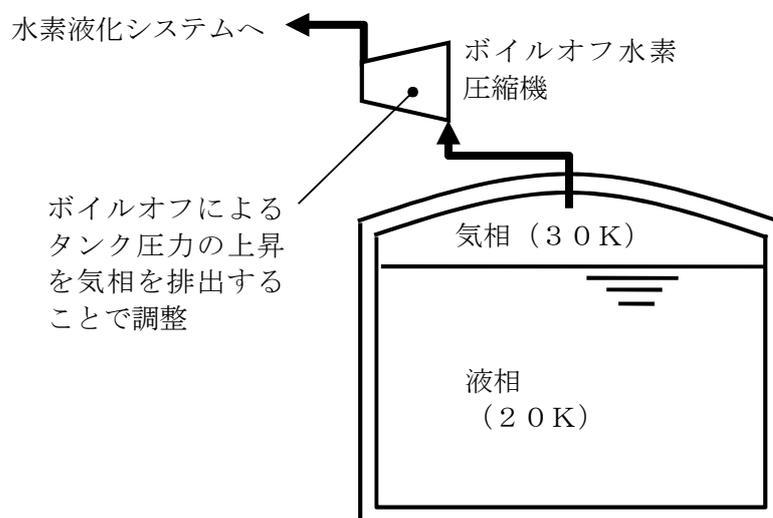


図 10 ボイルオフ水素圧縮機の役割

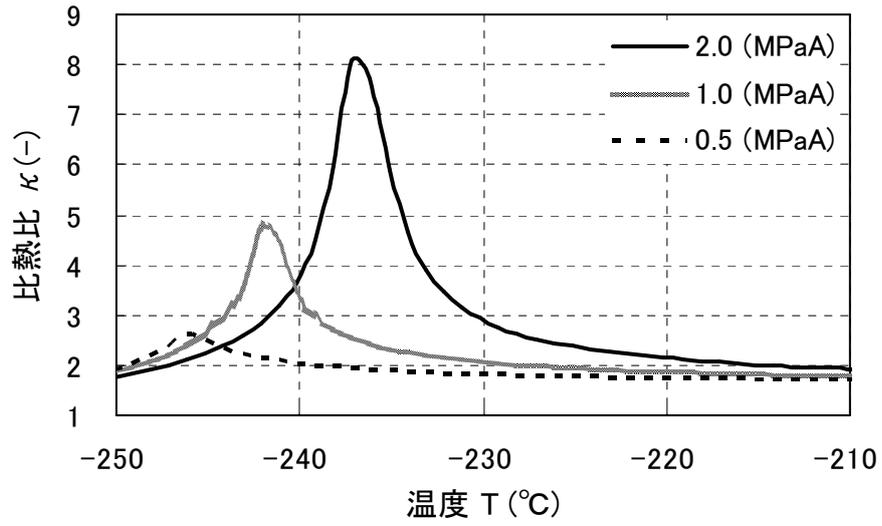


図 11 極低温水素の比熱比

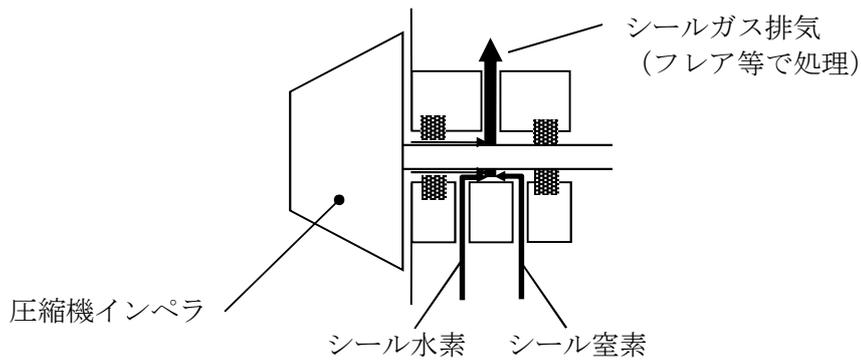


図 12 ボイルオフガス圧縮機のシール構造例

## (2)事業内容及び研究開発目標

以上の開発に必要な事業内容について、平成 26 年度から平成 27 年度末までの事業項目および実施内容を以下に示す。

### ①水素液化システムのプロセス検討

(A)大型高効率水素液化システムの開発において、予冷システムのプロセス検討を行い、現行の深冷分離液体窒素（原単位 0.4kWh/L）を利用したシステムより 2 割程度原単位を改善したプロセスを策定する。（平成 26 年度）

前年度までの結果に基づき、予冷システム、コールドボックス、高効率リサイクル圧縮機等の検討結果をとりまとめ、水素液化システム全体のプロセス検討を行い、液化効率改善を把握する。（平成 27 年度）

### ②コールドボックスの動特性解析

(A)大型高効率水素液化システムの開発において、液化容量 5t/day 程度の液化システムのコールドボックスの動特性解析モデルを改良し、負荷を1時間あたり 50%程度変動させた場合の動特性解析を実施する。（平成 26 年度）

前年度までの結果に基づき、動特性解析結果と実績データとの比較等により、水素液化システムの負荷変動対応における課題を明確化する。（平成 27 年度）

### ③高効率リサイクル圧縮機の検討

(A)大型高効率水素液化システムの開発において、遠心圧縮機インペラおよびディフューザ形状を検討し、リサイクル圧縮機における遠心圧縮機採用の課題を明確にする。（平成 26 年度）

前年度までの結果に基づき、中間冷却器を含むリサイクル圧縮機のプロセス検討を行い、リサイクル圧縮機の消費動力を把握する。（平成 27 年度）

### ④真空積層フィルム断熱の開発

(B)液体水素タンクシステムの開発において、10L 程度の試験設備で真空積層フィルムの層密度等のパラメータを変えて、内槽からのガス蒸発量を測定することで、断熱材施工のばらつきに対するロバスト性を把握する。また、1,000m<sup>3</sup> 程度のタンク試験設備外槽の鏡部における曲げ加工試験を実施し、大口径部材の加工精度を確認する。さらに、1,000m<sup>3</sup> 程度のタンク試験設備の溶接部の非破壊検査結果を基に、タンクの自動検査が可能な方法を検討する。（平成 26 年度）

10L 程度の試験設備で真空積層フィルムの層密度等のパラメータを変えて、内槽からのガス蒸発量を測定することで、断熱性能が 0.01W/m<sup>2</sup>·K 以下(3,000m<sup>3</sup> 程度の液体水素タンクシステム換算)相当であることを確認する。

また、1,000m<sup>3</sup> 程度のタンク試験設備に外槽を追加し、外槽溶接部の非破壊検査を実施することで、大型タンクが構造的に成立することを確認する。（平成 27 年度）

### ⑤GFRPサドルの開発

(B)液体水素タンクシステムの開発において、GFRPサドルの熱伝導解析を実施して、GFRPサドル部の断熱性能を取得する。また、1,000m<sup>3</sup> 程度のタンク試験設備にGFRPサドルを適用し、構造的に成立することを実際に確認する。（平成 26 年度）

1,000m<sup>3</sup> 程度のタンク試験設備に設置したGFRPサドルについて、ひずみの経時変化を確認する。（平成 27 年度）

### ⑥真空パネルの開発(50,000m<sup>3</sup> 級タンク技術)

(B)液体水素タンクシステムの開発において、決定した真空パネル仕様を基に真空パネル単体を試作し、断熱性能を取得する。（平成 26 年度）

真空パネル突合せ部に相当する目地部の構造を考慮したパネル構造を考案し、断熱性能を取得する。（平成 27 年度）

### ⑦液体水素用新鋼材の開発(再委託先:新日鐵住金株式会社)

再委託先の新日鐵住金株式会社は、既存の液体水素用オーステナイト系ステンレス鋼よりもニッケル量を低減した鋼材 について、前年度成果に基づき液体水素用に望ましいと思われる成分系にて新たに素材を

作製し、液体水素中機械試験装置を用いて、実用上重要な材料特性である破壊靱性を明らかにする。その際、破壊靱性の精度良い測定を実現するため、荷重の分解能を高めたロードセルを導入し、これに用いる。(平成 26 年度)

液体水素用新鋼材を溶接継手数種類について既存溶接方法により溶接し、溶接部の材料特性(引張特性)を取得する。(平成 27 年度)

#### ⑧液体水素ポンプの開発

(C)液体水素ポンプおよびボイルオフ水素圧縮機の開発において、液体水素ポンプ絶縁材料を液体水素に2週間程度浸漬し、浸漬後の材料特性データを分析することにより、絶縁性能を把握する。(平成 26 年度)  
前年度までの 30m<sup>3</sup>/h 級ポンプの試験結果に基づき、200m<sup>3</sup>/h 級ポンプの設計検討を行い、液体水素の揚程 260m、効率 50%が達成可能であることを確認する。(平成 27 年度)

#### ⑨ボイルオフ水素圧縮機のインペラ形状検討

(C)液体水素ポンプおよびボイルオフ水素圧縮機の開発において、ボイルオフ水素圧縮機のインペラ形状案の流体解析を行い、極低温の水素の圧縮における課題を明らかにし、シール構造等の検討に着手する。(平成 26 年度)

ボイルオフ水素圧縮機のインペラ形状およびシール構造等を決定し、3,000m<sup>3</sup>/h 級のボイルオフ水素圧縮機において、効率 60%が達成可能であることを解析的に確認する。(平成 27 年度)

#### ⑩水素ポテンシャル調査

欧米、豪州、中東等のエネルギー輸出国から数か国を選定し、再生可能エネルギー由来、化石燃料由来等の水素ポテンシャル調査を実施する。(平成 26 年度)

前年度選定した国について引き続き、もしくは新たに選定した国について、水素のポテンシャル調査を実施する。(平成 27 年度)

## 研究開発項目④ エネルギーキャリアシステム調査・研究

### 1. 研究開発の必要性

国内外の再生可能エネルギー等を効率的、安定的に活用可能とすることは、エネルギーセキュリティ、エネルギー産業の国際競争力強化の点からも極めて重要であり、本事業の一刻も早い取り組みが求められている。

### 2. 研究開発の具体的内容

有機ハイドライド、各種の炭化水素、金属など水素を効率的に貯蔵・輸送等できるエネルギーキャリアについて、既存の水素附加プロセス、水素脱離プロセスと比較してエネルギー効率、経済性の飛躍的向上が期待できる新規プロセスの有効性を確認する解析評価研究を行う。具体的には、新規プロセスに必要な材料・要素機器の小規模な試作、性能評価やそのプロセスを含むシステムの特長解析などを行い、システム全体の性能・経済性、開発課題、開発目標を把握する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標、最終目標について】

本項目は提案公募として実施し、目標はテーマごとに決定する。研究期間は 4年以内とし、研究成果を評価した上で、必要性が認められるテーマについては、本格研究へ移行する予定。

(エネルギー総合工学研究所)

## エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析

### (1)事業概要

本事業は、事業Ⅰ「エネルギーキャリアシステム調査・研究／エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析」と事業Ⅱ「トータルシステム導入シナリオ調査研究／キャリア技術コスト分析・長期的エネルギー需給影響評価・シナリオ検討」からなる。

事業Ⅰは、水素を効率的に貯蔵・輸送等できる3つのエネルギーキャリア別の「エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析」調査・研究から構成される。これら3つのエネルギーキャリアでの小規模の試作・試験評価で得られるデータ等と、既存技術によるプロセスでのデータとの比較検討を実施することで、エネルギー効率あるいは経済性の飛躍的向上が期待できる新規プロセスの有効性を確認する解析評価研究を実施する。そのプロセスを含むエネルギーキャリアシステムの特性解析を行い、エネルギーキャリアシステム全体の性能・経済性、開発課題、開発目標を把握することを目的とする。

本事業Ⅰは以下3つの課題からなる。

- ① エネルギーキャリアシステム解析評価のための汎用フレームワークの構築
- ② 新規エネルギーキャリアプロセスの経済性評価・特性解析
- ③ 新規エネルギーキャリアプロセスの有効性評価、および実用化に向けた研究開発課題と目標の把握

事業Ⅱは、再生可能エネルギーからの電力で電気分解等により水素を製造し、水素あるいはアンモニア等のエネルギーキャリアに変換して貯蔵・輸送・利用するシステム(トータルシステム)について、個別要素および全体のシステム効率解析やコスト解析を詳細に実施し、本システムが導入されるための課題やその導入シナリオについて案を作成し、提示する。併せて本システムが実現された場合の長期的なエネルギー需給への影響を評価する。

本事業Ⅱは以下3つの課題からなる。

- ④ エネルギーキャリア技術のコスト分析
- ⑤ 世界の長期的エネルギー需給への影響評価
- ⑥ シナリオ検討

なお、本事業と独立行政法人産業技術総合研究所(以下、「産総研」とする。)が担当する「トータルシステム導入シナリオ調査研究」、および本事業Ⅰと本事業Ⅱは適宜連携し、実施していく。事業Ⅰにおいては、エネルギーキャリアシステム調査・研究の全ての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」とする。)の委託先と連携し、実施していく。

### (2)事業内容及び研究開発目標

事業Ⅰ「エネルギーキャリアシステム調査・研究／エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析」

- ① エネルギーキャリアシステム解析評価のための汎用フレームワークの構築

平成26年度は、主に水素を効率的に貯蔵・輸送等できるエネルギーキャリアについて、一般化したフローに沿って、要素プロセスの効率・特性解析とコスト評価、そのための評価指標の抽出、及びわが国での再生可能エネルギー起源エネルギーの利用拡大への寄与度等の評価のための汎用フレームワークを構築する。

平成27年度は、想定される実機に適するための汎用フレームワークの追加を行う。

- ② 新規エネルギーキャリアプロセスの経済性評価・特性解析

①で構築されるフレームワークを用いて、エネルギーキャリアシステムの構成プロセスに対し、エネルギー効率、イニシャルコスト(初期投資)等を導く評価指標について蓋然性の高いデータを評価・集約し、要素プロセスの効率・コストの解析を実施する。

実機に向けた協同会議で検討・提供される諸データを参考に、「高効率メタン化触媒を用いた水素／メタン変換」、「溶融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成」、「水素分離膜を用いたメチルシクロヘキサンの脱水素」の3つのエネルギーキャリアを対象とし、策定した既存技術によるプロセスのデータとの比較検討を実施する。

解析評価においては、下記の項目について行う。

- (a) 評価指標となるデータについて、実機の構成・作動条件を念頭に置いた小規模試作・試験における取得条件とその内容を明示する。
- (b) 従来想定キャリアシステム・プロセスに対して優位性を確保するために最も効果的な研究課題の明確化を行う。
- (c) 理想的(熱力学的特性、及び抵抗小、副反応小)な性能と想定プロセスコストと、それらの実現性を考慮した目標の明確化を行う。
- (d) 実用プラント(実機及び実システム)イメージの明確化を行う。

平成26年度は、主に上記(a)～(d)を効果的に実施し、実機の想定、及び(特性)解析(経済性)評価に必要なデータ等を設定し、開発課題と開発目標を把握するため、エネルギーキャリアシステム調査・研究の NEDO 委託先と「実機に向けた協同会議(仮称)」を3つのエネルギーキャリア毎に開催し、検討を行う(目安:7月、12月)。なお、各協同会議では、参加担当事業者及び参加の了解が得られた専門家内で秘密の保持を行う。

平成27年度は、想定される実機システムを対象として、実機コスト、プロセスフローの定量化等を行う。

### ③ 新規エネルギーキャリアプロセスの有効性評価、および実用化に向けた研究開発課題と目標の把握

平成26年度は、主に再生可能エネルギーの獲得から最終エネルギー消費に至るエネルギーキャリアシステム全体(トータルシステム)の性能・経済性につき、構築した評価フレームワークを用いて、既往研究システムを参照システムとして比較評価を行い、エネルギー効率あるいは経済性の飛躍的向上が期待できる新規エネルギーキャリアプロセスの有効性を確認する解析評価研究を行う。

平成27年度は、①、②の結果に基づき、エネルギー効率や反応速度、あるいはコストなどについて、各研究のエネルギーキャリアシステムの性能とコストが既往システムより優位となる値を提示し、これを研究開発の最低限の目標値と位置付ける予定である。また、その後、目標値を達成するために取り組むべき核技術を抽出し、解決すべき研究技術課題を明らかにする。

#### 【中間目標(平成27年度)】

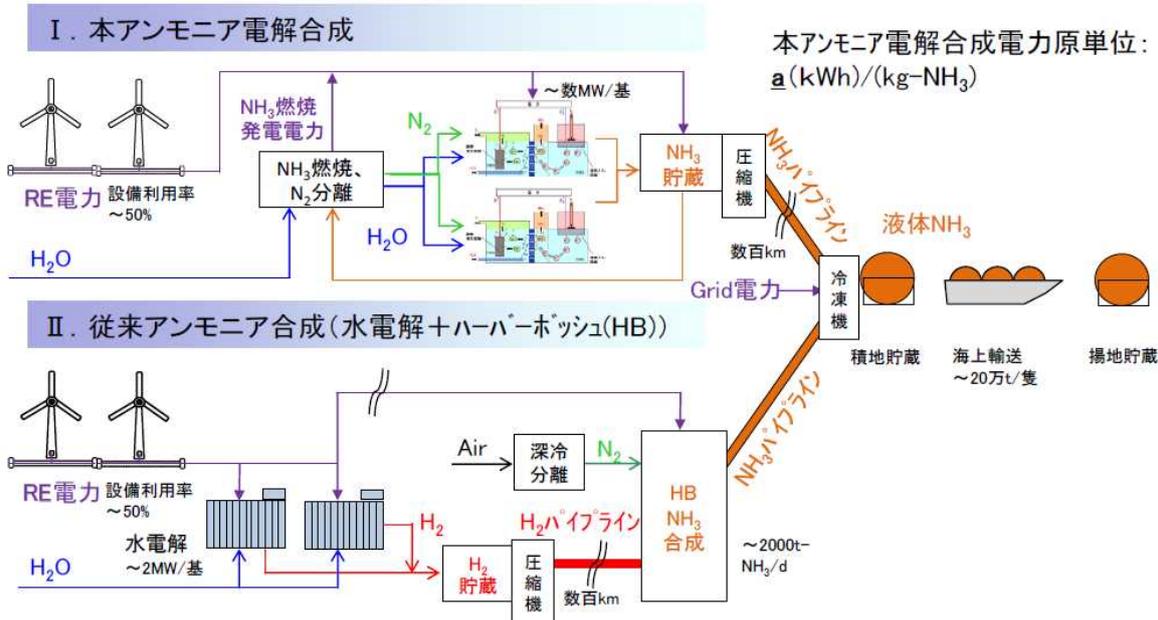
平成26年度までに開発される汎用フレームワークを用い、平成28年度～平成29年度に開発されるベンチスケール装置の構成・構造の判断、性能やコスト面でのターゲットを提示する。

#### 【最終目標(平成29年度)】

新規プロセスによるエネルギーキャリアシステムの経済性評価、及び特性解析による実用化に向けた本格開発での研究開発課題と目標を把握する。

図1に、従来のアンモニア合成プロセスと想定実用プラントのアンモニア電解合成プロセスとの比較における、従来想定システムと新規システムとの比較および優位となる条件導出の例を、図2に事業Iの年度展開を示す。

- ・汎用評価フレームによるエネルギーキャリアシステム全体の中で、プロセスを比較評価
- ・本アンモニア電解合成プロセスが優位となる条件例:  $a < b/c+d$
- ・本アンモニア電解合成プロセスはラホスケール段階であり、それから実用段階の指標を推論する必要有り



水電解の電力原単位:  $b$  (kWh)/(kg-H<sub>2</sub>)      アンモニアへの変換比:  $c$  (kg-NH<sub>3</sub>)/(kg-H<sub>2</sub>)  
 HBプロセスの電力原単位:  $d$  (kWh)/(kg-NH<sub>3</sub>)      従来アンモニア合成の電力原単位:  $b/c+d$

図1 従来想定システムと新規システムとの比較および優位となる条件導出の例  
 (従来のアンモニア合成プロセスと想定実用プラントのアンモニア電解合成プロセスとの比較)

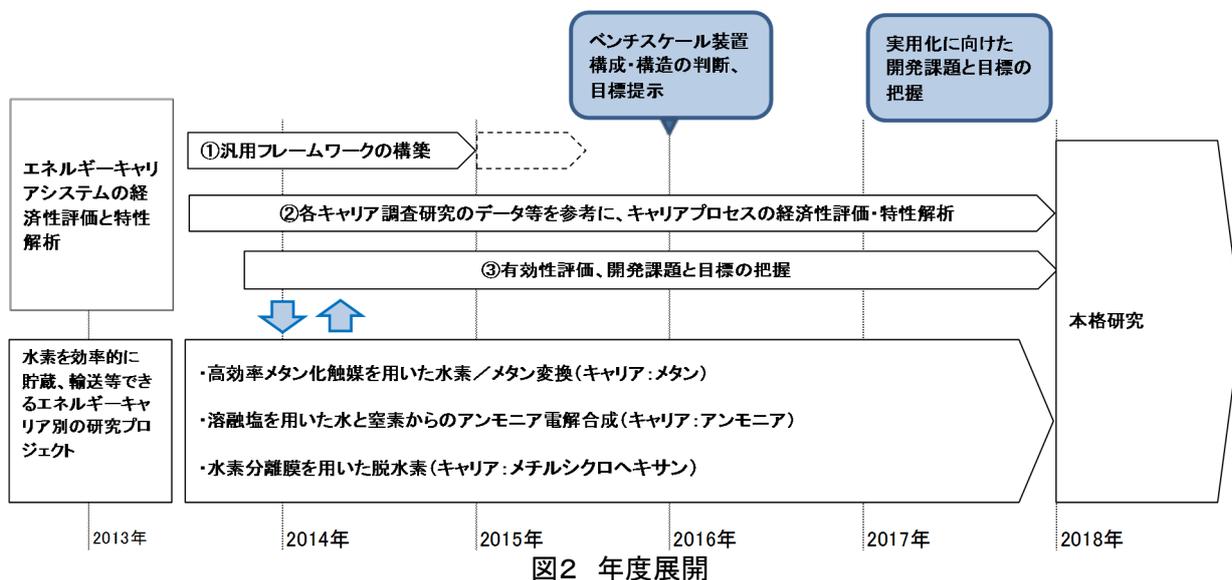


図2 年度展開

事業Ⅱ「トータルシステム導入シナリオ調査研究／キャリア技術コスト分析・長期的エネルギー需給影響評価・シナリオ検討」

④ エネルギーキャリア技術のコスト分析

平成26年度は、以下を行う。

(a)技術情報の収集と管理

評価対象とするエネルギーキャリアの研究実施機関へのヒアリング等による技術情報(設備容量、性能等)のアップデートを実施する。

(b)コスト・効率分析のためのコスト分析フレームワークの開発

コスト分析フレームワークをベースにシナリオに沿った検討ができるよう平成25年度開発したコスト分析ガイドラインを拡張する。拡張の内容は、複数の需要先(事業用発電、運輸、分散型需要等)への対応、想定規模の変更、時間変化した場合の対応である。シナリオ検討と整合させつつ、分析が可能な機能とする。

(c)コスト・効率分析

平成25年度実施した現時点を想定した各キャリアのコスト・効率分析に基づき、各キャリアの性能等が本事業の目標を達成した場合の分析を行う。この時に想定する時間断面はキャリアによって一致しないこともある。排熱利用や需要先など各キャリアの特性を考慮し、コスト・効率評価を実施する。エネルギーキャリア変換、貯蔵、輸送等各プロセスに対応するコストを出力するようなモデルを作成する。分析対象とするキャリアと需要先の組み合わせは、シナリオ検討と整合させつつ決定する。

平成27年度は、以下を行う。

(a)技術情報の収集と管理

評価対象とするエネルギーキャリアの研究実施機関へのヒアリング等により研究の進捗に対応した技術情報(コスト・効率等)のアップデートを実施する。

(b)コスト・効率分析のためのコスト分析フレームワークの開発

平成26年度開発したコスト分析フレームワークを用途毎の規模やキャリアの特性を考慮したシステム最適化が可能なように拡張する。

(c)コスト・効率分析

(b)において拡張したコスト分析フレームワークを用いて、用途毎の規模やキャリアの特性を考慮したシステム最適化を実施する。分析対象とするキャリアの想定規模等は、シナリオ検討と整合させつつ決定していく。

⑤ 世界の長期的エネルギー需給への影響評価

平成26年度は、主に低炭素エネルギーキャリアの製造、輸送、および利用等に関して、世界地域別データの収集を継続するとともに、GRAPEモデルプロトタイプの拡張を実施し、並行して実施されているキャリアの製造、輸送、貯蔵等の評価済みデータを入力した場合の暫定試算を行い、動作を確認する。

平成27年度は、キャリア製造、輸送、貯蔵等のデータ収集を継続し適宜モデルに反映させるとともに、低炭素エネルギーキャリア表現に対応するGRAPEモデルを完成させ、世界的なエネルギー需給構造の変化や、二酸化炭素削減効果などの評価を行う。

⑥ シナリオ検討

平成27年度の中間目標に向けて、産総研の支援のもと、水素製造技術およびエネルギーキャリア技術について、2030年ごろの初期導入を中心とした中期シナリオ(案)を作成するため、平成26年度では、その基礎となるシナリオの取りまとめ方針を明確化し、ベースとなるシナリオ(案)を作成し、産総研を事務局とするシナリオ検討WGに提示する。また、需要供給分析(産総研が実施する(2)「用途別の許容コスト分析」と上記④「エネルギーキャリア技術のコスト分析」等をシナリオ(案)作成への指針として活用する。また、上記⑤「世界の長期的エネルギー需給への影響評価」についても、シナリオ(案)作成と連携する。

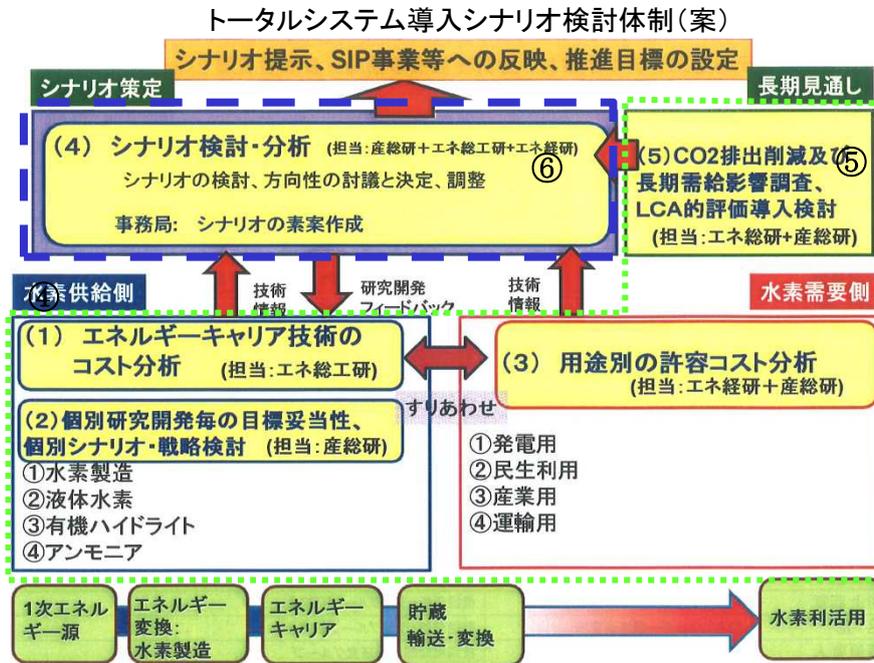
図3にトータルシステム導入シナリオ検討体制と本研究項目(案)を示す。

【中間目標(平成27年度)】

平成27年度に中間目標として、水素製造技術およびエネルギーキャリア技術について、2030年ごろの初期導入を中心とした中期シナリオ(案)を作成し、シナリオ検討WGに提示する。また、二酸化炭素排出削減および長期的エネルギー需給への影響調査を実施する。

【最終目標(平成29年度)】

短・中期シナリオに対する中間評価も踏まえ、平成29年度では、これまで策定したシナリオの精緻化や新たなシナリオの策定・分析を行い、2050年頃までを見据えた「トータルシステム導入シナリオ」(案)をまとめる。また、二酸化炭素排出削減および長期的エネルギー需給への影響調査を実施する。





- \* 1 光島重徳: 工業電解の概要と水電解の現状, 水素エネルギーシステム, Vol.36, No.4, (2011), 57.
- \* 2 Bloom Energy社 [http://www.bloomenergy.co.jp/wp-content/themes/bloomenergy/files/be\\_datasheet\\_es-5700-j-japanese.pdf](http://www.bloomenergy.co.jp/wp-content/themes/bloomenergy/files/be_datasheet_es-5700-j-japanese.pdf)
- \* 3 伊藤靖彦: アンモニアエコノミーと水素エネルギー利用, 第12回日本水素エネルギー産業会議, (2009), 10.
- \* 4 熱電併給(コジェネ)推進室資料集, 資源エネルギー庁, (2012). <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/cogeneration/1-1.pdf>

一方グリーンメタンプロセスは、天然ガスの主成分であるメタンをキャリアとするため、高効率な既存の貯蔵・輸送のインフラ(LNG基地やパイプライン、LNGタンカー等)および燃焼施設がそのまま利用でき、プロセス導入や大規模展開にかかるイニシャルコストを圧倒的に低減できるという他のキャリアにはない特徴を持つ。本プロセスの中規模実証として想定している離島への導入時に必要な設備はメタン化反応設備やメタンガスホルダー、原料水素ガス容器、メタンガスエンジン等のガス発電機が想定されるが、その中でメタン化反応設備を除く全ての装置はすでに商品化され世界中で広く普及しているため、設備導入も迅速に対応でき、導入後の運転教育やメンテナンス作業に関しても簡略化できる。これらの点から、本提案プロセスは世界各地にある天然ガスインフラを有効利用した事業展開が可能と考えられる。

過去に実施されたニューサンシャイン計画において、回収したCO<sub>2</sub>からメタノール等の有用化学物質を生産する技術を開発するというキャリア研究がなされている。当時の研究ではCO<sub>2</sub>分離膜やメタノール合成触媒、固体高分子型水電解槽といった各要素技術について重点的な開発が行われ、その最終評価報告書では、個別要素技術の開発水準としては高い目標をクリアしたと報告されている。しかし同時に、全体のシステム化に重要なCO<sub>2</sub>・メタノール輸送に関する技術的な課題、国内外の理解・協調を得ることについての考察が不十分で、経済性を考慮した実用化へのシナリオが不明確と指摘されている。これらをまとめると、エネルギーキャリアプロセスを考える上では、プロセスを構成する個別の要素技術開発だけでなく、システムとしての総合的な完成度や国内外の市場を意識した経済的なアプローチを含むシナリオ検証が重点課題といえる。

以上の本提案プロセスの特徴とシステム開発の課題を踏まえ、まずは国内外への大型実用化に向けたファーストステップとして位置づけている中程度の再生可能エネルギー発電設備を有する離島へのプロセス導入を行うための課題として、①水素ガスから発電効率までの総合効率の最適化、②CO<sub>2</sub>源の物質収支や水素転換率等に着眼した本提案のプロセス確立、③実証試験によるプロセスの最適化設計の三つを挙げる。なお、その他の水素製造、CO<sub>2</sub>分離回収、消化ガス等の各技術については本事業の研究対象とせず公知の内容を取り入れたFSに止める。各課題を解決するための実施事項について概要を以下に示し、それぞれの実施項目の実施時期について表1にまとめて示す。

#### ①総合効率の最適化

発熱反応であるメタン化反応熱を効率的に熱回収し、回収熱を利用することで総合効率のさらなる向上が可能である。また、ガス発電システムの発電効率を最適化することでプロセス全体の総合効率が向上する。本研究ではラボ試験およびFSにより、メタン化反応熱の回収方法の最適化検討(①-1)を行い、その検討結果を基にガスホルダーやメタンガス発電機等の貯蔵、利用形態までを含むプロセスを設計し、総合効率についてのFSを実施する(①-2)。

#### ②離島モデルの経済性評価

国内外に本提案プロセスが波及するための前提として、経済的に評価されることが重要である。そのためにはメタン化反応に必要なCO<sub>2</sub>源を各立地環境において低コストで獲得する手段が課題となる。また、水素転換率を100%に近づけることで水素使用量を低減する効率的なメタン製造プロセスも低コスト化につながる技術である。本研究では離島環境における本提案システムの経済性評価を実施するにあたり必要となる、CO<sub>2</sub>源および物質収支試算とプロセス設計の実施(②-1)、およびラボ試験による水素転換率の最適条件検討の実施(②-2)により、本提案プロセスの経済性について評価を行い、プロセス実用化への指針を獲得する。なお、②-1で実施したプロセス設計一連のデータは、当社が別途採択された事業委託案件「水素利用等先導研究開発事業/低コスト水素製造システムの研究開発/高効率低コスト水素製造システムの研究開発」における実施計画の⑤で示した「水素製造システムのFS」にて行う経済性評価のためにフィードバックし、当該

項にて評価を実施するため、データおよび成果を共有する。

### ③実証試験によるプロセス最適化

①、②で得られたプロセス設計を基に現地実証試験を行い、得られた実証データをプロセス設計に還元して、より実用に即したプロセスを設計する。

本事業の最終目的は「国内外の再生可能エネルギーの大規模利用を可能とし、我が国のみならず、世界規模での炭酸ガス排出削減を図るとともに、我が国のエネルギーセキュリティの確保、再生可能エネルギー適地等の経済発展に貢献する。」ことであるが、大規模システムを構築するためには、小規模での実証試験及び課題抽出、解決を経て、最終目的に到達するものとする。

そのために、本研究では数100kW級風力発電機出力から製造する水素とCO<sub>2</sub>を反応させるメタン化反応設備を想定して実証試験を行い、製造したメタンを発電に使用した場合のプロセスの総合効率や経済性評価に関するデータを収集する。

また、実証試験データをプロセス設計に反映し、小規模電力自立型プロセスを構築する。さらに、小型プロセスを基にガスエンジン排出CO<sub>2</sub>回収装置等を加えた大規模、汎用的プロセスについて設計し、経済性についてFSを実施する。なお、表1に示している平成28年度以降の計画については想定スケジュールであり、本実施計画内容には含まれないことを付記する。

表 1 研究開発実施スケジュール

研究開発テーマ	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度
① 総合効率のFS					
①-1 熱回収効率最適化手法の検討			→		
①-2 総合効率最適化プロセス検討			→		
② 離島モデルの経済性評価					
②-1 CO <sub>2</sub> 源および物質収支試算とプロセス設計			→		
②-2 水素転換率の最適条件検討			→		
③ 実証試験によるプロセス最適化					
③-1 離島モデル実証試験				→	
③-2 プロセス設計					→

## (2) 事業内容及び研究開発目標

### ①総合効率のFS

#### ①-1メタン化プロセスにおける熱回収効率最適化手法の検討

ほぼ100%のメタン転換率が得られるメタン化プロセスにおける総合効率の向上を図るため、反応熱の回収・有効利用に関する最適化手法の検討を行う。具体的には、数Nm<sup>3</sup>/h規模のメタン化ベンチ実証試験設備を用いて、種々のメタン化反応条件において回収可能な熱エネルギー量を実験的に求め、理論化学反応式における発熱量165kJ/mol<sub>H<sub>2</sub></sub>に対する実回収効率を求める。同時に、熱回収方法や回収熱利用方法の検討・最適化を行い、プロセス設計に反映させる。平成25年度において作製した処理量6Nm<sup>3</sup>/h規模のベンチ実証試験設備を用い、メタン化プロセスの最適化を図るための基礎データを収集した。平成26年度は以下の2項目について検討を行う。

#### 1)ベンチ実証設備および、シミュレーション計算によるリアクタ構造の最適化検討

想定するシェルアンドチューブ型リアクタ構造内の反応管における外周方向への熱伝導を計算するにあたり、緻密な化学反応解析をシミュレートするソフトウェア「CHEMKIN-PRO」を導入し、反応機構を考慮した上で反応熱回収に適したリアクタ構造および、反応の最適条件を模索する。また計算結果を反映させたリアクタの試作および、処理量6Nm<sup>3</sup>/h規模のメタン化ベンチ実証試験設備を用いて実証・解析を繰り返し実施する。

リアクタ構造内の反応管外周に流通させる熱媒体の出入り口間における熱回収効率が、35%以上を達成しうる設計条件および、反応条件を見出す。得られたそれぞれの条件を27年度以降の実施計画に挙げて

いる、離島をモデルと想定した実証試験用リアクタの設計条件や反応条件に適用する。

## 2) 触媒の選定と耐久評価

本システムに採用する触媒を選定するにあたり、伝熱効率の向上を目的として正方晶系ジルコニアを担体および助触媒とする。選出した触媒の耐久性を、平成25年度に作製した連続耐久試験評価設備を用い、平成27年度に掛けて約8,000時間の連続反応実験を行う。反応実験は、反応条件として最高活性を示しやすい350℃とし、このときの熱力学的平衡の観点から計算される水素の理論最高転換率90.1%に対し、低下率5%以内を達成する触媒を見出し、実用化用触媒として選定する。なお、これらのデータはシミュレーション計算および、メタネーション設備の大型化検討するためのデータとして引用する。

### ①-2 総合効率最適化プロセス検討

メタンガスエンジン等の発電効率および熱回収効率を含む総合効率が、図2に示した総合効率75.7%を達成するためのプロセス条件を見出す。

平成25年度において生成メタンのメタンガスエンジン等への適用方法および、その効率について検討を実施した。平成26年度は継続してメタンガスエンジンの適用方法最適化を図り、さらに回収した反応熱の利用・変換プロセスの検討を行う。具体的には、回収反応熱の直接利用および、電力変換の両プロセスについて詳細比較を行い、①-1との結果と組み合わせて最適化プロセスの検討と総合効率のFSを実施し、総合効率75.7%を達成するプロセスを示す。

### ② 離島モデルの経済性評価

外部系統電源から独立している離島を例にして、CO<sub>2</sub>源の獲得とその獲得方法に依る物質収支のデータを取得しグリーンメタンプロセスのFSを実施し、離島電力の独立採算性について評価する。①-1で検討を実施する回収熱の利用方法検討を踏まえ、図3に想定する離島モデルの全体フローを指し示した。本フローをベースとし、経済性評価を行う。なお、FSを実施するにあたり、グリーンメタンプロセスに必要なシステムの構成および設計データは、別途事業委託採択された「水素利用等先導研究開発事業/低コスト水素製造システムの研究開発/高効率低コスト水素製造システムの研究開発」における実施計画の⑤に示した「水素製造システムのFS」に引用、また共有し、経済性評価の実施および成果も共有する。

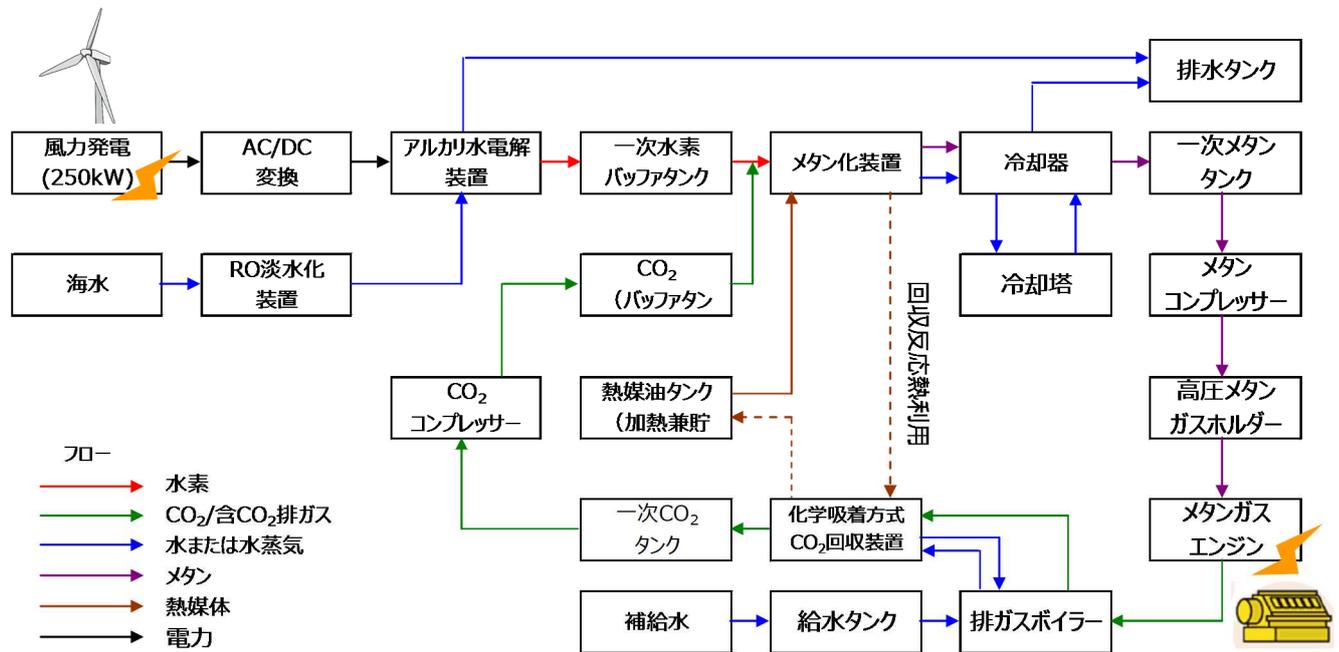


図 3. 想定する離島モデルのシステムフロー

### ②-1 CO<sub>2</sub>源の選定と物質収支からのプロセス設計

離島で回収可能なCO<sub>2</sub>源の量や種類についてデータを収集し、最適なCO<sub>2</sub>源(単独、もしくは数種類の組み合わせ)を特定する。その後、特定したCO<sub>2</sub>物質収支の面から離島におけるグリーンメタンプロセスの設計を行う。平成25年度では、CO<sub>2</sub>源としてメタンガスエンジンからの排ガスまたはバイオマスからのガス化ガス

とした。平成26年度は以下の2つの項目について検討を行う。

#### 1) 物質収支からのメタン製造プロセスの FS 検討

規模別のケースを想定し、FS 検討結果を比較する。CO<sub>2</sub> 源とそれに必要な水素量からプロセスシミュレーション計算を実施し、最適なプロセス構成を検討する。FS 検討を実施するにあたり、シミュレーション計算によって設定したグリーンメタンプロセスと、水素の燃料電池への直接利用のプロセスを対象とする。本項の FS 検討および経済性評価については、別途事業委託採択された「水素利用等先導研究開発事業/低コスト水素製造システムの研究開発/高効率低コスト水素製造システムの研究開発」の事業内容にて実施するため用いるデータ、および成果を当該研究テーマと共有する。

#### 2) メタン製造プロセス仕様の設定

シミュレーション計算結果に基づいたメタン製造プロセスの構成機器の仕様を設定する。具体的には、シミュレーション計算により設定された主要機器容量に合わせたメタン製造プロセスの構成機器(二酸化炭素回収設備、反応器、冷却設備、メタン貯蔵設備等に関する機器)の仕様設定および、各機器の基本設計を実施する。

#### ②-2 水素転換率の最適化検討

想定する生成メタンの利用において、メタンガス濃度の基準は様々である。ガスエンジンの燃料として利用するケースでは、メタンガス濃度は30~40%の低濃度域でも十分な発電量が得られる。離島等を想定する場合は上述の低濃度以上であれば十分であるが、より先の将来にて想定する離島以外への本システムの応用として、ガスインフラへの直接導入も想定すれば、より高濃度メタンガス中に含まれる水素濃度は極力低いことが要求される。25年度の調査においてバイオマス由来ベースを参考にすると、ガスインフラに直接生成ガスを導入するにあたっては各ガス会社基準にもよるが、概ね混合水素濃度5%以下を満たせば十分とされている。そこで本項目では、バイオマスガス化ガスの受け入れ基準をベースに、将来の生成メタンガスをガスインフラに直接導入することを想定し、より厳格なメタンガス中の水素濃度条件を十分クリアする反応条件を検討する。本基準がクリアできれば、離島で想定するガスエンジンへの利用基準も十分にクリアできる。具体的な目標値としては、出口水素濃度が5%以下とし、その条件をクリアしうる反応条件を25年度に作製したベンチスケール実証装置を用いて検討する。

#### ③ 離島モデルの実証データ取得

離島をモデルとした小規模容量である数100kW 程度の再生可能エネルギー発電設備と CO<sub>2</sub> 源を想定し、水素製造とメタン化プロセスを組み合わせたグリーンメタンプロセスの実証を行うことで、本提案システムの基盤を確立し、将来に想定する国内外への大規模化に向けた強固な土台固めを行う。

離島をモデルとした小規模の実証に向け、①、②で設計したプロセスにおける総合効率、電力単価に関するデータ収集を行うためのプラント設計を実施する。また、平成27年度において、平成26年度に②-1項2)にて実施するメタン製造プロセスの基本設計を参考にして実証試験用のメタン製造設備を作製する。さらに、平成25年度に作製した処理量6Nm<sup>3</sup>/h 規模のメタン化試験設備にてプレ実証を行う。プレ実証において出口水素濃度5%以下かつ、リアクタ外周を循環する熱媒体が、リアクタの熱媒投入・吐出口間における反応熱の回収効率として35%以上を達成することを目標とする。その後実証試験を実施し、実証試験のデータをプロセス設計に反映する。

#### ④ エネルギー総合工学研究所(IAE)と実機に向けた共同会議への参加と検討

実機に向けた協同会議(2回/年程度:7月、12月)に参加して仕様の検討を行なう。

#### ⑤ 最終評価

表2に示す、各項目の目標に対する達成評価を実施する。

表2. 各項目の目標

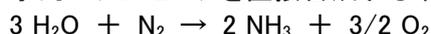
項目	平成26年度	平成27年度
<p>① -1 メタン化プロセスにおける熱回収効率最適化手法の検討</p> <p>1) ベンチ実証設備および、シミュレーション計算によるリアクタ構造の最適化検討</p> <p>2) 熱回収に適した触媒組成・形状の検討および、耐久評価</p>	<p>→リアクタ出入間における熱回収効率35%以上</p>	<p>→8,000時間後の反応において、反応温度を350℃とした時の水素の理論最高転換率90.1%に対し、低下率5%以内</p>
<p>①-2 総合効率最適化プロセス検討</p>	<p>→総合効率75.7%以上</p>	
<p>②-1 離島モデルのプロセス設計</p>	<p>→メタンガスエンジンの排ガスをCO<sub>2</sub>源としたプロセスの設計完了</p> <p>→水素の直接利用を想定した燃料電池プロセスと比較し、経済的に有利であることを示す</p>	
<p>②-2 水素転換率の最適化検討</p>	<p>→リアクタ出口における水素濃度5%以下</p>	
<p>③ 離島モデルの実証データ取得</p>		<p>→離島実証用リアクタを含む、メタン製造設備の設計・製作を完了</p> <p>→離島実証用リアクタをベンチ実証設備に接続し、出口水素濃度5%以下かつ、リアクタ出入間における熱回収効率35%以上を達成</p>
<p>④ エネルギー総合工学研究所(IAE)と実機に向けた共同会議への参加と検討</p>	<p>7月、12月に共同会議を実施(年2回)</p>	<p>7月、12月に共同会議を実施(年2回)</p>

(アイ'エムセップ株式会社)

## エネルギーキャリアシステム調査・研究／熔融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成

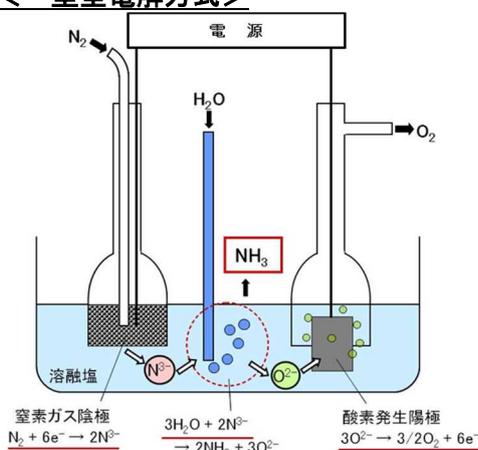
### (1)事業概要

「水と窒素からのアンモニア電解合成法」は、電解浴に熔融塩を用い、次式のように水と窒素から電気化学的にアンモニアを直接合成する革新的アンモニア合成法である。



本事業では、対象として図1に示す「一室型電解方式」と「二室結合型電解方式」の二つの電解方式を対象に選び、実用化に向けた各要素技術レベルを高めるための研究開発を進め、適切な電解方式を選択した後、その評価に適した装置を試作する。

#### <一室型電解方式>



#### <二室結合型電解方式>

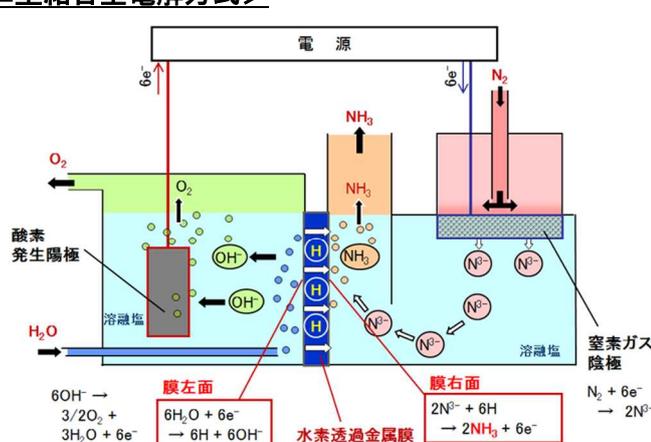


図1 「水と窒素からのアンモニア電解合成法」における一室型電解方式（左）と二室結合型電解方式（右）の原理図（一例）

実用化に向けた課題としては、「一室型電解方式」と「二室結合型電解方式」に共通の課題として、陰極性能向上（多孔質陰極内部の濡れ性制御）と生成したアンモニアの効率的な回収が重要であり、さらに「二室結合型電解方式」については高性能な水素透過金属膜の開発が不可欠となることから、これらを中心に技術レベルを高めるための研究開発を実施する。

### (2)事業内容及び研究開発目標

#### ① 高性能窒素ガス還元陰極（一室型・二室結合型共通）

窒素ガスの還元反応は、陰極基材表面に供給される窒素ガスと陰極基材表面に形成された熔融塩液膜の固気液三相界面において優先的に進行する。実用製造装置では高い電流密度での陰極反応の進行が必要であり、そのためにはこの三相界面の形成条件を明らかにして、電極構造を最適化する必要がある。

#### <H26-27年度の実施内容と目標>

##### ①-1 陰極性能評価(アイ'エムセップ)

アイ'エムセップ(株)では、陰極の電気化学的な性能向上に関する検討を行うため、陰極性能評価専用セルを設計、製作した。この評価専用セルを用いて、多孔質Niを陰極基材として選択し、窒素陰極還元特性について定量的に把握して陰極性能を向上させるための検討を進め、陰極の幾何学的な形状や窒素の供給方法等の工夫により、従来型の電極に対して、大幅に陰極電流密度を向上させるに有効な方策を検討する。

(H26年度目標) 多孔質Ni基材の窒素陰極還元特性の定量的把握

(H27年度目標) 陰極電流密度 0.1 A/cm<sup>3</sup>以上の達成

### ①-2 陰極濡れ性評価(電力中央研究所)

電力中央研究所では、熔融塩濡れ性評価試験用セルを製作した。これを用いて多孔質体内部での三相界面の形成挙動の定量的把握に向けた検討を実施し、濡れ性を支配する因子を明らかにして、陰極作製における設計指針を得る。

(H26年度目標) 陰極の濡れ性を支配する因子と電極特性との相関把握

(H27年度目標) 陰極構造の最適化

### ② アンモニア生成反応制御(一室型)

熔融塩中でのアンモニア生成挙動について、実用化に適した装置設計のためには、大電流通電での電解に過不足なく水蒸気を供給する条件の検討が不可欠である。すなわち、反応部の形状・容積や反応時間、浴条件の最適化と共に、大量の水蒸気気泡を均一に供給する方法の確立が必要となる。また、このような高いアンモニア発生速度領域での、アンモニア生成挙動を量的・時間的に正確に測定できる測定系の開発が必要である。

#### <H26-27年度の実施内容と目標>

##### ②-1 高いアンモニア発生速度領域でのアンモニア生成挙動の検討(A:アイ'エムセップ、B:電力中央研究所)

(A)アイ'エムセップ(株)では、上記の検討が可能なバッチ式評価セルと、ガスクロマトグラフによる高時間分解能アンモニア計測システムを設計・製作した。これらの装置を用いてアンモニア生成挙動に関する検討を行い、発生アンモニアや未反応の水蒸気等のマスバランスとその経時変化を定量的に把握することで、アンモニア収率に対する浴量、浴深さ、 $N^3$ 濃度、浴温、水蒸気供給条件等の相関について、定量的知見を集積し、電解槽構造についての設計指針を得る。

(H26年度目標) 一室型電解槽方式における電解槽構造について設計指針を得る

(H27年度目標) アンモニア収率(初期  $N^3$ 量に対するアンモニア回収量の割合)80%以上(バッチ式セルでの収率)

(B)電力中央研究所では、アンモニア生成反応時に熔融塩中に生成する化学種を明らかにする目的で、熔融塩成分変化評価装置(拡散反射型 FT-IR)を製作した。この装置を用いて、アンモニア電解合成と同等の条件下における溶存化学種の生成挙動について定量的な解析を行い、アンモニア収率を高めるための条件を絞り込み、アイ'エムセップ(株)で進める収率向上のためのアプローチに反映させる。

(H26年度目標) アンモニア溶解機構の解明のための溶存化学種の確認

(H27年度目標) アンモニア溶解機構の定量的把握

##### ②-2 水蒸気供給法の検討(アイ'エムセップ)

水蒸気吹き込み時における気泡形成の検討を通じて水蒸気供給部構造の最適化を進める。

(H26年度目標) 微細気泡供給方法の構造的最適化

(H27年度目標) 微細気泡供給方法の確立

### ③ 高性能酸素発生陽極

一室型電解方式では、アンモニア生成反応により熔融塩中に生じた酸化物イオン( $O^{2-}$ )が陽極上で酸化されて酸素が発生する。これまでの研究成果から、ニッケルフェライト(組成: $Ni_{0.75}Fe_{2.25}O_4$ )を陽極材料として用いるのが現状では最も好ましいことが分かっている。しかし、ニッケルフェライトは導電率が小さいために、大電流通電を行った場合に、陽極内部抵抗による電圧損失が大きくなることが課題である。

#### <H26-27年度の実施内容と目標>

##### ③ ニッケルフェライト電極の内部抵抗の低減(一室型)(アイ'エムセップ)

アイ'エムセップ(株)では、電極形状にした際の電極内部抵抗を低減するため、金属基材上にニッケルフェライトを膜状に成形することが有効と考え、バルク状の電極作製に優先して、薄膜型のニッケルフェライト陽極を試作しその評価を進める。

(H26年度目標) (A)電極作製・消耗評価の開始

(B) ニッケルフェライト成膜条件の絞り込み

(H27年度目標) 消耗速度 20  $\mu\text{m}/\text{y}$  以下の達成

#### ④ 高性能水素透過金属膜(二室結合型)

二室結合型電解方式の、特に水素透過金属膜については、大電流通電が可能な実用装置を実現するために、膜の左右表面の僅かな水素活量差によって大量の水素を拡散供給できる高性能な水素透過金属膜の設計・開発が不可欠である。また、この水素透過金属膜は、熔融水酸化物中での電気化学的な水素吸蔵や、塩化物系熔融塩中での  $\text{N}^{3-}$  からアンモニアが電解生成する条件下においても、変質することなく安定に作用できる金属や合金である必要がある。

#### <H26-27年度の実施内容と目標>

④-1 評価セルを用いた水素透過金属膜の電気化学的評価(A:アイ'エムセツプ、B:電力中央研究所)  
(A)アイ'エムセツプ(株)では、水素透過金属膜の電気化学的な評価だけでなく、膜の固定方法の開発と評価が実施できる実験装置を設計、製作した。この実験装置を用いて、浴の漏れがなく水素透過金属膜を固定する方法の検討を行い、実用装置の電解槽構造にも適用可能な手段を見出す。さらに、水素透過金属膜を用いたアンモニア電解合成試験を行い、水素透過金属膜上でのアンモニア生成挙動について知見を集積する。この結果をもとに、電力中央研究所でのアンモニア溶解機構に関する検討結果を踏まえつつ、水素透過金属膜組成の最適化を図り、当初に設定したアンモニア収率の目標値を達成する。

(H26年度目標) 水素透過金属膜の固定方法絞り込み、膜の安定性評価・電気化学的評価の開始

(H27年度目標) アンモニア収率(通電電流値に対するアンモニア回収速度の割合)50%以上(水素透過金属膜評価セルでの収率)

(B)電力中央研究所では、水素透過金属膜上のアンモニア生成反応の進行時における溶存化学種の挙動を把握するため、熔融塩成分変化評価装置(拡散反射型 FT-IR)を用いて、水素透過金属膜上の反応を模擬した条件での溶存化学種の解析を行う。これを通じて、アンモニア収率を高めるための条件を絞り込み、アイ'エムセツプ(株)で進める収率向上のためのアプローチに反映させる。

(H26年度目標) 水素透過金属膜上を模擬した反応機構の検討開始

(H27年度目標) アンモニア溶解機構の定量的把握

#### ④-2 水素透過金属膜の選択と評価(日大)

水素-金属系の専門家として本事業に参画している日本大学では、Pd 合金系の水素透過性能を上回る可能性のある金属・合金系として、bcc 構造を有する合金組成の候補物質を選択し、複数の組成に対する水素透過性能の比較をスムーズに行うために、パルス NMR による評価方法を選択し、パルス NMR 装置を設置して評価を開始する。水素吸蔵放出等温線 (PCT) 測定や、X 線構造解析、昇温脱離 (TPD) 測定、パルス NMR 測定、走査型電子顕微鏡観察などの評価結果と併せ、水素透過の観点から最適組成候補を絞り込む。これと並行して、アイ'エムセツプ(株)では、日本大学で選択した組成の合金サンプルを使用し、バッチセルにて熔融水酸化物系、塩化物系熔融塩に対する安定性の評価を実施し、候補組成をさらに絞り込む。

(H26年度目標) 水素透過金属膜組成の絞り込み

(H27年度目標) 0.1 A/cm<sup>2</sup> に相当する水素透過能力を有し電解中に安定な水素透過金属膜の開発

#### ⑤ 評価装置の試作と評価

一室型電解方式と二室結合型電解方式の両方について、評価装置の基本設計に関する調査・検討を進める。アイ'エムセツプ(株)の有する、アンモニア電解合成槽に適した構造や電極配置に関する特許技術等をもとに、容量や各種イオン濃度、電極配置や電解槽形状等について、具体的な方針を固め、電力中央研究所の有するMCFC製作技術を取り入れ活用することで、最適設計を図る。

前記の実施項目①~④の各要素技術開発の結果から、評価装置の基本設計により導き出される性能、コスト、評価装置製作に向けた課題や技術的・時間的な実現可能性等と、エネルギー総合工学研究所でのターゲットや目標値に関する検討結果とを総合して、H27年度末までに電解方式を決定する。以降、詳細設計と製作を開始し、H28年度中に評価装置を完成させ、稼動試験を開始する。この稼動試験による性能評価結果に基づいて、本格開発(プロトタイプ製造装置開発)に向けた開発課題、開発目標を明確化

するとともに、本アンモニア電解合成法の優位性を確保するために最も効果的な研究・開発方針を確定して、他技術と比べた優位性を実証する計画である。

#### ＜H26－27年度の実施内容と目標＞

##### ⑤ 評価装置の基本設計に関する検討(A:アイ'エムセップ、B:電力中央研究所)

(A)アイ'エムセップ(株)では、一室型電解方式と二室結合型電解方式の両方について、アンモニア電解合成評価装置の基本設計に関する調査と、上記実施項目①～④の各要素技術開発の成果をふまえつつ、評価装置の基本設計に関連して構造や材質、スペック等に関する検討を行う。

(H26年度目標) 付帯設備設計・製作の開始

(H27年度目標) 電解方式の決定

(B)電力中央研究所では、実施項目①、②の各要素技術の成果をふまえ、陰極(材質、形状など)及びアンモニア生成の浴の設計・製造の指針を得る。さらに前記の実施項目①～④の各要素技術開発の結果を踏まえ、電力中央研究所の有する装置製作技術やノウハウをもとに検討を行い、アイ'エムセップ(株)と協働して基本設計を進める。

(H26年度目標) 陰極・アンモニア生成浴設計への指針

(H27年度目標) 評価装置設計に基づいた評価

##### ⑥ 実機の設計・製作に向けた共同会議への参加と検討(エネルギー総合工学研究所との協業)

エネルギー総合工学研究所の事業内容に関連して、実機の設計・製作、及び特性解析や経済性評価に必要なデータ等を設定し、開発課題と開発目標を把握するため、共同会議(2回/年程度:7月、12月)に参加し、研究開発状況に関わる情報の共有と開発方針の検討を行う。

(地球環境産業技術研究機構、千代田化工建設株式会社)

## エネルギーキャリアシステム調査・研究／水素分離膜を用いた脱水素

### (1) 事業概要

有機ケミカルハイドライド法とは、トルエンなどの芳香族化合物を水素化することによって、メチルシクロヘキサン(MCH)などの飽和環状化合物として水素を固定し、常温・常圧の液体状態で貯蔵輸送を行い、水素の需要地において脱水素反応により水素を取り出して利用する方法である。従って、水素エネルギーの安定な貯蔵・輸送という点で大きな可能性を有するエネルギーキャリアである。

水素供給側で行われるトルエンの水素化反応は類似の反応であるベンゼンの水素化反応として、1970年代から商業実績のある技術であり、既に確立された技術である。一方、水素生成反応である脱水素反応については、共同提案者である千代田化工建設(株)にて1万時間を越える長寿命の触媒が開発され、同じく1万時間程度の実証試験を終了している段階にある。

但し、現在開発されている脱水素反応技術は大規模の水素製造を想定して、研究開発/実証試験がなされており、将来の再生可能エネルギーの一層の普及に際しては、小型・分散型の脱水素装置を実用化し、商業設備/一般家庭/水素ステーションといった分野への適用も促進すべきと考えられる。本事業では、装置の小型化を可能とする水素分離膜およびそれを用いたメンブレンリアクターのシステムについて技術課題及び経済性の検討を行う。

平成26、27年度は以下の検討を実施している。

### (2) 事業内容及び研究開発目標

#### ① セラミック系水素分離膜(単管膜)の長尺化技術課題の明確化

((公財)地球環境産業技術研究機構)

平成26年度は、対向拡散CVD法を用いて、セラミック系水素分離膜(単管膜)の長尺化(70mm→200mm)を達成する。また、平成25年度に検討した温度分布、プレカーサ・酸素濃度分布等の、長尺化に伴う技術課題について引き続き検討を進め、長尺CVDシリカ膜の製膜条件の知見の蓄積を行う。

平成27年度は、さらなる長尺化(→500mm)に向けた製膜条件の検討を行う。

#### ② 単管メンブレンリアクターによる反応検討

((公財)地球環境産業技術研究機構)

平成26年度は、①で作製した単管膜と触媒を組み合わせ、メンブレンリアクターとしての性能を評価し、反応温度低減効果を確認する。また、単管メンブレンリアクター内のガス流れ、温度分布等に関するシミュレーション検討を行い、実験値との比較検討を行う。

平成27年度は、メンブレンリアクターとしての温度依存性、圧力依存性等の詳細な基礎データを取得する。

#### ③ 小型メンブレンリアクターの設計・試作、技術課題の明確化

((公財)地球環境産業技術研究機構)

平成26年度は、実用化実証試験への基礎データを取得するために、②で作製した単管メンブレンリアクターを用い、膜材料やメンブレンリアクターの要素部材の耐久性等の技術課題の検討を行う。また、メンブレンリアクターのモジュール構造のガス流れ、温度分布への影響等に関するシミュレーション検討を行い、モジュール構造の最適化に関する知見を得て、小型メンブレンリアクター試験装置の設計検討を行う。

平成27年度は、小型メンブレンリアクター試験装置を製作し、運転研究を行い、熱収支・総括伝熱係数の算出を行う。

また、国内外の水素分離膜、メンブレンリアクターの技術動向について情報収集を実施する。

#### ④ 水素分離膜型脱水素プロセスの経済性検討(千代田化工建設(株))

平成26年度は、平成25年度の検討にて作製した水素分離膜型脱水素プロセスに関して、分散型/小型プラントの概略コストを把握する。合わせて、将来のコジェネ/燃料電池市場の調査を継続する。

平成27年度は、平成26年度の概略コスト試算に基づいて、分散型コジェネを対象とした水素利用事業についてフィージビリティスタディを実施する。

⑤ 小規模脱水素プロセスのシステム検討(千代田化工建設(株))

平成 26 年度は、平成 25 年度の検討にて作製した水素分離膜型反応器シミュレーターについて脱水素反応の進行に伴う伝熱の影響を簡易的に評価できる反応シミュレーターへの改良を実施する。また、同じく平成 25 年度に実施した、既存脱水素プロセス情報に基づく小型発電設備(SOFC, ガスタービン)と組み合わせたシステムの熱バランス検討結果を水素分離膜型脱水素プロセスへの適用を図る。

平成 27 年度は、コスト低減に向けたプロセス改良/技術課題の抽出の検討を行う。

⑥ エネルギー総合工学研究所と実機に向けた協同会議への参加と検討(千代田化工建設(株)、(公財)地球環境産業技術研究機構)

実機の想定、及び(特性)解析(経済性)評価に必要なデータ等を設定し、開発課題と開発目標を把握するため、実機に向けた協同会議(2回/年程度:7月、12月)に参加し、現状を示し、検討を行なう。

なお、各協同会議では、参加担当事業者及び参加の了解が得られた専門家内で秘密の保持を行う。

## 研究開発項目⑤ トータルシステム導入シナリオ調査研究

### 1. 研究開発の必要性

本事業の成果(研究開発項目①~④)の速やかな実用化・普及を実現するため、水素・エネルギーキャリア技術が社会に導入されるシナリオを検討し、技術目標の妥当性の確認、更なる具体化を含む本事業の戦略策定の基礎となる情報を収集する必要がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

①再生可能エネルギーのポテンシャル調査(ケーススタディ等による量やコスト等の把握)、②エネルギーキャリア技術のコスト分析、③許容されるコスト(競合する既存システムのコスト等から導かれる)の分析等に基づいてシナリオを策定する。併せて、シナリオが実現した際のエネルギー需給や炭酸ガス排出削減、経済成長への寄与等を検討する。

シナリオは、①本事業で開発する水素製造技術、②液体水素、メチルシクロヘキサン等のエネルギーキャリア技術および①と②を組み合わせたトータルシステムについて最低限策定する。シナリオの設定や分析にあたっては、秘密情報の確実な管理を前提に、本事業の参加者から技術情報等を収集するとともに、本事業内外の有識者の知見を幅広く得られる適切な体制を構築する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標、最終目標について】

本項目は提案公募として実施し、研究期間は4年とする。前半2年で一通りのシナリオを完成させる。後半2年は、中間評価等も踏まえ、策定したシナリオの精緻化や新たなシナリオの設定、分析を行う。

(産業技術総合研究所、横浜国立大学)

## トータルシステム導入シナリオ調査研究

### (1)事業概要

再生可能エネルギーからの電力による電気分解等により水素を製造し、水素あるいはアンモニア等のエネルギーキャリアに変換して貯蔵・輸送・利用するシステムについて、個別要素及び全体のシステム効率解析やコスト解析を実施し、本システムが普及するための課題やシナリオについて検討する。併せて本システムが実現された場合の長期的なエネルギー需給や二酸化炭素排出削減効果への影響を評価する。また、導入のための安全性評価や標準規格を検討する。

本調査研究においては国立大学法人横浜国立大学(以下、「横浜国大」とする)、一般財団法人エネルギー総合工学研究所(以下、「エネ総工研」とする)及び国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下、「産総研」とする)にて連携して研究を実施する。

本調査研究においては、下記の項目について実施する。

- ①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討(担当:産総研)
- ②用途別の許容コスト分析(担当:産総研)
- ③シナリオ検討(担当:エネ総工研+産総研)
- ④CO<sub>2</sub>排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討(担当:産総研+エネ総工研)
- ⑤シナリオ検討・分析委員会及び各WGのロジ(担当:産総研)
- ⑥水素製造における風力エネルギー推計の高精度化(担当:横浜国大)

### (2)事業内容及び研究開発目標

本事業において、産総研では、①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討を実施し、②用途別の許容コスト分析結果を併せて、③シナリオ検討へフィードバックする。同時に、④CO<sub>2</sub>排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討を並行して実施し、シナリオ検討へ集積する。なお、⑤シナリオ検討・分析委員会及び各WGのロジも担当する。

#### ①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討(担当:産総研)

##### (a)個別シナリオ・戦略検討

「水素利用等先導研究開発事業」の研究開発受託機関が想定している事業内容、技術開発目標および方向性等について調査を行う。調査結果を活かしながら作成しているシナリオへの反映に向けた検討を行い、各社が実施している事業の方向性や目標値の明確化に資する知見を見出す。

##### (b)水素製造における高効率熱利用の検討

水素製造とエネルギーキャリア製造とを組み合わせたトータルシステムについて、技術開発項目の提示に向けて、熱の有効利用も含めた検討を行う。

##### (c)再生可能エネルギーを活用可能なアンモニア製造方法に関する調査

現在、実施されている工業的なアンモニア製造の現状やエネルギーとしてアンモニアを利用した場合の既存用途への影響等について調査を行い、再生可能エネルギーから製造したアンモニアを利用した新たなエネルギーシステムの構築に関する知見を得るとともに、シナリオ検討における議論等に反映させる。

##### (d)液体水素計量法(ISO規格)の検討

液体水素の導入に向けた基盤整備を目的として、液体水素計量法に係る課題の整理、液体水素の規格案件の検討状況の整理を行う。

##### (e)水素製造技術分析

「水素利用等先導研究開発事業」の研究開発受託機関が実施している再生可能エネルギー適地、あるいは未利用化石燃料資源・炭素隔離貯留(CCS)適地での水素ポテンシャル調査に協力し、候補地で期待できる水素価格、水素量の概算をするとともに技術課題を明らかにする。

#### ②用途別の許容コスト分析(担当:産総研)

水素・エネルギーキャリア利用技術の導入普及が進み、水素が大量に利用され、エネルギーインフラとして我が国のエネルギー供給の主要な柱を担う状況の実現可能性を中心に、需要サイドから見た水素の許容コスト(水素の需要価格)を用いて、発電、輸送、民生部門等の用途別に分析・評価を行い、得られた成果を

③シナリオ検討に反映させる。

③シナリオ検討(担当:エネ総工研+産総研)

「①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討」、「②用途別の許容コスト分析」、「④CO<sub>2</sub> 排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討」、「⑤シナリオ検討・分析委員会及び各 WG のロジ」の成果およびエネ総工研が実施する水素供給側からのコスト分析(キャリア技術のコスト分析)の成果を統合しながら、シナリオとして取りまとめる。

④ CO<sub>2</sub> 排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討(担当:産総研+エネ総工研)

水素・エネルギーキャリア利用技術の実用化・普及に向けて、競合する既存エネルギーとそれを利用する技術との代替関係も含めた二酸化炭素排出削減の可能性と長期的エネルギー需給への影響を検討する必要があることから、二酸化炭素排出削減可能性の評価について、海外で太陽光・風力発電から製造した水素を、エネルギーキャリアとして日本に輸送して水素を供出するサプライチェーンについてライフサイクル温室効果ガス排出量を算定する。また、日本の長期的エネルギー需給への影響評価について、エネルギーシステムモデル(MARKAL モデル等)を用い、化石燃料等との相対価格、二酸化炭素排出制約、エネルギーキャリアを燃料とする発電技術の開発等の要因を考慮したエネルギーキャリアの導入分析を実施し、一次エネルギー供給、電源構成、最終需要への影響等を評価し、得られた成果を③シナリオ検討に反映させる。

⑤シナリオ検討・分析委員会及び各 WG のロジ(担当:産総研)

シナリオ検討・分析委員会および各 WG を適時開催し、有識者や事業者に成果を報告する。委員会および各 WG では、報告について議論および意見交換を実施し、その内容を③シナリオ検討に反映させる。なお、各 WG は、エネルギーキャリア技術のコスト分析 WG、用途別の許容コスト分析 WG 及び液体水素計量法検討 WG で構成される。

⑥水素製造における風力エネルギー推計の高精度化(担当:横浜国大)

(a)風力水素開発適地調査(担当:横浜国大)

平成 25 年度は風力水素に向けて既存の風況データに基づく国内外の風力エネルギーの潜在エネルギー量の推定を行い、それらの検討の結果から潜在風力エネルギーの大きく、一般的な計測の可能であろうと考えられる地点の選択を行った。国内の風況に関しては NEDO や環境省、日本発電協会の作成した潜在エネルギー量の推定を用いて調査を行い、北海道と青森県が大きな潜在エネルギー量を有していることを示した。海外では多くの気象データから推定された風況地図を利用して高風況地域を選択し、その中から候補地点として、英国周辺、モーリタニア地域、アルゼンチン中央東部等の地域を選出した。

平成 26 年度は海外でポテンシャルが高いと認定された地域の水素製造における風力エネルギー推計の高精度化を行った。具体的には前年度選定された地域を中心に、地勢や地理的な調査、社会資本の状況、風力-水素システム開発に必要な条件等の調査を行い、さらに気象モデル(WRF)を用いて年間風況を再現計算することにより強風地域を明確にし、風況観測地点選定の基礎資料を作成した。

また、公開されている風況や風力発電データを調査し、風力発電ポテンシャルの検討結果と比較して、水素製造における風力エネルギー推計の高精度化を検討した。さらに、風力エネルギーを用いた水電解による水素製造のために検討すべき要素を抽出して、この試算を行った。

(b) 水素製造における風力エネルギー推計の高精度化と解析調査研究(担当:横浜国大)

平成 25 年度は、国内のポテンシャル調査結果をもとに国内候補地域2カ所(北海道宗谷地区、青森下北地区)について、風況に影響する地形と人的アクセスなどを現地視察し、観測鉄塔の利用が可能な青森下北地区を観測地点に決定した。三次元超音波式風速計と並行して風杯式の風速計と矢羽式の風向計も配置され、これまでの風況観測でのデータとの比較検討を可能にしている。観測機器は平成 26 年 2 月に設置されデータ収集が開始された。

本研究では超音波式風速計を2カ所の鉛直高さに設置し、さらに詳細な計測を行う。ここでは NEDO の日本型風力発電ガイドラインを参考にしつつ、高風速域での観測結果を合わせて、風力水素開発に向けて、必要な項目が無い慎重に検討する。

平成 26 年度は国内に設置した超音波式及び風杯式の風速計を用いて、継続して風況測定データを収集してきた。ここでは 10Hz という時間分解能が計測の高精度化に与える効果を明確にし、超音波式と風杯式の風速観測の差異を明確にする。さらに得られた風況データを風況解析ソフトの計算結果と比較検討し、その

差を定量的に明らかにするとともに、測定データを解析に利用することで、風力エネルギーからの水素ポテンシャル推計を試みる。

海外調査に関しては、平成 25 年度のポテンシャル調査をもとに海外の好風況候補地域を2カ所程度に絞り、具体的に現地を視察して風力水素のための長期観測の適否を調査し、風速観測機器の設置実現性を検討した。この検討に基づいて海外における風況観測地を決定し、風況測定装置の購入、風速計の検定、装置設置に要する治具の整備等の風況測定装置設置のための準備を行い、三次元超音波式風速計と並行して風杯式の風速計と矢羽式の風向計を設置した。なお、この地域は高風速地域であることに加え大平原の中の地域であるため、風力ポテンシャルの高精度解析には層高別の温度情報が必要と考えて温度計を合わせて2カ所の鉛直高さに設置した。

平成 27 年度は国内設置の風速計に関しては 26 年度と同様な計測と解析を継続し、そこから得られる各種のデータの解析を引き続き行い、NEDO の日本型風力発電ガイドラインも活用して水素製造における風力エネルギー推計の高精度化データを取得中である。加えて日本における計測においても海外の計測と比較して大気安定性の影響を考察するために温度計を2カ所の鉛直高さに設置した。

また海外の選定された風力水素開発候補場所に新たに高精度風速計を設置して観測が始まったが、観測結果は国内と同様の解析を行うとともに、風力水素製造を長期安定して運転保守するための高風速地域の諸風況データとして観測を継続し、収集したデータを解析することで高信頼性の機器設計に向けた風車設計に必要なデータを提案する。

特に海外の高風況地域における風況解析はその潜在エネルギー量の信頼性を高めるために、単なる風況観測だけではなく大気安定性が発電量にどのような影響を与えるかといった世界の最先端の計測を進めると共に、強風地域に建設が期待される将来の風力水素プラントの長期運転に必要な高信頼性、高性能機器の寿命や水素製造量の算定の基礎となるものとして慎重に調査し、その実現性に寄与する評価法の確立を図る。

(c) 水素製造における風力エネルギー推計の高精度化に向けての工学的見地からの研究調査(担当: 横浜国大)

平成 25 年度は観測期間が短時間であったため、解析例と今後の方向性を示した。また同様の機器による強風地域の観測例を示し、従来型機器と、高精度観測を目標としている超音波式風況観測装置の観測結果の機器特性上の違いを示した。また、強風地点における風況の特性の計測とその標準的な仕様について、風力水素開発に向けての改良、改善の可能性を考察できることを示した。

風力水素プラントは少なくとも 20 年以上の長期運転期間が要望されており、プラントの建て替え期間まで安定して安全に達成できるようにいかなるデータをどの様にとるかを、どのように解析するかを検討しながら進める必要がある。それらは発電量予測、水素製造装置の寿命や運転方法を検討するといった各種の風車若しくは風力水素システム設計のための基礎データとなる。

平成 26 年度は国内に設置した三次元超音波式風速計と風杯式風速計・矢羽根式風向計から得られた初期データから、両者を比較検討し、超音波式風速計による三次元で短時間分解能を有したデータより両者の差が発生する原因を詳細に解析した。風力水素システムの構築に向け、好風況と考えられる高風速域での特性に注目し、超音波式、風杯式風速計の差異を明確にすることは、水素製造における風力エネルギー推計の高精度化に資する。これら高精度の観測データを1年以上の期間、出来る限り継続して長期間蓄積する予定である。

海外においては前述の適地選定と現地調査に基づき平成 26 年度末に計測機器を設置し、平成 27 年度には三次元超音波式風速計と風杯式風速計・矢羽根式風向計による風況観測を開始した。国内の計測で得られたデータとともに、従来の各種の計測結果や国際的な基準である IEC の強度評価方法を参考にしながら、水素製造における風力エネルギー推計の高精度化のための各種のパラメータと検討項目の調査を行い、高精度化手法を確立して将来の風力水素設備設計の検討に寄与する。

最終的な検討検証の結果は従来の風力発電装置の検討項目と同様の形式になる。すなわち、IEC61400-1等を参照すればよいが多く項目がそこには含まれているので、少なくともこれらの項目に関して工学的な見地から検討を加え現在の設計条件の与え方の適否を調査検討する。加えて、高風速地域の風速分布や風向分布といった基本的なデータを取得して解析するとともに、大気安定性の影響が風力エネルギーの算定に影響することが報告され始めており、そのような背景から温度計を設置し風速予測と発電量予測をより高精度なものにして風力水素の事業性や採算性の向上に寄与するべき解析を進めることとし、加えて、強風地域の風況条件は国際基準である IEC においても記載が無いことから、その機器用に適切な設計条件を得ることで、風力水素事業の機器の稼働率向上と故障撲滅という採算性検討にも必要なデータを与える

ことが出来るとともにその手法を共有化できるように研究を進めることとする。

(d)プロジェクト推進委員会の開催(担当:横浜国大)

上記⑥-(a)～⑥-(c)をプロジェクト推進委員会では外部有識者を含め、年 4 回程度開催し、ここで研究経過報告、研究方針の打合せ、決定を行い、研究の的確、効率的な推進をする。

## 2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は、経済産業省において、平成25年度より未来開拓研究プロジェクト「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」にて実施されているものであり、事業開始から5年間の研究開発実施者を経済産業省が平成25年度に企業、大学等の研究機関(委託先から再委託された研究開発実施者を含む)から公募によって選定し、委託契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて実施体制の妥当性について審議を行い、最適な研究開発体制を構築し、実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下でそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

## 2.3 研究開発の運営管理

経済産業省、PL、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、外部有識者や産業界の意見等を踏まえ、研究進捗把握等のマネジメントを行う。

## 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 成果の普及

開発された成果を我が国の産業競争力強化に繋げるため、事業者だけでなく、潜在的なユーザー等の意見を聴いて、標準化戦略や成果の市場への受容を促すための安全・性能証明の方策を含む事業化戦略を策定する。また、途中段階で得られた成果は他の施策と連携しつつ、事業化を図る。

#### ② 知的財産権の取扱い

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

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、知的財産管理規程等を定めることを求める。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、必要に応じて、基本計画に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。

### (3) 根拠法

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号二に基づき実施する。

### (4) その他

#### ① 他省庁の施策との連携体制の構築

NEDOは、文部科学省が所管する独立行政法人科学技術振興機構の「戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発」における「エネルギーキャリア研究加速プロジェクト」など基礎研究の実施体制と緊密に連携するため、各プロジェクトの統括者、所管省庁等の課室長等から構成される連携体制に参画する。当該連携体制では、プロジェクト間の事業計画の調整、成果の共有や取扱いの調整、設備の共用や研究人材交流の促進等について協議を行うものとする。

#### ② 大学における人材の流動化等に係る取組

大学の研究者の企業等への出向を容易にするための取組、守秘義務を課した形でのポストドク等のプロジェクト参加など、本プロジェクトを活用した実践的人材の育成への取組を促すこととする。また、大学側も、これらの取組を促進する方策について検討するものとする。

#### ③ 独立行政法人産業技術総合研究所の協力

独立行政法人産業技術総合研究所において独自に実施しているエネルギーキャリアに関連した安全性

評価等の成果について定期的に情報共有や意見交換を行い、プロジェクトの研究開発又は事業化の方向性を検討する等の連携を求めていくものとする。

④工業所有権情報・研修館の協力

本プロジェクトにおける知的財産に関する戦略策定や管理方法の検討に当たっては、必要に応じて、独立行政法人工業所有権情報・研修館に知財プロデューサーの派遣を求める。

### 3. 情勢変化への対応

2013年6月、内閣府にて戦略的イノベーションプログラム(SIP)が創設された。この情勢に対応し、研究者間の交流が促進されるよう、SIPとの連携を図った。(ワークショップの開催 2015年3月)

### 4. 中間評価結果への対応

中間評価後に実施

### 5. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び技術的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を原則として中間評価を平成27年度、事後評価を平成29年度に前倒して実施する。また、中間評価結果、本プロジェクトにおける目標達成度、他省庁における連携事業の進捗状況、内外の研究開発動向の変化、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化その他の情勢の変化を踏まえ、本プロジェクトの必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等についてゼロベースで見直しを行い、次期の基本計画を改定するものとする。

なお、評価の時期については、当該研究開発に掛かる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

特に研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、事業化の促進の取組みも含め、適切に見直しを行うものとする。

### 3. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

研究テーマ毎の中間目標は達成もしくは達成見込みであり、プロジェクトとしての中間目標は全て達成の見込みである。

#### 2. 研究開発項目毎の成果

評価基準は以下の通りとする。

◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×達成困難

#### 研究開発項目① 低コスト水電解水素製造システムの研究開発

旭化成・日立造船共に、中間目標(電流密度等)を達成、低コスト化に繋がる大型装置試作へ向けた技術的見通しを得た。

(旭化成株式会社)

#### アルカリ水電解水素製造システムの研究開発

##### (1) 研究開発成果及び課題と検討方針

###### ① 低電圧・高耐久性電極の開発(要素技術)

(目標1) 電解電圧 1.8V 以下@0.6A/cm<sup>2</sup>

(達成度:◎) 中型電解装置(0.25m<sup>2</sup>/セル)で達成。

(目標2) 不安定電源に対する耐久性評価と改善

(達成度:△) 電源 ON-OFF の影響は、4000 回はクリア。電流変動の影響の評価手法確立し、評価中。

(課題と検討方針) 小型電解装置での変動周波数の影響の連続運転評価(数千 Hr)。

###### ② 低電圧・高耐久性隔膜の開発(要素技術)

(目標1) 電解電圧 1.8V 以下@0.6A/cm<sup>2</sup>

(達成度:◎) 中型電解装置(0.25m<sup>2</sup>/セル)で達成。

(目標2) 不安定電源に対する耐久性評価と改善

(達成度:△) 電解液中での static な耐久性は 5 年以上を確認。電源 ON-OFF の影響は、4000 回では影響皆無。電流変動影響の評価手法確立し、評価中。狭幅での隔膜製造技術検討終了。

(課題と検討方針) 小型電解装置での変動周波数の影響を連続運転評価(数千 Hr)及び改良。大型用広幅隔膜製造装置設計は、当面ペンディング。

###### ③ 電解ユニットの開発

(目標1) 中型(0.25m<sup>2</sup>/セル)電解セルスタックでの電解性能確認。

(達成度:◎) 中型(0.25m<sup>2</sup>/セル)電解装置で電解電圧 1.8V 以下@0.6A/cm<sup>2</sup>確認。

(目標2) 不安定電源の影響評価。

(達成度:△ H27 年度実施予定) 中型電解装置で電流変動の影響の評価計画策定。

(課題と検討方針) 中型電解装置での変動周波数と耐久性の評価実施(数千 Hr)。

(目標3) 電解装置の周波数応答性等の装置特性把握

(達成度:○) 電解装置の電気回路解析実施。小型装置での応答性一次評価終了。

###### ④ 電解プロセスの開発・実証

(目標1) プロセス設計(スケールアップ)検討。

(達成度:○) 中型電解装置(0.25m<sup>2</sup>/セル)設置完了。大型電解装置(2.7m<sup>2</sup>/セル)設計終了、製作中。

(目標2) 変動電源適用時のコントロール性を考慮した全体プロセス最適化

(達成度:△ H27 年度実施予定) 中型電解装置での電流負荷変動時のプロセス評価

(課題と検討方針) 中型電解装置評価及び課題抽出。長期(2-3 年)連続運転評価パフォーマンス揭示評価とメンテナンスの検討(H28 年度以降)。合理化とプロセスコスト見通しの算定。

###### ⑤ 水電解用直流電力供給装置開発

(目標) アルカリ水電解特有の大電流直流電力供給装置の高効率化と低コスト化。

(達成度:△) 中型電解装置用直流電源装置(DC50V/2,500A)検討・設計・製作完了。

大型電解装置用直流電源装置(DC12V/16,200A)検討・設計・製作完了。

中型電解装置用直流電源装置の設計検討により、3%の効率向上の目処付け完了。

(課題と検討方針)H27年度中に残り2%の技術の方向性を確定する。。

#### ⑥風力発電と水電解装置の協調制御法検討

(目標1)実風車の出力データ収集

(達成度:○)自社製風車の出力データを0.1秒間隔で計測し、変動分布を把握した。

(目標2)協調制御モデル構築

(達成度:○)汎用シミュレーションソフト上で協調制御モデルを構築した。

(目標3)長期間シミュレーションによる効果の確認

(達成度:○)1ヶ月間の風車データを使用したシミュレーションを実施し、系統出力平準化を確認した。

### (2)成果の最終目標の達成可能性

#### ①低電圧・高耐久性電極の開発(要素技術)

(最終目標)

・大型(電解面積 $2.7\text{m}^2/\text{セル}$ )電解プロセスにおいて電解電圧 $1.8\text{V}$ 以下@ $0.6\text{A}/\text{cm}^2$

(達成見通し)平成27年度中に大型プロセス稼働により確認する

・変動電源での耐久性長期評価(メンテナンスサイクルの算定)

(達成見通し)平成29年度末までの長期運転で確認する

#### ②低電圧・高耐久性隔膜の開発(要素技術)

(最終目標)

・大型(電解面積 $2.7\text{m}^2/\text{セル}$ )電解プロセスにおいて電解電圧 $1.8\text{V}$ 以下@ $0.6\text{A}/\text{cm}^2$

(達成見通し)平成27年度中に大型プロセス稼働により確認する

・変動電源での耐久性長期評価(メンテナンスサイクルの算定)

(達成見通し)平成29年度末までの長期運転で確認する

#### ③電解ユニットの開発

(最終目標)

・大型(電解面積 $2.7\text{m}^2/\text{セル}$ )電解装置コスト(大量生産時の目標コスト)20万円/ $\text{Nm}^3\text{-H}_2\cdot\text{Hr}$

(達成見通し)平成29年度末までの長期運転実施で仕様を確定し、コスト算定を行う。現状仕様で耐久性の見通しが得られれば目標コスト達成は可能。

#### ④電解プロセスの開発・実証

(最終目標)

・変動電源対応電解プロセスの設計。合理化とプロセスコスト見直しの算定

(達成見通し)平成29年度末までの大型装置の長期運転を実施し、算定する。

#### ⑤水電解用直流電力供給装置開発

(最終目標)

・大型(電解面積 $2.7\text{m}^2/\text{セル}$ )電解プロセス( $1000\text{m}^3/\text{Hr-H}_2$ )電源供給装置の電源変換効率向上と電源変換コスト6万円/ $\text{Nm}^3\text{-H}_2\cdot\text{Hr}$

(達成見通し)平成29年度末までに電源供給装置の仕様を決定し、5%効率化とコスト低減の見通しをつける。

#### ⑥風力発電と水電解装置の協調制御法検討

(最終目標)

・各種条件によるトータル水素製造コストの試算

(達成見通し)平成27年度末にシミュレーションにより、適正条件を決定して算定する。

・システム実用化に向けた具体的検討

(達成見通し)平成29年度末

(日立造船株式会社)

## 高効率低コスト水電解水素製造システムの研究開発

### (1) 研究開発成果及び課題と検討方針

#### ① アルカリ水電解の高効率化

(目標) 電解電圧 1.8V において電流密度 0.6A/cm<sup>2</sup> 以上

(達成度: ◎) ラボスケール試験にて目標達成。

(課題と解決方針) 大型化した時の性能維持が課題。

#### ② アルカリ水電解装置の耐久性評価

(目標) 低電流連続試験および変動電流試験を 1,000 時間単位で実施し、耐久性の向上を確認。

(達成度: △) H28 年 2 月達成予定) ラボスケール試験にて定電流密度運転を実施し、900h の耐久性を確認。

(課題と解決方針) ラボスケール試験にて変動試験を実施し、耐久性を確認する。

#### ③ アルカリ水電解装置の低コスト化

(目標) 電解槽および電解装置に関する低コスト要素を検討。

(達成度: △) H28 年 2 月達成予定) Ni 多孔体についてメッキ処理の大型化を検討した。

(課題と解決方針) メッキ方式を見直して製造コストの低減を実施する。

#### ④ アルカリ水電解装置の大型化

(目標) 50Nm<sup>3</sup>/h アルカリ水電解試験装置を製作し、20 セルスタック(12.5Nm<sup>3</sup>/h)の電解試験を実施。

(達成度: △) H28 年 2 月達成予定) 電極面積 2500cm<sup>2</sup> のセルを製作し、4 セルスタック(2.5Nm<sup>3</sup>/h)電解試験を実施。

(課題と解決方針) 多層セルスタックにした場合の課題を検討する必要がある。

#### ⑤ 水素製造システム FS の実施

(目標) 風力発電システム等の変動が水素製造システムに及ぼす影響を明確化

(達成度: △) H28 年 2 月達成予定) システムの FS を実施。水素製造システムの出力下限値をラボスケール試験により把握。

(課題と解決方針) 出力下限値対策を立案する必要がある。

#### ⑥ 水素製造システムの実証試験

(目標) 発電機出力を水電解用直流電力へ変換する効率を 5%以上向上させる技術の確立

(達成度: △) H28 年 2 月達成予定) 交直変換器の基本設計にて 5%近く向上できることを確認。

(課題と解決方針) 設計の見直しにより変換効率の向上を実施。実証試験により確認。

### (2) 成果の最終目標の達成可能性

#### ① アルカリ水電解の高効率化

(最終目標) 電解電圧 1.8V において電流密度 0.6A/cm<sup>2</sup> 以上

(達成見通し) ラボスケール試験にて既に目標達成。大型セルにて性能を確認する。

#### ② アルカリ水電解装置の耐久性評価

(最終目標) 耐久性を低下させずに、変動する風力発電システム等との協調運転を可能とする技術の確立。

(達成見通し) ラボスケール試験にて変動試験を実施し、耐久性を確認する予定。その後実証試験にて変動試験を実施して耐久性を確認する。

#### ③ アルカリ水電解装置の低コスト化

(最終目標) 水電解装置コスト 20 万円/Nm<sup>3</sup>、電力変換装置コスト 6 万円/Nm<sup>3</sup> 以下が見通せる技術の確立。

(達成見通し) メッキ方式を見直して製造コストの低減を実施する。

#### ④ アルカリ水電解装置の大型化

(最終目標) 電極面積 1~3m<sup>2</sup> 程度までの大型化

(達成見通し) 既に試作した電極面積 2,500cm<sup>2</sup> のセルにて性能を確認し、さらに大型セルを試作する。

#### ⑤ 水素製造システム FS の実施

(最終目標) 風力発電システム等の変動が水素製造システムに及ぼす影響を明確化

(達成見通し) システムの FS を実施済み。水素製造システムの出力下限値をラボスケール試験により把握済み。出力下限値対策を実証試験により実施する。

## ⑥水素製造システムの実証試験

(最終目標)発電機出力を水電解用直流電力へ変換する効率を5%以上向上させる技術の確立  
(達成見通し)基本設計にて5%近く向上できることを確認済み。設計の見直しにより5%以上の向上を検討し、実証試験により確認する。

## 研究開発項目② 高効率水素製造技術の研究

東芝、エクセルギー共に、ラボスケールで中間目標達成を確認、平成 27 年度末までに両者共試作機を完成させ、中間目標(性能)確認できれば、実用化装置開発目処づけが可能となる。

(株式会社東芝)

### 高効率水素製造技術の研究／高温水蒸気電解システムの研究

#### (1)研究開発成果及び課題と検討方針

##### ①セル・スタック技術開発

(目標)

- ・システム適用セル・スタックの構造開発
- ・高性能セル。スタックの開発(>0.5A/cm<sup>2</sup>@1.3V)
- (達成度:○)
- ・円筒平板型47枚セル・水素回収構造スタックを開発
- ・スタック特性の目標達成

(課題と解決方針)

- ・低コスト化、作り込みによる製造歩留まり向上、スタック構造簡素化
- ・性能向上:評価分析結果フィードバック

##### ②水素製造システム

(目標)

- ・150kW 級システムの設計
- ・運転制御法の確立
- ・複数スタックの連結、運転実証
- (達成度:○)
- ・150kW 級システムで 4.0kWh/Nm<sup>3</sup> 目処。
- ・開発シミュレータを用い運転制御性を確認。
- ・4スタック直列・2段の試験計画
- (課題と解決方針)
- ・システム性能実証、大型化目処付:システム実験機製作運転
- ・150kW 級システム詳細設計:スタック特性、構造材料特性の反映

##### ③電力貯蔵システム開発

(目標)

- ・低コストシステムの概念設計
- ・高温蓄熱の要素技術開発
- (達成度:○)
- ・システム概念構築
- ・システム設計に基づく高温蓄熱装置の課題抽出、要素試験
- (課題と解決方針)

・システム性能実証:システム実験機製作運転

・エネキャリ連携:ケミハイ連携システム要素試験

#### (2)成果の最終目標の達成可能性

##### ①セル・スタック技術開発

(最終目標)

小規模な高温水蒸気電解システムにおいて、各セルの平均電圧 1.2V 以下、平均電解電流密度 0.5A/cm<sup>2</sup>、電流密度一定条件で電解電圧上昇率 1%/年以下を達成する。

(達成見通し)

- ・達成の見通し
- ・I-V 特性の本年度目標をクリア。SOFC 開発の知見反映等により、性能向上、耐久性向上を進める。

## ②水素製造システム

(最終目標)

- ・小規模な高温水蒸気電解システムにおいて、上記の目標セル・スタック特性を達成する。
- ・大量生産時の水素製造装置コスト(電力変換システムは含まず)として 20 万円/Nm<sup>3</sup>/h が見通せる技術を確立する。

(達成見通し)

- ・達成の見通し
- ・平成 27 年度マルチスタック試験におけるスタック特性を評価。150kW 級システム設計で構成機器を具体化。セル・スタックの構造簡素化、量産により低コスト化を図る。

## ③電力貯蔵システム開発

(最終目標)

- ・平成 29 年度末までに、水素電力貯蔵システムの実験機製作・運転に目処を得る。技術開発進捗に応じ、必要な実験機製作・運転、等を進める)

(達成見通し)

- ・達成の見通し
- ・水素製造システムのマルチスタック試験をベースに、10kW 級水素電力貯蔵システムの検証を平成 29 年度末までに実施。

電力貯蔵システムについては、本プロジェクトの成果に基づき、数 100kW 級システムの製作、運転評価を実施する。また、改良システム設計、システム大型化を2020年度までに行う計画としている。この電力貯蔵システムは、再生可能エネルギー発電設備併設の変動平準化システム、スマコミ内のミニ揚水発電所の役割、水素エネルギーキャリアを用いた海外電力移送の入出力装置などに適用される。

(エクセルギー・パワー・システムズ株式会社、東京大学)

## 高効率水素製造技術の研究／次世代水素製造システムの研究

### (1) 研究開発成果及び課題と解決方針

#### ①負極材料の探索

(目標)

- ・操作圧力、温度の影響を考慮し、最適材料を選択

(達成度:◎)

- ・最適材料: AB<sub>5</sub>合金と超格子合金。

(課題と解決方針)

- ・課題: 合金微粉化、活性化の促進
- ・解決方法: 化学的／電気化学的な手法を組み合わせた活性化の検討

#### ②正極材料の探索

(目標)

- ・高性能、低コストの材料を選択。

(達成度:◎)

- ・正極: 水酸化マンガン
- ・中間極: 二酸化マンガン

(課題と解決方針)

- ・課題: 酸化による電極の劣化を防ぐ
- ・解決方法: 耐酸化導電助剤を導入

#### ③負極構造の最適化

(目標)

- ・ぬれ性の制御
- ・粒径の影響

(達成度:○)

- ・合金：撥水剤重量比＝10:1
- ・最適粒径：3 $\mu$ m
- (課題と解決方針)
- ・課題：電極表面から速やかな水素ガス除去
- ・解決方法：混練造粒した三次元電極の開発

#### ④正極の最適化

(目標)

- ・バインダー：導電助剤量の最適化

- ・出力特性の向上

(達成度：○)

(課題と解決方針)

- ・課題：導電性とぬれ性の向上
- ・解決方法：混練造粒した三次元電極及びファイバー電極の開発

#### ⑤最適スタック構造の設計

(目標)

- ・接触抵抗が小さく、大電流が流れる構造。

- ・容易なスケールアップ及び除熱。

(達成度：○)

- ・三次元電極、ラミネート、バイポーラ構造を融合したスタック構造を完成。

(課題と解決方針)

- ・セルの耐圧構造、ガス収集法について検討。

#### ⑥全体システムの設計

(目標)

- ・高効率水素製造システムの構築。

- ・直流電力－水素－直流電力変換効率を70%以上達成。

(達成度：◎)

- ・直流電力－水素－直流電力変換効率を80%達成(ラボスケール)。

- ・中間電極を用いた新型水電解システムを構築。

- ・1.48Vの水電解(25 $^{\circ}$ C)。

(課題と解決方針)

- ・中間電極を用いた場合、ガス分離構造を考案。

- ・中間電極を用いた新型水電解システムのエネルギー変換メカニズムを分析。

#### ⑦ベンチ試験装置の試作と実験

(目標)

- ・1kW級電解スタックの試作・実験

(達成度：△)

- ・設計完了、単セル実験中

- ・電流密度1Cにて体積当たりの水素生成能力25Nm<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>を達成可能

(課題と解決方針)

- ・単セル実験からスケールアップ時の問題点を検出し、1kW級電解セルに反映。

- ・2C以上の電流密度にて電解電圧1.6V以下にする技術開発。中間電極の採用により、電解電圧を大幅に低減。これにより体積当たりの水素生成能力50Nm<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>を達成予定

## (2)成果の最終目標の達成可能性

### ①高効率水電解技術の開発

(最終目標)

- 1) 電解電圧1.6V以下

- 2) 電解スタック単位体積あたり水素生成能力50Nm<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>になる技術を開発

(達成見通し)

- ・1C、25 $^{\circ}$ Cで電解電圧1.6V以下を達成(ラボスケール)

- ・1kW級電解装置作製中。1Cで約25Nm<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>水素発生可能(2C運転で達成可能)

### ②20kW級のリバーシブル型電解スタックの構築

(最終目標)

・20kW 級のリバーシブル型電解スタックを試作し、直流電力→水素→直流電力変換効率が 70%以上を見通せる技術を確立。

(達成見通し)

・直流電力→水素→直流電力変換効率が 80%達成(ラボスケール)。

・スケールアップを容易にするためには電極のスタック構造及び集電構造の設計を確立する必要がある。そのために、粒子状の三次元電極を導入することにより、電極のスタック及び集電が容易にできる設計が可能であり、20kW 級電解セル開発が可能。

## **研究開発項目③ 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発**

5t/d 級水素液化システムおよび 3,000m<sup>3</sup> 級液体水素タンクシステムの開発を実施し、再生可能エネルギー由来水素液化システム実現に必要な重要基盤技術の見通しを得た。

(川崎重工業株式会社)

### **周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発**

#### **(1) 研究開発成果及び課題と検討方針**

##### **①水素液化システムの開発**

(目標)水素製造量の変動に対応可能な大型高効率水素液化システムの開発

(達成度:○)5t/d 級液化システム実証<sup>(1)</sup>。負荷変動対応の課題明確化。

(1)経済産業省先端技術実証・評価設備整備費等補助事業

(課題と解決方針)負荷変動対応制御技術確立のための新制御手法を解析等により確認

##### **②液体水素タンクシステムの開発**

(目標)断熱性の優れた液体水素タンクシステムの開発

(達成度:○)3000m<sup>3</sup> タンク構造技術確立

(課題と解決方針)3000m<sup>3</sup> 級真空は行き技術確立。50000m<sup>3</sup> 級タンク実現のため真空パネル断熱等の開発実施。

##### **③-1. 液体水素ポンプの開発**

(目標)液体水素やボイルオフガスの搬送に必要な極低温機器の開発

(達成度:◎)30m<sup>3</sup>/h 級ポンプによる移送試験完了。

(課題と解決方針)実用化・事業化検討

##### **③-2. ボイルオフ水素圧縮機の開発**

(目標)液体水素やボイルオフガスの搬送に必要な極低温機器の開発

(達成度:◎)極低温二相水素解析・設計技術確立。

(課題と解決方針)実用化・事業化検討

#### **(2) 成果の最終目標の達成可能性**

##### **①水素液化システムの開発**

(最終目標1)液化容量 5~10t/day 程度の水素液化システムに対し、25%以上の液化効率が見通せる技術を開発。

(達成見通し)容量 5%/day 級、液化効率 20%程度の水素液化システム実証開始、液化効率 25%以上のプロセス案提案済み。平成 28~29 年度は主要機器の現実化検討等により確実に目標達成が可能。

(最終目標2)水素製造量の時間変動に対応するための解決策を明確化

(達成見通し)現行の産業用液化システムの倍程度の負荷変動(50%/h)における課題を動特性解析で明確化済。平成 28~29 年度は上記負荷変動に対応可能な新制御手法解析等により確実に目標達成が可能。

##### **②-1. 液体水素タンクシステムの開発**

(最終目標)液体水素ポンプ技術、ボイルオフ水素用圧縮機技術等と組み合わせ、タンク容量 3000m<sup>3</sup> 程度、ボイルオフ水素発生率 0.1%/day を可能とする技術を開発。

(達成見通し)3000m<sup>3</sup> 級タンク加工技術、断熱支持構造、積層フィルム断熱技術は確立済。平成 28~29 年度で真空排気技術を確立することで確実に目標達成が可能。

##### **②-2. 液体水素用新鋼材の開発(新日鐵住金再委託)**

(最終目標)現行オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304,304L,316,316L 等)に対し、ニッケルなどのレ

アメル含有量の少ない新鋼材の開発を実施。

(達成見通し)レアメル含有量の少ない新鋼材の液体水素中の特性取得。機械的特性が従来鋼と同様であることを確認。平成 28～29 年度で溶接部特性と溶接方法確立により確実に目標達成が可能。

### ③-1. 液体水素ポンプの開発

(最終目標)容量 200m<sup>3</sup>/h、ポンプ効率 50%以上の液体水素ポンプ(揚程 260m 程度)を可能とする技術を開発。

(達成見通し)容量 30m<sup>3</sup>/h の試作ポンプ試験により上記性能確認済み、容量 200m<sup>3</sup>/h のポンプ実現は実証課題のみ。

### ③-2. ボイルオフ水素圧縮機の開発

(最終目標)容量 3000m<sup>3</sup>/h、効率 60%以上のボイルオフ水素用圧縮機(入口圧力 110kPaA、入口温度 30K、出口圧力 200kPaA を想定)を可能とする技術を開発。

(達成見通し)極低温の水素物性を考慮した解析技術を確立、上記性能を解析的に確認。ボイルオフ水素圧縮機実現は実証課題のみ。

## 研究開発項目④ エネルギーキャリアシステム調査・研究

3種のエネルギーキャリアの経済性評価と特性解析ツール(フレームワーク)の開発を完了、また各エネルギーキャリアの対比システム想定と各種エネルギーキャリアの特性を踏まえ、それぞれの強みを活かせる市場の想定まで検討が進んだ。

(エネルギー総合工学研究所)

### エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析

#### (1) 研究開発成果及び課題と解決方針

##### ① 汎用フレームワークの構築

(目標) H26 年度までに開発した汎用フレームワークの改善・改良

(達成度:△) 用途に応じた見直し・精査\*を実施

(課題と解決方針) \*「水素分離膜を用いた脱水素」の用途にて、水素ステーションの他に小型分散型発電を追加

##### ② 新規エネルギーキャリアプロセスの経済性評価・特性解析

(目標) 実施システム(3つの各キャリアプロセス)を対象に、各対比システムを想定・解析し、凌駕するための性能値・コストを評価・解析

(達成度:△) 3キャリアプロセスの各対比システムを想定・解析し、凌駕するための性能値・コストの評価・解析を実施

(課題と解決方針) 「水素分離膜を用いた脱水素」において小型分散型発電モデル未解析  
→対比モデルの解析を実施

##### ③ 有効性評価、および実用化に向けた研究開発課題と目標の把握

(目標) 3つのキャリアプロセスに対し、

・H28 年度から実施予定のベンチスケール装置の構成・構造の妥当性を判断

・対比システムの解析等からターゲットを提示

(達成度:○)

高効率メタン化触媒を用いた水素/メタン変換:○

熔融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成:△

水素分離膜を用いた脱水素:○

(課題と解決方針) 「アンモニア電解合成」におけるベンチスケール装置の成立性について調査、協同会議等を通じ、見込みの高い方式を選定

#### (2) 成果の最終目標の達成可能性

##### ① 新規エネルギーキャリアプロセスの経済性評価・特性解析

(最終目標) 導入実機システムを想定した各対比システムを解析・評価し、凌駕するための性能・コストを提示

(達成見通し) 改良したフレームワークは確認済みであり、開発される評価・特性モデルを一部改良・追加することで達成可能

- ② 有効性評価、および実用化に向けた研究開発課題と目標の把握  
(最終目標) 実用化に向けた本格開発での研究開発課題と目標を把握  
(達成見通し) 改良したフレームワークは確認済みであり、開発される評価・特性モデルを一部改良・追加することで達成可能

(日立造船株式会社)

## エネルギーキャリアシステム調査・研究／高効率メタン化触媒を用いた水素・メタン変換

### (1) 研究開発成果及び課題と解決方針

#### ① 熱回収効率の最適化手法の検討

(目標)

- ・熱回収効率 $\geq$ 35%

(達成度:○)

- ・シミュレーション計算にて熱回収効率が35%以上となることを確認した。

(課題と解決方針)

- ・実証試験装置にて確認することが必要。

#### ② 熱回収に適した触媒組成・形状の検討および、耐久評価

(目標)

- ・8,000時間後にて転換率の低下率5%以内

(達成度:△H28年2月達成予定)

- ・2,000時間後にて低下率がほとんどなし。

(課題と解決方針)

- ・8,000時間後にて低下率5%以内の確認。

#### ③ 総合効率最適化プロセス検討

(目標)

- ・総合効率 $\geq$ 75.7%

(達成度:○)

- ・シミュレーション計算にて総合効率が77%となることを確認した。

(課題と解決方針)

- ・回収された熱の利用方法を検討することが必要。

#### ④ 離島モデルのプロセス設計

(目標)

- ・プロセス設計完了。

- ・メタンの経済性を評価する。

(達成度:○)

- ・メタン化装置を中心としたプロセスの設計を完了し、メタンの経済性を評価した。

(課題と解決方針)

- ・実証試験装置へ成果を反映させることが必要。

#### ⑤ 水素転換率の最適化検討

(目標)

- ・水素濃度 $\leq$ 5%@リアクタ出口

(達成度:○)

- ・ベンチスケール反応装置を用いて水素濃度が5%以内であることを確認した。

(課題と解決方針)

- ・実証試験装置にて確認することが必要。

#### ⑥ 実証試験によるプロセス最適化

(目標)

- ・実証用リアクタ・製造設備設計製作完了。

- ・水素濃度 $\leq$ 5%、熱回収効率 $\geq$ 35%@実証用リアクタ。

(達成度:△H28年2月達成予定)

- ・実証用リアクタ・製造設備の設計・製作をH27年度に実施予定。

(課題と解決方針)

- ・設計・製作された設備により H28 年度以降に実証試験を実施。

## (2) 成果の最終目標の達成可能性

### ①-1. 熱回収効率の最適化手法の検討

(最終目標)

- ・熱回収効率 $\geq 35\%$
- ・8,000 時間後にて転換率の低下率 5%以内
- (達成見通し)
- ・シミュレーション計算にて確認した熱回収効率 35%以上を実証試験にて確認する。
- ・8,000 時間後にて転換率の低下率 5%以内の達成の見込み。

### ①-2. 総合効率最適化プロセスの検討

(最終目標)

- ・総合効率 $\geq 75.7\%$
- (達成見通し)
- ・シミュレーション計算にて確認した総合効率約 77%を実証試験にて確認する。

### ②-1. 離島モデルのプロセス設計

(最終目標)

- ・プロセス設計完了
- ・メタンの経済性の評価
- (達成見通し)
- ・メタン化反応器を中心としたプロセスの設計を完了。
- ・メタンの経済性を評価。
- ・実証試験装置へ成果を反映する。

### ②-2. 水素転換率の最適化検討

(最終目標)

- ・水素濃度 $\leq 5\%$ @リアクタ出口。
- (達成見通し)
- ・ベンチスケール反応装置を用いて確認した水素濃度 5%以内を実証試験にて確認する。

### ③-1. 離島モデル実証試験

(最終目標)

- ・実証用リアクタ・製造設備設計製作完了。
- ・水素濃度 $\leq 5\%$ 、熱回収効率 $\geq 35\%$ @実証用リアクタ。
- (達成見通し)
- ・シミュレーション計算およびベンチスケール反応装置にて確認しているため、設計通りに実証用リアクタを製造することに目標を達成できるものと考えている。

### ③-2. プロセス設計

(最終目標)

- ・実用に即したプロセスの設計完了
- (達成見通し)
- ・実証試験より得られた実証データを反映することにより、実用に即したプロセスが計算できる見込みである。

(アイ‘エムセツ株式会社、一般財団法人 電力中央研究所)

## エネルギーキャリアシステム調査・研究／熔融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成

### (1) 研究開発成果及び課題と解決方針

#### ①高性能窒素還元陰極

(目標)電流密度:100 mA/cm<sup>3</sup>

(達成度:△計画通り)従来は数 mA/cm<sup>3</sup>であったが一桁向上し、20~30mA/cm<sup>3</sup>を達成した。

(課題と検討方針)これまでに実施した、電極形状や、孔径分布の傾斜化、N<sub>2</sub> 微細気泡供給といった改良の、組み合わせの相乗効果により分極特性を向上させる。

#### ②アンモニア生成反応制御

(目標値)収率:80 %

(達成度:◎)試験装置を想定した H<sub>2</sub>O 供給速度で、H27 年度目標を超え収率 90%を達成した。

(課題と検討方針)反応場構造や水蒸気供給条件の最適化により、さらなる高収率化を目指す。

#### ③高性能酸素発生陽極

(目標値)消耗速度:20 μm/y

(達成度:△計画通り)ニッケルフェライトの溶射コーティング使用により、酸素発生の電流効率 100%を達成した。また、同組成のニッケルフェライトバルク電極において、消耗速度の目標値を既に達成(15 μm/y)している。

(課題と検討方針)原料粉の粒径制御、かさ密度の傾斜化により、膜の緻密化と密着性の向上を図り、ニッケルフェライト膜電極の長期安定性を確認し目標を達成する。

#### ④高性能水素透過金属膜

(目標値)収率:50 %、0.1 A/cm<sup>2</sup> に相当する水素透過能力

(達成度:△計画通り)金属膜固定方法を確立した。また、種々の組成の金属膜の特性評価も開始し、候補組成の金属膜(想定膜厚 100 μm)において、H27 年度目標を超え 0.5 A/cm<sup>2</sup> に相当する水素透過能力を有する可能性をパルス NMR 等の結果から確認した。

(課題と検討方針)熔融塩中での電気化学的な水素透過挙動の評価を実施し、水素透過金属膜組成の最適化を図る。さらに、アンモニア電解合成試験を開始し、電解槽構造の最適化を行う。

#### ⑤評価装置の試作と評価

(目標)電解方式の決定

(達成度:△計画通り)一室型について実機イメージの概略を確定した。

(課題と検討方針)開発項目④のペースアップにより、二室結合型実機イメージを確定する。

### (2) 成果の最終目標の達成可能性

#### ①高性能窒素還元陰極(一室型、二室結合型共通)

(最終目標)電流密度:500mA/cm<sup>3</sup>

(達成見通し)3000~5000m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> の電極材料を活用することで達成可能。

#### ②アンモニア生成反応制御(一室型)

(最終目標)収率:90%

(達成見通し)既に最終目標を達成した。更なる高収率化を目指す。

#### ③高性能酸素発生陽極(一室型)

(最終目標)電極内部抵抗:0.05m Ωm<sup>2</sup>

(達成見通し)長期使用において亀裂・剥離が発生しないニッケルフェライトの成膜条件を見出す。(目標値は膜厚 1mm 以下で確実に達成可能)

#### ④高性能水素透過金属膜(二室結合型)

(最終目標)収率:60%、水素透過能力 0.5A/cm<sup>2</sup> 相当

(達成見通し)反応場構造の最適化を進め、生成 NH<sub>3</sub> と未利用 N<sup>3-</sup> との反応を抑制することで達成可能。

#### ⑤評価装置の試作と評価

(最終目標)経済性評価に必要なデータの抽出

(達成見通し)H29 年度の試作装置の稼働により確実に達成可能。

(公益財団法人 地球環境産業技術研究機構、千代田化工建設株式会社)

## エネルギーキャリアシステム調査・研究／水素分離膜を用いた脱水素

### (1) 研究開発成果及び課題と解決方針

#### ① セラミック系水素分離膜の長尺化技術課題の明確化

(目標)

- ・長尺膜(70→200mm)の達成
- ・実機用長尺化(→500mm)に向けた成膜条件の検討完了

(達成度:△)

- ・長尺化(→200mm)に成功。高い分離能( $\alpha$  16000)実現
- ・さらなる長尺化に向けた知見蓄積

(課題と解決方針)

- ・実機を念頭に置いたさらなる長尺化(→500mm)に向けた製膜条件検討  
→蓄積知見の活用

#### ② 単管メンブレンリアクターによる反応検討

(目標)

- ・反応温度低減効果の確認(温度依存性、圧力依存性等の基礎データの取得)

(達成度:○)

- ・実機を念頭に置いた単管メンブレンリアクター構成の可能性を確認
- ・反応温度低減効果を確認(シミュレーション結果と良好に一致)

(課題と解決方針)

- ・特になし

#### ③ 小型 MR 試験装置の設計・試作、技術課題の明確化

(目標)

- ・要素部材の耐久性等の技術課題の検討
- ・小型メンブレンリアクター試験装置の設計・製作
- ・小型メンブレンリアクター試験装置の運転研究による熱収支・総括伝熱係数の算出

(達成度:△)

- ・要素部材の耐久性等技術課題に関して、実験・調査を通じて知見を蓄積
- ・実機イメージを構築し、実現性確認
- ・小型メンブレンリアクター試験装置設計・発注完了

(課題と解決方針)

- ・小型メンブレンリアクター試験装置によるエンジニアリングデータの収集  
→適切な運転研究の推進とシミュレーション結果との比較

#### ④ 水素分離膜型脱水素プロセスの経済性検討

(目標)

- ・分散型プラントの概略コスト推算
- ・分散型発電用途の FS

(達成度:△)

- ・100kW SOFC 連携システムの概略コストを推算

(課題と解決方針)

- ・分散型発電用途の FS を継続

#### ⑤ 小規模脱水素プロセスのシステム検討

(目標)

- ・分離膜型脱水素システムの構築
- ・小型発電設備とのシステム化検討
- ・コスト低減に向けたプロセス改良／技術課題の抽出

(達成度:○)

- ・分離膜型脱水素システムを構築
- ・反応器シミュレーター改良
- ・SOFC 連携により熱自立と分離膜の優位性を確認

## (2) 成果の最終目標の達成可能性

### ① 分離膜大面積化

(最終目標)

実機レベルの分離膜の開発(500mmL×10~20mmφ)

(達成見通し)

これまでに蓄積した知見を活用するとともに支持体の検討により、達成可能

### ②-1. モジュール化検討

(最終目標)

モジュール作製法(含シール法)構築

(達成見通し)

モジュール作製に知見を有するメーカーの協力を得て達成可能

### ②-2. 水素分離性能向上(追加検討の実施が認められた場合)

(最終目標)

一定以上のMCH供給量低減を可能とする分離性能

(達成見通し)

すでにシリカ膜の細孔径制御技術を保有しており、水素分離性能向上検討(追加)を早期に実施すれば、達成可能

### ②-3. 小型試験機データ収集(含プロセス改善)

(最終目標)

小型試験機(実機の78分の1)を用いたエンジニアリングデータ収集完了

(達成見通し)

今年作製する小型メンブレンリアクター試験装置を改良することにより、達成可能

### ③ 耐久性試験(シリカ膜耐久性)

(最終目標)

2000時間耐久データに基づき5万時間運転後に不純物量が許容値以下の見通し

(達成見通し)

RITEのこれまでの知見を活用すれば達成可能

### ④ 脱水素プロセス詳細設計

(最終目標)

実機詳細設計完了と経済性検証

(達成見通し)

本事業の成果に千代田化工建設のプラントエンジニアリング会社の知見を加えることで達成可能

## 研究開発項目⑤ トータルシステム導入シナリオ調査研究

水素・エネルギーキャリア技術の導入・普及拡大の実現に必要な技術課題を見出す為のシナリオ作成の枠組み構築及び評価法の開発を完了。H27年度末迄に電源構成比率などの前提条件の見直しで再評価を実施できれば、本テーマの目標を達成可能。

(産業技術総合研究所、横浜国立大学)

### トータルシステム導入シナリオ調査研究

#### (1) 研究開発成果及び課題と解決方針

(産総研)

産総研では、下記の研究開発項目を実施することで、シナリオ検討の枠組みを完成させ、想定される前提条件を適用することによって一通りのシナリオを完成させた。

#### ① 個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討: △達成見込み

水素製造や水素・エネルギーキャリアに関連する技術や情報の調査、事業者への個別ヒアリング等に関連して、「(a)個別シナリオ・戦略検討」、「(b)水素製造における高効率熱利用の検討」、「(c)再生可能エネルギーを活用可能なアンモニア製造方法に関する調査」、「(d)液体水素計量法(ISO規格)の検討」、「(e)水素製造技術分析」を実施し、得られた成果を③シナリオ検討に反映させた。具体的な成果は、後述の主に「1)適切な体制構築と前提条件の設定」、「5)水素製造技術分析」、「7)全体コスト分析と個別技術の研究開発

戦略検討」に示す。今後は、完成させたシナリオ検討の枠組みを活かしながら、更なる検討や精緻化を実施する。

#### ②用途別の許容コスト分析: △達成見込み

水素需要側からの許容コスト分析を進め、水素導入量の定量的評価、各用途における許容コスト等を算出し、得られた成果を③シナリオ検討に反映させた。具体的な成果は、後述の主に「2) 主要ケースの想定」、「3) 水素需要側からの分析(用途別許容コスト分析)」に示す。今後は、想定したケースについて精緻化等を実施する。

#### ③シナリオ検討: △達成見込み

「①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討」、「②用途別の許容コスト分析」、「④CO<sub>2</sub> 排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討」、「⑤シナリオ検討・分析委員会及び各 WG のロジ」の成果およびエネ総工研が実施する水素供給側からのコスト分析(キャリア技術のコスト分析)の成果を統合しながら取りまとめ、一通りのシナリオを完成させた。具体的な成果は、後述の主に「1) 適切な体制構築と前提条件の設定」、「2) 主要ケースの想定」、「7) 全体コスト分析と個別技術の研究開発戦略検討」に示す。今後は、エネルギーミックスや温室効果ガス削減目標の内容のシナリオへの適切な反映、個別技術シナリオ・戦略検討の実施、事業の具体化に向けた評価技術の確立等を行う。

#### ④CO<sub>2</sub> 排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討: △達成見込み

エネルギーシステムモデル(MARKAL モデル等)を用いた長期的エネルギー需給への影響、ライフサイクルインベントリ分析用データベース IDEA を用いた二酸化炭素排出削減に関する分析・評価を実施し、成果を③シナリオ検討に反映させた。具体的な成果は、後述の主に「6) ライフサイクル評価分析」に示す。今後は、完成させたシナリオ検討の枠組みを活かしながら、更なる検討や精緻化を実施する。

#### ⑤シナリオ検討・分析委員会及び各 WG のロジ: △達成見込み

有識者および事業者が参画する委員会および各 WG を合計 11 回開催し、成果を報告するとともに、十分な議論および意見交換を実施し、それらの成果を③シナリオ検討に反映させた。委員会および各 WG の開催状況は、下記の通りである。

##### ・シナリオ検討・分析委員会

第1回 平成 26 年 6 月 10 日(火) 会場:産総研企画本部大会議室

第2回 平成 26 年 10 月 17 日(金) 会場:産総研企画本部大会議室

第3回 平成 27 年 1 月 15 日(木) 会場:産総研企画本部大会議室

第4回 平成 27 年 3 月 17 日(火) 会場:産総研企画本部大会議室

##### ・エネルギーキャリア技術のコスト分析 WG

第1回 平成 26 年 9 月 25 日(木) 会場:一般財団法人エネルギー経済研究所  
(以下、「エネ経研」とする)大会議室

第2回 平成 26 年 12 月 24 日(木) 会場:産総研企画本部大会議室

第3回 平成 27 年 2 月 24 日(火) 会場:産総研企画本部大会議室

##### ・用途別の許容コスト分析 WG

第1回 平成 26 年 9 月 25 日(木) 会場:エネ経研大会議室

第2回 平成 26 年 12 月 11 日(木) 会場:エネ経研大会議室

第3回 平成 26 年 1 月 22 日(木) 会場:エネ経研大会議室

##### ・液体水素の計量法検討 WG

第1回 平成 27 年 1 月 21 日(水) 会場:産総研企画本部第2会議室

今後も、これらの委員会や WG を十分に活かしながら、有識者や事業者との意見交換を実施していく。

このシナリオ検討の枠組に対し、想定される前提条件を適用することによって、一通りのシナリオを完成させた。以下に、シナリオの概要を示す。

### 1)適切な体制構築と前提条件の設定

水素利用等先導研究開発事業の参加者から技術情報等を収集するとともに、本事業内外の有識者の知見を幅広く得られる適切な体制を構築することで、効率的に事業を推進した。事務局を、産総研、エネ総工研およびエネ経研で構成し、連携しながら、各項目を実施した。水素・燃料電池戦略協議会での議論も踏まえながら時間軸や水素・エネルギーキャリアチェーンの想定、前提条件(マクロフレーム)の設定し、二酸化炭素排出制約などを適切に加味しながらシナリオを作成した。

### 2)主要ケースの想定

2030年および2050年における水素エネルギー導入・普及状況を想定しながら、目標水素導入量について、3つのケースを設定し、日本全体のエネルギー費用が最小化(最適化)される場合の水素導入量および水素コストを、感度分析も行いながら評価・算出した。

### 3)水素需要側からの分析(用途別許容コスト分析)

水素需要側からの分析として、想定した3ケースについてエネルギーシステムモデル(最適化型エネルギー技術評価モデル MARKAL)を用いる手法を確立し、民生、輸送、産業、発電、改質の各用途別の水素導入量を定量的な評価を実施した。国内のサプライチェーン全体を対象とし、国全体での費用対効果、すなわち経済的內部収益率(EIRR)を用いて、各用途における許容コスト(EIRRを満たすための水素の上限価格)を算出した。

### 4)水素供給側からの分析(キャリア技術のコスト分析)

水素を受け取り、エネルギーキャリアに変換・輸送し、水素で払い出す範囲についてコスト分析を実施するとともに、キャリアを利用した運輸用水素供給(水素ステーション等)についても評価・分析を行った。

### 5)水素製造技術分析

海外における再生可能エネルギーあるいは化石燃料(+CCS)からの水素製造の地点を想定し、ポテンシャル、電力コスト、水素製造コスト等を算出し、コスト算出法を確立したことで、最適地の選定に対しても活用可能であることを示した。

### 6)ライフサイクル評価分析

各種エネルギーキャリア(液体水素・MCH・アンモニア)のライフサイクル全体での二酸化炭素排出量・エネルギー消費量の評価・分析について、産総研が開発したライフサイクルインベントリ分析用データベースIDEAを適用した手法を確立し、水素サプライチェーン低炭素化の可能性を検討した。

### 7)全体コスト分析と個別技術の研究開発戦略検討

シナリオ検討・分析委員会および各WG等で、事業の参加者や有識者から情報・意見等を収集しながら、一通りのシナリオを完成させた。目標導入量に対する需要側と供給側のコストの差を明らかにし、製造・貯蔵・輸送技術としての課題・開発の方向性を検討した。その結果、水素供給コストを低減させ、より許容コストに近づけるためには、キャリア製造コストの低減、キャリア輸送・貯蔵コストの低減、さらには原料水素の製造コストの低減が必要となることを明確に示した。特に、原料水素の製造コスト低減については、水素利用等先導研究開発事業において実施されている「低コスト水素製造システムの研究開発」、「高効率水素製造技術の研究」および「周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発」の着実な進展が極めて有効かつ重要である。また、今後は、水素製造プロセスとキャリア製造プロセスとを組み合わせた統合的なシステムの設計、運用に関する技術開発も必要となっていくことを示した。

(横浜国立大学)

### ⑥水素製造における風力エネルギー推計の高精度化

#### ① 風力水素開発適地調査

(目標)風況データに基づく国内外の風力エネルギーの潜在エネルギー量の推定を行い、開発適地を選択。

(達成度:○)潜在風力エネルギーの大きく、一般的な計測の可能であろうと考えられる地点の選択を行った。

(課題と解決方針)海外の高風況地域の風力水素プロジェクトの可能性を風況面から検討し、数点の候補を選択。

## ② 水素製造における風力エネルギー推計の高度化と解析調査研究

(目標)超音波式ないしは風杯式の風速計を用いて、継続して風況測定データを収集、解析し風力水素システムの実現性を検討

(達成度:△)国内では青森県下北半島に風力計を設置。海外は候補地点の風況や地理的条件や地勢的な状況を調査。アルゼンチン中央東部に風速計の設置。

(課題と解決方針)海外風速計システムからのデータ収集解析と、事業性を勘案して風況データを精査し、地理的な条件も加えて、風力水素システムの実現性を今後も検討することでより高精度の予測を行うための計測を継続する。

## ③ 水素製造における風力エネルギー推計の高度化に向けての工学的見地からの研究

・(目標)国内設置風速計2機種比較検討と三次元・短時間分解能データの詳細解析と計測結果およびシミュレーション計算の結果から発電量を推定。

(達成度:△)高風速地域計測結果、同地域の風況シミュレーション結果、最適風車の暫定的設計を行い、電力量の推量を行った。今後は長期にわたる観測を行うことで更なる高精度化、長期風力エネルギーポテンシャルと機器設計条件の取得を行い、風力水素の事業性の向上に寄与する。

(課題と解決方針)風況計測とシミュレーションの結果をもとにその不確かさを考察し、広大な地域の中に二三の候補地を選択し風速計の設置を追加しその計測値を参照機器として高風速地域におけるシミュレーションを実施する。

## (2)成果の最終目標の達成可能性

(産総研)

中間評価等も踏まえ、作成したシナリオの精緻化や新たなシナリオの設定、分析を行いながら、最終シナリオを完成させ、水素利用等先導研究開発事業の成果の更なる具体化に貢献し、また、他の関連事業や新たな事業の構築等へも展開することを最終目標とする。最終目標達成に向けて、下記の課題に取り組む。いずれの項目についても完成させたシナリオ検討の枠組みを活用することから、目標の達成は十分に可能である。

### ①エネルギー政策の適切な反映によるシナリオの完成

H27年度中に策定される予定となっているエネルギーミックスや温室効果ガス削減目標の内容を適切に反映させながら、更なる検討および精緻化を実施しシナリオを完成させる。

### ②個別技術シナリオ・戦略検討

個別技術シナリオの精緻化を進めるとともに、水素利用等先導研究開発事業で実施されている他の事業の進捗により得られる成果を反映させることでシナリオを完成させ、戦略検討に活かす。

### ③事業の具体化に向けた評価技術の構築

水素・エネルギーキャリア技術の利点を活かすことができる分野や地域を特定するための評価技術を構築し、水素利用等先導研究開発事業の成果の更なる具体化に貢献する。

(横浜国大)

### ① 風力水素開発適地調査

(最終目標)風況データに基づく国内外の風力エネルギーの潜在エネルギー量の推定を行い、開発適地を選択。

(達成見通し)潜在風力エネルギーの大きく、一般的な計測の可能であろうと考えられる国内外の地点の選択し、計測を開始したことにより達成。

### ② 水素製造における風力エネルギー推計の高度化と解析調査研究

(最終目標)超音波式及び風杯式の風速計を用い、継続して風況計測データを収集。計測結果の分析を行い風況の従来計測手法と三次元式風速計との違いを解析・明確化する。風力水素システムの実現性を検討する

(達成見通し)国内外の候補地点に超音波式及び風杯式の風速計を設置・計測開始した。国内1年余、海外(平均風速11m/s以上)3ヶ月の収集データの解析により、従来計測手法と三次元式計測の違いを解析

した。高さ方向の温度情報も重要であることを確認し計測を開始した。風力水素システム事業性を勘案すると最低でも3通年程度の三次元計測を継続測定することで実現性の検討は達成可能。

③ 水素製造における風力エネルギー推計の高度化に向けての工学的見地からの研究  
(最終目標)国内設置風速計2機種比較検討三次元・短時間分解能データの詳細解析と計測結果およびシミュレーション計算の結果から発電量を推定する。風車メーカーの参画により設計指針を明確にし、強風地域向け風車の設計条件における風車の出力予想曲線を作成し、水素発生量の推量の精度向上する。  
(達成見通し)高精度(高分解能三次元)計測の実施した。風特性データの取得・分析した。高風速地域計測結果と同地域の風況シミュレーション結果に基づき最適風車の一次的設計を行い、海外候補地の設備利用率60%以上と推算できた。CIF日本では30円/Nm<sup>3</sup>程度と試算された。今後、風況計測とシミュレーションの結果をもとにその不確かさを考察し、二三の地域における風況のシミュレーションを実施。長期観測データと高精度計測による推算の高精度化していくことで達成可能。

④ 風況計測の結果のIEC国際標準化への対応  
(最終目標)超音波風速計を用いる風況観測へのIEC標準化作業に向けた基礎データとして本プロジェクトの成果を活用するためにデータの取得と解析を進める。  
(達成見通し)関係者に標準化作業の状況を問い合わせるとともに、1)、2)で得られた設計指針を提案していくことで達成は可能。

⑤ 水素製造に向けた風力エネルギー推計  
(最終目標)①水電解槽に与える因子を定量的に明らかにする。②水素製造に適したWFの検討する。③国内風力水素製造ポテンシャルと問題点の検討する。④海外風力水素製造ポテンシャルの高精度化する  
(達成見通し)②～③で得られた高精度推計を参画する風車メーカー、電解槽メーカー、EPCコンサルタントなどとの検討で達成可能。

## 4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

### (全体における見通し及び取り組み)

#### (1) 低コスト水電解水素製造システムの研究開発

最終目標(H29年度)を達成できれば、実用化の見通しあり。

#### (2) 高効率水素製造技術の研究

実用化検討を進めつつ、基礎技術の確立に集中。

#### (3) 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発

最終目標(H29年度)を達成できれば、実用化の見通しあり。

#### (4) エネルギーキャリアシステム調査・研究

実用化検討をすすめつつ、基礎技術の確立に集中。

#### (5) トータルシステム導入シナリオ調査研究

各研究開発テーマの事業化検討に要するベースデータ提供の役割\_。

### (各個別テーマにおける見通し及び取り組み)

#### 研究開発項目① 低コスト水電解水素製造システムの研究開発

##### (旭化成株式会社)

本事業化の成果として得られた、アルカリ水電解プロセス技術及び再生可能エネルギーとの協調制御技術も用い、下記の事業を目指す。

##### ・離島モデル

今後、ポテンシャルカスタマーと事業化・協業目指す。

##### ・系統安定化事業

風力等の再生可能エネルギー由来電源と組み合わせた試験にて、系統安定化効果を実証し、送電業者や再生可能エネルギー発電業者と具体的な導入地域・規模を検討する。2018年にプロセス基本設計仕様を確立し、実用化・事業化検討のステップに移行する。

##### ・海外の安価な再生可能エネルギー由来電力を用いた水素製造・輸入事業

メンテナンスを含め、海外での長期連続使用への対応手段を確立し、具体的地域の選定をエネルギー事業者を中心とした企業連合を形成して実施する。2018年にプロセス基本設計仕様を確立し、実用化・事業化検討のステップに移行する。

##### (日立造船株式会社)

国内外の離島等向けの小型電力エネルギー貯蔵システムの市場から参入し、順次中型、大型の電力エネルギー貯蔵システムへと段階的に事業拡大を進めていく。最終的には2030年ごろの海外からの大量燃料輸送に対応した大型燃料製造設備市場へ参入する。

#### 研究開発項目② 高効率水素製造技術の研究

##### (株式会社東芝)

再エネ水素の導入加速に積極的に貢献する。直近において地産地消事業、将来は水素サプライチェーン事業を展開する。

水素製造システムについては、本プロジェクトの成果に基づき、150kW級システムの詳細設計、製作、運転評価を実施する。また、改良システム設計、システム大型化を2020年度までに行う計画としている。この水素製造システムは、水素ステーション設置オンサイト水素製造機、工場の排水蒸気を原料とする水素製造機、再生可能エネルギー発電設備併設の変動平準化システム、海外水素サプライチェーンにおける水素製造に適用される。

##### (エクセルギー・パワー・システムズ株式会社、東京大学)

2017年までに 20kW の水素製造装置試作を行い、2022年頃に発電事業者と 500kW 級の規模で事業化を行う予定。

### **研究開発項目③ 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発**

(川崎重工業株式会社)

水素サプライチェーン事業を目指す。液化・貯蔵技術を確立し、2020年度までに世界初の液化水素の海上輸送の実証完了を目指す。さらなる大型化に必要な技術を確立し、2030年までに 200000m<sup>3</sup> 水素液化貯蔵システムの事業化を目指す。

### **研究開発項目④ エネルギーキャリアシステム調査・研究**

(日立造船株式会社)

国内外の離島等向けの小型電力エネルギー貯蔵システムの市場から参入し、順次中型、大型の電力エネルギー貯蔵システムへと段階的に事業拡大を進めていく。最終的には2030年ごろの海外からの大量燃料輸送に対応した大型燃料製造設備市場へ参入する。

(アイ・エムセップ株式会社、電力中央研究所)

本事業のアンモニア電解合成技術は、アルカリ水電解+ハーバー・ボッシュ法に比べて、イニシャルコストとなる設備コストは3割以上低く、ランニングコストも3割以上の低減(電解電圧 1.5Vの場合)が見込まれる。

2015年度までの要素技術開発から電解方式(一室型/二室結合型)の選択を終え、2017年度までに 0.2kW クラスのベンチスケール装置で性能・特性評価を行い、スケールアップのための課題抽出を行う。同時に産・学・官の各方面へのデモンストレーションを実施し、本技術の有効性とその魅力について認知度の向上を図り、技術協力の輪を広げる。

2018年度から2022年度にかけては、電力中央研究所の保有するMCFC等のノウハウも注入しつつ、設計を手掛けるプラントエンジニアリング会社、および化学メーカー等とチームを組み、60~300kW のプロトタイプ設備を開発する。同設備を利用して、風力・太陽光発電所等での電力貯蔵試験を開始し、操業下での性能評価とともに稼働データの蓄積を行う。同時に、発電効率が良いが送電線の敷設が困難な日本領海遠洋での洋上風力への展開についても検討を開始する。

2023年度以降に本技術の本格的な実用化に向け、100MW の中規模プラントを構築して実証実験に入る。2028年度以降にはさらにステップアップし、大規模再生可能エネルギー施設に対応する 1000MW の大規模プラントを稼働させ事業化を目指す。

アイ・エムセップ(株)は、装置および製法に関する技術ライセンスを行う。本技術で製造するアンモニアの主な用途は水素エネルギーキャリアであるが、オンサイトでのアンモニア製造による波及効果として、火力発電所や船舶での排ガス脱硝用途など、再生可能エネルギー以外のエネルギーの有効活用等にも貢献することを目指す。

(地球環境産業技術研究機構、千代田化工建設株式会社)

まずは、産業用・民生用のコジェネ市場をターゲットとする。LPG 地区商業施設等へ MCH を用いた SOFC を展開する。重油/LPG の代替を狙い、シェア 20%を目標とする。将来的には水素ステーションへの適用も考えられる。

計画としては、2018年からパイロット装置製作を開始し、2020年頃に実機を製作する。2025年に SOFC 連携システムの事業化を開始し、2030年頃には輸送用システム事業化を開始する。

### **研究開発項目⑤ トータルシステム導入シナリオ調査研究**

(産業技術総合研究所)

最終シナリオには、産総研、エネ総工研、エネ経研が完成させたシナリオ検討の枠組み・手法と合わせて、エネルギーミックスや温室効果ガス削減目標の内容を反映させた最新のマクロ分析・評価結果および水素・エネルギーキャリア技術に関する個別かつ具体的なシナリオおよび戦略検討が含まれる。これらの成果は、水素利用等先導研究開発事業の成果の更なる具体化に貢献できるだけでなく、他の関連事業や新たな事業の構築等への展開も可能である。

**(横浜国立大学)**

2017年までに選択地における高精度観測の継続と、パイロットプラントの試設計を行う。  
2020年までに国のプロジェクトによるパイロットプラントの建設、運転、保守を行う。2030年度末までに国のプロジェクトによる、600MW 級風力水素プロジェクトの試験プラントを建設する。2040年頃から、純日本技術による民間資本での大型開発を行う。

(添付資料)

- 「水素利用等先導研究開発事業」基本計画
- 「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」  
事前評価報告書  
(産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会)
- 事前評価書  
(NEDO)
- 特許論文等リスト

## 「水素利用等先導研究開発事業」基本計画

新エネルギー部

### 1 研究開発の目的・目標・内容

#### (1) 研究開発の目的

##### ①政策的な重要性

東日本大震災を契機とした福島第一原子力発電所における事故に対し、現行のエネルギー基本計画をゼロベースで見直し、新たなエネルギーミックスとその実現のための方策を含む新しい計画について議論しているところである。

我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギーの安定供給を確保し、安定的かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。また、厳しさを増す国際エネルギー情勢や地球温暖化問題などを踏まえ、技術先進国である我が国が、主要国や国際機関等と連携し、いかにして国際的な責任を果たしていくかが重要である。同時に、我が国の成長戦略にも資するという観点から、安定供給確保や技術開発の強化を含めた強靱なエネルギー政策が必要である。

##### ②我が国の状況

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギー・節電対策の抜本的強化、再生可能エネルギー導入・普及の最大限の加速、環境負荷に最大限配慮した化石燃料の有効活用等が求められている。

また、将来の二次エネルギーとして、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、このような水素を本格的に利活用する水素社会を実現していくことが求められている。

##### ③世界の取組状況

再生可能エネルギーの導入については、例えば、風力発電の導入量は、世界では2011年40.5GW／年で増加し、2030年には最大2541GW<sup>※1</sup>程度まで拡大するとの予測もある。この際、再生可能エネルギーは出力変動が大きいので、再生可能エネルギー発電設備の増大とともに、余剰電力量も増大していく見込みである。

このような余剰電力量の有効利用には、蓄電池あるいは水素等への変換によるエネルギー貯蔵技術が不可欠であり、特に変動周期が長く、容量が必要とされる場合は、水素等に変換して利用することが有効である。ドイツにおいては、風力発電の電力を水素に転換して利用する実証事業が行われている。

※1 Global wind energy council, 'Global wind energy outlook 2012', 2012.

##### ④本事業のねらい

本事業では、二次エネルギーとしての水素等を最大限に活用するため、2030年といった長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格の実現を目指す。このため、4年間の期間で再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術、水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術及び大規模水素利用技術の先導的な研究開発に取り組む。

## (2) 研究開発の目標

### ①アウトプット目標

#### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・各研究開発テーマの目標(平成27年度末)の達成
- ・研究戦略を策定し、新規テーマとの入れ替えも含め、各研究開発テーマを再編する。

#### 【最終目標(平成29年度末)】

- ・中間目標の達成状況や中間目標をふまえ、研究戦略に基づく設定目標(平成29年度末)の達成

注:(3)の研究開発項目④および研究開発項目⑤について、研究成果を評価した上で必要性が認められるテーマを本格研究へ移行する。

### ②アウトカム目標

再生可能エネルギー等からの低コスト水素製造技術開発、水素の長距離輸送が容易となるエネルギーキャリアへの高効率転換・輸送技術開発に取り組む。水素については、国内販売価格20~40円/Nm<sup>3</sup>を目標とし、化石燃料等の他のエネルギー源と競合できる価格の実現を目指す。

また、我が国のエネルギーセキュリティの確保、再生可能エネルギーの適地等の経済発展に貢献する。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

再生可能エネルギーからの電力を用いて水素を製造する場合には一般に水電解が用いられるが、生成した水素は大規模水力発電を利用する場合を除き、現状では高価格で化石燃料とは競合できない。水素コストの過半は電力変換システムと電解システムから構成される水素製造システムの設備コストと消費電力のコストが占めるため、本技術開発では、まず、設備コストを25万円/Nm<sup>3</sup>/h(技術戦略マップ2010)程度に低減する低コスト水素製造システムの研究開発を行い、さらに高効率水素製造技術の研究により電解システムの電解効率を向上させ消費電力コストの低減を図る。

次いで製造した大量の水素を効率よく貯蔵及び利用するため、大規模水素利用技術の研究開発において、高効率な水素液化装置やボイloffの少ない水素タンクなどの水素貯蔵に関する周辺機器、水素をエネルギーとする発電技術などの基盤技術を開発する。

エネルギーキャリアシステム研究では、従来プロセスに対し、エネルギー効率、経済性等を飛躍的に向上させる可能性のある新規プロセスについて、基盤技術を開発する。

また、トータルシステム導入シナリオ研究では本事業で開発する技術の速やかな実用化・普及と技術課題の明確化、将来の技術課題・シーズの発掘を目指し、普及シナリオを作成する。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発を実施する。なお、各研究開発項目の具体的な内容は、(別紙)の研究開発計画に示す通りとする。これらの事業は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術開発」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則として委託事業として実施する。

研究開発項目①低コスト水素製造システムの研究開発

研究開発項目②高効率水素製造技術の研究

研究開発項目③大規模水素利用技術の研究開発

研究開発項目④エネルギーキャリアシステム調査・研究  
研究開発項目⑤トータルシステム導入シナリオ調査研究

## 2 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、経済産業省において、平成25年度より未来開拓研究プロジェクト「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」にて実施されているものであり、事業開始から5年間の研究開発実施者を経済産業省が平成25年度に企業、大学等の研究機関(委託先から再委託された研究開発実施者を含む)から公募によって選定し、委託契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて実施体制の妥当性について審議を行い、最適な研究開発体制を構築し、実施する。

本事業のプロジェクトマネージャー(以下PMという)に、NEDO新エネルギー部大平英二を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下でそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

PMは、経済産業省、PL、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、外部有識者や産業界の意見等を踏まえ、研究進捗把握等のマネジメントを行う。

## 3 研究開発の実施期間

経済産業省は、未来開拓研究プロジェクト「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」の事業期間として平成25年度から平成34年度(10年間)を予定し、平成25年度から平成29年度までの5年間の実施体制を公募した。同事業がNEDOへ移管することを受け、NEDOは平成26年度から平成29年度までの4年間の基本計画を策定し、研究開発を実施する。その後平成30年度から34年度の5年間については、平成29年度に実施する事後評価を持って延長の有無を判断し、延長の場合は、再度基本計画を策定するものとする。

## 4 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び技術的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を原則として中間評価を平成27年度、事後評価を平成29年度に前倒して実施する。また、中間評価結果、本プロジェクトにおける目標達成度、他省庁における連携事業の進捗状況、内外の研究開発動向の変化、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化その他の情勢の変化を踏まえ、本プロジェクトの必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等についてゼロベースで見直しを行い、次期の基本計画を改定するものとする。

なお、評価の時期については、当該研究開発に掛かる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

特に研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、事業化の促進の取組みも含め、適切に見直しを行うものとする。

## 5 その他重要事項

## (1) 研究開発成果の取扱い

### ① 成果の普及

開発された成果を我が国の産業競争力強化に繋げるため、事業者だけでなく、潜在的なユーザー等の意見を聴いて、標準化戦略や成果の市場への受容を促すための安全・性能証明の方策を含む事業化戦略を策定する。

また、途中段階で得られた成果は他の施策と連携しつつ、事業化を図る。

### ② 標準化等との連携

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

### ③ 知的財産権の取扱い

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

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、知的財産管理規程等を定めることを求める。

## (2) 基本計画の変更

NEDOは、関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、必要に応じて、基本計画に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。

## (3) 根拠法

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第一号二に基づき実施する。

## (4) その他

### ① 他省庁の施策との連携体制の構築

NEDOは、文部科学省が所管する国立研究開発法人科学技術振興機構の「戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発」における「エネルギーキャリア研究加速プロジェクト」など基礎研究の実施体制と緊密に連携するため、各プロジェクトの統括者、所管省庁等の課室長等から構成される連携体制に参画する。当該連携体制では、プロジェクト間の事業計画の調整、成果の共有や取扱いの調整、設備の共用や研究人材交流の促進等について協議を行うものとする。

### ② 大学における人材の流動化等に係る取組

大学の研究者の企業等への出向を容易にするための取組、守秘義務を課した形でのポストドク等のプロジェクト参加など、本プロジェクトを活用した実践的人材の育成への取組を促すこととする。また、大学側も、これらの取組を促進する方策について検討するものとする。

### ③ 国立研究開発法人産業技術総合研究所の協力

国立研究開発法人産業技術総合研究所において独自に実施しているエネルギーキャリアに関連した安全性評価等の成果について定期的に情報共有や意見交換を行い、プロジェクトの研究開発又は事業化の方向性を検討する等の連携を求めていくものとする。

④工業所有権情報・研修館の協力

本プロジェクトにおける知的財産に関する戦略策定や管理方法の検討に当たっては、必要に応じて、独立行政法人工業所有権情報・研修館に知財プロデューサーの派遣を求める。

6 基本計画の改定履歴

平成26年3月、制定

平成28年2月、中間評価結果を踏まえ、研究開発項目③④⑤の内容及び目標を改定

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目①低コスト水素製造システムの研究開発

#### 1. 研究開発の必要性

我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギー安全保障を確保し、安定的かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。そのため、本研究開発項目を実施する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

アルカリ水電解、固体高分子型水電解等の水電解システムについて、電解電流密度の向上、電解セル大型化等により設備コストを低減するとともに、従来システムと同等の耐久性を維持しつつ、変動する再生可能エネルギーの有効活用が可能な水素製造システムの研究開発を行う。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・風力発電システム等からの交流出力を交直変換して水電解システムに直流電力を供給する従来システムに対し、風力発電システム等の発電機出力を水電解用の直流電力へ変換する効率を5%以上向上させる技術を確立する。
- ・電解電圧1.8Vにおいて電流密度0.6A/cm<sup>2</sup>以上を達成する電解セル技術を確立する。
- ・風力発電システム等の変動が水素製造システムに及ぼす影響を明確化する。

##### 【最終目標(平成29年度末)】

- ・耐久性を低下させずに、変動する風力発電システム等との協調運転を可能とする技術を確立する。
- ・電解電圧1.8Vにおいて電流密度0.6A/cm<sup>2</sup>以上の性能を維持しつつ、単セルの電極面積を1~3m<sup>2</sup>程度まで大型化する技術等により、大量生産時の水電解装置コスト、電力変換装置コストとして20万円/Nm<sup>3</sup>/h、6万円/Nm<sup>3</sup>/h以下が見通せる技術を確立する。

### 研究開発項目②高効率水素製造技術の研究

#### 1. 研究開発の必要性

水素を利用して、出力変動緩和のための蓄エネルギーシステムの可能性評価及び開発、再生可能エネルギーの調整電源化等を行うことで再生可能エネルギーを効率的、安定的に活用可能とすることとなり、エネルギーセキュリティ、エネルギー産業の国際競争力強化の観点から極めて重要である。そのため、本研究開発項目を実施する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

原理的に電解効率に優れた高温水蒸気電解等の技術について、電解セル構成材料、セル構造、セル運転条件等の革新およびセル・スタック製造技術の開発、耐久性向上の研究等により変動する再生可能エネルギーへの追従性を確保するとともに、水素製造効率を飛躍的に向上させる次世代水素製造技術の研究開発を行い、水素製造電力消費の低減、電力貯蔵等への適応可能性を明らかにする。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・高温水蒸気電解システムとして、入力2kW程度の電解スタックにおいて各電解セルの平

均電圧1.3V、水蒸気利用率70%程度の時、平均電解電流密度0.5A/cm<sup>2</sup>以上を達成するセル・スタック製造技術を確立する。

- ・次世代水素製造システムとして、水素製造電圧1.6Vで電流密度0.6A/cm<sup>2</sup>以上または水素製造装置の単位体積あたりの水素生成能力50Nm<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>を達成する技術を確立する。

#### 【最終目標(平成29年度末)】

- ・高温水蒸気電解システムとして、入力2kW程度の電解スタックにおいて各電解セルの平均電圧1.3V以下、平均電解電流密度0.5A/cm<sup>2</sup>程度の初期条件でスタックを2,000時間以上電流密度一定で運転した時の1000時間あたりの電圧上昇率0.5%以下を達成する技術を確立する。
- ・次世代水素製造システムとして、入力10kW程度の水素製造システムを試作し、既存の燃料電池等の発電システムとの組み合わせを想定した場合に、直流電力から水素を経て再び直流電力に変換する効率(直流電力→水素→直流電力変換効率)について70%以上が見通せる技術を確立する。

### 研究開発項目③大規模水素利用技術の研究開発

#### 1. 研究開発の必要性

大量の水素の貯蔵・輸送に当たり、エネルギー密度を向上させるため、水素を液化、貯蔵することが有効である。現状では、液化のエネルギー効率が低い、液体水素のボイルオフ率が高い等の課題が普及の障害となっている。また、再生可能エネルギーを利用して水素を製造する場合は、水素生成量が変動するので、その変動に対応した水素液化システムが必要となる。

更に水素エネルギー市場の形成の為には、需要を大幅に拡大するための大規模水素利用技術が必要となる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

本事業では、水素生成量の変動に対応可能な大型(50~100t/day)高効率液化システム、断熱性に優れた大型(50,000m<sup>3</sup>級)液体水素タンク等からなる水素液化貯蔵システムの基盤技術を開発する。

また環境負荷が低く、かつ大量水素の利用に繋がる基盤技術を開発する(但し燃料電池は除く)。

#### 3. 達成目標

##### ③-1 水素液化貯蔵システム

#### 【中間目標(平成27年度末)】

- ・液化容量1t/day、液化効率<sup>※2</sup>20%程度のシステムを試作・開発して高効率化、大型化への課題と解決策を明確化する。また水素製造量の時間変動がシステムに及ぼす影響を把握し、技術課題を明確化する。
- ・3,000m<sup>3</sup>程度の液体水素タンクシステムに用いる液体水素ポンプ、ボイルオフ水素用圧縮機について、それぞれ、容量200m<sup>3</sup>/h以上、ポンプ効率<sup>※3</sup>50%以上の液体水素ポンプ(揚程260m程度を想定)および容量3000m<sup>3</sup>/h、効率60%以上のボイルオフ水素用圧縮機(入口圧力110kPaA、入り口水素温度30K、出口圧力200kPaAを想定)を可能とする技術を開発する。
- ・3,000m<sup>3</sup>程度の液体水素タンクシステムに使用可能な十分な耐久性を有する断熱材料(熱伝導率0.01W/m・K以下)を開発する。

※2 液化効率(逆カルノー効率)=液化のための最小仕事/実際の投入エネルギー×100

※3 ポンプ効率=ヘッド圧×体積流量/投入動力×100

【最終目標(平成29年度末)】

- ・想定液化容量5～10t/day程度の水素液化システムに対し、25%以上の液化効率が見通せる技術を開発する。また水素製造量の時間変動に対応するための解決策を明確化する。
- ・液体水素ポンプ技術、ボイルオフ水素用圧縮機技術等と組み合わせ、ボイルオフ水素発生率がタンク容量の0.1%/dayの液体水素タンクシステム(容量3,000m<sup>3</sup>程度)を可能とする技術を開発する。

③-2 大規模水素利用技術

【最終目標(平成29年度末)】

環境負荷が低く、かつ大量水素を効率的に利用可能な基盤技術を開発する。本項目は提案公募として実施し、目標はテーマごとに決定する。

研究開発項目④エネルギーキャリアシステム調査・研究

1. 研究開発の必要性

国内外の再生可能エネルギー等を効率的、安定的に活用可能とすることは、エネルギーセキュリティ、エネルギー産業の国際競争力強化の点からも極めて重要であり、本事業の一刻も早い取り組みが求められている。

2. 研究開発の具体的内容

有機ハイドライド、各種の炭化水素、金属など水素を効率的に貯蔵・輸送等できるエネルギーキャリアについて、既存の水素附加プロセス、水素脱離プロセスと比較してエネルギー効率、経済性の飛躍的向上が期待できる新規プロセスの有効性を確認する解析評価研究を行う。具体的には、新規プロセスに必要な材料・要素機器の小規模な試作、性能評価やそのプロセスを含むシステムの特性解析などを行い、システム全体の性能・経済性、開発課題、開発目標を把握する。

3. 達成目標

【中間目標(平成27年度末)】

本項目は提案公募として実施し、目標はテーマごとに決定する。研究期間は4年以内とし、研究成果を評価した上で、必要性が認められるテーマについては、本格研究へ移行する予定。

【最終目標(平成29年度末)】

④-1 高効率メタン化触媒を用いた水素・メタン変換

熱回収効率35%以上、転換効率低下率5%未満(8,000時間後)の熱回収効率の最適化手法を確立して総合効率75.7%以上の最適プロセスを開発、設計を完了する。

④-2 熔融塩を用いた水と窒素からのアンモニア電解合成

窒素還元陰極の高性能化(100mA/cm<sup>3</sup>以上、一室型)、アンモニア生成反応制御の高収率化(収率80%以上)及び酸素発生陽極の高性能化(消耗速度20μm/年以下)を達成する。

④-3 水素分離膜を用いた脱水素

セラミックス系水素分離膜の大面积化(水素透過性 $\geq 1 \times 10^{-6}$  mol/m<sup>2</sup>・s・Pa、分離係数H<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub> $\geq 16,000$ )を達成する。水素分離膜型脱水素プロセスの経済的優位性の確認、商業化を見据えた水素分離膜型脱水素のパイロットプラントの概念設計を完了する。

## 研究開発項目⑤トータルシステム導入シナリオ調査研究

### 1. 研究開発の必要性

本事業の成果(研究開発項目①～④)の速やかな実用化・普及を実現するため、水素・エネルギーキャリア技術が社会に導入されるシナリオを検討し、技術目標の妥当性の確認、更なる具体化を含む本事業の戦略策定の基礎となる情報を収集する必要がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

①再生可能エネルギーのポテンシャル調査(ケーススタディ等による量やコスト等の把握)、②エネルギーキャリア技術のコスト分析、③許容されるコスト(競合する既存システムのコスト等から導かれる)の分析等に基づいてシナリオを策定する。併せて、シナリオが実現した際のエネルギー需給や炭酸ガス排出削減、経済成長への寄与等を検討する。

シナリオは、①本事業で開発する水素製造技術、②液体水素、メチルシクロヘキサン等のエネルギーキャリア技術および①と②を組み合わせたトータルシステムについて最低限策定する。シナリオの設定や分析にあたっては、秘密情報の確実な管理を前提に、本事業の参加者から技術情報等を収集するとともに、本事業内外の有識者の知見を幅広く得られる適切な体制を構築する。

さらに、水素製造から貯蔵、輸送、利用に至るサプライチェーン全体を通じた経済性・環境影響等の分析・評価、エネルギーシステム全体の中での水素エネルギーの位置付けについての評価、要素・システム技術の将来予測に関する評価について、新たな評価軸の検討を含め、その方法を検討する。

シナリオ作成にあたっては、秘密保持の確実な管理を前提に、本事業の参加者との十分な連携による技術情報等の収集やフィードバックを行うとともに、本事業内外の有識者の知見を反映させることが可能な適切な体制を構築する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標、最終目標について】

本項目は提案公募として実施し、研究期間は4年とする。前半2年で一通りのシナリオを完成させる。後半2年は、中間評価等も踏まえ、策定したシナリオの精緻化や新たなシナリオの設定、分析を行う。

再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発  
事前評価報告書

平成24年6月  
産業構造審議会産業技術分科会  
評価小委員会

## はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成20年10月31日、内閣総理大臣決定)等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改正)を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

今回の評価は、再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発の事前評価であり、評価に際しては、当該研究開発事業の新たな創設に当たっての妥当性について、省外の有識者から意見を収集した。

今般、当該研究開発事業に係る検討結果が事前評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会(小委員長:平澤 冷 東京大学名誉教授)に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成24年6月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

# 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

委員長	平澤 冷	東京大学 名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学 バイオサイエンス研究科研究科長・学部学部長 コンピュータバイオサイエンス学科 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環 教授 東京大学生産技術研究所 教授
	太田 健一郎	横浜国立大学 特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター 教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	中小路 久美代	株式会社SRA先端技術研究所 所長
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科 教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部 主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発の事前評価に当たり意見をいただいた外部有識者

牛山 泉 足利工業大学 学長

松橋 隆治 東京大学大学院工学系研究科 教授

山地 憲治 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局研究開発課

再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発の評価に係る省内関係者

【事前評価時】

産業技術環境局 研究開発課長 福島 洋（事業担当課長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発事前評価  
審議経過

- 新規研究開発事業の創設の妥当性に対する意見の収集（平成24年5月）
- 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成24年6月8日）
  - ・事前評価報告書(案)について

# 目次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿  
再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発の評価に当たり意見をいただいた外部有識者  
再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発の評価に係る省内関係者  
再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発事前評価 審議経過

ページ

第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

1. 技術に関する施策の概要 ..... 1
2. 新規研究開発事業の概要及び創設における妥当性について ..... 1
3. 新規研究開発事業を位置付けた技術施策体系図等 ..... 4

第2章 評価コメント ..... 6

第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針 ..... 10

参考資料 再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発の概要(PR資料)

## 第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

### 1. 技術に関する施策の概要

経済産業省では、東日本大震災を契機とした福島第一原子力発電所における事故に対し、現行のエネルギー基本計画をゼロベースで見直し、新たなエネルギーミックスとその実現のための方策を含む新しい計画について議論しているところ。

我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギー安全保障を確保し、安定的かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。また、厳しさを増す国際エネルギー情勢や地球温暖化問題などを踏まえ、技術先進国である我が国が、主要国や国際機関等と連携し、いかにして国際的な責任を果たしていくかが重要である。同時に、我が国の成長戦略にも資するという観点から、安定供給確保や技術開発の強化を含めた強靱なエネルギー政策が必要である。

本事業では、将来にわたって国民が安心できる持続可能性のあるエネルギー社会を実現するとともに、世界に貢献する技術を実現する。

### 2. 新規研究開発事業の概要及び創設における妥当性について

#### ①事業の必要性及びアウトカムについて（研究開発の定量的目標、社会的課題への解決や国際競争力強化への対応等

##### イ) 事業の必要性（どのような社会的課題等があるのか？）

福島第一原子力発電所における事故に対し「国民の安全の確保」を最優先とした上で、望ましいエネルギーミックスが可能となるようなエネルギー供給体制を構築することが求められている。

エネルギーミックスの実現には、社会インフラの変革をも視野に入れ、省エネルギー・節電対策を抜本的に強化すること、再生可能エネルギーの開発・利用を最大限加速化させること、天然ガスシフトを始め、環境負荷に最大限配慮しながら、化石燃料を有効活用すること（化石燃料のクリーン利用）等が重要である。

このうち再生可能エネルギーについては、出力変動のある太陽光発電、風力発電等を極力有効利用するため電力貯蔵用、電気自動車用の二次電池の開発が進められているが、電池のエネルギー容量が必ずしも十分でないため、変動周期が長い風力発電に対する貯蔵能力向上、電気自動車では航続距離の向上が課題となっている。また、海外では再生可能エネルギーあるいは炭酸ガス貯留技術と組み合わせた未利用化石燃料等の大規模開発が急速に進められているが、エネルギー適地がエネルギー消費地から長距離隔てられている場合には効率的な輸送が難しいことが開発の障害となっている。

本事業において提案する“CO2フリーエネルギーネットワーク技術開発”は、このような問題に対し、①再生可能エネルギー等からの高効率低コスト水素製造技術と②高効率水素-エネルギーキャリア転換・輸送技術等の技術開発により国内外の再生可能エネルギー等の大規模利用、再生可能エネルギー適地等の経済発展を支援するとともに、世界規模での炭酸ガス排出削減を図るものであり、我が国のエネルギーセキュリティの確保、並びに世界的な地球温暖化対策への貢献のために、本事業に国として投資を行うことは極めて重要である。

## ロ)アウトカム（目指している社会の姿）の具体的内容とその時期

本提案事業では、再生可能エネルギー等からの低コスト水素製造技術開発、水素の長距離輸送が容易となるエネルギーキャリアへの高効率転換・輸送技術開発に10年間の期間で取り組む。水素については、国内販売価格20～40円/Nm<sup>3</sup>を目標とし、化石燃料等の他のエネルギー源と競合できる価格の実現を目指す。

また海外の再生可能エネルギー分布状況調査を行い、再生可能エネルギーサイト候補地ポテンシャルを把握するとともに、得られたデータ、機器開発状況を踏まえ、段階的・効率的なCO<sub>2</sub>フリーエネルギーネットワークシステム開発のシナリオを作成する。

## ハ)アウトカムが実現した場合の経済や競争力、問題解決に与える効果の程度

2011年の世界の風力発電導入量は40GW/年で、今後さらに増大する見込みである。仮にこの5%程度を水素に変換するとした場合、2GW/年程度の水素発生機が必要であり、その市場は2千億円/年（発生機価格として10万円/kWを想定）となる。また、海外の再生可能エネルギー適地としては、アルゼンチン・パタゴニア地方、オーストラリア、サハラ砂漠等が考えられているが、例えばパタゴニアの風力発電については出力23億kW、エネルギー量9.7兆kWh/年（日本の総発電電力量の約10倍）程度と膨大なエネルギーを供給できる可能性がある。これらの1%を水素等に変換し自動車に利用可能とすると、日本の自家用車エネルギー消費量（2010年）の18%程度をまかなうことが可能となる。

このように本提案事業により、炭酸ガスの排出無しに膨大なエネルギー供給が可能なCO<sub>2</sub>フリーエネルギーネットワークとそれを構築するためのエネルギー機器市場の形成が可能となる。

## ニ)アウトカムに至るまでに達成すべきいくつかの中間段階の目標（技術的成果等）の具体的内容とその時期

再生可能エネルギー等からの低コスト水素製造技術開発では、すでに一部実用化されているアルカリ水電解、固体高分子水電解等に対し、再生可能エネルギーの変動に対する応答性向上ならびに低コスト化等の研究開発を実施する。また、より高効率を期待できる水蒸気電解法等の次世代水素製造技術については、事業終了時までにはコンセプト実証機を試作する。長距離輸送のための高効率エネルギーキャリア転換・輸送技術開発については、エネルギーキャリア候補材料が複数想定されることから、各エネルギーキャリア候補材料について転換技術、輸送技術等の小規模な技術調査研究を4～5年程度実施して技術のポテンシャル、技術課題を確認後、有望な技術について課題克服のための技術開発を実施する。以上により、事業終了時の2022年には、2～7円/kWh程度の再生可能エネルギー等を用いた場合について、既存の化石燃料と競合可能な20～40円/Nm<sup>3</sup>の水素価格の実現にめどをつける。

さらに海外再生可能エネルギー分布状況調査では、海外の再生可能エネルギーサイト候補地に小規模な計測システムを設置し、2018年程度までにポテンシャルを把握するとともに、得られたデータ、機器開発状況を踏まえ、CO<sub>2</sub>フリーエネルギーネットワークシステムを構成する水素製造、キャリア転換・輸送等の要素技術を段階的・効率的に開発・実用化するシナリオを作成する。

## ② アウトカムに至るまでの戦略について

### イ) アウトカムに至るまでの戦略（研究開発のみならず、知財管理の取扱、実証や国際標準化、性能や安全性基準の策定、規制緩和等を含む実用化に向けた取組）

研究開発については当省が売独で実施するのではなく、エネルギーキャリア転換技術の基礎研究、先進的な水素製造方法（熱化学法など）については、文部科学省と連携し実施することを想定している。

またCO2フリーエネルギーネットワークの実現には、国内水素需要と社会インフラの導入・整備等が不可欠であるが、これまで当省では水素利用技術開発や家庭用燃料電池の規制緩和、水素ステーション等技術開発・整備（2015年までに100ヶ所）等が進められており、本提案事業による技術が確立されれば、整備されたステーション等を利用して再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーの社会導入が実現できる。

さらに海外再生可能エネルギー分布状況調査では、ポテンシャル調査とともに再生可能エネルギー開発支援等により、諸外国との協力体制構築も実施する予定である。

### ロ) 成果のユーザーの段階的イメージ・仮説（技術開発成果の直接的受け手や社会的インパクトの実現までのカギとなるプレイヤーは誰か）

水素製造技術、水素から輸送用エネルギーキャリアへの転換・輸送技術等の研究開発に対しては、研究開発のみならずビジネス化についても十分な知見を有している企業を中心に独法研究機関、大学が連携する体制を予定している。

また、海外再生可能エネルギー分布状況調査、トータルシステムシナリオ調査に関してはこれまでこの分野に実績のある大学等の成果をベースに風力発電等の再生可能エネルギー開発企業、海外エネルギー情勢に詳しい商社、エネルギー関連企業等から構成される研究体制を構築することを想定しており、上記技術開発とあわせて最終的にビジネス化で勝てる体制を目指す。

なお、研究の推進に当たっては風力発電等の再生可能エネルギー開発企業、商社、エネルギー関連企業、有識者等からの意見を十分反映出来る体制を予定している。

## ③ 次年度に予算要求する緊急性について

これまで当省ではCO2排出の大幅低減を目指し、家庭用燃料電池の規制緩和、水素ステーション等技術開発・整備（2015年までに100ヶ所）等が推進されている状況であるが水素の製造については当面は化石燃料からの製造を想定している。

現在見直されているエネルギー基本計画では、化石燃料のいっそうの有効利用、省エネルギーの推進、再生可能エネルギーの開発・利用等を進める議論が展開されている。本事業はこのような状況を踏まえて、国内の再生可能エネルギーのみならず、海外の再生可能エネルギーをも将来的には利用可能とする技術開発を実施するとともに、このような技術を有するエネルギー産業の競争力強化をはかるものである。

国の内外の再生可能エネルギー等を効率的、安定的に活用可能とすることはエネルギーセキュリティ、エネルギー産業の国際競争力強化の点からも極めて重要であり、本事業の一刻も早い取組が求められている。

#### ④ 国が実施する必要性について

1) 科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性（我が国が強みを持ち、世界に勝てる技術分野か、また、他の研究分野等への高い波及効果を含む）

我が国は、これまでに水素利用技術開発を行い、世界に先駆けて家庭用燃料電池の市場投入を果たすなど、水素・燃料電池分野の国際競争力を有する。

また、本事業は国内外のCO2フリーエネルギーネットワークの実現を目指した事業であり、新成長戦略におけるグリーンイノベーション関連施策にあたるとともに、我が国のエネルギー政策の重要な部分を担うこととなる。また個別産業に留まる技術開発ではないため、民間企業が取り組むことは、非常にハードルが高く、投資リスクが大きい。国が強いリーダーシップを持って、国家プロジェクトとして実施する必要がある。

さらに、本事業の実現を通じて、国内のみならず海外においても地球環境問題に貢献できると考えられる。

#### 2) 未来開拓研究、民間とのデマケの整理等

本研究開発は未来開拓研究として位置づけられている。また、民間企業においては水素関連の種々の要素技術開発は実施されている。しかしながら、本事業がターゲットとするCO2フリーエネルギーネットワークの実現は、民間企業にはリスクや必要資金が大きすぎるため、民間企業のみでの実施は困難である。

#### ⑤ 省内又は他省庁の事業との重複について

本事業は未来開拓研究のスキームに基づいて、文部科学省と連携して実施する予定である。

省内については、関連事業としてこれまでに、家庭用燃料電池の技術開発を推進し、世界に先駆けて市場へ製品を投入した実績や、燃料電池自動車導入を目指し、水素ステーション等技術開発・整備（2015年までに100ヶ所）を実施しているが、水素製造については化石燃料からの水素を用いる事としており、再生可能エネルギーからの低コスト水素製造技術の開発を目指す本事業とは重複していない。

また、オーストラリアで埋蔵量が豊富な褐炭について、石炭ガス化技術と炭酸ガス貯留技術を用いて水素を生成し、日本に輸入するためのFSをNEDOが実施しているため、本事業ではそれらで得られた知見も取り入れることを予定している。

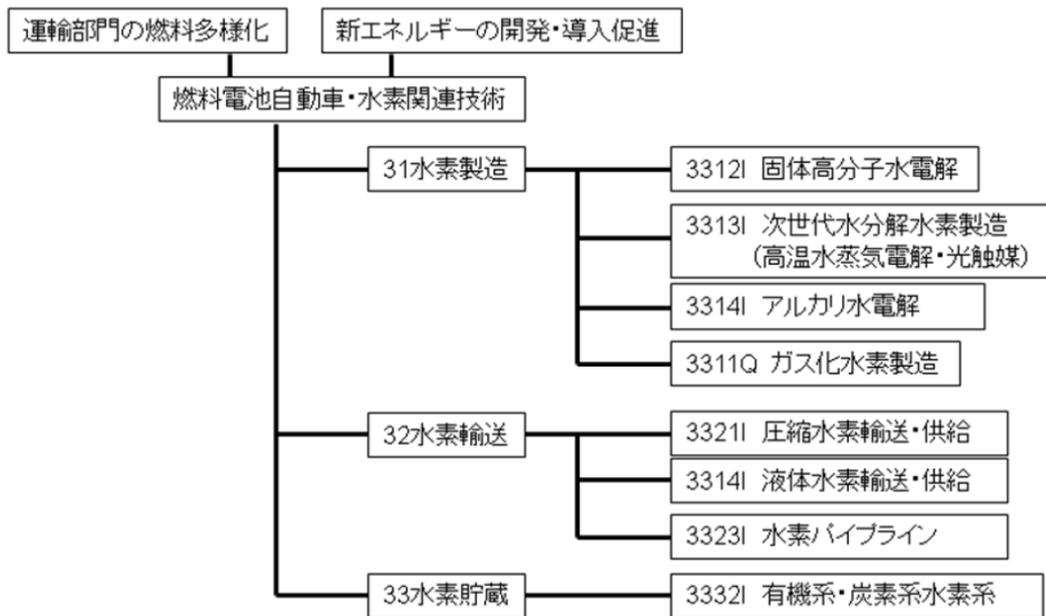
### 3. 新規研究開発事業を位置付けた技術施策体系図等

本事業の内容は以下に示すように「運輸部門の燃料多様化」「新エネルギーの開発・導入促進」に寄与する技術として技術戦略マップに位置づけられている。この分野は上で述べたように、これまで燃料電池自動車等の早期導入普及を目指し、水素ステーション等の水素利用技術を中心に技術開発を推進してきており、近々これらの整備が開始される予定である。

本事業では、このような状況を踏まえ技術戦略マップの長期的な展望に沿って新たに水素製造、転換・輸送技術の開発を実施し、従来からの利用技術開発と連携して再生可能エネルギーの大規模導入・有効利用を目指す。

エネルギー分野の技術ロードマップ

「運輸部門の燃料多様化」に寄与する技術の技術ロードマップ—燃料電池自動車/水素関連技術



## 第2章 評価コメント

### 新規研究開発事業の創設の妥当性に対するコメント

#### ① 政策的位置付けの妥当性について

現在は電力の議論が多いが、本来は電力でまかなえない燃料系についてもエネルギー問題、地球温暖化問題に対する対策が必要である。本技術開発はこれらへの対策として考えることができる。また、本技術は再生可能エネルギーシステムとあわせて整備されるものであるため、本技術を海外展開する場合は「技術（再生可能エネルギーシステム）」と「資源（得られるエネルギー）」をバスター交換する政策をとることができるようになる。燃料電池自動車、水素ステーションの開発にめどがついてきた現在、低炭素化をもう一度考えるべき時期に来ている。

なお、まずは第一ステップとして、化石燃料からの水素供給インフラを確立することが大前提。その上で第二ステップとして、海外の風力等再生可能エネルギーからの水素製造・輸送というシナリオであれば、水素社会の実現に向けて再生可能エネルギーがシームレスに繋がる。この部分のシナリオを打ち出し、国の長期的なエネルギー政策の中できちんと位置づけて国主導で実施すべきである。

#### ○肯定的意見

- ・現在は電力の議論が多いが、本来は電力でまかなえない燃料系についてもエネルギー問題、地球温暖化問題に対する対策が必要である。本技術開発はこれらへの対策として考えることができる。
- ・本技術は再生可能エネルギーシステムとあわせて整備されるものであるため、本技術を海外展開する場合は「技術（再生可能エネルギーシステム）」と「資源（得られるエネルギー）」をバスター交換する政策をとることができるようになる。
- ・本件は国の長期的なエネルギー政策の中できちんと位置づけて国主導で実施すべきもの。（政権が変わってもエネルギーや環境対策は変わらずに50年ぐらい先まで見通した政策を持っているべき。）

#### ○問題点・改善すべき点

- ・まずは第一ステップとして、化石燃料からの水素供給インフラを確立することが大前提。その上で第二ステップとして、海外の風力等再生可能エネルギーからのCO<sub>2</sub>フリー水素製造・輸送というシナリオであれば、水素社会の実現に向けて再生可能エネルギーがシームレスに繋がる。この部分のシナリオを打ち出し、責任を持って推進するという国としての意志が必要。

#### ②事業の目的及び実施によるアウトプット、アウトカム の妥当性について

WE-NETの開始当初の目的はクリーンエネルギーネットワークの実現だったが、燃料電池技術が急速に進展したことから、燃料電池自動車、水素ステーションの開発等が中心となり、水素製造は化石燃料からの複製水素によるインフラ整備に方針転換した。これは技術の実用化の面からは重要であったが、反面、低炭素化の観点で薄れてしまった。燃料電池自動車、水素ステーションの開発にめどがついてきた現在、低炭素化をもう一度考えるべき時期に来ている。

本技術開発で実施する可能性のある技術は一度全て取り入れて、まず全体イメージを作成すべきである。その後に制約条件（例えば毒性の許容度など）を検討して、それによって技術を絞っていくべきである。

具体的には、①低コスト水素製造では化石燃料とCCSの組合せ、②高効率エネルギーキャリア転換・輸送技術には液体水素貯蔵・輸送、③革新的技術であるが水素を経ないエネルギーキャリア等。また、必要に応じて、次の利用技術を検討できるようにしておくべき。

技術が実現しても、事業化できなければ企業はリスクが大きくて参加できない。技術開発によりビジネス戦略が展開できるようなスキームが必要である。また、海外人材も含め開発技術をハンドリングできる人材の育成も考慮すべきである。

## ○肯定的意見

- ・ WE-NETの開始当初の目的はクリーンエネルギーネットワークの実現だったが、要素技術の開発が多く、実用化の見通しが出来ないうちに燃料電池技術が急速に進展したことから、燃料電池自動車、水素ステーションの開発等が中心となり、水素製造は化石燃料からの複製水素によるインフラ整備に方針転換した。これは技術の実用化の面からは重要であったが反面、海外ネットワークへの注目が下がり、低炭素化の観点が薄れてしまった。燃料電池自動車、水素ステーションの開発にめどがついてきた現在、低炭素化をもう一度考えるべき時期に来ている。

## ○問題点・改善すべき点

- ・ 本技術開発で実施する可能性のある技術は一度全て取り入れて全体イメージをまず作成すべき、その後に制約条件（例えば毒性の許容度など）を検討して、それによって技術を絞っていくべき。具体的には、①低コスト水素製造では化石燃料とCCSの組合せ、②高効率エネルギーキャリア転換・輸送技術には液体水素貯蔵・輸送、③また革新的技術であるが水素を経ないエネルギーキャリア、等もある。また、利用技術は既存プロジェクトにより水素ステーションなどを中心に当面開発することは理解できるが、全体イメージの中では、産業基盤技術等で必要に応じて製鉄プロセスにおける水素利用等、次の利用技術を検討できるようにしておくべき。
- ・ 技術が実現しても、事業化できなければ企業はリスクが大きくて参加できない。技術開発によりビジネス戦略が展開できるように配慮すべき。
- ・ プロジェクトとしては要素技術をいくつか開発するのではなく、新幹線システムを作るようにシステム全体を開発しないといけない。開発に参加する企業が得られた成果を利用して実利が得られるスキームが必要。
- ・ また、海外人材も含め開発技術をハンドリングできる人材の育成も考慮すべき。（例えば洋上風力発電では発電システムのメンテナンス要員も必要になる。）

### ③事業の優先性について

水素というエネルギーキャリアには大変期待している。インフラ整備は必ずしも最新技術である必要はなく、遅れを取っている社会システム・法整備の部分についてはまず一番に解決する必要がある。海外の再生可能エネルギーの開発については、高電圧直流送電によるエネルギー輸送等、電力技術との競合も考えられる。それぞれの技術的位置づけやリスクなどを考慮して技術開発を行うべきである。また、相手国にもメリットがあるよう事前に十分調整し、実証の規模・内容を検討する必要がある。

燃料転換については、現時点では技術を絞れないため、1年程度FSを実施し、モデル分析を行った上で技術の決定もしくは用途に応じて棲み分ける必要がある。

## ○肯定的意見

- ・水素というエネルギーキャリアには大変期待している。
- ・海外の再生可能エネルギーの開発について、電力技術との競合も考えられるが、再生可能エネルギー適地のポテンシャルは一般に非常に大きいので、当面はあまり気にする必要はないのではないかと。
- ・燃料転換については、現時点では技術を絞れないため、1年程度FSを実施し、モデル分析を行った上で技術の決定もしくは用途に応じて棲み分ける必要がある。
- ・海外再生可能エネルギー分布状況調査については、相手国にもメリットがあるよう事前に十分調整し、実証の規模・内容を検討する必要がある。

## ○問題点・改善すべき点

- ・インフラ整備は必ずしも最新技術である必要はなく、遅れを取っている社会システム・法整備の部分についてはまず一番に解決する必要がある。
- ・世界の再生可能エネルギーの有効利用に関しては本件のような話のほか、高電圧直流送電によるエネルギー輸送も提案されている。（モンゴルー中国ー韓国ー日本、アフリカーヨーロッパ、アセアン諸国など）地勢、輸送距離などによりどちらの技術が有利かわ変わってくると思うが、それぞれの技術的位置づけやリスクなどを考慮して技術開発を行うべき。

### ④国が実施することの必要性について

本件は全体システムが大規模でかつ、競合する技術コンセプトが並列するので、技術開発のリスク、システムの広がりカバー出来るのは国のみである。国が積極的に関与推進すべきテーマの一つである。また、本件は国の長期的なエネルギー政策の中できちんと位置づけて国主導で実施すべきものである。

なお、「水素インフラコストが〇億円、水素供給量が何十万トンであり、再生可能エネルギーのコストが〇〇で、2020年には天然ガス由来の水素に自然エネルギー由来の水素がどのくらい置き換わるのか」という政策としての絵姿を描ければ、産業界がついてきて推進力アップになる。

## ○肯定的意見

- ・本件は全体システムが大規模でかつ、競合する技術コンセプトが並列するので、技術開発のリスク、システムの広がりカバー出来るのは国のみである。国が積極的に関与推進すべきテーマの一つと考える。
- ・本件は国の長期的なエネルギー政策の中できちんと位置づけて国主導で実施すべきもの。（政権が変わってもエネルギーや環境対策は変わらずに50年ぐらい先まで見通した政策を持っているべき。）
- ・本技術については一つの産業ではなく、異なるステークホルダーが存在するため、行政が行司役となる必要がある。

## ○問題点・改善すべき点

- ・「水素インフラコストが〇億円、水素供給量が何十万トンであり、再生可能エネルギー

ギーのコストが〇〇で、2020年には天然ガス由来の水素に自然エネルギー由来の水素がどのくらい置き換わるのか」という政策としての絵姿を描ければ、産業界がついてきて推進力アップになる。

⑤省内又は他省庁の事業との重複について

重複ではなく省庁間の協力として、技術開発がなった暁には途上国への援助などと組み合わせて、日本国として品格を持って世界のエネルギー問題に貢献できるようにすべきである。また、世界では無電化村に20億人ぐらい住んでおり、現地のコミュニティ発電システムの提供などによる貢献も可能と考えられる。

○肯定的意見

- ・ 重複ではなく省庁間の協力として、技術開発がなった暁には途上国への援助などと組み合わせて、日本国として品格を持って世界のエネルギー問題に貢献できるようにすべき。
- ・ 世界では無電化村に20億人ぐらい住んでおり、現地のコミュニティ発電システムの提供などによる貢献も可能と考える。

○問題点・改善すべき点

特になし

### 第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針

本研究開発事業に対する評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対処方針は、以下のとおり。

#### 【再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発】

##### コメント①

エネルギーの貯蔵と輸送は長年にわたる重要な課題であり、これに取り組むことは評価出来るし、推進して欲しい。

##### コメント② 水電解について

水電解については、技術開発や、装置を安くしてもコストは1/5とはならない。水電解の技術は確立していて非常に電流効率がよく、この効率を5倍にする等はある得ない。新たな技術開発をすれば、水電解を云々というよりも、使うエネルギーコストをどう下げるか、そちらの問題が大きい。

まずは、それぞれの中身を精査していく作業が必要であり、そのあと浮かび上がってくるターゲットに取り組むべきであろう。

##### コメント③ 水素の位置づけについて

エネルギーに関して、輸送、距離、大きさなど色々な要素が入っているので、位置づけを整理する必要がある。

また、海外の再生可能エネルギーの電力供給価格を3円程度としているが、7円でも無理となっている。

##### コメント④

将来、突然予想をしないことが起こることがあり、これをワイルドカードという言い方をするが、そのような事態に備えて頑健な計画にしていける必要がある。こうしたことを意識した未来構想にしていかなければならない。オイルショックの後に、サンシャイン計画等をやるにあたって、様々なエネルギーの利用可能性についてシンクタンク連合で2年かけて調査し、ターゲットを絞った。

エネルギーのターゲットは多岐にわたっていて、経済産業省の各審議会でも所掌が分かれていて断片的であり、こうした貯蔵や輸送についても一度アセスメントをして、経済性をみつつ、日本の置かれている実情の中で、どのような方向を目指すべきかということについて構想し直して欲しい。このような大きな戦略作りや計画作りを、研究開発課で進めて欲しい。

具体的には、全体を見る立場から、民間企業が参入できる絵を描き、真の課題に迫る呼び水となるプログラムを立て、民間の活力を生かす大きな戦略を策定し計画作りを進めてもらいたい。そのようにして、公的資金を有効に活用すべき。また、各フィージビリティを精査する必要がある。それに1年かけてもよいと考える。状況を詰めないまま、個々の技術課題を個別に取り上げるべきではない。

#### 対処方針①

エネルギー環境制約に鑑み、再生可能エネルギーの大規模導入が見込まれているが、変動が大きく、需要の変化、場所、地域の偏在性等が高い再生可能エネルギーを有効に利用するには、蓄電池、水素等のエネルギー貯蔵・輸送等の技術はその特性に応じて適切に組み合わせて活用することが重要である。再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限に活かせるよう、技術課題を明確にしつつ、早期の実用化を目指し、事業に取り組む。

#### 対処方針②

装置価格の低減で水電解コストが1/5にならないことや水電解効率が5倍にならない点は、委員のご指摘の通り。

本事業では、まずは、電解効率を低下させずに電流密度を向上させることで、単位時間当たりの水素生成能力（水素生成速度）を向上させ、水電解コストの低減（現状の1/2）を図る（アルカリ水電解）。また、更に先の技術である高温水蒸気電解等の次世代技術については、電解効率の向上を目標にした研究を予定しており、水素コストの更なる削減を目指す。

これに転換・輸送に関する技術開発（当面は輸送媒体を特定せず、文科省と連携しながらFS的に実施）によるコスト低減を加えて、将来的に石油由来の燃料との競合（＝普及）が視野に入ってくるものと想定している。

#### 対処方針③

長距離輸送のための高効率エネルギーキャリア転換・輸送技術開発については、エネルギーキャリア候補材料が複数想定されることから、各エネルギーキャリア候補材料について転換技術、輸送技術等の小規模な技術調査研究を4～5年程度実施して、技術のポテンシャル、技術課題を確認後、有望な技術について課題克服のための技術開発を実施する。

また、海外の再生可能エネルギーの電力供給価格については、海外の風力発電コストを2～5円/kWh程度と見積もる調査報告書（例えばNEDO、「南米の再生可能エネルギーを利用した水素の生産に関する調査」H18年3月）も存在するところ、本事業においても海外再生可能エネルギー現地調査 研究等で更に調査検討する予定である。

#### 対処方針④

これまでこの分野に実績のある大学等の成果をベースに、風力発電等の再生可能エネルギー開発企業、国内外エネルギー情勢に詳しい商社、エネルギー関連企業等から構成される研究体制を構築し、段階的・効率的な再生可能エネルギー貯蔵・輸送システム開発のシナリオを作成する調査研究を実施する予定である。

なお、本事業での最終的な目標である海外からの再生可能エネルギー由来エネルギーキャリア輸入の実現までは相当長期間を必要とするので、それぞれの要素技術（例えば低コスト水素製造技術など）が開発され次第、トータルシステムの完成を待たずにスピニングアウトも可能となるよう、各要素技術に対しビジネスプランをあわせて作成し、民間の活力を最大限に生かせる計画とする。

# 再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発

産業技術環境局研究開発課  
03-3501-9221

## 事業の内容

### 事業の概要・目的

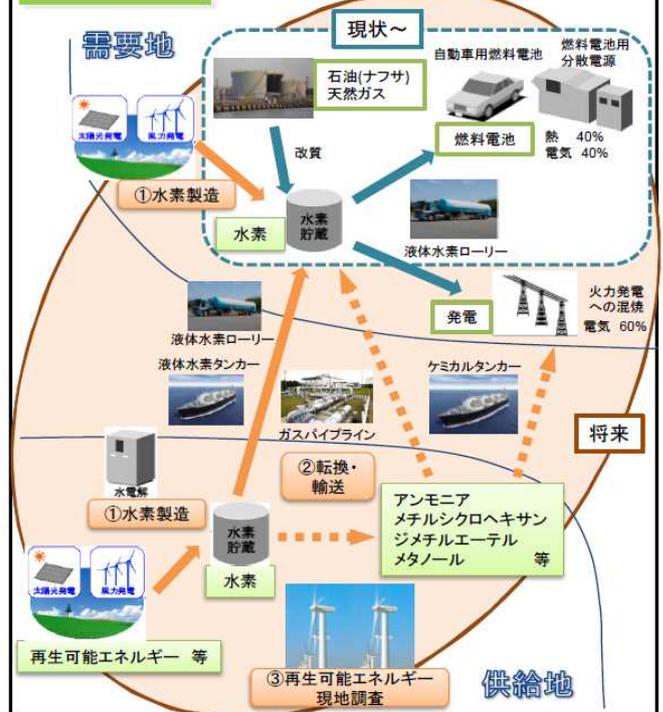
○本事業では、再生可能エネルギー等からの高効率低コスト水素製造技術、高効率な水素-エネルギーキャリア転換・輸送技術等の技術開発を行います。さらに、国内外の再生可能エネルギーサイト候補において、風況等の現地調査を実施し、得られたデータ等を技術開発に反映するとともに段階的・効率的な再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発のシナリオを作成します。

○これにより、国内外の再生可能エネルギー等の大規模利用を可能とし、我が国のみならず世界規模での炭酸ガス排出削減を図るとともに、我が国のエネルギーセキュリティの確保、再生可能エネルギー適地等の経済発展を実現します。

### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



## 事業イメージ



# 事前評価書

作成日 平成 26 年 2 月 21 日

1.プロジェクト名	水素利用等先導研究開発事業
2.推進部署名	新エネルギー部
3.プロジェクト概要(予定)	
<p>(1)概要</p> <p>1)背景</p> <p>東日本大震災を契機とした福島第一原子力発電所における事故に対し、現行のエネルギー基本計画をゼロベースで見直し、新たなエネルギーミックスとその実現のための方策を含む新しい計画について議論しているところである。</p> <p>我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギー安全保障を確保し、安定的かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。また、厳しさを増す国際エネルギー情勢や地球温暖化問題などを踏まえ、技術先進国である我が国が、主要国や国際機関等と連携し、いかにして国際的な責任を果たしていくかが重要である。同時に、我が国の成長戦略にも資するという観点から、安定供給確保や技術開発の強化を含めた強靱なエネルギー政策が必要である。</p> <p>2)目的</p> <p>地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギー・節電対策の抜本的強化、再生可能エネルギー導入・普及の最大限の加速、環境負荷に最大限配慮した化石燃料の有効活用等が求められている。</p> <p>また、将来の二次エネルギーとして、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、このような水素を本格的に利活用する水素社会を実現していくことが求められている。</p> <p>本事業においては、水素を有効活用することで、国内外の再生可能エネルギー等の大規模利用、再生可能エネルギー適地等の経済発展を支援するとともに、世界規模での炭酸ガス排出削減を図ることを目的とする。</p> <p>3)実施内容</p> <p>本事業では、二次エネルギーとしての水素等を最大限に活用するため、2030年といった長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格の実現を目指す。このため、4年間の期間で再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術ならびに水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術の先導的な研究開発に取り組む。</p> <p><b>【研究開発項目】</b></p> <p>研究開発項目① 低コスト水素製造システムの研究開発 研究開発項目② 高効率水素製造技術の研究 研究開発項目③ 周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発 研究開発項目④ エネルギーキャリアシステム調査・研究 研究開発項目⑤ トータルシステム導入シナリオ調査研究</p> <p>(2)規模 :事業費(需給)12億円(平成26年度) (3)期間 :平成26年度～29年度(4年間)</p>	

4.評価内容
(1)プロジェクトの位置付け・必要性について
<p data-bbox="215 320 703 353"><b>1)NEDOプロジェクトとしての妥当性</b></p> <p data-bbox="215 360 1310 725">総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の「エネルギー基本計画に対する意見」(2013年12月)には、水素は、「無尽蔵に存在する水や様々な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができるエネルギー源であり、気体、液体、固体(合金に吸蔵)というあらゆる形態で貯蔵・輸送が可能であるため、利便性が高い。また、エネルギー効率がよく、利用段階で温室効果ガスの排出がないなど、多くの優れた特徴を有している。」ため、「“水素社会”の実現に向けた取組の加速」が必要であると記載されている。このように国家的な施策と照らし合わせても、国内外の再生可能エネルギーの大規模利用の実現等を目標としている本事業は必要なプロジェクトであると言える。</p> <p data-bbox="215 732 1310 974">また、NEDO中期計画では、水素を利用したエネルギーシステムの実現、出力変動緩和のための蓄エネルギーシステムの可能性評価及び開発等、再生可能エネルギーの調整電源化に貢献するため、技術開発、実証研究、基準・標準化の取り組みを長期展望の下、総合的に推進することとされている。このような長期的かつ総合的な取り組みは企業単独では実施困難なため、NEDOの関与が必要不可欠である。</p>
<p data-bbox="215 1099 437 1133"><b>2)目的の妥当性</b></p> <p data-bbox="215 1140 1302 1299">本事業は国内外のCO<sub>2</sub>フリーエネルギーネットワークの実現を目指した事業であり、我が国のエネルギー政策の重要な部分を担うこととなる。さらに、本事業の実現を通じて、国内のみならず海外においても地球環境問題に貢献でき、十分に意義のある成果が得られると考えられる。</p>
(1)プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価
<p data-bbox="183 1435 1321 1590">本事業は国の政策等を踏まえた世界最先端の取り組みであり、本技術が実用化されれば、水素燃料利用産業の創出、我が国のエネルギーセキュリティー向上、国際競争力の強化等に大きく寄与することになり、位置付け・必要性は妥当と考えられる。</p>
(2)プロジェクトの運営マネジメントについて
<p data-bbox="215 1646 507 1680"><b>1)成果目標の妥当性</b></p> <p data-bbox="215 1686 1321 1805">本事業は「運輸部門の燃料多様化」「新エネルギーの開発・導入促進」に寄与する技術として技術戦略マップに位置づけられており、技術戦略マップ2010(経済産業省)の長期的な展望に沿って目標を設定する。</p>
<p data-bbox="215 1856 596 1890"><b>2)実施計画の想定と妥当性</b></p>

本事業は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓プロジェクト「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」において実施されるものであり、事業開始から5年間の研究開発実施者を経済産業省が平成24年度に企業、大学等研究機関から公募によって選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して平成25年度から開始してきたものである。その事業を、平成26年度からは、NEDOが本研究開発の運営・管理を承継し、その時点までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

### 3)評価実施の想定と妥当性

NEDOは、技術的及び技術的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を原則として中間年度(平成27年度)、最終年度(平成29年度)に実施する。また、中間評価結果、本プロジェクトにおける目標達成度、他省庁における連携事業の進捗状況、内外の研究開発動向の変化、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化その他の情勢の変化を踏まえ、本プロジェクトの必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等についてゼロベースで見直しを行い、次期の基本計画を改定するものとする。

なお、評価の時期については、当該研究開発に掛かる技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

特に研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、事業化の促進の取組みも含め、適切に見直しを行うものとする。

### 4)実施体制の想定と妥当性

本事業は、すでに「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発」にて経済産業省が公募を実施し、実施体制が決定している。NEDOとしても本実施体制を引き継いで事業を実施することを予定している。

水素製造技術、水素から輸送用エネルギーキャリアへの転換・輸送技術等の研究開発に対しては、研究開発のみならずビジネス化についても十分な知見を有している企業を中心に独法研究機関、大学が連携する体制をとっている。

また、海外再生可能エネルギー分布状況調査、トータルシステムシナリオ調査に関しては再生可能エネルギー開発企業、海外エネルギー情勢に詳しい商社、エネルギー関連企業等から構成される研究体制を構築している。

### 5)実用化・事業化戦略の想定と妥当性

本事業では先導研究としてそれぞれの要素技術についての実現可能性などの見極めを実施する。技術の進捗状況を踏まえつつ、実用化の目処がたってきた技術については、スケールアップや、他の技術との統合によるシステム研究等への移行を検討する。

### 6)知財戦略の想定と妥当性

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

#### 7)標準化戦略の想定と妥当性

我が国が研究開発の蓄積により技術的な強みを有するコア技術が活用できる領域を国際標準化戦略の中心的な対象とする。

CO<sub>2</sub>フリーエネルギーネットワークの実現には、海外再生可能エネルギーの活用が必要であるため、ポテンシャル調査とともに再生可能エネルギー開発支援等により、諸外国との協力体制構築を実施する予定である。また、海外再生可能エネルギー分布状況調査、トータルシステムシナリオ調査に関しては、再生可能エネルギー開発企業、海外エネルギー情勢に詳しい商社、エネルギー関連企業等から構成される研究体制を構築することで、技術開発・ビジネス化のみならず国際標準化でも優位に進めることができるよう推進する。

#### (2)プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画、予算等は水素製造、転換・輸送・貯蔵およびトータルシステム導入・拡大に向けた取り組みとして妥当と考えられる。

#### (3)成果の実用化・事業化の見通しについて

##### 1)プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

燃料水素(液体、ケミカルハイドライド等)、液体水素タンク・ポンプ、水素製造装置などのように具体的な製品想定があり、成果の実用化・事業化可能性は明確である。

##### 2)成果の波及効果

関連する業種は多岐にわたることから、当該分野の新たな研究開発テーマの創出が期待できる。また、若手研究者の積極的な登用も含め、人材育成面においても波及効果が期待できる。

#### (3)成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

現時点で可能な限り市場等を明確に見通している。

## ●特許論文等リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	旭化成(株)	特願 2014-231858	国内	2014/11/14	出願	電解陰極の活性化方法	内野陽介他
2	(株)日本製鋼所	特願 2015-113335	国内	2015/6/3	出願	再生可能エネルギー出力システム、再生可能エネルギー出力変動抑制方法および再生可能エネルギー出力変動抑制プログラム	藤田泰宏
3	エクセルギー・パワー・システムズ株式会社	特願 2014-149502	国内	2014/07/23	出願	水素製造装置および水素製造方法	堤 香津雄
4	エクセルギー・パワー・システムズ株式会社	特願 2015-89208	国内	2015/04/24	出願	第3電極を備えた水素製造装置及び水素製造方法	堤 香津雄 堤 敦司 崔 復圭
5	エクセルギー・パワー・システムズ株式会社	特願 2015-119698	国内	2015/06/12	出願	混合電極を用いたリバーシブル燃料電池	堤 香津雄 堤 敦司 崔 復圭
6	川崎重工業(株)	特願 2014-031270	国内	2014/02/21	出願	液化ガスタンクおよび液化ガス運搬船	山城一藤他
7	川崎重工業(株)	PCT/ JP2015/000763	PCT	2015/02/18	出願	液化ガスタンクおよび液化ガス運搬船	山城一藤他
8	アイ・エムセップ株式会社	特願 2014-137094	国内	2014/7/2	公開	アンモニア電解合成装置	伊藤靖彦 他
10	日立造船株式会社	特願 2014-057227	国内	2014/03/19	出願	水素発生用合金電極およびその製造方法	橋本 功二 他
11	(株)東芝	特願 2014-143527	国内	2014/07/11	出願	高温水蒸気電解を用いた水素製造装置及び方法	山田和矢,他
12	(株)東芝	特願 2014-162431	国内	2014/08/08	出願	水素製造システム及び水素製造方法	小舞正文,他
13	(株)東芝	特願 2014-178087	国内	2014/09/02	出願	水素製造システム及び水素製造方法	川尻裕子,他
14	(株)東芝	特願 2014-223044	国内	2014/10/31	出願	水素製造装置及び水素製造方法	大村恒雄,他
15	(株)東芝	特願 2014-234433	国内	2014/11/19	出願	水素製造装置、水素製造方法及び電力貯蔵システム	山田和矢,他

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Bokkyu Choi その他 3 名	東京大学	Chemical Charging on a MnO <sub>2</sub> Electrode of a Fuel Cell/Battery System in a Highly O <sub>2</sub> -Dissolved Electrolyte	Electrochimica Acta Vol. 160, 323-329	有	2015/04/01
2	Bokkyu Choi その他 5 名	東京大学、 エクセルギー・パワー・システムズ株式会社	Novel Hydrogen Production and Power Generation System Using Metal Hydride	International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 40, 6197-6206	有	2015/05/18
3	Mike Musil その他 2 名	東京大学	Systematic Approach to Synthesize Different MnO <sub>2</sub> Crystalloid Structures and their Application in Fuel Cell/Battery Systems	ECS Transactions, Vol. 64(19) 63-71	有	2015/05/08
4	Mike Musil その他 2 名	東京大学	Morphology and Electrochemical Properties of $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -, and $\delta$ -MnO <sub>2</sub> Synthesized by Redox Method	Journal of The Electrochemical Society	有	2015 Accepted
5	嘉藤 徹	国立研究開発法人産業技術総合研究所	再生可能エネルギーからの水素製造の可能性	Journal of the Japan Institute of Energy. Vol. 94, No. 1, 7-18 (2015)	無	2015/1
6	太田健一郎	横浜国大	水の電気分解による水素製造	電気評論 100(6), 19-24,	無	2015/6
7	太田健一郎	横浜国大	水素エネルギー時代に向けた電気化学	Electrochemistry 83(7), 566-569	有	2015/7
8	大城善郎 <sup>1</sup> , 伊藤芳樹 <sup>2</sup> , 内田孝紀 <sup>3</sup> , 高桑晋 <sup>4</sup> , 勝呂幸男 <sup>5</sup> , 松澤幸一 <sup>5</sup> , 相原雅彦 <sup>5</sup> , 太田健一郎 <sup>5</sup>	熊本県産業技術センター <sup>1</sup> , (株)ソニック <sup>2</sup> , 九大 <sup>3</sup> , ユーラスエナジーHD <sup>4</sup> , 横浜国大 <sup>5</sup>	複雑地形における超音波風向風速計を用いた高精度風況解析	日本風力エネルギー学会誌	有	2015 投稿準備中

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	臼井 健敏	旭化成	アルカリ水電解の研究開発	平成 26 年度 NEDO 成果発表会	2014/9/17
2	臼井 健敏	旭化成	アルカリ水電解による再生可能エネルギーからの水素製造技術	第 32 回電力貯蔵技術研究会	2014/12/4
3	臼井 健敏	旭化成	アルカリ水電解による再生可能エネルギーからの水素製造技術	第 11 回国際水素・燃料電池展 専門技術セミナー	2015/2/27
4	亀田常治	東芝	再生可能エネルギーの大量導入に向けた水素電力貯蔵システムの開発	第 20 回燃料電池シンポジウム	2013/05/29
5	吉野正人	東芝	Development of Solid Oxide Electrolysis Cell for Electrical Power	the 19th International Conference on Solid State Ionics	2013/06/14

			Storage System with Hydrogen		
6	渡邊久夫	東芝	水素電力貯蔵システムの開発	日本機械学会 第18回動力・エネルギー技術シンポジウム	2013/06/20
7	亀田常治	東芝	再生可能エネルギーの水素電力貯蔵・充放電システムに関する検討	NEDO 燃料電池・水素技術開発 平成24年度成果報告シンポジウム	2013/08/30
8	亀田常治	東芝	再生可能エネルギーの大量導入に向けた高効率水素電力貯蔵の可能性	"S&T 出版セミナー「水素社会実現の道筋とビジネスチャンス」	2013/11/14
9	亀田常治	東芝	水素を用いた高効率電力貯蔵の可能性	日経BP セミナー 水素社会の到来とビジネスチャンス	2014/06/19
10	亀田常治	東芝	再生可能エネルギー大量導入に向けた高効率水素電力貯蔵システム	技術情報センターセミナー 水素製造・貯蔵・輸送・利用技術と研究開発/技術動向	2014/06/25
11	亀田常治	東芝	Potential of highly-efficient hydrogen production and power storage using SOEC/SOFC system	再生可能エネルギー 2014 国際会議	2014/08/01
12	亀田常治	東芝	高温水蒸気電解システムの研究	H25 年度 NEDO 成果報告会 (要旨集/ポスター発表)	2014/09/17
13	吉野正人	東芝	Development of Highly-Efficient Energy Storage System Using Solid Oxide Electrolysis Cell	2014 Asian SOFC Symposium and Exhibition	2014/09/23
14	亀田常治	東芝	SOEC/SOFC システムによる高効率水素製造・電力貯蔵	三井業際研・最先端材料委員会・イノベーション WG 講演会	2014/11/19
15	吉野正人	東芝	東芝における水素への取り組みと高温水蒸気電解システムの開発	第97回 SOFC 研究会	2015/01/30
16	亀田常治	東芝	再生可能エネルギーを活用する水素製造・電力貯蔵システム	技術情報センターセミナー 水素ステーション関連ならびに水素要素技術・設備開発と今後の展望	2015/04/23
17	亀田常治	東芝	再生可能エネルギーを活用する水素製造・電力貯蔵システム	FCDIC 第22回燃料電池シンポジウム	2015/05/29
18	吉野正人	東芝	Development of Highly-Efficient Energy Storage System Using Solid Oxide Electrolysis Cell	11th CMCEE - International Symposium on Ceramic Materials and Components	2015/06/19
19	崔復圭	東京大学	燃料電池・蓄電池 (FCB) システムの研究開発と将来展望	2014 年度 第1回電池製造技術分科会	2014/06/10

20	Mike Musil	東京大学	Novel Cathode Structures for the Development of a Fuel Cell/Battery System	2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting	2015/10/08
21	Atsushi Tsutsumi	東京大学	Advanced Energy Storage System for Low Carbon Society	2015 Taiwan-Japan symposium on advanced battery materials and battery production technologies	2015/03/02
22	Bokkyu Choi	東京大学	Multi-functional electrochemical reactor for hydrogen energy system	12th International Conference on Gas-Liquid & Gas-Liquid-Solid Reactor Engineering (GLS12)	2015/06/29
23	Hiroki Shimizu	東京大学	Development of a novel manganese dioxide/nickel oxyhydroxide fibrous positive electrode for fuel cell/battery (FCB) systems	ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion & Storage with SOFC-XIV	2015/07/27
24	Mike Musil	東京大学	Spinel MnO <sub>2</sub> as a rapidly oxidizing cathode material for fuel cell/battery (FCB) systems	ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion & Storage with SOFC-XIV	2015/07/27
25	Bokkyu Choi	東京大学	Novel Hydrogen Production and Power Generation System Using Ni-Metal Hydride battery	ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion & Storage with SOFC-XIV	2015/07/27
26	洲河誠一 猪股昭彦	川崎重工業(株)	周辺技術(水素液化貯蔵システム)の研究開発	「NEDO 燃料電池・水素技術開発平成25年度成果報告シンポジウム」	2014/09/17
27	村田謙二、 相澤芳弘	(一財)エネルギー総合工学研究所	エネルギーキャリアシステム調査・研究/ エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析	平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会	2014年9月17日
28	伊藤靖彦	代表取締役	水と窒素からの直接アンモニア電解合成	公益社団法人電気化学会 「第32回電力貯蔵技術研究会」	2014/12/4
29	伊藤靖彦	代表取締役	常圧アンモニア電解合成法の開発 ~現状と課題~	アイ'エムセップ株式会社主宰 「第4回溶融塩技術事業化研究会」	2014/7/16
30	今川健一、 甲斐照彦、 斉藤崇、 西田亮一	千代田化工建設、 地球環境産業技術研究機構	水素利用等先導研究開発事業に係る技術開発/エネルギーキャリアシステム調査・研究/ 水素分離膜を用いた脱水素	平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会 要旨集 /ポスター発表	2014/9/17

31	齊藤崇、浦井宏美、甲斐照彦、中尾真一	地球環境産業技術研究機構	対向拡散CVDシリカ膜の分離性能に対する $\gamma$ -アルミナ中間層の影響	化学工学会第46回秋季大会	2014/9/18
32	西田亮一	地球環境産業技術研究機構	無機系水素分離膜および膜反応器の開発について	大阪科学技術センター 燃料電池・FCH部会 第231回定例研究会	2015/7/13
33	西田亮一	地球環境産業技術研究機構	RITEが保有する水素分離膜技術について	化学工学会 関西支部化学工学イノベーション研究会	2015/7/24
34	松山 絵美、沼口 遼平、浦井 宏美、齊藤 崇、西田 亮一、中尾 真一	地球環境産業技術研究機構	メンブレンリアクターを用いたメチルシクロヘキサン脱水素プロセスの検討	化学工学会第47回秋季大会	2015/9/11
35	嘉藤 徹	国立研究開発法人産業技術総合研究所	エネルギーキャリアによるCO <sub>2</sub> フリーエネルギー導入の可能性	一般社団法人 水素エネルギー協会 (HESS) 平成26年度 HESS 総会特別講演会 (第144回定例研究会)	2014/6/13
36	高木 英行	国立研究開発法人産業技術総合研究所	トータルシステム導入シナリオ調査研究	NEDO 成果報告会	2014/9/17
37	後藤 新一	国立研究開発法人産業技術総合研究所	平成25年度「再生可能エネルギー輸送・貯蔵等技術開発」の概要	NEDO 成果報告会	2014/9/17
38	嘉藤 徹	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Cost Estimation of Hydrogen Production from Wind Energy and Brown Coal in South Australia	2014 The Fuel Cell Seminar & Exposition (Los Angeles, California, USA)	2014/11/10-14
39	嘉藤 徹	国立研究開発法人産業技術総合研究所	水素エネルギーの未来、再生可能エネルギーからの水素	エネルギー学会 天然ガス部会科学・反応システム分科会・触媒学会 GTX 研究会 合同シンポジウム	2014/12/5
40	嘉藤徹	国立研究開発法人産業技術総合研究所	「再生可能エネルギー等を用いた CO <sub>2</sub> フリーエネルギーネットワークの可能性	ガスビジネス研究会	2015/3/24
41	高木 英行	国立研究開発法人産業技術総合研究所	トータルシステム導入シナリオ調査研究	NEDO 成果報告会	2015/9/17
42	後藤 新一	国立研究開発法人産業技術総合研究所	平成25年度「再生可能エネルギー輸送・貯蔵等技術開発」の概要	NEDO 成果報告会	2015/9/17
43	工藤 祐揮	国立研究開発法人産業技術総合研究所	水素エネルギーキャリアのライフサイクルインベントリ分析	第10回日本LCA学会研究発表会	2015/3/9-11
44	後藤新一	国立研究開発法人産業技術総合研究所	水素エネルギーについて	横浜税関	2015/2/24

45	工藤 祐揮	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	水素サプライチェーンの温 室効果ガスホットスポット 分析	日本エネルギー学会 第 24 回大会	2015/8/2-4 (予定)
46	工藤 祐揮	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	Carbon hotspot analysis of hydrogen energy carriers	Life Cycle Management Conference 2015	2015/8/30-9/2 (予定)
47	大城善郎 <sup>1</sup> , 伊 藤芳樹 <sup>2</sup> , 勝呂 幸男 <sup>3</sup> , 横山 稔 <sup>4</sup> , 相原雅彦 <sup>3</sup> , 太田健一郎 <sup>3</sup>	熊本県産業技 術センター <sup>1</sup> , (株)ソニック <sup>2</sup> , 横浜国大 <sup>3</sup> , (株)グレート スピリッツ <sup>4</sup>	アルゼンチン、パタゴニア における超音波を用いた風 況測定	第 35 回風力エネ ルギー利用シンポジウ ム	2013/11/11-12
48	勝呂幸男	横浜国大	水素社会と風力発電	第 36 回風力エネ ルギー利用シンポジウ ム	2014/11/27-28
49	大城善郎 <sup>1</sup> , 伊 藤芳樹 <sup>2</sup> , 内田 孝紀 <sup>3</sup> , 高桑晋 <sup>4</sup> , 勝呂幸男 <sup>5</sup> , 相原雅彦 <sup>5</sup> , 太 田健一郎 <sup>5</sup>	熊本県産業技 術センター <sup>1</sup> , (株)ソニック <sup>2</sup> , 九大 <sup>3</sup> , ユースエナ ジーHD <sup>4</sup> , 横浜 国大 <sup>5</sup>	複雑地形における超音波風 向風速計を用いた高精度風 況解析	第 36 回風力エネ ルギー利用シンポジウ ム	2014/11/27-28
50	太田健一郎	横浜国大	第 34 回加藤記念講演 「水素エネルギー時代に向 けた電気化学」	電気化学会 第 82 回大会	2015/3/15-17
51	熊谷直和	アタカ大機株 式会社	CO2から燃料を作る“メタン 合成”	FC EXPO 2014 Technical Conference	2014/02/27
52	齊藤英樹、吉田 哲也、尾白仁志	日立造船株式 会社	「水素利用等先導研究開発 事業/低コスト水素製造シス テムの研究開発/高効率低 コスト水素製造システムの研 究開発」に係る技術開発	NEDO 平成 26 年度成 果報告会	2014/09/17
53	熊谷直和	日立造船株式 会社	「日立造船の水電解技術に ついて」	燃料電池・FCH 部会 第 226 回定例研究会	2014/10/27
54	熊谷直和	日立造船株式 会社	「日立造船の水素関連事業 の取り組み、展望等」	九州地域戦略会議 再生可能エネルギー の産業化に向けた検 討委員会 水素エネ ルギー関連産業の拠 点化WG	2014/11/26

## (b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東芝	再生可能エネルギーを活用する水素電力貯蔵システム	東芝レビュー（一般論文）	2013/07
2	東芝		日経エコロジー	2013/12
3	東芝		日経エレクトロニクス	2014/01
4	東芝	再生可能エネルギーを活用する水素電力貯蔵システム	「図解 新世代の燃料電池技術」燃料電池開発情報センター編、日刊工業新聞社刊	2014/11/27
5	東芝		日経新聞	2014/12/23
6	東芝		水素創エネ時報	2015/02/01
7	東芝		日経ビジネス	2015/02/23
8	東芝	グローバルナビ	BS-TBS	2015/02/28
9	東芝	経済フロントライン	NHK-BS1	2015/04/11
10	東芝		日経エレクトロニクス	2015/04/20
11	東芝		日経エコロジー	2015/05/07
12	川崎重工業(株)	Kawasaki Hydrogen Road	<a href="http://www.khi.co.jp/hydrogen/">http://www.khi.co.jp/hydrogen/</a>	2014/2/25
13	川崎重工業(株)	水素タンク大容量に 川重、開発へ 燃料電池車5万台分	日本経済新聞	2014/08/03
14	川崎重工業(株)	産業用では初となる純国産独自技術の水素液化システムを開発 水素液化試験を開始	川崎重工業(株)、プレスリリース	2014/11/19
15	川崎重工業(株)	「究極のクリーンエネルギー」水素でこれからの社会を支える。	日本経済新聞、紙面広告	2015/02/25
16	川崎重工業(株)	「HELLO!H2」	TV コマーシャル	2015年4月4日
17	川崎重工業(株)	極低温で水素をつくりだす、川崎重工のテクノロジー。	日本経済新聞、紙面広告	2015/03/19
18	アイ・エムセップ株式会社	第10章 水と窒素からの常圧アンモニア電解合成（伊藤靖彦）	シーエムシー出版『アンモニアを用いた水素エネルギーシステム』	2015/6/8 発売
19	地球環境産業技術研究機構、千代田化工建設	MCH脱水素プロセス 分離膜方式の新システム	化学工業日報	2015/2/12
20	国立研究開発法人産業技術総合研究所	導入シナリオの研究推進	化学工業日報 11 面	2015/2/20
21	国立研究開発法人産業技術総合研究所	水素関連技術 世界をリード	化学工業日報 11 面	2015/2/26
22	横浜国大	パタゴニア：氷河×風×地球の未来	北海道テレビ	2015/2/11
23	横浜国大	パタゴニア：絶景の氷河と風	テレビ朝日	2015/3/28
24	日立造船株式会社	低コスト水素製造など採択	化学工業日報	2014/01/16
25	日立造船株式会社	再エネで作った水素とCO <sub>2</sub> をメタンにして活用	月刊ビジネスアイエネコ	2014/07
26	日立造船株式会社	水素社会実現へメタン化技術提案	化学工業日報	2014/10/03
27	日立造船株式会社	メタンをエネルギーキャリアに	化学工業日報	2015/04/02
28	日立造船株式会社	再生エネで水素製造	日本経済新聞	2015/05/16

## (c) その他（展示会等）

番号				
1	東芝	スマートグリッド EXPO 2015	東京ビッグサイト	2015. 2. 25~27
2	川崎重工業(株)	Kawasaki Hydrogen Road	第10回国際水素燃料電池展	2014/2/26~28
3	川崎重工業(株)	Kawasaki Hydrogen Road	第11回国際水素燃料電池展	2015/2/25~27
4	川崎重工業(株)	産業用では初となる純国産独自技術の水素液化システムを開発 水素液化試験を開始	川崎重工業(株)、プレスリリース	2014/11/19
5	京都インデペンデンスクラブ	京都インデペンデンスクラブ in KRP-WEEK	会社紹介のプレゼンとアンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2013/7/31
6	ビジネスフェア in 京たなべ実行委員会	ビジネスフェア in 京たなべ 2013	アンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2013/10/22
7	池田泉州ホールディングス 池田泉州銀行	ビジネス・エンカレッジ・フェア 2014	アンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2014/12/9~ 2014/12/10
8	公益財団法人京都高度技術研究所 経営支援部	平成 26 年度 販路開拓・技術マッチング支援事業 (株)東芝生産技術センターにおける「京都中小・ベンチャー企業の技術展示会」	アンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2014/12/10
9	公益財団法人京都高度技術研究所 経営・新事業創出支援本部	第2回京都経済の発展を担う企業交流会（合同展示会）	アンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2015/1/27
10	京都府商工会連合会	関西学研都市ビジネスマッチング 2015	アンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2015/2/4~ 2015/2/5
11	独立行政法人 中小企業基盤整備機構	新価値創造展 2015 in Kansai	アンモニア電解合成を含む自社技術のパネル展示	2015/5/27~ 2015/5/29
12	日立造船株式会社		第9回再生可能エネルギー世界展示会	2014/07/28
13	日立造船株式会社		第10回再生可能エネルギー世界展示会	2014/07/29