

「水素社会構築技術開発事業」

事業原簿【公開】

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

目次

概 要	2
I. 事業の位置付け・必要性について	5
1. 事業の背景・目的・位置付け	5
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	6
2. 1 NEDO が関与することの意義	6
2. 2 実施の効果（費用対効果）	7
II. 研究開発マネジメントについて	9
1. 事業の目標	9
2. 研究開発の内容	10
2. 1 研究開発の内容	10
2. 2 研究開発の実施体制	17
2. 3 研究開発の運営管理	18
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	20
3. 情勢変化への対応	21
4. 評価に関する事項	22
III. 研究開発成果について	23
1. 事業全体の成果	23
2. 研究開発項目毎の成果	24
IV. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて	30

(添付資料)

(添付-1) 各研究開発項目の詳細

(添付-2) プロジェクト用語集

(添付-3) プロジェクト基本計画

(添付-4) 事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

概 要

		最終更新日	平成 28 年 10 月 20 日
プロジェクト名	水素社会構築技術開発事業		プロジェクト番号 P14026
担当推進部/PM または担当者	新エネルギー部 吉積潔 (研究開発項目Ⅱ：平成 26 年 6 月～)		
0. 事業の概要	<p>・将来、水素発電等の形で水素を本格的に利活用するためには、安価で安定的な水素の調達が必要。</p> <p>・液化水素、有機ハイドライド等の水素の輸送・貯蔵技術の基礎が確立されつつある中、褐炭や副生水素等の海外の未利用エネルギーを活用する水素調達が検討されている。</p> <p>・このような状況の中で、以下の実証により将来の大規模な水素サプライチェーンの構築を目指す。</p> <p>① 液化水素輸送、脱水素化等をはじめとする要素技術実証。</p> <p>② 海外の未利用エネルギーや余剰再生可能エネルギーからの水素製造、輸送、貯蔵、利用に至るサプライチェーン実証。</p> <p>③ 水素発電等に関する技術実証</p>		
1. 事業の位置 付け・必要 性について	<p>水素は使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することが出来る。また、気体、液体又は固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」（助成事業〔NEDO 負担率：2/3〕）の目標は下記の通り。</p> <p>① アウトプット目標</p> <p>(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築 『最終目標』（平成 32 年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030 年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立をめざし、2020 年において商用レベルの 1/100 程度のプロトタイプ規模（数千万 Nm³ 規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。 <p>『中間目標』（平成 28 年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> 最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。 <p>(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 『最終目標』（平成 32 年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術確立する。 		

	<p>② アウトカム目標</p> <p>発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大。2030年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築するとともに、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。</p> <p>③アウトカム目標達成に向けての取り組み</p> <p>水素製造・利活用拡大技術等の研究成果を活かし、水素利活用装置の技術開発に反映して実証事業等を実施することにより、着実な水素利活用社会の拡大を図る。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度
	研究開発項目Ⅱ 大規模水素エネルギー利用	(イ)要素試験・仕様検討			設計・製作・試運転等		実証運転
	(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン	(ロ)水素CGS	製作・設置	実証運転			
	(ロ)水素エネルギー利用システム開発	(ロ)混焼GT	要素試験・燃焼試験		プラント設計		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度
	一般会計						
	特別会計(需給)	270	3597				
	開発成果促進財源						
	総予算額	270	3597				
	(委託)						
	(共同研究)						
(助成): 助成率 2/3	270	3597					
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギーシステム課 水素・燃料電池戦略室					
	プロジェクトリーダー	-					
	委託先(委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	技術研究組合 CO2フリー水素サプライチェーン推進機構/千代田化工建設株式会社/株式会社大林組/川崎重工業株式会社/三菱日立パワーシステムズ株式会社/三菱重工業株式会社					
情勢変化への対応	・世界初となる液化水素の国際海上輸送のための規制対応に、液化天然ガスの経験を持つ事業者を含めるという実施体制の変更・強化を行った。						
中間評価結果への対応	-						
評価に関する事項	事前評価	平成27年度実施 担当部 新エネルギー部					
	中間評価	平成28年度 研究開発項目Ⅱ 中間評価実施					
	事後評価	平成33年度 事後評価実施予定					

3. 研究開発成果について	<ul style="list-style-type: none"> 2030年頃の海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素供給のサプライチェーン構築に向けて、水素キャリア（液化水素、有機ハイドライド）の各開発項目において目標を設定し、それぞれ達成の見通しを得た。 開発にかかるコストや技術開発の効率性を考慮しつつ、水素キャリア毎に2020年頃のファーストチェーンの構築計画を策定した。 	
	投稿論文	0件(平成28年7月末現在)
	特許	「出願済」5件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願0件)(同上) 特記事項：
	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演(36件)／新聞・雑誌等への掲載(4件)／ 展示会へ出展(16件)(同上)
4. 実用化の見通しについて	<ul style="list-style-type: none"> 水素キャリアとしての液化水素、有機ハイドライドそれぞれについて、大規模水素サプライチェーンを構築する上で必要な要素技術の開発に目途がついている。 水素を国際的に大規模大量輸送するための制度・規制に対応可能な見通しがある。 水素を海外から輸送する事業の立上げ当初における国による運営下支えを前提に、2020年代後半に水素のプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を実現するための基盤技術が確立しつつある。 	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	平成26年9月作成
	変更履歴	<ul style="list-style-type: none"> 平成27年3月改訂（研究開発項目Ⅱを追加し、実施期間を平成32年度までに延長） 平成28年3月改訂（研究開発項目Ⅱの中間評価時期を平成29年度から平成28年度に変更）

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様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。また、気体、液体、固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。

我が国では、水素エネルギーの利活用について、約 30 年間の国家プロジェクト等を経て、2009 年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014 年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取り組みが進められている。

一方、今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発または実証段階である。

本事業では、水素の利活用を抜本的に拡大し、2020 年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す。エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを世界に先駆けて構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献する。

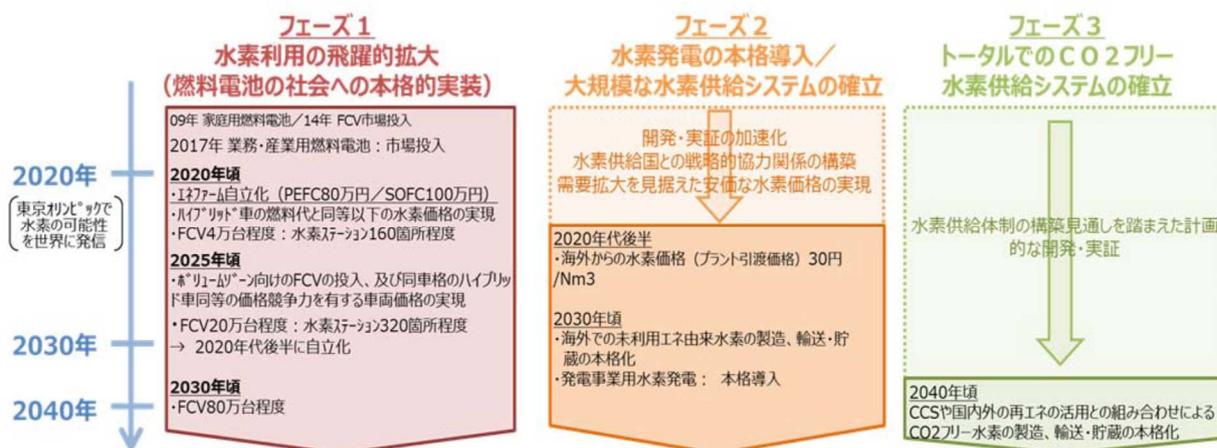
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2. 1 NEDO が関与することの意義

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

水素の利活用は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。エネルギー基本計画（平成 19 年 3 月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（同 5 月）においても燃料電池及び燃料電池普及のために必要となる水素技術開発の重要性が述べられ、さらには、「Cool Earth エネルギー革新技術計画」（平成 20 年 3 月）に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられ、またエネルギー基本計画（平成 22 年改訂）では技術革新の進捗により水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期にさしかかっているとしている。更には平成 26 年に改訂されたエネルギー基本計画に「水素を本格的に利活用する社会、すなわち“水素社会”を実現していくためには、水素の製造から貯蔵・輸送、そして利用にいたるサプライチェーン全体を俯瞰した戦略の下、様々な技術的可能性の中から、安全性、利便性、経済性及び環境性能の高い技術が選抜されていくような厚みのある多様な技術開発や低コスト化を推進することが重要である。」とうたわれ、「“水素社会”の実現に向けた取り組みの加速」として将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。と明示された。従って、本事業は上記エネルギー施策制度の目標達成に適合するものであり、その期待値はますます大きくなっている。

上記エネルギー基本計画に基づき策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2014 年 6 月策定/2016 年 3 月改訂、経済産業省、以下「ロードマップ」と略す）においては、フェーズ 1 でのエネファーム・燃料電池自動車の普及拡大による水素社会の土台作りに続き、フェーズ 2 として、水素発電の本格導入と大規模な水素供給システムの確立を掲げ、2020 年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入と海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素サプライチェーンの本格導入の開始という目標が設定された。



【出典】水素・燃料電池戦略ロードマップ (2016)

本ロードマップでは「海外からの水素供給に関する制度的・技術的な環境整備等」という課題に対して、国が重点的に関与する項目として以下が挙げられている。

a) 海外からの水素供給に関する技術開発・実証等（～2020年代頃）

- ・ 褐炭等の未利用エネルギーを用いた、安価で安定的な水素の製造方法の確立に向けて、必要な開発・実証等を行う。
- ・ 有機ハイドライドによる水素海外輸送について、2020年頃までにファーストチェーンの運用を開始し、実際のチェーン構築及び運用の中で制度的・技術的な課題（例えば通関制度、トルエンの輸送外使用の管理等）を洗い出し、適宜必要な対応を行う。
- ・ 2018年度までに、メチルシクロヘキサン等の水素エネルギーキャリアについて、漏洩などの事故解析や大気拡散シミュレーション等を用いたリスク評価を実施し、許認可（消防法、高圧ガス保安法等）、安全対策、リスクコミュニケーション等のための基盤情報を収集、整備する。
- ・ 液化水素の荷役を行うために必要となるローディングシステムについて、 -253°C の超低温性等の特性に対応した要素技術（液化水素の配管のジョイント、緊急離脱機構等）の研究開発を行う。併せて、液化水素の荷役に関するルールを整備し、国際標準化を図る。
- ・ 2020年代頃までに、液化水素を運搬する船舶について、船舶用の液化水素タンクや水素という軽量の貨物に合った船舶建造等に関する実証等を行う。さらに、将来の液化水素の大量輸送に向け、大型化に向けた技術開発等を行う。併せて、液化水素の船舶輸送に関するルールを整備し、国際標準化を図る。

b) 水素供給チェーンの自立化に向けた支援

- ・ 水素海外輸送事業の立上げ当初の運営を下支えすべく、輸送された水素を水素発電ガスタービン等の技術開発・実証等で使用するなど、水素の需要と供給のバランスを取りつつ一体的に取り組む。

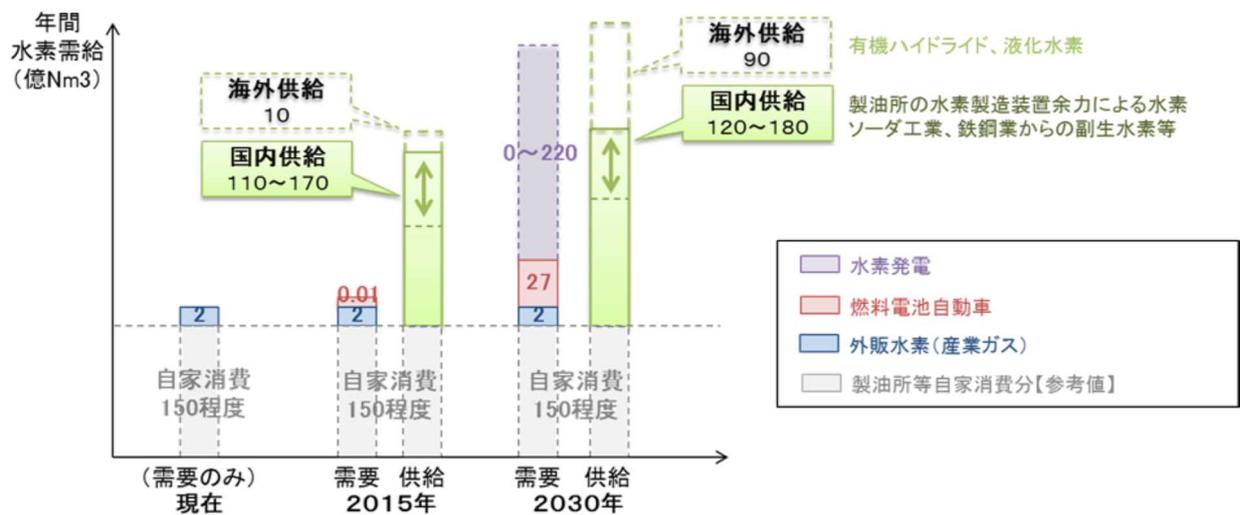
これらは長期的かつ大規模な投資を要する取り組みであり、現時点ですぐには事業化が見込めず経済的インセンティブが働かないため民間のみでは成り立たない。また海外の未利用エネルギーの調達などにおいて外国政府と政府間の協力関係を構築する必要があることから、政府等の協力が不可欠である。以上より、これらは国が重点的に関与する項目と位置付けられているものであり、その実現を目指す本事業にNEDOとして取り組むことには大きな意義がある。

2.2 実施の効果（費用対効果）

当該事業を実施することにより、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省2014年6月制定、2016年3月改訂、図表参照）等で試算される2030年の市場規模：日本1兆円程度、世界38兆円程度2050年の市場規模：日本8兆円程度、世界160兆円程度の成長に寄与することができる。また、燃料電池分野の特許出願数は現在でも世界1位で2位以下の欧米等の各国と比べ5倍以上となっており、本事業の推進が水素利活用分野での高い産業競争力を支えている。更には、前述の「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」において、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するためのエネルギー分野における21の革新的技術開発の中に選定され、温室効果ガスの削減にも大きな貢献をもたらすことが期待されている。

水素需要の観点からは、2030年の水素供給ポテンシャルは製油所の水素製造装置を用いた追加的な水素製造や、苛性ソーダ製造に伴って発生する副生水素の外販、更には今後導入が期待される水素製造設備等によって120~180億Nm³と試算されている。この水素供給量はFCV換算では900~1,300万台程度に対応できるとされるため、当面の間は国内のみの供給能力で対応できると考えられる。しかしながら、今後2030年までに新設・リプレースされるLNG火力発電の燃料に50%程度の水素が混合された場合、水素需要は最大220億Nm³と予想され我が国の供給ポテンシャルを超過する可能性があるとの試算もある。本事業により、未利用エネルギーを用いて水素を製造し、更に有機ハイドライドや液化水素の形で水素を我が国に輸送するという一連の未利用エネルギー由来水素供給システムの構築が実現できれば上記の需要に応えることが可能となる。

また、この事業への研究開発投資がもたらす効果として、水素サプライチェーンの構築、水素発電技術の社会への導入・普及は、省エネルギー効果、環境負荷低減効果、エネルギーの供給多様化、石油代替効果、産業競争力強化と新規産業・雇用の創出が期待される。



【出典】水素・燃料電池戦略ロードマップ (2016)

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

我が国の現在の発電コストは、LNG火力が10.7円/kWh、石炭火力が9.5円/kWh、石油火力が20.8円～36.0円/kWhであるところ、発電事業用水素発電の導入当初（2030年頃）においては、水素のプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を下回れば許容できるとの調査結果がある。

よって本事業の研究開発項目II「大規模水素エネルギー利用技術開発」（助成事業〔NEDO負担率：2/3〕）では、2030年に未利用エネルギー等から製造したプラント引き渡しコスト30円/Nm³の実現に向けて、事業終了時にそれを見通すことが出来る基盤技術の確立を目指す。

(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築

『最終目標』（平成32年度）

- 2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立をめざし、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確認する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。

『中間目標』（平成28年度）

- 最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

『最終目標』（平成32年度）

- 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確認する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確認する。

2. 研究開発の内容

2.1 研究開発の内容

褐炭や原油随伴ガス、化学工場から排出される副生水素などの海外に豊富に存在する未利用エネルギーから水素を製造する技術（褐炭ガス化技術等）、輸送・運搬技術（液化水素船による輸送・荷役技術、有機ハイドライドに係る水素化・脱水素化技術等）、水素混焼・専焼発電技術等を開発・実証し、一連の未利用エネルギー由来水素サプライチェーンを構築すると共に、基盤となる技術を確認することで、2030年頃の大規模水素サプライチェーンの構築に向けた展望を開く。

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。



ちなみに水素キャリアとしての液化水素、有機ハイドライドはそれぞれ一長一短があり、当面は水素供給元や需要先を含むサプライチェーンの状況によって使い分けられるものと考えられる。

	液化水素	有機ハイドライド
実用化状況	従来はロケット用燃料として用いられ、近年では工業用の水素輸送方法として普及	脱水素のための触媒について研究が進められており、実用化段階に達しつつある
輸送効率	常圧のガス状態に比べて約 800 分の 1 の体積	常圧のガス状態に比べて約 500 分の 1 の体積
エネルギー投入	液化に一定のエネルギーを要する	脱水素に一定のエネルギーを要する
経済性	液化には大規模な設備が必要となるため、設備コストが高まる	水素化合、脱水素には一定の投資が必要であるが、常温・常圧での輸送・貯蔵が可能であり、既存の輸送・貯蔵手段でも対応可能
留意点	一定の割合で気化（ボイルオフ）するため、輸送・貯蔵用の容器の技術開発などにより、これを減少させることが必要 また法令上は「高圧ガス」となるため、高圧ガス保安法等の法規への対応も必要	水素キャリアとしての利用が想定されていないため、各種規制について対応が必要

[出典]水素・燃料電池戦略協議会WG資料（平成 26 年 4 月 14 日）より作成

各テーマの実施内容は以下の通りである。

II - (イ) - (1) : 「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

2030 年頃に商用化を目指す現状の LNG と同規模の水素サプライチェーン（水素製造・液化水素貯蔵・液化水素海上輸送・水素の発電利用）の実現を見通すために、その構築に必要な 3 つの主要技術について研究開発を行う。そしてそれらの技術を基に、2020 年頃に豪州から日本に液化水素を輸送するサプライチェーンの実証を行う。

① 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実績のある液化天然ガス（Liquefied Natural Gas）の海上輸送用タンクと同程度の蒸発量、安全性、耐久性、信頼性、及び製造容易性を有する液化水素海上輸送用タンクを実現するために必要な要素技術を開発する。

② 液化水素荷役技術の開発

海上-陸上間の揺動環境下で大量の液化水素を取り扱うことを可能とするローディングシステム、貯蔵タンクや配管類の予冷システムなどの液化水素の荷役技術を開発する。

③ 褐炭ガス化技術の開発

現地の褐炭の性状やガス化炉設置に係る法規制を踏まえつつ、褐炭の前処理から効率的なガス化技術に至る一連の技術開発を行う。

II - (イ) -(2) : 「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

2030年頃に海外の未利用資源由来の水素を有機ケミカルハイドライド法により水素を大量輸送するサプライチェーンを構築するために必要な主要技術について研究開発を行う。そしてその要素技術を基に2020年頃に約1年間の水素サプライチェーンの実証運用を行う。

①水素化プラントに関する技術開発

トルエンと水素を結合させてメチルシクロヘキサンを生成する「水素化」に関して、プラントのスケールアップが可能な設計手法や不純物除去設備の仕様の検討を行う。

②脱水素化プラントに関する技術開発

メチルシクロヘキサンから水素を取り出す「脱水素化」に関して、プラントのスケールアップが可能な設計手法や取り出す水素の純度向上策等を検討する。

③サプライチェーン全体運用に関する技術開発

サプライチェーン全体の運用に関して、商用のトルエンでの運転検証、本格的なサプライチェーン構築時に必要な設備構成などの検討を行う。

II - (ロ) -(1) : 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」

水素CGSを「電気」「熱」「水素」エネルギーの供給源として用いた、地域レベルでのエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーシステム（統合型EMS）の技術開発を行う。

① 統合型EMSの開発：

・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルの確立

水素CGSを組み込み、既存熱源と組み合わせることで電気と熱を最適効率で運用するEMSで、既存システムと同等以上の経済性を有する運用モデルを確立する。

・蒸気双方向融通技術の確立

単管による蒸気双方向融通技術を確立する。

② 水素CGSの開発

・実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

水素と天然ガスを任意の混焼割合で設定が可能な燃焼器を備えた水素混焼ガスタービンを設置し、水素専焼および混焼による発電と排熱ボイラでの熱回収の運転試験により、実負荷運転時で水素と天然ガスの混焼割合を変化させた場合でも、安定して運転が可能なことを確認する。

II - (ロ) -(2) : 「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

水素インフラ導入期での実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。具体的には、天然ガス中に体積割合で20%の水素を含有した燃料を前提とし、現在の500MW級コンバインドサイクル用天然ガス燃焼ガスタービンと同様の出力、安定性と低NO_x性を両立したガスタービンの開発を目的とする。

①燃焼器内部温度分布を予測する技術

水素・天然ガスの混焼において、燃焼速度の変化により変化する燃焼器内部の温度分布について、水素の含有が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データの取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能な水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築、燃焼シミュレーションの高度

化、水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築を行う。

②燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術

水素・天然ガスの混焼において、燃料成分の変化により変化する燃焼特性に対して幅広く対応可能な燃焼器の設計技術とその性能の検証方法について検討し、500MWCC用ガスタービンで天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発する。

③水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

水素・天然ガス混焼ガスタービンの実現の為に、燃焼技術の開発、材料の水素脆化等の影響を考慮したプラントの設計および選定技術の開発について、実在プラントをベースに、水素・天然ガス混焼ガスタービンを新設する場合および、改造適用する場合のそれぞれにおいて、プラント建設計画を策定し、基本設計を行う。

中間目標	最終目標
II - (イ) -(1) : 「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」	
<p>1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発</p> <p>a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 実績のある LNG (Liquefied Natural Gas) 海上輸送タンクと同程度の蒸発量、安全性、耐久性、信頼性、及び製造容易性等を有する液化水素海上輸送用タンクを開発するための要素技術を開発する。</p> <p>b) 輸送用タンクシステムの開発 a) で実施した内容を踏まえて、輸送用タンクを構造物として、あるいは周辺機器を含めたタンクシステムとして健全に機能することを確認する。</p> <p>c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 (最終目標において実施)</p> <p>d) 運用試験の実施 液化水素を安全かつ効率的に海上輸送するための運用技術等を開発する。</p>	<p>1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発 世界初の液化水素の長距離大量海上輸送システムの構成要素である液化水素輸送用タンクの構造や断熱性能といった仕様決定に必要な要素技術を開発する。そして輸送用タンクシステムの断熱技術、使用機器、及び安全な運用システムを明確化し、海洋構造物に設置して液化水素の海上輸送を行うことが可能な試験設備を開発する。</p>
<p>2. 液化水素荷役技術の開発</p> <p>a) 液化水素の陸上-海上間輸送技術実証 揺動環境下における液化水素荷役の実現性を検証する。</p> <p>b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 荷役基地における貯蔵タンク及び配管類を安全、かつ効率的に予冷できるシステム、適切な配管設計手法などを開発する。</p>	<p>2. 液化水素荷役技術の開発 世界初の液化水素の長距離大量海上輸送システムを実現するのに必要な荷役技術として、ローディングシステムの仕様及び安全な運用技術を開発する。そして液化水素輸送用タンクと陸上の貯蔵用タンクの間で荷役試験を行えるような試験設備を開発する。</p>
<p>3. 褐炭ガス化技術の開発</p> <p>a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討 豪州褐炭の性状を評価し、日本の EAGLE 炉で褐炭ガス化技術の確立を行う上でその改造の要否を明らかにする。</p> <p>b) 化学原料製造向けガス化技術の検討 豪州において CO₂ 搬送の試験が、日本においてダイレクトクエンチの試験が実施可能な設備を構築する。</p> <p>c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 (中間目標は無し)</p>	<p>3. 褐炭ガス化技術の開発 豪州褐炭の乾燥設備、ガス化炉、及び安全な運用技術を検討し、褐炭ガス化システム技術を確立する。</p>
II - (イ) -(2) : 「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」	
<p>1. 水素化プラントに関する技術開発</p> <p>a) 水素化スケールアップ検討 大型化した水素化反応器のコンピューター流動解析を実施し、運転負荷毎に不均一事象が生じないことを確認する。必要に応じて不均一化を抑制する反応器設計手法を策定する。</p> <p>b) 不純物除去設備の仕様検討 水素の貯蔵・輸送のサイクルにおいて媒体トルエン中に蓄積する不純物の除去設備の仕様を明確化する。</p>	<p>1. 水素化プラントに関する技術開発 商用水素サプライチェーンの本格的な運用を想定し、数万～数十万 Nm³/hr 規模の水素化プラントにおいて、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術を確立する。そして 2020 年頃に一貫した「実証運用チェーン」の運転を行う。</p>

	中間目標	最終目標
	<p>2. 脱水素プラントに関する技術開発</p> <p>a) 脱水素スケールアップ検討 大型化した脱水素反応器のコンピューター流動解析を実施し、運転負荷毎に不均一事象が生じないことを確認する。必要に応じて不均一化を抑制する反応器設計手法を策定する。</p> <p>b) 負荷追従性向上策検討 脱水素プラントをモデル化したダイナミックシミュレーションを実施して負荷追従性を検証する。そして想定需要要件において求められる負荷変動への対応方法を明確化する。</p> <p>c) 水素純度向上策検討 想定需要要件において求められる水素純度を実現するための方策を明確化する。</p> <p>d) 触媒商用生産課題検討 商業規模において製造した脱水素触媒が所定の性能を発揮出来ることを確認する。</p>	<p>2. 脱水素プラントに関する技術開発 商用水素サプライチェーンの本格的な運用を想定し、数万～数十万 Nm³/hr 規模の脱水素プラントにおいて、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術を確立する。そして2020年頃に一貫した「実証運用チェーン」の運転を行う。</p>
	<p>3. サプライチェーン全体運用に関する技術開発</p> <p>a) 商用トルエン運転検証 デモプラント（50Nm³/hr）において、商業規模で調達可能なトルエンを用いた運転実証を行う。</p> <p>b) サプライチェーン検討 水素サプライチェーン全体をモデル化して水素供給安定性を検証し、各種設備の規模や冗長性の最適化を行う。</p> <p>c) 設備仕様・オペレーション要件 火力発電設備に水素を燃料として供給する際に必要となる設備仕様とオペレーション要件を明らかにする。</p>	<p>3. サプライチェーン全体運用に関する技術開発 水素エネルギーの本格普及期におけるエネルギー輸送チェーンの商業運用を念頭に、実用性・信頼性を備えたサプライチェーン構築に資する基盤技術を確立する。</p>
II-(ロ)-(1)：「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」		
	<p>1. 統合型 EMS の開発 EMS の確立に向けた基本計画の策定。</p>	<p>1. 統合型 EMS の開発</p> <p>a) 単管の蒸気配管で大規模に蒸気を双方向利用する技術を確立する。</p> <p>b) 電気、熱、水素を総合管理し、経済性、環境性を確保できるエネルギーマネージメントシステムを確立する。</p>
	<p>2. 水素 CGS の開発 水素 CGS（水素を燃料とする 1MW 級ガスタービン発電設備）の製作・設置に向けた運転条件・法規制等の制約条件のまとめ・洗い出しを完了。</p>	<p>2. 水素 CGS の開発 水素を燃料とする 1MW 級ガスタービン発電設備を製作設置し、技術実証を行う。</p>
II-(ロ)-(2)：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」		
	<p>1. 水素・天然ガス混焼におけるデータベースの構築・燃焼シミュレーション</p> <p>a) 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築のため、計測装置の設計を完了。</p> <p>b) 同条件での着火遅れ時間計測の完了。</p> <p>c) 燃焼シミュレーションの高度化のための、燃焼モデルパラメータの調整感度確認完了。</p>	<p>1. 水素・天然ガス混焼におけるデータベースの構築・燃焼シミュレーション</p> <p>a) 高圧条件において水素混焼割合の変化が燃焼速度へ与える影響を解明する。</p> <p>b) 高圧条件において水素混焼割合の変化が自己着火遅れ時間へ与える影響を解明する。</p> <p>c) 水素混焼条件での予測精度±20%を達成する。</p>
	<p>2. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術</p> <p>a) 水素混焼割合 20%における、定格運用条件での安定運用の可能性確認。</p>	<p>2. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術 水素混焼割合 20%条件において、天然ガス燃焼ガスタービンと同等の効率および裕度の確保を達成する。</p>

	中間目標	最終目標
	3. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 a) 配管機器・材料への水素適用影響調査の完了。	3. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 水素混焼ガスタービン発電プラントの基本設計を完了する。

2. 2 研究開発の実施体制

本事業「研究開発項目Ⅱ」のプロジェクトマネージャー（以下PMという）にNEDO 新エネルギー部吉積潔を任命し、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。本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することが出来る。）から公募により実施者を選定して実施する。

加えて専門性の高い技術開発項目の評価や実用化の見通しについては、大学等の研究機関や関連する事業に係る事業者などから成る外部有識者の委員会を編成し、今年度より毎年、評価を行う予定である。

また海外の未利用エネルギーの調達などにおいて、外国政府と協力関係を構築する場合などは政府と一体となって対応している。

2.3 研究開発の運営管理

●研究開発の事業進捗管理

研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」についてはプロジェクト評価を行う。評価の時期については、中間評価を平成28年度、事後評価を平成33年度に実施する。なお、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行っている。

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施している。

具体的には、必要に応じて経済産業省と研究開発実施者との意見交換を行い事業推進に反映させると同時に、適時研究開発実施者から実施計画の進捗について水素キャリアや実証内容の違いや水素発電の規模により課題が異なることから各テーマにおいて技術開発項目とその目標を設定し、進捗管理表により適宜フォローを行っている。

●研究開発の進捗管理

NEDOは経済産業省、本事業に関する専門的な知見を有する第三者アドバイザー、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。

なお、研究開発項目Ⅱ（イ）未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築に関しては上記の中間評価と同時期にステージゲート審査を設け、要素技術検討期から詳細設計期への移行に関する第三者委員による判断を仰ぎ、必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを行う。

また、ステージゲート審査以降も経済産業省、NEDO、第三者委員による評価委員会を設け進捗確認を行い年度毎に研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを適切に判断する。なお、運用の詳細については別途定める。

●NEDOと実施者との面談及び意見交換について

サプライチェーンやスマートコミュニティの実証には、他国政府、自治体、他企業など様々なステークホルダーが存在する。彼らとの調整には、事業者に加え、NEDO、経済産業省も係っており、そのような様々な機会において頻繁に面談や意見交換を行っている。

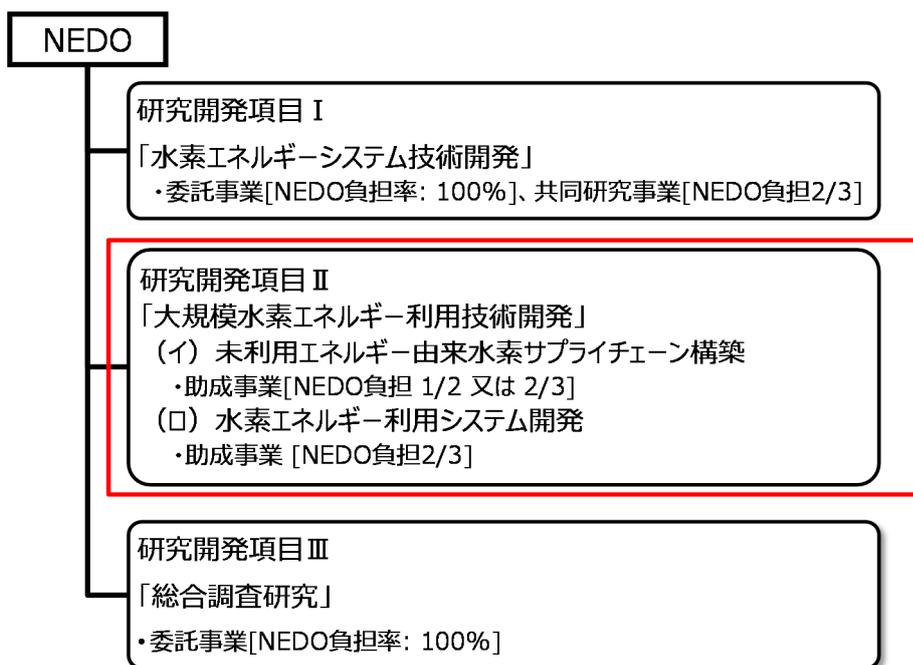
毎年の成果については、年度毎に設定したマイルストーンに対して年度末に提出される中間年報により確認をしている。また予算執行については、毎月事業者それぞれにそれまでの執行状況と今後の見通しを提出させ、計画と乖離がある場合はヒアリングと必要に応じて指導を行っている。

●他事業及び事業内の連携体制について

他事業との連携体制について、関係する事業として「水素利用技術研究開発事業(P130002)」「水素利用等先導研究開発事業(P14021)」「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発(P13001)」「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業(P15001)」があり、事業担当者が兼務または連携して進める。

また、水素社会構築技術開発事業の「研究開発項目Ⅰ」（水素エネルギーシステム技術開発）はロードマップのフェーズ3に対応するものであり、フェーズ2に対応する研究開発項目Ⅱの内容

と密接に連携させる必要がある。よって PM と各主査による毎週の会議において、この研究開発項目 I や他の水素関連事業のテーマと進捗や課題を共有し、課題解決と連携を図っている。



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

本事業は将来の水素サプライチェーンの構築に資する事業であるが、他の事業については水素ステーションならびに FCV の普及に直結する事業を担い、2014 年に開始された FCV の一般販売や水素ステーションの拡大普及に係る技術に資するものである。「水素利用等先導研究開発事業」に関しては 2030 年頃の実用化を目指す長期的な事業であり本事業との関連が深い。

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

本事業の成果により、海外の未利用エネルギーを活用した大規模水素製造（調達）、輸送及び水素発電の実用化に目処が付くことにより、水素を大量に調達・消費する大規模サプライチェーンの構築を見通すことが可能となる。水素流通量の拡大を通じて、プラント引き渡しコストが低減することにより、さらなる水素サプライチェーンの拡大につながり、水素を本格的に利活用する水素社会の実現に大きく貢献する。

本事業においては、これまで世界に例のない褐炭のガス化、大規模かつ継続的な液化水素、有機ハイドライドによる海上輸送、水素発電等をつなぐサプライチェーン技術にめどをつける開発・実証を行うものであり、その実用化についてはリスクが非常に大きいと考えられる。このため、全事業費のうち一部（2/3を上限とする）を助成することとする。

また、本事業が終了する平成32年度以降は成果を最大限に用いて技術的な妥当性の検証をおこないつつ民間投資を最大活用して商用サプライチェーンの構築を目指す。このために本事業内で将来の商用大規模化を見据えることが可能な開発体制としている。

例えば、II-（イ）-（1）のような大量の液化水素の海上輸送は世界初の取り組みのため、実用化・さらには将来の事業化に向けた国際的なルールメイキングへの参加を奨励している。例えば本事業者の働きかけにより、2016年9月5日～9日に開催された国際海事機関第三回貨物運送小委員会において、事業者の提案通り液化水素運搬船の安全要件に関する暫定勧告が承認された。

また発電事業で水素を用いるにはエネルギーとしての水素の供給安定性の確保が必要であるが、II-（イ）-（2）の中では経済面・環境面から有望な水素源の調査を行うなど将来の事業化に向けた対応を行っている。

その他、成果を上げた後の実用化・事業化を優位に進めるために特許等を着実に出願し権利化するよう指導している。また、外部への成果のアピールの為、論文、プレス発表等を積極的に実施することも奨励している。

3. 情勢変化への対応

- 実施体制の変更

Ⅱ- (イ) - (1)は日豪間で液化水素を大量に輸送するという世界初の取り組みのため、国際的な制度設計や安全規制への対応に経験や知見が必要であった。

本テーマは川崎重工業（株）、岩谷産業（株）、電源開発（株）の3社で事業を開始したが、2016年4月の技術研究組合CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構への事業承継の際にシェルジャパン（株）も組合に加わった。これにより液化水素の海上輸送に係る国際的な規制への対応等において、液化天然ガスでの彼らの知識と経験を活かせる体制を整えた。

- ステークホルダーとの関係構築

サプライチェーンの実証においては水素供給国側にも様々な設備が必要であるが、新たに設備を建設する上で、規制対応、住民の受容性向上、資金等に相手国政府や自治体の支援が欠かせない。

支援の具体的な例としては、Ⅱ- (イ) - (1)に関しては、2015年12月18日に日豪首脳会談の共同声明において「水素社会」実現に向けた水素サプライチェーン事業への支持が示された。

- 実施内容の再検討

Ⅱ- (イ) - (1)では、一旦は豪州において褐炭ガス化技術の確立と実証のためのガス化炉の設置を行う方向で検討を行ったが、研究開発の効率性向上と開発費用の抑制が必要となった。

幾つかの方式を検討した結果、日本にある既存のガス化炉において褐炭ガス化技術を確立し、豪州にも実証のための小型ガス化炉を建設することで研究開発リスクの低減と開発費用の抑制を図ることとした。

4. 評価に関する事項

事前評価については、平成 25 年 2 月（研究開発項目 I, II, IV）及び平成 26 年 2 月（研究開発項目 II）に NEDO 新エネルギー部が事前評価書としてまとめ、公開されている。NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成 28 年度に、事後評価を平成 33 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

中間目標に関しては以下の表のとおり達成の見込みである。本事業の最終目標は2030年に未利用エネルギー等から製造したプラント引き渡しコスト30円/Nm³の実現に向けて、事業終了時にそれを見通すことが出来る基盤技術の確立を目指すことであり、その成果によって将来海外の未利用エネルギーを活用し大規模な水素の製造/調達、輸送、水素発電の実用化に目途が付くことにより水素を大量に調達、消費する大規模商用サプライチェーンの確立につながり、水素を本格的に利活用する水素社会の実現、またエネルギーセキュリティの強化に大きく貢献することが可能になると考える。

各プロジェクトの詳細については、2. 4項の研究開発項目毎の成果に掲載。

研究開発項目：

Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
Ⅱ	(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 最終ゴールとなる商用の水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。	(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 2030年頃の大規模水素サプライチェーンの実現に向けて、「液化水素による方式」「有機ケミカルハイドライド法による方式」を適用するための要素技術開発に目途を付けた。そして各々において2020年頃の実現を目指す「実証運用チェーン」の仕様を確定した。	○	・各水素キャリアにおいて実証運用チェーンを構築、運用する中で、技術的・制度的な課題を抽出し、必要に応じて適切な対応を行う。
	(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 各プロジェクトで最終目標としている新技術・システムの確立・技術実証、並びにプラントの基本設計の実施に向けて、基本計画の策定、及び試験条件、解析条件の設定を完了する。	(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 「双方向蒸気融通技術・統合的EMSの確立および1MW級水素CGS技術実証」、並びに「水素混焼割合20%の500MW級水素・天然ガス混焼ガスタービンコンバインドサイクル発電プラントの基本設計の完了」に向けて、各プロジェクトにおいて、基本計画を策定し、基本設計および基礎データを取得した。	○	・各プロジェクトにおいて、機器の設計・調達・工事準備・要素試験等データ取得を順次行い、目標技術の確立・実証試験の実施並びにプラントの基本設計の実施に向けて、適切に作業をすすめる。

2. 研究開発項目毎の成果

各テーマについての成果概要は以下のとおりである。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

中間目標	研究開発成果	達成度
Ⅱ- (イ) -(1)：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」		
1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発 a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 実績のある LNG (Liquefied Natural Gas) 海上輸送タンクと同程度の蒸発量、安全性、耐久性、信頼性、及び製造容易性等を有する液化水素海上輸送用タンクを開発するための要素技術を開発する。 b) 輸送用タンクシステムの開発 a) で実施した内容を踏まえて、輸送用タンクを構造物として、あるいは周辺機器を含めたタンクシステムとして健全に機能することを確認する。 c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 (中間目標は無し) d) 運用試験の実施 液化水素を安全かつ効率的に海上輸送するための運用技術等を開発する。	1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発 a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 ・ 10^{-1} Pa の真空条件下でタンクへの熱流束が $1W/m^2$ となる断熱構成を確認した。 ・揺動に対応したドーム構造と拘束材設計を完了した。 b) 輸送用タンクシステムの開発 ・真空度の経時劣化の傾向を確認し、それを基に防熱仕様を確定した。 c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 (中間目標は無し) d) 運用試験の実施 ・HAZOP/HAZID を実施し、危険要因の把握と追加安全対策の検討を完了した。	○
2. 液化水素荷役技術の開発 a) 液化水素の陸上-海上間輸送技術実証 揺動環境下における液化水素荷役の実現性を検証する。 b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 荷役基地における貯蔵タンク及び配管類を安全、かつ効率的に予冷できるシステム、適切な配管設計手法などを開発する。	2. 液化水素荷役技術の開発 a) 液化水素の陸上-海上間輸送技術実証 ・ローディングシステムの基本設計を完了した。 b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 ・目標蒸発率 0.1wt%/日以下となる貯蔵タンクの基本設計を完了した。 ・HAZOP/HAZID 評価結果を反映した貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの基本設計を完了した。 ・カーゴタンク当たり $200m^3/hr$ 以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備及び基地配管の基本設計を完了した。	○
3. 褐炭ガス化技術の開発 a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討 豪州褐炭の性状を評価し、日本の EAGLE 炉で褐炭ガス化技術の確立を行う上で改造の可否を明らかにする。 b) 化学原料製造向けガス化技術の検討 豪州において CO_2 搬送の試験、日本においてダイレクトクエンチの試験が実施可能な設備を構築する。 c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 (中間目標は無し)	3. 褐炭ガス化技術の開発 a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討 ・3炭種の事前確認試験を行い、その結果を踏まえて前処理設備のフィジビリティスタディを実施した。 b) 化学原料製造向けガス化技術の検討 ・豪州に設置する予定の 2t/d (褐炭処理量) 炉において CO_2 搬送の試験、日本に設置する予定の 20t/d 炉においてダイレクトクエンチの試験が実施可能な設備の設計を行った。 c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 (中間目標は無し)	○

中間目標	研究開発成果	達成度
II- (イ) -(2) : 「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」		
<p>1. 水素化プラントに関する技術開発</p> <p>a) 水素化スケールアップ検討 大型化した水素化反応器のコンピューター流動解析を実施し、運転負荷毎に不均一事象が生じないことを確認する。必要に応じて不均一化を抑制する反応器設計手法を策定する。</p> <p>b) 不純物除去設備の仕様検討 水素の貯蔵・輸送のサイクルにおいて媒体トルエン中に蓄積する不純物の除去設備の仕様を明確化する。</p>	<p>1. 水素化プラントに関する技術開発</p> <p>a) 水素化スケールアップ検討 ・大型化した水素化反応器内部の流速分布の偏りを概ね±5%程度に抑えることが可能なことを示した。</p> <p>b) 不純物除去設備の検討 ・蒸留設備の設計仕様が概ね妥当であることを確認した。</p>	○
<p>2. 脱水素プラントに関する技術開発</p> <p>a) 脱水素スケールアップ検討 大型化した脱水素反応器のコンピューター流動解析を実施し、運転負荷毎に不均一事象が生じないことを確認する。必要に応じて不均一化を抑制する反応器設計手法を策定する。</p> <p>b) 負荷追従性向上策検討 脱水素プラントをモデル化したダイナミックシミュレーションを実施して負荷追従性を検証する。そして想定需要要件において求められる負荷変動への対応方法を明確化する。</p> <p>c) 水素純度向上策検討 想定需要要件において求められる水素純度を実現するための方策を明確化する。</p> <p>d) 触媒商用生産課題検討 商業規模において製造した脱水素触媒が所定の性能を発揮出来ることを確認する。</p>	<p>2. 脱水素プラントに関する技術開発</p> <p>a) 脱水素スケールアップ検討 ・大型化した脱水素反応器内部の流速分布の偏りを概ね±5%程度に抑えることが可能なことを示した。</p> <p>b) 負荷追従性向上策検討 ・水素ガスホルダーを設置することで、現計画の設備仕様でもガスタービン発電が要求する負荷変動に追従出来ることを確認した。</p> <p>c) 水素純度向上策検討 ・PSAにより燃料電池自動車及び定置用燃料電池に要求される水素純度に精製可能であることを確認した。</p> <p>d) 触媒商用生産課題検討 ・商業規模製造設備を用いて試作した結果、小規模設備による脱水素触媒と概ね同等の性能の触媒を製造可能であることを確認した。</p>	○
<p>3. サプライチェーン全体運用に関する技術開発</p> <p>a) 商用トルエン運転検証 デモプラント (50Nm³/hr) において、商業規模で調達可能なトルエンを用いた運転実証を行う。</p> <p>b) サプライチェーン検討 水素サプライチェーン全体をモデル化して水素供給安定性を検証し、各種設備の規模や冗長性の最適化を行う。</p> <p>c) 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件の検討 火力発電設備に水素を燃料として供給する際に必要となる設備仕様とオペレーション要件を明らかにする。</p>	<p>3. サプライチェーン全体運用に関する技術開発</p> <p>a) 商用トルエン運転検証 ・商業規模で調達・使用可能なトルエンを選定した。</p> <p>b) サプライチェーン検討 ・貯蔵タンクや輸送タンカーなどの設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する手法を確立した。</p> <p>c) 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件の検討 ・脱水素設備からの製品水素に含まれる微量のトルエン等がガスタービンに与える影響の評価手法を確立した。</p>	○
II- (ロ) -(1) : 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」		
<p>1. 統合型 EMS の開発 ・ EMS の確立に向けた基本計画の策定。</p>	<p>1. 統合型 EMS の開発 エネルギー供給設備の工事計画概要を整理した基本計画の策定が完了し熱・電供給方法、経路を確定した。</p>	○
<p>2. 水素 CGS の開発 水素 CGS (水素を燃料とする 1MW 級ガスタービン発電設備) の製作・設置に向けた運転条件・法規制等の制約条件のまとめ・洗い出しを完了。</p>	<p>2. 水素 CGS の開発 水素 CGS の製作・設置に向けた実負荷運用条件、システム構成、環境条件等の運転条件、電事法、高圧ガス法等の適用方針のまとめ・洗い出しが完了した。</p>	○

中間目標	研究開発成果	達成度
II-(ロ)-(2):「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」		
1. 水素・天然ガス混焼におけるデータベースの構築・燃焼シミュレーション a) 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築のため、計測装置の設計を完了。 b) 同条件での着火遅れ時間計測の完了。 c) 燃焼シミュレーションの高度化のための、燃焼モデルパラメータの調整感度確認完了。	1. 水素・天然ガス混焼におけるデータベースの構築・燃焼シミュレーション a) 水素濃度と燃焼速度の大まかな傾向を把握した。 b) 水素濃度と圧力変動に伴う着火遅れ時間を把握した。 c) 燃焼シミュレーションの高度化のため、乱流モデルの非燃焼・非定常解析結果により、流速分布・燃料濃度分布の予測精度±20%以内であることを把握した。	○
2. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術 a) 水素混焼割合 20%における、定格運用条件での安定運用の可能性確認。	2. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術 a) 水素混焼割合 20%において、定格運用条件での安定燃焼条件を把握した。	○
3. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 a) 配管機器・材料への水素適用影響調査の完了。	3. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 a) 配管機器・材料への水素の影響を把握し、適用材料の絞り込みを行うことができた。	○

◇ 研究開発成果の意義

(1) 成果の市場性

事業完了後の 2030 年に海外未利用エネルギーから製造したプラント引き渡しコスト 30 円/Nm³の達成に資する。この成果を生かし一貫通貫の未利用水素サプライチェーンを世界に先駆けて構築することが可能になると考える。

(2) 成果の水準

世界に先駆けて大規模水素サプライチェーンの構築に係る基盤技術が確立され、水素製造、海上輸送等に関する国際標準、技術規格等の議論をリードすることができる。引き続きこれらの国際議論をリードするためには継続的な技術検討のみならず実証を通しての情報収集、国内外の関係機関・事業との連携が必要である。

(3) 成果の汎用性

大規模サプライチェーンが構築されることにより 2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入が世界に先駆けて開始される。またその時期には国内で 22 万台程度（※1）普及していると見込まれる FCV への安価な水素の供給も可能になる。（※1：富士経済「2016 年版燃料電池関連技術・市場の将来展望」による）大規模な水素の貯蔵、輸送の技術基盤が確立されることにより、海外からの水素のみならず国内で様々な検討が進んでいる再生可能エネルギーの導入に関しても大きく貢献する。

(4) 他の競合技術と比較しての優位性

水素は製造原料の代替性が高く多様な1次エネルギーから様々な方法で製造することができるため、1次エネルギーとしての調達が多様性を持つ。本事業の成果が普及し地政学的なリスクが低い地域からの水素の導入が進めば、エネルギー自給率の向上を通じてエネルギーセキュリティの強化につながると同時に温室効果ガス排出の抑制につながる。

◇ 特許、論文、外部発表等の件数

本事業での特許、論文、外部発表等の件数はH28年7月末で以下の表のとおりである。論文発表、研究発表等は順調に成果をあげ、特許出願については今年度までに既に5件に達した。今後審査請求を通して、積極的な権利化を進める予定である。

研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」

	H27	H28	H29	H30	H31	H32	計
論文	0	0					
研究発表・講演	16	20					
受賞実績	0	0					
新聞・雑誌等への掲載	2	2					
展示会へ出展	16	0					
特許出願	4	1					
うち外国出願	0	0					

※平成28年7月末現在

最終年度である平成 32 年度末までの達成見通しは以下のとおりである。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

	最終目標（平成 32 年度末）	達成見通し
Ⅱ-（イ）-（1）：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」		
1.	液化水素の長距離大量輸送技術の開発 世界初の液化水素の長距離大量海上輸送システムの構成要素である液化水素輸送用タンクの構造や断熱性能といった仕様決定に必要な要素技術を開発する。そして輸送用タンクシステムの断熱技術、使用機器、及び安全な運用システムを明確化し、海洋構造物に設置して液化水素の海上輸送を行うことが可能な試験設備を開発する。	1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発 平成 28 年度までに液化水素の大量輸送に係る要素技術の開発と 2020 年度の実証チェーンに用いる輸送用タンクシステムの基本設計を完了する予定である。その後、試験設備を製作し、同サイズの LNG 内航船の輸送用タンクと比較しつつ商用規模へのスケールアップに向けた解析を行うことで、最終目標を達成可能な見通しである。
2.	液化水素荷役技術の開発 世界初の液化水素の長距離大量海上輸送システムを実現するのに必要な荷役技術として、ローディングシステムの仕様及び安全な運用技術を開発する。そして液化水素輸送用タンクと陸上の貯蔵用タンクの間で荷役試験を行えるような試験設備を開発する。	2. 液化水素荷役技術の開発 平成 28 年度までに液化水素の荷役基地に係る要素技術の開発と運用技術の取得を完了する予定である。その後、荷役試験を行えるような試験設備を製作し、実際に液化水素を用いて性能を確認することで、最終目標を達成可能な見通しである。
3.	褐炭ガス化技術の開発 豪州褐炭の乾燥設備、ガス化炉、及び安全な運用技術を検討し、褐炭ガス化システム技術を確認する。	3. 褐炭ガス化技術の開発 平成 28 年度までに褐炭ガス化システム構築に向けて必要なデータ取得等を完了する予定である。今後、実証試験を行うことで最終目標を達成可能な見通しである。
Ⅱ-（イ）-（2）：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」		
1.	水素化プラントに関する技術開発 商用水素サプライチェーンの本格的な運用を想定し、数万～数十万 Nm ³ /hr 規模の水素化プラントにおいて、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術を確認する。そして 2020 年頃に貫した「実証運用チェーン」の運転を行う。	1. 水素化プラントに関する技術開発 平成 28 年度までに水素化反応器のスケールアップの設計手法の確立と蒸留設備の設計仕様の妥当性確認を完了する予定である。その後、これらの結果を活用して試験設備を製作し、実証の中で課題を抽出、対応することで、最終目標を達成可能な見通しである。
2.	脱水素プラントに関する技術開発 商用水素サプライチェーンの本格的な運用を想定し、数万～数十万 Nm ³ /hr 規模の脱水素プラントにおいて、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術を確認する。そして 2020 年頃に貫した「実証運用チェーン」の運転を行う。	2. 脱水素プラントに関する技術開発 平成 28 年度までに脱水素反応器のスケールアップ等の要素技術開発の目途付けを完了する予定である。その後、設計段階で追加ケーススタディによる精度向上、製作した試験設備を用いた実証の中で課題抽出と対応を行うことで、最終目標を達成可能な見通しである。
3.	サプライチェーン全体運用に関する技術開発 水素エネルギーの本格普及期におけるエネルギー輸送チェーンの商業運用を念頭に、実用性・信頼性を備えたサプライチェーン構築に資する基盤技術を確認する。	3. サプライチェーン全体運用に関する技術開発 平成 28 年度までに本格普及期における水素発電事業者のニーズに対応するのに必要な技術基盤は整う予定である。また商用トルエンの性能などは実証チェーンの中で評価することで、最終目標を達成可能な見通しである。
Ⅱ-（ロ）-（1）：「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」		
1.	統合型 EMS の開発 a) 単管の蒸気配管で大規模に蒸気を双方向利用する技術を確認する。 b) 電気、熱、水素を総合管理し、経済性、環境性を確保できるエネルギーマネージメントシステムを確認する。	1. 統合型 EMS の開発 a) 双方向蒸気融通に対応した蒸気配管の構成を研究し、実証を通じて技術の確認が可能である見通しである。 b) 電気、熱、水素の総合管理のために、クラウドを活用し最適なエネルギーマネージメントシステムを構築して実証を行い、目標を達成可能な見込みである。

最終目標（平成32年度末）	達成見通し
2. 水素 CGS の開発 水素を燃料とする 1MW 級ガスタービン発電設備を製作設置し、水素 CGS 技術実証を行う。	2. 水素 CGS の開発 実証運転で取得するデータの評価により、水素を燃料とした専焼及び混焼の安定的な運転が確保可能な見込みである。
II - (ロ) -(2) : 「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」	
1. 水素・天然ガス混焼におけるデータベースの構築・燃焼シミュレーション a) 高圧条件において水素混焼割合の変化が燃焼速度へ与える影響を解明する。 b) 高圧条件において水素混焼割合の変化が自己着火遅れ時間へ与える影響を解明する。 c) 水素混焼条件での予測精度±20%を達成する。	1. 水素・天然ガス混焼におけるデータベースの構築・燃焼シミュレーション a) 計測試験装置を改良して、高圧条件への対応により影響解明を達成可能な見通しである。 b) 同上 c) 燃焼解析モデルのパラメータ調整により達成可能な見通しである。
2. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術 水素混焼割合 20%条件において、天然ガス燃焼ガスタービンと同等の効率および裕度の確保を達成する。	2. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術 逆火耐性向上のための改良設計により、更なる高水素混焼割合においても、天然ガス燃焼ガスタービン並みの運転裕度の確保可能な見通しである。
3. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 水素混焼ガスタービン発電プラントの基本設計を完了する。	3. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 検討範囲を機器選定および運用制御に順次拡大して達成可能な見通しである。

IV. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

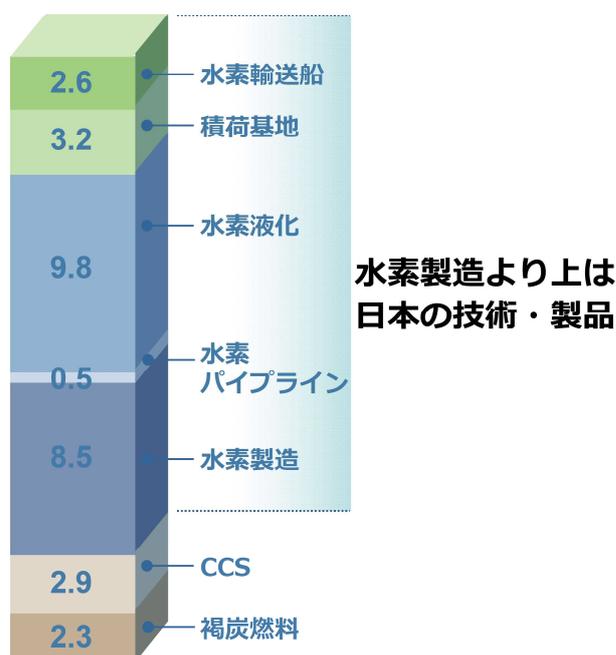
経済産業省 資源エネルギー庁によって平成 26 年 6 月に策定され平成 28 年 3 月に改訂された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」において 2020 年代後半から 2030 年頃までを水素発電の本格導入/大規模な水素供給システムの確立の時期ととらえ水素需要をさらに拡大しつつ、水素限を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな 2 次エネルギー構造を確立する「フェーズ 2」期としている。

本事業はその達成に向けて、開発・実証の加速化を図り、水素供給国との戦略的な協力関係を築き、需要拡大を見据えた安価な水素価格の実現を具体化するために、水素発電、水素サプライチェーンの技術基盤を確立しようとするものである。水素キャリアとしての液化水素と有機ハイドライドのそれぞれについて、大規模水素サプライチェーンを構築する上で必要な要素技術の開発に一定の目途を付けることが出来た。また水素コストについては、ロードマップに記載されている 30 円/Nm³程度、つまり発電コストで 17 円/kWh 程度を実現するための基盤技術が確立しつつある。

今後は本事業の中で 2020 年頃に向けてファーストチェーンを構築・運用することにより、開発した技術の性能確認、課題抽出とその解決を行うと共に、コスト見通しの精度向上を図る。

【試算内訳例】

プラント引き渡しコスト 29.8円/Nm³



出典：「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト 低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム（水素チェーンモデル）の実現可能性に関する調査研究」、NEDO（委託先：川崎重工業(株)）、2012.4 *流動床ガス化炉を前提とした川崎重工業試算例

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

項目	実用化の見通し
<p>[2/3 助成] Ⅱ- (イ) -(1): 「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」</p>	<p>「液化水素」による水素サプライチェーンの構築については 2016 年度中に要素技術開発に一定の目途が付く見込みである。その後は 2020 年頃までに構築するファーストチェーンでの実証において、輸送用タンク、ローディングシステムなどの性能確認、褐炭ガス化システムの適用性確認などを行うことで実用化の見通しを得ることが可能となる。</p> <p>また水素コストについては、既にフィジビリティスタディの中で 2020 年代後半の水素コスト 30 円/Nm³ (炭素回収・貯留を含む) を実現する見通しを得ているが、ファーストチェーンの実証により更にその精度を高めることが出来る。</p>
<p>[2/3 助成] Ⅱ- (イ) -(2): 「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」</p>	<p>「有機ケミカルハイドライド法」による水素サプライチェーンの構築については 2016 年度中に要素技術開発に一定の目途が付く見込みである。その後は 2020 年頃までに構築するファーストチェーンで実証を行う中で制度的・技術的な課題を洗い出し、適宜必要な対応を取ることで、技術的基盤を確立し実用化の見通しを得ることが可能となる。</p> <p>また水素コストについては、水素需要の拡大を受けた設備のスケールアップによる単位当たり固定費の低減、触媒の改良、脱水素プラントにおける熱の有効利用などによりロードマップ記載の 2020 年代後半の水素コスト 30 円/Nm³を見通すことが出来る。</p>
<p>[2/3 助成] Ⅱ- (ロ) -(1): 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」</p>	<p>これまでに事業者にて実施した 1MW 級水素 CGS 活用スマートコミュニティ構想検討事業の事業性評価で、一定の事業性を確保できる見通しを得ている。今後、事業者が CO2 削減を考える際に、水素発電は最も効果的な手段として大きな需要が見込まれ、「電気」「熱」を統合的に供給する設備では「水素」の環境性能を維持しつつ経済性を確保するために最適な運用モデルと熱融通技術が不可欠であると考えられるため、本事業での技術開発および実証の取組が重要である。</p> <p>今後の実用化に向けて、現段階でも一部の電熱供給事業においては経済性を担保する運用モデル及び熱融通の要素技術は活用できると思われる。さらに、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、水素・燃料電池戦略ロードマップで 2020 年代には海外からの大規模な水素導入が始まり、自家発電向けに水素発電の普及が進むと示されるように水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。</p>
<p>[2/3 助成] Ⅱ- (ロ) -(2): 「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」</p>	<p>これまでの研究・開発の成果により、世界最高水準の発電効率を達成可能な条件で天然ガス中に水素 20vol%を混焼運用可能な目途が得られた。また、水素と天然ガスの混焼に対する基礎的な燃焼特性の解明が進みつつある。その知見を活用し、燃焼器の改良設計を進める事で、天然ガス焚きガスタービンと同程度の安定裕度、さらには 20vol%以上の高濃度水素混焼への対応へとステップを進めていく。</p> <p>実用化までのマイルストーンとしては、2018 年度までに本事業を通して水素・天然ガス混焼プラントの基礎設計を完了し、受注活動を開始する見込みである。さらに、2025 年度を目途にプラントの実証運転の完了を目指す。</p>

(添付-1)

各研究開発項目の詳細

研究成果詳細目次

研究開発項目Ⅱ：大規模水素エネルギー利用技術開発

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

- Ⅱ - (イ) -① 未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業 1
- Ⅱ - (イ) -② 有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証 31

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

- Ⅱ - (ロ) -① 水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業 54
- Ⅱ - (ロ) -② 低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発 60

(Ⅱ-イ-①)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 助成先：技術研究組合 CO2リーク素アライエーン推進機構 (HYSTRA)」
 未利用褐炭海上輸送サブライエーン構築実証事業」

●成果サマリ (実施期間：平成27年度～平成32年度終了)
 ・液化水素の長距離大量輸送技術の開発において、液化水素輸送タンクシステムに関する海上輸送を考慮した断熱システムの開発及び設計を終了するとともに、タンクシステムの設計を完了した。
 また、周辺機器として液位計等の成立性を確認し、HAZOP/HAZIDによる安全対策の設計への反映を完了した。
 ・液化水素荷役技術の開発において、揺動環境下におけるローディングシステムの基本設計を完了するとともに、蒸発量予測手法を開発し、タンク及び配管設計に反映し、基本設計を完了した。
 また、HAZOP/HAZIDによる安全評価を実施し、基本設計への反映を終了した。
 ・ガス化技術の開発において、EAGLE炉への高炉褐炭への適用性検討を実施し、褐炭性状を把握するとともに、20t/dガス化炉については、褐炭輸送方法を検討した。さらに、2t/dガス化炉ではCO2輸送が、20t/dガス化炉では、タインクエンジンの試験可能な装置設計を実施した。

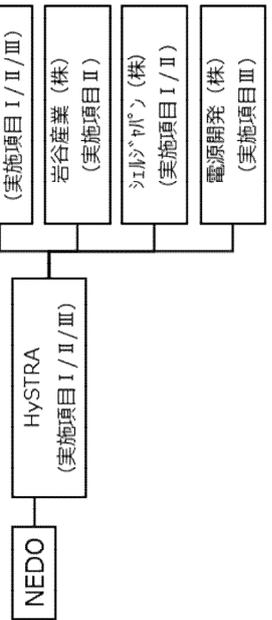
●背景/研究内容・目的

2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サブライエーン(水素製造・液化水素貯蔵・液化水素船積輸送・水素の発電利用)の実現を見通すために、現状のLNG内航船と同規模の輸送用タンクに①液化水素の長距離大量輸送技術、それに対応する②液化荷役技術、及び高炉の未利用エネルギーである褐炭を用いた③褐炭ガス化技術の研究開発を行う。

●研究目標

実施項目	目標
I：液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクの開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
II：液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素荷役技術の開発 ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
III：ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 褐炭ガス化炉の開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

実施項目	実施内容／研究成果
I：液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 【液化水素海上輸送システムの要素技術の開発】 <ul style="list-style-type: none"> 10・1peの真空条件下でタンクへの熱流束が1W/m²となる断熱構成を確認した。 揺動に対応したトーム構造と船東材設計を完成した 【輸送用タンクシステムの開発】 <ul style="list-style-type: none"> 真空型の短寿命化の傾向を確認し、これを避ける防熱仕様を確定した。 使用する素材の破壊靱性を検討し、タンク構造の強度を確認した 船所により異なる運送時間(27時間)が可能であることを確認した LNGで乗積のある貯蔵の液面が液化水素中でも適用可能であることを確認した 【運用試験の実施】 <ul style="list-style-type: none"> 運用試験を準備した安全評価書を策定し、危険要因の把握と追加安全対策の検討を完了した 船積 (日本海事協会) と機器の承認手順について確認した
II：液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 【液化水素の陸上、海上間移送技術実証】 <ul style="list-style-type: none"> 0・7 t/dのタンクの基本設計を完了した(荷役流量:200m³/h以上、横方向移動距離:送液時 1.5m、接液時 2.7m) 【荷役基地におけるオペレーション技術の開発】 <ul style="list-style-type: none"> 目標稼働率0.1wt%/日以下となるタンクの基本設計を完了した 安全性評価結果を反映した貯蔵タンク及び配管の予冷システムの基本設計を完了した ホークが当200m3/h以上の荷役流量を目標とした陸上・海上間輸送設備及び基地配管の基礎設計を完了した
III：ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 【EAGLE炉への高炉褐炭の適用性検討】 <ul style="list-style-type: none"> 12t/dガス化炉：褐炭性状把握及び500kgの事前確認試験結果を踏まえ前処理設備のFSを実施した。また、高炉褐炭法靱性調査により今後の対応を明確化した 120t/dガス化炉：褐炭輸送方法を検討した 【化学原料製造向けガス化技術の検討】 <ul style="list-style-type: none"> 12t/dガス化炉でCO2輸送が、「20t/dガス化炉」でタインクエンジンの試験が可能となるよう設計中である

●今後の課題

【実施項目 I 及び II】
 特になし。今後は基本設計に基づき製作及び建造を進める。
 【実施項目 III】
 「2t/dガス化炉」に関しては試験候補サイトの絞り込み及び試験実施連携体制の構築
 「20t/dガス化炉」に関しては褐炭輸送方法の絞り込み

●実用化・事業化の見通し

水素・燃料電池戦略ロードマップ、地球温暖化対策計画などから二酸化炭素の削減技術であり、本事業により、成立性が高いことが認識されるため、事業の可能性は十分に高いと考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
I	液化水素輸送用タンクの基本設計を完了した	○
II	液化水素のローディングを含めた荷役技術の基本設計を完了した	○
III	「2t/dガス化炉」、「20t/dガス化炉」の開発検討を実施した	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	38	0

課題番号：Ⅱ-（イ）-①

研究開発名：

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発
／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

1. 研究開発概要

豪州側にて水素製造～水素液化～液化水素積荷を行い、日本側において揚荷～水素ガスタービン発電を行う製造・貯蔵・輸送・利用一体となった液化水素サプライチェーン（図 1）の構築を目指し、本事業ではこれを構築する上で重要な 3 つの技術について研究開発を行う。

- ✓ 液化水素の長距離大量輸送技術の開発
- ✓ 液化水素荷役技術の開発
- ✓ 褐炭ガス化技術の開発

水素ガスタービン発電については、水素の大規模需要先として重要な技術であり、一貫したチェーンを構築するために、研究開発の検討を行う。

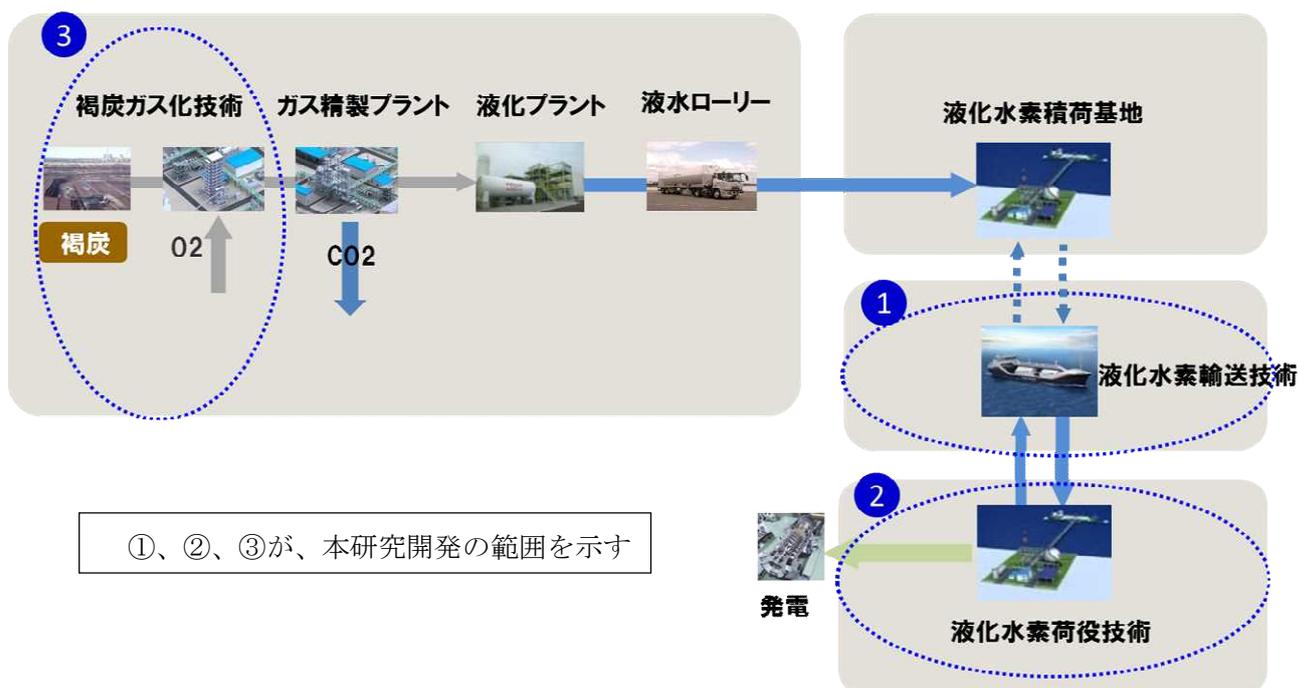


図 1 液化水素チェーンの概要

2. 研究開発目標

研究開発を行う3項目について、各項目の目標を以下に示す。

2. 1 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

海上航行するタンクシステム（タンク及び周辺機器類）は以下の点で、陸上用の貯蔵タンクとは異なっており、設計・製作・検査のためには異なる構造や技術が必要となる。

- ・波浪により揺動するため、貯蔵タンクに採用される粉体断熱材が使えないこと
- ・波浪による揺動で海洋構造物が変形し、タンクシステムに荷重が負荷されること
- ・検査員の目視による内槽内面の健全性確認の必要性があること
- ・機器故障対応への制約が強いこと等

上記を考慮した上で、実績のある LNG (Liquefied Natural Gas) 海上輸送用タンクと同程度の蒸発量、安全性、耐久性、信頼性、及び、製造容易性等を有する液化水素海上輸送用タンク（以下、「輸送用タンク」と記載する）を実現するために必要となる要素技術を開発する。液化水素を長期間海上輸送する場合、液化水素の蒸発を抑制するためには入熱を抑えることが必要であり、基本的にはタンクを二重構造にして、内槽と外槽の間を真空にすることが必要となる。これを大型の海上輸送用タンクで実現するために、断熱材の開発、真空度維持システムの開発、タンク構造の最適化、及び、内槽支持構造の信頼性検討を実施する。

次に、上記で実施した内容を反映して、輸送用タンクが構造物として、あるいは、周辺機器を含めたタンクシステムとして健全に機能するように、基本設計を行う。

これらによって得られた成果の有効性を検証するため、輸送用タンクシステムの詳細設計および製造を行う。これらを着手する前に、それまでに得られた検討結果から試験設備の仕様を決定し、設計・製造・検査・実証試験するための費用、実施スケジュール等を定量的に評価して、試験設備の詳細設計・製造に着手するか否かをステージゲートによって評価する。

最後に実証試験を実施し、液体水素を安全かつ効率的に海上輸送するための運用技術等を確立する。

a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

世界初の極低温（ -253°C ）液化水素海上輸送システムの主要仕様を選定するため要素技術として以下の試験開発を実施する。

実施項目	目標
a)-① 揺動環境下で適用する断熱材の開発	豪州からの海上輸送期間中に極低温(-253°C)の液化水素を保持する断熱性能 ($2\text{W}/\text{m}^2$ 以下) を発揮する断熱材と高真空性能維持システムが見出されて、仕様が決定されていること。
a)-② 高真空度維持システムの開発	
a)-③ タンク構造の最適化	開放検査に対応した極低温液化水素輸送用タンクの基本設計が完了し、十数年程度の長期間の日豪間輸送に耐えられる仕様を決定していること。
a)-④ 輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価	

a)-① 揺動環境下で適用する断熱材の開発

真空層内部には、輻射熱を考慮した断熱構造、及び、波浪による揺動に対しても断熱構造の性能が確保されることが必要である。これを実現するための断熱材を開発する。

目標としては、LNG の海上輸送用タンクと同程度の蒸発率とタンク容積を基準として、想定される入熱量と表面積から、熱流束を $2\text{W}/\text{m}^2$ と定めた。

a)-② 高真空度維持システムの開発

海上輸送期間中の液化水素の蒸発量を許容量以下に抑えるためには、輸送用タンク真空断熱層の真空度を高いまま維持することで、輸送用タンクの断熱性能を維持する必要がある。この高真空度維持の技術を開発する。

目標とする真空度は、a)-①で目標とする熱流束 $2\text{W}/\text{m}^2$ に必要なものとした。

a)-③ タンク構造の最適化

海上輸送用タンクは、定期検査時に行われる開放点検に対応するため、構造的に、検査員が出入りできるようマンホールが必要となる。しかも、このマンホールは断熱のために採用する真空二重構造を貫通するように設置することが必要である。そこで、真空層を保持しつつ、液化水素の出し入れによる熱変形や波浪による揺動等に対しても内槽と外槽との相対変位を許容できる構造を開発する。

目標としては、商用の際に想定される十数年程度の長期間の日豪間輸送時に耐えられることとした。

a)-④ 輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価

輸送用タンクでは、真空層を構成する内槽と外槽の相対距離を一定に保つため、支持構造が必要となるが、熱伝導による入熱を最小化するための素材選定が重要である。さらには、想定される輸送中の荷重変動に対して長期間安定して機能を発揮することが求められる。これらを満足する内槽支持方法を開発する。

目標としては、日豪間輸送時の荷重に耐えられ、なおかつ十数年程度の長期間運用による疲労にも耐えられることとした。

b) 輸送用タンクシステムの開発

上述の要素技術を用いた上で、以下の技術項目を考慮して、輸送用タンクシステムの基本設計と機器選定を行う。

実施項目	目標
b)-① 海上輸送時の液化水素蒸発量予測・制御技術の開発	・ 蒸発量予測技術に基づいて、輸送タンクの基本設計が完了していること。
b)-② タンクシステムの構造健全性の検証	・ メンテナンス（開放検査）に対応した液化水素輸送用タンクの基本設計が完了していること
b)-③ 検査対応ガス置換技術の開発	・ 開放検査時に必要な水素⇄空気への効率的な置換手順が明らかになっていること。 ・ 置換手順が実施可能な設備設計となっていること。
b)-④ 周辺機器・計装品類の	・ 主要な機器や計器を必要なタイミングで入手できる

検証	見通しを得ていること。
----	-------------

b)-① 海上輸送時の液化水素蒸発量予測・制御技術の開発

海上輸送時の液化水素の蒸発量は、タンク壁面からの熱伝達による入熱のみならず、貫通配管や支持部材からの入熱等によって影響を受けるため、これらを考慮した蒸発量予測技術を開発する。

目標としては、輸送タンクの基本設計が完了していることとした。

b)-② タンクシステムの構造健全性の検証

海上輸送用タンクは、真空断熱層への貫通部材等がある複雑な構造物である一方で、波浪によって揺動し、液化水素の出し入れによって繰り返し熱変形する過酷な環境で使用される。こうした環境下で、構造的な健全性を長期間にわたって保つことができることを検証する。さらに、複雑な構造物である輸送用タンクを製作するために必要となる溶接・加工・検査技術について検討する。

目標としては、輸送タンクの基本設計が完了していることとした。

b)-③ 検査対応ガス置換技術の開発

輸送用タンクは定期的な開放検査することが義務付けられており、この検査においては、タンク内部を水素から空気に変換する必要があるため、それを効率的に実施する方法を開発する。

目標としては、置換手順が実施可能な設備設計となっていることとした。

b)-④ 周辺機器・計装品類の健全性の検証

輸送用タンクシステムに必要なタンクに付随する周辺機器及び計装品類について、極低温液体として実績のある LNG 用の周辺機器・計装品類と同程度の性能、耐久性、及び、安全性等を有するものを液化水素用に開発する。開発要素のある海上用周辺機器や計装品類としては、液化水素ポンプ、気体水素圧縮機、温度センサ、蒸発器、加温器、海上用液化水素バルブ等が想定される。

目標としては、主要な機器や計器を必要なタイミングで入手できることとした。

c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査

研究開発項目 a) と b) によって得られた成果の有効性を検証するため、輸送用タンクシステムを設計する。なお、本項目に着手する前には、それまでに得られた検討結果により、試験設備の仕様を決定し、設計・製造・検査・実証試験の実施費用、実施スケジュール等を定量的に評価してから、試験設備の設計・製造に着手する。

実施項目	目標
c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査	・ a)、b)の結果を受け、設計・製造・検査・実証試験の実施費用、実施スケジュール等を定量的に評価してから、試験設備の設計・製造に着手する。

d) 実証試験の実施

液体水素を安全かつ効率的に海上輸送するための運用技術等を開発する。

d)-① 安全対策システムの開発

万が一の機器故障等に備えた安全対策技術を開発する。

実施項目	目標
d) 安全対策システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対応すべき許認可等の運用試験実施条件及び関連法規への対応が明らかになっていること。 ・ 危険要因が把握され、それに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること

2. 2 液化水素荷役技術の開発

世界初の液化水素の長距離大量海上輸送システムを実現するために必要となる、液化水素荷役技術の開発を行う (a)。また、ローディングシステム及び安全な運用技術を検討し、船舶の液化水素輸送用タンクとの荷役試験を行えるような試験設備を開発する (b-①、②、③)。

HySTRA に所属する川崎重工(株)は国内最大の液化水素貯蔵設備 (JAXA 殿 600m³ x 3 基) の納入実績を有するほか、国内の液化水素貯蔵設備に大型タンク (300m³) 及び輸送設備 (40ft コンテナ) の納入実績を有する。

岩谷産業(株)は、現在日本国内で液化水素の製造設備として3工場を運営しており、液化水素製造・貯蔵設備に関して運用実績のある会社である。

また、川崎重工業(株)は、液化水素用ローディングシステムに関しても、概念検討を行っている。

これらの実績を用いて、より大規模な海上輸送用の荷役技術を開発することを目標として設定した。

a) 液化水素の陸上－海上間移送技術実証

世界初の極低温(-253℃)液化水素の陸上－海上間輸送技術を実現する。

a)-① 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

効率的な窒素⇄水素の置換技術及び揺動環境下において接続できる真空二重継手を開発する。

実施項目	目標
a)-①揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証	<p>波浪で揺動する海上と陸上間の荷役を行う液化水素用のローディングシステムの実現性を検証する。中間目標は以下2点とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 極低温 (-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムとして、現行 LNG 基地における荷役時間をベースに設定したカーゴタンク当り 200m³/h 以上の荷役流量を目標とした基本設計が完了していること。 ・ 揺動環境下で使用することを想定して、現行 LNG 基地での荷役手順をベースに設定したローディングシステムの横方向可動範囲：送液時 1.5m、接続時 2.7m を目標とした基本設計が完了し

	ていること。
--	--------

b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発

液化水素の海上大量輸送に対応できる規模でのオペレーション技術の確立に必要な以下の技術開発を行う。

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

液化水素の海上大量輸送に対応できる規模でのオペレーション技術の確立に必要な的確な蒸発量予測手法の開発を行う。

b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

液化水素の海上大量輸送に対応できる規模でのオペレーション技術の確立には、大きな蒸発損失が発生する予冷作業を適切に行うことが重要となる。なお、液化水素が通液する設備と、上記の予冷作業最適化といった運用方法を合わせて予冷システムと呼んでいる。また、LNG 等と比較しても極めて低温である液化水素の運用においては、急激に設備の一部分のみが冷却されると熱収縮量に偏りが生じ、それが原因でタンクや配管が破損する恐れがあることも考慮し、予冷システムの開発を行う。

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

液化水素は非常に蒸発しやすいため、移送中の管内で気液二相流を生じる可能性がある。二相流は管内の流動に影響を及ぼすため、その影響を推算し、実際の管内流動との比較検証を行う。

実施項目	目標
b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発	・ 配管入熱 40W/m を条件とし、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した配管設備（ローディングシステム部含む）、および目標蒸発率 0.1wt%/日以下の液化水素貯蔵タンクの基本設計を完了すること。
b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発	・ 上記予冷システムの基本計画を完了すること。
b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証	・ 現行 LNG 基地における荷役時間をベースに設定したカーゴタンク当り 200m ³ /h 以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の基地配管に関する基本設計が完了していること。

2. 3 褐炭ガス化技術の開発

HySTRA に所属する電源開発(株)は石炭ガス化 EAGLE プロジェクトを国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と共同で実施しており、これまでに高い冷ガス効率を持ち幅広い炭種に適用可能な酸素吹石炭ガス化炉 (以下、EAGLE 炉) を開発するとともに、ガス化運転技術の確立を行ってきている。現在、中国電力(株)とともに大崎クールジェンプロジェクトを実施中であり、従来の約 8 倍スケールアップした EAGLE 炉の実証を行っていくこととしている。

これらの実績を踏まえて、褐炭ガス化技術を確立することを目標として設定した。本研究開発において、褐炭ガス化技術開発を行い、これまでの豊富な実績と組み合わせることで、将来の大型褐炭ガス化設備の実現を見通すことが可能になる。

a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討

a)-① 褐炭前処理技術の検討

最大 3 炭種の事前乾燥・粉砕試験を実施し、安全性・運用性の確認を行うと共に、設計に必要なデータを採取する。また、その組み合わせによる褐炭前処理設備に関するフィジビリティスタディ実施する。

a)-② 褐炭ガス化評価

豪州褐炭の性状分析を行いその特徴を把握すると共に、豪州ビクトリア州ラトローブバレーに設置する小型ガス化試験設備及び日本の EAGLE 試験設備への影響を検討する。また、小型ガス化試験設備と同規模の国内ガス化試験設備を用いて 1 炭種以上の褐炭ガス化事前確認試験を実施し、安全性・運用性の確認を行うと共に、設計に必要なデータを採取する。

a)-③ EAGLE 炉への適用性評価

褐炭性状分析、事前乾燥・粉砕試験、褐炭ガス化事前確認試験等の結果を踏まえ、EAGLE 試験設備改造の要否及び改造内容について検討する。

実施項目	目標
a)-① 褐炭前処理技術の検討	<ul style="list-style-type: none"> ■2t/d 炉 (褐炭原炭相当 豪州小型ガス化試験設備) ・安全性、運用操作を考慮した FS が実施されていること
a)-② 褐炭ガス化評価	<ul style="list-style-type: none"> ・最大 3 炭種の事前確認試験を行い、1 炭種以上ガス化実証試験が実施
a)-③ EAGLE 炉への適用性評価	<ul style="list-style-type: none"> できる目途をつけること ・豪州関連法規への対応が明確になっていること ■20t/d 炉 (褐炭原炭相当 EAGLE 試験設備) ・改造要否の検討がなされていること

b) 化学原料製造向けガス化技術の検討

b)-① CO2 による褐炭運搬システムの検討

豪州小型ガス化試験設備に褐炭を CO2 により運搬が可能となるようなシステムを導入するよう検討する。

b)-② ダイレクトクエンチ方式を用いた褐炭ガス化技術の検討

ガス化ガスの冷却方式として日本の EAGLE 試験設備にて採用されている、冷却器を用いず直

接蒸気（または水）を噴霧して冷却させるダイレクトクエンチ方式を検討する。

実施項目	目標
b)-① CO ₂ による褐炭運搬システムの検討	安全性、運用性を考慮して CO ₂ 搬送、ダイレクトクエンチの試験が実施可能な設備になっていること。
b)-② ダイレクトクエンチ方式を用いた褐炭ガス化技術の検討	

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

上述の中間目標に対し、当初計画通りの成果を得ており、中間目標を達成できたと考えている。以下に、各研究開発項目の成果の具体例を示す。

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

a)-① 揺動環境下で適用する断熱材の開発

真空度別・積層構成別の断熱材性能試験やアウトガス量測定を実施し、 10^{-1}Pa の真空条件下でタンクへの熱流束が $1\text{W}/\text{m}^2$ となる断熱構成を得た。

支持部材から貨物タンクへの入熱を低減するために、支持部材への断熱材の施工方法を検討し、入熱を測定した (図 2)。これにより、効果的に入熱を低減できるような断熱材施工法が確立された。

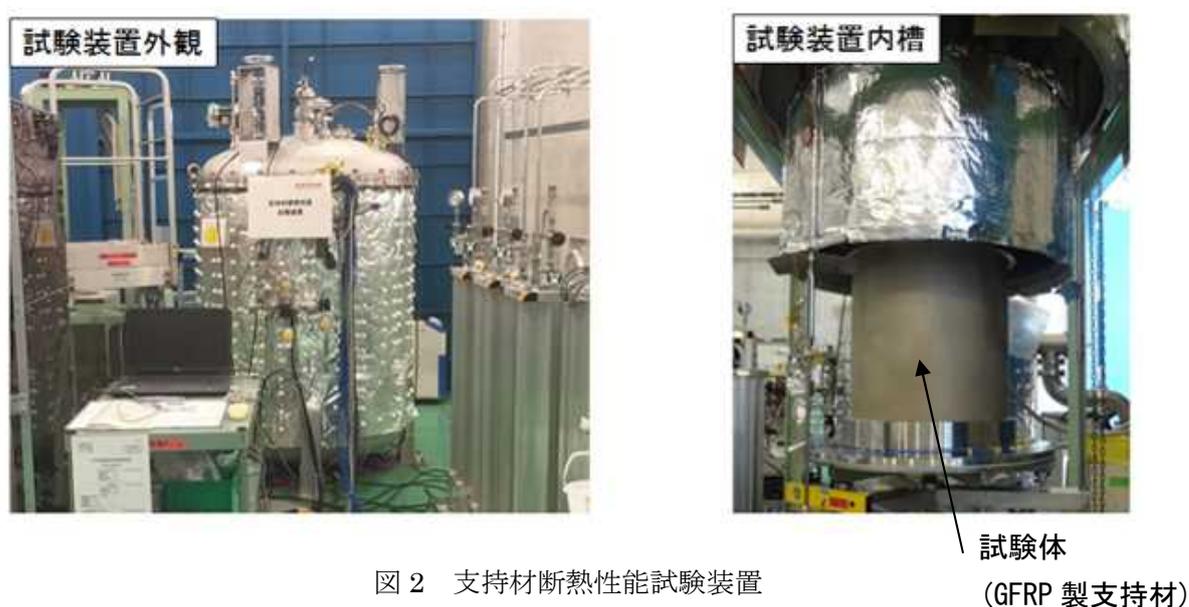


図 2 支持材断熱性能試験装置

次に、積層真空断熱材(MLI)の突合せ部 (接合部) の処理と断熱性能の関係を明らかにし、所定の断熱性能を確保できる断熱材構成を検討した。これにより、貨物タンク表面での平均断熱性能を $1\text{W}/\text{m}^2$ 以下とすることができた。

a)-② 高真空度維持システムの開発

真空層に炭酸ガスを注入した状態で内槽に液体窒素を充填し、真空層の真空度が安定するまで静置し、到達した真空度を計測することで、内槽の極低温部の表面積と真空度との関係を定量的に把握することができた。

次に、試料を 120°C のチャンバー内に 50 時間放置して、放出ガス量を測定し、実サイズタンクの真空槽内に残るガス成分の量を計算した。これにより、所定の真空度を維持することで十分な断熱性能を発揮できることが確認された。

a)-③ タンク構造の最適化

ドーム部拘束機構を検討し、FEM 解析を実施した。

これにより、ドーム拘束機構を含んだドーム構造について、輸送環境に対応した基本設計が完了した。

a)-④ 輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価

内槽支持構造部材の疲労試験を実施し、本部材が熱変形及び揺動による疲労に耐えうることを確認した。

b) 輸送用タンクシステムの開発

b)-① 海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発

真空度の経時劣化の傾向を確認し、これを基に防熱仕様を確定した。また、吸着剤による真空度の経時劣化抑制の有効性について確認した。

b)-② タンクシステムの構造健全性の評価

開放検査に対応可能なドーム構造を含め、タンクシステムの基本設計が完了した。また、タンクに使用する素材の破壊靱性試験（図 3）により、タンク構造の健全性を確認した。

方法 : ASTM E1820 に準拠

対象素材 : オーステナイト系ステンレス鋼溶接継手

雰囲気 : 液化ヘリウム中 (4K)、液化窒素中 (77K)、室温大気中 (R.T.)

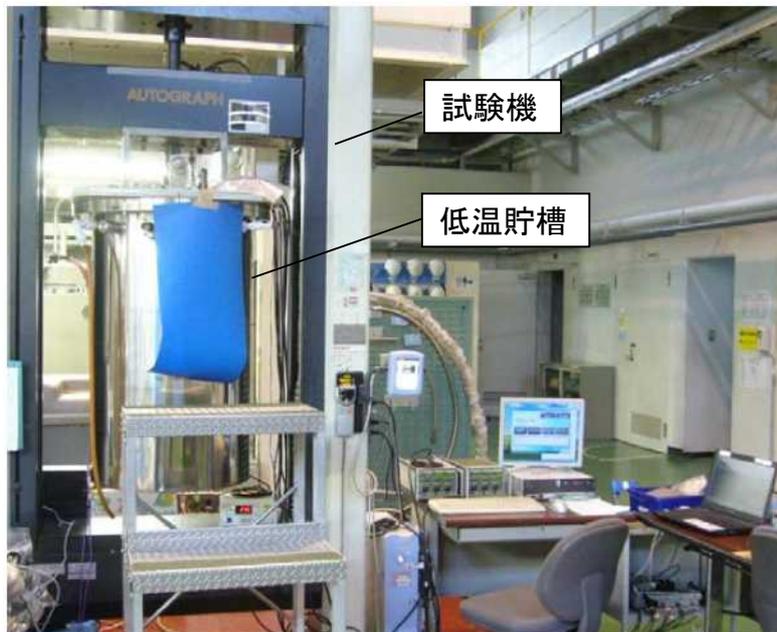


図 3 破壊靱性試験、試験状況

b)-③ 検査対応ガス置換技術の開発

荷役に必要な貨物操作フローを検討した。

その中で、数値解析（図 4）と理論解析を実施し、置換作業が現実的な時間(27 時間)で実施可能となる置換手順を組むことが出来た。

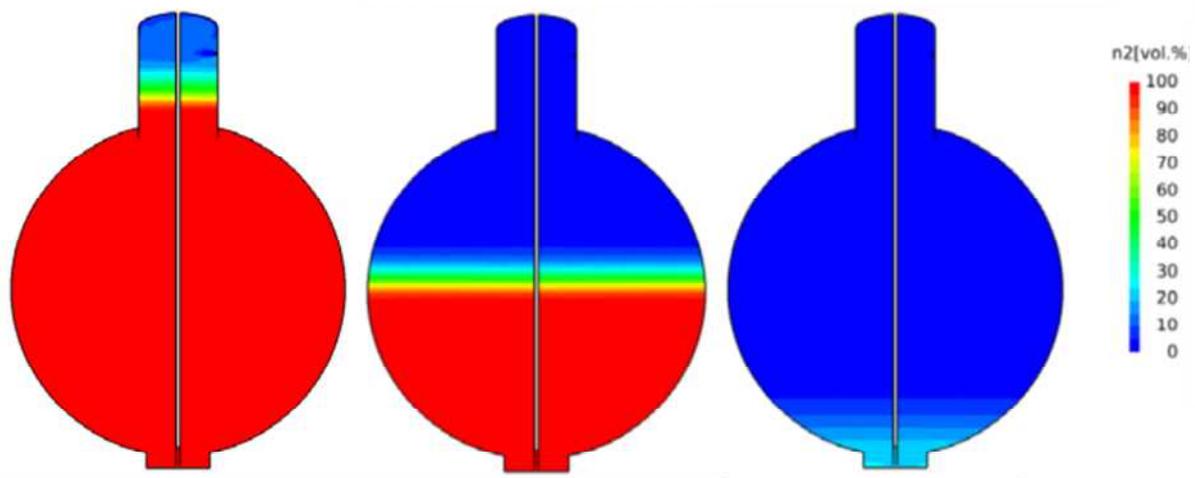


図 4 貨物タンクガス置換 数値解析モデル計算結果例

b)-④ 周辺機器・計装品類の健全性の検証

LNG で実績のある既存の液面計(レーダー式、静電容量式、およびディスプレイサ式)が液化水素中でも液位を計測できることを確認し、既存製品や技術が液化水素の海上輸送用途に適用可能であることを確認した。(図 5、図 6)

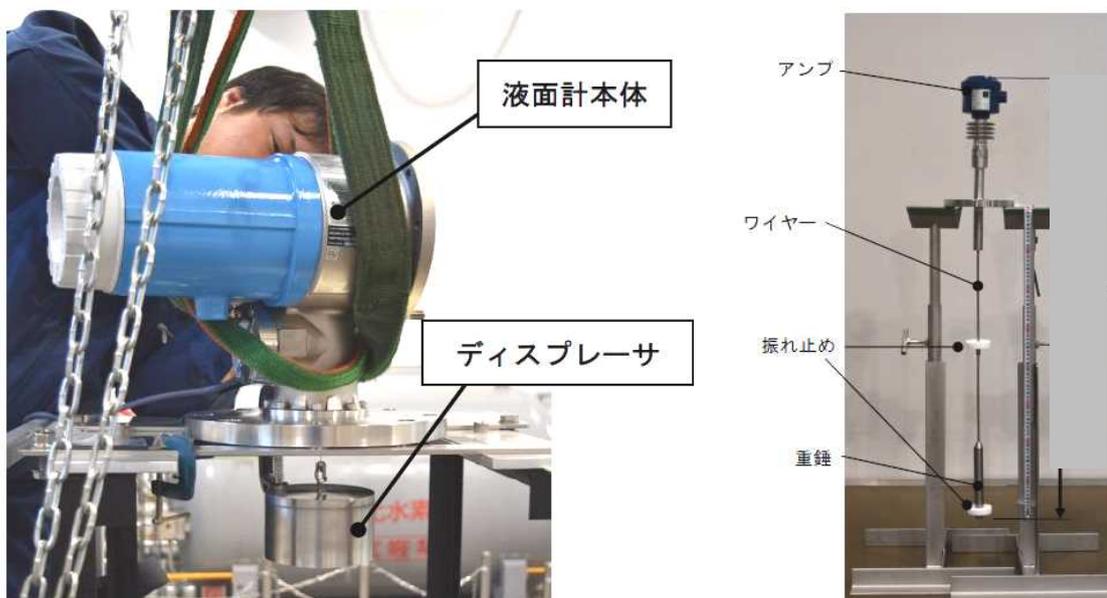


図 5 液面計試験装置 (左: ディスプレーサ式、右: 静電容量式)

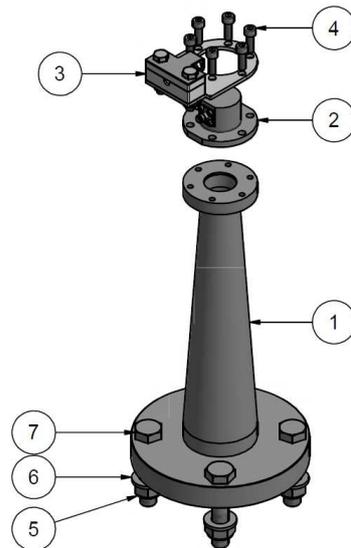


図 6 試験用レーダー式液面計

c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査

ステージゲート（2016年度）時点では評価を行わず、作業が終わった時に改めて外部評価を受ける。

d) 実証試験の実施

d)-① 安全対策システムの開発

船級（日本海事協会）と機器承認手順について確認した。また、リスク分析に基づく安全性評価を行い、危険要因の把握と追加安全対策の検討が完了した。

主な検討成果として、以下の3つが挙げられる。

- i. 漏洩シナリオに基づく水素拡散挙動を把握する
 - 拡散シミュレーションを実施し、緊急時に水素ガスがタンクから排出されても、居住区などが爆発下限界範囲に入らず、安全であることが確認された。
- ii. 揚荷時に貨物を沸騰させない適切な落圧速度とする
- iii. 配管系統への隔離弁、ドレインポートを追加する

（2）液化水素荷役技術の開発

a) 液化水素の陸上－海上間移送技術実証

a)-① 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

必要設置エリア、アーム間隔等を検討の上、ローディングシステムの基本構造（図 7）を決定した。設定した横方向可動範囲（送液時 1.5m、接続時 2.7m）に基づいたアーム部、および接続部の構造解析も行っている（図 8、9）。また、揺動環境下で使用可能なバイオネット継手の接続構造の検討を行い、ローディングシステムとしての製作実現の見通しを得た。

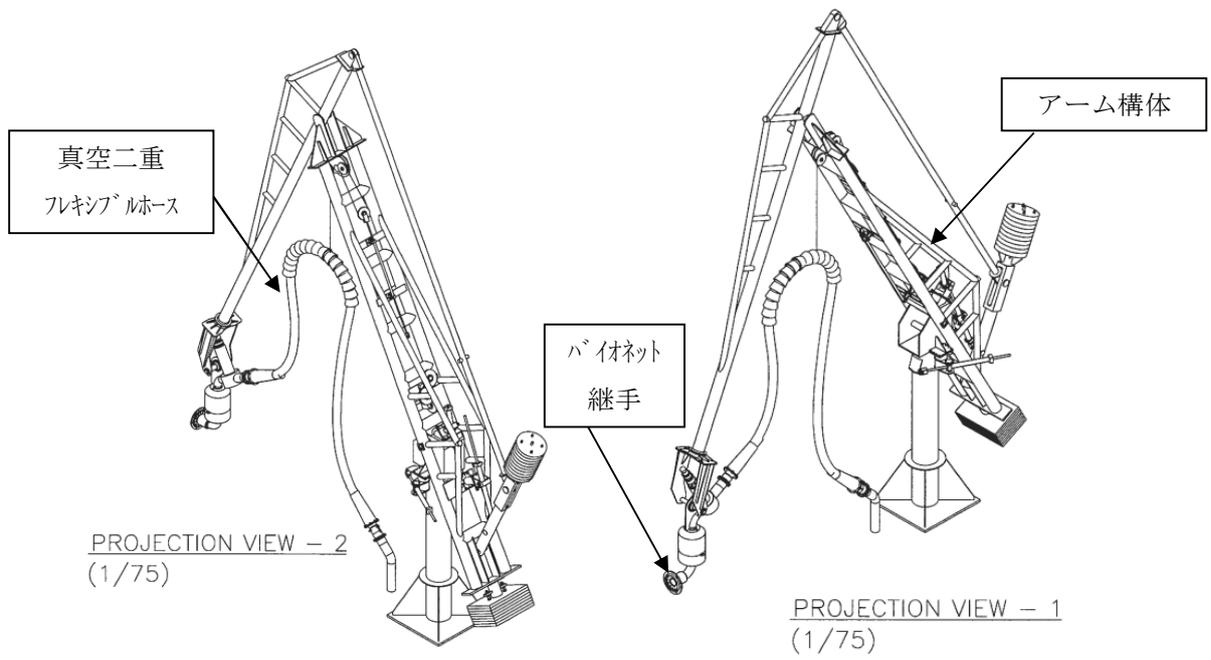


図7 ローディングシステム外形図

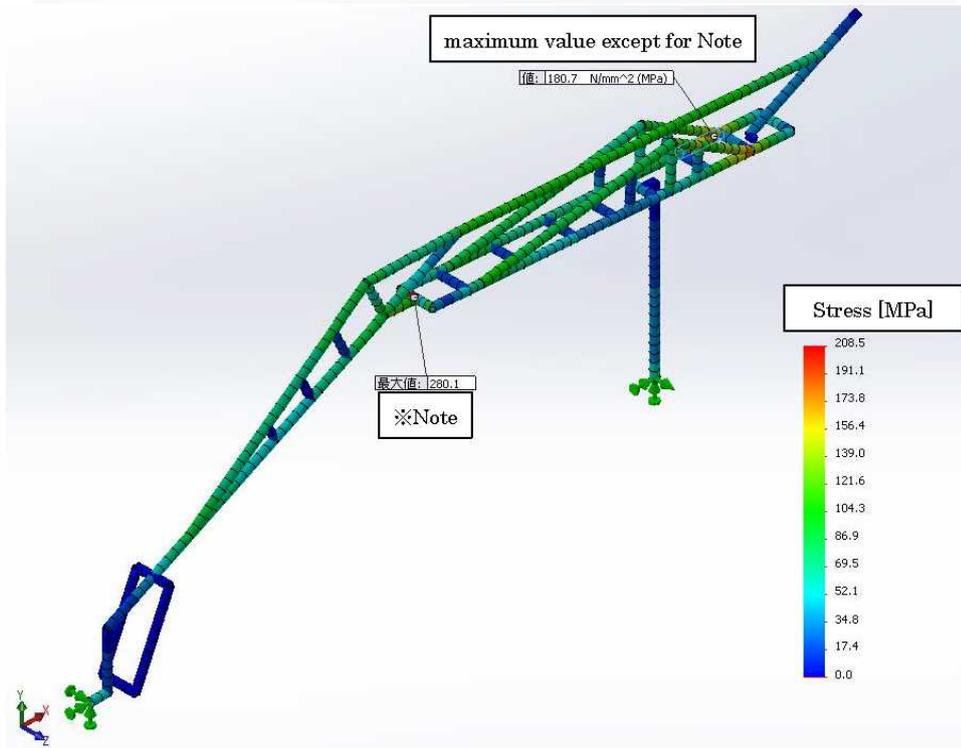
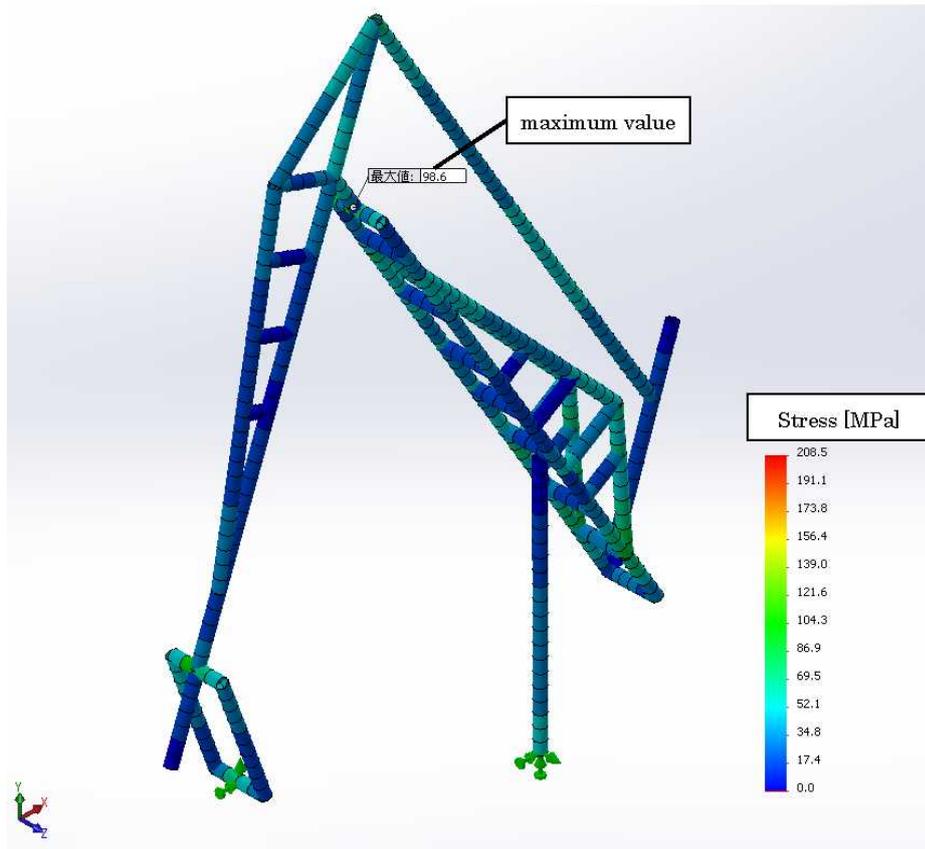


図 8 アーム部の各状態における構造解析

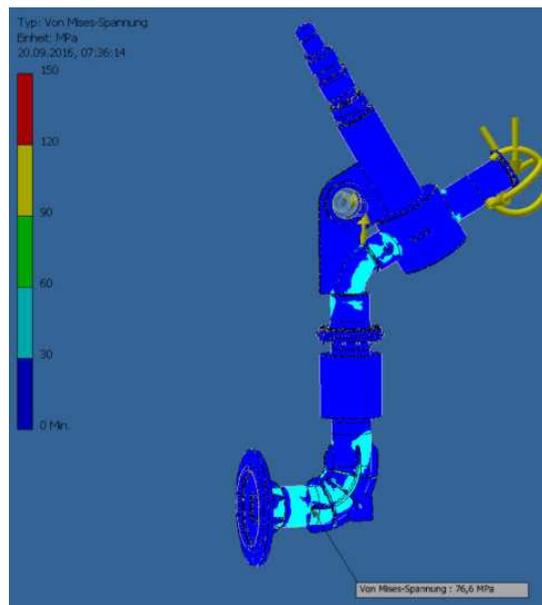


図 9 接続部構造解析

b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

設定した配管系について、各オペレーションモード（表 1 積荷オペレーションの例）ごとに蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮の上、基本設計を実施した。また、液化水素貯蔵タンクについては、断熱性能の高い球形真空二重殻タイプを採用し、内外径、断熱構造、部材仕様等を決定し、目標蒸発率 0.1wt%/日を達成する目処を付けることができた。（図 10）

表 1 積荷オペレーション手順概要

No.	作業項目
0	基地配管予冷
1	着栈
2	ローディングシステム接続
3	窒素→水素置換
4	ローディングシステム予冷
5	液化水素積荷
6	ローディングシステム液抜き
7	水素→窒素置換
8	ローディングシステム切離し
9	出航

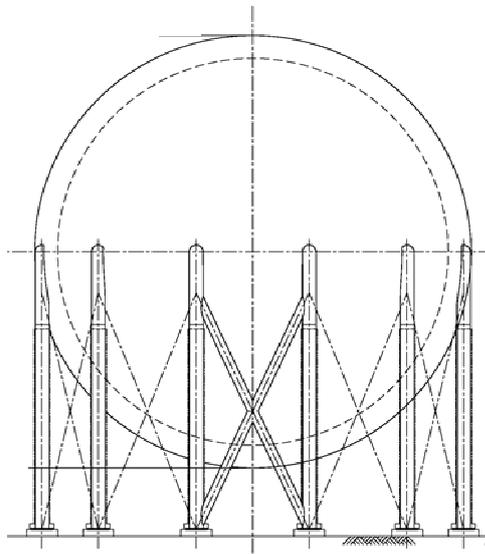


図 10 液化水素貯蔵タンク外形図

b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

積荷及び揚荷オペレーションの手順を設定し、リスク分析に基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの基本設計が完了した。

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

発生のある二相流の状態等を検討の上、カゴタンク当り 200m³/h 以上の荷役流量を目標とした基地配管の基本設計が完了した。(参考:表 2 構成設備概要、図 11 荷役基地概略フロー)

表 2 構成設備概要

機器	目的	備考
液化水素貯蔵タンク	荷役基地から輸送船への積荷、輸送船から荷役基地への揚荷ができるよう液化水素を貯蔵する	蒸発損失を抑えるため真空二重断熱となっている
液化水素ローディングシステム	輸送船と荷役基地を接続し、積荷・揚荷を行う	蒸発損失を抑えるため通液部は真空二重断熱となっている
BOG 加温器	1) BOG を圧縮機へ送るため加温する 2) BOG をベントスタックへ送るため加温する	
BOG 圧縮機	BOG を圧縮し、BOG ホルダーへ圧入する	
BOG ホルダー	輸送船へ送る圧縮水素ガスを貯蔵する	
ベントスタック	水素ガスを廃棄する	

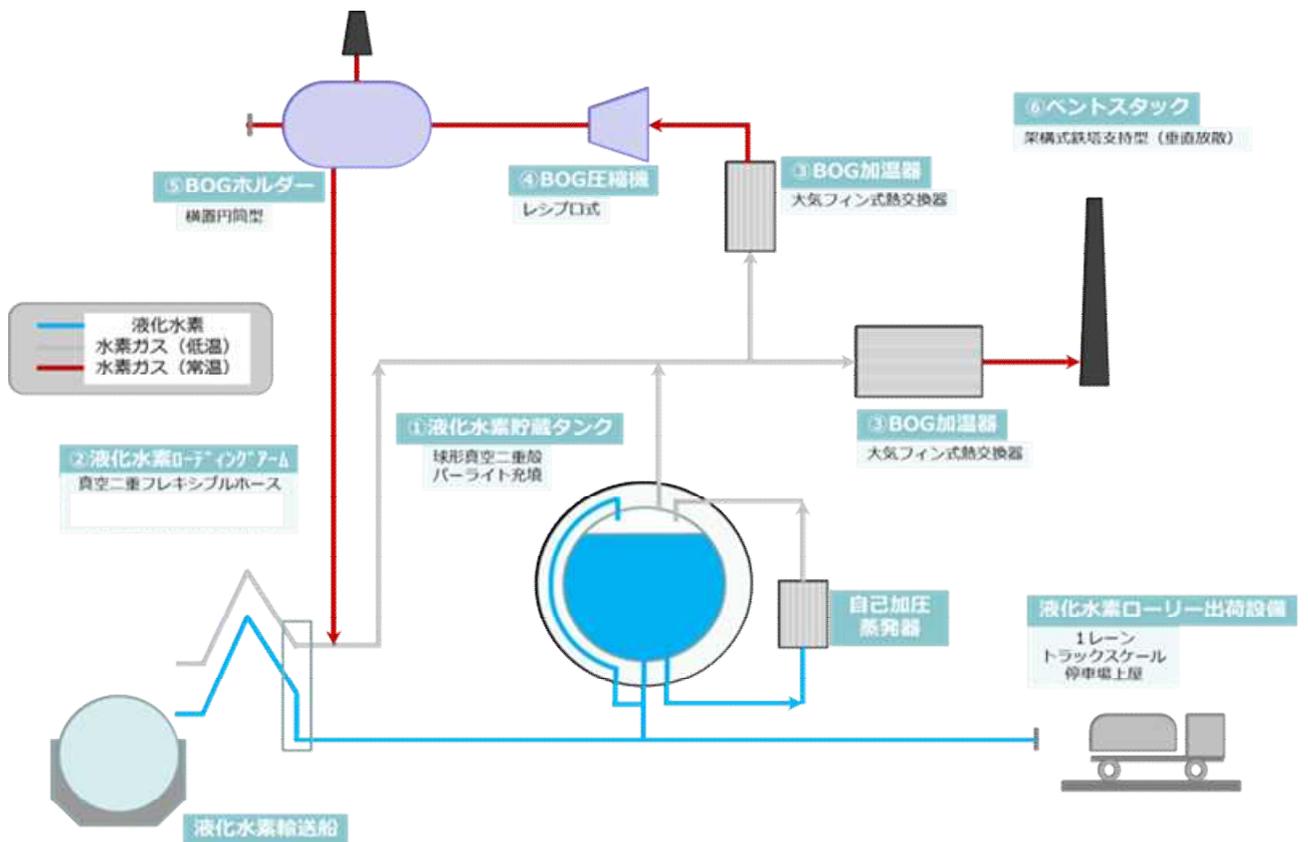


図 11 荷役基地 概略フロー

(3) 褐炭ガス化技術の開発

①プロジェクト全体構成と褐炭ガス化技術開発

褐炭からの水素製造供給チェーンは、未利用の褐炭を山元でガス化し、ガス化ガスから CO₂ を分離回収することで水素を製造、液化水素等として日本に輸送し利活用する一連のシステムである。また分離回収した CO₂ を山元で貯留することで、水素を石炭由来のゼロエミッション燃料とすることを目指している。

本プロジェクトは図 12 に示す通り、豪州ラトローブバレーの褐炭をガス化し製造した水素を日本に輸送するサプライチェーンの実証を目的としている。褐炭ガス化技術の開発においては本プロジェクトにおいて、ガス化炉の設計、建設、管理、運転及びメンテナンスに関する検討を行う。

豪州現地には褐炭湿炭ベースで 2t/d のガス化プラント（以下、豪州小型ガス化試験設備）を建設し、①EAGLE 炉適性炭のスクリーニング、② 褐炭前処理技術の確立、③ガス化炉への褐

炭投入条件確立を目指した試験を行う。また、並行して国内に電源開発(株)が所有する褐炭湿炭ベースで 20t/d に相当する EAGLE 炉（以下、EAGLE 試験設備）を活用し、褐炭ガス化システム技術の確立を行う。すなわち、図 12 の破線内に示される 2 つのガス化炉を用いて、褐炭ガス化技術の確立を図ると共に、将来の大型化に向けた見通しを得ることとしている。

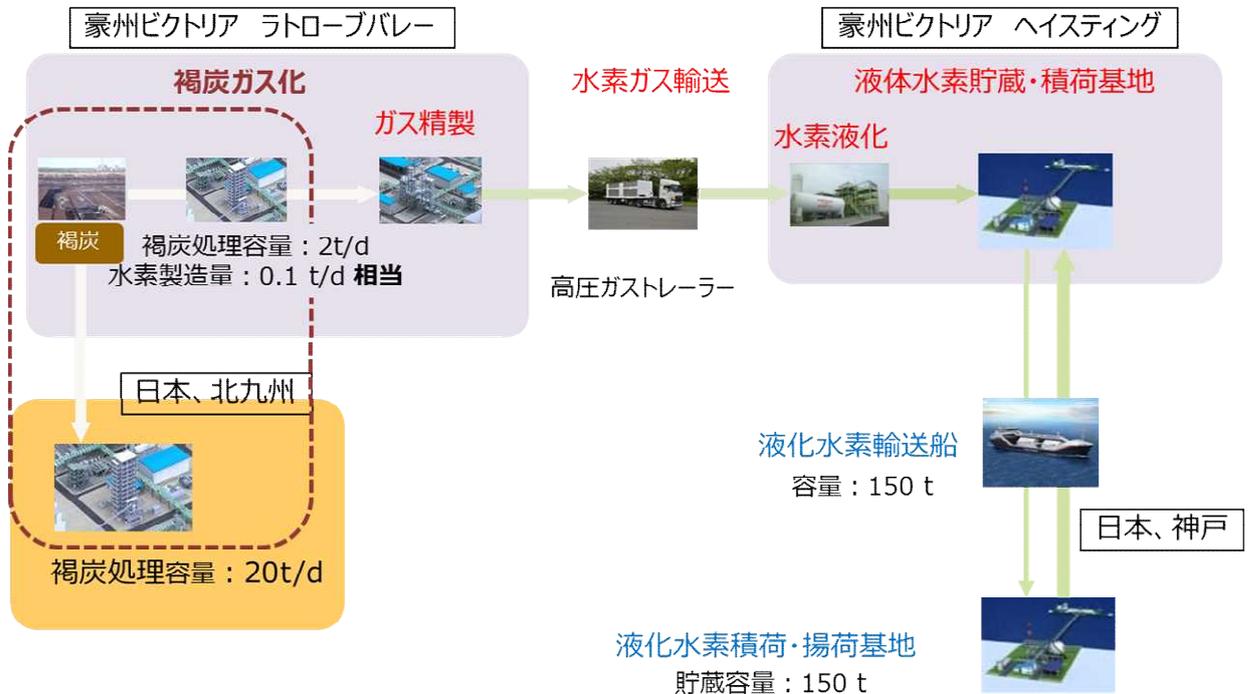


図 12 サプライチェーンにおける褐炭ガス化プロジェクトの概要

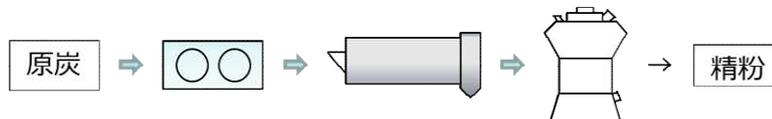
②褐炭前処理技術の検討

豪州褐炭を EAGLE 炉へ適用するに当たり、褐炭を乾燥、粉碎状態にする必要がある。そのため図 13 の①～③に示すようなプロセスを検討した。これらプロセスの評価のため、豪州ラトローブバレー主要 3 炭種の褐炭による前処理事前確認試験を実施した結果、粉碎性、安定性の観点から、② 破碎機→乾燥機→堅型ミル というプロセスが目標としていた褐炭処理の達成に有効であることがわかった。但し、経済性については① 破碎機→堅型ミル→乾燥機 のプロセスが優れることから、豪州建設プラントにおいては乾燥機と堅型ミルの順番を切替えられるように設計し、将来の商用機に向けて①・②のプロセスフローにおいて乾燥・粉碎効率及び経済性を検証できるようにした。

① 破砕機 ⇒ 豎型ミル ⇒ 乾燥機



② 破砕機 ⇒ 乾燥機 ⇒ 豎型ミル



③ 破砕機 ⇒ 乾燥機 ⇒ ボールミル



図 13 褐炭前処理技術の検討プロセスフロー

③豪州小型ガス化試験設備の事前検討

豪州小型ガス化試験設備について安全性・運用性を考慮したフィジビリティスタディを実施した。その中で CO₂ による褐炭搬送設備の導入について設計に反映している。また、国内ガス化試験設備において褐炭ガス化事前確認試験を実施し、豪州小型ガス化試験設備設計に必要なデータを取得するとともに、豪州での褐炭ガス化試験実施の目途が得られた。

④EAGLE 試験設備の事前検討

EAGLE 試験設備で褐炭ガス化試験を行うに当たり、改造が不要になると想定される乾燥微粉褐炭での輸送若しくはブリケットとしての輸送の可能性について検討を行っている。同時に、改造の要否を確認するため、既存石炭前処理設備を用いた褐炭原炭の事前粉砕・乾燥試験の検討を進めている。また、EAGLE 試験設備には、ガス化ガス冷却システムとしてダイレクトクエンチ方式が採用されている。

⑤豪州小型ガス化試験設備建設に向けた法規制調査

豪州現地コンサルティング会社による調査において、商用プラントの設置を想定した条件で、対象となる関連法規のスクリーニング調査を実施した。結果、特に工程に大きく影響するのは EPA（環境保全協定）と MHF（危険物取扱）にかかる法規制であることがわかった。

豪州小型ガス化試験設備用の許認可取得に関しては、関係省庁、及び許認可取得スケジュール及びシーケンスについて調査を実施し、その概要を把握した。

3. 2 成果の意義

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

「2. 1 a)-① 揺動環境下で適用する断熱材の開発」および「2. 1 a)-② 高真空度維持システムの開発」により、極低温(-253℃)の液化水素を揺動環境下で長期間(約 20 日間)保持する、世界初の技術が開発できた。

「2. 1 a)-③ タンク構造の最適化」および「2. 1 a)-④ 輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価」により、液化水素に荷役による熱変形や、揺動環境下による荷重に対し、真空二重殻間の変位を許容できる、世界初の技術が開発できた。また、部材の強度を確認することにより、数か月を有するような大規模な部材交換が運用期間中に不要であることが明らかになり、高い稼働率での運用が期待できることが判明した。

b) 輸送用タンクシステムの開発

b)-① 海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発

将来の大型輸送船の開発において、高い精度で貨物の蒸発量を予測可能な技術が開発できた。

b)-② タンクシステムの構造健全性の評価

タンク溶接部を破壊力学的に評価し、液化水素の海上輸送用として世界初の船級承認を取得する見通しを得た。

b)-③ 検査対応ガス置換技術の開発

大容量の輸送タンクにおいて引火性の高い水素ガスを安全かつ現実的な時間で空気に置換可能であり、数年ごとの定期検査時の開放点検に対応できる技術を開発できた。

b)-④ 周辺機器・計装品類の検証

既存製品や技術が液化水素に適用可能であることが世界で初めて確認され、液化水素用途として世界で初めて船への搭載が承認される見通しを得た。

c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査

現時点(2016年度)では評価を行わず、a)、b)の結果を得た後に設計に着手する。

d) 実証試験の実施

d)-① 安全対策システムの開発

世界水準の安全評価手法に則った設計手法が適用され、将来的に液化水素の大量海上輸送技術として、世界初の輸送実績を伴った設計技術として標準化されていく見込みである。

(2) 液化水素荷役技術の開発

a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

ローディングシステムについて、完了した基本設計をもとに建造ステージに入ることができ、実機による液化水素ローディングシステムの実現性検証に繋がる。

b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 (b-①)

完了した基本設計により、液化水素荷役基地でのオペレーション技術開発に向けた課題の一つである「液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発」の実証試験における適切な検証ベースを得ることに繋がる。

b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

完了した基本設計により、液化水素荷役基地でのオペレーション技術開発に向けた課題の一つである「貯蔵タンクおよび配管類の予冷システムの開発」の実証試験における適切な検証ベースを得ることに繋がる。また、世界初の液化水素の陸上－海上間移送技術を有する設備であり、実施した安全性評価により、商用に向けた安全性評価手法の確立、安全隔離距離の設定等が可能になる。

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

完了した基本設計により、液化水素荷役基地でのオペレーション技術開発に向けた課題の一つである「液化水素の管内流動状況の検証」の実証試験における適切な検証ベースを得ることに繋がる。

(3) 褐炭ガス化技術の開発

褐炭性状の把握及び事前確認試験を通じて、これまで経験のない褐炭ガス化システムの設計に向け必要なデータを採取した。また、豪州の必要法規制等調査を行うことで、豪州小型ガス化試験設備設置に向けて必要となる許認可の把握、設計のベースとなる豪州独自の規格・基準を把握することができた。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

以下に最終目標の達成可能性についての見解を示す。

(1) 最終目標の達成可能性（全体）

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も同様に概ね達成の見込みである。

本プロジェクトの最終目標は、豪州側にて水素製造～水素液化～液化水素積荷を行い、日本側において揚荷～水素ガスタービン発電を行う製造・貯蔵・輸送・利用一体となった液化水素サプライチェーンの構築を目指し、これを構築する上で重要な下記の3つの技術について研究開発を行うことであり、本プロジェクトを完遂することで、目標を達成することは可能であると考ええる。

- ✓ 液化水素の長距離大量輸送技術の開発
- ✓ 液化水素荷役技術の開発
- ✓ 褐炭ガス化技術の開発

(2) 成果の最終目標の達成可能性（項目別）

各研究開発項目別の達成可能性について以下に示す。

①液化水素の長距離大量輸送技術の開発

研究開発項目	最終目標	達成可能性
a)-①揺動環境下で適用する断熱材の開発 a)-②真空度維持システムの開発	・実証試験にて実スケールの輸送タンクで入熱量を計測し、設計値と比較すること	今年度中に要素試験と基本設計を完了させることにより、平成32年度末までに達成可能な見込み
a)-③タンク構造の最適化 a)-④輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価	・実証試験にて実スケールの輸送タンクを用いて海上輸送を行い、その後構造の健全性を確認すること	
b)-①海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発	・実証試験にて実スケールの輸送タンクで海上輸送を行い、蒸発量の計測を実施すること	
b)-②タンクシステムの構造健全性の検証	・実証試験にて実スケールの輸送タンクで海上輸送を行い、構造の健全性を確認すること	
b)-③検査対応ガス置換技術の開発	・実証試験にて実スケールの輸送タンクで海上輸送を行い、運用操作の確認作業を実施すること	
b)-④周辺機器・計装機	・実証試験にて実スケールの輸送タンクで海上輸	

器類の検証	送を行い、機器・計器が液化水素を取扱えること	
c) 輸送用タンクの設計・製作・検査	・輸送用タンクシステムを設計・製作・検査し、海上構造物に搭載して実証試験を行える装置を製作すること	
d)-①安全対策システムの開発	・実証試験にて実スケールの輸送タンクで海上輸送を行い、安全対策システムの有効性及び機器の健全性を検証すること。	

②液化水素荷役技術の開発

研究開発項目	最終目標	達成可能性
a)-①揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証	液化水素用ローディングシステムを備えた液化水素荷役技術の試験設備を製作し、技術実証を行うこと	平成 32 年度末までに達成可能の見込み
b)-①液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発	的確な蒸発量予測手法により、商用基地での蒸発損失を最小化する設計・オペレーション技術を獲得すること	
b)-②貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発	的確な予冷システムを確立することにより、急冷による設備の損傷を生じず、かつ予冷時蒸発損失の最小化、オペレーション期間短縮の実現に目処を付けること	
b)-③液化水素の管内流動状況の検証	実際の圧損を計測することで管内流動状況を検証し、二相流を考慮した圧損モデルを構築することで、商用基地における効率的な設備仕様・設備構成実現への目処を付けること	

③褐炭ガス化技術の開発

本技術開発の最終目標は将来の水素サプライチェーン実現に向けて、商用規模での EAGLE 炉を用いた褐炭ガス化技術の見通しを得ることである。プロジェクトとしての中間目標は概ね達成可能であり、今後実証試験を実施することで最終目標を達成することは可能であると考えられる。

研究開発項目	最終目標	達成の見通し
a)-① 褐炭前処理技術の検討 a)-② 褐炭ガス化評価 a)-③ EAGLE 炉への適用性評価 b)-① CO ₂ による褐炭運搬システムの検討 b)-② ダイレクトクエンチ方	将来の水素サプライチェーン実現に向けて、商用規模での EAGLE 炉を用いた褐炭ガス化技術の見通しを得る	研究開発項目は概ね達成可能であり、今後実証試験を実施することで平成 32 年度末までに最終目標は達成可能

式を用いた褐炭ガス化技術の 検討		
---------------------	--	--

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ及び課題

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

要素技術として高真空、揺動環境下で適用可能な断熱材仕様を選定するとともに、タンクにおいて構造が最も複雑となるドーム部の拘束機構及びタンク支持機構に関して FEM 強度解析を実施し、輸送環境下（揺動、低温）に対応した基本設計を完了した。

また、船級（日本海事協会）と機器承認手順について確認するとともに、リスク分析に基づく安全性評価により危険要因の把握と追加安全対策の検討を終了した。

最終目標達成に向けての課題は、現状では特にない。

(2) 液化水素荷役技術の開発

ローディングシステムの基本構造を決定し、基本設計を完了するとともに、予冷システムの基本計画の策定及び貯蔵タンクを含む基地設備の基本設計を完了した。

最終目標達成に向けての課題は、現状では特にない。

(3) 褐炭ガス化技術の開発

褐炭性状の把握及び事前確認試験を通じて、これまで経験のない褐炭ガス化システムの設計に向け必要なデータを採取した。また、豪州の必要法規制等調査を行うことで、豪州小型ガス化試験設備設置に向けて必要となる許認可の把握、設計のベースとなる豪州独自の規格・基準を把握することができた。

最終目標達成に向けての課題は、現状、豪州試験実施体制の連携構築であり、解決に向け取り組んでいる。

4. 2 事業化までのシナリオ

本実証事業は、6年計画の2年目だが、要素技術開発等を行い、実証設備として成立するよう基本計画を完了している。今後、詳細設計を行い設備・運転を行って実証試験を行うが、最終目標達成の可能性は十分高いと考える。

また、エネルギー基本計画、水素・燃料電池戦略ロードマップ、次世代火力発電に係る技術ロードマップ等の政策方針やパリ協定の合意、民間事業者における CO2 削減のための水素活用計画の活性化など、社会ニーズがますます高まってきており、事業化の可能性も大きくなっていく。

本実証事業が完了する 2020 年以降は、HySTRA での CO2 フリー水素サプライチェーン構築実績により、水素の海外からのサプライチェーン構築について社会認知を得るとともに、エネルギー事業者への実現性についても認知を得るものと考えている。

その後、FCV の増加及び LNG+液化水素混焼発電の普及による水素使用量の増加が継続するものと想定され、2030 年以降に水素発電が本格化し、この発電需要により大量低コストが期待される海外からの輸入水素が必要となり、この需要に対応した商用サプライチェーンのための、水素製造、液化システム、貯蔵基地及び運搬船をシステム・パッケージ化した水素供給事業が

開始されるものとする。

HySTRAには、現在、サプライチェーンの各工程を開発・運営し得る製造メーカー及びオペレーターを担える企業が参画している。将来の事業化に向けて今後、電力事業者及び重電メーカーの参画を得て、抜けの無い体制を構築する予定である。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015/12/03	環境委員会主催講演会	C02 フリー水素導入構 想への取り組み	西村元彦
2	2015/12/17	千葉県 地球環境保全セミナ ー	水素社会の実現に向 けた取り組み	千代 亮
3	2015/12/17	神戸市議会	水素エネルギーサプ ライチェーン実現へ の取り組み	原田 英一
4	2016/1/8	国土交通省 海事局 環境政 策課	C02 フリー水素導入構 想と技術開発	
5	2016/1/17	近畿地区7高専連携シンポジウ ム	水素チェーン構想と 安全への取組み	西村元彦
6	2016/1/19	東北再生可能エネルギー研究 会 平成27年度総会・講演会 ～東北地方での水素利用を考え る～	C O 2 フリー水素導 入構想と技術開発	洲河誠一
7	2016/1/26	兵庫県 次世代産業雇用創造 プロジェクト/水素関連産業市 場への企業参入支援事業 水素社会実現に向けたサプラ イチェーンの動向と課題	水素エネルギーサプ ライチェーン 実現へ の取り組み	西村元彦
8	2016/2/3	水素先端世界フォーラム2016	Kawasaki Hydrogen Road	西村元彦
9	2016/2/6	I2CNER International Workshop	IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEAS	西村元彦
10	2016/2/9	第10回 イワタニ水素エネルギ ーフォーラム 大阪	水素エネルギー導入 と水素ガスタービン 発電の 実現に向けた川崎重 工の取組み	山崎 徹
11	2016/2/10	第199回FKT会	川崎重工業の水素社 会への取組み	西村元彦
12	2016/2/12	海事における将来技術とファ イナンスに関するセミナー	Hydrogen Supply Chain with Long	洲河誠一

			Distance Transport	
13	2016/2/18	日本計画研究所（J P I）エグゼクティブセミナー	世界に先んじて水素サプライチェーン構築を目指す川崎重工のチャレンジ	西村元彦
14	2016/3/1	「次世代エネルギー社会の行方」	水素エネルギーの本格実用化を担う、水素サプライチェーン・インフラ技術	西村元彦
15	2016/3/2	FC EXPO 基調講演	水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み	原田英一
16	2016/3/9	神戸商工会議所 ビジネスマッチングフェア 2016	「水素社会への取り組み～業界参入に向けて求められること～」	西村元彦
17	2016/4/11	Global Energy Village	How Japan is Building its Green (Hydrogen) Value Chain	洲河誠一
18	2016/4/21	FEE 活動説明会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取り組み	千代 亮
19	2016/5/23	かがわエネルギーフォーラム	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	洲河誠一
20	2016/5/23	東海圏開発プロジェクト分科会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	山本 滋
21	2016/5/31	Tekna ' s Small Scale LNG conference, Norway	Kawasaki Heavy Industries activity for realizing the hydrogen society	千代 亮

22	2016/6/3	神戸市・水素エネルギー講演会	「水素をつくる・はこぶ・ためる・つかう」～水素エネルギーが普及する未来の社会～	西村元彦
23	2016/6/3	中部地区ボイラー・タービン主任技術者会	C02フリー水素サプライチェーン実現に向けた取組み	吉村健二
24	2016/6/17	第8回 神戸ものづくり中小企業展示商談会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	洲河誠一
25	2016/6/29	関西大学創立120周年記念事業シンポジウム 日本とエネルギーの未来を考える	持続可能な社会に向けた水素エネルギーの活用と展開について～新たなエネルギー・オプションへの挑戦～	牧村実
26	2016/7/12	日経イノベーションフォーラム	C02フリー水素サプライチェーン構想実現への取組み	原田英一
27	2016/7/19	「広域関東圏水素・燃料電池連携」キックオフシンポジウム	クリーン水素エネルギーサプライチェーン実現に向けた川崎重工の取組	西村元彦
28	2016/7/20	CCT ワークショップ 2016	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	洲河誠一
29	2016/7/21	第132回 「全国経営者セミナー」	水素エネルギーサプライチェーンの本格稼働を目指して！ー2020年～パイロット実証開始ー	西村元彦
30	2016/7/29	FCCJ : C02フリー水素セミナー	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重	千代亮

			工の取り組み	
31	2016/8/3	東京都次世代イノベーション2020	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	松本 俊一
32	2016/8/4	160804 マテリアルズ・テラリング研究会	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	洲河 誠一
33	2016/8/25	公益財団法人原総合知的通信システム基金主催特別セミナー	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	松本 俊一 201/1/8
34	2016/9/2	IMO CCC3 WorkShop_加賀谷	Safety Measures in Design of Liquefied Hydrogen Carriers	加賀谷 博昭
35	2016/9/14	160914 兵庫県次世代産業雇用創造プロジェクト	新たなエネルギーオプション「水素」の導入と次世代成長産業への展開	牧村 実
36	2016/9/29	160929 日本船舶海洋工学会(関西船舶海洋流体力学研究会)_孝岡主幹	液化水素運搬船について	孝岡 祐吉
	2016年6月号	「時評」(座談会)	水素を使って、まちの電力発電を実現へ	村山滋
	2016年7月号	「日本ガスタービン学会誌」	水素サプライチェーンと水素発電	西村元彦、饒雅英、神谷祥二

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2016/2/12	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク	

(Ⅱ-②)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証)」

助成先：千代田化工建設株式会社

●成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成32年度終了予定)

- ・水素化プラント関連：商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
- ・脱水素プラント関連：商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
- ・サプライチェーン運用関連：汎用トルエン利用可能性検討は継続中、第2期については規模・形態・実施時期は固まりつつある。

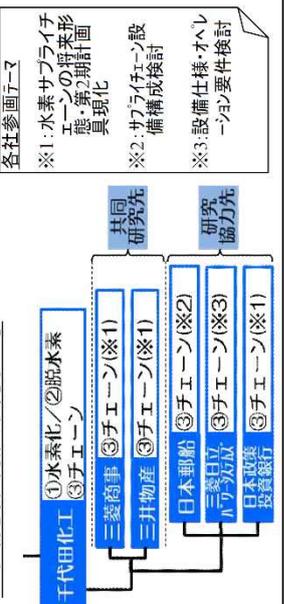
●背景/研究内容・目的

将来の水素需要に対応可能な、海外の未利用資源から製造した水素を有機ケミカルハイドライド法により大量に輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。第1期、第2期から構成され、第1期ではサプライチェーンの運用に必要な基盤技術の検証を①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用の3つの領域にて進める。合わせて、実証運用チェーンの適切な規模・形態・実施時期について検討する。第2期では第1期の成果を活かして、実証チェーンの運用を1年間程度行うと共に、同運用を通じて技術・非技術面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。

●研究目標

実施項目	目標
水素化プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いた大型反応器設計手法の確立。不純物除去の設備仕様様の確立。
脱水素プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いた大型反応器設計手法の確立、負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。
サプライチェーン運用関連	汎用トルエンの利用可能性検討、シミュレーションによるチェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認、第2期の適切な規模・形態・実施時期の選定

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果まとめ

実施項目	実施内容	研究成果
水素化プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いて反応器内部の温度・流速を解析。シミュレーターを用いて不純物除去の設備仕様を検討する。	商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
脱水素プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いた大型反応器設計手法の確立、動的シミュレーションにて負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。	商業規模へのスケールアップは可能であることが確認できた。
サプライチェーン運用関連	汎用トルエンの利用可能性検討、シミュレーションによるチェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認、第2期の適切な規模・形態・実施時期の検討	汎用トルエン利用可能性検討は継続中、第2期については規模・形態・実施時期は固まりつつある。

●今後の課題

第2期では第1期の成果を活かして、実証チェーンの運用を1年間程度行うと共に、同運用を通じて技術・非技術面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。

●実用化・事業化の見通し

第1期の成果により、プロトタイプサプライチェーンの構築については一定の目処が得られたと考えられる。その先のゴールである大規模商業水素サプライチェーンの実現に向けては (1) 信頼性の確立、(2) コストの低減、(3) 市場環境の醸成の3要件が必要と考ええる。

- (1) 信頼性の確立
 - 第2期におけるチェーン運用にて課題抽出と対応策検討を行い、需要家のニーズに適合した信頼性の高い水素サプライチェーンの構築・運用を実現する為の、技術的基盤が確立するものと期待される。
- (2) コストの低減
 - a. チェーン形態・規模の適正化によるスケールメリット最大化
 - b. 触媒改良による輸送効率向上・操業費用低減
 - c. 熱インテグレーション・排熱利用等による熱コスト低減
- (3) 市場環境の醸成
 - 実証チェーン運用を通じて、社会に対しての課題提起を関係者とともに継続的に行っていきたい。

課題番号：Ⅱ-（イ）-②

研究開発名：

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／有機ケミカル ハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

1. 研究開発概要

水素発電の導入時の水素需要に対応可能な、安定的な大規模水素供給システムの確立を最終ゴールとし、海外の未利用資源から製造した水素を、有機ケミカルハイドライド法により消費地まで輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。

研究は第1期、第2期から構成されるフェーズドアプローチにより進めることとし、第1期では最終ゴールにおけるサプライチェーンの運用に必要な基盤技術の検証を①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用の3つの領域において進めることとする。また、合わせて、実証運用チェーンの適切な規模・形態・実施時期について検討する。

第2期では第1期の成果を活かして、実際に実証チェーンの運用を長期（1年間程度）にわたり行うと共に、同運用を通じて技術・非技術両面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。

2. 研究開発目標

2.1 目標設定の考え方

第1期の研究開発目標は、前述の3領域（①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用）において、次の二つの観点から取組みテーマと目標を設定する。

チェーンの大規模化

有機ケミカルハイドライド法については、弊社子安リサーチパーク内の技術実証プラントにて基本的な技術検証が完了している。しかし、事業化に向けては数千倍程度への大規模化が必要となる為、これに資する技術開発テーマを設定する

エネルギー輸送チェーンの安定運用

前述の通りプラントとしては基本的な技術検証が完了しているが、エネルギー輸送チェーンとしての品質（例えば信頼性や負荷追従性）については、水素需要家のニーズに対応する為に改良・改善が必要と考えられる。これに資する技術開発テーマを設定する。

また、上記に加えて、第2期計画具現化の為に調査・検討についても別途テーマを設定する。設定したテーマ・目標については表1に示す4群にグルーピングする。

表1 テーマ・目標のグルーピング

群	説明	テーマ・目標数
H群	水素化プラントに関するもの	2
D群	脱水素プラントに関するもの	4
C群	チェーン全体運用に関するもの	3
F群	第2期計画具現化に関するもの	1

2.2 水素化プラントに関する研究目標（テーマH群）

水素化プラントに関連しては表2に示した2つの目標を設定する。

表2 H群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
H-1	水素化スケールアップ検討	コンピュータシミュレーションにより反応器内部の温度・流速を解析、1基あたり10万Nm ³ /h程度の水素化反応器において触媒管流速分布の偏りが概ね±5%程度に収まり、かつ反応熱除去が不十分な領域を生じさせない設計手法（形状の工夫、バッフルプレートの配置等）が確立していること。
H-2	不純物除去設備の仕様検討	商業チェーンにおける運転時に不純物濃度を安定的にコントロールする為に、不純物除去設備の設備仕様（機器構成、運転条件等）が明確になっていること。

H-1の研究開発目標は化学プラント設計における経験則に基づき設定している。H-2の研究開発目標は技術実証プラントの運転を通じ得られた知見に基づき設定している。また、H-1の成果はチェーンの大規模化に、H-2の成果はエネルギー輸送チェーンの安定運用に資する。

2.3 脱水素プラントに関する研究目標（テーマD群）

脱水素プラントに関連しては表3に示した以下の4つの目標を設定する。

表3 D群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
D-1	脱水素スケールアップ検討	コンピュータシミュレーションにより反応器内部の温度・流速を解析、1基あたり10万Nm ³ /h程度の脱水素反応器において触媒管流速分布の偏りが概ね±5%程度に収まり、かつ反応加熱が不十分な領域を生じさせない設計手法（形状の工夫、バッフルプレートの配置等）が確立していること。
D-2	負荷追従性向上策検討	コンピュータシミュレーションによりプラント各所の運転条件（温度・流量・圧力等）を解析、以下の想定需要要件において求められる負荷変動への対応方法（必要となる設備構成、運転方法等）が明確になっていること。 【想定需要要件】 「ロードアップ 3.5%/分」および「ロードダウン 3.5%/分」 （脱水素プラントから事業用火力発電所への水素供給を想定）
D-3	水素純度向上策検討	想定需要要件（FCV向け水素供給を想定しC1換算2ppm）において求められる、水素純度への対応方法（必要となる設備構成、運転方法等）が明確になっていること。

D-4	触媒商業生産 課題検討	商業ラインにおいて脱水素触媒を製造した場合の性能が所定の性能指標を満たし、触媒製造工程における主要管理指標が明らかになっていること。 【性能指標】 選択率：99%以上／転化率：95%以上 (試作用小規模設備製造品と同等)
-----	----------------	--

D-1の研究開発目標は化学プラント設計における経験則に基づき設定している。D-4の研究開発目標は技術実証プラントの運転を通じ得られた知見に基づき設定している。D-2, D-3の研究開発目標は文献調査・ヒアリング調査から想定した需要家ニーズに基づき設定しているが、D-2に関してはタービンメーカーの知見も反映した目標設定となっている。

D-1、D-4の成果はチェーンの大規模化に、D-2、D-3の成果はエネルギー輸送チェーンの安定運用に資する。

2.4 サプライチェーン全体運用に関する目標（テーマC群）

サプライチェーン全体運用の領域においては表4に示した3つの目標を設定する。

表4 C群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
C-1	商用トルエン 運転検証	汎用的に調達可能なトルエンを使用した場合も、所定の性能指標を発揮し、安定的なチェーンオペレーションが可能であることがデモプラントでの試験運転により確認されること。 水素チェーンに利用可能なトルエンのスペック（組成）が明確になっていること。 【性能指標】 選択率：99%以上／転化率：95%以上
C-2	サプライチェーン設備 構成検討	サプライチェーン全体をモデル化したコンピュータシミュレーションにより、設備構成がチェーンの信頼性に与える影響を定量的に分析出来ていること。 需要家が求める信頼性を確保する為に適切な設備構成（タンクの容量・構成、タンカーのサイズ・隻数等）を検討する手法が確立されていること。
C-3	設備仕様・ オペレーション要件 検討	事業用発電設備と連携運転をする為に、次の事項が明確になっていること。 ✓ 燃料ガス（天然ガス・水素ガスの混合気体）中の不純物の析出によるガスタービン燃焼機などへのガム状物質付着可能性の定量的評価手法 ✓ 脱水素プラントと発電タービンとの熱インテグレーション実施時の効果試算と課題

C-1の研究開発目標は技術実証プラントの運転を通じ得られた知見に基づき設定している。C-2, C-3の研究開発目標は文献調査・ヒアリング調査から想定した需要家ニーズに基づき設定しているが、C-3に関してはタービンメーカーの知見も反映した目標設定となっている。

また、C-1 の成果はチェーンの大規模化に、C-2、C-3 の成果はエネルギー輸送チェーンの安定運用に資する。

2.5 第2期研究計画立案の為の調査研究(テーマF群)

また、前述までの3領域(H群、D群、C群)に亘る9つの研究目標に加えて、第2期研究計画の立案の為に表5に示した研究目標を設定する。

表5 F群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
F-1	水素サプライチェーンの将来形態・第2期計画具現化	水素発電本格普及期における水素サプライチェーンの規模・形態・課題を整理する。課題整理の一環として水素供給コスト(含む脱水素反応熱※1の供給コスト)低減シナリオを策定する。 実証水素チェーン運用の為に、水素供給源、水素需要先、実証サイト等を選定する。

※1 脱水素反応熱: 脱水素プラントにおける脱水素反応は吸熱反応であり、外部から熱を供給する。供給された熱は水素の化学的エネルギーに変換される。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

前項にて列記したテーマ毎に実施内容と成果を記載する。

(1) 水素化スケールアップ検討(テーマ番号:H-1)

① 実施内容

商業規模多管式反応器の実績調査に基づき、水素化反応器の最大可能規模を反応器内径 9m と想定した。これは水素処理量として約 9 万 Nm³/h であり、千代田化工子安デモプラントの約 1,800 倍に相当する。水素化反応器の概要を図1に示す。

上記の規模での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして水素化反応器の流動解析を実施した。実施したケーススタディ項目を表6に示す。

② 解析結果

流動解析結果の一例として、定格ロード時の触媒管体積流量偏差を図2に示す。

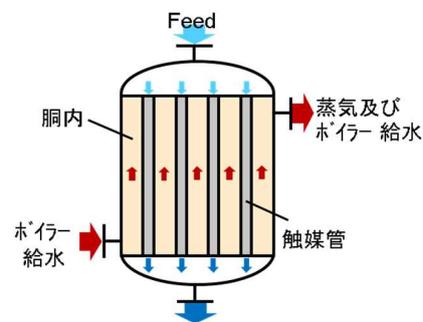


図1 水素化反応器概念図

表6 流動解析ケーススタディ項目

	水素化反応器	
	胴内	触媒管
定格ロード	●	●
低ロード感度		●
触媒充填差圧感度		●
構造クリアランス感度	●	

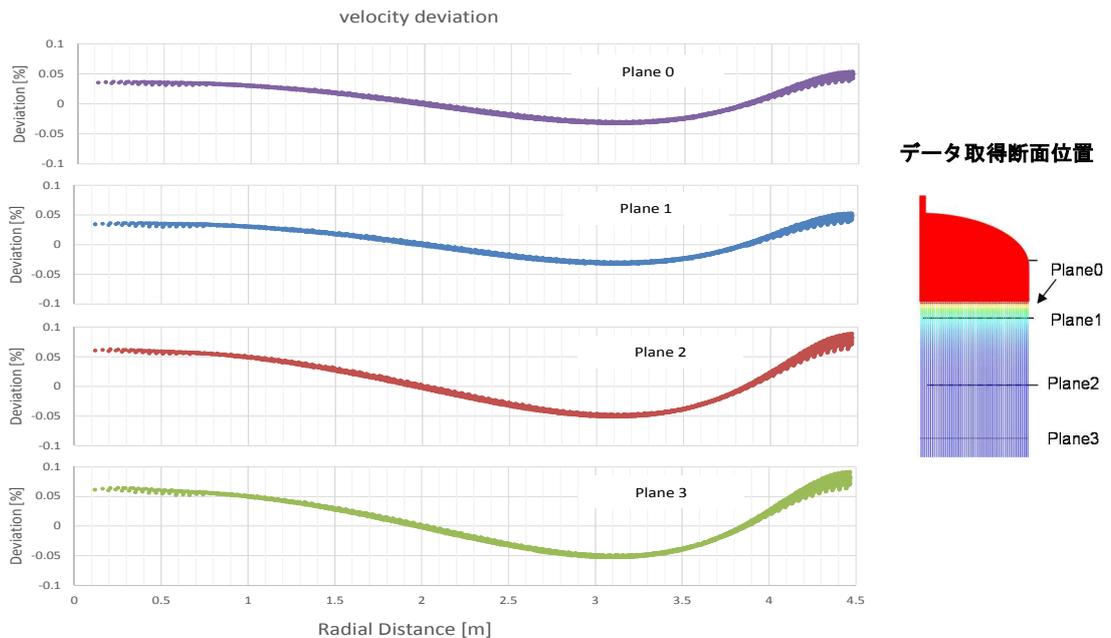


図2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

流動解析ケーススタディの主要な結果を以下に示す。

- a. 定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差は±0.1%以下となった。
- b. 触媒充填時の充填バラつきにより触媒管差圧に現状想定内の偏差が生じた場合でも、製品体積流量偏差は±4%以下となった。
- c. 胴側上部に、蒸気のみが存在するため反応熱除去が不十分になる領域が生ずる可能性が示された。

③ 成果及び達成度

触媒管側流動解析結果により、触媒充填バラつきを現状想定内に収めることにより、触媒管の流量偏差は目標である±5%以内を達成可能であることが示された。また胴側で生ずる可能性の有る若干の除熱不十分も、現状計画している触媒充填法の工夫により十分回避が可能と考えられる。以上より、商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性が確認された。

(2) 不純物除去設備の仕様検討(テーマ番号：H-2)

① 実施内容

想定される不純物が蒸留設備設計に与える影響度等を検討した上で、検証すべき不純物を特定し、これら不純物を組み合わせた2成分系気液平衡データをラボスケール測定器により測定した。また、これら実測データに合致するように、蒸留設計に使用するプロセスシミュレーターの気液平衡推算パラメーターをチューニングした。

更に、過去に千代田化工子安デモプラントでの実証運転にて取得した不純物含有トルエンを用い、ベンチスケールの連続式蒸留試験装置を使用して商業装置での蒸留設備を模擬した運転試験を実施し、上述のパラメーターチューニングを実施したシミュレーターにより運転試験結果を解析検証した。

② 解析結果

プロセスシミュレーターに気液平衡データが内蔵されている成分系、及び試薬調達困難な成分系を除き、想定される成分系の概ね全てについて気液平衡データを取得した。

データの取得状況を表7に示す。また、パラメーターチューニング後の気液平衡シミュレーション結果と、チューニング前の推算パラメーターによるシミュレーション結果との比較例を図3に示す。

更に、蒸留試験結果とパラメーターチューニング後のシミュレーション結果との比較例を図4に示す。

表7 気液平衡データ取得状況

	Toluene	MCH	A	B	C	D	E
Toluene		文献データ有	取得済 (文献データ有)	文献データ有	取得済 (文献データ有)	取得済 (文献データ有)	文献データ有
MCH			取得済 (文献データ有)	文献データ有	取得済 (文献データ有)	取得済 (文献データ有)	文献データ有
A				取得済 (文献データ有)	取得済 (文献データ有)	取得済 (文献データ有)	取得済
B					文献データ有	文献データ有	文献データ有
C						文献データ有	文献データ有
D							取得済 (文献データ有)
E							

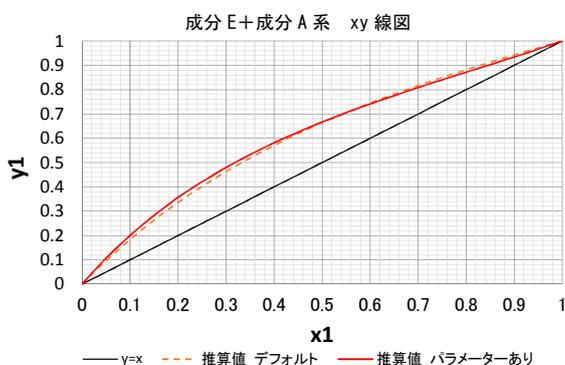


図3 蒸留シミュレーターへの気液平衡データ反映例

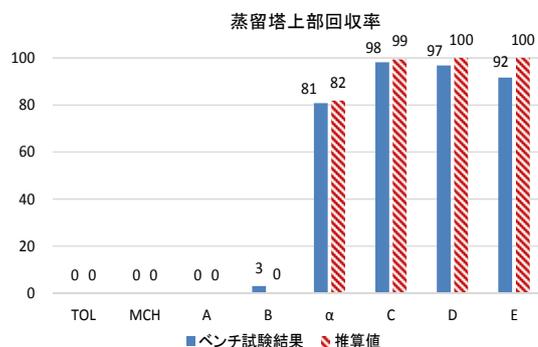


図4 蒸留試験結果とシミュレーション結果の比較例

③ 成果及び達成度

上記のスタディにより、商業装置向け蒸留設備の現状設計仕様が概ね妥当であることを確認したと共に、設計品質を向上することが出来た。この結果、商業規模にて所定の性能を満たす蒸留設備が確実に設計可能であることが確認され、目標を達成した。

(3) 脱水素スケールアップ検討(テーマ番号：D-1)

① 実施内容

商業規模多管式反応器の実績調査に基づき、脱水素反応器の最大可能規模を反応器内径 9m と想定した。これは水素処理量として約 13 万 Nm³/h であり、千代田化工子安デモプラントの約 2,600 倍に相当する。脱水素反応器の概要を図5に示す。

上記の規模での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして脱水素反応器の流動解析を実施した。実施したケーススタディ項目を表8に示す。

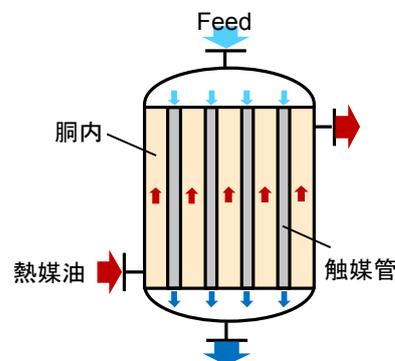


図5 脱水素反応器概念図

表8 流動解析ケーススタディ項目

	脱水素反応器	
	胴内	触媒管
定格Load	●	●
低Load感度		●
触媒充填差圧感度		●
構造クリアランス感度	●	

② 解析結果

流動解析結果の一例として、定格ロード時の触媒管体積流量偏差を図6に示す。

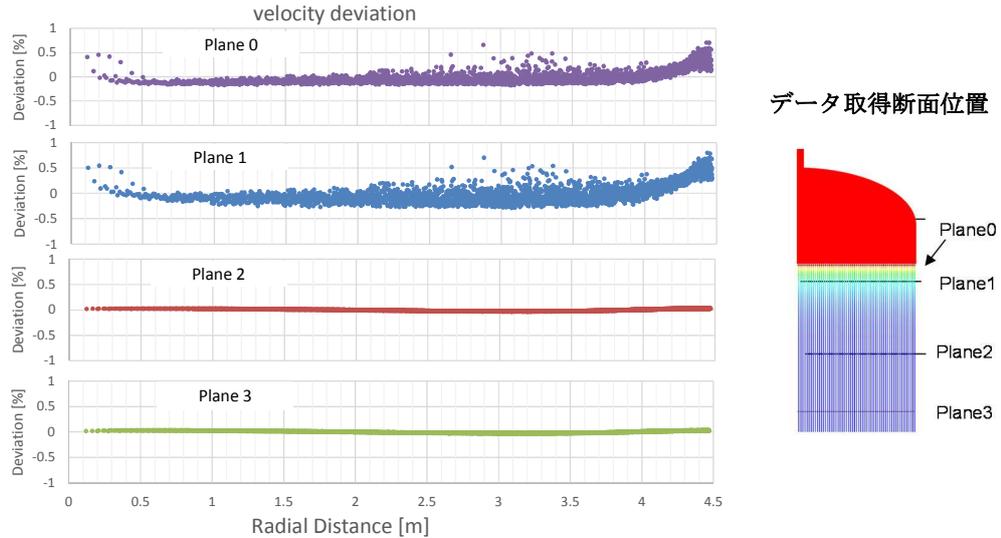


図6 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

流動解析ケーススタディの主要な結果を以下に示す。

- a. 定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差は±1%以下となった。
- b. 触媒充填時の充填バラつきに起因する触媒管差圧について、現状想定最大の偏差が生じた場合、製品体積流量偏差は±6%以下となった。
- c. 触媒管とバッフルプレートとの隙間を熱媒油の一部が短絡流れする影響により、胴側上部に加熱不十分になる領域が生ずる可能性が示された。

③ 成果及び達成度

触媒管側流動解析結果により、現状想定最大の触媒充填偏差では触媒管流量偏差が最大6%程度となる結果となった。この結果を踏まえ、実運用においては充填作業要領最適化、例えば設定差圧偏差の基準値見直しおよび作業管理方法の更新により目標である±5%以内を達成することは十分可能であると考えられる。また胴側で生ずる可能性の有る加熱不十分については、バッフルプレートの枚数や形状、熱媒油入出ノズルの数等を最適化することにより回避可能と考えられ、大規模反応器の実現に向けて更なる検討を行う。以上より、商業規模への脱水素反応器スケールアップは概ね妥当であり、更なる改善に向けての方向性が確認された。

(4) 負荷追従性向上策検討(テーマ番号 : D-2)

① 実施内容

最も厳しい負荷追従性を必要とする水素需要としてガスタービン発電を想定し、タービンメーカーへのヒアリングを実施して脱水素設備目標負荷追従速度を 3.5%/min と設定した。また、現状最大級のガスタービンでの水素専焼発電を想定し、検討対象とする脱水素設備規模を 20 万 Nm³/h (最大規模反応器 2 系列) と想定した。

上記の条件に基づいて脱水素設備について試設計し、これをモデル化したダイナミックシミュレーションによるケーススタディを実施することにより、現状計画設備仕様での負荷追従性、これを向上するための設備構成や制御システムについて検討した。

② 実施結果

一連のケーススタディの内、主要な結果を以下に示す。

a. 脱水素設備下流にバッファーとなる水素ガスホルダーを設置することにより、目標とした負荷追従性を確保出来る。但し、現状計画設備仕様のままでは大容量のガスホルダーが必要となる。

b. 脱水素設備の内、脱水素反応器を加熱するための熱媒加熱炉 (標準仕様) が負荷追従性の主な律速となっている。この加熱炉の負荷追従性が向上できれば、ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となる。解析の一例として、加熱炉の目標とした負荷追従性を向上させ、かつガスホルダーを設置しない場合のロードアップシミュレーション結果を図 7、図 8 に示す。

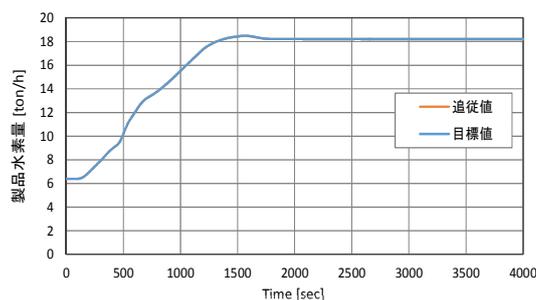


図 7 解析結果例 製品水素流量

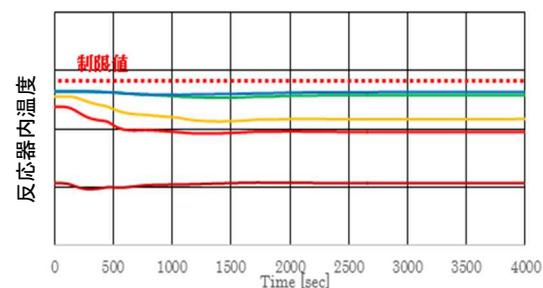


図 8 解析結果例 反応器内温度

③ 成果及び達成度

一連のダイナミックシミュレーションの結果、水素ガスホルダーを設けることにより、現状計画設備仕様でもガスタービン発電の要求負荷変動に追従出来ることが確認された。更に、熱媒加熱炉の負荷追従性を向上することにより、負荷追従に必要な水素ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となる見通しを得た。加熱炉の構成材や燃焼制御系の最適化により負荷追従性を向上することは十分に可能と見込まれる。

(5) 水素純度向上策検討(テーマ番号 : D-3)

① 実施内容

脱水素設備にて製造される製品水素の純度を高める技術の調査、検討を行なった。水素は、その利用先の使用用途に応じた水素純度に適合する必要がある。メチルシクロヘキサンの脱水素により製造された粗水素は少量の不純物を含むことが明らかとなっているが、商業的にその精製を実施した例はこれまでにはなく、技術的な対応可否の確認

が課題である。本粗水素を対象とした精製技術の調査、及び試験設備を用いた検証を実施した。

② 実施結果

精製方法として、膜分離法、および吸着分離法の調査を実施した。また、吸着分離法については、実施例がないことから、ラボスケールにて PSA (Pressure Swing Adsorption) の実験を行い確認した。

表 9 に各種水素燃料の ISO 規格を示した。またこの規格に適合する精製方法についてもその結果を示した。

表 9 水素燃料規格と精製方法

		ISO 14687-1(1999)		ISO 14987-2(2012)		ISO 14687-3FDIS(2013)		
		Grade A 内燃機関、 輸送用、住 宅用	Grade C 宇宙、航空 機用地上支 援	Type 1		Grade E 定置用燃料電池		
				Grade D FCV用	Category 1 Category 2 Category 3			
H2	%	98.0		99.995	99.97	50	50	99.9
Para-H2	%	NS		NS	NS	NS	NS	NS
Total non-hydrogen gases	μ mol/mol	NC		50	300	50%	50%	0.1%
H2O	μ mol/mol			b	5	NC	NC	NC
T-hydrocarbons (Methane basis)	μ mol/mol	100		b	2(g)	10(h)	2(i)	2(j)
O2	μ mol/mol	a		c	5	200	200	50
He	μ mol/mol	a		39	300	50%	50%	0.1%
N2+Ar	μ mol/mol	a		b	100			
CO2	μ mol/mol			d	2	Included in total non-hydrogen gases		2
CO	μ mol/mol	1		d	0.2	10	10	0.2
Total sulfur compounds (H2S basis)	μ mol/mol	2			0.004	0.004	0.004	0.004
HCHO	μ mol/mol				0.01	3	0.01	0.01
HCOOH	μ mol/mol				0.2	10	0.2	0.2
NH3	μ mol/mol				0.1	0.1	0.1	0.1
Total halogenated compounds	μ mol/mol				0.05	0.05	0.05	0.05
Hg								
Maximum particulates concentration	mg/kg	f		e	1	1	1	1

適合する精製方法 ⇒ Grade B : 冷却分離法 Grade D、および E : PSA 法

③ 成果及び達成度

脱水素設備から製造した水素は、冷却分離により水素発電用燃料 (Grade B) に用いることが可能である。また燃料電池自動車用 (Grade D)、および定置用燃料電池用 (Grade E) の水素は、ラボスケール試験により PSA にて精製可能であることが確認された。

(6) 触媒商業生産課題検討(テーマ番号 : D-4)

① 実施内容

小規模設備で製造され、既に性能実証済みの脱水素触媒と同様の製造レシピ/仕様にて、実際の商業規模生産設備を用いた数百 kg/ロットを超える規模での触媒試験製造 (触媒担体製造及び触媒担持調整) を実施し、ラボ反応試験により性能を評価した (一次試作)。この評価結果に基づいて、商業規模生産において触媒性能に影響する要因を抽出検証し、これを反映した製造レシピ/仕様に基づく二次試作を開始した。

② 実施結果

今回実施した商業規模設備での脱水素触媒試作の概要を表 10 に示す。

表 10 触媒試作の概要

	担体製造 (アルミナ担体)	触媒調製 (活性種の担持)
従来施策	商業生産設備	セミコマmercial設備
一次試作	商業生産設備	商業生産設備
スケール比	1	10~100

また、試作触媒の性能評価結果の一例を図 9 に示す。

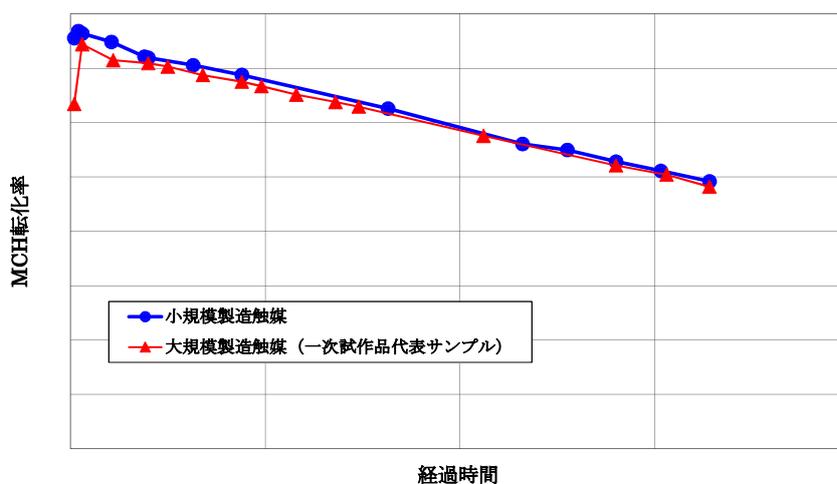


図 9 商業生産触媒ラボ評価例

一連の試作評価の主要な結果を以下に示す。

- 一次試作の触媒は小規模設備製造での触媒に比べ、初期活性が若干低い傾向を示したものの、長期的な活性及び性能安定性はほぼ同等であった。
- ラボ反応試験による要因検証の結果、商業規模生産における触媒調製条件の幾つかが触媒性能に影響している可能性が示された。
- 上記の要因検証結果に基づき、二次試作向けに触媒製造レシピ/仕様、及び製造設備の仕様の一部を更新した。

③ 成果及び達成度

商業規模生産設備を用いた脱水素触媒試作の結果、小規模設備製造での触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能であることが確認された。

④ 第 1 期完了までの取組

触媒製造レシピ及び製造設備仕様の一部を更新した二次試作は 2016 年 12 月に完了する予定であり、この結果をラボ反応試験等により検証することで大規模製造触媒の更なる性能向上が期待出来る。

(7) 商用トルエン運転検証(テーマ番号 : C-1)

① 実施内容

千代田化工子安デモプラントで実施する商用トルエン運転検証に使用するトルエンを選定するために、国内外の商用トルエン供給社より6種のサンプルを調達し、ラボ反応試験によるスクリーニング評価を実施した。試験の結果で不適合と判断されたトルエンについては、その原因を検証し、これを反映して商業規模導入トルエンの仕様を策定した。上記の策定仕様、及び供給社のトルエン供給能力を考慮した上でトルエンを選定し、これを千代田化工子安デモプラントに導入して運転検証を開始した。

② 実施結果

商用トルエンスクリーニング結果を表11に纏めて示す。また、千代田化工子安デモプラントの検証運転状況を図10に示す。

表11 商用トルエンスクリーニング結果

供給元	起源*	生産能力 (万t/年)	規格/サンプル 純度, wt%	スクリーニング結果		評価
				水素化	脱水素	
A社	COLO	< 5	99.99	○	○	2013年子安デモ実証済み、供給ポテンシャルが極めて低い
B社	Reformat	< 5	91.20	×	×	特定物質不純物濃度が高く、不適合
C社 (a工場)	Pygas	5 ~ 10	99.96	○	○	供給ポテンシャルが低い
C社 (b工場)	Reformat	> 20	99.96	○	○	第1期検証・子安デモ機での実証に導入
D社 (海外)	Reformat & Pygas	> 20	99.98	×	×	サンプリング方法に起因する特定物質のコンタムにより不適合、再調達・再評価が必要
E社	Reformat	> 20	98.18			追加試験予定

*Reformat: 接触改質油 (製油所)、Pygas: 熱分解油 (化学 (エレン) 工場)、COLO: コークス炉軽油 (製鉄所)

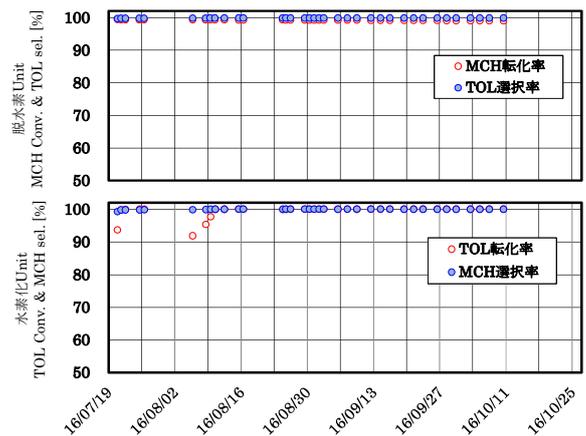


図10 千代田化工子安デモプラント

一連のスタディの主要な結果を以下に示す。

- a. 反応試験結果が良好であったこと、及び商業規模でのトルエン供給が十分可能である能力を有していることから、国内C社B製造所のトルエンを最終選定した。
- b. 2種のサンプルについては反応試験結果が不適合であったため、含有成分の詳細分析や検証試験を実施して不適合要因を定量的に検証した。これまでの知見に更にこの結果を反映して商業規模導入トルエンの仕様を策定した。
- c. 最終選定した商用トルエン約30kLを、商業仕様での輸送手段/手順にて千代田化工子安デモプラントに導入し、2016年7月より検証運転を開始し、現在まで安定に運転を継続中。

③ 成果及び達成度

一連の検証にて、商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定することが出来た。また、設備の安定運転を可能とするトルエン調達仕様を策定出来た。

④ 第1期完了までの取組

今後2016年10月中旬までデモプラントにて実証運転を実施し、その結果を評価確認することにより、商業チェーンにて大規模に調達可能な商用トルエンが使用可能であることを実証する。

(8) サプライチェーン設備構成検討(テーマ番号: C-2)

① 実施内容

需要家への水素供給の安定性には、水素源からの水素供給量変動、水素需要家個別の水素需要量変動、MCH/トルエン輸送の遅延など多くの事象が影響する。このため、水素サプライチェーン全体を見通しての供給安定性を検証することが必要である。そこで、水素源から水素需要家までをカバーし得る水素サプライチェーン全体をモデル化し、想定される様々な事象発生に対するチェーン全体としての安定性を検証すると共に、安定性を向上するための各種設備の規模や冗長性の検討を行った。

② 実施結果

シミュレーション結果の一例を図 11 に示す。タンカーの輸送能力、航海の遅延発生確率等を一定としたうえで、水素化・脱水素設備の貯蔵能力と系内のトルエン量を一定の刻み幅で増減させた場合の、サプライチェーン起因の水素供給停止時間の発生確率分布をグラフ化したものである。

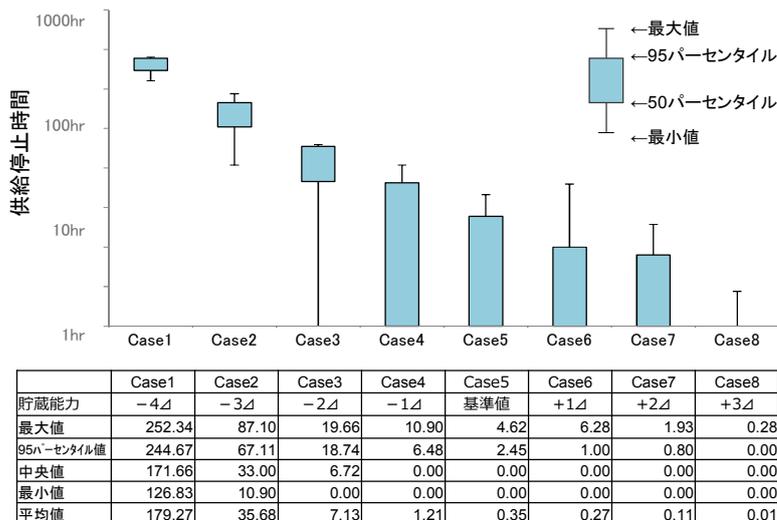


図 11 シミュレーション結果の一例

供給停止時間分布の中央値に注目した場合、Case3 と Case4 の間に変化点があることが見て取れる。ターゲットとする信頼性にも依るが、本例においては上記変化点近傍が信頼性と設備コストのバランスが取れた設備構成と考えられる。

③ 成果及び達成度

本研究を通じて設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立できたものと考えられる。

④ 第 1 期完了までの取組

当初構築したシミュレーションモデルは水素化基地、脱水素基地とも 1 拠点のシンプルなチェーンを対象としたものであったが、現在両拠点が複数存在するチェーンについてもシミュレーション可能なモデルへの機能強化を実施中であり、完了後に追加のケーススタディを実施する。

(9) 設備仕様・オペレーション要件検討(テーマ番号：C-3)

① 脱水素設備による製品水素性状が商業規模発電 GT に及ぼす影響の検討

a. 実施内容

脱水素設備からの製品水素は、微量のトルエン (TOL) やメチルシクロヘキサン (MCH) を含んでおり、これら高分子炭化水素は、高温の重合反応でガム状生成物を生じ、燃料ガスとともに GT 燃焼器に導入され、燃焼器ノズルの閉塞原因となる。

ガム状物質の生成量は原因物質の量だけでなく、温度・圧力および微量成分により影響を受ける。また、天然ガス中にもガム状になる原因物質や影響物質が存在するため、混合ガス燃料におけるガム状物質生成状況をラボ試験により把握する。

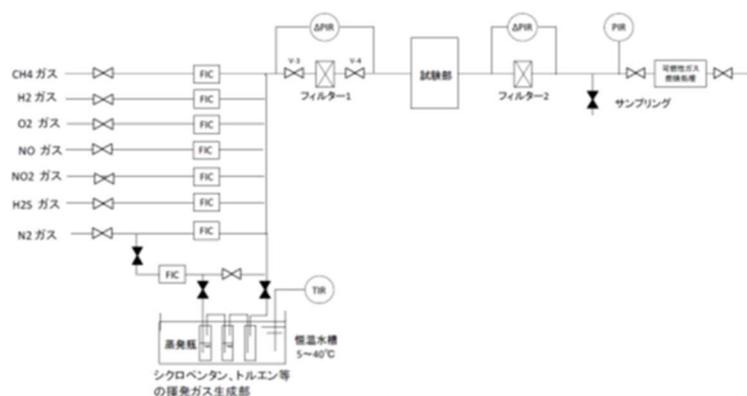


図 12 試験システム図

b. 実施結果

2015 年度、脱水素設備からの製品水素品質から、必要な試験項目と方法を検討し、手順書を作成した。

2016 年度、ガム状物質析出特性試験 (図 12 参照) を実施して、予混合燃焼 GT への 20 vol%水素混焼時の影響評価を行う。

c. 成果及び達成度

2016 年 9 月末時点で、試験仕様の策定を終え、試験準備作業を進めている (当初予定通りのスケジュール)。今後、2017 年 1 月まで試験を実施し、2 月に結果取り纏めの計画。

② 脱水素反応熱を GTCC 発電所の HRSG から供給する方法の可能性検討

a. 実施内容

GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) 発電所の HRSG (排ガスボイラー) に Hot Oil Heater (HOH)を設置し、熱媒により脱水素反応熱を供給する場合をシミュレーションにより検討する。検討条件は、①GTCC は 450MW クラス予混合燃焼、②天然ガスへの水素混焼率を 70 vol%。

b. 実施結果

シミュレーション検討により部分負荷時も含め HOH を設置した場合の、発電効率を比較したところ、若干の効率向上が見られた。(図 13 参照)。本シミュレーションを通じ、①GT 起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステム構築には課題があることも確認された。

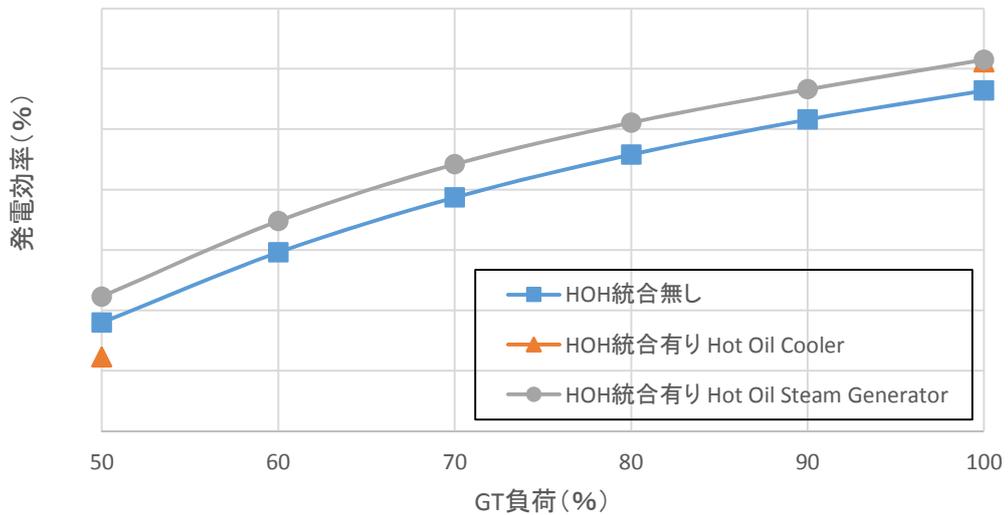


図 13 HOH の有無による発電効率比較

c. 成果及び達成度

脱水素反応熱を GTCC 発電所の HRSG から供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。合わせて、その実現に向けた課題の頭出しを行うことができた。

(10) 水素サプライチェーンの将来形態検討第 2 期計画具現化 (テーマ番号: F-1)

① 水素源調査

a. 実施内容

今回の調査では、将来の水素チェーンの有り得る姿(規模・形態)を考察する基礎情報として、経済面、環境面から有望な水素源の検討と期待しうる水素源の規模、地域を整理し、ロングリストを作成するため、表 12 に示す水素源を対象に以下の STEP1、STEP2 のアプローチで有望水素源の調査を行う。

ロングリストに記載された水素供給ポテンシャルは、目安として当該国の供給ポテンシャルの 7~8 割程度をカバーするものとした。

STEP1 潜在的な水素供給ポテンシャル (水素量に換算) 高い国を 10 か国程度スクリーニング

STEP2 スクリーニングされた 10 か国程度において、有望な水素源のリストを作成

表 12 水素源一覧

水素源	水素製造方法
副生水素	電解プラント、メタノールプラント、エチレンプラントからの副生水素
褐炭	褐炭のガス化+改質による水素製造
油田随伴ガス(フレア)	フレアリングされている油田随伴ガスを改質し水素製造
油田随伴ガス(圧入利用)	油田の圧力維持の為に圧入されている油田随伴ガス(随伴ガスに依り水素を製造し、副生物として得られる二酸化炭素を圧力維持の為に圧入ガスとして利用することを想定)
再生可能エネルギー	太陽光・風力・水力・地熱発電の電力を利用した水電解

b. 実施結果

水素源毎に以下の調査結果を得た。途中計画である STEP1 の結果は省略し、STEP2 終了時の結果のみ記載する。

- 副生水素（電解プラント、メタノールプラント、エチレンプラントからの副生）
中国・米国・ロシアが供給ポテンシャル上位国であり、サウジアラビア、イラン、UAE 等の中東諸国が続く。上位国では、十数万 Nm³/h 規模の水素の供給ポテンシャルがあることから当面の水素源として期待できる。しかしながら、他の水素源に比べると規模が限定的であり、数十万 Nm³/h クラスのさらに大規模な水素源としては厳しい。
- 褐炭(ガス化により水素製造)
インドネシア・オーストラリア・インド・トルコ等が有望候補と考えられる。供給量の面での制約が少なく数十万 Nm³/h クラスの水素源としても期待できるが、CO₂ 処理方法の検討、水素製造コスト低減の検討を要する。
- 油田随伴ガス(フレアガス)
ロシア・イラン・イラク・インドネシア等が有望候補と考えられる。フレアガスの発生源が分散しがちな為、水素源としての有望度は個別の油ガス井毎に精査が必要である。
- 油田随伴ガス(油田圧入ガス)
アラスカ・イラン・カナダ・UAE・イエメン等が有望候補と考えられる。数十万 Nm³/h クラスの水素源としての利用が期待される地域も存在するが、圧力維持の為に圧入ガスとして CO₂ を利用可否が油井工学的見地から難しいケースもあり、より正確な有望度評価の為に個別の地域・油田毎の詳細調査が必要となる。
- 再生可能エネルギー（太陽光・風力・地熱・水力）
太陽光は、日射量、オフグリッド地域とのマッチング(人口密集地から離れている場

所ほど有望とした)、海岸までの距離(海岸部に近い程水素の積出しが容易であり有望度高とした)、地形とのマッチングで評価、中東エリアのサウジアラビア、イエメン、オマーン、イラン等が有望地域として挙げられた。風力は、平均風速、オフグリッド地域とのマッチング、海岸までの距離で評価、中国、ニュージーランド、インド、オーストラリア、オマーンと、世界各地に有望地域が点在している。地熱/水力は賦存量の観点からはポテンシャルのある国はあるものの、陸続きの隣国への電力輸出が可能なケースが多く、有望地域がアジア諸国やロシアに限定される。

c. 成果及び達成度

水素源・地域ごとに概算レベルで供給ポテンシャルの評価をすることができた。また、水素源・地域ごとに供給ポテンシャル精査のポイントを明らかにすることが出来た。

② 第2期計画具体化（実証チェーンの具体化）

a. 実施内容

前述までの研究成果、地理的制約や既存設備に関する調査結果、技術的な検討を踏まえて、実証チェーンの規模、形態等を以下の通り定めた。なお、以下の検討結果は現時点での計画であり、今後のステークホルダーとの協議により、実行段階においては一部が変更となる可能性もある。

b. 実施結果

(i) 規模

水素化プラント、脱水素プラントそれぞれについて 300Nm³/h 程度の規模とする。大規模化の観点からは、当社子安リサーチパーク内で稼働中の技術実証プラント(50Nm³/h)と初期の商業チェーン(数万 Nm³/h)との間をつなぐ位置付けとなるが、チェーン全体およびプラントの机上スケールアップの確実性と実証コストを勘案し、チェーン規模を決定した。なお、1年間の実証運転を通じて 200t 程度の水素(FCV 満タン換算で4万台分)を本チェーンより輸送する計画である。

(ii) 水素源

本章①にて述べた副生水素供給ポテンシャルに関するスクリーニング調査を通過し、詳細調査対象となったH国のL化学工場からの副生水素を水素源とする。

(iii) 形態

年間の水素輸送量を踏まえ、経済性や現地固有の事情を勘案し輸送手段を検討した結果、メチルシクロヘキサン、トルエンに輸送は ISO コンテナを利用することとした。水素源から水素需要先までの大まかなフローを図 14 に示す。

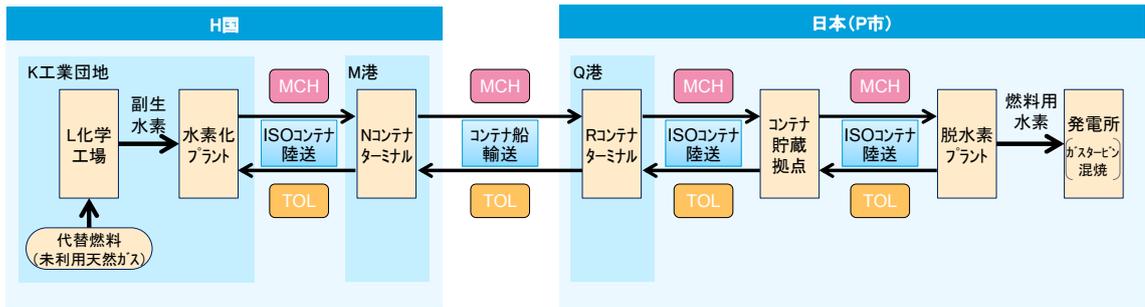


図 14 実証チェーン概略フロー

なお、国内に開設予定のコンテナ貯蔵拠点は、後述の通り脱水素プラントを既設石油精製工場内に設置する為、敷地内の貯蔵容量が限定的な為、これを補完する為に設置するものである。

(iv) 配置

【海外】

東南アジアの資源国である H 国の K 工業団地内に実証サイトを開設し、水素化プラントを設置する。なお、前述の水素源となる L 化学工場も同工業団地内にあり、同工場と水素化プラントの間を結ぶパイプラインも新たに建設する。

ISO コンテナの荷役拠点としては同国内の M 港にある N コンテナターミナルを利用する。

【国内】

首都圏 P 市の石油精製工場の一角を借用し、脱水素プラントを設置する。既設工場内に設置することで、一部の用役(蒸気、圧縮空気等)については同工場から供給を受けることが可能となり、実証コストの削減が期待できる。なお、水素需要先となる発電設備も同工場内に設置されている。

ISO コンテナの荷役拠点としては P 市内の Q 港にある R コンテナターミナルの利用を計画している。また、前述の貯蔵基地については、物流事業者の倉庫、または P 市内の工場跡地を活用する計画である。

c. 成果と達成度

本検討の成果として、国内外の設備の規模・水素源・形態・配置が決まり、設計作業に着手する事が可能となった。

3.2 成果の意義

(1) チェーンの大規模化の観点から

表 13 に示した 4 つのテーマの成果から、有機ハイドライド水素輸送チェーンのコア要素である脱水素触媒、トルエン、水素化・脱水素反応器に関して、数万～数十万 Nm³/h 規模の商業化チェーンの実現に必要な技術が概ね確立できたとものとする。本研究第 2 期において、当該テーマの成果を反映した実証チェーンの運用と技術検証を行うことで、商業水素チェーンの運用開始への技術面での準備が整うものと期待できる。

表 13 チェーン大規模化に関連するテーマの成果

#	テーマ名	成果	備考
H-1	水素化スケールアップ検討	反応器スケールアップの妥当性を確認	-
D-1	脱水素スケールアップ検討	反応器スケールアップの妥当性と改善方向性を確認	-
D-4	触媒商業生産課題検討	大規模触媒製造が可能であることを確認	第2次試作実施中
C-1	商用トルエン運転検証	商業規模でのトルエン調達仕様を策定	当社千代田化工子安デモプラントにて検証運転実施中

(2) エネルギー輸送チェーンの安定運用の観点から

表 14 に示した 5 つのテーマの成果から、エネルギー輸送チェーンとしての安定運用に資する技術の確立に一定の目処が立ったものと考えられる（一部テーマについては実証チェーンでの技術検証を予定）。多くのテーマが想定した需要家ニーズをベースに目標設定しているため、本研究の成果により直ちに商業水素チェーンの準備が完了とは言えないが、需要家ニーズへ対応する為に必要な技術的な基盤が整えられたものと考えられる。

表 14 エネルギー輸送チェーンの安定運用に関連するテーマの成果

#	テーマ名	成果	備考
H-2	不純物除去設備の仕様検討	蒸留設備仕様の妥当性を確認	-
D-2	負荷追従性向上策検討	要求仕様（負荷追従性）への対応が可能であることを確認	-
D-3	水素純度向上策検討	要求仕様（水素純度）への対応が可能であることを確認	-
C-2	サプライチェーン設備構成検討	設備構成が供給安定性に与える影響について基本的な定量評価手法を確立	シミュレーションモデルの機能強化、追加ケーススタディを実施中
C-3	設備仕様オペレーション要件検討	脱水素反応熱の効率的な供給の可能性を示唆	燃料析出試験準備中

(3) 実証チェーン具体化の観点から

(1)(2)において記した通り、実証チェーン運用を通じて幾つかのテーマにおいては商業化に向けて本研究で確立した基盤技術を検証する必要がある。「F-1：水素サプライチェーンの将来形態検討と第2期計画具現化」においては、今後ステークホルダー各社との商務面の調整は必要ではあるものの、2020年1月から1年間の実証運転計画を策定、技術検証の場を確保することに一定の目処がついたと考えられる。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

本研究の最終目標である「2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指した、プロトタイプ規模のサプライチェーン構築」の実現に向けて、以下の課題を認識している。いずれも、最終目標の達成には解決することが必須であり、各項にて述べるアプローチで着実に研究開発を推進していく。

(1) 基盤技術

第1期の研究テーマ全10件のうち、実証チェーンの構築にその成果を直接活用するのは表15に示した6テーマである。

表15 実証チェーンに成果を活用するテーマの進捗状況

#	テーマ名	実証チェーン構築準備状況
H-1	水素化スケールアップ検討	完了(目標達成)
H-2	不純物除去設備の仕様検討	完了(目標達成)
D-1	脱水素スケールアップ検討	完了(設計段階で要追加ケーススタディ)
D-2	負荷追従性向上策検討	完了(設計段階で要追加ケーススタディ)
D-4	触媒商業生産課題検討	実施中 (第1次試作・評価を完了、第2次試作中)
C-1	商用トルエン運転検証	実施中 (トルエンスクリーニングを完了し、デモプラントにて検証運転中)

実証チェーンの構築準備という観点からは、4テーマ(H-1, H-2, D-1, D-2)については、一部テーマで追加のケーススタディが必要であるものの、初期の目標を達成し完了している。

2テーマ(D-4, C-1)については実施中であるが、既に完了した分析・評価作業から概ね目標通りの成果が期待できるものと考えている。引き続き適切なスコープ・進捗管理を継続し、第1期期間中の目標達成を目指していく。

(2) 運用準備

本実証においては、従来に見ない循環型のエネルギーサプライチェーンを運用する。第1期を完了し、技術的には万全の備えでチェーンの構築に取り組むものの、実際の運用段階では想定外の事象の発生も想定される。

安定的なチェーン運用を実現する為に、様々な事象を想定したチェーンオペレーション計画の立案が必要不可欠である。具体的には、海運会社、物流会社、石油精製会社等と連携しながら、実運用を念頭に置いた計画の立案を進める。

(3) スケジュール

チェーン全体としての運用開始は2020年1月を予定している。このことに加え、脱水素プラントの試運転は、水素化プラントの試運転完了後に可能になる(水素化プラントで製造したメチ

ルシクロヘキサンが脱水素プラントの試運転に必要となる)等のスケジュール制約があり、全体的にタイトなスケジュールとなる。

遅滞のない計画実現に向けて、スケジュールの全体感を踏まえたマイルストーンを設定、当該マイルストーンにおいてクリアすべき要件を明確に定め、その達成状況の見通しを継続的にモニタリングし計画的にプロジェクトを遂行する。

(4) ステークホルダーとの調整

輸送量・運用期間が限定的な実証チェーンと雖も、海外からのエネルギーサプライチェーンを実際に構築する為には、多岐にわたるステークホルダーとの調整・交渉が必要となり、計画実施段階では、事業実施主体のコントロールが効きにくい事象が発生することも想定される。

既に実施した設備仕様や運用要件についての検討結果を最大限活用し、またステークホルダー各社との対話を丁寧かつ迅速に進めることで、遅滞の無い計画実施を目指す。

4. まとめおよび課題、事業化までのシナリオ

第1期の成果により、本研究の最終目標であるプロトタイプサプライチェーンの構築については一定の目処が得られたと考えられる。しかし、プロトタイプチェーン構築のその先のゴールである大規模商業水素サプライチェーンの実現に向けては(1)信頼性の確立、(2)コストの低減、(3)市場環境の醸成の3要件が必要と考える。

(1) 信頼性の確立

本研究の第2期においてプロトタイプチェーンの運用を通じた課題抽出と対応策検討を行うことで、将来の事業化段階において、需要家のニーズに適合した信頼性の高い水素サプライチェーンの構築・運用を実現する為の、技術的基盤が確立するものと期待される。

(2) コストの低減

コストの低減は事業化にむけて解決が必須の課題である。資源エネルギー庁のロードマップにある2030年にプラント渡し30円/Nm³の実現に向けて、実証チェーンの構築と並行して、以下の3つのアプローチでの取り組みを行う。

a. チェーン形態・規模の適正化によるスケールメリット最大化

設備規模を拡大することで単位水素量当たりの固定費用の削減が期待できる。具体的には、水素供給ポテンシャルも勘案し、数十万Nm³/h規模の水素チェーン構築を目標とする。勿論、チェーンの規模は水素需要量が制約要因となるので、一つの水素源から複数の水素需要へ供給を行う等の工夫を行う。

また、チェーンの構成要素の能力(水素化・脱水素基地の貯蔵容量、タンカーの輸送力)とチェーンとしての信頼性は一般にトレードオフの関係にある為、サプライチェーンシミュレーションを活用し規模を適正化することで同様に固定費用の削減が期待できる。さらに、複数の水素源と水素需要を一体的に運用することで、信頼性確保の-marginとして保持する容量を削減可能となり、より一層の固定費用の削減が期待できる

上記の取り組みによりチェーン形態・規模を適正なものとし、スケールメリットを最大化す

ることでコスト低減を実現する。

b. 触媒改良による輸送効率向上・操業費用低減

収率向上や長寿命化等の触媒改良を推進する。例えば、収率を向上させることで、一定量の水素を供給する為に運ぶ必要のあるメチルシクロヘキサンの量を少なくでき、輸送費の削減が可能となる。また、触媒の交換頻度を下げることで、単位水素量当たりの触媒製造費や交換コスト等の操業費用の削減が可能になる。

c. 熱インテグレーション・排熱利用等による熱コスト低減

脱水素プラントの操業費用において大きな割合を占める熱コスト低減も重要な課題である。以下の3つの方策を水素の需要特性(規模・立地等)に合わせて適用することで水素コスト低減を目指す。

(i) 発電設備との熱インテグレーション

テーマC-3「発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件」の研究結果に記す通り、発電設備からの排熱を脱水素熱源として利用することで総合効率向上の可能性が示唆されている。但し、実現に向けては多様な運転モードへの対応等課題が多い。

さらに、今後の燃料電池技術の進歩により、事業用の燃料電池発電が実現した段階では、燃料電池の排熱を脱水素熱源として活用することもより有効な方策として考えられる。

(ii) 排熱利用

コンビナート等の工場排熱の利用も一つの方策として考えられる。これは、有効利用が比較的難しい200℃未満の排熱を利用し、低廉な熱源として活用するものである。但し、実現には触媒改良等により脱水素反応温度を低減させる必要がある。また、この場合排熱供給量が脱水素プラント規模の制約要因となるため、小規模ゆえに固定費が割高とならないように、コンビナートに既に存在するインフラ(荷役設備・貯蔵設備等)の転用・共用を検討することが必要となる。

(iii) 低炭素熱源

熱量当たりの単価という観点では、特段のコスト低減が期待できるものではないが、CO₂対策費の観点からは、低炭素熱源(バイオマス燃料等)の利用もコスト低減に資するものと考えられる。これは、熱量当たりの単価が同じで種類の異なる燃料の熱源利用を比較した場合、燃料のCO₂排出係数が小さい方が、水素1Nm³あたりのCO₂原単位が小さくなり、CO₂排出削減量1t当たりのコスト低減が期待できるものである。

(3) 市場環境の醸成

高信頼性・低コストを継続的な技術開発により追求することは大前提としても、2次エネルギーの媒体として水素を輸送する以上、他の1次エネルギーとの比較では相対的に高コストとなることは構造的な課題である。一方で、「相対的な高コスト」には以下のような環境面、エネルギーセキュリティ面での価値が含まれている

- ✓ エネルギーの消費地と離れた場所でCO₂の処理が可能となる。即ち、CO₂処理をより適した場所で行うことが可能となる
- ✓ 従来需要地への輸送が難しかったエネルギーの利用が可能となる

市場において上記価値の貨幣価値へ換算をどの様に行うかは非常に難しい課題ではあるが、事

業としての2次エネルギー輸送チェーンの成立の為には、その価値を織り込んだ取引が行える市場環境の醸成は必須要件である。

課題としては、一事業者の取組範囲を大きく超えたものとなるが、技術開発を進める当事者としては、実証チェーン運用を通じて、社会に対しての課題提起を継続的に行っていきたい。

5. 研究発表・特許等

該当なし

(Ⅱ - (ロ) - ①) 「水素社会構築技術開発事業 / 大規模水素エネルギー利用技術開発 / 水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」 助成先：(株)大林組、川崎重工業(株)

● 成果サリ (実施期間：平成27年度～平成29年度終了予定)

- ・ 統合型EMSの開発について、双方向蒸気融通技術と統合型EMSを導入し、水素CGSを地域電源としたエネルギー供給設備に関する基本計画が完了。
- ・ 水素CGSの開発について、最終目標達成に必要な実証試験設備の設置に向けたシステム及び機器構成の基本検討および適用法令の検討・整理が完了。

● 背景/研究内容・目的

◎ 背景
平成26年4月策定の「エネルギー基本計画」では、エネルギーマネジメントシステム(EMS)はスマートコミュニティにおけるエネルギー使用の合理化や低炭素化などを達成するための重要なシステムとして位置付けられており、「電気」「熱」「水素」を最適にマネジメントし経済性に優れた統合型EMSの将来導入ニーズは相当規模存在すると思われる。

また、平成26年6月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」、平成28年3月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版」では、水素発電の本格導入を目指しており、水素混焼・専焼可能なガスタービンコージェネ(CGS)の開発が求められている。

◎ 研究内容・目的
水素を燃料とする1 MW級ガスタービンを有する発電設備(水素CGS)を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新エネルギーシステム(統合型EMS)の技術開発・実証を行い、水素・天然ガス混焼ガスタービンの燃焼安定性の検証、双方向蒸気融通技術の確立、統合型EMSの経済的運用モデルの確立に取り組み、統合型EMSおよび水素CGSの事業化を推進する。

● 研究目標

実施項目	目標
A : 「統合型EMSの開発」	「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルと双方向蒸気融通技術の確立
B : 「水素CGSの開発」	実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

A. 統合型EMSの開発

- ① 現地調査の実施
水素CGS設置場所、エネルギー供給先となる需要家施設、水素CGS設置場所から需要家施設までの公道を現地調査し、熱供給方法、経路を決定した。
また、水素CGS設置場所の地質調査を実施し、基礎構造形式検討のための地質調査結果をまとめた。
- ② 関連法令の整理
本設備の建設に関連する法令の洗い出し、協議事項、諸官庁協議先の整理を完了した。
- ③ 基本計画の作成
①②の結果より、電気・熱供給方法、附帯設備仕様、供給経路を決定し、基本計画を作成した。また、概算工事費を見積り、事業性を再検証し、エネルギー供給先を決定した。

B. 水素CGSの開発

- ① 設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討
実証試験設備の運用条件、システム構成、電気/制御、環境条件、設置条件、設計条件、工事所掌、試験時の実負荷使用、ユーティリティ条件の洗い出しが完了した。
- ② 適用法令の予備検討・適用法令の決定
その他のCGS設置関連法令の整理
実証試験設備設置に関連する法令の詳細検討・整理を完了した。

● 今後の課題

- A. 統合型EMSの開発
基本計画を基に、実証試験設備の建設に向けた設計・機器製作・工事を推進する。
- B. 水素CGSの開発
これまでに得た成果を基に、実証試験設備設置に向けた機器の設計・製作および官庁申請を推進する。

● 実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

実施項目	成果内容	自己評価
A : 「統合型EMSの開発」	中間目標 ・ 基本計画段階における現地調査、地質調査の完了 ・ 関連法令の整理の完了 ・ 基本計画の完了	○
	最終目標 ・ 「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデル確立の完了 ・ 双方向蒸気融通技術確立の完了	△
B : 「水素CGSの開発」	中間目標 ・ システム及び機器構成の基本検討の完了 ・ 適用法令の検討・整理の完了	○
	最終目標 ・ 実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	14件	なし

課題番号：Ⅱ－(口)－③

研究開発名：「水素利用研究開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 ／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

1. 研究開発概要

◎背景

「エネルギー基本計画（平成26年4月）」、「水素・燃料電池戦略ロードマップ（平成26年6月）」では、水素社会の実現に向けて、水素需要の拡大や水素サプライチェーン構築との一体的な取り組みの必要性が示された。また、「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版（平成28年3月）」には、水素発電の本格導入が示された。自家発電用・発電事業用水素発電の本格導入、商業ベースでの効率的な水素の国内流通網の拡大を目指しており、水素の混焼・専焼可能なガスタービンコージェネ（CGS）の開発が求められている。また、エネルギーマネジメントシステム（EMS）は、スマートコミュニティにおけるエネルギー使用の合理化や低炭素化などを達成するための重要なシステムとして位置付けられている。

一方、水素CGSは実用化されておらず、また、水素をエネルギーの中心として捉え、「電気」「熱」「水素」の三位一体でマネジメントするという取り組みは行われていない。

◎研究内容・目的

水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出・利用拡大として、水素と天然ガスを燃料とする1MW級ガスタービンを有する発電設備（水素CGS）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーマネジメントシステム（統合型EMS）の技術開発・実証を行う。

本実証では以下のテーマの開発を実施する。

- A. 統合型EMSの開発【株大林組】
- B. 水素CGSの開発【川崎重工業株】

2. 研究開発目標

◎最終目標

A. 統合型EMSの開発

A-1) 「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルの確立

電力・熱・水素を総合管理し、更に既存熱源設備やクラウドを活用することで、既存システムと同等以上の効率性、経済性、環境性を確保したエネルギーマネジメントシステム技術を確立する。

A-2) 双方向蒸気融通技術の確立

蒸気配管（熱導管）について、単管で蒸気を双方向に利用する技術を確立する。従来の一方方向利用ではなく、双方向利用による技術的課題（ドレン還水処理など）を解決し、設計手法を確立する。

B. 水素CGSの開発

B-1) 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

天然ガスと水素の切り替え及び任意の混焼割合の設定が可能となる、燃焼安定性を満たす技術を確立する。

水素と天然ガスの燃焼が可能な1MW級のガスタービンを設置し、運転試験によりタービン回転数・タービン入口ガス温度および圧力などの各種データより、燃焼安定性を確認する。

◎中間目標

A. 統合型EMSの開発

A-1) 「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルの確立

A-1-1) 基本計画・基本設計・詳細設計

- 基本設計のための基本計画が完了していること。
- A-2) 双方向蒸気融通技術の確立
 - A-2-1) 現地調査
 - 基本計画に必要な現地調査が完了していること。
 - 基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること。
 - A-2-2) 基本計画・基本設計・詳細設計
 - 関連法令の整理が完了していること。
 - 設計のための基本計画が完了していること。
- B. 水素 CGS の開発
 - B-1) 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証
 - B-1-1) 設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討
 - 現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること。
 - B-1-2) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他の CGS 設置関連法令の整理
 - G T 発電設備について、主となる適用法令の確認ができていること。
 - 水素 CGS 設置に関連する法令の洗い出しが完了していること。
 - 監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

- A. 統合型 EMS の開発
 - A-1) 「電気」「熱」「水素」の統合型 EMS の経済的運用モデルの確立
 - A-1-1) 基本計画・基本設計・詳細設計
 - 基本設計のための基本計画が完了していること。
 - (成果：基本計画が完了した。)
 - (達成度：○)
 - A-2) 双方向蒸気融通技術の確立
 - A-2-1) 現地調査
 - 基本計画に必要な現地調査が完了していること。
 - (成果：水素 CGS 設置場所、エネルギー供給先となる需要家施設、水素 CGS 設置場所から需要家施設までの公道を現地調査し、熱供給方法、経路を決定した。)
 - (達成度：○)
 - 基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること。
 - (成果：水素 CGS 設置場所の地質調査を実施し、基礎構造形式検討のための地質調査結果をまとめた。)
 - (達成度：○)
 - A-2-2) 基本計画・基本設計・詳細設計
 - 関連法令の整理が完了していること。
 - (成果：本設備の建設に関連する法令の洗い出し、協議事項、諸官庁協議先の整理を完了した。)
 - (達成度：○)
 - 設計のための基本計画が完了していること。
 - (成果：電気・熱供給方法、附帯設備仕様、供給経路を決定し、基本計画を作成した。また、概算工事費を見積り、事業性を再検証し、エネルギー供給先を決定した。)
 - (達成度：○)
- B. 水素 CGS の開発
 - B-1) 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証
 - B-1-1) 設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討
 - 現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること。

(成果：運用条件、システム構成、電気/制御、環境条件、設置条件、設計条件、工事所掌、試験時の実負荷使用、ユーティリティ条件の洗い出しが完了した。)
(達成度：○)

B-1-2) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他のCGS設置関連法令の整理
GT発電設備について、主となる適用法令の確認ができていること。

(成果：発電用GTは電気事業法を適用することとし、液体水素の貯留・供給部分は高圧ガス保安法を適用することとした。)
(達成度：○)

水素CGS設置に関連する法令の洗い出しが完了していること。

(成果：水素CGS設置に関連する法令の詳細の洗い出しを完了した。)
(達成度：○)

監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること。

(成果：監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了した。)
(達成度：○)

3. 2 成果の意義

A. 統合型EMSの開発

水素需要の拡大

従来の「電気」「熱」に新たに「水素」を加えた統合型EMSの構築は、水素CGSの最適制御に必要な運用システムとして普及し、水素需要の拡大に貢献できる。

スマートコミュニティの普及

既存熱源設備を有効活用できる双方向蒸気融通技術の確立は、熱融通網構築時の初期投資額抑制に繋がり、蒸気エネルギーインフラの整備、普及に貢献できる。また、クラウド方式でのEMS構築は、EMS構築時の初期投資額抑制に繋がり、EMSの導入促進に貢献できる。これらによって、エネルギー利活用の最適化、低炭素化の実現に向けたスマートコミュニティの普及に貢献できる。

B. 水素CGSの開発

CO2排出量削減

CO2削減効果の高い分散電源の導入は、国内のCO2排出量削減に大きく貢献できる。

水素需要の創出

1MW級水素CGSの年間水素消費量は、燃料電池自動（FCV）の約2万台分に相当することから、水素CGSの開発は水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出に大きく貢献できる。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

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達成した。今後は、統合型EMSの開発の開発については、基本計画を基に、実証試験設備の建設に向けた設計・機器製作・工事を推進する。水素CGSの開発については、これまでに得た成果を基に、実証試験設備設置に向けた機器の設計・製作および官庁申請を推進する。

本プロジェクトの最終目標は、水素を燃料とする1MW級ガスタービンを用いた発電設備（水素CGS）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新エネルギーシステム（統合型EMS）の技術開発・実証を行うことであり、これを実証する上で以下の3つの技術を確立することが重要である。

- ① 統合型EMSの経済的運用モデルの確立
- ② 双方向蒸気融通技術の確立
- ③ 水素燃焼安定性を満たす技術の確立

上記目標は、本プロジェクト終了時に達成可能と考える。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本プロジェクトの完遂により、1MW級水素CGS、双方向蒸気融通技術、統合型EMSは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題があれば、実用化に向けた課題の解決に取り組む。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
展示会				
1	2016/3/2 ～3/4	スマートエネルギーWeek2016 国際スマートグリッドEXPO	水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業	大林組
講演会				
1	2015/7/22	日経 社会イノベーションフォーラム「水素が切り開く日本の成長戦略とスマート社会」	CO2フリー水素導入構想への川崎重工の取り組み	川崎重工業
2	2015/7/29	第10回 再生可能エネルギー国際フォーラム	CO2フリー水素の製造と大量輸送技術	川崎重工業
3	2015/8/21	The 24th IIR International Congress of Refrigeration	DEVELOPMENT FOR ENERGY CARRIER WITH LIQUID HYDROGEN FROM OVERSEAS	川崎重工業
4	2015/10/14	WHTC2015 ; World Hydrogen Technologies Convention, Sydney, Australia	Development of Energy Carrier with Liquid Hydrogen from Australia	川崎重工業
5	2015/11/5	神戸市講演会「水素社会の実現へー環境貢献都市KOBEの取り組みー」	川崎重工業の水素社会への取り組み	川崎重工業
6	2015/11/13	日経 社会イノベーションフォーラム「産学官連携のイノベーションで実現する持続可能なスマート社会」	大林組技術研究所におけるZEBとエネルギースマート化への取組	大林組
7	2015/11/24	一般社団法人 日本電機工業会 2015年度 第83回 新エネルギー講演会	水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業
8	2016/2/4	I2CNER International Workshop	IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEES	川崎重工業
9	2016/2/9	第10回 イワタニ水素エネルギー	水素エネルギー導入と水素ガス	川崎重工業

		ギーフォーラム大阪	タービン発電の 実現に向けた川崎重工の取組み	
10	2016/4/13	16th Global Energy Village Summit	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業
11	2016/7/12	日経 社会イノベーションフォーラム「水素が切り開く日本の成長戦略とスマート社会」	CO2 フリー水素サプライチェーン 構想実現への取組み	川崎重工業
	他2件			

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名

(Ⅱ-(ロ)-④)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱日立パワーシステムズ株式会社
三菱重工株式会社

●成果概要（実施期間：平成27年度～平成30年度終了(または予定)）

- 低圧条件における燃焼特性に関する基礎データの取得を完了。装置を改良し、高圧条件での計測にステップを進める。
- 非燃焼条件における数値解析の精度評価を完了。燃焼モデルパラメータの調整を実施し、燃焼条件での解析精度向上に着手する。
- 現設計の燃焼器における水素混焼時の燃焼特性を試験により確認。LNG焚きガスタービン並みの運転裕度を確保する為、燃焼器の改良設計を進める。

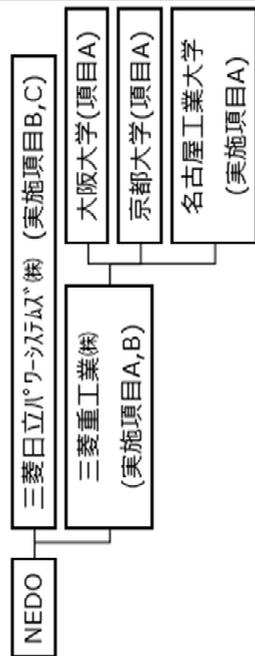
●背景/研究内容・目的

- 火力電力分野への水素エネルギーの適用は、大きなCO2削減効果を持つだけでなく、大規模水素需要の発生によるインフラ拡充や、水素生成コスト低減への波及効果も期待される。
- 水素インフラ導入期と予想される2020年といった比較的短期間での実用化を睨み、既存プラントに適用が可能な、水素・天然ガス混焼ガスタービンの開発を目的とする。

●研究目標

実施項目	目標
A	水素・天然ガス混焼運用時の燃焼器内部における燃焼状態を予測する為の基礎データのおよび燃焼数値解析の高精度化
B	水素混焼割合20vol%を達成する為の、燃焼器設計の完了
C	水素・天然ガス混焼発電プラントの設計に係る既存プラントからの変更項目の抽出および建設計画の策定

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- 大気圧条件における層流燃焼速度計測を実施し、水素混焼割合の変化が、層流燃焼速度に与える影響を明らかにした。
- 低圧条件(1.5MPa以下)における着火遅れ時間計測を実施し、水素混焼割合の変化および圧力の変化が着火遅れ時間に与える影響を明らかにした。
- 燃焼器1缶を対象に大規模数値解析を実施し、解析格子を適正化する事で、非燃焼条件における流速分布および燃料濃度分布の予測精度±20%を達成した。
- メインスリット1本を対象とした要素燃焼試験により、水素混焼割合の変化が、パージアウト特性に与える影響を明らかにした。
- 燃焼器1缶を対象とした実機圧力燃焼試験により、水素混焼割合20%条件において、逆火の発生無く安定的に運転が可能である一方、NOxが上昇する事を確認した。
- メインスリットの改良設計により、逆火耐性を向上し、更なる高水素混焼条件に対応可能となる目的を非燃焼条件における流速計測により得た。
- 水素混焼ガスタービンプラントを実現する上で、既存の天然ガス焚きプラントからの変更必要箇所を抽出し、材料選定の基準としてAPI RP 941 8th Edition(2016)の適用が望ましい事を確認した。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	低圧条件での燃焼速度および着火遅れ時間の計測を完了。 非燃焼解析の精度検証を完了。	△
B	現設計における水素混焼運用の実力確認を完了。	△
C	天然ガス焚きプラントからの設計変更必要箇所の抽出を完了。	△

- 今後の課題
- 燃焼速度計測装置および着火遅れ時間計測装置の高圧化改良。
- 燃焼解析モデルのパラメータ調整。
- 更なる高水素混焼を可能にする逆火耐性向上設計。
- 水素・天然ガス混焼プラントの具体的な基本建設計画策定。
- 実用化・事業化の見通し
- 水素20%混焼条件でのガスタービン運用について、技術的に達成可能な目途を得た。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
4		1	

課題番号：Ⅱ・(口)-④

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／ 低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の 研究開発」

1. 研究開発概要

日本国内における一次エネルギーの主たる変換先は、電力であり、全体の約43%を占めるに至っている。また、日本の電力構成は震災以後、その大部分を火力発電に依存している。この為、火力電力分野への水素燃料の適用は、大きな二酸化炭素削減効果をもたらすと同時に、大規模水素需要の発生による水素インフラの拡充や水素生産コスト低減への波及効果も期待できる。

火力発電の発電効率は、天然ガス火力（ガスタービンコンバインド）発電が最も高い。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の為には、水素から電力への高効率な変換が重要となる為、ガスタービンコンバインド発電分野への水素燃料適用可能なガスタービンの開発が必須と言える。

現在の大型ガスタービンは、効率が高く、水や水蒸気の噴射を伴わずに低NO_x化を実現可能な予混合燃焼方式（Dry Low NO_x）の採用が主流になっている。大型ガスタービンの標準的な出力は約500MWであり、ガスタービン1台について体積割合で20%の水素を混焼させた場合、水素の燃焼により得られるエネルギーは、発電エネルギーの約6%分に相当し、CO₂フリーの一次エネルギー源で水素を製造すると、6%のCO₂削減が可能である。また、その年間水素消費量はおよそ12,500トンに及ぶ。これは燃料電池車の水素消費量に換算すると10万～13万台分に相当する。

完全な水素発電を実現するためには、発電システムの開発のみならず、水素供給インフラの十分な整備が必要となり、早期に実用化する事は難しい。そこで、水素インフラの導入期においては、現状のガスタービンの一般的な燃料である汎用天然ガスに水素を混合し、燃焼させることで発電エネルギーを得る方法が有用と考える。

本事業では、天然ガス中に体積割合で20%の水素を含有した燃料を前提とし、現在の天然ガス燃料ガスタービンと同様の安定性と低NO_x性を両立したガスタービンを実現する上で、必要な課題の抽出と、その解決に向けた研究を行うことによって、プラント建設・運用にむけた具体的な計画を策定する。

2. 研究開発目標

本事業では水素インフラ導入期での実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。具体的には、天然ガス中に体積割合で20%の水素を含有した燃料を前提とし、現在の500MW級コンバインドサイクル用天然ガス燃焼ガスタービン(以後500MWCC用ガスタービン)と同様の出力、安定性と低NO_x性を両立したガスタービンの開発を目的とする。

3. 研究開発成果

3.1. 研究開発成果、達成度

研究開発項目毎に、設定した目標とその達成状況を表 3.1 に示す。各項目共に平成 28 年度上期までに設定した中間目標を達成しており、最終目が達成可能な目途を得た。したがって、図 3.1 に示すように、スケジュールの遅れは発生していない。(図中には複数の研究開発項目に関係する目標のみ示している。) 以下に研究開発項目ごとの成果概要を示す。

表 3.1 研究開発項目毎の目標と達成状況

開発項目	中間目標	中間目標 達成状況	最終目標	最終目標 達成見通し
A-1 水素・天然ガス 混焼火炎の燃焼速度 データベースの構築	実機燃焼器内圧の 40% 以上まで計測装置の内圧 上昇可能を確認	○	高圧/高温条件における 乱流燃焼速度の計測を完 了	装置改良による 高圧条件への対応に より達成可能
A-2 燃焼シミュレーションの 高度化	非燃焼解析結果と計測結 果の差が±20%以内	○	燃焼解析結果と計測結 果の差が±20%以内	燃焼解析モデルの パラメータ調整による 高精度化により達成可能
A-3 水素・天然ガス 混合気体の着火遅れ 時間データベースの構築	実機燃焼器内圧の 40% 以上まで計測装置の内圧 上昇可能を確認	○	実機燃焼器内部条件にお ける着火遅れ時間の予測 を可能とする	装置改良による 高圧条件への対応により 達成可能
B-1 逆火耐性の向上設計技術	実機運用条件の整理完了	○	水素混焼 20%において LNG 焚き燃焼器 T1T1600℃条件並みの 効率、低 NOx 性能、安定 燃焼の達成	逆火耐性向上の為の 改良設計により、 更なる高水素混焼割合に おいても、天然ガス焚ガス タービンなみの運転裕度 を確保可能
B-2 ノズル要素試験による 逆火耐性の評価技術	現設計における水素混焼 実力の評価を完了	○		
B-3 単缶燃焼器による 実機圧力燃焼試験技術	現設計における水素混焼 実力の評価を完了	○		
C 水素・天然ガス 混焼プラントの設計技術	配管機器・材料への 水素適用影響調査完了	○	水素混焼ガスタービン発 電設備に関する基礎設計 の完了	検討範囲を器機選定およ び運用制御に順次拡大し 達成可能

大項目	中項目(テーマ名と担当)	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018
A 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度チューニングの構築 (MH/大阪大学)	燃焼速度計測装置計画 燃焼速度計測装置製作 試験条件	燃焼速度計測装置製作 燃焼速度計測装置製作 燃焼速度計測装置製作 燃焼速度計測装置製作	燃焼速度計測装置製作 燃焼速度計測装置製作 燃焼速度計測装置製作	燃焼速度計測装置製作 燃焼速度計測装置製作
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化 (MH/京都大学)	燃焼器モデル 非燃焼条件解析 解析条件	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間チューニングの構築 (MH/名古屋工業大学)	着火遅れ時間計測装置計画 試験条件	着火遅れ時間計測装置計画 着火遅れ時間計測装置計画 着火遅れ時間計測装置計画	着火遅れ時間計測装置計画 着火遅れ時間計測装置計画 着火遅れ時間計測装置計画	着火遅れ時間計測装置計画 着火遅れ時間計測装置計画
B 燃料成分の変化する不安定運転範囲を拡大する技術	B-1 逆火耐性の向上設計技術 (MHPS)	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル
	B-2 ノズル要素試験による逆火耐性の評価技術 (MH)	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル
	B-3 単圧燃焼器による実機圧力燃焼試験技術 (MHPS)	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 (MHPS)	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル 燃焼器モデル	燃焼器モデル 燃焼器モデル

図 3.1 研究開発項目毎の進捗状況

研究開発項目 A 燃焼器内部温度分布を予測する技術

水素・天然ガスの混焼においては、燃焼速度の変化により燃焼器内部の温度分布が変化すると考えられる。燃焼器内部の温度分布はガスタービンの性能に影響を与える。水素の含有が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データの取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能なレベルを達成する。

A-1. 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築

本研究開発事業において対象となる水素混焼ガスタービンでは、水素と天然ガスの混合ガスが燃料として用いられる。水素と天然ガスでは燃焼速度が大きく異なることから、ガスタービン燃焼器内部の温度分布予測および燃焼制御のためには、水素と天然ガスの混合ガスを燃料とした際の燃焼速度を把握する必要がある。本研究では、水素とメタンの混合ガスを燃料、酸化剤を空気とした予混合気の水素混合分率、当量比、圧力、温度、流量および乱流強度が調整可能なモデルバーナを計画・建設し、それらのパラメータを振って燃焼速度を計測することでデータベースを構築し、ガスタービン燃焼器内部における燃焼速度の予測技術を確立することを目的としている。現在までに大気圧条件における層流燃焼速度の計測と、高圧計測試験で適用する装置の計画・設計を完了している。

大気圧条件における層流燃焼速度の計測には、スロットバーナ、燃料および酸化剤の供給系から構成される試験装置を使用した。試験条件を表 3.2 に示す。

表 3.2 層流燃焼速度計測条件

1) 燃料ガス	メタン、水素、空気
2) 空気温度	常温、500K
3) 空気圧力	1ata (abs)
4) ガス流量	マスフローメータを用いた最大流量
5) 水素混合分率	0, 20, 40, 60vol%
6) 当量比	0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2

常温、大気圧下における層流燃焼速度の計測により、水素混合分率が 40vol%以下の条件では、当量比 1.1 付近で層流燃焼速度が最大値となり、水素混合分率を増加させるほど、層流燃焼速度が上昇する結果を得た。水素混合分率が 60vol%まで増加と水素燃焼の影響が支配的になり、当量比 1.2 付近で層流燃焼速度が最大となることが分かった。

大気圧条件での層流燃焼速度の計測に加え、メタン、水素、空気の予混合気を燃料とした高圧条件（目標 1MPa）計測に適用するバーナの設計・試作を行なった。また、燃料供給系の配管設置検討を実施した。

A-2. 燃焼シミュレーションの高度化

ガスタービンの開発において、開発コストの低減と、工期短縮のために数値シミュレーションが積極的に活用されている。数値シミュレーションによる水素混焼影響の精度良く予測する為には、適正な燃焼モデルの選定が必要となる。現在一般的に適用されているマグヌッセンモデルは、燃料と酸化剤の混合状況の影響のみを考慮する為、水素混焼のように燃焼速度が変化する影響を予測することはできない。本研究目では燃料組成の影響がモデル中に陽に反映される **Flamelet** モデルの適用を試みる。

現在までに、非燃焼解析の実力把握の為、当社のガスタービン燃焼器の気流（非燃焼）条件で実施し、流速分布、燃料濃度分布の予測結果を既存の計測結果と比較検討し、その予測精度が±20%以下の誤差である事を確認した。

解析メッシュは、当社のガスタービン燃焼器を解析対象として作成した。セル数は約4億、節点数は1.30億となり、大規模LES解析を実施する。表3.3に示す通り、乱流モデルに **LES Dynamic SGS** モデルを使用して、非定常解析を実施した。解析条件は非燃焼気流試験を模擬している。

表 3.3 解析条件

項目	設定
定常／非定常	非定常解析
圧縮／非圧縮	圧縮
燃焼／非燃焼	非燃焼
乱流モデル	LES SGS: Dynamic SGS
乱流 Sc/Pr	0.4/0.4
燃焼モデル	無し
並列数	2000

解析より予測された流速分布、燃料濃度分布を非燃焼試験での計測結果と比較することで、解析精度の検証を行った。流速分布予測、濃度分布予測共に、目標である予測誤差±20%以内を達成した。

A-3. 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築

天然ガスと水素の混焼において、燃焼速度の変化に加えて問題となるのが自己着火温度発生条件の変化である。燃焼器の上流側（本来火炎が存在しない位置）で自己着火現象が発生すると、冷却されていない構造体が火炎にさらされ、燃焼器本体が焼損する可能性がある。水素は天然ガスと比較して、自己着火が起こる混合気温度が低く、自己着火に至るまでの時間（着火遅れ時間と呼称される）が短いことが知られている。しかしながら、天然ガスと水素の混合気体においては、水素の含有割合に応じて、それらがどのように変化するかは明らかとなっていない。本研究では、水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間のデータベースを取得してガスタービン燃焼器内部での自己着火発生の有無を予測する技術を確立する。現在までに図 3.2 に示す急速圧縮機を使用し低压条件(1.5Mpa 以下)での着火遅れ時間の計測を完了している。水素添加割合および圧力の上昇に伴い、着火遅れ時間が短くなることを確認した。

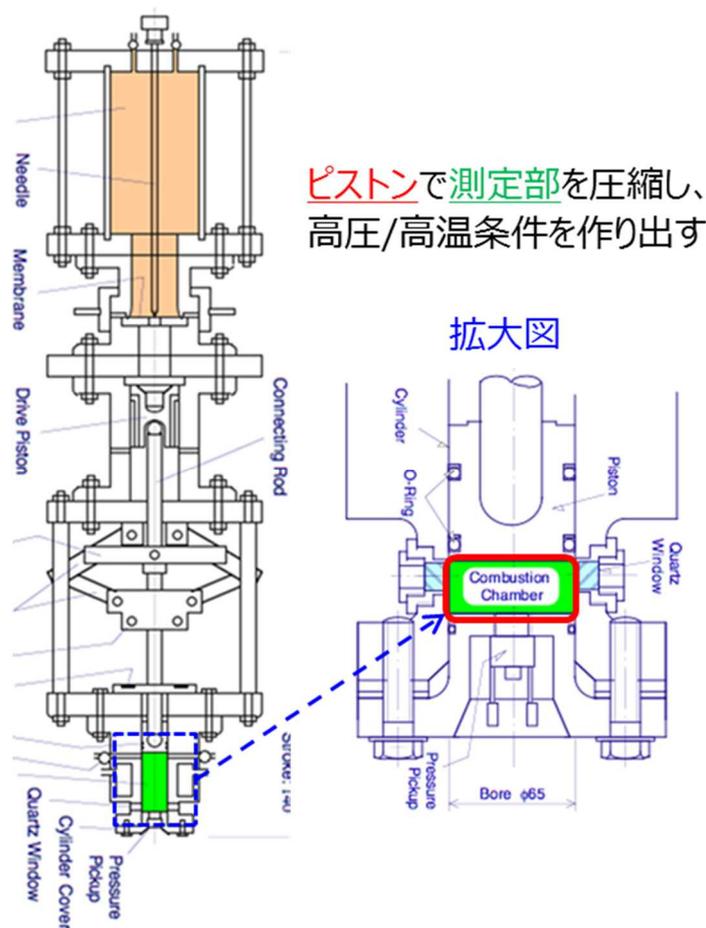


図 3.2 急速圧縮器

研究開発項目 B 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術

水素・天然ガスの混焼においては、燃料成分の変化によりその燃焼特性が変化する。そのような変化に対して幅広く対応可能な燃焼器の設計技術とその性能の検証方法について検討し、500MWCC 用ガスタービンで天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発する。

B-1. 逆火耐性の向上設計技術

天然ガスと水素を混焼させた場合、燃料成分の変化により燃焼特性が変化する。特に、ガスタービンを安定的に運転する為には、燃焼速度の変化に対応する技術の開発が必要となる。水素は天然ガスと比較して燃焼速度が大きいことがわかっている。燃焼速度が燃焼器内部の流速よりも大きくなった場合、火炎は燃焼器の内部を遡り、上流の無冷却部を焼損させる可能性がある。この現象を一般的に逆火（フラッシュバック）現象と呼称する。ガスタービンの開発においては、この逆火現象を起こさないために、燃焼器の逆火耐性を向上させる必要がある。逆火現象は壁面近傍の境界層内を火炎が遡上する壁面逆火現象と、渦芯を火炎が遡上する渦芯逆火現象の二つに大別される。本研究項目では、燃焼器の設計において前述した 2 つの逆火現象防止に効果的な改良箇所を抽出し、適正な改良を実施することで、体積割合で 20%までの水素を混焼させても安定的に運転が可能な燃焼器構造を設計することを目標とする。

渦芯における流速増加を狙い、改良ノズルに関する概念設計を完了した。当該ノズルでは渦芯部に生じる速度欠損を埋め、流速を増加させることを目的に、ノズル先端から空気を噴射する事を特徴とする。

B-2. 要素試験による逆火耐性評価技術

水素混焼の影響により、燃焼速度が上昇する為、逆火耐性に影響を及ぼすことが想定される。本研究開発項目では、ノズル単体を使用した要素燃焼試験（パーミアウト試験）および、非燃焼試験による流速計測、燃料濃度分布計測結果をベースに燃焼器の逆火耐性を評価する。

強制逆火状態から通常燃焼状態へ復帰可能な限界条件（パーミアウト限界）に対する水素混焼の影響を確認した。水素混合割合を 20vol%まで増加させた場合でも、定格条件においてパーミアウト可能であることを確認した。

また、前述の改良ノズルを対象とし、非燃焼試験により渦芯近傍の流速分布計測を実施した。ノズル先端から空気を噴射する事により、渦芯近傍の流速が増加する事が確認された。

B-3. 単缶燃焼器による実機圧力燃焼試験技術

ガスタービン燃焼器の燃焼特性に関する代表的な項目として、NO_x、燃焼振動があげられる。NO_x は酸性雨の要因物質である為、環境側面から排出量に対する規制値が存在する。一方、燃焼振動はガスタービンを安定的に運用する上で、一定レベル以下に抑える必要がある。NO_x、燃焼振動はともに燃焼圧力条件の影響を受ける為、実機圧力での検証が必要となる。そこで、フルスケールの燃焼器 1 本（実機は 16 本ないし 20 本の燃焼器を配置）を使用した実機圧力燃焼試験（実圧燃焼試験）を実施し、水素混焼が燃焼特性に与える影響を確認した。

本実圧燃焼試験では、MHPS 高砂工場の実圧燃焼試験設備を使用し、燃焼器単缶(1本)について実機運転条件と同等の条件を再現する。ガスタービン要素試験設備の外観を図 3.3 に示す。燃焼試験用の高圧・高温空気は二軸ガスタービンにより供給され、燃焼試験シェル内の実機車室形状(燃焼器 1 本分)を模擬したセクタへ導かれる。また燃焼試験用燃料を供給設備から燃焼試験シェルに供給される燃焼試験シェル内に設置された試験用供試体燃焼器にて、空気と燃料を混合させて燃焼させる。排ガスは、圧縮機駆動用ガスタービンの排ガスと共に排気塔から排出される。試験設備の装置構成を図 3.4 に示す。

実機の水素混合ガスを模擬するために天然ガスに水素を添加して実圧燃焼試験設備へ供給する。水素はローダ設備から供給されて、実機プラントの燃料を模擬するように添加量を調整する。



図 3.3 実圧燃焼試験設備外観

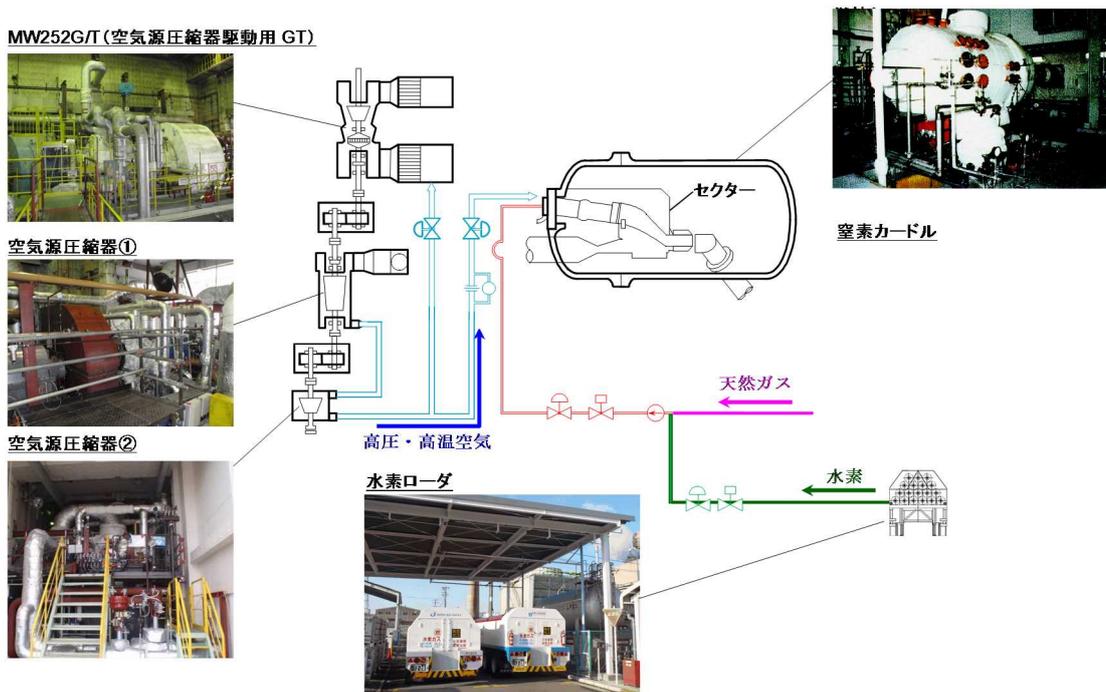


図 3.4 実圧燃焼試験設備系統概略図

水素混合割合の増加に伴い、NO_xの上昇が確認されたものの、水素混合割合 20%以下の条件であれば、フラッシュバックの発生、内圧変動の著しい上昇を伴わず、実機運用が可能である目途が得られた。一方で、水素混焼によりフラッシュバック発生までの裕度は狭くなっている可能性が大きいいため、今後は更なる高濃度水素混焼への対応の拡大と安定運用裕度確保の為、ノズルの改良設計を進める。

研究開発項目 C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

水素・天然ガス混焼ガスタービンの実現の為に、燃焼技術の開発だけではなく、材料の水素脆化等の影響を考慮しプラントに関する補機・系統・制御システムの設計および選定技術の開発が必要となる。そこで、実在するプラントをベースに、水素・天然ガス混焼ガスタービンを新設する場合および、改造適用する場合のそれぞれにおいて、プラント建設計画を策定することで、本事業の商品化にむけた基本設計（商品パッケージ化）を完了する。

C-1.天然ガス焚からの仕様変更箇所の抽出

ガスタービン複合発電設備において、ガスタービンの燃料ガスには、天然ガス、石炭ガス、製鉄所副生ガスが主に使用される。それらのガスに水素が含まれる場合もあるが、水素・天然ガス混合燃料は実績範囲外の水素濃度となることが予想される。水素成分の系統への影響は、その燃料ガス中の濃度増加と共に大きくなると考えられるため、水素特有の性質に対し、更に配慮した系統設計を進める必要がある。現在までに天然ガスと水素混合ガスを燃料ガスとして使用することを想定し、系統の材料選定に関する検討を完了している。

水素を含む系統の材料選定指針について規格・基準の調査を行った結果、API RP 941 8th Edition(2016)が適用可能であることを確認した。この規格の中にネルソンカーブと呼ばれる線図があり、この線図を用いて、流体中の水素分圧と温度から該当の系統の各材質の使用限界を確認できるようになっている。水素濃度が 20%またはそれ以上となった場合は、炭素鋼の使用限界を超えるため 1.25Cr-0.5Mo 鋼あるいは 1.0Cr-0.5Mo 鋼に変更する必要があると考えられる。

C-2.運用・制御に関する検討

着手前項目

C-3.プラント建設計画の策定

着手前項目

3.2. 成果の意義

燃焼速度データベースの構築、また着火遅れ時間の構築では今まで明らかとなっていなかった水素とメタン(天然ガスの主成分)の混合気体の燃焼特性に対し、貴重なデータを取得する事が出来た。今後、計測条件を高圧条件に広げる事で、水素・メタン混焼における燃焼特性を世界で初めて明らかにすることとなる。シミュレーションの高度化においては、非燃焼条件において、設計ツールとして必要十分な予測精度を達成した。今後、水素・メタン混焼に関する燃焼速度計測結果および着火遅れ時間計画結果をベースに燃焼の調整・検証を実施する事で、水素・メタン混焼に対し世界最高水準の解析予測精度を獲得可能な見込である。

燃焼器設計においては、世界最高水準の発電効率を達成可能な条件において、水素 20vol% を天然ガス燃料に混焼した状態でガスタービンの運転が可能な目途を得た。一方で、安定運転が可能な裕度は水素を混焼する事で狭くなる事が示唆された。天然ガス焼きガスタービンと同等の運転裕度の確保、さらには 20vol%以上の高濃度水素混焼への対応を可能とする為、逆火耐性を向上させる改良設計を進める必要が有る。

プラント設計では、配管材料の選定基準について、その評価指針が明らかとなった。今後検討項目を器機選定、制御方法に拡大する事で、プラント全体の建設計画策定をつなげていく。

4. まとめおよび課題、事業化までのシナリオ

これまでの研究・開発の成果により、世界最高水準の発電効率を達成可能な条件で天然ガス中に水素 20vol%を混焼運用可能な目途が得られた。また、水素と天然ガスの混焼に対する基礎的な燃焼特性の解明が進みつつある。その知見を活用し、燃焼器の改良設計を進める事で、天然ガス焼きガスタービンと同程度の安定裕度、さらには 20vol%以上の高濃度水素混焼への対応へとステップを進めていく。

事業化までのマイルストーンとしては、図 4.1 に示す通り、2018 年度までに本事業を通して水素・天然ガス混焼プラントの基礎設計を完了し、受注活動を開始する見込みである。さらに、2025 年度を目途にプラントの実証運転の完了を目指す。

	2015	2020	2025	2030	2035
水素供給	インフラ準備期		インフラ導入期		インフラ成熟期
開発フェイズ	基本設計		詳細設計	建設/実証運転	本格的な実機展開
実機展開	<ul style="list-style-type: none"> ・中小型GT ・JGEI、自家発 	<ul style="list-style-type: none"> ・大型ガスタービンのリプレイス開始 天然ガス焼きから水素混焼へ 		<ul style="list-style-type: none"> ・水素発電の本格展開 ・水素専焼GTの導入開始 	
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・電力分野のCO2低減 ・幅広い水素混焼割合への対応 			<ul style="list-style-type: none"> ・電力分野のカーボンフリー化 	

図 4.1 実用化に向けたスケジュール

(添付-2)
プロジェクト用語集

プロジェクト用語集

研究開発項目（Ⅱ）：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

課題番号：Ⅱ-（イ）-①：

「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

研究開発項目 1：「液化水素の長距離大量輸送技術の開発」

	用語	説明
英数	FEM	Finite Element Method の略。すなわち、有限要素法。数値解析手法のひとつである。
	GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastic の略。すなわち、ガラス繊維強化プラスチック。軽量ながらも高強度で、熱伝達率が低い特性を持つ。
	MLI	Multi-Layer Insulation の略。すなわち、積層断熱材。
あ行	アウトガス	海上輸送用タンクを構成する部材に含まれる物質のことで、時間と共に部材から揮発し、真空断熱層の真空度を悪化させるおそれがある。
	液化水素ポンプ	海上輸送用タンク内部に設置され、液化水素をタンクから移送するために用いられる、浸漬・電動式ポンプ。
さ行	真空層	断熱性能を持たせるために真空にされた、二重殻構造の間の空間のこと。
	真空度	真空槽内の圧力が高い場合、真空度は低い。逆に圧力が低い場合、真空度は高い。
	船級	船級協会が船舶などの海上構造物の船体・搭載機器などを一定の規定に基づいて検査し証明する、資格・等級。保険・売買などのための国際的標準となる。
た行	蓄圧式タンク	海上輸送用タンク内の液化水素から発生する BOG により、タンク内部は加圧される。蓄圧式タンクは、設計圧力まではこの加圧状態を許容するように設計されている。
	ドーム構造	海上輸送用タンクの上部に設置され、主に配管類の貫通と構造の固定及び拘束のために必要となる。タンク内部への検査なども、ドームを通ることを予定している。
な行	熱流束	単位時間あたりに単位面積を横切る熱量で、単位は W/m^2 。この値が低いほど、海上輸送用タンクの断熱性能が良い。
は行	破壊靱性試験	破壊靱性とは、亀裂または亀裂状の欠陥を有する材料に力学的な負荷が加わったときの、破壊に対する抵抗を意味する。低温環境下では一般的に低温脆性が問題となるので、低温環境下での破壊靱性を把握する必要がある。破壊靱性試験はこの破壊靱性値を得るための試験で、様々な試験方法があり、荷重の負荷形式や部材形状により異なる破壊靱性値が得られる。
	バラスト航海	海上輸送用タンクが内部に液化水素をほとんど入れない状態で輸送されること。

ま行	満載航海	海上輸送用タンクが積み付け率上限まで液化水素を貯蔵した状態で輸送されること。
----	------	--

研究開発項目 2 : 「液化水素荷役技術の開発」

	用語	説明
英数	BOG	Boil Off Gas の略。液化水素含む低温液化ガスが、外部からの入熱等の影響で蒸発したガス。一般に、発生する BOG は低温液化ガスと同程度に低温である。
	BOG 圧縮機	液化水素貯蔵タンクから発生する BOG を、BOG ホルダーへ圧入するレシプロ式圧縮機。
	BOG 加温器	BOG 圧縮機、ベントスタックへ送られる BOG を加温する大気フィン式熱交換器。
	BOG ホルダー	BOG 圧縮機で圧縮された BOG を貯蔵するタンク。貯蔵された BOG は、船舶のガス置換等に使用される。
	HAZID	Hazard Identification Study の略。過去の事故事例やガイドワードから事故シナリオを想定し、その過程において潜在するハザードを特定。抽出したハザードの深刻度を見積り、リスクランキングに応じて追加安全対策を検討するというリスク分析・評価手法。
	HAZOP	Hazard and Operability Study の略。各オペレーションにおいて、圧力高/低、流量増/減など設計意図のずれに対して、その要因、影響・結果を分析し、安全対策を検討するというリスク分析・評価手法。
あ行	揚荷	船舶に積載された貨物を、陸上側受け入れ設備へ移動すること。本事業においては、液化水素輸送船から液化水素荷役基地へ、液化水素を移送するプロセスをいう。
	圧力損失	流体が配管、機器等を流動する際に摩擦抵抗等により圧力が減少する現象。
	安全離隔距離	可燃性ガス等を取り扱うにあたり、法規の要求やシミュレーションに従って、当該設備から対象までの離隔距離を定めたもの。
	液化水素貯蔵タンク	陸上基地において、液化水素を貯蔵するために設置されるタンク。液化水素の貯蔵タンクにおいては、BOG 発生を抑制するため断熱性能を有する。
か行	気液二相流	物質の複数の相が混ざり合って流動する混相流の一種であり、機体と液体が混ざり合った流動状態をいう。管内を液体が流動する際、外部からの入熱等により液体の一部が気化し、気液二相流が生じる。
	球形真空二重殻	液化水素貯蔵タンクにおける構造の一種。内部流体を保持する球形の内殻と、断熱層を形成するための球形の外殻の二重構造を取る。内殻-外殻間に形成される空間は真空状態であり、断熱性能を有する。

さ行	水素サプライチェーン	豪州側にて水素製造～水素液化～液化水素積荷を行い、日本側において揚荷～水素ガスタービン発電を行う製造・貯蔵・輸送・利用一体となったチェーンをいう。
	蒸発損失	低温液化ガスにおいて、蒸発して失われるガスのこと。
	蒸発率	低温液化ガスの貯蔵タンクにおいて発生する BOG の貯蔵量に対する比率をいう。本事業では1日当たり重量比 (wt%/日) で表す。
	真空二重フレキシブルホース	液化水素を通液するのに必要な断熱性能を満たすため、真空二重構造としたフレキシブルホース。本事業のローディングシステムに採用している。
た行	大気フィン式熱交換器	拡大伝熱面を有する管内を流動する物質と、大気との間で熱交換を行う機器。
	置換	設備内の物質を、他の物質に置き換える作業をいう。本事業においては、種々の目的に応じ、窒素⇄水素、窒素⇄空気といった置換を行う。
	積荷	陸上側設備に貯蔵した貨物を、船舶へ移動すること。本事業においては、液化水素荷役基地から液化水素輸送船へ、液化水素を移送するプロセスをいう。
な行	荷役	揚荷・積荷をあわせたプロセス。
は行	パーライト	火山岩として算出するパーライト原石や珪藻土等を高温で処理した人口発泡体。軽量・多孔質であり、断熱材としても用いられる。本事業においては、液化水素貯蔵タンクの真空断熱層に充填される。
	バイオネット継手	真空二重管の接続に用いられる継手。通常の継手と異なり、フランジ面も真空二重層となっており、外部からの入熱を低減できる。
	ベントスタック	BOG を廃棄する煙突状の設備。水素は可燃性ガスであることから、周囲への影響を低減するため、放出口高さを十分に取ることを目的とする。
や行	予冷システム	低温水素ガスや少量の液化水素を用いて設備を徐々に冷却するための一連のシステム。液化水素は極低温であるため、常温状態の設備に通液すると接液部が急激に冷却され、設備の損傷等が発生する恐れがある。
	レシプロ式圧縮機	ピストンの往復運動を利用した圧縮機。圧縮比を高めやすいが、大容量化が難しいという特徴がある。
ら行	ローディングシステム	船舶と陸上設備間において、LNG、石油等の液体を荷役する際に用いる設備。本事業においては、世界初の液化水素用ローディングシステムの実証を行う。

研究開発項目3：「褐炭ガス化技術の開発」

	用語	説明
英数	EAGLE	多目的石炭ガス製造技術開発 (coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity の略)。化学原料用、水素製造用、合成液体燃料用、電力用等幅広い用途への適用が可能

		な石炭ガス化技術及びガス精製技術の確立等を目的とする技術開発。
	EPA	環境保全協定 (Environmental Protection Agreement の略)。
	MHF	危険物取扱 (Major Hazard Facilities の略)。
か行	褐炭	石炭の中でも石炭化度が低く、水分や不純物の多い、低品位なものを指す。
	ガス精製	生成ガスの純度を高めるプロセス。
	原炭	原料となる石炭。
さ行	酸素吹石炭ガス化炉	空気分離装置を用いて酸素を生成し、酸素雰囲気下で石炭のガス化を行うガス化炉。生成ガスの主成分は H ₂ 、CO であり、CO ₂ 分離回収しやすいという特徴がある。
	湿炭	水分を含んだ石炭。
た行	ダイレクトクエンチ方式	生成ガスに直接水を吹きかけることで、生成ガスの冷却を行う方式のこと。
は行	破砕機	対象を目的の大きさまで破砕する機器。
	フィジビリティスタディ	プロジェクトの実現可能性を事前に調査・検討すること。
	ブリケット	石炭粉などを圧縮・成型して作る燃料のこと。
ま行	ミル	石炭を微粉状に粉砕する装置。
ら行	冷ガス効率	ガス化に使われた発熱量が生成ガス発熱量に転換した割合。

課題番号：Ⅱ-（イ）-②：

「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

	用語	説明
英数	GTCC	Gas Turbine Combined-Cycle
	HRSG	Heat Recovery Steam Generator、ガスタービン用排熱回収ボイラ。ガスタービンと組み合わせ「ガスコンバインドサイクル発電」を構成する設備の一つでもある。
	PSA	ガス分離技術の一つ。Pressure Swing Adsorption、圧力変動吸着法。ガス分圧を利用し選択的にガスを吸着材に脱着する事でガスを分離する技術。
か行	気液平衡	液体から気体になる蒸発、気化反応と、気体から液体になる凝縮、液化反応の速度が等しくなり、結果、液体と気体の量が変わらなくなっているように見える状態。
	吸着分離法	気体や液体中のある特定の成分を多孔質個体（吸着剤）に吸着させて、分離・濃縮・除去・回収を行う方法を指す。
た行	多管式反応器	円筒状のシェルの中に、触媒を充填された管（反応管）を複数配置した形式の反応器
な行	熱インテグレーション	今回のケースでは、発電タービンからの放熱を、吸熱反応である脱水素プラントへ供給し熱の有効利用をする事を指す。
は行	バッフルプレート	容器の中で、流体の流れ中に設ける流れを制御する板。
ま行	膜分離法	液体または気体を、選択性を持つ隔壁（膜）に圧力差、濃度差、電位差により通すことで目的物を濾し分ける操作の総称である。
や行	有機ケミカルハイドライド法	触媒反応を介して水素を可逆的に放出する有機化合物（メチルシクロヘキサン・シクロヘキサン・デカリン等）を利用した水素を常温・常圧の液体で貯蔵/運搬する技術。千代田化工建設では、トルエンに水素添加したメチルシクロヘキサンを採用。
ら行	流動解析	目で直接見られない容器内部の流体の状態をシミュレーションする技術。流体解析（CFD：Computational Fluid Dynamics）

課題番号：Ⅱ-（ロ）-①：

「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」

	用語	説明
英数	CGS	<p>コージェネレーションシステム (Co-Generation System) の略号で、熱源より電力と熱を生産し供給するシステムの総称であり、国内では「コージェネ」あるいは「熱電併給」、海外では、” Combined Heat & Power” あるいは ” Cogeneration” 等と呼ばれる。</p> <p>CGS には内燃機関（エンジン、タービン）や燃料電池で発電を行ってその際に発生する熱を活用する方法、蒸気ボイラーと蒸気タービンで発電を行って蒸気の一部を熱として活用する方法がある。</p> <p>（コージェネ財団 HP より一部引用）</p>
	EMS	<p>エネルギーマネジメントシステム (Energy Management System) の略号。ビルや工場などで省エネを図るため、IT (Information Technology、情報技術) を活用してエネルギーを最適制御するシステムのこと。</p>
	GT	<p>ガスタービン (Gas-Turbine) の略号。</p>
か行	コージェネ	「CGS」参照。
	コージェネレーションシステム	「CGS」参照。

課題番号：Ⅱ-（ロ）-②：

「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

	用語	説明
英数	NO _x	燃焼反応において生成する窒素酸化物（NO _x ）の総称。ガスタービン排ガス中の窒素酸化物（NO _x ）は、主として一酸化窒素（NO）である。
あ行	圧縮機	ガスタービンの構成要素であって、作動流体の圧力を上昇させる回転機械。
	圧縮機（駆動）動力	圧縮機を駆動させるために必要となる動力。
	（圧縮機）ポリトロープ効率	圧縮機ポリトロープ効率は、理論仕事と実際仕事を比較する指標の一つで、性能比較、解析などに用いられる。
	ウォッベ指数	ガス燃料の互換性を示す指数で、発熱量を対空気比重の平方根とガス温度の平方根とで除した値
	エンクロージャ	通常、騒音の低減及び／又は防火用に設計されるガスタービンの覆い。
か行	拡散燃焼	燃料と空気とを別々に供給して、両者の境界面にそれぞれが拡散して燃焼させる方法。
	拡散バーナ	燃料と空気とをあらかじめ混合しないで別々に噴射して、両者の界面にそれぞれを拡散させて燃焼させるバーナ。
	（乾式）低NO _x 燃焼器	窒素酸化物の形成を抑えるため、燃焼温度を低く抑えた燃焼器。予混合燃焼、希薄燃焼、二段燃焼、触媒燃焼などがある。
	逆火（フラッシュバック）	燃焼速度と燃料・空気の予混合気速度とのバランスが崩れて、火炎がノズル上流に進入する現象。なお、燃焼速度は予混合気から見た火炎の速度で、火炎伝播速度は燃焼器壁面から見た火炎の速度で定義する。
	空気冷却	冷却媒体として空気を使った冷却方式。
	クローズド冷却	高温部品の冷却媒体を主流に放出しないで回収する冷却方式。回収形冷却ともいう。
	高位発熱量（HHV）	燃料の発熱量を表示する方法の一つで、熱量計で測定され、水蒸気の潜熱を含んだ発熱量。
さ行	サージマージン	運転状態におけるサージング限界までの余裕。圧力比、流量、及び回転速度で定義するのが一般的である。
	サージング	圧縮機内及びこれに続く管路内の作動流体の質量流量、並びに圧力の低周波数変動によって特徴づけられる不安定状態。
	サーマルNO _x	高温、高圧の燃焼状態において、燃焼用空気中の窒素と酸素とが反応して発生する窒素酸化物。
	失火	燃焼火炎が消える現象。

	失速	圧縮機翼の表面における流れのはく(剥)離が著しく大きくなって、翼としての機能が低下する現象。
	蒸気冷却	蒸気を高温部品の冷却媒体とする冷却方式。 コンバインドサイクルでは蒸気系と複合して高温化・高効率化を図る。
	スワラ	燃焼用空気に旋回運動を与えるために、燃料噴射ノズルの周囲に設けられた羽根。
	旋回失速	圧縮機で空気流量が絞られたり、設計点よりはるかに低い回転速度になったときに起こる翼列の失速現象。
た行	タービン	ガスタービンの構成要素であって、作動流体の膨張によって動力を発生させる回転機械。
	(タービン) 入口温度	ガスタービンの機器としての特性を表す代表値の一つで、タービン作動流体のガスタービン入口に相当する流体温度。
	低位発熱量(LHV)	燃料の発熱量を表示する方法の一つで、高位発熱量から水蒸気の潜熱を引いたもの。
	天然ガス	地中から天然に産出される、メタンを主成分とする可燃性ガス。ガスタービン用燃料などとして使用される。
な行	内筒	燃焼器で燃焼領域、混合領域及びタービン入口に向かう燃焼ガス流路を形成する筒状の構造物。
	燃空比	空気流量(質量)に対する燃料流量(質量)の割合。
	燃焼器	燃料を燃焼させて作動流体を直接的に、所定のタービン入口温度まで加熱する装置。
	燃焼効率	燃焼器で消費された燃料の発熱量に対する、燃焼器で作動流体に与えられた熱量(燃焼器出口の作動流体がもつ熱量から燃焼器入口の作動流体及び燃料がもつ熱量を差し引いたもの)の割合。
	燃焼振動	燃焼現象と燃焼器を構成する各機器の音響系とが共鳴して、圧力変動及び機器の振動を生じる現象。
	燃料圧力制御弁	燃料系の特定箇所の圧力又は差圧を、設定どおりに調整するためのバルブ。
	燃料油ポンプ	燃料を燃料噴射圧力以上に加圧してガスタービンへ供給するポンプ。
	燃料ガス圧縮装置	燃料ガスをガスタービンに必要な圧力まで昇圧する装置。
	燃料遮断弁	燃料系統へのすべての燃料の流れを緊急に遮断する装置。
	燃料調節弁	ガスタービンへの燃料供給を制御する、最終的な燃料調節要素として作動するバルブなどの装置。
	燃料流量制御弁	ガスタービン燃焼器への燃料流量を制御する調節バルブ。
は行	排気排出物	ガスタービンの排気に含まれる環境に影響を与える成分。通常、窒素酸化物(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO_2)、未燃炭化水素(HC)、揮発性有機化合物(VOC)、アンモニア、固形粒子などがある。

	爆発限界	可燃性ガスと空気との混合ガスが爆発を起こす濃度範囲の限界値。
	尾筒	燃焼器のガス出口部の流路を形成する筒状の構造物。
	フィルム冷却	高温部品の表面に吹き出した冷却媒体によって膜状の冷媒層を形成して、表面の高温部材への熱を遮断して、また冷却する方式。
	複合サイクル (コンバインドサイクル)	複数の熱サイクルを結合させて熱効率の向上を図った熱力学的サイクル。一般的には、ガスタービンサイクルと蒸気タービンサイクルとを結合させた熱力学的サイクルを指す。
	フューエル NO _x	燃料中の窒素化合物が燃焼によって酸化し発生する窒素酸化。
	保炎器	火炎の安定を図るために燃焼用空気の流速を下げて、空気に乱れ及び逆流を生じさせるように、燃料噴射ノズルの近傍に設けられている構造物。
	予混合バーナ	燃料をあらかじめ空気と混合して噴射させるバーナ。保炎目的にパイロットノズルを用いるものもある。
や行	予混合燃焼	燃料と空気とをあらかじめ混合して燃焼させる方法。
ら行	理論燃空比	供給した燃料を完全燃焼させるために、化学的に厳密な割合で示した空気流量(質量)に対する燃料流量(質量)の割合。

以 上

(添付-3)

プロジェクト基本計画

「水素社会構築技術開発事業」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

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、多様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。また、気体、液体又は固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。

2014年4月11日閣議決定された「エネルギー基本計画」では、水素を日常生活や産業活動で利活用する社会である“水素社会”の実現に向けた取組を加速することが定められ、この取組の一つとして、水素社会実現に向けたロードマップの策定があげられている。これを踏まえ、経済産業省では「水素・燃料電池戦略協議会」を設置しその検討を行い、2014年6月23日に「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～」が策定された。

この戦略ロードマップにおいて、水素社会の実現に向けて、これまで取り組んできた定置用燃料電池の普及の拡大及び燃料電池自動車市場の整備に加え、水素発電の本格導入といった水素需要の拡大や、その需要に対応するための水素サプライチェーンの構築の一体的な取り組みの必要性が示されている。

②我が国の状況

水素エネルギーの利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車が市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取組が進められている。

今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発又は実証段階である。

③世界の取り組み状況

ドイツを中心として、欧米各国でも再生可能エネルギー由来の電力を水素に変換するPower to Gasの取組が積極的に行われているが、製造した水素はそのま

ま貯蔵・利用されたり、天然ガスパイプラインに供給されており、水素のサプライチェーンを構築する等の取組は現状なされていない。また、水素発電については、イタリアにおいて実証研究が行われている。

世界に先駆けて、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

研究開発項目Ⅰ：「水素エネルギーシステム技術開発」

『最終目標』（平成32年度）

再生可能エネルギー由来の電力による水素製造、輸送・貯蔵及び利用技術を組み合わせたエネルギーシステムについて、社会に実装するためのモデルを確立する。このために必要となる技術目標については、テーマ毎に設定する。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

『最終目標』（平成32年度）

2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。

『中間目標』（平成28年度）

最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

『最終目標』（平成32年度）

水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する。

②アウトカム目標

発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大。2030年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築するとともに、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。

仮に 100 万 kW 規模の水素専焼発電が導入された場合、約 24 億 Nm³ の水素需要（燃料電池自動車約 220 万台に相当）が創出される。

③アウトカム目標達成に向けての取り組み

水素製造・利活用拡大技術等の研究成果を活かし、水素利活用装置の技術開発に反映して実証事業等を実施することにより、着実な水素利活用社会の拡大を図る。

（3）研究開発の内容

研究開発項目Ⅰ：「水素エネルギーシステム技術開発」

（委託事業、共同研究事業 [NEDO負担率 2 / 3]）

水素を利用して、安定的なエネルギーを供給するための技術開発及び当該技術の実証研究を行う。具体的には、再生可能エネルギー等の出力変動の大きな発電設備に対して、電力を一旦水素に変換して輸送・貯蔵することにより変動を吸収し、出力を安定化させるための技術開発を実施する。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

（イ）未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

（助成事業 [助成率 1 / 2 又は 2 / 3]）

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

（ロ）水素エネルギー利用システム開発

（助成事業 [助成率 2 / 3]）

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。

研究開発項目Ⅲ：「総合調査研究」

（委託事業）

水素社会の実現に向け、水素需要の拡大や水素サプライチェーンの構築に関する調査を行う。具体的には、燃料電池バス、フォークリフトなど新たなアプリケーションも活用した水素の初期需要を誘発するための社会システムや、海外の副生水素・原油随伴ガス・褐炭等の未利用エネルギーを用いた水素製造・輸送・貯蔵技術に関する調査を行う。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

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（研究開発項目Ⅰ、Ⅲ）、吉積潔（研究開発項目Ⅱ）をそれぞれ任命し、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。本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することができる。）から公募により実施者を選定して実施する。

また、NEDOは必要に応じて実施テーマごとに第三者である外部専門家としてアドバイザーを選定し、各実施者は客観的立場からの技術的助言を受け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

経済産業省、アドバイザー、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、推進助言委員会等を設置し、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は平成26年度～平成32年度の7年間とする。

研究開発スケジュールは別紙のとおり。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。技術評価実施規程に基づき、研究開発項目Ⅰについては制度評価を、研究開発項目Ⅱについてはプロジェクト評価を行う。評価の時期については、研究開発項目Ⅰは中間評価を平成29年度、事後評価を平成33年度に実施する。研究開発項目Ⅱについては、中間評価を平成28年度、事後評価を平成33年度に実施する。

なお、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究開発の成果は、機構及び実施者ともに普及に努める。

②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

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

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。なお、本プロジェクトの当初から、事業化を見据えた知財戦略を検討・構築し、適切な知財管理を実施する。

④関連事業との連携

本事業は、技術のシステム化により社会への実装を図るものであり、構成する要素技術については、NEDOの他事業「水素利用等先導研究開発事業」等の進捗状況について把握しつつ、必要に応じて成果の活用を図る。また、社会受容性の確保に向けて「水素利用技術研究開発事業」と連携し、必要な情報を共有する。

(2) 基本計画の変更

研究開発の内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向（経済産業省の水素・燃料電池戦略協議会等）、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第一号二及び第三号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成26年9月制定

平成28年3月改訂

(2) 平成27年3月、研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」を追加、および研究開発の実施期間を平成32年度までに延長。研究開発項目Ⅰ(ロ)水素利用発電システム等技術開発は、研究開発項目Ⅱ(ロ)水素エネルギー利用システム開発に移行。

(3) 平成28年3月、評価の実施について研究開発項目Ⅰを制度評価に変更。研究開発項目Ⅱの中間評価時期を平成28年度に変更。また、PMの氏名を追記。

以上

(別紙)

水素社会構築技術開発事業 研究開発スケジュール概要

研究開発項目	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32
I: 水素エネルギーシステム 技術開発	FS・設計	設計・開発・実証	設計・開発・実証	中間評価	設計・開発・実証		
II(イ): 未利用エネルギー由来 水素サプライチェーン構築		要素技術検討	中間評価		詳細設計/製作・試運転		実証
II(ロ): 水素エネルギーシステム 開発		基礎検討・設計			設計・製作・試験・実証		

(添付-4)

事前評価関連資料

(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)



作成：平成27年2月

NEDO POST年度新規／拡充研究開発プロジェクト概要

プロジェクト名：水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発

研究開発の目的

○背景

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様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。また、気体、液体、固体（合金に吸蔵）という様々な形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。我が国では、水素エネルギーの活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー活用に向けた取り組みが進められている。

今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サブライチエーションについては、現在研究開発または実証段階である。

○目的

水素の活用を抜本的に拡大し、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電専用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す。エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サブライチエーションを世界に先駆けて構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、エネルギーセキュリティの向上と産業競争力の強化に貢献する。

プロジェクトの規模

- ・事業費総額 400億円（予定）
- ・NEDO予算総額 20.5億円（平成27年度、予定）
- ・実施期間 平成27～32年度（6年間）

研究開発の内容

(イ)未利用エネルギー由来水素サブライチエーション構築

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

(ロ)水素エネルギー利用システム開発

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。

成果適用のイメージ

2020年頃

- ・プロトタイプ規模のサブライチエーション構築
- ・水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確認

2030年頃

- ・海外からの水素エネルギー導入の本格化
- ・発電事業用水素発電の本格導入

事前評価書

		作成日	平成27年2月6日
1. プロジェクト名	水素社会構築技術開発事業 ／大規模水素エネルギー利用技術開発		
2. 推進部署名	新エネルギー部		
3. プロジェクト概要（予定）			
(1) 概要			
1) 背景			
<p>水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様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。また、気体、液体、固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。</p> <p>我が国では、水素エネルギーの利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取り組みが進められている。</p> <p>一方、今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発または実証段階である。</p>			
2) 目的			
<p>水素の利活用を抜本的に拡大し、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す。エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを世界に先駆けて、構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献する。</p>			
3) 実施内容			
研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」			

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。

(2) 規模 総事業費

需給 400 億円 (需給、6 年間の推定) (項目により、1 / 2、2 / 3 助成)

(3) 期間 平成 27 年度～ 32 年度 (6 年間)

4. 評価内容

(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

国内外の周辺動向 (規制・政策動向、エネルギー需給動向、社会・経済動向、産業構造、市場動向等) を踏まえているか。また、政策課題や中期目標に掲げる NEDO のミッションに合致しているか。更に、民間活動のみでは改善できない又は公共性や緊急性が高いプロジェクトであるか。

エネルギー基本計画 (平成 26 年 4 月、経済産業省) において、将来の二次エネルギーでは、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、“水素社会” の実現のための取り組みを加速していくことが掲げられている。

同計画に基づき策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(平成 26 年 6 月、経済産業省) においては、フェーズ 1 でのエネファーム・FCV の普及拡大による水素社会の土台作りに続き、フェーズ 2 として、水素発電の本格導入と大規模な水素供給システムの確立を掲げ、2020 年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入と海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素サプライチェーンの本格導入の開始という目標が設定され、これらを実現するための技術開発に国が重点的に関与することとしている。

また、本事業は水素の利活用の幅を広げ、我が国が水素分野で世界に先

行することによる世界市場の獲得、水素の利活用によるエネルギーセキュリティの向上に資することから、エネルギー政策、産業政策上の意義が大きく、優先度の高い事業である。

③ 本事業を実施しない場合、日本の政策上、産業競争力上又はエネルギー・環境上のリスクは何か。

「エネルギー基本計画」（2014年4月）は、将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待され、水素を本格的に利活用する社会である“水素社会”の実現について言及されている。水素サプライチェーンの構築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であり、本プロジェクトを実施しない場合、「エネルギー基本計画」等の国家的な施策の実現が困難となる等の産業上のリスクがある。

2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

国内外の競合技術のポジショニング状況を踏まえ、戦略的かつ具体的（定量的）な成果目標の設定がなされているか。また、想定する成果（アウトプット）は、十分に意義があり、市場競争力（コスト、クオリティ、バリュー等）が見込めるものか。

本事業における目標を、経済産業省の燃料電池・水素戦略ロードマップに基づき、以下の通り設定する。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

（イ）未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

『最終目標』（平成32年度）

2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。

『中間目標』（平成29年度）

最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。

（ロ）水素エネルギー利用システム開発

『最終目標』（平成32年度）

水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性、環境性を満たす技術を確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する。

②アウトカム目標

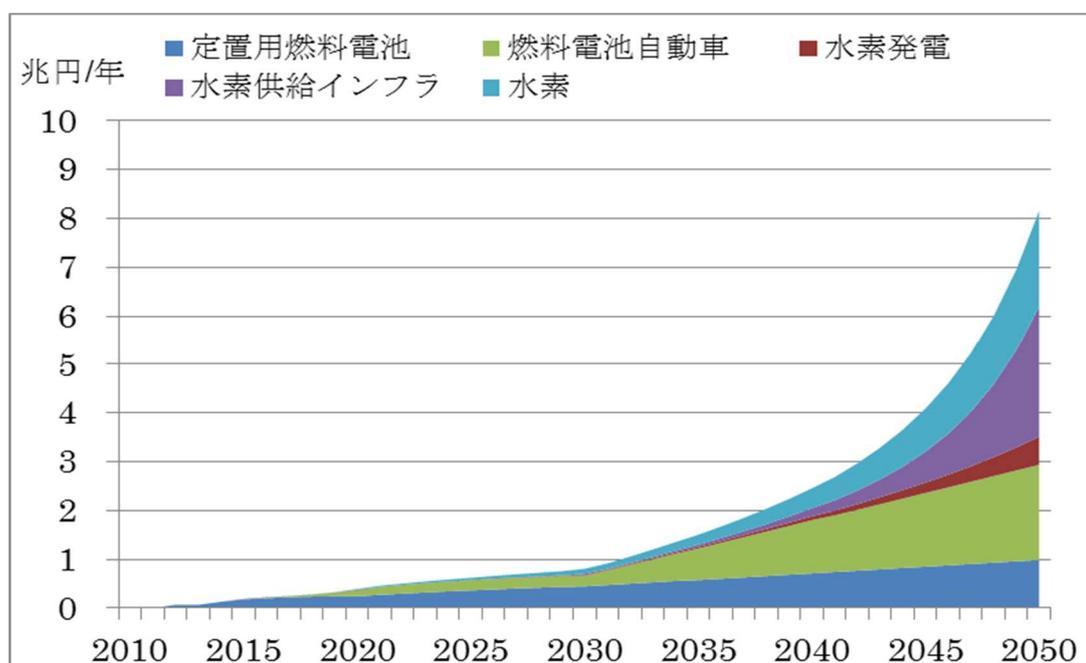
目的の達成による効果予測（アウトカム）は、投じる予算との比較において想定される市場規模または産業インフラ育成の観点から十分であるか。

発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大。2030年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築するとともに、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。

仮に100万kW規模の水素専焼発電が導入された場合、約24億Nm³の水素需要（燃料電池自動車で約220万台に相当）が創出される。

水素・燃料電池関連の市場規模は、我が国だけでも2030年に約1兆円程度、2050年に約8兆円に拡大するとの試算もあり、十分な費用対効果が得られると考えられる。

我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測



出典：日本エネルギー経済研究所

3) 研究開発の内容と設定根拠

プロジェクトの全体目標からみて、研究開発項目と内容が論理的に設定されているか。

水素サプライチェーンの構築においては、水素を長距離輸送することから、エネルギー密度を高め、効率的に輸送することが不可欠である。本事業においては、過去のWE-NET（水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発）事業等の結果を踏まえた検討を行う、また、現在実施中の内閣府の主導する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）、NEDOの水素利用等先導研究開発事業等では、液体水素、有機ハイドライド等のエネルギーキャリアを扱う要素技術の研究開発が進められており、これらの成果の活用を見込んだうえで、システムとしての技術開発によるモデル構築、実証が必要である。

(1) 研究開発の目的・目標・内容についての総合的評価

本事業は国の政策等を踏まえた世界最先端の取り組みであり、本技術が実用化されれば、我が国のエネルギーセキュリティ向上、CO₂排出量削減、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・必要性は妥当である。

(2) 研究開発の実施方式

1) 研究開発の実施体制・運営方式

成果目標を効果的・効率的に達成するうえで、適切な実施体制の想定はあるか。また、外部有識者による委員会やステージゲート方式等を検討しているか。

本テーマについては、水素分野の技術開発において知見と実績を有するプラント、エンジニアリング関連企業の参画を想定する。上記企業を中心に自治体や商社等の協力を得ることで、成果の実用化・商用化を睨んだ実施体制を想定している。

また、外部有識者による中間評価を平成29年度に、事後評価を平成32年度に実施し、必要に応じてテーマの重点化／絞り込み等を行う予定である。

(2) 研究開発の実施方式についての総合的評価

本事業の実施体制等は、大規模水素エネルギー利用システムの開発を図る取り組みとして適切である。

「水素社会構築技術開発事業基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成27年3月23日
NEDO
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
平成27年3月4日～平成27年3月18日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計0件

以上