

3.4 エネルギーキャリア

(1)意義の重要性、 SIP の制度の目的と の整合性	従来の研究開発では個別の技術課題の解決にとどまっていたが、SIP では複数のテーマに対して基礎研究から実証まで大規模かつシームレスに研究開発を実施できたことで、水素社会を構成するサプライチェーン全体を確立する技術開発に大きく貢献した。
(2)目標・計画・戦略 の妥当性	- 当初対象としていたエネルギーキャリアのうち、コスト評価や研究の進捗によりアンモニアの有用性・可能性に着目し、テーマやリソースも柔軟に選択と集中を行ってアンモニア利用技術における成果を後押しした。 - 社会実装を意識し、装置の大型化等の柔軟な計画変更、円滑なリソース見直しを実施したことも大きな成果につながった。
(3)課題における マネジメント (適切なマネジメント がなされているか。)	- PD・サブ PD の特筆すべきリーダーシップが企業参画を促進し、管理法人の専門家が日々の研究を密にサポートし、PDCA サイクルを回せる環境を構築できた。 - 社会実装を見据えたテーマの選択と集中を実施し、大規模な実証に必要なリソースを遅延なく供給した。 - より早期に関係省庁の計画・取り組みに反映させるためには、内閣府が関係官庁に対してさらなる働きかけを行うべきであった。
(4)直接的な 研究成果 (アウトプット)	50kW 級マイクロガスタービンでは、アンモニア専焼発電に成功し、2MW 級ガスタービンでは世界初となる熱量比率 20%のアンモニア / 天然ガス混焼に成功し、合わせて NO_x の発生も抑制した。 - 再生可能エネルギーを用いて製造したアンモニアを専焼燃料とするガスタービンで発電 (47kW) し、CO₂フリーアンモニアバリューチェーンを世界で初めて模擬的に実証した。 - 微粉炭とアンモニア (熱量比 20%) の混焼試験において NO_x 発生を抑制することを可能とし、その成果を用いて、実操業中の石炭火力発電所でアンモニア混焼発電を実証した。 - アンモニアを燃料として直接供給する燃料電池システムを開発し、1kW の発電に成功し、業務・産業用に向けたシステム大型化の可能性を示した。 - 世界初の技術となる液化水素用のローディングシステムを開発した。 - 査読あり論文 (138 件) 特許出願件数 (188 件)。
(5)現在・将来の 波及効果 (アウトカム)	- 我が国の水素社会実現に向けた基本戦略「水素基本戦略 (平成 29 年 12 月 26 日発表)」にエネルギーキャリアとしてのアンモニア活用が反映され、他の水素エネルギーキャリアとともに国際的な水素サプライチェーンの開発に向けた方針が打ち出された。 - IEA レポート “Renewable Energy for Industry” に SIP エネルギーキャリアが取り上げられ、アンモニア燃料利用の認知度が高まった。 - アンモニアのエネルギー利用による市場創出、アンモニア混焼による石炭火力の低炭素化の効果が見込まれる。

	Ⅰ 今後の事業化に向けた体制構築（グリーンアンモニアコンソーシアム）や、海外でのアンモニア利用の認知向上につながった。 Ⅰ 国際規格原案（液化水素ローディングシステムの技術規格、ローディングのオペレーションの安全性に関する規格）を作成。このうち液化水素用ローディングシステムの技術規格についてISOに提案した。
(6)改善すべきであった点と今後取り組むべき点	Ⅰ グリーンアンモニアコンソーシアムの設立は実用化の第一歩として評価できるものの、早期に社会実装する道筋をつけることが重要であり、今後、アンモニアのエネルギーキャリアとしてのビジネスモデルをどう確立するか検討することが必要である。 Ⅰ アンモニアのエネルギー利用の実現（直接燃焼）には、アンモニアユーザーである電力会社に向け、経営判断をどのように実施の方向（使用量のコミットメント等）に促すのか検討することが必要である。 Ⅰ CO₂フリー水素利用アンモニアの市場形成につながる制度設計、アンモニアの利用拡大に向けた制度・規制改革等の取組が必要である。

3.4.1 概要

(1) 背景と目的

我が国にとって化石燃料依存を低減し、二酸化炭素（CO₂）を削減することは重要な課題である。水素はクリーンであることに加え、再生可能エネルギーからの製造が可能で、エネルギー供給源の多様化にも寄与する。

ただし、水素の製造、輸送・貯蔵はコストがかかり、現状の水素製造コストはガソリンの数倍となっている。このため、水素を効率良く低価格で生産する技術の研究、効率良く輸送・貯蔵するエネルギーキャリアに関連する技術の研究、規模の経済につながる水素の用途拡大に資する研究・実証が必要である。バリューチェーン全体を見据えた研究開発を推進しつつ、水素が広く国民・社会から受け入れられるための運搬・貯蔵・利用等に関する安全基準の検討や、他の燃料との競合や水素の経済評価等、それらを踏まえた導入シナリオの策定が重要となる。

本課題では、2020年までにガソリンと等価の燃料電池車（FCV）用水素供給コストが実現すること、2030年までに天然ガス発電と同等の水素発電コストが実現することを目指して研究開発を行うとともに、エネルギーキャリアを活用した水素実証等の実施を通じて水素社会の実現に向けた取り組みを推進した。

(2) 実施体制

平成30年度時点で、サブPDは2名、研究責任者は5名である。管理法人は科学技術振興機構（JST）となっている。



図 3-39 エネルギーキャリアの研究体制

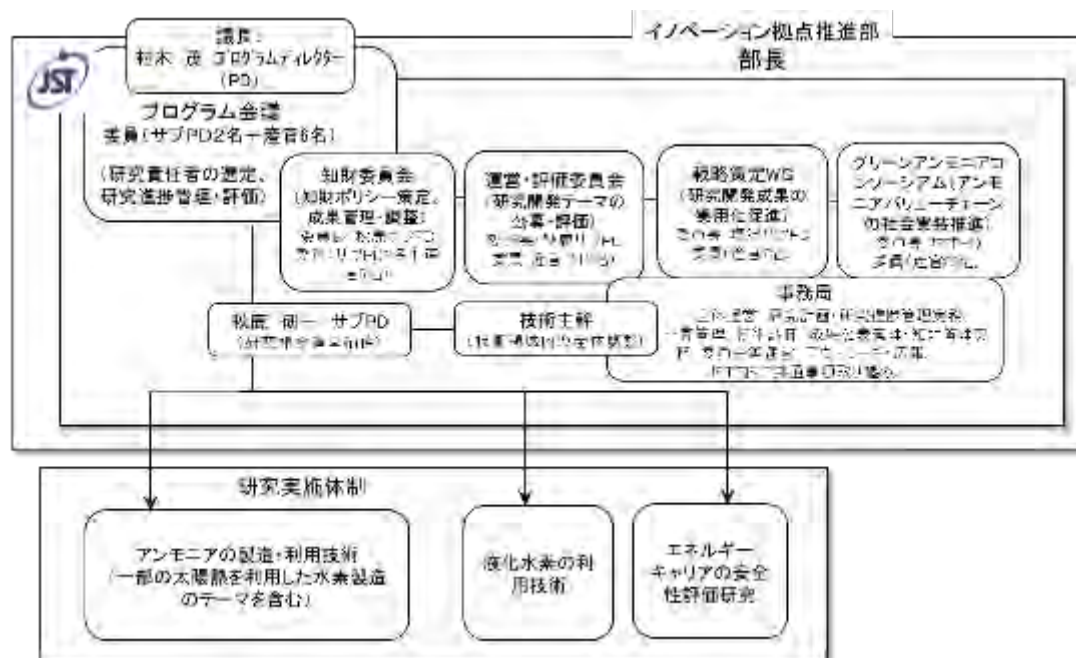


表 3-38 エネルギーキャリアの PD 等

区分	所属	氏名
PD	東京ガス株式会社アドバイザー	村木 茂
サブ PD	東京工業大学名誉教授	秋鹿 研一
	住友化学株式会社レスポンシブルケア部気候変動対応（兼）技術・研究企画部主幹	塩沢 文朗

平成 31 年 1 月 1 日現在

表 3-39 エネルギーキャリアの主要会議体

名称	構成員	概要
推進委員会	PD、サブ PD、専門家、関係省庁、関係機関、事務局（内閣府）、管理人（JST）（表 3-40 参照）	PD が議長、内閣府が事務局を務め、内閣府に置く。課題の研究開発計画の作成や実施等に必要な調整等を行う。 平成 30 年末までに 10 回開催。
知財委員会	サブ PD、外部専門家、関係官庁	JST に置く。サブ PD が議長を務める。
内閣府・経済産業省連携戦略会議	内閣府、経済産業省、JST、NEDO、事務局（内閣府・経済産業省）	経済産業省事業との情報交換を実施。
水素関連研究開発に関する情報・意見交換会	内閣府、経済産業省、JST、NEDO、事務局（内閣府・経済産業省）	SIP 及び NEDO 事業の関連する研究者を一堂に集めたボトムアップの意見交換。

プログラム会議	PD(議長) サブPD、外部専門家、関係官庁、事務局(JST)	研究開発計画策定等の実務的議論を実施。
運営・評価委員会	サブPD(議長) 外部専門家、事務局(JST)	公募の審査及びテーマ進捗評価等。
戦略策定WG	サブPD(座長) 外部専門家、事務局(JST)	CO ₂ フリー水素サプライチェーン構築に向けたシナリオ策定の検討。
水素技術実証検討会 (～平成27年度)	PD(座長) 外部専門家、事務局(JST)	オリンピック・パラリンピックを契機としたデモンストレーション案の検討。

本課題に特徴的な会議体。

表 3-40 エネルギーキャリア推進委員会 構成員一覧表

区分	所属	氏名
PD	東京ガス株式会社アドバイザー	村木 茂
サブPD	東京工業大学名誉教授	秋鹿 研一
	住友化学株式会社レスポンスブルケア部気候変動対応(兼)技術・研究企画部主幹	塩沢 文朗
専門家	科学技術振興機構顧問	相澤 益男
	京都大学大学院工学研究科物質エネルギー化学専攻教授	江口 浩一
	トヨタ自動車株式会社先進技術統括部担当部長	河合 大洋
	東京理科大学大学院経営学研究科教授	橘川 武郎
	産業技術総合研究所関西センター所長代理	栗山 信宏
	JXリサーチ株式会社執行役員/エネルギー技術調査部長	斎藤 健一郎
関係省庁	消防庁危険物保安室室長	渡辺 剛英
	文部科学省研究開発局環境エネルギー課課長	横地 洋
	経済産業省産業技術環境局研究開発課エネルギー・環境イノベーション戦略室室長	梅北 栄一
	経済産業省産業技術環境局研究開発課エネルギー・環境イノベーション戦略室産業技術総括調査官	染矢 聡
	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・燃料電池戦略室室長補佐	牟田 徹
	国土交通省海事局海洋・環境政策課技術企画室室長	田村 顕洋
	環境省地球環境局地球温暖化対策課地球温暖化対策事業室室長補佐	佐藤 滋芳
	環境省水・大気環境局自動車環境対策課課長補佐	井上 有希子
関係機関	新エネルギー・産業技術総合開発機構次世代電池・水素事業部統括研究員	大平 英二
事務局	内閣府大臣官房審議官(科学技術・イノベーション担当)	黒田 亮
	内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)付ディレクター(エネルギー・環境担当)	中納 暁洋
管理法人	科学技術振興機構イノベーション拠点推進部部長	野口 義博
	科学技術振興機構イノベーション拠点推進部技術主幹	宮崎 進

平成30年11月1日(開催日)現在

(3) 予算

表 3-41 エネルギーキャリアの予算

年度	予算（億円）
平成 26（2014）年度	33.1
平成 27（2015）年度	32.7
平成 28（2016）年度	34.9
平成 29（2017）年度	36.6
平成 30（2018）年度	28.5
合計	165.8

(4) 研究開発テーマ

各研究開発テーマの概要を下記に示す。また、国内の取り組みにおける各研究開発テーマの位置づけは図 3-46 に示した。なお、SIP 期間途中で終了したテーマも含まれており、詳細は以下の各研究開発テーマの研究開発スケジュールで示した。

1) 高温太陽熱供給システム



図 3-41 研究開発スケジュール（高温太陽熱供給システム）

高温太陽熱供給システム

水素を安価で大量に製造するために、太陽光を集熱し利用するシステムの開発を行った。また、同システムに適合する熱媒体、集熱管等の基幹部材の開発を行った。

表 3-42 高温太陽熱供給システム体制

研究責任者	加藤 之貴 東京工業大学科学技術創成研究院先導原子力研究所教授
研究開発実施機関 （計 12 機関）	東京工業大学、千代田化工建設株式会社、日揮株式会社、東洋エンジニアリング株式会社、日立造船株式会社、株式会社豊田自動織機、京都大学、新潟大学、東ソー株式会社、綜研テクニクス株式会社、一般財団法人エネルギー総合工学研究所、一般財団法人ファインセラミックスセンター

熱利用水素製造

太陽熱等の熱を用いた高効率な水素製造技術（膜 IS 法、新水蒸気電解）の開発を行った。

表 3-43 熱利用水素製造体制

研究責任者	坂場 成昭 日本原子力研究開発機構グループリーダー
研究開発実施機関 (計 12 機関)	日本原子力研究開発機構、広島大学、芝浦工業大学、熊本大学、九州大学、住友化学株式会社、日揮株式会社、千代田化工建設株式会社、株式会社日本触媒、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、宮崎大学、量子科学技術研究開発機構

2) アンモニアの製造・利用技術



図 3-42 研究開発スケジュール（アンモニアの製造・利用技術）

CO₂ フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・利用関連技術の開発

再生可能エネルギー等を用いた CO₂ フリー水素製造を介してアンモニアを高効率で製造するプロセスを開発し、輸送等のサプライチェーンに関連した技術開発を行った。

表 3-44 CO₂ フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・利用関連技術の開発体制

研究責任者	藤村 靖 日揮株式会社プロセス技術本部技術イノベーションセンター技術研究所長
研究開発実施機関 (計 15 機関)	日揮株式会社、産業技術総合研究所、日揮触媒化成株式会社、沼津工業高等専門学校、北海道電力株式会社、大阪ガス株式会社、一般財団法人エネルギー総合工学研究所、三菱日立パワーシステムズ株式会社、三菱商事株式会社、広島大学、株式会社日本触媒、九州大学、千代田化工建設株式会社、株式会社豊田自動織機、一般財団法人ファインセラミックスセンター

アンモニア水素ステーション基盤技術

アンモニアを活用した水素ステーションを実現するための、アンモニアの脱水素、水素精製、安全対応に関する技術開発とシステム実証を行った。

表 3-45 アンモニア水素ステーション基盤技術の体制

研究責任者	小島 由継 広島大学自然科学研究支援開発センター先端機能物質部門長、教授
研究開発実施機関 (計 5 機関)	広島大学、株式会社豊田自動織機、産業技術総合研究所、大陽日酸株式会社、昭和電工株式会社

アンモニア燃料電池

アンモニアを燃料とした燃料電池を開発した。特に、固体酸化物形燃料電池については、1kW 級のアンモニア燃料電池システムを開発した。

表 3-46 アンモニア燃料電池の体制

研究責任者	江口 浩一 京都大学大学院工学研究科教授
研究開発実施機関 (計 7 機関)	京都大学、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、株式会社日本触媒、株式会社豊田自動織機、三井化学株式会社、株式会社トクヤマ、株式会社 IHI

アンモニア直接燃焼

アンモニアを燃料とした直接燃焼技術を開発し、ガスタービン、火力発電所、工業炉等での実用化のための装置開発と実証を行った。

表 3-47 アンモニア直接燃焼の体制

研究責任者	小林 秀昭 東北大学流体科学研究所教授
研究開発実施機関 (計 18 機関)	東北大学、大阪大学、産業技術総合研究所、株式会社 IHI、株式会社豊田中央研究所、大陽日酸株式会社、日新製鋼株式会社、宇部興産株式会社、一般財団法人電力中央研究所、中国電力株式会社、東北電力株式会社、中部電力株式会社、関西電力株式会社、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、JFE エンジニアリング株式会社、海上・港湾・航空技術研究所、株式会社トヨタエナジーソリューションズ

3) 有機ハイドライドの製造・利用技術



図 3-43 研究開発スケジュール（有機ハイドライドの製造・利用技術）

有機ハイドライドを用いた水素供給技術の開発

有機ハイドライドを水素ステーションで脱水素化するための触媒の高性能化と水素精製技術の開発を行った。

表 3-48 有機ハイドライドを用いた水素供給技術の開発体制

研究責任者	吉岐 英 J X T G エネルギー株式会社中央技術研究所水素基盤研究所有機ハイドライドグループプリンシパルリサーチャー
研究開発実施機関 (計 9 機関)	J X T G エネルギー株式会社、NOK 株式会社、産業技術総合研究所、東京工業大学、早稲田大学、横浜国立大学、大阪府立大学、デノラ・ペルメレック株式会社、旭化成株式会社

4) 液化水素の利用技術



図 3-44 研究開発スケジュール（液化水素の利用技術）

液化水素用ローディングシステム開発とルール整備

液化水素の荷役に必要なローディングシステムを開発し、荷役に係る安全ルールを策定した。

表 3-49 液化水素用ローディングシステム開発とルール整備の体制

研究責任者	千田 哲也 一般財団法人日本船舶技術研究協会審議役
研究開発実施機関 (計 6 機関)	一般財団法人日本船舶技術研究協会、川崎重工業株式会社、東京貿易エンジニアリング株式会社、宇宙航空研究開発機構、株式会社日本海洋科学、公益社団法人日本海難防止協会

水素エンジン技術開発

天然ガスと同等の熱効率と環境調和性のある水素エンジンを開発し、具体的には水素噴流制御、点火等に関する技術開発を行った。

表 3-50 水素エンジン技術開発の体制

研究責任者	饒 雅英 川崎重工業株式会社技術研究所熱システム研究部部長
研究開発実施機関 (計 7 機関)	川崎重工業株式会社、産業技術総合研究所、株式会社前川製作所、 東京都市大学、岡山大学、海上技術安全研究所、早稲田大学

5) エネルギーキャリアの安全性評価



図 3-45 研究開発スケジュール (エネルギーキャリアの安全性評価)

アンモニア、有機ハイドライド、液化水素の漏洩等に関する事故解析、リスク評価を行い、これらのエネルギーキャリアの貯蔵・供給設備の社会リスクを定量化した。

表 3-51 エネルギーキャリアの安全性評価研究の体制

研究責任者	三宅 淳巳 横浜国立大学先端科学高等研究院副高等研究院長、教授
研究開発実施機関 (計 3 機関)	横浜国立大学、広島大学、産業技術総合研究所

(5) 研究開発テーマと各省庁施策との連関図

研究開発テーマと各省庁施策との連関図を図 3-46 に示す。

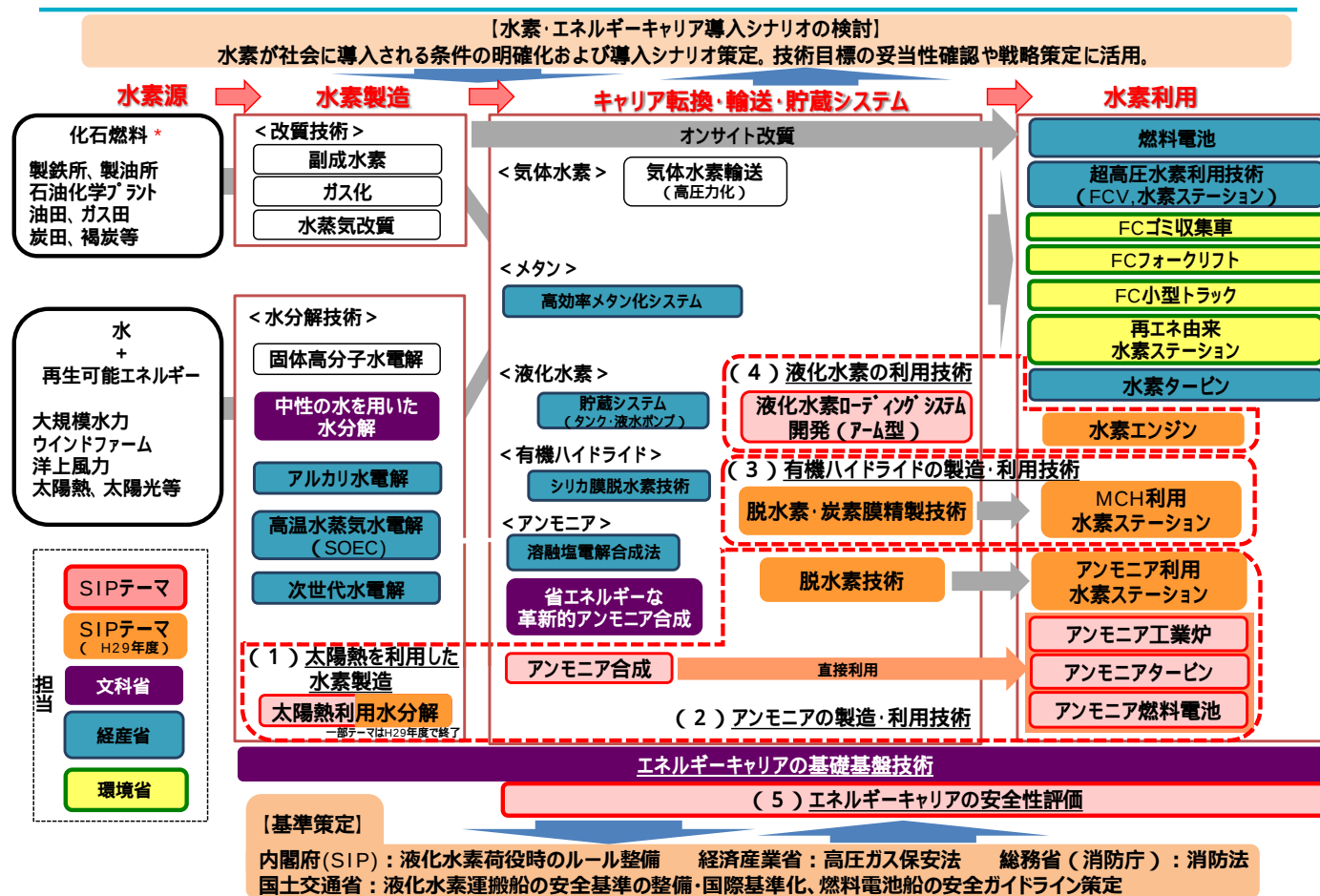


図 3-46 エネルギーキャリアの研究開発テーマ及び各省庁施策との関連図

(6) 出口戦略

研究開発計画で示された出口戦略は以下のとおりである。

1) 技術の評価、基準等の整備による成果普及

水素関連の各エネルギーキャリアに関する経済性・安全性を含めた各種技術の評価を行う。また、アンモニア、メチルシクロヘキサン（MCH）を代表とする有機ハイドライド等の安全性に関する体系的な評価、液化水素船に関する安全基準の整備、国際基準化による取り組み等を進め、水素エネルギーキャリアの利用環境整備を進める。以上を踏まえて、水素導入シナリオを策定・見直しを行い、柔軟な投資配分により技術開発を推進する。

2) 研究開発成果の社会実装に向けた取り組み

2020 年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて、研究開発成果の積極的な情報配信等を実施する。特区等による制度改革も交え、水素社会が成り立つことを国内外に示していく。

3) 海外の再生可能エネルギー等活用のための国際共同開発

海外市場において CCS⁵²を導入した化石燃料や、太陽エネルギー等の再生可能エネルギーの有効利用に関する国際共同開発を実施し、水素エネルギーの製造から利用までのシステムを実証する。

(7) 分析フレーム（ロジックツリー）

評価に際して、研究開発活動がもたらす直接的な研究成果と、現在・将来の波及効果について、平成 30 年度研究開発計画からロジックツリーを作成し、整理を行った結果を図 3-47 に示す。

本課題は、水素製造から利用までのバリューチェーン全体を意識したテーマ設定がされていることと、有機ハイドライド、液化水素等の技術開発に加えて、太陽熱やアンモニア利用等の新しい技術開発分野を加えた網羅的な取り組みがされていることが特徴である。バリューチェーン全体を網羅し、新規開発分野を取り入れつつ、水素社会を実現することが最終目標として設定されている。また、長期かつ大規模で、技術・社会双方からの取り組みが必要とされるエネルギーインフラの開発に対応するために、出口戦略の形としてグリーンアンモニアコンソーシアムの形成が盛り込まれている。

⁵² 二酸化炭素の回収・貯蔵（carbon dioxide capture and storage）。

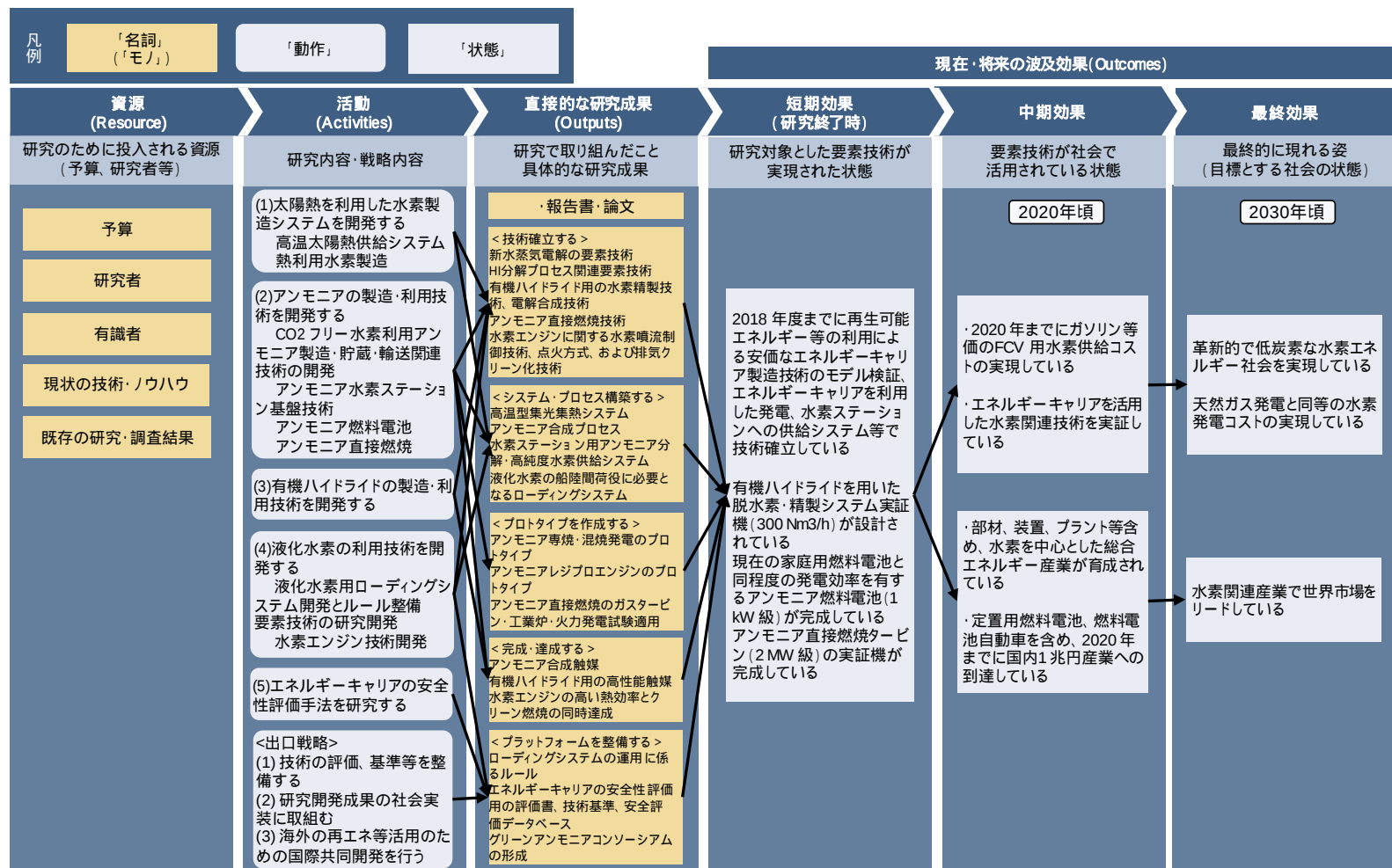


図 3-47 エネルギーキャリアのロジックツリー

(出典) 平成 30 年度研究開発計画を基に作成

3.4.2 評価

(1) 意義の重要性、SIP の制度の目的との整合性

国内の長期的な CO₂ 削減目標に対して、国内の再エネの普及、さらには低炭素なエネルギーの輸入は重要な課題となる。これらの課題に対して水素社会の実現は大きな意義があるとともに、エネルギーキャリアの手段の一つとして本課題におけるアンモニア等に関する取り組みは重要な検討課題であった。

一般的な公的研究開発プログラムでは、研究フェーズが限定されていることが多く、個別技術課題の解決にとどまっていたが、SIP では複数のテーマに対して基礎研究から実証まで大規模かつシームレスに研究開発を実施できたことで、水素社会を構成するサプライチェーン全体を確立する技術開発に大きく貢献した。遂行中の計画変更やリソース見直しについて、PD の裁量で柔軟に対応できたため、より高い成果の実現に大きく貢献した。

本課題の計画遂行により、アンモニアのエネルギー利用が水素基本戦略、エネルギー基本計画に盛り込まれるまでに至った点は評価できる。ただし、内閣府から経済産業省等への府省を超えた働きかけがより強く行われれば、早期に関係官庁の計画・取り組みに反映できた可能性があり、内閣府がよりリーダーシップを発揮する余地があった。

(2) 目標・計画・戦略の妥当性

アンモニアが、エネルギーキャリアとして有用性・可能性が高いと判断し、研究開発テーマやリソースをアンモニアにフォーカスしたことが成果につながった。当初は水素エネルギーのキャリアとして、液化水素、有機ハイドライド、アンモニアを取り上げ、我が国に輸送してから水素として利用することも研究対象として研究開発を実施していた。しかし、有識者で構成される戦略策定ワーキンググループ（WG）でエネルギーキャリアのコスト評価を行ったところ、特に低炭素化が望まれ、大量導入が必要な発電分野において、アンモニアの直接利用が液化水素、有機ハイドライドに比べて低コストであるとの評価を得たことや、アンモニアを CO₂ フリー燃料として利用する技術に大きな成果が得られたことを受けて、社会実装を意識した大胆な研究開発テーマの選択と集中を行った。

具体的には、太陽熱利用をはじめとして、成果を出したものの社会実装時期の違いでテーマを廃止した例があり、研究開発を加速し、社会実装、実用化・事業化を目指すという SIP の特徴に合致しないテーマの改廃を実施した。一方で、5 年間の社会実装という目標設定によって、チャレンジングな技術目標が設定しにくいとの意見があった。

個別のテーマについても、装置の大型化等の柔軟な計画変更を実施したことが、大きな成果につながった要因であり、柔軟かつ迅速なリソース、体制構築による研究開発の加速は SIP ならではの成果創出の要因である。例えば、アンモニア製造技術について、将来的なコストメリットを想定して、計画当初より装置を大型化するなどの前向きな変更を行った。このような変更の際に、PD がその裁量で円滑なリソースの見直しを行ったことも成果創出を後押しした。

SIP 終了後の出口戦略についても、アンモニア戦略ロードマップを作成して検討されており、長期的視野に立った取り組みが実施されている。ただし、SIP 終了後の企業における

技術開発・実証等は企業負担等となるが、エネルギー分野のような我が国全体の施策への継続的な関わり方については、内閣府及び他省庁が連携して取り組むべき今後の検討課題である。

(3) 課題のマネジメント

課題のマネジメントにおける PD、サブ PD、管理法人、研究責任者等の役割分担は適切であり、効果的なマネジメントが成果につながった。本課題のマネジメントは、SIP 第 2 期課題の計画遂行にも大いに参考となる事例であると考えられる。

1) PD、サブ PD、管理法人の効果的な活動

PD、サブ PD がそれぞれの特色を活かして活動し、産学連携においてバランスが良い体制となっており、企業参画の面で成果に大きく貢献した。

特に村木 PD のマネジメントは特筆すべきものであり、自ら企業トップへのプレゼンや海外動向の視察、グリーンアンモニアコンソーシアムの設立を提案するなど、精力的に活動した。民間企業の経営経験を有していたことの効果も大きく、取り組みにおいてコストや実用化を意識した明確な方向付けを行った。テーマの選択と集中、リソースの見直し等による研究の加速等において重要な役割を果たした。

塩沢サブ PD は「民」の面で人脈を駆使して、研究開発の戦略策定面やテーマの選択と集中、リソースの見直しで、村木 PD を補佐した。また秋鹿サブ PD は「学」の面で米国の NH₃ Fuel Association 等を通じたコネクションで国際的な認知度の向上に貢献したとともに、研究開発の内容面でのサポートを行って産学連携の体制を整えた。

管理法人にも分野の専門家が多く配置され、日々の研究サポートが手厚く行われた。このことは研究開発における適切な管理がされた好例といえる。管理法人の課題担当には PD の所属企業出身の専門家をそろえ、日々、研究の進捗状況や問題点をフォローしつつ PD に報告する体制が整っており、常に PDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルを回せる環境を構築した。他の国プロでは定期的な評価会があるが、日頃の密な連携や研究開発計画遂行において内容面にも深く入り込んだサポートまで実施する例は少ない。

また、PD 及び管理法人がテーマ遂行に必要な企業・団体を考え、参加を促すことに貢献した。例えば、ローディングシステムにおいては JAXA の参加によって実証試験が円滑に進み、アンモニア直接燃焼においては、低炭素社会実現のキープレイヤーである電力会社が参画し、SIP プロジェクト成果の社会実装に向けて大きく貢献した。

2) テーマの効果的な見直し

テーマの見直しにおいて、社会実装を見据えて選択と集中を実施したことも大きな意義があった。社会実装のフェーズがまだ先であると判断したテーマに関しては中止として、テーマの選択と集中を行ったが、単に中止とするのではなく、その後の進展について助言をするなどのフォローも丁寧に行った。

さらに、NEDO 等との意見交換会を積極的に実施し、NEDO での水素の取り組みと連携を促進しながらテーマごとの研究開発を進めたことが、SIP 後の出口戦略の検討にもつながった。

以下に調査対象とした 5 つの研究サブテーマに対して、マネジメントにおける評価を記

載した。

CO₂ フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・利用関連技術の開発

産業技術総合研究所の協力により円滑に進められたことは成功の大きな要因であった。

アンモニア合成技術開発は、日揮株式会社が全体を見ながら、触媒開発は産業技術総合研究所が中心となってとりまとめた。実証試験装置の仕様検討、設計は日揮株式会社で実施し、実証場所の調整や官庁への申請、調達等の事務的な業務を産業技術総合研究所が担当した。

当初は小型装置向けのアンモニア分離技術開発をテーマとして設定していたが、大型装置を開発する方針に転換したため、方針とテーマが整合しなくなり、2年目の終わりに取り組み中止等の見直しを行った。大型装置に方針転換したのは、アンモニアの製造コストを検討する中で、コスト低減には大型化が必須と判断したためである。

このような研究計画の変更においては、PD・サブ PD の承認により柔軟に計画変更することが可能であったため、5年間で技術開発から実証試験までを完遂することができた。

また、社会実装のためには、コストや CO₂ 削減のメリットの明確化が重要との観点から、2～3年目からアンモニアバリューチェーンのコスト評価、LCA(Life Cycle Assessment)、CO₂ フリーアンモニア製造に関する検討にも取り組み、社会実装に向けた検討を深めることができた。

アンモニア燃料電池

管理法人、PD、サブ PD の指導で出口戦略を意識した研究開発を行い、より社会実装を意識して目標を「システム化」と設定し、装置化を行った。2年目からシステムメーカーとして株式会社 IHI が参画したことにより実現を図った。

大学だけでは実施が困難な規模の研究を行うために、スタックや装置の大型化の検討に関しては株式会社ノリタケカンパニーリミテド及び株式会社 IHI が参加した。参画企業を選定する際には PD が企業参画における橋渡しの役割を担った。

燃料電池発電スタックの大型化や、研究開発の加速による計画の前倒しのため、予定していた量よりも材料が多く必要となったが、その際のリソースの要請に対しては、管理法人や PD が迅速かつ的確な対応を行い、研究を滞らせることなく、開発を促進させることができた。

アンモニア直接燃焼

早期に成果が現れ、研究計画の前倒しにも迅速に対応できたことで、アンモニアガスタービンの成功と大型化への展開を加速できた。具体的には、大型試験に挑戦する際はより大きなリソースが必要となるが、迅速な対応で研究が加速できた。

社会実装に向けた大きな目標は残しつつ、途中から参画した企業には、よりハードなタスク・目標を個別に立ててもらい、研究責任者の強力なリーダーシップとマネジメント能力により、特にプレスリリース等の面からは、目標を超える成果をあげた。

テーマの領域が広く、参画する機関並びに研究者・開発者の人数が多かったため、内燃機関の分野、工業炉等の分野、電力会社が発電事業に関わる分野と分けて、領域毎にサブリーダーを設けて研究開発・マネジメントの促進、効率化を図った。

液化水素用ローディングシステム開発とルール整備

液化水素技術の専門性、実績の高い JAXA がチームに参加したことで、海外で実施する計画であった大規模実験を国内で実施できた。液化水素用ローディングシステムについては、当初海外企業に外注して性能確認試験を実施する計画であったが、JAXA が参画したことにより、大規模な試験を JAXA の施設で実施できた。外注では、試験結果が報告されるのみだが、JAXA が参加して、研究チームと一緒に試験方法の検討や技術開発を行ったことにより、課題解決が加速した。

エネルギーキャリアの安全性評価

単なる工学的安全性評価ではなく社会総合リスクという新しい評価を目指したため、JST から紹介されたサイエンスアゴラ 2016 や JST フェア 2017 を社会的な受容性調査、リスクコミュニケーションの機会ととらえ、積極的に参加した。

課題の開始当初は重要なステークホルダーである水素ステーション関連の事業者がメンバーとして入っていなかったが、2 年目からはオブザーバーとして会議に参画させ、適宜拡充を図った。

アンモニア水素ステーション⁵³は社会的な受容性の観点から実現が困難であるという議論を経て、アンモニア水素ステーションに関するリスク評価は行わないこととした。しかし、アンモニア直接燃焼や燃料電池等のアンモニア利用技術の開発が成果をあげていることから、今後アンモニア水素ステーションのリスク評価が必要となる可能性がある。

3) 予算の柔軟な配分

大規模な実証試験におけるリソース見直しが必要な場合に、内閣府及び管理法人、PD 等を中心に迅速に見直しできたことが、本課題の円滑な遂行に役立った。リソース見直し・計画変更による成功事例としては、アンモニア直接燃焼における大型実証、アンモニア製造装置の大型化等が挙げられる。

4) 知財管理の徹底

学会・論文等での報告・発表は事前に管理法人に届ける運用ルールにしており、特許出願前の発表による新規性喪失が生じないように管理した。

(4) 直接的な研究成果（アウトプット）

研究開発活動で得られた直接的な研究成果（アウトプット）は以下である。

1) 目標の全般的な達成状況

研究開発計画で示された本課題の技術的な目標は次のとおりであり、各テーマで概ね達成した。

特にアンモニアの直接利用技術については、プロジェクトの早期に想定以上の成果をあげることができたため、目標・計画・戦略の妥当性を広く他省庁、企業に周知することがで

⁵³ アンモニアから水素を製造し、燃料電池自動車に供給するための施設。アンモニアを輸送して貯蔵するオフサイト型が主流。

き、社会実装の証明ができたと考えられる。

【技術的目標⁵⁴】

- Ⅰ 平成 30 年までに再生可能エネルギー等の利用による安価なエネルギーキャリア製造技術のモデル検証、エネルギーキャリアを利用した発電、水素ステーションへの供給システム(有機ハイドライドを用いた脱水素・精製システム実証機 300 Nm³/h)の設計や現在の家庭用燃料電池と同程度の発電効率を有するアンモニア燃料電池(1kW 級)、アンモニア直接燃焼タービン(2MW 級)の実証機)等での技術確立を目指す。

2) CO₂ フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・利用関連技術の開発

目標は、従来の天然ガス原料によるアンモニア製造プロセス⁵⁵に代わる、CO₂ フリー水素の原料⁵⁶に適合したアンモニア製造プロセスを開発することであり、主な開発課題として以下の 2 点があった。

- Ⅰ 従来法に比べて低温で高活性な国産アンモニア合成触媒の開発
- Ⅰ 開発触媒を用いたアンモニア製造プロセスの実証試験を平成 30 年度に実施

平成 30 年 10 月に、世界初となる、再生可能エネルギー由来の水素を用いたアンモニア製造と発電に成功した。

本テーマでは、低温・低圧下で効率的にアンモニアを合成できる新たなルテニウム触媒とそれに適合するプロセスを開発した。また、太陽光発電由来の電力を用いた水の電気分解によって CO₂ フリー水素を製造し、その水素を原料に、開発触媒を充填した実証試験装置で CO₂ フリーアンモニアを製造し、さらに、そのアンモニアを燃料とするガスタービンで発電(47kW)を行う試験に成功した。CO₂ フリーアンモニアのバリューチェーンを模擬的に実証する試験に世界で初めて成功した。

⁵⁴ 産業面の目標及び社会的な目標は、3.4.2 (5) 現在・将来の波及効果(アウトカム)の節で述べる。

⁵⁵ ハーバー・ボッシュ法。水素と窒素から、鉄系触媒を用いて高温高压(400-600℃、200-400 気圧)でアンモニアを合成する方法。現在のアンモニア製造商用プロセスでは、天然ガスを分解して水素を取り出す方法と組み合わせて用いられている。

⁵⁶ 再生可能エネルギー由来あるいは天然ガス + CCS / EOR (Enhanced Oil Recovery) によって製造される水素。なお、再生可能エネルギーより水素製造を行う場合、再生可能エネルギーの変動による水素製造量の変動が起きる。ハーバー・ボッシュ法によるアンモニア製造では、投入水素量の変動に対応してアンモニア製造効率の最適点を維持することが難しいとされる。



図 3-48 アンモニア合成実証試験装置

(出典) 日揮株式会社「再生可能エネルギー由来の水素を用いたアンモニア合成と発電に世界で初めて成功(平成30年10月19日)」(平成31年1月閲覧) <<http://www.jgc.com/jp/ViewPdf/view/2064>>

3) アンモニア燃料電池

目標は、アンモニアを燃料とする高効率な燃料電池システムの技術確立と実証を行うことであった。特に固体酸化物形燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)について、1kWクラスの直接アンモニア供給型システムを設計・試作し実証実験を行うことを目指した。

平成29年7月に、アンモニアを直接燃料とした固体酸化物形燃料電池(SOFC)で世界初となる1kWクラスの発電に成功した⁵⁷(図3-49)。発電効率は56%であり、水素を燃料とした燃料電池と同等の発電効率を達成することで、アンモニアのエネルギーキャリアへの期待を国内外で広める役割を果たした。

その他、1kWシステムのパッケージ化、自動起動、分解触媒開発、反応器作製、発電システムの構成材料の明確化を実現し、平成30年5月に燃料電池システムを開発した⁵⁸(図3-50)。

今後は業務・産業用途向けに、装置のより大型化を目指し、水素社会における分散電源としての役割を果たせる規模への開発を行う予定である。

⁵⁷ JST「アンモニアを直接燃料とした燃料電池による1キロワットの発電に成功(平成29年7月3日)」(平成31年1月閲覧) <<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170703-2/index.html>>

⁵⁸ 株式会社IHI「アンモニアを燃料とした燃料電池システムによる1kWの発電に成功～CO₂フリーのクリーンな燃料電池 低炭素社会の実現に寄与～(平成30年5月16日)」(平成31年1月閲覧) <https://www.ihi.co.jp/ihi/all_news/2018/technology/2018-5-16/index.html>



図 3-49 1kW 級 SOFC スタックの外観

(出典) JST「アンモニアを直接燃料とした燃料電池による 1 キロワットの発電に成功 (平成 29 年 7 月 3 日)」(平成 31 年 1 月閲覧) <<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170703-2/index.html>>



図 3-50 燃料電池システムの外観

(出典) 株式会社 IHI「アンモニアを燃料とした燃料電池システムによる 1kW の発電に成功 ～CO₂フリーのクリーンな燃料電池 低炭素社会の実現に寄与～ (平成 30 年 5 月 16 日)」(平成 31 年 1 月閲覧) <https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2018/technology/2018-5-16/index.html>

4) アンモニア直接燃焼

目標は、アンモニアを燃料とした直接燃焼 (専焼及び混焼) 技術を開発し、ガスタービン (数 10kW ～ 数 MW 級) 工業炉、火力発電所等での実用化のための装置開発を行うとともに実証試験を行うことであった。

アンモニアの直接燃焼については、着火温度が低く燃焼速度も遅いアンモニアの燃焼を基礎から見直し、通常の脱硝設備を用いたマイクロタービンを用い、100%アンモニア燃料による 50kW 級の発電出力を 10ppm 以下の低窒素酸化物 (NO_x) で実現した。

アンモニアと天然ガスの混焼については、2MW 級ガスタービンでは世界初となる熱量比率 20%の混燃に平成 30 年 3 月に成功し、NO_x 生成の抑制が可能であることを示した。燃焼速度の異なるアンモニアと天然ガスの燃焼安定性や、NO_x の抑制が課題であったが、既存の燃焼器をアンモニア混焼用に改良することで、安定燃焼と NO_x の抑制を実現した。

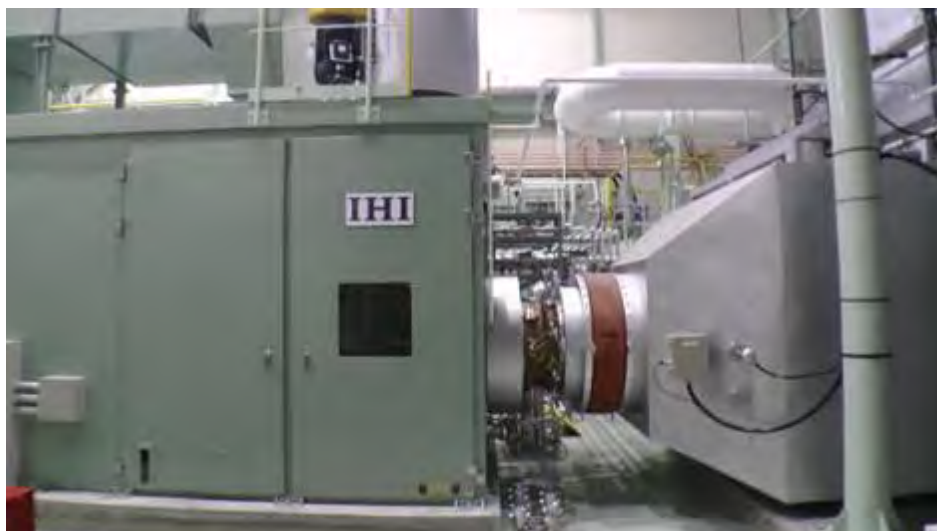


図 3-51 アンモニア混焼ガスタービン試験設備（株式会社 IHI 横浜事業所内）

（出典）株式会社 IHI 「2,000kW 級ガスタービンで世界初のアンモニア混焼を実証 ～CO₂排出量低減に寄与 アンモニアの燃料利用を可能にする燃焼技術を開発～（平成 30 年 4 月 18 日）」（平成 31 年 1 月閲覧）<https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2018/technology/2018-4-18/index.html>

石炭火力発電所でのアンモニアの燃料利用については、大容量の燃焼試験設備において、アンモニアと石炭火力発電の燃料である微粉炭の混焼試験を実施し、平成 29 年 12 月には世界最高水準となる熱量比率 20%の混燃に成功した。アンモニアと微粉炭の混焼では、NO_x の排出濃度が上昇する懸念があるが、この実証試験結果からは、既存の発電所に対する小規模な改造で、NO_x 排出濃度を従来の石炭火力発電所からの排出濃度と同程度に抑制できることを見いだした。

また、平成 29 年 7 月には中国電力の水島火力発電所 2 号機にてアンモニア混焼試験を行い、実操業中の石炭火力発電所においてアンモニア 1%混焼発電に成功した。



図 3-52 大容量燃焼試験設備（株式会社 IHI 相生事業所内）

（出典）JST 「アンモニアを直接燃焼させる 炭素を含まない燃料による火力発電」（平成 31 年 1 月閲覧）<<https://www.jst.go.jp/seika/bt111-112.html>>

さらに、工業炉のアンモニア直接利用技術については、10kW のモデル工業炉において、NO_x の発生を環境基準値以下まで抑制するとともに火炎の伝熱を強化するアンモニア燃焼技術の開発に成功した。工業炉には様々な種類があるため、モデル工業炉での成果から、実際の炉に導入されるまでには時間がかかると思われるが、CO₂ フリーアンモニアが商用に大量利用されアンモニアに十分なコスト競争力が出来れば、工業炉への展開も進むと想定される。



図 3-53 10kW モデル燃焼炉（正面）

（出典）大陽日酸株式会社「工業炉分野で化石燃料の代替燃料、アンモニアの社会実装に一步近づく（平成 28 年 10 月 31 日）」（平成 31 年 1 月閲覧）
<http://www.tn-sanso.co.jp/jp/_documents/news_08384287.pdf>

工業炉でのアンモニア利用の具体的な適用例として、鋼板脱脂目的のため「アンモニア混焼衝突噴流式脱脂炉」のバーナの開発に成功し、最適加熱条件を確立した。これにより、工業炉分野でもアンモニアの燃料としての利用が、CO₂ 排出削減に寄与する技術であることの可能性を示した。

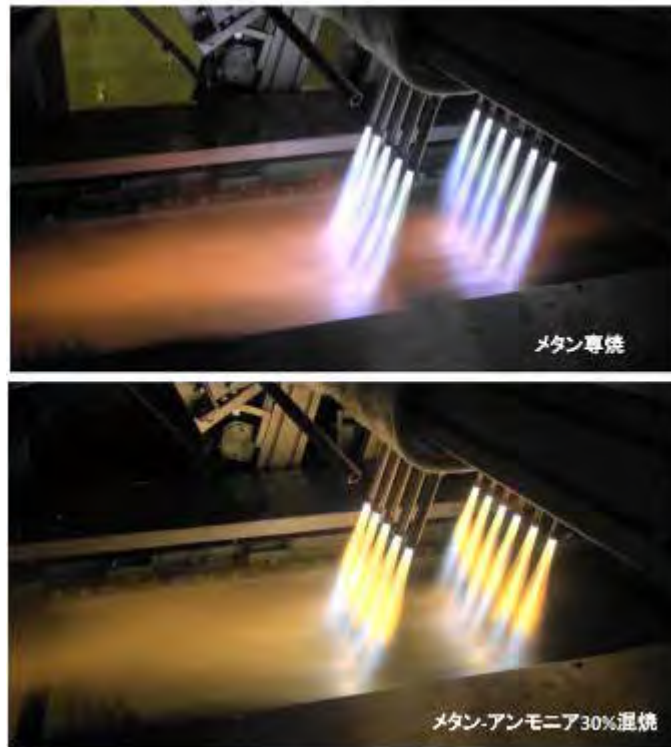


図 3-54 メタン専焼とメタン-アンモニア 30%混焼における鋼板加熱状況の比較

(出典) 大阪大学 ReSOU「工業炉における CO₂ 排出量削減に向けた、アンモニア燃焼利用技術を開発 (平成 29 年 6 月 26 日)」(平成 31 年 1 月閲覧)
 <https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2017/20170626_2>

5) 液化水素用ローディングシステム開発とルール整備

目標は、液化水素用のスイベルジョイント(可動式継手)及び緊急離脱機構の研究開発を行い、これらを組み込んだ液化水素用ローディングシステムを開発・構築することであった。このシステムの運用上の安全対策を策定し、関係する基準・規則の整備を行うとともに、基準の国際規格化を図ることも目標であった。

成果として、世界初の技術となる液化水素用のアーム式ローディングシステムを開発した。液化水素の極低温という課題を解決し、高断熱構造を有する安全なローディングシステムを設計した。特に二重管構造が適用できないスイベルジョイント部分は伝熱距離を長くし伝導伝熱を抑制する新型式を設計・開発した。さらに、緊急離脱機構を開発し、離脱時のリーク量や切離し方式が適切であることを確認した。

また、国際規格原案(液化水素用ローディングシステムの技術規格、ローディングのオペレーションの安全性に関する規格)を作成した。そのうち、液化水素用ローディングシステムの技術規格について国際標準化機構(ISO)に提案した。

6) エネルギーキャリアの安全性評価

目標は、以下の2点であった。

- 1 エネルギーキャリアの漏洩等の事故解析、大気拡散、リスク評価等を実施することで、貯蔵・供給設備について、社会リスクを定量化することにより、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のための基礎デー

タを構築すること

- Ⅰ キャリアの評価システムを構築し、評価、体系化を実施し、開発へのフィードバック及び公表を実施すること

成果として、水素ステーションの社会総合リスクアセスメントガイドライン及びリスクアセスメント報告書の作成が挙げられる。これらのガイドライン及び報告書は、国際的な水素安全に関する活動を行っている IEA Hydrogen Implementing Agreement (IEA-HIA) において、国際標準を見直す資料として貢献することが期待される。また、エネルギー分野においては社会的な受容性の向上が重要であり、今後は、水素ステーションの社会実装において上記ガイドライン等がコミュニケーションツールとして活用されることも期待される。

アウトリーチ活動の一環として、研究開発テーマ独自のホームページを整備し、広く社会に公表を行った（図 3-55）。



図 3-55 研究開発テーマ独自のホームページ整備による取り組みの紹介

（出典）横浜国立大学「SIP エネルギーキャリアの安全性評価研究事務局」（平成 31 年 1 月閲覧）
<http://www.anshin.ynu.ac.jp/sip/overview.html#5year>

7) 情報発信

本課題の情報発信活動として、平成 30 年度に開催したシンポジウムを表 3-52 に示す。

表 3-52 エネルギーキャリアに関する情報発信（平成 30 年度のシンポジウム）

年月日	名称	主催等	概要
平成 30 年 6 月 21 日	グランド再生可能エネルギー 2018 国際会議スペシャルセッション 再生可能エネルギー由来アンモニアへの期待と展望	JST	再生可能エネルギー由来の水素からアンモニア製造・輸送・利用のバリューチェーンに興味を示す海外のメーカー、学識者を招待し、PD とともに再生可能エネルギー由来アンモニアへの期待と展望について議論する。
平成 30 年 10 月 19 日	SIP エネルギーキャリア 公開シンポジウム 2018	JST・内閣府	最新成果及び SIP 第 1 期 5 年間の成果の集大成を紹介するとともに、今後の展開に向けた意見交換を行う。

8) 論文・知的財産

論文数は全 200 件(うち査読あり 138 件)となっている。

表 3-53 エネルギーキャリアに関する論文数

		発表年					
		5 年合計	2014	2015	2016	2017	2018
合計	合計	200	11	36	54	50	49
	査読あり合計	138	8	27	36	38	29
	英文	123	8	25	28	36	26
	和文	15	0	2	8	2	3
	その他	0	0	0	0	0	0
	査読なし合計	62	3	9	18	12	20
	英文	2	0	0	1	0	1
	和文	60	3	9	17	12	19
	その他	0	0	0	0	0	0

(注 1) 平成 30 年 12 月末実績。発表年は年度ではなく暦年である。

(注 2) 「査読あり」については学術誌での発表論文以外に学会発表・予稿集等も一部含んでいるが、「査読なし」については学会発表・予稿集等は原則として除いている。

みなし取下げを除いた出願年度別の特許出願件数及び登録件数（ファミリー単位で集計）は表 3-54 のとおりである。早い段階から特許出願を積極的に進めており、かつ海外を含む件数も数多い。

企業出願人による出願が多く、PCT 国際出願を活用して多くの国で権利を獲得しようとする動向がみられる。

表 3-54 エネルギーキャリアに関する特許数

		出願年度					
		5 年合計					
			2014	2015	2016	2017	2018
出願	合計	188	31	43	39	48	27
	国内のみ	92	20	20	9	20	23
	海外含む	96	11	23	30	28	4
	PCT	96	11	23	30	28	4
	米国	65	7	21	15	20	2
	欧州	29	6	13	10	0	0
	中国	62	6	19	15	20	2
	韓国	55	5	13	15	20	2
登録	日本	14	5	6	3	0	0
	米国	0	0	0	0	0	0
	英国	0	0	0	0	0	0
	ドイツ	0	0	0	0	0	0
	フランス	0	0	0	0	0	0
	中国	0	0	0	0	0	0
	韓国	0	0	0	0	0	0

(注) 平成 30 年 12 月末実績。みなし取下げを除いた出願年度別の特許出願件数及び登録件数をファミリー単位で集計。

(5) 現在・将来の波及効果（アウトカム）

研究終了時である現時点の目標の達成状況と波及効果、将来（短期・中期・最終）に期待できる波及効果については次のとおりである。

1) 目標の全般的な達成状況

研究開発計画で示された産業面の目標及び社会的な目標は次のとおりである。

【産業面の目標】

）産業創出

- Ⅰ 部材、装置、プラント等含め、水素を中心とした総合エネルギー産業を育成する。
- Ⅰ 定置用燃料電池、燃料電池自動車を含め、2020 年までに国内 1 兆円産業への到達を目指す。

）世界シェア

- Ⅰ 国際的基準化・標準化にも積極的に取り組み、我が国の水素関連産業の国際競争力向上を進め、2030 年までに世界市場で大きなプレゼンスを持つ産業への発展を目指す。

【社会的な目標】

- Ⅰ 2020 年までにガソリン等価の FCV 用水素供給コストの実現、2030 年までに天然ガス発電と同等の水素発電コストの実現を目指す。
時期、コスト、水素供給量については、シナリオ策定の中で詳細を検討する。
- Ⅰ 2020 年頃エネルギーキャリアを活用した水素関連技術の実証を目指す。

産業面の目標、社会的な目標については、目指す目標が極めて野心的であり、終了時点で達成が判断できる内容の目標ではない。他方で、我が国の「水素基本戦略」(平成 29 年 12 月 26 日第 2 回再生可能エネルギー・水素等閣僚会議決定)及び「第 5 次エネルギー基本計画」(平成 30 年 7 月 3 日閣議決定)においてアンモニア利活用の取り組みが盛り込まれたことは、産業創出や世界市場でのシェア確立に向けての推進力となる。この戦略においてアンモニアは他のエネルギーキャリアと比べて実現時期が早期に設定されており、水素社会実現への貢献が認められるため、目標は概ね達成されたといえる。

産業創出に向けては、グリーンアンモニアコンソーシアムの形成によって取り組みを継続する。また、国際的な認知度向上の実現やサプライチェーン構築に向けた海外との連携も構築しつつあり、アウトカムの達成にも期待が持てる。

2) 国内でのエネルギーキャリアとしての位置づけ

前述のように SIP での取り組みが国内で認められた結果、「水素基本戦略」及び「第 5 次エネルギー基本計画」においてアンモニア利活用の取り組みが盛り込まれた。SIP エネルギーキャリアでの成果が水素社会の早期実現の可能性を高めることができたと評価できる。具体的には水素基本戦略において、アンモニア利用に関する実現時期は、液化水素、有機ハイドライドの他のエネルギーキャリアと比べて早期に設定された。これは、アンモニアの直接燃焼等の利用技術が SIP にて大幅に進展したことやアンモニアのサプライチェーンが既に技術的に確立されたものであり、他のエネルギーキャリアと比べて早期の実用化が可能と想定されたためである。

水素基本戦略(平成 29 年 12 月 26 日第 2 回再生可能エネルギー・水素等閣僚会議決定)

水素基本戦略(概要)より

3. 水素社会実現に向けた基本戦略

(2) 国際的な水素サプライチェーンの開発

効率的な水素の輸送・貯蔵を可能とするエネルギーキャリア技術を開発。

液化水素サプライチェーン開発は、2030 年頃の商用化に向けて 2020 年代半ばまでに商用化実証を実施。

有機ハイドライドサプライチェーン開発は、2020 年度までに基盤技術を確立し、2025 年以降の商用化を目指す。

エネルギーキャリアとしてのアンモニア活用は、直接燃焼時の NO_x 低減、可燃性劇物に係る安全性確保等の課題解決を進め、2020 年代半ばまでの CO₂ フリーアンモニアの利用開始を目指す。

CO₂ フリー水素を用いたメタネーションは普及方策を検討。

(4) 電力分野での利用(一部抜粋)

メタン、アンモニアはキャリアの直接利用が可能。アンモニアについては 2020 年頃までの石炭混焼発電等での利用開始等を目指す。

第5次エネルギー基本計画（平成30年7月3日閣議決定）

第2章 2030年に向けた基本的な方針と政策対応

第2節 2030年に向けた政策対応

6.“水素社会”の実現に向けた取組の抜本強化

（3）低コストの水素利用実現に向けた国際的な水素サプライチェーンの構築と水素発電の導入

水素供給コストの低減に向けては、海外の安価な未利用エネルギーとCCSを組み合わせる、または安価な再生可能エネルギーから水素を大量調達するアプローチが基本になる。この実現に向けては、上流側の取組として、安価な海外資源を確保すべく、民間ベースの取組に加えて政府間レベルでの関係構築を図るとともに、効率的な水素の輸送・貯蔵を可能とする液化水素、メチルシクロヘキサン、アンモニアやメタンといったエネルギーキャリア技術の開発が必要となる。

第3節 技術開発の推進

2. 取り組むべき技術課題

（3）低コストの水素利用実現に向けた国際的な水素サプライチェーンの構築と水素発電の導入

（略）さらに、アンモニアを燃料として直接利用する技術開発、水素をCO₂と組み合わせることでカーボンニュートラルとしうるガスを生成するメタネーションなど、既存のインフラを有効利用した脱炭素化のための技術開発を推進していく。

3) グリーンアンモニアコンソーシアムの設立

CO₂フリーなエネルギーキャリアとしてのアンモニアのバリューチェーン構築を目指して、平成29年7月にグリーンアンモニアコンソーシアムを設立した。アンモニアのエネルギー利用に関する戦略・ロードマップ策定、社会実装への取り組みを推進し、事業化を目指す組織である。バリューチェーン形成のために、商社、化学・機械メーカー、電力会社、ガス会社等の民間企業や研究機関の28社が平成30年9月時点で参画している。特にアンモニア利用先となる火力発電を有する電力会社が多く参画している点は特徴的で、他の水素関連の取り組みにはない組織編成となっている。

SIP終了後は、幅広く国内外の企業及び機関が参加した一般社団法人として活動予定である。

<グリーンアンモニアコンソーシアム参画機関>

（SIPエネルギーキャリア報道機関向け資料より 平成30年5月25日時点）

議長：村木茂(PD)

議長代理：塩沢文朗(サブPD)

参画企業

電力・ガス：北海道電力株式会社、東北電力株式会社、中部電力株式会社、中国電力株式会社、電源開発株式会社、大阪ガス株式会社

商社：三井物産株式会社、三菱商事株式会社、丸紅株式会社
 化学メーカー：大陽日酸株式会社、宇部興産株式会社、株式会社日本触媒、日揮触媒化成株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド
 機械メーカー：株式会社 IHI、日揮株式会社、株式会社豊田自動織機、JFE エンジニアリング株式会社、トヨタ自動車株式会社、株式会社トヨタエナジーソリューションズ、株式会社豊田中央研究所、三菱重工業株式会社、三菱日立パワーシステムズ株式会社
 研究機関：一般財団法人電力中央研究所、一般財団法人石炭エネルギーセンター、海上・港湾・航空技術研究所、産業技術研究所
 その他、SIP エネルギーキャリアに係る一部の大学教授を「アドバイザー」として招聘 秋鹿研一(サブ PD・東京工業大学)、江口浩一(京都大学)、小林秀昭(東北大学)、赤松史光(大阪大学)

4) 環境効果

現在、石炭火力発電は燃料の石炭にコスト競争力があるため、ベースロード電源として活用されている。その一方で、温室効果ガス発生による環境負荷への懸念から世界的に石炭火力発電の導入見直しの気運が高まっている中、石炭火力発電所を所有する電力会社はその環境性向上が重要となっている。

こうした背景から、石炭火力発電の低炭素化(CO₂排出削減)が期待できるアンモニア混焼技術は電力会社としても注目度が高い。グリーンアンモニアコンソーシアムへの電力会社の参画状況もその注目度の高さを示している。また、アンモニアは既存の火力発電設備で既に脱硝等に使用されており、試験導入に際しても障壁が低く、既存技術との親和性が高い。

石炭火力における 20%の CO₂ 削減(全石炭火力を IGCC⁵⁹に変更した効率に相当)が実現した場合、約 0.58 億トン/年の CO₂ 削減効果⁶⁰となる。これは平成 28 年の国内の CO₂ 排出量 12.06 億トンの約 5%に相当する。

5) 国際的な立ち位置

アンモニア利用等で、我が国は技術的には世界の中で一歩リードしている。特に SIP の成果であるアンモニア直接燃焼、燃料電池は技術優位性が高く、いずれも世界初の成果が出た。アンモニアのエネルギー利用に関する学会活動では米国の NH₃ Fuel Association が先

⁵⁹ 次世代の火力発電システムで石炭ガス化複合発電プラントのこと。石炭をガス化炉でガス化し、さらに、ガスタービン・コンバインドサイクル発電(GTCC)と組み合わせることにより、発電効率と環境性能の飛躍的な向上を実現するもの。大型では従来型石炭焚き火力発電方式と比べ、発電効率約 15%向上、CO₂低減も図ることができるとされる。

⁶⁰ 0.58 億トン/年の削減効果の算出根拠は以下の計算式による(三菱総合研究所の試算)。
 $0.000864t \cdot CO_2/kWh \text{ (石炭火力の排出原単位)} \times 3,373 \text{ 億 kWh (平成 28 年度の石炭の発電電力量)} \times 20\%$

石炭火力の排出原単位、「全石炭火力における 20%の CO₂ 削減(全石炭火力を IGCC に変更した効率に相当)」の仮定は次の資料より引用。

経済産業省「火力発電に係る昨今の状況(平成 29 年 10 月 10 日)」(平成 30 年 1 月閲覧)

<http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/karyoku/pdf/h29_01_04_00.pdf>

行していたが、今回の SIP の取り組みで燃焼技術、燃料電池等で世界初の成果が出ており、我が国がリードする形となった。近年では欧州でもアンモニア関連の取り組みに注目が集まっており、ノルウェー等と意見交換を実施している。

国際展開については、アンモニアの製造・輸送等のインフラ技術の輸出を検討したとともに、SIP における具体的な取り組みとして、国際連携も視野に入れた情報交換を実施した。具体的にはサウジアラビア、ノルウェー、アメリカ合衆国、オーストラリア、南アフリカ共和国等との意見交換を実施した。アンモニアがエネルギーキャリアとして成立するには、海外でのアンモニア製造と我が国への輸送が不可欠であり、今後これらの国々と水素供給側の取り組みを進めていくことが重要である。



図 3-56 国際連携の取り組み

（出典）内閣府「SIP（エネルギーキャリア）の取り組み（平成 30 年 5 月 25 日）」（平成 31 年 1 月閲覧）<<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/press/enekyari.pdf>>

IEA の Renewable Energy for Industry 2017 のレポートにて SIP の取り組みが紹介されたことが国際的な認知度の高まりを示す成果として挙げられる。SIP の取り組みを通して、アンモニアが水素エネルギーのキャリアとして有望であるという認識が世界に広まった。

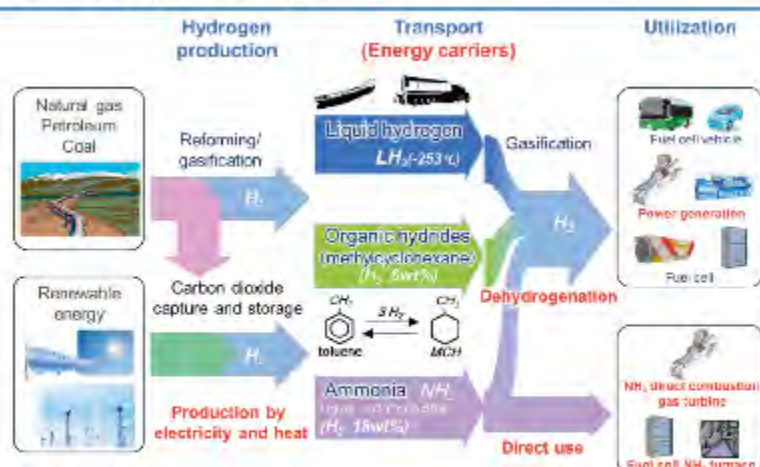
また、平成 30 年 10 月に我が国で開催された水素閣僚会議にて、IEA の発表の中で、水素の導入においてアンモニアが重要であるということが示された。

IEA Renewable Energy for Industry 2017 より引用

「Japan's cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) “Energy Carriers” examines three different options: liquid hydrogen (H₂), ammonia (NH₃), and organic hydrides, for transporting clean energy from Australia to Japan, whether from fossil fuel with carbon capture and storage (CCS), as originally thought, or from renewable power, as appears more and more

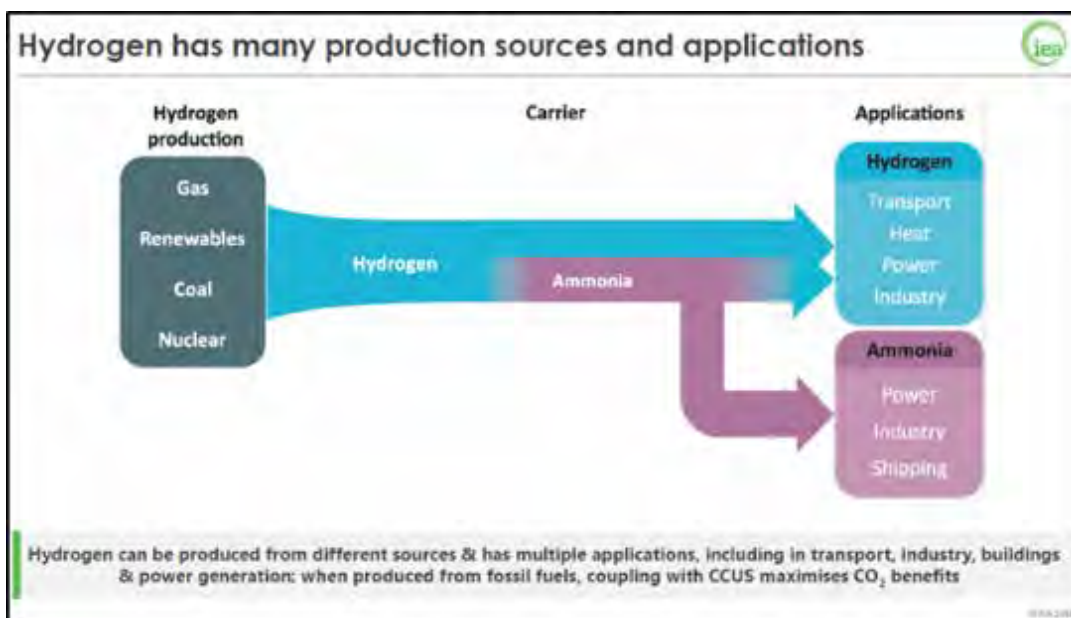
likely (Figure 17).」

Figure 17. Japanese energy carrier strategies



Source: Muraki, 2017, RD&D on Hydrogen and Energy Carriers in Japan.

Key message • Liquefied hydrogen, organic hydrides and ammonia are the main options for shipping hydrogen long distances cost-effectively.



(出典) IEA “Hydrogen: Accelerating & Expanding Deployment” (平成 31 年 2 月閲覧)
 <<https://www.nedo.go.jp/content/100885441.pdf>>

(6) 改善すべきであった点と今後取り組むべき点

1) 改善すべきであった点

本課題の研究成果を社会実装するためには、民間企業のリスクの軽減や規制改革の実現が必要となるため、個別企業のみでの対応には限界がある。そのようなテーマを SIP の課題として取り上げたことは適切であり、SIP の成果としてアンモニアのエネルギー利用について、水素基本戦略、エネルギー基本計画に言及されるまでに至ったことは評価できる。しかし、より早期に関係官庁の計画・取り組みに反映させるためには、内閣府から経済産業

省等への府省を超えた働きかけをより強く行うべきであった。

エネルギーキャリア開発という当初の設定から、選択と集中のプロセスを経て、最終的にはアンモニア利用に特化した取り組みとなった。テーマの絞り込みが必要となった背景には、当初のエネルギーキャリアとしての課題設定自体が広すぎたことも挙げられる。

アンモニア利用の技術のうち、発電所等で活用できる直接燃焼以外の技術では、国内にアンモニアの流通インフラを確立する必要がある。アンモニアのインフラ確立に関する障壁は大きいため、実現性の観点から、アンモニア利用の中でも更にテーマを絞り込むことができた可能性がある。

また、特許について、アンモニアグリーンコンソーシアムの中では管理せず所有者にて個別に管理する方針であるが、維持活用のための管理の仕組みも検討すべきであった。

2) 今後取り組むべき点

本課題の最大の成果は、「微粉炭とアンモニアの混焼」を大規模実証したことである。今後、アンモニアのエネルギー利用の実現（直接燃焼）には、アンモニアユーザーの電力会社に向けて、経営判断を実施の方向（使用量のコミットメント等）にどのように促すのか検討することが必要である。さらに、コスト試算においては、実際にその値にコミットメントする機関が出るようにしていく必要がある。その上で、石炭火力発電がベース電源として生き残る方策を検討し、水素基本戦略のスケジュールに合わせた実現時期を目指していく必要がある。

「グリーンアンモニアコンソーシアム」の設立は実用化の第一歩として評価できる。SIP 終了後、同コンソーシアムでは、アンモニア直接燃焼を中心にアンモニア利用に関する俯瞰的な取組を行うとしているが、今後、エネルギーキャリアとしてのアンモニアのビジネスモデルをどう確立するか、検討することが必要であり、早期に社会実装する道筋をつけることが重要である。具体的には、石炭火力の CO₂ 排出量を LNG 火力と同等にまで低減できるアンモニア混焼率を 30% 程度までの上昇や、木質バイオ利用石炭低炭素化と比べたコストメリット等の精査である。また、アンモニアの利用側だけでなく、アンモニアの製造・輸送を担う供給側の取り組みも活性化させることで、アンモニアサプライチェーンの形成を進めることが重要と考える。

さらに、エネルギーインフラに関する研究開発及び社会実装は、長期かつ大規模な取り組みが必要となる。これらは民間企業としては多大な投資リスクを伴うとともに、社会実装においては技術開発の支援のみならず、CO₂フリー水素利用アンモニアの市場形成につながる制度設計、アンモニアの利用拡大に向けた制度・規制改革等に一層取り組むことが必要であることを意味する。そのためには社会的な受容性の視点が重要であり、安全性研究を更に進めるべきである。また、アンモニアの導入による社会コストの試算を更に継続検討して精緻化していく必要がある。

3.5 次世代海洋資源調査技術

(1)意義の重要性、 SIP の制度の目的と の整合性	- 府省連携、官民連携、出口（社会実装）の明確化、一気通貫の研究開発という SIP の特徴を活かし成果につながった。 - 特に、科学・研究側の JAMSTEC と資源開発側の JOGMEC の連携は、ユーザー視点の開発となり、民間への技術移転も行われた。 - 従来にはなかった海洋資源調査産業の基盤を形成した。
(2)目標・計画・戦略 の妥当性	3 年目に体制・マネジメント見直し及び実施項目の絞り込みを行ったことで、当初予定以上の成果を上げることができた。 - 一方、海洋・資源分野において 5 年間で出口までを評価されることは無理があるとの研究実施者の意見があった。
(3)課題における マネジメント (適切なマネジメント がなされているか。)	- PD の裁量で課題全体の責任を負う体制は有効であった。 - 数千億円の大規模プロジェクトのマネジメント経験を持つ民間資源会社出身者（PD 代行）の途中参加は、本課題の管理に貢献した。 - 課題内のガバナンス構造をもっと明確にすることが重要であった。
(4)直接的な 研究成果 (アウトプット)	- SIP で開発された世界初の海洋資源調査システム⁶¹を用いた民間企業による実証実験、民間への技術移転を容易にする「調査技術プロトコル⁶²」の取りまとめ、調査時間短縮・コストダウンに貢献する自律型無人潜水機（AUV）複数機運用、熱水鉱床等の調査技術、NICT による海上通信技術の確立、環境影響評価手法の ISO 新規登録等を実現した。 - 査読あり論文（134 件） 特許出願件数（30 件）
(5)現在・将来の 波及効果 (アウトカム)	- 海底下に鉱体の存在が確認されている海域において、統合海洋資源調査システムの有用性を実証した。このことにより、未調査海域における、海底熱水鉱床の絞り込みへの適用可能性が示された。 - 調査技術プロトコルを利用して民間へ技術移転が進み、事業化及び新しい海洋調査産業の創出が期待される。海洋開発（資源調査）が研究だけでなく、民間での事業化可能性があることが示された。また、SIP に参加した学生の資源業界への輩出等、人材育成効果もあった。 - 国研間ネットワーク⁶³構築、次世代海洋資源調査技術研究組合（J-MARES）⁶⁴設立、高知大学発ベンチャー「株式会社海洋計測」設立等今後の事業につながる連携強化が図られた。 - 国際的コンペティションである Shell Ocean Discovery Xprize

⁶¹ 海洋鉱物資源成因研究に基づく調査海域絞り込み手法、海洋鉱物資源調査技術、環境影響評価手法からなる。

⁶² 海底熱水鉱床の有望海域を効率的に絞り込む手順（概査・準精査・精査）をまとめたもの。

⁶³ JAMSTEC、海上・港湾・航空技術研究所、水産研究・教育機構と海洋都市横浜うみ協議会（横浜市）の間で「海洋技術開発のプラットフォーム作り」に向けた基本合意書（MOU：Memorandum of Understanding）を締結予定。

⁶⁴ 「次世代海洋資源調査技術研究組合（J-MARES）」の構成企業は、石油資源開発株式会社、株式会社地球科学総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング株式会社、三菱マテリアルテクノ株式会社である。

	に我が国から参加している Team Kuroshio⁶⁵でも自律無人潜水機（AUV）の複数機運用技術が使われている。 Ⅰ 環境影響評価・生態影響試験ガイドラインの国際標準化に向け、ISO（国際標準化機構）/TC8/SC13 に新規登録（NP）した。
(6)改善すべきであった点と今後取り組むべき点	Ⅰ SIP の趣旨を踏まえた目標及び計画を設定するには、エンドユーザー（JOGMEC）を含めた体制の整備や研究者の社会実装・出口志向の意識浸透等の準備を早期から十分に行うことが必要であった。 Ⅰ 民需による海洋鉱物資源調査市場が未成熟であるため、依然として JOGMEC 等の国側の関与が必要。SIP で海洋鉱物資源を扱うに当たっては、産学官一丸となったオールジャパンの体制構築が不可欠。 Ⅰ 今後も JOGMEC 及び民間を包含した体制を引き続き維持し、国内外での海洋鉱物資源調査の市場開拓について戦略的に取り組むことが必要(例：海外展開に向けた政府間のトップセールス等)。

⁶⁵ JAMSTEC、東京大学、九州工業大学、海上・港湾・航空技術研究所、三井 E&S 造船株式会社、日本海洋事業株式会社、株式会社 KDDI 総研、ヤマハ発動機株式会社を中心に構成。

3.5.1 概要

(1) 背景と目的

我が国は国土面積の12倍に及ぶ広大な領海並びに排他的経済水域 (EEZ) を有している。これまでの調査で、当該海域には海洋鉱物資源の存在が確認されている。しかし、深海は電波や太陽光が届かない高圧環境であるため、陸上の鉱物や石油・天然ガス資源の調査に用いられるボーリング等とは異なる技術が必要である。そのため、海洋鉱物資源について広大な面積を効率良く調査する技術は開発途上にある。また、海洋鉱物資源の技術開発には巨額の費用が必要となることから、世界的にも海洋鉱物資源開発は本格化していない。

このような背景のもと、我が国が高効率の海洋資源調査技術を世界に先駆けて確立し調査を加速することは、海洋資源開発、環境保全及び資源安全保障の観点から重要である。本課題では未開拓の部分が多い海洋について、国が主導する府省連携のもと、我が国の海洋に関する科学技術を担う研究機関等が一丸となって、民間企業とともに効率的な調査技術を確立することで、海洋資源調査産業を創出することを目的とした。

(2) 実施体制

平成30年度開始時点で、サブPDは4名(うち1名はPD代行、1名はPD代理) 研究責任者は18名である。管理法人は海洋研究開発機構 (JAMSTEC) となっている。

研究課題を「統合海洋資源調査システムの実証」、「海洋資源の成因の科学研究に基づく調査海域の絞込み手法の開発」、「海洋資源調査技術の開発」、「生態系の実態調査と長期監視技術の開発」の4つのテーマに分け、それぞれにテーマリーダーを置いて実施する体制とした。各テーマの実施体制を図3-57に示す。

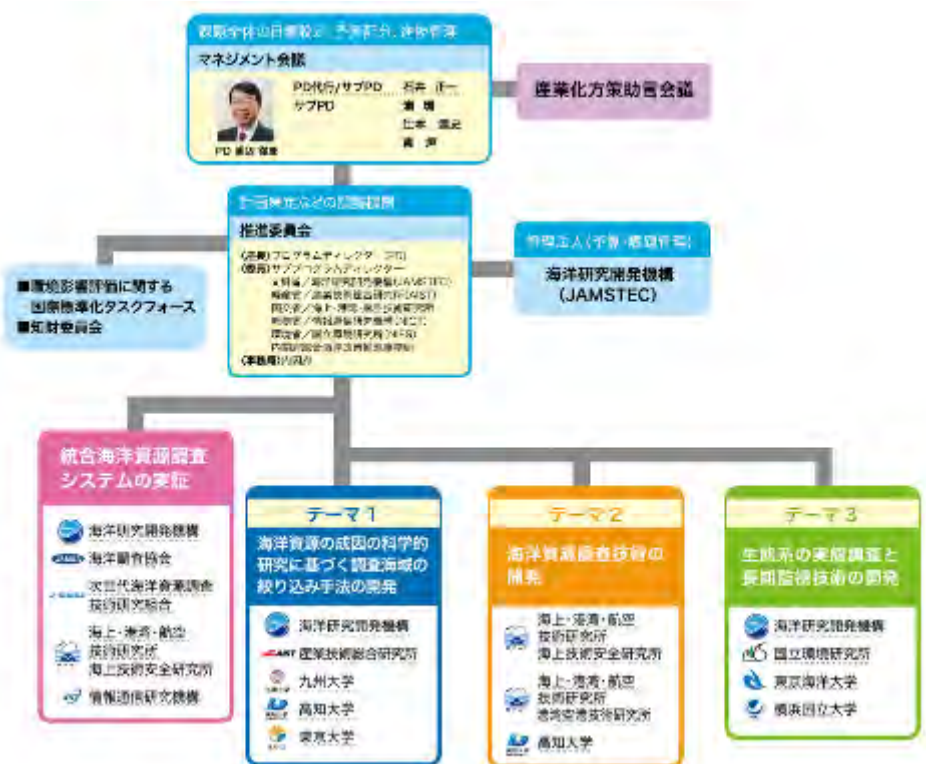


図 3-57 次世代海洋資源調査技術の研究体制

表 3-55 次世代海洋資源調査技術の PD 等

区分	所属	氏名
PD	東京大学名誉教授 / 一般財団法人国際資源開発研究センター顧問	浦辺 徹郎
PD 代行 / サブ PD (平成 28 年度から)	石油資源開発株式会社顧問	石井 正一
PD 代理 / サブ PD / テーマリーダー	九州工業大学社会ロボット具現化センターセンター長、特別教授	浦 環
サブ PD (平成 28 年度から)	石油天然ガス・金属鉱物資源機構特命参与	辻本 崇史
サブ PD	海洋研究開発機構理事	東 垣
サブ PD(平成 28 年度まで) / テーマリーダー	海洋研究開発機構特任参事	堀田 平
テーマリーダー	海洋研究開発機構海洋資源研究開発センターセンター長、次世代海洋調査技術研究開発プロジェクト長	木川 栄一
テーマリーダー / 研究責任者	海洋研究開発機構海底資源研究開発センター調査役、上席技術研究員、生態系観測手法開発ユニットリーダー、海底資源研究開発センター環境影響評価研究グループリーダー	山本 啓之

平成 31 年 1 月 1 日現在

表 3-56 次世代海洋資源調査技術の主要会議体

名称	構成員	概要
推進委員会	PD、サブ PD、研究機関、関係省庁、事務局（内閣府）、管理法人（JAMSTEC） （表 3-57 参照）	PD が議長、内閣府が事務局を務め、内閣府に置く。課題の研究開発計画の作成や実施等に必要な調整等を行う。 平成 30 年度末までに 14 回開催。
知財委員会	PD、サブ PD、文部科学省、経済産業省、国土交通省、総務省、環境省、内閣府、総合海洋政策本部、各研究機関	JAMSTEC 及び研究機関に置く。
環境影響評価に関する国際標準化 TF	PD、研究機関（大学、国研）、関係省庁（オブザーバー）、事務局、管理法人	環境影響評価のプロトコル及びそれを構成する技術開発を、世界市場を視野に入れ、将来の海底鉱物資源開発に必要な技術・ノウハウとして位置付けるための方策を練る。少数精鋭とし、TF メンバーの他に、ゲスト講師、オブザーバー及び事務局によって構成。 平成 30 年 11 月までに計 25 回開催。
戦略策定 TF	PD、サブ PD、研究機関、外部講師、管理省庁（事務局として内閣府のみ）、管理法人	ビジネスモデル、出口に向けた研究開発戦略の策定。TF メンバーの他に、オブザーバー及び事務局によって構成。
マネジメント会議	PD、PD 代行、PD 代理、サブ PD、テーマリーダー	全体の目標設定、予算配分、進捗管理。
調査検討ワーキンググループ （H26、H27）	PD、サブ PD、PD 代理、研究責任者（一部）、他の関連研究機関	推進委員会の下に設置され、以下の調査・検討を行う。 研究開発の進捗状況の取りまとめに関すること。 研究開発を円滑に実施するための実務に関すること。 その他、推進委員会が指示する事項。

本課題に特徴的な会議体。

表 3-57 次世代海洋資源調査技術推進委員会 構成員一覧表

区分	所属	氏名
PD	東京大学名誉教授 / 一般財団法人国際資源開発研修センター顧問	浦辺 徹郎
PD 代行 / サブ PD	石油資源開発株式会社顧問	石井 正一
PD 代理 / サブ PD	九州工業大学社会ロボット具現化センターセンター長、特別教授	浦 環
サブ PD	石油天然ガス・金属鉱物資源機構金属資源開発本部特命参与	辻本 崇史
	海洋研究開発機構理事	東 垣
研究機関	産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門首席研究員	池原 研
	海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所特別研究主幹	井上 俊司
	海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所特別研究主幹	吉江 宗生
	国立環境研究所企画部次長	岩崎 一弘
	海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術研究開発 PT プロジェクト長	木川 栄一
	海洋研究開発機構海洋工学センターセンター長	川口 勝義
	情報通信研究機構ワイヤレスネットワーク総合研究センター総合研究センター長	浜口 清
関係省庁	内閣府総合海洋政策推進事務局内閣府参事官	佐々木 亨
	総務省国際戦略局宇宙通信政策課課長	村上 聡
	文部科学省研究開発局海洋地球課課長	阿蘇 隆之
	経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部鉱物資源課課長	大東 道郎
	国土交通省海事局海洋・環境政策課技術企画室室長	田村 顕洋
	国土交通省港湾局海洋・環境課課長	中崎 剛
	環境省大臣官房総合政策課環境研究技術室室長	上田 健二
事務局	内閣府大臣官房審議官(科学技術・イノベーション担当)	黒田 亮
	内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)付企画官(SIP 担当)	古田 裕志
管理法人	海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術研究開発 PT 企画調整ユニットユニットリーダー	菊田 宏之

平成 30 年 11 月 27 日(開催日)現在

(3) 予算

表 3-58 次世代海洋資源調査技術の予算

年度	予算（億円）
平成 26（2014）年度	61.6
平成 27（2015）年度	57.0
平成 28（2016）年度	46.6
平成 29（2017）年度	46.3
平成 30（2018）年度	40.0
合計	251.5

(4) 研究開発テーマ

SIP 次世代海洋資源調査技術の開発技術の関係性を図 3-58 に示す。実施項目 ～ による効率的な調査技術を民間利用可能な形で国際標準化を進め、それらを統合した統合海洋資源調査システムを構築することを目指して実施した。

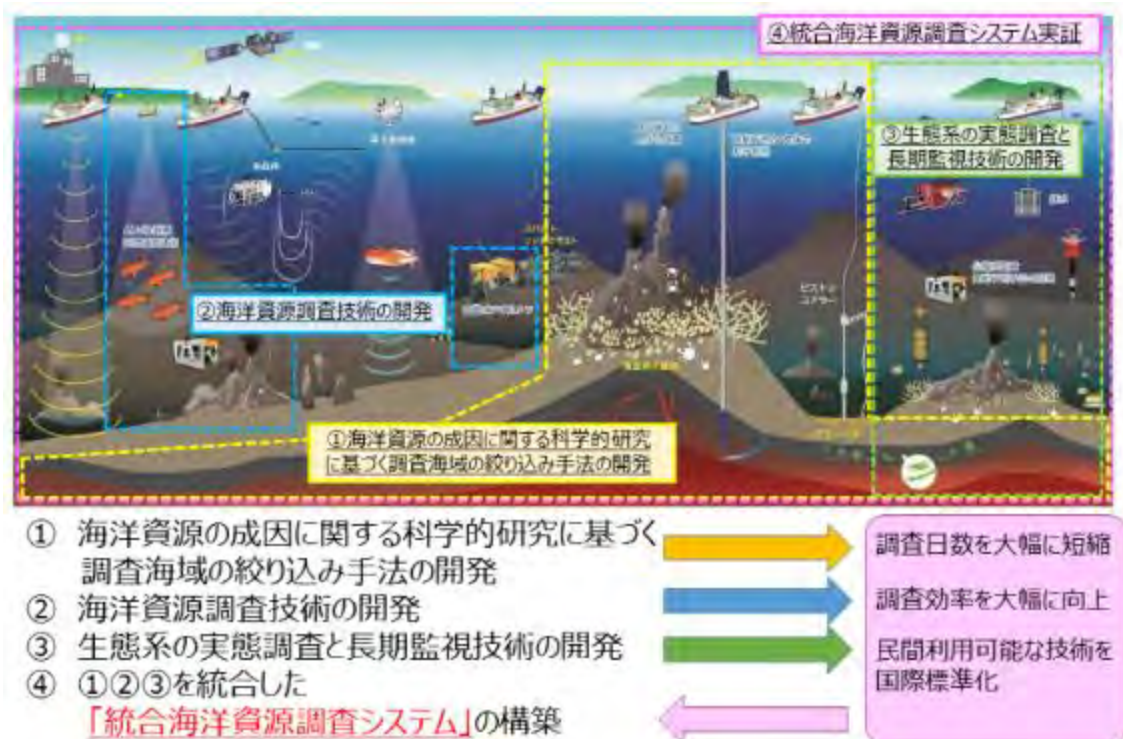


図 3-58 SIP 次世代海洋資源調査技術の開発技術

（出典）JAMSTEC「統合海洋資源調査システムの実証 次世代海洋資源調査技術」（平成 31 年 2 月閲覧）<<https://www.jamstec.go.jp/sip/demonstration/demonstration.html>>

1) 統合海洋資源調査システムの実証

民間企業が主体となって、海底鉱物資源の成因論も踏まえて、広大な海域から有望海域を概査・準精査・精査・掘削調査により高効率・低コストで絞り込む調査技術を開発。国内外

から海洋資源調査を受注できる体制を構築する。また、調査プロトコルを作成し研究機関から民間企業へ技術移転も実施、統合解析システムとしては鉱体分布を 3D 可視化できるシステムを構築する（図 3-58 に対応）。

表 3-59 統合海洋資源調査システムの実証体制

研究責任者	I 久保田 隆二 一般社団法人海洋調査協会 SIP プロジェクト推進室 / 川崎地質株式会社室長顧問 I 浅川 栄一 次世代海洋資源調査技術研究組合技術部長 / 株式会社地球科学創造研究所新技術開発部部長
研究開発実施機関 （計 5 機関）	海洋研究開発機構、一般社団法人海洋調査協会、次世代海洋資源調査技術研究組合、海上・港湾・航空技術研究所、情報通信研究機構

2) 海洋資源の成因の科学的研究に基づく調査海域の絞り込み手法の開発

海底熱水鉱床を中心に、コバルトリッチクラスト及びレアアース泥も含め、海底資源の形成過程や濃集メカニズムの解明等の地球科学的根拠に基づいた調査手法の構築及び最適なデータ取得を実施した（図 3-58 に対応）。

目的として、海洋資源調査システム・運用手法の開発（平成 29 年度以降は「統合海洋資源調査システムの実証」で活用）、民間企業で活用が見込まれる AUV の複数運用手法である高効率小型システム・高性能システム（平成 28 年度末に実施内容見直しにつき研究開発終了、成果は成因テーマで活用）、ROV による高効率海中システム（コアリングシステム）の開発（平成 28 年度末に実施内容見直しにつき研究開発終了、成果は成因テーマで活用）、音響ビデオカメラの高度化、衛星を活用した高速通信技術の開発（平成 28 年度末に実施内容見直しにつき研究開発終了、成果を「統合海洋資源調査システムの実証」で活用）等の新たな技術開発を実施した（図 3-58 に対応）。

表 3-61 海洋資源調査技術の開発体制

研究責任者	Ⅰ 吉田 弘	海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム AUV 複数機システム開発ユニットユニットリーダー、海洋工学センター海洋基幹技術研究部部長
	Ⅰ 村島 崇	海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム ROV システム開発ユニットユニットリーダー、海洋工学センター海洋戦略技術研究開発部次長
	Ⅰ 井上 俊司	海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所海洋利用水中技術系系長
	Ⅰ 松本 さゆり	海上・港湾・航空技術研究所港湾航空技術研究所海洋インフラ・洋上風力技術センター副センター長
	Ⅰ 豊嶋 守生	情報通信研究機構宇宙通信研究室長
	Ⅰ 岡村 慶	高知大学教育研究部総合科学系准教授
研究開発実施機関 （計 4 機関）	海洋研究開発機構、海上・港湾・航空技術研究所（海上技術安全研究所・港湾空港技術研究所）、情報通信研究機構、高知大学	

4) 生態系の実態調査と長期監視技術の開発

従来の海洋環境調査の評価指標であった大型生物に加え、微生物を含めた海洋生態系の調査観測手法と変動予測手法を開発した（なお、ケーブル式観測システムの開発については平成 28 年度末に実施内容見直しにつき研究開発は縮小、平成 29 年度以降は無入探查機江戸っ子 1 号による観測手法を実証）。海底鉱物資源開発での環境影響評価の実用プロトコルを作成・発表、UNESCO-IOC のウェブサイトに掲載されたほか、国際ワークショップや政府間会議等での成果発信、ISO 技術規格の提案を実施した（ISO/TC8/SC13 への新規登録（NP）まで完了）（図 3-58 に対応）。

表 3-62 生態系の実態調査と長期監視技術の開発体制

研究責任者	Ⅰ 山本 啓之 海洋研究開発機構海底資源研究開発センター調査役、上席技術研究員、生態系観測手法開発ユニットリーダー、環境影響評価研究グループリーダー Ⅰ 川口 勝義 海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術研究開発プロジェクトチーム長期観測システム開発ユニットユニットリーダー、プロジェクト長代理、海洋工学センターセンター長 Ⅰ 河地 正伸 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター室長 Ⅰ 川辺 みどり 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科海洋管理政策学専攻教授 Ⅰ 中村 由行 横浜国立大学統合的海洋教育・研究センターセンター長
研究開発実施機関 (計 4 機関)	海洋研究開発機構、国立環境研究所、東京海洋大学、横浜国立大学

(5) 研究開発テーマと各省庁施策との連関図

研究開発テーマと各省庁施策との連関図を図 3-60 に示す。

第3期海洋基本計画に基づく工程表（平成30年10月作成）より抜粋

施策群(担当府省)	2017(H29)年度	2018(H30)年度	2019(H31)年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度以降
＜施策群8＞ 海洋鉱物資源（経産省、内閣府） ① 海底熱水鉱床	海底熱水鉱床						
	資源量調査(新鉱床発見、資源量評価)	経済性評価を含む総合評価	資源量調査(事業者が参入の判断ができるレベルとして5000万トンレベルの資源量把握)				国際情勢をにらみつつ、平成三十 年代後半以降に民間企業 が参画する商業化を目 指したプロ ジェクトの開 始
	生産技術開発(採 鉱・揚鉱パイロット試 験、選鉱連続試験の 実施等)		生産技術開発(将来の商業化システムをイメージしながら、生産技術の各課題解決(①採鉱・ 揚鉱システム再構築、②粒度・濃度調整、③安定操業のための耐久性、④高効率化・最適化、				
	環境影響調査(モデ ル海域での環境影 響の評価手法の作 成等)		環境影響調査(他海域への適用など、環境影響の評価手法の高度化を進めつつ、国際ルー ルの策定作業に貢献)				
	経済性の評価・法制度の検討(需給動向、市況見通し、国際ルールとの整合性確保等、 外的要因の課題整理を含めた検討)						
② コバルトリッチクラスト及び マンガン団塊並びにレアアース 泥	コバルトリッチクラスト及びマンガン団塊並びにレアアース泥						
	コバルトリッチクラスト及びマンガン団塊の国際海底機構(ISA)の規則に従った調査、採鉱及び揚鉱等の要素技術の検討等						
	SIP「革新的深海資源調査技術」(水深2000m以深の同技術の確立・実証に向けた取組)						
当面の重点的取組 (実施手法の見直し等を含む) と その達成目標	＜施策群8＞ 海洋鉱物資源 ・経産省は、「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」を改定する。併せて、海底熱水鉱床については、今年度中に経済性評価を含む総合評価を実施する。加えて、来年度からはコバルトリッチクラストについて、海底熱水鉱床で培った技術を応用しつ つ、実海域での掘削性能確認試験を含む採鉱技術の開発等を実施する。 ・内閣府(科技)は、SIP「次世代海洋資源調査技術」の成果を踏まえ、発展・応用させ、 <u>深海資源調査技術、回収技術の確立・ 実証を推進する。</u>						

図 3-60 次世代海洋資源調査技術の研究開発テーマ及び各省庁施策との連関図（第3期海洋基本計画における位置付け）

(6) 出口戦略

1) 海洋資源調査産業の創出

競争力のある海洋資源調査技術(成因論に基づいたデータの的確な解釈技術、 低コスト、高効率、迅速、安定な調査技術、 環境監視技術)を開発しつつ、産学官一体で SIP を推進することにより、海洋資源調査産業をけん引する主体となる民間企業等を効率的に育成する。また、SIP により得られた新たな調査技術・ノウハウを、探査サービス会社、探査機器製造会社、海洋エンジニアリング会社等、幅広く民間企業に移転し、自治体や公的機関での活用や公共事業での利用も念頭に置き、海洋資源調査産業を活性化しつつ産業基盤を確立する。

2) グローバルスタンダードの確立

世界に先駆けて他国より先行している効率的な調査技術及び環境監視技術を確立することにより、我が国の調査技術及び環境監視技術を国際標準化するとともに、我が国の調査システムの輸出や海外での調査案件の受注を目指す体制を確立する。また、海底資源開発を行う上で最大の社会的課題となりうる、予防的アプローチ(科学的に証明されていない環境負荷の可能性がある場合、開発等の行動をとるべきではないとする立場。国連持続可能な開発会議(リオ + 20) で強調されている) に対して答えうる、正確な科学的知識のスタンダードを作る。

(7) 分析フレーム(ロジックツリー)

評価に際して、研究開発活動がもたらす直接的な研究成果と、現在・将来の波及効果について、平成 30 年度研究開発計画からロジックツリーにより整理を行った結果を図 3-61 に示す。

本課題の技術開発には、基本的には技術の確立に続いて民間企業を中心とした事業主体への技術移転が期待されており、ひいては出口戦略「民間への技術移転を完了し、SIP 終了後に民間企業が JOGMEC、新規事業参入者、海外案件等の資源探査を受託できる体制を構築する」ことの達成が目標として設定されている。中長期的には、開発技術が産業化し、グローバルスタンダードを確立、そして商業化を実現することが期待されている。

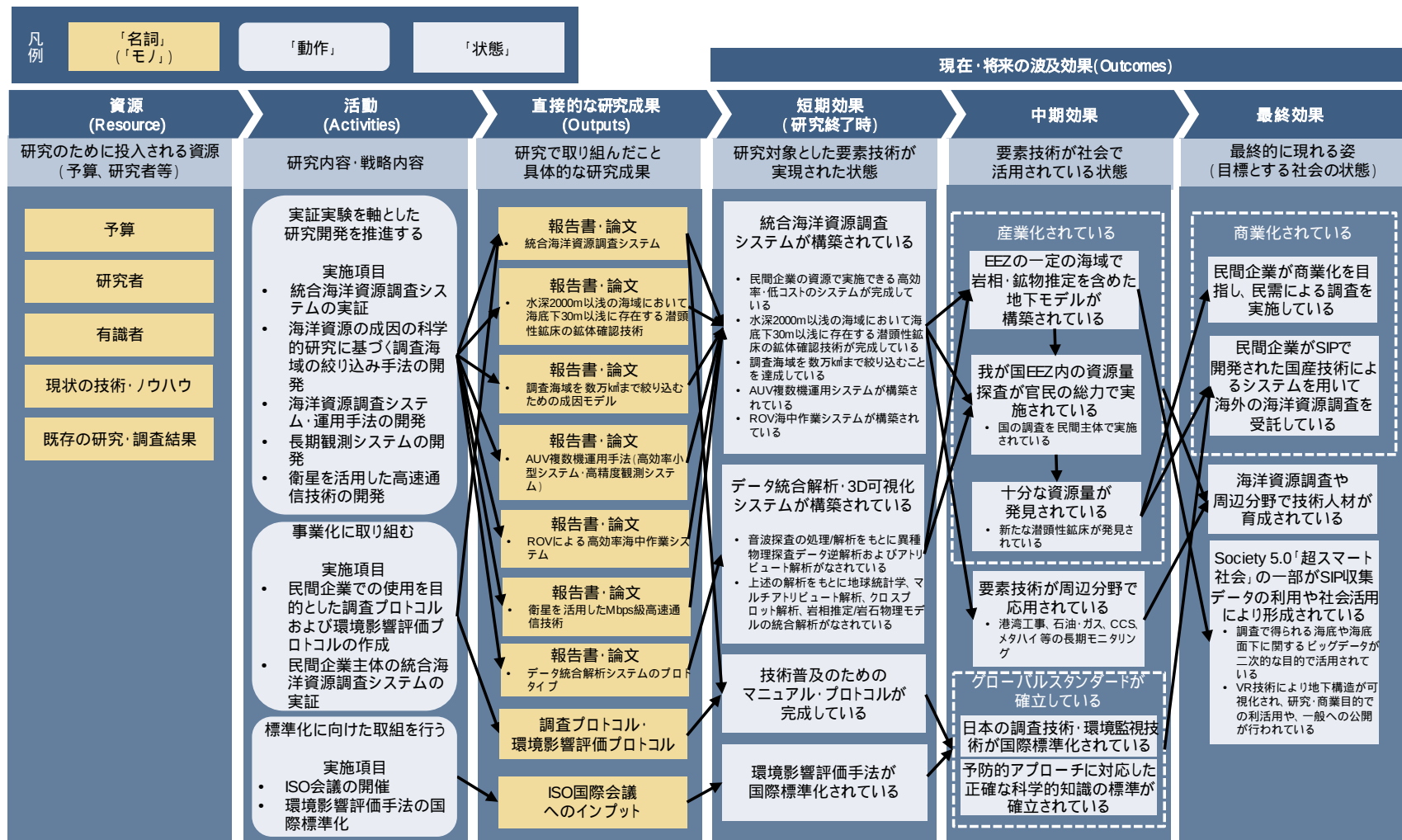


図 3-61 次世代海洋資源調査技術のロジックツリー

(出典) 平成 30 年度研究開発計画を基に作成

3.5.2 評価

(1) 意義の重要性、SIP の制度の目的との整合性

1) 国研や民間企業等全ステークホルダーの連携

SIP の特徴である府省連携の推進によって、各国研や民間企業等全ステークホルダーが連携して成果を創出した。

SIP を主導する JAMSTEC と JOGMEC の両者が連携したことで、それぞれ強み⁶⁶を持つ知見・技術・設備・データ等の融合によるシナジー効果が確認できた(図 3-62)。例えば、資源調査に必要な視点で JAMSTEC が保有する「ちきゅう」による掘削オペレーション等を実現できた。また、環境や生物への知見を持つ JAMSTEC と他機関の連携によって、持続可能な開発手法に取り組み、網羅性の高いシステム(資源調査だけでなく環境影響評価・モニタリングまでカバー可能なもの)の構築を可能とした。

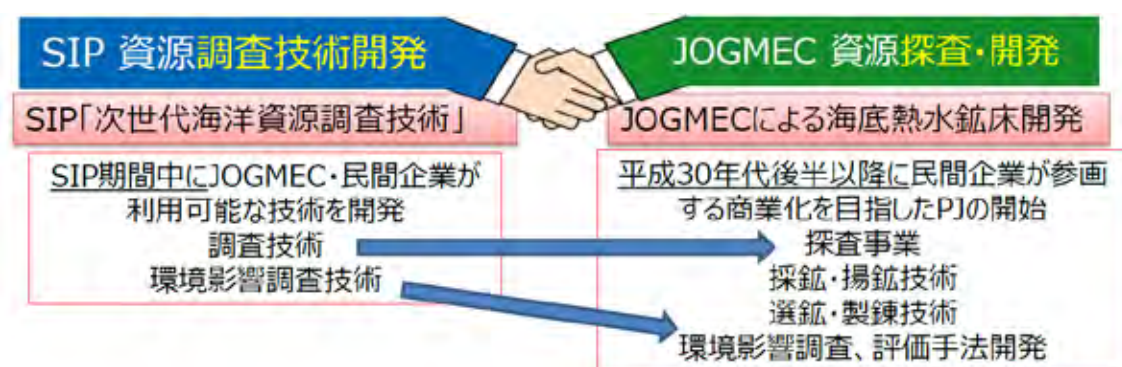


図 3-62 SIP (JAMSTEC 主導) と JOGMEC の連携

SIP で開発した調査技術の当面のエンドユーザーとなる立場の JOGMEC が途中から体制に参加した (サブ PD として参加) 意義は大きかった。一方で、JOGMEC 以外の調査技術の引き受け手がいらないことは、調査市場の拡大を進めるに当たっては課題といえる。また、研究の実施主体そのものではない JOGMEC が研究成果の意義等の詳細を十分に把握することには限界があるとの指摘があり、体制やプロセスへの組み込み方には課題があったと考えられる。

府省連携を特徴とする SIP の取り組みにより、環境影響評価に係る国際標準 (ISO) の提案が短期間で可能となった。本件に関しては、経済産業省の標準化に係る部署、環境省、外務省による協力もあった。この ISO 提案は SIP ならではの成果といえる⁶⁷。

個別の民間企業の参画によって、パッケージでの技術移転が実現した (小規模ながら JOGMEC から受注済の案件もある)。「地球深部探査船「ちきゅう」」の掘削によって、民が独自に実施してきた調査成果の有効性を立証できた事例等、官民が同じ目標に向けて連

⁶⁶ 科学・研究視点の JAMSTEC (文部科学省所管) と資源開発の JOGMEC (経済産業省所管) はこれまで海底資源 (熱水鉱床) について別々の活動をしてきた。

⁶⁷ 文部科学省の研究開発事業では特許等知財の取得は実施するが、国際標準の取得までは必ずしも行われていない。

携した固有の成果が認められる。また、民同士でも J-MARES 設立等の連携強化が図られ、強みが異なる各社（石油資源開発株式会社、株式会社地球科学総合研究所、新日鉄住金エンジニアリング株式会社、三菱マテリアルテクノ株式会社）が総合力を発揮できる体制を構築した。

ほかにも、技術シーズを有する情報通信研究機構（NICT）が参加し、海上通信技術（小型アンテナ）の利用普及を図った。その結果として、従来は関心がなかったユーザーにも高速衛星通信の有用性が理解され、活用につながるというユーザーマインドの変化があり、当該技術は調査船にて大いに活用された。一方で、JAXA 通信衛星 WINDS は研究目的に使用が限定されており、運用終了後や商用利用の面では懸念が示されている。

2) 我が国における海洋資源調査産業の基盤の形成

本課題は他の一般的な研究開発プログラムでは類を見ない多額の予算により、産学官が共通の目標を持ち総力を集結しながら大規模な調査を行うことが可能となった。その結果、これまで存在しなかった我が国における海洋資源調査産業の基盤が形成できた。海洋の研究開発は、特に調査航海の際に多額の備船費用がかかる特徴があり、通常の研究開発では本 SIP のような成果を出すには至らなかったと考えられる。他機関や民間が使うことが難しい「ちきゅう」を活用した実績は、設備と人を結集できた SIP の成果といえる。

民間参加者の貢献もあり、社会実装・事業化を出口に据えた研究開発計画となり、マネジメント方法も厳格となった。その結果、海の世界の研究者のマインドや取り組み姿勢が変わった点は成果である。海洋の分野では、基礎から応用に時間がかかるため、基礎にのみ集中する傾向にあり、通常はアウトカムをあまり意識されていない。しかし、例えば機器設計も民間における実用化（小型船舶での利用等）を前提としたものとなったことにより、通常の研究開発事業ではなし得なかったと思われるスピードで民間移転・事業化につながる成果が得られた。

ただし、他の SIP の課題と同じ土俵で 5 年間という短期間で事業化に至る成果を求められ、かつ評価されることには無理があるとの意見もあった。海洋や資源の世界では、工学的基礎の確立には長時間を要し、開発はもっと長期間で進む特性を持ち、また、航海による実海域実証が必要である。特に資源開発は数十年単位で行われるものであるため、海洋資源という特殊性を考慮した出口設計や評価面での考慮も必要だったのではないかと考えられる。課題評価アンケート調査（研究責任者向け）でも、本課題の社会的意義については 81%が「とてもそう思う」、19%が「ややそう思う」と回答しているが、経済的意義については 25%が「とてもそう思う」、56%が「ややそう思う」と回答しているものの、19%は「あまりそう思わない」と回答している点は、実用化・事業化といった産業に向かう出口を求める SIP の方針に懐疑的な参画者がいたことを示している。こうした目標共有の在り方といった点に鑑み、第 2 期では、SIP の理念である「府省連携」「出口志向」「一気通貫」を GB 及び PD がより一層参画する研究実施者に浸透させていくよう努めていかなければならない。

(2) 目標・計画・戦略の妥当性

開始当初は SIP の特徴が十分に機能しにくい計画や体制になっていた。SIP は新しい取り組みであったため、当初は従来の個々の研究開発を束ねたにとどまり、府省連携や社会実装・出口志向といった SIP の特徴が十分浸透していなかった面がある。一部の研究実施者

は、従来の科研費で実施する研究と同様にとらえ、民間からの参画者は 2 年目まではどう関与して良いかわからない状況にあった。このことから、取り組みの趣旨を汲んだ計画並びに目標を設定するための相応の準備期間が必要であったと考えられる。「アウトカム目標達成に至る、各種の出口戦略については、適切・妥当な形で設定されていたか」については、31%が「あまりそう思わない」と他課題に比べてやや多く回答している。

平成 27 年度課題年度末評価で JOGMEC との連携強化や、成因論モデル・探査技術開発・環境評価の 3 テーマの統合、出口戦略の強化が求められた。3 年目からは、特に JOGMEC との連携や、民間からのサブ PD 参加等に代表されるように、大幅な体制、マネジメント並びに実施内容の見直しを実行した。さらに、民間への技術移転を明確な目標として定めたため、開発中の機器が民間での調査に活用できるか（民が保有する小型船舶への搭載可能性等）民間が国研側にアドバイスをする立場が明確になるといった成果があった。民間への技術移転を企図したワークショップ等も開催することで、民間からの意見・要望をフィードバックする場として機能し、結果として出口戦略が明確化する効果があった。

そうした出口設計・事業化を見据えた見直し後の計画は、最終的には当初の予定以上の成果を上げることができ、機能したと評価できる。一方で、先に述べたように、海洋は基礎からアウトカム発生までに要する時間が長いこと、特に我が国の海洋産業は欧米に比べて規模が小さく（海底石油資源が少ないことが大きな要因）海外に比べて基礎・コア技術を十分に有していないのが実情である。そのため、海洋分野ではこうした特性や前提条件の違いに留意することも必要であろう。現に、5 年で基礎から出口までを求めるのは厳しいところもあり、SIP の 5 年間の実施期間の中で成果が出るよう、研究開発計画を綿密に策定することが海洋においては特に重要であるといえる。

また、本課題の研究開発開始後に新たに目標に加わった Society 5.0 については、対応が難しいのではないかと意見があった。理由としては、当初の目標への集中が困難になること、Society 5.0 のコンセプトそのものが人の住まない海洋には適用しにくいことにある。この点でも、課題の根源的な意義と後付けの目標や方針との間で軋轢を生じる可能性があり、今後の CSTI による司令塔機能の在り方にも再考の余地があることを示している。

(3) 課題のマネジメント（適切なマネジメントがなされているか。）

1) 3 年目からのマネジメント体制の見直し

平成 27 年度課題年度末評価が低評価となり、適切な目標設定と進捗管理、民間企業ならではの視点も含めたマネジメント体制の改善が求められた。これを受け、3 年目から民間（石油資源開発株式会社）出身の PD 代行が参画し、進捗管理を徹底して実施した。それにより、企業経営の視点を加えたコスト意識の高いマネジメント及び大規模プロジェクト運営（数千億円規模の資源開発）の経験に基づく適切な工程管理⁶⁸が行われるようになった。例えば、各テーマリーダーを集めて、研究開発計画のマネジメント会議を定期的を開催するようになり、各テーマでのゴールの設定やマイルストーンについて厳しいコメントを与えたり、現場からも成果に基づく計画の振り返り（フィードバック）及び変更が行われたりするようになった。

⁶⁸ 民間海洋資源開発会社の参加なしには実現できなかったものと考えられる。

2) 課題内の役割分担の課題

構想・計画と、実際の管理（マネジメント）について、本課題では前者を PD、後者を途中から参加した PD 代行が担うことができていた⁶⁹。また、成果を出すために柔軟な計画見直し、意思決定が可能であった等、制度として PD の裁量が大きい点については有効であったとの評価がされている。

その一方で、計画立案、実施、管理、意思決定、予算執行といった各要素について、その主体と責任の所在、役割分担の難しさが認められる。予算が大きいからこそ、決裁・承認プロセス、承認基準、責任の所在といったガバナンス構造を明確にし、企業ベースのマネジメントシステムを大胆に入れることが必要であるとの指摘もあった。

(4) 直接的な研究成果（アウトプット）

研究開発活動で得られた直接的な研究成果（アウトプット）は以下である。

1) 目標の全般的な達成状況

技術面の目標は、海底熱水鉱床等の海洋鉱物資源を低コストかつ高効率（従来の数倍以上のスピード）で調査する技術を、世界に先駆けて実現することである。特に熱水鉱床にエフォートを集中し、今まで発見するのが困難であった潜頭性鉱床の調査に有効な技術を開発することとした。具体的には、有望海域を一万分の一に絞り込む手法と技術、水深 2,000m までの高効率・低コストの調査が可能な調査機器の開発、海底下 30m 以浅の潜頭性鉱床を発見する調査手法の構築である。

テーマ毎の全般的な達成状況を表 3-63 に示す。

表 3-63 各研究開発テーマの達成状況

	テーマ名	テーマ概要	達成状況
1	統合海洋鉱物資源調査システムの実証	海洋鉱物資源を高効率かつ低コストで調査するシステムを構築し、民間主体での調査を実施し、システムの有用性実証を行う	<u>達成</u> 世界初となる統合海洋資源調査システムを構築、有用性実証済み
2	海洋鉱物資源の成因の科学研究に基づく調査海域の絞り込み手法の開発	海洋鉱物資源の成因に関する科学研究に基づく調査海域の絞り込み手法を開発	<u>達成</u> 開発手法を「調査技術プロトコル」として文書化。民間への技術移転を実施

⁶⁹ 構想・計画立案能力とマネジメント能力とは求められるものが異なり、戦略的に人材登用を図ることが重要であると考えられる。結果としてこのような管理体制を組むことが出来たが、海洋分野ではこうした能力と経験を有する人材に限られる。

3	海洋資源調査技術の開発	海洋鉱物資源を高効率に調査するための AUV 複数機同時運用システム等の開発	達成 世界初となる AUV 複数機同時運用システム実証実験を実施
4	生態系の実態調査と長期監視技術の開発	海洋鉱物資源開発において不可欠な環境影響評価技術の開発と国際標準化	達成 環境影響評価・生態影響試験ガイドラインに係る 4 つの技術を ISO（国際標準化機構）/TC8/SC13 に新規提案の登録（NP）

2) 海洋資源調査システム

海底鉱物資源探査から環境調査まで利用可能な「統合海洋資源調査システム」は、海外からも注目を集めている。調査航海に民間技術者が乗船することによって実践による技術移転が可能となり、今後の事業化が期待されている。具体的な応用成果として、これまでデータのなかった海域に海洋資源調査システムを適用し、海底下 40m の堆積物中に硫化鉱物の存在を確認している。

3) 調査技術プロトコル

これまで各機関や個人に付随していた技術、ノウハウをまとめた手順について、「調査技術プロトコル」が作成され、民間企業への技術移転を容易に行うことが可能となった。



図 3-63 調査技術プロトコル

4) 海洋鉱物資源調査の手法

海底鉱物資源調査の手法として様々な技術が開発された。

AUV 複数機運用技術は、短時間で効率的な調査が実現でき、イノベーション創出につながった。これにより、適した海象・気象時に集中して効率的に調査を実施することが可能になり、荒天等による調査の中断があっても機会損失を防ぐことが可能となった。なお、本技

術にはこれまでの研究開発も活かされており、SIP 固有の成果とまでは必ずしもいえないという見解もあった⁷⁰。



図 3-64 複数運用を実施した AUV

基盤ツールで石油資源探査を目的に開発された「Vertical Cable Seismic (VCS)」⁷¹装置を基盤として開発した音波探査技術(石油資源より浅い海底下の熱水鉱床調査に適用)については、この方法に JOGMEC が興味を示した点も成果といえるほか、電気探査(自然電位)による熱水鉱床調査についても、陸上の鉱床探査や地質構造把握で用いられてきた伝統的な手法でありながらこれまで困難と考えられていた海底熱水鉱床への応用可能性を改めて確認したことは成果といえる。

粉塵や汚濁等により視界不明瞭な水中において音響画像取得により視覚を確保する音響ビデオカメラについては、海底鉱物資源調査のみならず、港湾工事の広い場面で使用が可能な技術である。今後コスト削減で新事業・市場創出効果が期待できる。

また、本調査では、民間製品である無人探査機「江戸っ子1号」を活用し、微生物群集を指標にした生態系変動の観測から環境調査を行う環境影響評価手法も実現でき、今後当該手法が国際標準となれば、将来的な市場展開も期待できる。

海底熱水活動域の海底下に広がるいわゆる“潜頭性熱水鉱床”の成因・品位・規模の調査に向けては、潜頭性熱水鉱床の品位・規模推定のため海底下の熱水循環動態を観測する海底下流体観測装置「PileBunker⁷²」「SpearHead⁷³」シリーズや、熱水噴出孔から噴出する熱水及び沈積物(熱水鉱石)の化学組成を直接的かつ長期間連続観測する熱水噴出孔観測装置が開発されている。同装置は、ホログラフィック顕微鏡・原子間力顕微鏡・アデノシン三リン酸(ATP)・高温環境で使用可能な pH 計測装置から構成され噴出熱水の時空間変動を計

⁷⁰ 実現した AUV 複数機運用は、元々過去の文部科学省の基盤ツール開発事業がベースにあり、それが SIP で昇華したものとも考えられる。

⁷¹ パーティカルケーブル方式反射法地震探査。海底面から鉛直上方に受振器(ハイドロフォン)を配置し、水中震源により音波(地震波)を発生させ、この音波が地下に伝搬し、地層境界からの反射波を記録して、海底下構造を調査する手法。(浅川ほか「パーティカルケーブル方式反射法地震探査(VCS)の開発」物理探査第 64 巻第 4 号(2011) 267-277 頁より)

⁷² 現場間隙水採取装置。ROV や有人潜水艇のマニピュレータ等により間隙水抽出装置をアレイ状に配置した物理化学センサーと共に海底に突き刺し、タイマーもしくは物理スイッチによりポンプを駆動させ採水、その前後にセンサー計測する。

⁷³ 海底下観測プラットフォーム。海底表層の地質試料採取に用いられるグラビディ(もしくはピストン)コアラのような方式により、温度・圧力・pH 等のセンサーや間隙水採取器のアレイを海底下へ打ち込み、計測と試料採取を行う。

測するシステムである。海底下流体観測装置については、高知大学発ベンチャー「株式会社海洋計測」が販売元として機器の販売を行っており、市販化が実現している。

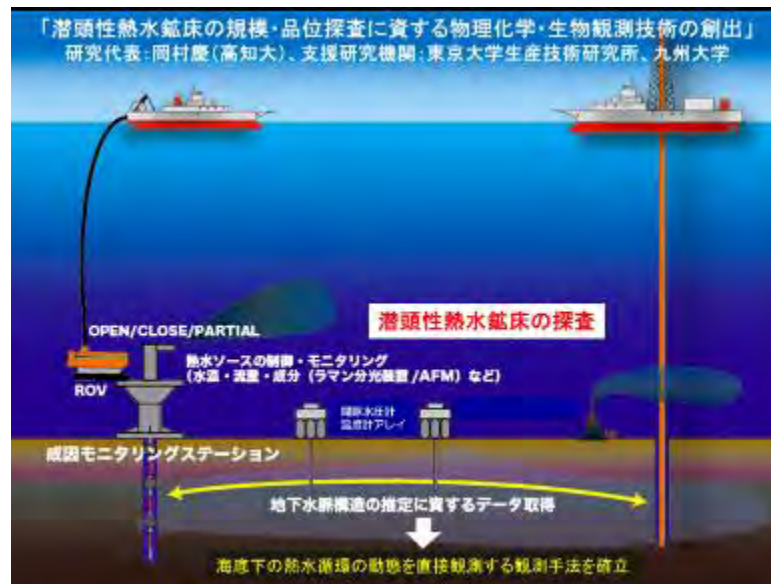


図 3-65 海底下流体観測装置と熱水噴出孔観測装置の開発

(出典) JAMSTEC「海洋資源調査システム・運用手法の開発 次世代海洋資源調査技術」(平成 31 年 2 月閲覧) <<https://www.jamstec.go.jp/sip/enforcement-2/development2-1.html>>

5) その他の関連技術

海洋ブロードバンド通信技術の確立は大きな成果として挙げられる。技術シーズを持つ NICT が参加することで、衛星追尾システムの利用普及が図られた⁷⁴。同システムにより、船側からの通信速度 5Mbps 以上の回線構築に成功しており、この技術の成果として、特に調査の効率化といった効果が生まれている。従来、船上での解析による次の調査意思決定には通信帯域等に制限があり、短時間での大容量データ送受信が厳しかったが、そうした制約が解消された点は大きな成果である。詳細な気象海象情報をリアルタイムで受け取ることが可能になり、オペレーション最適化のメリットもあって、この海上通信技術(小型アンテナ)は調査船にて大いに活用された。

6) 国際標準

IMO (国際海事機構) 所属の経験ある研究者⁷⁵を交えた取組を実施し、それらの取組を通じ、ガイドライン⁷⁶の国際標準化に向け、4 つの技術を ISO (国際標準化機構) / TC8/SC13 に新規登録 (NP) した。現在、発行に向け、審議が進められている。

民間製品である無人探査機「江戸っ子 1 号」を活用した環境影響評価も進めており、世界から注目されている。

⁷⁴ 従来は興味を持っていなかったユーザーが結果として、高速衛星通信の有用性を理解し、利用するようになった。

⁷⁵ 船舶関連の数々の国際標準化を手がけた研究者である。

⁷⁶ 微生物も含む生態系への影響を評価する環境影響評価・生態影響試験ガイドライン。

7) 情報発信

本課題の情報発信活動として、平成 30 年度に開催したシンポジウムを表 3-64 に示す。

表 3-64 次世代海洋資源調査技術に関する情報発信（平成 30 年度のシンポジウム）

年月日	名称	主催等	概要
平成 30 年 11 月 19 日	戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代海洋資源調査技術シンポジウム 最終年度報告会	内閣府/JAMSTEC	最終年度までの集大成となる調査技術の成果と各テーマの最新トピックを講演やポスター・展示等で紹介するほか、「次世代海洋資源調査技術のオリジナリティと世界展開」をテーマとするパネルディスカッションを実施した。

8) 論文・知的財産

当該課題の過去 5 年分の論文数は全 151 件（うち査読あり 134 件）となっている。

表 3-65 次世代海洋資源調査技術に関する論文数

		発表年					
		5 年合計					
		2014	2015	2016	2017	2018	
合計		151	2	17	49	53	30
	査読あり合計	134	2	17	38	48	29
	英文	109	2	13	35	37	22
	和文	24	0	4	3	10	7
	その他	1	0	0	0	1	0
	査読なし合計	17	0	0	11	5	1
	英文	0	0	0	0	0	0
	和文	17	0	0	11	5	1
	その他	0	0	0	0	0	0

（注 1）平成 30 年 12 月末実績。発表年は年度ではなく暦年である。

（注 2）「査読あり」「査読なし」のいずれについても、学術誌での発表論文以外（学会発表・予稿集等）は原則として含まれていない。（他課題とは集計範囲が異なる点に注意が必要である）

みなし取下げを除いた出願年度別の特許出願件数及び登録件数（ファミリー単位で集計）は表 3-66 のとおりである。件数は多くないものの、国内特許に加え海外への出願も行っている。特許出願が始まったのが 2015 年度であることもあり、登録に至った特許も現段階では国内特許 1 件にとどまっている。

表 3-66 次世代海洋資源調査技術に関する特許数

		出願年度					
		5 年合計					
			2014	2015	2016	2017	2018
出願	合計	30	0	8	12	10	0
	国内のみ	18	0	4	7	7	0
	海外含む	12	0	4	5	3	0
	PCT	9	0	4	3	2	0
	米国	7	0	1	3	3	0
	欧州	4	0	2	2	0	0
	中国	7	0	2	3	2	0
	韓国	6	0	1	3	2	0
登録	日本	1	0	1	0	0	0
	米国	0	0	0	0	0	0
	英国	0	0	0	0	0	0
	ドイツ	0	0	0	0	0	0
	フランス	0	0	0	0	0	0
	中国	0	0	0	0	0	0
	韓国	0	0	0	0	0	0

(注) 平成 30 年 12 月末実績。みなし取下げを除いた出願年度別の特許出願件数及び登録件数をファミリー単位で集計。

海底資源調査、環境影響評価、インフラ機器の計 3 種でオープン・アンド・クローズ戦略を構築できる知財パッケージを作成し、SIP 終了後は民間企業により競争優位性を持ったサービスが実現できることを目指した。あわせて、SIP 終了後の知財、データ・サンプルの取扱方法を定めたガイドラインを策定している。知財パッケージごとにサービス窓口を設定し、SIP 終了後に各サービスの窓口の機関が対応するように体制を整備している(図 3-66)。

■ 知財パッケージ（「資源調査技術プロトコル」のうち一部を抜粋）				
名称	ノウハウ	調査航海取得データ	オープン＆クローズ戦略	サービス窓口
音波による地形・地形評価ソフト調査	・有望海域絞り込み手法	・船舶MBES等のデータ ・AUV-MBES/SSS等によるデータ	・データ公開、ソフト秘匿によるデータ精度の有意差を構築	JAMSA J-MARES
音波による探査技術	・ZVCS/ACS/3DVCSのデータ解析処理技術 ・3DVCSのデータ取得法	・ZVCS/ACS/3DVCSによる反射法地震探査データ ・AUV/曳航体/ROVによる自然電位異常調査データ ・AUV/曳航体/ROVによる電気探査データ	・パテントライセンスによるオープン＆クローズの構築	J-MARES
電気探査技術	・自然電位および電気探査（比抵抗）解析ソフト		・パテントライセンスと、解析ソフトの組み合わせ提供によるデファクトの構築	JAMSA
■ 知財パッケージ（「インフラ機器」のうち一部を抜粋）				
名称	ノウハウ	取得データ	オープン＆クローズ戦略	サービス窓口
音響カメラ	設計 高解像度化 近距離化 リアルタイム化 レンジ延長	・リアルタイム3D映像 ・音響測量（点群、CAD）	・パテントライセンスによるオープン＆クローズの構築 ・データ公開、非公開によるオープン＆クローズの構築	港湾空港技術研究所/ JAMSA
AUV	設計 保守・管理 複数機運用マニュアル	・地形・地層・自然電位 ・地磁気・静止画・動画 ・海水の温度・化学特性等	・パテントライセンスによるオープン＆クローズの構築 ・データ公開、非公開によるオープン＆クローズの構築	海上技術安全研究所/ JAMSA

図 3-66 各知財パッケージ内容概要

(5) 現在・将来の波及効果（アウトカム）

研究終了時である現時点の目標の達成状況と波及効果、将来（短期・中期・最終）に期待できる波及効果については次のとおりである。

世界初となる「統合海洋資源調査システム」の有用性を実証できたことにより、今後、我が国近海の未調査海域における海底熱水鉱床調査という市場創造のポテンシャルが示された。また、「調査技術プロトコル」を用いた民間への技術移転が進んだため、事業化及び新たな海洋調査産業の創出につながると期待される（水産や石油ガス関連分野への技術応用も検討されている）。環境影響評価・生態影響試験ガイドラインに係る4つの技術をISO（国際標準化機構）/TC8/SC13に新規登録（NP）するなど、本分野の国際標準を主導できている。体制面では、国研間ネットワークの構築、J-MARES設立等、今後の事業につながる連携強化も図られた。ほかにもSIPに参加した学生の資源業界への輩出等、人材育成効果も認められた。

1) 目標の全般的な達成状況

本課題の社会的な目標である「グローバルスタンダードの確立により、我が国の調査システムの輸出及び海外での調査案件の受注を目指す。」については、世界初のシステムを実証し、環境影響評価は国際標準化を進めていることから、グローバルスタンダードを確立しつつあると評価できる。輸出及び海外調査案件の受注はまだ達成できていないが、今後の課題としてその実現が期待される。

産業面の目標である「本課題により得られた新たな調査技術・ノウハウを、探査サービス会社、探査機器製造会社、海洋エンジニアリング会社等、幅広く民間企業に移転することにより、2018年度までに、世界に打って出ることのできる海洋資源調査産業を創出する。」については、民間企業への移転は実現したと評価できる。ただし、産業として定着するには市場が十分とはいえず、今後も継続的な取り組みが求められる。

2) 海洋資源調査の市場ポテンシャル

我が国近海の熱水鉱床の内 700 万トンが調査済みであるが、商業化に不可欠とされる鉱物量は 5,000 万トン以上といわれている。熱水鉱床調査として、残り 4,300 万トンを超える量を発見する海洋資源調査そのものが直近の市場ポテンシャルとして期待できる。

3) 民間移転された要素技術による調査活動の実施

国研から民間企業へ「調査技術プロトコル」を用いた技術移転が成功したといえる。例えば、技術移転先の一つである J-MARES 等は、自身の目的に即した新しい音響探査及び電気探査の仕組みを用いて調査を実施した。小規模ながら JOGMEC からの案件も受注している。

このように、官民が同じ目標に向けて連携したことは固有の成果であり、技術研究組合結成で強みが異なる企業の総合力を発揮できる体制ができたといえる。

また、海洋調査事業の業界団体である一般社団法人海洋調査協会⁷⁷の所属企業は、これまでは水深の浅い港湾工事関係を実施していたが、深海の調査のキャパシティビルディングが達成され、海外展開も含めて検討できるようになった。このように所属企業のビジョンの変化がもたらされた点も成果といえる。

4) ベンチャー企業創出

平成 28 年 11 月には高知大学発のベンチャー企業「株式会社海洋計測」が設立され、センサー開発・販売を開始している。同社は、水中観測装置・分析技術及び観測システムの運用に貢献している。

5) 要素技術の周辺分野での応用

NICT の海洋ブロードバンド通信技術による衛星追尾システムは洋上通信の可能性を大きく広げ、ユーザーマインドの変化を引き起こした。今後、レジャーボート、漁船、大型クルーズ船等の通信環境改善に向けた多くの適用が期待できる。JAXA 通信衛星 WINDS 運用終了後は、民間通信衛星事業者への技術移転が検討されている。

研究実施者によれば、本課題の成果である VCS 技術の今後の応用先として、海外（メキシコ湾等）の石油ガス開発プラットフォーム建設のための地質調査が考えられている。また、AUV 複数機同時運用については、海底ケーブル敷設に係るルート調査等での利用可能性が考えられている。

6) 組織間・分野間のネットワーク形成

国研間のネットワークについては、今後の連携による更なる成果が期待できる。

既に、国研（JAMSTEC、海上・港湾・航空技術研究所、水産研究・教育機構）と横浜市の海洋企業による協議会（海洋都市横浜うみ協議会）の間に「海洋技術開発のプラットフォーム作り」に向けた MOU を締結予定であり、SIP 成果活用等による地方の海洋産業振興が

⁷⁷ JAMSA。正会員民間 85 社、賛助会員 40 社以上（平成 31 年 1 月現在）から構成される。海洋調査事業の健全な発展を期して、昭和 59 年 5 月 31 日に業界の任意団体としてスタートし、平成 24 年 4 月 1 日に新しい公益法人制度の基に一般社団法人として認可された。

計画されている。

また、本課題は、従来の理工学の立場ばかりでなく、国際法学、国際関係論、法執行等の社会科学的な立場からの解析が必要であった。そのため、本課題ではこれらの幅広い文理にまたがる人材の研究開発チームを結成し、文理融合を果たすことができた。これは、新たな研究領域の創出につながる成果といえる。

7) 人材育成

民間企業からのべ43名が技術移転を目的とした航海に参加し、調査オペレーション等を実施した。本課題の実施機関の大学生・大学院生がのべ108名乗船し、船上でのサンプリング・分析を実施した。研究に関わった大学院生は、陸上も含め資源探査・開発関連の業界に輩出されている。特に、海洋開発を研究ではなく民間事業として担える⁷⁸というメッセージが学生にも伝わった効果が認められた。高知大学、九州大学、東京海洋大学のSIP参加大学に海底資源に関する新たな講座が開設されており、新たな学生の継続的育成につながっている。

8) 国際的な立ち位置

海洋鉱物資源成因研究に基づく調査海域絞り込み手法、海洋鉱物資源調査技術、環境影響評価手法からなる「統合海洋資源調査システム」を世界で初めて構築し、海外から注目されている。また、本手法については民技術移転もなされたため、我が国として本調査システムの輸出や海外での調査案件の受注を目指す体制が確立できている。

特に環境影響評価手法については、環境影響評価・生態影響試験ガイドラインに係る4つの技術のISO新規提案の登録が実現した。また、作成したプロトコルが国連機関であるUNESCO-IOCのウェブサイトに掲載され、本分野が市場化した際は標準を握る我が国がリードしていくことが期待できる。

その他、AUVの複数機運用技術は、Shell Ocean Discovery Xprizeに参加している日本チームであるTeam Kuroshioにも利用されているものであり、SIPが国際的に高いレベルの技術開発を成しえていることを示す事例の一つといえる。

(6) 改善すべきであった点と今後取り組むべき点

1) 改善すべきであった点

SIPの趣旨を踏まえた目標及び計画を設定するには、エンドユーザー（JOGMEC）を含めた体制の整備や研究者の社会実装・出口志向の意識浸透等の準備を早期から十分に行うことが必要であった。SIP開始当初は府省連携や社会実装・出口志向といったSIPの特徴が課題内に十分に浸透しておらず、その特徴を発揮しづらい計画や体制になっていた。途中から当面のエンドユーザーとなるJOGMECが体制に加わった意義は大きかったものの、研究の実施主体ではなかったため、成果に至る経緯等が十分に伝達されないこともあり、研究成果の意義や内容を十分に把握することには限界があるのではないかと意見もあった。JOGMECを研究の実施体制やプロセスにより深く組み込む（例えば、JAMSTECと

⁷⁸ SIPシンポジウムに参加した学生が海洋業界に就職した事例もある（アウトリーチ効果）。

JOGMEC の担当範囲を切り分け過ぎず、両者の強みを生かした研究の共同実施等)ことで、更に円滑に活動が進んだ可能性は否定できない。

研究開発と実際の企業による資源開発事業的要素(工程管理)のバランスの取り方の改善、イノベーションを起こす視点のマネジメント導入も検討に値するものであった。

2) 今後取り組むべき点

民需による海洋鉱物資源調査市場が未成熟であるため、依然として JOGMEC 等の国側の関与が必要であり、SIP で海洋鉱物資源を扱うに当たっては、産学官一丸となったオールジャパンの体制構築が引き続き不可欠である。特に、SIP 第 1 期終了後、JOGMEC 及び民間を包含した体制を引き続き維持し、国内外での海洋鉱物資源調査の市場開拓について戦略的に取り組む必要がある。海外展開においては、管轄海域内に海洋鉱物資源が賦存し展開先として有望と考えられる大洋州等との連携を深め、政府開発援助 (ODA) 等の外部資金の活用可能性も含め引き続き具体的方策の検討が必要である。

また、熱水鉱床等の海洋鉱物資源は、陸上で開発される資源価格との競争もあり、海洋鉱物資源調査市場の商業化を実現するには何らかのブレークスルーも必要と考えられる。既に大きな市場として成立している海洋の石油・天然ガス分野での成果活用等を図ることで実績を積み重ねるなど、SIP 成果が継続利用される方策も広く検討すべきである。一方、海洋鉱物資源調査は我が国にとって重要な資源確保という観点もあり、我が国として関与を続けることも重要と考えられる。

このように海洋は府省連携や産学官一丸となった取り組みが求められ、また技術開発やその後の商業化に時間を要する性質がある。SIP において海洋の課題に取り組む際は、5 年間という実施期間の中で達成可能な研究開発内容の設計、実施体制の構築、及び終了後の展開も見据えた戦略策定が肝要である。