

「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」 研究資金制度プログラム

評価用資料

令和3年6月24日

経済産業省産業技術環境局国際室

(事業の目的等)

事業名	革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業		
上位施策名	地球温暖化対策		
担当課室	産業技術環境局総務課国際室		
事業の目的	地球温暖化対策としての CO2 排出量削減は引き続き世界的に大きな課題であり、我が国は温室効果ガスの排出量を 2050 年までに世界全体で半減、先進国全体で 80%削減を目指すという高い目標を掲げている（注：本事業開始当時）。この達成のためには、既存のエネルギー技術開発の延長のみでは不十分であり、革新的エネルギー技術の開発、創出によるイノベーションが不可欠である。 従って、「エネルギー・環境イノベーション戦略」（2016 年 4 月 19 日、総合科学技術・イノベーション会議決定）に掲げられた、2050 年頃を見据えた革新的技術分野の研究開発を進めることとしていくが、こうしたイノベーションを促進するためには、先端技術を有する海外の研究機関等と我が国の研究機関等が連携を強化し、お互いの強みを持ち寄って共同研究を実施することが効率的かつ効果的である。 こうした中、2016 年に開催された「G7 北九州エネルギー大臣会合」の共同声明においても、研究機関間の国際共同研究の促進が合意された。 欧米など主要国において、環境・エネルギー分野の技術開発及びその普及に対する投資を拡大する動きがあり、これら主要国と連携し、エネルギー環境分野の国際共同研究開発を推進することで、研究開発・実証・社会実装に至るスピードを早めると同時に、我が国が主要国の研究開発動向に取り残されることなく、主導的な立場を維持していくことが可能である。 具体的には、海外が有する先進的な研究情報の入手や、日本国内にはない技術・設備の利活用等を進める。また、実用化段階での国際市場展開も視野に、同市場に適合する技術開発を進めている海外研究機関との連携を梃子とする効果も狙う。 従い、本事業では、「エネルギー・環境イノベーション戦略」における革新的技術分野について、G7 等の先進国の研究機関等と協力することで、我が国の革新的エネルギー技術の研究開発の加速と海外の優れたイノベーションシステムの取り込みを目的とする。		
類 型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度		
実施時期	2015 年度～2020 年度 (5 年間 + 事故繰越しにより 1 年延長)	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計
評価時期	事前評価：2014 年、中間評価：2017 年、終了時評価：2021 年		

スキーム	国 → 日本に拠点を有する研究機関、大学等（委託） ↔ 海外研究機関等（共同研究）							
執行額 （百万円）	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	総執行額	総予算額
	555	401	723	550	464	35	2728	2886

1. 当省(国)が実施することの必要性

本事業は、30年以上先の中長期的な革新的技術創出を目的としており、技術的難易度や研究開発の継続性の観点から、民間企業では取り組みが困難なものである。また、コスト面、利便性の面で化石燃料に劣るクリーンエネルギー等の基礎的な技術を対象としており、民間企業では自発的に開発が進まない分野である。

さらに、国際的な共同研究開発の推進により、海外の優れたイノベーション政策について知見を深め、よいところを積極的に取り入れ、活用することで、我が国のイノベーションシステムの向上に資することが副次的効果として期待される。具体的には、国際共同研究を通じて、長期を要する基礎研究への支援の在り方や、相手国の公的研究機関を支える仕組み、基礎研究の成果を製品開発に繋げる橋渡し機能等を学ぶことによって、我が国の公的研究機関を支える仕組みや、研究開発における官民の役割分担の政策検討に活かす。

以上の理由から、本事業は国として行うべき予算事業である。

2. 制度の実施・マネジメント体制等

(1) 交付条件・制度の対象者

「エネルギー・環境イノベーション戦略」の有望分野における革新技術を軸とし、G7等の先進国の研究機関等との連携を必要とする研究開発テーマを選定し、相手国機関の協力を得て最大5年間の研究開発を実施。対象者は日本に拠点を有する研究機関、大学、企業、公的団体等とし、経済産業省から研究開発を委託する。事業者は委託費により研究開発を実施し、相手国の研究機関は連携に必要な資金を各々が調達する。

エネルギーシステム 統合技術		○革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス（DR）を含めてシステム全体を最適化。 AI、ビッグデータ、IoT 等を活用。
システムを構成する コア技術		○ 次世代パワエレ ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造 ○ 革新的センサー ：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー ○ 多目的超電導 ：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減
分野別革新技術	省エネルギー 	1 革新的生産プロセス ○高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術 ➢ 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ 2 超軽量・耐熱構造材料 ○材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上 ➢ 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用
	蓄エネルギー 	3 次世代蓄電池 ○リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池 ➢ 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行 4 水素等製造・貯蔵・利用 ○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発 ➢ CO ₂ を出さずに水素等製造、水素で発電
	創エネルギー 	5 次世代太陽光発電 ○新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電 ➢ 発電効率2倍、基幹電源並みの価格 6 次世代地熱発電 ○現在は利用困難な新しい地熱資源を利用 ➢ 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大
	7 CO₂固定化・有効利用	○排ガス等からCO ₂ を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用 ➢ 分離回収エネルギー半減、CO ₂ 削減量や効率の格段の向上

(出典) エネルギー・環境イノベーション戦略(概要)

（２） 制度の運営体制・採択プロセス

本事業の実施体制を図 2－1 に示す。本事業は経済産業省が公的研究機関等に委託して実施している。実施機関は（国研）産業技術総合研究所、（国研）宇宙航空研究開発機構、（公財）地球環境産業技術研究機構、（大）東京大学、（大）九州大学である。実施機関は G7 等の先進国の公的研究機関や大学と、2050 年頃に実用化が期待される革新的なエネルギー技術に関する共同研究プロジェクトを、お互いの強みを活かして相互補完的に実施している。

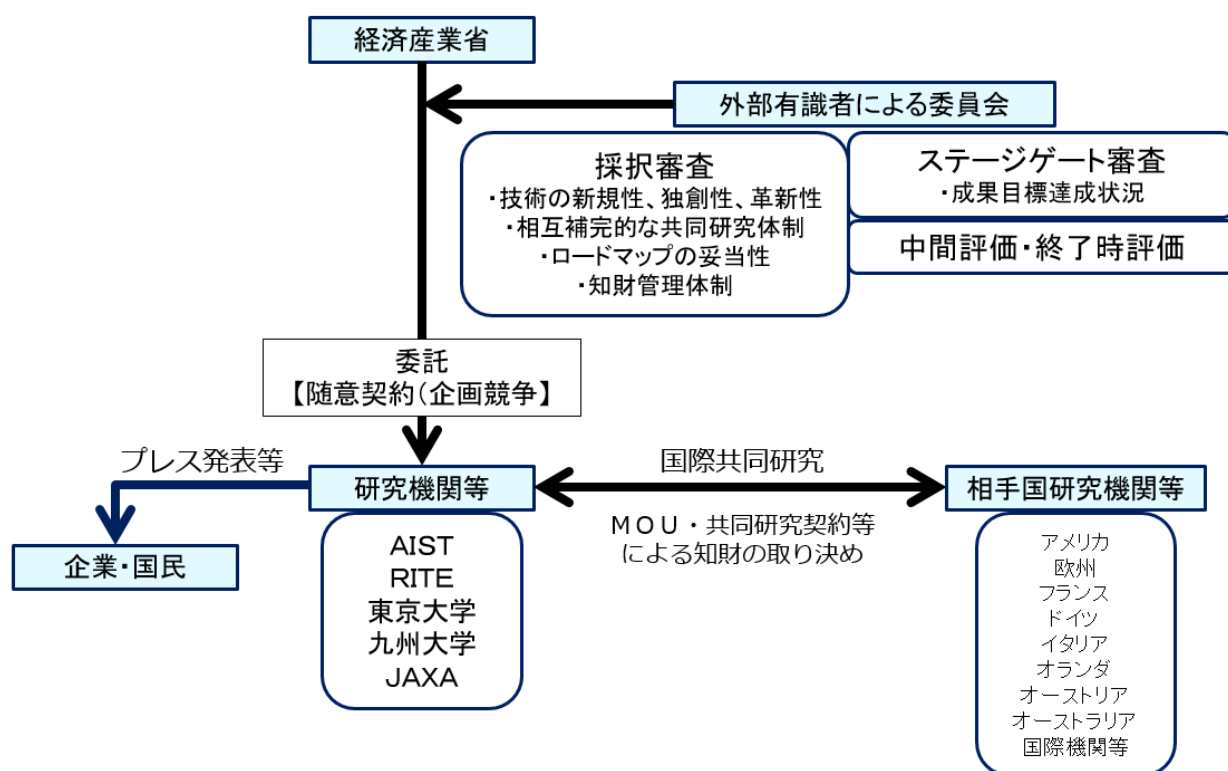


図 2－1 事業体制

図 2－2 に運営実施フローを示す。採択プロセスは、公募により競争性を確保するとともに、外部有識者による事業者選定委員会が書類審査およびヒアリングを行い、公正にテーマを選定している。公募においては、戦略的に 2050 年頃までの実用化を目指した温室効果ガス削減ポテンシャルの高い革新的エネルギー技術開発を促進するため、「エネルギー・環境イノベーション戦略」の技術ターゲットを優先的に募集し、技術の新規性・独創性・革新性、相互補完的な共同研究体制、ロードマップの妥当性、知財管理体制等を審査項目としている。個別テーマと「エネルギー・環境イノベーション戦略」との関係は図 2-3 に示す通りである。

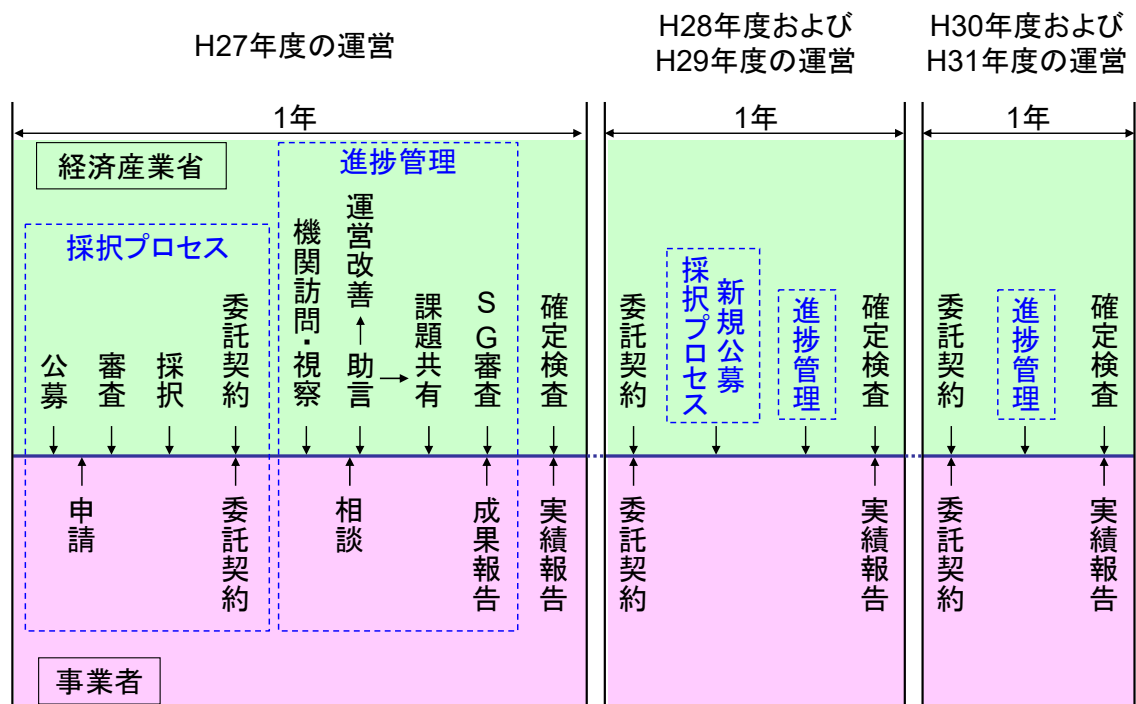


図 2 - 2 運営実施フロー

番号	本事業テーマ名	エネルギー・環境イノベーション戦略における分野
1	セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発	革新的生産プロセス
2	高炭素収率を特徴とするセルロース系バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造に関する研究開発	革新的生産プロセス
3	過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	次世代蓄電池
4	CO ₂ を利用した水素製造・貯蔵技術 -二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステム-	水素等製造・貯蔵・利用
5	系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	エネルギーシステム統合技術
6	太陽光による有用化学品製造	革新的生産プロセス
7	単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発	次世代太陽光発電
8	超臨界地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発	次世代地熱発電
9	ESG設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大	次世代地熱発電
10	低毒性・高効率熱電デバイスの開発	革新的センサー
11	CO ₂ フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発	水素等製造・貯蔵・利用
12	革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発	次世代太陽光発電
13	様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新的高汎用バイオプロセスの開発	革新的生産プロセス
14	第3世代パワー半導体β-Ga ₂ O ₃ の高品質化・高性能技術	次世代パワエレ
15	3DライダーとAIによる風況フルスキャン手法の開発	エネルギーシステム統合技術
16	光反応による低消費電力型製造プロセスとグリーンデバイスの開発	革新的生産プロセス
17	高効率な水蒸気電解セルの開発と可逆動作可能な固体電解質燃料電池への展開	水素等製造・貯蔵・利用

図2-3 個別テーマと「エネルギー・環境イノベーション戦略」との関係

(3) 公募・採択の実績

平成27年度から平成29年度にかけて、下記のとおり公募・採択を実施した。

(平成27年度)

- 公募期間：平成27年8月7日～9月8日
- 1件あたり上限額：1億円
- 応募件数：14件

- 採択日：平成 27 年 9 月 25 日
- 採択件数：10 件

(平成 28 年度)

- 公募期間：平成 28 年 8 月 19 日～9 月 20 日
- 1 件あたり上限額： 1500 万円
- 応募数：4 件
- 採択日：平成 28 年 11 月 1 日
- 採択数：2 件

(平成 29 年度)

- 公募期間：平成 29 年 5 月 12 日～6 月 12 日
- 1 件あたり上限額： 6000 万円
- 応募数：13 件
- 採択日：平成 29 年 7 月 12 日
- 採択数：5 件

採択事業一覧

【平成 27 年度採択テーマ】

- ① セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発

【実施者】地球環境産業技術研究機構

【連携機関】(米) 国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)、(仏) 国立科学研究センター (CNRS)

- ② 高炭素収率を特徴とするセルロース系バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造

【実施者】地球環境産業技術研究機構

【連携機関】(米) 国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)、(米) パシフィック・ノースウェスト国立研究所 (PNNL)

- ③ 過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発

【実施者】産業技術総合研究所、宇宙航空研究開発機構

【連携機関】(米) ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL)、(米) 国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)、(米) SLAC 国立加速器研究所 (SLAC)、(米) アメリカ航空宇宙局 (NASA)、(独) ドイツ航空宇宙センター (DLR)、(欧州委員会) 共同研究センター (JRC)、(欧州) 欧州宇宙機関 (ESA)、(蘭) ユトレヒト大学

- ④ CO₂ を利用した水素製造・貯蔵技術 -二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステム-

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) ブルックヘブン国立研究所 (BNL)、(米) パシフィック・ノースウェスト国立研究所 (PNNL)、(スイス) スイス連邦工科大学ローザンヌ校

⑤ 系統協調型の分散電源大量導入技術の開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) サンディア国立研究所 (SNL)

⑥ 太陽光による有用化学品製造

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) ブルックヘブン国立研究所 (BNL)

⑦ 単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(独) Fraunhofer 研究機構、(瑞西) スイス連邦材料試験研究所 (EMPA)、(米) 国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)、ベルリン・ヘルムホルツ資源エネルギーセンター (HZB)、バーデン・ヴュルテンベルク州太陽エネルギー水素研究センター (ZSW)

⑧ 超臨界地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL)、(米) サンディア国立研究所 (SNL)、(米) 米国地質調査所 (USGS)、ドイツ地球科学研究センター (GFZ)、イタリア海洋学・実験地球物理学研究所 (OGS)、(米) ペンシルバニア州立大学

⑨ EGS 設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL)、(米) サンディア国立研究所 (SNL)、(米) ローレンスリバモア国立研究所 (LLNL)、(米) 米国地質調査所 (USGS)、(独) ドイツ地球科学研究センター (GFZ)、(伊) イタリア海洋学・実験地球物理学研究所 (OGS)、(米) ペンシルバニア州立大学

⑩ 低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) アルゴンヌ国立研究所 (ANL)、(米) ブルックヘブン国立研究所 (BNL)、(仏) クリスマット研究所、(独) ドイツ航空宇宙センター (DLR)

【平成28年度採択テーマ】

⑪ CO₂ フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) パシフィック・ノースウェスト国立研究所 (PNNL)、(米) ミズーリ大学セントルイス校、(仏) ボルドー大学、(蘭) デルフト工科大学

⑫ 革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発

【実施者】東京大学

【連携機関】(仏) フランス国立科学研究所 (CNRS)・太陽光エネルギー研究所・分子構造学研究ユニット、(仏) ボルドー大学

【平成29年度採択テーマ】

⑬ 様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新的高汎用性バイオプロセスの開発

【実施者】地球環境産業技術研究機構

【連携機関】(米) 国立再生可能エネルギー研究所 (NREL)、(米) パシフィック・ノースウェスト国立研究所 (PNNL)

⑭ 第3世代パワー半導体 β -Ga₂O₃ の高品質化・高性能化技術

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(独) フラウンホーファー研究機構

⑮ 3D ライダーと AI による風況フルスキャン手法の開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(蘭) オランダエネルギー研究センター (ECN)、(独) 風力エネルギー研究センター (ForWind)

⑯ 光反応による低消費電力型製造プロセスとグリーンデバイスの開発

【実施者】産業技術総合研究所

【連携機関】(米) アルゴンヌ国立研究所 (ANL)、(米) テューレーン大、(豪) オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO)

⑰ 高効率な水蒸気電解セルの開発と可逆動作可能な固体電解質燃料電池への展開

【実施者】九州大学

【連携機関】(独) ユーリッヒ国立研究所 (FZJ)

(4) 進捗管理・資金配分

本事業では、毎年ステージゲートを設け、①事業者選定委員会又は前年のステージゲートでの指摘事項に対する対応、②当該年度における実施内容(事業進捗・事業成果)、③翌年度の実施計画(実施内容、実施体制、実施スケジュール、支出計画書)について各事業者がプレゼンテーションを行

い、外部有識者３名による評価結果をもとに、各事業毎に、実施継続の是非、予算配分の変更や実施計画の見直しの必要性を評価。同評価に基づいて、全体の予算配分額を決定している。

なお、事業の進捗管理として、テーマごとに毎年達成すべき目標数値を設定し、ステージゲートでの成果報告により進捗状況を確認している。また、実施機関を訪問し研究内容の確認や意見交換を行うことで、研究状況や本事業で購入された設備の管理・使用状況を確認している。また、期中の事業計画の変更や予算使途の確認、知財の取扱いや標準化の取り組み等の事業実施に係る海外機関との調整を行うため、随時相談と助言が迅速に行われるように各機関の取り纏め担当者と緊密に連絡を取っており、相談内容の検討結果は全体の運営改善に反映し、適宜事業内での共有を行っている。

3. 事業アウトプット

本事業は「エネルギー・環境イノベーション戦略」で特定された、CO2 削減ポテンシャルのインパクトが大きい有望な革新技术を対象として、国際的な共同研究によって開発スピードの加速化を図ることを目的としている。本事業により研究開発の成果である特許や論文の数が増加すると考えられることから、事業全体のアウトプットとして特許・論文の積算数を設定した。2 年目までは平均で 1 テーマ 1 件/年を目標とし、3 年目以降は連携国の拡大等、国際共同研究による研究開発の加速効果の発現による研究成果の増加を見込み、平均で 1 テーマ 2 件/年を目標とした。

事業アウトプット指標		
論文（査読有）と特許の積算値		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（平成 27 年度）	計画：10	実績：5
中間評価時（平成 28 年度）	計画：22	実績：26
事業終了時（令和 2 年度）	計画：124	実績：231

< 共通指標 >

【H27～R2 の成果】

論文数（査読有）	論文の 被引用回数	特許等件数 （出願を含む）	国際標準への寄与
167	4243	64	2

< その他の指標 >

論文（査読有）の 内の二国間共著数 （率）	論文・総説等 （査読無）	論文・総説等（査 読無）の内の二国 間共著率	学会等での発表 （口頭）	打合せ等交流回数
28.1%	69	26.1%	585	246

（以上の数値は、すべて事業者アンケートより集計）

個別採択案件毎の目標達成状況概要

番号	テーマ名	達成状況
1	セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発	達成
2	高炭素収率を特徴とするセルロース系バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造に関する研究開発	達成
3	過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	達成
4	CO ₂ を利用した水素製造・貯蔵技術 -二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステム-	達成
5	系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	達成
6	太陽光による有用化学品製造	達成
7	単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発 手がけた2種の太陽電池のうち1種の変換効率の目標25%に対し、10%を21.3%まで向上。もう1種については目標達成。	一部達成
8	超臨界地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発 利用予定だった海外設備(坑井)の整備が遅れて実証試験が期間内に実施できず、代替の国内設備にて実施。模擬試験装置の開発目標は達成。	一部達成
9	EGS 設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大 利用予定だった海外設備(坑井)の整備が遅れて実証試験が期間内に実施できず、今後実施予定。模擬試験装置の開発、およびシミュレーション技術の開発目標は達成。	一部達成
10	低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発	達成
11	CO ₂ フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発 材料開発の目標は概ね達成したが、長期耐久試験を期間内に完了できず。開発継続中。	一部達成
12	革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発 目標の変換効率30%に対し、29%まで達成。	一部達成
13	様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新的高汎用性バイオプロセスの開発 目標3つのうち2つを達成、1つは生産速度が酵素活性の見込み違いで目標未達。開発継続中。	一部達成
14	第3世代パワー半導体 β -Ga ₂ O ₃ の高品質化・高性能化技術 当初目標2つのうち1つを達成、もう一つは海外共同研究先の装置作製遅れで期間内に実施できず、計画から削除。その後当該装置が到着し、当該研究を実施中。	達成 (計画変更有)
15	3DライダーとAIによる風況フルスキャン手法の開発	達成
16	光反応による低消費電力型製造プロセスとグリーンデバイスの開発	達成
17	高効率な水蒸気電解セルの開発と可逆動作可能な固体電解質燃料電池への展開 開発した2つの技術のそれぞれについて、長期耐久性以外の性能目標はほぼ達成。長期耐久性の検証、および小型化については未達。開発を継続中。	一部達成

(事業者アンケートより。個別の目標および達成状況の詳細については、補足資料を参照)

4. 事業アウトカム

【短期アウトカム目標】

本事業では G7 等の先進国と連携し、お互いの強みを活かした研究開発を実施することで、研究機関間の連携を強化し、クリーンエネルギー技術等の研究開発スピードを加速する。研究機関間の連携強化の指標・目標値として、本事業における査読論文の二国間共著率を欧米並みの 27%以上とした。また、研究開発スピードの加速の指標・目標値として、終了時において平均 5 年程度の開発年数の短縮とした。実績としては、査読論文の二国間共著率は 28.1%となり、研究開発のスピードは平均 5.1 年の短縮との結果が得られた。(補足資料に各テーマの短縮年数を記載)

事業アウトカム指標【短期】	
研究開発期間の短縮年数	
指標目標値	
終了時評価時（令和 3 年度）	計画：5 年 実績：5.1 年（事業者アンケートの平均による）

（事例）

テーマ② 高炭素収率を特徴とするセルロース系バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造に関する研究開発）より

相手国機関（NREL）が独自に有する、世界で最も低コストな糖化プロセス（セルロース系バイオマス糖化液調製技術）を、日本側機関（RITE）のバイオマスプロセスへの適用し、低コスト化を実現。これを日本側機関が単独に再現するにはさらに 5 年以上を要すると考えられる。

【中長期アウトカム目標】

本事業は G7 等の先進国と連携することで、クリーンエネルギー技術等の研究開発スピードを加速し、開発された基礎技術によって、2050 年頃の CO2 削減に貢献する革新的なエネルギー技術（TRL4-5）を 16 件創出する。本業の後に民間企業との共同研究につなげ、2030 年頃に実用化レベル（TRL6-9）に達することを想定。

本事業では既に 17 件の個別テーマを採択しており、各テーマの技術が実用化されれば目標を満たすと見込まれた。

2050 年頃の CO2 削減に貢献する革新的なエネルギー技術を 16 件創出することとした。実績としては事業終了時点で、各テーマにおいて、少なくとも 1 件以上の革新的なエネルギー技術を創出し、既に 33 件となっている。

事業アウトカム指標【中長期】		
革新的なエネルギー技術の創出件数		
指標目標値		
2030 年度	計画：16 件	実績：33 件（事業終了時）

（事業者アンケートより）

創出された技術は下表に示す。

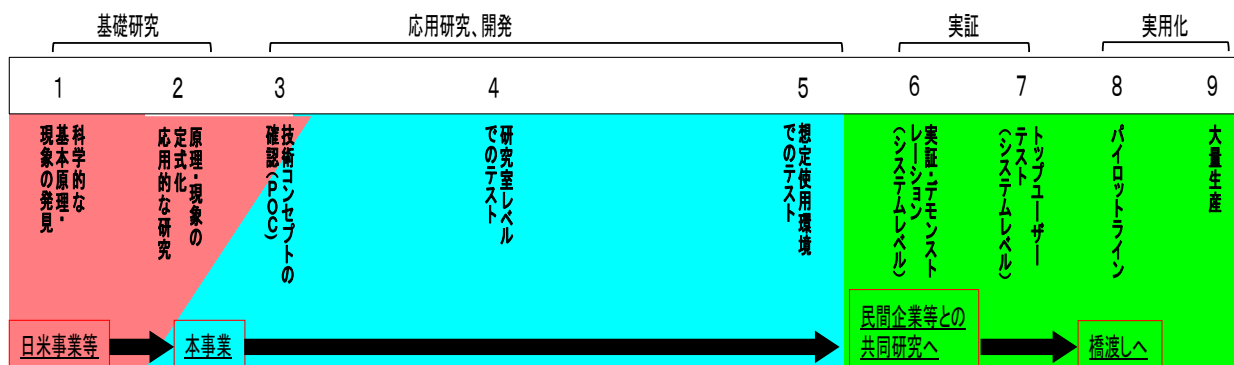
テーマ	件数	技術
① セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発	2	・新規高効率水素生成酵素の導入による暗発酵水素高生産株技術 ・新規代謝制御システムの改変による酢酸からの光発酵水素高生産株創製技術
② 高炭素収率を特徴とするセルロース系バイオマスからのバイオ燃料ブタノールの製造に関する研究開発	3	・イソブタノールの高生産株創製技術 ・イソブタノールの高生産反応技術 ・イソブタノールの省エネ型膜濃縮技術
③ 過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	3	・放射光軟 X 線分光による電極材料の精密電子状態解析 ・10℃環境下におけるリチウムイオン電池のサイクル特性の改善 ・放電曲線やインピーダンス解析から Li 析出現象の見極め
④ CO ₂ を利用した水素製造・貯蔵技術	2	・ギ酸から高圧水素を供給する技術 ・CO ₂ からメタノール合成
⑤ 系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	1	・分散型電源用のスマートインバータの試験方法の確立
⑥ 太陽光による有用化学品製造	1	・酸化的な有用化学品製造
⑦ 単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発	2	・高効率 CIGS 太陽電池の実現 ・Ⅲ-V 系・CIGS 太陽電池の実現
⑧ 超臨界地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発	2	・超高温の地熱井内で使用可能な光ファイバセンシングシステム ・高温・高圧・高腐食性の超臨界地熱井内で使用可能な小型圧力容器
⑨ ESG 設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大	1	・地下の状態を高度に模擬可能なシミュレータ

⑩ 低毒性・超高効率熱変換デバイスの開発	2	・効率 14%を超える超高効率熱電変換デバイスの開発指針を確立 ・13000 時間の発電実証で大きな劣化が見られない高耐久性熱電変換デバイス
⑪ CO2 フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発	2	・Mg 系非混合性クラスター材料では材料の混合のエンタルピーを指標とすることで、簡便にナノスケールの組織を有する材料の合成技術を確立。これに伴い、水素放出温度を 100℃以上低温下する合金開発に成功 ・燃料電池の電極開発で、従来の貴金属単体から水素含有量が高い Mg 系材料との積層電極とすることで、貴金属使用量を半分にしても電極抵抗を 1/10 に低減することに成功
⑫ 革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発	2	・Ⅲ-V 化合物太陽電池に組み込んだ量子構造による中間バンド動作で世界最高効率を実現 ・Ⅲ-V 化合物太陽電池と低温溶液プロセスで作製可能な太陽電池とのタンデム構造で、電流整合を達成し、変換効率として 30%以上が可能であることを実証
⑬ 様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新型高汎用性バイオプロセスの開発	2	・アルデヒドの低毒性型誘導体の生産技術 ・ジェット燃料前駆動体の生産技術
⑭ 第3世代パワー半導体 β -Ga203 の高品質化・高性能化技術	2	・従来のパワー半導体よりもエネルギー損失を抑制できる高品質 Ga203 結晶の育成に成功 ・レーザ加熱結晶育成法は局所加熱であるため、結晶製造時に必要とされるエネルギーを抑制
⑮ 3D ライダーと AI による風況フルスキャン手法の開発	1	・海上風の遠隔風計測の技術
⑯ 光反応による低消費電力型製造プロセスとグリーンデバイスの開発	3	・従来プロセスでは作製できないフレキシブルサーミスタを低消費電力で実現 ・従来プロセスでは作製できないフレキシブル抵抗体 ・光反応による結晶成長と同時に格子間に高濃度酸素空孔を生成することで、従来困難であった、フレキシブル透明導電膜の低抵抗化と同時に仕事関数の制御法を開発
⑰ 高効率な水蒸気電解セルの開発と可逆動作可能な固体電解質燃料電池への展開	2	・酸素イオン伝導体の薄膜を電解質とした中温水蒸気電解セルによる全固体金属-空気電池 ・プロトン伝導性酸化物薄膜を電解質とするセルによる低温水蒸気電解による水素製造

(事業者アンケートより)

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

本事業は図 5-1 で示すとおり、基礎研究以降の応用研究・開発を実施するとともに、事業終了後には、民間企業等との共同研究に移行し、実証研究・実用化につなげることを目指すものである。



事業において予定していたロードマップの概要（個別技術の研究開発）、及び、本事業終了後の次段階への開発への移行の状況について、以下にとりまとめた。（補足資料にロードマップ詳細を記載）

結果として、17件中、10件が民間企業との共同研究に移行しており、うち6件は、実証フェーズに至っている。速やかな移行に至った理由として、本事業実施中から企業との連携を行っていたことや、事業の成果の広報等を通じて企業の関心を得たことなどがあつた。残り7件は、民間企業との共同研究への移行にはもう少し時間がかかるとしている。その理由として、応用研究の中でも比較的研究開発段階が低いものについて、更なる開発が必要なためというものが多い。ただし、企業との共同研究に向けて、少なくとも何らかの端緒や見通しが得られている事業がほとんどであった。

今後、各事業において、民間企業との共同研究への移行が行われ、研究開発成果について実証から実用化につなげられるよう、引き続き、フォローアップが必要である。

テーマ	ロードマップ概要 (個別要素技術の研究開発)	民間企業との共同研究への移行状況
① セルロース系バイオマスからの高効率バイオ水素生産プロセスの研究開発	2015年度からの5年間で、1) 暗発酵水素生産における水素収率の向上、2) 暗発酵と光発酵の統合型水素生産における水素収率の向上、3) 実糖化液を用いた水素生成試験、を実施。	移行にはもう少し時間が必要。 実用化の目安とされる水素収率を達成するには、既知の暗発酵水素経路における水素収率の制約を打破する必要がある。そのためには、本事業の成果を基盤として、さらに革新的な代謝改変技術の開発に取り組む必要がある。
② 高炭素収率を特徴とするセルロース系バイオマスから	2015年度からの5年間で、1) 高速分子進化法によるブタノール体制株の創製、2) 革新的	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。 実施機関発のベンチャー企業が、実施機関が開発した技術を利用し古着から製造

のバイオ燃料ブタノールの製造に関する研究開発	高効率ブタノール生産菌の開発、3) 省エネルギーブタノール回収技術の開発、を実施。2016 年度からの 4 年間で、4) セルロース系バイオマス由来糖化液からのブタノール生産技術の開発を実施。	した日本初の純国産バイオジェット燃料を搭載した商用フライトを実施。
③ 過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	2015 年度からの 5 年間で、1) 低温環境下での詳細な電気化学特性評価、2) 先端的放射光測定技術と理論解析による劣化メカニズムの検討、3) 材料合成技術及び界面制御技術を用いての電極材料開発、4) 高性能低温動作電池の開発、を実施	移行にはもう少し時間が必要。民間企業（複数）と連携研究や共同での国プロを検討中。
④ CO ₂ を利用した水素製造・貯蔵技術	2015 年度からの 5 年間で、1) 高性能・高耐久性固定化触媒開発、2) 高性能・高耐久性固体触媒開発、3) 高圧プロセス技術の構築、4) 水素貯蔵システムの実証化に向けた技術開発、を実施	移行にはもう少し時間が必要。実証化には様々な周辺技術を必要とするため、時間が必要。一方で、数多くの企業から問い合わせがあり、試料提供、技術コンサルティング等につながった。
⑤ 系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	2015 年度からの 2 年半で、1) PCS 制御プロトコルの開発を実施、5 年間で、2) スマートインバーターの評価試験法の開発、国内 PCS メーカーの技術移転、を実施。	事業終了後に移行。当初より、研究成果を産業界に技術移転すべく、福島再生可能エネルギー研究所でのスマートシステム研究棟の設立や、国内外の認証機関との連携を進めてきたため、速やかに海外認証への対応が図れた。
⑥ 太陽光による有用化学品製造	2015 年度からの 5 年間で、1) 光アノード電極の高性能化、2) カソード電極の高性能化、を実施。2015 年度からの 4 年半で、3) 反応メカニズムの解析を実施、2018 年度からの 2 年間で、4) 組み合わせ全体システム構築、を実施。	事業実施後に移行。本事業の成果を学会活動等で知った企業からコンタクトがあり、共同研究へと進展した。

⑦ 単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発	2015 年度からの 2 年間で、1) 化合物単結晶薄膜成膜技術の開発、2016 年度後半からの 1 年半で、2) 理論限界変換効率の実証、2017 年度後半から 2 年半で、3) スマートスタック太陽電池の開発、2018 年度後半から 1 年半で、4) スマートスタック太陽電池の信頼性の実証、を実施。	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。本事業で得られた成果を国内特許として出願した。その後、日本企業と相談し、国際特許出願を行った。今後、さらなる低コスト化の開発を、同企業と共同で実施予定。
⑧ 超臨界地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発	2015 年度からの 2 年半で、1) 超臨界坑内模擬装置の開発、3 年間で、2) シール材の開発、4 年間で、3) シール機構、ケース、可能機構、電子/光回線、センサの開発、2018 年度からの 2 年間で、4) 実証実験、を実施。	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。本事業において光ファイバセンサ開発を担当した企業がビジネス化を目指している。
⑨ ESG 設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大	2015 年度からの 3 年間で、1) 貯留層内現象理解の深化、2) シミュレータの開発、2016 年度後半から 3 年間で、3) FORGE サイトのシュッミレーション、2017 年度後半から 2 年半で、4) 国内実証試験、を実施。	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。本事業においてコーディング等を担当した企業がビジネス化を行っている。
⑩ 低毒性・超高効率熱変換デバイスの開発	2015 年度からの 3 年間で、1) 低毒性・超高効率熱電変換材料の開発、2015 年度後半からの 4 年間で、2) 熱電変換デバイスの開発、2018 年度からの 2 年間で、3) デバイスの実証実験、を実施	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。一部のテーマについて、事業終了後に企業との共同研究に移行した。プレス発表などの情報を積極的に発信したことで、開発した技術に興味がある企業が速やかに見つかった。一方で、本事業の多くのテーマは、ラボレベルでの基礎的な実証にとどまっている。
⑪ CO ₂ フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発	2016 年度からの 4 年間で、1) 新規水素吸蔵合金の開発、2016 年度後半からの 3 年半で、2) 中温燃料電池用高性能電極の開発、を実施	移行にはもう少し時間が必要。本事業ではラボレベルの生産プロセスでの材料単体の開発及び特性向上を実施してきた。企業との共同研究に移行するためには、大規模化プロセスの検討とシステム化した時の特性評価が必要であり、

		企業との共同研究の前に実証規模に なぐ研究開発事業が必要。
⑫ 革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発	2016 年度からの 4 年間で、1) 高性能量子構造太陽電池の開発、2) 高性能ペロブスカイト太陽電池の開発、3) 多接合セル評価技術開発、2017 年度からの 3 年間で、4) 多接合太陽電池の構築、を実施	移行にはもう少し時間が必要。 革新的多接合太陽電池の要素技術開発には、挑戦的な研究課題を含んでおり、まずは、大学と研究機関のみで研究開発に取り組んでいるため。しかしながら、太陽電池の素材開発、製造技術開発、さらには周辺機器類の研究開発には、産業界の力が必要なため、これまでに築いてきた協力関係も必要に応じて活用し、実用化・実証フェーズにスムーズに移行できるように努めている。
⑬ 様々な有用化学品の低コスト・低炭素型生産を可能にする革新型高汎用性バイオプロセスの開発	2017 年度からの 3 年間で、1) 硫酸抱合性高生産株の開発、2) 低炭素型変換回収技術の開発、3) 高汎用性バイオプロセスの開発、を実施。	移行にはもう少し時間が必要。 本事業は先例のない新規技術の基盤研究開発であり、生産量もまだ低い。企業との共同研究に進むにはさらに改良し、本技術の有効性を強くアピールできるようにする必要がある。
⑭ 第 3 世代パワー半導体 β -Ga203 の高品質化・高性能化技術	2017 年度からの 3 年間で、1) 結晶育成装置の開発、2) 高品質大型結晶の作製、3) 材料評価、を実施。	移行にはもう少し時間が必要。 事業の遅れにより移行にはもう少し時間が必要となった。今後それほど時間をかけずに、レーザ加熱結晶育成炉及び β -Ga203 の 2 インチ結晶のいずれも実用化に近い状況に到達することが予想される。既存技術の EFG 法に対し、高品質化・低コスト化により十分対抗可能となることを予想している。また、結晶育成炉についての相談を企業から受けており、移行のシーズとなると考えている。
⑮ 3D ライダーと AI による風況フルスキャニング手法の開発	2017 年度からの 1 年半で、1) 単一ライダーによる観測技術の開発、2018 年度からの 1 年半で、2) 複数ライダーによる観測技術の開発、2019 年度から 1 年間で、3) 大型野外実証試験、を実施。	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。 事業終了を待たずに、洋上風力開発に関連して、スキャニングライダー風計測技術を利用した民間共同研究に移行している。また、追加実証に関する NEDO プロジェクトもスタートした。
⑯ 光反応による低消	2017 年度からの 3 年間で、1)	事業終了後に移行。

費電力型製造プロセスとグリーンデバイスの開発	フレキシブルセラミックスの開発、2)有機EL・高輝度蓄光膜の開発、2018年度からの2年間で、3)熱反射防止膜の開発、を実施。	成果を展示会で紹介することで、企業からの問い合わせがあり、企業連携につながっている。
⑪ 高効率な水蒸気電解セルの開発と可逆動作可能な固体電解質燃料電池への展開	2017年度からの3年間で、1)酸化物中温電解セルの開発、2)プロトン伝導性電解質低温電解セル開発、3)可逆動作セル開発とFe空気電池への応用、を実施。	事業終了後に移行。 現在、水素を蓄エネ媒体に用いる小型セルシステムの開発を日本企業とともに開発中。

(事業者アンケートより)

本事業は、応用研究・開発を実施し、その成果を実証・実用化段階につなげることを目指すものであり、本事業の成果が実用化され、最終的に国際市場展開に至るまでには、引き続きフォローアップが必要である。他方、本事業の成果をもとに国際標準化を検討するなど、国際市場展開に向けた足がかりを形成している案件もある。

<海外市場展開に向けて足がかりを形成している案件の事例>

テーマ	内容
③ 過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	欧州委員会共同研究センター(JRC)と共に、評価法や安全性評価の国際標準化を検討。
⑩ 低毒性・高効率熱電変換デバイスの開発	本プロジェクトで、国際標準化の基礎となる標準デバイスの候補を開発。
⑤ 系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	米欧の機関と開発した機器制御手法が、国際標準の基礎になった。
⑮ 3DライダーとAIによる風況フルスキャン手法の開発	欧州の屋外試験設備で性能を実証。実環境での民間共同研究に移行。国際標準化を想定。

(事業者アンケートより)

6. 費用対効果

事業アウトプットは論文・特許の積算数を設定している。最終年度の実績値は目標値124件に対して231件(他に国際標準2件)、投入した国費総額は28.4億円であり、1億円あたりの成果数は8.1件/億円となった。

参考値として科学技術・学術政策研究所（NISTEP）が公表している「科学技術指標 2020」より日本の研究開発費総額と成果数（論文数＋国内外特許出願数）から、1 億円あたりの成果数を算出したところ、2.8 件/億円であった。

7. 知財や研究開発データの取扱い

（１） 知財等の取扱い

海外研究機関との知財等の取り扱いについては、各機関において共同研究契約等を結び、個別に規定することを基本としている（本事業を通じて締結した共同研究契約 8 件、MOU 26 件、その他 10 件）。また、共同研究契約が未締結の場合は知財の発生しない範囲で協力を行うこととした。

知財等取扱い例：

（共同契約研究のケース）

- ・ 共同研究契約を締結し、貢献度による割合で持ち分を決定。

（MOU のケース）

- ・ 締結した MOU において、貢献度による割合で知財の持ち分を決定する旨規定。

（書簡のケース）

- ・ 共同研究に関する書簡を交換し、知財はそれぞれ個別に管理することとした。
- ・ 共同研究に関する書簡を交換し、知財の発生しない範囲で共同研究を進め、知財が生じる場合は別途取り決めることとした。

（その他）

- ・ 当初より、知財の発生しない範囲で協力。

（２） 具体的な知財の取決め例

テーマ⑯ 光反応による低消費電力型製造プロセスとグリーンデバイスの開発

本事業の実施にあたり、連携先海外機関の一つであるオーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）との間で共同研究契約を締結。事業開始当初、知財が発生するかは不明確であったが、発生する可能性があったことから、実施者の方針として特許に関する条項を含めることで先方機関との間で合意した。結果として、本事業を通じて知財が発生したことから、契約に基づき、双方のアイデアと開発技術への貢献に鑑み（実施事業者は光反応合成技術、CSIRO 側は発光デバイス技術の面で貢献）、持分を決定し、その後、日本において、次世代 QLED 用の高耐久性発光材料とデバイスに関する特許を出願した（2 件）。

8. 海外機関との連携で入手した技術

本事業を通じ、海外機関との連携により入手した技術の類型別整理を図8-1に示す。

テーマ	日本側	海外CP	得られた技術	分類
1 バイオ水素	RITE	NREL CNRS	バイオマス糖化技術 水素生成酵素の分子構造の研究	知見 知見
2 ブタノール	RITE	NREL PNNL	バイオマス前処理・糖化技術 触媒・温度条件に関する知見	知見 材料
3 LIB	AIST JAXA	LBNL SLAC NREL NASA DLR JRC ESA ユトレヒト大	オペランド軟X線分光技術 準大気圧工学分光技術 原子層堆積技術 安全性評価装置 熱力学シミュレーションによるLIBデータ分析 安全性試験法や運用 安全性評価用のチャンバ利用 放射光スペクトル計算技術	施設・装置、評価技術 施設・装置、評価技術 知見 評価技術 施設・装置 知見 知見 ソフトウェア
4 水素キャリア	AIST	BNL PNNL スイス連邦工科大	錯体触媒による分光分析及び計算機化学 超高分解能NMR技術 高圧条件の反応過程を観察するNMR技術	評価技術 施設・装置、評価技術 評価技術
5 スマグリ	AIST	SNL	電力機器の自動試験技術	施設・装置
6 有用化学品	AIST	BNL	化学品合成用の触媒技術	試料、知見
7 単結晶CIGS	AIST	NREL フラウンホーファー EMPA HZB ZSW	化合物半導体材料の解析技術 多接合太陽電池の製造技術 アルカリ金属の添加技術 半導体材料の光学的特性の評価 大面積成膜技術	施設・装置、評価技術 試料、知見 知見 施設・装置、評価技術 知見
8 超臨界	AIST	DOE SNL LBNL USGS IDDP GFZ OGS	高温井戸用電子機器、シール材の情報 高温井戸の掘削・計測装置の技術情報 高温井戸内計測機器の技術情報 高温井戸内超音波可視化技術 500℃の地熱開発プロジェクトの知見 高温用光ファイバ分布型センサの情報 高温井戸内計測機器の技術情報	知見 知見 知見 知見 知見 知見 知見
9 EGS	AIST	USGS LBNL LLNL SNL GFZ PSU OGS	高温環境下での岩石破壊試験技術 高温地熱流体シミュレーション技術 高温環境下での岩石破壊試験技術 高温地熱流体シミュレーション技術 高温地熱システムシミュレーション技術 岩石透水性評価共同試験 高温地熱掘削プロジェクトの知見	知見 知見 知見 知見 ソフトウェア 施設・装置、評価技術 知見
10 熱電変換	AIST	ANL BNL CRISMAT DLR	熱電材料の熱輸送特性の制御技術 熱電変換デバイスの大量生産技術 熱電変換材料の微細構造の観察技術 熱電変換デバイスの性能評価	知見 知見 施設・装置、評価技術 施設・装置、評価技術
11 水素吸蔵合金	AIST	PNNL ミズーリ大 ボルドー大 デルフト工科大	材料中の水素の占有状況のNMR測定 第一原理計算と結晶構造モデルの構築 超臨界流体技術による触媒添加 水素吸蔵合金薄膜の創製技術	施設・装置、評価技術 知見 知見 知見
12 革新太陽電池	東京大学	CNRS ボルドー大	太陽電池特性の面内分布測定技術 ホール輸送材料の有機合成・評価技術	施設・装置、評価技術 施設・装置、評価技術
13 バイオ汎用プロセス	RITE	NREL PNNL	セルロース系バイオマス糖化液 クルードな原料の化学プロセス技術	原料、知見 知見
14 パワエレ	AIST	フラウンホーファー	高出力レーザ集光技術	製造装置、知見
15 3Dライダー	AIST	ECN ForWind	風力用屋外大規模実証試験設備 スキャニングライダー装置の運用技術	施設・装置、評価技術 知見
16 光反応	AIST	ANL CSIRO チューレーン大学	パワエレ用のキャパシタ技術 フレキシブル透明導電膜部材製造技術 光反応を用いた電子材料合成技術	知見 知見 知見
17 水蒸気電解	九州大学	ユーリッヒ国立研究所	電解質薄膜の湿式作製技術	知見

図8-1 海外機関との連携で入手した技術の類型

(事業者アンケートより)

9. 得られた成果の発信

本事業で得られた研究開発成果を発信することで、その後の社会実装につなぐ企業への橋渡しや、国民への説明責任を果たす観点から、各テーマにおいてプレス発表、ホームページでの広報、学界発表等を行った（事業者アンケートより）。

【地球環境産業技術研究機構】

- ビジネスフォーラム（BioJapan）におけるポスター展示及び講演
- 革新的環境技術シンポジウムにおけるポスター展示および講演
- RITE 校友会における講演
- 研究年報（RITE Today）における研究紹介
- 一般見学者に対する研究活動の説明（毎年数件）

【産業技術総合研究所・宇宙航空研究開発機構】

- テクノブリッジフェア 2017（産総研）、再生可能エネルギー世界展示会（2016 年度）、高性能セラミックス展（2017 年度）、エネルギーイノベーション総合展（2018 年度）などでのブース展示
- クリーンエネルギー担当大臣会合 CEM7（San Francisco, USA, 2016）でのブース展示
- 一般公開でのブース展示
- 神奈川工科大学（2 名）、電気通信大学（20 名程度）からの学生見学
- オランダ大使館主催の再生可能エネルギーに関するセミナーにおいて、両国間の再生可能エネルギーに関する具体的な連携の成功事例として、ECN 側の COO（Aart van der Pal 氏）とともに当該共同研究プロジェクトを一部の産業界に紹介
- JAXA 宇宙科学研究所 特別公開（毎年、小中学校の夏休み期間に開催、ブース展示）
- 本事業に関するプレスリリースを実施し、日刊工業新聞、電気新聞、日刊産業新聞などに掲載
- 装置メーカーを対象とする講演会に対応

【東京大学】

- 東京大学先端科学技術研究センターオープンキャンパスにて、本事業に関わる内容を紹介
- フランスで 2016 年 12 月に実施したワークショップでは、本事業の枠組み以外の研究者も参加するなか、革新型太陽電池の国際共同研究が始まったことを紹介
- フランス側からの東京大学への訪問見学において、積極的に本事業をアピール
 - ① フランスの高等教育・研究・イノベーション大臣フレデリック・ヴィダル氏の訪問時に、本事業を紹介
 - ② 仏科学技術高等研究所の研究者一行が訪問時に、副学長より本事業を紹介

【九州大学】

- コンセプト機器を水素-燃料電池展示会にて特殊技研金属と共同で出展

10. 本事業に関わった事から得られた経験・知見、留意点

事業者へのアンケートを通じ、本事業を通じて得られた点、留意点を以下にまとめた。

（１）良かった点

- 海外独自の技術を学び、国内での実験に導入でき、国内チームで実施できない多くの実験、研究を効率的に行うことができた。
- 互いの長所を組み合わせることで単独ではできなかった研究開発を短時間で達成できる見通しがたった。
- 相手側独自の試験場で試験を実施できる見通しが立った。
- 海外機関との共同研究契約の締結など、事務的なスキームでも前進が見られた。
- 大使館の協力を得ることで、連携に関する詳細な打ち合わせ・調整が効率的に実施できた。

（２）留意すべき点

- 研究試料の送付には、輸出許可が必要な場合もあった。
- 技術流出を防ぐための注意が必要。
- 相手側の予算を相手側に確保してもらわなければならない点。
- 必ずしも相手側の予算等の期間と合致しないため、研究スケジュールの調整に負荷が生じることがあった。