

革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業
終了時評価
技術評価報告書

(案)

20**年*月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成29年5月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施した「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」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して2015年度から2020年度まで実施したものである。

今般、省外の有識者からなる「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」終了時評価検討会（座長：角南 篤 政策研究大学院大学 客員教授）における検討の結果とりまとめられた、「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業 技術評価報告書（終了時評価）」の原案について、産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（座長：鈴木 潤 政策研究大学院大学教授）において審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

20**年*月

産業構造審議会 産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

産業構造審議会 産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会
評価ワーキンググループ 委員名簿

座長	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	秋澤 淳	東京農工大学大学院 生物システム応用科学府長・教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所研究理事
	斉藤 栄子	With 未来考研究所代表
	高橋 真木子	金沢工業大学大学院 イノベーションマネジメント研究科教授
	竹山 春子	早稲田大学先進理工学部生命医科学科教授
	西尾 好司	文教大学情報学部情報社会学科准教授
	浜田 恵美子	日本ガイシ株式会社取締役

(敬称略、座長除き五十音順)

革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業
終了時評価検討会 委員名簿

座長 角南 篤 政策研究大学院大学 客員教授

池谷 知彦 電力中央研究所 材料科学研究所 特任役員

井上 剛良 東京工業大学 工学院 教授

府川 伊三郎 旭リサーチセンター シニアリサーチャー

松本 真由美 東京大学 客員准教授

(敬称略、座長除き五十音順)

革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業 技術評価に係る省内関係者

【終了時評価時】

(2021 年度 第 1 回評価検討会迄)

産業技術環境局 総務課 国際室長 上原 英司 (事業担当室長)

(2021 年度 第 2 回評価検討会以降)

産業技術環境局 総務課 国際室長 小山 雅臣 (事業担当室長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 金地 隆志

【中間評価時】

(2017 年度)

産業技術環境局 国際室長 伊藤 隆庸 (事業担当室長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

【事前評価時】(事業初年度予算要求時)

(2014 年度)

産業技術環境局 産業技術政策課 国際室長 武藤 寿彦 (事業担当室長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 福田 敦史

革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業

終了時評価の審議経過

【終了時評価】

- ◆産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（20**年*月*日）

- ・技術評価報告書（終了時評価）について

- ◆「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」評価検討会

- 第1回評価検討会（2021年6月24日）

- ・評価の進め方について
- ・事業の概要について

- 第2回評価検討会（2021年9月*日）

- ・技術評価報告書（終了時評価）について

【中間評価】

- ◆産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（2018年3月13日）

- ・技術評価報告書（中間評価）について

- ◆「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」評価検討会

- 第1回評価検討会（2017年12月8日）

- ・評価の進め方について
- ・事業の概要について

- 第2回評価検討会（2018年2月9日）

- ・技術評価報告書（中間評価）について

【事前評価】

- ◆産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ（2014年8月19日）

- ・技術評価書（事前評価）について

目次

第1章 事業の概要

1. 当省（国）が実施することの必要性	4
2. 制度の実施・マネジメント体制等	4
3. 事業アウトプット	12
4. 事業アウトカム	14
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	19
6. 費用対効果	25
7. 知財や研究開発データの取扱い	25
8. 海外機関との連携で入手した技術	26
9. 得られた成果の発信	27
10. 本事業に関わった事から得られた経験・知見、留意点等	28

第2章 評価

1. 当省（国）が実施することの必要性	30
2. 制度内容及び事業アウトプットの妥当性	32
3. 制度の実施・マネジメント体制等の妥当性	34
4. 事業アウトカムの妥当性	36
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	38
6. 費用対効果の妥当性	40
7. 総合評価	41
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	43

第3章 評点法による評点結果

47

第4章 評価ワーキンググループの所見

49

第1章 事業の概要

(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

研究開発事業を当省(国)が実施するにあたり、以下の①から⑤のいずれかを満たすものであるかどうかの評価基準となる。

①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。

②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。

③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの(知的基盤)の形成に資する研究開発の場合。

④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。

⑤その他、科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

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(①)。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(②)。

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(③)。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、国際標準や知財の取扱い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

戦略的に2050年頃までの実用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ことを目的に、「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。



（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。

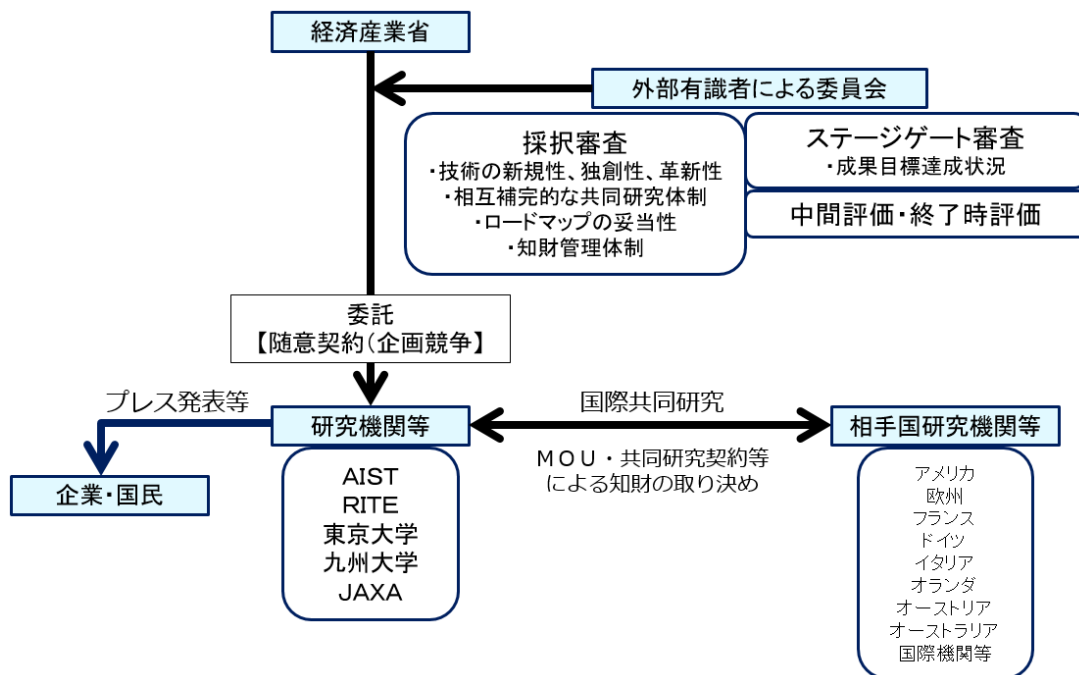


図 2－１ 事業体制

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、革新的技術の2050年の開発目標を数値化して示す（現状の特性等がどの程度向上するのかを根拠と共に明確に示す）ことを求める他、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。

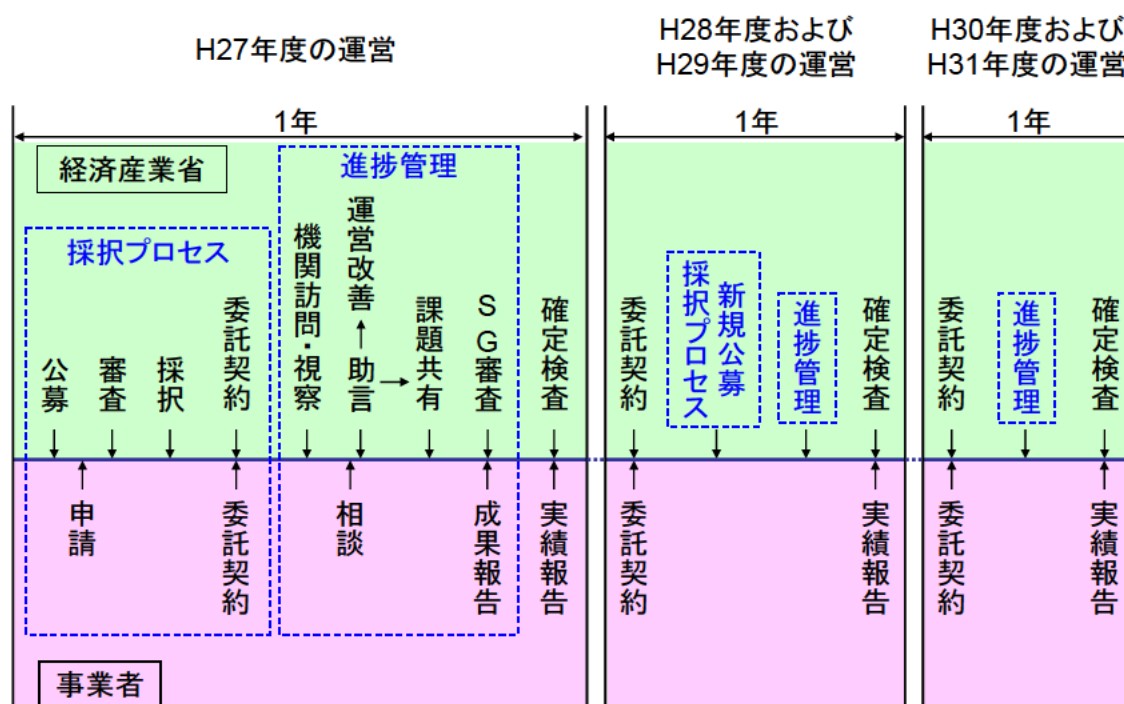


図2-2 運営実施フロー

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グ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	次世代パワーエレ
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（事業目標に対する事業の進捗は適切か、国際共同研究は適切に実施されているか、事業成果がある程度出ているか）、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

事業アウトプットは、本事業の実施により直接的に得られた成果物を指す。

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術を対象として、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

※実施した事業に直接関連する特許・論文数を記載。

< 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（実訪問 による）	国外からの招聘 研究員の受け入 れ実績
28.1%	69	26.1%	585	246	15

（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

事業アウトカムは、事業アウトプットを通じて最終的に達成される本質的な価値や変化を指す。

【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】	
二国間共著率	
指標目標値	
終了時評価時（令和 3 年度）	計画：27% 実績：28.1%（事業者アンケートの平均による）

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。

中間評価時には、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、2030 年度頃の時点において実用化されうる技術として、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	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°C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	1	・地下の状態を高度に模擬可能なシミュレータ

可能地域の飛躍的拡大		
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 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	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 Ga ₂ O ₃ 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 Ga₂O₃ 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)

本事業は様々なフェーズの研究開発・技術開発を対象としているため、各事業において、技術のコスト削減を目標とすることを必ずしも要求していない。一方で、事業者アンケートによると、本事業の結果として、33 技術中 23 技術において、平均すると 5 年程度のコスト低減を早めたとされている。

また、本事業を通じて創出された技術が社会実装された場合における、2050 年時点で排出削減への貢献量は下表のとおり。17 テーマが扱う技術の合計で約 75 億トン-CO2 と推定される。これは、2017 年時点の世界全体の排出量の 2 割に相当する。

	テーマ名	2050年時点での排出削減量（万t-CO2）
1	CO2を利用した水素製造・貯蔵技術	178
2	系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	8250
3	太陽光による有用化学品製造	5300
4	単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発	66
5	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	5650
6	EGS設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大	
7	低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発	650
8	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	238
9	革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発	3390
10	過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	572000
11	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	150000
12	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	
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	
14	3DライダーとAIによる風況フルスキャン手法の開発	589
15	第3世代パワー半導体 β -Ga2O3の高品質化・高性能化技術	523
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	5171
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	1400
	合計	753405

（事業者アンケートより）

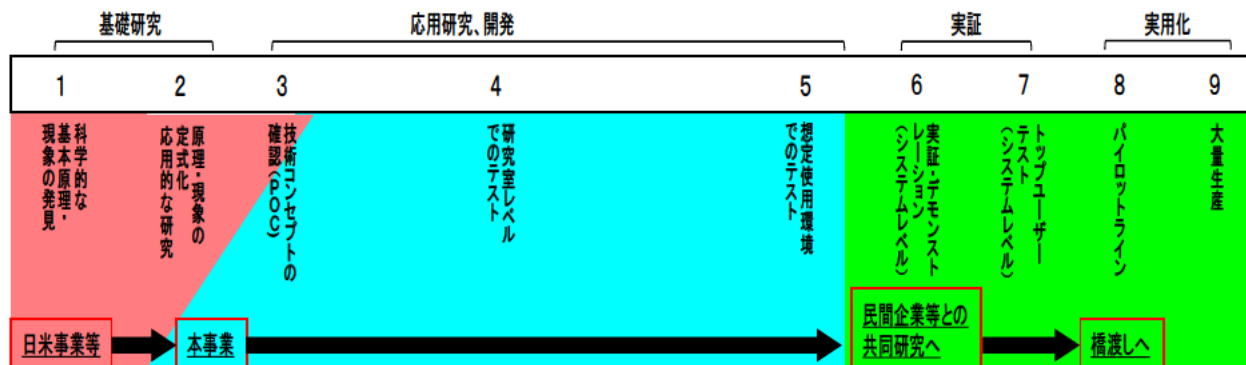
さらに、国際共同研究を円滑に進めるには、国際的な研究拠点の形成が有効であり、研究テーマ17件中9件において、本事業を通じ、拠点化に向けた進展が見られたとの回答があった。

	テーマ名	拠点化に貢献した場合の具体的内容
2	系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	分散電源用パワーコンディショナの試験・研究拠点を既に構築済み。グリッドコードの整備がなされればスマートインバータの認証も可能。
3	太陽光による有用化学品製造	人工光合成は産総研ゼロエミッション国際共同研究センターの中核研究となっており、本事業はその基礎的基盤を形成。
4	単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発	高品質なCIGS系材料を作製する技術を開発し、同技術について海外との共同研究が進んでいる。
7	低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発	産総研ゼロエミッション国際共同研究センターに参加しており、本事業で協力した2つの海外研究機関と新たに2つの海外研究機関と共同研究契約を締結して、現在もNEDOなどの支援を受けて研究開発を継続中。
9	革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発	東京大学とフランスCNRSとの太陽光エネルギー利用に関する連携協定の枠組みで行われていた複数の太陽電池研究を、本事業により強固に連携（拠点化）。現在も東京大学先端科学技術研究センターが中心となり、同様に共同研究を継続。
14	3DライダーとAIによる風況フルスキャン手法の開発	本事業は、産総研におけるスキャニングライダーによる風計測技術の基盤的な事業となった。本事業で得たノウハウにより、産総研 福島再生可能エネルギー研究所は、スキャニングライダー装置の検証拠点として、事業終了後、複数件の民間企業からの共同研究及び技術コンサルティングの依頼を受けている。
15	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	レーザを用いた結晶育成は低出力レーザによる装置しか実用化されていない。高出力レーザを用いた装置開発は本事業のみであり、拠点化に貢献した。
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	フレキシブル透明導電膜、フレキシブル抵抗体膜、フレキシブルサーミスタ、蓄光蛍光体部材について、本プロジェクトの成果により企業連携を進展させている。また、インク開発については、化学溶液企業と共同開発中。これら技術に共通の光反応プロセス基盤技術を水平展開し、光学薄膜の共同研究（光学企業）にも進展。以上のように、プロジェクトの成果は、新しい「光反応製造プロセス」に関して拠点化に貢献した。
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	固体酸化物形セルの開発拠点に貢献。

（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った。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等への移行状況
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

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。	造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	2015 年度からの 2 年間で、1)	事業終了後すぐに実証フェーズに移行。

による太陽電池の高効率化技術の開発	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。	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

		につ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 -Ga ₂ O ₃ 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 -Ga ₂ O ₃ 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ン手法の開発	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、スキャン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 光反応による低消費電力型製造プロセスとグリーンデ	2017 年度からの 3 年間で、1) フレキシブルセラミックスの開発、2) 有機 EL・高輝度蓄光	事業終了後に移行。 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

バイスの開発	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。	がっている。
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	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。個別テーマ 17 件中 5 件で具体的に国際標準化や安全基準策定の取組を実施し、さらに 8 テーマで将来の策定を視野に入れている。地熱発電等の 4 テーマについては研究テーマが標準化にそぐわないことや開発が初期段階であることから、標準化を企図しなかった。

<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)

一方でそれぞれの研究テーマを今後社会実装していくにあたっての課題として、事業者からは下記のような点が指摘されている。

	テーマ名	社会実装上クリティカルな課題
1	CO ₂ を利用した水素製造・貯蔵技術	高圧ガスに関する法的規制の緩和
2	系統協調型の分散電源大量導入技術の開発	法規等のルール整備、具体的には分散電源の系統運用規則（グリッドコード）の整備
3	太陽光による有用化学品製造	長期安定性、生成物濃度の向上、具体的なアプリケーションに対応する企業マッチング
4	単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発	超高効率太陽電池（ボトムセルの低コスト化） 低コストタンデム太陽電池（低コストトップセルの実用化）
5	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	地熱開発に関する合意形成（温泉、公園等関係者）
6	EGS設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大	
7	低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発	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は見られない高耐久性熱電変換デバイスを開発 国際標準化のための枠組みの準備
8	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	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は見られない高耐久性熱電変換デバイスを開発 国際標準化のための枠組みの準備
9	革新的新構造太陽電池の国際共同研究開発	太陽電池の性能・安全規格の基準策定と評価、商品性能保証、既存の太陽電池メーカーや関連会社の活用、新規参入メーカーや関連会社の育成（製造～廃棄まで）
10	過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発	競争の激しい分野なので、企業レベルになると国際的にどこまで社会実装を展開できるかが課題
11	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	原料であるバイオマスの調達コスト バイオマスの安定した大量入手
12	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	バイオ水素生産プロセスの生産性 バイオブタノール一貫生産プロセスのスケールアップ検証と大型予算の確保
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	
14	3DライダーとAIによる風況フルスキャン手法の開発	既に、洋上風況調査の分野では、本事業で開発した技術が利用されている
15	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	研究開発用装置を基にした産業用装置の開発
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	大面積化、信頼性評価 パイロットプラント及び信頼性評価の実証研究のため、企業連携（装置、出口企業）、大型のプロジェクトなどの実施
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	装置の大型化、組セル化までの試作と評価、長期安定性の確立、企業との連携とシステム化、コストの削減

（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（CSRI0）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、CSRI0 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	高出力レーザ光集光技術	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 テューレーン大学	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	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、留意点等

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

- 海外機関に派遣する研究者の個人的な費用負担が大きい。特に若手には厳しい。
- 海外派遣先で活動する際の消耗品や人件費を支出できないと研究遂行に差し支えることがある。
- 海外派遣先での安全教育に時間が割かれる。
- 年度をまたぐ海外滞在ができないと、研究遂行上の障害になりやすい。
- テニユアトラックの若手研究員に対しては、短期間で成果を求められるので、海外機関への派遣を積極的に実施しにくい。
- 国外からの研究員招聘の促進のためには、相応の待遇を可能とする招聘費の支援、滞在環境の整備などが必要。
- 国外の研究者が日本での研究に関心やきっかけを持てるよう、マッチングシステム、日本側の優れた技術や実験設備に関する認知度向上、日本の研究の国際プレゼンスの向上が必要。
- 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。

(3) 共同特許の申請や契約書の締結を滞りなく進めるのに有効な策

- 契約書に共通する要点をまとめておく
- 契約書の内容が煩雑過ぎると先方に敬遠される。必要最低限の内容で契約は締結し、知財発生時に前広に技術ごとに扱いを個別に相談していくことが望ましい。
- 専従の法務、語学能力を有するスタッフのサポートが望ましい。契約関係業務推進室を研究者が行うのには限界がある。
- 米国 DOE 研究所との共同研究には CRADA が大きな障壁である。
- 既に共同研究相手と契約締結済みの枠組みで、共同研究内容を包括できる契約関係があれば、新しい共同研究に関しては、既存の契約に付帯する覚書を作成し、契約作業を簡素化すると良い。

第2章 評価

本章では、評価検討会の総意としての評価結果を枠内に掲載している。なお、枠下の箇条書きは各評価検討会委員の指摘事項を参考として列記している。

1. 当省(国)が実施することの必要性

2050 年という 30 年先の CO2 排出量削減に寄与する革新的技術創出は、研究期間が長期にわたり、かつ多額の研究開発費を要する上、市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できないため、民間企業では取組が困難であり、こうしたハイリスク・ハイリターン型の研究開発を国が支援することは重要。同時に、国家レベルでの協力により、国家間の信頼性を構築することが不可欠である。一方、国が実施することの必要性について具体的な判断基準を構築することが望ましい。事業終了後の成果の活用、とりわけ国際標準や知財の取扱いについて国が関与・サポートすることが求められる。

【肯定的意見】

- (A 委員) 2050 年という 30 年後の CO2 排出量の削減に寄与する革新的技術創出を目的としているので、民間企業では取り組みが困難である。国際的共同研究を推進することにより開発期間の短縮を狙うことも考えると、国として実施することは極めて妥当である。
- (B 委員) 経済産業省(国)が当該研究開発プロジェクトを実施することが必要であり、また目的も明確であると評価する。十分に成熟していない変革をもたらすエネルギー技術、および先進研究プロジェクトは、経済産業省が中心となり、推進していくことが重要である。先端研究プロジェクトでは、長期にわたる研究開発期間かつ多額の研究開発費が必要になることから、民間企業や研究機関が 100%負担するのは難しい。エネルギー分野のハイリスク・ハイリターン型の研究開発を国が支援することは重要であり、意義がある。
- (C 委員) 国外の研究機関と連携して、困難な課題に対して、効率的に、時間を短縮して達成するには、国が支援する必要がある。国家間での信頼性があればこそ、設定できる制度である。
- (D 委員) 「①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合」、「②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合」を満たすものであり、また今回は国の関与による国際共同研究の枠組みであり、新規性もある。
- (E 委員) プロジェクトテーマの重要性、実現性など明確になっており、一定の成果も上がっている。政府間での合意など、国際共同研究に必要な国家レベルでの協力が前提になるので、国・経済産業省がしっかりとバックアップすることが必要な事業である。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 国が実施することの必要性については具体的な指標が設定できていない。定量化は難しいが、もう少し具体的な判断基準が欲しいと思う。民間企業へのアンケートで、国が実施することへの要望を数値化して示すのも 1 つの方法かもしれない。
- (B 委員) 特になし。
- (C 委員) 国事業終了後の成果の活用に関しても関与するとよい。国際共同研究の面もあり、国がサポートできるとよい。日本人研究員が、国外に訪問した時の経費を計上できると、活動の範囲が広がりよい。制限は当然必要である。
- (D 委員) 特になし。
- (E 委員) 国際共同研究には、国がしっかりサポートすることが必要であり、相手との交渉にも必要に応じて国・経済産業省が関与していくことが求められる。とりわけ、国際標準や知

財の取り扱いについては、国の関与なしには進まない案件であることから、今後もしっかりフォローしていくことが重要である。

2. 制度内容及び事業アウトプットの妥当性

アウトプット指標を「論文（査読有り）と特許の積算値」とし定量的に把握できる点、及び、実績が目標を大きく上回っている点は評価できる。研究テーマのかかなりの割合で十分な成果をあげており、目標値が未達成の場合には、原因を明確にし、今後の改善につながるように筋道を立てている。一方、論文数、特許数のカウント基準は明確にする必要がある。また、国際標準の形成まで至っていないプロジェクトもある。各研究テーマで創出した技術が 2050 年における CO2 削減にどのくらい寄与できるのかということや、国外からの招聘研究員の増加の促進、研究員が留学する際、共同特許、契約書の締結などでの課題や解決方法なども示すとよい。

【肯定的意見】

- （A 委員）事業のアウトプット指標を「論文（査読有）と特許の積算値」とし、目標となる具体的な数を設定したことで、研究開発の進捗状況を定量的に把握できる点は評価できる。＜その他の指標＞として、「論文（査読有）のうちの二国間共著数」等を示していることは国際共同研究の効果を測る指標として評価できる。
- （B 委員）研究開発の進捗状況について、定量的な事業アウトプット指標が提示されており、目標値の設定も適切である。国内外の競合他者において実施されている研究開発の現状を把握しており、技術的優位性および経済的優位性の確保に向けて、各プロジェクトが遂行されている。各プロジェクトに関連する論文発表は多い。事業アウトプットの目標値に未達のプロジェクトは、その原因や今後の見通しについて説明している。挑戦的な研究開発については、産業社会にインパクトをもたらすものであり、ハイリスクであることを前提とした目標値が適切に設定されている。
- （C 委員）論文や特許、学会発表の共同提出件数を設定し、それをクリアしており、評価できる。交流会も数多く重ね、国際共同研究活動の活発さを伺える。本事業を通じて、国際標準化の活動に繋がったのは大変よい事例と言える。
- （D 委員）アウトプットの目標が明確で、また終了時に自ら達成度を記載しており、本事業がうまく運用されたと考えられる。十分な成果を上げたテーマがかなりの割合であり、実用化が期待される。論文数、特許数が予想以上に多く、目標を上回った。
- （E 委員）アウトプット指標や目標値の設定は妥当である。論文発表、特許出願など定量的に達成度がわかるようにしている。目標値が未達成の場合には、原因を明確にし、今後の改善につながるように道筋を立てている場合が多くみられる。

【問題点・改善すべき点】

- （A 委員）本事業の最大の目的は CO2 排出量の削減であることを考えると、各研究テーマで創出した技術が 2050 年における CO2 削減にどのくらい寄与できるかを示すべき。
- （B 委員）国際標準の形成まで至っていないプロジェクトもある。
- （C 委員）コロナ禍とのこともあるが、国外からの招聘研究員が増えるとよい。研究員が留学する時、共同特許、契約書の締結などでの課題や解決方法を例示すると、今後の参考になる。
- （D 委員）一部テーマに論文数、特許数が非常に多いものが見受けられる。論文数、特許数のカウントには、本研究の内容に直接関するものか、本研究期間の成果かを厳密にチェックするためのカウント基準を明確にする必要がある（非常に多いテーマが存在すると、全体の

数値を大きくしてしまう)。テーマの成果報告（補足資料）の中に、受賞内容だけを書いているテーマが見受けられた。成果報告の体をなしていないので、修正してもらった方がよいのではないか。

（E委員）アウトプット指標は、単純化できない複雑なものであるがゆえに、不完全性を補うためにより多くの指標を取り入れ全体的に評価できるようにしていくことが重要である。

3. 制度の実施・マネジメント体制等の妥当性

各事業の採択プロセスは公募により競争性を確保できており、公正な手続きで行われている。事業の進捗管理や資金配分も適切に行われている。外部状況を柔軟に見て、各事業の運営を適切に支援している。国際共同研究契約のいくつかのひな型の作成と紹介は研究者に役立つ。国際共同研究のパートナーともロードマップの方向性や妥当性が共有されており、国際標準獲得に向けても有効なプロセスとなっている。

一方、最終的なアウトカムについての考えや方針の明確化が必要である。KPI の設定やより明確なステージゲート管理などの評価指標の開発に引き続き努力をしてもらいたい。制度を利用する対象者が特定機関に集中し、採択が遅れた事業者は十分な研究期間が確保できなかった懸念がある。海外の共同研究先で実験を行う際に本予算で必要物品を購入することが困難である等の点は、改善策が求められる。また、国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動は十分ではなく、事業内でベストプラクティスの発掘など取組の制度化が望まれる。

【肯定的意見】

- (A 委員) 各事業の採択プロセスは公募により競争性を確保できており、公正な手続きで行われている点は評価できる。毎年の実績報告も行われており、各事業の進捗管理等は適切に行われていると判断できる。知財等の取扱いについては各事業者に任されているが、共同研究契約や MOU を締結するなど適切に行われている。
- (B 委員) 制度の実施・マネジメント体制等は、制度の運営体制から事業の進捗管理などは適切に行われている。資金配分についても、適切にされている。
- (C 委員) 中間評価も実施しており、また、外部状況を柔軟に見て、各事業の運営を適切に支援している。
- (D 委員) マネジメントはうまく行われた。共同研究において、契約締結までの交渉は非常に時間がかかり、契約の専門家でない研究者の負担が多い。今回は、契約手続きの支援を経産省が行ったと記憶している。国際共同研究契約のいくつかのひな型の作成と紹介は研究者に役立つ。
- (E 委員) 事業アウトカム達成までのロードマップは概ね妥当である。とりわけ、国際共同研究のパートナーともロードマップの方向性や妥当性が共有されており、国際標準獲得に向けても有効なプロセスとなっている。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 海外の共同研究先で実験を行う際に本予算で物品を購入することが難しいとの指摘は重く受け止めるべきと思う。レシート等で正当な支出であることを確認できる場合は、経費の何%以内というキャップを付けるなどした上で使用を認めるので良いと思う。
- (B 委員) 国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動は十分ではないと思われる。
- (C 委員) 基礎研究を重視しているとはいえ、最終的なアウトカムについては、考え、方針を持ってほしい。国際共同での実施となった時を想定して、事前に検討が必要。
- (D 委員) 制度を利用する対象者が産総研と RITE に集中していたが、対象者の範囲をどういう方針、優先順位で決めたかがよくわからない。大学の参加やテーマの採択が遅れたように感じ

る。九州大学の研究期間は短くて気の毒であった（5年の期間があれば、目標を達成できたのでは）。

（E委員）KPIの適切な設定やより明確なステージゲート管理など、問題点というよりは今後もよりよい評価指標の開発など引き続き努力をしてもらいたい。加えて、国民との科学コミュニケーションについては、今後、事業内でベストプラクティスの発掘など明確な取り組みを制度化していく必要がある。

4. 事業アウトカムの妥当性

日本経済や日本の国際競争力の強化につながることを意識し、明確で計測可能な事業アウトカムが示されている。エネルギー問題は喫緊の課題である。一般にも（社会的にも）よく理解される課題といえる。民間企業のみでは十分な研究開発が実施できないと思われ、国際協力により、効率的に時間を短縮して、成果が上がった事例も散見されるなど、国が資金的に支援することにより技術開発のスピードや技術の向上が期待できる。本事業での人的な交流と相互での研究環境を知ることは、今後の国際連携で強化が期待できる。

一方、事業アウトカムと事業アウトプットの違いが分かりにくいので、簡単な説明を記載した方が良い。また、目標値を実用化・企業化を意識して設定する、国際標準化の指標も検討する、コストデータや社会実装を実現する上でのクリティカルな課題を記述する、達成までの時期が長いものについてはステージゲート管理をしていく、等も検討してはどうか。またプロジェクトによっては、進捗状況を国として審査し、期間延長を検討しても良いのではないか。

（A委員）事業アウトカム目標を短期と中長期に分け、それぞれの指標を「研究開発期間の短縮年数」と「革新的なエネルギー技術の創出件数」と設定したことにより、事業アウトカムが明確となり定量的に計測できるものとなっている。本事業終了時に革新的なエネルギー技術が33件創出できた点は高く評価できる。

（B委員）事業アウトカムの妥当性については、明確であり妥当であると評価する。事業アウトカムが実現した場合、日本経済にプラスとなり、国際競争力を高めることが期待される。国が関与する国際共同研究開発事業の下、最先端の研究を共有し、目標に向けて研究開発を進めることができている。民間企業のみでは十分な研究開発が実施できないと思われ、国が資金的に支援することにより技術開発のスピードや技術の向上が期待できている。

（C委員）国際協力により、効率的に時間を短縮して、成果が上がった事例も散見され、評価できる。二酸化炭素排出削減に寄与できる。研究成果に限らず、国際標準化や人的交流活動に繋がる事業は、良好事例と言える。本事業での人的な交流と相互での研究環境を知ることは、今後の国際連携で強化が期待できる。

（D委員）今回のアウトカムの目標は明確で、エネルギー問題は喫緊の課題である。一般にも（社会的にも）よく理解される課題といえる。

（E委員）事業の成果が社会実装され、結果的に日本経済や日本の国際競争力の強化につながることを明確に意識して事業アウトカムを示している。

【問題点・改善すべき点】

（A委員）事業アウトカムと事業アウトプットの違いが分かりにくいので、簡単な説明を記載した方が良い。「事業アウトカム」の説明文ではこれを評価する指標として「二国間共著率」が書かれているが、短期の指標として採用されているのは「研究開発期間の短縮年数」となっていて、わかりにくい。また、論文数は事業アウトプットの方に取り上げているので「二国間共著率」を事業アウトカムの指標とするのは整合性が今一つ。事業アウトカムの指標として「エネルギー・CO2削減量」を加えたほうが良い。2030年に16件が実用化レベルに達するという中長期指標をどのように評価したらよいかわからない。事

業アウトカムの妥当性の【評価項目・評価基準】に、「市場規模・シェア」と書かれているが、これを指標としている（？）なら現時点では評価が難しい。国際標準化の指標も欲しいところではあるが、何を指標とすべきかは難しい。これらは今後の課題と思われる。

（B委員）研究開発の実施期間が短く、もう少し延長してほしいというプロジェクト実施者からの声が複数あった。プロジェクトによっては、進捗状況を国として審査し、期間延長を検討しても良いのではないか。

（C委員）基礎研究との位置づけで、市場規模やアウトカムの道筋が検討されていない事例もある。特に、本事業は、国際的な連携での実施となるため、実用化には、企業化を考える必要がある。目標値の設定に、実用化、企業化を意識して設定するとよい。

（D委員）個別テーマのアウトカムの妥当性評価は、相当難しい。コストデータや社会実装を実現する上でのクリティカルな課題が記述されていないため。CO2削減量などの目標値については、テーマがより具体化しないと定量化が難しく、信頼できる数値にならない場合もある。

（E委員）事業の内容から、事業アウトカムの適切な指標化や目標値の設定が難しいケースがある。今後は、計測可能で定量的な指標をより多く設定し、且つ目標値も達成時期が長いものについては、それぞれのフェーズでステージゲート管理をしていくことも検討してはどうか。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

2050年までのロードマップが示されており、実用化に向けての意識が高いことは非常に良い。目標値がすべてのプロジェクトで達成できたわけではないが、未達成の場合は原因や今後の見通しについて、適切に説明されている。出口も意識して設定できているものもある。国家間での知財制度や戦略の違いへの対処に当たっては政府と研究開発実施者との連携が肝要であるが、こうした問題意識が事業内で共有されており、今後も更なる連携強化に期待したい。

一方、各研究テーマの評価を十分に行うためにはより詳細な資料が必要である。創出した技術が実用化できるまでは長い年数がかかるので、現時点でロードマップの妥当性を評価することが難しい。継続した検討が必要である。国際標準化や安全性基準の策定に至っていない、又は国際標準化を検討する予定がないプロジェクトもある。達成が見込めないと判断された時には、柔軟に方針変更、事業の中止を指示できるように体制を設定すると良い。事業計画段階から政府との連携をしっかりと進められるような制度の設計を検討してもらいたい。

【肯定的意見】

- (A委員) 2050年までのロードマップが示されている点は評価できる。その中にも実証研究・実用化が明記されているなど、実用化に向けての意識が高いことは非常に良いと思う。
- (B委員) 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性については、各プロジェクトの事業者からロードマップが示されている。あらかじめ設定されていた事業アウトカムの達成時期における目標値の達成が、すべてのプロジェクトで達成できたとは限らないが、達成が見込めない場合は、その原因や今後の見通しについて、適切に説明されている。実用化に向けて、各プロジェクトの事業者は取り組んでいる。知財管理の取扱いについては、パートナーの海外の研究機関と話し合いがされている。
- (C委員) 各事業において、研究の達成時期における目標値が設定されている。出口も意識して設定できているものもある。
- (D委員) 特になし。
- (E委員) 国家間で知財制度や戦略に違いがあり、国際共同研究の実施者だけではなく、政府レベルでの調整も重要になる局面が容易に想定される。また、国際標準獲得に向けた活動につなげていく際に政府の役割が欠かせないことから、本事業において政府と研究開発実施者との連携がうまくいくことが肝要となっている。これまでのところ、こうした問題意識が事業内で共有されており、今後もさらなる連携強化に期待したい。

【問題点・改善すべき点】

- (A委員) 本事業が終了してから創出した技術が実用化できるまでは長い年数がかかるので、現時点でロードマップの妥当性を評価することが難しい。継続した検討が必要である。知財管理の取扱、国際標準化などは重要であるが、何をもちて評価すべきか不明確である。当分は事例紹介で対応するしかないかもしれない。
- (B委員) 国際標準化を目指しているものの、事業期間中に国際標準化にまでは至っていないケースが多い。また、国際標準化を検討する予定がないプロジェクトもある。安全性基準の策定にまで至っていないプロジェクトがある。
- (C委員) 事業アウトカムの達成時期における目標値の達成は、具体的に見込まれるとよい。難し

い課題に挑んでいることもあり、達成が見込めないと判断された時には、柔軟に方針変更、事業の中止を指示できるように体制を設定すること。

(D 委員) 各テーマについて、そこそこ記載されているが、評価をきちっとするためにはもう少し詳細な資料が必要である。この評価項目は、予算規模がもっと大きく、少ないテーマの場合のものではないか。

(E 委員) 事業計画段階から政府との連携をしっかりと進められるような仕掛けをどう制度的に設計するか、今後もしっかり検討してもらいたい。

6. 費用対効果の妥当性

1 億円当たりの論文・特許の積算数を費用対効果の指標としており、定量的に評価できる。目標値をクリアしており、投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムは妥当である。海外研究機関との人的交流や信頼関係が構築され、拠点化にも貢献するなど、今後の我が国の革新的エネルギー技術の開発において有益である。

一方、費用対効果の計測方については、今後もより適切な見える化を試行錯誤していくことが必要である。研究成果の積み上げ、国際間の協同経験のベースなど当該事業にかかわるすべてのコストの把握、事業アウトプットの数値化などには課題がある。国費総額と CO2 削減量の比、人的交流、拠点化の進捗等も評価すべきである。

【肯定的意見】

- (A 委員) 1 億円あたりの論文・特許の積算数を費用対効果の指標としており、定量的に評価することができる点は評価できる。
- (B 委員) 投入された国費総額に対して、事業アウトプット及び事業アウトカムは妥当である。各プロジェクトの事業者が、革新的エネルギー技術の国際共同研究に真摯に取り組み、海外研究機関との人的交流や信頼関係の構築をしており、今後の我が国の革新的エネルギー技術の開発において有益である。国際共同研究開発により、研究開発の進捗が早い。個別技術では、10 年程度の短縮になったプロジェクトもある。
- (C 委員) 事業総額に対する論文数などの指標は目標値をクリアしており、妥当と考える。
- (D 委員) 事業のアウトプットは予想以上であり、十分と考える。
- (E 委員) これまでの、研究成果の積み上げや、国際間の協同経験のベースなど、当該事業にかかわるすべてのコストを把握することと、事業アウトプットの数値化などまだまだ課題はあるが、総じて国費総額に対する効果は妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 本事業の目的を考えると、国費総額と CO2 削減量の比も 1 つの指標に採用すべきと思う。
- (B 委員) 国際共同研究開発だが、パートナー国の研究機関等への資金支援がないため、日本から国際便で郵送するのに手間と時間が余分にかかったという複数の事業者からの指摘があった。こうした問題に対して改善策が打ち出せないだろうか。
- (C 委員) 人的交流、拠点化の進捗も評価するとよい。かなりの実績があり、今後が期待できる。
- (D 委員) 事業アウトカムについては、有望なテーマに絞りもう少し議論する場があった方がよい。現状の資料だけでは、十分評価できない。
- (E 委員) 費用対効果の計測方法については、今後もより適切な見える化を試行錯誤していくことが必要である。

7. 総合評価

国際連携をすることにより革新的エネルギー技術を短期間に開発し、2050年頃におけるCO₂削減に寄与するという具体的な目的設定がされている優れた事業である。国際連携により効率的に短期間に成果を得られ、海外の新技术・ノウハウ・ソフトを入手することに成功し、研究者間の積極的な交流、及び共同研究が進められている。長期的テーマ、基盤的テーマや、国際標準化でも成果を挙げている。得られた経験は、今後も研究実施者のみならず、政府としても研究開発マネジメントや知財戦略、国際標準化への取組など重要な知見の蓄積として評価できる。

一方、本事業で顕在化した課題も指摘でき、継続的な改善が望まれる。30年以上先の中長期的な革新的技術創出とその実用化という点での評価は難しく、評価指標については、継続して検討していく必要があると思われる。人的交流も評価することで、更に国際連携が広がり、本事業終了後の研究活動にも効果が期待できる。各国の研究者にとって魅力ある設備を整備することを検討してほしい。今後、イノベーション技術の国際共同研究開発プロジェクトが増えることが予想され、革新的なエネルギー技術に関する国民理解を進めるための、さらなる取組が求められる。より実質的かつ効果的に政府と研究開発実施者との連携を図り、今後もより良い制度化に向けて検討を重ねてもらいたい。

【肯定的意見】

- (A委員) 国際連携をすることにより革新的エネルギー技術を短期間に開発し、2050年位におけるCO₂削減に寄与するという具体的な目的設定がされた優れた事業であると評価できる。事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを作成して常に実用化を見据えている点も評価できる。
- (B委員) 各プロジェクトがアウトカムを想定して、プロジェクトに取り組んでいることが評価できる。国際連携の研究開発であり、採択されたプロジェクトは、技術の研究開発をスピードアップでき、研究者間の積極的な交流、及び共同研究が進められている。
- (C委員) 国際連携により、より効率的に短期間に成果を得られたことは、本事業を有効活用したためと考え、高く評価する。国際標準化に繋がった活動があったことは、国際連携の本事業としては、高く評価できる。
- (D委員) 短期間に共同研による、海外の新技术・ノウハウ・ソフトを入手することに成功し、自らの研究に役立たせた。優れた成果を上げ、実用化が期待されるいくつかの興味あるテーマが誕生した。長期的テーマ、基盤的テーマについても目標達成する成果を上げている。長期的テーマ、基盤的テーマは粘り強く開発を継続すること、そして政府支援が継続することが期待される。
- (E委員) 国際共同研究を推進していくなかで、当該事業で得られた経験は、今後も研究実施者のみならず、政府としても研究開発マネジメントや知財戦略、国際標準化への取組みなど重要な知見が蓄積してきている。事業アウトカム以外に、こうした経験知の蓄積も重要であり、事業に対する総合的な評価に加えたい。

【問題点・改善すべき点】

- (A委員) 事業終了時点での各研究テーマの研究成果や本事業の評価はできるが、30年以上先の中

長期的な革新的技術創出とその実用化という点での評価が難しい。また、本事業の特色の1つである国際共同研究開発について、「研究開発期間の短縮年数」や「査読論文の二国間共著率」を指標に設定するなどの工夫は認められるが、将来の実用化という点からの評価はやはり難しい。これらの評価指標については、継続して検討していく必要があると思われる。

- (B 委員) 技術の確立に時間を要するプロジェクトが複数ある。本年4月16日の米バイデン大統領との日米首脳会談において「気候変動に関するパートナーシップ協定」が結ばれ、日米がともに2030年削減目標の達成に向けて、再生可能エネルギーや水素、二酸化炭素回収、高性能蓄電池などの分野において技術開発で協力することを表明したが、革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業と重なる技術もある。各国の研究者にとって魅力ある設備を整備することを検討してほしい。今後、イノベーション技術の国際共同研究開発プロジェクトが増えることが予想され、革新的なエネルギー技術に関する国民理解を進めるための、さらなる取組が求められる。
- (C 委員) 留学時の経費の活用の容認を考えると、より効率的に活動出来てよい。人的交流も評価することで、更に国際連携が広がり、本事業終了後の研究活動にも効果が期待できる。本事業の成果は、国外の研究機関との共同成果であり、事業終了後のアウトカムについては、事前に検討しておくといよい。
- (D 委員) 特になし。
- (E 委員) 当該事業の特色から、政府の役割が重要になる局面が多く想定されるなかで、より実質的かつ効果的に政府と研究開発実施者との連携を図っていくか、今後もより良い制度化に向けて検討を重ねてもらいたい。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
研究成果はもとより、人材育成の観点からも有益なプログラムであり、何らかの形で継続することを期待する。国際共同研究から得られた経験知を今後も最大限活用しながら、更に効果的な事業運営と制度設計に向けて引き続き検討されることを期待する。 事業アウトカムについては、有望なテーマに絞りもう少し研究者、識者と議論する場があった方がよい。アウトカムに関する評価を重視するよりも、もっとアウトプットについて重きを置いて評価すべきではないか。また、数年おきにでも経産省が予算を獲得し、進捗をフォローアップすることを期待する。創出した技術を国際標準にまで高めていく努力を期待する。 本国際共同研究開発事業での研究成果をベースに、可能な限り日本の企業や研究機関が関わる形で、製品化するなど技術の社会実装を行い、我が国の経済発展につなげてほしい。 研究実施者に、より多くの若手を登用する制度があってもよい。本事業を活用して、国外から研究員を多く招聘して、日本に拠点が作れるとよい。	(評価検討会終了後に、提言に対する対処方針を整理し、追記する。)

【各委員の提言】

(A 委員) 2050 年における CO2 排出量の削減という世界的な課題に対して、革新的エネルギー技術を創出し、2030 年頃には 16 件以上を実用化することで解決を目指すという意欲的な点は高く評価できる。そのために、ロードマップを作成し、その中で技術の実証と実用化を常に意識するように設計されている点もよいと思う。事業終了の現時点で、研究テーマ 17 件のうち 10 件が民間企業との共同研究に移行し、うち 6 件は実証フェーズに至っていることは心強い。残り 10 件についても相当駆らず民間企業との共同研究に移行することができるようになると思われる。それらをフォローアップするためにも、数年おきにでも経産省が予算を獲得し、進捗をフォローアップすることを期待する。歴史的また地理的要因から、我が国はどうしても開発した技術を国際標準にすることが難しいが、海外の研究者とタッグを組むことにより、その可能性が出てきたと思われる。ぜひ、創出した技術を国際標準にまで高めていく努力をしていただきたい。学会で会ったことがある程度の海外の研究者と共同研究に発展できるきっかけを与えることができた点からも本事業は優れていると評価できる。

(B 委員) 革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業は、次世代クリーンエネルギーから革

新的デバイスの研究開発まで、幅広くエネルギー技術への支援を行ったことを高く評価する。2050年カーボンニュートラル、2030年までに温室効果ガス46%削減(2013年比)、さらに50%削減の高みを目指す上で、脱炭素化に大きく貢献が期待できるプロジェクトが多く採択され(H27~R2年度)、本事業を終了している。世界の脱炭素化の潮流に先駆けた国の取組であったと評価する。(パリ協定のCOP21での採択は2015年12月)欧州、米国のイノベーション技術の開発動向も、我が国が進めている研究開発プロジェクトと多くが重なっている。特に米国はバイデン政権の発足後、2050年カーボンニュートラル実現に向けた研究開発予算を大幅に増大させる計画である。ARPA-Eでは、エネルギー貯蔵技術や微生物による燃料生成(バイオエネルギー)、再生可能エネルギーを統合した伝送網、CCS/CCUSなどへの予算規模は約3億ドルで、助成期間は最長3年、1件当たりの投資総額は200~500万ドル、最大2000万ドルとすることが原則だという。さらにARPA-Cの設立を提言し、100%クリーンエネルギーの目標達成を実現するため、再エネを利用した水素製造や産業熱の脱炭素化、大気中のCO₂除去技術等に予算を投じる計画を進めている。このように、今後、特に脱炭素化に向けた技術開発は、米国、欧州、中国などとの国際間の競争が激しくなると予想されるが、今後も国際連携が必要な研究開発分野は、積極的に協力していくことが重要である。革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業や類似の事業については、我が国も予算規模をさらに大きくして、国が先導する形で推進していくべきである。国際共同研究開発事業を通して、日本の若い研究者にとって良い経験が得られたという、事業者からの声は多い。日本の科学技術を発展させていくためにも、若い研究者たちが海外の科学者と交流し、研究開発に取り組むことは大変意義あることだと思う。世界から研究員を集めた拠点化に際しての課題については、各プロジェクト事業者から提示された課題の解決に向けて国には真摯に取り組んでほしいと願う。技術の実用化のフェーズでは、技術的に国際連携が必要な分野においても、本国際共同研究開発事業での研究成果をベースに、可能な限り日本の企業や研究機関が関わる形で、製品化するなど技術の社会実装を行い、我が国の経済発展につなげてほしいと思う。

(C委員) 国外の研究機関と連携することで得られたことは、多い。国際連携を基本とした事業は有効である。ただ、基礎的な研究は、まず、国内である程度は、基礎的な特許やプライオリティーは固めるまでは進めておく必要はある。提案する技術の実用化に向けて、足りていない必要な技術を、幅広く国外の技術を求めて、融合して進めることで、効率化を図るのはよい。研究実施者に、より多くの若手を登用する制度があってもよい。事業終了後も考えて、長く国外と連携できる契機となるとよい。本事業を活用して、国外から研究員を多く招聘して、日本に拠点が作れるとよい。

(D委員) 本事業は、研究者が海外で他流試合をすることができるいい機会であった。研究成果はもとより、人材育成の観点からも有益なプログラムであり、何らかの形で継続することを期待する。事業アウトカムについてこれほど評価で重視するのならば、有望なテーマに絞りもう少し研究者、識者(テーマ関連の企業人を含め)議論する場があった方がよい。今回の資料レベルでは、十分評価できないのではないかな。資源・エネルギー関係は、ますます重要な研究課題であり、大きなイノベーションが期待される。失敗を恐れず、

挑戦的テーマに取り組む風土の醸成が重要である。挑戦的テーマに取り組み、目標達成ができなかったテーマについて、安易に研究者や研究機関の責任や実力評価とすることがないようにしたい。今回の「革新的エネルギー技術開発」は喫緊の課題であり、アウトカムの目標は明確である。アウトカムに関する評価を重視するよりも、もっとアウトプットについて重きを置いて評価すべきではないか。

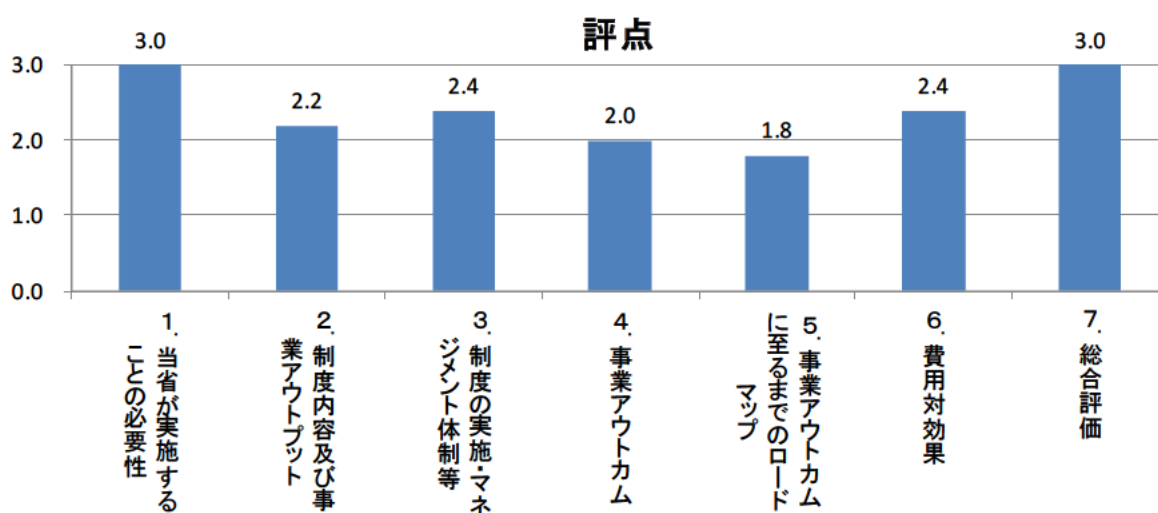
(E委員) 世界が「ゼロエミッション」により具体的に取り組みを強化する中で、今後、当該事業の重要性はますます高まっていく。加えて、関連する技術をベースにした新たな社会インフラを巡り国際標準の獲得競争が激化する一方で、日本が戦略的に重要なパートナー国や地域と共同研究を拡充することが求められる。これまでの、国際共同研究から得られた経験知を今後も最大限活用しながら、さらに効果的な事業運営と制度設計に向けて引き続き検討されることをお願いしたい。

日本の研究開発支援事業の中で、このような戦略的パートナーシップにもとづく新たな国際秩序の形成につながる共同研究開発は、今後もますます重要になる。とりわけ、米中の覇権争いが激化する中で、日本の経済安全保障が先端技術を巡る研究開発の大きな焦点になっている。欧米や豪州、インドといった自由で開かれたインド太平洋構想を支えるパートナー国との連携は、日本のオープンイノベーション・国際共同研究開発の基軸である。本事業の制度や規模と質の両面での拡充に対する期待は大きい。

第3章 評点法による評点結果

(評点法による評点結果)

評価項目	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 当省が実施することの必要性	3.0	3	3	3	3	3
2. 制度内容及び事業アウトプット	2.2	2	2	3	2	2
3. 制度の実施・マネジメント体制等	2.4	3	3	2	2	2
4. 事業アウトカム	2.0	2	2	2	2	2
5. 事業アウトカムに至るまでのロードマップ	1.8	2	2	2	1	2
6. 費用対効果	2.4	2	3	3	2	2
7. 総合評価	3.0	3	3	3	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1～6 3点：極めて妥当 2点：妥当 1点：概ね妥当 0点：妥当でない	評価項目 7 総合評価（終了時評価） 3点：実施された事業は、優れていた。 2点：実施された事業は、良かった。 1点：実施された事業は、不十分なところがあった。 0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。
---	---

第4章 評価ワーキンググループの所見

終了時評価（2021 年度）

所見	対処方針

中間評価（2017 年度）

所見	対処方針
エネルギー・環境イノベーション戦略を踏まえ、多様な国際共同研究プロジェクトを研究資金制度プログラムとしてまとめ、どの様なマネジメントや体制で進捗管理を行い、それらの知見を次につなげていくのかを明らかにするとともに、国際共同研究により行う意義を明確にすること。	本事業は「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軸として、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なエネルギー技術について、G7各国等との国際共同研究で開発するもの。国際共同研究により連携先の優れた技術や研究設備を活用し、研究開発を加速できる意義を有している。マネジメントについては、毎年実施するステージゲート審査で、国際共同研究の効果を確認し、進捗を管理している。また、事業を通じて得られた国際共同研究の実施に伴う知財に関する取決めや、共同研究契約の締結に必要な情報を集積し、今後、研究機関等が国際共同研究を行う際に活用していく。

事前評価（2014 年度）

所見	対処方針
採択審査は技術的な面だけでなく、相手国との知財の取扱いについての確認項目を盛りこみ、経済産業省がチェックを行う等、本制度の趣旨に沿った事業展開が出来るように検討すること。	共同研究における知財の取扱いは重要であり、御指摘を踏まえ実施機関の知財管理体制等を採択審査等でチェックを行う等、技術流出防止に十分に留意しつつ事業を適切に執行してまいりたい。