



平成30年度  
研究評価委員会  
(エネルギー・環境領域)  
評価報告書

令和元年6月



## 評価報告書 目次

1. 評価委員会議事次第	1
2. 評価委員	3
3. 評価資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	5
4. 説明資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	31
5. 評価資料（年度末確定値）	105
6. 評価委員コメント及び評点	107

---

<sup>1</sup> 平成31年2月22日



**国立研究開発法人 産業技術総合研究所**  
**平成 30 年度 研究評価委員会（エネルギー・環境領域）**  
**議事次第**

日 時：平成 31 年 2 月 22 日（金） 10:00-17:00  
 場 所：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 関西センター C4 棟 第 8 会議室

開会挨拶	理事／評価部長 加藤 一実	10:00-10:05
委員等紹介・資料確認	評価部研究評価室 高橋 正明	10:05-10:10

領域による説明（質疑含む）（議事進行：山口 真史 評価委員長）

1. 領域の概要と研究開発マネジメント 10:10-11:10  
 （説明 30 分、質疑・評価記入 30 分）

理事／エネルギー・環境領域長 小林 哲彦

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

現場見学会（60 分） 11:10-12:10

- ・ 大阪工業技術試験所の歴史
- ・ 燃料電池・水分解に関する研究
- ・ 電子顕微鏡の見学
- ・ 硫化物電池，全固体電池に関する研究

昼食・休憩（50 分） 12:10-13:00

2. 「橋渡し」のための研究開発 13:00-13:50  
 （1）「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）  
 （説明 25 分、質疑・評価記入 25 分）

概要説明	エネルギー・環境領域 研究戦略部長	児玉 昌也
テーマ 1. 蓄電池	電池技術研究部門長	谷本 一美
テーマ 2. 水素	再生可能エネルギー研究センター長	古谷 博秀

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

（2）「橋渡し」研究前期における研究開発 13:50-14:40  
 （説明 25 分、質疑・評価記入 25 分）

概要説明	エネルギー・環境領域 研究戦略部長	児玉 昌也
テーマ 3. 太陽光発電	太陽光発電研究センター長	松原 浩司
テーマ 4. 物質循環	環境管理研究部門長	田中 幹也

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発 (説明 25 分、質疑・評価記入 25 分)		14:40-15:30
概要説明	エネルギー・環境領域 研究戦略部長	児玉 昌也
テーマ 5. パワーエレクトロニクス	先進パワーエレクトロニクス研究センター長	奥村 元
テーマ 6. 環境影響評価技術	安全科学研究部門長	緒方 雄二
・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果 ・ 平成 30 年度の実績・成果		
休憩 (15 分)		15:30-15:45
総合討論・評価委員討議・講評	(議事進行: 山口 真史 評価委員長)	
総合討論 (領域等への質疑を含む)	(25 分)	15:45-16:10
評価委員討議 (領域等役職員 退席)	(20 分)	16:10-16:30
評価記入 (領域等役職員 退席)	(20 分)	16:30-16:50
・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果 ・ 平成 30 年度の実績・成果		
委員長講評 (領域等役職員 着席)	(5 分)	16:50-16:55
閉会挨拶	理事/評価部長 加藤 一実	16:55-17:00

## 評価委員

エネルギー・環境領域

	氏名	所属	役職名
委員長	山口 真史	豊田工業大学	シニア研究スカラ
	岩城 智香子	東芝エネルギーシステムズ株式会社 原子炉システム・量子応用技術開発部	主幹
	小島 康一	トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 先進技術統括部	主査
	末光 真希	東北大学 電気通信研究所	特任教授
	竹中 みゆき	株式会社 日立ハイテクノロジーズ 科学・医用システム事業統括本部 事業戦略本部 事業管理部	主幹技師
	吉岡 省二	三菱電機株式会社 鎌倉製作所 宇宙技術部	主席技師長

所属・役職名は委員会開催時



# 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

## 平成 30 年度 研究評価委員会（エネルギー・環境領域）

### 評価資料

#### 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

##### (1) 領域全体の概要・戦略

###### 【背景・実績・成果】

我が国が世界に先駆けた低炭素社会を構築するためには、2050 年までに温室効果ガスを 80% 低減するという挑戦的な課題に向けた技術開発を推し進める必要がある。

第 4 期中長期目標期間において、当領域は、持続可能な社会の構築に貢献するため、グリーンテクノロジー（創・蓄・省エネルギー技術、環境・安全技術）の開発と、それらの社会・産業界への橋渡しを行う。「Zero-Emission Society」を理想に掲げ、再生可能エネルギーの大量導入、省エネルギー技術の普及、未利用エネルギーの高効率利用を通して、低炭素社会を目指すとともに、環境リスクの低減、資源・物質の循環、産業保安の確保などにより、産業と環境が共生する社会を目指す。国際連合の持続可能な開発目標（SDGs）や気候変動枠組条約に関連したエネルギー・環境イノベーション戦略（NESTI 2050）への貢献も重要な目標としている。

第 4 期中長期目標期間における当領域のロードマップは、SDGs（2030 年に向けた開発目標の内、水・衛生、エネルギー、生産・消費、気候変動、資源）および国連気候変動枠組条約におけるパリ協定（2050 年に向けた温暖化対策）に貢献することを目指し、時間軸を設定している。特にエネルギー研究では、2050 年における温室効果ガス抑制を想定した、一次エネルギー構成シミュレーションからのバックキャストと、各種エネルギー技術開発からのフォアキャストを比較することにより目標値の合理性を高めている。ポートフォリオは、内閣府の定めるエネルギー・環境イノベーション戦略 NESTI 2050 の技術マップとも整合するように設定している。なお、当領域の研究テーマは多岐に渡っているため、個々のテーマごとにロードマップ、ポートフォリオを設定している。

以下に具体的な研究対象・代表的な研究成果を記す。

(1) 新エネルギーの導入を促進する技術（太陽光発電、風力発電、地熱発電、電力エネルギーネットワーク等）：太陽光発電については、高効率化合物太陽電池の高生産性技術、任意の異種太陽電池を接合できるスマートスタック技術の開発により、高効率化合物太陽電池の製造コスト低減および高効率多接合太陽電池の低コスト化実現が進展した。

(2) エネルギーを高密度で貯蔵する技術（長期蓄エネルギー技術の観点でのエネルギーキャリア技術、蓄電池技術等）：高容量金属多硫化物電極材料の開発により、リチウムイオン電池を超える高エネルギー密度の次世代蓄電池実現に向けた技術が進展した。また、全固体電池の量産化において鍵となるシート型電池製造プロセスを確立した。

また、水素を用いたエネルギー貯蔵技術では、清水建設との共同研究において、水電解装置、産総研が開発した水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵、燃料電池などを使った延床 1000 m<sup>2</sup> 程度の建物利用に向けた実証システムを構築し、約 10 カ月におよぶ実証運転を実施した。

(3) エネルギーを効率的に変換・利用する技術（パワーエレクトロニクス技術、自動車の省エネルギー技術、未利用熱の有効利用技術等）：パワーエレクトロニクスに関して、大電流印加時の劣化を抑制可能な新規構造を採用することにより、市場規模の大きな 1 kV 級の SiC パワー-MOSFET において量産試作レベルで高信頼・低損失性を実現することに成功した。

また、熱電変換技術開発において、既存技術では7%程度であった変換効率を12%に向上させた。

(4)エネルギー資源の有効活用（メタンハイドレート、未利用炭素資源等の利用技術開発等）：メタンハイドレート海洋産出試験で得られた生産挙動を検証するため、新たに採取された圧力コア分析を行い、精緻な物性値を追加した。

(5)環境リスクを評価・低減する技術（都市鉱山、水循環技術、リスク評価、リスク・コミュニケーション等）：都市鉱山の開発では、廃製品情報を利活用したソータや複数種の電子素子を選別可能な選別機を製品化した。さらに、手解体・手選別の自動・自律化が可能となる融合型ソータや複数選別機を自律制御するシステムを開発した。

また、環境負荷排出量データベース（Inventory Database for Environmental Analysis:IDEA）の構築と普及では、多様な環境影響領域への対応と海外版データベースの構築を進め、国連環境計画が進めるライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment:LCA）に関する国際データベース協調枠組み（Global LCA Data Access Network:GLAD）に日本のデータベースとして唯一データ登録され、世界最大規模データベースとしてIDEAは国際的に幅広く公開された。

地域活性化の観点から、福島再生可能エネルギー研究所（FREA）に再生可能エネルギー研究センターを、また関西センターに電池技術研究部門を配し、地域に根ざした世界的研究開発拠点の形成を目指して下記の活動を行っている。

- ・平成25年度から平成29年度までに、FREAにおいて「復興予算（被災地企業のシーズ支援プログラム）」を実施し、地元企業の新たな産業の創出に貢献した。平成30年度からは、新たな被災地発のコンソーシアム型再生可能エネルギー関連製品の事業化に向けた技術開発のための予算（被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業（平成30年度から平成32年度））を確保し、平成25年度からの商品化の累積数が17件となるなど、地元企業の産業創出を継続支援を行っている。平成31年度以降も地元企業の産業創出支援を継続予定である。

- ・関西センターにおいては、電池技術研究部門と技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター（LIBTEC）が協力して、平成27年度から平成29年度はリチウムイオン電池等蓄電池材料の性能評価技術の標準化に取り組み、製品化への橋渡し期間の短縮に貢献した。さらに平成30年度からは、将来の電気自動車用「全固体電池」に関する新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）プロジェクトを開始し、自動車企業を中心とするオールジャパン産学官連携体制を整え、産業界の共通指標として機能する全固体電池の材料評価技術を中心とした共通基盤技術を開発している。平成31年度以降も、材料評価技術を中心とした共通基盤技術を開発を継続予定である。

領域のあるべき社会的な役割としては、未来社会のための産業技術シーズの創出およびオープン・イノベーション・プラットフォームの提供を掲げ、産業界からリスペクトされる存在となることを目指している。中長期目標・計画を達成するための方策、特に民間資金獲得増については、「急がば回れ」の言葉を掲げ、まずは職員への“技術を社会へ”マインドの浸透と、未来の産業ニーズを想定した目的基礎研究の強化を通して、「結果」としての民間資金の増額獲得に努めている。領域長および領域幹部による個別企業への働きかけや、イノベーションコーディネータの活動強化も進めている。オープンイノベーションラボラトリー（OIL）制度やクロスアポイントメント制度を利用した目的基礎研究力の強化や、領域内連携促進（アライアンス制度：水素戦略会議、エネルギー材料アライアンス、エネルギーシステムアライアンス）による研究テーマの骨太化を行っている。また、国家プロジェクトの中核的な役割や技術研究組合への貢献、コンソーシアム活動を通じた産業界との連携強化などにも努めてきた。

成果発信および普及については、研究ユニットが独自の成果発表会を開催するとともに、テクノブリッジフェア、国際学会等を利用した積極的な情報発信を行った。研究成果発信として特に重要な研究論文については、領域長および領域幹部が領域内の全グループリーダー、チームリーダーとの意見交換を行い、研究現場でのエフォート管理に応じて論文発表の個人目標を設定することとした。研究者の個人評価では、論文発表から橋渡し活動まで総合的に評価し、それらのバ

ランスは個々人の状況を重視して判断した。

リスク管理・コンプライアンスについては、公的資金で運営されている組織としての意識を重視し、領域長および領域幹部が領域内の全グループリーダー、チームリーダーと意見交換会などを通じて、根気強くコンプライアンスの徹底を行った。

各種指標の達成状況について、

民間資金獲得額は

平成 27 年度 19.6 億円（目標：24.7 億円、達成率：79.4%）、

平成 28 年度 23.2 億円（目標：30.2 億円、達成率：76.8%）、

平成 29 年度 22.5 億円（目標：35.6 億円、達成率：63.2%）、

平成 30 年度（12 月末時点）21.3 億円（目標：41.1 億円、達成率：51.9%、前年同月比：103%）、

平成 31 年度 30 億円（見込）

と平成 30 年度までいずれも目標には達成していないが、獲得額は微増傾向にあり、平成 30 年度には前年同月比で 103%となった。

中堅・中小企業の研究契約件数の比率は

平成 27 年度 22.8%（中小企業の研究契約件数の比率）、

平成 28 年度 34.3%、

平成 29 年度 22.4%、

平成 30 年度（12 月末時点）18.7%、

平成 31 年度 20%（見込）

となり、減少傾向にある。

論文引用数に関しては、

平成 27 年度 15,552 回（目標：14,311 回、達成率：108.7%）、

平成 28 年度 16,302 回（目標：15,300 回、達成率：106.5%）、

平成 29 年度 17,474 回（目標：15,800 回、達成率：110.6%）、

平成 30 年度（12 月末時点）18,631 回（目標：17,000 回、達成率：110%、前年同月比：110%）、

平成 31 年度 17,000 回（見込）

となり、平成 30 年度までいずれも目標を達成した。

論文発表数に関しては、

平成 27 年度 462 報（目標：430 報、達成率：107.4%）、

平成 28 年度 433 報（目標：430 報、達成率：100.7%）、

平成 29 年度 491 報（目標：430 報、達成率：114.2%）、

平成 30 年度（12 月末時点）299 報（目標：450 報、達成率：66.4%、前年同月比：89%）、

平成 31 年度 450 報（見込）

となり、平成 29 年度までいずれも目標を達成しており、平成 30 年度も 12 月末時点で平成 29 年度の同月比 89%であり、目標値を大幅に上回った平成 29 年度と同水準であるため目標を達成する見込みである。

リサーチアシスタント採用数およびイノベーションスクール DC コース採用数は、

平成 27 年度 25 名（目標：30 名、達成率：83.3%）、

平成 28 年度 32 名（目標：30 名、達成率：106.7%）、

平成 29 年度 50 名（目標：35 名、達成率：142.9%）、

平成 30 年度（12 月末時点）43 名（目標：40 名、達成率：107.5%）、

平成 31 年度 40 名（見込）

であり、平成 28 年度以降はいずれも目標を達成した。

知財実施契約数は、

平成 27 年度 93 件（目標：101 件、達成率：92.1%）、

平成 28 年度 95 件（目標：100 件、達成率：95%）、

平成 29 年度 130 件（目標：100 件、達成率：130%）、

平成 30 年度（12 月末時点）110 件（目標：110 件、達成率：100%）、

平成 31 年度 110 件（見込）

となり、平成 29 年度以降はいずれも目標を達成した。

民間資金獲得額の目標達成に向けては、平成 30 年度に冠ラボの設立（清水建設—FREA）による個別企業との連携強化や、一定金額以上の共同研究全てにイノベーションコーディネータ等を配置するなど体制の強化を図った。さらに、テクノブリッジフェアにおける個別企業の招待や個別企業への領域幹部の訪問機会を強化するなどしたため、平成 30 年度は前年度よりも獲得額の増加が見込まれている。ただし、従来からの領域の主たるミッションである公的な外部資金による政策的研究の役割も継続しており、民間資金の目標達成には及ばなかった。

組織内外の若手雇用・育成では、近年世界的に関心が高まっている再生可能エネルギー関連技術についてリサーチアシスタント制度およびクロスアポイントメント制度を利用して、学生およびポストドクターを雇用し、再生可能エネルギー分野の人材育成を行っている。また、自動車業界と連携強化のため、モビリティ・エネルギー分野の人材強化も行っている。さらに、シニア世代の人材を平成 30 年度は 38 名招聘研究員として雇用し、領域長補佐やユニット幹部、イノベーションコーディネータなどの要職でその経験や能力を活用して、再生可能エネルギー分野の国際連携や企業連携等の強化を図っている。

第 4 期中長期目標期間の累計として、1,000 万円以上の橋渡し研究を企業と実施した件数は平成 30 年度までに 106 件（うち平成 30 年度実施の件数：28 件）であり、平成 31 年度は 30 件の見込である。また、これらの事業化の実績として、知的財産の譲渡契約および実施契約は平成 30 年度までに 22 件（うち平成 30 年度契約の件数：8 件）で平成 31 年度の見込は 8 件、製品化は平成 30 年度までに 1 件（うち平成 30 年度製品化の件数：0 件）で平成 31 年度の見込は 0 件である。

#### 【成果の意義・アウトカム】

技術分野において得られた代表的な成果により期待される、社会的・経済的インパクトおよび産業へのインパクトは以下の通りである。

(1) 太陽光発電については、設置面積に制限のある狭小住宅への設置や軽量化も求められる車載応用等において必要となる超高効率・軽量・フレキシブルなどの太陽電池の付加価値向上が可能となり、国土の狭い我が国における再生可能エネルギー大量導入の更なる加速が期待される。

(2) 蓄電池に係る技術開発については、量産化につながるシート型硫化物全固体電池の製造プロセスの開発や、リチウム-硫黄電池、亜鉛-空気電池やカリウムイオン電池などの革新型大容量二次電池の効率化・高耐久化に資する基礎技術が大きく進展し、安価・高性能・高耐久の次世代蓄電池の開発と電動自動車および大容量電力貯蔵用電源の社会導入の加速が期待できる。（関西センター）

水素を用いたエネルギー貯蔵技術では、消防法危険物および高圧ガスに該当しない水素貯蔵方法であるという特色により、有資格者の配置をせずに住宅地域での水素大量貯蔵が可能となる。変動する再生可能エネルギー（電力）を大容量・長期間に貯蔵し、必要な時に利用する技術の実用化が前進したことにより、二酸化炭素排出量削減の実現が期待される。（FREA）

(3) パワーエレクトロニクスに関して、SiC パワーMOSFET のボトルネックであった信頼性問題が量産試作レベルで解決できたことから、電力変換の大幅効率化につながる低損失かつコンパクトな SiC パワーモジュールの導入が加速すると期待される。

熱電変換モジュールの開発に関して、本格実用化開発が期待されるに十分な高い発電効率を達成したことは、産総研開発ベンチャー「株式会社モットイナイ・エナジー」の創立につながったことに加え、自動車の燃費改善や工場の廃熱発電などに応用されることが期待される。

(4) メタンハイドレートからのガス生産に係る圧力コア評価技術に関して、原位置での精緻な物性値を把握したことは、生産挙動の予測技術の精度向上につながる。本予測技術によって正確な産出計画を立てられることにより、民間主導の商業化プロジェクト開始を後押しできると期待される。

(5) 都市鉱山の開発では、自動・自律化可能な装置開発を行い、世界初の無人選別プラント設立

の目処をたてた。選別工程では手作業コストが約半分を占めているため、本プラント導入により大幅なコストダウンが期待される。

環境負荷排出量データベースの構築と普及では、製品や新たな技術のライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>排出量等の環境負荷排出量を算定することができ、国際的な枠組みに則ったデータベースに基づいた評価として日本製品の環境性能を高い信頼性に基づいてアピールすることが可能となる。

地域活性化の観点からは、FREAにおいては、福島を中心とする東北地方の再生可能エネルギー関連企業を被災地企業のシーズ支援プログラム等を通じて支援し、新たな製品を生む等、地元企業の産業創出に結びつけた。また、関西センターにおいては、LIBTEC、京大等との産学官連携も含めた蓄電池国際競争力が強化された。

#### 【課題と対応】

発表論文の引用数および知財実施件数は、第4期中長期目標期間に入って4年連続で増加傾向にあり、発表論文数についても高い水準で推移し、目標達成の見込である。一方で、民間資金による研究費獲得は、冠ラボの設立やイノベーションコーディネータの活動強化により平成30年度は前年度よりも増加見込であるものの、平成27年度から平成30年度は、与えられた目標を下回る見込となった。本質は下記のとおり構造的な課題と分析している。

当領域の担当するエネルギーや環境の研究は「2050年のCO<sub>2</sub>排出80%削減」に代表されるような長期の取り組みが必要なものとなっており、国際標準化活動なども含め、経済産業省の技術開発政策を担うものでもある。産業界や大学からの強い要望としても、公的資金による「研究プロジェクト」（橋渡し研究前期に相当）の中核的な役割を求められている。この結果、プロジェクトリーダーや事務局等を当領域が担当し、基盤・要素技術の提供、多数の参画企業・大学のとりまとめ、共同利用設備を備えた集中研の提供等、いわゆる「オープン・イノベーション・プラットフォーム」の運営に多くのリソースを投入している。獲得した民間資金を分析しても、約1/2は「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション（TPEC）」であり、個別企業との連携ではなく、むしろ「オープン・イノベーション・プラットフォーム」活動である。

時間軸が長い研究テーマを担当し、社会ニーズとしても「橋渡し研究前期」としての役割が強く求められている状況で、個別企業との連携を想定して設定された民間資金の大幅な増額には時間がかかり、今後も下記の観点で粘り強い努力を継続していく必要がある。

- (1) 研究コンソーシアム等のプラットフォーム型研究活動への民間資金の導入
- (2) プラットフォーム型研究活動からの個別資金提供型共同研究への移行
- (3) 技術コンサルティングからの資金提供型共同研究への移行

中長期的にも、「オープン・イノベーション・プラットフォーム」を通じた活動により、「エネルギーと環境」に関する協調領域の研究を、公的機関である産総研が中核として牽引するべきであると考えている。今後も、現在推進している公的資金による研究プロジェクトによる橋渡し前期研究を更に強化する一方で、上記の(2)のようなプラットフォーム型研究活動からの個別資金提供型共同研究への移行を増加させるべく、プラットフォーム型研究を強化していく。

### (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

#### 【背景・実績・成果】

当領域では、エネルギー・環境分野に特化した技術力を基に、民間企業への技術指導とコンサルティングを積極的に実施してきた。技術の橋渡しの初期段階に当たる技術研修は、平成27年度12社24名、平成28年度9社21名、平成29年度12社20名、平成30年度17社39名と増加傾向にあり、平成31年度も増加する見込である。平成27年度より創設された技術コンサルティング制度では、技術アドバイスや分析・評価の他に、将来の連携を見据えた先端技術調査や、新規事業に向けた連携研究テーマを双方の議論で導き出すコンセプト共創型のコンサルティング

も行っている。平成 28 年度は 2,696 万円、平成 29 年度は 8,010 万円、平成 30 年度は 12 月末時点で 9,498 万円と大幅に増加した。件数としても平成 28 年度は 15 件、平成 29 年度は 51 件、平成 30 年度は 47 件（12 月末）と大幅に増加している。これはイノベーションコーディネータによる技術コンサルティング制度の領域内への普及活動と研究者との連携の成果である。

太陽光発電や風力発電などを大量に導入する場合に、これら変動する分散電源の出力をスマートに制御して電力系統に接続することが求められている。FREA では、大型パワーコンディショナー等のパワーエレクトロニクス機器の先端的な研究開発・評価を行う施設として、スマートシステム研究棟を平成 27 年度に建設し、平成 28 年度に運用を開始した。この施設は分散電源やメガワット級の大型パワーコンディショナー等を世界の様々な電力系統や気象条件の下で試験・評価できる施設となっており、国内メーカーのタイ国向け海外認証への対応等、国際認証取得に貢献している（グローバル認証基盤整備事業）。平成 28 年度 4 社 16 件、平成 29 年度 7 社 21 件、平成 30 年度 7 社 21 件の利用実績であり、ほぼフル稼働状態を継続している。平成 31 年度も同様の運用を計画している。

また FREA では、被災地企業のシーズ支援プログラムを平成 25 年度より開始し、平成 25 年度から平成 29 年度までで計 44 社、107 件を実施した。平成 30 年度からは被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業という後継事業を開始し、再生可能エネルギー関連の技術を基に被災 3 県の企業の事業化支援を行っている。平成 30 年度は 8 件の製品化を数え、平成 30 年度までに製品化し売り上げを上げた実績は 17 件となった。平成 31 年度も事業化支援を継続予定である。

その他特筆すべき活動として、国際標準化活動が挙げられる。国際電気標準会議（IEC）の TC82（太陽光発電システム）および国際標準化機構（ISO）の TC28（石油製品および潤滑油）において国際議長を務めている他、第 4 期中長期目標期間においてコンビーナ延べ 7 名、プロジェクトリーダー延べ 7 名、エキスパート延べ 59 名を輩出している。平成 30 年度はコンビーナ、プロジェクトリーダーを務めた ISO 規格 5 件が発行され、第 4 期中長期目標期間における ISO、IEC の発行数は 14 件に上るなど、顕著な貢献を行った。平成 27、30 年度には工業標準化事業表彰・経済産業大臣表彰を受け、平成 27、28 年度には産業技術環境局長表彰（国際標準化貢献者表彰）、平成 28、30 年度には国際標準化奨励者表彰をそれぞれ 1 件受けた。平成 31 年度も引き続き国際標準化活動を行い、産業技術の発展に貢献していく見込である。

#### 【成果の意義・アウトカム】

技術研修・技術指導、技術コンサルティング等で企業と連携する意義は、実社会で必要とされている技術、社会・経済の動きが察知できるところにある。例えば、「気象データ解析による農作物収穫量予測に関する技術コンサルティング」では、契約納期における収穫量を気象データにより予測することにより、これまでは投機的な契約であった農作物契約を科学的に支援し、生産者・需要者に同時にメリットを与える。また次年度以降に技術コンサルティングから共同研究に移行する例も多々あり、産総研という存在と産総研の技術を社会に認知してもらうことに役立っている。

被災地シーズ支援プログラムでは、製品化実績が年度を追うごとに増加している。平成 30 年度からは、それ以前の個社支援のみならず、関連企業によるコンソーシアム形成による企業間連携も開始し、FREA はその取りまとめ役を果たした。そのような新しい体制による連携強化を通じて、被災地企業等の再生可能エネルギー技術のシーズ開発・事業化支援事業を進め、被災地の産業復興支援に大きく貢献した。

#### 【課題と対応】

第 4 期中長期目標における民間資金獲得額目標の達成には、民間資金獲得額の増額が大きな課題となっているが、技術コンサルティングの大幅な増加は民間資金獲得額の増額に寄与している。技術コンサルティングのテーマ設定は、後年度の資金提供型共同研究につながるように留意しており、今後の共同研究として民間資金獲得拡大が期待される。しかしながら、民間資金獲得額目標の達成には大型の共同研究が必要であり、領域のイノベーションコーディネータとイノベーシ

ョン推進本部との連携が重要となる。

被災地シーズ支援プログラムは平成 29 年度で終了したが、被災地企業の支援継続の強い要請を受けて、後継予算（平成 30 年度から平成 32 年度）を獲得し、地元企業の新たな産業創出を継続支援する体制を整えた。

中長期的な課題としては、

- ・ NEDO の先導調査研究等からの大型個別共同研究への展開
- ・ 技術コンサルティングから個別共同研究への展開
- ・ 研究ユニットの研究人材の増強

等が挙げられる。これらの課題を解決するために関係部署との協議により対応を進める。

### (3) マーケティング力の強化

#### 【背景・実績・成果】

当領域は産業技術の共同研究成果を共同で管理し、組合員相互で活用する法人である技術研究組合への参画やコンソーシアムの主催を通じて、最新ニーズの把握に努め、産総研の技術力と中立的立場を活かした産業界の研究開発のハブ機能の創成に寄与している。

領域担当のイノベーションコーディネータ（3 名）の活動として、新たな共同研究先企業の発掘を目的に、イノベーション推進本部と共同で大型案件への対応や定期的なマーケティング会議への参画による情報共有、テクノブリッジフェアへの大型連携企業の招待と技術研究組合やイノベーション・コンソーシアム型共同研究の運営および支援活動により、最新のマーケットや技術動向と企業ニーズを把握し、産総研技術との連携に努めている。エネルギーデバイス産業、エネルギー産業、自動車産業に加え、素材・化学産業への産総研技術の橋渡し等に努力している。特に自動車産業に向けては、エネルギー損失低減技術（熱電変換、軽量化素材）や排気処理（触媒技術）、将来システムの基礎技術（電動化、新燃料）の展開を行ってきた。

平成 30 年度までに、以下のようなコンソーシアムを設立し、企業との連携強化を図った。

- ・ 産総研が会長・幹事長を務めて総数 100 に及ぶアカデミア研究室の連合体を組織し、内燃機関産学官連携コンソーシアムを平成 29 年 6 月に設立し、自動車業界のエンジンシステム技術に関するニーズに応える研究体制を確立した。平成 31 年度は自動車エンジンに関するデータベースを構築し、技術研究組合 AICE と共同で運用する見込である。
- ・ 産総研の 8 ユニット、8 研究グループ等の 35 名の研究者による「戦略的都市鉱山研究拠点 (SURE)」と企業連携組織「SURE コンソーシアム（企業 61 社、27 公的機関、産総研 35 名の研究者より構成）」が連携し、天然鉱山と価格競争が可能な都市鉱山の開発を目指している。SURE コンソーシアムの会員が中心となり、平成 29 年度より 6 年間の NEDO プロジェクトを開始した。当領域の研究者がプロジェクトリーダー（PL）を務め、廃製品自動選別技術・廃部品自動選別技術・高効率精錬技術開発について多角的な橋渡しを実施し、数千万円規模の民間資金の獲得にもつながった。平成 30 年度には NEDO プロジェクトの加速的開発を目的に設置した集中研究施設を産総研内に開所した。なお PL は平成 29 年度の日経地球環境技術賞優秀賞を受賞した。平成 31 年度も引き続き SURE コンソーシアムを意見交換の場として活用していく見込である。
- ・ 平成 28 年度に、固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム（ASEC、企業 14 社、3 大学、産総研 16 名の研究者より構成）を設立し、固体酸化物型燃料電池の抱えるトリレンマ（経済性・効率性・耐久性）を解決可能な基盤技術の開発と技術革新による適用先の開拓を検討する体制を構築した。3 年間の研究活動により、従来比 10 倍の高性能電極・従来比 10 倍の出力密度のセルを達成し、その製造方法と課題整理を行った。平成 31 年度からは現在の 13 機関に加え、材料企業、セルスタック企業、システム企業、利用企業等が集まる集団に拡大再編成を見込んでいる。

環境技術の性能評価研究（LCA）に基づく環境負荷分析の基盤となるインベントリデータベース（Inventory Database for Environmental Analysis:IDEA）の開発については、国連環境計画（UNEP）がグローバルなインベントリデータベース間の相互利用を目的として構築を進めている

グローバル LCA データアクセスネットワーク (GLAD) に IDEA の研究者が日本の代表として参加していることから、IDEA に特化した窓口組織の設置と研究開発中の技術の環境適合性を評価するニーズに応えるため、IDEA ラボを平成 29 年 4 月に設立した。また、国内外の主要な LCA ソフトウェアにデータを提供することにより、国内にとどまらず海外のユーザーに向けても普及活動を進めている。日本の基盤データベースとして産業技術の環境活動に大きく貢献したことが評価され、平成 28 年度には LCA 日本フォーラムより経済産業省産業技術環境局長賞を受賞している。データセット数の蓄積を平成 30 年度も続け、平成 31 年度には IDEA ver. 2.3 をリリースする見込である。

板状大型単結晶ダイヤモンド製造技術による産総研発ベンチャー企業（イーディーピー：設立平成 21 年 9 月）が、大型切削工具や次々世代半導体につながる 1 インチウェアを製品化し、平成 29 年度には売上 3 億円を上回る成長を達成したことが評価され、産学官連携功労者表彰（内閣総理大臣賞）を受賞した。（関西センター）

産総研のサポートにより、株式会社ニッコーが水産物の鮮度保持に優れたシャーベット状の海水氷（シルクアイス）を、船の上で海水から製造する漁船搭載用の製氷機を開発し、実用化されたことが評価され、平成 29 年度に第 7 回ものづくり日本大賞の製品・技術開発部門において「内閣総理大臣賞」を受賞した。平成 30 年度も 3 台販売され、販売累計 30 台に達している。

#### 【成果の意義・アウトカム】

自動車業界がパワートレインに関する基盤技術の強化と次世代を担う産学双方の研究開発人材の育成のために設立した技術研究組合 AICE に産総研も参加している。この中で、産総研は研究開発のみならず、自動車業界と大学を主体とするアカデミアとの結節点（ゲートキーパー）として、産業技術ニーズと基礎研究の通訳・交通整理役を果たしてきた。平成 29 年度、当領域内に立ち上げた内燃機関産学官連携コンソーシアムでは、技術研究組合 AICE を通じて産業界のニーズを把握し、産総研を含むアカデミアの力を結集して連携することで、多角的に課題に対応できる体制を構築してきている。今後、産業界からの資金・人材のリソース提供を含む支援を得つつ、持続的な連携体制を推進することになり、特筆すべき成果と考えている。自動車の電動化へのシフトが顕著になってきており、パワーソースとしての内燃機関、燃料電池、さらに周辺技術のパワエレや蓄電池等への研究対象の広がりも期待される。人工資源からの金属生産技術を確立する戦略的都市鉱山技術の導入 10 年間で、日本の金属生産市場が 5.3 兆円となることが見込まれることから、日本再興戦略、NEDO 技術戦略が策定されるなど、SURE コンソーシアムを中心とした動静脈連携による日本型「戦略的都市鉱山」に社会的な期待が高まってきた。

LCA の基盤となる IDEA ラボの活動において、インベントリーデータベースに関するライセンス 226 件を既に販売しており、日本企業の環境性能分析を支えることに加えて、国際的にも日本初のトップデータベースとして認知された。

#### 【課題と対応】

平成 29 年度に設立した内燃機関産学官連携コンソーシアムを始め、本領域では技術開発コンソーシアム等の主催や技術研究組合への参画例が多い。NEDO プロジェクトも含め、業界のニーズに応える形で、協調領域・前競争領域でのオープン・イノベーション・プラットフォームを形成・運営することが、当領域の大きなミッションと判断している。直接的・顕在的な産業ニーズ対応だけでなく、未来型・潜在的な産業技術ニーズも発掘される場合が多く、当領域にとっての重要な技術マーケティング活動としても位置付けている。

プラットフォームの運営には、産業界の意向により公的資金（NEDO、SIP 等）を確保に動く場合が多いが、民活型の共同研究体 TPEC や、技術研究組合 AICE、技術研究組合 LIBTEC などでは多額の民間資金も供出されている。公的資金/民間資金を区別するのではなく、我々がどういった形で産業貢献することが真の産業振興につながるのか、それを常に検証しながら運営することが求められる。なお、プラットフォーム活動の中から、競争領域に入るようなテーマについては個別企業との連携に進む場合もあり、今後はプラットフォーム活動からの個社連携への展開にも注力したい。

中長期的な課題としては、

- ・NEDO の先導調査研究等からの大型共同研究への展開
- ・イノベーション・コンソーシアム型共同研究の設備更新における減価償却費の考え方の導入
- ・大型機器導入時の公示期間の短縮
- ・研究ユニットの研究人材の増強

等が挙げられる。これらの課題を解決するためには関係部署との協議により対応を進める。

#### (4) 大学や他の研究機関との連携強化

##### 【背景・実績・成果】

当領域では大学等と連携して、将来の産業化を見据えた目的基礎研究の強化に取り組んでいる。平成 27 年度より本格運用されたクロスアポイントメント制度を利用して、エネルギー・ナノ工学ラボ（東京大学）、イオン液体の電気化学的応用技術開発（大阪大学）、再生可能エネルギー研究開発（山形大学）、アンモニアガスタービン研究開発（東北大学）など、平成 27 年度に 6 名、平成 28 年度に 3 名、平成 29 年度に 2 名の研究者の受入・出向を行い、平成 30 年度も継続して連携し、研究を行っている。平成 30 年度には新たに 9 名の研究者の受入・出向を行い、MOSFET のチャンネル形成におけるダイヤモンド表面制御に関する成果などを上げた。また、平成 28 年度より経済産業省が進める「オープンイノベーションアリーナ構想」の一環として、大学等のキャンパス内に設置する産学官連携研究拠点「オープンイノベーションラボラトリ (OIL)」の整備に取り組み、大学等の基礎研究と、産総研の目的基礎研究・応用技術開発を融合し、産業界へ技術の「橋渡し」を推進した。平成 28 年 4 月に名古屋大学内に設置した窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ (GaN-OIL) については、窒化物半導体技術の実用化のために必要な結晶技術、デバイス技術、回路技術などの開発を行った（平成 30 年 8 月 1 日をもってエレクトロニクス・製造領域に移管）。また平成 29 年 1 月に設置された産総研・九大水素材料強度ラボラトリ (HydroMate) では、九州大学が有する世界トップレベルの高圧水素ガス中でのマクロレベル材料強度評価技術と、産総研が有する水素ガス中でのナノレベルの材料組織評価技術を融合し、金属材料の脆化現象の解明を目指した研究を進めている。なおこれら 2 つのラボは、内閣官房「まち・ひと・しごと創生本部」決定の「政府関係機関移転基本方針」を踏まえて設立されている。平成 29 年 4 月には、エネルギー化学材料オープンイノベーションラボラトリ (ChEM-OIL) を京都大学内に設置し、新材料・新概念に基づく先駆的エネルギー変換・貯蔵技術を軸として、次世代のエネルギー化学材料技術の企業への橋渡しによる早期実用化を図るため、有機、無機、高分子、生体材料等の材料研究で世界をリードする京都大学との連携研究を開始した。平成 31 年度は引き続きクロスアポイントメント制度を利活用し、大学等との積極的な連携を図り、目的基礎研究の強化を行うとともに、新たにオープンイノベーションラボラトリを新設し、産業界へ技術の橋渡しを推進する見込である。

他研究機関との国際連携に関しては、平成 29 年度までに航空宇宙センター (DLR、ドイツ) とエネルギー変換・貯蔵に関わる研究連携に関する協定を、パシフィックノースウェスト国立研究所 (PNNL、米国) と包括研究協力覚書を、欧州委員会共同研究センター (JRC) と研究連携に関する協定をそれぞれ締結した。また、平成 28 年 3 月に産総研とブラウンホーファー研究機構 (Fhg-ISE、ドイツ)、国立再生可能エネルギー研究所 (NREL、米国) の 3 機関が中心となり、世界を代表する専門家 (研究所、大学、政府機関、製造メーカー、金融等) 約 50 名が参加した第 1 回テラワットワークショップを開催し、エネルギー安定供給や気候変動抑制における太陽光発電の役割について議論を行い、共同ステートメントを策定・公表した。その成果は平成 29 年 4 月に Science 誌 (IF:41.058) に掲載され、注目を集めた。平成 30 年 4 月には第 2 回 (約 70 名参加) を開催し、いよいよ現実化するテラワット太陽光発電時代への対応を協議した。経済産業省委託の「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業」(全 10 事業) では、エネルギーに関する技術開発を国際機関と連携して進めており、平成 30 年度までにオランダエネルギー研究セ

ンター (ECN) や PNNL 等 6 ヶ国 26 機関と連携するに至った。平成 31 年度も継続して連携強化に努め、研究開発を進める。

#### 【成果の意義・アウトカム】

大学とのクロスアポイントメントによる人事交流では、研究論文の増加や技術書の執筆などが進んでおり、目的基礎研究力の強化に着実につながってきている。また FREA での共同実証実験においてもアンモニア燃焼の成功などの成果が生まれ、水素エネルギー技術の実用性向上に貢献した。GaN-OIL (名大)、ChEM-OIL (京大)、HydroMate (九大) ともテーマの絞り込みや研究設備も整備が進み、GaN を用いたパワーエレクトロニクス技術 (省エネルギー) の進展や燃料電池、蓄電池等に应用可能な新規電極触媒への展開 (蓄エネルギー) 等が期待できる。このように目的基礎から橋渡しまでのシームレスな体制を組むことができ、研究成果の社会実装への加速が期待される。

#### 【課題と対応】

クロスアポイントメント制度や OIL 制度は近年開始した制度であるが、新たな OIL を設立するなど着実に進展している。両制度は、通常の共同研究とは異なるため、その効果に関する現状分析と、課題の整理を行う必要がある。また当該制度の主な目的の一つは人材交流であり、将来を担う優秀な人材の確保につながるようなスキームの構築が課題であると認識している。具体的な対応としては、クロスアポイントメントや OIL 等で取り組んでいる研究の状況を、報告会開催などを通じて領域が定期的に把握し、リサーチアシスタントの雇用など、活発な人材交流が進むよう状況に応じた現場への支援を実施する。

外部機関との連携を強化・拡大していく方向性は、中長期的にも変わることはないと考えている。クロスアポイントメントやリサーチアシスタントあるいは OIL を始めとして、制度上の整備が進んだことから、これらの外部連携手段を有効に活用していくことが重要である。一方で、外部連携のいたずらな拡大に陥ることなく、これらの運用とその効果を間断なく検証しつつ、個々の連携を深化していくことが必要である。

### (5) 研究人材の拡充、流動化、育成

#### 【背景・実績・成果】

当領域に所属する研究ユニットは、豊かで持続可能な社会の構築に貢献することをミッションとしている。これに資するため、研究に携わる人材の育成と社会への技術普及に努めるべく、リサーチアシスタント、イノベーションスクール、連携大学院制度を通じた取り組みを行った。社会への高度人材の輩出を目指した産総研イノベーションスクールでは、第 4 期中長期目標期間中に学位取得済の博士研究員を対象とした PD コースに 10 名 (平成 30 年度は 4 名) を受け入れ、学位取得前の大学院生を対象とした DC コースでは 6 名 (平成 30 年度は 0 名) を受け入れ、エネルギー・環境分野における高度な専門知識を有する人材育成に貢献している。また、第 4 期中長期目標期間中のリサーチアシスタント数は 144 名 (平成 30 年度は 43 名 (12 月末時点)) に上った。その他、産総研研究者が大学院において教員として講義や学生指導を行う連携大学院制度を通じて、筑波大学を始めとした各大学において延べ 224 名 (平成 30 年度は 43 名) の連携大学院教員を送り出し、領域研究者の持つ高度な知見を大学院生への指導に活用した。平成 31 年度は引き続きリサーチアシスタント、イノベーションスクール、連携大学院制度を通じ、研究に携わる人材の育成と社会への技術普及に努める。

また、女性研究者の採用増加に向け、ダイバーシティ推進室が平成 28 年度より毎年度開催している「女子大学院生・ポスドクのための産総研所内紹介と在職女性研究者との懇談会」において、ラボツアーやパネル展示など積極的に協力した。また、ロールモデルとして当領域の在職女性研究者を数名参加させ、女性研究者としてのキャリアをイメージさせるよう努めた。その結果として、平成 30 年度の採用試験応募者および採用者における女性の比率は増加した。平成 31 年

度は引き続き女子学生・ポストドクターへの広報活動に積極的に取り組み、採用試験応募者および採用者における女性の比率を増加させる見込である。

外部人材教育においては以下の活動を行っている。

・先進パワーエレクトロニクス研究センターでは、筑波大学 TIA（つくばイノベーションアリーナ・ナノテクノロジー拠点）連携大学院パワーエレクトロニクスコースの連携講座（3 教員）で講義を担当するとともに、つくばイノベーションアリーナ（TIA）/TPEC の産業人材育成プログラムであるパワーエレクトロニクスサマースクールに協力し、平成 30 年度も 120 名（学生 93 名、社会人 27 名）の修了者を出した。第 4 期中長期目標期間における累計の修了者数は 525 名に達する。

・再生可能エネルギー研究センターでは、クロスアポイントメント制度とも関連して、大学から人材を受け入れている。平成 30 年度は、ポストドクター・技術研修など計 52 名の再生可能エネルギー分野の人材育成を行っている。また復興予算を用いた産業人材育成事業等では、平成 29 年度は 20 件、平成 30 年度は 16 件（12 月時点）に上る人材育成を伴う共同研究を行った。（FREA）

・メタンハイドレート（MH）総合シンポジウムなどのアライアンス活動を通じて、企業の研究開発人材に対して産総研が有する研究知見の橋渡しを行った。本シンポジウムは平成 21 年度から毎年実施しており、平成 29 年度は 350 名超の参加が得られた。内容的には、砂層型 MH に関する各種生産増進法に関する報告やハイドレートに関する基礎物性の話題の他に、表層型 MH 回収技術開発に関する調査研究が新たに報告されるなど、ハイドレート研究の裾野が広がってきている。

・環境管理研究部門では平成 30 年度には戦略的都市鉱山研究拠点（SURE）コンソーシアム主催のリサイクル技術セミナーを 2 回開催し（各回の受講者 73 および 64 名）、動脈産業・静脈産業・政府機関等の会員に対して、近未来の都市鉱山開発のための技術力向上と発展に努めた。第 4 期中長期目標期間における累計の出席者は 682 名（11 回開催）に達した。

平成 31 年度も引き続き外部人材教育を行い、領域研究者の持つ高度な知見・技術を社会に還元していく見込である。

内部人材育成に関しては、領域内研究連携の推進を目的として、領域長による領域運営方針の共有、全研究ユニット長によるパネルディスカッション、新規採用研究者のポスター発表等、当領域独自の研究交流会（E&E フォーラム）を年 3 回程度実施している。また若手研究員指導体制として、パーマネント化審査 1 年前には領域幹部および研究ユニット長を前にした研究進捗状況報告会を行うとともに、研究員の所属する研究グループのグループ長にも指導方針に関するアドバイスを送っている。パーマネント化審査 2 ヶ月前には、E&E フォーラムにて進捗状況を報告させ、領域幹部、研究ユニット幹部、聴講者によるアドバイスを通じた指導を行っている。パーマネント化した研究員には 1、2 年間の産総研内外への出向の機会を与え、OJT による研究マネジメント業務の経験を積ませて将来の幹部人材の育成を行っている。その他、平成 27 年度より海外の大学・研究機関での在外研究のための派遣支援を開始し、これまでに 7 名（平成 30 年度は 1 名）の在外研究を支援した。平成 31 年度はこれまでと同様に内部人材育成を行うとともに、領域内研究連携を目的としたアライアンスを強化し、幅広い視野を持った研究者を育成する見込である。

#### 【成果の意義・アウトカム】

筑波大学 TIA 連携大学院パワーエレクトロニクスコース連携講座の運営や、TIA/TPEC パワーエレクトロニクスサマースクールの開催、FREA における再生可能エネルギー研究人材の育成、メタンハイドレート研究のアライアンス活動、都市鉱山技術に関するセミナーの開催等、様々な外部人材育成の機会を主体的に設け、これらの分野での産業人材育成に貢献した。

内部人材育成に関しては、領域独自に定期的に研究交流会を開催し、研究ユニットを跨いだ連携を積極的に推進している。またパーマネント化前の若手研究員に対し、領域を挙げて指導する体制を整え、将来のエネルギー・環境分野を担う研究人材を育てた。更にパーマネント化した研究員には、OJT による研究マネジメント経験を積ませたり、海外での在外研究を支援したりする

ことにより、能力の幅と奥行きを持たせた。

#### 【課題と対応】

当領域の対象とする主な研究テーマは、出口に近いものであり、専門の異なる研究者が融合しながら研究を進めている。新規採用によって入所する研究者は、主に所属するユニット内で研究遂行に必要な知識や方法論を習得することが多く、視野を広げることが難しいことが課題である。第4期では、領域内にアライアンスを設置し、異なる研究ユニットに属する若手から中堅クラスの研究者の交流を促進させ、若手研究者の視野を広げることも行っており、今後もアライアンス活動の拡充等を通じて、幅広い視野を持った研究者を育成する。また、当領域では研究ユニット幹部やグループ長、所内の要職に女性研究者を積極的に登用しているが、女性研究者の比率は約9%と低い。平成30年度の採用者における女性比率は前年度比で上がっているが、女性研究者の新人採用をさらに拡充することが課題である。リサーチアシスタント制度などを利用して、女性研究者を含む幅広い人材交流を強く推し進めることにより大学との連携を強化し、研究職員の採用につなげる。これに加え、当領域の女性研究者による女子大学院学生・ポストドクターとの懇談会等を行い、女性研究員の積極的な採用を目指す。

中長期的にも優秀な研究人材の確保と女性研究者の比率上昇は重要な課題と捉えている。クロスアポイントメント制度やOIL制度、リサーチアシスタント制度などを活用しながら、大学等との連携を深化させる。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

#### 【背景・実績・成果】

当領域では「目的基礎研究」として、次世代に大きく成長する可能性を秘めている多彩な研究テーマを積極的に発掘し、研究を推進した。特筆すべき研究トピックとして小項目(2) エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発（蓄エネ）より「高容量革新型蓄電池」と「水素キャリア」の背景・実績・成果を以下に示す。

低炭素社会の実現に不可欠な自動車の電動化や再生可能エネルギーを活用した発電の普及加速のためには、従来のリチウムイオン電池(LIB)を超える高容量・省資源・低コストを実現する革新的な二次電池の開発が求められている。

電気自動車の普及には、現行のガソリン自動車と同程度の航続距離を実現する高容量の二次電池の開発が不可欠である。その正極材料候補である硫黄材料は現在市販されている正極材料と比べ約10倍の高容量が期待できるが、充放電時に電解液へ溶出するため寿命特性に課題があった。平成29年度までに硫黄を金属と結合させ非晶質金属多硫化物とすることで、充放電中の電解液への溶出が抑制でき、高容量での充放電が可能となることを確認した。平成30年度には当該正極とLi金属負極を組み合わせ、市販LIBと同程度のサイズの8Ah級電池を試作し、現行LIBの3倍の走行距離が見込める314Wh/kgのエネルギー密度を実証した。平成31年度にはこの電池の長寿命化に取り組み、実用に目途をつけるマイルストーンとして充放電100サイクルを見込んでいる。(関西センター)

再生可能エネルギー普及や電力網の需給調整用の電力貯蔵用電源の大量導入には、資源制約のない低コストな二次電池が求められている。豊富な資源のみで構成でき、現行のリチウムイオン電池と同等以上の性能が期待できるカリウムイオン電池に注目し、平成29年度までに、120種類を超える新規なカリウム複合金属酸化物正極材料を合成し、平成30年度には、これまで動作電圧が3V程度であった酸化物正極材料においてLIBと同等の4V級で動作可能な高電圧正極材料の開発に成功した。平成31年度には、組成の最適化によりリチウム系と同等以上の比容量の150

mAh/g を実証する予定である。(関西センター)

現行のリチウムイオン電池の理論容量を超える従来の電池系とは異なる原理で動作する革新電池の開発が必要である。革新電池の一つである亜鉛-空気電池は容量および安全性が高い一方、現状では大気中の酸素と反応がおこる空気極の反応性を向上させる触媒性能の不足により効率よく充放電ができない(過電圧)、また負極側で充放電時に生じる樹枝状(デンドライト)の亜鉛の析出による内部短絡等様々な課題がある。本研究では、配位高分子(MOF)を鋳型・前駆体として用いた機能性炭素材料合成法を活用し、白金と比べより活性の高い空気極触媒の開発に取り組んだ。平成 30 年度には、MOF ナノチューブの合成に成功し、これを前駆体として熱処理することで新規な構造を有するコバルトを担持したナノカーボン触媒を開発し、白金と比べ過電圧が 0.2 V を抑制し、かつ最大出力が 1.7 倍となる高性能な非貴金属空気極触媒を実現した。平成 31 年度には、さらにコバルトなどを用いずに同等の活性、耐久性を有するレアメタルフリーの電極触媒を開発する見込である。(ChEM-OIL)

脱化石燃料(低炭素社会)に向かって、水素を二次エネルギーとする社会の構築が求められている。そのために、体積エネルギー密度の小さい水素を効率よく貯蔵・運搬する手段として、アンモニア、メチルシクロヘキサンなどの水素キャリアの技術開発が進められている。これらは発電等の大規模利用の点で優れているが、水素製造におけるエネルギー効率が低く、中小規模での利用に課題があった。平成 29 年度までに、80℃に加温するだけで、ギ酸から高圧(100 MPa 超)水素の生産が可能な触媒を開発し、ギ酸の水素キャリアとしての優れた特性を示した。平成 30 年度は、水素貯蔵の観点から、アルカリ水電解による水素製造を経由することなく低電位での二酸化炭素電解還元により再エネ電力から直接ギ酸合成の可能性を示した。さらに、従来、高温高圧条件(200℃以上、5 MPa)が必要であった二酸化炭素からのメタノール合成を、高性能触媒の開発と反応条件の最適化により、低温反応条件下(70℃以下)で実現することに成功した。本成果により、二酸化炭素の有効利用とともに、他の水素キャリアでは到底実現できない「燃料電池の劣化原因である一酸化炭素を副生しない高圧水素の簡便な供給」を実現した。平成 31 年度は、二酸化炭素からのギ酸を製造する触媒の高性能化・固定化による生産性向上が見込まれる。

「目的基礎研究」における、上記以外の各小項目の研究テーマの背景・実績・成果を以下に示す。

#### 1. 新エネルギーの導入を促進する技術の開発(創エネ)

さまざまな化学薬品の製造には膨大な化石燃料のエネルギーが使用されており、その省エネルギー化や二酸化炭素フリー化は非常に重要な課題である。産総研は、殺菌や漂白、洗浄などの用途で利用される過酸化水素や次亜塩素酸などの酸化的な有用化学薬品を、太陽光エネルギーを利用して製造する高性能な光電極技術を開発し、この新規分野を広く開拓しながら論文と特許を出している。平成 29 年度は、有機合成酸化剤として利用される 7 価クロム酸生成における電流効率(電子の反応選択性)が約 100%となる反応プロセスを確認した。平成 30 年度は、環状炭化水素からナイロン原料を生成する反応における電流効率が 100%に近いことを確認した。平成 31 年度は、高い電流効率の反応の種類を更に増やししながら、本分野における広い特許群構築の強化を行う予定である。

海洋プレートの沈み込みに起源を有する超臨界地熱システムを利用した超臨界地熱発電により、一地点で 100 MW 以上の膨大な発電が実現できる可能性がある。平成 27 年度は、産総研が中心となり、民間企業・大学と共に超臨界地熱発電の可能性検討を行い、商用発電が可能なことを見出した。その後、詳細な調査・検討を行い、平成 28 年度は、一地点で 100 MW 以上の経済性を有する発電を実現可能であることを示した。さらに平成 30 年度は、地下 5 km までの大深度への試掘へ向けた事前調査を開始した。平成 31 年度は、2020 年度末までに行う試掘有望地点の選出を行い、そこでのエネルギー量の評価を達成する。(FREA)

#### 2. エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発(蓄エネ)

水素環境下で金属材料の引張強さ、伸びなどの材料強度特性を低下させる水素脆化現象は、強度特性が高いほど顕著になるため、引張強さ 1,000 MPa を超える耐水素脆化材料は未だ実用化されていない。そこで、材料に与える水素の影響をナノからマクロレベルまでマルチスケールで解析し、水素脆化現象の根源的理解とそれに基づく新規高強度耐水素脆化材料開発のための指針の構築を進めている。平成 30 年度は、水素環境下での純鉄のき裂先端部において水素が塑性変形を抑制する可能性を見出し、従来にはない新たな水素脆化モデルを提案した。平成 31 年度は、マルチスケール解析を進めるとともに、変形・破壊挙動のシミュレーションを用いて、実験で得られた水素脆化挙動を再現可能な力学モデルを構築する見込である。(HydroMate)

### 3. エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）

未利用熱エネルギーを有用な電力に変換できる熱電変換技術を普及させるためには、変換効率の向上が不可欠である。既存技術では 7%程度であった変換効率を、ナノ構造の形成により平成 27 年度には 11%、電荷キャリア濃度の制御等を加えることで平成 30 年度には 12%に向上させた。平成 31 年度には、変換効率の高効率化に必要不可欠であったテルルといった希少元素を資源制約の少ない硫黄といった汎用的な元素に代替した熱電材料を開発する見込である。

パワーエレクトロニクス応用に向けたダイヤモンド半導体関連技術では、その材料特性から最高のパワーデバイス性能が期待されているが、高品質のセンチ級大型結晶実現とデバイス化プロセスの確立が鍵となっている。平成 28 年度に基本プロセスの改善を進めてパワー応用に必須となる信号電圧をかけた時のみ導通する（ノーマリオフ型）MOSFET の動作実証に世界で初めて成功した。デバイス構造形成用の大型ウェハ開発も並行して進め、平成 30 年度には従来の約 20 倍サイズの 2 cm<sup>2</sup> ウェハを実現した。これらの成果でダイヤモンド半導体の実用的なデバイス応用ポテンシャルを実証することができた。平成 31 年度にはこれらの大型ウェハを用いたダイヤモンド pin ダイオードでシリコンパワーデバイスに比肩する耐圧 6.5 kV を実現する見込である。

### 4. 環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）

各種産業廃水の生物学的廃水処理において、プロセスを高効率化・省エネ化・低コスト化するためには、有機物分解の中核となる微生物集団を含んだ活性汚泥の制御が課題となっており、活性汚泥中の微生物群集の網羅的解析が不可欠である。平成 29 年度までに、環境中の膨大な遺伝情報が取得可能な次世代シーケンサーを用いて、主要構成微生物である「細菌」の大規模同定技術を確立した。平成 30 年度は、汚泥における原生動物等の重要性が明らかとなったことから、細菌より高等かつ大きな微生物である「真核生物」の大規模同定技術を確立し、世界最高レベル（1 サンプル当たり 3 万種レベル）で実産業廃水処理汚泥中の主要な真核生物の特定に成功した。本成果は、平成 30 年度より開始の SIP 戦略的イノベーション総合プログラム（スマートバイオ産業）つながりの採択につながった。平成 31 年度は、複数企業が有する各種産業廃水汚泥を解析することで、異なる廃水種やプロセスにおける微生物種の情報の蓄積・拡充が見込まれる。

第 4 期中長期計画期間における「目的基礎」研究の評価指標となる論文発表数については、平成 27 年度から平成 29 年度は 462、433、491 報であり、目標値を達成した。平成 30 年度も 12 月末時点で 299 報（目標 450 報）と昨年同月比 89%であり、目標値を大幅に上回った昨年度と同水準である。また、平成 27 年度から平成 29 年度に発表された論文の内 Q1 ジャーナル（各研究分野における IF 上位 25%の雑誌）に掲載された論文は平均 50%（Q2 ジャーナル（各研究分野における IF 上位 26-50%の雑誌）を含めると 75%）であり、論文発表数だけではなく、質の高い雑誌に継続して掲載されているといえる。論文被引用数に関しては、平成 27 年度から平成 29 年度は 15,552、16,302、17,474 回であり、目標値を上回った。平成 30 年度は 12 月末時点で 18,631（目標 17,000）であり、目標値を大幅に上回った。研究領域に関係なく比較が可能な指標である相対被引用度（Category Normalized Citation Impact (CNCI)）は平成 27 年度から平成 30 年度の平均で 1.52 であり、世界平均の 1 から大きく上回り、また、Clarivate Analytics 社の Highly Cited Researchers（日本では 75 名（平成 28 年度）、72 名（平成 29 年度）、90 名（平成 30 年度））に 3 件（2 名）が 3 年連続（平成 28 年度から平成 30 年度）で選出されるなど、質の高い目的基

礎研究成果を発信している。平成 31 年度も引き続き、質の高い目的基礎研究成果を推進し、論文引用数では 17,000 回、論文発表数では 450 報を見込んでいる。

#### 【成果の意義・アウトカム】

「目的基礎研究」において特筆すべき研究成果である「高容量革新型蓄電池」および「水素キャリア」の成果の意義・アウトカムを以下に示す。

金属多硫化物正極材料の開発に関しては、既存の正極材料の約 4 倍の高容量化に成功し、これを用いて市販電池とサイズ（同等容量）のリチウム電池を試作し、約 3 倍の高いエネルギー密度を実証した。高密度にエネルギーを貯められることで、より小型軽量の二次電池が実現できる。この結果より電気自動車のみならず飛行体への搭載も視野に入れることが可能となる。本成果は Journal of American Chemical Society (IF: 14.357)をはじめ、合計 9 報論文掲載された。（関西センター）

新型カリウムイオン電池の開発では、高性能な電極材料の開発により、資源制約の少ない低コストなカリウムイオン電池の実現の可能性を示した。今後は材料の高性能化を進めていくとともに、電池レベルでリチウムイオン電池と同等以上の性能実証を目指し、電力需給調整のための電力貯蔵システムへの展開が期待される。なお、本成果は、平成 30 年度に Nature Communications (IF: 12.353) に掲載され、さらに日本経済新聞等 7 紙で報道された。（関西センター）

MOF 利用の高性能空気極触媒開発では、従来の白金触媒とくらべて高性能を実現し、安価かつ高出力の亜鉛-空気二次電池に基づく高効率低コストな蓄電システムの実現に資するものとして高く期待される。本成果は、平成 30 年度に Advanced Energy Materials (IF: 21.875) はじめ、IF10 以上の論文に合計 4 報掲載された。今後は、空気極触媒の性能向上に加え、電解質の開発を進め、高性能亜鉛-空気電池の実証を目指す (ChEM-OIL)。

ギ酸・メタノール/二酸化炭素の相互変換を利用した水素キャリアでは、独自の触媒開発により、ギ酸からの高圧水素発生、および二酸化炭素からの高効率なギ酸・化学品合成を可能とした。ギ酸は優れた液体系水素キャリアであるとともに、70 MPa 以上の高圧水素の低コストな供給によりギ酸を用いた水素ガスステーションでの実証が期待される。また、二酸化炭素からの高効率なメタノール合成は、燃料利用に加えて、需要の大きいオレフィン等の基礎化学品への利用が想定できるため、二酸化炭素の有効利用に向けた多大な寄与が期待できる。今後、国内外の研究機関、産業界との連携を通じて、社会実装を目指す。なお、本技術は、平成 27 年度から平成 30 年度に、Chemical Reviews (IF: 52.6、総引用数 420 回)、Advanced Energy Materials (IF: 21.9) 等の総説や、ACS Catalysis (IF: 11.4) 8 報など著名な雑誌に 35 報掲載された。また、石油学会平成 29 年度 第 54 回論文賞を受賞、平成 27 年度に日刊工業新聞等 4 紙で報道され、高く期待されているところである。

「目的基礎研究」における、上記以外の各小項目の研究トピックの成果の意義・アウトカムを以下に示す。

#### 1. 新エネルギーの導入を促進する技術の開発（創エネ）

太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造に関して、殺菌や漂白、洗浄などの用途に利用される過酸化水素などの酸化剤を簡易生産することができるため、殺菌溶液製造装置等の小規模市場を狙った早期実用化が期待される。この太陽エネルギーを用いた有用化学品製造技術から発展した各種電極触媒技術は、再生可能エネルギー電力を利用した Power-to-Gas と比べて、さらに経済性の高い大規模な Power-to-X（水素＋高付加価値品）システムの構築に寄与し、結果として再生可能エネルギーの大量導入の促進につながると期待される。

また、超臨界地熱発電技術に関しては、一地点で 100 MW 以上の経済性を有する発電を実現可能であることが示された。有望地点の選出、発電量の詳細評価等を進めることにより、2050 年以降の超臨界地熱資源による国内発電総容量を、現在の石炭火力発電（約 40 GW）程度の数 10 GW

程度にまで増大させ、二酸化炭素排出量の大幅な削減に寄与する。なお、本技術は、平成 30 年度に日刊工業新聞で報道され、高く期待されている。(FREA)

## 2. エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発 (蓄エネ)

現状の規格材料では不可能な 1,000 MPa 以上の引張強さを有する耐水素脆化材料の開発指針を導くことで、燃料電池自動車や水素ステーションなどの高圧水素ガス利用機器における水素貯蔵容器や配管の更なる薄肉化、軽量化が期待できる。これにより高圧水素ガス利用機器の普及が促進され、信頼性と経済性が両立した水素社会の実現に貢献する。(HydroMate)

## 3. エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発 (省エネ)

高性能な熱電変換材料を開発し、発電効率 12%を有する熱電変換モジュールの開発に成功した。自動車メーカーが 1%の燃費向上のためにしのぎを削る中、自動車の排熱回収に適用した場合、発電効率 12%は 5%以上の燃費改善に相当し、本格実用化開発が期待される値である。他にも工場等からの廃熱を用いた発電への応用が見込まれる。なお本成果は、平成 28 年度に Energy & Environmental Science (IF: 30) などの著名な雑誌に成果が掲載 (第 4 期: 51 報) され、日本経済新聞等 10 紙で報道され、産総研発ベンチャー「株式会社モットイナイ・エナジー」の創立 (平成 28 年 6 月) につながる等、高く期待されているところである。今後は、耐久性向上とコスト削減にむけた技術開発を着実に実施して、技術の普及に務める。

また、ダイヤモンドパワーデバイスの材料・プロセス基盤技術を開発し実用化への道筋が示された。ダイヤモンドパワーデバイスは、炭化ケイ素を凌ぐ高い耐圧特性を有するため、超高電圧領域での電力機器の小型化が可能である。この技術により、社会インフラである送配電システムなどの小型化がもたらされる。

## 4. 環境リスクを評価・低減する技術の開発 (安全・物質循環)

次世代シークエンサーを用いた環境微生物解析手法により、真核生物と細菌の捕食-被食関係など、污泥中での微生物動態の詳細な解析がさらに進み、真核生物による細菌捕食の促進等に基づく污泥浮上 (固液分離能の低下) の解決や污泥減容化につながるものと期待される。

### 【課題と対応】

「目的基礎」研究のテーマ設定は、将来の「橋渡し」の基礎となる重要事項である。成果の半数は各研究分野における IF 上位 25%の雑誌の論文誌である Q1 ジャーナルに掲載され、被引用数も多く、高い評価を得ている。しかしながら、常に長期的展望を見据えた新たな研究シーズを発掘し続けることは重要な課題である。「橋渡し」研究前期・後期を通じた産業界との連携において、未来産業ニーズを掴む努力を怠ってはならない。また、領域内のエネルギー材料に関するアライアンス活動等を通じて、自由に新テーマを議論し、長期ビジョンに基づいた新たな研究開発テーマの発掘を推進する。さらに平成 29 年度より、2050 年に向けた領域の未来研究テーマの検討も開始した。大学とのクロスアポイントメント制度や、OIL 制度を活用した「目的基礎」研究力の強化にも引き続き注力する。

現在、エネルギー、とくに再生可能エネルギーに関する技術開発が急速に進展していることは周知の通りであるが、時代に即した産業ニーズを的確に把握し、今後重要となるシーズに関連する基礎研究を進める必要がある。第 4 期中長期目標期間においては、エネルギー材料、エネルギーシステム等の領域内アライアンスを通じたニーズ把握に努めているが、中長期的には、時代の変化にも対応するべく、アライアンス活動のテーマを拡張していく。さらに、目的基礎研究の成果発信としては論文が重要であり、当領域は Q1 ジャーナルへの掲載が高いレベルで維持されているが、今後も質と量の向上を目指し、高 IF 雑誌への投稿を推奨していく。

### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

## 【背景・実績・成果】

「橋渡し」研究前期においては、民間企業との受託研究等に結び付く研究開発への取り組みが求められる。特に、公的外部資金を効果的に利用した産学官連携によるプロジェクトを中心に研究開発を展開した。特筆すべき研究トピックとして小項目 (1) 新エネルギーの導入を促進する技術の開発 (創エネ) より「超高効率太陽光発電」と (5) 環境リスクを評価・低減する技術の開発 (安全・物質循環) より「戦略的都市鉱山開発」の背景・実績・成果を以下に示す。

太陽光発電は、再生可能エネルギー導入による低炭素社会の実現、エネルギー安全保障などの観点から、その普及が重要課題になっている。太陽光エネルギーは無尽蔵かつ地域的な偏在が少ないことなどから導入が進んでいるが、国土の狭い我が国では太陽光発電システムの設置箇所が限定されるため、太陽光エネルギーの更なる利用に向けては、車載や建材など太陽光発電の新用途開発が必要とされている。一方で、従来の結晶シリコン太陽電池においては設置面積や設置条件などの制約から、車載や建物などの新用途への適用は容易でなく、超高効率太陽電池デバイスやフレキシブル太陽電池デバイスなどの革新的太陽光発電技術の開発が必要とされている。

太陽光エネルギーの高効率利用には、広範な太陽光スペクトルを有効利用するための太陽電池同士の接合技術が必要となる。産総研では、パラジウムナノ粒子を利用して様々な太陽電池を自在に接合するスマートスタック技術を開発した。平成 29 年度までに、通常の結晶成長では作製困難であるⅢ-V族4接合太陽電池を作製し、変換効率 33.1%を実証した。これは、通常のシリコン太陽電池では得られない30%以上の変換効率を、他機関では見られない独自の低コスト技術で達成したという意義がある。平成 30 年度には、広く用いられている結晶シリコン太陽電池をⅢ-V族太陽電池と接合して作製した3接合太陽電池で変換効率 28.6%を達成した。また大面積太陽電池モジュール作製技術確立を目指して、多数の太陽電池を一括して接合可能な一括転写技術を開発し、これを用いたモジュール試作も行った。平成 31 年度には、この3接合太陽電池で30%超の変換効率を達成見込である。

高効率Ⅲ-V族化合物太陽電池は製造コストの制約から、従来は宇宙用などに用途が限定されていた。これを地上で利用し太陽光エネルギーの利用を拡大するには、製造コストの低減が鍵となる。低コストかつ高スループットにⅢ-V族化合物太陽電池を製造するためにハイドライド気相成長 (Hydride Vapor Phase Epitaxy, HVPE) 装置を大陽日酸株式会社と共同で開発している。平成 29 年度までに日本初の HVPE による GaAs 太陽電池の作製に成功し、平成 30 年度には GaAs、InGaP ともに 50  $\mu\text{m}/\text{h}$  以上の従来比 10 倍以上の超高速成長 (InGaP においては世界最高成長速度) と世界最高レベルの変換効率 (GaAs 太陽電池: 22.1%、InGaP 太陽電池: 12.1%) を達成した。平成 31 年度には、世界で初めて HVPE に Al 系材料を導入することで変換効率を向上させる見込みである。

高効率・低コストと共に軽量・フレキシブル性が期待されるカルコゲナイド系化合物薄膜太陽電池においては、更なる性能向上に向けて基盤的・学術的知見の構築が必要とされている。平成 29 年度までに、CIGS 系太陽電池において、アルカリ金属添加と熱光照射を組み合わせた技術により変換効率 21%を実現した。平成 30 年度には、性能向上の一因と考えられるアルカリ金属化合物層の直接観察に成功し、性能向上メカニズムの指針を見出した。また、新規開発した酸化インジウム系透明導電膜を用いた太陽電池ミニモジュールを作製し、世界最高効率 20.9%を達成した。平成 31 年度は、変換効率向上に寄与する熱と光の同時照射効果についてそのメカニズム解明とその制御技術を確立し、更なる効率向上を実現する。

戦略的都市鉱山構築のための高度な金属回収を実現するには、廃製品の情報を利用した自動・自律型物理選別技術と多様な金属形態に対応した低コストな精練技術の開発が必要である。物理選別では、選別工程において手作業コストが約半分を占めており、また、労働者不足が深刻化しているため、プラントの省人化・無人化が早急な課題であり、自動・自律型の物理選別技術が求められている。平成 27 年度には複数の粒子を同時に認識し、並列処理が可能なデータ利用型のスクラップ自動選別装置 (アリーナソータ) および複数種の電子素子を選別可能にする四管式気

流選別機を製品化した。平成 30 年度には手解体・手選別の自動・自律化が可能となる融合型ソータおよび複数の選別機を自律制御するシステムを開発した。平成 31 年度にはベンチスケール機の完成を見込んでおり、世界初となる廃製品の無人選別プラント開発に資する要素装置開発を達成する。精練技術では、低コストでシンプルな分離プロセスの開発が鍵となっている。特に磁石等に用いられている希土類元素は、そのリサイクル回収工程に多段を要し、時間とコストがかかることが課題となっている。平成 29 年度までに磁石からの希土類元素回収工程を大幅に短縮可能な熔融塩電解による回収法のコンセプトを確立した。平成 30 年度には熔融塩電解のみで希土類元素であるネオジムとジスプロシウムの相互分離を実証した。平成 31 年度には単一工程での同時回収を達成する見込であり、これは多段工程からなる希土類元素リサイクルを単一工程に短縮可能な世界初の技術である。これらの物理選別および精練技術は、平成 27、28 年度の NEDO 先導プログラムを経て、平成 28 年度から始動した NEDO プロジェクト獲得に至った。平成 30 年度には、NEDO プロ開発拠点となる集中研究施設分離技術開発センター (CEDEST) を産総研内に設置した。

「橋渡し研究前期」において、上記以外の各小項目の研究テーマの背景・実績・成果を以下に示す。

### 1. 新エネルギーの導入を促進する技術の開発 (創エネ)

太陽電池の大量導入に伴い、既設太陽電池モジュールの発電特性をオンサイトで評価する屋外測定技術へのニーズが高まっている。天候や日射条件に依存する屋外測定結果から、標準試験条件における太陽電池モジュールの性能を推定する技術が鍵となる。平成 29 年度までに、日射変動時における測定ばらつきを従来技術の 1/3~1/5 に低減し、測定可能日を 5~10 倍に増加する技術を開発した。平成 30 年度には、太陽電池モジュールの温度などの予備的情報なしに、標準試験条件における発電特性を推定する温度照度補正技術を開発した。平成 31 年度は、前年度までの結晶シリコン太陽電池に加えて化合物薄膜太陽電池などの各種太陽電池モジュールの屋外測定に適用し、補正技術の有用性を検証すると共に技術成果の国際標準化を推進する。

### 2. エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発 (蓄エネ)

エネルギーキャリアとして利用が期待されるアンモニアについて、製造利用技術を開発している。平成 28、29 年度は、利用技術としては難燃性のアンモニアを直接燃焼利用するガスタービン発電に世界で初めて成功し、また、製造技術としては 400°C・10 MPa 以下で高い活性を示す触媒改良に成功した。平成 30 年度は、ガスタービン燃焼器を 20ppm 未満へ低 NO<sub>x</sub> 化し、国内初の再エネ水素を原料とするアンモニア合成を実証した。平成 31 年度は、実用化の推進のために、FREA を拠点としてパートナー企業の実証事業等を支援する。(FREA)

また、車載電池には、従来の電解液を用いた液系電池と比べ、コンパクトで高安全化が可能な硫化物全固体電池開発への期待が世界的にも高い。この全固体電池の量産化のための鍵となるシート型電池の製造プロセスを平成 29 年度までに確立し、市販 Li 二次電池にせまる 188 Wh/kg のエネルギー密度を全固体電池で実証した。平成 30 年度には、シート化プロセスの改善により、容量低下がほとんど見られない負極電極の作製に成功した。平成 31 年度には、市販品と同等のシート型電池で 200 Wh/kg を超えるエネルギー密度達成の見込である。(関西センター)

### 3. エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発 (省エネ)

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の本格普及には、高耐久化が必須である。平成 29 年度までに、不純物(例えば大気中の二酸化硫黄)と電池材料との反応等による由来する被毒劣化メカニズムを解明した。また、東北大と連携し、耐久性迅速評価のためのシミュレーション技術を開発した。SOFC の更なる高効率化や強靱化のためには、電解質中へのプロトン溶解を防ぐ必要があるため、平成 30 年度からは、電解質中のプロトンの評価手法の開発など、劣化機構の解明に必要な基礎データの収集などを行った。平成 31 年度は、電解質中のプロトン溶解量と導電率増大による劣化との相関を解明し、水蒸気分圧分布、電流集中、局所的な温度上昇などの因子が劣化に及ぼす課題を抽

出し、高効率化・強靱化 SOFC の設計指針を提示する。

再生可能エネルギー大量導入に伴う送配電系電力機器向けパワーエレクトロニクス技術革新には、耐電圧 10 kV 超級の SiC 低損失パワーデバイスの実現が鍵となっている。そのためには、高耐圧/低損失の両立が期待できるバイポーラデバイス技術、ならびにそれを支えるウェハ技術の開発が必要となる。平成 30 年度までに、100  $\mu\text{m}$  超の高品質厚膜エビ技術等の開発やバイポーラデバイス設計/作製プロセス技術の高度化を進め、pn ダイオードの耐圧 29.6 kV と IGBT トランジスタの面積当たり通電時抵抗 29  $\text{m}\Omega\text{cm}^2$  を実現した。また、バイポーラパワーデバイスのボトルネックである電流印加時の劣化メカニズムを明らかにした。その結果に基づき劣化抑制構造の汎用的設計指針を提示し、それによってこれまでの 10 倍以上に当たる 4,400  $\text{A}/\text{cm}^2$  までの大電流密度耐性を確認した。これらの特性値は SiC パワーデバイスとして世界一の性能であり、実用化のネックである劣化問題解決の処方箋を提示できた。平成 31 年度には 10 kV 超級の電圧領域でのスイッチング損失低減を実証する見込である。

モータ駆動用途に代表される 1 kV 級 SiC 素子適用のインバータ等の大量導入には、高温・高速動作パワーモジュールが鍵となり、高耐熱回路基板や高耐熱・高周波数特性の部品（抵抗器およびコンデンサ）と、それらの実装の技術を耐久性も含めて実現する必要がある。平成 30 年度は、平成 29 年度までに開発した 250°C 対応技術を基に試作した、実用レベルの標準的仕様である 100 A 級モジュールの評価で、実用化目安の -40~+250°C-1,000 回の温度サイクル等の耐久性、既存比 1/4 以下の小形化、10 nsec 級の高速度動作等、世界最高水準の性能を確認した。平成 31 年度は、当該技術の量産化対応、評価技術の国際標準化に取り組む。

#### 4. エネルギー資源を有効活用する技術の開発（エネ資）

次世代の天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートからのガス生産挙動を把握するためには、生産されているその場条件における物性値が必要である。平成 27 年度から平成 29 年度には、メタンハイドレートを分解しない保圧下での分析を可能とする圧力コア解析装置群を開発した。平成 30 年度には海洋産出試験で得られた産出速度の変動要因を検証するために、新たに採取された圧力コア分析を行い精緻な物性値を追加した。平成 31 年度は圧力コア分析を基に、モデルの見直しなどを進め、生産挙動に関して、確度の高い解析が可能となる見込である。（北海道センター）

また、エネルギーセキュリティの観点から、褐炭等の未利用炭素資源の利用拡大が見込まれている。平成 29 年度までに、褐炭等の化学ループ燃焼技術の原理実証をするための 100 kW の循環流動層式試験装置を製作した。化学ループ燃焼技術とは、金属酸化物を褐炭等を用いて脱酸素し、脱酸素された金属を空気酸化させて熱を得る方法で、濃度 100% の  $\text{CO}_2$  ガスが排出される特徴を有する。流動キャリアとして安価な天然物（イルメナイト）を用いた 60 時間連続試験を成功させたことにより、 $\text{CO}_2$  分離・回収コストを 1,000 円台/ $\text{CO}_2$ -ton 以下とする見込を得た。平成 30 年度は、本技術で得られる高濃度  $\text{CO}_2$  を有効利用する技術として、 $\text{CO}_2$  を油田に圧入して石油の回収率を増幅する技術（EOR）への適用性を検討し、 $\text{CO}_2$  フリー火力発電の見通しを得た。化学ループ燃焼設備を EOR と組み合わせて社会実装するには、油田という大規模領域を対象とするため、より大型の設備を用いた実証試験が必要である。平成 31 年度は、火力発電所の規模にマッチする EOR の適用可能な油田の調査等を通じて、大型施設の建設に必要な条件を明確にする見込みである。

#### 5. 環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）

膜を利用した水処理再生技術において、原水などの膜供給水中に存在する分離対象物質などが膜表面や細孔内に付着・堆積し膜を閉塞させる現象（膜閉塞）の対策法構築は不可欠である。平成 29 年度までに、共焦点反射顕微鏡法を用いた膜閉塞原因物質であるバイオフィルムの非破壊観察技術等により、精密ろ過膜で従来提唱されてきたモデルとは異なる膜閉塞の機構を解明した。平成 30 年度は本技術を逆浸透膜（RO 膜）閉塞の解析に適用し、RO 膜上でのバイオフィルムの構造と、閉塞原因物質・原因微生物の特定に成功した。平成 31 年度は水晶振動子を組み合わせ、その周波数変化に基づく膜閉塞検知技術の確立が見込まれる。

第4期中長期計画期間における「橋渡し」研究前期の評価指標となる知的財産の実施契約等件数に関しては、平成27年度から平成29年度は93、95、130件と順調に推移し、平成30年度は12月末時点で110件（目標110件）と既に目標を達成し、技術の橋渡しを着実に進めている。

また、競争前領域研究を担うNEDO等の研究開発プロジェクトにおいて、「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発（RISING2）」、「次世代パワーエレクトロニクス」、「メタンハイドレート資源開発に係る研究開発」、「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術」など、多数のプロジェクトにおいてPL・サブPLを務め、中心的な役割を果たした（公的資金獲得額：平成27年度45.7億円、平成28年度44.8億円、平成29年度51.3億円、平成30年度：47.3億円（12月末時点））。平成31年度もNEDO等のプロジェクトを主導し、競争前領域のオープンイノベーションプラットフォームによる研究を推進予定である。

#### 【成果の意義・アウトカム】

「橋渡し研究前期」において特筆すべき研究成果である「超高効率太陽光発電」および「戦略的都市鉱山開発」の成果の意義・アウトカムを以下に示す。

スマートスタック技術の開発では、異種太陽電池を低コストで接合する技術により、従来は材料の組合せに制約があった多接合太陽電池の選択肢が広がり、コスト重視、効率重視、可とう性重視など様々な要求仕様に合った多接合太陽電池の実現が可能になる。また、30%以上の高い変換効率が得られるⅢ-V族化合物太陽電池に関しては、従来比10倍以上の高速成長の実現等により製造コストを低減することで、宇宙用などに限られていた高効率Ⅲ-V族化合物太陽電池の地上での利用が可能となり、超高効率が求められる車載応用などの新用途への展開も期待できる。本技術は、日経新聞等5紙で平成29年度に報道され、高く期待されている。設置面積が限定される車載や住宅などに太陽光エネルギーの更なる利用が拡大される。従来太陽電池が利用されていなかった新たな用途展開を通して、国土の狭い我が国における再生可能エネルギー大量導入の更なる加速が期待される。CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化では、アルカリ金属添加と熱光照射を組み合わせることでCIGS太陽電池の飛躍的な性能向上を実証した。この性能向上のメカニズム解明は、高性能CIGS太陽電池開発に不可欠な基盤的・学術的知見となり、更なる性能向上の実現と共に太陽電池製造に関与する企業への技術橋渡しにも貢献できる。軽量・フレキシブル化が容易なCIGS太陽電池の高効率化により、曲面設置が必要な建物壁面などへの応用の可能性が広がることが期待される。

廃製品の情報に基づく選別工程の自律制御化に資する概念と我が国に適した高度精練技術に資する概念を構築するとともに、その実現に向けた技術の開発に漕ぎ着けた。これは我が国における労働者不足と、SDGsなど世界的資源循環思想を両立させる、我が国独自の革新技术となる。この技術思想は、平成28年度に日本再興戦略やNEDOの技術戦略にも盛り込まれており、日本の都市鉱山開発において重要視されている。また、本技術は読売新聞や朝日新聞等に33件掲載され、テレビでは4件報道され、日経地球環境技術賞優秀賞を受賞する（平成29年11月20日）など社会からも高く評価されている。

「橋渡し研究前期」において、上記以外の各小項目の研究テーマの成果の意義・アウトカムを以下に示す。

#### 1. 新エネルギーの導入を促進する技術の開発（創エネ）

太陽電池性能屋外高精度評価技術では、既設の太陽電池モジュールの発電特性をオンサイトで正確に評価できることで、迅速な劣化診断、故障・交換の判断が可能となる。これにより太陽光発電システムにおける性能モニタリングの低コスト化と継続的な最大発電量を確保するシステム運用とが可能になり、再生可能エネルギー大量導入とその利用の更なる加速が期待される。ま

た本手法の国際標準化により、オンサイト評価の公正性の確保が期待できる。

## 2. エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発（蓄エネ）

再エネ水素を利用したアンモニアの合成および直接燃焼利用技術の実証により、燃焼時に二酸化炭素を排出しない水素エネルギーキャリアであるアンモニアを用いたエネルギーキャリアの利用が可能となり、それにより脱炭素社会の早期実現が加速すると期待される。本技術は、日刊工業新聞等 18 紙で報道され、高く期待されている。これにより、再生可能エネルギー由来の水素を大量貯蔵し、水素エネルギーの本格活用する技術の実現が期待される。（FREA）

また、硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組みでは量産化に対応できるシート型電池での性能実証に成功し、車載用電池への全固体電池の実用化への道筋を示した。当該技術を自動車・電池関連主要企業が参画する技術組合（LIBTEC）が NEDO から委託され実施中の硫化物全固体電池の研究開発プロジェクトへ技術移転した。この技術の実現により、性能向上と信頼性を両立するコンパクトな電池モジュールの作製が可能となり、電動自動車の普及が加速する。（関西センター）

## 3. エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）

開発した固体酸化物形燃料電池（SOFC）の耐久性評価法は、これまで 10 社を超える民間企業に適用された。今後は、SOFC のさらなる耐久性向上を目指して本手法による評価データを蓄積し、設計指針を提示する。平成 30 年度は、共同研究、技術コンサルティング等で、8 社のセルスタックの評価に関わった。新たな劣化要因や見出されていない劣化現象を解明し、SOFC 部材の更なる耐久性を向上させる設計指針を提示し、高耐久化等が進展させて SOFC の本格普及と水素社会実現に寄与する。なお、成果の一部は、J. Mater. Chem. A (IF: 9.9) に掲載、高く評価されている。

また、実用的な SiC 超高耐圧バイポーラデバイス実現のための要素プロセスを確立した。本成果により、送配電系電力機器革新の目処が立ち、大規模停電時対応等の電力系統高機能化に資する超高電圧領域での SiC パワーエレクトロニクス技術活用の道が開けた。本技術は、半導体電子デバイスの最高峰の国際会議である IEDM 等で多くの招待講演を受け、学会／産業界から注目されている。今後量産レベル開発への移管を念頭に当該要素技術の成熟度向上と統合技術化を進める。

1 kV 級高温高速動作 SiC パワーモジュールに関して、試作 100 A 級パワーモジュールで確認された世界最高水準の性能から、部品製造企業では開発品のサンプル出荷準備が、応用機器製造企業では車載用等の小形軽量電力変換器の製品適用検討が、それぞれ本格化している。数年の製品化開発を経た後、当該技術適用の製品が市場投入される見込である。電力変換の大幅効率化につながる低損失かつコンパクトな SiC パワーモジュールの市場導入により、サーバ電源や自動車モータ駆動用インバータなどのパワーエレクトロニクスを応用した電力機器の小型化・省エネ化が大きく進展する。

## 4. エネルギー資源を有効活用する技術の開発（エネ資）

メタンハイドレートからのガス生産に係る圧力コア評価技術に関して、原位置での精緻な物性値を把握することは、生産挙動の予測技術の精度向上につながる。メタンハイドレートからのガス生産は、これまで官主導で行われてきたが、高い精度で生産挙動を予測できるようになったことは、民間主導の商業化プロジェクトの開始を後押しするものである。なお、本技術開発は平成 30 年度に日刊工業新聞においても紹介されている。

また、未利用炭素資源からの二酸化炭素分離型発電技術に関して、産総研で開発した二酸化炭素分離・回収コストの低コスト化技術を、排出した二酸化炭素の地下貯留技術と組み合わせることにより、未利用炭素資源を用いた二酸化炭素フリーの火力発電につながる。本技術は、平成 30 年度に日経 xTECH で報道され、高く期待されている。今後は、天然ガスやバイオガスに対して本技術を適用することで、二酸化炭素フリーの水素製造に展開する。

## 5. 環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）

共焦点反射顕微鏡法による最先端の光学的解析技術と高解像度な微生物解析技術を併用したRO膜閉塞の原因物質・微生物と原因物質の特定は、膜閉塞の発生を事前に予知可能な新技術や膜閉塞を未然に阻止する新たな対策技術の開発につながることで期待される。これにより膜を利用した水処理プロセスが大幅に効率化され、慢性化する世界的な水不足問題の解決に貢献できる。なお、本成果は、Scientific Reports (IF: 4.122) 等の雑誌に掲載され、複数の企業共同研究において利用されている。

当領域ではNEDOプロジェクト等、民間企業との協働による大型プロジェクトを数多く牽引している他、得意とするオープン・イノベーション・プラットフォーム型の研究活動を幅広く展開している。その結果として多額の公的外部資金を獲得しており、得られた研究成果は今後民間実証への進展が期待される。

### 【課題と対応】

NEDO等の公的研究資金プロジェクトは単に研究資金を獲得しているだけでなく、オープン・イノベーション・プラットフォームを提供し、産業界や大学等の要望に応えるという重要な役割を果たしている。経済産業省の技術開発政策にも合致する活動であり、領域の主たるミッションと位置づけ多数の人的リソースを投入している。従って、ここから効率的に民間資金獲得増につなげる取り組みを進めることも重要課題である。対応としては、一つには、オープン・イノベーション・プラットフォーム活動を、潜在的な未来の産業ニーズの把握と位置づけ、後年度に参画企業との資金提供型共同研究につなげるよう技術マーケティング活動を進める（「オープン」から「クローズ」へ）。他方、公的資金の確保が難しいプラットフォーム活動や、公的資金を確保するための先行的なプラットフォーム活動を、民間資金によるコンソーシアム形式で運営することも進めていきたい。

第4期中長期目標期間のみに限らず、中長期的にも、オープン・イノベーション・プラットフォーム活動からの民間企業資金の獲得増加につなげるのが課題であり、NEDO等の公的資金によるプロジェクトを継続して牽引し、さらに上述のような民間資金によるコンソーシアム運営やコンソーシアム参加企業との個別の共同研究への展開を図っていく。

## (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

### 【背景・実績・成果】

「橋渡し」研究後期においては、民間企業のコミットメントが重要であり、企業単独はもちろん、コンソーシアム、技術研究組合、共同研究体（TPECなど）を通じた研究を展開した。特筆すべき研究トピックとして小項目（2）エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発（蓄エネ）より「水素エネルギーシステム」と（3）エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）より「パワーエレクトロニクス」の背景・実績・成果を以下に示す。

建築関連の二酸化炭素排出量は、日本の約40%を占め、うち80%近くは、エアコン、照明など建物運用時のエネルギー消費が占めており、二酸化炭素排出量の大幅な削減が求められている。第5次エネルギー基本計画（平成30年7月策定）においても、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）実現を目指すとする政策目標が掲げられており、その実現には大幅な省エネルギーの推進と再生可能エネルギーの導入、さらには再生可能エネルギーから作ったCO<sub>2</sub>フリー水素の活用が求められている。住宅地域での水素エネルギー大量利用には、消防法危険物などに該当しない水素貯蔵方法の確立が鍵となる。平成27年度から、清水建設株式会社と再生可能エネルギーを用いた水素製造、貯蔵、利用を行う実証システム構築を進め、最適な自動制御技術を確立した。平成30年度には、水素エネルギーシステムの本格運転および発電需要予測機能を有した完全自動運転を実証した。平成31年度には、実建物へ設置が実証される見込みである。（FREA）

エネルギーの有効利用を促進し低炭素社会の実現を目指していくには、電力の変換（直流・交流変換や電圧変換）や制御を担うパワーエレクトロニクス技術を進展させ、パワーエレクトロニクス電力機器を飛躍的に高効率化、小型軽量化、高機能化することが求められている。これらはパワー半導体デバイス（パワーデバイス）の性能に大きく依存するが、既存の Si パワーデバイスは Si の物性から決まる理論限界に近づきつつある。SiC は、パワーデバイスの小型化や高効率化に有利な物性をもつため、次世代型パワーデバイスの有望な材料として期待されている。近年では、SiC パワーデバイスを搭載した機器が実用化され始めている。この電力の省エネルギーに極めて有効と目される低損失 SiC パワーデバイスの普及には、市場規模の大きな耐電圧 1 kV 級における量産性と信頼性の向上が鍵となっている。平成 29 年度までに、トレンチ型 MOS トランジスタを 4 インチ、更には量産性の高い 6 インチレベルで開発するとともに、電力変換器の小型化にもつながる独自のダイオード内蔵構造を用いて、実用的な信頼性指標値の約 3 倍の 2,800 A/cm<sup>2</sup> という大電流密度まで劣化を抑制するという画期的な信頼性向上に成功した。平成 30 年度には、信頼性に加え、更なる低損失化に向けた抵抗低減の方策としてスーパージャンクション技術を取り込み、同耐圧クラスで世界最小の特性通電時抵抗 0.63 mΩ cm<sup>2</sup> を量産レベルで実現した。平成 31 年度にはより低損失化・高信頼化の観点から、スイッチング特性・破壊耐量等をそれぞれ向上させる予定である。

「橋渡し研究後期」において、上記以外の各小項目の研究テーマの背景・実績・成果を以下に示す。

### 1. 新エネルギーの導入を促進する技術の開発（創エネ）

我が国における地中熱システムの普及を考える上で、熱交換器設置のための掘削コスト削減と地下の熱利用のポテンシャルの把握は最重要課題である。そこで、平成 27 年度から平成 29 年度は民間企業と低コスト・高効率の熱交換器を共同開発した。地域の地下水流動を取り込むことにより、通常の熱交換器と比較して 2~3 倍の熱交換能力を示した。スリットを入れたケーシングで井戸を保護することにより、地下水流れによる高い熱交換能力を有するシステムや自噴井を利用したセミオープンループ地中熱交換器、地下水を利用したタンク式熱交換器の開発・実証等を行い、商品化を実現した。平成 30 年度は、福島県地中熱事業協同組合と地層の熱伝導率を把握するための簡易熱応答試験法の有効性を実証した。さらに平成 31 年度は、本簡易熱応答試験を用いて、開発した熱交換機の使用地域を選択するために、福島県内の熱伝導率分布マップを作成する予定である。（FREA）

### 2. エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）

高効率エンジン燃焼技術の効率向上を目指し、平成 29 年度までに EGR（排気ガス再循環）システムの摺動部等に固着し機能低下、故障の原因となる固体析出物（デポジット）生成メカニズムの解明、そして世界初となるシンクロトロンを用いた X 線技法による金属ノズル内部の燃料渦流、キャビテーションなど流動特性を観測した。平成 30 年度では、デポジットに含まれる多環芳香族の生成挙動、そして燃料噴霧ノズル内のニードル挙動と内部燃料渦強度の関係やノズル近傍における噴霧流動挙動を明らかにした。平成 31 年度では、エンジン燃焼室内でのデポジット生成メカニズム、そして温度圧力場と噴霧特性を解明する見込である。

### 3. 環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）

新技術・製品の環境適合性の分析にはライフサイクルアセスメント（LCA）が不可欠であり、多様な環境影響領域（気候変動、資源消費、有害化学物質排出、土地利用など）の評価と、日本だけでなく海外の製品・資源等のサプライチェーンにも対応する CO<sub>2</sub> 排出量をはじめとした日本の環境負荷排出量データベース開発が大きな課題であった。そこで平成 29 年度までに 3,800 以上の圧倒的なデータ数を誇る国内の環境負荷排出量データベース（IDEA ver. 1）を高度化し、

土地、水環境等の影響領域評価ニーズに応える IDEA ver. 2 を開発した（販売実績：226 ライセンス）。平成 30 年度には、さらにアジア地域の製品・資源等のサプライチェーンを中心に環境負荷排出量データベースを整備し、海外版 IDEA を構築した。平成 31 年度には、さらなる対象環境影響領域の拡大、海外版データベースを公開・販売する見込みである。

また、工業用ナノ材料の社会実装には、製造事業者自らが安全性評価の拠り所とする評価手法やガイダンスが不可欠である。平成 27 年度から平成 29 年度には、ナノ炭素材料の自主的な安全性評価のための各種ガイダンス文書を作成し、無償公開した（累計ダウンロード数 6,000 件以上）。その後、製造事業者とセルロースナノファイバー（CNF）の安全性評価手法の共同開発に至り、平成 30 年度には、CNF の検出・定量手法、気管内投与手法、皮膚透過性試験手法、排出・暴露評価手法といった自主安全管理に資する評価手法を確立した。平成 31 年度は、CNF の安全性評価手法に関する各種ガイダンス文書を公開予定である。

第 4 期中長期計画期間における「橋渡し」研究後期の評価指標となる民間資金獲得額に関しては、平成 27 年度から平成 29 年度は 19.6、23.2、22.5 億円と推移し、平成 30 年度は目標 41.1 億円に対して 21.3 億円（12 月末時点）であり、目標達成は困難な状況にある。しかしながら、平成 29 年度と比較すると増額（同月比 103%）が見られた。これは冠ラボの設立等による個別企業との連携強化や一定金額以上の共同研究にイノベーションコーディネータ等を配置するなどの体制強化、さらにテクノブリッジフェア等における個別企業の招待や個別企業への領域幹部の訪問機会の強化などの結果であると考えられる。また、平成 27 年度より創設された技術コンサルティング制度において、平成 28 年度は 2,696 万円（15 件）、平成 29 年度は 8,010 万円（51 件）、平成 30 年度は 12 月末時点で 9,498 万円（47 件）と大幅に増加し、民間資金獲得額 21.3 億円に対して 4.5% の割合を占めるに至った。平成 31 年度も引き続き民間資金獲得額の増額に取り組んでいく。

#### 【成果の意義・アウトカム】

「橋渡し研究後期」において特筆すべき研究成果である「水素エネルギーシステム」および「パワーエレクトロニクス」の成果の意義・アウトカムを以下に示す。

再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムに関して、消防法および高圧ガス非該当で水素を貯蔵できる水素吸蔵合金を用いて、大量の水素貯蔵を可能にし、その性能を求められる温度域で実証した。これらの水素貯蔵技術の進展により、固体高分子型燃料電池との高効率連携が可能になって、水素エネルギーシステムの実用化が大きく前進した。住宅地域での水素大量貯蔵が可能となり、消防法危険物および高圧ガスに該当しない水素貯蔵方法であるという特色により、有資格者の配置をせずに住宅地域での水素大量貯蔵が可能となる。なお、本技術は、平成 30 年度に 2018 年コージェネレーション大賞技術開発部門理事長賞を受賞するなど、高く期待されているところである。今後、水素社会に対応できる建物付帯型のコンパクトで安全な水素エネルギー利用システムの開発が進展し、さらに、余剰の再生可能エネルギーで製造した二酸化炭素フリー水素を街区に導入する水素サプライチェーンの実証、ゼロエミッションタウンの具現化が進むと期待される。

炭化ケイ素半導体（SiC）パワーデバイスの量産実用化技術に関して、SiC パワーデバイスの信頼性問題を量産レベルで解決したことで、当該パワーデバイスの広範な普及の目処がたった。インバータに代表される当該パワーデバイス搭載機器の社会導入は電力の省エネに大きく貢献する。本成果は、半導体電子デバイスの最高峰の国際会議である IEDM で 2 年連続（3 件）で採択され、平成 29 年度と平成 30 年度に渡り日本経済新聞等 6 紙で報道されるなど、学会/産業界から高く評価されている。今後、これらの高性能内製デバイスチップを活用した回路/モジュールと応用機器の開発を進めると共に、橋渡し前期段階の成果を順次移管して量産レベルに成熟させる。

「橋渡し研究後期」において、上記以外の各小項目の研究トピックの成果の意義・アウトカムを以下に示す。

#### 1. 新エネルギーの導入を促進する技術の開発（創エネ）

地域の地下水環境を有効活用した地中熱交換器の開発において、いずれのシステムも、地域の地下水流動を取り込むことにより、通常の熱交換器と比較して 2~3 倍の熱交換能力を示し、3 割以上の掘削コスト削減を実現した。なお、これらの新しい熱交換器は福島建設工業新聞で報道されており、その導入・普及が高く期待されている。地下水を考慮した日本式の地中熱研究は、東南アジア諸国に対しても大きく役立つため、地域の地質や地下水流動の特性に適応した地中熱システムの開発が期待される。

#### 2. エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）

デポジット生成モデルに寄与する現象解明や燃料噴霧に関して構築した現象モデルは、自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）や SIP 革新的燃焼技術（内閣府/JST）及び民間共同研究で高い評価を受けている。特に燃料噴霧モデルについては、すでに自動車メーカー 2 社に採用されている。いずれについても、今後もモデル改良を継続的に検討し、高効率エンジン燃焼技術の効率向上を目指す。

#### 3. 環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）

インベントリデータベース（IDEA）の構築と普及に関しては、日本で唯一国際連合環境計画が進める LCA 国際データベース協調枠組み（GLAD）にデータ登録され、世界最大規模のデータベースである。そのため、国際的枠組みに即した信頼性の高いデータに基づいた日本製品の環境性能評価が可能になり、既に 226 ライセンスを販売することで市場における日本製品の競争力の向上への寄与につながっている。平成 28 年度に LCA 日本フォーラムより経済産業省産業技術環境局長賞を受賞した。

工業用ナノ材料の安全性評価に関しては、各種ガイダンス文書の公開により、事業者による工業用ナノ材料の自主的な安全管理の実施に貢献している。ガイダンス文書の 1 つであるカーボンナノチューブ（CNT）のケーススタディ報告書は、実際の工場立地に係る認可において参考資料として採用された。安全性評価手法が普及することで事業化の促進や応用製品の開発と普及が加速すると期待される。

#### 【課題と対応】

民間資金獲得額は、平成 27 年度から平成 29 年度と比較し、平成 30 年度は同月比で増額したが、与えられた目標を大きく下回ることが最大の課題である。（以下一部再掲）当領域は時間軸が長い研究テーマを担当し、社会ニーズとしても「橋渡し研究前期」としての役割が強く求められている状況で、個別企業との連携を想定して設定された民間資金の大幅な増額には時間がかかり、今後も下記の観点で粘り強い努力を継続していく必要がある。

- (1) 民間資金で運用されるプラットフォーム型研究活動の拡大
- (2) プラットフォーム型研究活動からの資金提供型共同研究への展開
- (3) 技術コンサルティングからの資金提供型共同研究への展開

これらの視点で、民間資金獲得額の増額に取り組んでいきたい。

民間資金獲得額は、第 4 期中長期目標期間においては全ての年度において目標には未達であるが、中長期的にも民間資金の獲得額増加は大きな課題である。一方で、当領域は公的資金による国家プロジェクトを中心に牽引する役割も果たしており、中長期的には民間資金のみならず公的資金も加えた外部資金の獲得額を増強し、公的機関としての重要なミッションを果たしていく。

#### 4. 前年度評価コメントへの対応

## (1) 領域の概要と研究開発マネジメントについて

ご意見：領域間のクロスファンクションを強化すべきと考える。「エネルギー・環境」領域のイノベーション創出は、「材料・化学」領域や「エレクトロニクス・製造」領域との連携が欠かせないと考える。特に、「エレクトロニクス・製造」領域とは連携を図って、「Society 5.0」の実現を牽引していただきたい。

対 応：

領域間の連携は産総研の総合力を発揮する上で重要であり、例えば、平成 30 年度に、蓄電池開発において注目を浴びている全固体電池に関して、「エネルギー・環境」領域、「材料・化学」領域、「エレクトロニクス・製造」領域の研究者が参画する所内の連携研究を開始した。また、12 月には上記の 3 領域に「計量・標準」領域も加えて、モビリティエネルギーに関するサステナブル技術連携促進シンポジウムも開催するなど、領域間融合を強化しつつある。また、「Society 5.0」の実現を目指し、情報技術を用いて再生可能エネルギーの社会への大量導入についても検討している。

## (2) 「橋渡し」のための研究開発について

目的基礎研究

ご意見：金属多硫化物の開発と新奇な充放電機構の解明：研究は基本的には、現状の課題解決が目的であるから、今年の成果が従来のリチウムイオン電池と比較し、進展した機能と性能を定量的に示すことを推奨する。

対 応：

金属多硫化物が従来のリチウムイオン電池正極(150-200 mAh/g)と比べて 4 倍近い容量(600-700 mAh/g)の充放電が可能なメカニズムを明らかにした。平成 30 年度にはこの材料を用いて、8 Ah 級の電池を試作し、300 Wh/kg のエネルギー密度を達成した。

橋渡し研究前期

ご意見：水素技術はトータルシステムとして水素を循環させて初めて真の評価が可能となりますし、社会に対してアピールもできます。地産地消型のエコタウン構想をぜひ実現してほしいと思います。

対 応：

平成 30 年 10 月より清水建設-産総研 ゼロエミッション・水素タウン連携研究室(冠ラボ)を開始し、実際の建物を対象に水素エネルギー利用システムの構築、実証試験を行い、事業性(コスト)の検討、二酸化炭素削減効果、事業継続計画機能に係る課題を抽出してその解決を図っている。さらに、余剰の再生可能エネルギーで製造した二酸化炭素フリー水素を街区に導入する水素サプライチェーンを実証するために必要な水素貯蔵技術の開発ならびにモビリティを用いたフレキシブルなエネルギーマネジメントの検討を行い、ゼロエミッションタウンの具現化を目指す。

# 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 平成30年度 研究評価委員会 (エネルギー・環境領域)

## 説明資料

産業界にご利用頂きやすい  
エネルギー・環境領域をめざして

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
エネルギー・環境領域  
領域長 小林 哲彦

### 1. 第4期中長期目標期間の計画とロードマップ

**(1) 新エネルギーの導入を促進する技術の開発**

太陽光についてはコスト低減と信頼性向上を実現するとともに、複合化や新概念に基づく革新太陽電池の創出を図る。また、再生可能エネルギー大量導入のためのエネルギーネットワーク技術、さらには大規模地熱利用技術等にも取り組む。

**(2) エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発**

再生可能エネルギー等を効率良く水素等の化学エネルギー源に変換し貯蔵・利用する技術を開発すると共に、電源の多様化にむけた車載用、住宅用、産業用の蓄電技術を開発する。

**(3) エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発**

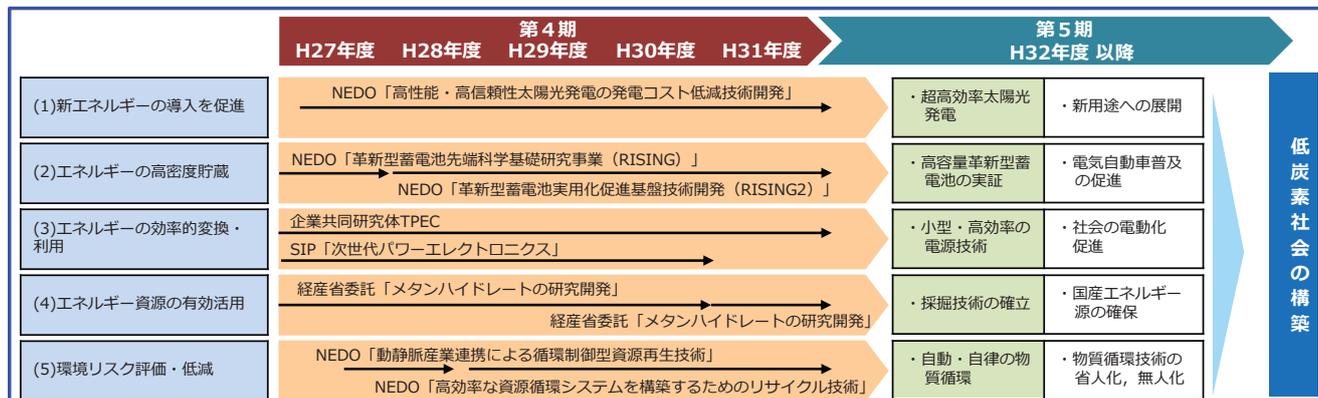
省エネルギー社会を実現するために、ワイドギャップ半導体/パワーエレクトロニクス技術、熱エネルギーの有効利用技術、自動車用エンジンの高効率燃焼技術、高温超電導コイル化技術等を開発する。

**(4) エネルギー資源を有効活用する技術の開発**

メタンハイドレート等のエネルギー資源の有効利用にかかわる技術を開発する。

**(5) 環境リスクを評価・低減する技術の開発**

産業と環境が共生する社会の実現に向けて、ナノ材料等の環境リスクを分析、評価する技術、レアメタル等の資源循環を進める技術並びに、産業保安を確保するための技術を開発する。



## 2. 第4期中長期目標期間の特筆すべき成果（見込みを含む）

## 【目的基礎】

- ・金属多硫化物正極材料で、従来のリチウムイオン電池正極の4倍近い高容量を平成29年度までに達成し、平成30年度には、8 Ah級の電池を試作し、300 Wh/kgのエネルギー密度を達成した。平成31年度は、実用化へのマイルストーンとして充放電100サイクルを見込んでいる。
- ・ギ酸から高圧(100 MPa超)水素の発生が可能な触媒を開発し、平成29年度までにギ酸の水素キャリアとしての利用可能性を示した。平成30年度は、CO<sub>2</sub>電解還元によるギ酸合成に成功した。平成31年度は、CO<sub>2</sub>水素化触媒の高性能化・固定化による生産性向上が見込まれる。
- ・第4期における論文被引用数は、平成27から30年度は目標値を上回った。論文発表数も平成27から29年度は目標値を達成し、平成30年度も12月末時点で昨年同月比89%であり、目標値を大幅に上回った昨年度と同水準である。また、平成27～30年度のQ1ジャーナル（各研究分野におけるIF上位25%）への掲載は平均50%であり、質の高い目的基礎研究成果を発信している。平成31年度も引き続き、質の高い目的基礎研究成果を推進し、積極的に高IF論文へ発信する。

## 【橋渡し前期】

- ・日本初のハイドライド気相成長によるGaAs太陽電池の作製に成功し、平成30年度にはInGaP太陽電池で50 μm/h以上の超高速成長(世界最高成長速度)と世界最高レベルの変換効率を達成した。平成31年度には世界初のAl系材料の導入により変換効率を向上を見込んでいる。
- ・第4期中長期期間に、競争前領域研究を担うNEDO等の研究開発プロジェクトにおいて、メタンハイドレートの研究開発、未利用熱エネルギーの革新的活用技術開発等、多数のプロジェクトにおいてPL・SPLを務める等中心的な役割を果たした（平成27-30年度公的資金平均獲得額：47.3億円）。NEDOプロにおける資源循環システム構築のためのリサイクル技術では、世界初の無人選別プラントを目指した施設を平成30年度に産総研内に設置し、金属リサイクルを大幅進展させた。平成31年度もNEDOプロ等のプロジェクトを主導し、競争前領域のオープンイノベーションプラットフォームによる研究を推進する見込である。
- ・知的財産の実施契約等件数は、平成27から29年度にかけて順調に増加し、平成30年度は12月末時点で目標を達成した。平成31年度も継続して技術の橋渡しを着実に進める見込である。

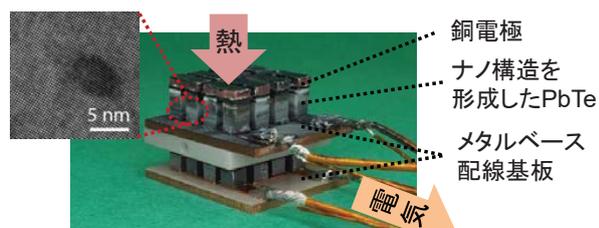
## 【橋渡し後期】

- ・再生可能エネルギーの導入促進に関して、平成29年度より水素製造、危険物非該当の吸蔵合金、燃料電池等を含む実証設備を運用開始し、再生可能エネルギーの大容量・長期間貯蔵活用を可能とする技術開発に成功した。平成30年度より、清水建設とのコラボを開始し、実証実験を本格的に開始し、ビルで消費するエネルギーゼロ化に大きく前進した。平成31年度は実建物へ設置の実証をする見込である。
- ・SiCパワーデバイスの信頼性問題を量産レベルで解決した。これにより、当該パワーデバイスの広範な普及の目処がたち、当該パワーデバイス搭載機器の社会導入による電力の省エネが期待される。
- ・被災地3県（福島県、宮城県、岩手県）に所在する企業を対象とした再生可能エネルギー関連技術の事業化支援では、支援テーマ数は平成25～29年度合計44社107件に上り、平成30年度までに製品化し、売上げを上げた実績は17件となった。平成31年度も継続して支援を継続予定である。

3

## 3. 平成30年度の代表的成果と特筆すべき成果

## 今まで捨てていた熱を電気へ変換



変換効率: 7% → 12%に

Jood P., Ohta M.ら, Joule, 2018, 2, 1339から転載。

## 再生水素を利用したアンモニア製造・発電利用



## 【目的基礎】

- ・熱電変換技術開発において、既存技術では7%程度であった変換効率を、平成30年度には12%に向上させた。
- ・論文被引用数は、12月末時点で18,631（目標17,000）と順調に推移しており、目標を上回った。論文発表数も12月末時点で299報（目標450報）と昨年同月比89%であり、目標値を大幅に上回った昨年度と同水準である。

## 【橋渡し前期】

- ・アンモニア合成プラントを立ち上げ、国内初の再生水素を原料とするアンモニア合成を実証し、さらに難燃性のアンモニアを直接燃焼利用するガスタービン発電にも世界で初めて成功した。
- ・NEDO等の研究開発プロジェクトにおいて、資源循環システム構築のためのリサイクル技術や未利用熱エネルギー革新的活用技術開発等を担うとともに、PL・SPLを務める等中心的な役割を果たした（公的資金獲得額47.3億円、12月末時点）。
- ・知的財産の実施契約等件数は、12月末時点で110件（目標110件）と既に目標を達成し、技術の橋渡しを着実に進めている。

## 【橋渡し後期】

- ・清水建設株式会社とコラボを開始し、再生可能エネルギーによる水素製造、貯蔵、利用を行える完全自動運転実証システムを構築、その成果が評価され、コージェネ大賞2018（技術開発部門 理事長賞）を受賞した。
- ・電力変換システムの小型化・高効率化や新たな電力システム創出に向けて、炭化ケイ素半導体(SiC)を用いたトランジスタへの次世代構造の適用を実現し、世界最小の通電時抵抗を量産レベルで達成した。

# 目次

## 1. 領域の概要とマネジメント

- (1) 領域全体の概要・戦略
- (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施
- (3) マーケティング力の強化
- (4) 大学や他の研究機関との連携強化
- (5) 研究人材の拡充、流動化、育成

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

- (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
- (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
- (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

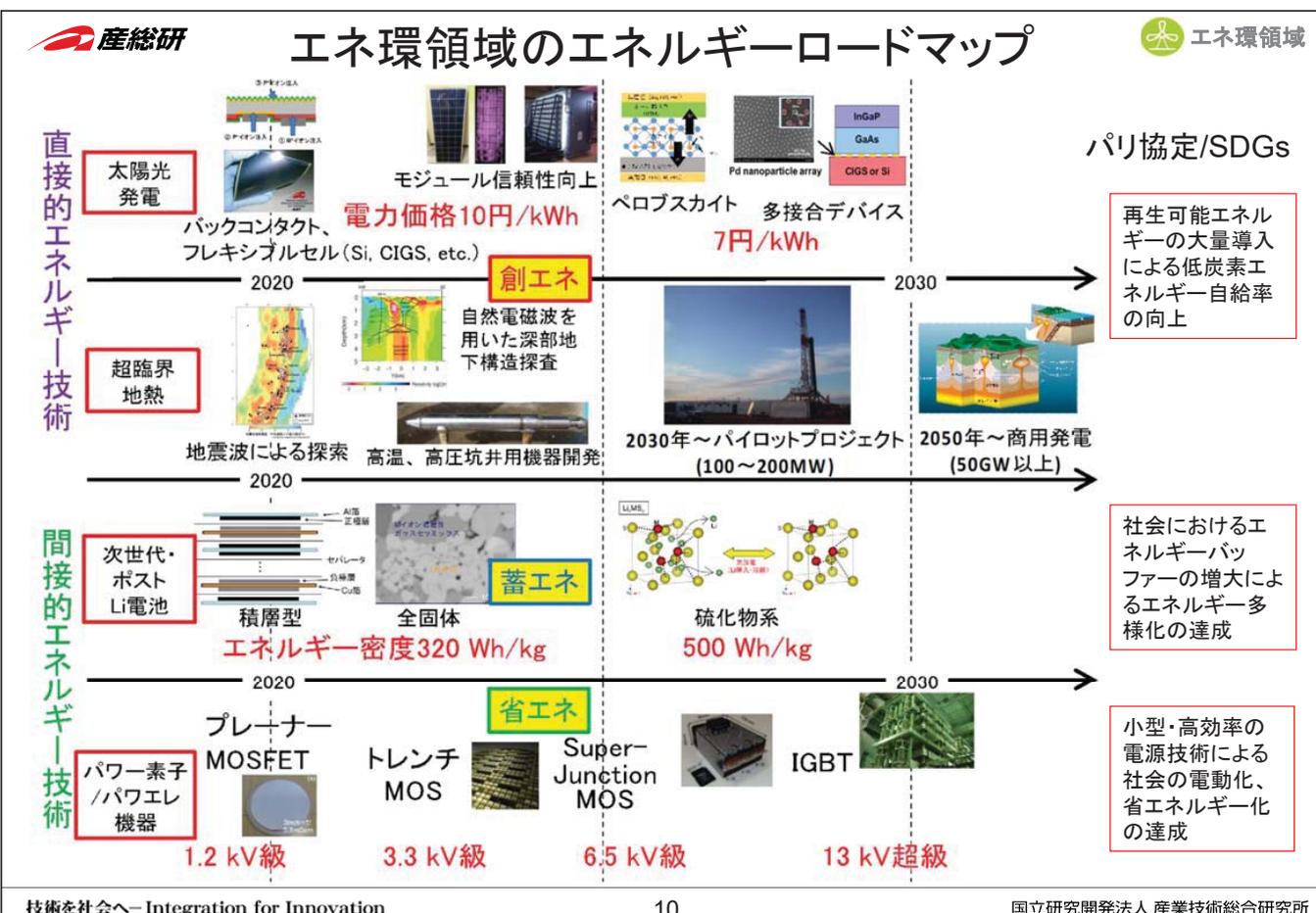
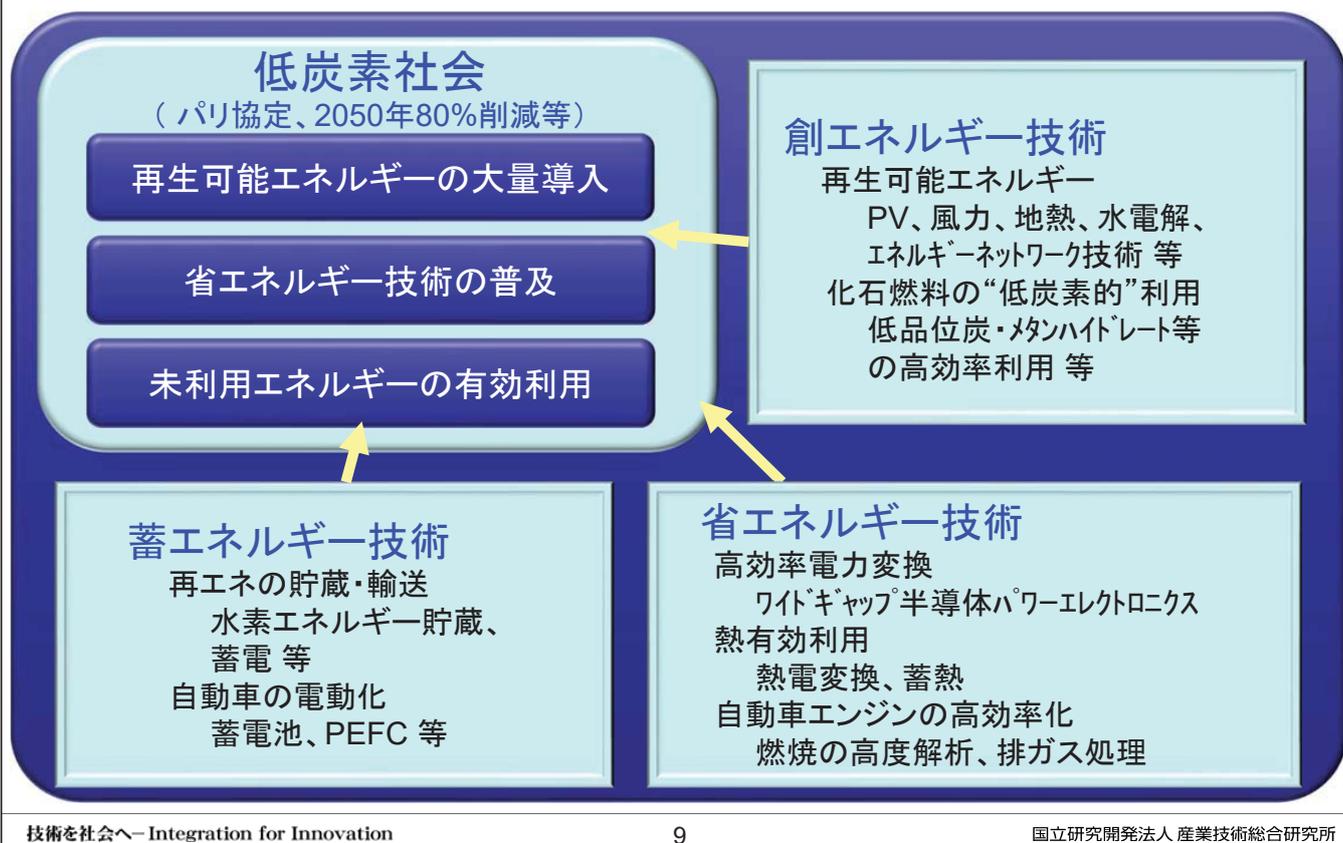
## (1) 領域全体の概要・戦略

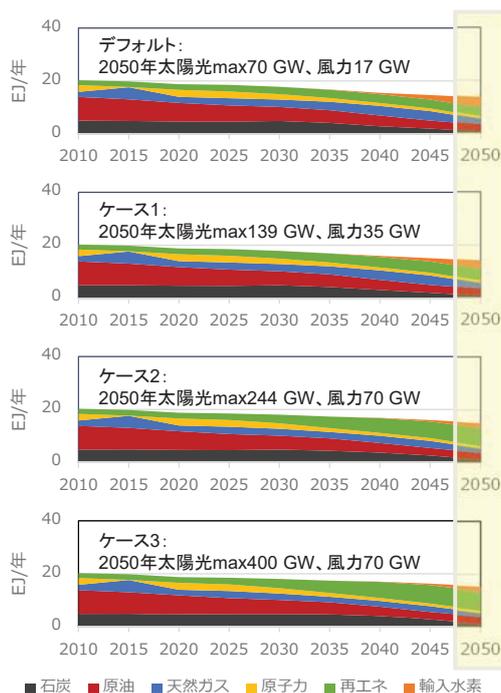


わたしたちは、持続可能な社会の構築に向けて、**グリーン・テクノロジー**による「豊かで環境に優しい社会」の実現、**ライフ・テクノロジー**による「健康で安心・安全な生活」の実現、および**インフォメーション・テクノロジー**による「超スマート社会」の実現を目指します。

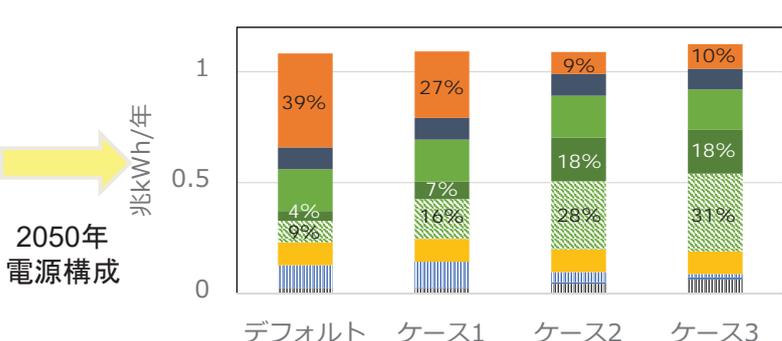
持続可能な社会の構築 : Zero-Emission Society の夢







2050年CO<sub>2</sub>80%削減可能な一次エネルギー供給構造の例



- 2050年CO<sub>2</sub>80%削減のためには、発電部門の直接CO<sub>2</sub>排出量ゼロが必要
  - 水素 or 原発 or CCS火力 or 再エネ
- 技術開発の進展により太陽光・風力導入が進めば、2050年80%削減は水素に過度に頼ることなく達成可能

## 産業と環境が共生する社会

(SDGs 水・衛生、生産・消費、資源等)

環境リスクの低減

資源・物質の循環

産業保安の確保

### 物質循環技術

レアメタル等希少金属のリサイクル技術  
(戦略的都市鉱山研究拠点SURE)  
水の安全確保と有効利用技術  
(アジア戦略 水プロジェクト)

### 産業技術のリスク評価・低減

化学物質・ナノ材料のリスク評価  
LCA等社会システム評価  
産業事故の防止・被害低減技術  
地球環境評価手法の開発

産業と環境が共生する社会：資源循環社会の構築、リスク評価と管理手法の開発

物質循環技術

### 水資源循環



#### アジア戦略「水プロジェクト」

- 環境微生物解析／制御技術
- 低コスト・簡便水質モニタリング技術
- 吸着／分解除去技術

アジア・アフリカを中心に水不足が深刻化、安全な水の確保が急務

省エネ型、現場対応型水処理再生技術の提案

#### アジア等国際貢献

省エネ型から創エネ型水処理へのパラダイムシフト  
現場での汚染度の即時可視化

国際貢献

環境リスクを低減した資源循環型社会の実現

### 材料資源循環



#### 動脈連携・戦略的都市鉱山プロジェクト

- 情報・AI利用の自律制御選別技術
- 多品種少量金属生産・廃プラ処理技術
- 高度単体分離分析手法確立

欧州CE政策/中国資源政策に対応する日本の新都市鉱山戦略を立案中(2025年までに社会導入)

未利用廃製品の再資源化効率を2倍向上

#### 国際対応都市鉱山戦略

- 自律制御型リサイクルプラント
- 再生資源利用最適化
- 難処理天然資源利用

材料資源の持続的な安定供給

環境影響評価

2015

2020

2030

規制と自主管理

全体リスク管理社会

情報に基づく行動選択

リスク選択社会

法改正・自主管理基準作成に必要な情報

EURO2020 WSSD2020

リスクの適正管理に必要な情報

パリ協定 SDGs

#### ①安全管理政策に資するリスク評価研究

- 暴露評価手法開発、リスク評価手法開発
- 爆発影響評価、爆発安全確保

新材料・製品・混合物リスク評価

リスク管理手法  
リスクの統一尺度化

国際標準化

#### ②鉱工業のイノベーションを支える評価研究

- 保安力評価手法開発、災害リスク評価
- エネルギー評価技術、インベントリDB開発

保安力評価  
技術基準作成

保安力評価のアジア展開  
ガイダンス・文書化

安全価値化

中長期の政策目標に向けたエネルギーシステム分析  
革新的技術のLCA

世界規模の環境影響評価手法  
革新的技術の持続性評価支援

評価技術のインフラ化

様々な環境リスクをニーズに応じて選択・管理できる社会の実現

## 創エネルギー，エネルギー資源

創エネルギーRI/羽鳥 浩章  
(つくば・北海道、48) メタンハイドレート、未利用化石資源

太陽光発電RC/松原 浩司  
(つくば・九州、42) CIGS-PV・新PV

再生可能エネルギーRC/古谷 博秀  
(福島★、41) Si-PV・多接合PV・風力・地熱・化学エネルギー貯蔵・エネルギーシステム

電池技術RI/谷本 一美  
(関西★ 43) LIB・新概念電池・PEFC

蓄エネルギー

領域長：小林 哲彦

研究戦略部長：児玉 昌也

研究企画室長：松岡 浩一

研究者数：約350名

外来研究者・テクニシャン等：約1,600名

研究費総額：約120億円

先進パワエレRC/奥村 元  
(つくば・関西、36) SiC・GaN・ダイヤモンド

省エネルギーRI/竹村 文男  
(つくば、45) 熱電変換・燃焼技術(自動車)SOFC

省エネルギー

## 物質循環

環境管理RI/田中 幹也  
(つくば、55) リサイクル・環境保全

## 産業技術のリスク低減

安全科学RI/緒方 雄二  
(つくば、39) リスクマネジメント・爆発安全・LCA

★：地域研究拠点化

RI：研究部門、RC：研究センター、( )：サイト・職員数

○ 我々の目指す世界観: **Zero-Emission Society の夢**

● **低炭素社会**

- ・再生可能エネルギーの大量導入
- ・省エネルギー技術の普及
- ・未利用エネルギーの高効率利用

● **産業と環境が共生する社会**

- ・環境リスクの低減
- ・資源・物質の循環
- ・産業保安の確保

○ 領域のあるべき役割: **産業界からリスペクトされる領域を目指して**

- 未来社会のための産業技術シーズ創出(目的基礎)
- オープン・イノベーション・プラットフォームの提供(橋渡し機能)

○ 領域の経営構造: **ミドル アップ & ダウン型経営**

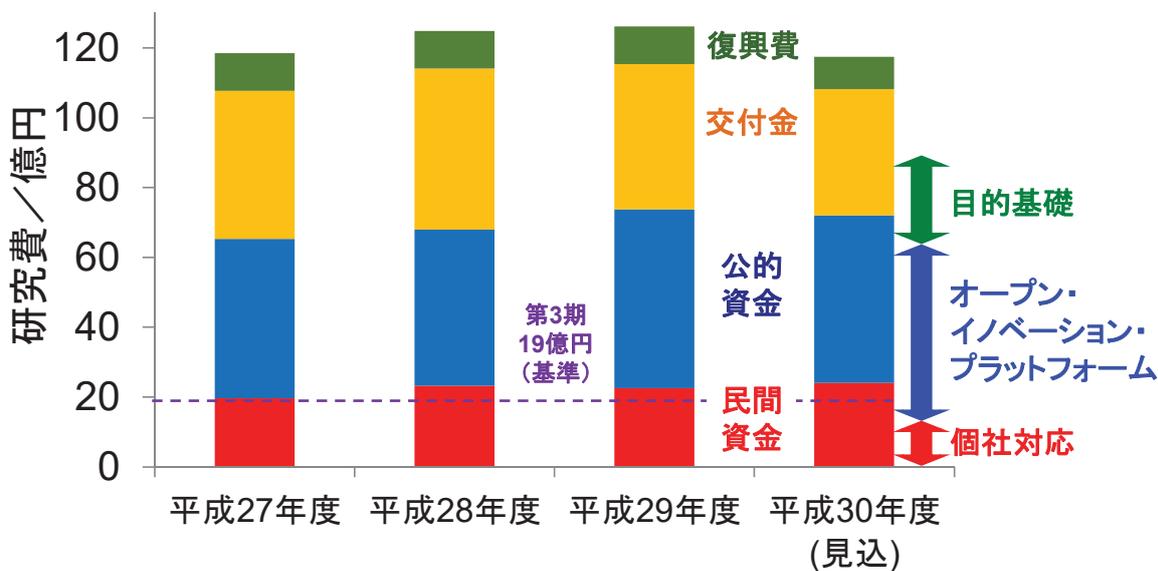
- ユニット幹部を中心とする「現場主義」

○ 第5期に向けてのキーワード: **急がば回れ**

“基礎体力”の増強による 結果としての「民間資金獲得拡大」

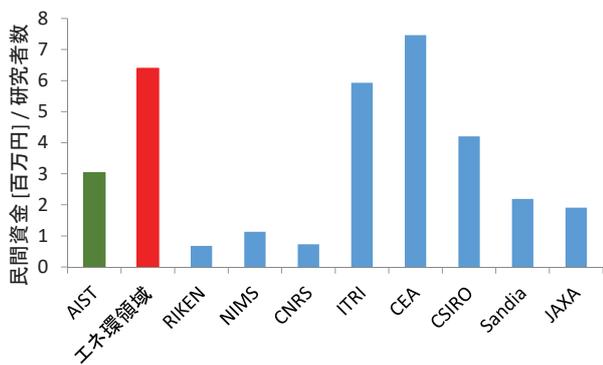
→ (1)目的基礎研究力の向上 + (2)マーケティング機能の定着 + (3)人材育成

	平成27年度			平成28年度			平成29年度			平成30年度 (12月末時点)		
	実績	目標	達成率	実績	目標	達成率	実績	目標	達成率	実績	目標	前年比
民間資金獲得額 [億円]	19.6	24.7	79%	23.2	30.2	77%	22.5	35.6	63%	21.3	41.1	103%
公的資金獲得額 [億円]	45.7	-	-	44.8	-	-	51.3	-	-	47.3	-	-
論文引用数 [回]	15,552	14,311	109%	16,302	15,300	107%	17,474	15,800	111%	18,631	17,000	110%
論文発表数 [報]	462	430	107%	433	430	101%	491	430	114%	299	450	89%
イノスク生(DC) + RA [名]	25	30	83%	32	30	107%	50	35	143%	43	40	-
知財実施契約 件数 [件]	93	101	92%	95	100	95%	130	100	130%	110	110	-

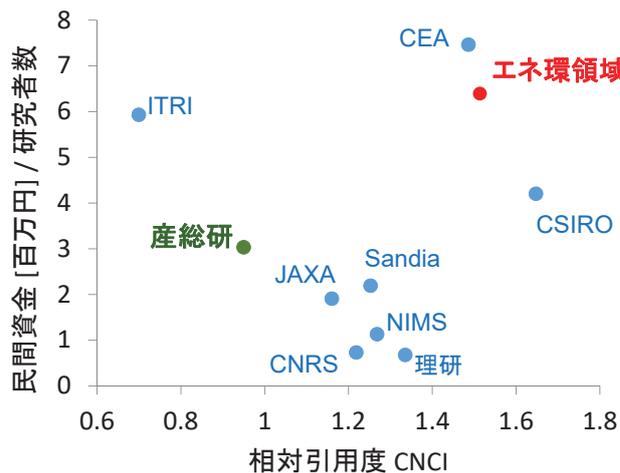
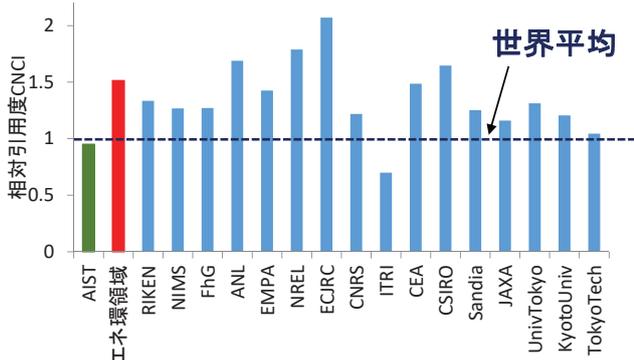


	民間資金目標額(平成30年度)	外部研究資金獲得額(平成30年度、見込)	直接経費	間接経費
	41.1億円	72億円 (民:24+公:48)	28.8億円	12.3億円
			57.6億円	14.4億円

## 研究者一人当たりの民間資金獲得額 (2017)



## 相対引用度(CNCI)\* (2017)



CNCI = 被引用回数 / 研究の分野における期待引用率  
 \*相対引用度(CNCI)は研究領域の異なる集合や大きさの異なる集合の比較が可能な評価指標であり、世界平均は1  
 Clarivate Analytics社

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (2) 技術的ポテンシャルを活かした 指導助言等の実施

### 技術コンサルティング

技術アドバイス, 分析/評価, 将来の連携を見据えた先端技術調査等を実施



主なコンサルティング・メニュー

コンセプト共創	先端技術調査	技術アドバイザー	分析・評価	事業化サポート
---------	--------	----------	-------	---------

契約例

気象データ解析による農作物収穫量予測に関する技術コンサルティング (安全科学研究部門)	1,498万円	契約数 (平成30年度は12月末時点)	47件(H30) 51件(H29) 15件(H28)
電気化学的分析による固体酸化物型燃料電池の被毒メカニズム (省エネルギー研究部門)	4,518万円		
ケイ素およびアルミニウム化合物の混合危険に関する調査技術コンサルティング (安全科学研究部門)	559万円	金額 (平成30年度は12月末時点)	9,498万円(H30) 8,010万円(H29) 2,696万円(H28)
大口径多結晶ダイヤモンド薄膜成長に関する技術コンサルティング (先進パワーエレクトロニクス研究センター)	495万円		

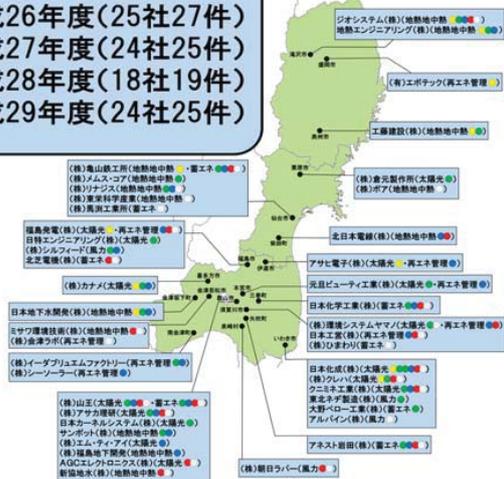
**平成28年度比：件数約3倍、金額約3.5倍に増加**

平成25～29年度 福島再生可能エネルギー研究開発拠点機能強化事業

## 被災地企業のシーズ支援プログラム

- 平成25年度(11社11件)
- 平成26年度(25社27件)
- 平成27年度(24社25件)
- 平成28年度(18社19件)
- 平成29年度(24社25件)

44社107件



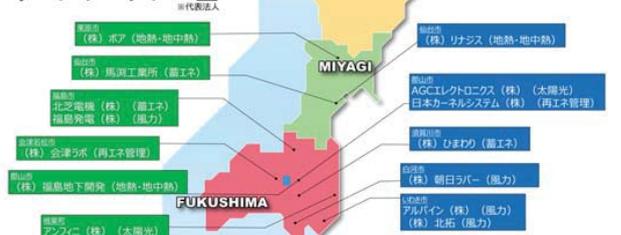
- ◆ 東日本大震災により被災した福島県、宮城県、岩手県に所在する企業が開発した再生可能エネルギーに関連した技術やノウハウ等の事業化を産総研が技術的に支援
- ◆ 成果の技術移転を通じて、被災地域における新たな産業の創出を目指す

平成30年度

## 被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業

製品化実績: 17件

### ◆ コンソーシアム型



- ◆ 従来の企業支援に加え、被災地企業等がコンソーシアムを組み、これまでの成果である技術シーズを集結した被災三県発の再生可能エネルギー関連製品の事業化を目指し、FREAのノウハウや研究設備を活用して、被災三県の企業を持つ再エネ関連技術シーズの開発・技術支援を行う。
- ◆ これにより、被災三県における新たな再生可能エネルギー産業の創出を目指す。

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (3) マーケティング力の強化

## エネルギー・環境領域のオープン・イノベーション・プラットフォーム

### 技術研究組合

PVTEC	太陽光発電技術研究組合
TherMAT	未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合
LIBTEC	技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター
AICE	自動車用内燃機関技術研究組合
FC-Cubic	燃料電池技術に係る技術研究組合

### イノベーションコンソーシアム型共同研究

TPEC	パワーエレクトロニクス
SUREコンソーシアム	戦略的都市鉱山
フレキシブルエネルギーデバイスコンソーシアム	太陽光発電
内燃機関産学官連携コンソーシアム	自動車用内燃機関
ASEC	固体酸化物エネルギー変換
ASCOT	超電導
MH21コンソーシアム	メタンハイドレード資源化
グリーンアンモニアコンソーシアム	CO <sub>2</sub> フリー燃料
コールドチェーン・コンソーシアム	北海道水産産業振興

### 研究ラボ

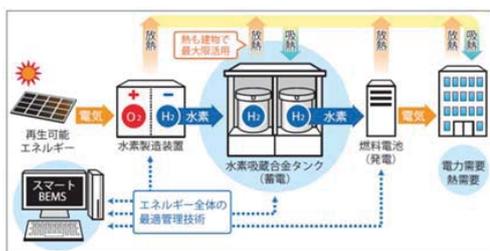
IDEAラボ	ライフサイクルインベントリーデータベース
ALSEC	固体酸化物エネルギー変換技術
次世代自動車エンジン研究ラボ	パワートレイン
エネルギーナノ工学研究ラボ	エネ・デバイス用ナノ材料応用

(平成30年10月から)

## 水素技術を使ってZEBを実現 水素エネルギーシステムの普及に貢献



- 産総研の水素技術と、清水建設のBEMS技術を融合
- 安全でBCP対応も可能なシステムの構築に成功



システム概要



ZEB用水素システム

ゼロエミッション水素タウン連携研究室  
実建物に構築したシステムを**移設・増設**し、**運転方法確立**し、**運用時の技術的課題抽出・解決**

- 建物付帯型＝安全・コンパクトに水素を貯蔵・利用する。(水素吸蔵合金)
- ZEB実現のため、再エネを最大限有効利用する。(BEMS制御)
- 建物の防災機能向上、非常時に電力・熱供給を継続する。(BCP対応)

ISO、IECの発行数 14件(平成30年度:5件)

## 国際議長

国際電気標準会議(IEC) TC82(太陽光発電システム)

国際標準化機構(ISO) TC28(石油製品および潤滑油)

コンビーナ:延べ7名、プロジェクトリーダー:延べ7名、

エキスパート:延べ59名

## 工業標準化事業表彰

## 経済産業大臣表彰

平成27年度「海水中のpH高精度測定法など」

平成30年度「粉体製品の品質を適正に評価するための評価手法の国際標準化など」

## 産業技術環境局長表彰

## &lt;国際標準化貢献者表彰&gt;

平成27年度「PFOSに関する国際標準化」

平成28年度「DME燃料の国内外標準化」

## &lt;国際標準化奨励者表彰&gt;

平成28年度「ファンセラミックスに関する国際標準化」

平成30年度「水質中の生物化学的測定方法などの国際標準化」

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (4) 大学や他の研究機関との連携強化

## オープンイノベーションラボラトリー(OIL)とラボラトリー

- 産総研・名大 窒化物半導体先進デバイス  
オープンイノベーションラボラトリー (GaN-OIL)
- 産総研・九大 水素材料強度ラボラトリー (HydroMate)
- 産総研・京大 エネルギー化学材料  
オープンイノベーションラボラトリー (ChEM-OIL)

経済産業省が進める「オープンイノベーションアリーナ構想」の一環として、大学等内に設置する連携研究拠点。OILおよびラボラトリーの設置を行うことで大学等の基礎研究と、産総研の目的基礎研究・応用技術開発を融合し、産業界へ技術の「橋渡し」を推進。

## 主な連携強化案件

- 米国ブルックヘブン国立研究所とクリーンエネルギー分野に関する包括研究協力覚書を締結(平成27年5月)
- 平成28年3月に独フラウンホーファー研究機構および米国国立再生可能エネルギー研究所と開催したテラワットワークショップの成果がScience誌に掲載 (Science 356 (6334), 141-143). 平成30年度には第2回を米国で開催.
- ドイツ航空宇宙センターとエネルギー変換・貯蔵分野に関する包括研究協力覚書を締結(平成29年3月)
- 欧州委員会共同研究センターとエネルギー分野に関する包括研究協力覚書を締結(平成29年5月)
- 米パシフィックノースウェスト国立研究所と再生可能エネルギー貯蔵に関する包括研究協力覚書を締結(平成29年12月)
- 筑波大学協働大学院方式におけるレジリエンス研究推進コンソーシアム設立(平成29年12月)

## クロスアポイントメント制度を活用した連携強化 17名(平成27年度 6名、平成28年度 2名、平成29年度 2名、平成30年度 7名)

- エネルギー・ナノ工学ラボ(東京大学・丸山教授 平成27年4月1日～平成32年3月31日予定)
- 太陽電池モジュールの実環境性能評価に関する研究(佐賀大学・嘉数教授 平成28年5月1日～平成31年3月31日予定)
- 国際標準開発のための燃料電池遠隔制御実証等(筑波大学・安芸准教授 平成29年7月1日～平成31年3月31日予定)
- 反転層型ダイヤモンドMOSFETのチャネル形成におけるダイヤモンド表面制御に関する研究(金沢大学・徳田教授 平成30年4月1日～平成31年3月31日予定) 等

## 経済産業省 革新的エネルギー技術国際協働研究開発事業(6ヶ国26機関)

- 国立再生可能エネルギー研究所(NREL、米国): 太陽光発電, Liイオン電池
- フラウンホーファー太陽エネルギーシステム研究所(FhG-ISE、ドイツ): 太陽光発電
- ローレンス・バークレー国立研究所(LBNL、米国): 超臨界地熱発電, Liイオン電池
- ローレンス・リバモア国立研究所(LLNL、米国): 高温岩体地熱発電
- ブルックヘブン国立研究所(BNL、米国): 有用化成品, ギ酸, 熱電変換
- デルフト工科大学(TU Delft、オランダ): 水素吸蔵合金

## 産総研・京大 エネルギー化学材料OIL(平成29年4月～)



- 目標: 京大の先端材料研究と産総研の橋渡し技術を生かし、新概念に基づく革新的エネルギー材料(電極、触媒等)を設計・開発。
- 社会実装イメージ: Liイオン電池をしのぐ(現行の5倍程度以上)種々の高性能な金属-空気電池の実現; 燃料電池、水素製造や液体燃料製造への触媒の実用化。

## 産総研・九大 水素材料強度ラボラトリー(平成29年1月～)



- 目標: 九大のマクロスコピックな解析技術と産総研のミクロスコピックな解析技術を融合し、水素脆性による材料破壊の基本原則を解明
- 社会実装イメージ: 水素の安全かつ経済的な活用のための材料開発を進め、水素社会を推進

## 産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスOIL(平成28年4月～) 平成30年8月よりエシ・製造領域に移管



- 目標: 名大のGaN結晶成長技術と産総研のデバイス化技術を生かし、企業ニーズに合わせた省エネ社会実現に向けた高機能GaNデバイス技術を橋渡し
- 社会実装イメージ: EV、医療やIoT社会での応用を目指したウェアラブル情報機器のためのμLED表示デバイスの実現、ドローン・ロボット等への給電技術を確立

## 「エネルギー安定供給や気候変動抑制における太陽光発電の役割を考える国際ワークショップ」

- ・産総研、独 Fraunhofer ISE、米国 NRELの国際連携のもとで開催
- ・日米独をはじめ世界を代表する専門家(研究所、大学、政府機関、製造メーカー、金融、等) 約50-70名が参加



## 第1回 平成28年3月17-18日 ドイツフライブルグ市

- ・世界のPVの累積導入量は**2030年には3TWを超える**
- ・**低コストで地産地消可能な電力源として魅力的な選択肢**
- ・地球規模の気候変動対策：**2040年に20TW規模での導入**
- ・さらなる製造コスト低減や性能・信頼性の向上とともに、**より柔軟な電力システムの整備、低コストな電力貯蔵技術、電力需要管理技術**等の開発が不可欠  
(サイエンス誌に論文掲載平成29年4月10日)



## 第2回 平成30年4月26-27日 米国コロラド州ゴールデン市

- ・累積導入量は「**遅くとも2023年までには1 TWに達する**」
- ・世界各地に**最も安価な電力源**となる可能性
- ・**パワエレ機器との組合せにより電圧・周波数変動の抑制などシステムの安定化が可能**、停電時の電力供給にも貢献
- ・**研究所・大学・企業が一体となった包括的な研究開発プログラムの推進により、短期～中長期にわたるさまざまなニーズに対応可能**



テラワット(TW) :  $10^{12}$ ワット(10億キロワット)

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (5) 研究人材の拡充, 流動化, 育成

## リサーチアシスタント

優れた研究開発能力を持つ大学院生を産総研リサーチアシスタントとして雇用する制度。実施中の国の研究開発プロジェクト等に参画すると共に、その研究成果を学位論文に活用。

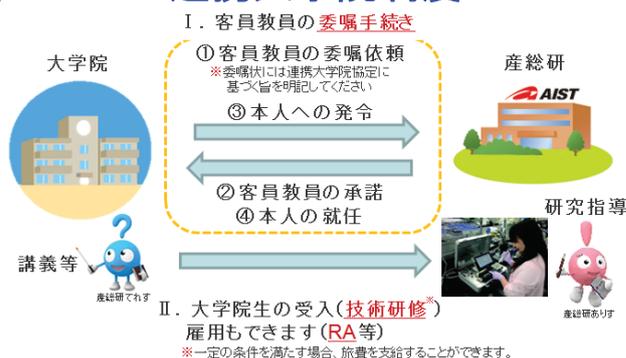
平成27-30年度採用:142名 (平成30年度 43名)

## イノベーションスクール



平成27-30年度:PDコース10名  
DCコース 6名

## 連携大学院制度



平成27-30年度委嘱:224件

## パーマニェンタ化審査と若手指導体制

- 【パーマニェンタ化審査1年前】
  - ・ 領域幹部、ユニット長を前にした進捗状況報告会の実施
  - ・ グループ長も指導方針を説明
- 【パーマニェンタ化審査2ヶ月前】
  - ・ E&Eフォーラムでの研究発表と領域幹部、ユニット幹部、参加者によるアドバイス体制
- 【パーマニェンタ化審査】
  - ・ 領域幹部とユニット長によるパーマニェンタ化審査の実施

## パーマニェンタ人材のOJTによる育成

- ・ 首席研究員等、世界トップ研究者の育成
- ・ 1年~2年の産総研内外への出向を通じ研究マネジメント業務を経験
- ・ OJTを通じた幹部人材の育成

海外派遣支援(0.2億円+国際共同研究PJ)

第4期に7名の在外研究を支援

## 研究能力 + 技術経営力

### 領域内研究連携の促進

E&Eフォーラム(エネルギー・環境領域 交流会)の開催

- ・ 年3回の開催(12月拡大版:参加人数 99人)
- ・ 領域長による講演により領域運営方針を共有
- ・ 全ユニット長によるパネルディスカッションを通じた問題意識の共有
- ・ ポスター展示による新規採用者の紹介と表彰



様々な外部人材育成の機会を主体的に設け、それぞれの分野での産業人材育成に貢献

### 先進パワーエレクトロニクス研究センター

- ・筑波大学TIA連携大学院パワーエレクトロニクスコース連携講座(3教員)
  - 第4期累計で修士学位 8名、博士学位 5名に協力
- ・TIA/TPECパワーエレクトロニクスサマースクール
  - 第4期累計で525名の修了者(平成30年度 120名)

### 再生可能エネルギー研究センター (FREA)

- 大学から人材を受け入れ、再生可能エネルギー分野の人材を育成
- 人材育成を伴う共同研究 20件(平成29年度)、16件(平成30年度)
  - 人材育成数:ポストドクター、技術研究など 242名(平成30年度 52名)

### 戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)コンソーシアム

- 都市鉱山開発のための技術力向上のためリサイクル技術セミナーを開催(年3回)
- 第4期累計(計11回)で682名の参加者(平成30年度 2回開催、受講者は73、64名)

### メタンハイドレート総合シンポジウムなどのアライアンス活動

- 実験教室や外部機関の見学対応などによる情報発信および最新の研究成果を発信する場としてシンポジウムを開催
- シンポジウムの参加者は第4期累計で950名以上(約400名は企業からの参加者)

## 【領域の概要】 Zero-Emission Societyの夢

- 低炭素社会を目指して
  - 再生可能エネルギーの大量導入、省エネルギー技術の普及、未利用エネルギーの有効利用
- 産業と環境が共生する社会を目指して
  - 環境リスクの低減、資源・物質の循環、産業保安の確保

## 【マネジメント】 急がば回れ : より産業界からのリスペクトを得るために

- 目的基礎研究の強化
  - 交付金の確保、大学連携の強化(OIL, クラホ等)、企業連携からのフィードバック
- マーケティング力の強化
  - ICと研究者の連携、コンソーシアム・技組等の活用、コンサルティングの活用
- 人材育成 → 研究能力/技術経営力の向上、新技術の啓蒙
  - 内部人材:任期付き職員教育、出向等OJT、海外派遣
  - 外部人材:新技術啓蒙活動、ポストドク教育、大学連携
- その他
  - 領域内外横断連携強化、国際標準、地域産業支援、国際連携 等

## 「急がば回れ」研究開発マネジメントの効果

- 論文の質、量(論文発表数や論文被引用数)は、高い水準を維持している
- 民間資金獲得額は徐々に増加してきている
- 「民間資金獲得額」が目標を下回る

**構造的課題:** 個別企業との連携を想定して設定された民間資金の大幅な増額には時間がかかる

- 対象としている研究テーマの時間軸が長い
- ニーズの高い **オープン・イノベーション・プラットフォーム活動**(NEDO PJ等)へのリソース投入
- マンパワーの獲得
- 民間資金で運営するプラットフォームの拡大
- プラットフォーム活動からの資金提供型共同研究への移行
- 技術コンサルティングからの資金提供型共同研究への移行

	平成27年度			平成28年度			平成29年度			平成30年度 (12月末時点)		
	実績	目標	達成率	実績	目標	達成率	実績	目標	達成率	実績	目標	前年比
民間資金獲得額 [億円]	19.6	24.7	79.4%	23.2	30.2	76.8%	22.5	35.6	63.2%	21.3	41.1	103%
論文引用数 [回]	15,552	14,311	108.7%	16,302	15,300	106.5%	17,474	15,800	110.6%	18,631	17,000	113%

昨年度の評価委員会で頂いたコメントにつきまして、例として以下のような対応を行っております。

## (1) 領域の概要と研究開発マネジメントについて

**【ご意見】** 領域間のクロスファンクションを強化すべきと考える。「エネルギー・環境」領域のイノベーション創出は、「材料・化学」領域や「エレクトロニクス・製造」領域との連携が欠かせないと考える。特に、「エレクトロニクス・製造」領域とは連携を図って、「Society 5.0」の実現を牽引していただきたい。

**【対応】** 領域間の連携は産総研の総合力を発揮する上で重要であり、例えば、平成30年度に、蓄電池開発において注目を浴びている全固体電池に関して、「エネルギー・環境」領域、「材料・化学」領域、「エレクトロニクス・製造」領域の研究者が参画する所内の連携研究を開始した。また、12月には上記の3領域に「計量・標準」領域も加えて、モビリティエネルギーに関するサステナブル技術連携促進シンポジウムも開催するなど、領域間融合を強化しつつある。また、「Society 5.0」の実現を目指し、情報技術を用いて再生可能エネルギーの社会への大量導入についても検討している。

### 産総研2次電池材料・反応分析シンポジウム



### サステナブル技術連携促進シンポジウム 「モビリティエネルギー」



- 燃料噴霧
- 熱電変換
- 蓄電池
- 磁性材料
- 燃料電池
- トライボロジー
- 騒音・振動・ハーシュネス
- 車両モデルシミュレーション
- Well-to-Wheel分析
- など

(2)「橋渡し」のための研究開発について

【ご意見1】金属多硫化物の開発と新奇な充放電機構の解明:研究は基本的には、現状の課題解決が目的であるから、今年の成果が従来のリチウムイオン電池と比較し、進展した機能と性能を定量的に示すことを推奨する。

【対応】金属多硫化物が従来のリチウムイオン電池正極(150-200 mAh/g)と比べて4倍近い容量(600-700 mAh/g)の充放電が可能メカニズムを明らかにした。平成30年度にはこの材料を用いて、8 Ah級の電池を試作し、300 Wh/kgのエネルギー密度を達成した。

【ご意見2】水素技術はトータルシステムとして水素を循環させて初めて真の評価が可能となりますし、社会に対してアピールもできます。地産地消型のエコタウン構想をぜひ実現してほしいと思います。

【対応】平成30年10月より清水建設-産総研 ゼロエミッション・水素タウン連携研究室(冠ラボ)を開始し、実際の建物を対象に水素エネルギー利用システムの構築、実証試験を行い、事業性(コスト)の検討、二酸化炭素削減効果、事業継続計画機能に係る課題を抽出してその解決を図っている。さらに、余剰の再生可能エネルギーで製造した二酸化炭素フリー水素を街区に導入する水素サプライチェーンを実証するために必要な水素貯蔵技術の開発ならびにモビリティを用いたフレキシブルなエネルギーマネジメントの検討を行い、ゼロエミッションタウンの具現化を目指します。

上記の他、評価委員会でコメント頂きました各研究テーマのロードマップおよびベンチマークにつきましても、本説明資料で示しましたように検討を進めております。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

電池材料開発



ニッケル水素電池の商用化

車載用電池開発



ハイブリッド自動車 (H9~) 初代プリウス発売開始

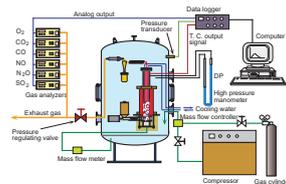


基礎燃焼試験

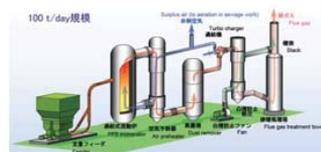


下水汚泥燃焼技術の商用化

加圧燃焼試験



実証プラント試験 H25~自治体等へ導入開始



目的基礎

橋渡し前期

橋渡し後期

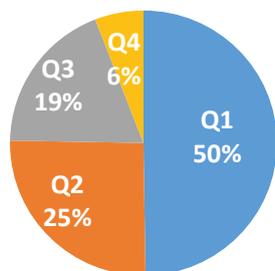
## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (1) 「橋渡し」につながる**目的基礎研究**

### 目的基礎研究(評価指標)

	論文引用数(回)			論文数(報)			IF 10以上 論文数 (報)
	実績	目標	達成率	実績	目標	達成率	
平成27年度	15,552	14,311	109%	462	430	107%	35
平成28年度	16,302	15,300	107%	433	430	101%	23
平成29年度	17,474	15,800	111%	491	430	114%	42
平成30年度 (12月末時点)	18,631	17,000	110%*1	299	450	89%*1	18*2

\*1: 前年同月比 \*2: 1月末時点



平成27年度から平成30年度の**Q1ジャーナル**(各研究分野におけるIF上位25%)への掲載は**約50%**  
(Q2ジャーナル(上位26-50%)も含めると75%)

Clarivate Analytics社

「**Highly Cited Researchers**」(10年間の発表論文の高被引用著者)に平成28年度から**3年連続で3件(2名)**選出(日本からは選出されるのは毎年100名以下)

1-(1) 創エネ	太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造
	超臨界地熱発電技術の研究開発 (FREA)
1-(2) 蓄エネ	ギ酸・メタノール/CO <sub>2</sub> の相互変換を利用したエネルギー貯蔵
	蓄電池の高性能化 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金属多硫化物正極材料の開発 (関西センター)</li> <li>・ 新型カリウムイオン電池の開発 (関西センター)</li> <li>・ 金属-空気電池用材料の開発 (ChEM-OIL)</li> </ul>
	ナノ・メソ・マクロ解析による水素脆化の基本メカニズム解明 (HydroMate)
1-(3) 省エネ	未利用熱エネルギーからの電力回収に向けた熱電変換の高効率化
	ダイヤモンド半導体基盤技術 (一部関西センター)
1-(5) 安全・物質循環	環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用

テーマ1:蓄電池    テーマ2:水素

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

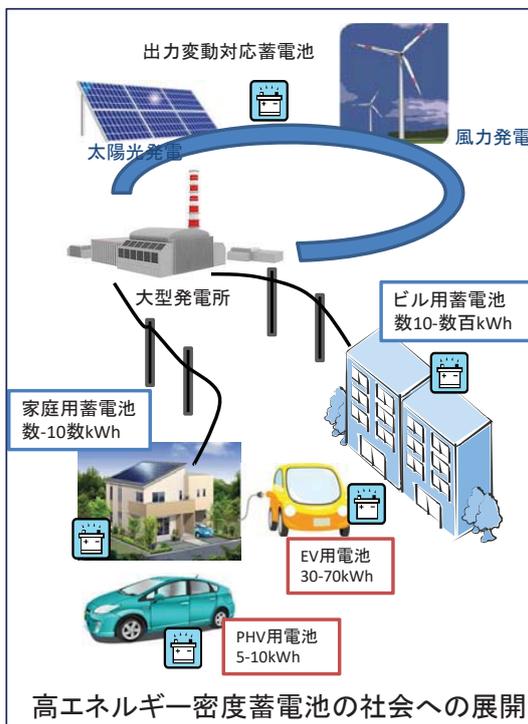
(1) 「橋渡し」につながる **目的基礎研究**

テーマ1:「蓄電池」に関する研究開発

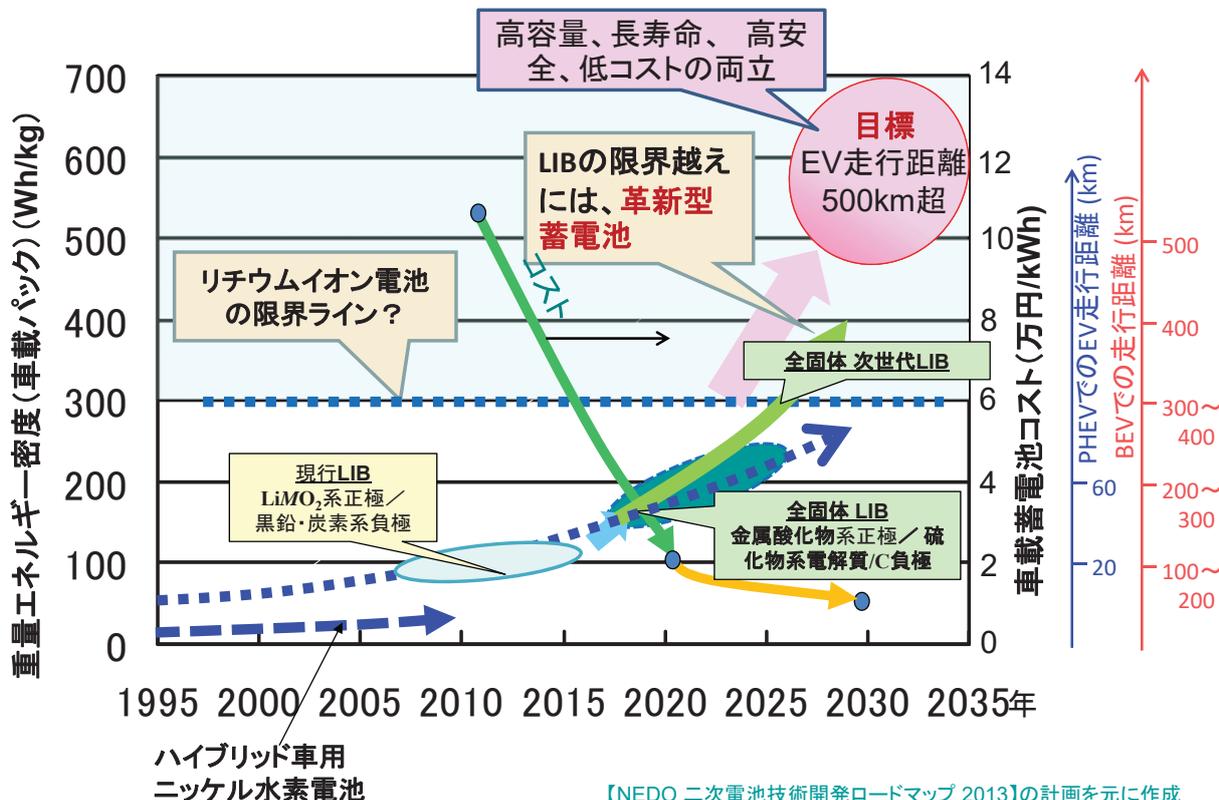
## 二次電池研究の目的基礎研究

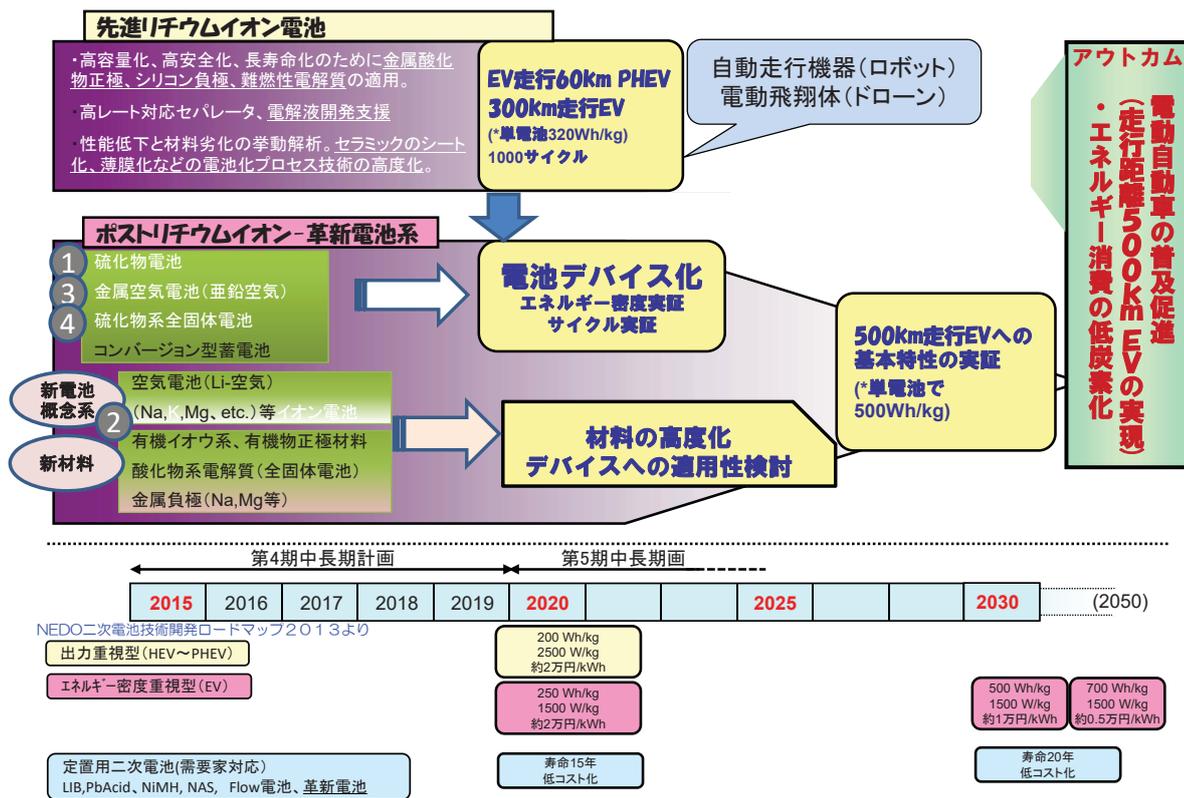
- ✓ 次世代自動車の電動化対応のためエネルギーキャリアとして軽量でコンパクト、高エネルギー密度となるリチウムイオン電池を超える革新型二次電池の技術開発が次世代自動車開発のキー技術。
- ✓ 再生可能発電等の出力変動対応、余剰電力貯蔵への対応、ビル用や家庭用途の規模で、現状の二次電池に比べ高性能で低コストな定置型蓄電技術の進展により、再生可能エネルギーの普及拡大へ貢献

➡ 高容量、長寿命、高安全性、低コストな革新型二次電池を実現する電池材料の研究開発。



## NEDO計画での車載用蓄電池開発のロードマップ





## 公的機関での二次電池研究開発の動向

	目的基礎	橋渡し前期	橋渡し後期	
AIST	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 硫化物電池(金属多硫化物)</li> <li>2 Mg, Kイオン電池</li> <li>3 金属-空気電池</li> <li>酸化物系全固体電池</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 硫化物系全固体電池</li> <li>有機物正極電池</li> </ul>	先進リチウムイオン電池	材料-デバイス実証
NIMS	Li-空気電池	酸化物系全固体電池		材料が主体
CNRS(仏)	<ul style="list-style-type: none"> <li>次世代電池</li> <li>Li-S電池(G/S複合体)解析</li> </ul>		ナトリウムイオン電池	材料解析が主体
Fraunhofer Battery Alliance(独)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Li-S電池(G/S複合体)</li> <li>金属Li電池</li> <li>常温型Na-S電池</li> </ul>	先進リチウムイオン電池	材料-デバイスシステム
ANL(米)	Li-空気電池	金属Li電池	先進リチウムイオン電池	材料-デバイス

各機関ともに、車載用電池開発

1

## 金属多硫化物正極材料の開発

## 【背景・実績・成果】

電気自動車の普及のため、リチウムイオン電池(LIB)を超える高容量二次電池の開発が不可欠である。その正極材料候補である硫黄材料は電解液への溶出による性能低下の課題があった。平成29年度までに非晶質金属多硫化物で溶出抑制と高容量化が可能と確認、平成30年度には当該正極とLi金属負極を組み合わせた8Ah級電池を試作し、現行LIBの3倍の走行距離が見込める314 Wh/kgのエネルギー密度を実証した。平成31年度にはこの電池の実用に目途をつけるマイルストーンとして充放電100サイクルを見込んでいる。

## 【成果の意義・アウトカム】

通常の硫化物材料では困難な技術を実現したことで、電解液量の制御が可能となり、軽量コンパクトな二次電池の実現で、電気自動車のほかに飛行体への搭載も視野に入れることができる。

## 【アウトプット】

論文 9報、新聞報道 1件

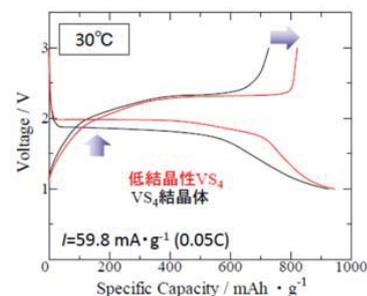


図1 非晶質VS<sub>4</sub>の充放電特性改善結果 (特願2017-70568)

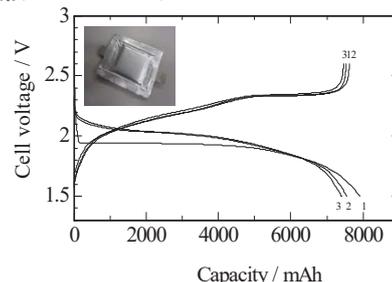


図2 開発材を用いた8 Ah級セルの初期充放電特性 (「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」中間評価事業原簿公開版)

2

## 新型カリウムイオン電池の開発

## 【背景・実績・成果】

再生エネルギー普及や電力網の需給調整用の電力貯蔵用電源の大量導入には、資源制約のない低コストな二次電池が求められている。豊富な資源のみで構成でき、現行のリチウムイオン電池と同等以上の性能が期待できるカリウムイオン電池に注目し、平成29年度までに、120を超える新規なカリウム複合金属酸化物正極材料を合成し、平成30年度には、LIBと同等の4 V級の高電圧正極材料の開発に成功した。平成31年度には、組成の最適化によりリチウム系と同等以上の比容量の150 mAh/gを実証する予定である。

## 【成果の意義・アウトカム】

高性能な電極材料の開発により、資源制約の少ない低コストなカリウムイオン電池実現の可能性を示した。本成果は、Nature Communications (IF: 12.353)に掲載され、新聞報道(2018.9.20)もされた。

## 【アウトプット】

論文 2報、新聞報道 7件、関連特許 24件

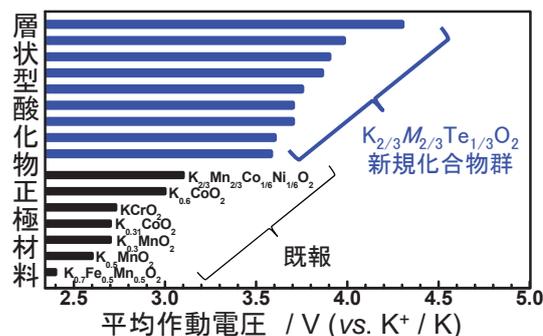


図1  $K_{2/3}M_{2/3}Te_{1/3}O_2$ の作動電圧の実測値 Nature Com. 9, 3823 (2018)

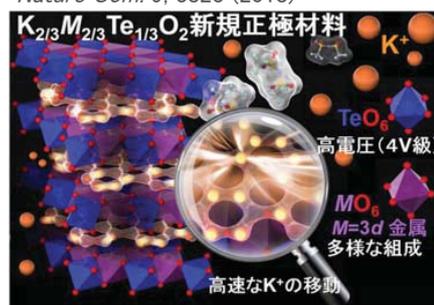


図2 層状構造の $K_{2/3}M_{2/3}Te_{1/3}O_2$ の新規結晶構造 Nature Com. 9, 3823 (2018)

3

## 金属-空気電池用材料の開発

### 【背景・実績・成果】

革新電池の一つの亜鉛-空気電池は容量及び安全性が高い一方、空気極触媒に起因する過電圧等の性能不足の課題がある。本研究では、配位高分子(MOF)を鋳型・前駆体として用いた機能性炭素材料合成法を活用し、白金より活性の高い空気極触媒の開発に取り組み、平成30年度には、**MOFナノチューブの合成に成功し、これを前駆体として熱処理することでコバルト(Co)担持窒素ドーパド層型一次元ナノ炭素複合体触媒を開発し(図1)、高性能な非貴金属空気極触媒を実現した。**平成31年度には、さらに高活性、高耐久性及びレアメタルフリーの電極触媒を開発する見込である。

### 【成果の意義・アウトカム】

本研究で開発した高性能空気極触媒は従来の白金触媒よりも過電圧を抑制し、高出力での充放電を実現した(図2)。これにより安全で、高効率な蓄電システムの実現に資するものとして高く期待される。

【アウトプット】 論文 4報

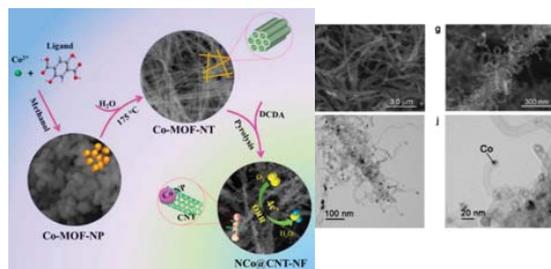


図1 超長Co-MOFナノチューブ及びそれを前駆体として用いたCo担持階層型一次元ナノ炭素複合体触媒の合成(左)と電顕写真(右)(*J. Am. Chem. Soc.* 2018, 140, 15393より)

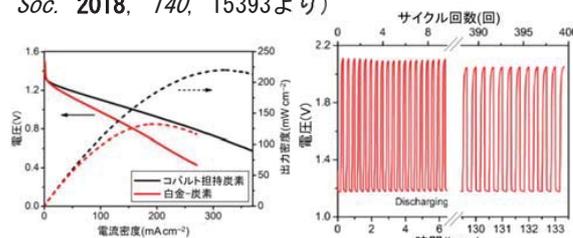


図2 Co担持階層型一次元ナノ炭素複合体触媒の亜鉛-空気電池放電・エネルギー特性(左)と繰り返し特性(右)(*J. Am. Chem. Soc.* 2018, 140, 15393より)

4

## 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み

(橋渡し前期)

### 【背景・実績・成果】

車載電池には、コンパクトで高安全な硫化物全固体電池開発への期待が世界的にも高い。この全固体電池の量産化のための鍵となるシート型電池の製造プロセスを平成29年度までに確立し、市販Li二次電池にせまる**188 Wh/kgのエネルギー密度を全固体電池で実証した。**平成30年度には、**シート化プロセスの改善により、容量低下がほとんど見られない負極電極の作製に成功した。**平成31年度には、より市販品と同等のシート型電池で200 Wh/kgを超えるエネルギー密度達成の見込である。

### 【成果の意義・アウトカム】

量産化に対応できるシート型電池での性能実証に成功し、車載用電池への全固体電池の実用化への道筋を示した。当該技術を自動車・電池関連主要企業が参画する技術組合(LIBTEC)へ技術移転し、車載電池実用化を牽引、電気自動車の早期普及への貢献を進めている。

### 【アウトプット】

論文 3報、関連特許 1件

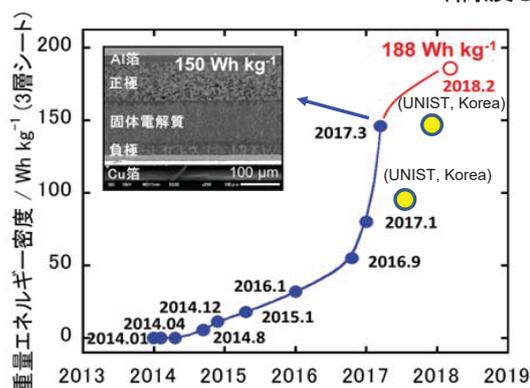


図1 産総研内における硫化物系シート型全固体電池のエネルギー密度変遷

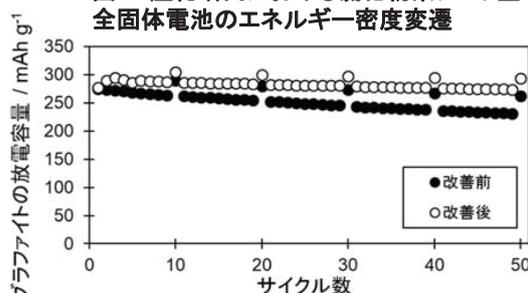


図2 シート化プロセスの改善による負極シートサイクル特性改善例



## 2. 「橋渡し」のための研究開発

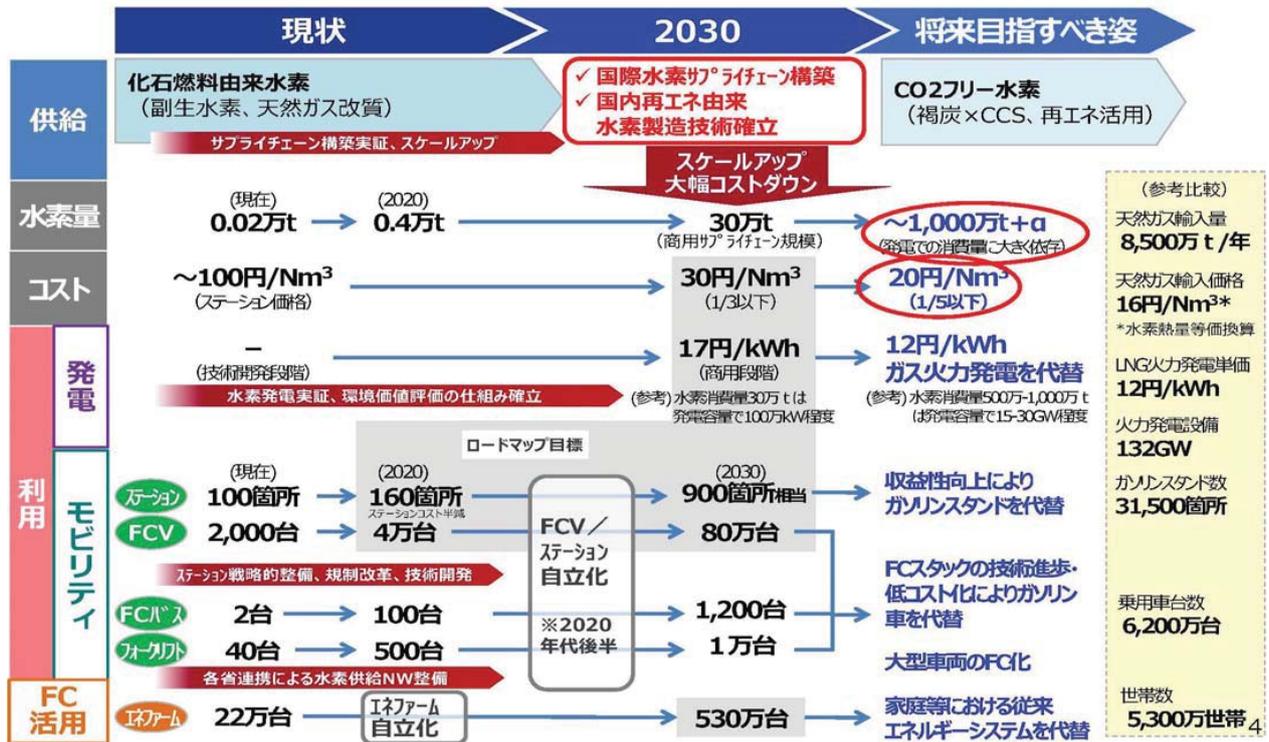
### (1) 「橋渡し」につながる **目的基礎研究**

### テーマ2: 「水素」に関する研究開発

国	各国の取り組み
米 国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カリフォルニア州のZEV規制により、FCV普及台数約5,000台(世界最多)</li> <li>・FCフォークリフト20,000台以上、FCバス30台以上普及</li> <li>・水素ST 51か所、200か所が計画中</li> </ul>
ド イ ツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モビリティ関連+産業分野のP2Gの大規模PJが複数</li> <li>・DaimlerのFCV市場投入、FCバス実証、Alstomの鉄道</li> <li>・2023年までに水素ST 400か所を目標</li> </ul>
フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・政府が「水素展開プラン」を発表(2018年6月)</li> <li>-2019年から、産業、輸送、エネルギーの水素の初期発展に1億ユーロ投資</li> <li>-2023年までに商用系車両5,000台、バス、トラック200台、水素ST 100台</li> <li>-工業分野への10%のグリーン水素導入などの目標を設定</li> <li>-欧州再エネ資料に基づき2020年以降水素製造トレーサビリティ導入を予定</li> </ul>
中 国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FCVに関する「省エネルギー車の技術ロードマップ」発表(2016年)</li> <li>-2025年に5万台、2030年頃に100万台の目標設定</li> <li>・上海市が水素・燃料電池普及計画発表(2017年)</li> <li>-2025年に乗用車2万台、特殊自動車1万台を目標</li> <li>・新市場として、米、加の企業が積極的に進出</li> </ul>
韓 国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・政府が「電気・水素車普及拡大のための政策方向」発表(2018年)</li> <li>・水素モビリティ分野で、今後5年間で2.6兆ウォン投資</li> <li>・2022年までに15,000台(FCV)、1,000台(FCバス)、水素ST310か所を目標</li> </ul>

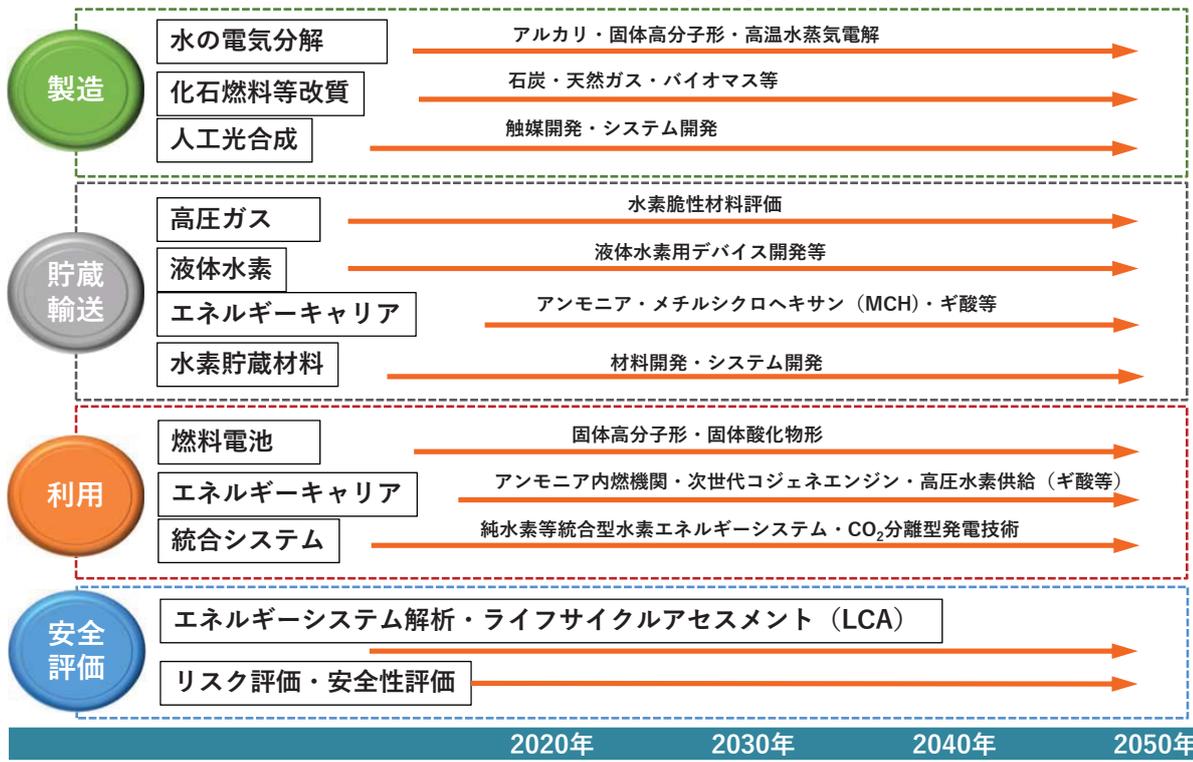
出典:水素基本戦略 ( <http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-1.pdf> )

# 水素基本戦略のシナリオ(経産省)

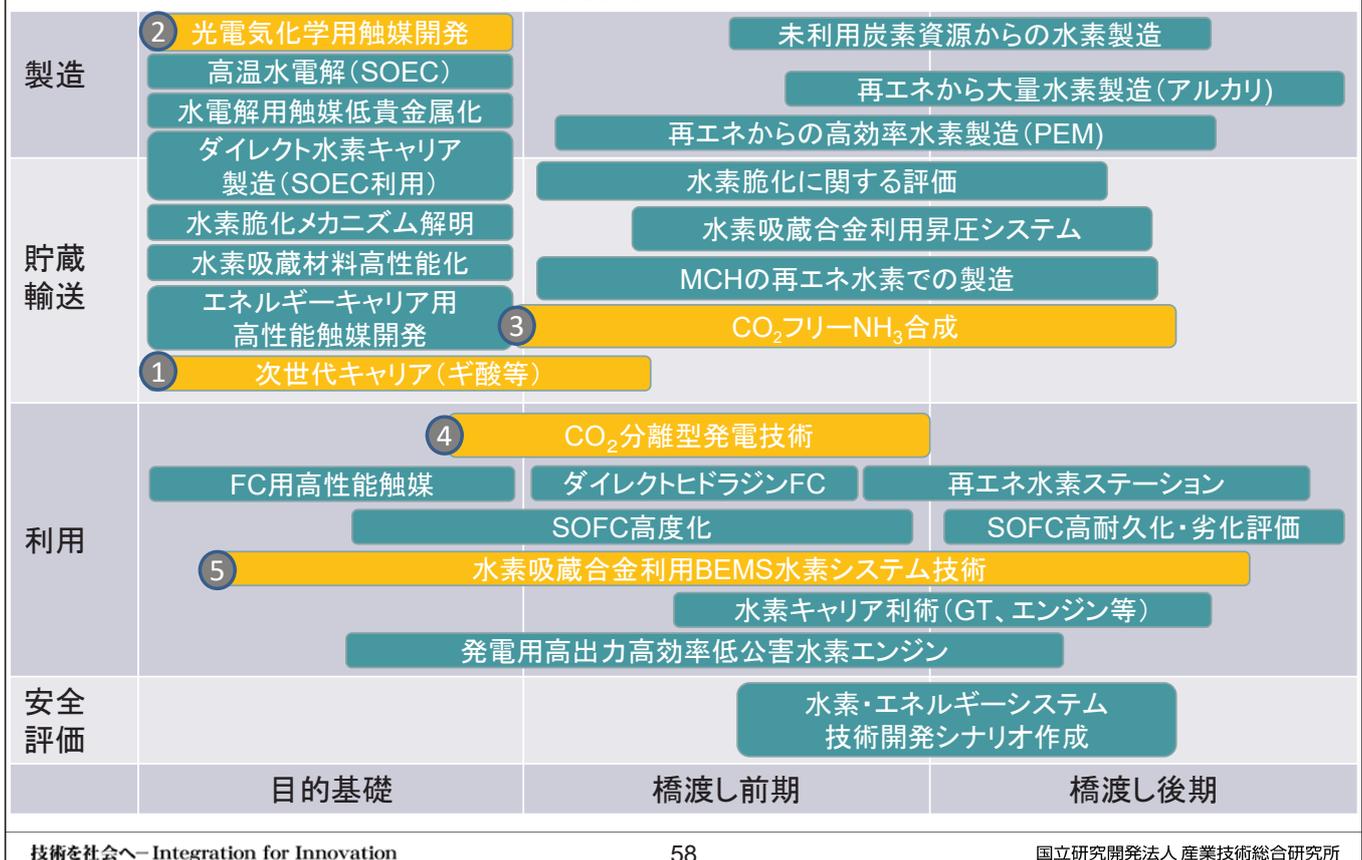
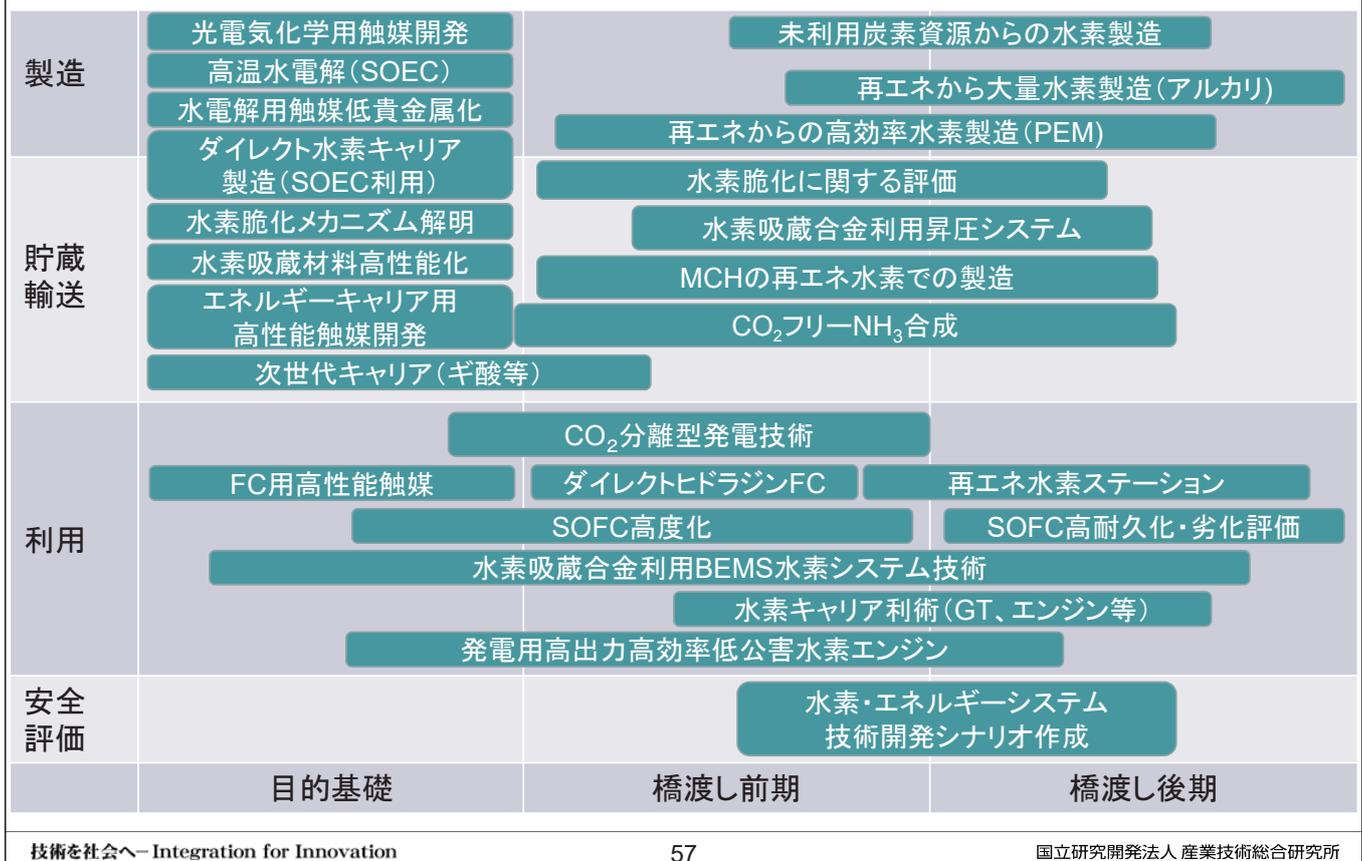


出典: 水素基本戦略 (http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-2.pdf)

# 水素・エネルギーキャリアに関わる産総研の技術開発ロードマップ



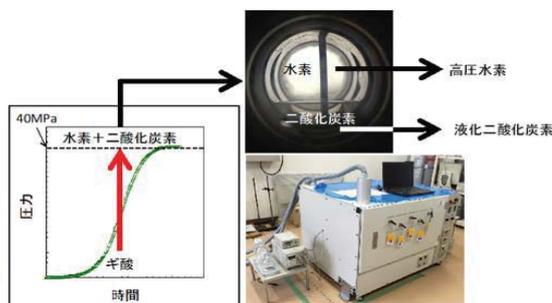
エネルギー構造多様化・低炭素社会実現への貢献



## ① ギ酸・メタノール／CO<sub>2</sub>の相互変換を利用したエネルギー貯蔵

### 【背景・実績・成果】

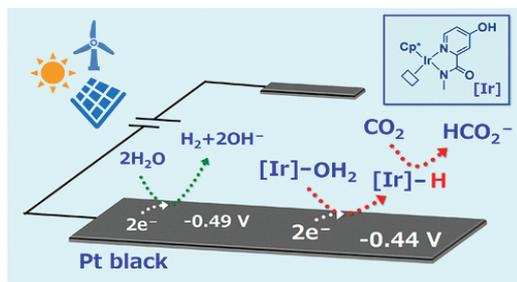
CO<sub>2</sub>を有効利用した化学品やエネルギー（水素）キャリアの製造・利用技術が求められている。これまでに、ギ酸から高圧(100 MPa超)水素の発生が可能な触媒を開発し、ギ酸の水素キャリアとしての利用可能性を示した。平成30年度は、再生可能エネルギーからの直接ギ酸合成につながる低電位でのCO<sub>2</sub>電解還元、および低温反応条件下(70℃以下)でのCO<sub>2</sub>からのメタノール合成に成功した。平成31年度は、CO<sub>2</sub>水素化触媒の高性能化・固定化による生産性向上が見込まれる。



圧縮機を使わない高圧水素連続供給法(産総研プレス発表2015/12/11)

### 【成果の意義・アウトカム】

独自の触媒開発により、ギ酸からの高圧水素発生、およびCO<sub>2</sub>からの高効率なギ酸・化学品合成を可能とした。液体系水素キャリアであるギ酸を用いた水素ガスステーションでの高圧水素供給の実現、およびCO<sub>2</sub>の排出削減への寄与が期待される。



CO<sub>2</sub>の電解還元によるギ酸合成  
ACS Catal., 2018, 8, pp 11296–11301.

### 【アウトプット】

論文 35報, 新聞報道 4件, 関連特許 3件

## ② 太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造

### 【背景・実績・成果】

さまざまな化学薬品の製造には膨大な化石燃料のエネルギーが使用されており、その省エネルギー化やCO<sub>2</sub>フリー化は非常に重要な課題である。産総研は、太陽光エネルギーを利用し、水素製造と同時に、酸化的な有用化学薬品を製造できる高性能な光電極技術を開発し、この新分野を牽引している。酸化剤としては、過硫酸、次亜塩素酸塩、過酸化水素、過ヨウ素酸塩、高付加価値の有機化合物等が選択性良く製造できることを見出し、この新規分野を開拓してきた。平成29年度は、クロム酸化等の反応の電流効率(反応の選択性)が約100%であること、平成30年度は環状炭化水素の酸化の電流効率が100%に近いことを確認した。平成31年度も高い電流効率の反応を2種類以上増やす予定である。

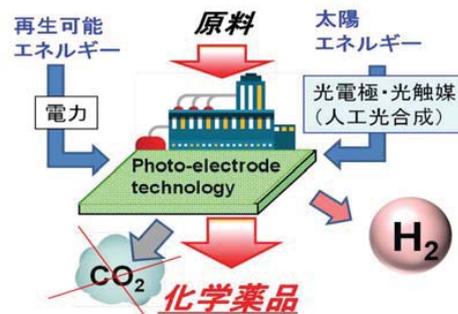


図1: 再エネ社会における化学薬品製造プロセスの将来像

### 【成果の意義・アウトカム】

過酸化水素などの酸化剤は、殺菌や漂白、洗浄などの用途では小型でニッチな応用からの早期実用化が期待される。高度化した電極触媒技術として発展し、再エネ電力を取り込んで経済性の高い大規模なPower-to-X(水素+高付加価値品)システムの構築が期待される。

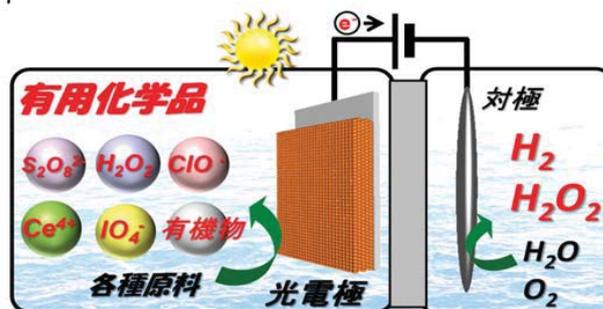


図2: 光電極による有用化学品製造

【アウトプット】 論文 12報, 新聞報道 6件, 関連特許 6件

3

## アンモニア製造利用技術

(目的基礎→橋渡し後期)

### 【背景・実績・成果】

エネルギーキャリアとして利用が期待されるアンモニアについて、製造利用技術を開発している。平成28、29年度は、難燃性のアンモニアを直接燃焼利用するガスタービン発電に世界で初めて成功、また、製造では400℃・10 MPa以下で高い活性を示す触媒改良に成功。平成30年度はガスタービン燃焼器の低NOx化と、国内初の再エネ水素を原料とするアンモニア合成を実証した。平成31年度は、FREAを拠点としてパートナー企業の実証事業等を支援し、実用化を推進する。

### 【成果の意義・アウトカム】

再エネ水素を利用した合成及び直接燃焼利用技術の実証により、アンモニアをエネルギーキャリアとして利用した脱炭素社会の早期実現が加速すると期待される。本技術は、日刊工業新等18紙で報道され、高く期待されている。

### 【アウトプット】

論文 13報, 新聞報道 18件, 関連特許 1件



図1 アンモニア合成プラント



図2 アンモニアガスタービン

4

## 未利用炭素資源からのCO<sub>2</sub>分離型発電技術の開発

(水素製造技術から派生した技術)

(目的基礎→橋渡し前期)

### 【背景・実績・成果】

エネルギーセキュリティの観点から、褐炭等の未利用炭素資源の利用拡大が見込まれている。平成29年度までに、褐炭等の化学ループ燃焼技術の原理を実証するため、100 kWの循環流動層式試験装置を製作した。流動キャリアとして安価な天然物を用いた60時間連続試験を成功させたことにより、CO<sub>2</sub>分離・回収コストを1,000円台/CO<sub>2</sub>-ton 以下とする見込みを得た。平成30年度は、得られる高濃度CO<sub>2</sub>の有効利用技術として石油増進回収法(EOR)への適用を検討し、CO<sub>2</sub>フリー火力発電を実現する見通しを得た。平成31年度は、装置のスケールアップに必要な条件を明確にする見込みである。

### 【成果の意義・アウトカム】

CO<sub>2</sub>分離・回収コストの低コスト化を、CO<sub>2</sub>貯蔵技術と組み合わせることにより、海外の未利用炭素資源を用いたCO<sub>2</sub>フリーの火力発電、水素製造につながる技術として期待される。本技術は、日経xTECHで報道されるなど、高く期待されている。

### 【アウトプット】

論文 3報, 新聞報道 1件

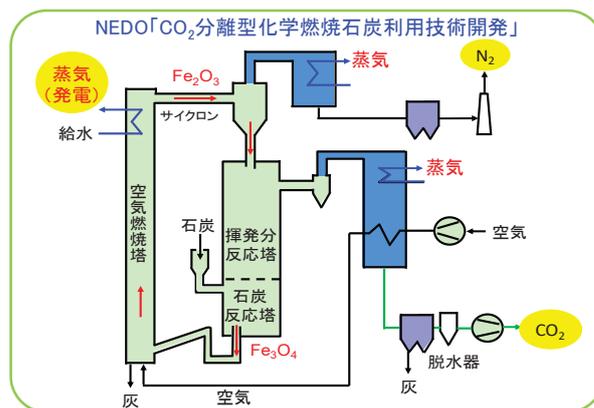


図1. 化学ループ燃焼プロセスの概念図



図2. 100 kWの三塔式循環流動床試験装置

- 石炭転換率: >90%
- CO<sub>2</sub>回収率: >98%
- CO<sub>2</sub>分離・回収コスト: 1,100円台/CO<sub>2</sub>-ton (化学吸着法の1/4)

5

## 再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムの実証研究

(目的基礎→橋渡し後期)

### 【背景・実績・成果】

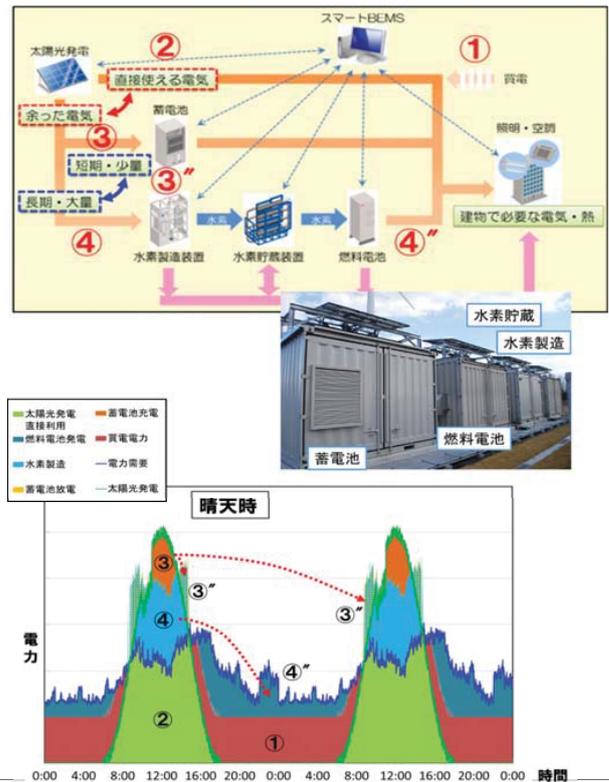
街区での水素エネルギー大量利用には、消防法危険物などに該当しない水素貯蔵方法の確立が鍵となる。平成27年度から、清水建設株式会社と再生可能エネルギーを用いた水素製造、貯蔵、利用を行う実証システム構築を進め、最適自動制御の開発を行った。平成30年度には、水素エネルギーシステムの本格運転および発電需要予測機能を有した完全自動運転を実証した。平成31年度には、実建物へ設置の実証を進める。

### 【成果の意義・アウトカム】

本格運転の実証により、水素エネルギーシステムの実用化に大きく前進した。街区での水素大量貯蔵が可能となり、CO<sub>2</sub>排出量削減や、事業継続対応が可能なシステム実現が期待される。

### 【アウトプット】

新聞報道 10件, 受賞 1件, 関連特許 1件  
2018年コージェネレーション大賞技術開発理事長賞



## テーマの全体像

- ・ 領域内アライアンス活動により目的基礎から橋渡し後期まで全体を把握。
- ・ システム解析技術でテーマの重要性を把握、情報提供で各テーマ設定に応用。
- ・ 目的基礎のテーマは橋渡し前期への移行を意識しつつ世界最先端を目指す。
- ・ 橋渡し前期のテーマは、必要に応じ目的基礎に戻りオリジナリティーを強化、同時に、橋渡し後期として企業と連携し実証を行う。(FREA等を利用)
- ・ 水素エネルギーの普及によりエネルギー構造多様化・低炭素社会実現へ貢献。

### 水素の領域内アライアンス



## 2. 「橋渡し」のための研究開発 － 別添資料 －

### (1) 「橋渡し」につながる**目的基礎研究**

本資料中のリストに記載した第4期の主な成果のうちプレゼンで紹介できなかった成果につきましては、こちらの別添資料に概要を掲載しています。

### 未利用熱エネルギーからの電力回収に向けた熱電変換の高効率化

#### 【背景・実績・成果】

熱電変換技術を普及させるためには、変換効率の向上が不可欠である。既存技術では7%程度であった変換効率を、ナノ構造の形成により平成27年度には11%、ドーピング制御等を加えることで平成30年度には12%に向上させた。平成31年度には、資源制約の少ない元素を用いた熱電材料を開発する見込みである。

#### 【成果の意義・アウトカム】

発電効率12%は、自動車において5%以上の燃費改善に相当し、本格実用化開発が期待される値である。他にも工場等からの廃熱を用いた発電への応用が見込まれる。Energy & Environmental Science (IF: 30)などの著名な雑誌に成果が掲載され、日本経済新聞等10紙で報道され、産総研発ベンチャーの創立につながる等、高く期待されているところである。

#### 【アウトプット】

論文 51報, 新聞報道 10件, 関連特許 12件,  
受賞 5件

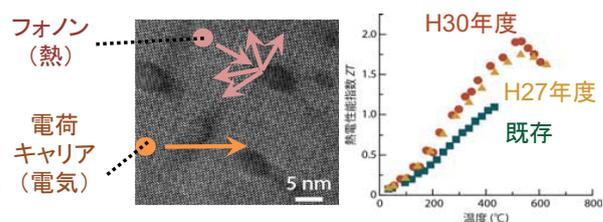


図1 高効率化をもたらすナノ構造と熱電性能指数ZT: 電気は良く流すが熱は流しにくいナノ構造を、添加剤を用いてバルク体熱電材料に形成して、性能の大幅向上を達成。ナノ構造の写真(左)

は、Jood P., Ohta M.ら, *Joule*, 2018, 2, 1339から転載。



図2 変換効率12%の熱電モジュール: 高温劣化を抑制するFeベースの拡散防止層を開発するなど、最先端の電極形成技術や高精度評価技術を駆使して、モジュールを開発。モジュールの写真は、Jood P., Ohta M.ら, *Joule*, 2018, 2, 1339から転載。

## 超臨界地熱発電技術の研究開発

### 【背景・実績・成果】

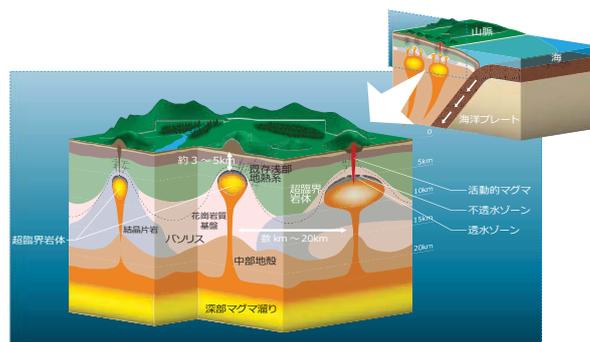
海洋プレートの沈み込みに起源を有する超臨界地熱システムを利用した超臨界地熱発電により、膨大な発電が実現できる可能性がある。産総研が中心となり、平成27年度に超臨界地熱発電の可能性検討を行い、商用発電が可能なることを見出した。その後、詳細な調査・検討を行い、平成28年度には一地点で100 MW以上の経済性を有する発電を実現可能であることを示した。さらに、平成30年度から試掘へ向けた事前調査を開始し、平成31年度から2020年度末までに試掘有望地点の選出と、そこでのエネルギー量等の詳細評価を実現する予定である。

### 【成果の意義・アウトカム】

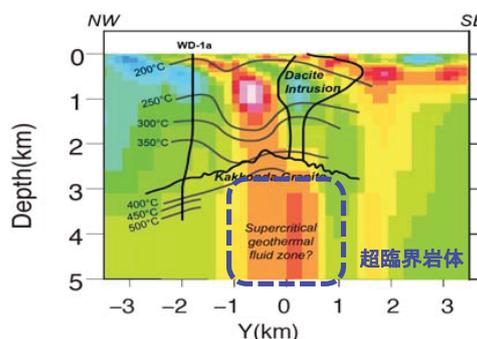
超臨界地熱資源による国内発電総容量を2050年に降に数10 GW程度(石炭火力発電は40 GW)まで増大させ、二酸化炭素排出量の大幅な削減に寄与する。なお、本技術は、日刊工業新聞で報道され、高く期待されている。

### 【アウトプット】

論文 7報, 新聞報道 1件



東北地方での超臨界地熱システムモデル図



最新の自然電磁波探査手法による超臨界岩体のイメージング結果 (Yamaya et al., 2017)

## ナノ・メソ・マクロ解析による水素脆化の基本メカニズム解明

### 【背景・実績・成果】

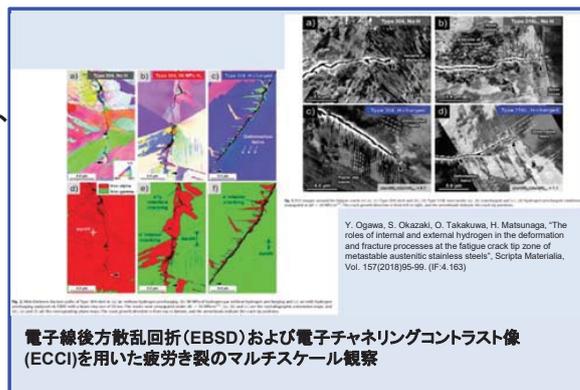
耐水素脆性を有する高強度材料を開発するために、材料への水素の影響をナノからマクロレベルで解析し、水素脆化現象の根源的な理解を目指している。平成30年度は、破壊現象のマルチスケール解析の結果、き裂先端部において水素が塑性変形を抑制する新たな水素脆化モデルを提案した。平成31年度は、変形・破壊挙動のシミュレーションを用いて、実験で得られた水素脆化挙動を再現可能な力学モデルを構築する見込みである。

### 【成果の意義・アウトカム】

現状の規格材料では不可能な1000 MPa以上の引張強さを有する耐水素脆化材料の開発指針が導かれ、高圧水素ガス利用機器の普及に不可欠な、薄肉化と軽量化につながる。また、高圧水素ガス利用機器開発を支援し、水素社会を支える技術者・研究者を育成する。平成30年度はActa Materialia (IF:6.036)などの著名な雑誌に成果が掲載された。

### 【アウトプット】

論文 16報 (平成29—30年度)



電子線後方散乱回折 (EBSD) および電子チャネリングコントラスト像 (ECCI) を用いた疲労き裂のマルチスケール観察

## ダイヤモンド半導体基盤技術

## 【背景・実績・成果】

パワーエレクトロニクス応用に向けたダイヤモンド半導体関連技術では、高品質のセンチ級大型結晶実現とデバイス化プロセスの確立が鍵となっている。平成28年に基本プロセスの改善を進めてパワー応用に必須のノーマリオフ型MOSFETの動作実証に世界で初めて成功した。デバイス構造形成用の大型ウェハ開発も並行して進め、平成30年度には従来の約20倍サイズの2 cm<sup>2</sup>ウェハを実現した。平成31年度にはこれらの大型ウェハを用いてダイヤモンドpinダイオードでSiに比肩する耐压6.5 kVを実現する見込である。材料特性から最高のパワーデバイス性能が期待されるダイヤモンド半導体の実用的なデバイス応用ポテンシャルを実証した。

## 【成果の意義・アウトカム】

ダイヤモンドパワーデバイス実現に向けた材料・プロセス基盤技術を開発した。これにより、実用的なダイヤモンドパワーデバイス実現への道筋が示せた。ダイヤモンドパワーデバイスは、炭化ケイ素を凌ぐ超高電圧領域でのパワー半導体デバイスとして社会インフラである送配電システムの小型化をもたらす。

## 【アウトプット】

論文 76報、新聞報道 27件、受賞 6件

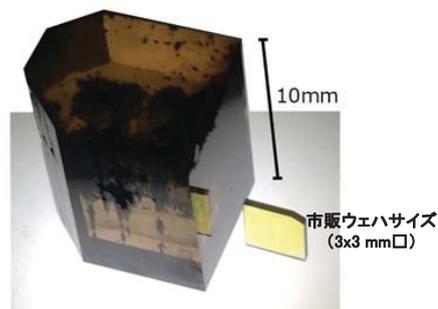


図1 プラズマCVD法によるセンチ級ダイヤモンド単結晶

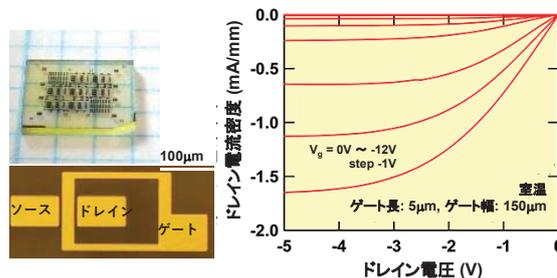


図2 反転層チャネルダイヤモンドMOSFETの外観と基本特性

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

## (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

	知財実施契約件数			特許出願			公的資金獲得金額 [億円]
	実績	目標	達成率	国内出願件数	国際特許(PCT)出願件数	特許登録件数	
平成27年度	93	101	92%	153	113	126	45.7
平成28年度	95	100	95%	169	113	181	44.8
平成29年度	130	100	130%	158	50	176	51.3
平成30年度 (12月末時点)	110	110	100%	56	31	146	47.3

課題名・研究テーマ	
NEDO	PL 高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術研究開発事業 (H29~34年度予定)
	PL 未利用熱エネルギーの革新的活用に係る研究開発 (H25~34年度予定)
	SPL 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (H28~32年度予定)
技組 AICE	ゲートキーパー 自動車用内燃機関に係る研究開発
MH21コンソ	SPL メタンハイドレート資源開発に係る研究開発
SIP	TL、中核拠点 次世代パワーエレクトロニクス/SiC次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発 (H27~30年度予定)

1-(1) 創エネ	<b>太陽光発電の高効率化・評価技術</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池(一部FREA)</li> <li>低コストHVPEによるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長</li> <li>CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化</li> <li>太陽電池性能屋外高精度評価技術</li> </ul>
1-(2) 蓄エネ	アンモニア製造利用技術(FREA) 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み(関西センター)
1-(3) 省エネ	固体酸化物形燃料電池(SOFC)の評価方法開発 超高電圧領域用炭化ケイ素(SiC)半導体バイポーラデバイス基盤技術開発 1 kV級高温高速動作SiCパワーモジュール
1-(4) エネ資	メタンハイドレートからのガス生産に係る圧力コア評価技術の開発(北海道センター) 未利用炭素資源からのCO <sub>2</sub> 分離型発電技術の開発
1-(5) 安全・物質循環	<b>戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発</b> <b>逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析</b>

**テーマ3: 太陽光発電    テーマ4: 物質循環**

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

### テーマ3: 「太陽光発電」に関する研究開発

## 太陽光発電をめぐる現状

FIGURE 1: EVOLUTION OF CUMULATIVE PV INSTALLATIONS (GW)

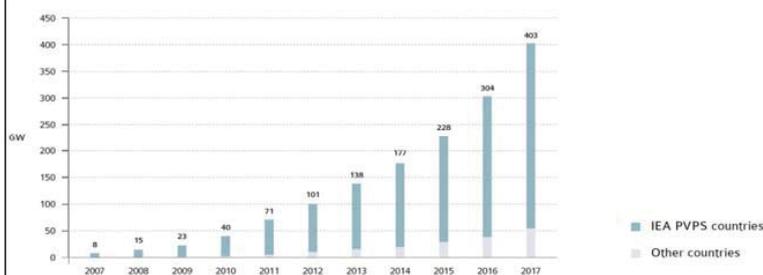


TABLE 1: EVOLUTION OF TOP 10 PV MARKETS

RANKING	2015	2016	2017
1	CHINA	CHINA	CHINA
2	JAPAN	USA	USA
3	USA	JAPAN	INDIA
4	UK	INDIA	JAPAN
5	INDIA	UK	TURKEY
6	GERMANY	GERMANY	GERMANY
7	KOREA	THAILAND	KOREA
8	AUSTRALIA	KOREA	AUSTRALIA
9	FRANCE	AUSTRALIA	BRAZIL
10	CANADA	PHILIPPINES	UK

MARKET LEVEL TO ACCESS THE TOP 10

2015	2016	2017
675 MW	683 MW	954 MW

SOURCE IEA PVPS & OTHERS.

- ・世界的な導入の伸び (51 GW⇒76 GW ⇒2017年99 GW)
- ・世界の累積導入量は 400 GW超(2017年)
- ・日本の累積導入量は 49.5 GW(2017年)  
～国内電力需要の6%

太陽電池の単年導入量トップ10  
(IEA-PVPSより)

累積導入量	0.3 TW <sup>*1</sup>	3 TW <sup>*1</sup>	~20 TW <sup>*2</sup>	~数十 TW <sup>*2</sup>
年産量	~60 GW	~100 GW	~1 TW	~3 TW
	現在(2017)	2020年	2030年	2040年
				2050年

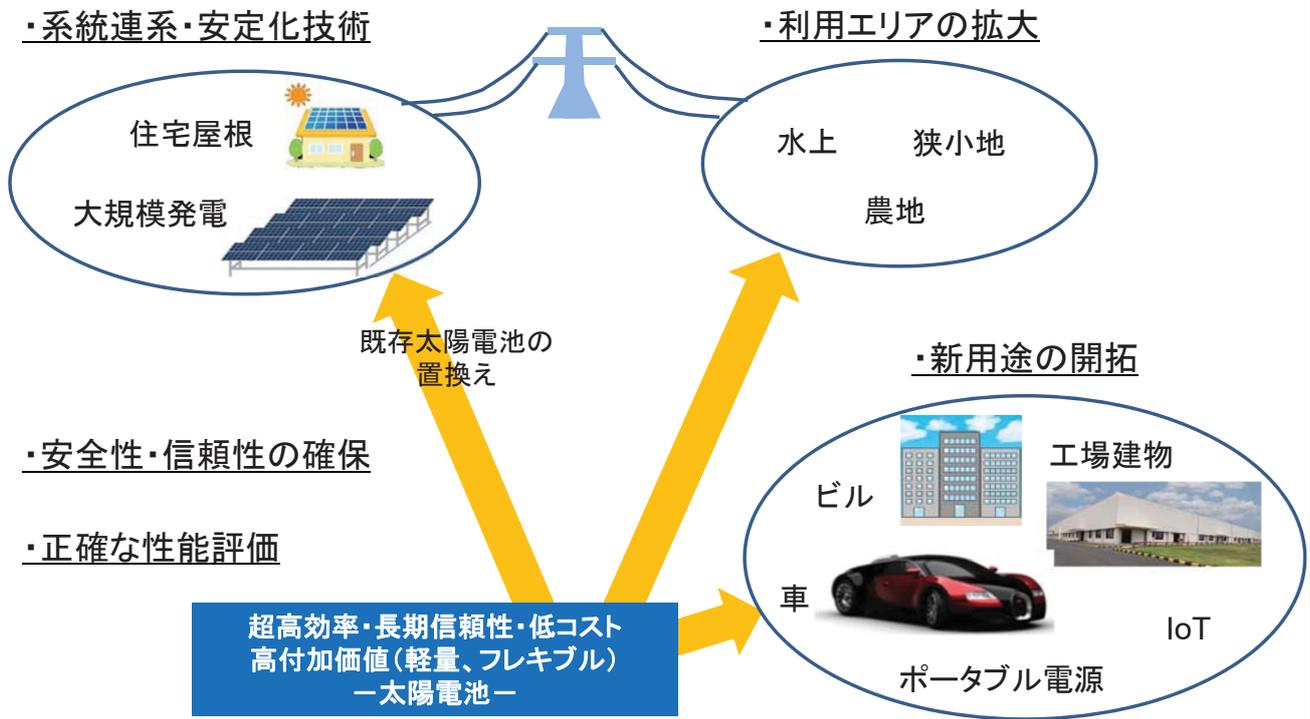
現在の数十倍～数百倍導入予想

太陽光発電の導入がますます加速。3TW@2030、20 TW@2040を予測。

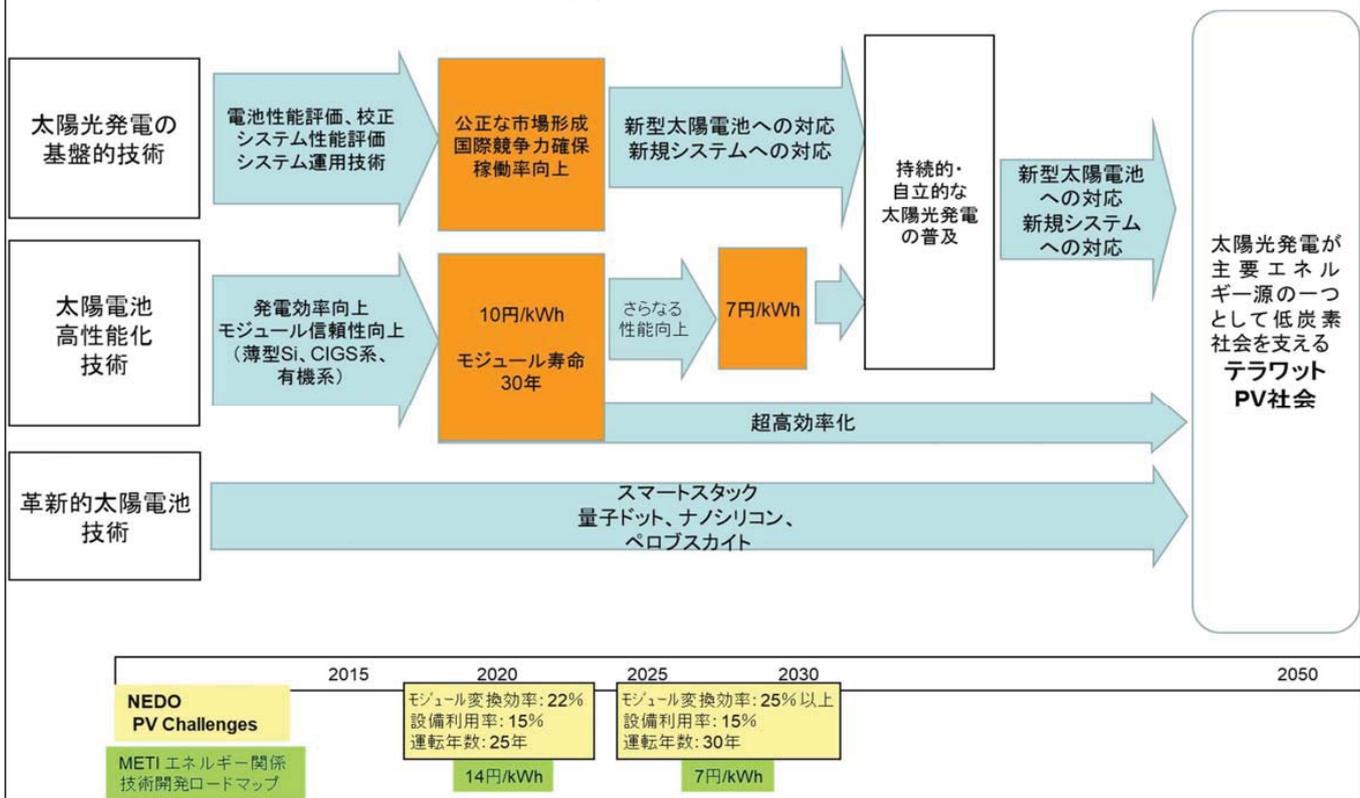
\*Terawatt-scale photovoltaics: Trajectories and challenges” Science 356, 6334, pp.141-143 (2017).

\*1 Statement of “the Terawatt Workshop”, \*2 ITRPV 2017

# 大量導入に向けた課題



# PV技術のロードマップ





①

スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池

【背景・実績・成果】

国土の狭い我が国では太陽光発電システムの設置箇所が限定されるため、太陽光エネルギーの更なる利用に向けては超高効率太陽電池の普及が鍵となる。Pdナノ粒子を利用して様々な太陽電池を自在に接合し超高効率多接合太陽電池を作製するスマートスタック技術を開発した。平成29年度までに、通常の結晶成長では作製困難であるIII-V族4接合太陽電池を作製し、発電効率33.1%を実証した。平成30年度にはIII-V族//シリコン3接合で28.6%を達成し、一括転写技術によるモジュール試作も行った。平成31年度には、この3接合太陽電池で30%超の変換効率を達成見込みである。

【成果の意義・アウトカム】

30%超の高効率太陽電池の実現により、設置面積が限定される車載など、新用途への展開が期待される。運輸部門や建物など、高付加価値太陽電池が必要とされる新用途への展開が期待できる。

【アウトプット】

論文 16報, 受賞 1件, 関連特許 1件

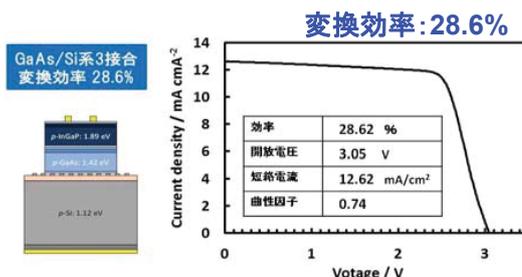


図1. InGaP/GaAs//Si 3接合素子の発電特性

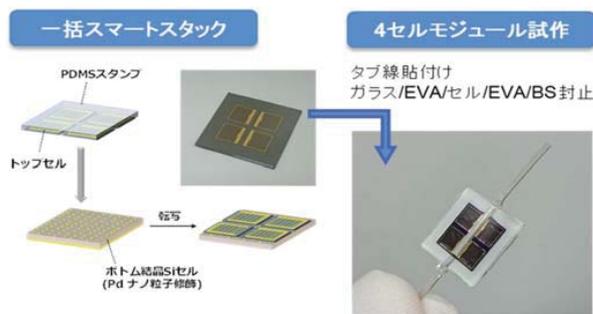


図2. スマートスタックモジュールの試作

2

## 低コストHVPEによるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長

### 【背景・実績・成果】

高効率Ⅲ-V族化合物太陽電池は製造コストの制約から、従来は宇宙用などに用途が限定されていた。これを地上で利用し太陽光エネルギーの利用を拡大するには、製造コストの低減が鍵となる。低コストかつ高スループットにⅢ-V族化合物太陽電池を製造するハイドライド気相成長(Hydride Vapor Phase Epitaxy, HVPE)装置を太陽日酸株式会社と共同で開発している。平成29年度までに日本初のHVPEによるGaAs太陽電池の作製に成功し、平成30年度にはGaAs、InGaPそれぞれで50 μm/h以上の超高速成長(InGaPにおいては世界最高成長速度)と世界最高レベルの変換効率を達成した。平成31年度には、世界で初めてAl系材料を導入することで変換効率を向上させる。

### 【成果の意義・アウトカム】

従来比10倍以上の高速成長実現により製造コストを低減することで、宇宙用などに限られていた高効率Ⅲ-V族化合物太陽電池を車載や住宅など新用途へ展開できる。本技術は、日経新聞等5誌で報道され、高く期待されている。

### 【アウトプット】

論文 2報, 新聞報道 5件, 受賞 2件

- 装置の改造によりGaAs: 50 μm/h、InGaP: 54 μm/h (気相成長として世界最速)の高速成長を実現

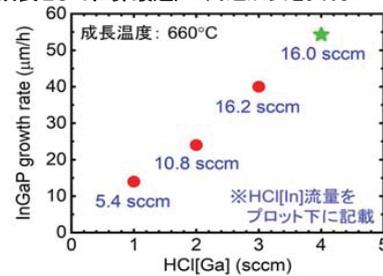


図1. InGaP成長速度のGa供給量依存性

GaAsセル ⇒ 逆積み薄膜セルにより22.1%に向上

InGaPセル ⇒ 低温(660°C)成長により12.1%に向上

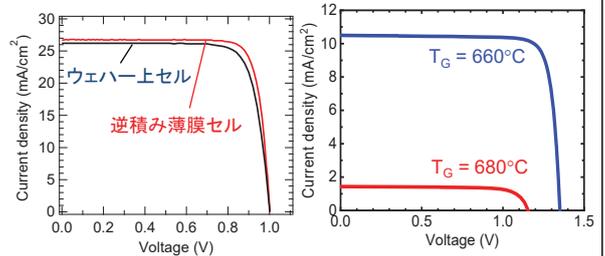


図2. GaAsセル、InGaPセルの発電特性

3

## CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化

### 【背景・実績・成果】

高効率・低コストと共に軽量・フレキシブル性が期待されるカルコゲナイド系化合物薄膜太陽電池においては、更なる性能向上に向けて基盤的・学術的知見の構築が必要とされている。平成27-29年度には、CIGS系太陽電池において、アルカリ金属添加と熱光照射を組み合わせた技術により変換効率向上を実現した。平成30年度には、性能向上の一因と考えられるアルカリ金属化合物層の直接観察に世界で初めて成功した。また、新規開発した酸化インジウム系透明導電膜を用いた太陽電池ミニモジュールを作製し、世界最高効率20.9%を達成した。平成31年度は、熱光照射効果のメカニズム解明とその制御技術を確立させ、更なる性能向上を実現する。

### 【成果の意義・アウトカム】

\*CIGS:  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)(\text{Se}_{2-2y}\text{S}_{2y})$

アルカリ金属添加と熱光照射を組み合わせることでCIGS太陽電池の飛躍的な性能向上を実証した。この効果のメカニズム解明は高性能CIGS太陽電池技術開発に不可欠な基盤的・学術的知見となり、更なる性能向上の実現と共に企業への技術橋渡しにも貢献できる。

### 【アウトプット】

論文 26報, 受賞 1件, 関連特許 4件

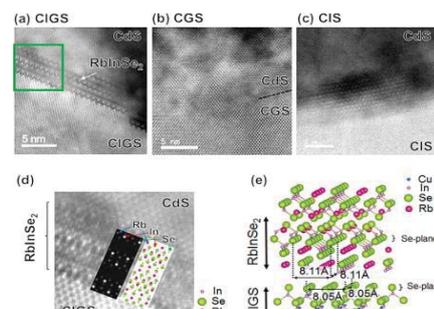


図1. CIGS太陽電池高効率化の一因と考えられるアルカリ金属化合物層の直接観察に初めて成功\*

\*N. Taguchi et al., Appl. Phys. Lett. 113, 113903 (2018).

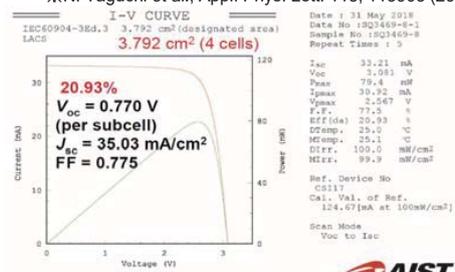


図2. CIGS太陽電池ミニモジュールの世界最高効率20.9%を達成。

## 太陽電池性能屋外高精度評価技術

### 【背景・実績・成果】

太陽電池の大量導入に伴い、既設太陽電池モジュールの発電特性をオンサイトで評価する屋外測定技術へのニーズが高まっている。天候や日射条件に依存する屋外測定結果から、標準試験条件における太陽電池モジュールの性能を推定する技術が鍵となる。平成29年度までに、日射変動時における測定ばらつきを従来技術の1/3～1/5に低減し、測定機会を5～10倍に増加する技術を開発した。平成30年度には、太陽電池モジュールの温度などの予備的情報なしに、標準試験条件における発電特性を推定する温度照度補正技術を開発した。平成31年度は、各種太陽電池モジュールの屋外測定に適用し、補正技術の有用性を検証すると共にIEC規格化を推進する。

### 【成果の意義・アウトカム】

既設の太陽電池モジュールの発電特性をオンサイトで正確に評価できることで、迅速な劣化診断、故障・交換の判断が可能となる。これにより太陽光発電システムにおける性能モニタリングの低コスト化と継続的な最大発電量を確保するシステム運用とが可能になる。

### 【アウトプット】

論文 11報, 新聞報道 1件, 受賞 1件,  
IEC規格標準化提案中(IEC60891)



図1. 屋外測定では  
高精度化、短時間測定が課題

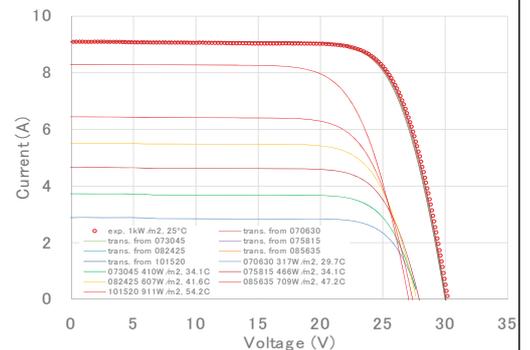


図2. 屋外電流電圧特性測定値と標準試験条件補正結果

## PV関連技術のポートフォリオ

基盤的技術	セル・モジュール高精度性能評価技術	
	屋外モジュール性能評価	
	発電予測	
	システム安全性	システム性能評価
	国際標準化	
太陽電池 高性能化	結晶Si系太陽電池	
	CIGS系太陽電池	
	有機系薄膜太陽電池	
	モジュール長期信頼性	
革新的 太陽電池	スマートスタック	
	量子ドット ナノシリコン	III-V族 高速成膜
	有機・無機ハイブリッド太陽電池	

目的基礎

橋渡し前期

橋渡し後期

## 国際連携、標準化活動など

### GA-SERI (Global Alliance of Solar Energy Research Institutes)

NREL, FhG-ISEとの3機関MOUの下、研究協力。

・第2回TW Workshopを2018年4月米国にて開催した。

その成果をまとめた論文をSCIENCE誌に投稿中。



### SAYURI-PV ワークショップ

2016年よりモジュール長期信頼性に関する国際ワークショップを主催。

2018年は10月に産総研(つくば)にて開催。

米国NREL Reliability Workshop、欧州Sophia Workshopと連携。



### 国際標準化

IEC TC82 (Solar photovoltaic energy systems) Chair 1名, Expert 8名

### WPVS (World PV Scale)

4機関(AIST, NREL, PTB, ESTI)で、国際的な基準セル校正プログラムを主導。

基準セルの校正値の整合性を確認している。

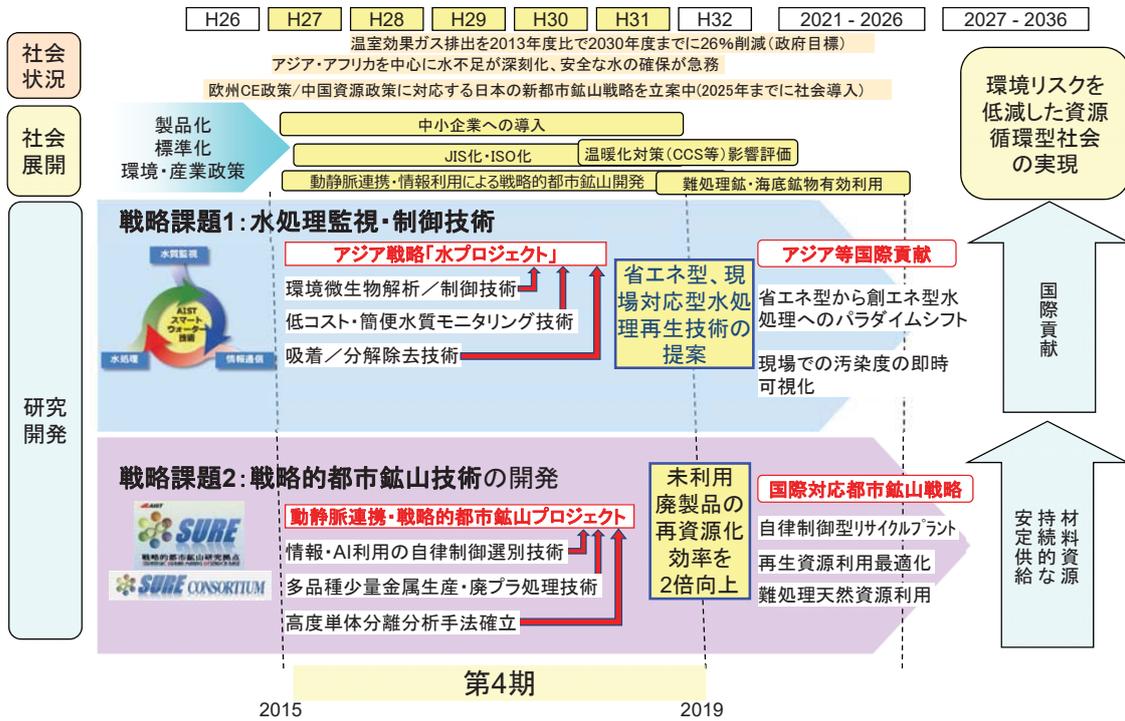
- ・NREL: 米国 国立再生可能エネルギー研究所
- ・FhG-ISE: ドイツ フラウンホーファー研究機構 太陽エネルギーシステム研究所
- ・PTB: ドイツ国立理工学研究所
- ・ESTI: 欧州太陽光発電試験所

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

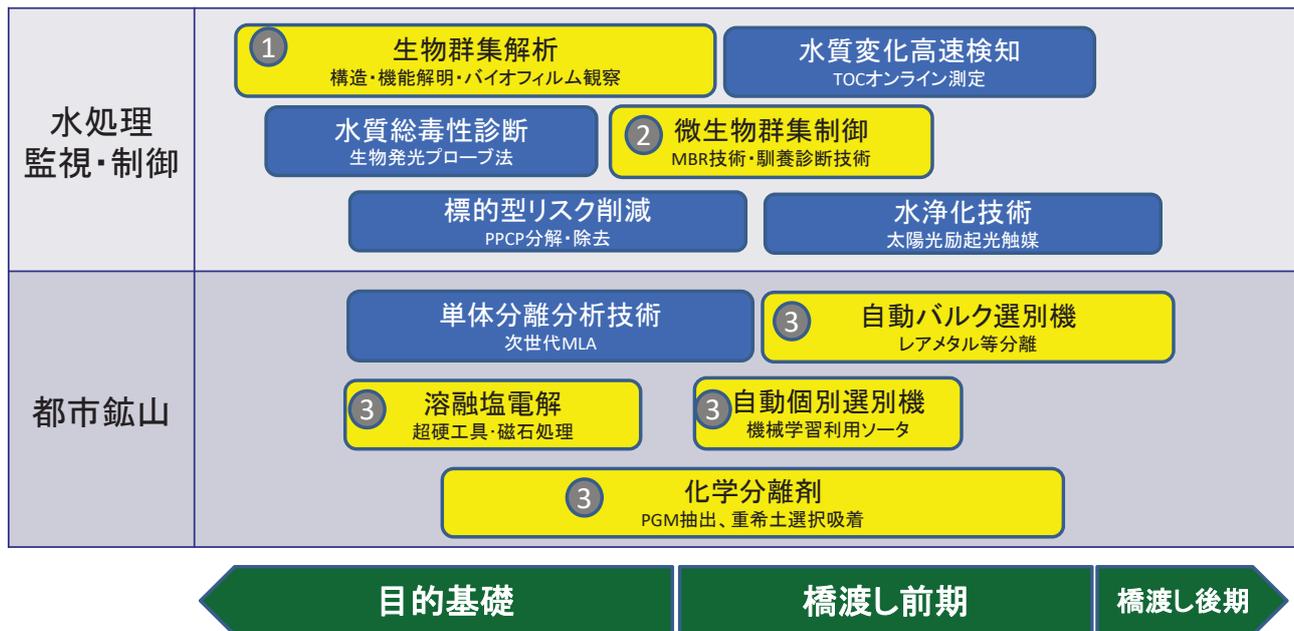
### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

### テーマ4: 「物質循環」に関する研究開発

## 物質循環研究のロードマップ



## 物質循環研究のポートフォリオ





非公開

**日本の水技術開発**

→ 海外展開を想定した技術を目指す

現状では膜製造技術やシステム化等、世界をリードできる技術は限られている

国際標準化を起点に日本が世界の水技術リーダーに

**水浄化技術の課題(低コスト化, 省人化)**

- ・水浄化の主体「生物処理法」の理解
- ・水処理膜の閉塞や破断の対策
- ・エネルギーを含む有用物質の同時生産

**水計測技術の課題(迅速簡便かつAI化)**

- ・新規オンライン計測の実現
- ・水の危険度を表す生物学的計測手法の構築

	日本	米国	欧州	中国
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3Rの推進</li> <li>・循環型社会の構築</li> <li>・都市鉱山資源化の推進</li> <li>・資源供給対策</li> <li>・動静脈連携の推進</li> <li>・資源効率の向上</li> <li>・情報活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全保障の観点から、重要資源(クリティカルマテリアル)確保を重視している。リサイクルは資源確保方法の一つ。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源効率を最大にすることが持続可能な成長に資すると位置づけ、資源消費型経済から「循環経済」への転換を目指している。</li> <li>・背景には資源国(アフリカなど)依存からの脱却がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経済発展に伴い、急増する廃棄物への対策としてリサイクル。</li> </ul>
政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源確保戦略(2012)</li> <li>・小型家電リサイクル法(2013)</li> <li>・循環型社会形成推進基本法改正(2013)</li> <li>・日本再興戦略2016(2016)「都市鉱山の利用を促進し、リサイクル業者や非鉄製錬業者等の成長を図るため、情報技術等を活用し、動静脈連携によりレアメタルなどの金属資源を効率的にリサイクルする革新技術・システムを開発」</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GMI (Critical Material Institute) はレアアースの回収技術を中心にプロジェクトを実施</li> <li>・ARPA-E(エネルギー高等研究計画局)は軽金属のリサイクル技術についてプロジェクトを実施</li> <li>・EERE(再生可能エネルギー局)は2016年より7000万ドルの資金提供を行うプログラムREMADEを発表し、リサイクルやリユース全般に関する情報収集、物理選別技術開発等のプログラムの募集開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源効率性(RE)という概念を掲げ、資源効率を持続的な成長を実現するためのフラッグインシアティブの一つと位置付け「EUROPE2020」欧州連合2010年)</li> <li>・これまでの製品品目ごと(廃棄物、容器包装、e-waste、使用済み自動車)の個別の廃棄物リサイクル政策から包括的な資源政策へ転換(「持続可能な資源管理に関する非公式環境閣僚理事会の議長サマリー」2010年)</li> <li>・欧州域内で完結する循環資源利用の社会を目指す。従来の資源消費型経済から資源効率を最大化する循環経済(CE)への転換を図るため、2015年に共通フレームワークの確立を目的とした「CEパッケージ」を採択</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2007年 電子廃棄物による環境汚染を防止し、環境管理を強化するため電気電子製品、電気電子設備の廃棄、解体、処理を規制する法律「電子廃棄物汚染環境防治管理弁法」が公布</li> <li>・2015年末までに資源リサイクル産業の生産額の目標を1兆8000億元(約3兆9200億円, 19.4円/元)(「循環型経済発展戦略および当面の活動計画」2013年)</li> <li>・レアメタル製錬業の技術向上や「都市鉱産」プロジェクトによるリサイクルの推進</li> <li>・雑品スクラップの輸入規制(2018年)</li> </ul>

**日本の都市鉱山開発**

→ **リサイクルで資源確保**を目指す

現状ではリサイクルを経済的に行える資源(鉄、銅や貴金属)は限られている

リサイクルを天然鉱山と同等のコストに

**物理選別技術の課題(低コスト化, 省人化)**

- ・手選別を代替する機械処理
- ・対象に応じた選別装置開発、自動・自律制御
- ・解体・破碎の分離性向上、省エネルギー化
- ・集合選別の分離効率・回収率向上

**自動化**

- 目視→センサー
- AI・機械学習
- 手解体→機械解体
- 破碎→選択破碎

**化学分離技術の課題(希薄で多品種のレアメタル製錬)**

- ・希薄溶液の低コスト、少量処理の実現
- ・多品種に対応した処理技術
- ・環境負荷低減、省エネルギー型製錬技術の開発

**選択性**

1

## 環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用

(目的基礎→橋渡し前期)

### 【背景・実績・成果】

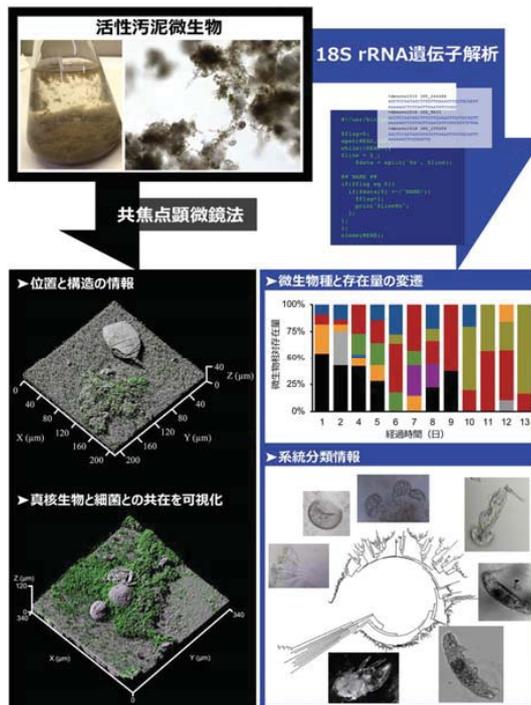
生物学的廃水処理の高効率化には、活性汚泥中の微生物群集の網羅的解析が不可欠である。これまでに、環境中の膨大な遺伝情報が取得可能な次世代シーケンサーを用いて、主要構成微生物である「細菌の大規模同定技術」を確立した。平成30年度は、細菌より高等かつ大きな微生物である「真核生物の大規模同定技術」を確立し、実産業廃水処理汚泥中の主要な真核生物の特定に成功した。平成31年度は、さらに広範囲な各種産業廃水汚泥を解析することで、異なる廃水種やプロセスにおける微生物種の情報の蓄積・拡充が期待される。

### 【成果の意義・アウトカム】

本技術により、真核生物と細菌の捕食-被食関係など、汚泥中での微生物動態の詳細な解析がさらに進み、生物的観点から処理の効率化が進むと期待される。なお本成果は、SIP戦略的イノベーション総合プログラム(スマートバイオ産業)の採択にも繋がった。

### 【アウトプット】

論文 20報、関連特許 3件、プレス 1件、受賞 1件



2

## 逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析

### 【背景・実績・成果】

膜を利用した水処理再生技術において、膜閉塞(ファウリング)対策法の構築は不可欠である。これまでに、共焦点反射顕微鏡法を用いた膜閉塞原因物質であるバイオフィームの非破壊観察技術等により、精密ろ過膜で従来提唱されてきたモデルとは異なるファウリング機構を解明した。平成30年度は本技術をRO膜ファウリングの解析に適用し、RO膜上でのバイオフィームの可視化(図1)と、閉塞原因物質の解析(図2)に成功した。平成31年度は水晶振動子を組み合わせ、その周波数変化に基づくファウリング検知技術の開発が期待される。

### 【成果の意義・アウトカム】

最先端の光学的解析技術と高解像度な微生物解析技術を併用することで、RO膜の生物的ファウリングの原因微生物と原因物質を特定した。本成果によりファウリング発生を事前に予知可能な新技術や、ファウリングを未然に阻止する新たな対策技術の開発が期待され、慢性化する世界的な水不足問題の解決に繋がることが期待される。なお、本成果は、Scientific reports (IF: 4.122) 等の雑誌に掲載され、複数の企業共同研究において利用されている。

### 【アウトプット】

論文 4報、関連特許 1件、プレス 1件、受賞 1件

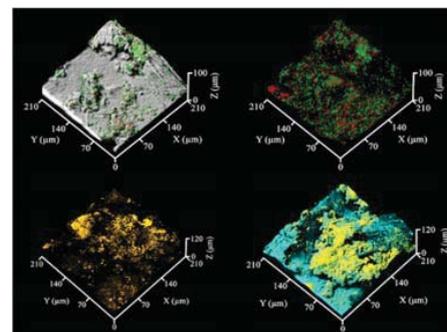


図1. RO膜ファウリングの可視化画像 (上: 原因微生物、下: 原因物質)

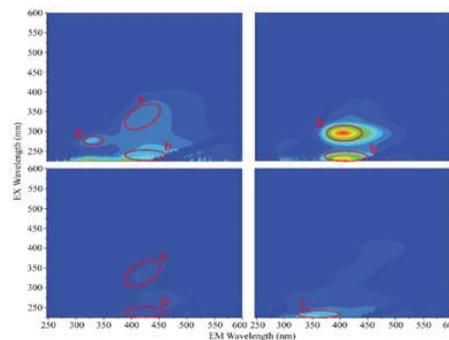


図2. 閉塞原因物質の励起・蛍光マトリクス解析

3

### 戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発

#### 【背景・実績・成果】

都市鉱山を戦略的に開発するためには、高度な金属回収を低コストに実現する技術が必要である。物理選別では、これまでに廃製品情報を利活用したソータや複数種の電子素子を選別可能な選別機を製品化した。平成30年度には、手解体・手選別の自動・自律化が可能となる融合型ソータや複数選別機を自律制御するシステムを開発した。平成31年度には、ベンチスケール機を完成する見込みである。

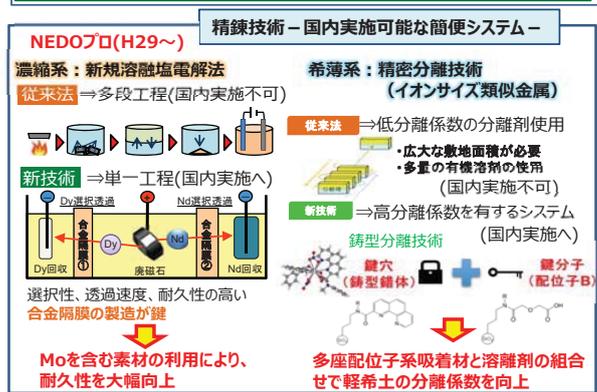
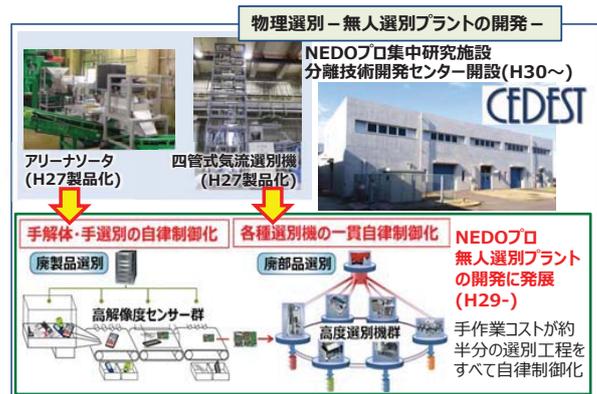
精錬技術では、これまでに多段を要する磁石からの希土類元素回収工程を大幅に短縮可能な回収法のコンセプトを確立した。平成30年度には溶融塩電解のみでネオジムとジスプロシウムの相互分離を実証した。平成31年度には単一工程での同時回収を達成する見込みである。

#### 【成果の意義・アウトカム】

自動・自律化可能な装置開発を行い、世界初の無人選別プラントの目処がたった。選別工程では手作業コストが約半分を占めているため、大幅なコストダウンが期待できる。なお、本技術思想は、日本再興戦略、NEDO技術戦略にも盛り込まれており、日本の都市鉱山開発において重要視されている。また、日経地球環境技術賞を受賞するなど社会からも高く評価されている。

#### 【アウトプット】

論文 22報、新聞報道 33紙、テレビ 4件、受賞 2件  
 知財：国内出願：10件、国外出願：2件、国内登録：11件



### 物質循環研究のまとめ

	成果	期待されるアウトカム
環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30FY: 真核生物大規模同定技術を確立</li> <li>・第4期: 各種産業廃水汚泥を解析</li> </ul>	汚泥中での微生物動態の詳細な解析により水処理を効率化
逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30FY: RO膜上でのバイオフィルムの可視化と、閉塞原因物質の解析に成功</li> <li>・第4期: 水晶振動子を組み合わせ、ファウリング検知技術を開発</li> </ul>	ファウリングの新規予知・防止技術により世界的な水不足の解決に貢献
戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発	<p>物理選別</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・H30FY: 手解体・手選別の自動・自律化のための自律制御システムを開発</li> <li>・第4期: ベンチスケール機完成</li> </ul> <p>精錬技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・H30FY: 溶融塩電解のみでネオジムとジスプロシウムの相互分離を実証</li> <li>・第4期: 単一工程でのネオジムとジスプロシウムの同時回収</li> </ul>	無人選別プラントや高精度分離技術によりリサイクルの大幅なコストダウンを実現

## 2. 「橋渡し」のための研究開発 － 別添資料 －

### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

本資料中のリストに記載した第4期の主な成果のうちプレゼンで紹介できなかった成果につきましては、こちらの別添資料に概要を掲載しています。

### メタンハイドレートからのガス生産に係る圧力コア評価技術の開発

#### 【背景・実績・成果】

メタンハイドレートからのガス生産挙動を把握するためには、原位置条件下での物性値が必要である。平成27年～29年度には、メタンハイドレートを分解しない保圧下での分析を可能とする圧力コア解析装置群を開発した。平成30年度には海洋産出試験で得られた生産挙動を検証するために、新たに採取された圧力コア分析を行い精緻な物性値を追加した。平成31年度は圧力コア分析を基に、モデルの見直しなどを進め、生産挙動に関する解析を高精度化する見込みである。

#### 【成果の意義・アウトカム】

本技術によって、原位置での精緻な物性値を把握し、生産挙動の予測技術の精度向上や、官主導から民間主導の商業化プロジェクト開始への貢献が期待できる。なお、本技術開発は日刊工業新聞でも紹介されている。

#### 【アウトプット】

論文 9報, 新聞報道 1件



図 北海道センターにて保管されている海洋産出試験実施域にて採取された各種コア



図 圧力コア解析装置群  
(Pressure-core Nondestructive Analysis Tools, :PNATs)  
【出典:MH21総括成果報告書】

## 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の耐久性評価方法開発

### 【背景・実績・成果】

SOFCの本格普及には、高耐久化が必須である。平成29年度までに、不純物(例えば大気中のSO<sub>2</sub>)と電池材料との反応等に由来する被毒劣化メカニズムを解明した。また、東北大と連携し、耐久性迅速評価のためのシミュレーション技術を開発した。平成30年度からは、SOFCの更なる高効率化や強靱化を目指し、電解質中のプロトンの評価手法の開発など、必要な基礎データの収集など開始した。平成31年度に得られたデータから課題を抽出し、設計指針を提示する。

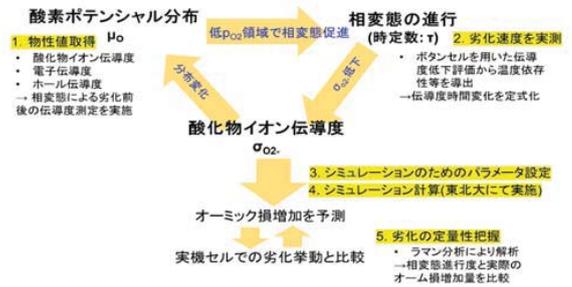
### 【成果の意義・アウトカム】

開発した耐久性評価法は、これまで10社を超える民間企業に適用された。現在、共同研究、技術コンサル等で、8社のセルスタックの評価に関わっている。SOFCの高耐久化等が進展して、SOFCの本格普及と水素社会実現に寄与する。なお、成果の一部は、著名な雑誌*J. Mater. Chem. A* (IF: 9.9)に掲載、高く評価されている。

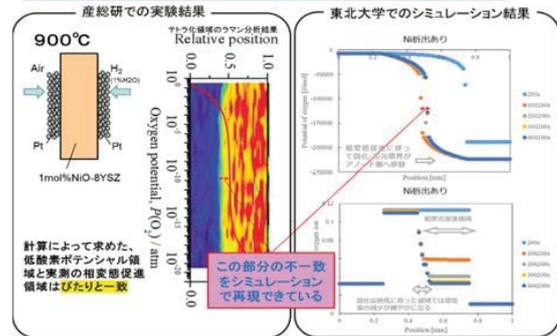
### 【アウトプット】

論文 17報, 受賞1件、新聞報道 4件

### 相変態による伝導度低下現象シミュレーション構築に向けたスキーム



### 1次元モデルシミュレーションの実験値との比較



## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

	民間資金獲得額 [億円]		
	実績	目標	達成率
平成27年度	19.6	24.7	79.4%
平成28年度	23.2	30.2	76.8%
平成29年度	22.5	35.6	63.2%
平成30年度 (12月末時点)	21.3	41.1	51.8%

## 第4期中長期計画期間の主な受賞

### 平成27年度

- 国土技術開発賞(最優秀賞)  
「過給式流動燃焼システム」

### 平成28年度

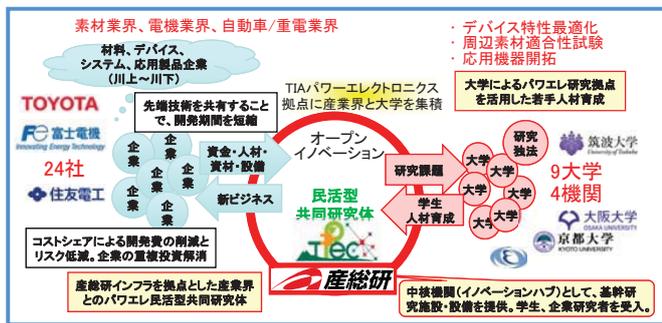
- LCA日本フォーラム表彰(経産省産技環境局長賞)  
「イベントリデータベースIDEAの開発」
- 産学官連携功労者表彰(経済産業大臣賞)  
「シャーベット状海水氷製氷機の開発」

### 平成29年度

- 産学官連携功労者表彰(内閣総理大臣賞)  
「単結晶ダイヤモンドの工業製品化」
- 第7回ものづくり日本大賞(内閣総理大臣賞)  
「漁獲物を獲れたての鮮度で保持するための船舶搭載型シャーベット状海水氷製造機の開発」
- 日経地球環境技術賞(優秀賞)  
「リサイクル選別システムの開発・自動化に関する技術基盤の構築」

### 平成30年度

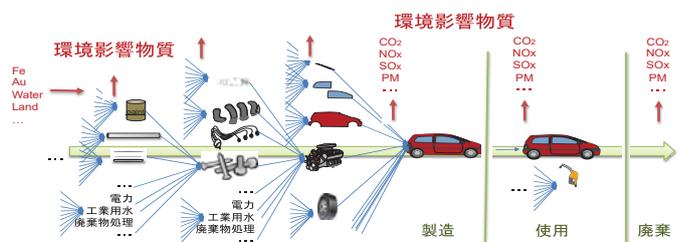
- コージェネ大賞(技術開発部門 理事長賞)  
「電気・熱の最適マネジメントを実現するCO<sub>2</sub>フリー水素エネルギー利用システムの開発」



下水污泥流動焼却炉 市場投入



船上搭載型製氷機「海水」(株)ニッコー製



## 分析の基盤となるデータベース

1-(1) 創エネ	地域の地下水環境を有効活用した地中熱交換器の開発(FREA)
1-(2) 蓄エネ	再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムの実証研究(FREA)
1-(3) 省エネ	内燃機関の高度化にかかる現象解明研究
	炭化ケイ素半導体(SiC)パワーデバイスの量産実用化技術開発
1-(5) 安全・物質循環	インベントリデータベース(IDEA)の構築と普及
	事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス

テーマ5:パワーエレクトロニクス    テーマ6:環境影響評価技術

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

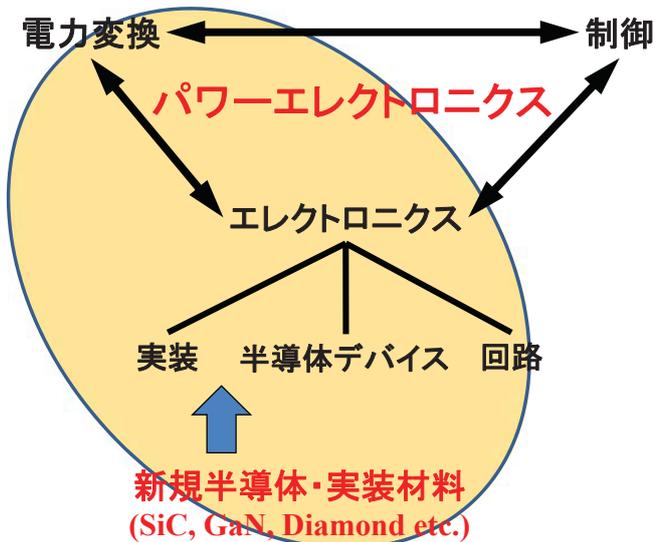
### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

#### テーマ5:「パワーエレクトロニクス」 に関する研究開発

## パワーエレクトロニクスの御利益： 電力エネルギーの節約と効率的活用

### ◆ 研究開発の方向性

- ・省エネ(低損失、高効率)、利便性(小型軽量) ⇒ **普及促進**
- ・耐電圧、容量の増大 ⇒ **適用領域拡大**



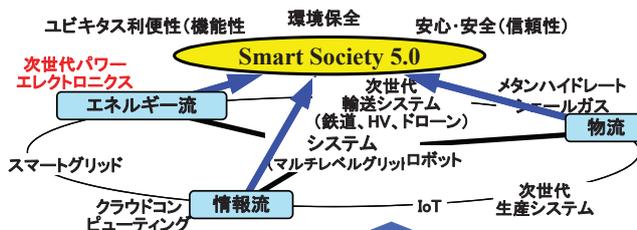
### AIST パワエレR&D活動の現状

	目的基礎	橋渡し前期	橋渡し後期
ウェハ	○	○	
デバイス	○	○	○
回路・実装・モジュール	○	○	△

産学官の研究者を結集した集団による  
TIA R&Dプラットフォームを活用した  
集中研究開発体制

- ・SiC, GaN, ダイアのパワエレ応用
- ・デバイス試作ライン(~6インチ)  
第1ライン、第2ライン、第3ライン
- ・実装試作ライン(回路、モジュール)
- ・ウェハー貫プロセス  
結晶成長、加工、エピ、評価

### 次世代高度ネットワーク社会



### R&DプラットフォームとしてのTIAパワエレ拠点(ハブ機能)



# パワーエレクトロニクス関連研究開発体制 オープンイノベーション拠点としてのハブ機能



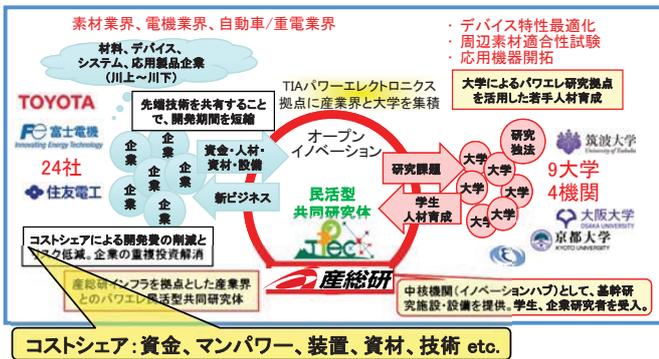
## つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC)

～企業資金によるオープンイノベーション共同研究連合体～

「我が国の企業文化に適したパワーエレクトロニクスオープンイノベーション拠点をつくばに構築し、我が国独自の研究開発と人材育成を実施」

⇒ 参加企業が研究開発資金の大半を賄うことで、パワーエレクトロニクスのオープンイノベーション拠点を自立的に運営する民活型の共同研究体

⇒ 我が国独自のパワーエレクトロニクスに関する人材育成、研究開発、知識の獲得、及び、それらを活用したビジネスモデル構築が可能



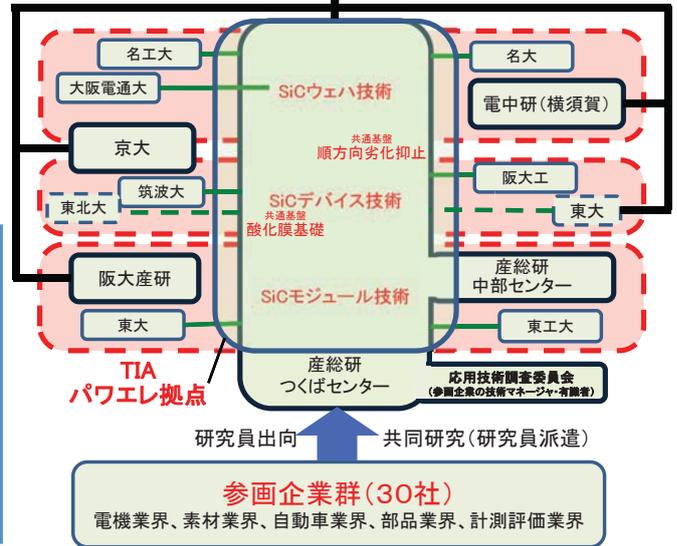
コストシェア: 資金、マンパワー、装置、資材、技術 etc.



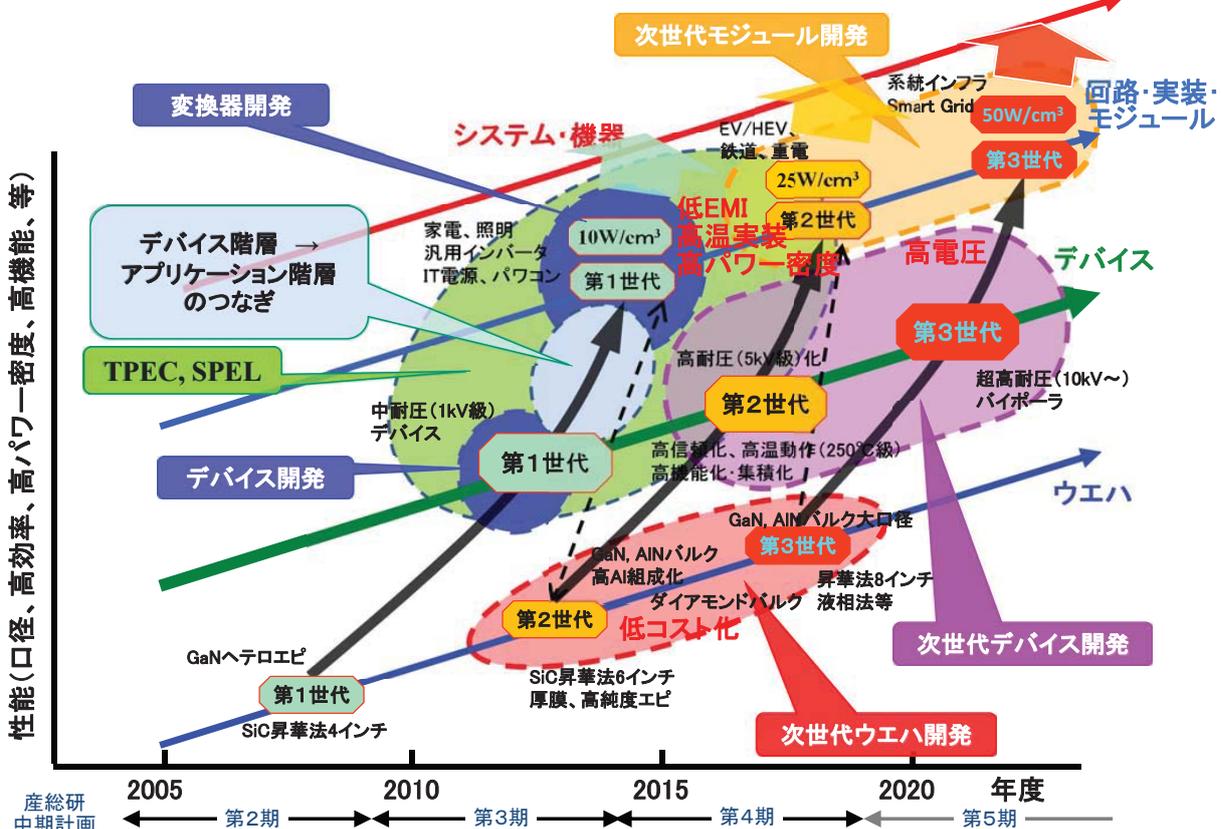
## SIP次世代パワーエレクトロニクス 「SiC次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」 ～産学官の有力研究者を結集した集中研体制～

研究開発責任者: 奥村元(産総研)  
研究開発副責任者: 木本恒輔(京大)

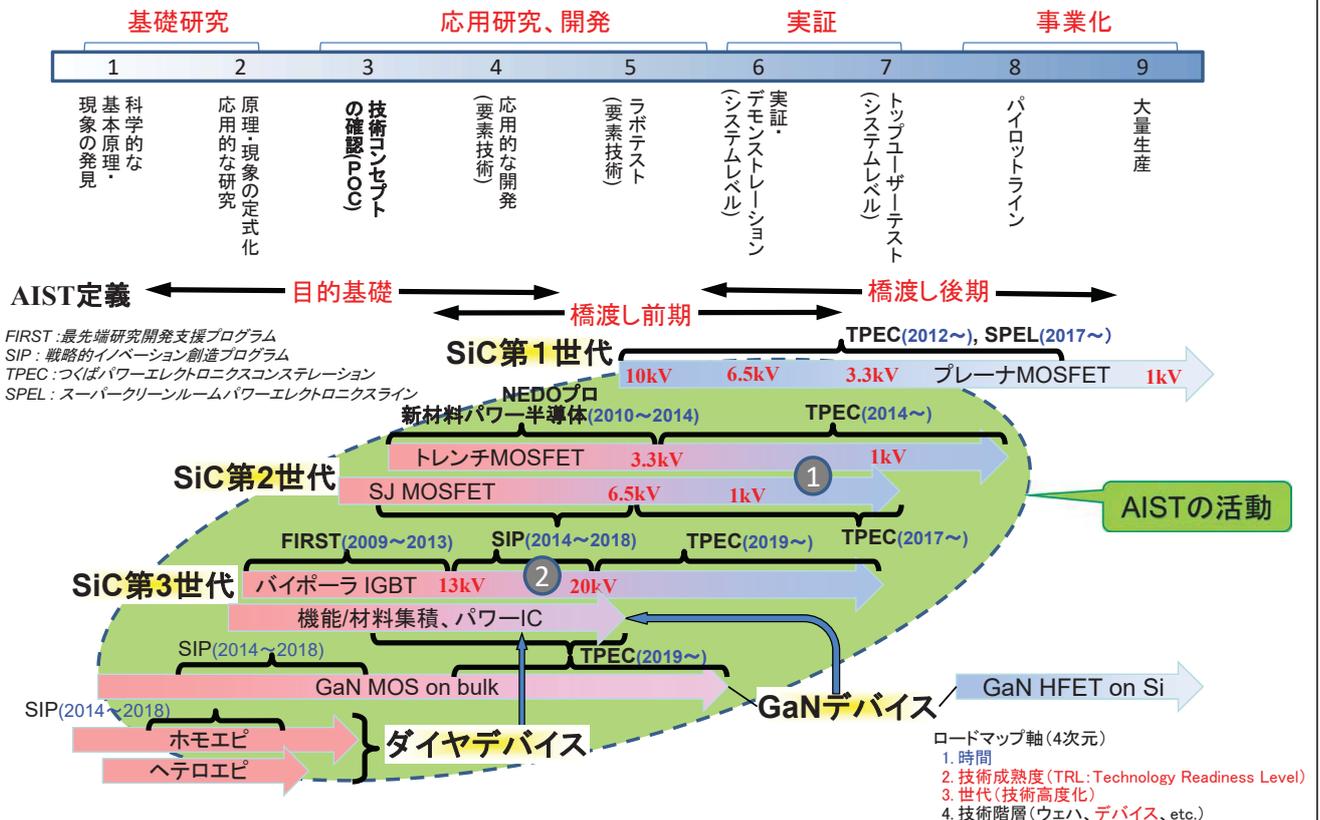
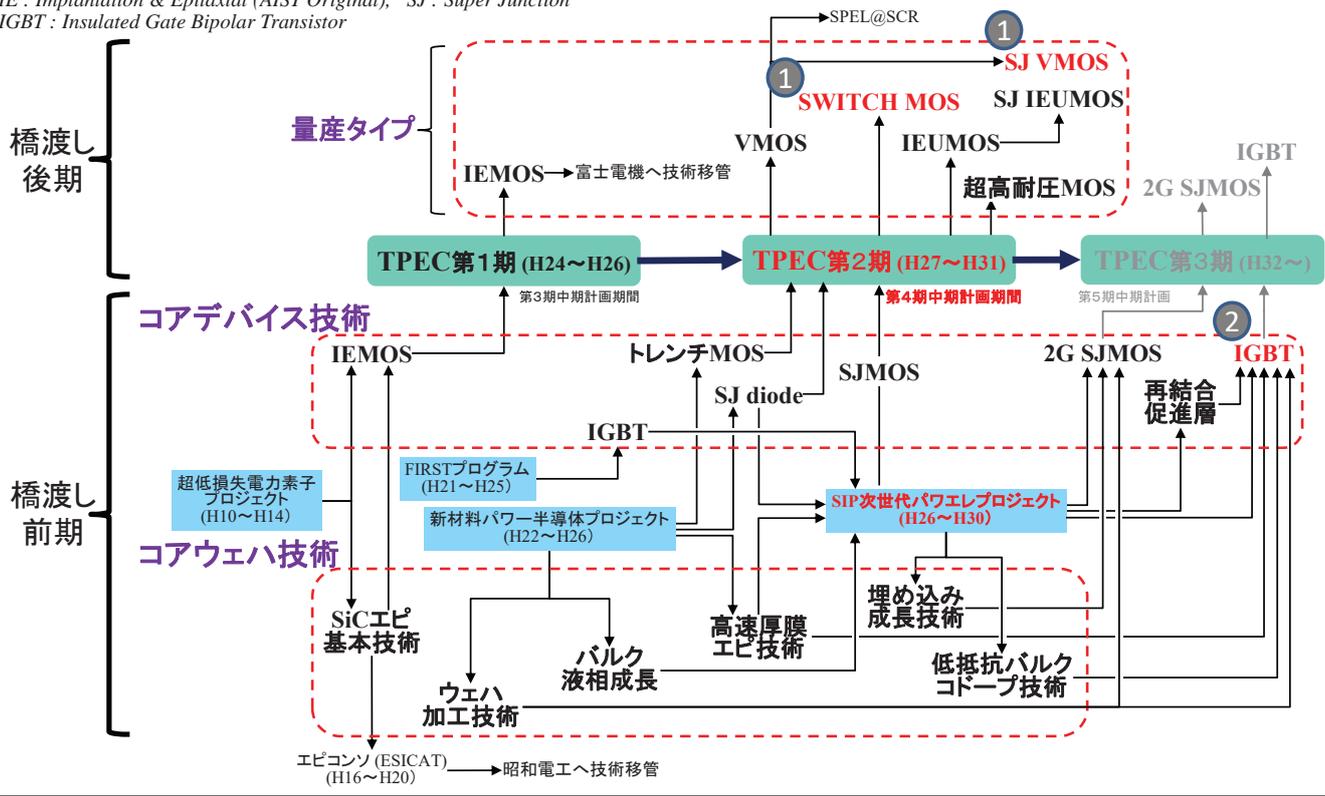
CSTI (PD), NEDO  
委託 共同実施



# 先進パワーエレクトロニクスロードマップ



MOS : Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor  
 IE : Implantation & Epitaxial (AIST Original), SJ : Super Junction  
 IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor



# 1 炭化ケイ素半導体(SiC)パワーデバイス の量産実用化技術開発

## 【背景・実績・成果】

電力の省エネルギーに極めて有効と目される低損失SiCパワーデバイスの普及には、耐電圧1kV級ポリウムゾーンにおける量産性と信頼性の向上が鍵となっている。平成29年度までに、トレンチ型MOSトランジスタを4~6インチ量産レベルで開発すると共に、電力変換器の小型化にも繋がる独自のダイオード内蔵構造を用いて、実用的な信頼性指標値の約3倍の2,800 A/cm<sup>2</sup>という大電流密度まで劣化を抑制するという画期的な信頼性向上に成功した。平成30年度には、更なる抵抗低減の方策としてスーパージャンクション技術を取り込み、同耐压クラスで世界最小の特性通電時抵抗0.63 mΩcm<sup>2</sup>を量産レベルで実現した。平成31年度にはスイッチング特性、破壊耐量等を向上させる予定である。

## 【成果の意義・アウトカム】

SiCパワーデバイスの信頼性問題を量産レベルで解決でき、当該パワーデバイスの広範な普及の目処がたった。当該パワーデバイス搭載機器の社会導入は電力の省エネに大きく貢献する。本成果は、半導体電子デバイスの最高峰の国際会議であるIEDMで2年連続(3件)で採択、日本経済新聞等6紙やWEBニュースサイトで報道され、学会/産業界から高く評価されている。

### 量産レベルで最高の性能と信頼性

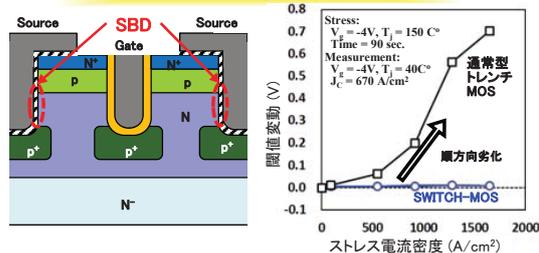


図1 ダイオード内蔵トレンチ型MOS構造と劣化電流密度依存性

### 1kV級で世界最小の導通損失

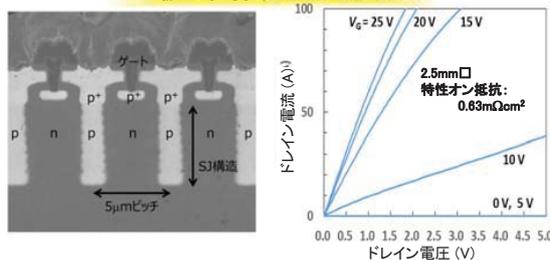


図2 SJ-UMOSのSEM像とSJ-VMOSのI-V特性

## 【アウトプット】

外部発表(国際) 3報、プレス発表 4件、  
特許出願 80件、レシピ登録 63件、  
技術移転 31件、獲得企業資金 約35億円

# 2 超高压領域用炭化ケイ素(SiC)半導体バイポーラデバイス 基盤技術開発

(橋渡し前期)

## 【背景・実績・成果】

電力インフラ向けパワーエレクトロニクス革新には、耐電圧10kV超級のSiC低損失パワーデバイスの実現が鍵となっている。そのためには、高耐压/低損失の両立が期待できるバイポーラデバイス技術、並びにそれを支えるウェハ技術の開発が必要となる。平成30年度までに、100µm超の高品質厚膜エピ技術等の開発やバイポーラデバイス設計/作製プロセス技術の高度化を進め、pnダイオードの耐压29.6kVとIGBTトランジスタの面積当たり通電時抵抗29 mΩcm<sup>2</sup>を実現した。また、劣化抑制構造の汎用的設計指針を提示し、通常の10倍以上に当たる4,400 A/cm<sup>2</sup>までの大電流密度耐性を確認した。平成31年度には10kV超級の電圧領域でのスイッチング損失低減を実証する見込である。SiCパワーデバイスとして世界一の性能であり、実用化のネックである劣化問題を原理的にクリアした。

## 【成果の意義・アウトカム】

実用的なSiC超高压バイポーラデバイス実現のための要素プロセスを確立した。本成果により、大規模停電時対応等の電力系統高機能化に資する超高压領域でのSiCパワーエレクトロニクス技術活用の目処がたった。本技術は、半導体電子デバイスの最高峰の国際会議であるIEDM等で多くの招待講演を受け、学会/産業界から注目されている。

### いずれも世界初の成果

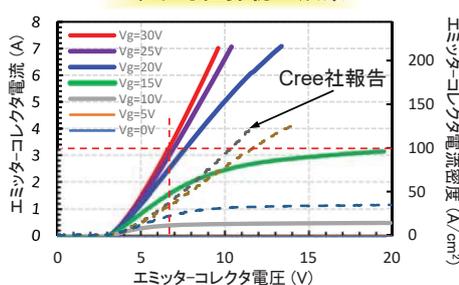


図1 SiC IGBTの順方向特性  
微分オン抵抗:29 mΩcm<sup>2</sup>, 閾値:6.7 V @100 A/cm<sup>2</sup> @RT

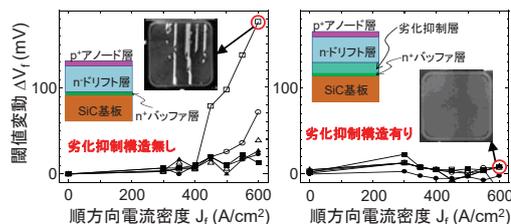


図2 順方向電流による表面及び閾値の変化と劣化抑制構造の効果

## 【アウトプット】

論文 87報、招待講演(国際) 9報  
特許出願 49件、技術移転 29件

# 1 kV級高温高速動作SiCパワーモジュール

(橋渡し前期→橋渡し後期)

## 【背景・実績・成果】

モータ駆動用途に代表される1 kV級SiC素子適用のインバータ等の大量導入には、高温・高速動作パワーモジュールが鍵となり、高耐熱回路基板や高耐熱・高周波数特性の部品(抵抗器およびコンデンサ)と、それらの実装の技術を耐久性も含めて実現する必要がある。平成30年度は、前年度までに開発した250°C対応技術を基に試作した100 A級モジュールの評価で、実用化目安の-40~+250°C-1,000回の温度サイクル等の耐久性、既存比1/4以下の小形化、10 nsec級の高速動作等、世界最高水準の性能を確認した。平成31年度は、当該技術の量産化対応、評価技術の国際標準化に取り組む。

## 【成果の意義・アウトカム】

確認された世界最高水準の性能から、部品製造企業では開発品のサンプル出荷準備が、応用機器製造企業では車載用等の小形軽量電力変換器の製品適用検討が、それぞれ本格化している。数年の製品化開発を経た後、当該技術適用の製品が市場投入される見込みである。これにより、応用機器の省エネ化が大きく進展する。

## 【アウトプット】

論文 22報、招待講演(国際) 2報、特許出願 7件

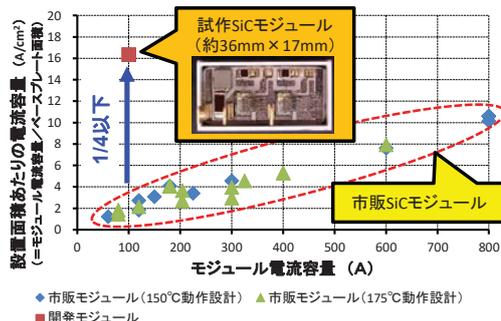


図1 試作パワーモジュールの小形化性能

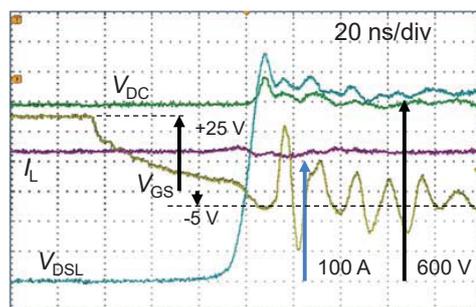


図2 ターンオフ時スイッチング波形例 (250°C、600 V-100 A)

# デバイス成果を支えるウェハ技術とパワーエレ機器応用

## ● 高耐圧低抵抗パワーデバイス用ウェハ

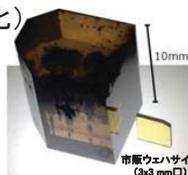
- 超低抵抗n型、p型3インチSiCバルク結晶成長
  - コーピング技術で積層欠陥抑制と低抵抗化の両立  
N型: 6~8 mΩcm (市販品の1/3)、P型: 60~90 mΩcm (市販品の1/30)
  - 昇華法&溶液法での低転位化(数1,000/cm<sup>2</sup>の転位密度)
  - 溶液法で重金属-free、転位転換と排出
- 100 μm超の高品質SiC厚膜成長技術
  - キャリアライフタイム制御⇒バイポーラ注入制御、劣化抑制構造
  - 大口径均一性、高純度、結晶&表面欠陥低減、外形制御

昇華法SiC (N-Al コードープ) 3インチ積層欠陥無し  
溶液法SiC (Si-Al 溶媒) 3インチ Crフリー



## ➢ 大面積ダイヤモンド結晶成長

- プラズマCVD法(パルス化) ⇒ センチ級ウェハ



## ● 高耐圧実装と新規応用機器

- 各種高耐圧パッケージ
- 新規高電圧応用機器開発

日本としてのオリジナル技術

高速・高信頼・高耐圧パッケージとして外部へ供給

小型高効率ワイヤレスEV充電装置(大阪工業大学)



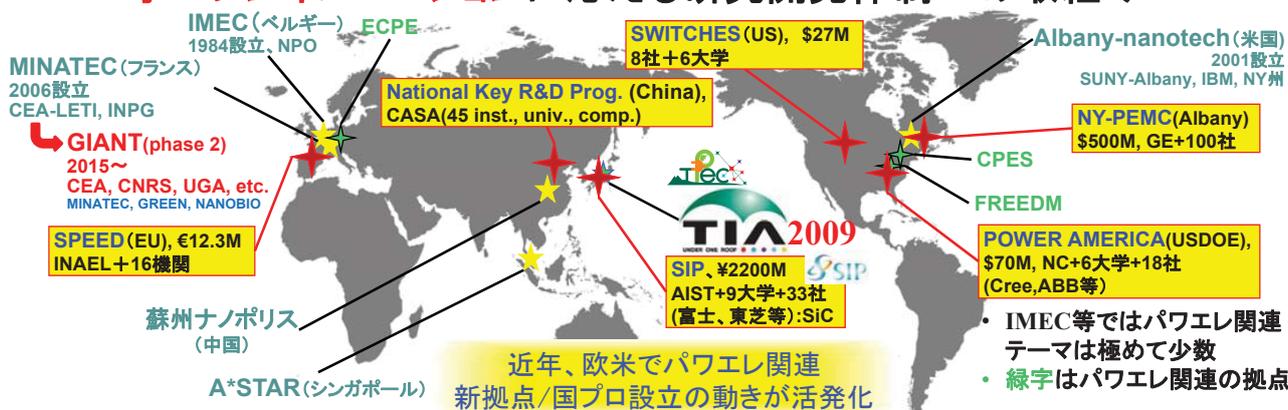
内製1kV MOSFET搭載

内製10kV MOSFET搭載

50kVパルス電子銃電源(理研/PPJ) サイロロン代替20kV-200Aスイッチ(KEK/PPJ)



- ・産業技術イノベーションの行き詰まり **一技術の複雑化、複合化一**
- ・**オープンイノベーション**に 대응する研究開発体制への取組み



Power AMERICA, NY-PEMC (米国), Fraunhofer IISB, GIANT, Horizon2020 (欧州), National Key R&D Program (中国), Busan Power Device Cluster (韓国)

**GIANT**

- ・MINATEC(Information)から、GREEN(Energy), NANO(BIO(Health))等に活動範囲を拡大
- ・参画機関は、CEA-Tech, CEA-DRF, CNRS, Univ. Grenobleなどの公的機関+企業群

**TIA**

- ・活動範囲としては、システム系のナノエレ、パワエレ、MEMSを中心に7技術領域
- ・参画機関は、AIST, NIMS, KEK, 筑波大、東大+企業群

ナノエレ パワエレ MEMS  
カーボン ナノチューブ  
ナノグリーン  
回路・実装 モジュール  
量子計測 バイオ・医療

**POWER AMERICA**

- ・活動範囲は、ワイドギャップ半導体パワエレ
- ・主要ミッションは普及促進による雇用創出と省エネ
- ・参画機関は、NCSU, RPI, UCSB, ASU, Virginia Techなどの大学+企業群
- ・ファンドリーの活用(X-Fab)
- ・アプリケーション指向、人材育成

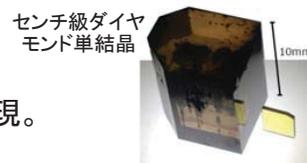
ワイドギャップ半導体パワーエレクトロニクス技術の一貫した統合的研究開発を推進するため、

◆TIAパワーエレクトロニクス拠点に産学官の研究者を結集して、**SIP次世代パワーエレクトロニクス(SiC関連)**、及び**企業共同研究連合体つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション(TPEC)**の集中研究開発体制を構築し、両テーマを両輪として橋渡し前期、橋渡し後期の技術開発を推進した。更にTPECをより発展させ、新たに**SCRパワーエレクトロニクスライン(SPEL)**研究体を構築した。主要な技術成果は次の通り。

- ・**SiCウェハー技術**: コドープ技術による超低抵抗バルク成長技術、高耐圧デバイス対応厚膜技術。
- ・**SiCデバイス技術**: 実用的な高耐圧対応スーパージャンクション(SJ)技術、超高耐圧対応絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ(IGBT)技術。
- ・**SiCモジュール技術**: 大電流高温高速動作小型モジュール技術、及びその信頼性評価法の提示。
- ・**量産レベル低損失SiCデバイス技術**: ダイオード内蔵高信頼トレンチMOSFET(SWITCH-MOS)やSJ MOSFETの開発。
- ・上記デバイスチップに対応する**実装パッケージ**の開発、及び内製デバイスチップ搭載パッケージを用いた各種の**高電圧応用機器技術**。

◆上記を支える**目的基礎開発**: 学理面からのアプローチも進め、**SiC pn接合の順方向劣化対策**や**センチ級ダイヤモンド大型単結晶**等を実現。

◆橋渡し後期段階を中心に、上記技術を産業界に適宜移転(知財/ノウハウ、技術指導)



## 2. 「橋渡し」のための研究開発

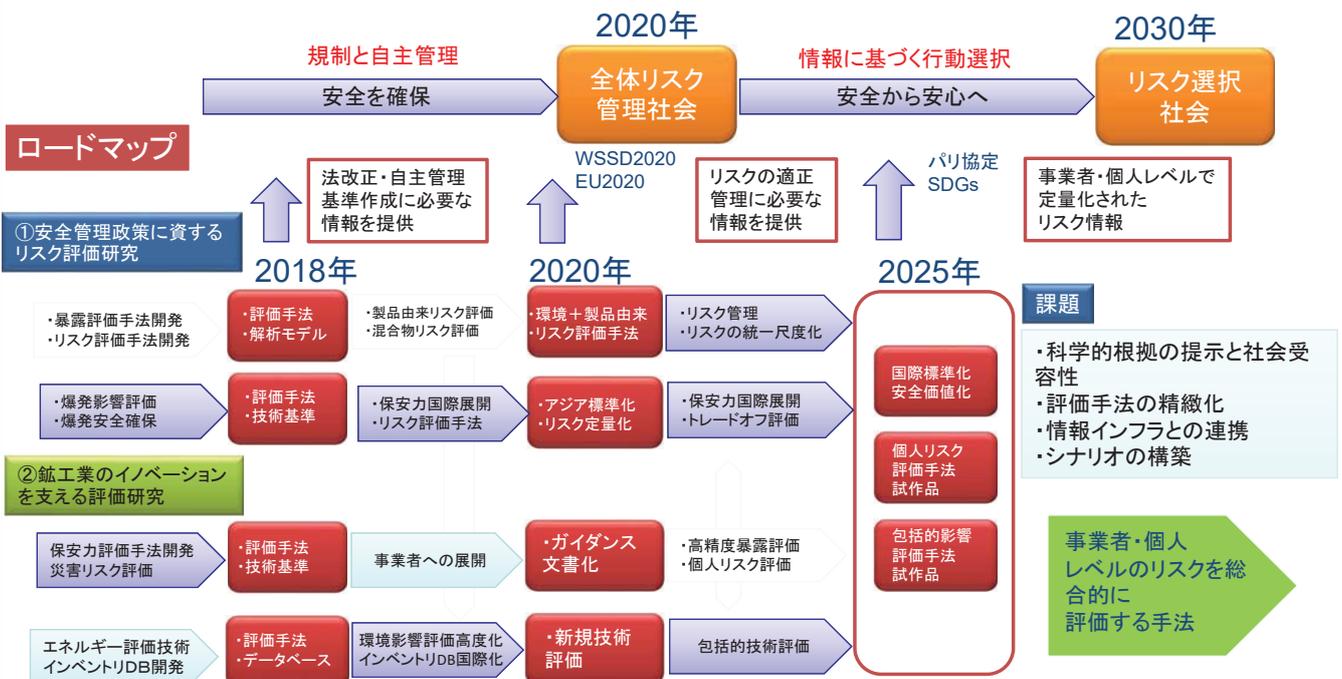
### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

#### テーマ6: 「環境影響評価技術」に関する研究開発

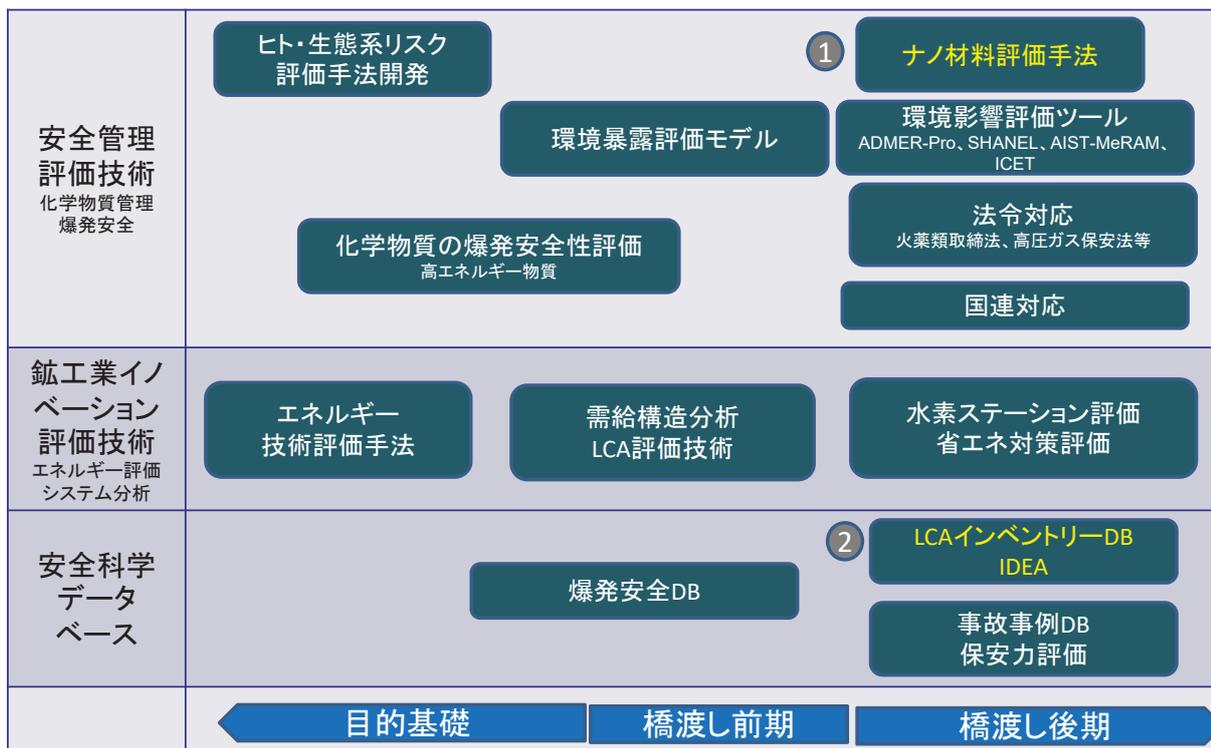
### 環境影響評価研究ロードマップ

目指す社会

産業と環境が共生する社会: リスク評価と管理手法の開発



# 安全科学研究のポートフォリオ



## ① 事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス

### 【背景・実績・成果】

工業用ナノ材料の社会実装において安全性評価は不可欠である。しかしながら、その評価の拠り所となる評価手法やガイダンスはこれまで存在しなかった。平成27年から29年には、ナノ炭素材料の自主的な安全性評価のための各種ガイダンス文書(単層CNT (e-DIPS)のケーススタディ報告書や安全性試験総合手順書、排出・暴露評価の手引き等)を作成し、無償公開した(累計6,000件以上のダウンロード数を達成)(図1)。その後、民間事業者との共同研究によるセルロースナノファイバー(CNF)の安全性評価手法の開発に着手し、平成30年度には、CNFの検出・定量手法、気管内投与手法(図2)、皮膚透過性試験手法、排出・暴露評価手法を確立した。平成31年度には、CNFの安全性評価手法に関する各種ガイダンス文書を公開する予定である。

### 【成果の意義・アウトカム】

工業用ナノ材料の安全性評価に資する各種ガイダンス文書の公開を達成した。これらにより、自主安全管理としての事業者による工業用ナノ材料の安全性評価の実施が可能になった。このことは、事業化の促進や応用製品の開発の開発と普及に繋がる。CNTのケーススタディ報告書は、実際の工場立地に係る認可において参考資料として採用された。

### 【アウトプット】

論文 29報, 新聞報道 1件、プレス発表 2件

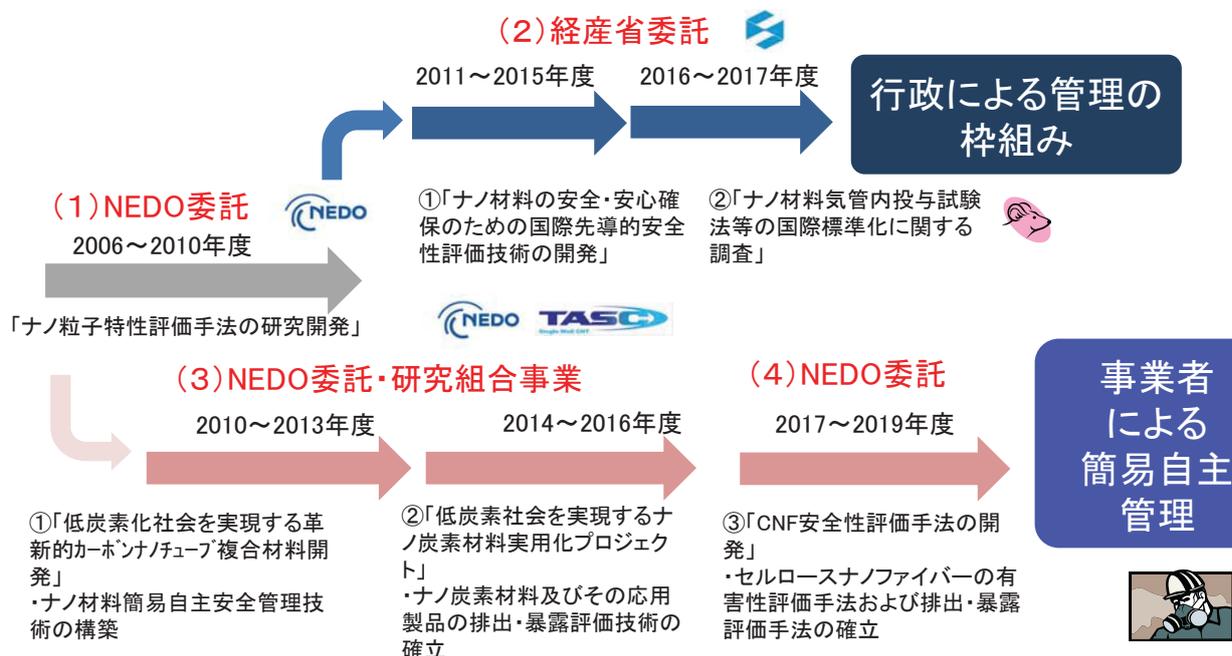


図1. ナノ炭素材料の安全性評価に関する公開文書



図2. CNFの気管内投与試験のイメージ図

## 産総研でのナノ安全評価プロジェクト



## 工業用ナノ材料の安全性評価研究のベンチマーク(全体)

国内外の位置づけ	優位性・特徴
<p>産総研によるナノ材料リスク評価書(NEDO PJ 2006-2011)は<b>世界で最初に発表</b>され、国内外の議論をリードした。</p> <p>国内では、<b>有害性評価と暴露評価を合わせたリスク評価研究</b>を実施している機関は産総研のみ。</p> <p>海外で取り組んでいるのは、米国NIOSH(国立労働安全衛生研究所)や欧州委員会JRC(共同研究センター)といった公的研究機関やBayer等のナノ材料製造事業者。</p> <p>欧米では一部の事業者が、ナノ材料やナノ材料含有製品の安全性評価方法の研究を自ら実施。<b>公的研究機関が自主安全管理技術の研究開発を実施している例は、産総研以外にはない。</b></p> <p>ナノ材料の有害性評価については、国内外の多数の研究機関や大学にて研究が実施されている。</p>	<p>産総研内の計測・分散調製の専門家と緊密に協力し、レベルの高いキャラクタリゼーションを実現</p> <p>公的研究機関として自主安全管理のための技術開発を実施している点が特徴</p> <p>国内の研究機関や大学は、毒性学的研究あるいはデータ収集という側面が強く、社会実装(行政的な審査制度や自主安全管理)を想定した評価技術の研究開発は産総研のみ</p> <p>欧州や米国の取り組みは概念や枠組みに関する議論が先行。産総研では、新規技術(CNF)の安全性評価を具体的に実施するため、産総研内外の多様な技術分野との連携が可能</p>

## 工業用ナノ材料の安全性評価研究のベンチマーク(CNFについて)

国内外の位置づけ	優位性・特徴
<p>国内では、<b>有害性評価と暴露評価を合わせたリスク評価研究</b>を実施している機関は産総研のみ。</p> <p>海外で取り組んでいるのは、米国NIOSH(国立労働安全衛生研究所)やフィンランドVTT(国立技術研究センター)といった公的研究機関やVireo Advisor等のコンサルティング事業者。</p> <p>欧米では一部の事業者が、ナノ材料やナノ材料含有製品の安全性評価方法の研究を自ら実施。<b>公的研究機関が自主安全管理技術の研究開発を実施している例は、産総研以外にはない。</b></p> <p>ナノ材料の有害性評価については、国内外の多数の研究機関や大学にて研究が実施されている。</p>	<p>産総研内の計測・バイオマスの専門家と緊密に協力し、レベルの高い<b>計測技術を開発</b></p> <p>産総研では、<b>複数のCNF製造事業者との共同研究として、自主安全管理のための技術開発を公的機関として実施</b>している点が特徴</p> <p>国内の研究機関や大学は、<b>毒性学的研究あるいはデータ収集という側面が強く、社会実装(行政的な審査制度や自主安全管理)を想定した評価技術の研究開発は産総研のみ(CNFでも該当)</b></p> <p>産総研では、<b>炭素ナノ材料の安全性評価手法開発の実績を生かして、新規バイオマスナノ材料(CNF)の安全性評価手法開発を行うことが可能</b></p>

2

## インベントリデータベース(IDEA)の構築と普及

### 【背景・実績・成果】

SDGsなど持続可能な社会への要望が高まり、その評価基盤であるLCAは必須の評価技術となっている。安全科学では、経済産業省カーボンフットプリント事業に対応し、網羅性を担保したLCAのインベントリデータベース(IDEA v1、平成22年度公開)を高度化し、平成28年度に多様な環境問題の評価への要望に応え、土地利用、水資源消費等に対応したIDEA v2を公開した。**平成30年度には、国際化に対応すべく、アジア地域を中心に各国の状況を反映したIDEA海外版を構築した。**また参加しているLCA国際データベース協調枠組み(GLAD)にデータ登録を行った。平成31年度には、IDEA v2.3へのアップデート、海外版データベースの公開を行う。

### 【成果の意義・アウトカム】

製造プロセスを網羅する3,800以上の圧倒的なデータ数を誇る日本の基盤データベースとして、産業界の活動支援に大きく貢献していることにより、LCA日本フォーラムより経済産業省産業技術環境局長賞を受賞した。

### 【アウトプット】

受賞 1件、関連特許 3件

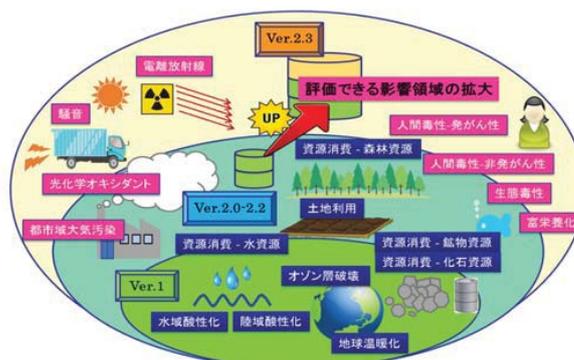


図1 環境影響領域の拡大



図2 IDEAの海外展開

## 世界におけるLCAに関する政策動向

## 【政策動向まとめ】

日本は主にGHGs中心で、**現在はボランティアな取り組みを促進。**

欧州ではGHGsだけでなく複数の環境問題へ発展し、データベース、手法開発に資源を投入し、**義務化も検討。**

## &lt;日本&gt;

- **国プロ(NEDO予算)にてLCAデータベースと手法開発**(2001-2008年)
- カーボンフットプリント試行事業によるCO<sub>2</sub>ラベルの実証事業(2009-2011年)
  - ⇒ GHGsに特化したデータベース整備、企業の算定支援、社会受容性調査。
  - ⇒ 2011年より民間移行し、現在のプログラムホルダーは産環協。
- グリーンバリューチェーンプラットフォーム事業(Scope3): 組織レベルのライフサイクルGHGs算定とその活用支援事業(環境省 2010年～)
- グローバル・バリューチェーン貢献研究会: 製品のサプライチェーンでのCO<sub>2</sub>削減貢献量の評価方法検討(METI 2017年～)

## &lt;海外&gt;

- ADEME(フランス)がLCAに基づいた環境ラベル表示制度実施(2008年～)
- BSI(イギリス)がカーボンフットプリントのガイド(PAS2050)を改訂(2011年)
- ECが**LCAベースの環境フットプリントの方法論開発**(2011年～)
  - ⇒ データベース整備、環境影響評価手法整備。
  - ⇒ **製品への表示義務化**も含めて検討中。

## 環境負荷排出量データベース開発

データベース	対象国、地域	データセット数	開発組織	予算	提供/販売
IDEA	日本+12カ国 <small>(タイ、中国、台湾、韓国、ベトナム、インドネシア、マレーシア、米国、フランス、イギリス、トルコ、ブラジル)</small>	約3,900 (日本) +3900*12カ国	産業技術総合研究所	国プロ、交付金、外部資金	有償販売 (26万円/セット)
3EID	日本	406 (日本)	国立環境研究所	交付金	無償公開
ecoinvent	欧州+世界	約14,700	Ecoinvent center (ETH, Agroscope, Empa, EPFL, PSI)	スイス政府予算+販売収入	有償販売 (3800EUR/セット)
Gabi	欧州+世界	約12,000	thinkstep	販売収入	有償販売
ELCD	欧州	約600	Joint research center(EC)	EC予算	無償(登録)
U.S. Life Cycle Inventory Database	アメリカ	約1,500	NREL	DOE予算	無償(登録)

社会  
状況

エネルギー・環境・資源制約の克服、持続可能な社会への具体的対応

社会  
展開



長期的  
アウトカム  
安全で持続  
可能な社会  
への貢献

研究  
開発



包括的評価・管理技術の  
開発と普及

2018年

2020～2030年

2050年

## 2. 「橋渡し」のための研究開発 - 別添資料 -

### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

本資料中のリストに記載した第4期の主な成果のうちプレゼンでご紹介できなかった成果につきましては、こちらの別添資料に概要を掲載しています。

## 地域の地下水環境を有効活用した地中熱交換器の開発

### 【背景・実績・成果】

我が国における地中熱システムの普及を考える上で、熱交換器設置のための掘削コスト削減と地下の熱利用のポテンシャルの把握は最重要課題である。そこで、平成27～平成29年度は民間企業と低コスト・高効率の熱交換器を共同開発した。スリットを入れたケーシングで井戸を保護することにより、地下水流れによる高い熱交換能力を有するシステム(図1)や自噴井を利用したセミオープンループ地中熱交換器(図2)、地下水を利用したタンク式熱交換器の開発・実証等を行い、商品化を実現した。平成30年度は、福島県地中熱事業協同組合と簡易熱応答試験法の有効性評価を行った。さらに平成31年度では、本簡易熱応答試験を用いて、福島県内の熱伝導率分布マップを作成する予定である。

### 【成果の意義・アウトカム】

いずれのシステムも、地域の地下水流動を取り込むことにより、通常の熱交換器と比較して2～3倍の熱交換能力を示し、3割以上の掘削コスト削減を実現した。なお、これらの新しい熱交換器は福島建設工業新聞で報道されており、その導入・普及が高く期待されている。

### 【アウトプット】

論文 3報, 新聞報道 3件, 関連特許 2件

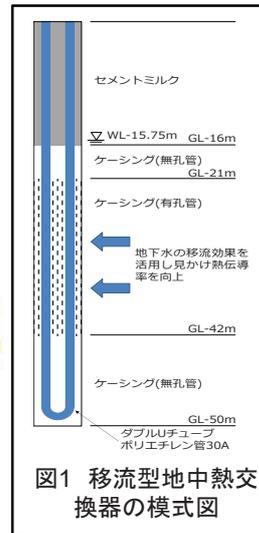


図1 移流型地中熱交換器の模式図

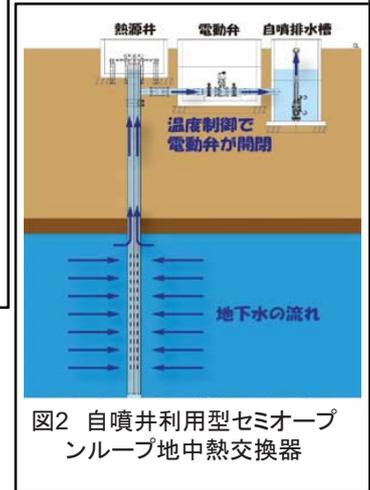


図2 自噴井利用型セミオープンループ地中熱交換器

## 内燃機関の高度化にかかる現象解明研究

### 【背景・実績・成果】

高効率エンジン燃焼技術の向上を目指し、平成29年度までにEGR(排気ガス再循環)システムの機能低下の原因となる配管内でのデポジット生成メカニズムの解明(図1)、そして世界初となるシンクロトロンを用いたX線技法による燃料噴霧現象解析を行った。平成30年度では、デポジットに含まれる多環芳香族の生成挙動、そして燃料噴霧ノズル内のニードル挙動と内部燃料渦強度の関係やノズル近傍における噴霧流動挙動を明らかにした(図2)。平成31年度では、エンジン燃焼室内でのデポジット生成メカニズム、そして温度圧力場と噴霧特性を解明する見込みである。

### 【成果の意義・アウトカム】

解明した現象モデルは自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)やSIP(内閣府/JST)及び民間共同研究で高い評価を受け、すでに2社に採用されている。

### 【アウトプット】

論文 11報

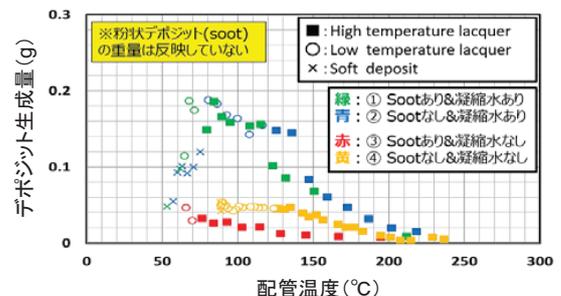


図1 デポジット生成における凝縮水とSootの影響

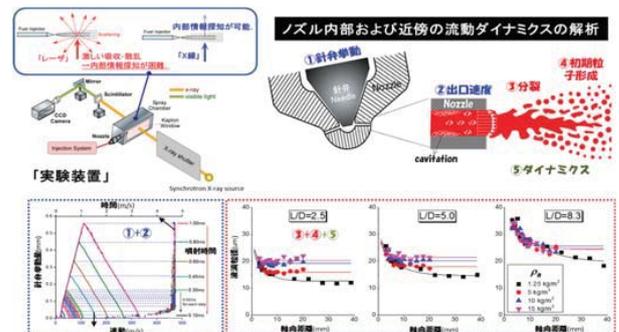


図2 シンクロトロンを用いたX線技法による燃料噴霧解析結果の例

# ご清聴ありがとうございました



以下補足資料

	目的基礎	「橋渡し」研究前期	「橋渡し」研究後期
1-(1) 創エネ	太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造	太陽光発電の高効率化・評価技術 ・スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池(一部FREA) ・低コストHVPEによるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長 ・CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化 ・太陽電池性能屋外高精度評価技術	
1-(2) 蓄エネ	ギ酸・メタノール/CO <sub>2</sub> の相互変換を利用したエネルギー貯蔵  蓄電池の高性能化 ・金属多硫化物正極材料の開発(関西C) ・新型カリウムイオン電池の開発(関西C) ・金属-空気電池用材料の開発(GhEM-OIL)	アンモニア製造利用技術(FREA)  硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み(関西C)	再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムの実証研究(FREA)
1-(3) 省エネ		超高電圧領域用炭化ケイ素(SiC)半導体バイポーラデバイス基盤技術開発  1kV級高温高速動作SiCパワーモジュール	炭化ケイ素半導体(SiC)パワーデバイスの量産実用化技術開発
1-(4) エネ資		未利用炭素資源からのCO <sub>2</sub> 分離型発電技術の開発	
1-(5) 安全・物質循環	環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用	戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発  逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析	インベントリーデータベース(IDEA)の構築と普及  事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス
青字:蓄電池、赤字:水素、オレンジ字:太陽光、緑字:物質循環、紫字:パワーエレクトロニクス、茶色:環境影響評価技術			

	目的基礎	「橋渡し」研究前期	「橋渡し」研究後期
(1)蓄電池	蓄電池の高度化 ・金属多硫化物正極材料の開発 ・新型カリウムイオン電池の開発 ・金属-空気電池用材料の開発	硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み	
(2)水素	ギ酸・メタノール/CO <sub>2</sub> の相互変換を利用したエネルギー貯蔵  太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造	アンモニア製造利用技術  未利用炭素資源からのCO <sub>2</sub> 分離型発電技術の開発	再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムの実証研究
(3)太陽光		太陽光発電の高効率化・評価技術 ・スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池 ・低コストHVPEによるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長 ・CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化 ・太陽電池性能屋外高精度評価技術	
(4)物質循環	環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用	戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発  逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析	
(5)パワエレ	ダイヤモンド半導体基盤技術	超高電圧領域用炭化ケイ素(SiC)半導体バイポーラデバイス基盤技術開発  1kV級高温高速動作SiCパワーモジュール	炭化ケイ素半導体(SiC)パワーデバイスの量産実用化技術開発
(6)安全			インベントリーデータベース(IDEA)の構築と普及  事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス
青字:蓄電池、赤字:水素、オレンジ字:太陽光、緑字:物質循環、紫字:パワーエレクトロニクス、茶色:環境影響評価技術 各課題は、現在の研究フェーズに記載			

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (2) 技術的ポテンシャルを活かした 指導助言等の実施

企業名	事業化テーマ	支援成果
アサヒ電子株式会社	太陽電池ストリング監視システム「Neoale (ネオエール)」	主要メーカーのパネルで機能することの実証データを獲得。これによりメガソーラー等において、異常個所の早期発見が可能となる商品を実用化。
日本カーネルシステム株式会社	「バイパスダイオードチェッカー」	太陽電池パネルの出力端子への接続で簡単に故障を検出できるポータブルな検出器を実用化。主要メーカーのパネルで、発電量に影響しない夜間に診断可能であることを検証。
日本化成株式会社	太陽電池モジュール用封止材の架橋助剤「TENASHIELD」	企業のシーズによる添加剤（架橋助剤）を用いた太陽電池モジュールを試作。信頼性試験により、従来品と比較して大幅な性能（PID特性）向上を確認。
株式会社 亀山鉄工所	「温度成層式蓄熱・貯湯システム」	「温度成層式蓄熱・貯湯システム」の各種熱源毎最適運転制御による運転率向上。定量的評価データの蓄積で、経済性も含めた商品提案と他社との差別化が可能になった。
株式会社 倉元製作所	「逆型有機薄膜太陽電池の耐久性・信頼性評価とその劣化メカニズムの解析」	屋外暴露試験及び室内環境試験の結果により、封止方法や材料によって性能・耐久性が向上することを確認。
ジオシステム株式会社 (2件)	「地下水移流効果を有効利用した高効率地中熱交換器の商品化」	深度50m×1本の高効率熱交換器で、5kWヒートポンプ1.5～2台運用可能を実証。冷媒管を50%短縮および窓断熱強化により、COP13%向上・暖房時電力を前年比40%削減。
	「樹脂製細管熱交換器を内蔵したタンク式地中熱交換機の有効性の検証」	地下水・湧水等を安価に得られる場合に、高性能かつ設置・運用コストの低減可能なタンク式熱交換器の性能を実証。地中熱交換機設置コストの大幅低減による地中熱利用システムのペイバックタイムの短縮が期待される。
日本地下水開発株式会社	「自噴井を利用したクローズドループ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムと無散水消雪システムの高効率ハイブリッド化とその性能評価」	冷房運転COP8.0以上、暖房運転COP4.5以上を実証。暖房と消雪のハイブリッドシステムを実証。
サンポット株式会社	「オープンループ型に対応可能な地中熱ヒートポンプの開発」	実証データの取得および最適地下水量の確認。地下水を無駄なく使用する揚水量制御ノウハウの構築。

企業名	事業化テーマ	支援成果
株式会社元旦 ビューティ工業	「太陽電池の性能低下防止装置の評価技術」「元旦ウイングの性能および適用性評価」	太陽電池モジュールの温度上昇による発電効率低下を防止するため空気流動性を高めるパーツ「元旦ウイング」の効果を検証し、一定の落雪防止機能を確認した。
大野ペロー工業 株式会社	「水素ガス及び水素混合流体雰囲気中におけるペローズシールバルブの有効性評価」	11万回を超える開閉試験により、ペローズシールバルブの開閉挙動が高速で、気密検査や分解検査で異常ないことを確認し、重要が高まる水素ガス設備の中に適用可能であることを示した。
株式会社シル フィード	「小型風車の振動・騒音低減技術に関する評価」	振動エネルギー吸収装置（と過回転防止用再生ブレーキシステム）を共同開発し、風洞実験、フィールド実験により有効性を実証することにより、小型風車の安全性、安定性、発電効率の向上が可能となった。
株式会社山王	「めっき技術を用いた高い導電性を有したアクリル樹脂粒子の性能評価」	無電解Agめっきアクリル樹脂粒子を分散材とした太陽電池用導電性フィルムを初めて作製し、従来品とほぼ同等の導電性を有していることを確認した。
地熱エンジニア リング株式会社	「地熱貯留層評価技術の評価」	産総研の地下モニタリング技術と自社技術を融合させ、より正確な貯留層評価技術を開発、実データ解析により評価技術が適切であることを確認。自社地熱フィールド開発、他社フィールドでのサービス業務に使用。
リナジス株式会社	「A E 情報を活用したフラクチャー型地熱貯留層性能評価ソフトウェアの実用化支援」	地熱生産能力を解析するソフトウェアを開発し、産総研が有する評価手法と実データの適用により実用性が高いことを実証した。
株式会社福島地 下開発	「地下水移流効果を有効活用した杭熱交換器【深井戸ポアホール】構築方法の開発」	新旧2工法における精度の高い熱応答試験と各種計測結果による採熱性能評価を行った結果、地中熱システムの運転時には明確な影響は認められず高い熱交換能力を確認した。
AGCエレクトロニ クス株式会社	「結晶シリコン型太陽電池電極ペースト用ガラスフリットの性能評価」	従来セルおよび次世代セルに対応した新規ガラスフリットを開発し、新規ガラスフリットを含んだ電極ペーストにより、セルの変換効率向上を達成した。

## 気象データ解析による農作物収穫量予測に関する技術コンサルティング

安全科学研究部門エネルギーシステム戦略グループ 河尻耕太郎主任研究員

### 背景

農業ビジネスの最大の課題の一つは、気象条件で収穫量が大きく変動することである。収穫量の予測誤差により、目標未達や余剰が生じ、利益率が減少する。

2週間後の納入契約

### 目的

気象データ、農作業・収穫量等実測データと、AI(深層学習)や数理モデル(統計手法、農作物生産モデル)を用いて、トマトの収穫量を高精度に予測する手法を開発する。

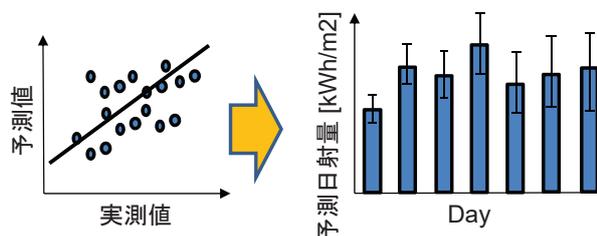
### 研究項目

次年度は共同研究を予定

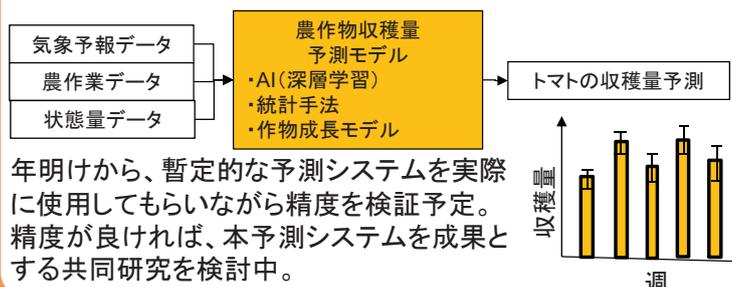
1. 気象予報データの精度の検証。
2. トマトの収穫量予測手法の開発。

### 研究項目概要

1. 気象予報データの精度を検証。



2. トマトの収穫量予測手法の開発

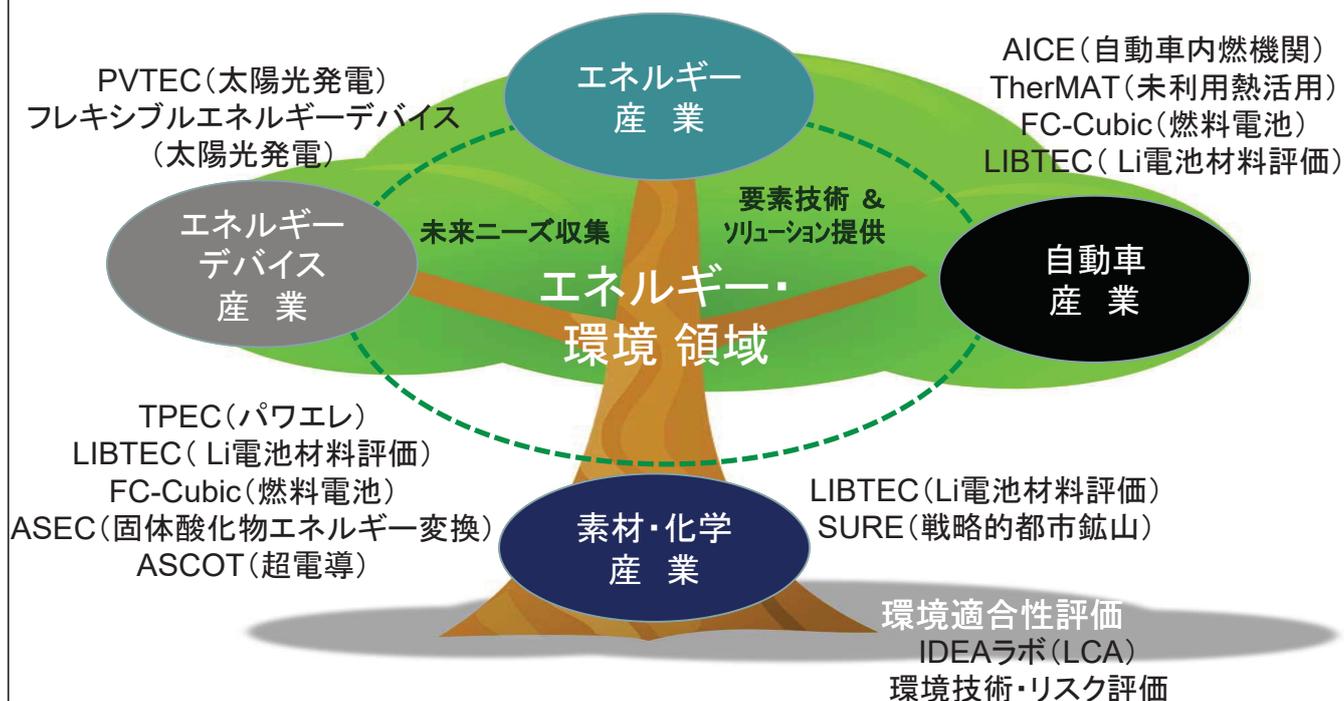


年明けから、暫定的な予測システムを実際に使用してもらいながら精度を検証予定。精度が良ければ、本予測システムを成果とする共同研究を検討中。

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (3) マーケティング力の強化

## エネルギー・環境領域を取り巻くサプライチェーン



# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

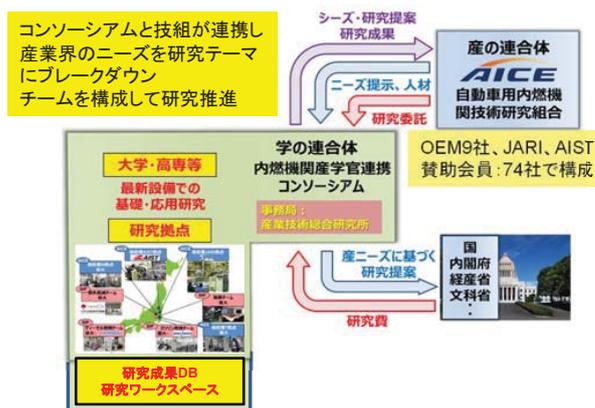
## (4) 大学や他の研究機関との連携強化

## 内燃機関産学官連携コンソーシアム(ICEC)の構築

### 持続的な産学官連携体制の構築にむけて

#### 【ポイント】

- 内閣府SIP「革新的燃焼技術」では自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)との強力な協調体制で、熱効率50%という高い目標の達成が視野に入ってきた。
- 本年度でSIPプロジェクトは終了となるが、効率的に成果を創出できる体制が構築されたところでもあり、産学官の間でも持続的に発展していける体制が期待されている。
- コンソーシアムでは、**アカデミア会員**としてSIPやAICEでの研究担当者を中心に取り込み100名以上の**学の連合体**として**産業界**と連携できる場を提供する。
- 産総研は事務局機能とゲートキーパーとしてAICEと協力し、業界のニーズをブレークダウンした課題設定、課題解決のための研究チームの構成、民間資金・公的資金の確保を図りつつ、委託研究や共同研究等を推進する。
- 従来の個別対応型共同研究や国プロの枠を超えて様々な連携を可能とするプラットフォームを構築する。
- 環境制約や燃費制約が年々厳しくなる中、電動化シフトの動きなども含めて個社での対応も難しくなっており、協調領域を拡大することで技術の高度化を加速するとともにコストシェア、リスクシェアを図れることが期待されている。



#### 【体制】

- 平成29年6月に発足
- **発足時メンバー: 特別会員(AICE:組員9社、2機関、賛助会員74社)および大学5機関、産総研**
- 産総研内では、分野を超えて研究者を結集させ、**次世代自動車エンジン連携ラボを結成**
- 運営予算: 1,000万円/年(予定)
- 2019年以降、AICEの研究費総額10億円規模を想定

# 固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム(ASEC)の構築

## 産学官連携の新しい試み！ 【ポイント】

- 産総研がハブとなり、複数企業・大学との共同研究でエネルギー変換先端技術開発(燃料電池SOFC-電解技術SOEC)を推進
- 従来比10倍の電極反応速度・高出力密度を達成する技術を創製(1社でできない先端・革新技術を開拓：コストシェア、リスクシェア)
- 当該技術の開発方向性の技術シナリオを議論・構築
- 従来の共同研究・国プロの枠を超えて様々な連携を可能とするインターフェースに

## 【研究実施体制】

- 企業11社、大学3機関、産総研の15機関で、平成28年6月より発足
- 産総研内では、分野を超えて研究者を結集させ、固体酸化物エネルギー変換先端技術ラボ(ALSEC)を結成
- エネルギー・環境領域：省エネルギー研究部門、創エネルギー研究部門、材料・化学領域：無機機能材料研究部門から15名のメンバーで構成
- 研究開発予算(平成30年度)：2,200万円(産総研拠出300万円含)/年



・10年先に必要な、将来・革新技術の創製  
・将来の技術シナリオ議論  
固体酸化物形燃料電池(SOFC)、  
固体酸化物電解セル(SOEC)などへの適用

## 固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム (ASEC) 及びラボ (ALSEC) での産学官連携推進イメージ

本技術の上流から下流までの企業が集まった集団で、アカデミアも加えて、革新技術の創造と新しい価値を議論します



当該分野の上流から下流までの企業が集まり、連携推進

# 戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)の発展

## NEDOプロジェクト「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術研究開発事業」(平成29~34年度予定)の開始

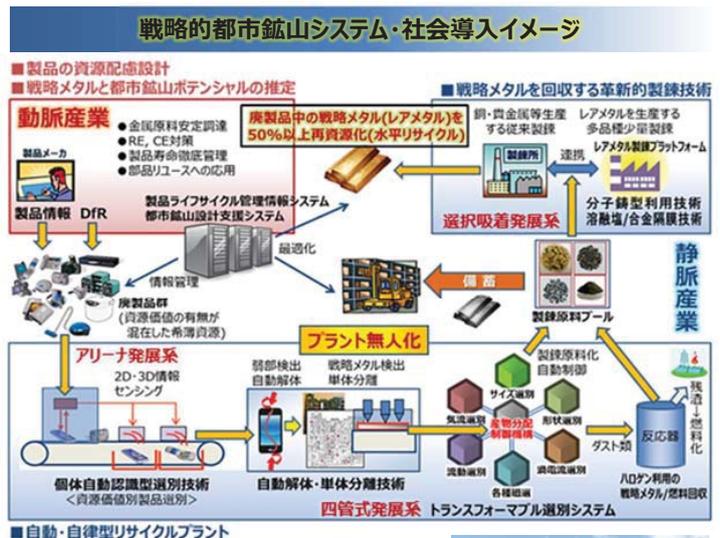
### 【プロジェクト概要】

- 産総研では、革新的なりサイクル技術開発と動脈-静脈産業連携に基づく「戦略的都市鉱山構想」を提唱し、戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)を組織化。民間61社と26の公的機関からなるSUREコンソーシアムを設立。
- PLを産総研が務め、SUREを中心として、SUREコンソーシアム会員企業、大学・研究機関より計13機関が参画。年間予算約6億円。
- 資源価値の高い小型家電等の廃製品を対象に、レアメタル含む多様な金属(戦略金属)について、低コストかつ高効率なりサイクル技術を開発すると共に、動静脈連携を強化する情報・制度・社会システムの構築を目指す。
- 平成30年6月、産総研内に集中研(CEDEST)を開所。

### 【社会へのインパクト】

- 産業構造を循環型にシフトする戦略的都市鉱山導入により、欧中を圧倒する人工資源からの金属生産技術を確立する。導入後の10年間で、日本の金属生産市場5.3兆円が見込まれる。

- 戦略的都市鉱山思想に基づき、日本再興戦略、NEDO技術戦略を策定。SUREコンソを中心とした、動静脈連携による日本型「戦略的都市鉱山」確立に向けたビジョンが、社会的な支持を得つつある。



集中研  
CEDEST



## 産業界との連携を促進するために、領域融合のシンポジウムを開催

### 産総研2次電池材料・反応分析シンポジウム

要旨	2次電池研究開発の融合・連携促進と、外部へ向けたい体感のある技術広報を目的として開催。
日時	平成30年4月26日(木) 13:00~18:20
場所	産総研関西センター
主催	エネルギー・環境領域、材料・化学領域、エレクトロニクス・製造領域
参加者	133名(内、産総研外75名)



### サステナブル技術連携促進シンポジウム「モビリティエネルギー」

要旨	トータルでのZero Emission Vehicleという一つの目標に向けて、研究の融合・連携促進を目的として開催。
日時	平成30年12月11日(火) 13:00~19:30
場所	イノホール&カンファレンスセンター
主催	エネルギー・環境領域、材料・化学領域、エレクトロニクス・製造領域、計量標準総合センター
参加者	169名(内、産総研外72名)

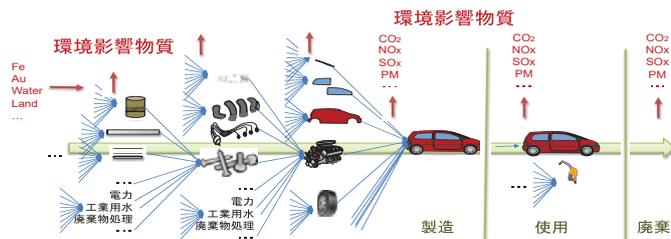


- 燃料噴霧
- 熱電変換
- 蓄電池
- 磁性材料
- 燃料電池
- トライボロジー
- 騒音・振動・ハーシュネス
- 車両モデルシミュレーション
- Well-to-Wheel分析
- などなど

## IDEAラボの設立 -LCA技術の普及・展開-

### 新技術・製品のLCAをサポート

- ・ 国内外に226のライセンス販売
- ・ 技術コンサルや共同研究などでも活用(5件)



分析の基盤となるデータベース



品名	単位	CO2	NOx	SOx	PM	...
鉄	kg	1.8	0.01	0.01	0.01	...
銅	kg	1.8	0.01	0.01	0.01	...
...	...	...	...	...	...	...

ソフトウェアを通じて社会へ展開

### 国際市場への展開



国際市場で利用されるソフトウェアへの登載

### 国内への普及



国内シェアNo.1ソフトウェアへの登載

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

## (5) 研究人材の拡充, 流動化, 育成

### 外部人材育成

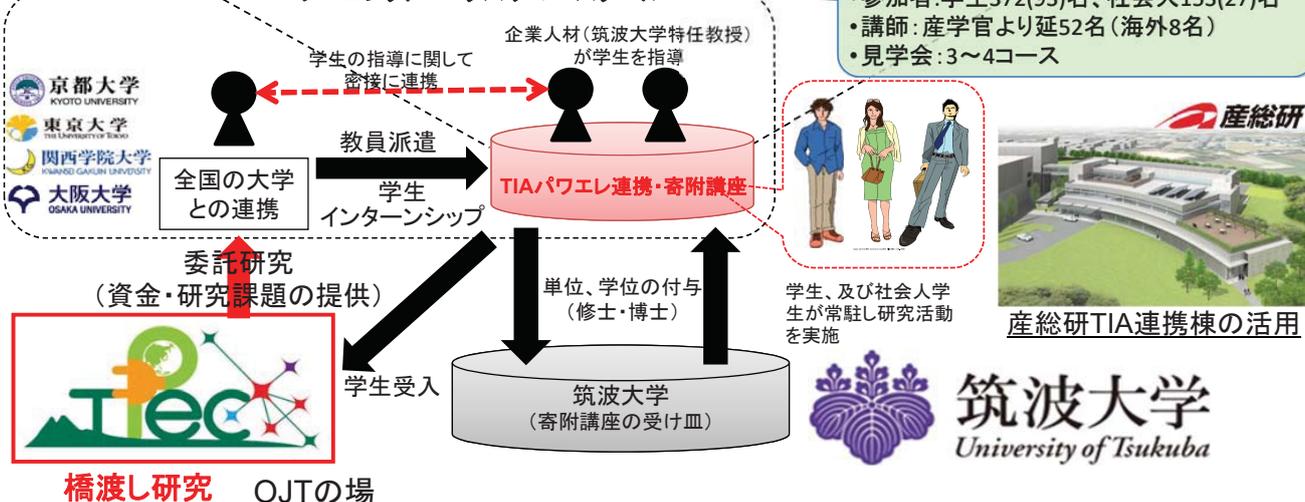
#### パワエレ連携・寄附講座 (H25/4開講)

第4期累計  
・修士学位:8名  
・博士学位:5名 に協力



#### パワーエレクトロニクスサマースクール

第4期累計 (H30年度)  
・参加者: 学生372(93)名、社会人153(27)名  
・講師: 産学官より延52名 (海外8名)  
・見学会: 3~4コース



- 大学等から人材を受入れ、**再生可能エネルギー分野**の人材を育成。

人材育成を伴う共同研究契約件数：東北大学、福島大学、岩手大学、日本大学等20件 (H29Fy)

東北大学、福島大学、岩手大学、日本大学、東京工業大学等16件 (H30Fy) ※12月現在

人材育成数：ポスドク、技術研修など計52名 (H30Fy) ※12月現在

### ○人材育成の取組

- 大学等から学生を受け入れ、研究開発（共同研究）等への参画を通じて、再生可能エネルギー分野の人材を育成。これまでに様々な制度で延べ242名（第四期合計）の学生等に研究現場でOJTによる人材育成を実施。

※ポスドク、RA、技術研修生の合計 12月現在

結晶シリコン太陽電池  
基盤技術コンソーシアム

被災地企業等再生可能  
エネルギー技術シーズ開  
発・事業化支援事業



展示会でのRA研究発表



大学・専門学校からのインターンシップ受け入れ



### 国内大学等との連携



### 主な国際連携先

- 欧州**
  - オーストリア技術研究所 (AIT)
  - フラウンホーファー研究機構
  - オランダエネルギー研究センター (ECN)
  - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)
  - The National Research Council (NRC)
  - European Liaison on Electricity Committed Towards long-term Research Activity (ELECTRA)
  - スマートグリッド国際研究施設ネットワーク (SIRFN)
- 北米**
  - 米国再生可能エネルギー研究所 (NREL)
  - サンディア国立研究所 (SNL)
  - スマートグリッド国際研究施設ネットワーク (SIRFN)
- アジア・オセアニア**
  - 韓国地質資源研究院 (KIGAM)
  - オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO)
  - インドネシア地質総局 (GA)
  - 地下水資源局 (DGR)
  - タイ国立科学技術開発庁 (NSTDA)
  - The Energy Development Corporation (EDC)
  - Sustainable Energy Development Authority (SEDA)
  - 東アジア・ASEAN経済研究センター (ERIA)
  - 東・東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP)

## メタンハイドレート総合シンポジウムなどのアライアンス活動

### 【従来の経緯】

- 実験教室や外部機関の見学対応などによる情報発信を実施。
- 基礎科学分野から産業技術分野に至る産学官の研究者・技術者が集まり、最新の研究開発成果を発信する場として、**平成21年より毎年**、産総研の臨海副都心センターにて開催。

### 【平成30年度の成果】

- 札幌市、和歌山県御坊市など様々な場所で親子や小学生から一般までの幅広い年代を対象とした実験教室を実施している。平成30年度は新潟県上越市にて親子、埼玉県久喜市にて高校2年生を対象に行い、メタンハイドレートに関する理解を促進した。
- 過去3年間の総合シンポジウム参加者は950名超であり、そのうち**企業から約400名(約42%)**となっている。最近では、基礎物性から砂層型の研究や表層型MHに関する調査研究など講演内容も幅広くってきており、ハイドレートに関する多くの情報発信の場となっている。平成31年度も、研究交流の場として開催を見込んでいる。

### 【アウトプット】

- 国内外のメタンハイドレート研究者の発表や議論の場を提供することで、メタンハイドレートの新技術・新産業の創出に向けた、多角的な人材育成に貢献している。

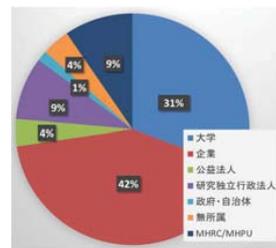


図1 過去3年間の参加者の比率

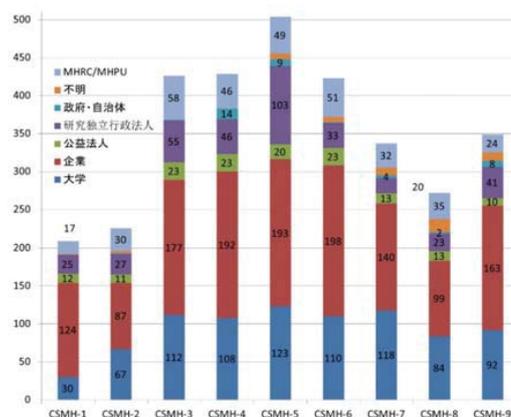


図2 これまでのシンポジウム参加人数の変化



## 評価資料（年度末確定値）

### 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間からの資金獲得（億円）	21.3	23.5	
リサーチアシスタント採用数（名）	43	44	
イノベーションスクール生 DC コース採用数（名）	0	0	
大企業に対する中堅・中小企業の研究契約件数の比率（％）	18.7	18.9	
プレスリリース数（件）	11	13	
クロスアポイントメント制度利用人数（名）	17	19	

評価委員会での説明以降、年度末までに追加された主な実績・成果・アウトカム

・3月4日 プレスリリース 高強度の水素精製用パラジウム銅合金を電解めっきでワンステップ成膜

・3月20日 プレスリリース 世界初、ガスからクラックのない1立方センチ級単結晶ダイヤモンドの作製に成功

### 2. 「橋渡し」のための研究開発

#### （1）「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
論文の合計被引用数（回）	18,631	19,423	
論文発表数（報）	299	472	
知的財産の実施契約等件数（件）	110	114	
IF10以上の論文誌に掲載された論文数	18	53	

評価委員会での説明以降、年度末までに追加された主な実績・成果・アウトカム

・第51回 市村地球環境学術賞 貢献賞 受賞 「ギ酸分解触媒の開発による革新的水素製造技術」

#### （2）「橋渡し」研究前期における研究開発

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
公的外部資金の直接経費（億円）	47.3	44.8	
知的財産の実施契約等件数（件）	110	114	再掲

#### （3）「橋渡し」研究後期における研究開発

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間からの資金獲得（億円）	21.3	23.5	再掲
知的財産の実施契約等件数（件）	110	114	

### 【総括表】

（一部再掲、目的基礎、「橋渡し」前期、「橋渡し」後期の重複なし）

評価指標/モニタリング指標	年度実績（確定値）	領域としての目標値
民間からの資金獲得額（億円）	23.5	41.1
論文の合計被引用数（回）	19,423	17,000
論文発表数（報）	472	450
リサーチアシスタント採用数（名）	44	40
イノベーションスクール採用数（名）	0	
知的財産の実施契約等件数（件）	114	110



## 評価委員コメント及び評点

### 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

（評価できる点）

- ・産総研は第4期中長期目標として「持続可能な社会の構築」を最上段に掲げ、それを受けて当領域は低炭素社会の実現手段として創・蓄・省エネルギー技術の開発、また産業と環境が共生する社会の実現手段として物質循環技術やライフサイクルアセスメント(LCA)、ナノ材料などの環境影響評価法の開発を通し、産業界と連携し、多大な研究成果を創出してきたことは高く評価できる。
- ・特に本領域では重要な指針であるエネルギー問題に関してフォアキャスト、バックキャスト両面から定量的にロードマップ(RM)を策定し、それをブラッシュアップして具体的目標値の精度を高めている。
- ・第4期を通して、着実に論文引用数が増え、また論文発表数も着実に増加している点は、産総研の先端研究の質の高さを示すものであり、今後も継続して発信してほしい。
- ・国内外研究機関との比較を民間資金獲得額や相対引用度 CNCI で示すなど、ベンチマークが進化している。
- ・技術コンサルティングは大幅な伸びを見せ、大きな貢献となっている。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P12, P13]世界各地で水の安全確保に危機的状況が今後予想されますが、水の有効利用と保全技術などの水循環技術は日本が得意とする分野であり、国際貢献の期待も高まっている。こういった背景の元、水循環技術の開発に着手した先見性は高く評価できると思います。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P15] 領域が目指す目標を「Zero-Emission Society」というわかりやすい端的な言葉で表現することで、研究開発のベクトルが揃うことになり、大きな成果を生むための基盤、目標が明確になっていると思います。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P15] 欧米では方針や政策がトップダウンで決定される傾向が一般に強いと言われていますが、これはマネジメントが優れているという前提のやり方です。これとは異なり、ミドルレンジの人材を中心とした現場主義を目指す戦略をとるということは、マネジメント能力の差が如実に現れるため、突出した成果を期待する実力主義の組織としては合理的であると理解できます(※トップのマネジメントは、底上げが必要でしょう)。
- ・電源構成シミュレーション精度の向上。
- ・FREA 被災地企業の地場企業シーズ支援に成果が出ている点。
- ・「急がば回れ」方針は成果主義の弊害が露呈しつつある中、卓見であり、強く支持する。
- ・民間資金獲得は目標値を下回っているが、目標値が領域現状のマンパワーを踏まえているとは言い難く、産総研全体の17%の研究者で産総研全体の25%の民間資金を獲得している成果はきわめて素晴らしい。
- ・創エネ・省エネ・蓄エネの3つの柱、産業・環境共生の2つの柱に沿って、それぞれシナリオを作成し、戦略的にテーマ選定を行い、指標のKPIをマネジメントしながら、研究の上流から応用の下流まで人材育成を、海外を含め包括的に進めている。これら全体を戦略的に行うため、国の方針・ベンチマークによる他国との比較を通じ、産総研の強みをより引き出すテーマに絞る考え方を整理して示し、研究員がわかりやすく、また外部から見てもわかりやすいマネジメントになっている。
- ・それぞれのKPIが着実に改善され数値が向上している点は、このマネジメントが有効に機能していることを示していると判断できる
- ・領域は、今後、人類や文明の維持発展に重要なエネルギー・環境問題の課題設定、研究テーマ設定、研究マネジメントがなされ、今後とも、社会に貢献することが期待できる。
- ・創/蓄/省の技術区分けをもとに、個々の研究開発ターゲット、研究テーマ内容が明確に設定され、多くの研究開発成果が期待できる。
- ・中長期ロードマップにそって研究が遂行されている。2050年のあるべきエネルギー構成をシミュレーションし、その結果が研究提案に活用されている。
- ・「急がば回れ」のとおり、メカニズム解明から地道な研究の成果がでており、論文数や引用数は第4期全体通して目標達成と結果に現れている。
- ・FREA 被災地企業のシーズ支援は、取り組み自体が評価されるが製品化など成果も現れている。
- ・コンソーシアムを通して、大学・企業・研究機関のハブとしての機能を果たしている。
- ・内外の人材育成に注力し、優秀な人材が育っていることがうかがえる。また国際標準化活動も評価される。

(改善すべき点及び助言)

- ・第4期は世の中もパリ協定やRE100などの低炭素社会実現が注目されてきたため、各種エネルギー技術の成果に重きがある点は人の配分も含め理解できる。一方で、パリ協定を機に再生可能エネルギーはシェアを伸ばし、脱炭素化が加速している。そのような社会的な動向に対して、果たして現在のエネルギーロードマップは適切か再考が必要ではないかと思われる。特に火力発電が世界的に低迷している中、アジア諸国を含めて本当に再生可能エネルギーで充足できるのか、あるいは火力が必要であれば、CCS含めた高効率火力発電の必要性を訴えられるのは日本くらいと思われる。再生可能エネルギー導入の限界含めたロードマップ作製に期待したい。
- ・SDGsに関しては、急速に産業界でも期待が高まっている。更には、Society5.0に向かい、IoT、ビッグデータ、AI等のサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させた研究開発が求められている。当領域は、リスクマネジメントやLCAの専門家を輩出する特色的な研究領域でもあり、個々の研究開発が社会課題や新たな価値創造にどのように貢献しているかという指標を作り、発信していくことも必要ではないか。それが、産総研の研究成果が描く未来像の社会発信力へと繋がると思う。
- ・ISO, IEC規格は単に発行するだけでなく、どれだけ活用されているかの視点も重要。論文と同様に引用度(購入実績)も調査すべきである。
- ・オープンイノベーションへの貢献は当領域では顕著である。民間への多大な貢献でもあり、ぜひKPIによる目標設定や研究管理を進めていただきたい。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P12, P13] 持続可能な社会を実現するには、物質とエネルギー両方の循環再利用が欠かせないと考えます。循環する物質を鉱物資源と水という切口だけでなく、人間の生活、生存に密着した衣食住という切口、特に食物の循環にフォーカスした研究も検討カテゴリー化されてはいかがでしょうか。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P13] エネルギーのロードマップが具体的で、方向が定まっている印象を受けるのに比べて、環境・安全のロードマップはあまり具体的でないように見えます。物質循環技術と環境影響評価技術についてより深い議論が必要ではないでしょうか。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P13] 物質循環技術と環境影響評価を、同じカテゴリーでロードマップを策定するには、分野の性格が違いすぎることはないでしょうか。物質循環技術はどちらかという装置などのハードが研究対象となりますが、環境影響評価は、人、地域、国などを対象とするアセスメントが中心で、場合によっては社会学も必要になる領域だと思います。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P15] ミドルアップ&ダウン型経営では、ミドルレンジの研究者のモチベーションを高く保つことができると思いますが、過度な責任を負わずだけではなく、チャレンジングな施策に踏み出せるような環境づくりをマネジメント層には期待したい。
- ・[(1)領域全体の概要・戦略][P15] “基礎体力”が重要と明記されているが、これは目的基礎研究で、世界トップクラスの研究成果を出せる力である、と読み取れます。基礎体力の増強をどのように実現するのが重要だと思うので、そこを具体的な施策に落とし込んでほしいです。研究職員の採用方法なども改革の対象ではないでしょうか。
- ・電源構成シミュレーション精度の向上を領域戦略の見直しにどうフィードバックさせるかに注目したい。マネジメントツールの開発と研究戦略が分離してはいけません。
- ・第5期では、マーケティング機能の強化に裏打ちされた目的基礎研究の向上を見てみたい。
- ・オープンイノベーション(OI)の推進は産総研のこれからの大きな柱であるにも関わらず、確たる評価指標が確立されていないのがとても残念である。OI指標策定そのものも重要な研究テーマである。要は産総研が当該産業の活性化に及ぼした触媒作用をどう数値化するかということである。
- ・国際標準化活動を単なるボランティア活動と矮小化してとらえるのではなく、我が国の国際戦略の一環としてどう位置付けるかが今後大切であろう。
- ・市場規模の予測とその実現に必要な技術、そのうちどこを担っているか、その技術がクリティカルパスの一つになっているのか、という視点で見ると見込みが甘いように感じる。また、日本市場だけでよいのか、特に再生可能エネルギーで巨大市場になりつつある中国企業が実施している技術展開に対し、優位性がどこにあるか、中国での特許取得を含めどの技術を優位にしたいか、産業界が何を要望しているか、出口が漠然としていて、勝ちのシナリオが読みにくい。
- ・再生可能エネルギーを軸足に創エネのテーマが構成されているのに対し、蓄エネはEVが出口となっていて、エネルギーの軸足がちぐはぐ。
- ・イノベーションと実用化への貢献のバランスを期待する。
- ・再生可能エネルギーは、非常に重要だが、太陽光、風力、地熱と総花的であり、時系列的にも、重点化

が必要と考える。例えば、Shell Sky Scenarioによれば、2050年(2070年)、太陽光、風力、地熱は、各々、22TW(54TW)、15.3TW(22.5TW)、4.8TW(6.6TW)とある。

- ・ロードマップ策定はあるが、どうフィードバックするか、ロードマップの検証を含めて、検討して欲しい。国際的ロードマップ策定も期待したい。
- ・持続可能な社会の構築などは、領域内外の横断連携強化を期待する。
- ・研究所としての KPI、目標設定が妥当かどうかは疑問である。民間資金獲得額は、現状分析を踏まえ、達成困難だが不可能でない適切な数値設定が求められる。また、標準化、特許なども重要な KPI ではないか。
- ・特許は、多額の投資と苦勞の結果完成した新技術を囲いこむために特に重要である。実施件数のみならず、特許戦略の策定とそれに基づいた特許創出がなされているかが重要と考える。
- ・マーケティングは、資金獲得のための企業ニーズの把握にとどまらず、社会のニーズ変化や技術をどうビジネス展開するか、などの視点からもさらに踏み込んだ分析を行い、研究戦略に反映させることを期待したい。

#### 【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・領域長のリーダーシップの元、毎年の評価委員会の意見が、次年度に確実に改善されている点はマネジメントシステムが確立されている証である。清水建設とのゼロエミッション水素タウン連携研究室の設置は、もっとマスコミなどに取り上げられてもよいのではないか。
- ・シニア世代を38名招聘研究員として雇用した点は、人生100年時代にもマッチしたとても良い施策である。具体的な活動事例もぜひ紹介していただきたい。
- ・5億円の共同研究費を増やした点はスタッフの尽力につきる。
- ・[(2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施] [P20] 安全科学研究部門の技術コンサルティングが着実に伸びています。安全科学は、どこまで追求すればよいかわからない場合が多いため、企業だけではなかなか体系的な投資は困難です。この分野こそ産総研の力を最大限発揮できる領域であり、将来の連携ネタでもあることから、コンサルティング件数、額が伸びている点は、大いに評価できると思います。
- ・[(2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施] [P21] 被災地企業のシーズ支援プログラムが5年間の区切りを迎えたこととなりますが、これに続く支援事業を継続して立ち上げている点は、非常に重要であり評価できます。また、コンソーシアム型と個別企業型をバランスよく積極的に実施している点についても高く評価したいと思います。
- ・[(3) マーケティング力の強化] [P24] 外部資金獲得には、コンソーシアム形態だけではなく、「ゼロエミッション水素タウン」のように冠ラボ設立により多額の研究費を確保する戦略は、同業社を排除する危険性を持つとは思いますが、目標達成には効果的だと思います。
- ・環境・安全ロードマップ作成の尽力を評価する。
- ・国内外の研究機関との比較で、研究者あたり民間資金獲得及び相対引用度 CNCI とともに、国内外の他研究機関と比較して、トップクラスの指標を示した点は、きわめて高く評価される。
- ・基幹の性能確立に絞った研究推進、トップレベルの研究テーマでの国際連携、今後成長が期待できる若手の人材育成を同時に進めながら、橋渡しを企業へつなぐ指標である外部資金調達も着実に増加させることができ、マネジメントの成果が着実に出ている
- ・領域は、今後、人類や文明の維持発展に重要なエネルギー・環境問題の課題設定、研究テーマ設定、研究マネジメントがなされ、高く評価できる。
- ・創/蓄/省の技術区分けをもとに、個々の研究開発ターゲット、研究テーマ内容が明確で、良い事と思う。
- ・民間獲得資金の経産省提示の目標は、41.1億円と、期待は大きい。
- ・エネルギー構成をシミュレーションは評価精度が向上し、研究提案にも活かされている。固体電池に関して領域連携での研究テーマを立ち上げ、CFT 強化に取り組まれている。新規でゼロエミッション水素タウン連携研究室を設立、企業と連携して運用時の課題解決にも取り込まれている。

(改善すべき点及び助言)

- ・民間研究資金の獲得が目標を下回っている一因には、日本の産業界の弱体化も理由に挙げられる。企業もイノベーションや新規事業の創出は必要と認識しつつも、その基礎体力がない。第5期中計に向けて目標値との乖離を分析し、産業構造の変化に対し、場合によっては更に民間資金減少となる想定も含め、将来的にどのような研究活動を展開できるかを考察する機会としてほしい。また、クラウドファンディ

ングなどへの若手研究者のチャレンジがあっても良いと思う。

- ・ [(1) 領域全体の概要・戦略] [P13] 「省エネ型から創エネ型水処理へのパラダイムシフト」について、ロードマップではもう少し具体的な内容に言及していただきたい。水を有効に利用した発電システムの構築でのアジア貢献という理解でしょうか。
- ・ [(1) 領域全体の概要・戦略] [P16] 民間資金の獲得額は、前年度と比較して増加しているが、平成30年度目標の達成は見込めそうにありません。この目標を来年度も維持するのであれば、今年度の民間資金未達の原因を詳細に分析し、具体的対策に落とし込む必要があると考えます。
- ・ [(1) 領域全体の概要・戦略] [P17] 民間資金獲得として、直接的な資金ではないですが、大学のような寄附講座、あるいは複数の大学を束ねた講座をもっと検討してはどうでしょうか。民間資金の獲得だけでなく、社会のニーズをリアルタイムに捉えることができます。
- ・ [(3) マーケティング力の強化] [P25] ISO/IECの活動において、各TCの国際議長の仕事は大きな労力であり敬意を表します。日本産業界の意向を吸い上げて、国益に沿った標準作成は、国際アピールにもなり、産総研殿しかできない活動だと思えます。エネルギー環境領域がカバーする専門領域の広さを考慮すると、標準作成の中心となるプロジェクトリーダーの人数は、もう少し多くてもよいと考えます。
- ・ [(4) 大学や他の研究機関との連携強化] [P27-29] 国内・国際連携の方針・目標とその内容は明確になっていると思いますが、連携で達成された学術的あるいはビジネス創出の成果をフォローしてアピールして欲しいと思います。“連携”だけが目的では残念です。また、成果を求めることが次の連携に繋がるし、ネットワークの拡大に直結すると思います。またこの活動こそが、“基礎体力”増強の源泉ではないでしょうか。
- ・ 民間からの研究資金目標未達が本当の課題か心配します。産総研として民間の資金で非公開の研究を進めることが国民にとって良いことかの指標が必要。得られた知見のうち科学技術の発展に寄与することが論文として発表するなど税金をもらって仕事をしている研究者の創出した知恵を社会へ還元することもマネジメント課題に思う。
- ・ “スローガン”産業界ご利用頂きやすい”や「橋渡し」機能を重視し、民間資金の獲得を重視していることは良い事だと思う。しかし、このような目標を重視しすぎると、研究内容が短期的な近視眼的な研究開発になりがちで、“世界最高水準”を目指す研究開発とのバランスを持って、研究開発を進めて欲しい。
- ・ 基礎体力増強の結果が民間資金獲得大につながるという考えは間違っていないと思うが、資金獲得には何かしらの追加的対策が必要ではないか。課題分析をさらに掘り下げて、それに対する具体的アクションが求められる。
- ・ Society5.0への取り組みは検討されてはいるが、来年度は具体的なテーマの立ち上げに期待したい。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

（評価できる点）

- ・ 蓄電池に関しては、先進リチウム電池とともに、ポストLi電池も見据えたロードマップを策定し、研究開発を進めている。
- ・ 先進リチウム電池では、正極材候補の硫黄材料から非晶質金属硫化物での高容量化を確認し、314Wh/kgのエネルギー密度を達成したことは大きな成果と言える。また、シート型硫化物全固体電池の製造プロセスの開発や、リチウム-空気電池やリチウム-硫黄電池などの革新型高容量リチウム電池の高効率化・高耐久化に資する基礎技術が大きく進展している点を確認した。これらの技術は、低炭素社会の実現や蓄電分野での国際的競争に寄与できる可能性が高い。
- ・ エネルギー貯蔵・輸送技術に関しては、メチルシクロヘキサン、アンモニアなどの水素・エネルギーキャリアの高効率利用技術、水電解装置、水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵、燃料電池など、水素を用いたエネルギー貯蔵技術において大きな進展が得られた。再生可能エネルギーの課題である変動するエネルギーを必要な時に利用できるという技術の克服であり、水素社会の実現に一步近づいたといえる。
- ・ [P46] 公的機関による二次電池の研究開発動向とターゲット一覧は、各機関・各国が何の材料に注力し、どの研究開発としのぎを削っているのか、協力関係にあるのかを見渡せます。また、この表を継続的にアップデートすれば、スタンダードになる材料、技術は何かがわかる整理された表であり、開発計画立案時に重要な表だと思います。
- ・ [蓄電池] 金属多硫化物正極材料の開発 [P47]：電池に必要な基本性能として、エネルギー密度と充放電サ

イクル容量維持率の両性能が現行材料を上回る目途がたてば、VS4 に置き換えられていく可能性があると思います。

- ・ [蓄電池] 新型カリウムイオン電池の開発 [P48] : リチウムに替わるコストの低いカリウム系材料系の候補を見だし、実証まで達成すれば二次電池の選択肢の幅が広がり、社会の多様な要求に応えることができ、意義があると思います。
- ・ [蓄電池] 金属-空気電池用材料の開発 [P49] : 白金だけでなく、レアメタルフリーの正極触媒は世界でも成功実施例がほとんどなく、画期的な二次電池が期待できます。
- ・ [蓄電池] 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み [P50] : 寿命特性に及ぼす製造プロセスの影響を評価しながら、重量エネルギー密度を現行のリチウム二次電池レベルに近づける目途がたってきた点で評価できます。
- ・ [水素] ギ酸・メタノール/CO<sub>2</sub> の相互変換を利用したエネルギー貯蔵 [P59] : ギ酸を水素キャリアとした研究で重要なポイントは、CO<sub>2</sub> の水素化とその逆反応効率の最大化と、変換に伴うエネルギーロスをも最小化できるかです。カギとなる CO<sub>2</sub> の水素化触媒技術が見通せたことは、本格的な水素貯蔵技術の開発に道を開く成果として評価できます。課題も多く見いだせたと思いますので、次期フェーズに向けた詳細なロードマップの構築を期待します。
- ・ [水素] 太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造 [P60] : 有用化学品の効率的製造に着目し、化学工学分野の省エネ化と高効率化に寄与する技術を支える意義は評価できます。
- ・ [水素] アンモニア製造利用技術 [P61] : 水素貯蔵技術の本命技術の一つと認識しています。既存の社会インフラとの親和性を図る上で不可欠なアンモニア合成プラントとアンモニアガスタービンが実用化できれば、水素貯蔵技術はほぼ完成を見ることになり、次世代エネルギー循環システムとして期待が持てると思います。
- ・ [水素] 未利用炭素資源からの CO<sub>2</sub> 分離型発電技術の開発 [P62] : 褐炭から得られるエネルギーは通常の石炭に比べて低いですが、埋蔵量は石炭の半分を占めます。本研究における CO<sub>2</sub> の分離回収装置を使えば、これまで使えなかったエネルギーを CO<sub>2</sub> フリーのエネルギーとして利用可能になり、人類貢献という意味で意義深い技術であり、評価できると思います。
- ・ [水素] 再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムの実証研究 [P63] : システムの自動運転実証完了は、技術的には完成したことを意味していると思います。経済性の成立はまだですが、いつでも事業を開始できる状態に漕ぎ着けた意義は大きいと思います。
- ・ 太陽電池モジュールに関し、スマートスタック技術の開発により、高効率太陽電池の低コスト化実現に向けた研究が進展した点を高く評価する。
- ・ EV 用二次電池の開発にて、現行 LIB の 3 倍の走行距離を見込める金属多硫化物正極材料の開発に成功した点を高く評価する。
- ・ 熱電変換効率 12% を達成したことはすばらしい。
- ・ MCH、ギ酸、アンモニア等の水素・エネルギーキャリア材を幅広く、かつ利用技術を視野に入れつつ研究展開している。
- ・ 電池・水素の開発シナリオを国・NEDO のロードマップに連動させて作成し、計画に沿った成果を出しつつある。
- ・ 電池では、材料創製のテーマが多くあるが、それぞれ世界先端の結果が得られており、ロードマップに示す時期に成果が出せると見込める点が評価できる。水素では、ギ酸の触媒反応に着目しこれまでにない反応プロセスを実現させることや、CO<sub>2</sub> フリーアンモニアというコンセプトを先行して実証させるなど、水素基本戦略のカギとなる研究成果が出つつある。
- ・ 個々には、優れた成果が得られていると考える。
- ・ 全体として、高インパクト・ファクターのジャーナルへ高被引用の論文を発表しており、評価できる。
- ・ 水素脆化現象の解析や電池の表面や界面の解析など、基礎研究も進展しており、材料改善に貢献できるインパクトを期待する。
- ・ 難しい課題へのチャレンジだが、個々のテーマにおいてエネルギー密度などのメトリックが大幅に改善されており、第 4 期として N E D O の目標値を上回る成果が見込まれる。論文被引用数は毎年目標を達成しており、優れた研究成果の結果として評価される。論文数もおおむね目標を達成している。コア技術創出の最初のフェーズとして、本質課題に立ち向かいそれを克服する努力が評価される。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 産総研に期待される目的基礎技術は他者を圧巻するブレークスルーの種である。その観点からは、2つのテーマに絞ることなく、別添資料に掲載されているような熱電変換や地熱発電、ダイヤモンド半導体

以外にも各ユニットにおける特筆すべきテーマを紹介し、将来的なビジョンや研究スケジュールなどを議論する場としてもよいのではないかと考えられる。目的基礎研究での議論が、その後の橋渡しへ繋がっていく重要な時期と考えられる。

- ・水素に関しては、JST では SDGs の取り組みとして取り上げられているにも関わらず、産総研上では SDGs への貢献にあまり触れられていない点が残念。本件にとどまらず、本領域の研究活動は SDGs へどのように貢献しているかという観点からの紹介も必要。
- ・マテリアルインフォマティクスや AI の導入で、最近の材料開発は目覚ましく進歩しているが、産総研での導入度合いはどの程度なのか？それにより、材料開発がどの程度短縮されたかを示してほしい。
- ・[蓄電池]金属多硫化物正極材料の開発[P47]：バナジウムはレアメタルに属し資源的に偏在した元素ですが、埋蔵量は世界規模の供給に耐えられるのでしょうか。資源的検討をお願いします。
- ・[蓄電池]金属多硫化物正極材料の開発[P47]：電気自動車用の利用形態として、1年間50サイクルを10年と仮定すると、最低でも500サイクルは必要だと思います。100サイクルで必要寿命を見通せるとは言えないので、加速方法など評価方法の検討をお願いします。
- ・[蓄電池]金属多硫化物正極材料の開発[P47]：電解液量の制御は、電池製造における課題であり、軽量化とは直接関係しないように思えます。電解液量を極端に少なく抑えるのなら別ですが、電解液量に関するメリットの再検討をお願いします。
- ・[蓄電池]新型カリウムイオン電池の開発[P48]：テルル、カリウムなど比較的重い元素で構成された活物質では、重量エネルギー密度の達成は難しいのではないのでしょうか。エネルギー密度としてのメリットがなければ、現行品に置き換わる可能性は低いと思われます。理論エネルギー密度を正極材単体、電池としての検討をお願いします。
- ・[蓄電池]金属-空気電池用材料の開発[P49]：自動車用を目指すのであれば、空気中から取り込む酸素を酸化剤とする場合、CO<sub>2</sub> や埃などのフィルター、ポンプ、浄化プロセスのコスト増、重量増があるはずで、全体システムのメリットデメリットのトレードオフが必要です。また、他のアプリケーションで使える場合もあるので、アピール先の検討も必要と考えます。
- ・[蓄電池]硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み[P50]：重量エネルギー密度は現行のリチウムイオン電池より高いレベルを目指し、その戦略を明示してほしい。
- ・[蓄電池]硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み[P50]：全固体電池の課題は、水分管理のシビアさなど製造にかかるコスト増をどのようなメリットで補償するかを示さなくてはなりません。安全性もその一つですが、定量的表現は困難です。
- ・[水素]ギ酸・メタノール/CO<sub>2</sub> の相互変換を利用したエネルギー貯蔵[P59]：技術的な課題解決と並行し、経済性の成立、CO<sub>2</sub> 削減効果など、システム導入時のメリットを定量的に把握することが重要だと思います。課題を技術的に解決できるか否かのリスク、技術以外で解決可能かどうかの判断など、最終年度に向けて総括をお願いします。
- ・[水素]太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造[P60]：有用化学品を高効率で製造できる光触媒を見出し、開発するには優先順位があると思いますので、判断基準を明示していただけないでしょうか。産業界が望むもの、コストの劇的な低減、有用な副産物の生成、触媒コストなど、判断軸は多岐に亘ると思います。
- ・[水素]アンモニア製造利用技術[P61]：水素貯蔵に毒性と腐食性があるアンモニアを使うシステムにおけるもう一つの重要な課題は輸送です。輸送に関する課題に関する評価委員会でのご回答は、既に輸送インフラは整っているというものでした。しかし、水素社会になればこれまでの輸送量とは桁違いに大量のアンモニア輸送が必要となり、安全性の課題を一度整理しておくことも今後の研究開発にとって重要と考えます。
- ・[水素]未利用炭素資源からの CO<sub>2</sub> 分離型発電技術の開発[P62]：EOR は石油の採掘場所、採掘時期しか CO<sub>2</sub> の利用がありません。国内では EOR の用途はほぼないので、分離した高濃度 CO<sub>2</sub> の有用な利用方法を考えて欲しいと思います。
- ・別添-1. ナノ・メソ・マクロ解析による水素脆化の基本メカニズム解明[P66]：モデル化完成後には、対策への道筋を提示できるレベルまでもってほしいと思います。材料的ブレークスルーが必要であるならば連携先の模索も必要でしょう。
- ・別添-2. 超臨界地熱発電技術の研究開発[P67]：NEDO から示されているように、経済性の評価、超臨界水に耐える材料と機器の開発、環境破壊の最小化などを並行して進める必要があると思いますので、これらを考慮した開発ロードマップの策定をお願いします。
- ・論文数が前年比減であるが軽微であり、とくにマイナス評価とは思わない。
- ・研究者評価では、国際指標ということでどうしても高インパクトファクター（IF）雑誌への投稿数が表

に出てくるが、大切なことは被引用数である。国内産業を育てることを使命とする産総研としては、国内雑誌を育てる使命もあるのではないか。

- ・ 金属多硫化物正極材料では、電動飛行体分野に向けての展開に強く期待する。
- ・ 熱電変換材料では ZT 値の向上だけを研究レベルで追いかけるのではなく、各段階での数値に見合ったマーケットを見つけて事業展開いただきたい。
- ・ 電池のシナリオで4つの課題が記載されているが、高容量・低コストシナリオのみ示され、残り2つはどうなっているかわからなかった。橋渡しで取り組むのであれ記載したほうが良い。製品にするためのリードタイムが考慮されていない点も記述が必要。水素のロードマップは、中間のマイルストーンが無く、また、製品の流れは製造・貯蔵輸送・利用の縦の流れだが、ロードマップ/ポートフォリオはどのように組み合わせで成立させるかが不明。経産省のロードマップの出口に対する関連が読めないので改善が必要に思う。
- ・ ブレークスルーにつながるような基礎研究も期待したい。研究テーマの見直しを含めて、再検討しても良いのでは。
- ・ 蓄電池に関して、材料およびフェーズを含めて、多岐にわたる研究開発がなされているが、その位置づけやインパクトを明確にしつつ、重点化して、進めて欲しい。
- ・ 外部に対する優位性、革新性を明らかにして、進めて欲しい。
- ・ 目的基礎のフェーズのためやむを得ない部分はあるが、二次電池は、目標値はあるもののそれに対してどうアプローチするのかが見えにくい。複数の技術を収斂させるのか、それとも異なる出口を目指すのか、全体的に研究戦略がわかりづらい。ベンチマークについては手法の比較にとどまらず、例えば主要なメトリックを定量比較するなど内容の分析を深め、将来的にも優位性があると言えるのか、目標のアウトカムが得られるのか、等の視点で現状計画の妥当性を評価することが必要と考える。
- ・ 水素は、ロードマップ自体が大雑把で、METIシナリオがこれで実現できるのかもわかりづらい。

#### 【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・ 水素技術に関する領域内でのテーマ全体像をポートフォリオで示し、目的基礎から橋渡し後期まで全体を把握している点は研究テーマを俯瞰する上で大変良い試みといえる。ぜひ他のテーマにも展開してほしい。
- ・ 水素脆化の基本メカニズム解明は、将来的な水素社会における基盤技術として有益である。
- ・ 蓄電池技術のロードマップに加え、海外機関との研究ベンチマークや各種プロジェクトの中でのAISTの役割を明確化できている点は非常によい。
- ・ 新型カリウムイオン電池でリチウムイオン電池と同等の4Vの高電圧正極材料が開発されたことは資源の有効活用の観点からも期待できる。
- ・ 関西センターにおいては、電池技術研究部門と技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター(LIBTEC)が協力して将来の電気自動車用「全固体電池」に関するNEDO先導プロジェクトを獲得し、平成30年度からは自動車企業を中心とするオールジャパン産学官連携体制を整え、産業界をリードしている点は非常に心強い。
- ・ [蓄電池]金属多硫化物正極材料の開発[P47]: 実用的容量サイズの電池を試作して重量エネルギー密度の高さを実証したことは、開発した材料のポテンシャルを引出すための電極構造設計技術、部材組立技術の高さをも示していると思います。これら幾つかの技術が揃ってこそ、新材料の可能性を評価できます。今年度の結果は、既存の遷移金属酸化物3元系正極材料に替わる可能性があり、今後大いに期待できます。
- ・ [蓄電池]新型カリウムイオン電池の開発[P48]: 酸化還元電位がリチウム系より高いカリウム系材料で4V級電池を構成したことは、高電圧化による高エネルギー密度化への可能性を拓ける将来につながる意義ある成果だと思えます。
- ・ [蓄電池]金属-空気電池用材料の開発[P49]: 正極反応の活性をあげる触媒に、非貴金属材料の可能性を引出したのは、MOFナノチューブなどの導電性材料へのナノレベルの触媒分散担持定着技術によるところが大きいと思料します。非金属材料を触媒に使えることを実証した意義は大きいと考えます。
- ・ [蓄電池]硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み[P50]: 全固体電池における負極層の固体化は、材料開発ではなくどちらかという電極構造と製造技術の開発です。安定な充放電サイクル寿命特性が得られていることから判断すると、電極の不均一性からくるリチウム金属析出の影響は見られず、負極活物質と電解質材料との電極反応界面と、負極内に良好な導電性3次元ネットワークが形成されていることを意味していると想像します。

- ・ [水素] ギ酸・メタノール/CO<sub>2</sub> の相互変換を利用したエネルギー貯蔵[P59] : 低温、低電位での CO<sub>2</sub> 電解還元とメタノール合成反応の成功は、マイルドな条件でのエネルギー貯蔵が可能、つまり低コストでのエネルギー利用につながる画期的な成果だと思います。来年度、高性能化に向けた開発への基礎が完成したと推察します。
- ・ [水素] 太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造[P60] : 副反応なく生成物を得る技術は、目的物質を狙って反応を制御できることを意味しており、非常に価値ある成果だと思います。
- ・ [水素] アンモニア製造利用技術[P61] : 水素キャリアとしてアンモニアを用いる水素エネルギーシステムにおいて不可欠な、アンモニアタービン技術とアンモニア合成技術の実用規模における実証は非常に有意義な成果であると思います。
- ・ [水素] 未利用炭素資源からの CO<sub>2</sub> 分離型発電技術の開発[P62] : いわゆる副産物としての CO<sub>2</sub> 利用技術適用は、未利用炭素資源利用技術において必須の条件であり、この利用技術の見通しを得られたことは大きな前進として評価できると思います。
- ・ [水素] 再生可能エネルギーを用いた水素エネルギーシステムの実証研究[P63] : システムの自動運転実証完了は、技術的には完成したことを意味していると思います。経済性の成立はまだですが、いつでも事業を開始できる状態に漕ぎ着けた意義は大きいと思います。
- ・ 別添-1. ナノ・メソ・マクロ解析による水素脆化の基本メカニズム解明[P66] : 今年度の進展は、「水素脆化を水素が抑制する」という現象を発見し、モデル化したという理解ですが、水素脆化抑制対策につながる可能性があり、非常に優れた成果といえます。
- ・ 別添-2. 超臨界地熱発電技術の研究開発[P67] : 試掘に向けた調査に着手したことは大きな前進であり、研究成果に説得力を与えることができると期待しています。
- ・ 別添-3. 未利用エネルギーからの電力回収に向けた熱電変換の高効率化 : 変換効率を 7% から 12% に大きく向上できた原因が構造にあったことは、さらなる構造最適化の可能性もあると考えます。
- ・ 別添-3. 未利用エネルギーからの電力回収に向けた熱電変換の高効率化 : 変換効率向上は直接的な低コスト化であり、実用化にむけて大きな弾みになると思います。エネルギー損失は 88% と、改善の余地はまだ残されており、今後を期待したいと思います。
- ・ 別添-4. ダイヤモンド半導体基盤技術 : ウェハサイズが 2cm<sup>2</sup> に到達したことにより、実用化開発が加速されると思います。特に宇宙空間のシングルイベント耐性など、衛星通信分野の衛星軽量化、データ転送量増大などに貢献する半導体増幅器への適用を期待しています。
- ・ EV 用二次電池の開発にて、現行 LIB の 3 倍の走行距離を見込める金属多硫化物正極材料の開発に成功した点を高く評価する。
- ・ 熱電変換効率 12% を達成した点を高く評価する。
- ・ 2 つのテーマともテーマを絞って、世界最先端の成果が出ている。
- ・ 個々には、優れた成果が得られていると考える。
- ・ 全体として、高インパクト・ファクターのジャーナルへ高被引用の論文を発表しており、評価できる。
- ・ 熱電変換材料等については、興味ある結果が得られているが、新規性を明示して欲しい。性能指数 ZT は 2 程度でしょうか？ ZT > 10 を目指すような展開を期待する。
- ・ 二次電池については、個々のテーマに進捗が見られ、出力密度などで目標値を達成している。新型カリウムイオン電池については多くの特許が創出されている。水素についても個々のテーマで着実に成果がでており、橋渡し前期、後期へのフェーズの移行が行われている点も評価される。アンモニア製造は、特筆すべき成果と言える。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 水素社会の実現は安全認証が将来的な鍵といえる。また、認証制度との相性も非常によい分野と言える。国際的な競争力を高めるうえでも、認証試験なども視野に入れた国際標準化を準備する時期ではないか。
- ・ 褐炭からの発電技術やメタンハイドレード技術は興味深いですが、昨今の ESG 投資などの現状を踏まえて将来的に企業で実現可能にするためのシナリオ構築や政策的な戦略での支援も視野に入れてほしい。
- ・ 蓄電池の開発では、米国はじめ、多くのベンチャー企業が台頭してきている。日の丸日本の開発体制で将来的に対抗できるのか。海外ベンチャー企業とのベンチマークや AIST としての優位点を説明することも必要である。
- ・ 新型カリウム電池の関連特許が 24 件と際立っている点は大変すばらしい。一方で、他の電池材料では論文は多いが、特許出願が少ない点が気になる。
- ・ [P40] 平成 30 年度の論文引用数は目標達成ですが、投稿論文数が落ち込んでいます。論文は数ではなく

質が重要ですが、アウトプットの変化には重大な問題を内包している場合があります。詳細な調査分析により、原因の徹底的な究明をお願いします。

- ・ [蓄電池]金属多硫化物正極材料の開発[P47]：電気自動車用を目指して航続距離延伸を狙うのであれば、出力性能は犠牲にできますが、入出力特性も一定レベル以上の性能が必要です。エネルギー密度と同時に出力密度も評価軸に入れるようお願いします。
- ・ [蓄電池]新型カリウムイオン電池の開発[P48]：開発された正極材は、高い酸化還元電位に曝されるため、電解液との副反応が避けられないはずで、長寿命化に対する5V級電解液の開発などが別途必要なのではないでしょうか。
- ・ [蓄電池]金属-空気電池用材料の開発[P49]：コバルトと白金の性能比較には、重量などを規格化する必要があると思います。金属-空気電池の最大のメリットは重量エネルギー密度であるので、Wh/kgでの比較をお願いします。
- ・ [蓄電池]硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み[P48]：写真から負極が多層構造に見えますが、従来のリチウムイオン電池負極に比べてコスト増にならないでしょうか。製造、アセンブリプロセスにおける課題についても検討をお願いします。
- ・ [水素]ギ酸・メタノール/CO<sub>2</sub>の相互変換を利用したエネルギー貯蔵[P59]：技術的な課題解決と並行し、経済性の成立、CO<sub>2</sub>削減効果など、システム導入時のメリットを定量的に把握することが重要だと思います。
- ・ [水素]太陽エネルギーを用いた光電気化学的な反応による有用化学品製造[P60]：有用化学品を高効率で製造できる光触媒を見出し、開発するには優先順位があると思いますので、判断基準を明示していただけないでしょうか。
- ・ [水素]未利用炭素資源からのCO<sub>2</sub>分離型発電技術の開発[P62]：国内でEOR用途はないので、分離した高濃度CO<sub>2</sub>の有用な利用方法を考えて欲しいと思います。
- ・ 電池の材料研究成果は世界最先端と理解できるが、EVを出口にしたとき本年度にこれだけを達成しておけばよいか理解できなかった。水素の成果はどの産業・企業がこれを引き受けそうか、産業界の声との関連付けが必要。
- ・ 蓄電池、例えば、Na正極材料などは、競合材料が非常に多く、競争が激しい。例えば、車載用蓄電池などは、早期に、「橋渡し」後期に移行すべきテーマのように思う。
- ・ 例えば、水素エネルギーは、期待は大きいものの課題は多く、国内外の否定的な意見を持つ方々との議論も含めて、進めて欲しい。アンモニア製造利用技術も、将来像を明らかにして、進めて欲しい。
- ・ ロードマップ、ベンチマークの練り上げ。ロードマップを個別技術ごとに作成し、おおまかなマイルストーンを明確にすべき。同一目的に対して複数の手法を平行して進めている場合は、トールゲートを設け、中断する判断も必要ではないか。

## (2)「橋渡し」研究前期における研究開発

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

（評価できる点）

- ・ 太陽光発電においては、スマートスタック太陽電池の実現、低コストHVPEによるⅢ-V族化合物太陽電池、CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化など、各太陽電池における発電効率や高速成長技術が着実に進展している。また、太陽電池性能の屋外高精度評価ではモジュールの発電データに基づいた発電量推定の知見獲得が進み、安定的電力需給のシステム運用実現に向けて前進している。また、IEC国際標準化活動では、TC82のChair獲得、Expert8名派遣など、日本の技術を国際的に先導している。
- ・ 物質循環に関しては、大きく水処理監視・制御技術と戦略的都市鉱山の要素技術の開発が進んでいる。水循環技術では微生物群集の網羅的な解析による排水処理の高効率化、戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)コンソーシアムを中心としたレアメタル分離や無人選別技術などプラントも含めた金属リサイクル技術の開発が進んでいる。
- ・ [太陽光発電]スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池[P78]：変換効率30%超を実現する目途が得られたことは、他社、他研究機関と比べても、世界トップレベルにあることは評価できると思います。
- ・ [太陽光発電]低コストHVPEによるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長[P79]：新規材料の導入も含めた低コスト化技術が着実に進められており、太陽電池全体への技術波及効果も期待できる。
- ・ [太陽光発電]CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化[P80]：軽量、低コストかつ多様な場所への設置が可能という売りに加え、20%超の発電効率性能により、ウェアラブル機器の拡大する要求に応えることがで

きると考えます。

- ・[太陽光発電]太陽電池性能屋外高精度評価技術[P81]：太陽電池プラント設置後の性能変化を、気象に影響されず、簡便に客観的評価ができることで、性能劣化の大きい海外製粗悪品排除が可能になるでしょう。評価技術の標準化も含め、重要な成果と考えます。
- ・[物質循環] [P87, P88]日・米・欧・中の各国の「水」「金属資源」研究戦略、政策をしっかりと分析している点が高く評価できる。
- ・[物質循環]環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用[P89]：広範囲の産業廃水汚泥の解析が可能になることは、生物的廃水処理の高効率化に寄与し、我が国の世界への水ビジネス展開の基礎となることが期待できる。
- ・[物質循環]逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析[P90]：水の膜透過を阻害するファウリング現象の解明は、有用な対策を打つ根拠となり、膜長寿命化とメンテナンスコスト低下に有用と考えます。バイオフィルムの可視化分析と周波数応答分析でファウリング検知技術が確立されれば、世界の水問題の解決に有益で、メンテナンス事業への展開も可能でしょう。
- ・[物質循環]戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発[P91]：都市部の産業廃棄物を埋蔵資源と捉え、再利用する優れた発想を低コストで具現化する技術が着実に開発され、既にスケールアップの段階にあることは高く評価できます。
- ・別添-1. メタンハイドレートからのガス生産に係る圧力コア評価技術の開発[P94]：圧力コア挙動の理解が進展することで、ガス生産プロセスの効率化に貢献し、早期実用化に繋がると期待できます。
- ・別添-2. 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の耐久性評価方法開発[P95]：SOFCの開発が実用化フェーズに入りつつあり、これまでの研究開発成果が技術コンサルタント、共同研究に繋がっている点が評価できると思います。
- ・高効率 Si 太陽電池について低コストプロセスを開発した点、スマートスタック技術により高効率多接合太陽電池の開発に成功した点、世界一の成膜速度を有する HVPE 装置を開発した点は、次世代太陽電池技術に繋がるものとして高く評価する。
- ・メチルシクロヘキサン、アンモニア、ギ酸と水素エネルギーキャリアの高効率利用技術の開発を高く評価する。水素エネルギーに対する世界的関心の高まりは、産総研戦略の正しさを証明している。
- ・全固体電池開発において、非 Li 系全固体電池によって 188 Wh/kg を達成した成果を評価する。
- ・一つ一つのテーマの目標達成はできつつある。また、掲げたロードマップ、ポートフォリオに示したテーマが予定通り進行している。
- ・太陽光発電では、III-V 族//シリコン 3 接合による高効率達成、化合物半導体でも世界最高成長速度達成、CIGS 薄膜化合物で最高効率達成など、先端の成果が達成できている。
- ・物質循環では、真核生物特定の成果を踏まえ、今後実利用に向けた微生物情報の蓄積が期待できる。
- ・特に、太陽光発電は、クリーンエネルギー社会の将来を担う技術であり、さらなる発展を期待する。
- ・太陽電池高性能化に関しては、いずれのテーマも顕著な進捗が得られている。モジュール変換効率は NEDO の目標を上回る成果が得られている。個別要素技術のみならず、性能評価やシステム安全性評価など、運用時に必要となる基盤的技術に取り組んでいることも評価される。

(改善すべき点及び助言)

- ・橋渡し前期からは具体的な応用分野や実用化までのロードマップが必要であり、全体的に要素技術の開発に終始している点が気になる。いずれの技術も産業界と協力して、どこに市場を作るのか、具体的なビジネスモデルを立て、実用化に向けたコストパフォーマンスも含めた技術の出口を明確化した方がよい。そのための研究管理におけるフェーズゲート設定も重要である。
- ・[太陽光発電]スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池[P78]：量産時は、一括転写技術を使った経済性、変換効率のばらつき、製造コスト、耐久性なども問われるため、総合的なコスト構造分析と経済評価を実施できるレベルを目指してください。
- ・[太陽光発電]低コスト HVPE による III-V 族化合物太陽電池の超高速成長[P79]：世界最高速度を実現させた結晶成長技術のコアについて、海外特許を含めた権利化をお願いします。
- ・[太陽光発電]低コスト HVPE による III-V 族化合物太陽電池の超高速成長[P79]：来年度予定の、AI 系材料の導入によるリスクヘッジを十分検討すると同時に、製造コストなど具体的な目標に対する達成率を評価するようにお願いします。
- ・[太陽光発電]CIGS 薄膜化合物太陽電池の高効率化[P80]：既に世界最高効率を達成している状況において、さらに性能を向上させるには、熱光照射効果のメカニズム解明と性能向上を結び付けるロジックが

必要と考えます。

- ・[太陽光発電]太陽電池性能屋外高精度評価技術[P81]：本技術は、国内だけではなく、国外においても評価法の標準化が非常に重要と考えます。特に国際間調整で多くの労力が必要になる可能性があります。是非、成立させてください。
- ・[物質循環]環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用[P89]：研究成果を日本の産業活性化に活用するため、水資源管理と循環の観点からビジネスや装置にフローダウンし、次期研究開発のシナリオ策定に結び付けてください。
- ・[物質循環]環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用[P89]：網羅的解析の効果と適用先例を提示ください。また、効果が薄い産業廃水汚泥の共通した特徴の解明も、次期研究の目的に上げてください。
- ・[物質循環]逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析[P90]：水の問題は、水不足、飲料水、各種産業、災害など全人類が今後直面する最大の課題につき、産総研殿が主導しあるいは方向性を示して実行的対策に結び付くよう、本研究を拡大・発展させていかれることを希望します。
- ・[物質循環]逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析[P90]：閉塞原因物質の解析結果を対策に役立てるのは、具体的にはどの組織が担うかを明確にしていきたい。
- ・[物質循環]戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発[P91]：経済性は重要ですが、ゼロエミッションを領域の目標とするのであれば、貴金属、レアメタルだけではなく一般汎用金属のリサイクル、リユースの効率化研究が大きく前進することを期待します。
- ・別添-1. メタンハイドレートからのガス生産に係る圧コア評価技術の開発[P94]：大規模なプロジェクトになると思いますが、具体的なビジネスモデルを構築する時期に来ていると思いますので、アクティブにリーダーシップを取ることを期待します。
- ・別添-2. 固体酸化燃料電池(SOFC)の耐久性評価方法開発[P95]：SOFCの普及期に入ったと言われていますが、評価方法を国内の普及にとどめるのではなく、国外の産業界にも広く認められるよう、IEC国際標準の制定を目指すことを期待します。日本が得意とする寿命/耐久性などの特性、特徴に焦点をあてた標準を制定すれば、日本のSOFCのプレゼンス向上に間接的に寄与し、それは国益につながると思います。
- ・かつて世界を席巻していた太陽電池産業も今は見る影もありません。第4期で得られたすばらしい個別技術をどのようにシステム化して産業としていくか、その青写真をぜひ描いていただきたい。
- ・ISO、IECへの貢献は大いに歓迎すべきだが、そのことが我が国の産業保護・育成にどれだけ将来的に資するかについても自己評価いただけると更によい。
- ・世界のPV市場拡大に対し、PVのロードマップが達成したとき日本の技術はどこまで行くのか、また、コスト目標を掲げているところが革新的太陽電池にないことは、コストシナリオが無く、いつ貢献できるかわからないと読めた。その状態で研究をやっても橋渡し先が無く、その先の国際競争で勝ち抜く企業の姿が見えてこない。橋渡し前期のテーマや目的基礎が何のためにあるかが読み込めなかった。NEDOの目標をそのまま転記するのではなく産総研が民間の意見も加味して独自に産業育成・新規市場開拓という視点からのロードマップを提案する時期に思う。
- ・物質循環は、日本の産業・企業が何を解決しないといけないと考えているか、また、自治体のごみ焼却やリサイクルで何を解決する必要があるかを理解できなかったため、研究の出口理解が不足した。戦略課題を2つ掲げているが、日本における課題を整理して示し優先順位をつけてもらおうと理解が進む。
- ・どこまでやれば、次のフェーズ、あるいは、企業との連携が進められるか、目標設定の明確化も必要でしょう。
- ・種々の研究開発テーマが展開されているが、研究開発成果のインパクト等を考慮した研究開発テーマの再考も必要でしょう。
- ・再生可能エネルギーは、非常に重要だが、太陽光、風力、地熱等と総花的であり、重点化が必要と考える。例えば、Shell Sky Scenarioによれば、2050年(2070年)、太陽光、風力、地熱は、各々、22TW(54TW)、15.3TW(22.5TW)、4.8TW(6.6TW)とある。従って、競合領域を包含した研究開発のロードマップの策定や連携を期待する。
- ・将来の社会基盤構築や世界の市場を考えると、太陽光に大きな期待がある。
- ・海外に対して、勝てる展開を期待する。
- ・物質循環は、シーズオリエンティドの研究開発の印象であり、社会貢献に向けた展開を期待する。
- ・リサイクルなどは、領域内外の横断連携強化を期待する。
- ・太陽電池高性能化に関して、複数の技術が検討されているが、最終目標は同一なのか、あるいは適用先が異なり要求仕様が異なるため複数研究されているのか、全体戦略が現状のロードマップとポートフォ

- リオからはわかりづらい。革新的太陽電池については、2050 までの大まかなマイルストーンが欲しい。
- ・水事業の海外展開は戦力が重要。各国の異なるニーズに対してどのような価値を提供するのか、システムの全体像を明確にして、開発項目抽出や目標仕様を明確化して進めていただきたい。企業との連携やマーケティングにも期待したい。

【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・太陽光発電スマートスタック技術においてⅢ-V族/シリコン3接合で発電効率 28.6%を達成、30%が見えてきたことは研究者の努力の賜物であり、次年度の30%達成を期待している。
- ・SURE コンソーシアムは融合型ソータなど無人選別プラントの開発が進み、実用化に向けて一歩近づき、社会的な期待が高まっている。
- ・[太陽光発電]スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池[P78]：産総研の一括転写技術で製造したモジュールで、発電効率を測定した点を評価したい。
- ・[太陽光発電]低コスト HVPE によるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長[P79]：軽量、低コストかつ多様な場所への設置が可能という売りに加え、20%超の発電効率性能により、ウェアラブル機器の拡大する要求に応えることができると考えます。
- ・[太陽光発電]CIGS 薄膜化合物太陽電池の高効率化[P80]：実用形態に近いミニモジュールで、新規透明導電膜を付けて世界最高効率を出せたことは、特筆すべき成果と考えます。
- ・[太陽光発電]太陽電池性能屋外高精度評価技術[P81]：発電効率の温度、照度補正技術は、経験とノウハウに裏打ちされた技術であり、成果は世界で急拡大する太陽電池性能評価に不可欠の技術であり、標準化できればさらに高く評価できる。
- ・[物質循環]環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用[P89]：汚泥中の主要真核生物の特定は、研究を大きく進展させる重要な成果と言って良いと思います。
- ・[物質循環]逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析[P90]：水の膜透過を阻害するファウリング現象の解明は、有用な対策を打つ根拠となり、膜長寿命化とメンテナンスコスト低下に有用と考えます。バイオフィルムの可視化分析と周波数応答分析でファウリング検知技術が確立されれば、世界の水問題の解決に有益で、メンテナンス事業への展開も可能でしょう。
- ・[物質循環]戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発[P91]：今年度の成果は、実用化に向けた自動自律システムの検証完了であり、次年度に対し期待できる結果となっている点を評価したい。特に、熔融塩電解法では、困難な金属分離工程を簡便にする装置の原理検証を完了し、実用化に近づいていると考えます。
- ・Ⅲ-V族//シリコン3接合太陽電池で発電効率 28.6%を達成し、超高効率太陽電池の実現に大きく前進した。
- ・CIGS 太陽電池にて世界最高効率 20.9%を実現し、高効率・低コスト・フレキシブルな太陽電池の実用化に前進した。
- ・テーマを絞ることにより、研究者の知恵が入った最先端の成果が出ている。
- ・個々には、高い研究成果が得られていると評価できる。
- ・今回は、太陽光発電や物質循環に係わる研究開発が示された。総じて、産総研の貢献は、評価できる。
- ・太陽電池高性能化に関しては、いずれのテーマも顕著な進捗が得られている。モジュール変換効率は NEDO の目標を上回り、個々の技術でも、効率や成長速度などで世界最高を達成していることは大きく評価できる。標準化活動にも注力されている。
- ・膜製造技術というコア技術を起点に、運用時の課題解決のために膜閉塞機構を解析したことは評価に値する。

(改善すべき点及び助言)

- ・水処理は昨今のマイクロプラスチック問題にも貢献できる分野である。産総研の秀でた逆浸透膜ろ過法や環境分析技術をぜひこの分野にも活用して欲しい。また政府が「プラスチック資源循環戦略」を策定している中、産総研の施策も必要ではないか。
- ・日本の誇るエネルギー技術やリサイクル技術は今年6月に開催されるG20など、国内だけでなく外交でも積極的にPRしてほしい。
- ・[太陽光発電]スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池[P78]：変換効率30%超は特筆すべき数字ではないので、目標は30%台後半を目指していただきたい。
- ・[太陽光発電]低コスト HVPE によるⅢ-V族化合物太陽電池の超高速成長[P79]：世界最高効率、高速成長

達成の鍵となるコア技術のアピールがないため、成果が過小評価される可能性があります。改善ポイントとブレークスルー技術を強調した表現が必要と思います。

- ・[太陽光発電]CIGS 薄膜化合物太陽電池の高効率化[P80]：既に世界最高効率を達成している状況において、さらに性能を向上させるには、熱光照射効果のメカニズム解明と性能向上を結び付けるロジックが必要と考えます。
- ・[太陽光発電]太陽電池性能屋外高精度評価技術[P81]：光源やキャリブレーションに関する技術が成果に含まれていると思います。重要な技術であり、是非アピールしてください。
- ・[物質循環]環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用[P89]：真核生物を特定は、汚水処理対策にどう反映されるのでしょうか。研究開発の出口に直結した成果を強調してください。
- ・[物質循環]逆浸透 (RO) 膜ろ過法における膜閉塞機構の解析[P90]：水の問題は、水不足、飲料水、各種産業、災害など全人類が今後直面する最大の課題につき、産総研殿が主導しあるいは方向性を示して実行的対策に結び付くよう、本研究を拡大・発展させていかれることを希望します。
- ・[物質循環]逆浸透 (RO) 膜ろ過法における膜閉塞機構の解析[P90]：閉塞原因物質の解析結果を対策に役立てるのは、具体的にはどの組織が担うかを明確にしていきたい。
- ・[物質循環]戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発[P91]：例えば溶融塩電解でネオジウムとジスプロシウム相互分離技術を実用化する上で、技術以外にどのようなハードルがあるかを今後明確にすることを期待します。
- ・PV は、一つ一つのデバイスの年度目標を達成しているが、コスト目標に対しどの位置づけにあるか、成果の意義に記載がほしい。
- ・物質循環は、成果によりこれまで困難だった場所や課題が解決できる例を示してもらおうと学術的価値だけでなく産業として波及する範囲への利用という視点の理解が進む。
- ・今回は、太陽光発電や物質循環に係わる研究開発が示された。総じて、産総研の貢献は、評価できる。特に、太陽電池のモジュールや評価技術の研究開発でも、さらなるリーダーシップを期待する。
- ・エネルギーネットワークやエネルギーマネジメントの研究開発も重要である。
- ・ロードマップ、ベンチマークの練り上げ。マイルストンの明確化。例えば、セルモジュール性能評価技術などは3つのフェーズにわたるが、少なくとも各フェーズで何を指すのかを明確にできないか。

### (3)「橋渡し」研究後期における研究開発

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

(評価できる点)

- ・先進的なパワーエレクトロニクス技術に関しては、つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC) を立ち上げ、SiC ウエハの超低抵抗バルク成長や高耐圧厚膜ウエハの開発、SiC デバイスではトレンチ型 MOS トランジスタの量産レベルでの開発、更には高温・高速動作を実現するためのパワーモジュールの試作など、国内におけるパワーエレクトロニクス開発の総本山として機能し、産業界との密接な連携のもと、パワーエレクトロニクス技術の基盤技術から最終製品に至る開発を可能とした産総研研究者の絶え間ない実績に敬意を表する。
- ・環境影響評価技術に関しては、ナノ材料のリスク評価やライフサイクルアセスメント (LCA) の根幹であるインベントリデータベース (IDEA) を高度化し、3,800 以上の製造プロセスを網羅するアジア唯一のデータベースを構築し、世界的に拡大している LCA 開示に対して、日本の製造業が LCA を実施可能とした点は日本の企業が国際競争力を失うことなく、世界に進出する上で大きな支えとなっている。
- ・[パワーエレクトロニクス]炭化ケイ素半導体 (SiC) パワーデバイスの量産実用化技術開発 [P107]：量産実用化において特筆される成果であり、次年度のスイッチング特性と破壊耐性向上の計画も期待できると思います。
- ・[パワーエレクトロニクス]超高压領域用炭化ケイ素 (SiC) 半導体バイポーラデバイス [P108]：性能だけでなく、劣化の抑制を目標に設定している点は評価できると思います。
- ・[パワーエレクトロニクス]1kV 級高温高速動作 SiC パワーモジュール [P109]：SiC パワーモジュールにおけるユーザーの要求は第一に小型化です。熱の問題が大きいはずであるのに、一般市販品に対して 1/4 サイズが実現できたことは特筆すべき成果と考えます。
- ・[環境影響評価技術]事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス [P116]：ナノ材料を使用する産業、ビジネスの拡大が予想されるので、労働者の安全に欠かせない技術的指標作成の意義は非常に大きいと思います。社会的責任も背負った重要な研究と考えます。

- ・ [環境影響評価技術] インベントリーデータ (IDEA) の構築と普及 [P120] : 世界各国と連携し、特に経済活動の活発なアジア地域を中心としたデータベースの枠組み構築は、エネルギー環境領域の方向性にも影響する重要な活動として評価したいと思います。
- ・ 別添-1. 地域の地下水環境を有効活用した地中熱交換器の開発 [P125] : 地下水分布の把握、予想に使用するデータの入手は困難が予想されますが、福島県地中熱事業協同組合との連携による成果として、高く評価できると思います。
- ・ 別添-2. 内燃機関の高度化にかかる現象解明研究 [P126] : 燃焼室内のデポジット生成メカニズム解明に基づいて高度化された現象モデルが自動車会社採用に至っており、完成度の点で高く評価できます。
- ・ 水素を用いたエネルギー貯蔵技術に関し、民間資金を活用しつつ延床 1000m<sup>2</sup> の実証システムを稼働させた点を高く評価する。水素エネルギーに対する世界的関心の高まりは、領域戦略の正しさを証明している。
- ・ 外国向け大型パワーコンディショナーの系統連系認証を、国内で容易取得できる整備を行った点を高く評価する。
- ・ SiC ウエハの高機能化からデバイス、モジュールの量産化技術を、TIA、R&D プラットフォーム 大型共同研究体 (国プロ大型共同研究体 : TPEC (コストシェア) 24 社、国プロ : SIP 30 社) と様々な共同研究スキームを駆使して展開し、多大な成果をあげていることをきわめて高く評価する。
- ・ SJ 技術で大成功 ON 抵抗大幅減を高く評価する。
- ・ パワーエレクトロニクスでは、実用化が始まりつつある SiC の産業用途拡大に必要な技術の一つであるスーパージャンクション技術による通電時抵抗低減、また 250°C 対応の耐久性、高速応答などを達成、大型ダイヤモンド結晶成長など世界トップレベルの技術検証ができています。
- ・ 環境影響では、IDEA を構築し国際的に通用する LCA のデータベース構築ができた。
- ・ 民間資金獲得目標が上がる中、金額では大幅に下がることなく維持できており、産業界からの期待に応えていると理解できる。
- ・ 環境影響評価という個別企業では取扱えないテーマも日本の産業に共通する基盤として着実に前進させている。
- ・ パワーデバイス分野では、わが国の研究開発のリーダーシップを発揮し、多くの成果が得られ、今後が期待でき、高く評価される。
- ・ パワエレについては、オープンイノベーション拠点としてのハブ機能として、産学官の連携による価値の極大化のみならず、人材育成にも大きく貢献している。基礎研究から事業化までのロードマップが明確で、着実な成果がでていく。
- ・ 環境影響評価のデータベース構築では、国研として重要な役割を果たされている。LCA は成果の定量化が難しいが、持続可能な社会の実現を支える取り組みとして評価されるべきである。

(改善すべき点及び助言)

- ・ SiC パワーデバイスは実用化も近づき、国際競争力をどのように発揮するか視点も重要。知財による権利化行使のためにも、国際特許の取得を含めた特許戦略が必要。
- ・ 当領域の研究テーマは基盤技術も多く、製品開発のような明確な開発値設定や現在の 3 つの研究期間に分類するのが難しい技術も存在すると考えられる。基盤技術に関しては、計量標準総合センターや地質調査総合センターのような他の産総研研究部門の研究管理を参考にしてもよいのではないか。
- ・ [パワーエレクトロニクス] 炭化ケイ素半導体 (SiC) パワーデバイスの量産実用化技術開発 [P107] : レジピー登録が、ノウハウやそれに近い内容を特許として出願し、公開せずに取り下げることにより他社、他国の特許化を防ぐということでしょうか。もしそうであれば、このやり方は海外特許出願に対しても有効な手法なのでしょうか。海外にまねをされないための、二重、三重の工夫をお願いします。
- ・ [パワーエレクトロニクス] 超高压領域用炭化ケイ素 (SiC) 半導体バイポーラデバイス [P108] : 劣化対策では、メカニズムの解明が重要と考えます。劣化モードを仮定してモデルを立て、モデルの妥当性を検証し、その後対策を立てるのが通常のやり方です。劣化問題の原理的な解決の道筋を示す必要があるのではと考えます。
- ・ [パワーエレクトロニクス] 1kV 級高温高速動作 SiC パワーモジュール [P109] : 評価方法の国際標準化において、モジュールの小型化で鍵となる熱対策を取り入れた評価法等を規格化することで、我が国が有利になる戦略的標準の提案をお願いします。
- ・ [環境影響評価技術] 事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス [P116] : ナノサイズの新材料は、次々に市場に投入されている現状を考慮すると、新材料を検知するアンテナを常に張り巡らし、安全性評価の是非を即座に判断できる体制と、評価すると判断した場合の連携先を整える必要があると

考えます。

- ・ [環境影響評価技術] インベントリーデータ (IDEA) の構築と普及 [P120] : 環境負荷排出量のデータベースは、国際的にも重要度が増しており、各国のデータベースの共有、IDEA への取込みだけではなく、全体を統合した標準的データベースも、日本発で検討してみてもいいでしょうか。
- ・ [環境影響評価技術] インベントリーデータ (IDEA) の構築と普及 [P120] : 製品の製造プロセスに対する LCA は、かなり高いレベルで実施されていると思いますが、サービスの LCA という視点からも検討することはできないでしょうか。
- ・ [環境影響評価技術] インベントリーデータ (IDEA) の構築と普及 [P120] : エネルギーの製造プロセスには、製品にはない LCA の概念があるのではないのでしょうか。
- ・ 世界的に関心が高まる水素エネルギー技術における我が国の優位性をぜひ引き続き、伸ばさせていただきたい。
- ・ 水素エネルギーの実証研究は、ビル、事業所といった擬似クローズド系への応用が期待される。一層の展開を期待する。
- ・ TRL 最終段階では個社対応が必要な状況になると思うが、その時でも国研としての公益性を忘れず、常により上位の (インフラ寄りの) メタシステムを構想し続けることが大切と考える。
- ・ 環境負荷排出量データベース (IDEA) の売上げを予算獲得と同等に評価できないか、検討をいただきたい。
- ・ パワーエレクトロニクスの製品出口を想定したデバイス開発だけでよいか懸念する。デバイスを作る装置の標準化や、システム・機器のロードマップ・標準の議論をリードする時期になっていないか懸念する。過去の数年間のまとめを記載することは第 4 期の見込みとは違うので、評価の対象になっていない印象が残る。
- ・ LCA も同様に国際標準になるよう欧州と連携するなどが必要。
- ・ パワーデバイス材料として、SiC や GaN に加え、ダイヤモンドの研究を進めているが、研究勢力の分散になりはしないか。
- ・ 水素、地熱やバイオは、社会的インフラの整備が必要であり、産総研として、総合的な判断をして、進めて欲しい。
- ・ パワエは他国の技術動向のベンチマークを継続し、世界をリードする立場を維持していただきたい。
- ・ パワエシステムとしての最適化、用途で異なるモジュール化の際の冷却や防爆などの要求仕様も、企業の声聞いて実装時の課題を踏まえ開発を進めていただきたい。
- ・ LCA は、環境影響評価の定量化の部分が重要。インフラシステムのような複雑な商品の提案時に導入メリットを定量的かつ客観的に示すのに企業が活用できるように、企業の声聞きながら進めていただきたい。

#### 【とくに平成 30 年度に対して : 平成 30 年度評価】

(評価できる点)

- ・ 3 インチ SiC バルク結晶成長において積層欠陥がなく、低抵抗化を実現した点は、一昔前では考えられない驚異的な技術である。今後の量産化に期待する。
- ・ 各種高速・高信頼・高耐圧パッケージの実装技術が進展している点は、産業界にとっても市場導入が加速し、応用分野が広がる上でも大変有益である。
- ・ セルロースナノファイバー (GNF) の安全性評価は事業者が工業用ナノ材料を健全にビジネスへ展開する上で、重要な知見である。ナノ材料の有効活用の上でも引き続き支援をお願いする。
- ・ [パワーエレクトロニクス] 炭化ケイ素半導体 (SiC) パワーデバイスの量産実用化技術開発 [P107] : 今年度は低抵抗化改良に注力し、耐圧クラス世界最小抵抗の  $0.63\text{m}\Omega\text{cm}^2$  を量産レベルで実現した点を高く評価したい。特に、量産プロセス確立後に、不十分な性能にターゲットを定めて確実に改良していく手法は、感銘に値すると思います。
- ・ [パワーエレクトロニクス] 超高压領域用炭化ケイ素 (SiC) 半導体バイポーラデバイス [P108] : 厚膜エピ技術開発と、劣化抑制に基づいた高電流密度化を実現したことで大幅なコスト低下を見込める成果として評価したい。
- ・ [パワーエレクトロニクス] 1kV 級高温高速動作 SiC パワーモジュール [P109] : 産業界が強く望む小型化を、世界最高水準の応答特性を維持しつつ、熱の課題も解決し実現させたことは、特筆すべき成果と考えます。
- ・ [環境影響評価技術] 事業者による工業用ナノ材料の安全性評価のガイダンス [P116] : GNF は用途が最近特に拡大しており、定量評価の手法をタイムリーに構築できた点を評価したい。

- ・ [環境影響評価技術] インベントリーデータ (IDEA) の構築と普及 [P120] : 世界各国と連携し、特に経済活動の活発なアジア地域を中心としたデータベースの枠組み構築は、エネルギー環境領域の方向性にも影響する重要な活動として評価したいと思います。
- ・ 超臨界地熱発電に関し、100MW 級発電プラントを経済性を確保しつつ実現可能であることを示し、NEDO プロの開始に繋がった点を高く評価する。
- ・ 下水汚泥流動焼却炉の市場投入を高く評価する。
- ・ SiC パワーMOSFET のボトルネックであった信頼性問題を 6 インチ量産試作ラインで解決し、コンパクト SiC パワーモジュールの導入に道を付けた点を高く評価する。
- ・ 熱電変換技術で発電効率 12% を達成し、実用化を見据えた産総研ベンチャーを創立したことを高く評価する。
- ・ 都市鉱山開発で NEDO プロを始動させ、世界初の廃製品無人選別プラント構築の目処を得たことは高く評価される。
- ・ 環境負荷排出量データベース (IDEA) が広く使用されている点を高く評価する。
- ・ テーマを絞ることにより、研究者の知恵が入った最先端の成果が出ている。
- ・ 民間資金 23.5 億円を獲得し、産総研全体の 25% を担っており、評価できる。
- ・ パワエレは、耐久性や量産性など、製造や実用に向けての課題に適切に取り組み、成果がでていいる。企業からも多くの資金を獲得し、技術移転もできており、産業貢献が顕著である。

(改善すべき点及び助言)

- ・ SIP 次世代パワーエレクトロニクスの開発体制では、具体的に何を指すのかがよく理解できなかった。事業化もゴールが見えてきた SiC パワーデバイスにおいて、どこが産業界の仕事で、何が産総研の仕事なのか、役割分担を明確にした方がよい。
- ・ SDGs の普及と共に、環境から人権、社会課題の評価に軸足が動いている。第 5 期への展開が示されている点は良いが、社会の変化に対して、産総研として取り組む研究テーマを具現化して欲しい。
- ・ SiC、GaN、ダイヤモンド、これらすべてに企業が投資すると思えないので、対象製品を想定したテーマの絞り込みが必要に思う。また平成 30 年度の成果がどこかが区分しにくかった。
- ・ LCA 結果を監査する組織も設ける必要があるのでは、民間が実施できる要件も整理し、国際標準機関を日本が持つ視点での提案がほしい
- ・ パワーデバイス材料の広範な展開よりも、MOSFET に偏りがちなデバイスを凌駕する先端デバイス構造の研究の進展を期待する。
- ・ 昨年度、報告された順方向劣化現象の解析は、信頼性向上の上で極めて重要である。少数キャリア寿命の減少による対処策では、デバイスのリーク電流増等につながる危惧もある。メカニズム解明を進め、抜本的な劣化抑制策の発見を期待する。
- ・ パワエレは知的財産保護が重要と考える。明確な特許戦略のもとに、特許創出を推進していただきたい。

### 3. 領域全体の総合評価

【第 4 期全体 (見込を含む) に対して : 見込評価】

(評価できる点)

- ・ 昨年に比べて研究成果の進展の説明が分かりやすく、また第 4 期全体の包括と 30 年度に特化した説明が明確で、研究成果の理解に大変役立ち感謝している。
- ・ エネルギー環境領域の研究開発が「低炭素社会」と「産業・環境共生社会」という 2 つの目標に集約されて、研究の進むべき方向が明確になっていると思います。これら目標を達成するための新しい開発と、産総研がこれまで培ってきた技術シーズを適切に整合させていく作業は困難だったはずですが、生み出された成果はいずれも高いレベルを有し、社会的にも、経済的にも有意義な効果を各方面に与えていることを考えると、第 4 期の研究開発とそのマネジメントは概ね成功と言ってよいと考えます。
- ・ 評価委員会で FREA、関西センターを見学させていただいたが、地域と密着した、出口に近い実用化研究を、着実に進めておられる姿勢に深い感銘を受けた。
- ・ パワーエレクトロニクスでは、国プロから民間資金を活用したオープンイノベーション・プログラムへと着実にスキームの改革がなされている点を高く評価したい。
- ・ 「定地型エネルギー技術から移動型エネ技術へ」、「要素技術からシステムへ」という将来認識は重要です。太陽電池の巻き返しやパワエレの比較優位の拡大など、この方向で海外に勝てる技術を伸ばしていただきたい。

- ・創エネ・省エネ・蓄エネの3つの柱、産業・環境共生の3つの柱に沿って、それぞれシナリオを作成し、戦略的にテーマ選定を行い、指標のKPIをマネジメントしながら、研究の上流から応用の下流まで人材育成を、海外を含め包括的に進めている
- ・エネルギー・環境問題に関わる課題の設定、技術領域の明確化、シーズを踏まえた研究開発テーマ設定がなされ、産業界への貢献を含めて、期待される。
- ・全体的に、個々のテーマで着実に成果があがっている。産総研のもつコア技術を活かした研究開発において、目標値を上回る成果や社会実装につながる特筆すべき成果もみられる。論文数、引用数は第4期全体通して目標達成しており、学術的成果も評価される。
- ・OIL、被災地企業のシーズ支援、コンサルティングなどの取り組みにおいても成果が見られ、産業界への貢献度が高まっている。人材育成での種々の取り組みも評価される。

#### (改善すべき点及び助言)

- ・テクノロジーとグローバル化の進行により、従来型の産業構造が大きく変化している中、産総研の研究体制が旧態依然としていないか心配。要素技術的な開発計画だけでなく、大きなビジョンを描き、そこから各技術の具体的な出口戦略やフレームワークを構築することも必要。
- ・来年度は第4期の最終年と思われるが、その際は個別の技術の総括に加え、各テーマとしての総括(論文、特許、実用化事例など)をまとめていただくと良い総括になるのではないかと。
- ・「産業・環境共生社会」の実現をエネルギー・環境領域の目標の1つの柱として打ち出したことは評価されますが、研究開発を体系的に進める上で、困難を伴わないでしょうか。そこには「循環社会」と「リスク・安全」がキーワードに含まれますが、これらはやや距離がある概念のため同じカテゴリーで論じるには無理があり、1つにまとめる必要はないように思えます。つまり、例えば「低炭素社会」「水・資源循環社会」「リスク低減社会」の3本柱でよいのではないのでしょうか。確かにボリュームとしては最初の1本目の柱が大きいのでバランスはわるいですが、さしたる問題ではないでしょう。エネルギー・環境領域以外の領域は、領域名が具体的なので外から何をやっている部門かが直にわかります。エネルギー・環境領域も可能な限り具体的なテーマ名、柱名を設定すれば認知度が上がり、社外資金獲得の上でも有利かもしれません。
- ・将来の種となる目的基礎の案件数がやや少ないように感じます。技術立国である我国は、国際的に通用する技術レベルを維持しなければ、国内外の技術ニーズに応えることができません。世界の技術が向かう方向を先取りし、もしくはリードすることが重要です。そのために、開発戦略を立案する上で、技術カテゴリーごとに世界市場とニーズをもっと精査してほしいと思います。中国、米国の技術投資額において日本は勝てないので、日本は既に得意としている分野をさらに伸ばす戦略が重要になります。しかし、現在の技術の延長線上にないが、世界がその方向に向かうと判断した場合は、躊躇しないで邁進いただきたい。
- ・バブル期にはまだ企業は基礎研究をやっていましたが、多くの企業はバブル崩壊後、基礎研究だけでなく応用研究までやめて、研究の全てをわずかな研究費で国研や大学に任せようになり、この流れは今も続いており日本産業界の相対的な競争力低下につながっていると思います。産総研には企業に研究シーズを蒔くというミッションとして認識していただきたいと思いますので、よろしくお祈りします。企業も応用研究は自らやらないといけないと自覚していますので、是非ご協力をお願いします。
- ・再来年度から始まる次期研究5ヶ年計画において、産総研殿にお願いしたいのは、フレキシブルな計画で臨んでいただきたいということです。テーマ、分野が違えば、開発スピードや成果がでるタイミングは一致しません。各テーマで時間軸がずれる事を前提に計画立案をお願いします。期間の途中からでも新規テーマアップなどフレキシブルなマネジメントを期待します。
- ・次期研究5ヶ年計画でも、やはり継続的に実施すべきは人材育成であり、人材確保です。海外の優秀な若い人材とベテラン人材の確保を戦略的にお願いします。
- ・産総研研究者には研究プレイヤーと研究マネージャーとしての二面性が求められている。国研発のシーズを「橋渡し」すれば事足りるとするリニアモデルの時代が過ぎ去った今、前者から後者への適切なシフトが求められている。そのバランスを適切に設定するに際して、後者に対する評価軸が予算獲得に偏在している点が不満である。ぜひ研究マネージャーとしての産総研のオープンイノベーションに係る役割を適切に評価する評価軸を、機構評価にも、個人評価にもぜひ見つけていただきたい。
- ・TRLの9段階を見ればわかるように、一つの事業が立ち上がるには、20年近いスパンの「前史」が必要であり、産総研はこの前史に関わることが役割といっても過言ではない。その意味で、各分野の技術史をまとめるということも産総研の大切な役割ではないか。我が国はこれまで高性能のものを作れば売れる、国は豊かになると信じてやってきた。しかし消費者のニーズからかけ離れた性能至上主義、あるいは

はその裏返しとしてのコストカット主義が失われた20年30年を生んだと考えるとき、日本の技術史（失敗例であれば、どこで間違ったか）を総括することは、同じ轍を踏まないために必要だし、それはこうした前史を知らない世代の人材育成のためのよい教材たりえるのではない。

- ・市場規模の予測とその実現に必要な技術、そのうちどこを担っているか、その技術がクリティカルパスの一つになっているのか、という視点で見ると見込みが甘いように感じる。また、日本市場だけでよいのか、特に再生可能エネルギーで巨大市場になりつつある中国企業が実施している技術に対し、優位性がどこにあるか、中国での特許取得を含めどの技術を優位にしたいか産業界が要望しているか、出口が漠然としていて、勝ちのシナリオが読みにくい。
- ・再生可能エネルギーを軸足に創エネのテーマが構成されているのに対し、蓄エネはEVが出口となっていて、エネルギーの軸足がちぐはぐ。
- ・「橋渡し」後期のテーマは、国際標準化に向けたテーマ設定も必要
- ・再生可能エネルギーは、人類文明の維持発展、将来の社会基盤創成のためにも非常に重要である。だが、太陽光、風力、地熱と総花的であり、時系列的にも、重点化が必要と考える。従って、競合領域を包含した研究開発のロードマップの策定や連携を期待する。
- ・ブレークスルーにつながるような研究、“世界最高水準”を目指す展開も期待したい。イノベーションと実用化を目指した研究開発のバランスが重要と考える。
- ・電池、太陽光発電などに加え、パワーデバイスに加え、海外に勝てる展開を期待する。
- ・FREA被災地企業のシーズ支援に関しては、後フォローも重要であろう。
- ・日本の半導体産業が失速した反省も踏まえ、細かい技術の向上より、ビジネスモデルを考えた全体コンセプトを固め、重要技術の抽出と適切な要求仕様に落とし込むことが求められる。
- ・エネルギー・環境問題を取り巻く状況が大きく変化しているなか、従来の延長線でなく新しい価値創出に向けての新規のチャレンジにも期待したい。

#### 【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・地域イノベーション推進の観点からは、福島再生可能エネルギー研究所（FREA）において新たな技術開発のための予算（被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業（平成30～32年度））を獲得したことは大きな成果。今後も地元企業に密着した新産業の創出を期待する。
- ・これまで試行錯誤のうえで改良を重ねてきたエネルギー構成図は、エネルギー供給構造の推移と、想定される電源構成を定量的に示しており、日本がエネルギーミックスの考えに基づいて、多様な電源を選択肢として持つことを強く表しており、産総研内部に向けたメッセージとしてだけでなく、日本の意志を国際的に示した点において、高く評価されると思います。
- ・基幹の性能確立に絞った研究推進、トップレベルの研究テーマでの国際連携、今後成長が期待できる若手の人材育成を同時に進めながら、橋渡しを企業へつなぐ指標である外部資金調達も着実に増加させることができ、マネジメントの成果が着実に出ている
- ・エネルギー・環境問題に関わる課題の設定、技術領域の明確化、シーズを踏まえた研究開発テーマ設定がなされ、産業界への貢献を含めて、期待される。
- ・目的基礎、橋渡し前期、後期のそれぞれのフェーズで、目標を上回る成果や世界発の特筆すべき成果が得られている。CFTの新たなプロジェクトも立ち上げられている。

(改善すべき点及び助言)

- ・産総研の2030年に向けた研究戦略は確認できたが、この戦略が個別テーマに浸透しているのか、まだ乖離が大きいように感じた。今後、教育含めて展開し、第5期に向けた研究テーマへの反映を期待する。  
[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/information/strategy/index.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/information/strategy/index.html)
- ・平成30年度の成果状況が、前年に比べてやや低下しているように見えますが、原因分析はしっかりなされており、最終年度も目標が達成されるように希望します。
- ・民間からの研究資金目標未達が本当の課題か心配します。産総研として民間の資金で非公開の研究を進めることが国民にとって良いことかの指標が必要。得られた知見のうち科学技術の発展に寄与することが論文として発表するなど税金をもらって仕事をしている研究者の知恵を還元することもマネジメント課題に思う。
- ・研究開発テーマが、総花的になり勝ちで、重点化を含めて、もう少し整理した方が良いでしょう。
- ・エネルギー政策の策定や見直しに貢献することを期待する。
- ・各技術の全体および個別のロードマップの精緻化。マイルストーン、ツールゲートの明確化。

#### 4. 評点一覧

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

評価委員（P, Q, R, S, T, U）による評価

評価項目	P	Q	R	S	T	U
領域の概要と研究開発マネジメント	S	A/B	S/A	A/B	A	A
「橋渡し」のための研究開発						
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	A	A	A	A/B	A	A
「橋渡し」研究前期における研究開発	S/A	B	A	B	A	A
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	A	S	A/B	S/A	S
領域全体の総合評価	S/A	A/B	S/A	A/B	A	A

【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

評価委員（P, Q, R, S, T, U）による評価

評価項目	P	Q	R	S	T	U
領域の概要と研究開発マネジメント	S	B	S/A	A	A	A
「橋渡し」のための研究開発						
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	A	S/A	A	A	A	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	B	A	A/B	A	A
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	A	S	A	S/A	S
領域全体の総合評価	S/A	A	S/A	A	A	A



**平成30年度 研究評価委員会（エネルギー・環境領域） 評価報告書**

令和元年6月14日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 評価部

〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1 中央第1

つくば中央1-2棟

電話 029-862-6096

<http://unit.aist.go.jp/eval/ci/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

