



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

令和2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> ）	35
5. 主な指標の情報（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	109
6. 評価委員コメント及び評点	111

---

<sup>1</sup> 令和2年3月18日



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

日時：令和2年3月18日（水） 10:00-17:00

場所：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 つくば中央第一事業所

本部・情報棟 1階 ネットワーク会議室

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	山路 俊樹	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 （説明30分、質疑・評価記入30分）	理事／エネルギー・環境領域長		10:10-11:10
・第4期中長期目標期間の実績・成果 ・令和元年度の実績・成果			小林 哲彦

現場見学会（60分）			11:10-12:10
・人工光合成研究の見学 ・爆発安全評価研究の見学			

昼食・休憩（50分）			12:10-13:00
------------	--	--	-------------

2. 「橋渡し」のための研究開発			
（1）エネルギー関連技術			13:00-14:40
（説明30分、質疑・評価記入20分）			
テーマ1. 蓄電池	電池技術研究部門長		安田 和明
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
（説明30分、質疑・評価記入20分）			
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. 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

（2）環境関連技術			14:40-15:30
（説明30分、質疑・評価記入20分）			
テーマ5. 資源循環	環境管理研究部門長		尾形 敦
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

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期中長期目標期間の実績・成果 ・令和元年度の実績・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

委員長	氏名	所属	役職名
○	山口 真史	豊田工業大学	名誉教授・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 エネルギーシステム技術開発センター 機械技術開発部	主幹
	末光 真希	東北大学 電気通信研究所	特任教授
	竹中 みゆき (欠席)	株式会社日立ハイテク アナリティカルソリューション事業統括本部 事業戦略本部	主管技師
	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**  
**令和元年度 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った。

「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した。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た。

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）及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、時間軸を設定した。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た。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た。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た。

以下、各種指標の達成状況について説明する。

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 23.5億円（目標：41.1億円、達成率：57.1%）、

令和元年度 23.5億円（12月末時点）（目標：46.5億円、達成率：50.6%、前年同月比：110%）

と各年度において目標を達成していないが、獲得額は微増傾向にあり、令和元年度には前年同月比で110%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 18.9%、

令和元年度 18.7%（12月末時点）

となり、減少傾向にある。

論文被引用数に関しては、

平成 27 年度 15,552 回

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 19,423 回（目標：17,000 回、達成率：114.3%、前年比：111.2%）、

令和元年度 19,339 回（12 月末時点）（目標：17,000 回、達成率：113.1%、前年同月比：103.8%）

となり、各年度において目標を達成した。

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 472 報（目標：450 報、達成率：104.9%、前年比：96.1%）、

令和元年度 384 報（12 月末時点）（目標：455 報、達成率：84.4%、前年同月比：128.3%）

となり、各年度において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及びイノベーションスクール採用数は、

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 44 名（目標：40 名、達成率：110.0%）、

令和元年度 41 名（12 月末時点）（目標：40 名、達成率：102.5%）

であり、平成 28 年度以降は目標を達成した。

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：95.0%）、

平成 29 年度 130 件（目標：100 件、達成率：130.0%）、

平成 30 年度 114 件（目標：110 件、達成率：103.6%）、

令和元年度 132 件（12 月末時点）（目標：110 件、達成率：120.0%）

となり、平成 29 年度以降は目標を達成した。

民間資金獲得額が目標値に達しなかった主な要因として、社会情勢の変化と組織的課題が挙げられる。第 4 期開始時点と比較して、当領域に係わる産業分野の状況はグローバル化の進行などにより大きく変化してきている。例えば太陽電池モジュール生産の日本企業のシェア低下が著しく、第 4 期中長期目標を策定した平成 26 年を最後に世界 TOP10 から姿を消し、国内出荷額も同年をピークに減少に転じた。風力発電の国内導入量においても平成 27 年をピークに減少に転じ、平成 30 年時点における国内の累計導入量は政府目標値 1000 万 kW の約 3 割に止まった。また、再生可能エネルギー導入促進のため、再生可能エネルギーで製造した CO<sub>2</sub> フリー水素（再エネ水素）の技術開発に力を入れてきたが、産業ニーズの立ち上がりが遅く、平成 30 年度になり、ようやく産業界の関心の高まりがみられるようになった。

さらに、公的外部資金による政策的研究は当領域の重要なミッションであり、第 4 期中長期目標期間では産業界や大学から当領域における中核的役割（プロジェクトリーダー（PL）や集中研）の需要が増加し、人的資源の観点から民間資金を取得する困難さが増したことも一つの要因である。このような状況の中、民間資金獲得額の目標達成に向け、以下のような取組を行った。個別企業との連携強化の 1 つとして平成 30 年度には清水建設-福島再生可能エネルギー研究所（FREA）との冠ラボを設立し、さらに令和元年度にも日立造船-創エネルギー研究部門（創エネ部門）の

冠ラボを新たに設立した。また、一定金額規模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、積極的な企業連携の強化に努めた。

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及びクロスアポイントメント制度を利用して、学生及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た。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た。さらに、シニア世代の人材を令和元年度は36名招聘研究員として雇用し、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た。

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令和元年度までに139件（うち令和元年度実施の件数：31件）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及び実施契約は令和元年度までに26件（うち令和元年度契約の件数：3件）、製品化は令和元年度までに1件である。

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及びオープン・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た。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た。領域長及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た。オープンイノベーションラボラトリ（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た。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。

成果発信及び普及については、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、領域長及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、領域長及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。

#### 【成果の意義・アウトカム】

民間資金獲得額は目標に及ばなかったものの公的資金も含めた外部資金獲得額は微増傾向にあり、エネルギー・環境に関連する5つの研究対象（新エネルギーの導入を促進する技術、エネルギーを高密度で貯蔵する技術、エネルギーを高効率に変換・利用する技術、エネルギー資源の有効活用、環境リスクを評価・提言する技術）において、全ての研究フェーズ（目的基礎研究、「橋渡し」研究前期、「橋渡し」研究後期）で、質の高い研究を展開し、顕著な成果を上げた。例えば、目的基礎研究の指標となる論文数及び論文被引用数については、第4期中長期目標期間の全ての年度において目標値を上回る実績を挙げ、量だけでなく質の高い情報発信を行った。「橋渡し」研究前期では、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、知財実施契約件数の増加を図った。また「橋渡し」研究後期においては、2件の冠ラボの設立をはじめ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、研究成果の社会への還元

に努めた。

民間資金獲得額が目標値に達しなかった主な要因として、社会情勢の変化と組織的課題が挙げられる。第4期開始時点と比較して、当領域に係わる産業分野の状況はグローバル化の進行などにより大きく変化してきている。例えば太陽電池モジュール生産の日本企業のシェア低下が著しく、第4期中長期目標を策定した平成26年を最後に世界TOP10から姿を消し、国内出荷額も同年をピークに減少に転じた。風力発電の国内導入量においても平成27年をピークに減少に転じ、平成30年時点における累計導入量は政府目標値の約3割に止まった。また、再生可能エネルギー導入促進のため、再生可能エネルギーで製造したCO<sub>2</sub>フリー水素（再エネ水素）の技術開発に力を入れてきたが、産業ニーズの立ち上がりが遅く、平成30年度になり、ようやく産業界の関心の高まりがみられるようになった。

領域の主たるミッションである公的外部資金による政策的研究において、産業界や大学から当領域における中核的役割（プロジェクトリーダー（PL）や集中研）の需要が増加し、人的資源の観点から民間資金を取得する困難さが増した。

このような状況の中、民間資金獲得額の目標達成に向け、以下のような取組を行った。冠ラボの設立（平成30年度：清水建設—FREA、令和元年度：日立造船—創エネ部門）による個別企業との連携強化及び、一定金額規模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の体制強化を図った。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、積極的な情報発信に努めた。令和元年度には、第5期中長期目標における国際連携の加速、及び外国人研究員をはじめとしたマンパワーの強化による革新的環境・エネルギー技術の基盤研究の推進を目的とし、ゼロエミッション国際共同研究センターを設立した。

地域イノベーション推進：

#### 【背景・実績・成果】

地域イノベーション推進の観点から、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きた。

- 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、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新たな予算（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年度から令和2年度））を確保し、平成25年度からの商品化の累積数が41件となるなど、地元企業の産業創出を継続して支援した。令和2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た。令和元年度も、材料評価技術を中心とした共通基盤技術の開発を継続して行った。

#### 【成果の意義・アウトカム】

地域イノベーションの観点からは、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、京都大学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】

発表論文の被引用数及び知財実施件数は、第 4 期中長期目標期間に入って増加傾向にあり、発表論文数についても高い水準で推移し、目標を達成した。一方で、民間資金獲得額は、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令和元年度は平成 30 年度よりも増加したものの、平成 27 年度から令和元年度は、与えられた目標を下回った。この大きな要因として前述した人的資源の不足が挙げられる。第 5 期中長期目標期間においては、新たに設立したゼロエミッション国際共同研究センターによる外国人研究員をはじめとしたマンパワーの強化及び、国際連携の加速により民間資金獲得の向上を図る。

## (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、橋渡し機能の強化のため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、令和元年度 7 社 13 名（12 月末時点）と増加傾向を示した。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た。技術コンサルティング制度における獲得額は、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 9,839 万円、令和元年度は 12,697 万円（12 月末時点）、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 65 件、令和元年度は 85 件（12 月末時点）、と大幅に増加した。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規模に導入する場合に、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た（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、令和元年度 10 社 29 件の利用実績であり、ほぼフル稼働状態を継続した。

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（令和元年度の実施：14 件）。平成 30 年度は 8 件、令和元年度は 24 件の製品化を数え、令和元年度までに製品化した実績は 41 件となった。

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）及び国際標準化機構（ISO）の TC28（石油製品及び潤滑油）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 5 名、エキスパート延べ 63 名を輩出した。令和元年度はコンビーナ、プロジェクトリーダーを務めた ISO 規格 3 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 17 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、令和元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。

### 【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場所にある。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、生産者と需要者の双方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た。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 期中長期目標期間における民間資金獲得額目標の達成に向け、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。令和元年度は、技術コンサルティングの成果を基に冠ラボを設立するに至った（令和 2 年 3 月 1 日設立見込）。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 年度から令和 2 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。

第 5 期中長期目標期間の課題としては、

- ・ NEDO の先導調査研究等から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、領域幹部、領域担当のイノベーションコーディネータ、研究ユニット幹部が連携し、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た。

領域担当のイノベーションコーディネータ（4 名）は、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及び支援活動等を行なった。これらの活動により、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た。また、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た。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。

当領域では令和元年度までに、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。令和元年度は自動車エンジンに関するデータベースを構築し、自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）と共同で運用した。

・産総研の 8 ユニット、8 研究グループ等の 36 名の研究者からなる「戦略的都市鉱山研究拠点（SURE）」は企業連携組織「SURE コンソーシアム（産総研、企業 64 社、28 公的機関より構成）」と連携し、天然鉱山と価格競争が可能な都市鉱山の開発を目指した。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 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。さらに令和元年度には廃アルミニウム、廃プラスチックを課題とした 2 件の NEDO 先導プログラムを開始した。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。令和元年度も継続し SURE コンソーシアムを意見交換の場として活用した。

・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、固体酸化物形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。令和元年度からは現在の 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した。

インベントリデータベース（IDEA）の開発に関しては、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 構築に関わる研究者が日本の代表として参加した。また、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。さらに、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た。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、令和元年度には IDEA ver. 2.3 をリリースした。これまでの販売累計は 394 件に達している。

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 インチウエハを製品化し、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可能な漁船搭載用の製氷機を開発し、実用化した。このことが評価され、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。令和元年度も開発した当製氷機は 5 台販売され、販売累計 35 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た。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、動力源としての内燃機関、燃料電池、さらに周辺技術のパワーエレクトロニクス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認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。気候変動関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）や ESG 投資（ESG は Environment、Social、Governance）の環境側面の評価技術として必須である LCA の基盤となる IDEA ラボの活動において、インベントリデータベースに関するライセンスを累計 394 件既に販売しており、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ている。

#### 【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、当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、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）等）を確保に動く場合が多いが、民間資金活用型の共同研究体 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。第 5 期中長期目標期間の課題としては、

- ・ NEDO の先導調査研究等から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きた。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（受入 5 名、出向 1 名）、平成 28 年度に 3 名（受入 2 名、出向 1 名）、平成 29 年度に 3 名（受入 3 名、出向 0 名）、平成 30 年度に 7 名（受入 4 名、出向 3 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。令和元年度には新たに 3 名（受入 2 名、出向 1 名）の研究者の受入・出向を行なった。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ー (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ー (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きた。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た。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ー (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。令和元年度も引き続きクロスアポイントメント制度を活用し、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い、産業界へ技術の橋渡しを推進した。

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 月に産総研とフ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、いよいよ実現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)をはじめ、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、令和元年度までにオランダエネルギー研究センター (ECN) や PNNL 等 8 か国 34 機関と連携するに至った。令和元年度も継続して連携強化に努め、研究開発を進めた。その一環として、令和元年 10 月に当領域が主体となり、クリーンエネルギー技術分野における G20 研究機関のリーダーが出席した国際会議 RD20 (Research and Development 20 for Clean Energy Technologies) を開催し、G20 が持つ多様な知見を融合し、CO<sub>2</sub>大幅削減に向けた非連続なイノベーション創出に繋げるための協議を行った。

#### 【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繋がってきた。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 (名古屋大学)、ChEM-OIL (京都大学)、HydroMate (九州大学) ともテーマの絞り込みや研究設備の整備が進み、GaN を用いたパワーエレクトロニクス技術 (省エネ) の進展や燃料電池、蓄電池等に応用可能な新規電極触媒への展開 (蓄エネ) 等が期待できる。このように目的基礎研究から橋渡し研究までのシームレスな体制を組むことができおり、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。さらに、令和2年1月には2019年ノーベル化学賞を受賞した吉野彰博士をセンター長とするゼロエミッション国際共同研究センターを設立した。本センターの整備、事業を通じて、国際連携を加速させ、革新的環境技術の研究開発において世界をリードし、脱炭素社会の実現を目指す。

#### (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きた。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組を行った。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ポストドクターを対象としたコースに11名（令和元年度は1名）を受け入れ、学位取得前の大学院生を対象としたコースでは6名（令和元年度は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185名（令和元年度は40名）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、筑波大学をはじめとした各大学において延べ271名（令和元年度は47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。第5期においても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きた「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、令和元年度の採用試験応募者及び採用者における女性の比率は増加した。第5期においても引き続き女子学生・ポストドクターへの広報活動に積極的に取り組み、採用試験応募者及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きた。

・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、令和元年度も164名（学生110名、社会人54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689名に達した。

・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。令和元年度は、ポストドクター・技術研修員計32名、リサーチアシスタント12名を受け入れ、再生可能エネルギー分野の人材育成を行った。（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。令和元年度もメタンハイドレートフォーラム 2019、表層型メタンハイドレートの研究開発 2019 年度一般成果報告会を通じて、継続した研究成果の発信に努めた。

・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 57 及び 74 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を図った。第 4 期中長期目標期間における累計の出席者は 870 名（14 回開催）に達した。

第 5 期において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 回程度実施してきた。また若手研究員指導体制として、パーマネント化審査 1 年前には領域幹部及び研究ユニット長を前にした研究進捗状況報告会（令和元年度よりパーマネント化中間審査として、全所的に実施）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きた。パーマネント化審査 2 か月前には、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きた。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きた。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 9 名（令和元年度は 2 名）の在外研究を支援した。第 5 期においても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。さら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、能力に幅と奥行きを持たせた。

#### 【課題と対応】

当領域が所管するエネルギー・環境に関する研究テーマは、専門の異なる研究者が融合しながら取り組むことに特徴がある。そのため、新規採用の研究者の視野を広げることを目的として、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員の交流を促進させてきた。この活動は個々の研究者に対してのみならず、領域内の人的ネットワークの構築と所外におけるプレゼンスの向上にも非常に効果的であったことから、今後もアライアンス活動への支援を継続し、その拡充を通じて、幅広い視野を持った多くの研究者を育成する。また、ダイバーシティの観点から、女性研究者や外国人研究者の拡充は継続した課題である。第 4 期では、女性研究者の比率上昇に努力してきたところであるが、新人採用については引き続き取り組む必要がある。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生や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。特に外国人研究者については、令和2年1月に設立したゼロエミッション国際共同研究センターをはじめとして、温暖化等の地球規模での課題に国際的連携のもと対応する必要性から、今後の大幅な人員拡充が強く求められる。国外の研究機関との研究協力覚書(MOU)締結等による連携体制構築にあわせて、人材交流をより強力に推進することで、優秀な外国人研究者の確保を目指す。中長期的にも、女性研究者や外国人研究者等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も活用しながら、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。

第4期中長期目標期間における目的基礎研究のモニタリング指標となる論文発表数について、平成27年度から平成30年度は462、433、491、472報と高い水準で推移し、目標を達成した。令和元年度は12月末時点で384報(目標455報)であり、目標値を上回る見込みである。また、平成27年度から平成30年度に発表された論文のうち、Q1ジャーナル(各研究分野におけるIF上位25%の論文誌)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%の論文誌)を含めると75%)であり、論文発表数だけでなく、質の高い論文誌に継続して掲載されているといえる。目的基礎研究の評価指標となる論文被引用数に関して、平成27年度から平成30年度は15,552、16,302、17,474、19,423回と4年連続で増加傾向にあり、目標値を大幅に上回った。令和元年度は12月末時点で19,339回であり目標値を上回った。研究領域や組織の規模に関係なく比較可能な指標である相対被引用度(Category Normalized Citation Impact (CNCI))は平成27年度から令和元年度の平均で1.37であり、世界平均の1を大きく上回り、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)、102名(令和元年度))に3名が4年連続(平成28年度から令和元年度)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きた。

#### 【成果の意義・アウトカム】

科研費をはじめとした多くの公的資金を取得し、質の高い目的基礎研究の継続に努め、顕著な成果を上げた。得られた基礎研究成果は我が国の科学技術イノベーションの礎となり、広く社会へ還元されることが期待される。

エネルギーを高密度で貯蔵する技術「大容量革新型蓄電池」(蓄エネ)：

#### 【背景・実績・成果】

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)を超える大容量・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大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倍の大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、大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

該正極とリチウム金属負極を組み合わせ、市販 LIB と同程度のサイズの 8 Ah 級電池を試作し、現行 LIB (～200 Wh/kg) を大幅に上回る 314 Wh/kg のエネルギー密度を実証した。令和元年度にはこの電池の長寿命化に取り組み、金属多硫化物として  $\text{TiS}_4$  を正極に用いた全固体電池系において、実用化に目途をつけるマイルストーンとした充放電 100 サイクルにおいて、ほぼ容量低下無しに作動させることに成功した。(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 3 V 程度であった酸化物正極材料において LIB と同等の 4 V 級で動作可能な高電圧正極材料の開発に成功した。しかし、正極材料が高価なことと電解液に可燃性の有機溶媒を用いることが課題であった。令和元年度には、低廉な組成( $\text{Fe}$  や  $\text{Mn}$ )からなる新規層状型正極材料や可燃性の有機溶媒を含まないイオン液体で広い電位範囲で安定な  $\text{Pyr}_{13}\text{TFSA}$  系電解液を開発することにより、リチウム系と同等以上の比容量の 150 mAh/g を実証した。(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ために、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-空気電池は容量及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)の亜鉛の析出により内部短絡してしまう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、白金と比べ過電圧を 0.2 V 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。令和元年度には、オープンカプセル MOF 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を用いない連結カプセル金属高分散触媒を開発し、レアメタルフリーの電極触媒を開発した。(ChEM-OIL)

#### 【成果の意義・アウトカム】

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同等のサイズのリチウム電池を試作し、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 the American Chemical Society(IF: 14.357)をはじめ、合計 10 報(令和元年度 1 報)論文掲載された。エネルギー密度に加えて耐久性でも向上してきており、目的とする電気自動車の実現やさらには飛行体への適用に向けて着実に前進している。(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を目指す。なお、本成果は、平成 30 年度に Nature Communications (IF: 12.353) 等に掲載され、令和元年度は論文誌の表紙も飾った。さらに日本経済新聞等 7 紙で報道された。国内外からの招待・依頼講演も多くなっており、産総研発の新しい電池システムとして評価されている。(関西センター)

MOF 利用の高性能空気極触媒開発は、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 以上の論文誌に合計 7 報(令和元年度 3 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)

エネルギーを高密度で貯蔵する技術「水素キャリア」(蓄エネ)：

### 【背景・実績・成果】

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、二酸化炭素からの有用化学品製造の観点から、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電解還元によるメタノール合成を、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。

ギ酸から高圧水素ガスの発生が可能な触媒の開発に成功したことにより、数多くの企業から問い合わせがあり、令和元年度も引き続き産業界との連携を進め、技術コンサルティング、有償試料提供等の契約に至った。また、常温常圧で駆動可能なより高性能な CO<sub>2</sub> 水素化触媒の開発に成功した。加えて、ギ酸脱水素化触媒の耐久性が向上し、1 か月以上の連続水素製造が可能になり、実証化に向けた大きく前進した。

### 【成果の意義・アウトカム】

二酸化炭素を利用する水素キャリアにおいて、独自の触媒開発により、ギ酸からの高圧水素発生、及び二酸化炭素からの高効率なギ酸・メタノール合成を可能とした。ギ酸は優れた液体系水素キャリアであるとともに、70 MPa 以上の高圧水素を低コストに供給可能である。このため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。水素ガスステーションは日本国内で現在約 100 か所あるが、燃料電池自動車の普及により 令和 12 年には 900 か所に拡大される計画である。それに伴い燃料電池車の普及台数は、令和 12 年には 80 万台の普及を目指している。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。現在のオレフィン系誘導品の生産量は世界全体で 1.5 億トンであり、今後の年平均成長率は 3%と予測されている。今後、国内外の研究機関、産業界との連携を通じて、二酸化炭素からのメタノール合成の社会実装を目指す。なお、これらの技術は、平成 27 年度から令和元年度に、Chemical Reviews (IF: 54.3、総被引用数 524 回)、Advanced Energy Materials (IF: 24.9) 等の総説や、ACS Catalysis (IF:12.2) 8 報など著名な論文誌に 37 報 (令和元年度: 5 報) が掲載された。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 (平成 30 年度: ガスレビュー) で報道され、さらに、平成 30 年度には第 51 回 市村地球環境学術賞 貢献賞を受賞するなど、高く期待されている。また、国内外の多数の講演 (日本化学会、触媒学会、アメリカ化学会、錯体化学国際会議、有機金属化学国際会議、等) に招待され、アカデミックの観点からも高い評価を受けている。

新エネルギーの導入を促進する技術の開発 (創エネ):

### 【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、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性有用化学薬品を、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。令和元年度は、

酸化タングステン光電極を用いた過マンガン酸酸化によるエチルベンゼンからのアセトフェノン生成や芳香族チオール化合物の酸化等の新規な反応系を開発した。また、光は直接使わないが、太陽光発電等の再エネ電力を有効利用するアノード電極触媒系の高度化も行い、水から過酸化水素を酸化的に生成するための安定なアンチモン複合酸化物からなる電極触媒などを開発した。さらに酸化タングステンからなる粉末光触媒反応で効率的に次亜塩素酸が生成することを見いだした。これらに関する特許3件を出願予定であり、本分野での関連特許は合計14件となり、広い特許群の構築を進めた。

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、商用発電が可能であることを見出した。その後、詳細な調査・検討を行い、平成28年度は、一地点で100 MW以上の経済性を有する発電が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。令和元年度は、平成30年度に引き続き、NEDOからの委託を受け、北海道、東北、九州の有望3地域で自然電磁波探査、自然地震解析、坑井データ、地質学・地球化学的データの取得を行い、各地点の超臨界地熱システムをモデル化した。このモデルを使用して、抽熱・発電シミュレーションを行い、各地点で100MW程度の発電が可能であることを示した。(FREA)

#### 【成果の意義・アウトカム】

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は、殺菌や漂白、洗浄など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。本成果はAdvanced Energy Materials (IF: 24.884)をはじめ、合計18報(令和元年度6報)論文掲載され、また化学工業日報等6紙(平成30年度)で報道された。例えば、過酸化水素と次亜塩素酸ナトリウム製造において、世界で年間約5,300万トン、国内では年間約150万トンのCO<sub>2</sub>が排出されており、本技術を用いて様々な化学製品をCO<sub>2</sub>フリー製造する意義は大きい。

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が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、朝日新聞(平成29年11月)等2紙で報道され、高く期待されている。(FREA)

エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発(蓄エネ)：

#### 【背景・実績・成果】

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きた。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。令和元年度には、水素脆化による微小クラックの生成・進展による材料破壊現象の実験的な観察結果に基づき、欠陥配位水素濃度CTと水素拡散係数Dを塑性ひずみの関数として定式化したモデルを作成し、き裂先端のミクロな水素濃度勾配について計算機シミュレーションを実施した。その結果、水素環境下での疲労き裂進展の加速を支配している因子は、き裂先端における水素量の絶対値ではなく水素の濃度勾配であることを新たに見出した。(HydroMate)

### 【成果の意義・アウトカム】

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。さらに、水素発電などの化学プラント用部材への波及も期待されることから、FCV、水素ステーションと合わせて、1,000 億円程度の国内市場が期待できる。(HydroMate)

エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）：

### 【背景・実績・成果】

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。令和元年度には、資源制約の少ない元素（銅と硫黄）を用いた熱電変換材料を開発し、これまで希少・毒性元素を用いないと達成が困難であった熱電性能指数  $ZT = 1.0$  の壁を突破した。また、ナノ構造化の知見を活かし、より低温の未利用熱に適用できる高性能材料を開発した。

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  $2 \text{ cm}^2$  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。令和元年度には、大型ウェハ開発において一方向のみならず多方向への成長により一辺 2cm 長まで種結晶を拡大し、その種結晶から単結晶自立基板のサイズとしては世界最大である自立基板の形成を実証した。これらのウェハ形成技術を基に内製した基板を用いて、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 を実現した。

### 【成果の意義・アウトカム】

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する。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で、5%は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: 33) などの著名な論文誌に成果が掲載（第 4 期：66 報、令和元年度：11 報）され、日本経済新聞等 16 紙（令和元年度：4 紙）で報道され、産総研発ベンチャー「株式会社モッタイナイ・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。今後は、耐久性向上とコスト削減に向けた技術開発を着実に実施して、技術の普及に務める。熱電変換モジュールの市場は、ペルチェ冷却モジュールを中心に全世界で約 400 億円（令和元年度）だが、効率を向上させた熱電変換材料を発電モジュールに適用することで、未利用熱回収発電を含めた市場は飛躍的に拡大すると予想されている。また、コストを大幅に低減させることができれば、自律 IoT センサネットワーク用の電源など、IoT 分野への波及効果が期待される。

また、マイクロ波プラズマ CVD 法では困難であった 10mm を超える大型ダイヤモンドウェハ厚膜成長技術と側面からの多方向成長を組み合わせることにより、インチ級ウェハ作製への技術的道筋が得られた。同時に、従来開発してきたエピタキシャル薄膜成長及びデバイスプロセス技術に、大型基板上へ適用する上でのボトルネック課題が無いことが確認できた。そのため、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。

環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）：

**【背景・実績・成果】**

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）の採択につながった。令和元年度は、内閣府 SIP 戦略的イノベーション総合プログラム（産総研では生命工学領域が代表）に参画し、企業 5 機関等とともに、バイオプロセス実産業廃水処理汚泥における微生物群集の網羅的解析を行い、運転条件の変化に伴う処理水質と構成微生物の変化等についてデータを蓄積し、「廃水ビッグデータ」構築に着手した。

**【成果の意義・アウトカム】**

次世代シーケ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、汚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汚泥浮上（固液分離能の低下）の解決や汚泥減容化につながるものと期待される。なお、本成果は、The ISME Journal (IF: 10.872, Springer Nature)などの著名な論文誌に 34 報（令和元年度：10 報）掲載され、日本経済新聞電子版等 10 紙（令和元年度：5 紙）で報道されるなど、高く期待されている。

**【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%の論文誌の論文誌である 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」研究前期と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研究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きたが、第 5 期中長期目標期間では、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 論文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組が求められる。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スは、(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」である。

第4期中長期目標期間における「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30年度は93、95、130、114件と順調に推移し、技術の橋渡しを着実に進めてきた。令和元年度は132件（12月末時点、目標110件）と目標を達成した。また、「橋渡し」研究前期を担う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44.8億円、令和元年度35.0億円（12月末時点））。令和元年度もNEDO等のプロジェクトを主導し、橋渡し研究前期のオープン・イノベーション・プラットフォームによる研究を推進した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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きた。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受託への進展が期待される。

新エネルギーの導入を促進する技術の開発「超高効率太陽光発電」（創エネ）：

#### 【背景・実績・成果】

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、他機関は持ってい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。令和元年度には、シリコン（Si）ボトムセルの改良及びアルミニウムガリウムヒ素（AlGaAs）ミドルセルの採用により、Si上の3接合太陽電池で30.8%、Ⅲ-V族4接合太陽電池で34.9%の変換効率を達成した。さらに粘着剤アシスト型新スマートスタック技術の開発により、初期的ではあるが4インチ薄膜のスタックに成功した。また、モジュールとしての信頼性試験を実施して課題抽出を行った。

高効率Ⅲ-V族化合物太陽電池は製造コストの制約から、従来は人工衛星用電源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によるガリウムヒ素（GaAs）太陽電池の作製に成功し、平成30年度にはGaAs、インジウムガリウムリン（InGaP）ともに50 μm/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。令和元年度には、V 族種の成長モードを制御することによって GaAs で 120  $\mu\text{m}/\text{h}$ 、InGaP で 141  $\mu\text{m}/\text{h}$  の超高速成長に成功した。特に InGaP は従来の有機金属気相エピタキシー成長の 30 倍に匹敵する超高速成長である。120  $\mu\text{m}/\text{h}$  成長時の GaAs 太陽電池の変換効率は 20% を超え、超高速成長と高品質を両立した。また、世界で初めて HVPE によるアルミニウムガリウムリン（AlInGaP）、ヒ化アルミ（AlAs）の成長に成功し、HVPE で成長した AlAs 膜をエッチング層として GaAs 層を剥離・回収するエピタキシャルリフトオフ（ELO）に成功した。一方、AlInGaP 層においては、フォトルミネッセンス発光が観測される程度の品質を得たが、InGaP セルの発電効率向上には至っておらず、発電効率向上へ向け今後さらなる高品質化を行う。

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、カルコゲナイド系化合物太陽電池（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、集積構造の世界最高効率 20.9% を達成した。令和元年度は、熱光照射効果とアルカリ不純物の関係を明らかにするとともに、小面積太陽電池で変換効率 22.1% を達成した。また、軽量フレキシブル CIGS 太陽電池の研究開発において、民間企業との共同研究を開始するに至った。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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を得られる III -V 族化合物太陽電池に関しては、従来比 30 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。特に変換効率が 30% 超の太陽電池が電気自動車やハイブリッド車へ応用されれば、短距離型利用の乗用車（利用形態の約 7 割に相当）は充電フリーで走行可能となる。さらに新たな用途としては、高効率太陽電池を搭載した無人飛行機による成層圏通信基地局の実現が試みられており、本技術への期待が高まっている。本技術は、日本経済新聞等 6 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狭小地への適用や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。本成果は Progress in Photovoltaics (IF: 7.776) をはじめ、合計 27 報（令和元年度 8 報）論文掲載され、3 件の学会賞を受けた。宇宙用太陽電池の市場は現在 300 億円程度だが、無人飛行機や電気自動車への普及により数兆円規模の市場が予想される。また、変換効率を 40% 以上に向上させることができれば、地上用途への更なる普及が期待される。

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。具体的には、アルカリ金属の中でも Na よりも重い K や Rb を CIGS 表面照射することで異相層（RbInSe<sub>2</sub> など）が形成され、これが p-n 接合界面の改善に効いていること、熱光照射効果はアルカリ金属を含有しない CIGS でも観察される CIGS 固有の特性であるが、アルカリ金属を添加することで劇的にその効果が現れることなどを発見した。これらの成果により、第 4 期開始時の CIGS 小面積セル光電変換効率は 20% に満たなかったが、令和元年度には 22% を超えるまで効率向上に成功している。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を期待される。本成果は Advanced Energy Materials 誌 (IF: 24.884) をはじめ、合計 57 報（令和元年度 8 報）論文掲載された。また、受賞 4 件（令和元年度 1 件）、新聞報道 4 件で

ある。CIGS 太陽電池の市場は既に 500 億円規模（ソーラーフロンティア社平成 29 年売上高）だが、従来のメガソーラーや住宅用だけでなく電気自動車などの普及により、CIGS 太陽電池は今後新規用途への市場拡大と再生可能エネルギー分野への波及効果が期待される。

環境リスクを評価・低減する技術の開発「戦略的都市鉱山開発」（安全・物質循環）：

**【背景・実績・成果】**

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製錬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）及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及び複数の選別機を自律制御するシステムを開発した。令和元年度にはベンチスケール機を完成させ、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した。製錬技術では、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を相互分離を実証した。令和元年度には Nd と Dy の相互分離に加え各元素の同時回収を達成した。Nd と Dy の相互分離のみ、あるいは Nd と Dy が混在した状態での回収は数例の報告があるが、これらを単一工程で同時達成したのは世界初である。これらの物理選別及び製錬技術は、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 プロジェクト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。

**【成果の意義・アウトカム】**

戦略的都市鉱山構築のための高度な金属回収研究においては、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製錬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術となる。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。本研究開発に伴う社会全体の経済的効果は、世界への自動・自律型リサイクルプラント販売と、金属価格高騰に伴う我が国の調達コスト削減効果をあわせて、技術普及の 10 年間で 5,326 億円／年、期間合計で約 5 兆 3000 億円となる。なお、本技術は、Waste Management (IF:4.723) などの著名な論文誌に 58 報（令和元年度:9 報）掲載されるとともに、読売新聞や朝日新聞等に 39 件掲載（令和元年度:1 件）、テレビでは 5 件報道され、日経地球環境技術賞優秀賞（平成 29 年 11 月 20 日）、日本分析化学会 Hot Article Award Analytical（令和元年 12 月 10 日）など 8 件（令和元年度:3 件）の受賞をはじめ、社会からも高く評価されている。

新エネルギーの導入を促進する技術の開発（創エネ）：

**【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、測定可能日数を 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。令和元年度は、これらの技術を各種太陽電池モジュールの屋外測定に適用し、屋外環境の 0.3～1 kW/m<sup>2</sup> 以上の広い照度

範囲で、最大出力測定再現性を従来技術（日射計使用）の±5 %程度から±1 %以内まで改善することに成功した。開発した補正技術は IEC 規格中に提案中である。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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。

エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発（蓄エネ）：

#### 【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、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、製造技術では 400℃かつ 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、ガスタービンシステムを 10ppm 未満へ低 NOx 化し、再エネ水素を原料とするアンモニア合成を国内で初めて実証した。令和元年度は、パートナー企業の実証事業等を支援し、実用化を推進した。具体的にはアンモニア由来の水素とアンモニアによるガスタービンの起動、燃焼器への液体アンモニア噴霧の供給などについての技術開発に着手し、アンモニア合成では変動水素供給での触媒性能評価を行った。(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、市販リチウム二次電池にせまる 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。令和元年度には、スラリー内固形分濃度の最適化や分散状態の把握、固体電解質シートの剥離工程の再検討、正負極容量バランスの調整、電極プレス工程の改善といった各種製造工程のボトルネック抽出と改善を行った。その結果、室温付近（30℃）における 20 mm×20 mm の積層セルが、市販品同等のシート型電池で 200 Wh/kg を超えるエネルギー密度を達成した。(関西センター)

#### 【成果の意義・アウトカム】

再エネ水素を利用したアンモニアの合成及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アンモニアを水素エネルギーキャリアとして利用することが可能となり、こ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、アンモニア専焼ならびにアンモニアとメタンの混焼によるガスタービン発電の成功が世界初であるとともに、再エネ水素によるアンモニア合成が国内初、その再エネ水素由来アンモニアによるガスタービン発電も世界初である。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、水素エネルギーを本格活用する技術の実現が期待される。アンモニアは、再生可能エネルギーを輸出する媒体として国内外で期待されており、再エネ水素を用いるアンモニア合成プラントが海外で普及した場合に 2030 年には数千億円規模、国内では数十億円規模の市場が予想され、再生可能エネルギー分野への波及効果が期待される。これらの成果は、朝日新聞など計 19 紙（令和元年度 1 紙）で報道され、特許出願 4 件（令和元年度 3 件）、査読付き論文として 19 報（令和元年度 6 報）掲載され、高く評価されている。(FREA)

また、硫化物系全固体電池の実用化に向けた取組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。本成果は合計 7 報（令和元年度 1 報）論文掲載された。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、当該技術を技術移転しており、国立研究開発法人として高い技術レベルで実用化に向けた研究開発を行っている。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。硫化物全固体電池の市場は 2035 年に電気自動車 (EV) 用で 2 兆円規模と予測されている (関西センター)

エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発 (省エネ) :

#### 【背景・実績・成果】

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由来する被毒劣化メカニズムを解明した。また、東北大学と連携し、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 年度及び令和元年度は、過酷試験後のセルスタックの解体分析、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を実施し、高効率・高強靱化へ向けた課題の抽出を行い、設計指針を提示した。

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  $\mu\text{m}$  超の高品質厚膜エピタキシャル成長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 と絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ (IGBT) 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。令和元年度には、デバイス設計と作製プロセス技術の高度化を進めた結果、耐電圧 10 kV を大幅に超える耐圧 26.8kV、単位面積当たり通電時抵抗 63  $\text{m}\Omega\text{cm}^2$  (世界最高性能) の超高耐圧 SiC-IGBT を実現した。さらに試作した超高耐圧 SiC-IGBT と PiN ダイオードを用いて、PWM インバータ動作を仮定したスイッチング試験 (10kV, 10A, 100Hz) を行い、Si-IGBT3 直列に対して、損失 60% 減を達成した。

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 (抵抗器及びコンデンサ) 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 級の高高速動作等、世界最高水準の性能を確認した。令和元年度は、当該技術の量産化に向けて作製手順の文書化と登録によって TPEC 試作品ラインナップを拡充し、評価技術の国際標準化に向けて国内審議団体 (JFCA) と協力してセラミック材料評価法の草案を作成した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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 の更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。令和元年度は、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を実施した。

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、高耐久化等を進展させて SOFC の本格普及と水素社会実現に寄与する。民間企業の市場調査によると、燃料電池の世界市場は現在 2,000 億円程度で令和 12 年度には 5 兆円規模に拡大することが見込まれている。うち SOFC の市場は現在数 100 億円程度だが、耐久性を向上させることで家庭用及び業務用分野への適用が進み、令和 12 年度には 5,000 億円以上に拡大すると予想されている。なお、成果の一部は、J. Mater. Chem. A (IF: 10.7) に掲載され、高く評価されている。

また、実用的な SiC 超高耐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、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（令和 12 年度において数百億円の SiC デバイス市場規模）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 International Electron Devices Meeting (IEDM) 等、多くの会合で招待講演となり、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。一方、当該技術の新規展開先として、航空機電動化において必要となる小形軽量電力変換器の実用化検討が本格化しており、当該技術を基にした 3.3kV 級パワーモジュール及びその高速駆動技術の実現と、これを用いた MW 級電力変換器の検討が始まった。

エネルギー資源を有効活用する技術の開発（エネ資）：

#### 【背景・実績・成果】

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量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。令和元年度は更なる分析を行い、信頼性が向上した精緻な貯留層パラメータを用いてモデルの見直しを行い、連携機関と協力して海洋産出試験で得られた生産挙動などの検証を進めた。また、新たに研究開発対象となった日本海側に存在が確認されている塊状の表層型メタンハイドレートに対して本技術を適用し力学的性質を含む基礎物理特性を明らかにした。（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で酸化させて熱を得る方法で、濃度 100% の CO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> 分離・回収コストを 1,000 円台/t-CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> を有効利用する技術として、CO<sub>2</sub> を油田に圧入して石油の回収率を増幅する技術（CO<sub>2</sub>-EOR）への適用性を検討し、CO<sub>2</sub> を排出しない火力発電の見通しを得た。令和元年度は、化学ループ法は海外での EOR 事業を展開するサイトに適していることを明らかとし、さらに、対象を石炭のみならず廃棄物等の固体炭素資源にも拡張し、大規模のみならず、中小規模でも化学ループ法による高効率転換が可能であることを明らかにした。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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 6 月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、NEDO 委託事業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 CO<sub>2</sub> 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、バイオマスやバイオガスに対して本技術を適用することで、CO<sub>2</sub> フリーの水素製造に展開する。

環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）：

#### 【背景・実績・成果】

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ームの構造と、閉塞原因物質・原因微生物の特定に成功した。令和元年度は、膜材料であるポリフッ化ビニリデン（PVDF）で成膜した水晶振動子（QCM）を用い、周波数とインピーダンスの経時変化を計測することで、QCM 上バイオフィーム形成のリアルタイムモニタリングに成功した。また QCM 電極表面を共焦点顕微鏡で観察することで、膜閉塞原因物質や微生物の堆積で形成されたバイオフィームの構造物も確認することに成功した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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 膜閉塞の原因物質の特定、及び微生物と原因物質の関係の特定は、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: 6.319）等の論文誌に 7 報（令和元年度：1 報）掲載され、日本経済新聞電子版等 5 紙で報道されるなど、高く期待されており、複数の企業共同研究において利用されている。

#### 【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組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、第 5 期に向けても、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は、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」である。詳細は後述する。

第4期中長期目標期間における「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30年度は19.6、23.2、22.5、23.5億円と推移し、令和元年度は目標46.5億円に対して23.5億円（12月末時点）となり、目標の達成はできないと思われる。しかしながら、第4期中長期目標期間において増加傾向であり、第3期中長期目標期間民間資金獲得平均額（19億円）を超える結果となった。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規模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成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ける獲得額は、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9,839万円（65件）、令和元年度は12,697万円（85件）（12月末時点）と大幅に増加し、民間資金獲得額23.5億円（12月末時点）に対して約5%の割合を占めるに至った。第5期中長期目標期間において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】

民間資金獲得額は目標に及ばなかったものの、目的基礎研究の質を維持しつつ、2件の冠ラボの設立をはじめ民間企業との多数の共同研究を実施し、民間資金獲得の向上に努めた。知的財産をはじめとした研究成果は、譲渡契約及び実施契約などにより企業へ技術移転を行い、事業化の加速に貢献した。

エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発「水素エネルギーシステム」（蓄エネ）：

#### 【背景・実績・成果】

日本の二酸化炭素排出量の約40%は建築関連が占めており、さらにそのうちの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に起因する。従ってこれらの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、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB）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、各装置を連携させた自動制御技術を確認した。平成30年度には、太陽光発電23.75kwを接続して、天気予報による発電量予測と天候に合わせた需要予測を用いて水素エネルギーシステムの完全自動運転を実証し、実建物への移設を開始した。令和元年度には、構築したシステム（水素エネルギー利用システム『Hydro Q-Bic』）を実際の事業現場（郡山市総合地方卸売市場）に移設し、再生可能エネルギーや発電容量を増やして実証を進めた。ここでは、行政（郡山市）の管理下での実証を行い、運用時の課題解決を図り、コストや省エネルギー性を検証するために様々な運用の場を想定した実証を行った。令和元年7月に本格実証スタートの開所式を行い、各種運転モードでの試験を進めた。（FREA）

#### 【成果の意義・アウトカム】

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、消防法及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となり、水素エネルギーシステムが実用化に向けて大きく前進した。消防法危険物及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年コージェネ大賞技術開発部門理事長賞を受賞した。さらに構築したシステムを実際の事業現場（郡山市総合地方卸売市場）

に移設し、再生可能エネルギーや発電容量を増やしたうえで、令和元年7月に本格実証スタートの開所式を行い、各種運転モードでの実証試験を開始した。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CO<sub>2</sub>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。本成果はJournal of Hydrogen Energy (IF: 4.229)などの論文誌に3報掲載(令和元年度2報)され、さらに日本経済新聞など12件(令和元年度11件)の新聞報道がなされた。新規建物では、ベーシックな構造物の建築費用に対して10~15%程度を事業継続計画(BCP)対応などの付加価値を持つ設備を入れることが見込まれており、本件が普及すれば街区における安全な水素利用を大幅に進めることができると考えられる。ゼロエミッションな水素の供給を実現できれば、再生可能エネルギー分野への波及効果が期待される。(FREA)

エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発「パワーエレクトロニクス」(省エネ)：

#### 【背景・実績・成果】

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パワーデバイスはシリコン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1kV級(令和12年において約1,000億円のSiCデバイス市場規模)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 mΩcm<sup>2</sup>を量産レベルで実現した。令和元年度には、より低損失化・高信頼化の観点から、スイッチング動作時の瞬時過電圧を約1/4以下まで抑制することに成功した。加えて実用上十分な劣化無し定常電流密度1,000 A/cm<sup>2</sup>と過負荷耐久時間(破壊耐量)7μ秒を実現した。さらには、トレンチ埋戻し法(ミクロンサイズの微細溝をエピ成長技術で埋め戻す方法)により耐電圧6.5kV級スーパージャンクション-MOSFETを開発し通常MOSFETの理論限界を超える18mΩcm<sup>2</sup>を実現した。また、今後想定される材料の多様性に備え、量産ラインをGaNデバイス作製可能なSiC/GaN併用ラインとして整備した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

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最高峰の国際会議であるIEDMで2年連続(2年間で3件)の採択、査読付き論文として60報(令和元年度18報)掲載され、さらにパワーデバイスの国際会議であるISPSDで最優秀論文賞を受賞した。平成29年度と平成30年度に渡り日本経済新聞等6紙(平成30年度4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ともに、橋渡し前期段階の成果を順次橋渡し後期段階へ移管して量産レベルに成熟させる。SiCパワーデバイスの市場は現在約300億円だが、再生可能エネルギーの更なる普及、産業機器・家電・次世代自動車等の一層の省エネ化に伴い、令和12年には2,500億円程度と予想されている。また、省エネ効果により、CO<sub>2</sub>削減といった環境問題への波及効果が期待される。

新エネルギーの導入を促進する技術の開発（創エネ）：

【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 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。さらに令和元年度は、本簡易熱応答試験機の耐久性向上を行うとともに、福島県内の地質の異なる 15 地点（主に浜通り）において、簡易熱応答試験と従来型熱応答試験を同時に実施して結果の比較検討を行った。特に、県内の地質構造と見かけ熱伝導率（ $\lambda$  値）の分布特性との関係について解析を行った。また、得られた  $\lambda$  値を活用して福島県熱伝導率分布マップを作成した。（FREA）

【成果の意義・アウトカム】

地域の地下水環境を有効活用した「高効率地中熱交換器」や「タンク式熱交換器」の開発において、地域の地下水流動を取り込むシステムにより、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（平成 29 年以前に 3 件）されており、その導入・普及が高く期待されている。また、簡易熱応答試験法が確立されることにより、地質調査時での地中熱システムの導入・検討が可能となり、従来工法よりも高精度かつ安価で調査時間の短縮が実現する。同時に、福島県内における熱伝導率マップを公開することにより、県内への地中熱システム導入の促進が期待される。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ったため、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。（FREA）

エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発（省エネ）：

【背景・実績・成果】

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）生成メカニズムを解明し、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 年度には、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ノ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。令和元年度では、デポジットの機構解明に取り組み、壁温の影響により、固体ススは熱泳動、多環芳香族炭化水素（PAH）は凝縮・吸着、また一部 PAH は酸化、窒素化、高分子化しながら成長することを解明した。燃料噴霧解析では排ガス改善が見込まれるガソリンエンジン噴射過程における Tip Wetting 現象を解明し、ノズル形状の最適化とその制御手段を明らかにした。

【成果の意義・アウトカム】

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、平成 30 年度までに自動車メーカー 2 社に採用されており、令和元年度は新たに 1 社に採用された。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。

環境リスクを評価・低減する技術の開発（安全・物質循環）：

【背景・実績・成果】

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（平成30年度までの販売実績：233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。令和元年度には、化学物質排出把握管理促進法（PRTR）対象物質の考慮と温室効果ガス排出量の見直しを行うとともに、金属製品インベントリ、サービス部門の拡充を行ったIDEA ver. 2.3を公開した。さらに、中国、台湾、韓国、タイ、マレーシア、インドネシア、ベトナム、トルコ、フランス、イギリス、アメリカ、ブラジルの計12か国の海外版データベースを公開した。

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。令和元年度は、CNFの安全性評価手法に関する各種ガイダンス文書として、「セルロースナノファイバーの検出・定量の事例集」、「セルロースナノファイバーの有害性試験手順書」、「セルロースナノファイバー及びその応用製品の排出・暴露評価事例集」を作成し公開した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

インベントリデータベースであるIDEA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）にデータ登録された、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る。令和元年度までに累計394ライセンスを販売し、市場における日本製品の競争力の向上へ寄与した。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】

第4期中長期目標期間の民間資金獲得額は増加傾向を示し、第3期中長期目標期間平均額を超えたものの、与えられた目標を全ての年度において下回ったことが最大の課題となった。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資金提供型共同研究への展開
- (4) 人的資源の強化

第5期中長期目標期間にはこれらの視点で、民間資金獲得額の増額に取り組んでいく。

これと並行し、当領域は公的資金による国家プロジェクトを中心的に牽引する役割もバランスよく果たしているため、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) 平成 30 年度評価コメントへの対応

委員のコメント 1：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。

対応) G20 が持つ多様な知見を融合し、CO<sub>2</sub> 大幅削減に向けた非連続なイノベーション創出に繋げるため、クリーンエネルギー技術分野における G20 の国立研究機関等のリーダーを集める会合 RD20 (Research and Development 20 for Clean Energy Technologies) を産総研 エネルギー・環境領域が主体となり開催した。【第 2 回 RD20：令和 2 年 10 月に日本で開催予定】

さらに、令和 2 年 1 月には 2019 年ノーベル化学賞を受賞した吉野彰博士をセンター長とするゼロエミッション国際共同研究センターを設立した。本センターの整備、事業を通じて、国際連携を加速させ、革新的環境技術の研究開発において世界をリードし、脱炭素社会の実現を目指す。

##### (2) 第 4 期中長期期間見込評価コメントへの対応

委員のコメント 1 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)をまとめていただけると良い総括になるのではないかと。

対応) 第 4 期の領域概要と研究事例を総括として説明資料にて数件紹介する。



国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
令和元年度 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

## 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
- (\*) 第5期に向けて

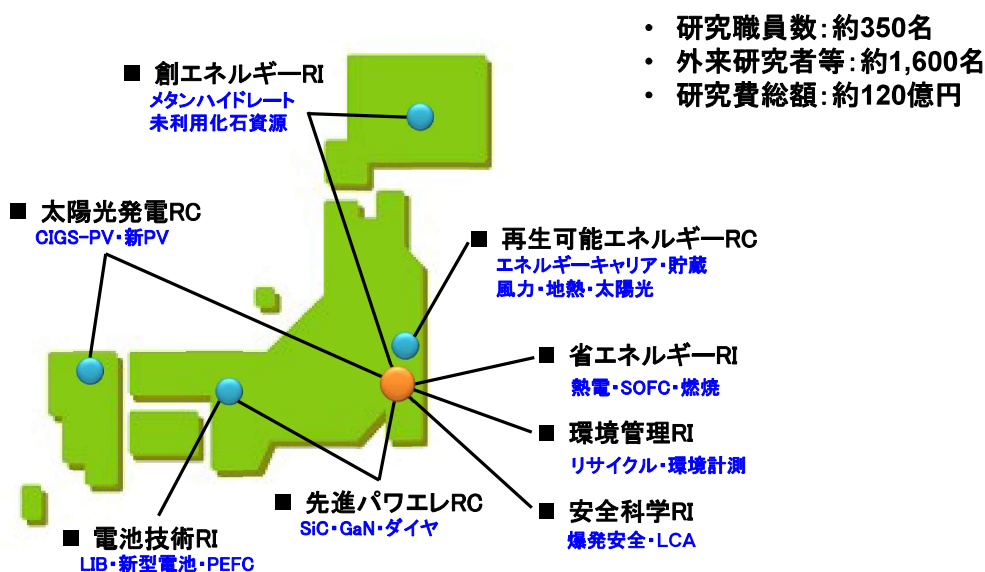
### 2. 「橋渡し」のための研究開発

エネルギー関連技術：蓄電池、水素、太陽光発電、パワーエレクトロニクス  
環境関連技術：資源循環、環境影響評価技術

# 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

### エネルギー・環境領域の研究ユニット





持続可能な社会の構築 : Zero-Emission Society の夢



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」を目指す

- 1) 目的基礎研究の強化 → 次期テーマの萌芽
  - ・ 研究費確保 ～ 4億円/年 (論文支援、知財支援、在外研究支援等)
  - ・ 大学連携(OIL、クロスアポ)等
- 2) 領域内アライアンス活動(横断連携研究) → テーマの骨太化 組織研究強化
  - ・ 研究ユニットの壁を廃した合目的・融合的研究体制(対外的に強く見せる方策)
  - ・ テーマ: エネルギーシステム、水素/エネキャリ、SOFC、エネルギー材料、全固体電池、太陽電池
- 3) マーケティング活動の定着 → 領域独自の研究ビジネスモデル確立
  - ・ オープンイノベーションプラットフォーム型
  - ・ シーズ支援型
  - ・ 技術コンサルティング型
  - ・ 「冠ラボ」
- 4) 人材育成
  - ・ 「技術を社会へ」マインドの徹底(技術経営力強化)

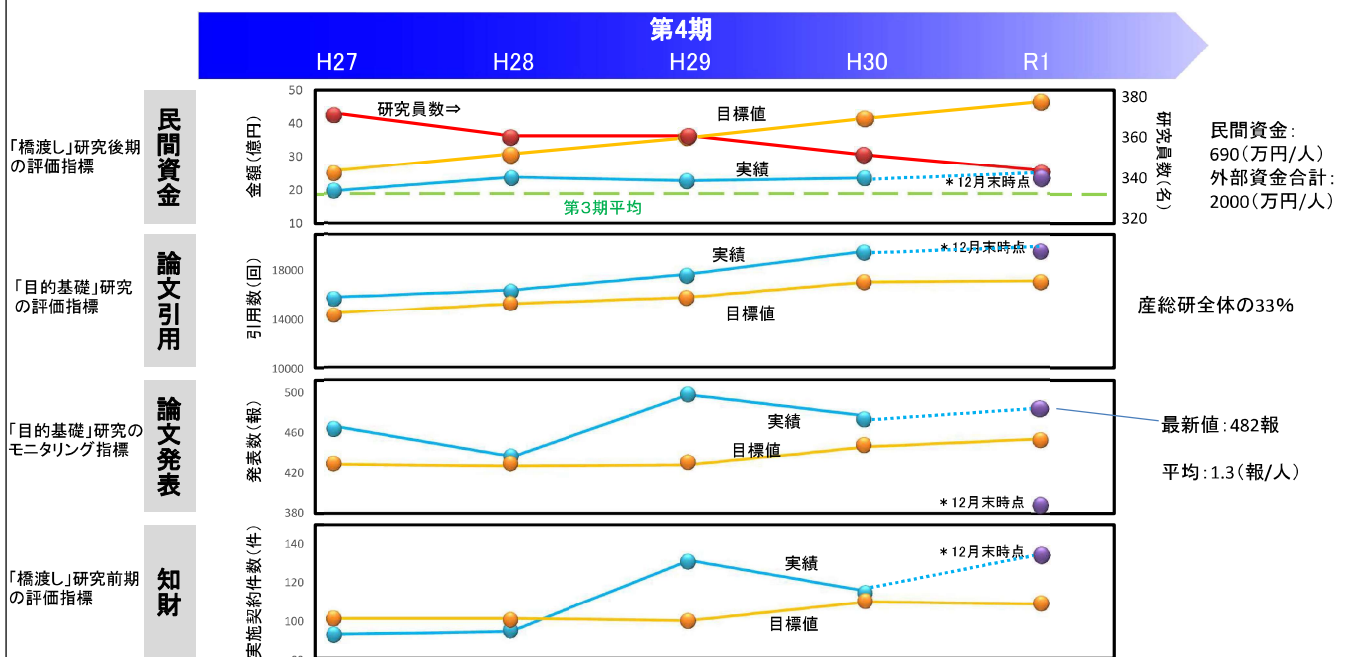
内部マネジメント  
→ ミドルアップ&ダウン  
(現場主義)

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】

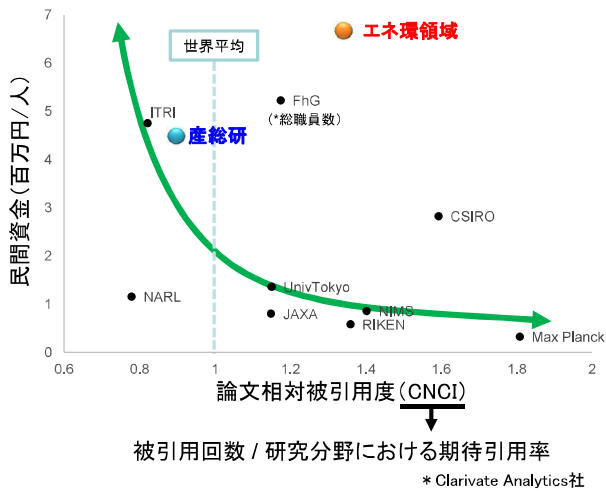
【ご意見1】来年度は第4期の最終年と思われるが、その際は個別の技術の総括に加え、各テーマとしての総括(論文、特許、実用化事例など)をまとめていただけると良い総括になるのではないかと。

【対応】 第4期の領域概要と研究事例を総括として紹介する。

- 民間資金、論文発表、論文引用、知財
- 実用化事例
- 政策対応



大学・研究機関  
論文相対被引用度 vs 民間資金 (2018)



大学・研究機関  
他社牽制力ランキング (2018)

順位	企業名	特許件数
1	産業技術総合研究所	1,061
2	科学技術振興機構	419
3	東京大学	283
4	東北大学	263
5	東京工業大学	226
6	京都大学	225
7	大阪大学	201
8	理化学研究所	190
9	鉄道総合技術研究所	188
10	UNIVERSITY OF CALIFORNIA	182

\* 株式会社/パテント・リザルト

他社特許への拒絶理由として引用された件数

先行技術を多数保有している先進的な機関  
水素製造、金属-空気電池、リチウムイオン電池などが上位分野

Highly Cited Researchers / Clarivate Analytics (旧Thomson Reuters)

	H28	H29	H30	R1
日本	75	72	90	102
産総研	2	3	2	5
エネ・環領域	2(3件)	2(3件)	2(3件)	3

\* 単位は名

R1

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: 徐ラボ長

・多孔質MOF/PCPとグラフェン、金属酸化物等の複合材料からなる三次元で精密に構造制御された電極材料の研究開発  
Advanced Energy Materials (IF: 24)など

R1

太陽光発電研究センター 評価・標準チーム: 菱川研究チーム長

・太陽電池の評価・標準に関する校正技術・性能評価技術の研究開発  
Progress in Photovoltaics: Research and Applications (IF: 7)など

R1

省エネルギー研究部門: 周首席研究員

・革新電池(リチウム-空気電池)材料の研究開発  
Energy & Environmental Science (IF: 33)など

R1: 矢野 亮 and et al. (電池) (Journal of the Electrochemical Society) 被引用数:51  
 リチウムイオン電池(LIB)の劣化原因の解明とその対策技術の確立  
 LiCoO<sub>2</sub> Degradation Behavior in the High-Voltage Phase Transition Region and Improved Reversibility with Surface Coating

R1

R1: 倉田 修 and et al. (省エネ) (A Proceedings of the Combustion Institute) 被引用数:44  
 アンモニアを燃料としたガスタービン発電に関する研究  
 Performances and emission characteristics of NH<sub>3</sub>-air and NH<sub>3</sub>-CH<sub>4</sub>-air combustion gas-turbine power generations

R1

H30: 山崎 絵理子 and et al. (環境管理) (ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY) 被引用数:136  
 環境汚染物質の一つであるビスフェノールAと、その工業的代替物7種類の高感度分析法の新規開発  
 Bisphenol A and other bisphenol analogues including BPS and BPF in surface water samples from Japan, China, Korea and India

H29: 太田 道広 and et al. (省エネ) (Energy & Environmental Science) 被引用数:103  
 高性能熱電材料及びデバイスの開発  
 Power generation from nanostructured PbTe-based thermoelectrics: comprehensive development from materials to modules

H28: 秋田 知樹 and et al. (電池) (Accounts of Chemical Research) 被引用数:59  
 金ナノ粒子活性のメカニズム解明に関する研究  
 Electron microscopy study of gold nanoparticles deposited on transition metal oxides

H27: 兼保 直樹(環境管理) (Environmental Science & Technology) 被引用数:115  
 福島第一原子力発電所事故後の放射性セシウムを含む大気エアロゾル粒径分布の測定  
 Sulfate Aerosol as a Potential Transport Medium of Radiocesium from the Fukushima Nuclear Accident

● **リチウムイオン電池**  
 リチウムイオン電池の劣化解明とその劣化抑制技術の開発  
 ⇒ **Maxell社へ技術移転** \*産総研論文賞R1

R1

● **熱電変換モジュール**  
 ナノサイズ構造制御により変換効率11%を達成  
 ⇒ **産総研ベンチャーを設立** \*産総研論文賞H29



● **水素**  
 水素貯蔵合金を用いた水素システムの本格実証  
 ⇒ **冠ラボ(清水建設一産総研)による郡山市場での実証研究を開始**



R1

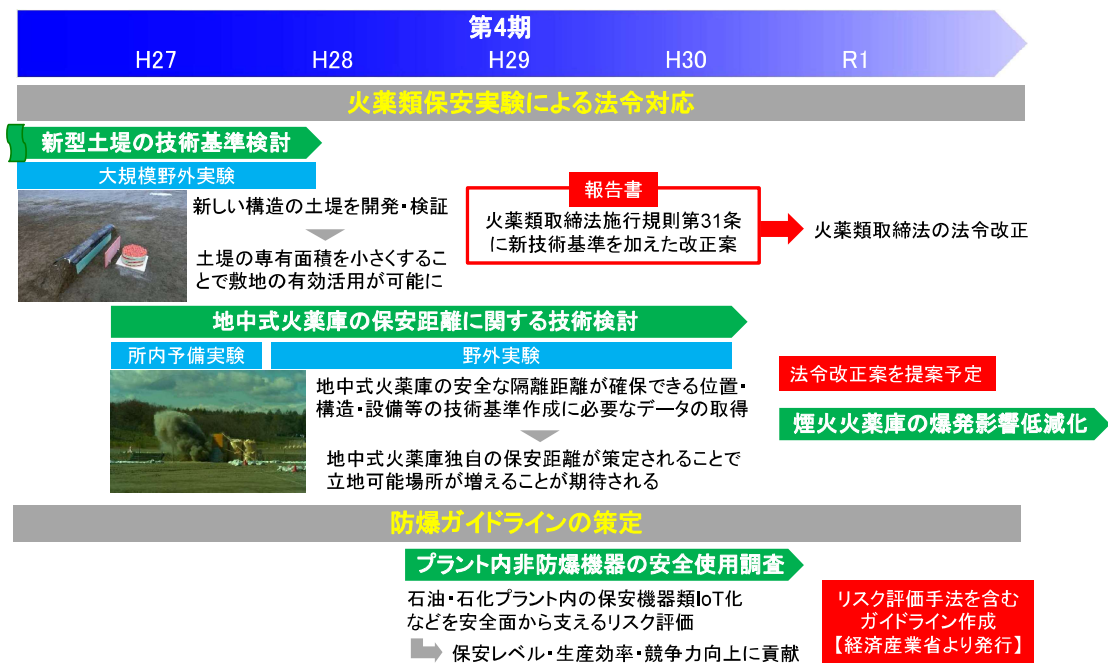
● **リサイクル**  
 新技術の資源制約を解消をする、分別技術や精錬技術の開発  
 ⇒ 二つの拠点を整備:**選別試験施設&集中試験施設**



● **IDEA**  
 LCAを行う際対象となる製品やサービスのインベントリ分析をサポートする  
 インベントリデータベースの開発  
 ⇒ **ライセンス契約394件(第4期累計)**

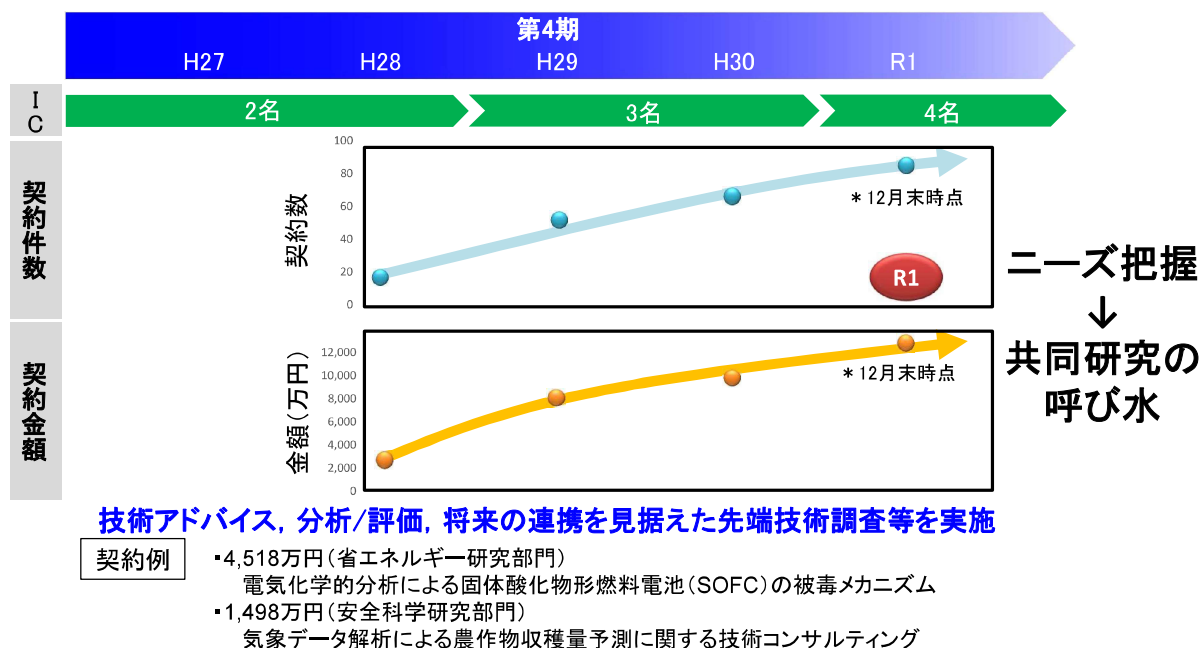


- シャーベット状海水氷の製氷機シルクアイスシステム「海氷」**  
 (株)ニッコー、北海道立工業技術センター、省エネ部門  
 社会への影響: 魚の鮮度向上に貢献し、鮭の市場価格が3~4倍へ。納入実績: 35台  
 産学官連携功労者表彰経済産業大臣賞受賞
- 電気自動車・ハイブリッド車に使用されるSiC素子用高信頼性冷却基盤の開発**  
 (株)FJコンポジット、パワエレセンター  
 社会への影響: 10万枚/月の量産工場を新設  
 ものづくり日本大賞特別賞受賞
- 固体酸化物型燃料電池用高性能循環ブロウ**  
 (株)キャップ、省エネ部門  
 社会への影響: 三菱日立パワーシステムズ社、GE社などで採用。納入実績: 42台  
 中小企業優秀新技術・新製品賞 優秀賞受賞
- プラズマイオン注入成膜装置**  
 (株)栗田製作所、パワエレセンター  
 社会への影響: DLC成膜事業が生業の1事業部門に成長。納入実績: 40台  
 プラズマ材料科学賞



# 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





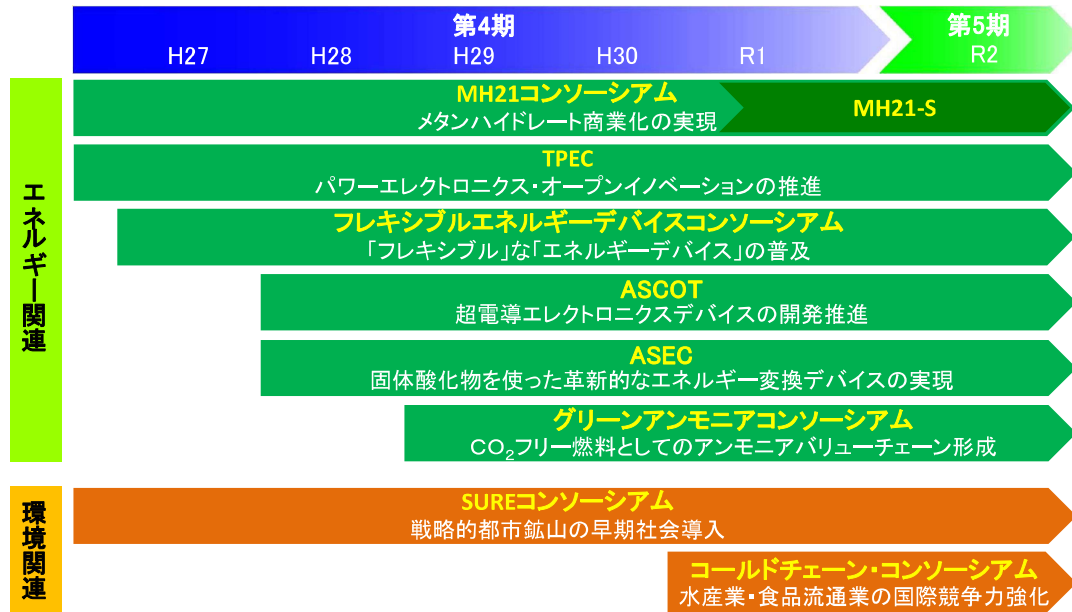
製品化の一例

太陽電池モジュール封止用架橋材料	バイパスダイオードチェッカー	太陽電池ストリング監視システム	温度成層式蓄熱貯湯システム
FREA太陽電池モジュール生産設備によるモジュール作製		FREA実証フィールドにおける試験	

産総研の貢献

# 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





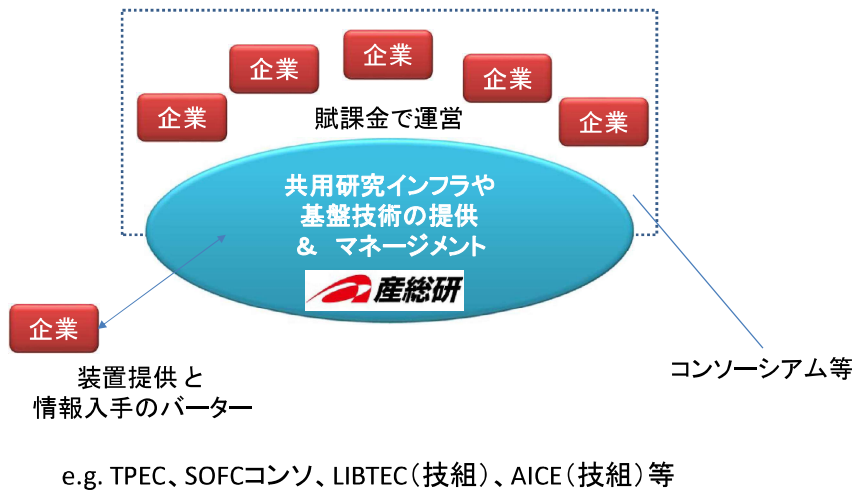
R1

## 領域独自の研究ビジネスモデル①: オープンバージョンプラットフォーム型

共通基盤的なR&Dインフラを提供する

ポイント: 競争直前のテーマ設定、出口は明確にし、中立的な役割を果たす。

公的資金・賦課金のマッチング・ファンド

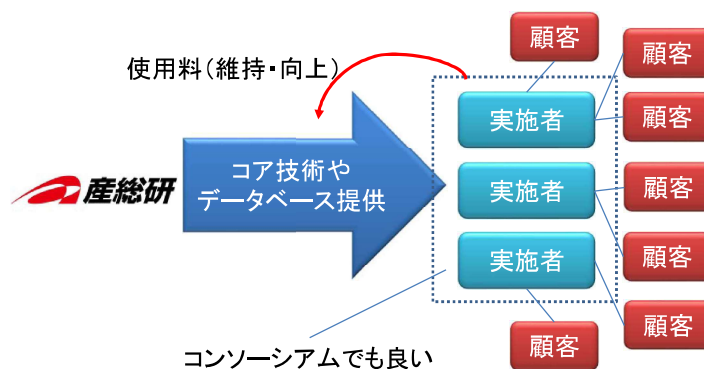


R1

## 領域独自の研究ビジネスモデル②: 技術コンサル型

ポイント: 他にはないコア技術やデータベース等をビジネスの「実施者」に提供し、報酬を得る。

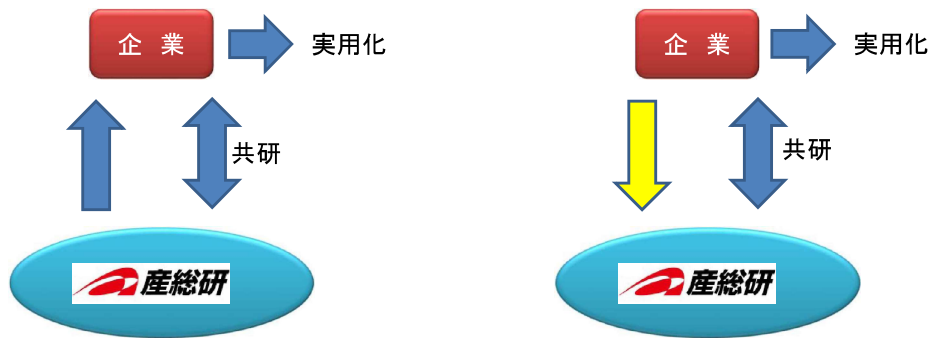
AISTは顧客 (end user) 対応はしなくてもよい



e.g. LCA (IDEA)、海上風況アセス (風力発電) 等

R1

## 領域独自の研究ビジネスモデル③: 企業の技術シーズ支援



従来型: 産総研の技術シーズを提供

企業の技術シーズを提供してもらう

e.g. 復興特会「シーズ支援事業」(FREA)

# 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



クロスアポイントメント制度

20名(平成27年度 8名、平成28年度 2名、平成29年度 2名、平成30年度 7名、令和元年度 3名)

エネルギー・ナノ工学ラボ: 東京大学・丸山教授

ナノ材料合成技術と微細加工技術を融合した、革新的エネルギーデバイス技術の確立

ハンドブック出版

マイクロ・ナノ熱工学の進展  
出版: 株式会社エヌ・ディー・エス

計86報  
JACSなど

大阪大学・桑畑教授

イオン液体の電気化学的特性を用いた  
新たな蓄電池の研究開発へむけた基盤構築

教科書出版

電気化学インピーダンス



出版: 化学同人

計48報  
J. Mater. Chem. A,  
Langmuirなど

オープンイノベーションラボラトリ

水素脆化機構解明  
計24報  
Int. J. of Hydro. Energyなど



産総研・九大水素材料強度ラボラトリ

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・京大 エネルギー化学材料OIL

- ・ Liイオン電池をしのぐ高性能な亜鉛-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

徐ラボ長: Highly Cited Researchers (H28-R1)



特集号(2019/6)  
Adv. Energy Mater.  
「Energy Research in AIST」

計78報  
空気電池関連  
IF10以上の論文誌: 計7報  
Adv. Energy Mater., JACSなど



国際ワークショップ

1st, 2nd Terawatt Workshop

「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」

- ・サイエンス誌に論文掲載
- ・平成29年4月10日
- ・令和元年5月31日



1st The Gigaton Hydrogen Workshop

「世界の水素エネルギーの研究・技術・政策の現状と将来の情報一堂に集まる国際会議」



1st RD20

「クリーンエネルギー技術分野におけるG20の研究機関のリーダーを集める会合」



R1  
ゼロエミッション国際共同研究センターの設立

- 3rd Terawatt Workshop(R2)
- 2nd Gigaton(R2)
- 2nd RD20(R2)

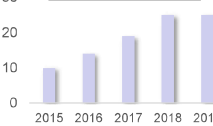
国プロ

国際共同研究

経済産業省 革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業(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
- ・ ブルックヘブン国立研究所 (BNL, 米国): 有用化成品, 甲酸, 熱電変換
- ・ デルフト工科大学 (TU Delft, オランダ): 水素吸蔵合金

国際共同研究契約数



R1  
補正90億円獲得

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。

「橋渡し」研究前期における研究開発 【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

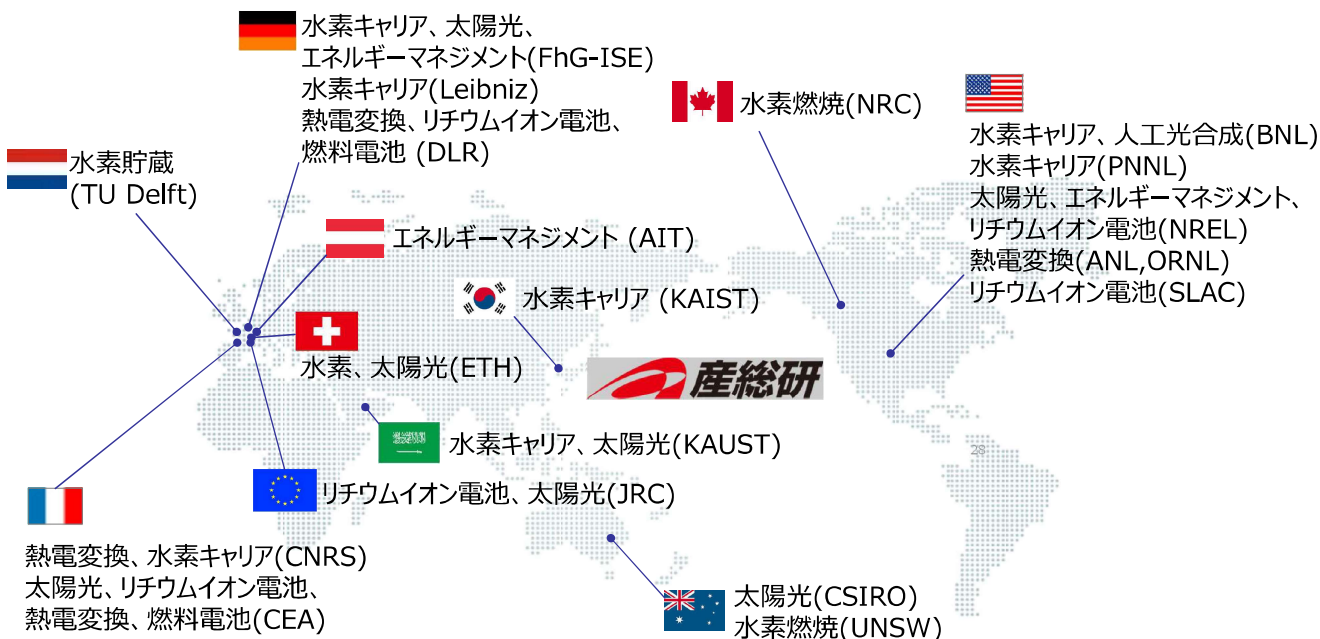
【ご意見】日本の誇るエネルギー技術やリサイクル技術は今年6月に開催されるG20など、国内だけでなく外交でも積極的にPRしてほしい。

【対応】ダボス会議での安倍総理発言を受け、G20が持つ多様な知見を融合し、CO<sub>2</sub>大幅削減に向けた非連続なイノベーション創出に繋げるため、クリーンエネルギー技術分野におけるG20の研究機関のリーダーを集める会合RD20(Research and Development 20 for Clean Energy Technologies)を産総研 エネルギー・環境領域が主体となり開催した。【第2回RD20:2020年10月に日本で開催予定】

R1

ゼロエミッション国際共同研究センターの設立 センター長 吉野 彰

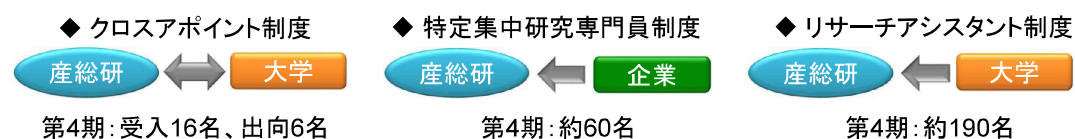
R1



# 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

#### 外部人材雇用制度による研究人材の拡充



#### 研究人材の流動

- ◆ 大学への転出(第4期:17名)  
共同でプロジェクトを提案するなど、人脈の拡大
- ◆ 企業からの転入(年俸制 第4期:12名)  
大手自動車・電気メーカーなどから経験豊富な人材を取得
- ◆ 他領域との融合  
ゼロエミッション国際共同研究センターにおける所内分野横断的研究体制の構築

## 人材育成

### 内部

#### 海外派遣支援

例:【太陽光発電】  
ドイツ フランウンホーファ研究機構  
太陽エネルギーシステム研究所

ゼロエミッション国際共同研  
究センターで連携

技術経営力強化

- AI勉強会
- E&Eフォーラム(年3回開催)
- グループリーダーとの経営会議(毎年)
- OJTによる幹部養成
- 領域横断研究会

- 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
- PVアライアンス
- 水素戦略会議 等

### 外部

#### 協働大学院方式による学位プログラム

↳ H29:レジリエンス研究教育推進コンソーシアム  
⇒博士号の授与(エネ環:主査2名)

#### 連携大学院制度

#### イノベーションスクール

#### スクール・セミナーの開催

- ・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  
⇒パワーエレクトロニクスサマースクール(1回/年)
- ・メタンハイドレートプロジェクトユニット主催  
⇒メタンハイドレート総合シンポジウム(1回/年)
- ・戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)コンソーシアム主催  
⇒リサイクル技術セミナー(3回/年)

#### ・LCA日本フォーラム 経済産業省産業技術環境局長賞(H28)

イベントリデータベースIDEAの開発  
安全科学研究部門 社会とLCA研究グループ

#### ・日経地球環境技術賞優秀賞(H29)

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  
環境管理研究部門:大木達也

#### ・産学官連携功労者表彰 内閣総理大臣賞(H29)

単結晶ダイヤモンドの工業製品化  
先進パワーエレクトロニクス研究センター:茶谷原 昭義 et al.  
株式会社イーディーピー 代表取締役社長 藤森 直治

#### ・市村地球環境学術賞 貢献賞(H30)

ギ酸分解触媒の開発による革新的水素製造技術  
創エネルギー研究部門:姫田雄一郎 et al.

#### ・コージェネ大賞技術開発部門理事長賞(H30)

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  
再生可能エネルギー研究センター & 清水建設株式会社

#### ・フンボルト賞(R1)

材料化学の幅広い分野において新材料創出と新応用法開発による新しい研究領域の開拓  
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:徐 強

R1

# 1. 領域の概要と 研究開発マネジメント

(\*) 第5期に向けて

2019.12.26  
CSTI第47回会議

## 特定国立研究開発法人(産業技術総合研究所)の見込評価等に対する 総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)の意見(案)について

### 背景

- 「特定国立研究開発法人による研究開発等の促進に関する特別措置法」に基づき、同法人の中長期目標期間の最終年度に、CSTIは所管大臣の行った評価等<sup>※</sup>に意見を述べることになっている。  
※①中長期目標期間の終了時に見込まれる期間全体における業務の実績評価、②業務及び組織の全般にわたる検討結果及び講ずる措置の内容
- 今般、経済産業大臣が行った産総研の評価等に対するCSTIの意見を決定する。

### 意見(案)のポイント

- I 目標設定の在り方等の検討
  - ・ 民間からの資金獲得額の目標のみを最重要目標としている点に関し、今後の目標設定と評価指標のあり方及びその評価方法については、産総研の使命や研究開発の方向性等を十分に考慮すること。
- II 次期中期目標に向けた「橋渡し」機能の強化等
  - ・ 革新的な技術シーズを事業化につなげる「橋渡し」機能の強化や国民生活・社会経済活動を支える技術基盤の構築に引き続き取り組んでいただきたい。
  - ・ 理事長のマネジメントを発揮し、卓越した研究人材等の確保・養成に取り組むとともに、国際標準化や海外機関との連携を積極的に進めるための体制構築に取り組むことが必要。
  - ・ 科学技術基本計画等の実現に向けて、人工知能研究拠点や福島再生可能エネルギー研究所等の活動を推進し、具体的な成果創出に取り組むこと。
- III 産総研への支援及び制度の見直しの提起
  - ・ 経済産業大臣は、産総研に対して適時適切に支援等を行うとともに、産総研が現行制度では困難な構想等を実現するため、CSTIに対し、具体的な制度の見直し方を提起。

民間資金偏重への懸念  
ミッションに合った目標

ミッション  
橋渡しのみならず  
社会課題解決

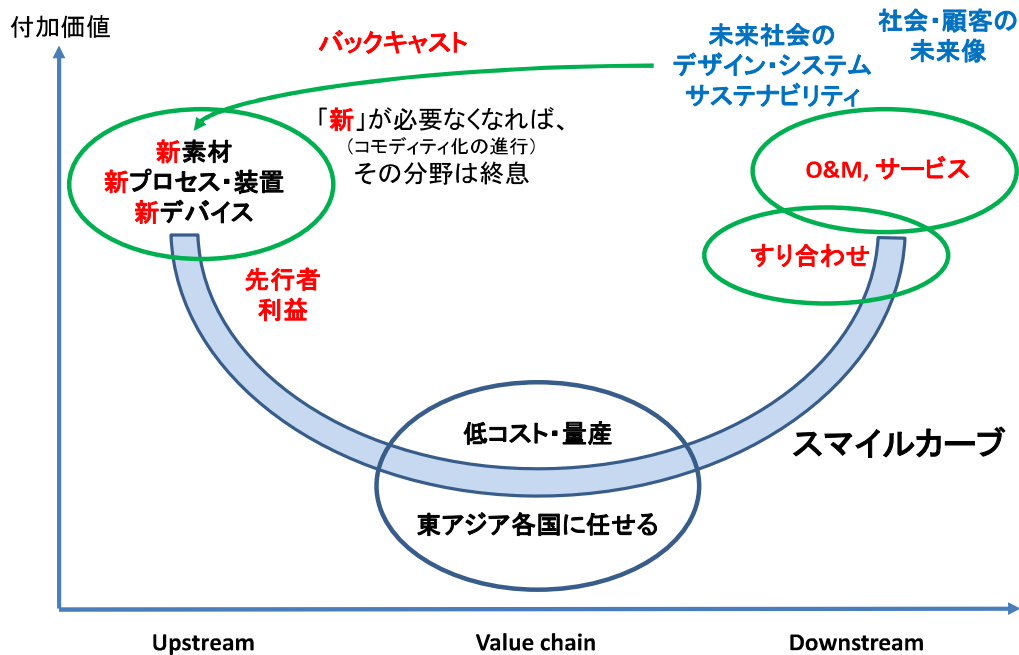
FREAの重要性 特記

### 第4期 重点課題

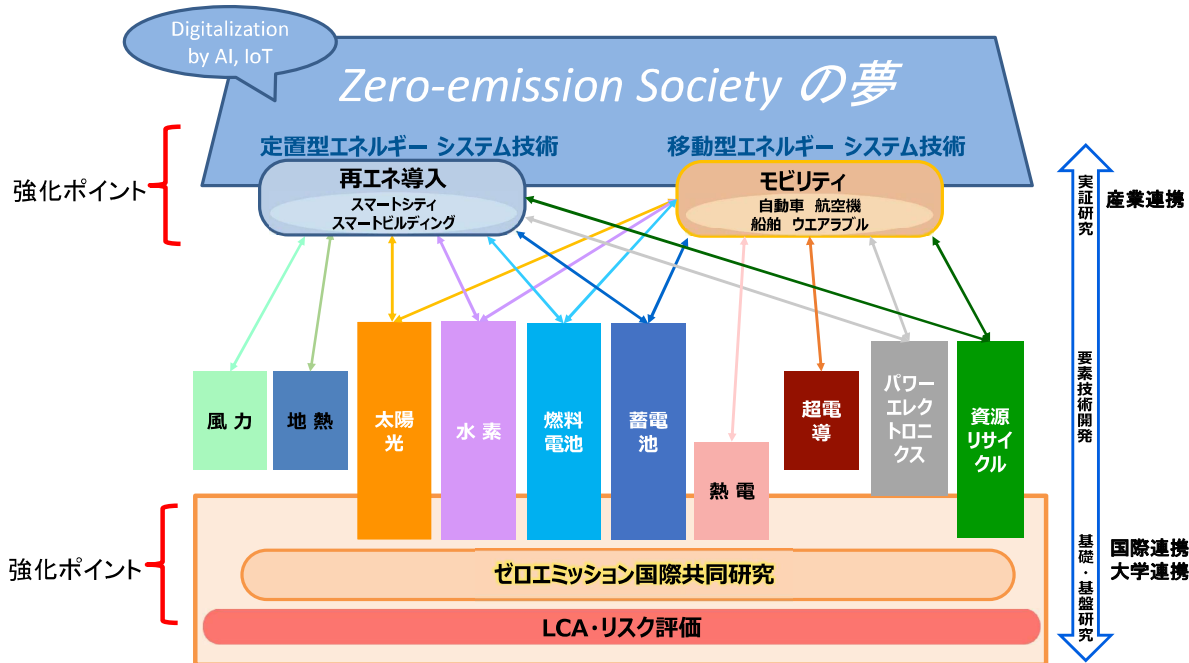
- 橋渡し機能の強化
  - 目的基礎研究  
~マーケティング力強化  
→ **民間資金獲得**
  - 地域イノベーション推進
- 知的基盤研究
  - 地質調査
  - 計量標準

### 第5期 重点課題

- 社会課題の解決
  - **ゼロエミッション社会**
  - **資源循環社会**
  - 健康長寿社会
  - 国土の強靱化
- 橋渡しの拡充
  - 産業競争力強化
  - 地域イノベーション推進
- 基盤研究
  - 知的基盤研究
  - 目的基礎研究







**設置趣旨**

- 政府の革新的環境イノベーション戦略の下、CO<sub>2</sub>削減対策を強化するために必要となるイノベーション創出を目的として、関連する環境イノベーション基盤研究を実施する。

**センター理念**

- 地球の気候変動というグローバルな問題を解決するために、世界の叡智をあつめて、基礎科学や産業技術を発展させ、ET革命\*を実現する。 \* Environment and energy technology

**経緯**

- 2019年10月：「Research and Development 20 for clean energy technologies (RD20)」を産総研主催で開催。  
(2019年1月のダボス会議での総理スピーチを受け、G20の研究機関のリーダーを集結させ、国際共同研究開発の促進に向けた、研究機関間のアライアンス強化を図る会議)
- 2019年10月：安倍総理がグリーンイノベーションサミットにて「ゼロエミッション国際共同研究拠点設立」を表明
- 2020年1月：吉野 彰 博士 センター長内定



**設立時期**

- 2020年1月29日

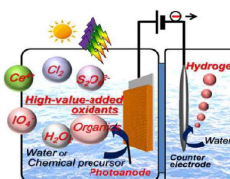


センター長 吉野 彰

## ご参考：主要研究テーマ

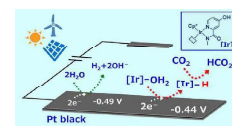
## ■ 人工光合成

水素製造と同時に有用化学品（過酸化水素など）を製造できる高性能な光電極触媒の開発。



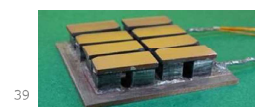
## ■ エネルギーキャリア

水素キャリアとなるギ酸やアンモニアの合成に関して、従来の製造方法よりもマイルドな条件での合成を可能とする高性能触媒の開発。



## ■ 熱電変換

廃熱を電気エネルギーに直接変換できる、世界最高の変換効率を有する高信頼性熱電変換デバイスの開発。



39

## ■ 有機系太陽光発電デバイス

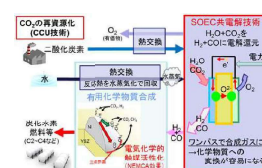
モビリティ・建築物・ウェアラブルデバイス用途へ向けた、フレキシビリティ・透過性を有する高性能材料・デバイスの開発。



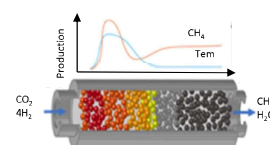
## ご参考：主要研究テーマ

## ■ 電気化学反応制御

高温水電解技術を利用したメタンなどの炭化水素製造に向けた基礎研究。安全・安心な高性能蓄電池開発に必要な材料の最先端評価法の確立。

■ CO<sub>2</sub>分離・利用

二酸化炭素から化学工業原料のメタノールを低温で効率よく合成可能な触媒の開発。二酸化炭素と水素の反応によりメタンを製造するメタネーションプロセス制御法の高度化。



## ■ エネルギー評価

LCA的な観点から、エネルギーシステム分析や資源リスク分析を組み合わせ、世界スケールのリスク・持続可能性を定量評価する手法の開発。



40

## 領域の概要と研究開発マネジメント:まとめ

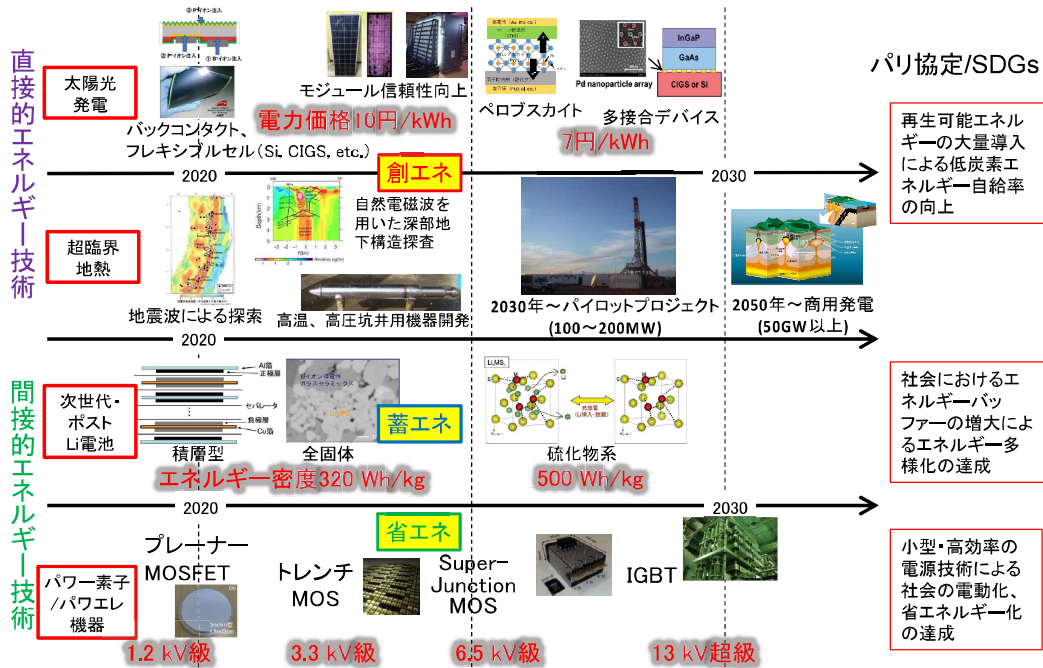
### • 革新的技術シーズを事業化に繋げる橋渡し研究

- 大学連携や国際連携等も活用し、目的基礎研究の強化に努めた結果、論文数、被引用数が順調に増加し、Highly Cited Researcher など外部からも高い評価を得た。
- オープンイノベーションプラットフォーム型共同研究を中心に技術の橋渡しを実施し、第四期成果による実用化例も増加しつつある。民間資金獲得額目標には達しなかったが、外部資金は国際的にも高い水準となった。
- R1年度は、国際会議RD20開催からゼロエミ国際共同研究センター設立まで、政策対応で非常に大きな役割を果たした。

### • 技術経営力強化に資する人材育成

- 重要テーマで領域横断アライアンス事業を実施し「組織研究力」を強化した。
- 技術コンサル制度を活用し、ニーズ把握から共同研究へと繋げた。
- R1年度は、領域独自の研究ビジネスモデルの類型化を共有するとともに、第五期設計に繋げた。

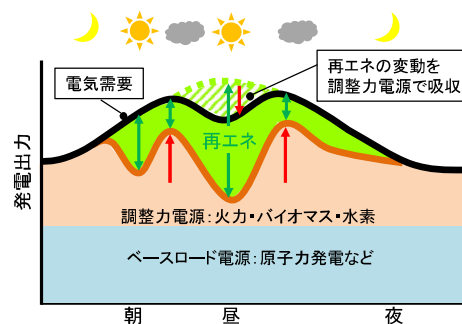
## Appendix



## 2050年にCO<sub>2</sub>排出量80%削減可能なエネルギーシステム像の検討

### 令和元年度の取組

- 再生可能エネルギーの変動適応を考慮

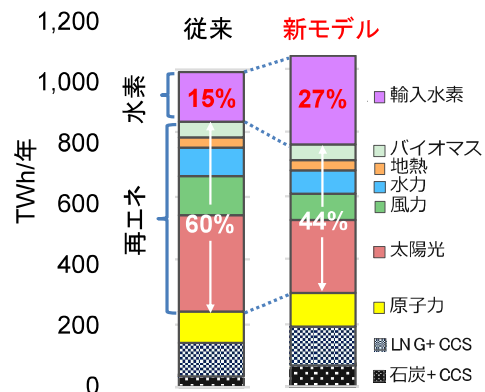


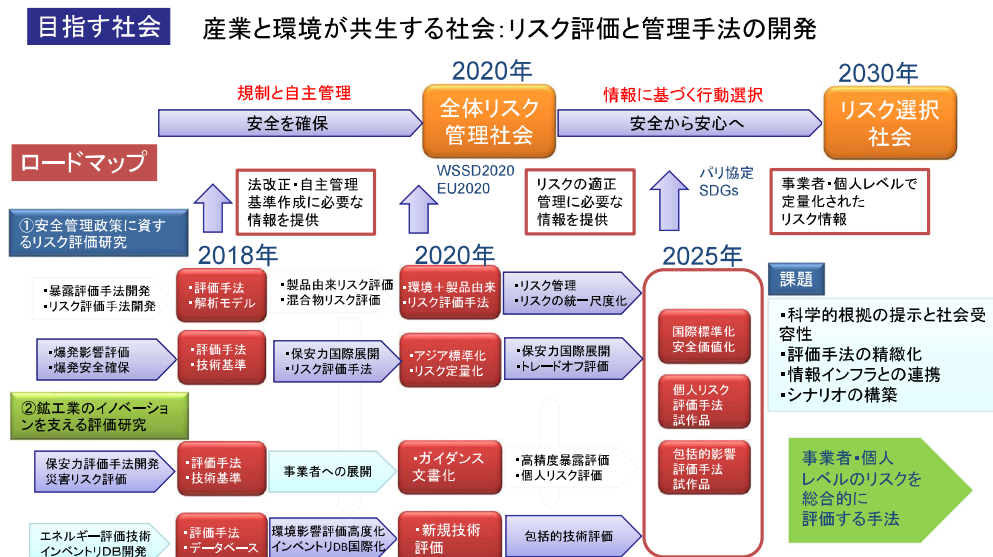
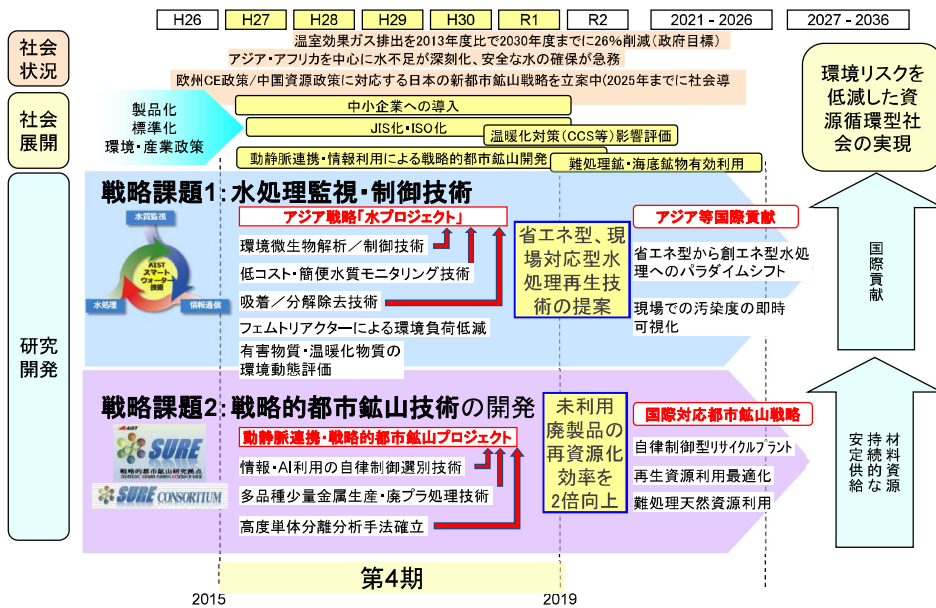
#### 【主な前提条件】

- 再エネ導入量 337.6 [GW]
- 原発: 40年稼働、計画中新設あり
- CCS: CO<sub>2</sub>回収率90%、2050年最大貯留量1億t-CO<sub>2</sub>/年
- 輸入水素CIF価格: 2050年 30円/Nm<sup>3</sup>
- 調整力電源シェアを50%以上

➤ 再エネ & 輸入水素発電併用利用の重要性を確認

### 2050年電源構成





## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【エネルギー関連技術】

テーマ1:「蓄電池」に関する研究開発

テーマ2:「水素」に関する研究開発

テーマ3:「太陽光発電」に関する研究開発

テーマ4:「パワーエレクトロニクス」に関する研究開発

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【エネルギー関連技術】

テーマ1:「蓄電池」に関する研究開発

テーマ2:「水素」に関する研究開発

テーマ3:「太陽光発電」に関する研究開発

テーマ4:「パワーエレクトロニクス」に関する研究開発

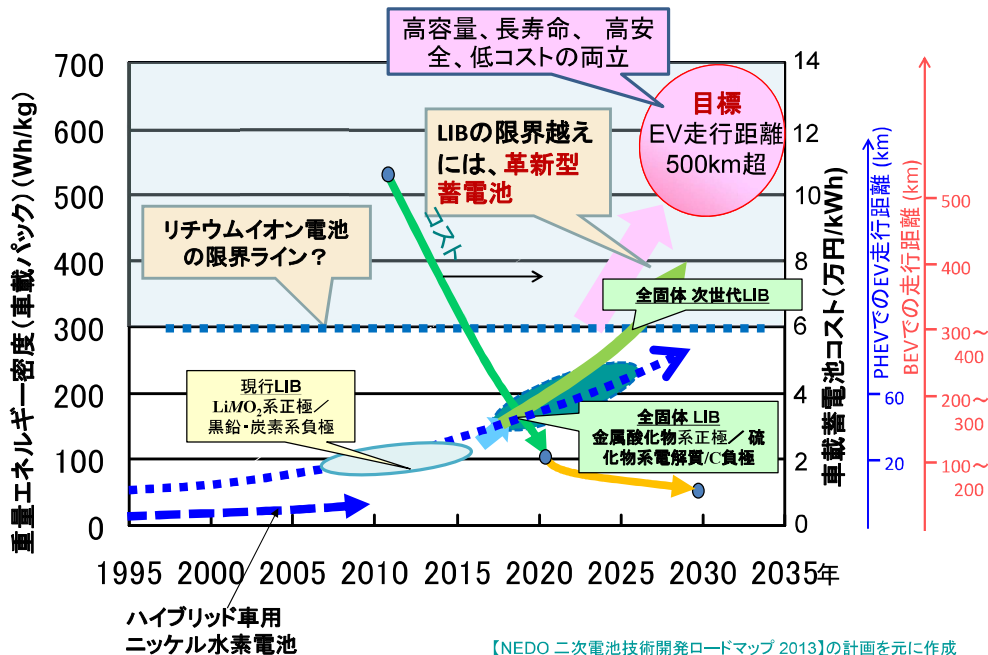
## 二次電池研究の目的基礎研究

- ✓ 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

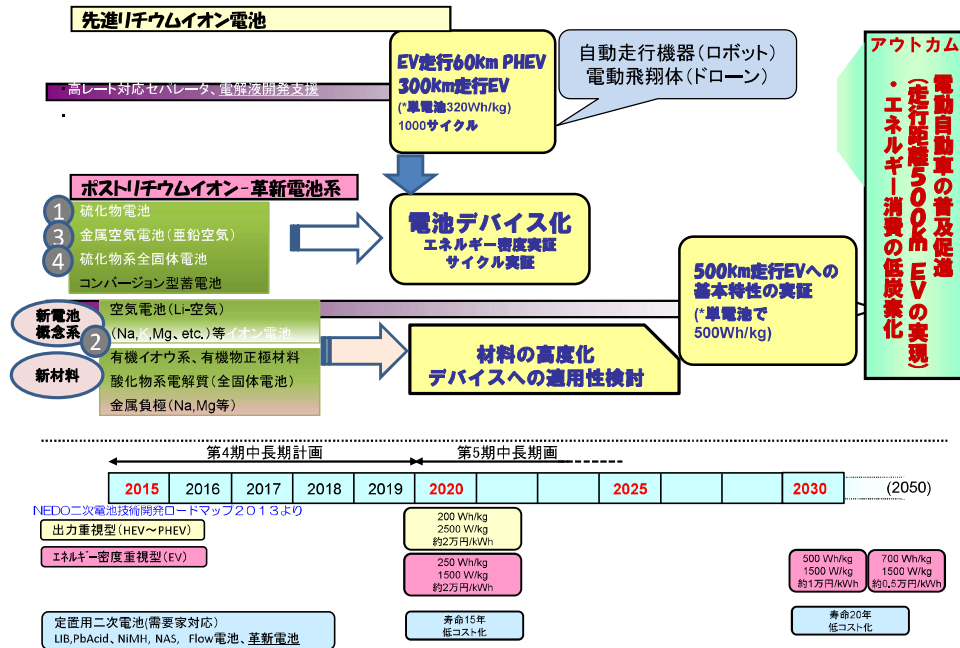
➡ **高容量、長寿命、高安全性、低コスト**な革新型二次電池を実現する電池材料の研究開発。



## NEDO計画での車載用蓄電池開発のロードマップ



【NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013】の計画を元に作成



	目的基礎	橋渡し前期	橋渡し後期	
AIST	<ul style="list-style-type: none"> <li>硫化物電池(金属多硫化物) ①</li> <li>Mg, Kイオン電池 ②</li> <li>金属-空気電池 ③</li> <li>酸化物系全固体電池</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>硫化物系全固体電池 ④</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(C/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(C/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

(目的基礎)

## 【背景・実績・成果】

リチウムイオン電池(LIB)の限界を大幅に超える革新的高容量二次電池の開発が求められている。硫黄はその正極材料候補だが、電解液への溶出による性能低下等の課題がある。開発した非晶質金属多硫化物正極により硫黄の溶出抑制と高容量化を可能とし、平成30年度にLi金属負極と組み合わせた8Ah級電池を試作し、現行LIB(200Wh/kg程度)を大幅に上回る314Wh/kgのエネルギー密度を実証した。令和元年度には正極材料のサイクル特性を向上させ、特に全固体電池系でほぼ容量低下無しに100サイクルの充放電を可能とした。

## 【成果の意義・アウトカム】

硫化物を用いる高容量な二次電池を実電池として具現化したことで、500Wh/kgを目標とする国の開発を促進するとともに、電気自動車だけでなく飛行体等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 10報、新聞報道 1件、関連特許 11件

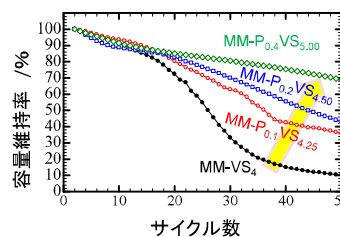


図1 VS<sub>4</sub>系正極の充放電特性改善結果 (特願2019-158922)

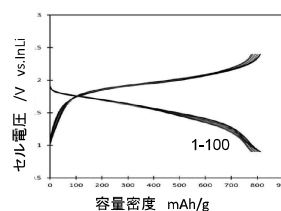


図2 硫化物系固体電池におけるTiS<sub>4</sub>の充放電カーブ (1-100サイクル)

2

## 新型カリウムイオン電池の開発

(目的基礎)

## 【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30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、LIBと同等の4V級の高電圧正極材料の開発に成功した。令和元年度には、150 mAhg<sup>-1</sup>以上の高容量を発現できる低廉な組成(FeやMn)からなる新規層状型正極材料を開発するとともに、広い電位範囲で安定なPyr<sub>13</sub>TFSA系電解液も見出した。

## 【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)等に掲載され、新聞報道もされた。

## 【アウトプット】

論文 4報、新聞報道 7件、関連特許 24件

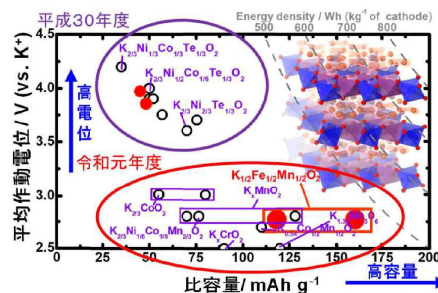


図1 FeやMnからなる新規層状型正極材料

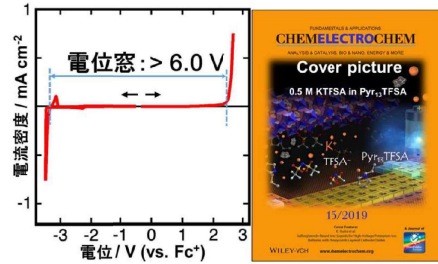


図2 Pyr<sub>13</sub>TFSA系電解液の電位窓

Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Reproduced with permission.

## 金属-空気電池用材料の開発

(目的基礎)

## 【背景・実績・成果】

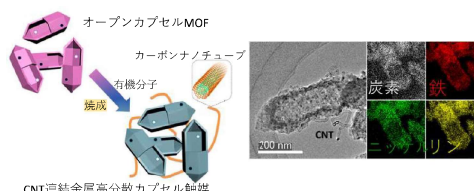
革新電池の一つである亜鉛-空気電池は容量及び安全性が高い一方、空気極触媒に起因する過電圧等の性能不足の課題がある。本研究では、配位高分子(MOF)を鋳型・前駆体として用いた機能性炭素材料合成法を活用し、白金より活性の高い空気極触媒の開発に取り組み、令和元年度はオープンカプセルMOFの合成に成功し、これを前駆体として熱処理することでカーボンナノチューブ(CNT)で連結された金属高分散カプセル触媒を開発し(図1)、高性能なレアメタルフリー空気極触媒を実現した。

## 【成果の意義・アウトカム】

本研究で開発した高性能レアメタルフリー空気極触媒は、市販の白金/炭素触媒より過電圧が小さく長寿命で安定性の高い充放電サイクル特性を実現した(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 7報、受賞 9件



CNT連結金属高分散カプセル触媒

図1 オープンカプセルMOF及びそれを前駆体として用いたCNTで連結された金属高分散カプセル触媒の合成(左)とTEM画像(右)

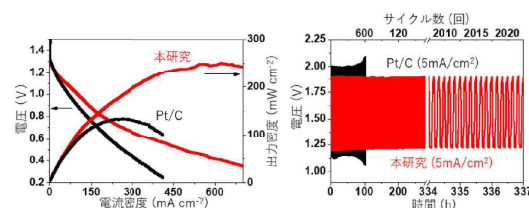


図2 CNTで連結された金属高分散カプセル触媒を空気極として使用した亜鉛-空気電池の放電特性(左)と充放電サイクル特性(右)  
(*J. Am. Chem. Soc.* 2019, 141, 7906より)

## 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】

車載用に、コンパクトで高安全な硫化物系全固体電池開発への期待が世界的に高まっている。これまでに全固体電池量産化の鍵となるシート型電池の製造プロセスを確立し、平成30年度には市販Li二次電池にせまるエネルギー密度と、容量低下がほとんど見られない負極の作製に成功してきた。令和元年度には、各種製造工程におけるボトルネックの抽出と改善により、シート型電池で200 Wh/kg(室温付近(30°C)、60°Cでは250 Wh/kg)のエネルギー密度を達成した。

## 【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、車載用全固体電池の実用化へ道筋を示した。当該技術を自動車・電池関連主要企業が参画する技術研究組合(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に貢献すべく研究開発を進めている。

## 【アウトプット】

論文 7報、関連特許 1件、受賞(学会) 2件

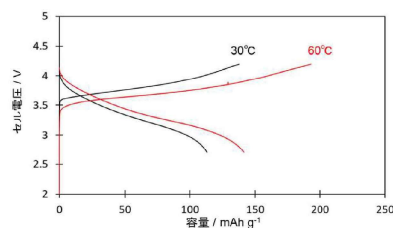


図1 硫化物系シート型全固体電池の充放電曲線

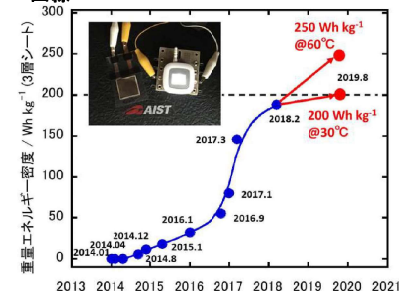


図2 産総研における硫化物系シート型全固体電池のエネルギー密度向上

## リチウムイオン電池の劣化解明と極薄Al酸化物均一被覆による劣化抑制

電池活物質表面近傍/電解液界面での現象には不明確な点が多いが、電池の劣化を左右する大きなポイントである。産総研ではリチウムイオン電池の代表的な正極材料であるコバルト酸リチウム(LiCoO<sub>2</sub>)と電解液との界面において、TEM観察や電気化学測定を統合した高度な解析により、コバルト溶出に伴う腐食反応と界面での結晶構造相転移が劣化原因であることを科学的に特定した。従来よりも極薄のAl酸化物をLiCoO<sub>2</sub>に被覆する技術を開発し、重量エネルギー密度を低下させない劣化抑制方法を提案した。本研究は、蓄電池国家プロジェクトで整備された産総研の集中研究拠点の場で企業と共同で実施され、本成果は参画企業に横展開され、革新蓄電池の電極活物質開発にも活用されている。

### 論文発表

R1年度産総研論文賞

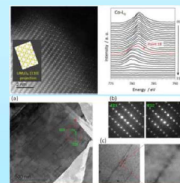
"LiCoO<sub>2</sub> Degradation Behavior in the High-Voltage Phase Transition Region and Improved Reversibility with Surface Coating"  
 矢野 亮<sup>C.A.</sup>, 鹿野昌弘, 上田篤司, 柴部比夏里<sup>C.A.</sup>, 小久見善八  
 J. Electrochem Soc., 164, A6116 (2017) (米国電気化学会・学会誌)  
 IF: 3.12, 被引用数: 51, CNCI: 4.6975, Journal Quality: Q1

### コア技術

世界初

1) リチウムイオン電池の劣化現象の原因を科学的に解明  
 ⇒ コバルト溶出による結晶構造変化

分析TEMによる精密局所観察と種々の電気化学測定を統合



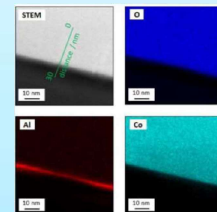
産総研内で完結した高度な統合解析技術

← 高い学術的評価

産総研 X maxell

蓄電池国家プロジェクトの産総研集中研究拠点にて実施

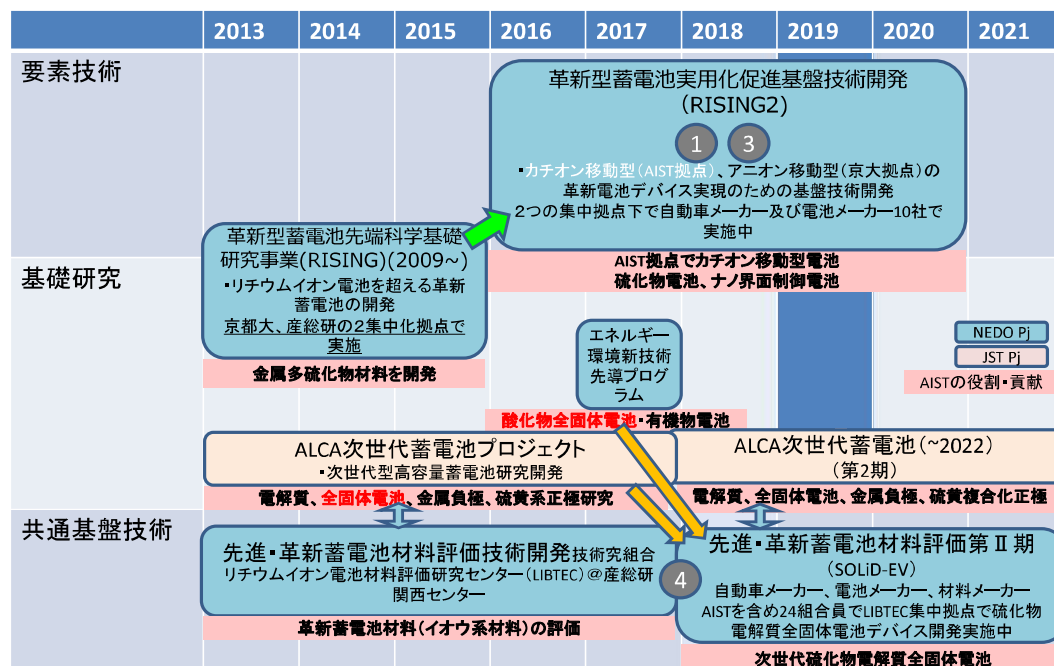
2) 解析結果に基づく劣化抑制法を提案・実証



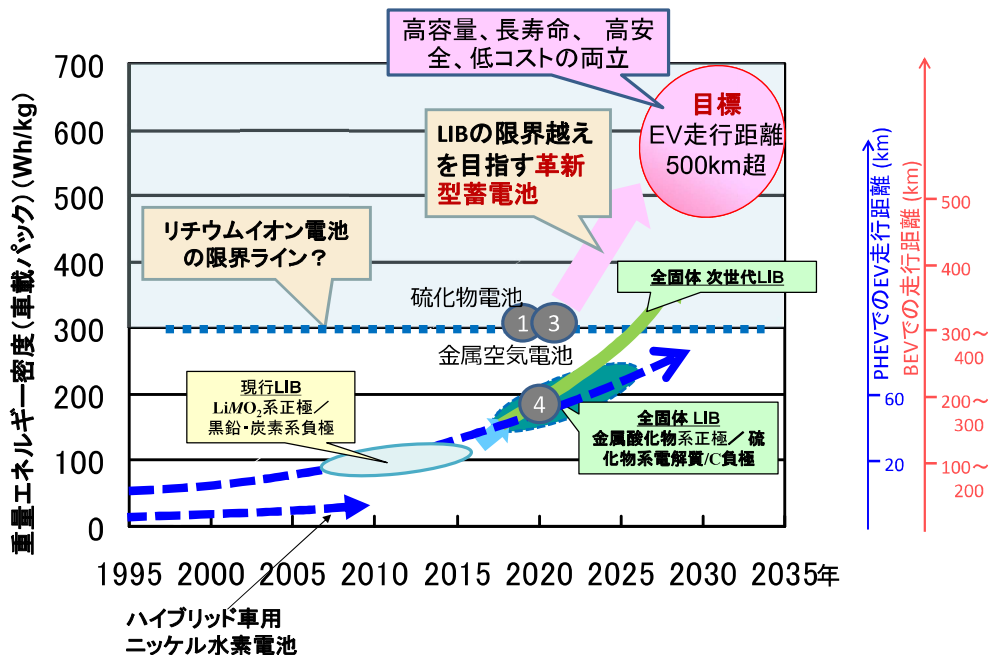
コバルト溶出抑制のための極薄Al酸化物均一被覆技術取得した特許をマクセルへ売却(橋渡し)

→ マクセル内で研究継続

## 二次電池プロジェクトでのAISTの役割



### 車載用蓄電池開発のマイルストーン



## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【エネルギー関連技術】

テーマ1: 「蓄電池」に関する研究開発

テーマ2: 「水素」に関する研究開発

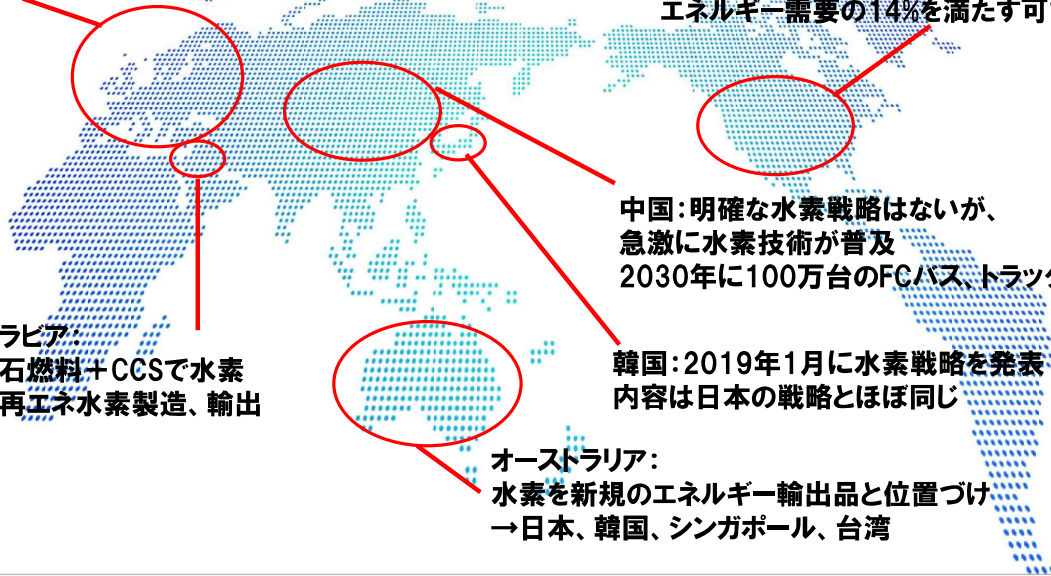
テーマ3: 「太陽光発電」に関する研究開発

テーマ4: 「パワーエレクトロニクス」に関する研究開発

## 各国の水素関連技術の取り組み

欧州: 25か国が水素イニシアティブに署名  
再エネ水素の大型プロジェクトを多数実施

米国: 民間主導で水素経済ロードマップを発表  
エネルギー需要の14%を満たす可能性



サウジアラビア  
初期: 化石燃料+CCSで水素  
→将来: 再エネ水素製造、輸出

中国: 明確な水素戦略はないが、  
急激に水素技術が普及  
2030年に100万台のFCバス、トラック

韓国: 2019年1月に水素戦略を発表  
内容は日本の戦略とほぼ同じ

オーストラリア:  
水素を新規のエネルギー輸出品と位置づけ  
→日本、韓国、シンガポール、台湾

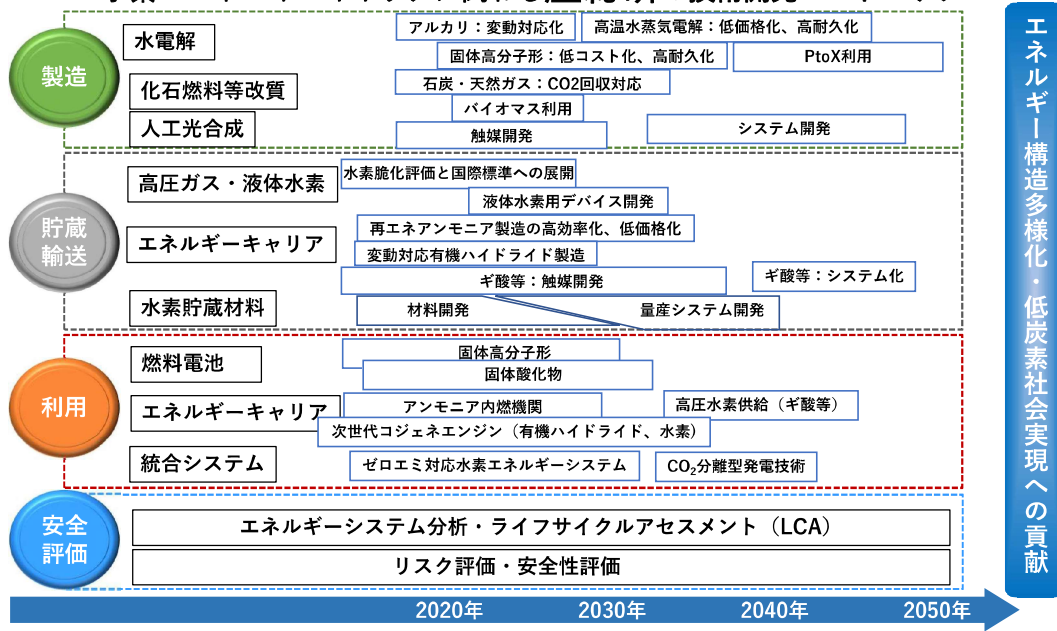
## 水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～ (全体)

- 基本戦略等で掲げた目標を確実に実現するため、
- ① **目指すべきターゲットを新たに設定(基礎技術のスパック・コスト内訳の目標)、達成に向けて必要な取組を規定**
- ② **有識者による評価WGを設置し、分野ごとのフォローアップを実施**

	基本戦略での目標	目指すべきターゲットの設定	ターゲット達成に向けた取組
利用	FCV 20万台@2025 80万台@2030	2025年 ● FCVとHVの価格差 (300万円→70万円) ● FCV主要システムのコスト (燃料電池 約2万円/kW→0.5万円/kW) (水素貯蔵 約70万円→30万円)	● 徹底的な規制改革と技術開発
	ST 320か所@2025 900か所@2030	2025年 ● 整備・運営費 (整備費 3.5億円→2億円) 運送費 3.4千万円→1.5千万円) ● ST構成機器のコスト (圧縮機 0.9億円→0.5億円) 普及器 0.5億円→0.1億円)	● 全国的なSTネットワーク、土日営業の拡大 ● ガリシアノ/ルビニイ設置STの拡大
	バス 1200台@2030	20年代前半 ● FCバス車両価格 (1億500万円→5250万円) ※トラック、船舶、鉄道分野での水素利用拡大に向け、指針策定や技術開発等を進める	● バス対応STの拡大
供給	商用化@2030	2020年 ● 水素専焼発電での発電効率 (26%→27%) ※1MW級ガスエンジン	● 高効率な燃焼器等の開発
	グリッドバリエーの早期実現	2025年 ● 業務・産業用燃料電池のグリッドバリエーの実現	● セルスタックの技術開発
	水素コスト 30円/Nm3@2030 20円/Nm3@将来	20年代前半 ● 製造: 褐炭ガス化による製造コスト (数百円/Nm3→127円/Nm3) ● 貯蔵・輸送: 液化水素タンクの規模 (数千m3→5万m3) 水素液化効率 (13.6kWh/kg→6kWh/kg)	● 褐炭ガス化炉の大型化・高効率化 ● 液化水素コストの断崖絶壁向上・大型化
水電解システムコスト 5万円/kW@将来	2030年 ● 水電解装置のコスト (20万円/kW→5万円/kW) ● 水電解効率 (5kWh/Nm3→4.3kWh/Nm3)	● 液江実証成果を活用した広域実証 ● 水電解装置の高効率化・耐久性向上 ● 地域資源を活用した水素プラットフォーム構築	

出典: 水素・燃料電池戦略ロードマップ (https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-2.pdf)

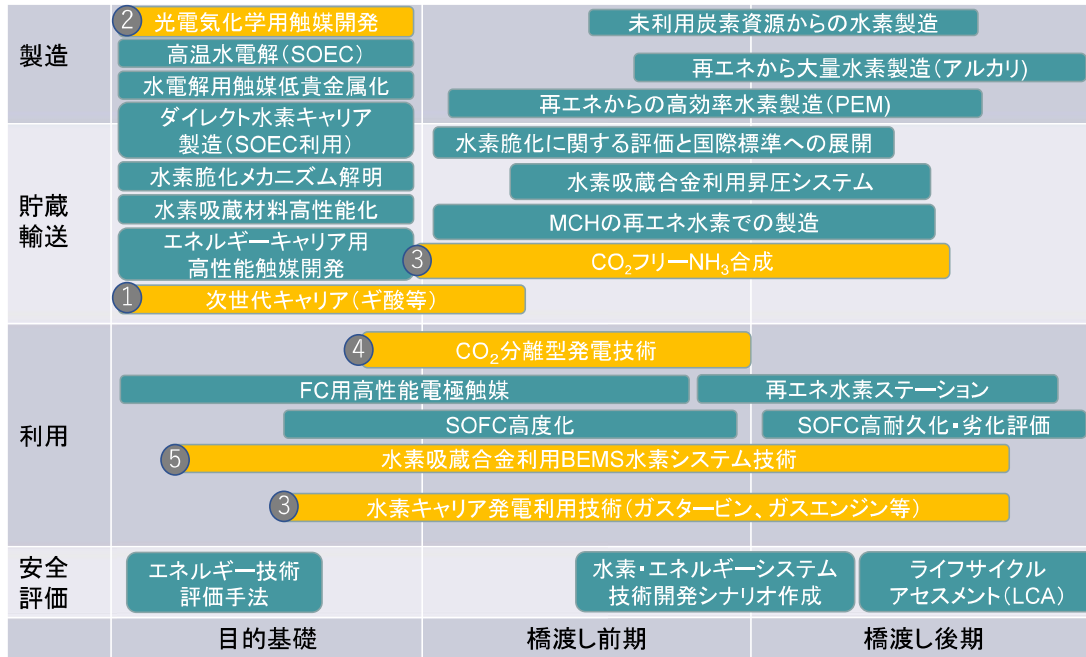
### 水素・エネルギーキャリアに関わる産総研の技術開発ロードマップ



エネルギー構造多様化・低炭素社会実現への貢献

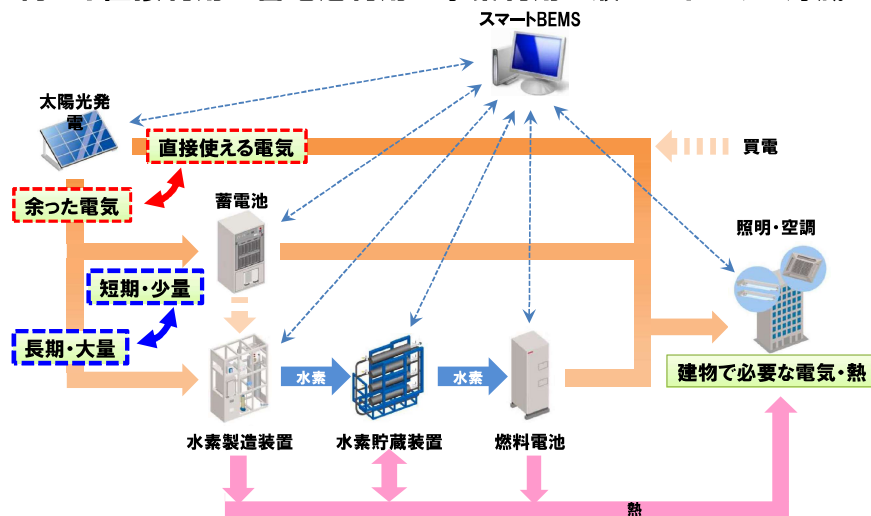
### 水素関連技術開発のポートフォリオ

製造	光電気化学用触媒開発	未利用炭素資源からの水素製造
	高温水電解(SOEC)	再エネから大量水素製造(アルカリ)
貯蔵輸送	水電解用触媒低貴金属化	再エネからの高効率水素製造(PEM)
	ダイレクト水素キャリア製造(SOEC利用)	水素脆化に関する評価と国際標準への展開
	水素脆化メカニズム解明	水素吸蔵合金利用昇圧システム
	水素吸蔵材料高性能化	MCHの再エネ水素での製造
利用	エネルギーキャリア用高性能触媒開発	CO <sub>2</sub> フリー-NH <sub>3</sub> 合成
	次世代キャリア(ギ酸等)	CO <sub>2</sub> 分離型発電技術
		FC用高性能電極触媒
		再エネ水素ステーション
		SOFC高度化
安全評価	エネルギー技術評価手法	水素・エネルギーシステム技術開発シナリオ作成
		ライフサイクルアセスメント(LCA)
	目的基礎	橋渡し前期
		橋渡し後期



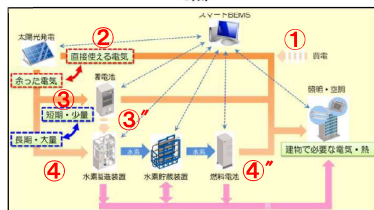
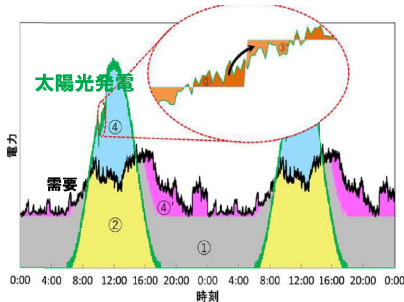
## システムのエネルギーフロー

再エネの発電と建物側の需要のずれを水素で効率的に調整  
再エネ直接利用→蓄電池利用→水素利用の順にエネルギー貯蔵



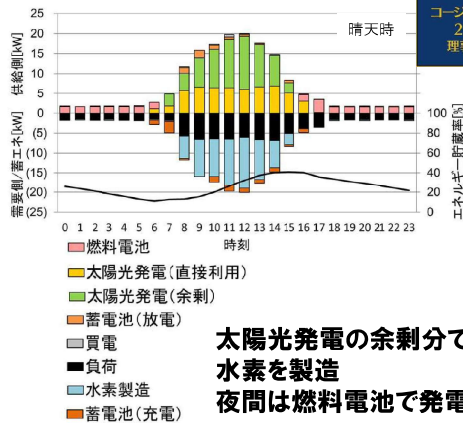
## システム運用イメージ

秒オーダーの太陽光発電/需要の変動は蓄電池が補償



BEMSから各機器の運転を決定

2018年 コージェネ大賞  
技術開発部門 理事長賞 受賞



太陽光発電の余剰分で  
水素を製造  
夜間は燃料電池で発電

完全自動運転を実証

BEMSから各装置及びバルブポンプ類を制御  
気象予報から発電量/需要予測 ノウハウの獲得

## 水素システムの本格実証へ

これまでの実績  
2016年1月～  
2018年9月

建物付帯型の水素利用システムの構築(FREA内)



専素技術  
確立

今後の展開 2018年10月～(冠ラボも設置)

本格実証

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

- ① 関連法規クリアの確認とお墨付き  
・行政機関(郡山市)と共に実証し、お墨付きを獲得。
- ② 維持管理費、CO<sub>2</sub>削減量の定量評価 (清水建設主導)
- ③ 持ち込み水素の急速充填技術の確立(産総研主導)

- ・消防法
- ・建築基準法
- ・高圧ガス保安法
- ・道路運送車両法
- ・.....

実用案件適用し、事業化

将来目標 展開段階



## Hydro Q-BiC実証開始 2019年7月23日



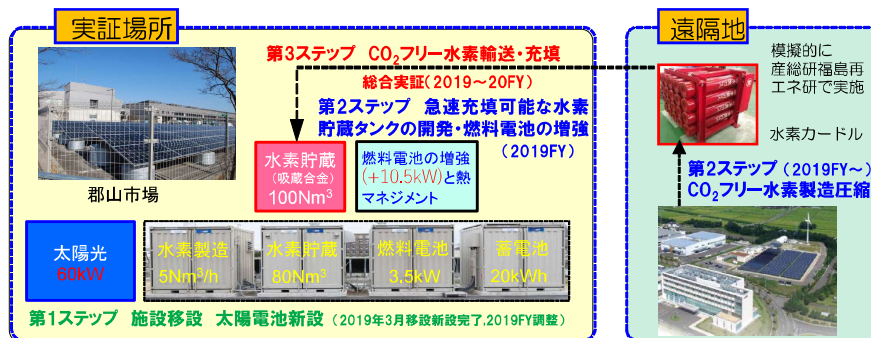
## 実証設備全景



## 今後の水素システム研究・実証の内容

- 水素システム導入によるコスト算出/CO<sub>2</sub>削減とレジリエンス機能向上の実証
- 持ち込み水素(余剰電力活用のCO<sub>2</sub>フリー水素を想定)の急速充填及びその運用技術確立(水素チェーン実証)

### → 急速充填用合金・タンク構造・熱マネジメントの技術開発



## 今後の展開 第5期(2020~2025年度)

### 郡山市場での実証研究 (～2021年3月)

### 清水建設様での実建物での本格実証へ

FREAでは、実建物ではできない装置試験や持ち込み水素の急速充填、熱運用技術など新規要素技術開発に重点化。

共同研究の成果まとめ

- ・特許出願 13件
- ・IF付論文誌 3本(何れもQ1)
- ・国際会議会議 招待講演 6件

【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、世界で唯一、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。その後、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 °C以下)でのCO<sub>2</sub>からのメタノール合成に成功した。令和元年度は、CO<sub>2</sub>水素化触媒の高性能化に成功した。

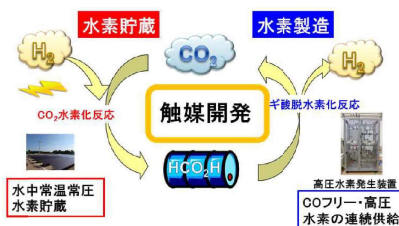
【成果の意義・アウトカム】

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。

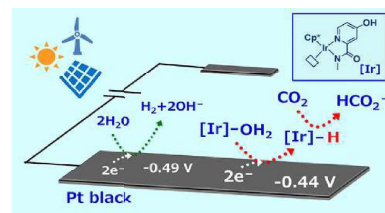
【アウトプット】

論文38報、新聞報道4件、関連特許4件、受賞2件

(目的基礎)



ギ酸/CO<sub>2</sub>の相互変換を利用したエネルギー貯蔵



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

【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。令和元年度も過マンガン酸化やチオール類の酸化等の電流効率の良い反応系の種類を増やした。

【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。

【アウトプット】 論文 18報、新聞報道 6件、関連特許 11件

(目的基礎)

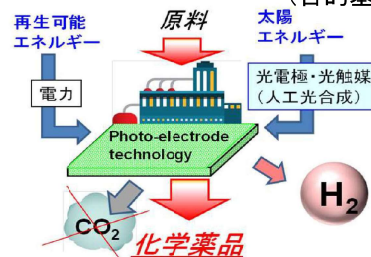


図1: 再エネ社会における化学薬品製造プロセスの将来像

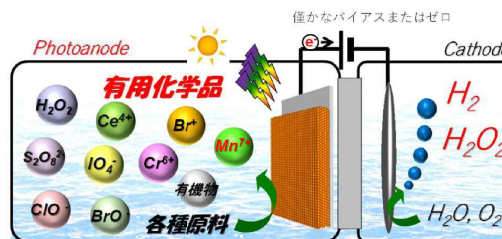


図2: 光電極による有用化学品製造

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℃・10MPa以下で高い活性を示す触媒改良に成功。令和元年度は、パートナー企業の実証事業等を支援するとともに、ガスタービン燃焼器の低NOx化等の成果をまとめて発信した。令和2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 19報、新聞報道 19件、関連特許 4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、化学ループ技術を用いた褐炭等のCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼発電技術開発を行った。100 kWthの大型循環流動層式試験装置を製作し、流動酸化媒体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、化学ループ技術の原理を立証した。平成30年度に、化学ループ技術のEOR、ガス化などへの応用を検討した。令和元年度は、石炭のみならず廃棄物等へ対象を拡大し、化学ループ法を応用した水素製造プロセスの基本原則を検証した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

化学ループ技術は未利用炭素資源からのCO<sub>2</sub>フリー水素製造、発電の新規技術として期待される。民間企業と共同研究開発製品は、将来の循環型社会構築に大きく貢献できる。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 4報、新聞報道 1件

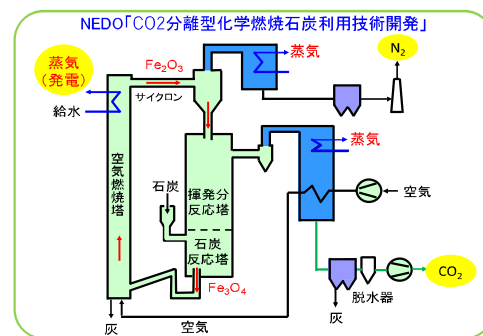


図1. 化学ループ燃焼プロセスの概念図

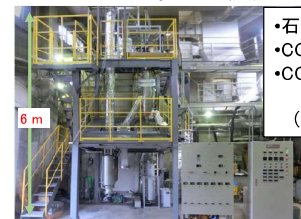


図2. 100 kWthの三塔式循環流動床試験装置

- 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/t-CO<sub>2</sub> (化学吸着法の1/4)

【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。令和元年度には、実建物へ装置を移設増強して、本格実証を開始した。

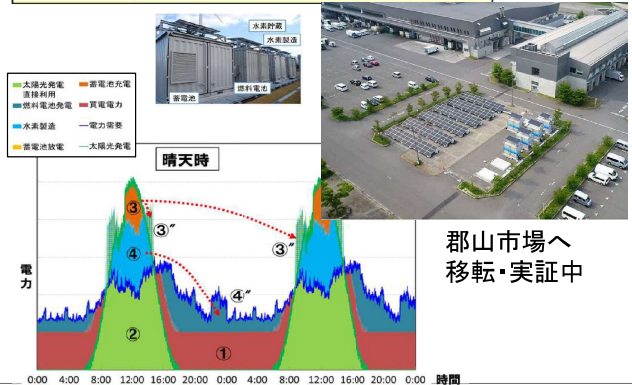
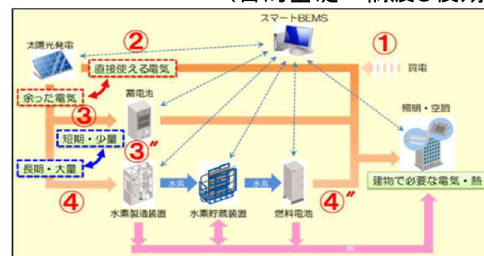
【成果の意義・アウトカム】

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】

論文3報、新聞報道23件、関連特許14件、  
2018年コージェネレーション大賞技術開発理事長賞

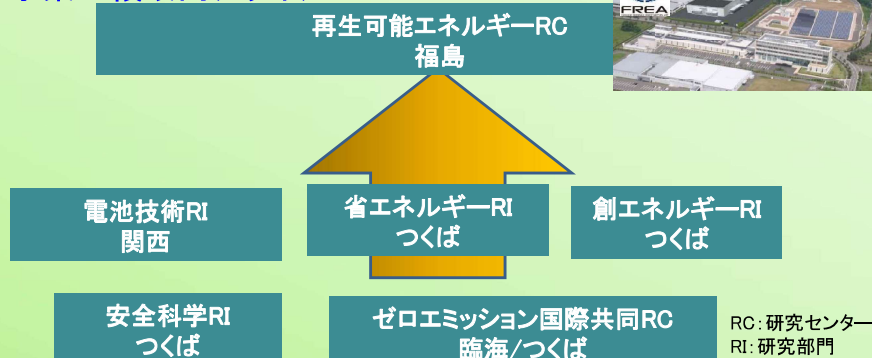
(目的基礎→橋渡し後期)



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



国・地域	各国の取り組み
欧州	<ul style="list-style-type: none"> <li>パリ協定の着実な実施のためにエネルギー目標を強化 (2030年までに1990年比で少なくとも40%を削減)</li> <li>2018年9月にオーストリアの提案で25か国が水素イニシアティブに署名 (欧州水素イニシアティブでは、水素による産業の低炭素化に期待)</li> <li>2019年1月に欧州委員会と欧州水素燃料電池・水素共同実施機構は欧州水素ロードマップを発表 (IPCCの2°Cシナリオ(2050年)のための必要CO2削減に水素が大きく貢献することを示す。) &lt;2050年で800万台のFC車両(累積5270万台のFC車両)、3.3万か所の水素ステーションが必要&gt; →欧州では大型の再エネ水素に関するプロジェクトを多数実施</li> </ul>
フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018年6月に水素展開計画を発表 (再エネの導入に合わせて、再エネ水素の展開を目指す。) &lt;水素のコスト低減に合わせて、産業分野と自動車分野での利用が進む&gt;</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年12月に日本に続き水素国家戦略を発表予定(未確認)</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018年8月にカリフォルニア州(米)は水素ビジョンを発表 (2030年までにFCV100万台、ステーション100か所を目指す)</li> <li>2019年11月に米の民間主導で水素経済ロードマップを発表、全米規模の目標を提示 (2030年で、FCEV530万台、水素ステーション5600か所、FCフォームリフト30万台) (2050年に水素は米国のエネルギー需要の14%を満たす可能性がある)</li> </ul>

出典：関西広域連合グリーン・イノベーション研究成果起業家促進フォーラム：テクノバ丸田氏講演資料より

国・地域	各国の取り組み
韓国	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年1月に水素経済活性化ロードマップを発表 (日本のロードマップに近く、FCバスやFCTラックを積極的に展開)</li> <li>2019年10月に水素R&amp;Dロードマップを発表 (より詳細なR&amp;Dロードマップ、水素輸入も実施)</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>2016年11月に自動車技術ロードマップを発表(実際にはロードマップを抜く勢いで普及) (FCV(FCTラック、バス含む)を2020年5000台、2025年5万台、2030年100万台) (水素ステーションを2020年100か所、2025年300か所、2030年1000か所) (FCスタックの耐久性を2020年 5,000時間、2025年 6,000時間、2030年 8,000時間)</li> </ul>
オーストラリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018年8月に豪州水素ロードマップを発表(水素を新規のエネルギー輸出品と位置づけ) (水素は、新しい輸出品、再エネの普及に貢献) &lt;2025年頃にクリーン水素が既存燃料(天然ガスや蓄電池)と競合可能&gt; &lt;褐炭水素:2030年(商業化段階)で\$2.14~2.74/kg、再エネ電力の水電解:2025年に\$2.29~2.79/kg &gt; &lt;水素輸出:ターゲットは中国、日本、韓国、シンガポール(製造コスト目標\$2~3/kg) &gt;</li> <li>2019年11月に欧州水素戦略を発表(水素を脱炭素化と経済発展の機会ととらえる) &lt;日本、韓国と水素で協力することで合意、クリーン水素(再エネ)の資源があることを強調&gt; &lt;水素の輸出を強調(日本、韓国、シンガポール、台湾)&gt;</li> </ul>
サウジアラビア	<ul style="list-style-type: none"> <li>化石燃料+CCSで水素(低炭素化エネルギー製造)→再エネ水素製造、輸出</li> </ul>

出典：関西広域連合グリーン・イノベーション研究成果起業家促進フォーラム：テクノバ丸田氏講演資料より

## 参考：国内の水素エネルギーに関する政策関連動向

- 2017年12月 水素基本戦略 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議
- 2018年7月 エネルギー基本計画(第5次) 閣議決定
- 2018年10月 水素閣僚会議2018 東京宣言の発表 経済産業省・NEDO
- 2019年3月 水素・燃料電池戦略ロードマップ ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～  
水素・燃料電池戦略協議会
- 2019年6月 世界水素技術会議(WHTC)2019 主催:(一社)水素エネルギー協会、事務局:産総研
- 2019年6月 パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略 閣議決定
- 2019年6月 カーボンリサイクル技術ロードマップ 経済産業省
- 2019年6月 G20 持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合@軽井沢  
経済産業省・環境省  
(IEA水素レポート、日米欧水素・燃料電池に関する共同宣言)
- 2019年9月 水素・燃料電池技術開発戦略 水素・燃料電池戦略協議会
- 2019年9月 水素閣僚会議2019&カーボンリサイクル産学官国際会議 経済産業省・NEDO
- 2019年10月 RD20 産総研

## 参考：水素・燃料電池技術開発戦略

水素・燃料電池戦略ロードマップにおいて示した目標の達成に向け、技術開発の重点分野の特定や早急に取り組むべき技術開発課題を明らかにすべく取りまとめられたもの

### <重点分野と重点項目の例>

#### (1) 燃料電池技術分野

- 【固体高分子形燃料電池(PEFC)】 低白金触媒、非白金触媒及びラジカル低減触媒の開発
- 【固体酸化物形燃料電池(SOFC)】 発電端効率65%超のセルスタック及びシステムの開発  
セルスタックの耐久時間の向上および起動時間の短縮化

#### (2) 水素サプライチェーン分野

- 【大規模水素製造】 褐炭利用のガス化炉等整備の高効率化、低コスト化に向けた技術開発
- 【輸送・貯蔵技術】 極低温域で使用する材料開発及び評価技術の開発
- 【水素発電】 環境性と水素の燃焼特性への対応、高効率発電を実現する燃焼器の開発
- 【水素ステーション】 遠隔監視による水素ステーション運転の無人化や設備等の見直しに向けたリスクアセスメント  
汎用金属材料の水素特性等に係るデータ取得  
高容量、高耐久な水素貯蔵材の開発及び生産技術の確立

#### (3) 水電解技術分野・その他

- 【水電解技術】 (アルカリ型水電解装置・固体高分子膜形水電解装置) 触媒での金属使用量の低減  
(固体酸化物形電解セル(SOEC)) セルスタックの耐久性向上
- 【産業利用等アプリケーション】 水素利活用のライフサイクルアセスメント(LCA)評価
- 【非連続な革新技術】 高効率な水電解、人工光合成、水素高純度化透過膜等の新たな水素製造技術に係る研究  
低コストかつ高効率で革新的なエネルギーキャリアやその製造技術の開発

出典：水素・燃料電池技術開発戦略 (<https://www.meti.go.jp/press/2019/09/20190918002/20190918002-1.pdf>) より産総研作成

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【エネルギー関連技術】

テーマ1: 「蓄電池」に関する研究開発

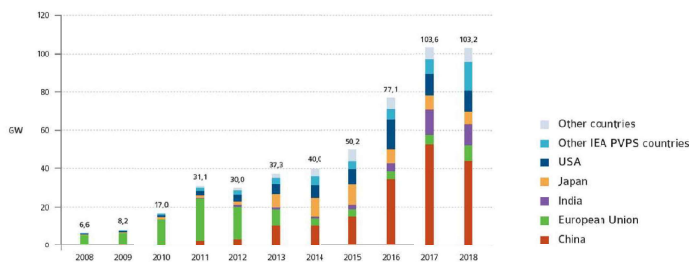
テーマ2: 「水素」に関する研究開発

テーマ3: 「太陽光発電」に関する研究開発

テーマ4: 「パワーエレクトロニクス」に関する研究開発

## 太陽光発電をめぐる状況

FIGURE 2.2: EVOLUTION OF ANNUAL PV INSTALLATIONS (GW)



- 世界の累積導入量は 510 GW超(2018年)
- 中国市場の減速とそれをカバーする新市場(2018年は前年度並みの導入量)
- 日本の累積導入量は 56 GW(2018年)  
~国内電力需要の7%

累積導入量	0.5 TW	3 TW <sup>*1</sup>	~ 20 TW <sup>*2</sup>	~ 数十 TW <sup>*2</sup>
年産量	~ 100 GW		~ 1 TW	~ 3 TW
	2018年	2030年	2040年	2050年

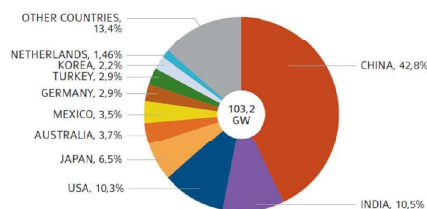
現在の数十倍~数百倍導入予想

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 2019

FIGURE 2.3: GLOBAL PV MARKET IN 2018

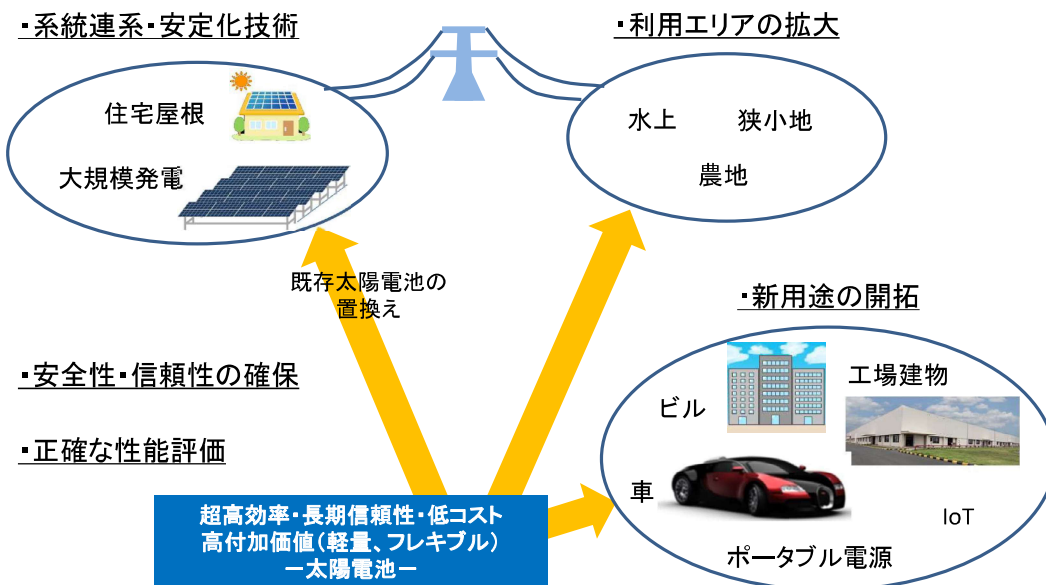


世界のマーケットシェア (IEA-PVPSより)

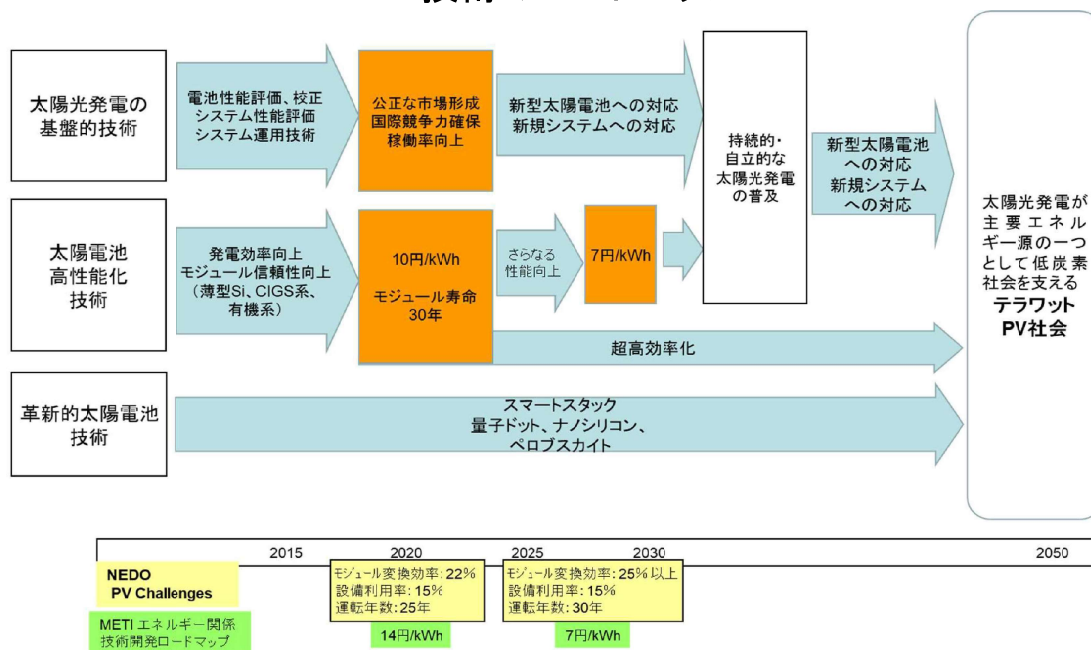
SOURCE IEA PVPS & OTHERS.



### 大量導入に向けた課題



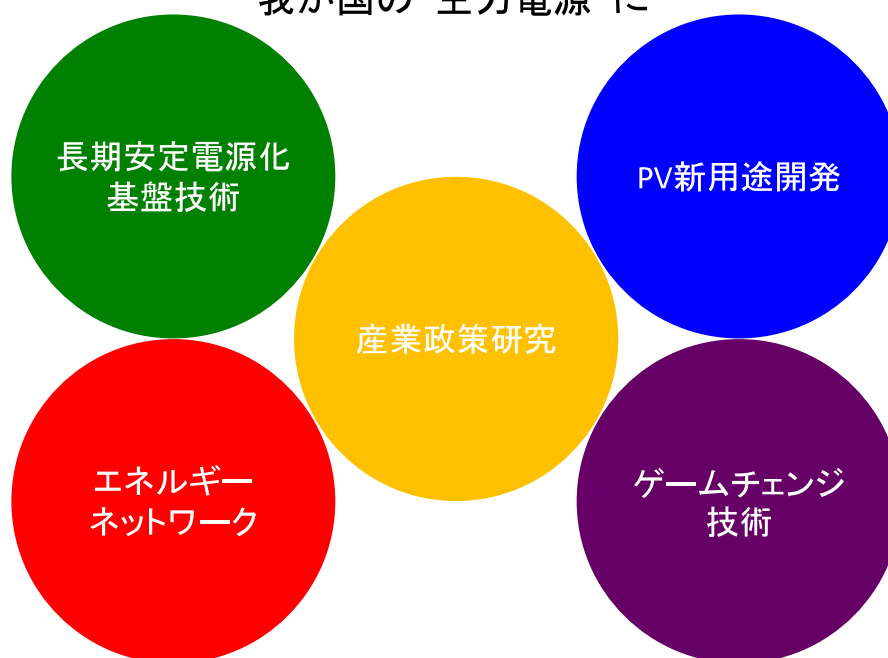
### PV技術のロードマップ



# AISTにおける 今後の太陽光発電研究

1. 長期安定電源化基盤技術  
国研として担うべき基盤技術。安全ガイドライン、O&M技術など
2. エネルギーネットワーク  
安価で大量の変動電源を受け入れる社会の実現に向けて
3. PV新用途開発  
超高効率、軽量、フレキシブルなどの高い付加価値による新規市場開拓
4. ゲームチェンジ・革新技術
5. 産業政策研究  
PVの政策的メリットや将来ビジョン

## 1. 産総研が行うべき研究の5本柱 我が国の“主力電源”に





1

スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池

(橋渡し前期)

【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30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。またIII-V族//シリコン3接合で28.6%を達成した。令和元年度には、上記4接合太陽電池で34.9%、シリコン系3接合太陽電池で30.8%超の変換効率を達成した。

【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 22報、受賞 1件、関連特許 4件

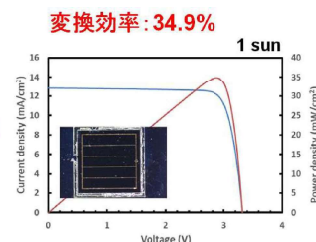
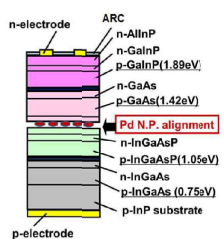
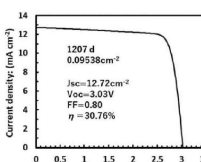
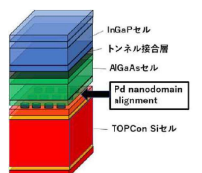


図1. InGaP/GaAs//Si 3接合素子の発電特性



InGaP/GaAs/Si 3接合素子の発電特性

高効率構造としてInGaP/AIGaAs//TOPCon Siスマートスタック太陽電池を試作、接合界面の最適処理等により変換効率30.8% (1 Sun) 達成 (昨年度28.6%)。

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

(橋渡し前期)

## 【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30年度までに、GaAs、InGaPそれぞれで50 μm/h以上の超高速成長と世界最高レベルの変換効率を達成した。令和元年度には、装置の改良によって成長モードを制御することでGaAs 120 μm/h、InGaP 141 μm/h (従来のMOVPEの約30倍)の超高速成長に成功した。GaAs 120 μm/h成長時の変換効率は20%を超え、超高速と高品質を両立している。また、世界で初めてAllnGaP、AlAsのHVPE成長を実現し、HVPEによるAlAs膜を犠牲層に用いたGaAs層のエピタキシャルフトオフ (ELO) に成功した。

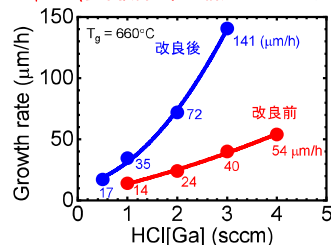
## 【成果の意義・アウトカム】

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。

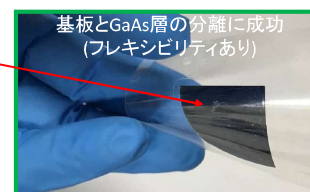
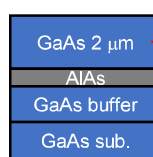
## 【アウトプット】

論文 5報、新聞報道 6件、受賞 2件

- 装置の改造によりGaAs: 120 μm/h、InGaP: 141 μm/h (従来技術の約30倍)の超高速成長を実現



HCl流量とInGaP成長速度の関係



## H-VPEでELOしたフレキシブルGaAs膜

HVPEで成長したAlAs膜を用いたGaAs層のエLOIに、世界で初めて成功した。

3

## CIGS薄膜化合物太陽電池の高効率化

(橋渡し前期)

## 【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。令和元年度は熱光照射効果とアルカリ不純物の関係を明らかにするとともに、小面積セルで効率22.1%を達成した。さらに、令和元年度から民間企業との軽量フレキシブルCIGS太陽電池の研究開発における共同研究を開始するに至った。

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

## 【成果の意義・アウトカム】

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 31報、受賞 1件、関連特許 5件

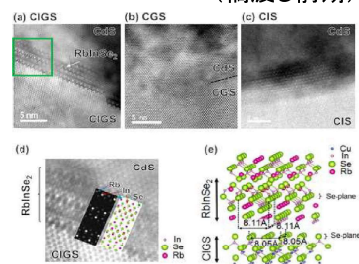


図1. CIGS太陽電池高効率化の一因と考えられるアルカリ金属化合物層の直接観察に初めて成功

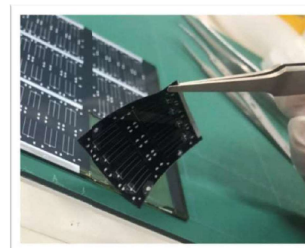


図2. 国内大手自動車会社との共同研究を開始。超軽量シート状CIGS太陽電池の試作に成功。

(橋渡し前期)

【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30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倍に増加する高速IV測定技術を、また、太陽電池モジュールの温度係数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。令和元年度は各種太陽電池モジュールの屋外測定に適用し、その有用性を検証した。屋外環境の0.3~1 kW/m<sup>2</sup>以上の広い照度範囲で、P<sub>max</sub>測定再現性を従来技術(日射計使用)の±5%程度(図1)から±1%以内(図2)まで改善することを確認した。また、開発した補正技術はIEC規格に提案中である。

【成果の意義・アウトカム】

既設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16報、新聞報道1件、受賞1件、IEC規格提案中(IEC60891)

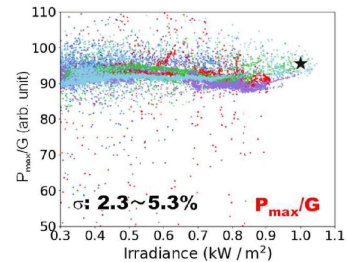


図1 屋外測定結果再現性 (従来技術)  
★は屋内測定結果

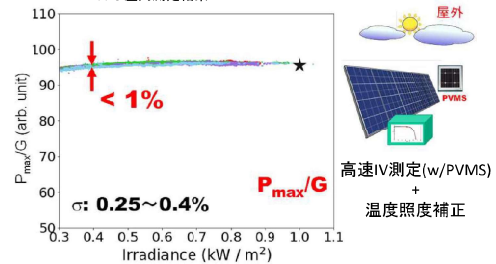
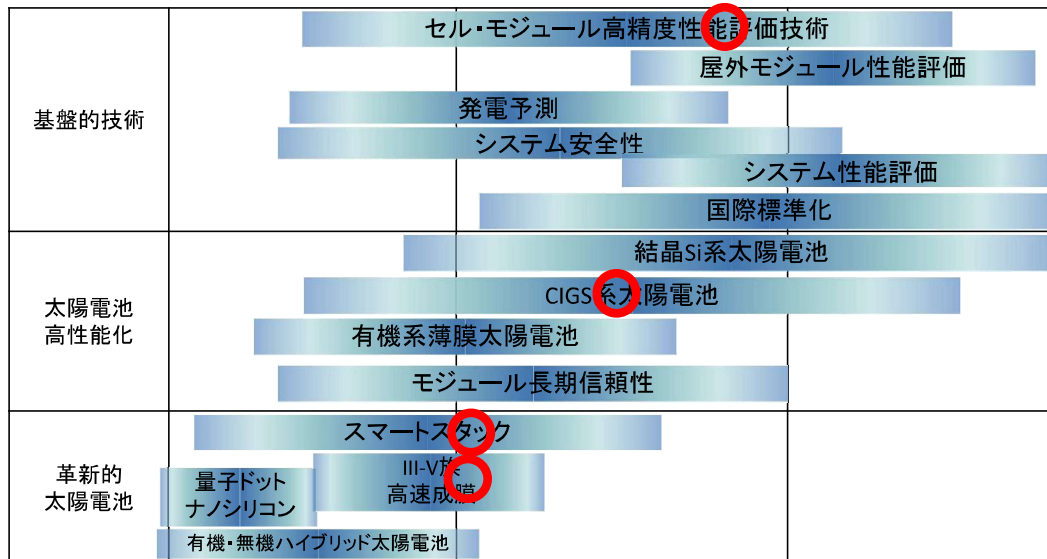


図2 屋外測定結果再現性 (開発成果)  
★は屋内測定結果



目的基礎

橋渡し前期

橋渡し後期

### 太陽電池の信頼性に関する部材・セル・モジュールの一貫研究

#### 【背景・実績・成果】

太陽電池モジュールの劣化メカニズムの明確化には、部材・セル・モジュールを一貫して研究することの重要性を世に広めた。多くの大学等と連携し、劣化現象のメカニズムを解明し、学理を構築した。平成29年度までに、セル電極材料の加速試験に関わる国際標準化を達成した。平成30年度には複数の劣化要因が関与する新たな電圧誘起劣化モードを見出した。令和元年度には、これまでの定説を覆すモデルを構築し、統一的に電圧誘起劣化現象を説明可能とした。また、反射防止膜を透明導電膜で被覆する簡便な手法で電圧誘起劣化を完全に抑止可能なことを実証した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

太陽電池モジュールの劣化メカニズムを明確化するためには、部材・セル・モジュールまで一貫した研究を行うことが重要との認識を学界に根付かせたことの意義は大きい。また、本研究に従事した2名が学位を取得し、大学でポストを得る等、若手人材育成にも貢献した。

#### 【アウトプット】

論文 50報, 新聞報道 22件、受賞 6件

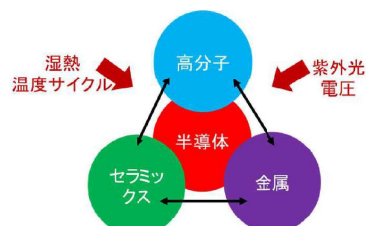


図1 モジュール劣化の一般的概念

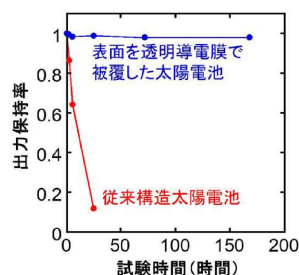
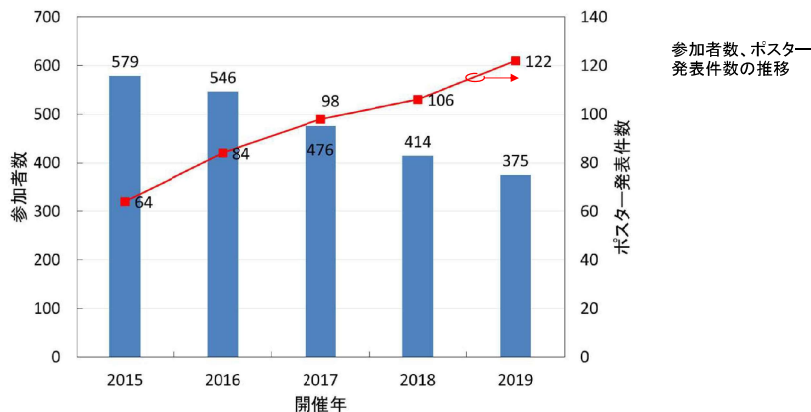


図2 表面を透明導電膜で被覆した太陽電池と従来構造太陽電池における出力保持率の電圧誘起劣化加速試験時間依存性

## AIST太陽光発電成果報告会

- 毎年、産総研の太陽光発電研究の成果を一堂に集めた2日にわたる成果報告会をつくばで開催。
- 太陽光発電研究センターと再生可能エネルギー研究センターで共同主催。
- 共同研究成果も含め100件を超える発表件数。



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

NREL, FhG-ISEとの3機関MOUの下、研究協力。

・TW Workshopを2016年(独)、2018年(米)に開催。

2020年4月日本で開催予定。

過去2回は成果をまとめた論文がSCIENCE誌に掲載された。

"Terawatt-scale photovoltaics: Trajectories and challenges" *Science* **356**, p.141 (2017).

"Terawatt-scale photovoltaics: Transform global energy" *Science* **364**, p.836 (2019).

**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。

2019年は第4回を11月に産総研(お台場)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 6名

IEC TC113 (Nanotechnology for electrotechnical products and systems) Expert 1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。

**一次基準セル校正業務**

・PTB:ドイツ国立理工学研究所  
 ・ESTI:欧州太陽光発電試験所  
 ・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

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【エネルギー関連技術】

テーマ1:「蓄電池」に関する研究開発

テーマ2:「水素」に関する研究開発

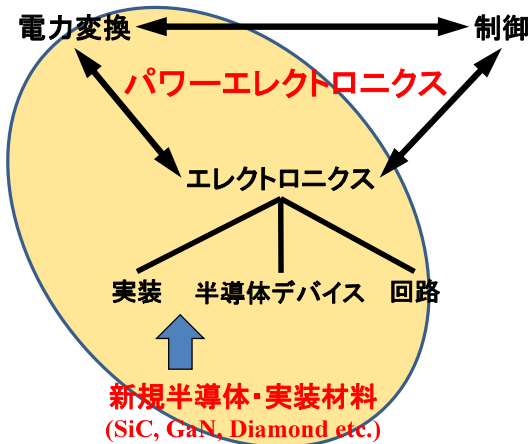
テーマ3:「太陽光発電」に関する研究開発

テーマ4:「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

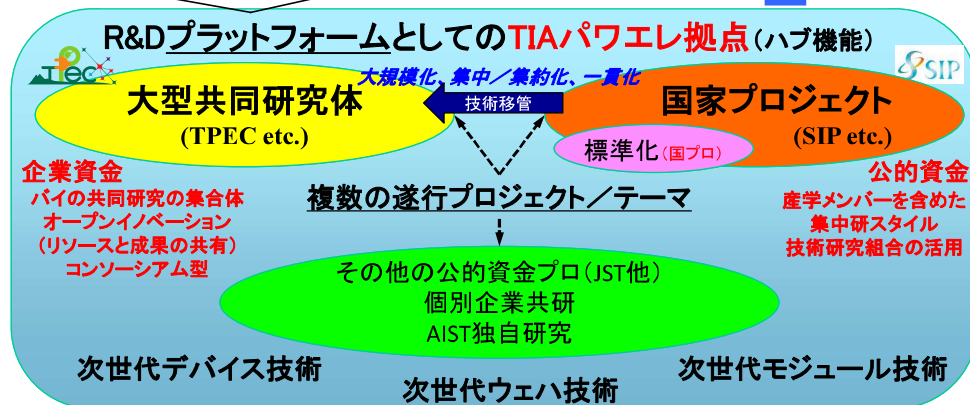
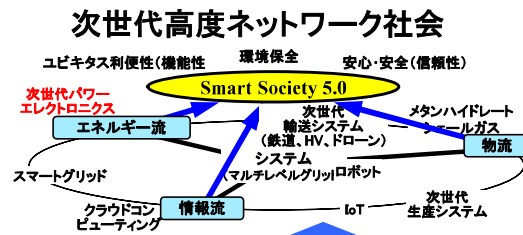


AIST パワエレR&D活動の現状

	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





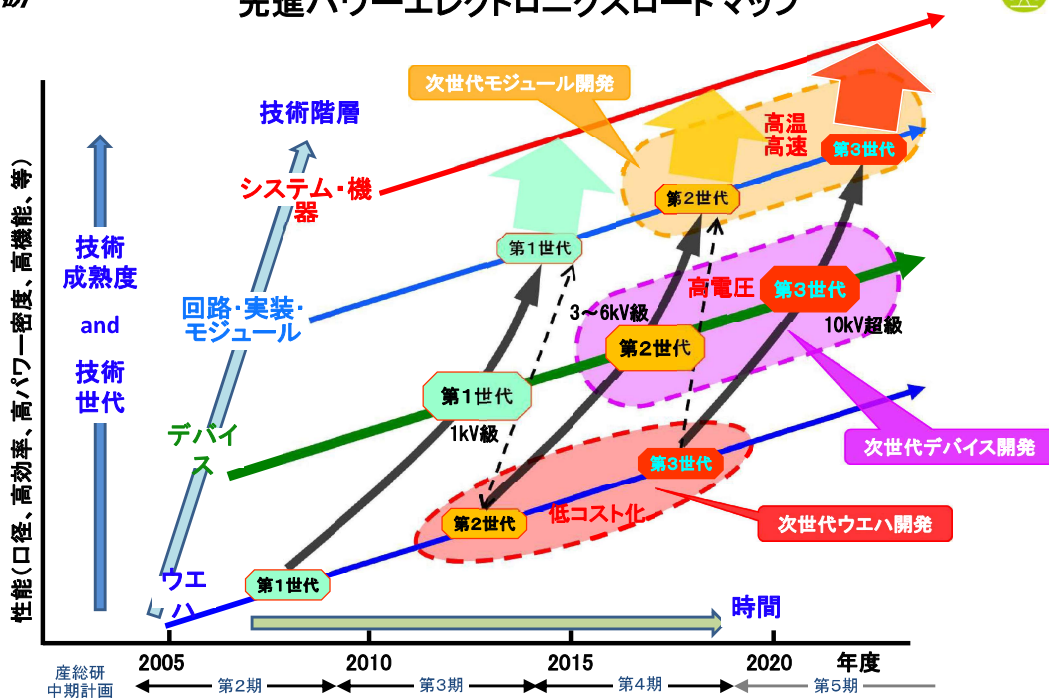
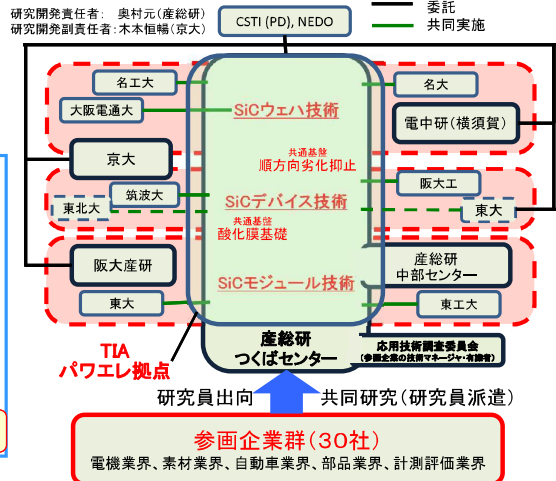
**オープンイノベーション拠点としてのハブ機能**  
**つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション**  
 (TPEG)  
 ~企業資金によるオープンイノベーション共同研究連合体~

「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」

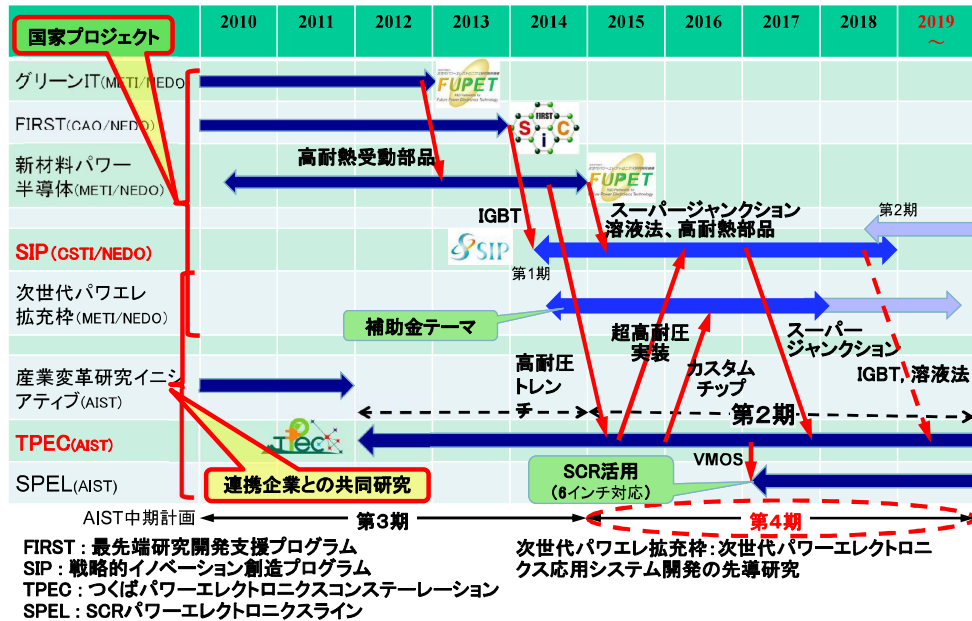
- ⇒ 参加企業が研究開発資金の大半を賄うことで、パワーエレクトロニクスのオープンイノベーション拠点を自立的に運営する民活型の共同研究体
- ⇒ 我が国独自のパワーエレクトロニクスに関する人材育成、研究開発、知識の獲得、及び、それらを活用したビジネスモデル構築が可能



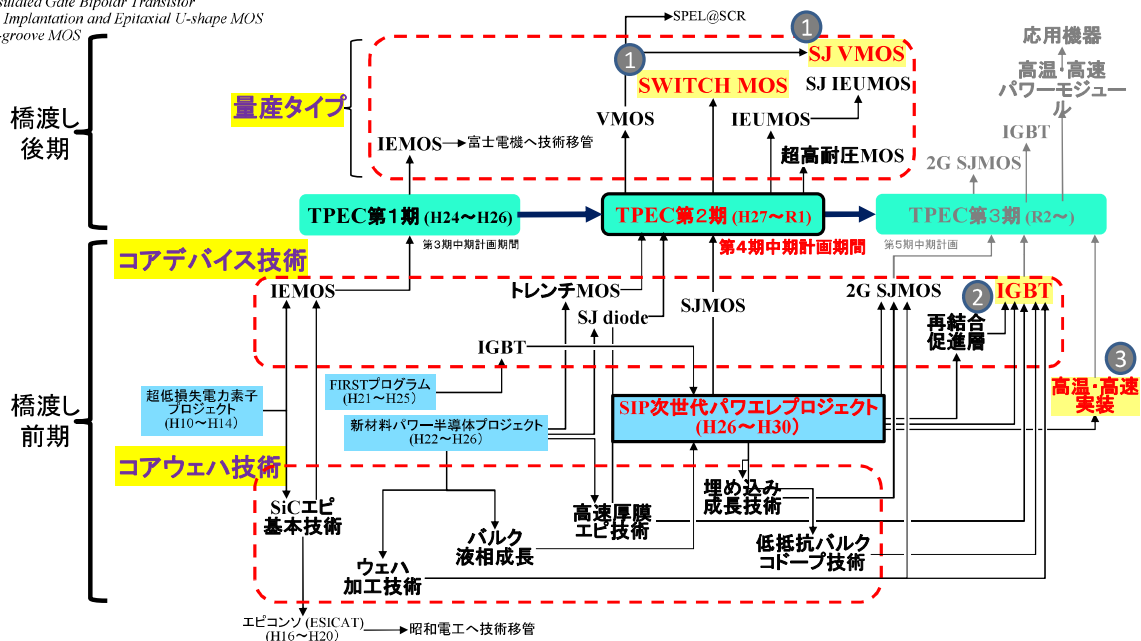
**SIP次世代パワーエレクトロニクス**  
**「SiC次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」**  
 ~産学官の有力研究者を結集した集中研体制~

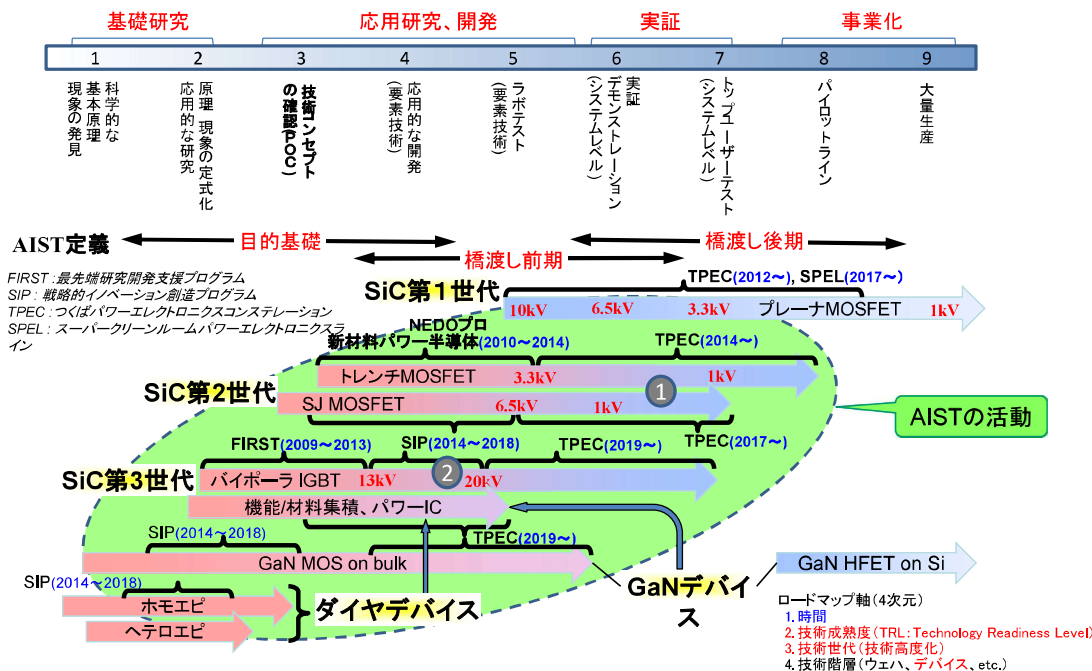


## つくばを中心とした最近のSiCパワエレ関連大型プロジェクト



MOS: Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor  
 IE: Implantation & Epitaxial (AIST Original), SJ: Super Junction  
 IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor  
 IEUMOS: Implantation and Epitaxial U-shape MOS  
 VMOS: V-groove MOS





【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級ボリュー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30年度までに低抵抗のトレンチ型MOSトランジスタや内蔵ダイオードを活用した実用的信頼性指標値の約3倍に至る劣化抑制構造を4~6インチの量産レベルで開発し、更にはスーパー Junction (SJ) 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  $0.63\text{m}\Omega\text{cm}^2$  を量産レベルで実現した。令和元年度にはSJ-MOSFETの開発を進展させ、実用レベルの高い破壊耐量を実現し、従来シリコンSJで課題のスイッチング動作時のサージ電圧を約1/4以下まで抑制することに成功した。更には、トレンチ埋戻し法により耐電圧6.5kV級SJ-MOSFETを開発し通常MOSFETの理論限界を超える  $18\text{m}\Omega\text{cm}^2$  を実現した。

【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立つと共に、SiCデバイスでのSJ技術の広範な有用性が確認出来た。当該パワーデバイス搭載機器の社会導入は電力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紙他で報道された。パワーデバイスの国際会議であるISPSDでも最優秀論文賞を受賞し、学会/産業界から高く評価されている。

【アウトプット】

誌上发表 26報、口頭発表(国際) 60報、プレス発表 4件、特許出願 98件、レシピ登録 71件、技術移転 43件、獲得企業資金 約40億円

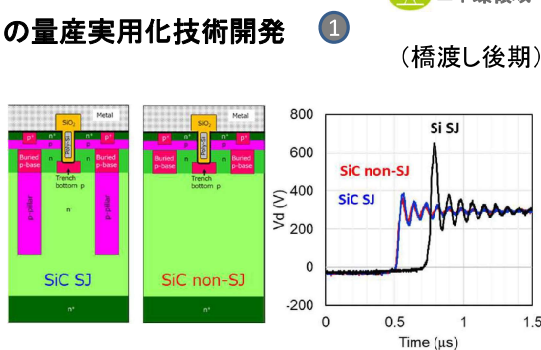


図1 SJトレンチMOSFETの構造とサージ電圧のSi-SJとの比較

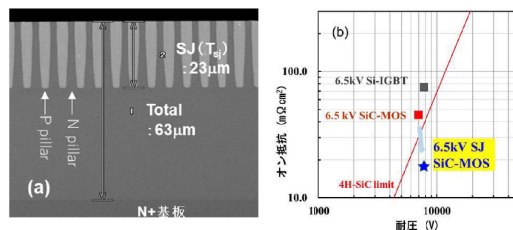


図2 6.5kV級トレンチ埋戻しSJ構造とMOSFET特性

## 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 ②

(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、高耐圧/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、100 $\mu$ 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29.6kVとIGBTトランジスタの面積当たり通電時抵抗29m $\Omega$ cm<sup>2</sup>を実現した。また、劣化現象の機構解析に取り組み、欠陥拡張現象の正孔密度での整理と実験値を定量的に説明できる理論的モデル化に成功した上で、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4,400A/cm<sup>2</sup>までの大電流密度耐性を確認した。令和元年度には、IGBTで26.8kVまでの耐圧向上を図り、試作したSiC-IGBTとPiNダイオードでの10kV超級スイッチング試験の結果、Si-IGBT3直列に対して損失60%減を実証した。SiCパワーデバイスとして世界最高の性能であり、実用化のネックである劣化問題も原理的にクリアした。

### 【成果の意義・アウトカム】

実用的なSiC超高耐圧バイポーラデバイス実現のための要素プロセスと劣化抑制構造の設計指針を確立した。本成果により、電力系統高機能化に資する超高压領域でのSiCパワーデバイス活用の目処がたつた。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。

### 【アウトプット】

査読付論文 51報、国際招待講演 13報、特許出願 55件、技術移転 48件



図1 20kV級SiC-IGBTとSi-IGBT3直列の損失比較

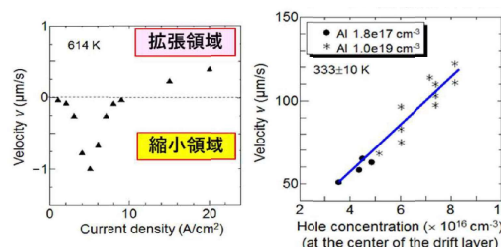


図2 積層欠陥拡張速度の正密度による整理 (目的基礎)

## 高電力密度SiCパワーモジュール関連技術

3

(橋渡し前期)

### 【背景・実績・成果】

SiC電力変換器の普及は高電力密度かつ高性能のパワーモジュール技術が鍵である。前年度までに250 $^{\circ}$ C対応の1.2kV-100A級高速動作パワーモジュール技術を開発した。令和元年度は当該技術の高速動作性向上(約1.5倍)を達成し、航空機分野などの応用機器検討を進めた。また、熱特性評価法の国際標準化に向け、国内審議団体(JFCA)と協力してドラフトを作成した。

### 【成果の意義・アウトカム】

世界最高水準の性能を持つパワーモジュール技術を基に、これを利用した応用機器の検討を進め、先進パワエレ技術の適用効果(省エネ性等)を把握した。これにより、今後の応用機器普及によるCO<sub>2</sub>排出の抑制に目処を付けた。

### 【アウトプット】

論文 23報、招待講演(国際) 4報、特許出願 7件

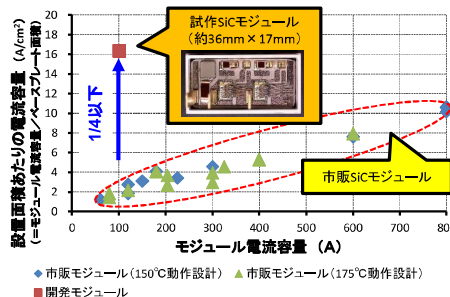


図1 パワーモジュールの小形化性能

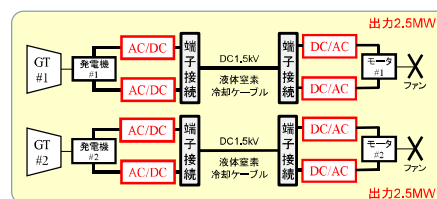


図2 MW級の高電力密度変換器によるハイブリッド航空機用給電システムの例

● **高耐圧低抵抗パワーデバイス用ウェハ** & SIP

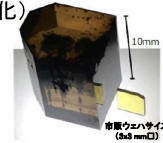
- **超低抵抗n型、p型3インチSiCバルク結晶成長**
  - ・**コーピング**技術で積層欠陥抑制と低抵抗化の両立  
N型: 6~8 mΩcm(市販品の1/3)、P型: 60~90 mΩcm(市販品の1/30)
  - ・昇華法&溶液法での低転位化(数1,000/cm<sup>2</sup>の転位密度)
  - ・溶液法で**重金属-free**、転位転換と排出
- 100μm超の高品質SiC**厚膜**成長技術
  - ・**キャリアライフタイム制御**⇒パイボラ注入制御、劣化抑制構造
  - ・大口径均一性、高純度、結晶&表面欠陥低減、**外形制御**

昇華法SiC (N-Alコープ) 3インチ積層欠陥無し  
溶液法SiC (Si-Al溶液) 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**

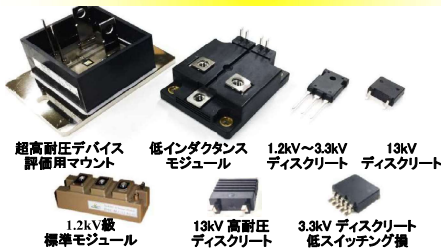
- 各種高耐圧パッケージ
- 新規高電圧応用機器開発



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)

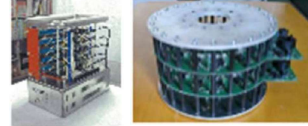


内製1kV MOSFET搭載

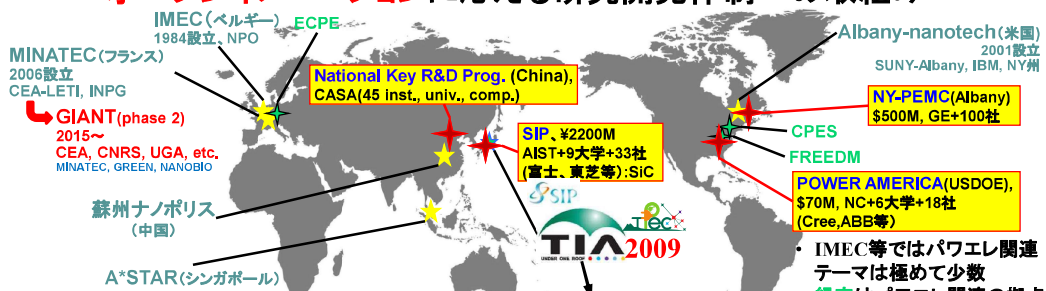
内製10kV MOSFET搭載

50kVパルス電子銃電源(理研/PPJ)

サイatron代替20kV~200Aスイッチ(KEK/PPJ)

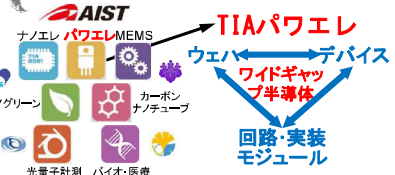


- ・産業技術イノベーションの行き詰まり **—技術の複雑化、複合化—**
- ・**オープンイノベーション**に応える研究開発体制への取組み



**パワエレ系では、AIST/TIAパワエレが世界の先陣**

・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, ナノグリーン、カーボンナノチューブ、KEK, 筑波大、東大+企業群



近年、欧米でパワエレ関連新拠点/国プロ設立の動きが活発化

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)

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、

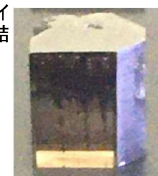
- ◆ TIAパワーエレクトロニクス拠点に産学官の研究者を結集して、SIP次世代パワーエレクトロニクス(SiC関連)、及び企業共同研究連合体つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション(TPEC)の集中研究開発体制を構築し、両テーマを両輪として橋渡し前期、橋渡し後期の技術開発を推進した。更にTPECをより発展させ、新たにSCRパワーエレクトロニクスライン(SPEL)研究体を構築した。主要な技術成果は次の通り。

- 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)

センチ級ダイヤモンド単結晶



## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【環境関連技術】

テーマ5: 「資源循環」に関する研究開発

テーマ6: 「環境影響評価技術」に関する研究開発

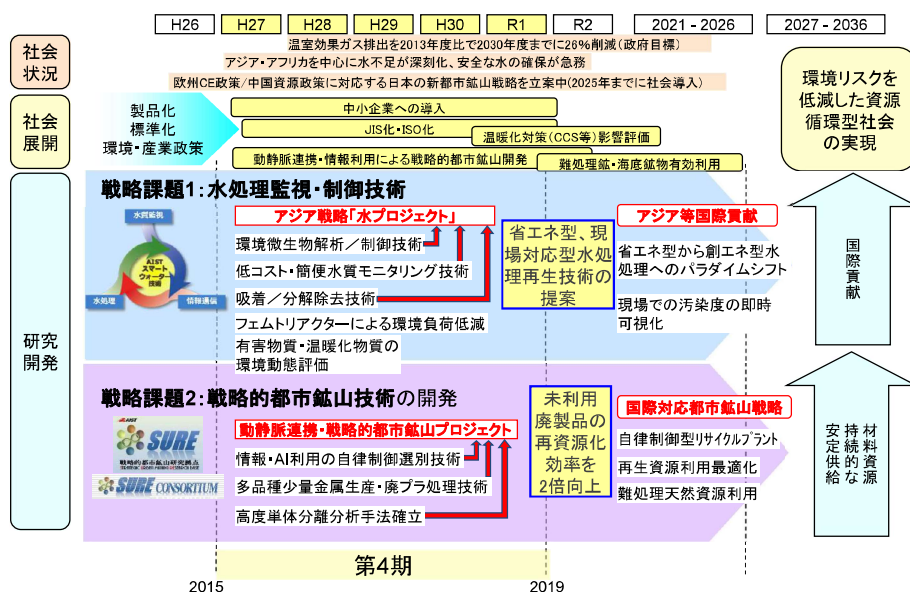
## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【環境関連技術】

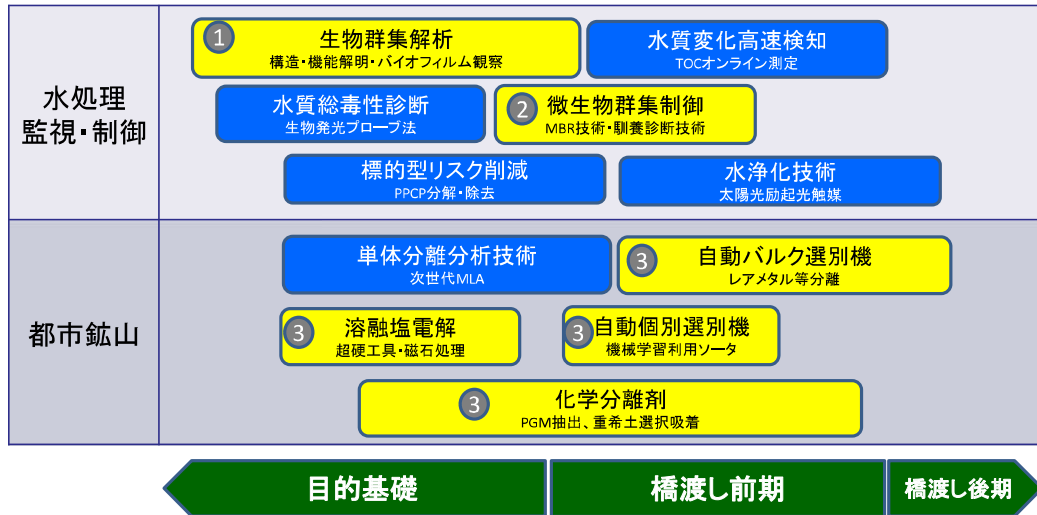
テーマ5: 「資源循環」に関する研究開発

テーマ6: 「環境影響評価技術」に関する研究開発

### 環境管理研究部門のロードマップ



## 物質循環研究のポータル



## 日・米・欧・中の「水」研究戦略の比較

	日本	米国	欧州	中国	シンガポール
技術開発動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>水の維持管理に関する技術のノウハウは企業や自治体を中心に蓄積。今後は研究機関を中心にコア技術を育成しつつIoTやAIを活用した国際標準化を推進すべき。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模な水資源開発の必要性の観点から、膜(素材研究から工業化まで)の研究を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水メジャー(仏ヴェオリア、仏スエズ、英テムズ)が世界に台頭し、海水淡水化ビジネスや大都市向けの上下水道民営化を進めつつ、国際規格化を推進。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国: 排水基準の厳格化により、基礎研究から産業化まで急速にレベルが向上。大学に大規模膜センターが設置。</li> <li>新加坡: 水資源拡大、コスト削減、水質とセキュリティ確保を目的に高レベルの研究。</li> </ul>	
政策	<p>国連は、SDGsの目標6において、「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保すること」を明記(国際目標)。SDGsは日本の最優先政策。</p> <p>産業としては、2025年頃には世界の水処理市場は100兆円を超えるとの試算もあり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2014年7月施行の「水循環基本法」により、バラバラ(経済産業省は造水・工業用水・産業振興、国土交通省は下水道、厚生労働省は水道、環境省は水環境・浄化槽)であった水環境管理行政が統合。</li> <li>2011年に環境省が策定した「今後の水環境保全の在り方について」は国内の水環境保全の在り方を提示。</li> <li>2015年に国土審議会が「今後の水資源管理の考え方」を答申。</li> <li>2014年には国土交通省が「新下水道ビジョン」を策定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水に関する法律・計画は州レベル、州を跨ぐ河川の管理等は連邦政府。連邦政府の水資源開発担当は陸軍工兵隊と内務省西部開発局。</li> <li>水ビジネスに関して、インフラ分野におけるPPP(官民パートナーシップ)関連制度は州政府によって整備を推進。</li> <li>上下水道分野における民間参入は、限定的。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>仏: 水分野はエコロジー・持続可能な開発・エネルギー省が担当。流域単位による水資源管理を基本とした政策に基づき、水資源管理を実施。</li> <li>独: 近年改正された連邦水管理法では、連邦政府の権限が強化され、表流水、沿岸水、地下水の管理について、全国で統一した条件を導入。</li> <li>英: 水分野は環境・食料・農村地域省(イングランド及びウェールズ)、スコットランド環境庁、北アイルランド環境庁が担当。2003年水法にて水資源の使用を規定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国: 1990年代後半、環境負荷を顧みない経済成長優先の結果、砂漠化、水質汚染が深刻化。2002年水法を改正し、水資源管理重視に転換。</li> <li>新加坡: 環境・水資源省の管下にある公益事業庁(PUB: Public Utilities Board)が、上下水道政策を所管。PUBは上水から下水までの水政策を担うことになった。</li> </ul>	

### 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>動静派連携の推進</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2018(2018)「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、動静派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>COMI (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2018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汚管理弁法」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1兆8000億円(約34兆9200億円, 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「都市鉱山」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

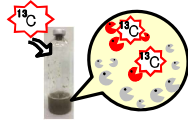
選択性

物質循環研究のまとめ

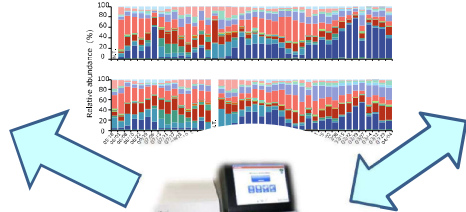
	成果	期待されるアウトカム
環境微生物解析手法における対象微生物種の拡充と産業廃水汚泥への適用	<ul style="list-style-type: none"> <li>R1FY:「廃水ビッグデータ」構築に着手</li> <li>第4期:各種産業廃水汚泥を解析</li> </ul>	汚泥中での微生物動態の詳細な解析により水処理を効率化
逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>R1FY:バイオフィルムのリアルタイムモニタリングに成功</li> <li>第4期:水晶振動子を組み合わせ、ファウリング検知技術を開発</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>R1FY:手解体・手選別の自動・自律化システムのベンチスケール要素装置が完成</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>R1FY:ネオジウムとジスプロシウムの単一工程での分離・回収を実証</li> <li>第4期:単一工程でのネオジウ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

## 研究展開事例（水処理・再生） 革新的な環境微生物解析法 ～目的基礎研究～

第4期

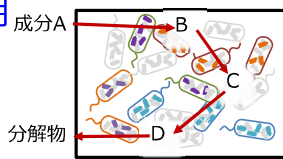


**安定同位体追跡法：**  
単離不要の鍵微生物検出技術



**共焦点顕微鏡法：**  
バイオフィームや環境微生物群集を可視化

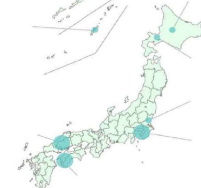
第4期



**遺伝子発現解析法：**  
誰が何をしているかを遺伝子レベルで解明

第3期

**次世代シーケンサー：**  
環境微生物の大規模同定



**環境微生物データベース：**  
国内の下水道処理施設、共同研究等で収集したデータ

第4期

新規解析法への展開と総合的な知見の融合による解析対象の拡大

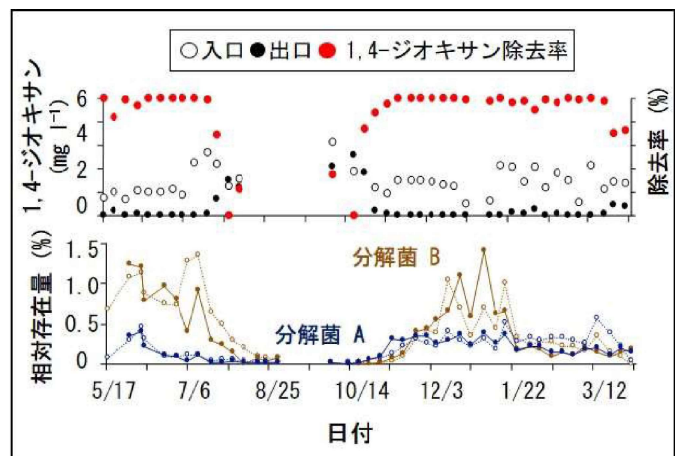
## 革新的な環境微生物解析法 ～実廃水処理への展開～

### 【技術相談・共同研究】

- ・産業排水中の残留汚染物質「1,4-ジオキサン」を処理する株式会社日本触媒の活性汚泥中から8種の新規な分解菌を同定。
- ・プロセスと解析結果から、複数の分解菌の共存と協働が水処理活性維持の鍵となることを指摘。

### 【アウトプット】

- ・論文[IF: 9.493]
- ・国内特許 1 件
- ・プレス発表（新聞等4誌掲載）



さらなる水処理プロセスの高活性・安定維持管理法を提案

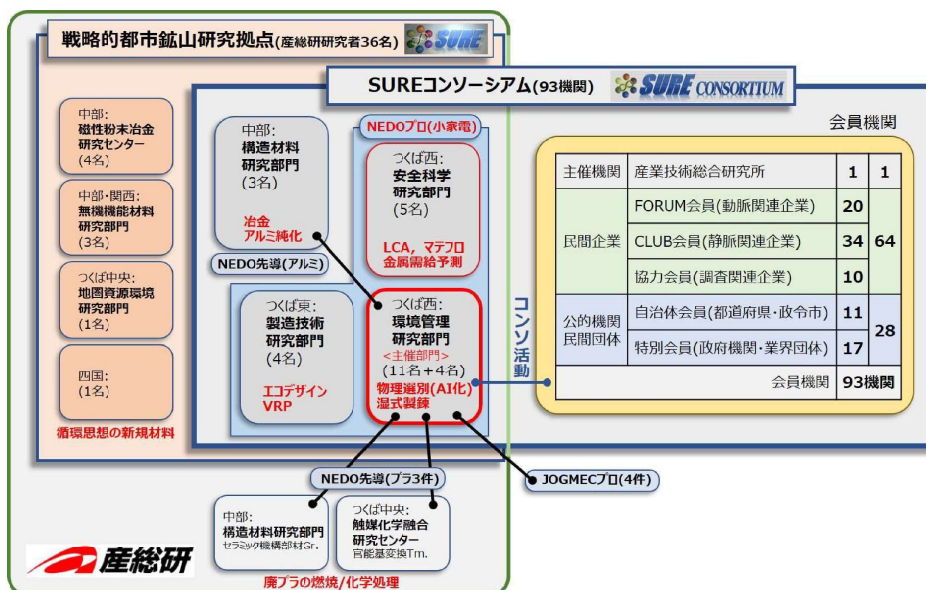
# 研究展開事例（都市鉱山）

## 基本コンセプト ～未来社会・未来技術の醸成～



リサイクル率から資源自給率へ

# 体制 ～コンソーシアムを整備～



研究拠点～産総研つくば西に2つの施設を整備～

**LATEST (分離技術実証ラボラトリ)** 国内外60機の選別機を備えた選別試験施設



**CEDEST (分離技術開発センター)** 新規装置開発のための集中研究施設



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)

① 【背景・実績・成果】

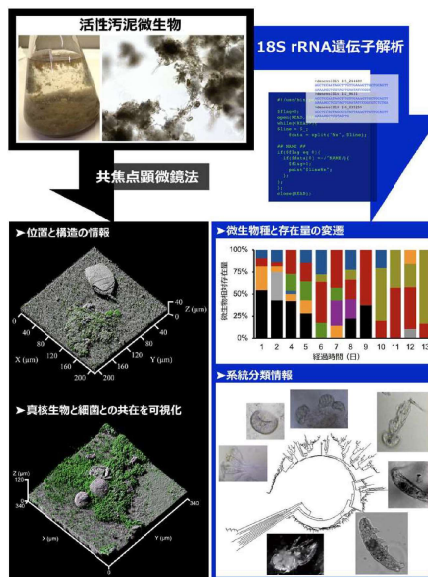
生物学的廃水処理の高効率化には、下水活性汚泥中の微生物群集の網羅的解析が不可欠である。平成27年から平成30年に、環境中の膨大な遺伝情報が取得可能な次世代シーケンサーを用いて、主要構成微生物である「細菌」および細菌より高等かつ大きな微生物である「真核生物」の大規模同定技術を確立し、それぞれ1サンプル当たり5万種および3万種の感度で同定可能となった。令和元年度は、同手法を企業5社から提供されたバイオプロセス産業廃水処理汚泥の解析に適用し、運転条件の変化に伴う処理水質と構成微生物の変化等についてデータを蓄積し、「廃水ビッグデータ」構築に着手した。

【成果の意義・アウトカム】

内閣府SIPプログラムで実施の本技術により、今後3年間で得られる廃水ビッグデータに関して、機械学習等を適用することで廃水処理プロセスの処理効率に関与する指標を特定し、これを用いた予測診断技術を確立する。運転効率化によるランニングコスト削減等が期待される。

【アウトプット】

論文 34報、関連特許 6件、プレス 2件、受賞 2件



2

逆浸透(RO)膜ろ過法における膜閉塞機構の解析

(橋渡し前期)

【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。平成27年から平成30年に、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、精密ろ過膜で新たなファウリング機構を解明するとともに、RO膜上での膜閉塞物質の解析に成功した。令和元年度には、膜材料であるPVDFで製膜した水晶振動子(QCM)を用い、周波数とインピーダンスの経時変化を計測することでQCM上バイオフィルム形成のリアルタイムモニタリングに成功した。またQCM電極表面を共焦点顕微鏡で観察することで、膜閉塞原因物質や微生物の堆積で形成されたバイオフィルムの構造物も確認することに成功した。

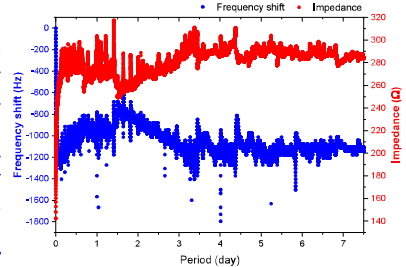


図1. 膜閉塞原因物質形成過程におけるQCMの周波数(青)とインピーダンス(赤)の経時変化

【成果の意義・アウトカム】

高感度センシング技術と最先端の光学的解析技術を併用することで、水処理膜のファウリング形成過程をリアルタイムでモニタリングする装置開発が期待される。本成果を、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へと展開し、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。

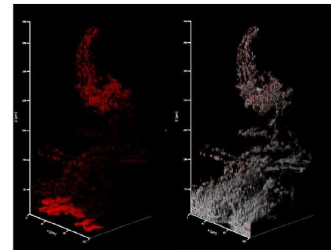


図2. QCM電極表面の共焦点顕微鏡像  
膜閉塞原因物質堆積(右)と視細胞(左)の観察像

【アウトプット】

論文 7報、関連特許 1件、プレス 1件、受賞 1件

3

戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発

(橋渡し前期)

【背景・実績・成果】

都市鉱山の戦略的開発には、低コストな高度金属回収技術が必要である。平成28年度までに物理選別では小家電無人選別システムを構築、精錬技術では濃縮系で磁石から希土類回収の工程短縮概念、希薄系で高選択性吸着剤の官能基を決定した。令和元年度には物理選別でシステムの各要素選別装置(ベンチ機)が完成。精錬技術では、濃縮系で溶融塩電解のみでネオジウムとジスプロシウムを同時回収を実証、希薄系で軽希土類元素の高効率相互分離を達成した。

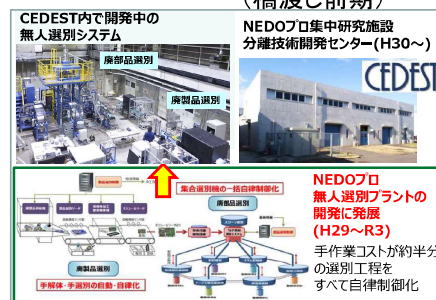


図1 物理選別—無人選別プラントの開発—

【成果の意義・アウトカム】

物理選別の要素装置開発に成功し、一貫無人システムの技術基盤を構築した。精錬技術では濃縮系・希薄系での分離目標を達成し、技術確立の見通しがついた。本技術開発は、多様なメディアを通じて高く期待されているところである。



図2 精錬技術—国内立地可能な簡便システム—

【アウトプット】

論文58報、新聞・雑誌39件、テレビ5件、受賞8件  
知財: 国内出願: 30件、国外出願: 19件、実施契約: 9件

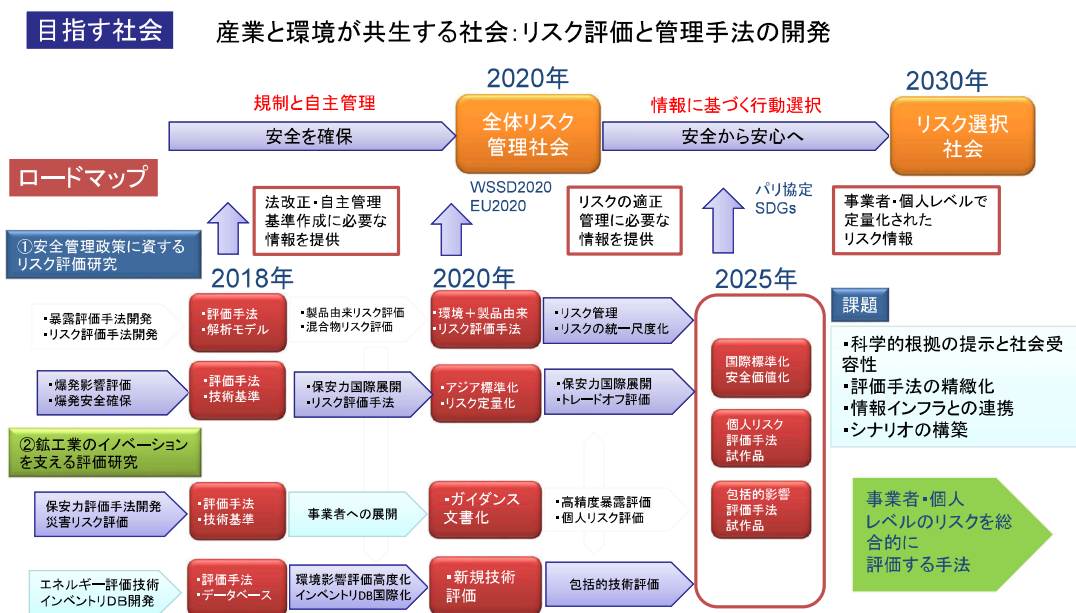
## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### 【環境関連技術】

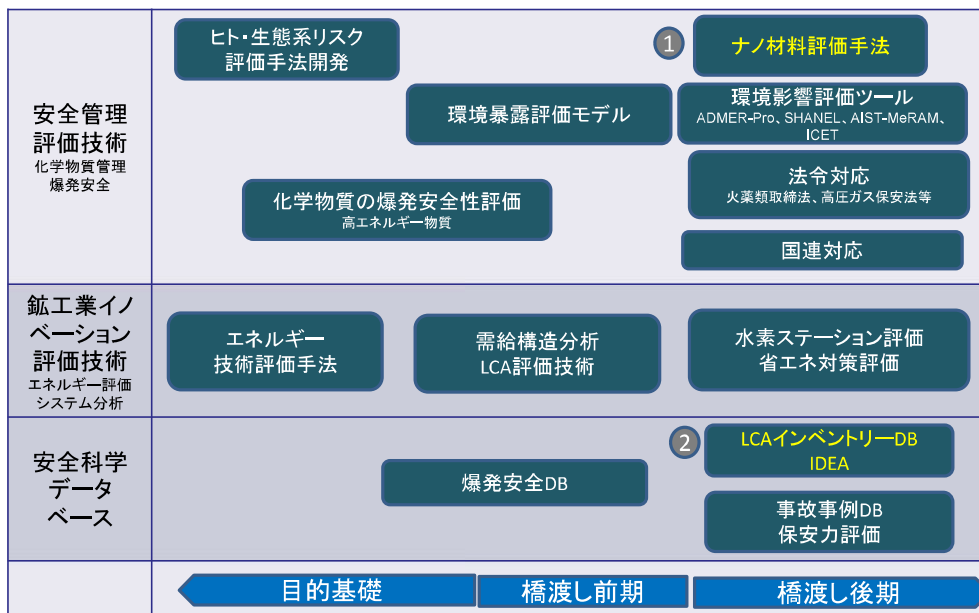
テーマ5:「資源循環」に関する研究開発

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



### 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

(橋渡し後期)

**【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が、その評価手法等は存在しなかった。

・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)。

・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1)、皮膚透過性試験手法、排出・暴露評価手法を確立した。令和元年度には、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した(図2)。

**【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 31報、新聞報道 5件、プレス発表 1件

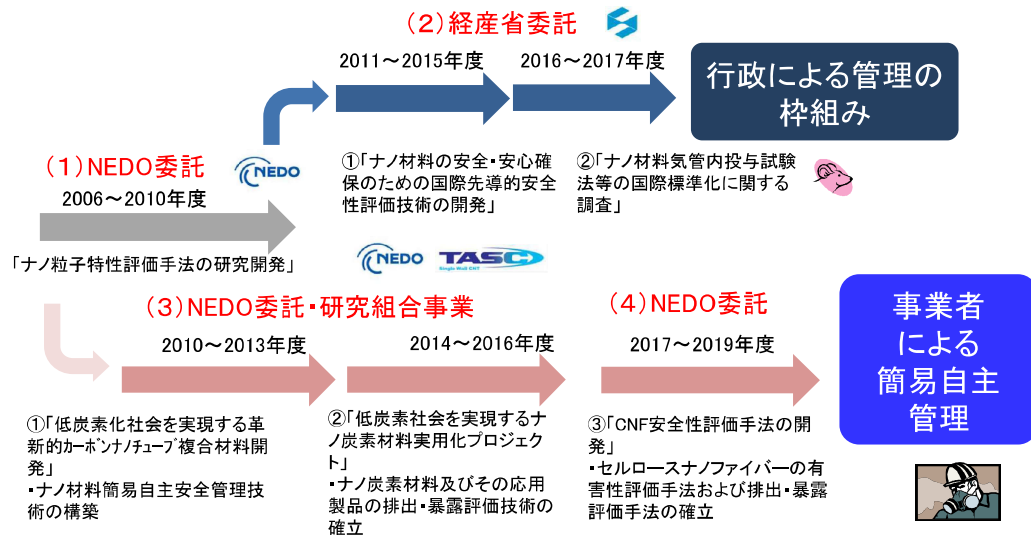


図1. CNFの気管内投与試験のイメージ図



図2. CNFの安全性評価に関する各種ガイダンス文書

## 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) は世界で最初に発表され、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>している点の特徴</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

インベントリーデータベース(IDEA)の構築と普及

(橋渡し後期)

【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のインベントリーデータベース(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。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。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。令和元年度には、IDEA v2.3へのアップデート、IDEA海外版の公開を実施した。

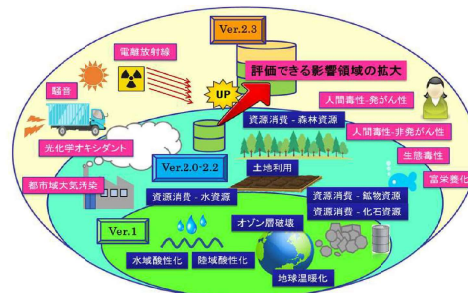


図1 環境影響領域の拡大

【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。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。

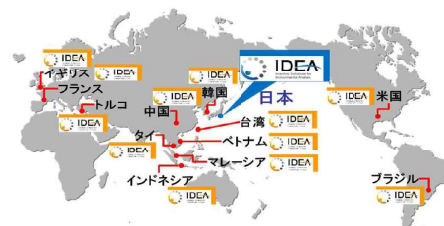


図2 IDEAの海外展開

【アウトプット】

受賞 1件、関連特許 3件

## 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**。

#### <日本>

- ・ **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~)
- ・ LCA活用推進コンソーシアム設立へ(2020年3月16日: シンポジウム-SDGs時代の環境経営-)

#### <海外>

- ・ 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。

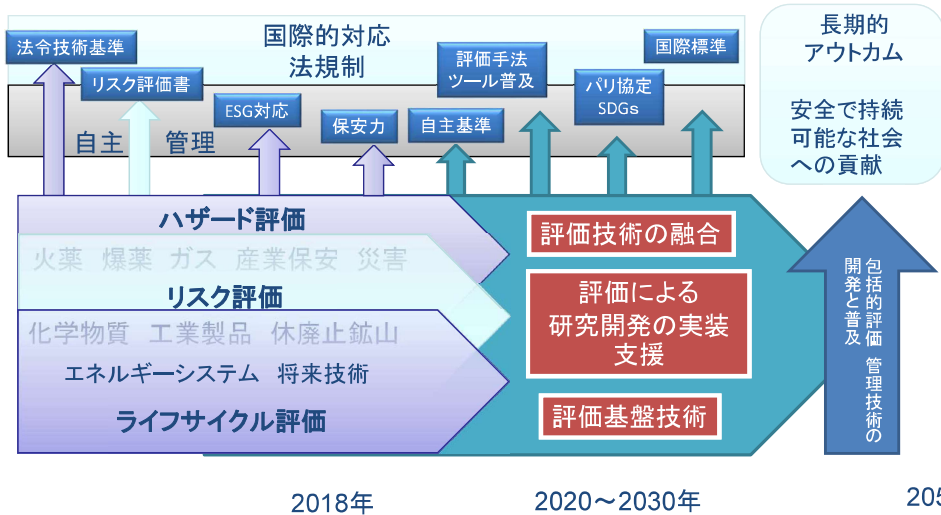
## 環境負荷排出量データベース開発

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 Inventory Database for Environmental Studies	日本+12カ国 (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)	約3,900 (日本) +3900*12カ国	産総研	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 National Institute for Environmental Studies	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)
thinkstep GaBi	欧州+世界	約12,000	thinkstep	販売収入	有償販売
ELCD European Reference Life Cycle Database	欧州	約600	JRC EUROPEAN COMMISSION	EC予算	無償(登録)
U.S. Life Cycle Inventory Database	アメリカ	約1,500	NREL NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY	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



# ご清聴ありがとうございました



## 2. 「橋渡し」のための研究開発 - 別添資料 -

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。

### 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。令和元年度は、令和2年度末までに行う試掘有望地点として3地点の選出を行い、そのエネルギー量の評価を実施した。

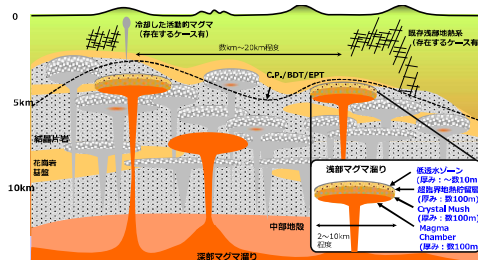
#### 【成果の意義・アウトカム】

超臨界地熱資源による国内発電総容量を2050年以降に数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、朝日新聞等で報道され、高く期待されている。

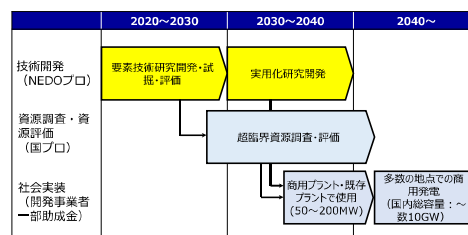
#### 【アウトプット】

論文 8報、新聞報道 2件

#### (目的基礎)



我が国での超臨界地熱システムモデル図



超臨界地熱資源開発プラン

## 地域の地下水環境を有効活用した地中熱交換器の開発 (橋渡し後期)

## 【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簡易熱応答試験法の有効性評価を行った。さらに令和元年度では、福島県内の地質の異なる複数地点において本簡易熱応答試験法を実施し、みかけ熱伝導率(λ値)分布マップを作成した。

## 【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。また、簡易熱応答試験法が確立されることにより、地質調査時での地中熱システムの導入・検討が可能となり、従来工法よりも高精度・安価・調査時間の短縮が実現する。同時に、福島県内におけるλ値の分布図を作成・公開することにより、県内への地中熱システム導入の起爆剤となり得る。

## 【アウトプット】

論文 4報、新聞報道 3件、関連特許 2件

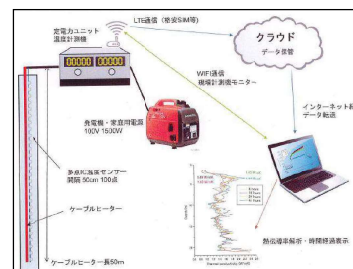


図1 簡易熱応答試験法の構成

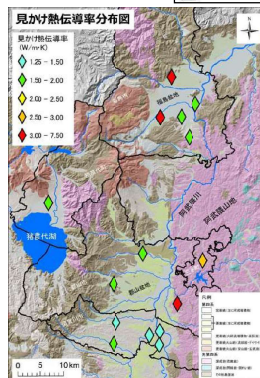


図2 福島県中通りにおけるλ値分布図と地質図

## 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 (橋渡し前期)

## 【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年度から令和元年度にわたり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、モデルの見直しを行い、連携機関と協力して海洋産出試験で得られた生産挙動などの検証を進めた。また、新たに研究開発対象となった表層型メタンハイドレートに対して本技術を適用し、力学的な物性値を明らかにした。

## 【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 11報、新聞報道 3件

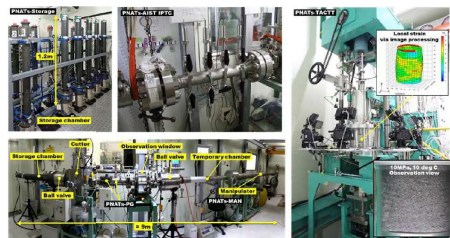


図 圧力コア解析装置群  
(Pressure-core Nondestructive Analysis Tools, :PNATs)  
【出典:MH21総括成果報告書】



※表面の灰色の付着物は掘削時の泥

日本海上越沖から採取された塊状の表層型メタンハイドレート  
採取地点の水深は約900 m、海底下約14 m  
温度4℃、水圧10 MPa環境下を撮影

図 表層型メタンハイドレートの圧縮試験の様子

([https://www.aist.go.jp/ais1\\_j/press\\_release/pr2019/pr20191128/pr20191128.html](https://www.aist.go.jp/ais1_j/press_release/pr2019/pr20191128/pr20191128.html))プレスリリース

テーマ名:ダイヤモンド半導体基盤技術

(目的基礎)

【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、高品質のイ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反転層チャネルMOSFETの動作実証に世界で初めて成功した。令和元年度には、世界最大である一辺2cm長の単結晶自立ウェハを実証すると共に、同種ウェハを用いて、ダイヤモンドpinダイオードでSiデバイスに比肩する耐圧6.5 kVを実現した。

【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 81報、新聞報道 39紙

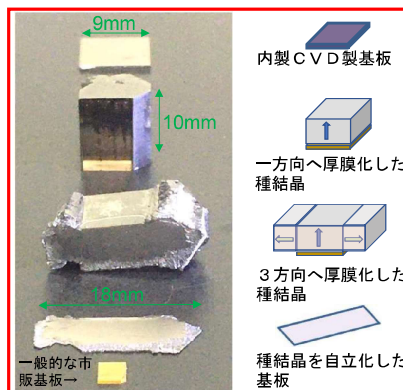


図1 プラズマCVD法によるダイヤモンド大型基板作製

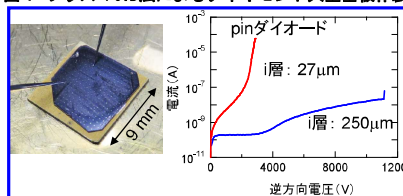


図2 内製基板上に作製したpinダイオードと逆方向特性

(HydroMate)

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

(目的基礎)

【背景・実績・成果】

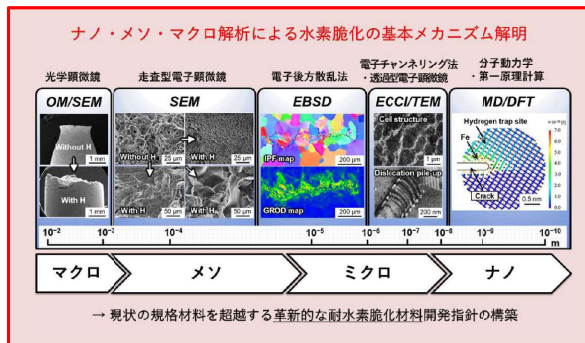
耐水素脆性を有する高強度材料を開発するために、材料への水素の影響をナノからマクロレベルで解析し、水素脆化現象の根源的な理解を目指している。令和元年度は、き裂先端のミクロな水素濃度勾配についてシミュレーションを実施し、水素環境下での疲労き裂進展の加速を支配している因子は、き裂先端における水素量の絶対値ではなく水素の濃度勾配であることを新たに見出した。

【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。令和元年度はCorrosion Science (IF:6.355)などに成果が掲載された。

【アウトプット】

論文 13報(平成29-30年度)



### 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

(目的基礎)

**【背景・実績・成果】**

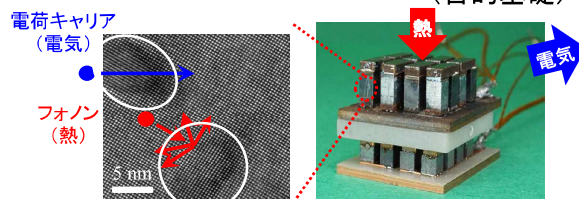
熱電変換技術を普及させるためには、変換効率の向上と資源制約からの脱却が不可欠である。既存技術では7%程度であった変換効率を、ナノ構造の形成などにより平成30年度に12%まで向上させた。令和元年には、資源制約の少ない元素(銅と硫黄)を用いた熱電変換材料を開発して、これまで希少・毒性元素を用いなく達成が困難であった熱電性能指数 $ZT = 1.0$ の壁を突破した。

**【成果の意義・アウトカム】**

変換効率12%は、自動車において5%以上の燃費改善に相当し、また資源制約から脱却する道筋が付いたことから、本格的な実用化開発が期待される。Energy & Environmental Science(IF: 33)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 66報、新聞報道 16件



ナノ構造 基板サイズ:18 mm × 15 mm

図1 (左)高効率化をもたらすナノ構造: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。(右)変換効率12%の熱電モジュール:高温劣化を抑制する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。



図2 (左)資源制約の少ない元素(銅と硫黄)を用いた熱電変換材料(コーナースイト $Cu_{26}A_2E_6S_{32}$  (A = Nb, Ta; E = Ge, Sn))。 (右)複雑な結晶構造に起因した低い格子熱伝導率が高い熱電性能指数をもたらす。

### 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の耐久性評価方法開発

(橋渡しし前期)

**【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 $SO_2$ )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。令和元年度は、電解質中のプロトン溶解量や導電率低下による劣化との相関を解明した。さらに水蒸気分圧分布、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、高効率化・強靭化 SOFC の設計指針を提示した。

**【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。令和元年度は、共同研究、技術コンサル等で、8社のセル・スタックの評価(固体酸化物形電解セル(SOEC)を含む)を実施した。SOFCの高耐久化等が進展して、SOFCの本格普及とSOECへの展開で水素社会実現に寄与する。

**【アウトプット】**

論文 24報、受賞 1件、新聞報道 4件、特許関連 2件

**劣化機構の理解に必要な基礎データを収集**

- 高効率(高燃料利用率、高電圧)運転等を進める上での懸念点
- 水蒸気分圧増加(特に燃料極、空気極も考慮)
- 電流分布、温度分布の変化(電流集中、局所的な温度上昇)
- 電解質薄層化の影響

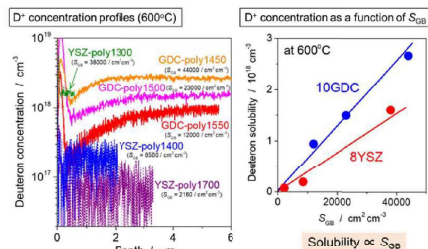
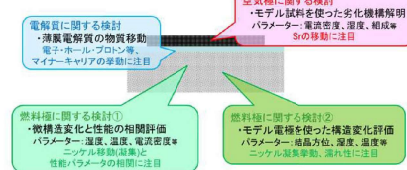


図: YSZにおける溶解DのSIMS分析結果(左)と、溶解量の粒子密度依存性(右)

【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30年度までにディーゼルEGR(排気ガス再循環)システムの機能低下の原因の一つであるデポジットの生成メカニズムの解明や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。

令和元年度では、デポジットについては、壁温の影響により、固体状のスス(Soot)は熱泳動、多環芳香族炭化水素(PAH)は凝縮・吸着、また一部PAHが酸化、窒素化を経て高分子化しながら成長することを解明した(図1)。燃料噴霧解析では、ガソリンインジェクターのTip Wetting現象を解明し、ノズル形状の最適化やその制御手段を明らかにした(図2)。

令和2年度では、デポジットについては燃焼室にも着目したメカニズムを解明、噴霧解析については雰囲気温度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及び得られた結果は自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)や民間共同研究で高い評価を受け、すでに3社に採用されている。

【アウトプット】

論文6報、講演発表5件

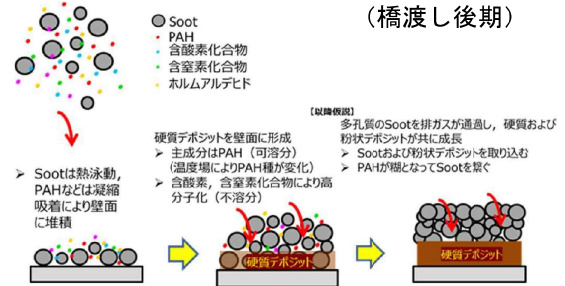


図1 EGRデポジットの生成メカニズム

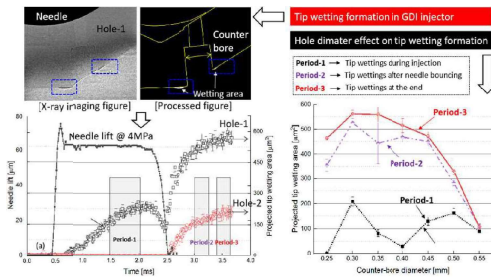


図2 ガソリンインジェクターのTip Wetting現象及び制御手段の検討



## 主な指標の情報

	平成 27年度 実績	平成 28年度 実績	平成 29年度 実績	平成 30年度 実績	令和元年度 12月末 実績	令和元年度	
						3月末 見込	目標値
民間資金獲得 額（億円）	19.6	23.2	22.5	23.5	23.5	24	46.5
論文の合計被 引用数（回）	15,552	16,302	17,474	19,423	19,339	20,000	17000
論文発表数 （報）	462	433	491	472	384	480	455
リサーチアシ スタント採用 数（名）	23	28	50	44	40	42	40
イノベーション スクール採用 数（名）	2	4	0	0	1	1	
知的財産の実 施契約等件数 （件）	93	95	130	114	132	135	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期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・ 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。
- ・ KPI が第4期を通して向上しており、基本戦略がマネジメントにより浸透している結果として評価される。社外資金については目標値に到達していないものの増加傾向にあり、産業界に役立つ研究提案に向けたマーケティングの成果が現れているものと思われる。数値以上に研究員の意識変革も重要な成果ではないかと考える。
- ・ 橋渡し機能の強化は、シーズ技術の企業移転を促進する有効な取り組みであった。
- ・ FREA 企業シーズ支援は、中小企業を持つ技術を豊富な知見と研究設備を活用して上市を支援する、際立って優れた取り組みとして大いに評価される。製品化まで至った件数も多く、成果も上がっている。
- ・ 技術コンサルティングは、産業界にとって非常に有用な仕組みとして評価される。産総研の持つコア技術を外部展開することで産業界全体の技術の底上げと国際競争力向上につながると期待できる。
- ・ オープンイノベーションコンソーシアムでは、プラットフォーム提供とマネジメントの役割を果たされ、産官学の研究開発の促進に貢献されている。
- ・ 内部のみならず外部の研究人材育成に注力されていることも評価される。
- ・ 国際ワークショップ・共同研究を通して海外連携を継続して行われていることは評価される。今後は、その成果や収集した情報を産業界に向けてより積極的に提供・発信し、国内産業界の再エネ導入への取り組み加速に貢献していただきたい。
- ・ 第4期はリニアモデル(LM)からの脱却期であったと総括されよう。産総研のシーズを民間のニーズに橋渡すLMから、ニーズからシーズを探して育てるモデルへの転換であった。この転換に伴い、産総研のプレイヤー(研究)機能の一部はマネージャー(コーディネータ)機能へと所掌転換を強いられ、欠けたプレイヤー機能を国内や国外との連携強化によって補ってきた。これは産総研を取り巻く状況変化を鑑みる時、きわめて正しい選択であったと評価する。
- ・ 京大・産総研ラボでの金属-空気電池用材料開発研究はこうした大学連携の成功例である。
- ・ 当該領域は民間資金、論文被引用ともに産総研トップであり、かつCNCI/民間資金プロットでも、国内外の研究機関と比較してトップクラスのパフォーマンスを示しており、研究と業界マネジメントの困難な両立を果たしている点を高く評価する。
- ・ 2050年にCO2排出を80%削減するためのエネルギーシステム予測技術を構築し、その精密化がなされた。今後の政策決定に生かされることを強く期待する。

#### (1) 領域全体の概要・戦略

- ・ 研究機関のアクティビティを評価する上で最も重要な項目はやはり、論文被引用数、発表件数、外部表彰です。これらの数値が目標値を上回り、特に被引用数が年度を追って増加していることは、エネルギー環境領域の第4期研究が高いレベルで遂行されたことを意味しています。部門平均で見て、評価できるレベルであったと考えます。

#### (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

- ・ 技術コンサルティングの件数が計画通り着実に伸びています。産総研が保有する技術を、ベテラン層の知識と経験に基づいて、ビジネス現場で現実的に使える技術に噛み砕いて指南・指導されてきた結果だと思料します。また、契約金額をみても、安易な安売りではない良質な契約であることが認識できます。引き続き件数の増加に努めていただきたいと思います。
- ・ 技術コンサルティングの伸張には、産総研の研究者と課題を抱える民間等を結ぶ優れたイノベーションコーディネータの存在がうかがえます。人材活用の点からも成功した例といえます。
- ・ 技術コンサルティングは、ビジネスの現場にあるニーズに直接触れる機会でもあり、産総研の新たな研究テーマの発掘も可能だと思料します。第5期研究においても継続した活動をお願いします。

#### (3) マーケティング力の強化

- ・ 領域独自の研究ビジネスのモデルを確立したことは、第5期につながる大きな成果ではないでしょうか。

特に技術コンサル型と呼んでいるモデルは、コンサルタント会社を介したこれまでにない画期的なビジネスモデルだと思います。この仕組みがあれば、一人で何件もの事業をマネジメントできます。新たな取り組みとして今後も期待しています。

#### (4) 大学や他の研究機関との連携強化

- ・クロスアポイントによる大学との人事交流、オープンイノベーションラボラトリーの整備など、大学との連携強化は、試験装置などのハードの共有による研究の加速だけではなく、人的交流による人脈形成、若い学生から得る様々な刺激による”ひらめき”など、目に見えない効果と相まって、産総研の学術レベルの向上に貢献したと思います。今後も拡大発展させていただきたいと思います。

#### (5) 研究人材に関する取り組み

- ・研究機関にとって、研究者の固定は弊害になりかねないので、人材の流動は重要です。しかし、産総研のように高度な人材の流動先は、一部の大学などに限定されてしまうので、流動の機会を多く確保する必要があります。この観点で、外部人材雇用制度を、クロスアポイント制、特定集中研究専門員制、リサーチアシスタント制の3通り確立させたことは、多種多様な研究者の受入れ体制を整備した意味は大きく、評価できます。

#### (改善すべき点及び助言)

- ・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。
- ・出口に近い研究開発が、重視される風潮のようだが、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。歴史的にも、近藤効果とかヤリイカとか、革新的、優れた成果のように。
- ・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。
- ・蓄電池や水素に関しても、今後、脱化石燃料が、要求されよう。再生可能エネルギーを基盤にした研究開発の展開を期待したい。
- ・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や社会課題解決などは、領域内外の横断連携強化を期待する。
- ・電源構成を予測して技術開発の方向性を決定することは重要であると考えます。本検討結果と注力研究テーマ数や投入する研究費及び人員数等とをリンクさせて説明いただけると研究戦略の説得力が増すと思われる。また本結果は産業界にとっても有用なため、前提条件、仮定、モデルなど明確にして論文化などにより公開していただけるとよいと思う。
- ・研究員数が第4期を通して漸減している。中期計画どおりならエネルギー・環境の研究がシュリンクしていくように見えるがよいのだろうか。或いは、計画外の減少なら、研究が一部遂行できなくなったということか。計画した目標を達成するための人的リソースがしっかり確保されているのか懸念される。
- ・コーディネータ機能の重要性増大に伴い、成果発表におけるコーディネータ成果もその重要性を増している。問題は定量的指標がまだ見つかっていないことである。マーケット規模の見積りと現状比較に基づく新しい指標の探索は、それ自体、重要な研究課題となろう。

#### (1) 領域全体の概要・戦略

- ・民間資金獲得実績値が、目標の半分程度であったことは、目標未達成として反省すべきなのかもしれませんが、産総研のミッションは、民間資金を得ることではありません。最終的には日本国民を含む人類の福祉と繁栄に貢献することであるはずで、この数値目標に第4期を通して振り回されたことは、我々評価委員を含めて反省すべき点であったと思います。一方、ポジティブに考えれば、目標達成のために打った技術コンサルティングやマーケティング力強化などの様々な手段は、結果論ですが、よい効果をもたらしていると思います。第4期に始めた産業界との連携の枠組みを育てることが今後も重要と考えますので、第5期でも弛まず進めてください。
- ・民間企業は技術の筋を見極める場合、論文の発表/被引用数 (P9の左図) よりも、他社差別化のための知財の数と質を見ていることが多いと思います。知財権数の目標値は達成されていますが、「目的基礎」の段階で出願する知財も重要ですが、民間資金による「橋渡し研究」の成果をベースにした知財権がどれだけ得られるかが民間企業では優先されるように思います。本来ならば、論文1報につき知財1件ぐらいはあってもよいと思いました。
- ・政策対応の研究 (P14) においては、法令、規格、ガイドラインなどがアウトプットになりますが、扱う技術は一般にオリジナリティが高く、ビジネスに直接繋がらない特殊技術に属することが多いと思いますが、産総研発のビジネスモデル提案があってもよいと感じました。

## (2) 研究人材の拡充、流動化、育成

- ・人材育成は、第4期当初から重要な課題と位置付けて議論してきたテーマです。大学は教育という側面もありますが、産総研の研究者は基本的に研究だけを仕事とするエキスパートです。だからこそ研究のモチベーション維持が非常に重要です。国内外の大学とのクロスアポイント制度を利用した交流はモチベーションにもなり、もっと取り組むべきかと思います。第5期ではグローバル化を進める計画になっているので、国外との関係強化について、具体的な計画を策定してください。
- ・大学連携における副作用ともいうべきは、大学への人材流出です。組織の年齢構成上でやむを得ない場合を除いて、産総研は組織として優秀な人材の流出を回避しなければなりません。連携先大学との契約事項に回避策を含めるなどの手当てが必要です。これは大学との交流において重要なポイントです。
- ・ダイバーシティについて、誤解を恐れず経験に基づいて申し上げます。大学の理系学生の女性率は16%と伺いました。一定レベル以上の大学に在籍する理系に進んだ女性研究者は、進んだ時点でほぼ全員が優秀な方ばかりです。もちろん学業成績や面接で選んで当てが外れることはありますが、外れる率は男性と変わりません。つまり優先的に女性研究者を採用した方が、優秀な人材を採用できる確率が高いということになります。これは私見ですが、男性管理者の中には、女性研究者の能力を最大限発揮させる指導方法を知らない場合がある、あるいは、モチベーションを与えることに自信が無いマネージャーが何割かいて、組織としての成果に繋がらないと考え、そのことが採用や昇格を躊躇する原因の一つになっている、かもしれません。産総研の採用戦略と合わせて、管理者教育も必要でしょう。

### 【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

#### (評価できる点)

- ・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。
- ・ゼロエミッションに向けた国際連携活動、ゼロエミッション国際共同研究センターの設立など、評価できる。
- ・民間獲得資金の経産省提示の目標は、46.5億円と、期待は大きい。
- ・第4期の集大成として、個々のKPI達成に向けてマネジメントがなされていると同時に、第4期の振り返りを踏まえた第5期の方針が打ち出されている。
- ・国研としての研究ビジネスモデルの構築・確立に向けて検討されている。
- ・ビジネスモデルの類型化は、コーディネート機能の分析・強化に今後大いに資すると期待される。高く評価する。
- ・ゼロエミッション国際共同研究センターの設立とRD20の開催は、領域の得意とする分野で国際的イニシアチブを取りつつ国際連携の枠組みを構築したものであり、高く評価される。
- ・これらは政策対応における領域のアウトカムとしても特筆すべき成果である。
- ・領域内アライアンス活動はフラウンホーファーに触発されたスキームであり、国際協力の果実として高く評価する。

#### (\*) 第5期に向けて

- ・世界共通の課題として認識されている、持続可能な開発が目指すゴール(SDGs)は、まさにエネルギー・環境領域の目的と完全に一致しています。「資源循環社会」と「ゼロエミッション社会」の実現という具体的なイメージを、第5期の重点開発方針に真正面から掲げられたことは、産総研におけるエポックメイキングな変化であると認識しました。大いに期待します。

#### (改善すべき点及び助言)

- ・「スローガン”産業界にご利用頂きやすい”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。
- ・スマイルカーブにおいて、注力を川上と川下におくのは理解できるが、中流を「東アジア各国に任せる」というのは産業立国として消極的ではないか。例えばドイツでは標準化とプラットフォーム提供で新興国にも普及させる取り組みが産官学一体で行われている。中流のボリュームゾーンに向けてのイノベーションも必要ではないか。
- ・民間資金獲得から社会課題解決の方にシフトしたのは、国研の役割を考えると妥当と思われる。一方、せっかく根付いた産業界に貢献する研究を行うという意識が失われないような新たなしくみを期待し

たい。

- ・ポスト LM 時代の研究所モデルについては試行錯誤が続いていると認識する。ビジネスモデルの類型化にバックキャスト／フォアキャストの視点を加え、引き続き検討をいただきたい。
- ・領域のマネジメント成果としては、テーマ・組織のスクラップ&ビルド判断も重要である。後ろ向きではなく、未来への記録として何とか成果として見せられないか、検討いただきたい。

(\*)第5期に向けて

- ・エネルギー・環境領域の研究テーマのほとんどが、ゼロエミッション国際共同研究センターに組み込まれ、グローバル化の進展が予想されます。グローバル化は、一番強いところが全体を支配することもあり得るので、利用されるだけで得るものがないという結果が危惧されます。戦略とその枠組みが重要です。刈り取るべき成果を慎重に議論して臨んでいただきたい。

## 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期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・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。
- ・太陽電池の評価・標準に関する取り組みの地味ではあるが、成果をあげ、国際的にも評価できる。
- ・第4期の目標どおり成果が概ね得られている。
- ・研究成果の論文発表が積極的に行われている。
- ・基礎的な現象解明に重点を置き、本質を見極めた研究が行われている。
- ・蓄電池のそれぞれの手法において基盤的技術が着実に積み上げられている。
- ・水素では、ギ酸やアンモニア生成等で特筆すべき成果が得られている。
- ・ギ酸の研究は、今後どう発展させていくのか検討いただきたい。
- ・環境微生物解析法を次世代シーケンサ（第3期成果）の中核として展開し、水処理・再生技術に繋げようとしている点を評価する。具体的なアウトカムに繋がることを期待する。
- ・熱電変換技術の効率化に関し、資源制約の少ない銅と硫黄を用いて変換効率を従来の7%から12%まで向上させ、自動車燃費5%相当の省エネ効果を達成したことを高く評価する。

【蓄電池】

#### (1) 金属多硫化物正極材料の開発 [P53]

- ・金属硫化物を正極材料とした系の実用性が検証できたことは、将来予想される大量生産に対応可能であることを示していて、着眼点の良さと粘り強い研究が実を結んだ結果と言えます。特に硫黄の溶解抑制による寿命特性の改善は大いに評価できる結果です。全固体電池による差別化にフォーカスした研究を、産業界を巻き込んで進めていただきたいと思います。

#### (2) 新型カリウムイオン電池の開発 [P54]

- ・カリウム系で二次電池の可能性が示されたことは、電池業界に新機軸を与える効果があり、多くの研究者に対する刺激になったと思います。また、リチウム資源に頼らずとも大容量の電力貯蔵デバイスが可能であり、資源安全保障の面からも重要なテーマだと思います。技術的なブレークスルーを期待します。

#### (3) 金属 - 空気電池材料の開発 [P55]

- ・オープンカプセル MOF は数ある候補の中から選ばれた一つの答えであると推察します。カーボンナノチューブのコストを考えると課題はありますが、チャレンジングな研究の今後が楽しみであり、大いに期待したいと思います。

【水素】

#### (4) 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 [P73]

- ・アンモニア、液体水素、アルコール水溶液、メチルシクロヘキサンなど、水素キャリアの候補は多くありますが、いずれも決定打となる突出した優位性はありません。水素キャリアのもう一つの候補としてギ酸の可能性に注目され、その優位性を引き出す研究は、将来の水素社会に向けた貢献度は高いと思います。将来、どの水素キャリアが主流になるかわかりませんが、いずれ1つに標準化されると思います。どのキャリアが主流になったとしても、日本は対応可能であると言えることが重要だと考えます。一方

で、世界にギ酸方式を広め、日本がイニシアティブをとろうと欲するのであれば、各国研究者とコンソーシアムを作って、早期にデファクトスタンダード化するという戦略もあると思いますので、是非ご検討ください。

(5) 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 [P74]

- ・光電気化学反応による、各種工業化学製品の製造技術は、触媒技術導入による省力化が期待でき、数多くの研究成果が出ていると思います。基礎データの蓄積は既にある程度進んでいると思いますので、最も有望な系でミニパイロットプラントを構築し、ある程度の規模で経済性評価を進めていただきたい。産業界を巻き込んでプロジェクト化ができれば、大きく進展するはずです。

【別添資料】

(6) 超臨界地熱発電技術の研究開発 [P140]

- ・超臨界地熱エネルギーが、商用発電電力として 100MW/地点 以上が実現可能であることが現地調査結果から示されたことは、非常に有意義だと思います。

(改善すべき点及び助言)

- ・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。歴史的にも、近藤効果とかヤリイカとか、優れた成果があります。
- ・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。
- ・革新電池材料として、硫化物、カリウムイオン、金属-空気系、全固体が検討されているが、外部に対する優位性、革新性やインパクトを明らかにして、進めて欲しい。
- ・目的基礎の段階では短中期の目標値の妥当性評価が難しい。例えば他国とのベンチマークを、手法のみならず性能についても定量的に行い、他国とのギャップの確認に基づく目標値の妥当性確認及び見直しを定期的に行ってはどうか。
- ・蓄電池は低炭素化社会実現に向けて重要な技術で期待も大きい。ただ、2030年の「高容量、長寿命、高安全、低コストの両立」に向けて、どのような道筋でそれを達成していくのか戦略がわかりづらい。ロードマップの詳細化、マイルストーンの明確化が必要ではないか。
- ・個々の研究成果（シーズ）は素晴らしいと思うが、それが将来どの程度の規模のマーケットに繋がるとみているか、その見積を提示して初めて意味ある成果となる。「絵にかいた餅」でよい。①餅の大きさを示してほしい。②このシーズをどのようなビジネスモデルを経由して「食べる餅」にしようと考えているのか、その道筋を聞きたい。
- ・「目的基礎」それ自体にもスマイルカーブが描けると思う。マーケットは小さいかも知れないがベンチャービジネスのチャンスがある。GREE も Google も最初は大学発ベンチャーだったのであり、どこで大化けするか分からない可能性を常に信じたい。目的基礎で餅の絵を描いたなら、次の日から「儲けること」を考えてほしい。
- ・「目的基礎」の研究には①明確なゴールからのバックキャストと、②研究者の興味（好奇心）から生まれたシーズから目的（ニーズ）を後で見つける場合と、二つあろう。後者も重要なので、そこに振り向けられるリソースの適正規模を見積もっていただきたい。両者を区別して成果表示してもらおうと嬉しい。

【蓄電池】

(1) 金属多硫化物正極材料の開発 [P53]

- ・エネルギー密度など、研究成果をアピールする場合、現状の標準的な正極材料と同一条件で比較する必要があります。全固体電池に適用するのであれば液系電池との比較など、ベンチマークの方法を工夫してください。

(2) 金属 - 空気電池材料の開発 [P55]

- ・今の開発フェーズは、原理検証とキー技術の基礎設計が完了した段階だと理解します。今後は他の二次電池と比較されることにはなりますが、メリットとデメリットの整理、ベンチマーク、具体的なターゲットや、今後目指すべきエネルギー密度など、開発目標値を産業界と協議の上、進めてほしいと思います。

【水素】

(3) 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 [P73]

- ・水素関連技術開発のポートフォリオには、次世代水素キャリア開発として、今後の開発項目が書かれていません。開発の方向性を示してください。

(4) 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 [P74]

- ・太陽光エネルギーから、光電気化学反応を利用して効率的に水素を製造する技術のコスト評価を、他技術と比較して実用化に近づけてください。一方で、第4期までに蓄えられたデータベース、ノウハウ、

コア技術を、将来の社会インフラ構築に役立てるように体系化して継承することを希望します。

【別添資料】

(5) 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[P144]

- ・メカニズムに基づいた対策によって、水素脆化に対する抑制効果を確認し、解明した水素脆化メカニズムの学術的妥当性を証明、検証していただきたい。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・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。しかし、変換効率は、11~12%程度で、30%超えの高効率が必要であろう。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。
- ・蓄電池の劣化メカニズム解明と劣化抑制方法提案は、製品価値向上において意義のある研究成果と言える。企業との共同で進められ、成果が企業展開されていることも大いに評価される。
- ・水素に関しては、ターゲットを明確にしたこと、有識者の評価WGを設置したことなど、取り組みが顕著である。
- ・水処理は、微生物解析の目的基礎研究の成果を実排水処理へ展開され、水環境改善のソリューションに繋がられたことは大いに評価される。このようなケースは成功事例として、そのプロセス自体が横展開されるべきと考える。
- ・京大・産総研ラボでの金属—空気電池用材料開発におけるレアメタルフリーな空気触媒の開発は、安全・高効率な蓄電システムの実現に資するものとして高く評価する。

(1) 新型カリウムイオン電池の開発[P54]

- ・電解液は、充放電電圧性能、充放電サイクル性能を左右するので、広い電位領域をもつ電解液が見いだされたことは、カリウム系電池のメリットであり、高電圧化、高エネルギー密度化が期待できます。

(2) 金属 - 空気電池用材料の開発[P55]

- ・金属をカプセル化することによって、最適な分散性と良好な電子接触性を両立させたことは、寿命特性や酸素還元電極反応特性向上の要因と考えられ、オープンカプセル MOF の発明は、金属-空気電池にとって、将来振り返った時に、エポックメイキングな発明だったと言えるかもしれません。

(3) 超臨界地熱発電技術の研究開発[P140]

- ・具体的な試掘地点を特定し、各地点のエネルギー量を評価した事は、我が国のエネルギー資源量を示すことに等しく、今後の経済性評価、環境アセスメント評価と合わせて有益な分析になると期待したいところです。

(4) ダイヤモンド半導体基盤技術[P143]

- ・ダイヤモンド半導体は、将来の高効率電力利用に期待されるデバイスです。プラズマ CVD によるウェハー化が今回実証され、大きな前進だと思います。今後が楽しみです。

(5) 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[P145]

- ・資源の制約が比較的少ない銅と硫黄を用いた熱電変換材料で、高い性能指数をたたき出したことは大きな成果です。是非とも、車両などの実際のシステムに組み込めるデバイス開発を急いでいただき、経済性評価による実用性の証明を期待します。

(改善すべき点及び助言)

- ・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。
- ・水素に関しては、目的基礎、橋渡し前期、後期と、多岐にわたる。水素利用の将来像を描き、重点化が必要ではないだろうか。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。

(1) 金属多硫化物正極材料の開発[P53]

- ・電池材料開発では、エネルギー密度の従来材料との定量的な比較が重要です。その上でコスト、寿命などメリット・デメリットが議論でき、開発の必要性が主張できます。成果のアピール方法を検討していただきたい。

(2) 新型カリウムイオン電池の開発[P54]

- ・上記(1)と同様、現状の標準的 LIB と比較する必要があります。ベンチマークの工夫をお願いします。



## (2)「橋渡し」研究前期における研究開発

### 【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・二次電池、水素・エネルギーキャリア、PV、環境管理、環境影響評価に関するロードマップも提示され、評価できる。
- ・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。
- ・第4期の目標どおりの成果が概ね得られている。
- ・研究成果の論文発表が積極的に行われている。
- ・水処理の論文文化は、企業との共同研究では難しいと推察されるものの、共通基盤的な内容の論文文化は検討いただきたい。
- ・金属回収技術は多くの研究成果があげられ、論文、特許、報道などの件数も顕著である。橋渡し後期で実用化を進めていただきたい。
- ・太陽光の導入促進のためには劣化メカニズムの解明は重要であり、これに取り組まれていることは評価される。論文発表や新聞報道も積極的に行われている。
- ・PV関連技術において、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において、それぞれ顕著な成果が得られている。
- ・SiC 半導体バイポーラデバイス基盤技術開発に関し、順方向劣化機構を解明すると共に、その問題の解決方法も確立した点を、基礎と実用を繋ぐ研究として高く評価する。
- ・メチルシクロヘキサン、アンモニア、ギ酸といった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。

### 【蓄電池】

#### (1) 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み [P56]

- ・電気特性と寿命特性を、液系LIBと同等のレベルに引き上げ、かつ量産化プロセスを念頭においたシートタイプの電池で実用に耐えるエネルギー密度を達成したことは、開発初期段階の完了であり、日本の電池産業界への貢献は大きいと思います。

#### (2) リチウムイオン電池の劣化解明と極薄Al酸化物均一被覆による劣化抑制 [P57]

- ・LIBの劣化メカニズム解析の成果が、劣化抑制対策のベース理論になっており、大いに評価できると思います。また、日本の電池メーカーの市場競争力強化に寄与できたことは、世界のLIB業界における日本メーカー復権の一助になっており、特筆すべき成果であると思います。なお、このような研究モデルは産総研のあらゆる部門・分野に展開していただきたい。

### 【水素】

#### (3) 未利用炭素資源からのCO<sub>2</sub>分離発電技術 [P76]

- ・水素製造手段の多様化の観点から、未利用炭素を用いた水素製造プロセスの原理検証は非常に意義があると思います。今後橋渡し後期へ進む場合に、水素の「製造、貯蔵、輸送、利用」にわたる一貫したサプライチェーンの中での位置づけをはっきりさせることと、二酸化炭素排出量削減の観点から、CCS技術とのマッチングが重要になると思います。「炭素」というキーワードが研究の進展を阻害することがないように、的確なリードをお願いします。

### 【太陽光発電】

#### (4) スマートスタック技術による高効率多接合太陽電池 [P90]

- ・セル材料、セル構造の改良によって得られた34.9%の発電効率は、工学的だけでなく、学術的に意義があると思いますので、開発の過程で明らかになった変換ロスの原因と改善の方向性を、将来に繋がる研究のためにも、体系化をお願いします。

#### (5) 低コストHVOEによるⅢ-V属化合物太陽電池の超高速成長 [P91]

- ・成長速度を従来技術の30倍に高めたことにより、大幅な製造コスト低減の可能性が示された点が高く評価できます。

### 【パワーエレクトロニクス】

#### (6) 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板技術開発 [P107]

- ・パワーLEDデバイスの大きな課題の一つは、欠陥拡張現象によるデバイスの経年劣化です。従って第4期研究の劣化メカニズム解明はSiCデバイスの進歩と考えています。メカニズムに基づいた対策により、劣化抑制の有効性が検証されたことは、実用化への大きな前進だと思います。

### 【資源循環】

- (7) 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排水汚泥への適用 [P119, P120, P124]
- ・ 同定可能な微生物の数と種類が増え、データベースが充実していけば、日本全国の水処理施設に本手法が適用できる可能性が高まります。また、多くの研究者がアクセス可能なデータベースとしての活用も期待できるので、是非とも本手法の成果を、積極的にアピール願います。
- (8) 逆浸透 (RO) 膜ろ過法における膜閉塞機構の解析 [P125]
- ・ 水晶振動子のインピーダンス変化から膜の閉塞状況を知る画期的な検知法の確立は、水処理のトラブル防止だけでなく、国内外の水不足解消に寄与する成果と考えます。
- (9) 戦略的都市鉱山構築のための金属回収技術の開発 [P121, P122, P126]
- ・ 幅広い学問領域と技術分野から適切な技術を選択し、着実な成果を出している点が大いに評価できます。天然資源の乏しい我国にこそ必要な技術であり、鉱山資源の永久使用を可能にする未来に繋がる技術だと思えます。すべての元素を輸入より安いコスト、かつ環境に負荷をかけずに回収できる技術を目指して長期研究開発計画の立案をお願いします。

#### 【別添資料】

- (10) 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 [P142]
- ・ メタンハイドレートは、資源の乏しい我が国の貴重な資源になる可能性があります。メタンハイドレートの力学的物性値の把握は今後の開発に使用される重要な基礎データであり、装置、システムの開発に貢献すると思えます。
- (11) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の耐久性評価方法開発 [P146]
- ・ ガス中の不純物による SOFC 材料の被毒劣化メカニズムの解明は、メーカによるセルの耐久性評価を迅速に実施させることができることに繋がり、SOFC の普及にとって大きな貢献だと思えます。さらなる長寿命化と高性能化設計が期待できます。

#### (改善すべき点及び助言)

- ・ 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。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。
- ・ 蓄電池や水素に関しても、今後、脱化石燃料が、要求されよう。再生可能エネルギーを基盤にした研究開発の展開を期待したい。
- ・ 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、勝てる展開も期待する。
- ・ 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。
- ・ 水についても、勝てる海外展開を期待する。
- ・ 工業ナノ材料の安全評価、LCA 評価など、評価される。
- ・ 化石燃料、再生可能エネルギーの統一的 LCA 評価を期待する。
- ・ 水処理については、省人化が大きな問題であるため、それを根本的に開発する研究や O&M に資する技術開発もぜひ進めていただきたい。また、処理装置のコンパクトにつながるような研究にも期待したい。
- ・ 「橋渡し前期」が産総研の役割として本来、もっとも重要ではないか。民間資金の獲得と言う点では「橋渡し後期」がより重要だろうが、研究成果の実用化を決定づけるという点ではこのフェーズが肝である。「絵にかいた餅」がどこまで「食える餅」に近づいたか、その進捗を①性能面、②企業関心度（食いつき）OR 企業（起業）化進捗、③マーケットの立ち上がり、等の視点から示されたい。いわば AIST 版 TRL である。
- ・ 当該技術のビジネスモデルの選択とその理由も重要である。
- ・ ISO や IEC などへの貢献はたしかに重要な成果だが、それだけに留まらず、同時に、そのことを通して我が国の産業保護・育成にどれだけ貢献すると見込まれるかについても自己評価がほしい。

#### 【蓄電池】

- (1) 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み [P56]
- ・ 実用化間近の本電池系について、産総研が今後果たすべき役割を明確化する必要があります。全固体電池は今や全世界で開発され、必ずしも日本がリードしているとは言えない状況にあります。知財権の確保と生産コストの低減を開発アイテムに織り込んで、総合的に開発を進めていくことが必要です。

- ・ 全固体電池はリチウムイオン電池にカテゴライズされていますが、液体を使用しないという意味で、安全性、反応メカニズムにおいて、LIBとは異なる電池系と捉えることができます。全固体電池がLIBと同じように扱われてしまうと、安全性が高い電池にもかかわらず、安全認定に不要なコストがかかり、折角の優位性がコスト的に埋没する恐れがあります。産総研は、電池製造、取扱い、適用先などで順守すべき法令等の決定をリードできる立場にあると思いますので、電池利用の観点からの戦略的発言を期待します。日本が二次電池で復権するためにも、全固体電池の優位性を生かす戦略を策定し、今後の開発をお願いします。

#### 【太陽光発電】

##### (2) 低コスト HVOE による III-V 属化合物太陽電池の超高速長 [P91]

- ・ 発電効率が同じ場合、成膜速度向上によるコスト低減幅が、材料コストのアップ分を補償できなければ III-V 属化合物太陽電池の訴求力はないと思いますので、ハイドライド気相成長の製造コストの分析結果とともに本研究成果をアピールしていただきたいと思います。

#### 【別添資料】

##### (3) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の耐久性評価方法開発 [P146]

- ・ 劣化メカニズムの全容解明の後には、対策と実証により劣化メカニズムの妥当性検証が必要です。劣化メカニズムが学術的に承認された後、劣化加速試験方法(加速係数の決定)の確立や余寿命予測など、より高度な研究レベルを目指されることを期待します。

#### 【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

##### (評価できる点)

- ・ 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、蓄電池、水素、太陽光発電や環境関連技術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。
- ・ 太陽光発電は、今後の研究の5本柱を策定されたことが評価される。この大方針のもと、どのようにポートフォリオを組み替えて具体的な研究テーマに落とし込むのか期待したい。
- ・ 水処理は、社会課題の解決という観点とビジネスにおける日本企業の競争力という観点からも重要な分野である。現場の問題の把握が極めて重要であるが、企業と連携よく進められていることが理解できた。今後も現場ニーズ・研究課題を企業と共有して、水メジャーと戦える日本初の技術を実社会に展開していただきたい。
- ・ 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組みで 250Wh/kg を達成し、車載用全固体電池の実用化への道筋を付けた点を高く評価する。

##### (1) 硫化物系全固体電池の実用化に向けた取り組み [P56]

- ・ 全固体電池は安全性がクローズアップされることが多かったが、本研究により、室温におけるエネルギー密度が 200 Wh/kg に到達し、特性面のデメリットがほとんどないことを示した。将来性を証明した功績は非常に大きいと思います。

##### (2) 低コスト HVOE による III-V 属化合物太陽電池の超高速長 [P91]

- ・ 今年度に限ってみても成膜速度が2倍以上に高速化し、かつ性能との両立が図れていることから、かなりの低コスト化が見込めると期待できます。研究第4期の最終年度に意義深い成果ができたことは評価できると思います。

##### (3) CIGS 薄膜化薄型化合物の高効率化 [P92]

- ・ 今年度明らかになった不純物の発電効率への影響は、重要な研究成果だと思います。この解明により、企業との共同研究の枠組みが橋渡し後期研究に繋がったことは、絶賛すべき成果だと思います。今後の開発進展が非常に楽しみです。

##### (4) 太陽電池性能屋外高精度評価技術 [P93]

- ・ 今年度、Pmax 測定値の再現性を±1%まで改善できたことは、太陽電池に対する幅広い知識と経験、それと深い考察があつての成果だと思います。日本から提案した IEC 規格が承認されることを祈念いたします。また、この知見は、現在検討されている宇宙用太陽電池規格 (ISO/TC20/SC14) にも適用可能かと思っておりますので、日本のプレゼンス向上の観点からも連携を図り、今後の有意義な展開を期待します。

##### (5) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の耐久性評価方法開発 [P146]

- ・ 動作温度の 600°C で固体電解質中のプロトン溶解量や導電率を測定することは、高度な分析・解析技術が必要とされると思うので、本技術の確立は、SOFC の劣化メカニズム解明に貢献する技術であると評価できます。

(改善すべき点及び助言)

- ・今回は、蓄電池、水素、太陽光発電や環境関連技術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。
  - ・PVは導入が増加することは間違いないため、今後は安全性や電力システムのレジリエンス向上に係る研究にも注力していただきたい。
- (1) 太陽電池の信頼性に関する部材・セル・モジュールの一貫研究[P95]
- ・ポートフォリオに、革新的太陽電池の今後の計画/展開がみえていません。日本が太陽電池業界で再び世界をリードする新しい切り口のシナリオを策定し、世界が驚く技術を開発し、第5期では是非とも飛躍していただきたい。

### (3)「橋渡し」研究後期における研究開発

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・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、今後は期待でき、高く評価される。
- ・第4期の目標どおりの成果が概ね得られている。
- ・研究成果の論文発表が積極的に行われている。
- ・水素関連装置の導入に際して、既存の規制に準じているとのことだが、技術普及のチャンスととらえて規格や標準化にも積極的に取り組んでいただけるとよい。
- ・パワエレは、ラインナップごとのロードマップが具体的で、どの枠組みで実行されるのかどこに技術移管するのかまで明確になっている。
- ・技術移転が着実に行われており、量産化技術や標準化にも注力されている。さらに応用技術の開発にも取り組まれている。
- ・水素システム技術の実証化実験を清水建設と一体となって力強く推進されたことを高く評価する。多くの課題は要素技術の隙間にあるから、実証化実験によってはじめて多くの課題が洗い出されるものと期待する。何よりも、実際にシステムが動くことを実証したことの意義はきわめて大きく、当該分野において世界に対してイニシアチブを確立したと言えよう。
- ・領域が提案する太陽光発電による水素製造と燃料電池発電を組み合わせた安定化電源システムは、PVでの失地を部分的にせよ回復するものと期待する。

【水素】

(1) アンモニア製造利用技術[P75]

- ・ミニプラントによる実証まで到達し、将来の脱炭素社会における水素キャリアのキー技術が確立された功績は大きいと思います。水素社会がいつ到来しても即応体制が整ったのではないのでしょうか。
- ・グリーンアンモニアコンソーシアムへの技術提供も視野に入っており、実用化の加速が図られることを期待します。さらに、海外でもアンモニア利用が進むノルウェー(アンモニア燃料電池船計画を推進)などとの連携・人的交流なども模索していただきたい。

(2) 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[P77]

- ・本格的な運転実証の意義は大きいと思います。技術的・安全性の課題をあぶりだすとともに、経済性のボトルネックなど、これまで明らかになっていない課題の抽出をお願いします。

【環境影響評価技術】

(3) 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[P130]

- ・本研究成果は研究開発者や国民の健康を守ると同時に、ナノテクノロジー技術の開発の土台を支える極めて重要な知見が含まれています。産総研にしかできない基礎研究であり、アウトプットは高く評価できます。

(4) イベントリデータベース(IDEA)の構築と普及[P134-P136]

- ・SDGsを開発の前提として標榜する産総研としては、今後各テーマにわたり、必ずLCAを実施することになるでしょう。評価結果の悪いプロセスや製品、システムは開発前に烙印をおされることとなります。それだけに、客観的知見に基づいたイベントリデータベースの構築と、最新版へのバージョンアップは今後ますます重要度が増すと考えます。産総研のすべての研究を知ることも必要になると思いますので、幅広い知識と経験を有する人材をこの研究グループ(または評価部かもしれませんが)に参画させる

よう、要請いたします。

【別添資料】

(5) 地域の地下水環境を有効活用した地中熱交換器の開発 [P141]

- ・地中熱交換器開発で培った、水理構造解析や地下水流動モデル解析などの地下水流動を把握する技術は、我が国の地下水分布を知る手段として有効だと思います。水害発生時の河川水の挙動を把握する手助けにもなり、防災に役立つ技術かと思料いたします。本研究は橋渡し後期ということで終了なのでしょうか。防災に役に立つ技術という観点から、是非とも新しい展開を望みます。

(改善すべき点及び助言)

- ・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。
- ・ハザード評価、リスク評価は、国研の役割として期待される。これらは評価手法の確立や有効性評価などやるべきことも多いが、産総研として何をどこまで担当するのがあまり明確にされていないように感じた。
- ・来る水素社会において、安全性をどう確保するのかは重要となる。水素導入シナリオを描く際にも欠かせないと思う。水素の研究をリードしている産総研として果たすべき役割があるのではないかと。安全に関しても、産官学が一体となって現象解明や評価技術向上に取り組んでいる欧州に見習うべき点が多いと思う。
- ・PV 分野でこれからどう戦っていくのか、太陽光センターの発展的解消とポートフォリオ組み換えに至る議論／判断は、それ自体が成果の一つである。もっと明らかにしていただきたい。

(1) 内燃機関の高度化にかかる現象解明研究 [P147]

- ・民間共同研究などで高い評価を受けていることは素晴らしい成果と言えます。しかし、現象解明による貢献が数字で表されていないため評価しにくいと感じます。例えば、ノズル形状の最適化前後で、ススの量が〇〇%減少したとか、燃費が〇〇%向上したなど、民間が成果を認めているのですから、シミュレーションでもよいので具体的数値でアピールしていただければと思います。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・2019 年度は、民間資金 23.5 億円を獲得している。5 年間平均で、産総研全体の 42% を担っており、評価できる。
- ・水素吸蔵合金のコア技術を使って、自動運転を検証したことは評価される。今後の展開としてシステム実証まで計画されている。企業との連携の賜物であり大いに評価される。
- ・安全データベース構築は国研の役割として重要と考える。IDEA のライセンス契約が欧州を中心に増えていることは、その価値が評価されている証と言える。
- ・清水建設との水素ステーションプラントが FREA から郡山市場に進出したことを、高く評価したい。単純にサイズを大きくしただけで新たに派生する諸課題というものは必ずあるから、ここで得られる知見はたいへん貴重なものとなる。

(改善すべき点及び助言)

- ・パワーデバイス材料の広範な展開よりも、先端デバイス構造や信頼性評価に関する研究の進展を期待する。
- ・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やエピ膜挿入による対処策では、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、近年、新拠点／国プロ設立の動きが活発化しているとのこと。日本の技術の優位性を維持するために、これに対抗する戦略が打ち出せているのか。
- ・政策対応（国内・国際）が重要なアウトカムである技術分野では、民間資金の獲得だけが「橋渡し後期」の果実ではない。しかしその場合も、そうした政策によって最終的には市場が維持・活性化することが重要なので、やはり背景に想定する市場規模を同時に示していただきたい。

### 3. 領域全体の総合評価

#### 【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・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。
- ・「急がば回れ」による、基礎体力強化を基本とする研究の在り方を貫かれたことは評価される。第4期を通じてエネルギー・環境領域のあるべき姿を描き、近づいているとの印象。
- ・低炭素化社会実現の目標、例えば2050年に80%削減の達成には、産官学が一体となって効率的な連携を長期にわたって行わないと成しえない。産総研がそのハブとしての役割を構築された第4期と認識する。第5期でも、これまで以上の役割を期待したい。
- ・領域長のリーダーシップの下、「急がば回れ」方針で過度の成果主義を回避しつつ、しっかりと成果をあげたバランスのよい領域運営を高く評価する。
- ・パワーエレクトロニクスでは、国プロを呼び水として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、着実にスキームの展開が為されている。また世代ごとの色分けも明確である。
- ・「定地型エネルギー技術から移動型エネルギー技術へ」という視点の移動は、災害が頻発する時代にあつてきわめて重要な視点である。
- ・また「要素技術からシステムへ」という視点の拡大も時代に即している。
- ・強いて言えばなのですが、第4期全体を通して、以下の3つが主な難課題だったと思います。

(1) 外部資金の獲得

(2) 人材育成方法の確立

(3) 上記の前提で高いレベルの研究成果を出すこと

- ・当初、外部資金の具体的かつチャレンジングな獲得額が目標に設定され、数字に振り回されていた感じがありました。しかし、全体的には十分な成果と新しい研究の芽出しも出来ており、次期研究期に進んで問題ないと考えます。
- ・第5期で基礎研究に軸足を移すという発言が小林領域長からありましたが、外部資金獲得に奮闘された経験があるので、今後の基礎研究に対して、納税者を納得させる出口論を意識した、これまでとは一味異なる姿勢で取り組むことは容易かと想像いたします。この意識を継続できる予感こそが、大きな成果だと確信しています。

#### 【蓄電池】

- ・材料系の異なる個々のテーマにおいて、性能向上や劣化機構の解明など、各々着実に積み上げられた成果は、大いに評価できるレベルの高い結果だと思います。特に、全固体電池は、当初想定していた結果を超えるものでした。今後が大いに期待されます。

#### 【水素】

- ・産業界、地方公共団体を巻き込んだ水素社会の実証試験に着手できたことは、技術力だけでなく調整力、政治力が必要な領域であり、そういったマネジメント能力を発揮できる人材育成が成功した点を評価したいと思います。インフラ系の研究では大規模プロジェクトになることも多いと思いますので、微小領域を扱う研究者の育成と合わせて、社会システムを理解できる人材の採用を継続してお願いします。

#### 【太陽光発電】

- ・個々のテーマにおいて、低コスト化、性能向上や劣化機構の解明などにおいて顕著な成果が得られていると評価できます。

#### 【パワーエレクトロニクス】

- ・示された技術ロードマップの書き方に工夫があったと思います。開発階層を細分化し、それぞれに第1世代から第3世代に開発フェーズを立体的に分け、技術カテゴリが区分けされていました。産業界の異なるニーズと研究シーズをそれぞれの区分に適切に割り振ったのは、ユニークで説得力あるやり方だと思います。産業界から多額の研究費を引き出した点についても、ニーズを的確にとらえた結果として高く評価できます。

#### 【資源循環】

- ・資源循環は範囲が広いテーマですが、産総研のシーズを十分発揮できる「水資源」と「都市鉱山」の2つに絞って研究を展開し、産総研の存在感をアピールできる結果を、第4期を通して着実に出し続けてきたことは大いに評価できると思います。

#### 【環境影響評価技術】

- ・ビジネスには直接結びつかない分野ですが、人類にとって有益なデータや文章を生み出されてきた功績

は非常に大きいものがあります。

(改善すべき点及び助言)

- ・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。
- ・国のエネルギー政策、環境政策への提言を期待する。
- ・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。歴史的にも、近藤効果とかヤリイカとか、革新的優れた成果があります。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。
- ・パワーデバイス等、産業界等との連携を通じて、産業化に貢献し、評価できる。
- ・蓄電池、水素、太陽光発電でも、海外に勝てる展開を期待する。
- ・蓄電池、水素では、脱化石燃料の展開を期待する。
- ・太陽光発電研究センターが、何らかの形、残るサインの提示をお願いしたい。
- ・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。
- ・エネルギー・環境においても社会のニーズは急速に変化しており、研究もスピード感をもって対応することが求められている。第4期と第5期では分野によってはポートフォリオを大幅に見直すことも必要であろう。それに基づき、新規技術・アイデアの創出を促す仕組みづくりも必要と考える。
- ・既存テーマのうち技術移管に至らず終了させたテーマについては、要因分析、他分野展開と基盤技術維持についてもしっかりと行っていただきたい。
- ・多様なバックグラウンドを持つ組織メンバーが高めあう仕組みや風土づくりも求められる。女性の採用率を急に上げることは難しいと思われるが、ダイバーシティ促進の観点で意識を高めていただきたい。組織として、次世代人材育成のためのエネルギー・環境の教育にも期待をしたいところ。
- ・我が国の失われた30年の要因については多くの議論があるが、マーケットと乖離した研究開発マネジメントについては、つとに指摘されているところである。その轍を踏まないためにも、ビジネスマインドを持った研究者を育て、ビジネスマインドを持った研究開発を加速することが一層必要である。もっと言えば、技術—ビジネス—政策 この三者が一体となってグルグル回ることが必須である。そのための人材育成を産総研は考えていただきたい。
- ・この意味からダイバーシティも重要である。国全体の問題として重要な政策対応の一つと捉えて提案いただきたい。
- ・研究協力のグローバル化と国際競争力強化のバランスは永遠の課題であるが、世界標準を取って行くことが国際競争力獲得の重要な前提であることを考えると、国際協力はデフォルトとし、その上でどのように我が国の産業を守って行くかを考えるしかないと思う。その際、①基礎部分の国際協力、といった消極的グローバル化だけでなく、②プラットフォーム提案（例：水素化社会、RD20）による国際協力体制の構築といった積極的グローバル化施策に打って出るべきである。そのことは必ずわが国に有利な国際標準に繋がると思う。
- ・日本の製造業の持続可能性を議論するに際してスマイルカーブ（SC）は有効なツールと思う。しかしSCは1枚ではない。目的基礎、橋渡し前期、後期それぞれにSCを描き、上流フェーズのSC右端は中流フェーズSCの左端になるといったイメージでSCを繋げていくことが重要であろう。
- ・一つの事業が立ち上がるには20年の前史が必要である。産総研はこの前史に関わる機関でもある。産総研の中に技術史の専門家がいてもよいのではないか。ややもすると性能面だけを追い及ちな技術者集団の中であって、経済、国際関係、法律といった文系の視点から技術の進展を観察・分析し、提言する役割である。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・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。
- ・ゼロエミッション国際共同研究センターの立ち上げやRD20の開催など、タイムリーな施策を引き出すことができたのは、これまでの領域の地道な努力と成果あってのことと高く評価する。ぜひ第5期にあっては、このイニシアチブを先行者利益につながるよう業界を育てていただきたい。
- ・今年度設立された「ゼロエミッション国際共同研究センター」という、研究の新しい枠組みは、エネルギー環境分野の大きな柱として機能することが予想され、様々なシナジー効果による新しい発想が期待

でき、非常に楽しみです。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 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。
- ・ 太陽光発電の個々のテーマは、最終年度に成果の刈り取りができたと思いますが、部門として今後進むべき研究の方向性に具体性がないまま終了することになり、非常に残念です。他部門のみならず、他領域ともしっかり議論して、太陽光発電研究における日本の復権も視野に入れて、第5期研究をスタートさせていただきたいと思っています。

#### 4. 評点一覧

【第4期全体に対して：期間実績評価】

評価委員 (P, Q, R, T) による評価

評価項目	P	Q	R	T
領域の概要と研究開発マネジメント	A	A	S/A	A/B
「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
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	S/A	A	A
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	A	S/A	B
領域全体の総合評価	A	A	S/A	A/B

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

評価委員 (P, Q, R, T) による評価

評価項目	P	Q	R	T
領域の概要と研究開発マネジメント	A	A	S	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	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	S/A	A	A/B
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	A	S	B
領域全体の総合評価	A	A	S/A	B



## 令和元年度 研究評価委員会（エネルギー・環境領域） 評価報告書

令和2年6月26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

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

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

