

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

平成29年度拠点構想進捗状況報告書

ホスト機関名	九州大学	ホスト機関長名	久保 千春
拠点名	カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所	拠点長名	Petros Sofronis

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、平成30年3月31日現在の内容で作成すること。

※本年度のフォローアップは最新の拠点構想に基づいて行うため、本報告書は最新の拠点構想の観点から記述すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

・本報告書（添付様式を除く）は10ページ～20ページ（拠点構想進捗状況の概要（2ページ以内）も含む）の範囲で作成すること。

拠点構想進捗状況の概要（2ページ以内に収めること）

I²CNER の大課題は、日本の将来のエネルギー需要を満たし、同時に、2050年までに国内CO₂排出量を1990年比で70%の削減を実現可能とするエネルギーシステム技術の基盤を開発することである。この課題の解決に向かう我々の研究は、基盤技術開発ロードマップに明示されたマイルストーンとターゲットを目指して進められ、ロードマップは各研究部門とエネルギーアナリシス部門（EAD）との綿密な連携を通じて策定される。我々はI²CNERの研究がCO₂排出削減に与えるインパクトを「Toward 2050: Contributing to a Low Carbon Energy Society（2050年に向けて：低炭素エネルギー社会への貢献）」と題した報告書に纏めた。この報告書では、我々の研究が直接的に寄与する排出削減量と、企業がそれらを基に開発する技術が可能にする削減量の双方が明らかにされている。また、この報告書では、現在のI²CNERの成果が競合（あるいは補完的な）産業との比較を通じて推定されているとともに、競合していない技術分野（例えば、原子力）における要因の評価も行われている。現時点でのI²CNERの研究成果及びそれらが基となる技術がエネルギーシステムへ導入された場合、目標とする全CO₂削減量の約0.42%の削減が可能と推計されている。また、将来的に達成が見込まれている研究成果が導入された場合は、約5.38%の削減が可能と推計されている。特筆すべきは、I²CNERが直接的に寄与するこれらの削減量に加えて、I²CNER関連技術の開発と実装により、2050年達成目標のさらなる35.3%の削減が可能となる、ということである。これは、I²CNERの研究が極めて影響力の大きなエネルギー技術開発を牽引していることの証明である。最後に、我々は、科学、工学、カーボンオフセットといった分野での成果のみならず、雇用、産業界への活発な技術移転、そして、教育、文化交流、国際連携を含む社会的、学術的好影響などといったI²CNERの成果の詳細を「Powering the Future: Economic, Environmental, and Social Impacts of I²CNER（未来創造：I²CNERがもたらす経済的、環境的、社会的影響）」と題した文書に纏めた。2018年3月に編纂されたこの文書は、今後も随時更新される。

世界最高水準の研究：日本政府のグリーン・イノベーション・イニシアティブを実効的なものとするI²CNERの研究成果と目標の妥当性は、2017年度に行われた24の新たな共同プロジェクト（創立からの合計数は104）によって証明されている。これら24の共同プロジェクトのうち、14のプロジェクト（創立からの合計数は48）が技術移転に至った。2017年度、I²CNERは28件（創立からの合計数は219）の特許を申請し、13件（創立からの合計数は59）の特許を獲得している（特許獲得した13件中の数は、2016年度以前に出願されたものである）。さらに、2017年度、I²CNER研究者は、世界中の様々な学会および研究機関より、最優秀口頭発表、ポスター、若手研究者への発表奨励賞を含む24件の国内および国際賞（創立からの合計数は252）を受賞した。研究所全体としては、2017年度、部門ロードマップ上で5件の短期マイルストーンが達成され（創立からの合計数は19）、2プロジェクトで短期マイルストーン達成に向けた大きな前進があった。創立以来、I²CNERは4件の中期マイルストーンを達成している。また、他プロジェクトにおいても2件が目標達成へ向け大きく前進した。2017年度のブレークスルーとなる研究成果は以下のとおりである：石原主任研究者の部門の一つのプロジェクトでは、実験・理論の両面で、水素製造に適した革新的なハイブリッドペロブスカイト太陽光発電デバイスの開発が行われている。この研究は、画期的な材料プロセスと処理の最適化を可能にするマルチスケールモデリングに支援されている。小江主任研究者の部門では、H₂とCOの併存環境下での酸化を可能とする生体模倣触媒の研究がめざましい前進を遂げた。COはH₂供給における厄介な汚染物質であるため、これは、我々が目指す未来の水素経済にとって非常に重要な成果である。この画期的な触媒はNiIrを核とし、同研究分野において最も重要な酵素である[NiFe]ヒドロゲナーゼとCO-デヒドロゲナーゼ(CODH)の活性部位に似た構造を持つ。高田主任研究者の部門は、世界で初めてカーボンナノチューブ(CNT)内部の超薄液膜が高真空

状態 ($\sim 10^{-5}$ Pa) で安定に存在することを示し、水—蒸気相変化における濡れ性と吸着に関する基本的理解を前進させた。これにより、表面上の短期・長期不均一核生成に大きな影響を与える根本要因が明らかとなった。松本主任研究者の部門は、(1) より低い作動温度で高い安定性と高電解電流を導く画期的な水蒸気電解用電解質材料を開発し、(2) 酸素発生に適した高電流で作動する水電解新規触媒を確立し、(3) 非貴金属酸素還元触媒の活性部位の性質および金属接触の役割に関する新たな知見を得た。藤川主任研究者の部門は、世界最高レベルの透過性を示す CO_2/H_2 分離膜および CO_2/N_2 分離膜を開発した。辻主任研究者の部門は、圧入 CO_2 の空間・時間的変化を特定する画期的な連続モニタリング・システムを開発した。このシステムは従来の手法に比べて著しく低コストでありながらも、高い時間分解能を有する。また、同部門は、水と CO_2 の二相流動がキャピラリー数と粘性比のみに支配されているという従来の解釈は不完全であり、従ってレイノルズ数の考慮が必要である、ということを示した。Sommerday 主任研究者の部門は、制御された環境下の実験により、100 万分の 1 レベルの微量のガスが摩擦や破壊といった材料挙動に顕著な影響を与えうるということを明らかにした。この成果は水素機器の性能向上に対する新たな可能性を提供するものである。

異分野融合研究：2017 年度、 I^2CNER はマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) をはじめとする九州大学内の様々な部局との連携を強化し、エネルギーのための応用数学イニシアティブを大きく前進させた。辻主任研究者と白井教授 (IMI) の研究チームは、「パーシステント・ホモロジー」として知られる 21 世紀の代数位相幾何学理論を用いて、 CO_2 貯留層の多孔質岩石が持つ形状特性を定量化する研究を進めている。Bose 助教 (イリノイ大学) と Hoa 助教 (I^2CNER) の研究チームは、非凸最適化問題を応用し、再生可能エネルギー源や小規模発電といった不確定要素を含んだ発電・電力供給プランの最適化研究を行っている。村田教授 (九州大学) と廣瀬准教授 (IMI) の研究チームは、スマートグリッドにおけるエネルギー消費のパターンを研究している。村田教授は、強化学習理論から着想を得て、(合理的とは限らない) 消費者行動をモデル化し、エネルギー需要曲線を規定形状に整形するインセンティブシステムの構築を目指した逆最適化ツールを開発した。廣瀬准教授は、統計モデルを参照して電力消費データを分析し、電力使用パターン (時系列) ごとの電力消費者クラスタリングによる予測モデルを構築する研究を行っている。Milijakovic 助教 (イリノイ大学) は、生物由来の着想を取り入れ、濡れ性研究の裾野を広げている。これは、機械工学、材料科学、昆虫学、化学、生物工学の融合研究である。Milijakovic 助教の研究チームは、自然界における濡れ性が、生息環境よりも体系、生存・繁殖戦略といった要素とより深い相関性を持つということを示し、世界で初めて明らかにした。小江主任研究者の研究チームは、酸化・還元の状態における新種の $[\text{NiFe}]$ ヒドロゲナーゼ酵素の結晶構造を明らかにした。この生物化学と構造生物学の融合研究は、*Science* に掲載された。小江主任研究者のチームは、酵素の構造変化が触媒活性に影響を与え、好気性劣化への耐性が強まった可能性があるという見解を示している。このような知見は、生体模倣触媒のデザインにとって、非常に有益なものである。

国際的な研究環境の実現：九州大学とイリノイ大学の協力関係は強まり続けている。国際研究教育パートナーシッププログラム (PIRE) によるイリノイ大学学部生の I^2CNER での研究インターンシップ；九州大学工学部長高松教授によるイリノイ大学訪問；九州大学工学部学生による一か月間のイリノイ留学； I^2CNER Collaborative Foreign Exchange Program による九州大学教員 2 名のイリノイ大学訪問 (うち 1 名の訪問はサバティカル)、などがその例である。イリノイ大学の新メディカルスクール Carle Illinois College of Medicine (CICOM) と九州大学医学部との協力関係構築は、両大学間の生産的な協力関係をもたらした波及効果である。両医学部の協力関係は、九州大学の若山理事と CICOM 学部長 King Li 教授の相互訪問を通じて構築された。2017 年度の I^2CNER の国際化に向けた主な取組み例としては、 I^2CNER 所長と University of Göttingen の Reiner Kirchheim 教授主導による国際研究トレーニングプログラム (International Research Training Group) 設立へ向けたパートナーシップ (両名はドイツ研究振興協会と日本学術振興会へこのプログラムのための資金援助を申請する予定) や、 I^2CNER 、Imperial College, London、Paul Scherrer Institut、Massachusetts Institute of Technology 間の国際共同研究による日本学術振興会の研究拠点形成事業の採択がある。九州大学の国際的な認知度は、 I^2CNER Annual Symposium や第 12 回日仏ナノマテリアルワークショップといったイベントを通じて向上している。両イベントへはそれぞれ、総勢 166 名、79 名の参加者が集まり、うち 86 名と 40 名が海外からの参加であった。2017 年 3 月 31 日時点で、 I^2CNER は、米国、ヨーロッパ、アジア地区に計 24 のパートナー機関を有する。 I^2CNER の研究者は総計 95 名にも及ぶ著名な訪問者を世界中から招聘した。研究者らは 2017 年度、17 件の国際コンファレンス、21 件の国際コンファレンスセッション、シンポジウムまたはワークショップ、10 件の I^2CNER 主催国際ワークショップにおいて、主催、共催、運営を担当し、科学界に貢献した。また、 I^2CNER 研究者は延べ 141* におよぶ海外研究機関の研究者らと共著論文を発表した。2017 年度、 I^2CNER は 11 名の研究者 (創立からの合計数は 37) を国内外の機関 (九州大学を除く) へ輩出した。最後に、2017 年度、14 名の教員と 3 名の学術研究員がイリノイ大学から九州大学を訪れた。 (*公開版作成時修正)

研究組織の改革：九州大学における I^2CNER の存在は、同学によるエネルギー研究教育機構 (Q-PIT) 設

立の原動力となった。Q-PIT の設立趣旨は、社会科学、経済、法律、政治科学等、多岐にわたるエネルギー研究ユニットの協力関係構築による相互便益を推し進めることである。I²CNER は、1 週間に渡り国際ワークショップ、シンポジウムが大学内の様々なエネルギー分野の研究センター主催で開催される「九州大学エネルギーウィーク」の中心的存在である。I²CNER は女性教員採用という点においても九州大学をリードしている。2017 年度、I²CNER は、准教授 1 名、助教 1 名、学術研究員 3 名の女性研究者を採用し、研究所内の女性研究者の総数を 14 名とした。この女性比率は、九州大学の他部局（理学、数理学、工学研究院）の実績と比べて高い。2017 年度に I²CNER が採用した 19 名の教員・学術研究員のうち、5 名が女性である。大学改革のための重要な取り組みとしては、九州大学がクォーター（4 学期）制を導入したことが挙げられる。これはイリノイ大学など米国の大学との交換留学プログラムや教員派遣を容易にするためである。さらに、I²CNER 学部生交換留学プログラムの成功から、九州大学ーイリノイ大学（工学部）間で大学院生レベルの交換留学プログラムを策定しようとする取り組みが進行中である。

拠点の中長期的な発展を確保するための取組：2017 年 4 月 1 日付で、I²CNER は「産学連携諮問委員会（IAB）」を設置した。企業・政府機関・国立研究所の上級幹部で構成される IAB は、I²CNER へ産業界との連携及び技術移転の機会についてのアドバイスを行う。これに加え、I²CNER 研究者は、WPI 補助金支援期間終了後の拠点の存続を確保するための様々な取組（新たな研究資金獲得に向けたプロポーザル提出など）を行ってきた。そのような取組は、日本学術振興会 研究拠点形成事業（JSPS Core-to-Core Program）の採択や、次世代冷媒物性評価研究センターの設立といった権威ある資金の獲得に結びついている。これらのイニシアティブ、そして、テニュア教員ポストに関する九州大学のコミットメントは、I²CNER の恒久性・持続性を確かに裏付ける要素である。2018 年 4 月 1 日時点で、I²CNER は 4 名の准教授と 4 名の教授を採用し、2018 年度には 3 ポストを上限にテニュア教員を採用予定である。これに加えて、テニュアトラック制度による助教 2 名がエネルギー応用数学の分野で採用されており、総計 10 名のテニュア教員（テニュアトラック教員含む）が採用済、今後 3 名を採用予定である。定年退職する PI に代わって、若手テニュア教員 2 名が 2018 年 4 月 1 日付で PI レベルへ昇任した。