

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

令和2(2020)～令和4(2022)年度WPIアカデミー拠点活動状況報告書

ホスト機関名	九州大学	ホスト機関長名	石橋 達朗
拠 点 名	カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I ² CNER)		
拠 点 長 名	石原 達己	事務部門長名	Andrew Chapman

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、令和4(2022)年3月31日現在の内容で作成すること。

※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。

WPI アカデミー拠点の活動状況の概要 (2ページ以内に収めること)

I²CNER は 13 年前から拠点名、研究プロジェクトのロードマップと目標に「カーボンニュートラル」というキーワードを用い、WPI アカデミーのメンバーとしても、九州大学、日本、そして世界の「カーボンニュートラル」を先導し充実させてきた。研究所のアクティビティと科学的インパクトは、多くの指標から、急速に増大し続けていることを裏付けている。特定の分野での課題を克服する科学的発見やブレークスルーの数は、産業界への技術移転と同様に劇的に増加している。また、産業界とのパートナーシップも増えており、最近では三井化学株式会社との間で組織対応型連携契約が締結された。I²CNER とパートナーシップを結ぼうとする海外の大学の数も同様である。I²CNER は、「九州大学 VISION 2030」の枠組みの中で、九州大学のグローバル化と脱炭素化の取り組みの先頭に立ち、I²CNER が推進するインパクトのある組織改革は、2021 年 11 月に九州大学が指定された指定国立大学法人構想の中にも位置づけられている。I²CNER はすでにカーボンニュートラル社会に向けた重要な貢献をしており、研究所の将来計画は、2050 年までに二酸化炭素削減目標を達成しながら日本のエネルギー需要を満たすことを目標としている。I²CNER のビジョンは、日本と世界のエネルギー問題を解決する技術を支える基礎研究を通じてカーボンニュートラル社会 (CNS) の創造に貢献し、国際的な学術環境のモデルを確立することである。このビジョンを実現するために、I²CNER は 2050 年までの温室効果ガス (GHG) 排出量の大幅削減につながるエネルギー材料・システムの開発を目指している。

世界最高レベルの研究を推進

I²CNER の研究活動は、技術的、経済的な妥当性と研究の実現可能性を継続的に評価するエネルギーアナリシスグループとの連携のもと、3 つの研究スラストで実施されている。研究はプロジェクトに編成され、それぞれが最終目標に向けたロードマップ上のマイルストーンを明確に定めている。研究所の画期的な成果／業績の一部を Appendix1 に示す。これらの成果の一例は以下のとおりである。：物質変換科学ユニット：高温における水素と金属および合金との相互作用については、ほとんど知られていない。I²CNER は、水素が空孔形成の活性化エネルギーを低下させ、空孔密度と関連する格子拡散係数を高め、転位上昇を加速することにより、873K における材料のクリープ応答を高めることを実証した。アンモニアは将来の水素燃料および貯蔵媒体として有望である。I²CNER の研究グループは、実験と量子論的シミュレーションを組み合わせ、アンモニアが充填率と濃度に応じて脆化を抑制または促進する働きをすることを世界で初めて発見した。エネルギー変換科学ユニット：メタルハライドハイブリッドペロブスカイトは、太陽電池の光吸収体として注目されている。I²CNER で開発された太陽光発電の変換効率はずすでに 25% を超えており、シリコン系太陽電池技術に匹敵する。I²CNER では、連続光照射下で未反応の PbI₂ 結晶がペロブスカイト太陽電池の劣化を早めることを発見した。さらに国際的な共同研究で、固体イオン伝導体にバンドギャップを超える光を照射すると、粒界抵抗が低下することを発見した。この新しい光イオン伝導効果は、より低温で、より高い効率で動作する新しい電気化学的なエネルギー貯蔵・変換技術への道を開く可能性がある。マルチスケール構造科学ユニット：大気中の CO₂ を 40% まで予備濃縮できる多段分離プロセスにより、膜を用いた CO₂ の直接空気回収 (DAC) の目標性能が、競争力のあるエネルギー消費で達成可能であることを実証し、循環型 CO₂ 経済への大きな可能性を示した。ロバストな統計手法とエネルギー経済学の考え方を応用し、環境税が高中所得国の技術革新を刺激することを明らかにした。

学際的研究の促進

Institute of Mathematics for Industry (IMI)とのパートナーシップは生産的であり、応用数学とエネルギー科学・工学を融合させるための強固な基盤となっている。I²CNER が主催する若手研究者によるワークショップも、学際的な共同研究を促進する場である。イリノイ大学サテライトとのパートナーシップも、学際的な研究を推進するための重要なメカニズムであり、イリノイ大学を訪れる I²CNER の研究者は、数学、原子力、電気工学などの研究者と交流している。I²CNER の研究分野に関わる学問分野は様々であるため、ユニットや九州大学の部局の境界を越えた共同研究を通じて、学際的な研究が促進されている。例えば、IMI の福本教授とステイコフ主任研究者は、有機化学とグラフ理論を用いた AI ベースの機械学習 (ML) アルゴリズムにより、耐光性ポリマーの最適設計を研究し、成果を挙げている。ステイコフ主任研究者のリーダーシップの下、IMI 教員と I²CNER 主任研究者は、材料物理学と情報技術の交差問題について議論するため、学界と産業界の研究者によるワークショップとフォローアップシンポジウムを開催した。

国際的な研究環境と頭脳循環

I²CNER の環境は、革新的で、高度に学際的な環境において変革的な研究を追求するための豊かなプラットフォームを提供し、国内外から研究者が集まり、日本のカーボンニュートラル社会への移行に不可欠な課題に取り組んでいる。WPI アカデミーの一員となって以来、当研究所の研究者は世界の研究機関と 329 の共著論文を作成し、コロナ禍においても 20 人の国際的に著名な研究者が科学的交流のために I²CNER を訪れた。研究所の研究者は世界的に活躍しており、16 の国際会議、30 の国際会議セッション / シンポジウムまたはワークショップ、16 の I²CNER 国際ワークショップの開催、共催、または実行委員会の委員を務めている。COVID-19 の期間中も、I²CNER セミナー・シリーズは I²CNER ウェビナーとしてバーチャルに開催され、日本のみならず世界中から講演者と参加者を集めた。2022 年度は 61 のバーチャル・セミナーを開催し、1422 人が参加した。過去 3 年度における頭脳循環としては、東京大学、早稲田大学、広島大学、京都工芸繊維大学、南洋工科大学、アーヘン工科大学、ケンブリッジ大学、スウェーデンのルレア大学、バンドン工科大学、バングラデシュのダッカ大学などの世界的な研究機関に 20 名の研究者が移籍した。I²CNER は、世界中のエネルギーソリューションの発展に貢献する一流の科学者を輩出し続けている。

中長期的な組織発展のために

石原所長のリーダーシップのもと、2021 年 11 月、三井化学株式会社との組織連携を基に三井化学カーボンニュートラル研究センター (MCI-CNRC) をスタートさせた。このセンターは、I²CNER が持つグリーン水素の製造・利用、CO₂ 分離・回収、CO₂ 変換・固定、高度分析・評価といった世界トップクラスの研究と、三井化学が持つ産業界の専門知識を活用し、カーボンニュートラルの実現に必要な技術を社会実装していくことを目的としている。2023 年 3 月現在、MCI-CNRC では 9 名のポスドクが採用されている。また、「ビヨンド・ゼロ社会実現に向けたムーンショット」研究開発プロジェクト (MOZES) では、藤川主任研究者のリーダーシップの下、2021 年 4 月にネガティブエミッションテクノロジー研究センター (K-NETs) を設置し、CO₂ の空気からの直接回収 (DAC) という例のない技術の基礎となる技術革新を通じて、日本の脱炭素化の取り組みの最前線にいる。この研究は、九州大学、熊本大学、鹿児島大学、大阪工業大学、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 (UIUC) の協力に基づいている。また、松本主任研究者のリーダーシップの下、2022 年 11 月に概算要求により、エネルギーシステムデザイン研究センター (CESD) が発足し、I²CNER は准教授 3 人、助教 3 人、6 人のポスドクを雇用し、6 つの研究機関とのパートナーシップを確立した。北海道大学、東北大学、東京工業大学、物質・材料研究機構、理化学研究所、熊本大学である。

I²CNER は UIUC との戦略的パートナーシップを継続している。両大学からの継続的な資金提供により、I²CNER の枠を超えて、包括性を促進する努力の一環として、データサイエンスと数学、環境経済学、人文科学、図書館学とデータ管理、持続可能エネルギー、建築学、エクイティ & インクルージョン (DEI) などにも、さまざまな機会が広がっている。九州大学と UIUC のリーダーたちによって考案され、推進されているこれらの新しいイニシアチブは、I²CNER の頭脳循環と波及効果の一例である。

要約すると、I²CNER は WPI アカデミー・センターとして 3 年目を迎え、その変遷の裏側で、センターの一員として成長し、ポスドクの数を好調なレベルに維持し、研究室の成果を社会に還元する生産的な将来を見据えている。I²CNER は、環境に優しい解決策を推進し、多様な視点と科学的アプローチを育む方法、すなわち融合を通じて、PI の構成も継続的に更新している。