

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

エグゼクティブサマリー（中間評価用）

ホスト機関名	九州大学	ホスト機関長名	有川 節夫
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

※自己点検評価報告書の概要を、以下の見出しをつけて記述すること。（このページを含め4ページ以内）

1. 拠点構想の概要

カーボンニュートラル社会(CNS)に向けたI²CNERのエネルギービジョンは、2050年までに温室効果ガスの大幅削減(1990年比70-80%)が期待できるエネルギー技術を可能とするものである。このビジョンは、エネルギー変換利用の効率化(Efficiency Increase: EI)及び燃料と電力の低炭素化(Lowering of Carbon Intensity: LCI)のふたつの主要原理に基づいている。I²CNERビジョンには、現在I²CNERで研究されているものに限らず、全てのEI及びLCI技術が含まれる。2050年までのGHG削減目標につながるEI及びLCIの新技術とその展開のタイミング(シナリオ)の可能な組み合わせは数多く存在する。これまでに、I²CNERは最も有望な新技術のオプションを用いた4つのシナリオを生み出した。各部門ロードマップの短期、中期、長期マイルストーンは、シナリオ中の種々の有望な技術オプションの開発と展開のタイミングを勘案して設定しているため、I²CNERの研究努力は、これら4つのシナリオと密接に関わっている。I²CNERの研究努力を盛り込んだ、現在検討中の4つの当該シナリオは、a) 重要なEI技術開発及び再生可能エネルギーとCO₂貯留(CCS)のバランスのとれた展開に依拠するベース・シナリオ、b) LCI向け再生可能エネルギーの大規模な普及と重要なEI技術展開を伴う再生可能エネルギー・シナリオ、c) 電力や産業、特に石炭や重要なEI開発のためのCCSの大規模展開を伴うCCSシナリオ、そして、d) 原子力を含むバランスのとれたLCI技術を伴う「原子力も含む」シナリオ、となり、I²CNERの研究及びロードマップとCNSとの関連性を確保する手助けとなる。

研究分野の融合は、例えば異分野融合の発表論文を融合研究の証拠として提示し、厳格な評価プロセスをパスした研究チームを支援する「I²CNER競争的スタートアップ経費」などの取り組みによって促進されている。異分野融合のテーマに取り組んだI²CNERの論文は、例えば生物学から化学に及に及び、理論と実験を含んだ幅広い分野を扱っている。I²CNERは、世界に通用する研究所として認知度を高めており、増え続ける国際連携機関の数がその証拠である。I²CNERとこれらの海外パートナー機関の研究者による共著論文が発表されている。本研究所は、米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局の燃料電池プログラムとI²CNERエネルギービジョン及び研究ポートフォリオに関して情報交換を行い、共同で国際会議やシンポジウムを開催し、またエネルギー技術に関する取り組みの進展において、日米両国の政府機関を支援している。I²CNERのグリーンイノベーション推進は、開所以来I²CNER研究者による18の特許申請数に示されており、いる。大手自動車メーカー(トヨタ、日産、ホンダ)、京セラ、三菱日立パワーシステムズ、JFEスチールなど数多くの企業が、I²CNER研究者との共同研究プロジェクトから利を得ている。

I²CNERは、九州大学との交流を通じて、旧来の日本の研究体制や教員モデルに影響を与えている。I²CNERの教員及びポストドク研究者の昇任、テニユア、能力に基づく報酬の体系とプロセスは、国際的な研究機関の最高水準に準じるものである。I²CNERは、大学改革活性化制度における大学の国際化への取り組みの先頭に立ち、本研究所の教員は、エネルギー学を含む国際コースを設置することによって更なる拡大を予定している工学部のG30科目の講師を務めている。同時に、九州大学の制度下でテニユア教員ポストを目指して競い合っており、獲得した実績を持つ。これらの活動を通じて、本研究所は、影響力のある不可欠な大学の組織となりつつある。九州大学で実施されている教育研究の向上を目的とする教員の学内派遣制度の確立は、九州大学に及ぼすI²CNERの影響のさらなる証拠となる。九州大学の研究活動とシステムの構造転換は当初の目標であり、なすべきことはまだ多く残ってはいるが、著しい進展を遂げたと言える。

2. 拠点の研究活動

部門ロードマップに示されている短期マイルストーンを目標に、ソース(source:燃料の生産、貯蔵、輸送)及びシンク(sink:発電用燃料電池の改善、効率化による需要低減)両面からエネルギー需要問題に関する最先端の研究を行っている。これまでの特筆すべき研究成果を以下に列挙する。

- a) TiO₂金属酸化物は、高速かつ高効率な水電解を促す安定した光電気化学セルの電極を構成することが明らかになった。

- b) 120°Cで 400,000 サイクルの高耐久性を有する、画期的な燃料電池用ポリベンゾイミダゾール膜を開発した。
- c) 還元されたカチオンの電荷局在化が SOFC に使われる酸化物にとって望ましくない化学膨張の原因であることを見出した。
- d) 強いスピン軌道相互作用の分子を使って発光デバイスの性能を向上させ、ほぼ 100% の励起効率による EL (電界発光) を可能にした。高度な計算モデルを使うことにより新しい分子や材料の発見が進み、合成が可能になった。このような新しいシステム研究に計算モデルを使う方法は、本研究所の新たな戦略である。
- e) 定置型エネルギー貯蔵に有望なシステムである TiFe 金属間化合物の活性化メカニズムを高圧ねじり加工により発見した。
- f) 水素によって助長された塑性変形にもとづく破壊として、水素助長き裂進展の新しいモデルを提案した。
- g) 熱伝導液滴において熱対流波 (HTW) がバルクの波であることを示すために、高速イメージングを使用した。この HTW は多相系の冷媒を使用するヒートポンプの重要な要素である蒸発を制御することができる。
- h) 多孔性担体にアミンを含む 200nm 厚さのエポキシ樹脂膜は、窒素より CO₂ を選択的に透過することが示された。これは CO₂ 回収にとって重要な意味を持っている。ポリアミドアミンデンドリマーもまた H₂ 選択性を有する。
- i) CO₂ トラッピングのシミュレーション研究によって、鉱物沈殿に伴う孔隙の減少は、地層水よりも CO₂ の挙動に強い影響を与えることが明らかとなった。

今後 5 年にわたる潜在的な研究課題は、本研究所の以下の方向性の考察を含む。

- 生物反応を活用した再生可能な二酸化炭素地下貯留 (CCS)
- 地震と CCS の相互作用
- H₂ と CO₂ の活性化を目的とした生体模倣触媒反応
- 水素製造及び廃熱を利用した水蒸気電解
- 高度な材料と高度な物理的・化学的作用 (後者は、将来のカーボンニュートラルに向けた日本のビジョンにある原子力の可能な利用法に影響がある)

より良い科学のための体制と活動は、以下を含む。

- I²CNER 若手教員による大学院生リサーチアシスタントの利用
- 既存の研究装置の維持管理・最新化及び新しい装置の購入のための資金
- 内部プログラム評価委員会 (IPRC) の散発的なプログラム評価を通し、本研究所の研究文化・計画への取り組みに同委員会をさらに絡ませていくため、所内における同委員会の存在を強化
- 「Institute Interest Seminar Series (IISS)」を、若手とシニア教員の間でアイデアを共有する「シンクタンク」へと変えるため、シニア教員及び部門長の参加拡大を奨励
- エネルギーアナリシス部門 (EAD) による幾つかの研究プロジェクトの分析と調査
- 研究所の計算能力の拡充
- 国外の研究事業に触れる機会を得るよう若手の日本人研究者を説得

I²CNER の基礎科学のエネルギーシステム研究との融合を促進するため、カリフォルニア大学アーバイン校全米燃料電池研究センター (NFCRC) と協定を締結した。本研究所はまた、カリフォルニア州リバモア市にあるサンディア国立研究所とも積極的に交流している。Brian Somerday 博士は、著名な技術スタッフのメンバーであり、I²CNER の水素適合材料研究部門の部門長である。I²CNER は、様々な国家プロジェクトにおいて I²CNER 主任研究者の尽力を求める日本政府機関から、また、I²CNER メンバーが受けた国際的な賞の数々でも示されるように、海外の政府機関及び学会からも、世界に通用する研究所として評価を得ている。

3. 研究成果の社会還元

I²CNER の基礎研究—本質的に基本となるものであるが—は、低炭素技術の解決策への経路の発見と構築、またカーボンニュートラル基盤実現の技術的障害を取り除くための戦略の特定をとおして、低炭素社会への移行に影響を与えている。こうした基礎研究活動の代表例は、以下のとおりである。

- エネルギー効率に影響を及ぼす有機発光ダイオード (OLEDs) の草分け的な研究成果
- 大気汚染の少ない燃料の潜在的創出のための太陽エネルギーの効率的利用が可能で、よってその過程のあらゆる段階における炭素生成を削減する高性能触媒
- 金属や合金への水素による劣化の影響緩和プロセス及び水素経済におけるアプリケーション構成要素の安全性と信頼性に向けたユニークな水素耐性を持つ新規材料の開発
- 著しく耐久性が優れ (単セル試験: >400,000 サイクル)、かつ無加湿 120°C の状況下で高出力密度を持ち、酸浸出のない、新しい固体高分子形燃料電池 (PEFC) の開発。このような成果は、「実社会」

に向けた次世代PEFC使用の扉を開くものである。

- 燃料電池で使用される酸化物における有害な化学的膨張の起源の発見。この発見は、原子レベルでの計算及び実証研究の相乗的カップリングにより達成され、化学的膨張を減らし、燃料電池の機械的な耐久性と寿命を改良するための基礎を築いた。
- 水素貯蔵への応用可能性のあるTiFeは、高圧ねじり加工（HPT）で処理すると活性化することなく[14]水素を吸蔵放出することが証明された。このような結果が報告されたことは初めてであり、さらに研究が進めば、技術革新につながる可能性がある。
- 水素活性化のため生物的方法を模倣することによる、燃料電池技術における白金を含まない非貴触媒開発の基本的結果
- 大気への二酸化炭素排出を制御し、有用な製品（例えば炭化水素）用炭素源として二酸化炭素を再利用するために使われる、高選択性および高流量を持つナノサイズの二酸化炭素分離膜の開発
- 地中貯留層からの二酸化炭素漏出を発見するための先駆的なモニタリング技術の開拓

さらに、I²CNERではグリーンイノベーションを推進しており、そのことは18件にのぼる特許申請及び大手自動車メーカー（トヨタ、日産、ホンダ）、京セラ、三菱日立パワーシステムズ、JX日鉱日石エネルギー、エア・リキード、JFEスチール等多くの企業が、I²CNER 研究者と継続中の共同研究プロジェクトから利を得ていることが証明している。また、TOKiエンジニアリングへの高圧水素ガス用新型メタルパッキンの技術移転も行われている。

4. 異分野融合

研究分野の融合は、例えば異分野融合の発表論文を融合研究の証拠として提示し、厳格な評価プロセスをパスした研究チームを支援する「I²CNER競争的スタートアップ経費」などの取り組みによって促進されている。特に若手研究者による部門を超えた共同研究は、Institute Interest Seminar Series や 部門リトリートなどの場を通し開始されており、これらの活動は、I²CNER研究者に所属研究グループ外のメンバーとチームを形成するよう促すものである。所内における昇任と教員のテニユアポジション獲得には、研究所内規「教員の昇任審査」にも明記されているように、異分野融合研究が必須となる。例として、研究所の異分野融合研究の論文リストには、材料合成、有機化学、ナノテクノロジー、先端的特性化技術、優れた活性を示すPEFC用非金属/非貴金属のモデル電気化学触媒としての窒素ドーパされたグラフェンの合成を実現するための電気化学触媒、熱力学、機械的変形、結晶学、SOFCにおける化学的膨張の起源の発見につながった計算材料科学、などを組み合わせた研究論文を取り上げている。小江教授のグループだけで、水素活性化と製造、CO₂転換及び水分解用の触媒を設計するため、生物学と無機化学の幾つかの側面を融合した22編の異分野融合論文を発表しているのは、特筆すべき業績である。

5. 国際的な研究環境

イリノイ大学サテライトは平成23年11月に設立され、I²CNERとの連携は、I²CNER研究部門のテーマ別研究分野全てにおいて、九州大学とイリノイ大学の研究者の間で共著論文が出されるレベルまで達した。両機関の研究者は異分野融合チームを立ち上げ、チームの大学院生、ポスドク研究者、教員による相互の大学訪問は、メンバー間の交流を促進している。加えて、I²CNERの共著論文リストには、MIT、テキサスA&M大学、大連化学物理研究所、清華大学、ゲッティンゲン大学、サンディア国立研究所及びプリマス海洋研究所などの海外連携機関が名を連ねる。海外で活躍する本研究所の8名の外国人主任研究者は、皆積極的にI²CNERに参加している。8名全員が最低年に1度はI²CNERを訪問し、1週間～1ヶ月間滞在し、共同研究を行い、イベントに参加している。国際公募によるポスドク研究者及び教員の採用は、教員選考委員会（FRC）によって統括され、同委員会は本研究所の主要メンバー及び公募ポストに関する情報を提供し得る教員によって構成される。I²CNERの助教と准教授は、シニア教員から独立した自身の研究プログラムを展開するよう奨励されている。特に日本人の若手研究者は、海外連携機関を訪問するため、「Collaborative Foreign Exchange Program」を活用している。同プログラムの申し込みには、2ページのプロポーザルの提出と承認が必要となる。平成26年3月31日付けで、計7名の若手研究者（日本人6名、外国人1名）のプロポーザルが承認され、うち6名が本プログラムを通してイリノイ大学サテライトを訪問した。平成26年4月には、女性の助教が、サンディア国立研究所で6ヶ月の滞在を開始する予定である。I²CNER支援部門は、九州大学外国人留学生・研究者サポートセンターと連絡を密に取り、招へい手続きやキャンパス内又は大学にアクセスのよい家具付きの民間宿泊施設の手配を含み、外国人研究者に対して全面的支援を行っている。

6. システム改革

教員及び研究者それぞれの給与は、業績及び研究所への貢献度をもとに、副所長2名と協議の上、所長が決定する。また、九州大学は大学組織の活性化及び多様かつ有能な人材確保のため、平成23年11月、新たに「年

俸制教員制度」を導入し、さらに文部科学省の「国立大学改革プラン」に先駆け、同制度を改定し、平成26年3月から施行した。教育研究の向上のため、九州大学は「教員の学内派遣制度」を制定し、平成24年12月1日に施行した。この人事制度改革を利用し、平成25年4月1日付けでシニアレベルの主任研究者9名がI²CNERに派遣され、所属の変更を行った。同制度は現在、学内のマス・フォア・インダストリ研究所でも活用されている。I²CNERは、大学改革活性化制度における大学の国際化への取り組みの先頭に立ち、I²CNER教員は工学部のG30科目の講師を務めている。I²CNER専任教員が学生を教育指導するための手段として、新規の特定教育研究講座「エネルギー国際教育講座」が工学部/工学府に設置された。同時に、九州大学の制度下でテニユア教員ポストを目指して競い合っており、獲得した実績を持つ。これらの活動を通じて、本研究所は、影響力のある不可欠な大学の組織となりつつある。

7. 今後の展望

I²CNERは、九州大学の中期計画の中心に置かれ、同計画には「カーボンニュートラル・エネルギー関連の研究分野等において、イリノイ大学等と連携し、最先端の研究を推進する。」と明記されている。さらに、I²CNERは、大学活性化プログラムにおける九州大学の国際化への取り組みにとって、ユニークな存在である。I²CNER教員は、九州大学グローバル戦略である躍進百大実行計画の枠組みの中で、また、英語による学部教育推進を目的とする「国際カーボンニュートラル・エネルギー学国際コース」の新設により、教育に関与を深めていく。九州大学は、国際化への取り組みの一環として、全領域の研究者を長期間イリノイ大学に派遣するプログラムに関して、イリノイ大学との交渉を予定している。

WPIプログラム終了後も、I²CNERが「世界トップレベル研究拠点」であり続けるため、九州大学は現在以下のような取り組みを予定している。

- 教員の学内派遣制度及びテニユア教員ポスト獲得を目指した大学改革活性化制度への申請をとおり、I²CNER教員数を20名まで増やす。
- 民間企業の資金援助を受け、企業に対しインパクトのある研究を行っている専任教員のケースを検討する。
- 九州大学産学官連携本部(IMAQ)の積極的関与をとおり、技術移転や特許販売からのリソースを確保する。
- 九州大学の関係財団からの寄付を求める。
- イリノイ大学との連携による九州大学のユニークな立場から、日本政府の国際化に向けた取り組みを活用する。

8. その他、特筆すべき事項

I²CNERは、国内外のコミュニティー・リーダーとの取り組みを推進し、研究所の認知度を高めるため、学会、国立研究所、産業界や関係省庁などから、著名かつ国際的に認知されている研究者を講師に招き、「I²CNERセミナーシリーズ」を実施している。同セミナー講演者の5割以上が外国人である。

9. フォローアップ結果（現地視察報告書を含む）への対応とその結果

- **所長のフィジカルプレゼンス**：平成24年度の46%から25年度は48%に増加した。
- **常駐外国人主任研究者の登用**：本研究所の教員選考委員会（FRC）が、常駐の外国人主任研究者を募るため、大々的な求人活動を実施した。
- **九州・イリノイ大学間の研究者交流**：平成25年度に強化され、九州大学から23名の研究者がイリノイ大学を訪問し、うち16名が1週間以下、5名が1週間以上1カ月未満、2名が1カ月以上滞在した。同年度、イリノイからは22名の研究者が九州大学を訪問、うち19名が1週間以下、3名が1週間以上1カ月未満滞在した。
- **ポスドク研究者の雇用**：主任研究者枠での採用候補者は、FRCの審査と所長の承認を経て採用となる。
- **部門研究テーマ・プロジェクト及び若手研究者による研究**：エネルギーアナリシス部門（EAD）と研究部門の緊密な協力により、各部門ロードマップは、平成25年度には焦点を定め直したプロジェクトと目標を掲げたより成熟したものに修正された。これにより、若手研究者の努力には明確なマイルストーンと最終目標が生まれ、彼らは主任研究者からサポートを得ながら、自身の研究活動に集中できる。
- **内部プログラム評価委員会（IPRC）**：本研究所の全ての努力を審査する常設委員会である。
- **成功の評価基準**：I²CNERはミッション重視（グリーンイノベーション）型の研究所ではあるが、その焦点は基礎科学に置かれており、その成功は、「日本政府のグリーンイノベーション戦略を可能とするための関連性」、「ハイインパクトかつ領域指向のジャーナル掲載論文の質」、「研究ロードマップにおけるマイルストーン及びターゲットの実現度」、「提携企業の数と質」、「国際共同研究の質」を決める基準に基づき評価される。
- **技術移転**：開所以来、特許申請が18件あり、うち技術移転が1件、技術供与（ライセンス）が1件となる。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

自己点検評価報告書 (中間評価用)

ホスト機関名	九州大学	ホスト機関長名	有川 節夫
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

共通事項：

※平成26年3月31日現在の内容で作成すること

※各項目について、原則として指定のページ数以内で記述すること。なお、添付様式は、ページ数に含めない。

※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。

1. 拠点構想の概要 (このページを含め2ページ以内)

拠点のアイデンティティ、申請時に設定した目標の達成状況について記述すること。

- ・ 主任研究者、構成員員数、運営体制、拠点施設配置図及び事業費については[添付様式1]に記載すること。

I²CNERは、温室効果ガス (GHG) を2050年までに1990年比で70~80%削減することを可能とするエネルギー技術の発見、開発及び展開を通じて、カーボンニュートラル社会 (CNS) に向けたビジョンの実現を目指す。この目標の達成は、輸入化石燃料への国の依存により、日本のエネルギー安全保障及び経済的福祉にとって極めて重要であり、また世界の長期的な健全性の中核を成すものである。I²CNERビジョンは、I²CNERにおける新技術の研究と開発の裏にある戦略を導く、エネルギー変換利用の効率化 (Efficiency Increase: 以下「EI」) 及び燃料と電力の低炭素化 (Lowering of Carbon Intensity: 以下「LCI」) のふたつの主要原理に基づいている。EIは、エネルギー変換システムはもちろん、住宅や商業部門のエンドユース・システムにおいても推進されている。このアイデアは、工業プロセスにおいてもまた追求されるであろう。EIは、現行のシステムに適用でき、それを新技術に置き換えることも可能である。電力と燃料の供給・使用経路におけるLCIは、再生可能エネルギー又はCO₂貯留又は原子力を使うことで達成し得る。LCIは、新しい設備かインフラ又はその両方を必要とする傾向がある。I²CNERビジョンには、現在I²CNERで研究されているものに限らず、全てのEI及びLCI技術が含まれる。

2050年までのGHG削減目標につながるEI及びLCIの新技術とその展開のタイミング (シナリオ) の可能な組み合わせは数多く存在する。これまでに、I²CNERは最も有望な新技術のオプションを用いた4つのシナリオを生み出した。各部門ロードマップの短期、中期、長期マイルストーンは、シナリオ中の種々の有望な技術オプションの開発と展開のタイミングを勘案して設定しているため、I²CNERの研究努力はこれら4つのシナリオと密接に関わっている。I²CNERの研究努力を盛り込んだ、現在検討中のシナリオとは、a) 重要なEI技術開発及び再生可能エネルギーとCO₂貯留 (CCS) のバランスのとれた展開に依拠するベース・シナリオ、b) LCI向け再生可能エネルギーの大規模な普及と重要なEI技術展開を伴う再生可能エネルギー・シナリオ、c) 電力や産業、特に石炭や重要なEI開発のためのCCSの大規模展開を伴うCCSシナリオ、そして、d) 原子力を含むバランスのとれたLCI技術を伴う「原子力も含む」シナリオ、の4つとなる。これらのシナリオは、I²CNERの研究及びロードマップとCNSとの関連性を確保する手助けとなり、例えばバイオCCS、生体模倣触媒、原子力安全性及び材料の信頼性などを含んだ将来の方向性を評価し、決定することを可能とする。

部門ロードマップに示されている短期マイルストーンを目標に、ソース (source: 燃料の生産、貯蔵、輸送) 及びシンク (sink: 発電用燃料電池の改善、効率化による需要低減) 両面からエネルギー需要問題に関する最先端の研究を行っている。これまでの特筆すべき研究成果を以下列挙する。

- a) TiO₂ 金属酸化物は、高速かつ高効率な水電解を促す安定した光電気化学セルの電極を構成することが明らかになった。
- b) 120°Cで 400,000 サイクルの高耐久性を有する、画期的な燃料電池用ポリベンゾイミダゾール膜を開発した。
- c) 還元されたカチオンの電荷局在化が SOFC に使われる酸化物にとって望ましくない化学膨張の原因であることを見出した。
- d) 強いスピン軌道相互作用の分子を使って発光デバイスの性能を向上させ、ほぼ 100%の励起効率による EL (電界発光) を可能にした。高度な計算モデルを使うことにより新しい分子や材料の発見が進み、合成が可能になった。このような新しいシステム研究に計算モデルを使う方法は、本研究所の新たな戦略である。

- e) 定置型エネルギー貯蔵に有望なシステムであるTiFe金属間化合物の活性化メカニズムを高圧ねじり加工により発見した。
- f) 水素によって助長された塑性変形にもとづく破壊として、水素助長き裂進展の新しいモデルを提案した。
- g) 熱伝導液滴において熱対流波 (HTW) がバルクの波であることを示すために、高速イメージングを使用した。この HTW は多相系の冷媒を使用するヒートポンプの重要な要素である蒸発を制御することができる。
- h) 多孔性担体にアミンを含む 200nm 厚さのエポキシ樹脂膜は、窒素より CO₂ を選択的に透過することが示された。これは CO₂ 回収にとって重要な意味を持っている。ポリアミドアミンデンドリマーもまた H₂ 選択性を有する。
- i) CO₂ トラッピングのシミュレーション研究によって、鉱物沈殿に伴う孔隙の減少は、地層水よりも CO₂ の挙動に強い影響を与えることが明らかとなった。

研究分野の融合は、例えば異分野融合の発表論文を融合研究の証拠として提示し、厳格な評価プロセスを通過した研究チームを支援する「I²CNER競争的スタートアップ経費」などの取り組みによって促進されている。若手研究者を巻き込んだ部門を超えた共同研究は、Institute Interest Seminar Series や 部門リトリートなどの場を通じ開始されている。これらの活動によって、I²CNERの研究者は自身の所属する研究グループ外のメンバーとチームを形成し、新たな研究の方向性を追求することが可能となる。小江教授のグループだけで22編もの異分野融合の論文を発表した事実は、異分野融合研究がI²CNERの研究文化の一部であることを示している。

I²CNERは、世界に通用する研究所として認知度を高めている。増え続ける国際連携機関の数がその証拠である。本研究所は、アメリカにおいてはサンディア国立研究所（カリフォルニア州リバモア）、パシフィック・ノースウェスト国立研究所（ワシントン州）、ウィスコンシン大学マディソン校、マサチューセッツ工科大学、カリフォルニア大学アーバイン校国立燃料電池研究センター、ヨーロッパにおいては、ノルウェー科学技術大学 (NTNU) 及び SINTEFF (ノルウェー)、インペリアル・カレッジ・ロンドン (イギリス)、ゲッティンゲン大学 (ドイツ)、オックスフォード大学 (イギリス) と連携している。I²CNERとこれらの海外連携機関の研究者による共著論文が発表されている。本研究所は、米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局の燃料電池プログラムとI²CNERエネルギービジョン及び研究ポートフォリオに関して情報交換を行い、また、例えばThe Minerals, Metals, and Materials Society (TMS) や International Society of Solid State Ionics (ISSI) といった国際学会と共同で国際会議やシンポジウムを開催し、再生可能エネルギー、エネルギー効率化及び新しいエネルギー技術に関する取り組みの進展において、日米両国の政府機関を支援している。

I²CNERは、いくつかの場を通してグリーンイノベーションを推進している。開所以来、I²CNERの研究者による特許申請数は、18件に上る。大手自動車メーカー（トヨタ、日産、ホンダ）、京セラ、三菱日立パワーシステムズ、JX日鉱日石エネルギー、エア・リキード、JFEスチールなど数多くの企業が、I²CNER研究者との共同研究プロジェクトから利を得ている。

I²CNERは、九州大学との交流を通じて、旧来の日本の研究体制や教員モデルに影響を与えている。I²CNERの教員及びポスドク研究者の昇任、テニユア、能力に基づく報酬の体系とプロセスは、国際的な研究機関の最高水準に準じるものである。これにより、I²CNERは「カーボンニュートラル・エネルギー関連の研究分野において、イリノイ大学と連携し最先端の研究を推進する。」と明記している九州大学の中期計画の実現を可能としている。また、I²CNERは、大学改革活性化制度における大学の国際化への取り組みの先頭に立ち、I²CNER教員は工学部のG30科目の講師を務めている。I²CNER専任教員が学生を教育指導するための手段として、新規の特定教育研究講座「エネルギー国際教育講座」が工学部/工学府に設置された。同時に、九州大学の制度下でテニユア教員ポストを目指して競い合っており、獲得した実績を持つ。これらの活動を通じて、本研究所は、影響力のある不可欠な大学の組織となりつつある。九州大学で実施されている教育研究の向上を目的とする教員の学内派遣制度の確立は、九州大学に及ぼすI²CNERの影響のさらなる証拠となる。九州大学の研究活動とシステムの構造転換は当初の目標であり、なすべきことはまだ多く残ってはいるが、著しい進展を遂げたとと言える。

以上のとおり、I²CNERは当初の目標の多くを達成した。本研究所は、影響力のある九州大学の不可欠な組織となりつつあり、テニユア教員ポスト獲得のための新たなモデルを確立し、競争的なピアレビューを受けた研究方法論を導入した。今後も、引き続きカーボンニュートラル・エネルギー社会の創出における一流の研究機関としての国際的地位と名声を確立していく。

2. 拠点の研究活動（10ページ以内）

2-1. 研究成果

拠点の研究活動の全貌を記載するとともに、2010～2014年3月までの代表的研究成果10件を挙げ、その解説について記述すること。なお、各成果は箇条書きとし、[1]～[10]までの通し番号を付すこと。

- ・ 上記の研究成果を裏付ける論文一覧とその解説を[添付様式2-1]に記載すること。

水素製造

本部門の研究テーマは、エネルギーの製造、転換及び貯蔵であり、太陽光の電気変換によるエネルギー製造、水素転換による燃料製造、高効率固体照明の効率性向上によるエネルギー変換を目指している。ミクロ構造特性評価技術を使い光触媒における有機色素と無機半導体のインターフェイス構造の分析及び材料合成実験、デバイスの製造及びテスト、理論に基づいた材料開発なども行っている。プロジェクトは広範囲にわたり、新しい無機・有機光触媒及び電極、有機発光ダイオードの新しい分子合成、光電解化学セル、光起電セル、電気化学及び電解による水還元材料など網羅している。要約すると、本部門の目的は太陽光から水素への直接変換を行う光電気化学セルと、2段階水素還元過程として水蒸気電解を併せた太陽光発電の開発である。太陽光発電を補う有機発光デバイスを開発し、高効率照明によりエネルギー消費の低減に貢献する。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[1]光触媒水分解

現在の光触媒における重要な課題は、1) 十分な光吸収を行うバンドギャップがある光触媒は水溶液中、照射下でしばしば不安定であり、2) 安定している触媒では、太陽放射の効果的利用には広すぎるバンドギャップを有する、の2点である。我々の研究は、凝縮物質や半導体の物理から得た教訓を応用し、強力に光吸収を行う安定した材料の開発を目指している。我々のチームは図1に示されている光触媒水分解のヘテロシステムへの先駆的アプローチを行っており、異分野融合を基礎とする。つまり、「金属酸化物」（濃縮物質物理コミュニティのプレイグラウンド材料）と酸化チタン（ TiO_2 ）（光触媒水分解に貢献するワークホース材料）のカップリングである。 TiO_2 の効率性における基本的限界は、太陽のスペクトル 10%以下の低い光吸収である。対照的に、 SrRuO_3 のような相関金属酸化物は、金属の伝導性と半導体の光吸収性を併せ持っているため特殊である。これらふたつの材料のカップリングにより、独特の統合機能性、つまり相関金属酸化物における大きな光吸収（図1a）、酸化物から TiO_2 へホットキャリアの効果的な電荷移動（図1b）及び化学反応に触媒作用を及ぼす TiO_2 の望ましい表面化学を示す[1]。他の相関金属酸化物、つまり TiO_2 統合システム(SrRuO_3 , LiNiO_3 , SrVO_3 , LaSrMnO_3 , LaSrCoO_3)も同様に光触媒活動が劇的に向上することから、このアプローチの普遍性と広範囲適用性は明らかである[2]（図1c）。

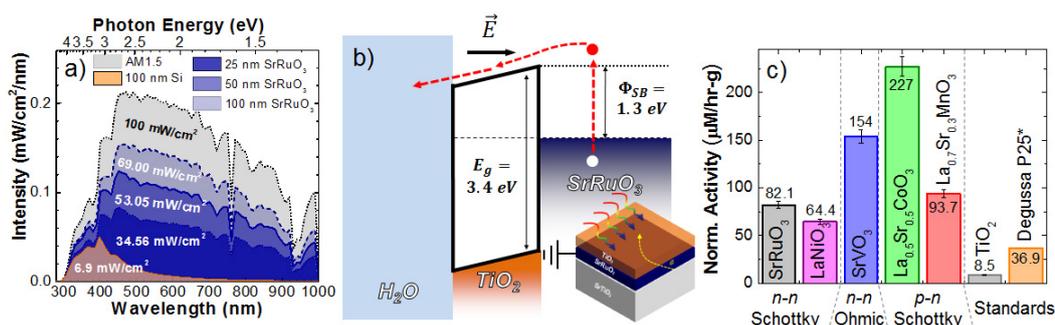


図1：

- 集積された $\text{SrRuO}_3/\text{TiO}_2$ ヘテロシステムの光吸収
- SrRuO_3 から TiO_2 へ高速移動する光励起キャリアを可能にするホットキャリア注入
- 相関金属酸化物/酸化チタン材料システムの相関活動[1, 2]

同様に特筆すべき研究成果として、ナノシートpn接合 ($\text{NiO}/\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$) 及びnp接合 ($\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}/\text{NiO}$) の作製が挙げられる[3]。np接合は、pn接合や分離ナノシートと比べて水素活性が高い。我々は、np構造の高活性に係る表面化学について基礎的研究を行い、カルバン顕微鏡観察によって空間的に酸化及び還元サイトを分離する表面に電位勾配を導入し再結合反応を抑制させることにより更なる水素生成を達成したことがわかった。

[2]有機発光デバイス (OLED)

有機発光ダイオード (OLED) は、高効率で低電力な固体照明への有望なアプローチと長い間考えられてきた。しかし、いまだ効率はかなり低く、時には高コストである。最もよく使われている蛍光発光材料は、25%の一重項励起子しか発光しないため発光能力が限られている。これは、残り75%の三重項励起子の消光を禁じる量子力学的遷移規則によるものである。一方、第2世代のリン光スキームでは、強いスピン軌道カップリングによりこの限界を克服し、ほぼ100%ELを達成した。しかしリン光スキームの広範な利用には高価なレアメタルを使うことが障害となっており、また確実な青色りん光スキームを示すことができなかった。そこで、本グループは、レアメタルを使わずに全励起子から発光できる青色OLEDへの新たなアプローチを提案した [4]。このアプローチは、安達主任研究者グループが開発した第3世代材料、熱活性化型遅延蛍光 (TADF) に基づくものである [5]。新しいアプローチは、熱活性電荷移動により、最も低い一重項励起子と三重項励起子の熱エネルギーギャップにより高効率を達成した。量子力学的コンピュータモデリング及びシミュレーションによって、いくつかの候補である原子システムをデザイン、評価し、一重項と三重項の電極移動状態において求められる低いエネルギー差を示した (図2a)。図2bのデバイス構造を持つ新しいシステムは、現在よく使われている最高のリン光OLEDに相当する外部量子効率19.5%を示した (図2c)。

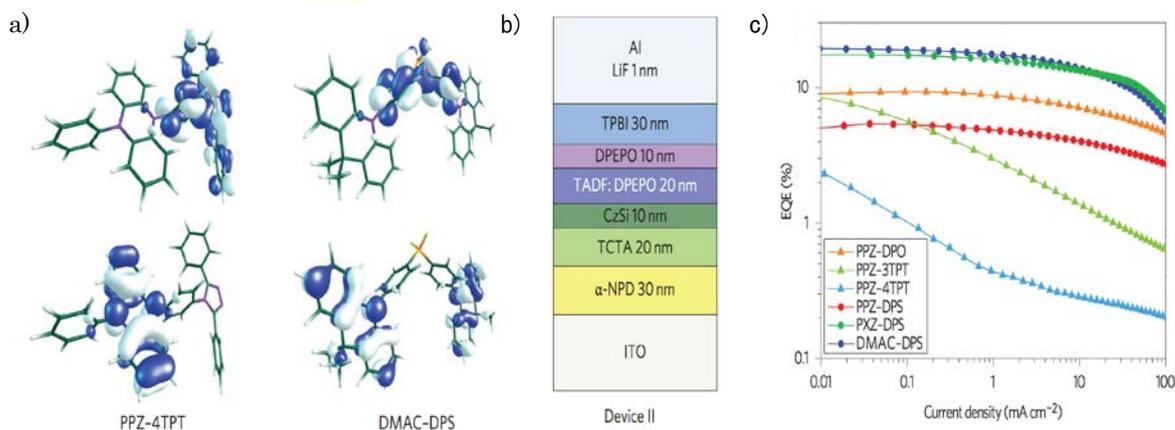


図2:

- 熱活性化された遅延蛍光の第一原理モデリングを使った分子錯体
- ~20%外部量子効率青色OLEDのデバイス構造
- 外部量子効率測定 (20%外部量子効率青色OLEDを含む) [4]

水素貯蔵

本部門における研究は、水素のモバイル型及び定置型貯蔵や水素輸送のための新しいキャリア材料を開発することを目的としている。モバイル水素貯蔵のような貯蔵材料を用いた貯蔵システムでは、水素燃料電池車に要求される項目として、体積、水素重量パーセント、コスト、高速充填放出、そして油井から自動車までの高いエネルギー総合効率での耐久性が挙げられる。水素吸蔵材料を用いた水素輸送システムでは、水素を大量輸送できるコスト効率がよいトラック輸送に焦点が当てられている。材料を用いた定置型水素貯蔵は、既存の圧縮ガス水素貯蔵よりもコスト効率がよく、エネルギー効率がよいもので、また独自の水素貯蔵基準を満たすものでなければならない。

本部門独自の重要な研究成果は、ある種の水素貯蔵材料の劣化メカニズムを微視的に示したこと [6]、他の水素貯蔵材料については性能を向上させる先進的な材料合成法を開発したこと [7]、そして3つ目は水素貯蔵材料の性能を大きく向上させ、まったく新しい材料のカテゴリーをつくり、水素貯蔵へ導く方法を発見したことである [8, 9]。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[3]燃料電池車搭載型と定置貯蔵型水素貯蔵材料及び高圧ねじり加工 (HPT) を利用する水素貯蔵への新しい道すじ

V-Ti基BCC構造合金は、車両搭載用材料の最も有望な候補のひとつである。本部門での研究は、2つの主な障害、重量容量が少ないこと及びサイクル寿命が短いこと、の解決に焦点を置いている。重量容量の問題は、ミクロ構造の変化及び水素発生サイクルの格子欠陥から生じると考えられている。本部門ではTEMを使って、ミクロ構造に与えるTi/V比の影響及びTi-V二元BCCの水素化/脱水素化特性を解明した [6]。Tiの増加に伴い、有効水素容量は減少し、双晶境界の密度は増加した。これは、水素化によって

形成された双晶境界が水素トラップとして働くためであり、そのため、Vの増加に伴う水素化物生成エンタルピーの増加と相関があることが判明したこれらの合金では水素の放出抵抗が増加した。Mg(BH₄)_nのようなメタルボロハイドライドは、10 wt %を越える水素容量を持つが、反応速度と水素放出温度が現在主要な障害となっている。このシステムの熱力学的、動力学的特性を改善するため、新しい無溶媒合成プロセスを開発した[7]。これは、様々な脱水素化反応の中間体 (e.g. [B3H8]⁻, [B5H9]₂⁻)の合成に適用でき、メタルボロハイドライドの脱水素反応および再水素吸蔵メカニズムの解明にとって大変重要である。

TiFeは、安価で定置式水素貯蔵システムへの適用に理想的な材料である。大気圧水素下、室温で液体水素よりコンパクトな形で水素を吸蔵、放出する。昭和40年代後半にこの考えは発表されたが、活性化(水素吸蔵、放出)には400°C以上の高温及び30気圧以上の高圧水素が必要であったため、長い間手がつけられずにいた。秋葉主任研究者と堀田主任研究者は、共同研究において相補的な背景、着想、技法を基盤にこの活性化問題に注力している。高圧ねじり加工(HPT)をつかって、堀田主任研究者とその研究グループはTiFeサンプルに大きな歪みを導入し、水素貯蔵とサイクル寿命特性を計測した。驚くべきことにHPT加工後のTiFeにより、これまでに必要であった高温、高圧下の活性化処理なく水素を吸蔵させることに成功した(図3)[8]。

さらに、TiとFeは容易に酸化するにもかかわらず、水素化/脱水素化のサイクルを何ヶ月も繰り返した後大気中に置かれたTiFeでも、活性化処理なく水素と容易に反応した。HPT加工によって形成されたFeリッチ相の島状析出物は、水素分離の触媒として考えられる。また微小きれつ及びナノ結晶粒界は、水素の拡散経路となり水素化物形成部に対して転位として寄与しているものと考えられる[9]。

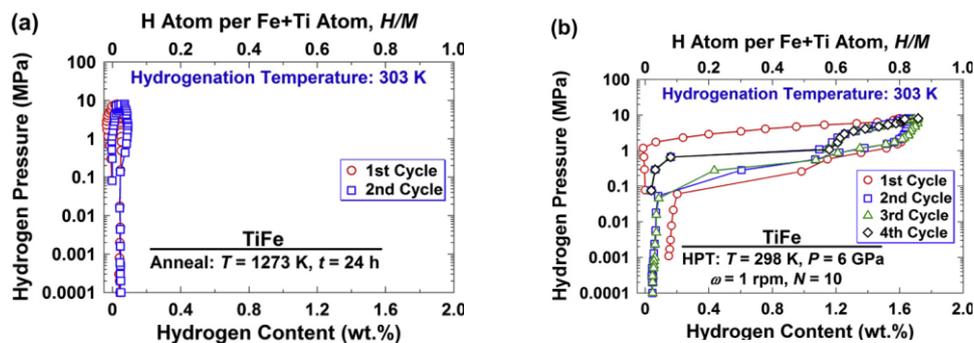


図3 : (a) 高圧ねじり加工前の水素吸蔵、(b) 加工後の水素吸蔵

燃料電池

本部門の研究目的は、高耐久性、高効率、低コストな燃料電池(固体高分子形燃料電池(PEFC)及び固体酸化物形燃料電池(SOFC))を開発し、発電、発熱時におけるCO₂排出を削減することである。PEFCについては、a) 耐久性のある触媒(グラフェン、カーボンナノチューブ、メソポラスカーボン、SnO₂など)を使い、より高温(>100°C)で作動する水素PEM燃料電池を開発すると共に、b) カーボンナノチューブとの併用でPBI基イオノマーの高温電解質について研究し、評価する。グラフェン、電荷移動コンプレックス(CT複合ハイブリッド膜)なども使って実験を行う。SOFCについては、圧力をかけたSOFCの劣化メカニズムを調べ、燃料フレキシブルな定置型及び発電設備用、特にガス化燃料電池複合発電(IGFC)、天然ガストリプルコンバインドサイクルへの適用に向け金属酸化物の基礎的・表面/界面触媒プロセスを理解する。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[4] 代替触媒

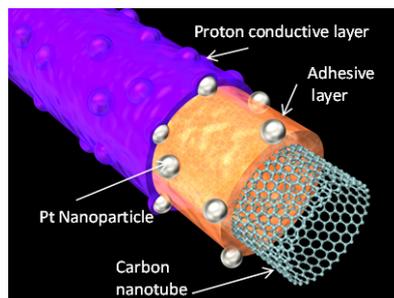


図4 : 欠陥部位のないカーボンナノチューブを元にした燃料電池電解触媒。従来のカーボンブラックを使った燃料電池触媒より100倍以上高い耐久力がある[10]。触媒は、ボトムアップナノ組織化法で作製された。

非常に高い耐久性（単一セルテスト：>400,000サイクル）を示し、無加湿下120°Cで作用する高電流密度をもつ固体高分子形燃料電池（PEFC）を新規開発した（図4）。現在の最先端PEFCでも、高温下で80,000サイクルを下回る低い耐久性しかないことを考えるとこの成果は驚異的である。中嶋主任研究者のグループが開発したポリベンズイミダゾール（PBI）膜の利用によって耐久性は劇的に改善した。この膜は、カーボンナノチューブ触媒担体との共存下で酸浸出を受けない[10-16]。このような高温動作に対して高耐久性を持つPEFCは、ナフィオン基低温PEFCからPBI基高温PEFCへのシフトを加速し、高温PEFCはナフィオン基低温PEFCより発電効率が向上し、Pt被毒を低減することができるだろう。さらに、高温PEFCは高純度H₂を必要としないため、大幅なコストダウンが期待される。

PEFCカソードにおいて酸素還元反応の白金フリー/非貴金属触媒として、通常のアプローチでは、熱分解されたFe/N/C基触媒や窒素ドーパされた鉄を含む触媒が使われた。しかしながら、これらの触媒は複雑な化学構造をしており、そのため反応メカニズムの解明はほとんど進んでいなかった。我々のアプローチは、単純化された鉄フリーモデル触媒システムを合成し、これらの触媒における窒素の役割を明らかにすることである。特に4電子酸素還元がFeなしで可能であればよりよい非貴金属触媒を作製することができる。窒素ドーパされたグラフェン発砲体は、広い表面積（>700m²/g）で開発され、数年をかけ電気化学的活性を高める最適化を行った。実際、酸性のFeフリー触媒としては最も高い活性が報告された[17]。より高い電流密度により、主な4電子酸素還元は、Feなしで可能であるということが新たに判明し、また、ダブルターフェル勾配は白金のような酸素還元メカニズムを示すことが初めてわかった。

これらの研究結果により、100-200°Cで動作し、より良い動特性を持ち、CO被毒の低減が可能な低コスト、高耐久性の燃料電池の実現が期待される。

[5] SOFCにおける化学膨張の原因解明及び化学膨張を抑えた新しい材料の開発

低温動作SOFCに使われる高度な多くの電極において、化学膨張として知られる非化学量論誘発性拡張が、動作中継続的な応力による大きなひずみを誘引し、機械的破損の原因となる。平成23年度にTuller主任研究者、Bishop助教、Perry学術研究員のグループは、ホタル石型構造を持つSOFC材料の化学膨張の原因について実験及びコンピューター分析を行い、カチオンと酸素空孔が重要な役割を持つことを発見した。その研究成果は、「Advanced Functional Materials」誌に掲載された[18]。平成25年度にはKilner主任研究者の知見を得てさらに研究を進め、酸素空孔の格子緩和は、カチオン代用により化学膨張係数を操作できる可能性のある重要な方法であることを発見した[19]。本グループは、化学膨張における酸化セリウム中の等原子価Zrの役割を解明しようと実験及びコンピューター解析を行った。東北大学雨澤教授の支援を得て、Pr_{0.1}Zr_{0.4}Ce_{0.5}O_{1.95-δ}における化学膨張についてHTXRDによる膨張率測定、TGA測定を行い、Zr_{0.5}Ce_{0.5}O_{2-δ}の密度汎関数理論（DFT）計算を行った[20]。Zrの還元性及びセリアの化学膨張は継続的に増加するが、化学膨張と非化学量論（化学膨張係数）の関係性は、セリアで観察されたものよりかなり小さい（54%減）。これは今までの研究からの予想と一致する。酸素空孔の格子の大きさと関連して化学膨張係数減少の原因をDFT計算法を使い、今まで研究したセリアジルコニアの可約性減少とあわせて説明した。この研究成果は平成25年度に論文発表された。

本チームは、現在の研究を進め、SOFCなどのエネルギー関連応用によくみられるペロブスカイト酸化物の研究を行っているが、さらに複雑な構造への挑戦的研究となっている。最近の研究結果では、減少するカチオンのチャージ局在化が化学膨張に重要な役割を果たすことを発見し、平成24-25年度に論文発表した。また化学膨張に関する研究の蓄積はエネルギー関連のオンライン雑誌に発表されている[21]。

この発見は、SOFCにおける化学膨張低減による耐久性の向上達成について取り組んだものであり、SOFC電極機能層への利用の可能性を現在精査中である。

熱科学

本部門の研究目的は、カーボンニュートラル・エネルギー技術における材料の最も効果的な利用及び材料の熱物性、熱科学、熱工学の知識を増強させることにより、熱的なプロセスのエネルギー効率を改善することである。本部門では、水素及び代替冷媒の熱物性の研究において、これらの物質の効率的な使用によってCO₂排出を削減し、熱、物質移動の基礎科学に関する理解を深化し、新しい熱駆動ヒートポンプ、排熱及び新しい冷媒を利用する冷却システムに関する研究を通して、エネルギー効率改善とCO₂排出削減を目指している。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[6] 蒸発と動的ぬれ性の相互作用

液体の蒸発及び固体材料との相互作用 [22, 23] は、発電、ヒートポンプ、冷却システム及び熱コントロールのような技術分野に直接的な影響をおよぼす。液体熱伝達の重要な2タイプ、つまり、再凝縮に至るまでの蒸気の流動を引き起こす相変化が起こる蒸発と、固体上を移動する3相が会うトリプルラインが基本的な熱伝達を支配する動的な濡れに焦点をあてる。これらはこれまで個別に研究されていたが、近年、相互作用の影響について研究されるようになった。高田主任研究者グループは、[24] 赤外サーモグラフィーを使って、FC-72液滴（熱伝達機器用液体）蒸発中の液体—障壁面の温度、熱流束を初めて測定した。同時に液滴蒸発の高速イメージングにより、液滴の性質を観察した（図5）。

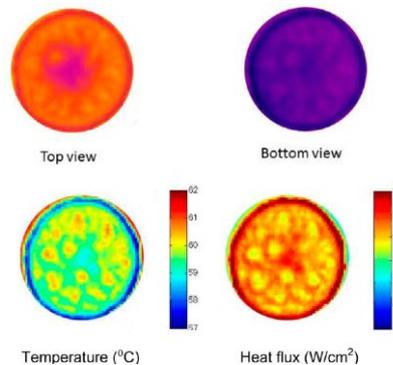


図5：66°Cでの基板上2.5- μ L FC-72 液滴の蒸発 $t = 0.167$

(上) 上部から下部表面のIRデータ
(下) 下部表面の抽出温度と熱流束分布 [24]

熱対流波（HTW）は、実際は液滴全体に広がるバルクの波であることが最近の研究でわかった。またより重要な発見として、バルクの液滴内でおこる温度パターンは温度と固体基板の熱流束分布に影響を与え、さらに液滴蒸発率にも関係することがわかった。また基板温度の上昇に伴いその影響は大きくなる。

触媒的物質変換

本部門は、基礎科学と工学の両面に基づいた新しい触媒を開発し、革新的なカーボンニュートラル技術の創出を目的としている。太陽エネルギー及び省エネルギーに係る触媒の研究に焦点をあてたもので、エネルギー、電力、工業生産過程における格段のエネルギー効率の向上及びCO₂排出削減に寄与する潜在力を持っている。また、天然の酵素機能に基づいたH₂、CO₂、H₂Oを活性化させるバイオミメティクス触媒の開発、至る所豊富な大気をオキシダントとして活用する省エネルギーで新しいグリーン物質変換システム、燃料酸化触媒、カーボンニュートラル電力発生サイクル用新奇材料の再生や製造などについて研究を行っている。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[7] 生物学的な水素活性化：水素を酸化する[NiFe]ヒドロゲナーゼの活性部の最初の人工合成

化学者は、より単純な構造の化合物で酵素の水素活性化を模倣できないか長年追求してきた。小江主任研究者のグループは、[NiFe]水素可逆的酸化還元酵素の機能をもつ[NiFe]型モデルの創生を報告した（図6）。この酵素により水素は不均等に活性化し、電子移動もしくは水素化物反応によって基質を削減するヒドリド錯体が形成される。X線回析、中性子散乱等あらゆる技術を用いて構造解析を行ったところ、結晶構造であることがわかった。またヒドリド配位子の大部分はFeセンターと関連していることを発見した。配位子の性質は強い酸による反応でH₂が遊離することによるものであることが明らかになった。[NiFe]ヒドロゲナーゼモデルの合成に成功したことにより、ヒドリド錯体を形成する水素を不均質活性化し、電子移動もしくは水素化物反応によって基質を減少させた[25-27]。これらの結果により、水素燃料電池技術の進歩は加速し、非貴金属触媒による水素活性化の劇的過程が明らかになり、低コストの水素燃料電池への道を開いた[28]。

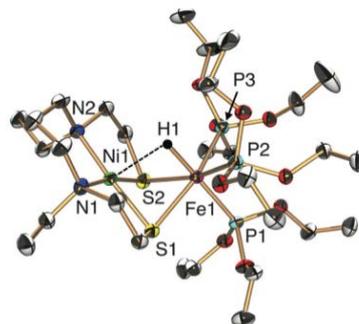


図6： ニッケル・鉄触媒の結晶構造 [25]

水素適合材料

本部門の研究目標は、高圧水素貯蔵システムのコスト、性能、安全性の最適化を可能にする基礎科学を提供することである。特に水素による材料の疲労、破壊、トライボロジーに及ぼす影響を解明するための実験方法とモデルの開発、耐水素性のある低コストで高性能（高強度など）を持つ次世代高度材料の開発を目指している。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[8] 低酸素濃度の水素ガス中での疲労き裂進展に影響を与える要因の解明

水素の製造、貯蔵及び輸送用構造部材への適用が期待される低強度フェライト鋼は、水素ガスにより疲労き裂進展速度が劇的に加速される。このような疲労き裂進展の加速は、水素ガス中の微量酸素によって抑制されるという実験結果がある。しかし、このような抑制効果に及ぼす環境因子と力学的因子の影響については、これまで定量的に整理されていなかった。

平成23年度及び平成24年度に、酸素濃度を制御した水素ガス中でのX52配管鋼の疲労き裂進展速度測定の実験を行った。本実験のアプローチは、従来の研究からの革新的な展開を意味している。すなわち、酸素濃度、負荷サイクル周波数、平均応力が重要な因子であることを見出し、これらを系統的に変化させた実験を行なった。その結果、世界で初めて水素助長疲労き裂進展に及ぼす酸素の影響について明確な傾向が解明され、これらのデータにより、水素助長疲労き裂進展が酸素によって抑制される物理メカニズムの仮説がたてられた[29]。この仮説に基づき、平成24年度、平成25年度には、不活性環境での疲労き裂成長速度、酸素濃度、負荷サイクル周波数、平均応力から加速抑制効果を予測する解析が開発された。このモデルは、微量の酸素を含む水素ガス中でのX52鋼のき裂進展開始にこれらの因子が及ぼす影響を正確に表現した(図7)。要約すると、このモデルは、水素助長疲労き裂進展への酸素の役割を定量的に予測することができる唯一のモデルである。

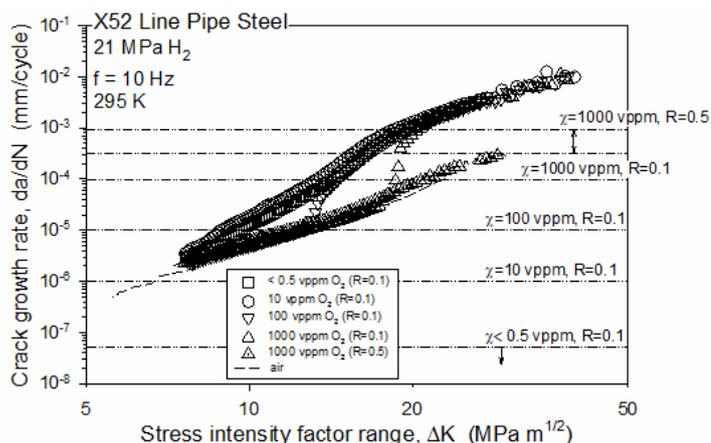


図7：き裂進展の水素助長開始点(図中の記号が測定値)は、酸素濃度(χ)と平均応力(R)の値から予測できる(図中破線)[29]

上記予測モデルの開発と並行して、鋼への水素侵入を酸素が抑制する基本メカニズムについて第一原理計算を行った[30]。DFTモデリングを用いて、鉄の表面における水素—酸素の競争的共吸着のいくつかの特徴を発見した。すなわち、1)酸素は表面吸着サイトへの水素の吸着を抑制する。これは、ガス分子—鉄表面間の引力が水素と比べて酸素の方がより強いことによる、2)鉄の表面に吸着した酸素は水素分子解離のための活性化障壁を増加させる。なぜなら、酸素は電気陰性度が高いため周辺に電子密度を集中させるためである。水素解離に対する酸素の抑制作用は触媒の分野で認識されていたが、この作用と鋼への水素侵入の酸素による阻害との関連性が取り上げられたことはなかった。

CO₂分離・転換

本部門の研究目的は、発電や工業プロセスにおける高効率なCO₂分離材料の開発と、CO₂を液体燃料やその中間体といった有用物質に変換するための効率的かつ経済的な電気化学システムの開発である。より具体的に言えば、石炭ガス化複合発電(IGCC)の燃焼前過程、発電所や他の産業における燃焼後過程、そして天然ガス田でのガス精製過程におけるCO₂分離に用いる新しい膜技術の開発である。電気化学的転換の分野では新しい触媒や電解質を開発することである。強調したいことは膜分離は重要な科学的挑戦を提起していることである。従来の膜技術は、実用レベルに達するガス選択性があるものの、ガス透過性が少ないことが問題になっていた。この問題を解決するには膜を薄くすることが最も重要なアプローチであるが、現在の膜厚は数ミクロンにとどまっていた。選択的ガス分離にむけてさらなる薄膜化と材料開発は本部門の主な研究目的である。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[9] ガス分離のための自立したナノメートル厚の膜及びCO₂選択性膜のメカニズム解明

藤川主任研究者のグループは、スピコート法によるナノメートル厚の膜の作製に成功した（特許申請中）。200ナノメートル以下のエポキシ樹脂膜は、多孔性担体を安定的に透過、固定させることができた（図8a）。また、加湿条件下において、窒素ガスに対してCO₂ガスを選択的に透過させた。これは、ナノ膜による選択的CO₂分離に成功した初めての研究結果である。このナノ膜においては、エポキシ樹脂のアミンは膜の親水性及びCO₂との親和性のために必要である。

谷口准教授のグループは、 dendリマーの存在下でポリエチレングリコール（PEG）ジメタクレートを光架橋することによって dendリマー高分子膜を調製した。また、ポリアミドアミン dendリマーはCO₂への親和性が非常に高いことを発見した[31]。この膜は非常に優れたCO₂分離性能を示した。CO₂分離性能は、ポリアミドアミン（PAMAM） dendリマーの組成や世代、相分離構造（PEF鎖長）及び湿度に密接に関連している。ポリアミドアミン（PAMAM） dendリマーのCO₂選択分離メカニズムは（図8b）「Molecular Gate」（分子ゲート）という表現に集約することができる。この高分子膜は高いCO₂選択性を示し、CO₂は膜中、重炭酸塩とカルバミン酸塩を形成し、前者が主な透過種となる。また、後者は dendリマーと反応して擬似架橋を形成し、H₂透過を妨げる[32]。

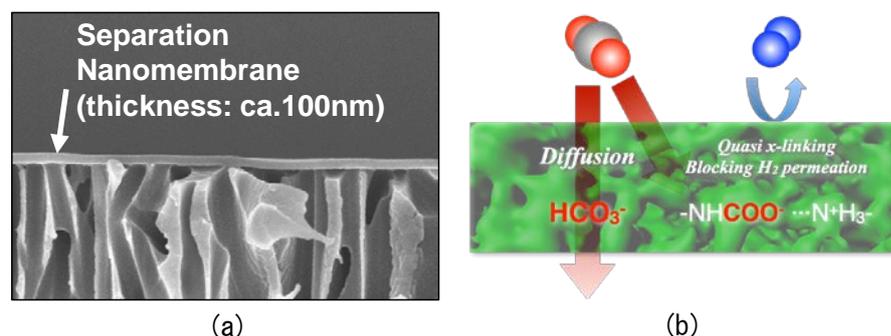


図8：(a)高流量CO₂分離薄膜（100nm未満）、(b)作製したPAMAM dendリマー膜のCO₂選択性メカニズム：H₂浸透性を妨げるカルバミン酸塩 dendリマーの準架橋結合

CO₂貯留

本部門は、海底地層内において安全で恒久的なCO₂貯留を実現するため、貯留層特性の評価とモデリング、及び圧入/漏洩CO₂の効果的なモニタリング手法の開発を目指している。さらに、日本特有の地層に適した新しいCO₂貯留コンセプトの確立を目指している。この研究プロジェクトでは、日本特有の地質構造の不均質性、帯水層へCCSにおける限定的な地質/地球物理学データ、断層付近の圧力変化に関する長期モニタリングの必要性などに注目し、それを克服するための研究を行っている。代表的な研究成果は以下のとおりである。

[10] CO₂注入及びトラッピングシミュレーションと地震波速度によるCO₂貯留量の推定

貯留層シミュレーションによって、CO₂圧入前に貯留層を正確に評価すること、またCO₂圧入後のCO₂の挙動の予測が行われる。しかし貯留層スケールのシミュレーションに加えて、CO₂トラッピング形態に影響する間隙スケールでの物理・化学的過程の理解が重要であると考えられている。辻主任研究者のグループは、岩石内部の多層流挙動に関する革新的なモデリングとシミュレーションに成功した。この研究は、大規模なCO₂挙動のモデリングに関係するだけでなく、間隙内のCO₂トラッピングメカニズムの有効性の評価も可能とする。辻主任研究者のグループは、マイクロCTスキャンイメージから抽出した実岩石のデジタル間隙モデル（図9a）に対して格子ボルツマン法（LBM, 図9b）を適用し、不均質な地層におけるCO₂残留トラッピングメカニズムを定量化し、さらに相対浸透率を計算することに成功した。この研究により、貯留層モデリング及び特性評価に最も重要なパラメータの一つである相対浸透率は、界面張力に強く影響を受けることが明らかになった[33]。さらに鉱化モデルをLBM流体シミュレーションに統合することによって、岩石間隙内部の鉱物化をモデリングし、鉱物化が水理特性に与える影響を推定することに成功した（図9c）。その結果から相対浸透率は、鉱物沈殿による間隙減少（図9d）によって、地層水よりもCO₂に強い影響を与えることがわかった[34]。我々は、LBMシミュレーションを不均質な地層でのCO₂トラッピングメカニズムに解明に向けた研究に用いているが、そのシミュレーションに用いるモデル（グリッド数）は、我々の知る限では、世界最高サイズである。

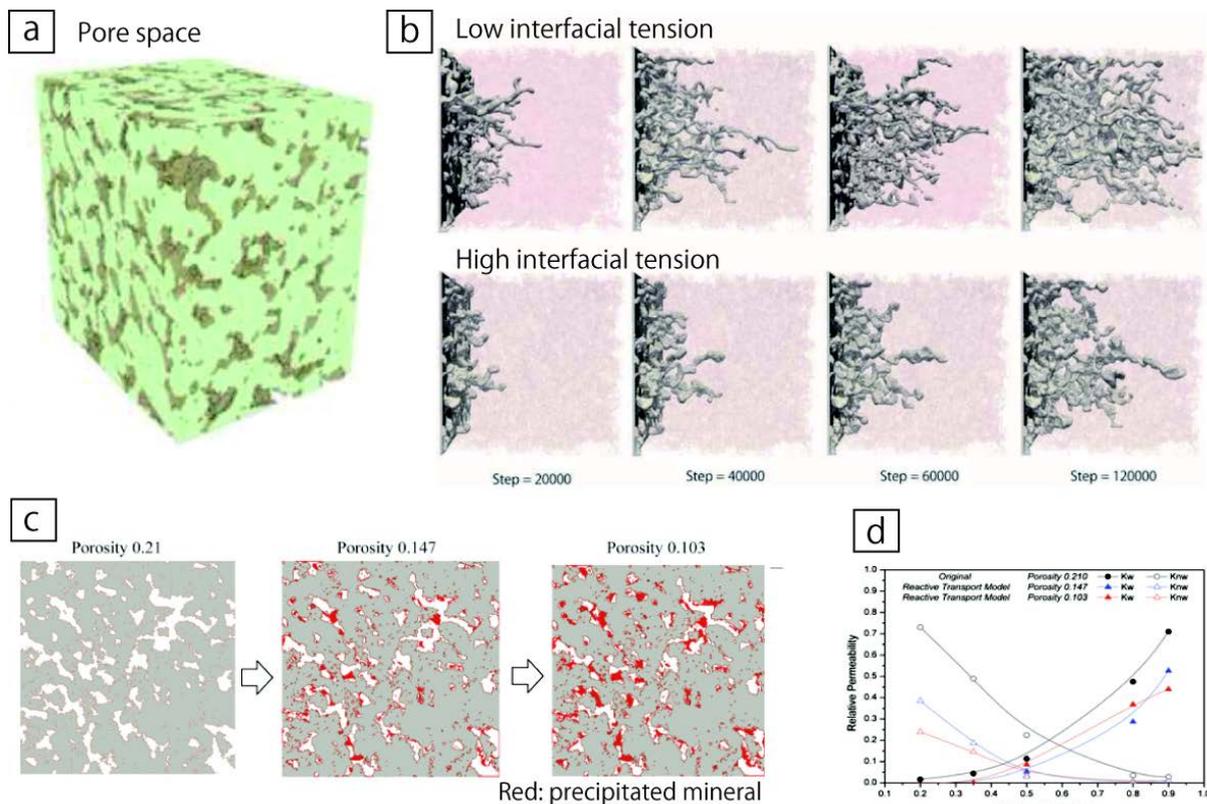


図9：

- a) ベレア砂岩の孔形状（マイクロX-CT画像）
- b) 界面張力によりパラメーター化された孔間内の超臨界CO₂挙動 [33]
- c) CO₂挙動から計算した岩石間隙内の鉱物沈殿 [34]
- d) 鉱物化した岩石モデルから計算した相対浸透率

北村助教と薛WPI招へい教授は、海底下CO₂貯留層候補のCO₂貯留量評価におけるS波速度の重要性を示した [35]。貯留層内部のCO₂挙動モニタリングにおいて、CO₂飽和度は通常P波速度で評価するが、北村助教と薛WPI招聘教授は、二酸化炭素の注入過程と排出過程において、P波速度とCO₂飽和度の関係にヒステリシスが存在することを明らかにした。このヒステリシスは、超臨界CO₂と水は多孔質媒体中においてそれぞれ異なった流動メカニズムを持つことを示している。ヒステリシスの存在により、P波速度だけではCO₂飽和度の正確な評価ができない。そのため、より信頼性のあるモニタリング方法を開発し、貯留層注入後のCO₂挙動を把握することが重要である。現在、地下深部貯留層におけるS波速度構造の詳細は評価方法を開発中である [36]。

2-2. 新たなチャレンジ

WPI拠点にふさわしい新たなチャレンジの実績について記述すること。

より良い科学のための体制と活動

I²CNER 専任教員による大学院生の指導

I²CNER専任教員の研究プログラム拡充には、大学院生のリサーチアシスタントの存在が不可欠である。アメリカのアカデミック・システムにおいては、若手教員による博士論文の直接指導は一般的である。将来的に、特に若手教員がこの活動に従事できるよう、I²CNERは九州大学と共に取り組んでいる。工学府水素エネルギー専攻担当の松本教授、工学府機械工学専攻担当の久保田教授といった専任教員のうち数名は、九州大学の学府との協力を通じて、大学院生の直接指導が可能となっている。これらの指導教員は、専攻の意向を基に（例えば個人ベースで）その専攻において学生指導を行うよう選ばれているが、I²CNERは、こうした専攻で学生指導が認められる専任教員数の増加を目標としている。現在も、多くのI²CNER教員が、大学院工学府の教授とのパートナーシップを通して、直接あるいは間接的に、大学院生の指導に参画している。

研究設備

既存の研究装置の維持管理・最新化及び新しい装置の購入のための資金確保は、常に緊急の課題である。I²CNERは、新規の設備を継続的に追加し、既存のメンテナンスを行い、アップグレードする方法を見出さなければならない。以下はその例となる。

- 水素貯蔵研究部門はPCT（圧力-組成-温度）等温線測定装置の購入により成果を出している。一度PCT特性が得られると、水素貯蔵材料のほとんどすべての貯蔵特性が特定される。この部門は、In-situ X線回折装置からも成果を得ており、これは、高圧水素下、高温下での構造変化を理解するための理想的な設備である。
- 水素適合材料研究部門に於いては、いくつかのマイルストーンの実現は、高圧水素ガス下での材料の機械的特性試験を実施できるかにより決まる。現在、そのような試験設備は主に九州大学の水素材料先端科学研究センター（HYDROGENIUS）保有のものがある。しかしながら、HYDROGENIUSの研究プロジェクトの高度な目標の達成がこれらの設備に大きく依存しているため、I²CNERの研究に使用することは困難である。このため、そのような試験のための設備を独自に設置することは非常に有益である。原子プローブ断層撮影（APT）装置の導入は、原子スケールでの三次元画像化と化学組成測定を通して、重要な研究のブレイクスルーの可能性を手助けするものであろう。（概算価格：100万USD）

内部プログラム評価委員会 (IPRC)

一昨年度のWPI作業部会の指摘を受け、所長は「来る中間評価を見据えて、本研究所の研究活動全ての範囲に渡り、所長に情報を提供する」目的で、平成24年に臨時の特別委員会として内部プログラム評価委員会 (IPRC) を設置した。その結果、平成23年度に立ち上げた「異分野融合研究スタートアップ経費」プロジェクトの幾つかを中止し、本プログラムの総予算を50%以上削減した。さらにイリノイ大学サテライト教員2名のプログラムを打ち切った。昨年度の現地視察時の指摘を受け、IPRCは平成25年11月1日付けで、常設の委員会となった。続いて、各部門の具体的な研究目標との関連性を判定するため、所内全ての研究プロジェクトに対し深く掘り下げた再審査を行うため、所長はIPRCを召集した。IPRCは、平成26年1月31日付けで審査報告書を提出した。所長は現在、IPRCと共に全ての審査結果を見直しており、現地視察後に措置を講じる予定である。所長は、同報告書をI²CNERロードマップに最適な人員とリソース再配分を決定する際のツールとして用いることにしている。さらに、I²CNER研究者は、個別のプロジェクト評価を受けることになる。今後の課題は、IPRCの散発的なプログラム評価を通し、同委員会を研究文化・研究計画への取り組みにさらに絡ませていくため、所内における同委員会の存在を強化することである。

WPIファカルティ・フェロー・プログラム

卓越した国際的な大学や研究機関所属の、将来性のある有望な、またはすでに著名な海外研究者が、3ヶ月から6ヶ月の期間中、九州大学において短期間、実地で異分野融合及びI²CNER関連の研究を実施するよう働きかけるため、WPIファカルティ・フェロー・プログラムを創設した。このプログラムは、I²CNERにおける常勤ポスト受諾の可能性のある外国人研究者の採用に役立てることを目的とする。将来的には、九州大学の最新の取り組みであるProgress 100（世界トップレベル研究者招へいプログラム）や、スーパーグローバル大学創成支援等に本プログラムを統合し、リソースを共有することによって相乗効果を得ることが、本研究所の目標である。

Institute Interest Seminar Series (IISS)

部門を超えた分野横断的な共同研究と異分野融合研究の土壌を作るため、本研究所では「Institute Interest Seminar Series (IISS)」を定期的開催している。このセミナー・シリーズは、若手研究者（准教授、助教、ポスドク研究者、大学院生）が、それぞれの見解、研究方法やアプローチについて専門家の前で発表し、議論する能力をさらに高める手助けとなるフォーラムの役割を果たしている。執行部は、今後本シリーズを、融合研究の新しいアイデアを模索するため、若手・シニア教員が等しく共有できる「シンクタンク」に転換したいと考えている。本シリーズの長期ビジョンは、シニア教員の参加拡大と同時に、若手教員の「オープンな姿勢」を維持することである。それにより、若手がアイデアや研究成果を自由に表現し、シニアがそれを聞き、改善のための戦略を提案する、といったアメリカの典型的な研究チームのミーティングの雰囲気と、IISSの雰囲気が似たものになる。執行部は、このビジョン達成のために、シニア教員及び部門長の参加拡大を奨励する必要がある。

本シリーズ開講以来、計52回のセミナーが開催された（平成23年度16回、24年度16回、25年度20回）。

エネルギーアナリシス/研究エフォートの評価及び調整

エネルギーアナリシス研究部門は、短期、中期、長期のタイムスケールを通してのカーボンニュートラルな社会に向けた研究所の展望とロードマップを継続的に見直し改定するために設立された。一次エネルギー資源の制約と二酸化炭素の排出、効率、コスト、国の安全保障及びレジリエンス（回復力）に基づく可能性に起因する、カーボンニュートラル・エネルギー社会にとっての障害に研究所が取り組むことを狙いとしている。部門の目的は、i) カーボンニュートラル社会を目指したI²CNERのロードマップに対して、研究所の研究活動の関連性を評価すること、ii) I²CNERの研究が、日本のすべての関連する現在及び将来のエネルギー政策の選択肢に精通することを保証すること、となる。I²CNERが前進するための課題のひとつは、研究所内の研究エフォート間の調整を促進するために、EADの更なる強化を行うことである。部門を強化するための戦略のひとつとして、プロセス及びシステム分析を実施する教授2名及びポスドク3名を追加雇用することが挙げられる。このうち2つのポジションに対する国際公募は既に開始されている。これら追加のポジションが充当されることにより、最先端の研究を実施するというI²CNERの公約に従い、以下のプロジェクトが分析・検討される。

- CO₂利用についての技術・経済分析
- カーボンニュートラルサイクルについてのエネルギー及びエクセルギー分析
- 新型ヒートポンプ（新型低温温室ガス冷媒、吸着材料、乾燥剤）についての技術・経済分析
- 室温電気分解と高性能多結晶太陽電池の組合せと比較した、高温電気分解と有機太陽電池の組合せについての技術経済分析
- 従来型の熱電力供給（系統電力とボイラー）及び系統電力を使ったヒートポンプと比較した、住居または他の分散型コージェネレーションを目的としたPEFC及びSOFCについての技術経済分析
- 車載水素貯蔵システムのための、チタン基合金の貯蔵効率および経済分析
- 最新のパラメータを考慮した燃料電池自動車、電気自動車そしてハイブリッド車についてのエネルギー分析
- 分子ブラシ応用についての省エネ分析
- 間欠的な再生可能エネルギーを調整する、水素によるエネルギー貯蔵システムについての技術-経済分析
- エネルギー転換システムに向けたトライボロジー研究の適用分析
- 新型電池（デュアルカーボン）についての適用分析
- 有機及び無機複合材料を用いた水分解技術のエネルギー製造システムへの適用可能性調査
- 水素、二酸化炭素に関しての新規生体模倣触媒の、エネルギー製造システムへの適用可能性調査

研究所にとってもう1つの課題は、我々の現在の分析手段に基づくエネルギーシステムのボトムアップモデルを開発することである。さらにGIS（地理情報システム）をモデルの一部として活用したい。データ収集を加速し、我々の分析の信頼性を向上させるために、我々は、エネルギー設備の大規模データベースと、外部団体（例えばBloomberg New Energy Finance）により作成される市場動向情報を活用する必要がある。Bloomberg New Energy Financeは経済産業省やアメリカ合衆国国務省のような政府機関だけでなく、いくつかの大学にもデータ及び情報の提供を行っている。さらに潜在的課題として、我々の研究の今後の方向性を、国際的な二酸化炭素排出削減への日本の科学技術やI²CNERの実現技術の貢献可能性の分析を含める方向へ広げることがある。我々が世界的な気候緩和や国際的排出削減に貢献するには、二酸化炭素排出の大規模削減を、単に日本においてのみ達成しようとしても意味をなさない。この種の国際的な研究を実施するために、NFCRCとの共同研究や、上述のデータベース団体との交流は非常に有益である。

計算能力の拡充

外部アドバイザー委員会(EAC)の提案どおり、本研究所は、特に計算関連設備を管理するテクニカル・スタッフをとおして計算科学及び計算工学能力を拡充する必要がある。計算科学・工学を専門とする新部門の設立も、今後考慮していく。

日本人若手研究者の海外滞在奨励

日本人の若手研究者が、イリノイ大学及びその他海外連携機関に、より長期間滞在するための取り組みをさらに強化していく。

国際共同研究の拡大に向けた所長の取り組み

所長は、オックスフォード大学のHeMS との連携を強化し、共同研究を開始する。加えて、ドイツのヘルムホルツ協会との新たな連携の構築に取り組んでいく。

研究者の増員計画

今後5年間の目標達成のため、本研究所は平成28年度末までに以下の増員を計画している。

- ポスドク研究者数を35まで増加
- 常勤ポスト2つを含む外国人主任研究者数の増加
- 女性研究者数の比率(12%)を九州大学の平均比率(11%)以上に保ちつつ可能な限り増加

以上の増員レベルは、本研究所の現在の研究課題にむけた円滑な運営に必要となる。今後、研究所が以下に記載した方向に拡大すれば、人員の補充が必要となる。研究者数についての詳細に関しては、関連添付様式(2-1, 5-1-3, 5-1-4, 6-5-2)を参照のこと。

今後5年にわたる潜在的な研究課題

水蒸気電解

電解条件のもとで電極として高性能をもたらす要因を理解するために、(酸素イオンと電子の)輸送特性と電気化学性能の研究と連動して、空気電極としての応用を目指した材料の表面組成と構造の研究を続ける。我々はこの組み合わせを通して、動作温度を773Kまで下げ、システム耐久性を上げると同時に、90%を超えるエネルギー効率を達成するとした短期のマイルストーンを実現した。一旦この特性が有望な候補として認識され、活性化した酸素の輸送特性の基礎的理解がなされれば、長期の耐久性を維持しつつ水素製造能力10NM³/h以上のユニット性能を達成するという中期目標に向かって、水素製造速度を最大にするために、電極の組成と構成を最適化することに取り組むつもりである。

生物反応を活用した再生可能なCCS

再生可能な二酸化炭素地下貯留(CCS)として、貯留層内での微生物活動によって圧入したCO₂をCH₄(燃料)に変換するアイデアがある。この反応の速度は遅いが、転換される(貯留されている)CO₂が多いため、実用化できる可能性がある。しかしながら、このCCSのポテンシャルは明らかになっておらず、そのポテンシャルは(i)CO₂からCH₄への変換スピードと(ii)有効な炭層(微生物活動にとっての有利な環境)の分布に依存すると考えられる。I²CNERは、このCO₂のメタン燃料への変換スピードを加速させるために、CO₂貯留部門内での研究に、微生物学者を参入させる可能性がある。我々は、様々な研究者の協力によって、変換効率を最大限に引き出すことのできる微生物環境の構築を試みる予定である。イリノイにおけるBPエネルギー生物化学研究所や遺伝生物学研究所の微生物を用いた石油増進回収法(EOR)を研究している研究者達の専門知識は、本研究プロジェクトでも活用できる可能性がある。更に、CO₂の吸着作用は炭層内の亀裂を密封することになり、浸透率を減少させるので、この状況下での炭層シーケンスは密封層として利用できる可能性がある。この炭層シールコンセプトは、成功すれば画期的なものとなると考えられる。

CCSと地震

注入されたCO₂による間隙内流体の圧力変化は、地震発生断層に影響を与える可能性がある。このCO₂圧入の断層への影響を理解することは重要な社会的関心である。もし人的パワーに余裕があれば I²CNERはこの分野での取り組みを進めたい。

H₂とCO₂の活性化を目的とした生体模倣触媒反応

本質的に、生物学的CO₂変換は非常に重要である。しかしながら、生化学の多くの重要側面とこの過程の分子的控制は十分に理解されていない。我々は、本研究室で単離した新規微生物S-77株から、重要なCO₂固定酵素である新規なギ酸デヒドロゲナーゼ、ギ酸水素リアーゼ、及びピルビン酸フェレドキシン酸化還元酵素を発見した。これらの研究エフォートは「生物学的CO₂変換過程」、つまり酵素がどのように効果的にCO₂を有益なエネルギーキャリアに還元するかということについて新しい情報を提供できることに研究意義がある。

一方で、カルボキシル化を目的とした合成化学は、高価なエネルギーキャリアの”CO”で行う必要があり、これは反応過程において最も大きな障害となっている。小江グループはCOの代わりに”CO₂”からすべての有益な炭化水素を合成することを目的とした、例えば、全反応に新たなヒドロホルミル化、モンサント過程、水性ガスシフト反応、フィシャー・ドロプシュ過程などに、重要な挑戦を行っている。これらの今までにない試みは、環境のCO₂削減や新しい再生可能なクリーンエネルギー生成を目的とした多くの分野に応用されるであろう。

九州大学の小江誠司主任研究者とイリノイ大学のT. Rauchfuss教授は、加速的なペースで、合成ヒドロゲナーゼを進化させ最適化するために協力して研究を行うことにしている。小江グループのブレイクスルーを踏まえると、この研究の進展はまったく順調に進んでいる。これらの2研究グループの努力の結果、生体模倣水素活性化機構の解明において、世界を先導する位置にI²CNERはいる。我々のグループにおけるこれらの生物学的かつ化学的研究に基づいた取り組みは、H₂活性化、O₂転換の触媒機構の理解に向けて非常に重要である。これらの過程はすべて、カーボンニュートラル・エネルギー技術を目指した新規触媒の開発するに当たって極めて重要である。

日本の原子力発電の先行き

日本政府は、かつて原子力の大規模な開発を受けて、核分裂エネルギーを用いた電力供給にかなりの割合を割り当てる重大なエネルギー政策決定を行った。この政策は、2011年のはじめに原子力による電力生産を30%に引きあげ、2017年に41%、2030年に50%とする計画を打ち出した。この目標の追求を通じて、日本は高性能軽水炉（LWR）技術の開発において、世界的指導者となった。日本の原子力産業は、目標原価範囲内でのプラント完成回数の世界記録をもって、原子力プラント建設のための国際標準を定めた。主要な日本の原子力会社は、現在他の国際的な原子力会社とビジネス・パートナーとなっている。特に、東芝とGE日立両社は、原子力において、かなりの国際市場を占めている。加えて、三菱重工業は原子力圧力容器の製造において世界をリードしている。

軽水炉技術における日本の国際的指導力を基盤にして、日本は高度な原子力技術に主要投資を行ってきた。これらは、核融合技術の開発においての重要な指導的役割だけでなく、「高速」原子炉技術、高温原子炉技術も含む。（核融合はどんな主要な方法においても、2050年までの時期においては、電力供給に影響を与えるものではない）。高速炉技術は、新しい核燃料「増殖」、そして、核廃棄物貯蔵の問題を起すことになりかねない長寿命同位体の「燃焼」への展開に於いて、共に重要である。これらのシステムは事故対応の強化された安全水準も提供する。

日本のエネルギー供給においてさらに重要なことは、日本が同様に世界的をリードしている高温原子炉技術の開発であり、この分野で、原子炉出口温度950度の世界記録を達成した、ガス冷却式の高温工学試験研究炉（HTTR）の運転を行っていることである。この温度において、エネルギー変換効率（カルノー効率）は通常60%前後であり、現在の原子力発電や石炭エネルギーシステムに於いての33%から38%に比べると、非常に高い。また一方、この超高温運転温度は、多くの熱化学サイクルのうちの1つとして、水素生産のために採用される可能性がある。今までのところ、最も注目されている熱化学サイクルは、HTTRにおいてすでに開発されている、S-I（ヨウ化硫黄）サイクルであるが、日本における原子力稼働の3-11脱離の結果、検証が行われていない。代わりに、電力と水素両方に関係するコジェネレーションにおいて、超高温原子炉出力は高温水電解に利用できる

I²CNERは、高度な材料と高度な物理的・化学的作用に関連している課題に挑戦することにより、日本のカーボンニュートラルな未来を目指した原子力技術の効果、再始動、将来開発について、利用情報を提供できる。

2-3. 共同研究の推進

国内外の研究機関との共同研究の実績について記述すること。

- ・ 共同研究協定締結状況について、[添付様式2-3]に記載すること。

国立燃料電池研究センター（National Fuel Cell Research Center : NFCRC）

カリフォルニア大学アーバイン校 国立燃料電池研究センター（NFCRC）において実施されているエネルギーシステムの研究において、I²CNERの基礎研究との融合を促進するために、カリフォルニア大学アーバイン校（NFCRC）との協定が平成25年12月31日に締結された。これまでに、関心を共有できる次の3研究領域

が確認されている。

- (1) 持続可能な社会に向けたシステム開発
- (2) プロトン伝導性酸化物を使用したSOFC/SOECの陰極
- (3) システム及び物質レベル双方から、低圧及び高圧利用でのSOFC運転の実現に向けての挑戦

カリフォルニア州大気資源局 (CARB)

この協力の目的は、1)カリフォルニアが最新のエネルギー技術効率と保護において世界をリードして実行している種類の政策と規則に精通してきているI²CNERと、2) カーボンニュートラル・エネルギー技術を目指したミッション主導の科学についての投資に精通してきているCARBの現状を背景に、グリーンイノベーションについての見解を強化することである。将来の協力関係を促進するために、現在、基本合意書について協議がなされている。

ノルウェー科学技術大学 (NTNU) とノルウェー産業科学技術研究所 (SINTEF)

I²CNERとNTNUおよびSINTEF間の将来的な協力を調査するために、平成24年11月15、16日に共同ワークショップが開催された。1年間を超える相互努力の後、平成26年3月17日に覚書に署名がなされた。NTNUとのI²CNERの共同研究の一環として、水素を含む環境下での材料劣化の基本的理解についての共同研究に賞が与えられた。このプロジェクトはノルウェー評議会の支援を受けている。

サンディア国立研究所 (カリフォルニア州リバモア)

I²CNERは、カリフォルニア州リバモア市にあるサンディア国立研究所と積極的に交流している。Brian Somerday博士は、著名な技術スタッフのメンバーであり、I²CNERの水素適合材料研究部門の部門長である。特にこのサンディア国立研究所との関係により、I²CNERは米国における水素関連技術及び水素適合材料に関する規格や基準の進展についての情報の入手が可能となっている。

パシフィック・ノースウェスト国立研究所 (PNNL)

平成24年I²CNERアニュアルシンポジウムへの Bruce Garrett博士の参加に続いて、I²CNERはPNNLとの協力関係の将来性を調査し始めた。この協力関係はまだ初期段階ではあるが、我々は既にCO₂貯留及び触媒の分野での計算能力の強化などの相互に関心が持てるテーマを特定した。

オックスフォード大学

所長は、イギリス政府から数百万ドルの資金を得ている計画であるオックスフォード大学のHEmS (Hydrogen in Metals-From Fundamentals to the Design of New Steels) の政策助言委員を務めている。HEmS所長のAlan Cocks教授はすでにI²CNERを訪問し、将来の連携計画を1日をかけて討議した。

2-4. 社会・学会からの評価

科学的成果に対する社会・学会(国内外)からの評価について記述すること。

- ・ 主要な賞の受賞、及び招待講演の実績を[添付様式2-4]に記載すること。

Moniz米国エネルギー省長官、日米協力について講演 (平成25年10月31日、東京)

米国エネルギー省(DOE)と日本の研究者との成功を取めている連携の代表例として、I²CNERに言及。

国内外の機関との連携

秋葉 悦男教授は、国際エネルギー機関 (IEA) 水素実施協定対応委員会の委員及びタスク22、32の研究専門委員として、水素貯蔵材料に関する研究・開発のための国際ネットワークにおける重要な役割を担っている。日本国内では、例えばNEDOの「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」(平成19年~24年)など、コンパクトでエネルギー効率の良い水素貯蔵システムの基礎研究プロジェクトのリーダー的な役目を担っている。また、平成24年度のNEDO「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」においては、日本の3大自動車メーカーを含む産学官からの委員で構成された水素貯蔵材料のロードマップ策定のための委員会の委員長を務めた。この日本のロードマップは、I²CNERの水素貯蔵部門のロードマップの基盤を成すものである。

佐々木主任研究者

佐々木 一成教授は、平成25年12月に経済産業省・資源エネルギー庁により設置された水素・燃料電池戦略

協議会の委員である。本協議会では、水素エネルギーの意義と将来の水素需要の見通しに対する認識を産官学で共有し、国際的普及が見込まれる2030年頃までの官民の役割分担と具体的な取り組みに関するロードマップを作成する。佐々木教授は、学界からの参加委員3名のうちのひとりである。

辻主任研究者

辻 健准教授は、日本列島周辺における次のCO₂貯留地点を決定する日本CCS調査株式会社の委員会メンバーである。

米国エネルギー省 (DOE) との連携

水素適合材料部門の部門長であるSomerdar博士は、米国エネルギー省 (DOE) Fuel Cell Technologies Office のTechnology Development Managers (TDMs) と連携するサンディア国立研究所で、幾つかの研究プロジェクトを指揮している。Somerdar博士は、TDMとの直接のやり取りを通し、プロジェクトの目標、マイルストーン及び作業進捗の想定・管理の責任者を務めている。このようなプロジェクトの幾つかはI²CNERとの共同作業を伴うため、Somerdar博士はTDMとのやり取りの中で、I²CNERの言及・宣伝を行っている。生産的プロジェクト管理で定評のある同博士の技術的専門知識・能力を評価し、DOEは、米国内の水素燃料供給ステーション開発促進を目的とし、官民共同の研究開発に力を入れている話題のH2FIRST (Hydrogen Fueling Infrastructure Research and Station Technology) プロジェクトにおいても、Somerdar博士が指導的役割を担うことを近頃承認した。

元DOEエネルギーアナリシス担当のMark Paster氏は、エネルギーアナリシス部門の主要メンバーとして貢献している。

I²CNER東京シンポジウム

I²CNER東京シンポジウムは、駐日米国大使館の後援により開催され、John V. Roos前駐日米国大使が開会の挨拶を行った。詳細は、3-2を参照。

国内外の機関からの主な評価例

Somiya Award 2012

Somiya Awardは2年に1度、材料科学分野において優れた研究成果を残した2つの大陸にまたがる共同研究チームを表彰するものである。Somiya Award 2012がKilner、Tuller、石原達己の各主任研究者、Yildiz助教、Santiso博士に授与された。

2012-2013 Hydrogen Student Design Contest

I²CNERメンバーを含む九州大学の学生が、DOE、米国国立再生エネルギー研究所、メルセデスベンツ及びトヨタ自動車が後援する2012-2013 Hydrogen Student Design Contestで入賞を果たした。受賞した最優秀プロジェクトは、「アメリカ北東部における水素供給インフラ網の構築 (“Development of a Hydrogen Production and Fueling Infrastructure in the Northeastern United States”）」に焦点を合わせていた。

JSTブレークスルー・レポート 2013

科学技術振興機構 (JST) の重要な刊行物である「JSTブレークスルー・レポート」に、小江誠司教授の研究成果が特集された。

国際固体イオニクス学会役員

京都で開催された第19回国際固体イオニクス学会の役員選挙において、Tuller主任研究者が副議長に、石原主任研究者が財務担当にそれぞれ選出された。

DOE水素・燃料電池プログラム研究開発賞

平成23年、Ian Robertson及びPetros Sofronisの両主任研究者は、水素脆化の理解に対する顕著な貢献が認められ、DOE水素・燃料電池プログラム研究開発賞を受賞した。

日本-スイス国交樹立150周年記念「エネルギー」ワークショップ

平成26年3月9日～12日、日本・スイス国交樹立150周年記念イベントとして開催された「エネルギー」ワークショップに、3名のI²CNER主任研究者 (Sofronis、石原、秋葉) が招待された。Sofronis所長は、本イベントの国際プログラム委員会のメンバーを務めた。

2-5. 施設・設備等の研究環境

施設・設備等の研究環境の整備、活用状況について記述すること。

I²CNER第1研究棟

引き続き世界トップレベルの研究所に相応しい研究環境を整え、また共同研究や異分野融合を促進すべく、平成24年11月末にI²CNER第1研究棟（約4,873m²）が竣工した。すべてのI²CNERメンバーが平成25年1月に同研究棟に入居した。同研究棟は、この「under one roof」コンセプトで設計され、すべてのI²CNER研究者が使用可能な共同実験室の集結点となっている。I²CNERメンバー間で研究打合せ及び議論が活発に行えるよう、吹き抜けの1階ロビーには電子黒板を備えた広々としたラウンジを配置した。また、ドラフトチャンバーや空気配管などの設備も建物内に設置され、I²CNER第2研究棟も同様に設計されている。

次世代燃料電池産学連携研究センター（NEXT-FC）との共用スペース

平成25年1月、I²CNER第1研究棟と棟続きの次世代燃料電池産学連携研究センター（NEXT-FC）内に、I²CNERの燃料電池研究者用に、実験室7室、居室15室及びサーバールームを確保した。また、九州大学と海外の連携研究機関との研究者交流を促進するため、マサチューセッツ工科大学（MIT）、英国インペリアル・カレッジ等の研究者用実験室を確保した。

I²CNER第2研究棟

4階建て、総床面積5,000m²のI²CNER第2研究棟を、現在建設中である。同研究棟には、大規模実験室8室、オープンオフィス2室及び支援部門室を配置予定であり、そのほとんどが、異分野融合研究促進のため、オープンな共同実験スペースとして設計されている。I²CNER第2研究棟は、平成24年度補正予算によるもので、平成27年2月末に竣工予定である。

I²CNERが所有する主な装置5台

微小複合疲労試験装置

この微小複合疲労試験装置は、疲労試験実施中に、試験片表面のすべり帯線、微小き裂などを観察することができる。このシステムは走査型電子顕微鏡との併用使用を目的として設計されたものである。

RFプラズマスパッタリング装置（薄膜蒸着法）

スパッタ成膜は「ターゲット」（材料源）から材料をスパッタ（弾き飛ばし）し、シリコンウエハのような「基板」上に薄膜を蒸着する物理蒸着法である。この装置は3種類のターゲットを同時スパッタすることで、多元素組成膜を作製可能である。

二次イオン質量分析計

飛行時間型二次イオン質量分析計（TOF-SIMS）は非常に敏感な表面分析技法である。これより、試料の表面、薄膜、接触面についての詳細な元素および分子情報を取得でき、また完全な3次元解析を行うことができる。半導体、高分子化合物、ガラス、紙、金属、セラミック、生体材料そして、有機組織と用途は幅広い。

ArクラスターイオンビームXPS

X線光電子分光計（XPS）は試料表面の元素分析を目的とした技法である。単一エネルギーX線を試料表面に照射し、光電子を発生させる。分光器により、表面元素の成分組成、化学状態および量と相関関係がある光電子の結合エネルギー及び強度が測定される。このXPSに付属のArクラスタービームで資料表面をエッチングすることで、試料元素の深さプロファイルを取得できる。

核磁気共鳴スペクトルシステム

核磁気共鳴（NMR）分光法は分子構造、さまざまな分子の相互作用、分子の動力学もしくは機構学、および溶液もしくは固体混合物の組成の研究に利用される。この利点は、核分光計特有の性質として、溶液中及び固体中の分子の非破壊かつ定量的な分析が行えることである。

I²CNERサテライト実験室設備

Cahill研究室

Cahill研究室では、ポンププローブピコ秒音響と時間領域熱反射を利用した、弾性定数と熱輸送特性の研

究のために、3つのポンププローブ計測システムを使用している。新材料系に向けた、これらの技術と応用の更なる進展はCahill研究室とI²CNER間の協力の焦点である。I²CNERの予算で購入したCahill研究室の実験機器は、プリアンプ、プログラマブル信号発生器、パルス半導体レーザーが挙げられる。プリアンプと信号発生器は新しいポンププローブシステムの一部である。パルス半導体レーザーは固体/溶液熱輸送についての実験で使用されていたものである。SN比が不十分であることがわかり、この研究のために代わりにプラズモン構造を使用している。

Christensen研究室

イリノイ大学Christensen教授の研究室は、I²CNERでの研究トピックに関係する、様々なマイクロ流体解析に関する実験装置を所有している。また、イリノイ大学にある微細加工設備も研究に利用している。Christensen教授は二台のカメラで画像化をできる蛍光顕微鏡装置を所有しており、それによって二相流体のマイクロPIV測定、二重蛍光顕微鏡分析/温度測定、または流体の速度場とスカラー場の測定が可能である。マイクロ流体解析における彼の独創的な点は、マイクロ流体システムの挙動解析において現実的な高圧の貯留層状態（80から100bar）を作り出せることである（マイクロ流体系での液体及び超臨界CO₂状態を作り出すことができる）。彼のグループは、大学キャンパスにある多数の微細加工施設を利用することで、シリコンのエッチングによってサブミクロン精度のマイクロモデルの作成を実現している。

Ertekin 研究室

Ertekin助教の研究グループは、コンピューターによる研究の特質上、正式な研究室を持たないが、幅広いキャンパス内の計算リソースを利用している。Ertekinグループは、イリノイ大学の共用コンピュータークラスタを通して、高性能計算リソースを利用している。計算リソースには52のコンピュータノードと624のコンピュータコアが含まれている（我々はこれらの優先権と使用特権を持っている）。高性能拡張性を目的とした、高速インフィニバンドと相互接続した、ハイメモリ（24と48GB）ノードがある。イリノイ大学の共用コンピュータークラスタはすでにいろいろなコンパイラと数値演算ライブラリが装備されている。電子構造プログラムを盛り込んだ他のソフトウェア（Vesta, VMD, Quantum Espresso, SIESTA, QWalk等）は、パブリックライセンス契約の下でダウンロードし自由に利用できる。これらの計算リソースは、XSEDEやNERSCのような他のスーパーコンピューター利用者センターを通じて利用できるコンピューター施設により、補完されている。加えて、我々はイリノイ大学の共有コンピュータークラスタを通して提供される、20TBのストレージ設備も確保している。

Blue Waters Petascale Computing Project 全米スーパーコンピューター・アプリケーション・センター(NCSA)はブルーウォーターズ(最近オンラインになったペタスケールの計算設備)を所有する。我々はここで提案した仕事を実行するために、このシステムの広範囲な使用を予定しており、このシステムの演算時間の7%はUIUC教職員の使用に割り当てられている。

Gewirth研究室

Gewirth研究室にあるI²CNERの予算で購入した実験機器として、ラマン分光計、高圧ソルボサーマル合成セル（オートクレーブ）、さまざまなポテンシostatが挙げられる。ソルボサーマル装置は、最近のUIUCと九州大学間共同執筆の論文で使われ、最新の光電気化学材料を製作するために使用された。ラマン分光計は、二酸化炭素還元反応を促進する窒素含有分子が施してある銀電極表面を調べるために使用した（我々はこの効果の原因を記述した論文を投稿したところである）。ポテンシostatは、特に、pH感受性プロトン結合電子スイッチを開発するために使用し、その成果はNature Materialsに現在掲載されている。

Kenis研究室

Kenisグループは、標準の三電極電気化学セルあるいは連続フロー型電解セルを用いる、電気化学プロセスの試験を目的とした最新の設備を備えている。種々のセルと設備は三つのポテンシostat (Autolab 型式: PGSTAT 30/302N、これらのうちの1つはI²CNERの資金で購入された) と共に動作する。シリンジポンプ (Harvard Apparatus) とマスフローコントローラー (MKS、いろいろな型式、1台はI²CNERの資金で購入された) は、反応物質の供給制御のために使用する。電解層で生成する蒸気はガス・クロマトグラフィー (GC) で解析され、これにはアジレント社製GC-MSとサーモ・トレース社製GCを用いた (I²CNERの資金で購入)。

Li研究室

Li准教授は、Ⅲ-V族半導体ナノワイヤのエピタキシャル成長を目的とした、必要とするすべての設備を備えたクラス1000の結晶成長用8,000sq ftクリーンルームおよび、ナノワイヤ素子製作を目的とした、クラス100の素子プロセス用8,000sq ftクリーンルームを直接利用できる。設備として、MOCVD、PECVD、LPCVD装置、従来型コンタクトリソグラフィ、電子ビームリソグラフィ、ナノインプリントリソグラフィ、ステッパー、電子ビームおよび熱蒸発器、プラズマおよびスパッタ薄膜蒸着装置、ALD、ICP反応性イオンエッチング、拡散および酸化炉、走査型電子顕微鏡を備えている。また、追加の設備として、光学および電気特性評価を目的とした、共通特性評価実験室、そしてナノスケールにおける材料および素子構造、光学、電気特性評価を目的とした、物質研究所が利用可能である。

Martin研究室

LCRメーター（アジレント社製E4980AプレジジョンLCRメーター）-I²CNERプログラムにとって、この機器の目的は、光触媒材料/光電池材料の電子及び誘電特性を明らかにすることである。我々はこのシステムを、誘電率、物質中の損失、仕事関数についての情報を得るため、金属と光吸収材料間の密着性を明らかにするため、半導体とヘテロ接合中のキャリア濃度を調べるため、その他諸々の用途のため、光照射時及び無照射時での物質の静電容量-電圧特性の測定に特に使用している。近頃我々は、このシステムをI²CNERの支援によるTiO₂/SrRuO₃ヘテロ構造のキャリア密度を推論するために使用している。しかし通常はプログラムの基盤強化のために使用している。全体的に見て、私たちはこの機器を使用することにより、効率的な光触媒を目的とした新規光触媒材料の性質および電荷分離と素子構造を最適化する方法についての情報を得ている。

ナノボルトメーター及び精密AC/DC電流源（ケースレイ製 2181A/6221）-酸化光触媒中の低信号電子応答を調べるために、これらの電子機器を使用している。特に、我々はこれらの機器を、より絶縁性の大きい材料中の電荷輸送を理解するために、高光吸収系と関係がある、バンドギャップの大きい共触媒材料の電子特性を測定するために使用している。このところ、TiO₂のような材料を調べるために使用している。

光触媒反応槽及びGamry社製R600ポテンシオスタット-研究室に有る既存設備（電子機器、ソーラーシミュレーター、コンピューターデータ収集システムなどを含む）を利用して、我々はI²CNERの資金により、モデル薄膜をベースにした酸化ハイブリッド光触媒システムの研究のために、光触媒反応槽を設計・製作した。我々は、低容量、低マス光触媒システム及び光電気化学による、水素及び酸素生成を調べるために、真空反応と水反応に対応した反応槽を製造した。これにより、ポテンシオスタットと連動して使用することで、動作中の光触媒素子の反応速度、反応ポテンシャル、分解速度、電気特性そしてサイクリックボルタンメトリーに関する見識などの最新光電気化学の情報が得られる。現在、これらはTiO₂/SrRuO₃や他のヘテロ接合を含む、I²CNERプログラムのために製作された系の光電気化学を調べるために使用されている。

Rauchfuss研究室

Rauchfuss研究室は、シュレンク管とポンプを備えた13のドラフトチャンバーを装備している。空気に敏感な化合物は4台のグローブボックス中で扱われ、そのうちの3台は冷凍室が設置され、2台は溶剤精製システムに繋がれている。3台には冷凍庫が、2台には酸素を除去した溶剤が直接供給される。ガスは拡散ポンプを備えた内製の真空ラインを通して操作される。反応は、熱伝導度検出器、モレキュラシーブカラム及びキャピラリカラムを備えた、アジレント製7820Aガスクロマトグラフィー及び、シリコンチップを取り付けた光ファイバプローブを備えた、メトラート社製のAutochem React-IR 15を用いて測定される。化合物は、部局内で所有している、パーキンエルマー社製のSpectrum 100 FT-IR分光計、CH-Instruments社製の2台の電気化学分析機（CV測定用CHI600DおよびDPV/CV測定用CHI630D）及び電子スペクトル用Gary 50 Bio Varian 紫外-可視分光計を用いて分析される。

Robertson-Sofronis研究室

Robertson-Sofronis研究室では、構造用金属材料の水素脆化の影響を研究しメカニズムを究明するために、モデリングと実験的手法を組み合わせている。I²CNERのミッションに関連する材料へのこれらの手法の適用は、Robertson-Sofronis研究室とI²CNER研究者のコラボレーションの要である。I²CNERが購入したRobertson-Sofronis研究室にある実験装置として、インストロン社製E10000疲労試験機が挙げられる。この装置は、我々が先行研究の中で提案した概念、すなわち水素の存在が転位マイクロ構造変化に関して2つの重要な影響をもつことを探求するうえで重要な役割をはたす。この装置により、水素がない状態では不可能な構造を実現して材料のマイクロ構造変化を加速し、水素はそれらの構造を安定させる。もし立証されれば、この概念は、繰返し負荷状態での構造用金属材料の水素脆化の基本的理解において深い衝撃を与え

るであろう。つまり、従来のマイクロ構造変化に関するあらゆる仮定があまりに単純すぎることを示すものとなろう。この取り組みが成功すれば、構造部品の水素起因の破壊を予測する、現象の物理的解釈学に基づいたモデルの開発において、本研究所が最前線に立つことになるであろう。

Rockett研究室

Rockett研究室では、高性能光検出器が装備され、エレクトロルミネッセンス及びフォトルミネッセンスの測定に使用されている。また、同研究室はソーラーシミュレーターも所有し、デバイスと材料特性評価に使用されている。

2-6. WPI補助金以外の研究プロジェクト費

WPI補助金以外の研究プロジェクト費の獲得実績について記述すること。

- ・ WPI補助金以外の研究プロジェクト費の推移、及び特筆すべき外部資金について[添付様式2-6]に記載すること。

平成23年度

WPI補助金以外の研究資金は、水素材料先端科学研究センター（HYDROGENIUS）が獲得した資金を含むものであった。水素事業資金を除いた、平成18年度から21年度の学内主任研究者による平均年間獲得研究資金は、9.5億円であった。同様に、平成23年度の学内主任研究者による年間獲得研究資金は、16.36億円（換算レート：日本円/米国ドル=100）であり、前4年間の平均年間獲得研究資金比30%増であった。

平成24年度

平成24年度の九州大学I²CNER研究者による獲得研究資金の総額は、31.56億円であり、前年度比93%増であった。この研究資金には、経済産業省より当該年度のみ配分された「技術の橋渡し拠点」整備事業 7億円も含まれる。

6名のイリノイ大学サテライト所属の研究者が、I²CNERの研究により、15件の外部資金プロジェクトを獲得した。その結果として、イリノイ大学サテライトに更に総額4.6億円の外部資金をもたらした（研究期間に平成24年度を含むプロジェクトのみカウント）。

平成25年度

平成25年度の九州大学I²CNER研究者による獲得研究資金の総額は、28.77億円であった。平成24年度の経済産業省からの「技術の橋渡し拠点」整備事業の資金を除くと、前年度獲得研究資金は24.56億円、前年比17%増であった。全体的に、研究資金は、平成22年度から25年度まで着実に増加している。

10名のイリノイ大学サテライト所属の研究者が、I²CNERの研究により、48件の外部資金プロジェクトを獲得した。その結果として、イリノイ大学サテライトに更に総額4.37億円の外部資金をもたらした（研究期間に平成25年度を含んでいるプロジェクトのみカウント）。

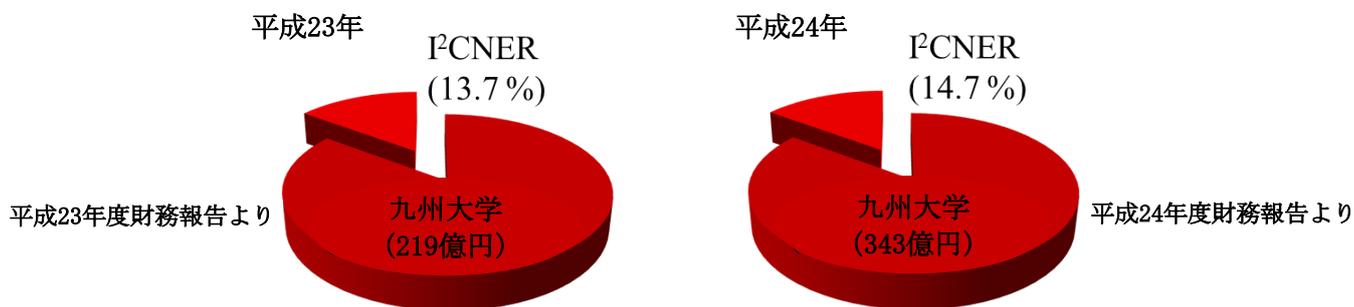


図10: 九州大学全研究者が獲得した外部資金と、I²CNER研究者が獲得した外部資金の比較

3. 研究成果の社会還元（5ページ以内）

3-1. グリーン・イノベーションへの貢献

3-1-1. 低炭素社会へのビジョン、移行シナリオ

政策・社会合意に寄与する低炭素社会へのビジョン、移行シナリオについて記述すること。

ビジョン

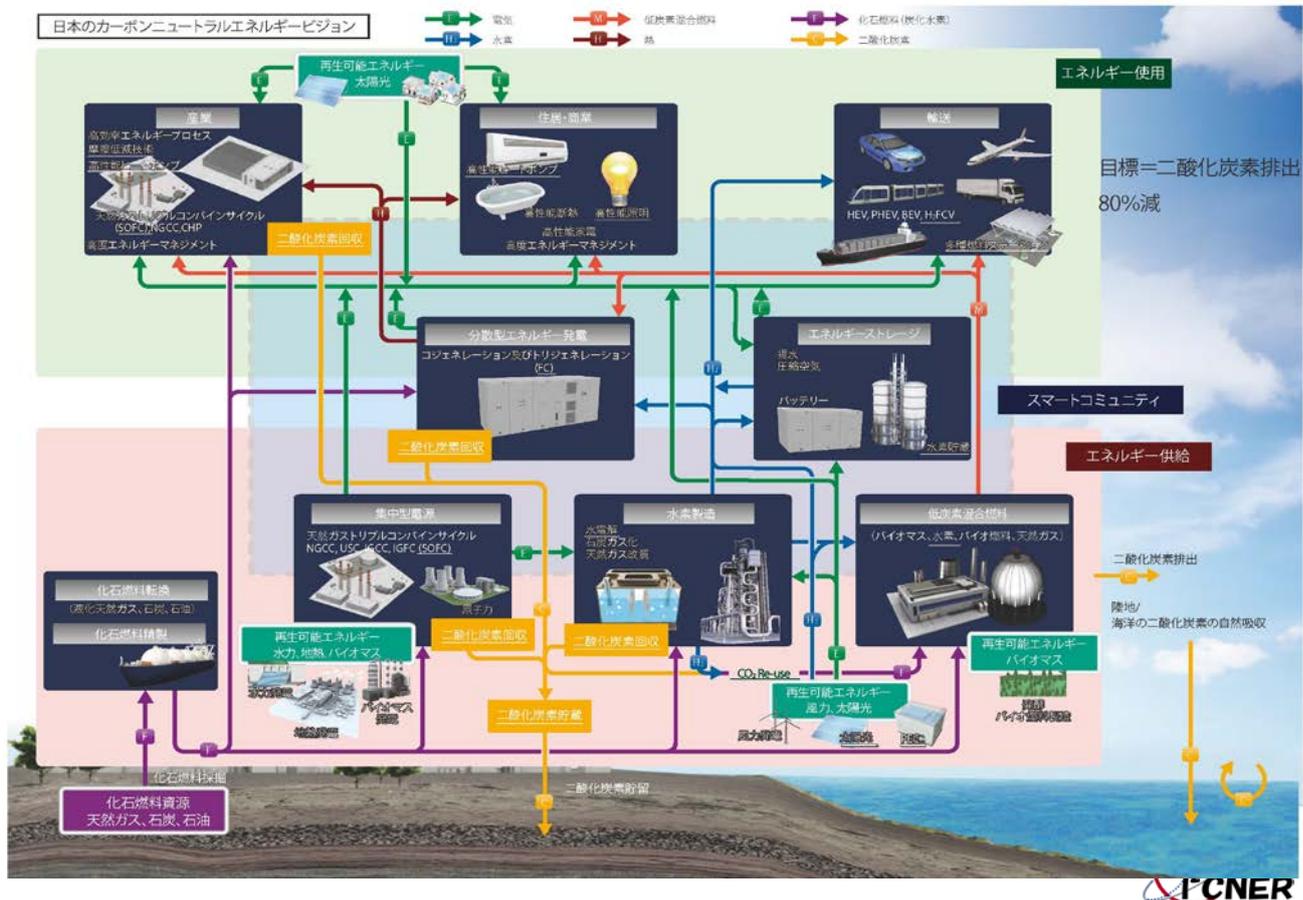


図11：カーボンニュートラル社会(CNS)に向けたI²CNERのエネルギービジョン

カーボンニュートラル・エネルギー社会のビジョンを創造する目的は、I²CNER内外の人々と、日本の将来についての共通イメージを共有することで、カーボンニュートラル社会（CNS）を目指した将来の技術選択を行う助けとなることである。I²CNERの研究者はエネルギーの全体像を理解し、そして、I²CNERの研究がどのようにCNSを可能にするかを理解しうる。平成21年に、G8が2050年に1990年比で80%のGHG削減を行うとの誓約を発表した。日本のカーボンニュートラル社会を目指したI²CNER ビジョンは、2050年までに温室効果ガス排出の大幅削減（70-80%）を長期目標とした設定に基づいている。この目標は主に環境への懸念（気候緩和）に関連するが、非再生かつ稀少資源である輸入化石燃料に現在依存するところが大きい日本におけるエネルギー安全保障問題にも関連する。新技術の開発により目標を達成するために、我々は経済効率と安全性の問題も考慮している。全体として、我々はこのビジョンのための基本的観点として、3E+S（環境、エネルギー安全保障、経済、安全）を考慮している。

IPCCによって推薦される水準で、2100年以後、空气中GHG濃度の安定を実現するために、GHG排出削減への危機的時点が、今世紀中頃以前に来ると予想される。それゆえに、このエネルギービジョンの中で、我々はまず、2050年に於ける社会を想定している。我々は抜本的な放出削減を目指しているので、現在のパラダイムに大きく制約されない新技術のための革新的概念を必要としている。我々はそれゆえにバックキャスト手法を使用し、そこで我々は思い切った排出削減目標に対処するために、2050年に必要な技術を研究して、理想主義的な次世代低炭素・エネルギー社会のエネルギービジョンをつくることから始めている。

我々のビジョンを描く中で、我々は、将来の技術を選択・開発するために、エネルギー変換利用の効率化(EI)及び燃料と電力の低炭素化(LCI)のふたつの主要原理を考慮している。EIは家庭用電化製品を含む最終使用システムだけでなく、エネルギー変換システムに於いても追求されるべきである。さらに、この考えは産業プロセスにおいても追及されるべきである。EIは既存のシステムを新技術と入れ替えることによって達成されるだけでなく、既存のシステムにも適用できる。電力及び燃料の供給-使用経路におけるLCIは、再生可能エネルギー、原子力発電またはCCSの使用で達成される。LCIは、新しい設備または新しいインフラあるいは両方を必要とすることになる。

上述の図11は、カーボンニュートラル社会の中で二次エネルギー（電気、水素、バイオ燃料を使用した低炭素混合燃料）によって表されるエネルギー経路により結び付けられた、エネルギー変換セクターとエネルギー使用セクターのイメージと関係を表している。地下から抽出される化石燃料は、CO₂回収貯蔵(CCS)をしながら、その時でもまだ、エネルギー変換セクターと産業界に供給されるであろう。回収されたCO₂はエネルギーキャリアとして再使用され得る。

発電部門において、現在の技術の効率改善に加えて、SOFCを利用した天然ガストリプルコンバインドサイクル、IGCC（石炭ガス化複合発電）そしてIGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）の採用は、EIの分野に更なる進歩をもたらす。太陽光発電及び風力発電の大規模導入は、低炭素電力を供給する。輸送部門において、再生可能エネルギー（風力、太陽光）をベースとした水電解や、CCSと組み合わせた天然ガス改質は、FCVに使用される低炭素水素を生み出す。バッテリーを使った電気自動車(BEV)は、低炭素電力の利点を活かす。住居及び商業部門では、空調や給湯のための高性能ヒートポンプや、高性能照明(OLED等)を含む様々なEI家庭用電化製品の使用が促進される。燃料電池コジェネレーションは、電気や熱を供給する際の総合効率向上を目的として、すべての最終使用部門で使用される。産業部門は摩擦損失低減や低温熱の利用を含む、様々なEI技術を採用する。最終的に、国内もしくは輸入された都市ガスやバイオ燃料と混合された水素や再生可能メタン（埋立地等より）を含む低炭素混合燃料がどの部門においても使用される可能性がある。バイオ燃料はハイブリッド車(HEV)で使用される可能性がある。

シナリオ

GHG排出の大幅削減を達成するための実行可能なシナリオは数多く存在し得る。EI技術開発は重要である。それゆえに、それらはシナリオ全域に含まれる。LCI技術は、GHG削減において最大の効果を持つゆえに、挑戦的なGHG排出削減の目標を達成可能にする。我々は異なるLCI技術、再生可能エネルギー及びCCSに優先順位をつけること

効果	技術	適用先	判断基準	シナリオ想定			
				A	B	C	D
EI	地熱	コンバインドサイクル	効率向上	H	H	H	H
LCI	太陽光		普及度	M	H	L	M
LCI	風力	陸上、海上	普及度	M	H	L	M
LCI	CCS	海上、海底深部	普及度	M	L	H	H
LCI	原子力		再稼働率	NA	NA	NA	L
LCI	電力貯蔵	バッテリー、フライホイール	普及度	M	H	L	M
EI	高効率自動車	HV、FCV、BEV	効率向上	H	H	H	H
LCI	低炭素燃料	H ₂ 、バイオ燃料、電気	普及度	M	M	M	M
EI	高効率家電		効率向上	H	H	H	H
LCI	低炭素燃料	低炭素混合ガス	普及度	M	H	L	M
EI	高効率プロセス		効率向上	H	H	H	H
LCI	低炭素燃料	H ₂ 、NG	普及度	M	H	L	M
LCI	CCS		普及度	M	L	H	M

注： EI: 効率向上 (Efficiency increase)
 LCI: 低炭素化 (Lowering carbon intensity)

H	技術進歩及び普及度高
M	技術進歩及び普及度中
L	技術進歩及び普及度低

により、多様なシナリオを開発した。原子力発電は市民の安全性への懸念のため、現段階ではシナリオ作成において優先していない。以下の表はシナリオ全体に亘ってEIとLCI技術の開発と導入普及時期を表す。これらの技術の開発と導入の範囲はシナリオ間で異なっている。その後続図は4つの可能なカーボンニュートラル社会のシナリオの成果と、これらのシナリオに於いて、GHG排出削減のための実現技術に関するI²CNERの研究の貢献を示している。

表2: 将来の技術開発・普及想定
(青文字はI²CNERがテクノロジー開発に関与)

セクター	タイプ	短期-2020年まで	中期 2020-2030年	長期 2030-2050年	長期以上
電力・エネルギー転換	EI	PC、NGCCにおける効率向上 IGCCの普及 スマートコミュニティ	大規模SOFC	SOFCトリプルコンバインサイクル、 IGFC	
	LCI	PCからNGCCへ転換 太陽光と風力の大規模導入 CCSの実証	太陽光と風力の大規模導入 CCSの実証 中規模CCS	次世代PV CCSの本格的導入 SOFC+CCS	太陽光水分解 人工光合成
輸送	EI	ハイブリッド車の普及拡大 燃料電池自動車(FCV)と電気自動車(EV)の導入 水素インフラ導入	FCVとEVの早期普及 水素インフラ整備	FCVとEVの普及拡大	
	LCI			再生可能エネルギー水電解による低炭素水素製造 天然ガス改質+CCSによる低炭素水素製造	
住宅および商業	EI	燃料電池コジェネ(SOFC, PEFC) ヒートポンプによる効率向上 スマートコミュニティ HEMS&BEMS	燃料電池コジェネ ヒートポンプ効率の大幅向上 デシカント・エアコン		
	LCI	(屋上PVの早期普及)	(屋上PVの普及拡大)	混合低炭素ガス	
産業	EI	蒸気供給ヒートポンプの導入 低温熱回収技術の導入 摩擦損失低減	蒸気供給ヒートポンプの普及 低温熱回収技術の普及 摩擦損失低減		
	LCI			混合低炭素ガス CCSの普及	
上記リストの中でI ² CNERが貢献する科学	EI	高圧水素貯蔵素材 トライボロジー研究 デシカント素材 吸収式ヒートポンプ素材	非フロン冷媒 OLED 燃料電池の耐久性向上	加圧式SOFC トライボロジー研究	SOFCにおけるCO ₂ 回収
	LCI	PEM水分解 有機PV 色素増感PV	水蒸気電解 受動的CO ₂ モニタリング / CCSモニタリング	CO ₂ 削減技術(CO、ギ酸) 新規水素吸蔵合金 CO ₂ 分離膜	光触媒による水分解 人工光合成に应用可能な触媒

シナリオの構想と成果

- シナリオA ベース：重要なEI技術の開発及び再生可能エネルギーとCCSの均衡のとれた導入。2050年時点で1990年比約71%のCO₂削減
- EIへのI²CNERの貢献項目
 - 2020年からの住居及び産業用ヒートポンプとFCコジェネレーション。2020年からの産業用低温熱利用。2020年から輸送用燃料電池及び水素材料と貯蔵。2030年から2050年における電力産業用SOFC（耐久性、生成効率及び炭素ガス利用）

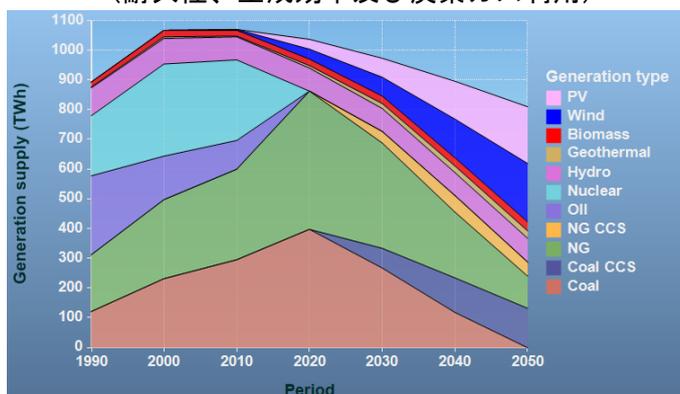


図12: シナリオAの電力供給内訳

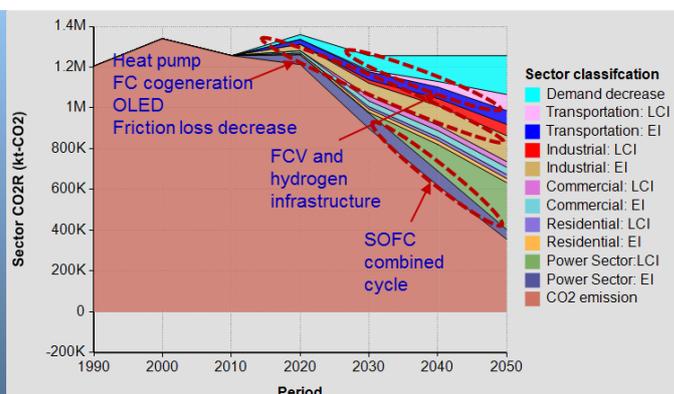


図13: シナリオAにおける部門別1990年比のCO₂削減

- シナリオB 再生可能エネルギー：LCIを目的とした再生可能エネルギーの普及大幅拡大および重要なEI技術の開発。2050年時点で1990年比約72%のCO₂削減
- 再生可能エネルギーへのI²CNERの貢献項目
 - 2030年から間欠的な太陽電池および風力からの電力を調整するための水素貯蔵及び新型電池技術
 - 2030年から低炭素水素を供給するための、再生可能電力による水電解（PEMと高温水蒸気）の開発

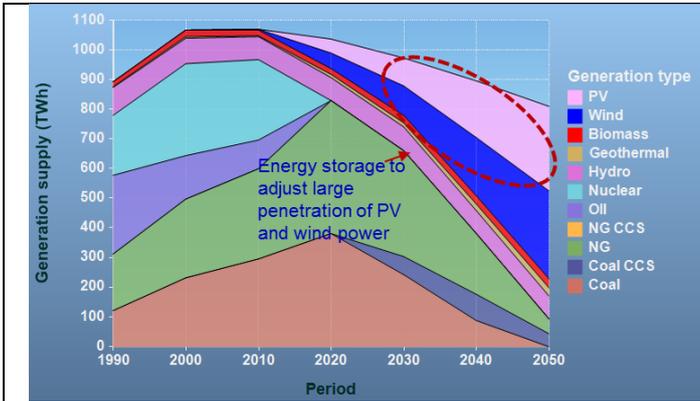


図14: シナリオBの電力供給内訳

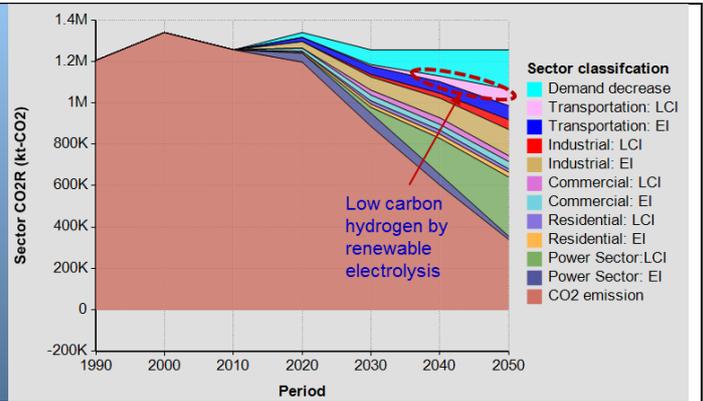


図15: シナリオBにおける部門別1990年比のCO₂削減

- シナリオC CCS: 特に石炭及び重要なEI技術の開発に於ける電力および産業用CCSの大規模導入。2050年時点で1990年比約71%のCO₂削減
- CCSへのI²CNERの貢献項目
 - 2030年からのIGCC及びその他の化石燃料発電のための低価格膜CO₂回収技術
 - 2030年からのCO₂貯蔵場所の特性評価、モニタリングのための低価格かつ高精度地震波モニタリング及びCO₂シミュレーション技術

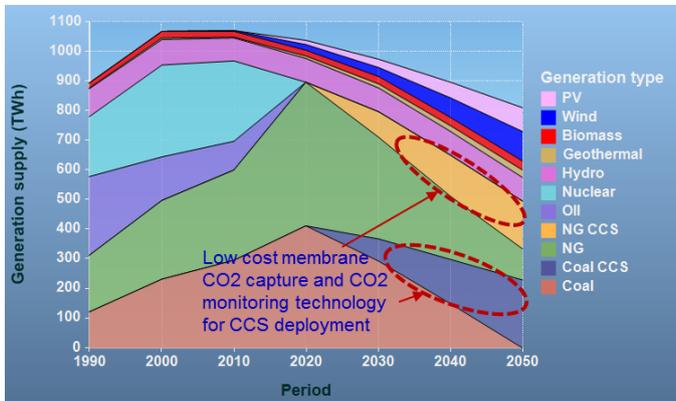


図16: シナリオCの電力供給内訳

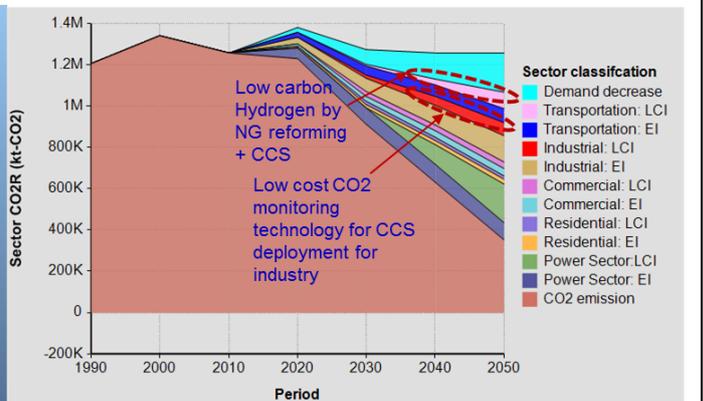


表17: シナリオCにおける部門別1990年比のCO₂削減

記: EIはエネルギー変換及びエネルギー使用における効率向上(Efficiency Increase)を表す。LCI(Lowering of Carbon Intensity)は燃料及び電力の炭素強度の低減を表す。

シナリオの構想と到達点 (続き)

- シナリオD 原子力も含むシナリオ: 原子力を含むLCI技術の均衡のとれた利用、既存原子力発電所の一部が再始動し、建設中のプラントを除き新規のプラントの設置は無いと仮定する。2050年時点で1990年比約71%のCO₂削減

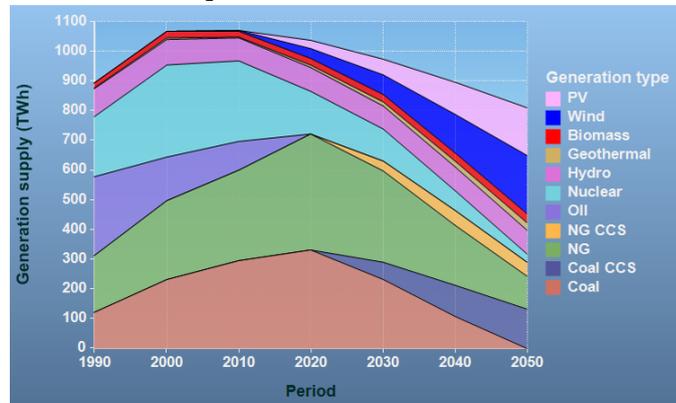


図18: シナリオDの電力供給内訳

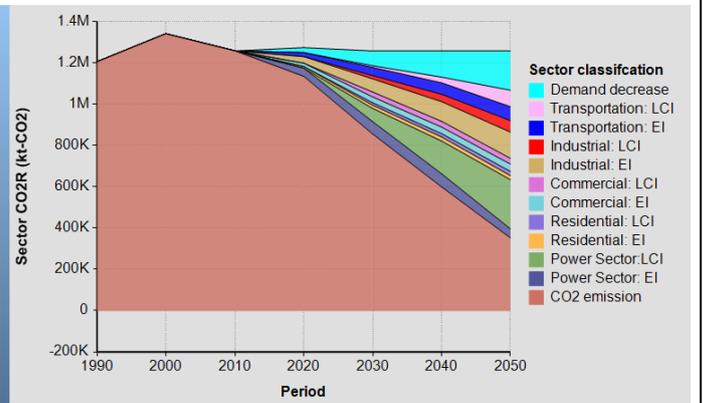


図19: シナリオDにおける部門別1990年比のCO₂削減

記: EIはエネルギー変換及びエネルギー使用における効率向上(Efficiency Increase)を表す。LCI(Lowering of Carbon Intensity)は燃料及び電力の炭素強度の低減を表す。

全体として、我々のシナリオ分析は、再生可能エネルギーとCCSを大規模導入することで、電力及び輸送部門において低炭素強度を達成し、部門をわたるEI技術の普及拡大と相まって、約70%のGHG排出削減になりうることを示している。既存及び建設中の原子力を使用することは、長期的にはGHG排出に於いて大きな変化をもたらさないが、近い将来のGHG排出削減の助けとなる。原子力の使用はGHG排出削減のための技術ポートフォリオにおいて、費用削減の助けにもなる。シンク強化（例えば植林）の可能性を考慮すること、また国際的な排出削減への貢献に基づく排出削減クレジットを獲得することは、技術開発・導入による約70%の削減と組み合わせり、日本に課せられた80%の合計削減クレジットに繋がるかもしれない。さらなる排出削減を行うためには、産業界からのGHG排出へのより挑戦的な取り組みが必要になるであろう。

3-1-2. 低炭素社会への移行に資する研究

低炭素社会への移行に資する研究の実績について記述すること。

・上記の研究成果を裏付ける論文とその解説を[添付様式3-1-2]に記載すること。

I²CNERの基礎研究一本質的に基本となるものであるがーは、低炭素技術の解決策に対する新しい考察を加えることにより、そのような技術開発に向けて障害を取り除く指針を示すことにより、低炭素社会への移行に影響を与えている。こうした基礎研究活動の代表例は、以下のとおりである。

- 1) 安達グループの有機発光ダイオード(OLEDs)に関する先駆的研究[1, 2]。「安定で持続可能な未来のための新しい科学」と題された平成20年12月の米国エネルギー省基礎エネルギー科学諮問委員会報告書では、固体素子照明への切替えにより、アメリカでは大規模発電所100カ所相当分の電力が削減できるとされている。I²CNERエネルギーアナリシス部門の試算では、日本ではこの切替えにより一次エネルギー源の使用を2%削減できるとしている。
- 2) 高性能光触媒。これは太陽エネルギーを利用し、大気汚染が少ない燃料を創出できる可能性を持つため、その過程のあらゆる段階において炭素の生成を削減し得る [3, 4]。
- 3) 金属や合金[5]、高分子材料への水素による劣化の影響緩和及び他に類をみない靱性や強度を持つ新規材料[6]の開発により、水素経済における構成要素（水素ガスコンプレッサー等）は安全かつ高い信頼性のもとで機能することが可能となる。
- 4) ロバスト性を示す固体酸化物形燃料電池(SOFCs)は、いかなる燃料を使った場合でも、カルノーサイクル装置を使って行われる発電よりも高効率で発電でき、他の方法による発電よりも発生させる炭素の量が少ない。I²CNERにおける研究では、燃料に由来する炭素の沈澱物によるSOFCs被毒（コーキング）を抑制する方法に取り組んでいる[7]。
- 5) I²CNER研究者は、著しく耐久性が優れ（単セル試験：>400,000サイクル）かつ無加湿120°Cの状況下で、高出力密度を持ち、酸浸出のない、新しい固体高分子形燃料電池（PEFC）を開発した。この成果により、次世代PEFCが「実社会」で使用されるための扉が開かれた[8]。
- 6) I²CNER研究者は初めて、原子レベルでのコンピューターシミュレーションから実証実験に至るまでの考察により、燃料電池で使用される酸化物における有害な化学的膨張の起源を発見した。このようにして、化学的膨張を減らし、燃料電池の機械的な耐久性と寿命を改良するための基礎を築いた[9]。
- 7) I²CNER研究者はシンクロトン法を用い、酸素還元反応（ORR）を研究している。これは、高温、低温両方の燃料電池に極めて重要な反応であり、現在のところ、過電圧下での動作が実現している[10]。
- 8) 蒸発と液体と固体材料との相互作用を理解すること[11]により、発電、ヒートポンプ、冷却システム、熱制御における技術の効率の改善において、直接的な成果を導き出している。
- 9) 78Kから773Kの温度領域および100MPaまでの圧力範囲において、水素に対する熱伝導の整理式を提案した [12]。
- 10) 熱伝導率、熱電力、電気伝導率を含む、超長尺二重カーボンナノチューブ（CNT）束の熱電特性を240Kから340Kの範囲で調べた。判定された性能指数は 10^{-3} に達し、これまでのCNT試料に対して報告されたものよりも、かなり大きいものであった[13]。CNTを基にした熱電効果は、従来の装置よりも出力重量比に影響を受けやすい用途において優れている。熱電効果は、熱から電気へ直接変換するエネルギー変換システムであり、比較的低温下で作動するので（100–700°C）、廃熱回収への応用の可能性を著しく大きくした。

- 11) 水素貯蔵への応用可能性のあるTiFeは、高圧ねじり加工（HPT）で処理すると活性化することなく[14]水素を吸蔵放出することが証明された。このような結果が報告されたことは初めてであり、さらに研究が進めば、技術革新につながる可能性がある。
- 12) 光化学系PSII酵素[15]の再活性および回復メカニズムの理解は、水と二酸化炭素から炭化水素を生成するための、ロバスト性を示す人工光合成触媒の開発にとって非常に重要である。またこれは、低炭素社会の実現に直接貢献し得る。
- 13) 水素の活性化のための生物的な方法を模倣することによる、燃料電池技術において高価な白金を使用するという障害を取り除くための研究努力[16]。
- 14) 高性能アルカリ型燃料電池用の新規水酸化物イオン伝導性固体[17]は、高価な白金触媒を必要としないため、低炭素社会実現のための安価な燃料電池システムの開発に役立つ。
- 15) 高選択性および高流量を持つナノサイズの二酸化炭素分離膜の開発[18, 19]は、大気への二酸化炭素排出を制御し、有用な製品（例えば炭化水素）用炭素源として二酸化炭素を再利用するために期待のできる手段である。二酸化炭素から有益な製品へ電気化学的変換をするために、新規の電極[20]と触媒一式[21]が開発された。
- 16) 地中貯留層からの二酸化炭素の漏出を発見するための先駆的なモニタリング技術を開拓している[22]。

3-1-3. 低炭素社会への移行に資する技術開発（企業との共同研究、知的財産、起業等を含む）

低炭素社会への移行に資する技術開発（企業との共同研究、知的財産、起業等を含む）について記述すること。

表1は、I²CNER 研究者が I²CNER 設立後に申請した出願中の特許リストである。これらの申請はすべて一連の I²CNER のエネルギー研究計画に関連している。リストの内容は以下のとおりである。

リチウム・空気電池用電解質としての新タイプのゲル状物質[1]、アクチュエーション[2]、物質のトライボロジーに関連する耐用年数[3]、燃料電池改質装置[4]、PEFC用の高い耐久性を持つ電極材料[5, 6]および電極触媒[7, 8]、熱化学および技術・産業への応用[9-11]、熱電性[12]、新しい水素貯蔵への取り組み[13]、水のみを排出する環境に優しい酸化法[14]、優れた着磁能力を持つ新しい FeCo ナノ合金磁石[15]、原子レベルで固溶された鉄族ナノ合金触媒[16]、低級オレフィン用新触媒[17]、ガス分離用ナノ薄膜[18]。

表1：出願済特許

	名称	発明者	出願日	産業界における重要性
1	リチウム・空気電池用ゲル電解質	石原、三井、宮地	平成24年 10月12日	放電温度273Kのポストリチウムイオン電池
2	伝導性材料およびその製造法と変換器	松野、高原	平成25年 3月26日	アクチュエーション
3	ベアリングおよび動力伝達装置の耐用限界と疲労寿命の予測方法	小俣、植田、松岡、松永、山辺	平成26年 1月	ベアリングの転がり接触の疲労寿命および強さ
4	ペーパー構造体触媒、ペーパー構造体触媒の配列、ペーパー構造体触媒もしくはペーパー構造体触媒配列を持つSOFC	白鳥、トラン、北岡、佐々木、小倉	平成25年 7月31日	燃料電池改質装置
5	燃料電池用電極とその製造方法、薄膜・電極構成と高分子電解質の燃料電池	東、野田、林、佐々木	平成26年 2月20日	PEFC用高耐久性電極材料
6	燃料電池車用の高性能燃料電池用電極触媒とその製造方法	堀口、野田、林、佐々木	平成26年 3月20日	PEFC用高耐久性電極材料

7	電極触媒用複合材料とその作製方法	中嶋、藤ヶ谷	平成 24 年 2 月 2 日	PEFC 用電気触媒 (JP2012-21358)
8	電極触媒用複合材料とその作製方法	中嶋、藤ヶ谷	平成 25 年 1 月 17 日	PEFC 用電気触媒 (PCT/JP2013/050748)
9	除湿装置と除湿方法	Ng, K. C., Myat, A., 柳, Thu, K., Saha, B. B., Leong, I.	平成 24 年 7 月 23 日	ビル内冷房および除湿用除湿装置（乾燥装置）。複数のシンガポールおよびマレーシア企業から事業許可の交渉あり。
10	脱塩システムとその方法	Saha, B. B., Ng, K. C., Chakraborty, A., Thu, K.	平成 25 年 10 月 1 日	塩水または塩汽水から高品質の水を生成する吸着サイクル。キプロス島ニコシア市エスペリディオオン 12, 1087 番の Vegalo Ltd に事業許可が発行された。
11	天然ガス貯蔵方法とシステム（インドネシア特許協力条約）	Ng, K. C., Loh, W. S., Rahman, K. A. Saha, B. B.	平成 25 年 10 月 1 日	40 バール以下、外気温下で使用できる固体吸着材を充填した、輸送可能なガス容器やシリンダー内での天然ガスの貯蔵。複数の南アジア地域の企業と事業許可に関する交渉あり。
12	単一マイクロ/ナノワイヤーの光吸収および熱伝導率同時測定のための新しい方法	Wang, H., Zhang, X.	平成 24 年 1 月 5 日	単一マイクロ/ナノワイヤーの光吸収および熱伝導率の同時測定
13	Ti-Fe 系水素貯蔵合金とその製造方法	堀田、秋葉、松田、Edalati, K.	平成 25 年 3 月 16 日	エネルギー貯蔵実現のために有望な材料
14	基質酸化法	小江、大島、林、猪木	平成 23 年 9 月 9 日	水のみを排出する基質酸化のための環境に優しいプロセス
15	体心立方型鉄-コバルト系合金粒子とその製造方法	山内	平成 24 年 3 月 8 日	遷移金属合金の中で、FeCo ナノ合金マグネットが最も大きな着磁能力を示す。
16	固体担体担持鉄族固溶体型合金複合体及びそれを用いた触媒	山内	平成 26 年 2 月 13 日	原子レベルで固溶された鉄族ナノ合金触媒
17	フィッシャー・トロップシュ反応による炭素原子数 2 から 5 のオレフィン製造方法	山内	平成 26 年 3 月 27 日	フィッシャー・トロップシュ反応による低級オレフィンの触媒
18	ガス分離薄膜、製造方法、ガス分離モジュール、ガス分離方法	藤川	平成 25 年 11 月 28 日	ガス分離のためのナノ厚薄膜

企業との研究プロジェクト

以下に記載する I²CNER 研究者と企業間の共同研究プロジェクトは、実社会におけるカーボンニュートラル・エネルギーの課題解決方法に影響を与えており、本研究所の研究活動から生まれたものである。

高分子ブラシ技術

高原主任研究者が実施する高分子ブラシ技術に関する研究は、多くの企業との共同研究に結び付いている。事例として、高原主任研究者は以下の企業との共同研究を行っている - a) トヨタ自動車とのエネルギー高効率化のための自動車駆動系の潤滑法に関する研究、b) 住友ゴムとのポリオレフィン表面の汚損防止に関する研究。ポリオレフィンとは通常のプラスチック材で、その機能は既存のエネルギー消費の大きい特殊な高分子製品の代わりになり得るものである。そのような既存品を生産するためには莫大なエネルギーを必要とし、大量の化学薬品が使用される、c) 中国ペイントとの潤滑および生物付着防止のためのエネルギー効率の高いコーティング法の研究。海水中で卓越した潤滑効果を持つコーティング技術により、燃料の使用量削減および二酸化炭素の排出に貢献できる。

触媒

石原主任研究者が行う共同研究は、a) 豊田合成との可視光使用による広帯域ガス硝酸塩用有機色素改良コンセプトの応用、b) JFE スチールとの鉄鋼製造工程で生成した二酸化炭素の再利用のための中温二酸化炭素電解質用活性触媒の開発、c) 関西電力との大規模エネルギー貯蔵装置用新しい金属空気電池の開発。

小江主任研究者は、九州大学と福岡産学連携交流センターを拠点とする組織のメンバーである。この組織はダイハツ自動車、チッソ、三菱ガス化学等の企業との調整役を担っており、「水素からの電子ネットワーク」という、水素活性化のための機能的非貴金属分子触媒と生触媒の分野で新しい産業を生み出すプロジェクトの枠組み作りを行っている。このような触媒は、水素を利用した技術と経済を促進させつつ、低価格の水素燃料電池が使用できるようになる潜在可能性を持っている。

山内主任研究者は、宇部興産と共に新規のナノ合金触媒の製造について共同研究を行っている。また、同氏は、ダイレクトエチレングリコール固体アルカリ型燃料電池用鉄族のナノ合金触媒を開発した。これらの触媒は、フィッシャー・トロプッシュ反応により低級オレフィンに対する高選択性を示す。今後の予測で言えば、産業用薬品における原材料として重要である低級オレフィンに対する需要は、近い将来供給を凌ぐと見られている。また、企業と低級オレフィン合成に向けた鉄族ナノ合金触媒の開発プロジェクトを開始する計画がある。

燃料電池

燃料電池研究部門長の佐々木一成教授は、I²CNER研究棟に隣接する次世代燃料電池産学連携研究センター (NEXT-FC) のセンター長である。京セラ、三菱日立パワーシステムズ、JX日鉱日石エネルギー等多くの企業のエンジニアや研究者がNEXT-FC に拠点を構え、燃料電池の耐久性、信頼性、性能に関する分野で研究を行っている。数多くのI²CNER研究者もNEXT-FC の施設に常駐しており、すべての研究者がその研究室へアクセスできる。これらの企業は次世代燃料電池システムの商品化に向けて活発に活動しており、NEXT-FC とI²CNERの研究者同士の交流はより優れた技術ソリューションの創造へ貢献している。

水素貯蔵

I²CNER の Lyth 助教と林准教授は、秋葉主任研究者の指導の下、JX日鉱日石エネルギーとの共同研究を行っており、水素貯蔵応用を目的とした大きな表面積を持つナノ構造の炭素の合成を進めている。このプロジェクトは今年で3年目に突入した。

秋葉主任研究者は、水素貯蔵技術と燃料電池車用水素貯蔵のための NEDO のロードマップ作成に貢献した。この活動において、同教授は、自動車会社や、一般企業各社が燃料電池と水素技術を開発・商品化する目的で設立した燃料電池実用化推進協議会 (FCGJ) と緊密な共同研究を行っている。秋葉主任研究者の研究チームは、自動車会社 (トヨタ、日産、ホンダ)、水素貯蔵材料製造会社、石油会社を含む幅広い産業界と積極的に共同研究を実施している。

強塑性変形 (SPD) プロセスのスケールアップは、TiFe の工業生産を実現するために必要不可欠である。これは、定置型水素貯蔵用の新規に発見された有望な候補材料である。平成 25 年には、堀田主任研究者のグループが長野鍛工 (長野県) との共同研究を開始し、500 トンの SPD 2013 機を設置した。この機械は、もともと九州大学で開発された高圧すべり加工 (HPS) に基づき設計されている。

熱物性

水素の高圧高温の熱物性に関するデータベースは、水素エネルギーシステムの有益な設計ツールとして、すでにいくつかの日本企業（ホンダ、大同特殊鋼等）に提供されている。

技術移転と商品化：高圧水素用新型メタルパッキンの開発

I²CNER の久保田教授と TOKi エンジニアリングの大津氏は協力し、100MPa 下の水素ガスに対して使用可能な新しいシール材（メタルパッキン）の開発に成功した。この結果、生まれた製品は、製造および設置が容易で（必要な締付け力が小さく、機械を破損させるリスクが少ない）、コンパクト、繰り返し使用でき、信頼性が高く、広い温度域で使用可能で、水素に起因する劣化に影響を受けにくい。この新規のシールの開発は、水素経済への移行を促進させるものである。3 年間の研究開発の後、パッキンは平成 25 年 6 月に TOKi エンジニアリングが商品化した。パッキンの形状は図 20 のとおりである。図 21 に示される自己密封メカニズムにより、水素の圧力が上昇すると、シールの性能も向上する。研究開発の期間中、疲労やフレッティング摩耗による不良などの問題を経験したが、水素適合材料部門のプロジェクト 1 にも記述されるような研究活動を通じて獲得した基礎知識を適用させ、解決することができた。このパッキンは平成 25 年 6 月に市場販売が開始された。

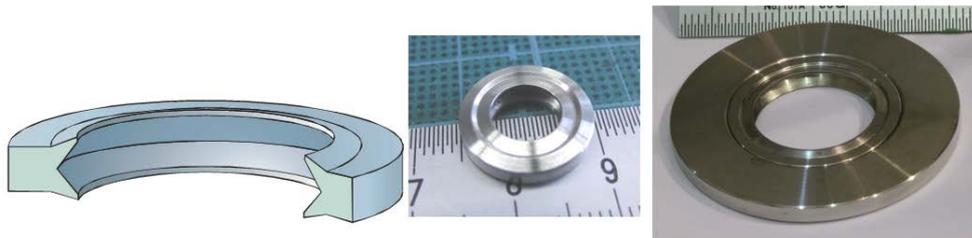


図 20：100MPa 水素ステーション用新型メタルパッキン（販売開始 平成 25 年 6 月）

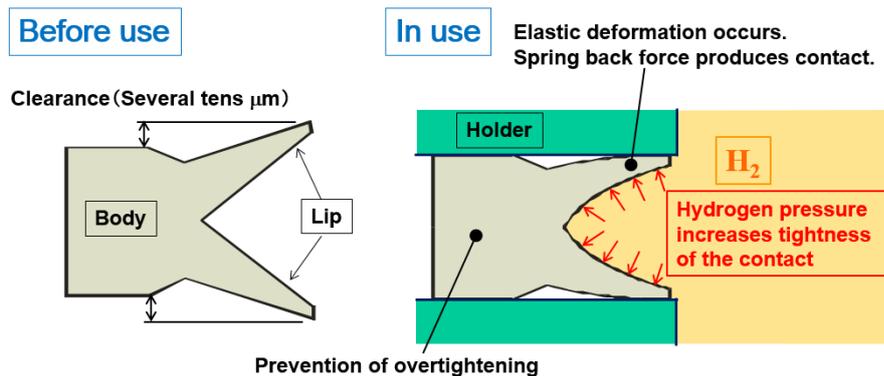


図 21：密封の原理

高強度合金における水素脆化の緩和

Somerday 部門長、Sofronis 主任研究者、Robertson 主任研究者、Martin ポスドク研究者、Dadfarnia ポスドク研究者、JFE スチールの長尾博士は、焼き戻したラスマルテンサイト鋼の水素脆化へのナノサイズの (Ti, Mo)C 析出物の影響を研究した。その結果、ナノサイズの (Ti, Mo)C 析出物は、水素をトラップし、粒間き裂を防止し、ラスマルテンサイト鋼の水素脆化に対する耐久性が向上することが分かった。この成果は、水素の貯蔵および輸送が安全で確実にを行うことができるよう、耐水素脆化の向上した高性能鋼を製造するための材料設計に新しいコンセプトをもたらした。JEF スチールは、技術につながるこの発見を進展させるため I²CNER とパートナーシップを築くことに関心を示した。

構造強化オーステナイト系ステンレス鋼

高木主任研究者は、新規の熱処理方法により形成させた微細構造によって、高強度オーステナイト系ステンレス鋼の耐水素脆化向上の分野における第一人者である。同教授の持つ関連特許5055547は、ワイヤー製造会社にて採用され、細線とワイヤーロープはすでに工業生産されている。この技術が水素貯蔵用部材、つまり薄板やパイプ等の材料製品に応用されれば、水素ガス環境下でも高強度で、低コストのオーステナイト系ステンレス鋼を供給することにより、低炭素社会に貢献することができる。

圧力容器の構造健全性モニタリング

I²CNERの徐 WPI 招へい教授は、AIST 研究者の Guo 博士、上野博士、小野博士、Li 博士、坂田博士、および水素エネルギー製品研究試験センター (HyTReC) 長の渡邊博士とともに、メカノルミネッセンスセンサー技術を適用させることにより圧力容器における疲労損傷の視覚化に成功した。これらの研究成果には、圧力容器製造会社の SAMTEC および HyTReC とのパートナーシップの締結も含まれる。水素ガス圧力容器のための構造健全性モニタリングを開発することは、構造の診断予測の分野での活発な研究につながる。このような水素圧力用の構造健全性モニタリングシステムは、その安全性や信頼性を改善させることのほかに、容器の交換間隔を延長させることにより、費用の削減にもつながる。

超低摩擦に向けたナノトライボ界面

ダイヤモンドライクカーボン (DLC) コーティングは、水素機器 (例えばバルブなど) での使用が期待される表面材料である。この分野における活動が、以前の水素材料先端科学研究センター (HYDROGENIUS) において NEDO プロジェクトの一環として開始された。DLC コーティングは、(潤滑剤を必要とせず、優れた低摩擦性や低摩耗性の点で) 概して優れた性能を持つため自動車業界やその他の産業界において使用が急速に拡大している。また、これは可視性の高い研究テーマでもあり、トライボロジー関係者の多くの注目を集めている。去年10月、杉村主任研究者のグループが東北大学と名古屋大学とともに、JSPの低摩擦の機械的システムのためのナノトライボ界面プロジェクトを立ち上げ、新規のDLC研究を開始した。杉村教授グループが持つ独自の専門性は、DLC トライボロジーのメカニズムを研究し、改善させるために、制御された気体環境下で実験を行うことができることにある。一般用樹脂材料もこの低摩擦プロジェクトに含まれている。

薄膜による二酸化炭素分離

従来の気体分離薄膜の膜厚はミクロンレベルであるため、ナノメートル厚で自立した薄膜による気体分離は、その低いガス透過率を改善するために期待できる方法である。平成24年4月以降、CO₂分離・転換部門はナノメンブレンと日立と共同研究を行っており、気体分離用薄膜を開発している。この共同研究において、藤川主任研究者は、二酸化炭素と窒素に対して高い選択性を持つ薄膜を開発しており、それは現在ほぼ最先端のものと言ってもよい。この結果はSection2-1にも記述されており、また、特許も出願されている [18]。

谷口准教授は阪井敦氏 (株式会社KRI環境化学プロセス研究部グループリーダー (京都)) との共同研究で、二酸化炭素透過性を促進させたサブミクロン厚のPAMAM dendrimer 高分子膜を製造した。この研究では、谷口准教授はナノ厚の薄膜開発を進めており、一方KRIは、必要な二酸化炭素の分離特性を特定し、動作環境を最善化させるためにプロセスシミュレーションを行っている。

苫小牧CCSプロジェクトにおけるモニタリングとモデリング

辻主任研究者と北村助教は、苫小牧CCSプロジェクトにおいて、日本CCS調査株式会社との共同研究を行っている。この共同研究では、地球物理データおよび地質データ (コアサンプル) を分析し、新たなモニタリング手法の開発を目指している。この共同研究では、苫小牧CCSプロジェクトにおいて、地震と関係する重要な課題を扱っている。二酸化炭素注入地点周辺の間隙水圧の変化をモニタリングすることで、二酸化炭素注入量を調整し、地震の発生を予防することができる。この解析は非常に重要で、CCSに誘発される地震の可能性に関して、国民に向けて科学的に伝えることができる。

バイオロジカルCCS

辻主任研究者は海洋研究開発機構 (JAMSTEC)との共同研究で、大規模なバイオロジカルCCS (再生可能なCCS) のポテンシャルについて研究している。このCCSシステムでは、炭層内に二酸化炭素を圧入し、それをメタンへ変換するというものである。具体的には、辻主任研究者は、この生物学的反応に最適な地下環境の分布を推定している。一方で、JAMSTECの研究者は、二酸化炭素のメタンへの変換率を実験室で調べている。

二酸化炭素の漏れ検出とモニタリング

I²CNERの下島准教授は株式会社環境総合テクノス (KANSO) から研究資金を受け、漏洩二酸化炭素の検知・モニタリング技術を開発している。KANSOは、日本における複数のCCS候補地において海洋環境の現況把握観察を行っている。下島准教授が開発したモニタリング技術や海洋観察機器は様々な海域に適用されているが、平成26年2月には苫小牧CCSプロジェクトの実証試験実施海域にてマッピング調査が行われた。

次世代エンジニアの養成

I²CNER専任教員によるオートモーティブサイエンス専攻での教育活動は、自動車業界、特に燃料電池およびリチウムイオン電池分野の次世代のエンジニアや研究者の養成に貢献している。

3-2. アウトリーチ活動

- ・ メディア報道掲載等の実績を[添付様式3-2]に記載すること。

I²CNER Annual Symposium

毎年、世界トップレベルの研究者をI²CNERに引きつけ、本研究所の研究活動に触れてもらうため、I²CNER Annual Symposiumを開催している。平成26年1月のAnnual Symposium基調講演者としての参加を契機に、Benny Freeman教授は平成26年4月1日付けで、I²CNER WPI教授に就任した。

Hello! I²CNER/Energy Outlook

高校生を対象とした「Hello! I²CNER」及び産業界のステークホルダーを対象とした「Energy Outlook」の2種類の広報誌を、年3回発行している。「Energy Outlook」は平成24年度に創刊され、トヨタ自動車の広瀬雄彦氏を含む一般企業の関係者とのインタビューを特集している。定期的に刊行されるため、「Hello! I²CNER」は高校生の間でも認知度が向上し、最新号での“Science Café”セクションへの参加を希望する高校からの依頼も受けている。

I²CNERセミナーシリーズ・レポート

これまでのI²CNERセミナー・シリーズの集大成として、平成25年度末にI²CNERセミナーシリーズ・レポートを発行した。

AAAS年次総会

平成23年度以降、I²CNERは毎年「アメリカ科学振興協会(AAAS)年次総会」に参加している。I²CNERのブースは、日本科学技術振興機構(JST)主催の「ジャパン・パビリオン」に毎回出展される。AAAS年次総会には、科学者、政策担当者、行政官、国内外のメディアや親子連れ等、毎年幅広い参加がある。平成25年度総会では、ソフロニス所長が日本の大学における研究環境の魅力について講演を行った。

九州大学ソフト工学公開講座「これからのエネルギーを考える」

福岡市教育委員会等の後援のもと、I²CNERと九州大学大学院工学研究院は、一般を対象とした無料の公開講座を、平成25年冬に共同開催した。5回の講座のうち、2回をI²CNER研究者が担当した。11月22日に石原教授が「エネルギー問題に貢献する次世代電池」と題した講演を、12月6日に佐々木教授が「燃料電池を核にした水素エネルギー社会実現に向けて」と題した講演を、それぞれ行った。

スーパーサイエンスハイスクール(SSH)生徒研究発表会

平成25年8月7・8日に開催された「SSH生徒研究発表会」において、I²CNERは京都大学物質-細胞統合システム拠点(iCeMS)と合同でブースを出展した。本イベントは、学生の科学技術への関心を高める目的で開催され、18の海外校を含む全219校が参加し、一般にも公開された。

科学・技術フェスタ

平成23年及び25年にそれぞれ京都で開催された「科学・技術フェスタ」に参加した。文部科学省主催の本イベントは、高校生に最先端の研究に触れる機会を提供する目的をもつ。I²CNER研究者は、平成25年開催分では、CO₂分離・貯留技術、理論化学及びグラフェン・燃料電池について紹介し、平成23年開催分では、ミニチュア水素自動車の走行デモンストレーションを行い、小江教授の研究成果のニュースクリップを紹介し、CO₂地中貯留に関するビジュアル入りの資料を配布した。

地元高校での特別講演

平成25年7月12日、I²CNER藤川茂紀准教授が、地元福岡の西南学院高等学校においてカーボンニュートラル・エネルギーについての講演を行った。

I²CNER プロモーションビデオ

平成25年度、日英両語によるI²CNERプロモーションビデオを完成した。

I²CNER東京シンポジウム

平成24年12月7日、首都圏所在のエネルギー・ステークホルダーにI²CNER研究活動を紹介するため、「I²CNER東京シンポジウム」を開催し、特別講演者にJohn V. Roos駐日米国大使、文部科学省吉田大輔研究振興局長、米国エネルギー省Monterey Gardiner技術開発マネージャー、トヨタ自動車広瀬雄彦技術統括部主査らの参加を得た。シンポジウムは、Mark Paster WPI招へい教授の司会による講演者と一般参加者間のパネルディスカッションで締めくくられた。

第5回福岡市立少年科学文化会館・九州大学総合研究博物館合同企画展

I²CNERは、平成24年7月21日から8月30日まで、福岡市立少年科学文化会館と九州大学総合研究博物館による5回目の合同企画展を共催した。「環境とエネルギー」をテーマとしたこの企画展は、楽しい「体験型」展示であり、子供たちは遊びながら、同時に水素エネルギーや低炭素社会について学ぶことができた。本イベントでは、藤ヶ谷剛彦准教授と北村圭吾助教がI²CNERの紹介を行った。開催期間を通し、約1万6千人近くの来場者があった。

WPI合同シンポジウム

平成23年11月12日、WPI 6拠点合同シンポジウムを主催し、ソフロニス所長と小江教授が講演を行った。同シンポジウムのテーマは、「最先端の科学と君たちの未来」であった。

平成24年11月24日、他のWPI拠点と合同でシンポジウムを共催し、副所長の石原達己教授が「夢の人工光合成：生物に挑戦」と題した講演を行った。

平成25年12月14日、他のWPI拠点と合同で「WPI Science Talk Live 2013」と題したシンポジウムを共催した。本イベントでは、WPI研究者と高校生による発表が行われた。入場料は無料で一般にも公開され、英語・日本語の同時通訳で実施された。

I²CNERアニュアルレポート

本研究所では、地域社会に我々の研究活動と成果に関する最新情報を提供するため、毎年アニュアルレポートを発行している。

4. 異分野融合（3ページ以内）

4-1. 戦略的融合領域創出に向けての取り組み状況

異分野融合スタートアップ経費

部門の研究領域を超えた異分野融合研究を促進する目的で、運営委員会(SSC)は、スタートアップ資金向けの研究プロポーザルを募るため、「異分野融合研究スタートアップ経費」と題した新しいプログラムを導入した。少なくとも2つ以上の部門の教員による共同プロポーザルのみが、評価の対象となる。平成23年度は、厳格な選考によって、9つのプロポーザルを採用した。平成24年度には、第2回目の異分野融合研究プロポーザル募集に係る経費を検討するため、9つすべてのプロジェクトに進捗報告書の提出とセミナー発表が課せられた。この2回目のプロポーザル募集審査の結果、前年度に開始したプロジェクトの幾つかは中止となり、新規1件、継続4件の計5件のプロジェクトを採択した。これら5件の採択プロジェクトは、以下のとおりである。

- 1) Hydrogen Adsorption on Graphene Nanofoam
(Lyth助教、Shao助教)
- 2) Nano Processing and Properties of Mg-based Materials for Energy Storage
(Shao助教、秋葉教授、高田教授、Bishop助教、Lyth助教、藤川准教授)
- 3) Investigation of proton conducting amorphous oxides for pre-combustion CO₂ separation
(藤川准教授、Bishop助教)
- 4) Direct Investigation of physical characteristics of super critical CO₂ toward monitoring of CO₂ behavior in geological reservoir
(北村助教、藤川准教授)

- 5) A novel nanostructured electrode by combining nanotitania and mesoporous carbon
(松本教授、林准教授)

平成24年度は、実質的成果を期待して、前年比50%以上削減の855万円(1ドル=100円)が、上記5件のプロジェクトに配分された。全体として、本プログラムは、以下の異分野融合研究の論文発表につながった。

- 1) Lyth, S. M., Shao, H., Liu, J., Sasaki, K. and Akiba, E. (2014), Hydrogen adsorption on grapheme foam synthesized by combustion of sodium ethoxide, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (1), 376-380.
- 2) Shao, H., Ma, W., Kohno, M., Takata, Y., Xin, G., Fujikawa, S., Fujino, F., Bishop, S. R. and Li, X. (2014), Hydrogen storage and thermal conductivity properties of Mg-based materials with different structures, *International Journal of Hydrogen Energy*, in press (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.02.063>).

若手教員への資金配分

異分野融合研究プロジェクト用の予算削減により節約した資金の一部を、若手教員を支援するための新たな取り組みに割り当てた。平成25年4月1日から、それぞれの若手教員には、異分野融合研究推進のために使用するべきという明確な指示のもと、150万円が配分された。

競争的スタートアップ経費配分

平成25年度、新たに「競争的スタートアップ経費」プログラムをスタートした。本プログラムを通し、インパクト・ファクターの高い学術雑誌に異分野融合研究の論文を発表するなど、成果を出している生産的な研究チームに対する資金援助強化の目的で使用される資金配分の厳しい基準を維持することにより、異分野融合研究を推進することを目指している。I²CNER全教員の研究プログラム審査後、副所長2名及び内部プログラム評価委員会との協議のもと、所長は、平成25年度計1,500万円(1ドル=100円)の経費配分を行った。平成25年度の経費は、生産的かつI²CNERの融合研究に関連する成果(論文、受賞、外部資金などを含む)を出した教員に配分された。本プログラムは現在も進行中であり、平成26年度中に最初の評価を実施する予定である。

4-2. 研究者間のボトムアップ的融合研究創出に向けての取り組み状況

※I²CNERのボトムアップ的融合研究創出に向けた取り組みは、開所以来、幾つかの方法で着手された。以下は、ボトムアップ的融合研究プロジェクト開始のための最も多く見られる戦略と状況の例である。

I²CNER第1研究棟における共同研究

第1研究棟に研究者を集めることにより、異分野を横断した共同研究が始まった。その1例は、石原達己主任研究者、John Kilner主任研究者、イリノイ大学サテライト教員のAngus Rockett教授、John Druceポスドク研究者による共同研究である。この提携は、Rockett教授がI²CNER施設の視察ツアーに参加したことによって生まれた。I²CNER研究者の能力と低エネルギーイオン散乱(LEIS)分光装置の性能の高さは、光電子材料を作り出す主要エネルギーに関する長年の疑問に答える可能性を前面に押し出した。この共同研究は、Kilner教授の物理、Rockett教授の材料科学、石原教授の無機化学を結合したものである。

部門リトリート(所長要請による)

平成25年秋から、所長と副所長は、九州大学・I²CNER研究棟から離れた場所でリトリートを実施し、分野横断的な問題を中心とした研究テーマや、共同研究プロジェクトについて慎重に検討するよう、各部門に要請している。その成果として現れた異分野融合共同研究の例は以下のとおりである。

- 1) 酒井健主任研究者とサテライト研究者Lane Martin助教の共同研究「高効率ハイブリッド有機・無機光触媒システム」は、先導的材料科学および化学の第一線の研究である。
- 2) 萩原英久助教、Aleksandar Staykov助教、石原達己主任研究者、サテライト研究者Elif Ertekin助教の共同研究「超高性能光触媒電荷分離用ハイブリッド分子スイッチ」は、固相法で作られた光触媒と分子化学の融合研究である。

IISSプレゼンテーション

開所以来、部門を超えた共同研究を始めることを目的とし、若手研究者はInstitute Interest Seminar Series (IISS)において研究発表を行っている。その結果、以下の共同研究が開始された。

- 1) 西原正道助教とAleksandar Staykov助教の共同研究は共著論文発表につながった(Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics (2014), 52, 293-298)。この研究プロジェクトは、高分子化学、半導体材料科学、計算化学、電気化学の融合研究である。
- 2) サテライト研究者Paul Kenis教授グループのMolly Jhong氏(イリノイ大学院生)は、中嶋直敏主任研究者や佐々木一成主任研究者の研究グループに対して研究成果を発表した。I²CNERのStephen Lyth助教は、その発表後にJhong氏に、彼の成果物である二酸化炭素変換のための窒素ドーピング炭素材料のいくつかを実験に採用するよう提案した。現在も材料合成に関する共同研究を継続している。

「計算材料科学」に関する非公式セミナー

平成25年10月、Aleksandar Staykov助教が指導する若手研究者が「計算材料科学」に関する非公式ではあるが新しい取り組みを開始した。これは、部門の域を超えた分子および材料科学における交流と協力を促進するためのものである。この試みには、非公式のセミナー発表と討論も含まれ、分子化学と材料化学の研究者たちに、実際に顔を合わせ、意見交換し、計算技術と知識を共有することで、有機/無機界面化学や表面化学、材料界面の分野における異分野融合研究を生み出すための機会を与えた。これらのミーティングには、理論研究者も実験研究者も関心を示し、燃料電池、水素製造、水素適合材料部門間の共同研究を実施するに至った。この取り組みの参加者は、研究資金を申請しなかったが、所長が資金提供し、支援している。

I²CNER研究者によるイベント及び取り組み

I²CNERが開催する多くのイベントは、異分野融合研究の実施につながっている。中には研究者間の取り組みから発生したプロジェクトもある。そのような共同研究の例を以下に示す。

- 1) 平成23年2月のI²CNERキックオフシンポジウムの期間中、Brian Somerday主任研究者は、水素助長疲労き裂進展の、ガス不純物による抑制に関する実験結果を発表した。シンポジウムに参加していたI²CNERのAleksandar Staykov助教は、これをきっかけとして、密度汎関数理論(DFT)モデルを適用することにより抑制メカニズムを如何に理論的に探究できるかについての検討を始めている。この取り組みにより「Effect of hydrogen gas impurities on the hydrogen dissociation on iron surface」と題する論文の発表が行われた(*the International Journal of Quantum Chemistry*, 114 (10), 626-635, 2014)。
- 2) 水素貯蔵材料用高圧ねじり加工に関するI²CNERでのミーティングの中で、サテライト研究者David Cahill教授、高田保之主任研究者、堀田善治主任研究者は、熱伝導率を減少させるための、半導体へのバルク加工の応用の可能性について、全く新しい考え方を検討することを決めた。I²CNERの河野正通准教授は九州大とイリノイ大を行き来し、共同性の極めて高いプロジェクトの橋渡しとなり、「Reduction in Thermal Conductivity of Crystalline Silicon Processed by High-Pressure Torsion」と題された共著論文執筆につながっている。この論文は、現在Nanoscale Research Letters誌が審査中である。
- 3) Harry Tuller主任研究者とJohn Kilner主任研究者の科学的業績は、I²CNER研究者間での異分野融合研究を促進するのに役に立っている。同教授らの働きかけにより生まれた共著論文は例えばAdvanced Functional Materials誌(22 (9), 1958-1965, 2012)やJournal of Materials Chemistry A誌(1 (26), 7673-7680, 2013)にて出版されている。

4-3. 異分野融合により、低炭素社会への移行を加速すると期待される研究の進捗状況

- ・ 融合研究についての論文一覧とその解説を[添付様式4-3]に記載すること。

異分野融合研究「文化」の形成

I²CNERの執行部は、異分野融合研究の「文化」を、本研究所の組織と運営に浸透させるために尽力した。例えば、I²CNER専任教員及び研究者の活動とその進捗の全体像を把握した上で、所長は、異分野融合研究推進を目的とするI²CNER競争的スタートアップ経費(上記4-1参照)と裁量経費の2つを使い、文化形成に役立っている。また、異分野融合研究の重要性は、専任教員全員が年次評価の一環として受け取る評価レターの中でも繰り返し強調されている。さらに、所内における昇任と教員のテニュアポジション獲得には、研究所内規「教員の昇任審査」にも明記されているように、異分野融合研究が必須であることは、I²CNERの全教員が

承知している。

5. 国際的な研究環境（4ページ以内）

5-1. 国際的頭脳循環

5-1-1. イリノイ大学サテライトとの連携及び共同研究等の実績

サテライトの役割、人員構成・体制、協力の枠組み及び共同研究の実績について記述すること。

- ・ サテライトとの連携状況を[添付様式5-1-1]に記載すること。

サテライト人事構成

- 執行部：
 - ペトロス・ソフロニス教授（所長、水素適合材料部門 主任研究者）
 - Kenneth Christensen教授（副所長、CO₂貯留部門 主任研究者）
 - William Dick氏（エグゼクティブ・アドバイザー、所長に対しイリノイ大学のプロジェクト運用に関する助言を行う）
- 教員：
 - Andrew Gewirth教授（IPRC議長、燃料電池部門 主任研究者）
 - Angus Rockett教授、Elif Ertekin助教、Lane Martin助教、*Xiuling Li*准教授（水素製造部門 サテライト教員）
 - David Cahill教授（熱科学部門 サテライト教員）
 - Thomas Rauchfuss教授（触媒的物質変換部門 サテライト教員）
 - Paul Kenis教授（CO₂分離・転換部門 サテライト教員）
 - Dimitrios Kyritsis准教授（CO₂貯留部門 サテライト教員、平成25年7月16日付で任命終了）
 - Arne Pearlstein教授（CO₂貯留部門 サテライト教員、平成26年8月16日付で任命終了）
 - *Albert Valocchi*教授（CO₂貯留部門 サテライト教員）
 - James Stubbins教授（エネルギーアナリシス部門 サテライト教員）
- EACメンバー：
 - Robert Finley博士（CO₂貯留部門）
- 事務サポート：
 - Jessica Dalhaus（プロジェクト・コーディネーター、所長アシスタント）
 - Yvonne Shaw（助成金&契約コーディネーター）

上記、イタリック体で表記されている*Xiuling Li*准教授及び*Albert Valocchi*教授の2名は、CO₂貯留・光電気化学的水素製造装置モデリング及びシミュレーション分野におけるI²CNERの計算能力をサポートし強化するため、イリノイ大学工学部から直接資金援助を受けている。

協力体制

イリノイ大学サテライト教員はすべて、それぞれの専門分野において国際的に認知されている研究者であり、九州大学におけるI²CNERの研究を補完するため、特別に招へいされている。現在、Andrew Gewirth教授とKenneth Christensen教授の2名が、I²CNER主任研究者に就任している。

サテライト・オフィス

サテライトは、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の機械科学工学部内に位置し、広々としたオフィス・スペースを確保しており、日本人研究者がイリノイ・キャンパス訪問時に使用可能である。

九州大学教員との恒常的コンタクト

平成25年9月、イリノイ大学サテライトは、九州・イリノイ両大学から講演者が参加した「Catalytic Concepts for Fuel Cells」と題した国際ワークショップを開催した。このようなI²CNERイベントや、教員・学生の相互訪問をとおり、両大学の研究者はEメールやテレビ会議による定期的なコミュニケーションに加え、連携・共同研究に関するアイデアを直接交換し、話し合う機会を持つ。

短期訪問学生

九州大学とイリノイ大学サテライト及びその他の海外連携機関との間で、学生の積極的な交流を推進す

るため、I²CNERは、短期間海外から九州大学を訪問する学生を「短期訪問学生」として受け入れている。平成26年3月31日付けで、開所以来イリノイ大学サテライトからI²CNERを訪問した大学院生の数は合計14名（平成23年度5名、24年度5名、25年度4名）となり、26年度の夏には、1名が訪問を予定している。

I²CNER学部生交流パイロット・プログラム

平成26年2月25日から3月26日まで、九州大学工学部の学生5名が、I²CNER学部生交流パイロット・プログラムの一環として、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校を訪問した。学生達は、サテライト教員及び大学院生の指導のもと、同大学の実験室において研究活動の見学と補助を行い、ミーティングに参加し、毎週サテライト所長・副所長と進捗確認をし、地元の工学系企業3社を訪問し、大学での文化的体験を充実したものにすするため、Center for East Asian and Pacific Studies (CEAPS)との交流を深めた。引き続き学生に異文化体験を提供するため、両大学間の学生交流協定に関して現在交渉中である。

GRIPTプロジェクトと図書館の共同的活動

イリノイ大学グレインジャー工学部図書館情報センター（William H. Mischo教授とMary C. Schlembach教授）は、九州大学図書館（シニア図書館員兵頭健之氏）と緊密に協力し、I²CNER研究者が利用可能なインターネット上のあらゆる情報源へのアクセスを提供できる一連の学術情報サービスを開発した。とりわけ、I²CNER用にデザインされた全体情報の成果収集ツール（GRIPT）の開発に力を注ぎ、I²CNER研究者の論文を対象に、部門や著者名検索、主要テーマ別雑誌検索、特殊用語論文検索、トピック別カスタマイズ検索、被引用数の高い論文検索、特定の論文を引用している論文検索等の検索手法を使ってアクセスが可能である。このツールはイリノイ大学と九州大学の研究者がキャンパス内および遠隔地で使用できるようにデザインされている。このプロジェクトの開発に当たっては、イリノイ大学の図書館員も九州大学を訪問している。

URL: <http://hades.grainger.uiuc.edu/guy/pip7j.asp?i2cner>

http://hades.grainger.uiuc.edu/sarina/i2cner_scopus/i2cner_search.asp

「イリノイ大学サテライト体験」特別セミナー発表

九州大学の研究者のイリノイ大学サテライト訪問を奨励するため、サテライトに長期滞在した最初の九州大学研究者のひとりである河野正道准教授が、イリノイ大学のキャンパスライフについての特別セミナー発表を行った。発表の中で河野准教授は、バスや宿泊施設、鉄道網、シカゴへのアクセス方法、イリノイ大学の歴史、使用可能な研究施設、イリノイでの典型的な1日のスケジュール、キャンパス内外の名所などを説明した。

共同研究

水素製造

- イリノイ大学の Rockett 教授、水素製造部門蒸気電解チームの Druce ポスドク研究者、Kilner 教授、石原教授、及び英国インペリアル・カレッジ・ロンドンの Helena Tellez 博士は、最表面の低エネルギーイオン散乱（LEIS）解析により、様々な Cu(In, Ga)Se₂ (CIGS) 単結晶エピタキシャルフィルムについて、数種類のサンプル作成方法の影響を研究している。それらの材料から作製された素子は、水素製造のためのカギとなるエネルギー源として役立つだけでなく、ハイブリッド光電気化学電池用電極としての潜在的可能性も持つ。LEIS は試料の周辺部の原子層に敏感であるので、試料作製の際は in-situ での適切な洗浄を行うことが非常に重要である。このことは通常、原子状酸素や水素への暴露、低エネルギースパッタリングで可能となる。最初に発表された共著論文は Cu(In, Ga)Se₂ (CIGS) 太陽光発電の表面構造処理の効果に関し取り組んだもので、半導体太陽光発電素子の性能を司るヘテロ結合を作る表面構成の今後の研究に対し理想的な製作手法を同定している。
 - Tellez, H., Druce, J., Liao, D., Hall, A., Ishihara, T., Kilner, J., and Rockett, A., Low Energy Ion Scattering: Surface Preparation and Analysis of Cu(In, Ga)Se₂ for Photovoltaic Applications, *Progress in Photovoltaics*. (投稿済)
- イリノイ大学の Rockett 教授、九州大学の高原主任研究者と檜垣助教は、継続中の共同研究において Cu₂ZnSnSe₄ の化学反応および相均衡について調べている。この化合物は CuInGaSe₂ に代わる物質として大きな関心が注がれており、温度設定されたシンクロトン X 線回折により地球上に豊富に存在する物質から作られる。最近試料をイリノイ大から九州大に送り、分析を行った。目下、データ分析を実施しており、その結果および今後の実験結果に基づいた共著による論文が期待される。

- イリノイ大学の Gewirth 主任研究者と九州大学の石原教授は、共同研究において光触媒としての 酸硫化物材料 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{S}$ の光電気化学的活性に取り組んでいる。九州大学のグループが材料を合成し、イリノイ大学のグループがその活性を測定した。この共同研究の成果により共著論文を発表した。
 - Pacquette, A. L., Hagiwara, H., Ishihara, T. and Gewirth, A. (2014), Fabrication of an oxysulfide of bismuth $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{S}$ and its photocatalytic activity in a $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{S}/\text{In}_2\text{O}_3$ composite, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 277, 27-36.
- イリノイ大学の Ertekin 助教と九州大学の Staykov 助教は、共同研究において、ポルフィリン分子と KTaO_3 酸化物とのヘテロ接合に基づくハイブリッド有機・無機スイッチング機構の設計研究に取り組んでいる。このシステムは九州大学のチームが合成したが、その後の特性解析で、界面全体でほぼ 100%の効率で電荷キャリア分離が起きていることを示した。共同で行われた電子構造の数値解析で、一方向の電子移動を可能にする分子スイッチ機構を発見した。この数値解析に対する要求は非常に高いものであったが、Blue Waters の高性能コンピュータ施設で実現した。このコンピュータ設備はペタスケールの規模を誇り、イリノイ州に拠点を置く国立スーパーコンピュータ応用研究所 NCSA にある。数値解析による予測は、Kilner 教授と Druce ポスドク研究者が LEIS 装置で実施した表面に関する実験により実証された。この成果の研究論文は学術雑誌投稿のため執筆中である (Staykov, A., Jain, C. A. and Ertekin, E., “A hybrid molecular switch for ultra-efficient photocatalytic charge separation”)。

水素貯蔵

- 九州大学の堀田主任研究者のグループは、ウィスコンシン - マディソン大学の Robertson 教授、ソフロニス主任研究者とともに共同研究を開始した。研究テーマは、水素を注入した純ニッケルと SUS304 の微細構造変化に与える高圧ねじり加工 (HPT) (いわゆるひずみ強加工) の影響の研究である。イリノイ大学院生 Megan Emigh 氏は平成 25 年 6 月から 8 月にかけて九州大学に滞在し、共同研究を行っている。九州大学の設備を使用して、同氏は水素注入と高圧ねじり加工処理のための試料を作成し、基本的な微細構造の評価を行った。試料分析は、現在もイリノイ大学で継続しており、微細構造および機械的特性のさらに詳細な評価が実施されている。
- 細構造の変化および水素の影響は、高圧ねじり加工することで左右される。これらの試験では、歪みと歪み速度が測定でき、試料に亀裂が生じないという利点があり、そのために亀裂に関連する複雑な応力状態が回避できることである。目下、この特性評価を実施している。

燃料電池

- 二酸化炭素から一酸化炭素への変換に対する実行可能な電気化学過程には、電気化学的に高性能で耐久性のある電極が必要である。触媒の活性、充填量、選択性を決定する触媒層構造が鍵となる。イリノイ大学の Kenis 教授および Gewirth 教授のグループは、九州大学の中嶋主任研究者のグループとの共同研究において、高分子によりラッピングされた多層カーボンナノチューブ (MWNTs) に支えられた金ナノ粒子を用いて、二酸化炭素から一酸化炭素への電気化学還元を行う際、水素に対する一酸化炭素の高選択性 (80-92%) を実現した。中嶋教授のグループが開発した新しい種類の触媒を用いたところ、高活性も示した。つまり、一酸化炭素に対する部分電流密度の最高値 $160 \text{ mA}/\text{cm}^2$ を示し、類似した状況下で通常使用される最先端の銀ナノ粒子触媒と比較すると、中間陰極電位 ($V = -1.39 \text{ V vs. Ag}/\text{AgCl}$) において、電流密度が最大 8.8 倍であった。さらに、これほどの高性能が $0.17 \text{ mg Au}/\text{cm}^2$ の低触媒充填で達成できており、金ナノ粒子は多層カーボンナノチューブ上に広く分散していることが示唆されている。これにより、電気化学的に高い活性表面積 ($23 \text{ m}^2/\text{g Au}$) を達成した。活性度および選択性を低下させることなく貴金属触媒の充填量を減らすことは、電気化学的な二酸化炭素の還元が、経済的に実現可能なプロセスになることを約束する。この研究は共著論文として投稿された。
 - Jhong, H.-R. M., Tornow, C. E., Kim, C., Anderson, P. S., Gewirth, A. A., Fujigaya, T., Nakashima, N. and Kenis, P. J. A., Gold Nanoparticles on Polymer-Wrapped Carbon Nanotubes: An Efficient and Selective Catalyst for CO_2 Reduction. (論文作成中)
- 現在二酸化炭素から一酸化炭素への電気化学的変換に通常使用される触媒は、貴金属をベースとしているが、高価で、大量に使用するには入手量が限られている。イリノイ大学の Kenis 教授グループと九州大学の Lyth 助教とのプロジェクトにおいて、貴金属やその他の金属類も含んでいない窒素をドーピングした炭素ベースの触媒を研究し、活性度が高く、耐久性に優れ、比較的安価な触媒を

特定することを目指した。この共同研究の基礎となったのは、イリノイ大学院生の Molly Jhong 氏の九州大学滞在中に考案された同氏と Lyth 助教のアイデアであった。この研究チームは炭窒化物をベースにした触媒を合成、試験し、最先端の銀ナノ粒子触媒に相当する性能(電流密度 90 mA/cm²、>90% 一酸化炭素生成物に対するファラデー効率)を持つことを示した。この触媒は貴金属ベースの触媒を使用する必要性をなくし、商品化の際には、そのプロセスにおける重要なコスト要因を削減できることから、この成果は大きな意味を持つ。この研究から論文が執筆され、現在審査中である。

- Jhong, H.-R. M., Kenis, P. J. A. and Lyth, S. M., Nitrogen-Doped Carbon Catalyst for Electrochemical CO₂ Conversion to CO, *Journal of the American Chemical Society*. (投稿済)

熱科学

- イリノイ大学の Cahill 教授は高田主任研究者とともに、九州大学にて熱物性のポンプ・プローブ測定の実験技法確立のための研究を実施している。この共同研究では、薄膜の弾性および環境や疲労により劣化した材料表面領域の特性評価のため、電気化学的および高圧環境下での熱物性の in-situ 観測法の確立および GHz 帯表面音波速度および減衰の高スループット・高精度測定法の開発を実施している。
- さらに、Cahill 教授、九州大学の高田主任研究者および堀田主任研究者のもうひとつの共同研究では、強塑性変形による半導体結晶モデルの熱伝導率の低下に関する研究を行っている。高圧ねじり加工は九州大学で実施し、I²CNER における共同研究で確立した新規の実験技法を用いて、測定はイリノイ大学と九州大学の双方で行った。その測定技法の適用を熱電材料まで広げることにより、安価な方法でナノ構造材料を創り出し、熱電エネルギー変換のための熱効率を改善させることができるかもしれない。この研究から、論文が執筆、投稿された。
 - Harish, S., Tabara, M., Ikoma, Y., Horita, Z., Takata, Y., Cahill, D. G. and Kohno, M., Reduction in Thermal Conductivity of Crystalline Silicon Processed by High-Pressure Torsion, *Nanoscale Research Letters*. (投稿済)

触媒的物質変換

- 九州大学の山内主任研究者は、これまでに二酸化炭素還元に応用されたことのなかった配列された構造を持つナノ合金触媒を作成するために新規の合成技術を使っている。イリノイ大学 Kenis 教授のグループの大学院生 Sichao Ma 氏は、11月18日から12月2日の期間、山内グループを訪れ、整列した CuPd と AuCu ナノ合金触媒、つまりガラス状炭素上に担持された B2 型 CuPd と L10 型 AuCu のナノ合金の合成を実施した。Ma 氏は現在イリノイ大学にて、その際に作成した合成試料の触媒実験を実施している。
- 山内主任研究者のグループの目標の一つに、いわゆる「カーボンニュートラルエネルギーサイクル (CN サイクル)」と呼ばれる二酸化炭素を排出しないエネルギーサイクルの促進がある。その中の酸化に関する部分を最近研究している(例として、非白金ダイレクトアルコール燃料電池)。しかし、還元に関する部分の研究はまだ十分とは言えない。イリノイ大学の Kenis 教授のグループは、二酸化炭素還元用の独自の電気化学セルを研究している。これらの電気化学セルは CN サイクルから発生する排出物を減らすために応用できる可能性がある。九州大学の貞清助教は、CN サイクルの排出物である酢酸/シュウ酸からエタノール/エチレングルコールへの電気化学合成に焦点を当てている。同氏は九州大学にて炭素上に担持した様々な金属触媒を合成し、2月6日から14日の期間イリノイ大学の Kenis 教授のグループを訪ね、酢酸還元反応の評価方法を学んだ。具体的には、同氏はセルの構造および反応の分析技術を学んだ。現在、自身で作成した触媒の評価をしており、Kenis 教授の手法を活用した燃料再生のための触媒の開発を継続している。
- 小江主任研究者は分子レベルでのヒドロゲナーゼの機能解明を目標の一つに掲げている。ヒドロゲナーゼのモデリング分野においては、イリノイ大学の Rauchfuss 教授のグループが最先端である。両グループが研究し、相互に切磋琢磨しているもう一つの研究分野は、生体模倣した触媒により酸素と水素を水に変換する分子燃料電池の設計である。この先導的試みは Rauchfuss 教授による酸素と [Cp*₂Ru(NiS₂N₂)]⁺、Cp*Ir(H)(TsHDPEN⁻) との反応に関する研究に由来している。I²CNER 内でのこのような交流は、小江教授がこの種類の成分や類似するものを分子触媒に組み入れる研究において決定的な役割をした。この研究は功を奏し、Rauchfuss 教授は日本語を話す大学院生 Michaela Carlson 氏を採用した。同氏は博士課程をスタートしたばかりで、最初の数週間を小江教授の研究

室で研究を実施した。同氏はヒドロゲナーゼインスパイア触媒の光活性化に関する最先端の方法論をもたらした。

水素適合材料

- 2-1 に記述される当部門の重要な研究成果「低酸素濃度の水素ガス中で鋼の疲労き裂進展に影響を及ぼす因子の解明」は、九州大学の Alex Staykov 助教と九州・イリノイ大学の Petros Sofronis 教授の共同研究である。この共同研究チームは、酸素により調整され、水素により加速させたき裂進展に影響を与えるいくつかの環境的変数と機械的変数の間の相互作用を数量化する物理的解釈に基づく解析モデルを確立した。それに加え、同チームは、密度汎関数理論(DFT)モデルを用いて水素の鋼への侵入に対する微量酸素抑制の基本メカニズムについても明らかにした。この取り組みを基に以下の論文を執筆した。
 - Staykov, A., Yamabe, J. and Somerday, B. P. (2014), Effect of Hydrogen Gas Impurities on the Hydrogen Dissociation on Iron Surface, *International Journal of Quantum Chemistry*, 114 (10), 626-635
 - Somerday, B. P., Sofronis, P., Nibur, K. A., San Marchi, C., and Kirchheim, R. (2013), Elucidating the Variables Affecting Accelerated Fatigue Crack Growth of Steels in Hydrogen Gas with Low Oxygen Concentrations, *Acta Materialia*, 61 (16), 6153-6170.
- 共同研究の活動として、Sofronis 主任研究者と Robertson 主任研究者は日本の JFE スチール社の長尾彰英博士を WPI Visiting Scholar 特命研究員として招へいした。この共同研究は、き裂表面直下の微細構造を見出し解析するために集束イオンビーム加工と透過型電子顕微鏡とを併用する最近開発された技術を適用させることに重点を置いた。この新規の顕微鏡を用いた方法を使い、旧オーステナイト粒界における水素誘起粒界破壊およびマルテンサイト鋼のラス境界における「擬劈開」破壊は、水素誘起および塑性変形が関与した分離メカニズムによってもたらされることが示された。この共同研究の結果、以下の論文発表を行っている。
 - Nagao, A., Smith, C. D., Dadfarnia, M., Sofronis, P. and Robertson, I. M. (2012), The role of hydrogen in hydrogen embrittlement fracture of lath martensitic steel, *Acta Materialia*, 60 (13-14), 5182-5189.
 - Nagao, A., Smith, C. D., Dadfarnia, M., Sofronis, P. and Robertson, I. M., Interpretation of hydrogen-induced fracture surface morphologies for lath martensitic steel, *Procedia Materials Science*, accepted for publication
 - Nagao, A., Smith, C. D., Sofronis, P. and Robertson, I. M. (2012), The role of hydrogen in hydrogen-induced “quasi-cleavage” fracture of lath martensitic steel, *CAMP-ISIJ*, 25, 441.
 - Nagao, A., Smith, C. D., Dadfarnia, M., Sofronis, P. and Robertson, I. M. (2013), The role of hydrogen in hydrogen-induced intergranular fracture of lath martensitic steel, *CAMP-ISIJ*, 26, 331.
- Sofronis 主任研究者、Robertson 主任研究者、JFE スチール社の長尾彰英 WPI 訪問研究者による共同研究では、焼戻しラスマルテンサイト鋼の水素脆化におけるナノサイズの (Ti, Mo)C 沈殿物の影響に焦点が当てられた。Ti 無添加および Ti 添加のベースライン鋼に対する 4 点曲げ試験および水素熱脱離解析により、ナノサイズの (Ti, Mo)C 沈殿物は、水素を取り込み、粒界破壊を抑制し、水素脆化に対するラスマルテンサイト鋼の抵抗力を高めることが示された。水素濃度が高くなると、水素の取り込みが飽和状態になるため、(Ti, Mo)C 沈殿物の水素取り込み効果の利点が低下する。この共同研究の結果、以下の論文発表を行っている。
 - Nagao, A., Martin, M. L., Dadfarnia, M., Sofronis, P. and Robertson, I. M., The effect of nano-sized (Ti, Mo)C precipitates on hydrogen embrittlement of tempered lath martensitic steel, *Acta Materialia*, in print.
 - Nagao, A., Eftink, B. P., Dadfarnia, M., Somerday, B. P. and Sofronis, P. (2012), The effect of nano-sized TiC precipitates on hydrogen embrittlement of tempered lath martensitic steel, *International Hydrogen Conference Proceedings*, 127-135
 - Nagao, A., Eftink, B. P., Dadfarnia, M., Somerday, B. P. and Sofronis, P. (2014), The effect of nano-sized (Ti, Mo)C precipitates on hydrogen embrittlement of tempered lath martensitic steel, *CAMP-ISIJ*, 27, 427

CO₂分離・転換

- ガス拡散電極のマイクロポーラス層上への触媒インクの蒸着のための自動作製装置を使い、Kenis 教授のグループは、極めて薄く、き裂のない、均一な触媒層を作製することに成功した。銀ナノ粒子による触媒層はその一例である。この成果は大きな意味を持つ。つまり、この新製法の電極は、マニュアル塗布で作製した電極よりも二酸化炭素変換（電流密度において>50%の改善）において、著しく優れた機能を持ち、また同時に、触媒充填は 10 倍減少した。この取り組みは、「Advanced Energy Materials」誌の表紙で大きく取り上げられたもので、電極改善を目指した平成 23 年度の積極的な業績構築の結果として生まれた。この取り組みをさらに進めるために、Kenis 教授は現在、藤川准教授と緊密に連携して、これらガス拡散電極の改善を目指している。藤川准教授は、自身の専門知識を以て望ましい物理的特性（二酸化炭素と一酸化炭素に対する透過性、ガスと液体分離を維持するための濡れ性、耐久性等）を持つ薄膜を開発し、マイクロポーラス層および触媒サポート層としての利用を目指している。これが実現すれば、現在我々が使用している一般的なガス拡散電極で使われている分厚いテフロンのような層に取って代わることができる。
 - Jhong, H.-R. M., Brushett, F. R. and Kenis, P. J. A. (2013), The effects of catalyst layer deposition methodology on electrode performance, *Advanced Energy Materials*, 3 (5), 589-599.
- 二酸化炭素の電気化学的変換に関する問題の一つは、妥当な変換速度を達成させるために貴金属触媒が必要となることである。この研究で Kenis 教授のグループは、銀ナノ粒子のサポートとして TiO₂ を使用する方法を模索し、単に銀ナノ粒子を使うよりも同等もしくはより高い性能を得ることを目指した。同グループの電気化学的フロー反応セル（電解槽）を用い、Ag/TiO₂ 触媒使用時の性能が純銀ナノ粒子触媒と同等の性能となる成果を得ることに成功した。言い変えると、ほんの少量の高価な銀量で、従来と同等の性能を達成した。さらに同グループは、二酸化炭素還元において、サポート材料は複数の中間体を安定させるという強い示唆を得た。その後の研究で、Kenis 教授は銀ベースの有機金属触媒を使って同等の結果を得ることができ、銀の単位質量当たりで格段に高い活性を実現した。現在継続中の、Kenis 教授、Lyth 助教、中嶋教授間の共同研究において、触媒性能は以下をベースにした触媒を用いることにより大きく改善した。(i) 高分子ラッピングナノチューブ上に固定した金ナノ粒子（中嶋教授が論文を準備中）、(ii) 銀触媒よりも活性度が高く、安価で（貴金属を使用しない!）、耐久性も優れていると推定される窒素ドーピングされた炭素材料（Lyth 助教が論文を投稿済）。
 - Ma, S., Lan, Y., Perez, G. M. J., Moniri, S. and Kenis, P. J. A. (2014), Silver supported on titania as an active catalyst for electrochemical carbon dioxide reduction, *ChemSusChem*, 7 (3), 866-874.
 - Tornow, C. E., Thorson, M. R., Ma, S., Gewirth, A. A. and Kenis, P. J. A. (2012), Nitrogen-based catalysts for the electrochemical reduction of CO₂ to CO, *Journal of the American Chemical Society*, 134 (48), 19520-19523.
 - Jhong, H.-R. M., Kenis, P. J. A. and Lyth, S. M., Nitrogen-Doped Carbon Catalyst for Electrochemical CO₂ Conversion to CO, submitted, *Journal of the American Chemical Society*.
- Kenis 教授とその共同研究者は、二酸化炭素変換のための（電気）触媒の現状に関する 2 編のレビュー執筆を勧められた。
 - Jhong, H.-R. M., Ma, S. and Kenis, P. J. A. (2013), Electrochemical Conversion of CO₂ to Useful Chemicals: Current Status, Remaining Challenges, and Future Opportunities (Review), *Current Opinion in Chemical Engineering*, 2 (2), 191-199.
 - Appel, A. M., Bercaw, J. E., Bocarsly, A. B., Dobbek, H., Dubois, D. L., Dupuis, M., Ferry, J. G., Fujita, E., Hille, R., Kenis, P. J. A., Kerfeld, C. A., Morris, R. H., Peden, C. H. F., Portis, A. R., Ragsdale, S. W., Rauchfuss, T. B., Reek, J. N. H., Seefeldt, L. C., Thauer, R. K. and Waldrop, G. L., (2013) Frontiers, Opportunities, and Challenges in Biochemical and Chemical Catalysis of CO₂ Fixation (Review), *Chemical Reviews*, 113 (8), 6621-6658.

CO₂ Storage

- イリノイ大学の Christensen 主任研究者のグループ（Valocchi 教授、Blois 博士、Kazemifar 氏）は、九州大学の辻主任研究者のグループ（北村助教、蔣博士）と、多孔質砂岩中の二酸化炭素と水の流動メカニズムを解明するため、地球物理学的な実験と水理学解析に関する共同研究を実施して

いる。研究チームは、地球物理学的パラメータから、小さなスケールの不均質部の周辺の複雑な流体の流れをモニタリングする方法を開発した。また、格子ボルツマン法を用いて小さなスケールの不均質部周辺の二相流体の流れをシミュレーションした。これらの結果から、多相流体の流動メカニズムは、小さいスケールの不均質性に強い影響を受けるが分かった。この研究は研究プロジェクト1-1「貯留槽特性評価と二酸化炭素の動的モデリング」に関連するものである。

- Christensen 主任研究者は、貯留層条件下で複雑な多孔性マイクロモデルにおける二酸化炭素のドレナージとインビジョンなどの流動プロセスを定量評価する研究を行っている。最近、独自の実験計測方法を開発し、多孔性マイクロモデル内の二相非混和性流体間の相互作用及び流動挙動の定量化が可能になった。この実験は貯留過程における地下塩水と圧入された二酸化炭素間の流動プロセスを模擬できる。この実験手法は *Microfluidics and Nanofluidics* 誌で論文として発表する予定がある。同時に Christensen 教授は、2次元的多孔性マイクロモデルにおいて、貯留層の熱力学条件下（圧力と温度）での超臨界/液体二酸化炭素と水の多相流における流速データの取得を可能にする高圧実験設備を開発した。多孔性マイクロモデルの構造は、現在のところ円と楕円型支柱を周期的に配列したものであるが、すでに実際の地質構造の不均一性を反映できるマイクロモデルの作成を開始している。そのマイクロモデルはドライエッチングシリコンからガラスへの陽極ボンディングによって作製されている。耐圧容器を利用し、約 100bar までの圧力で、液体/超臨界二酸化炭素と水の混合状態を再現した。以上の実験手法は現在、液体/超臨界二酸化炭素のドレナージとインビジョンの流れ挙動を調べるため広く使われている。特に、CO₂ を圧入する際、「バースト」現象という流れ挙動が観察でき、この場合粘性力と毛管力より慣性力が重要になってくる。この慣性力は今までの CO₂ 圧入モデルには考慮されていなかった。貯留層レベルでのシミュレーションを正確に行うため、より高精度のモデルを構築することが必要だ。この研究は研究プロジェクト(1-1)「貯留槽の特性評価と二酸化炭素の動的モデリング」に関連するものである。

エネルギーアナリシス

- イリノイ大学の Kenis 教授は、同 Stubbins 教授、九州大学の板岡教授と Paster 氏との共同研究において、二酸化炭素から一酸化炭素への電気化学的変換について現段階で達成された性能が、フィッシャー・トロプシュ法による液体燃料の製造においても経済的観点から応用可能かどうか、もし不可能な場合、この取り組みが、費用の面で実現可能にするために全体のプロセスの中で電気化学変換をどこまで改善する必要があるのかについて、大規模な経済分析を行った。

5-1-2. 国際共同研究の実績（イリノイ・サテライトを除く）

1) 英国インペリアル・カレッジ・ロンドン（Kilner教授、石原教授）

Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ (NBT) ベースの材料は、蒸気電解で使用される中間温度域で動作する固体酸化物電解質燃料電池 (SOFCs) への応用可能性のある全く新規の酸化物イオン導電体になり得ることを発見した。この発見は、ペロブスカイト型酸化物における酸化物イオン導電体の設計、つまり低エネルギーイオン散乱 (LEIS) によるエネルギー材料の表面分析に新しい方向性を示した。I²CNERIは世界で8台しか使用されていない商用LEIS装置1台を有している。この装置は新型トロイダルエネルギーアナライザーおよび高輝度プラズマ源を搭載している。

2) パース大学（Jiang教授、石原教授）

先進的SOFCカソードの劣化におけるホウ素等不純物の影響に関する基礎的理解。

3) ソウル国立大学（Park教授、酒井教授）

人工光合成の観点から、単分子触媒の水分解活性サイトの根底にあるメカニズム理解のための基礎研究。

4) テキサスA&M大学（Sue教授、高原教授）

耐久性が改善され、長期間の潤滑特性を持つ新規のカーボンナノチューブ/ポリプロピレン複合物材料の開発のための高分子の複合機能化。

5) ストーンブルック大学（古賀教授、高原教授）

準結晶構造のフッ素ポリマーブラシ（摩擦低減のための潤滑フィルム）における圧縮二酸化炭素の可塑化効果は、低温下、圧力下でも証明された。超臨界二酸化炭素をベースにした加工は、それらブラシの内部結晶構造、そして関連する巨視的表面の濡れ性と特性を改善するための代替となり低温かつ

環境にやさしい方法として使用できる可能性がある。

- 6) **EUのECOSTOREプロジェクト (秋葉教授)**
ヨーロッパの若手研究者に対する教育プログラム。I²CNERは、九州大学を通じてECOSTOREと協定を締結した。
- 7) **大連化学物理学研究所、中国科学院 (Chen教授、秋葉教授)**
有望な新しいタイプの水素貯蔵材料として、高い水素貯蔵容量をもつアミドと水素化ホウ素の研究が進められている。実際的な応用に向けて材料デザインと動力学特性の改善についての明快な理解が進められた。
- 8) **北京大学 (Li教授、Shao助教)**
ナノ構造とナノ触媒は劇的に動力学特性を促進させることがわかった。しかしながら、水素放出における熱力学(脱着のエンタルピーとエントロピー)は、材料の粒径5~300nmの範囲では粒の大きさや触媒により変化しないことがわかった。
- 9) **マサチューセッツ工科大学 (Tuller教授、Bishop助教、Perryポスドク研究者)**
SOFCにおける化学的膨張の原因を理解し、化学的膨張の少ない新規材料を開発する。これは、多大学間および分野をまたいだ取り組みであり、化学膨張の原因解明を導いた。つまり、酸化物イオンを格子構造から除去した後のサイズの大きい還元された陽イオンに起因している。さらに、この研究グループは還元された陽イオンへの電荷局在が、化学的膨張の誘発に重要な役割を担っていることを証明した。
- 10) **マサチューセッツ工科大学 (Tuller教授、Perryポスドク研究者、Bishop助教、佐々木教授、Kilner教授)**
SOFC電極の電気化学的特性と表面化学の関係を探る異分野融合研究。SOFC電極での低い反応速度は、SOFC効率改善のための最大阻害要因の一つとして知られている。研究成果には、「古い」CeO₂をベースにしたフィルムと比較して、追加された層(例えば、酸化ランタン)は劇的に酸素交換率を高めることを特定し、ランタンを(La, Sr)(Ti, Fe)O₃固溶体に加えると、ストロンチウムの表面からの分離速度を変化させ、その結果、電気化学性能の低下をもたらすことを発見した。マサチューセッツ工科大学で行われた研究に関しては、Yildiz教授とTuller教授は、in-situによる走査トンネル顕微分光法(STM/STS)により、SrTi_{1-x}Fe_xO₃(STF)におけるストロンチウム分離の重要かつ有害な影響、および高温下での表面電子構造上のモデルとなるペロブスカイトシステムを実証した。得られた結果は、STFにおけるストロンチウムの分離は2つのメカニズム—電子が表面に吸着しながらSTFから酸素種に移動することを阻害すること、および酸素が格子構造に組み込まれるためには、酸素が入り込むことができる隙間が集中していないこと—を通じて、酸化還元動特性が低下することを証明した。
- 11) **マサチューセッツ工科大学 (Yildiz教授、Marrochelli博士)、デンマーク工科大学 (Mogensen教授、Chatzichristodoulou氏)、メリーランド大学 (Wachsman教授)**
上記 9)の研究に貢献した。
- 12) **清華大学 (Zhang教授、高田教授)**
エネルギーシステムで使用される素子である多層カーボンナノチューブ一本の光吸収率の測定。熱伝導率測定と合わせた光吸収率の知識は、ナノスケールでの熱移動のさらなる理解に役立つ。光吸収率は重要な特性ではあるが、ナノ材料で正確に測定されることは極めて少なかった。この研究は温度上昇測定と共にレーザービーム照射により実施された。
- 13) **グリフィス大学 (Woodfield博士、高田教授)**
非定常短細線法によるヘリウムと水素の熱伝導率測定；高温高压下の相関式
- 14) **エディンバラ大学 (Sefiane教授)、メリーランド大学 (Kim教授)**
蒸発中の液体/壁界面における温度と熱流束について、初めて報告された、赤外線サーモグラフィによる実験的測定。
- 15) **ゲッティンゲン大学およびサンディア国立研究所 (Kirchheim教授、Sommerday博士、Sofronis教授)**
この研究チームは物理学に基づく解析モデルを開発し、酸素により影響され水素により加速されるき裂進展に影響する環境的、機械的変数間の相互作用を定量化した。加えて、密度汎関数理論(DFT)モデルを用いて、水素の鋼への侵入を抑制する微量酸素の基本メカニズムを明らかにした。

- 16) JFEスチール（長尾博士）、ウィスコンシン・マジソン大学（Robertson教授）、サンディア国立研究所（Sommerday博士）
 (Ti, Mo)C析出物を用いたラスマルテンサイト鋼の耐水素脆化性の向上
- 17) バンドン工科大学（Kadir教授、辻准教授）
 この研究チームは、ジャワ島のGundihガス田において二酸化炭素注入に適切な場所を特定するために、貯留層シミュレーションを実施した。この貯留層シミュレーションは、実験で得られた水理特性や、地震探査データから推定した地質構造（Ngrayong層の形状）を考慮して構築した地質モデルに対して実施されている。
- 18) ベルゲン大学（Johansen教授、辻准教授）
 研究チームは、S波速度の情報を用いて、貯留層内の二酸化炭素の飽和率と間隙水圧をそれぞれ区別して、正確に測定する手法を開発している。
- 19) QICSプロジェクト、プリマス海洋研究所（Blackford博士、下島准教授）
 平成24年、世界で初めて人為的な海底からの二酸化炭素の漏出実験が、英国研究委員会、英国自然環境調査局、スコットランド政府によってサポートを受けて実施された。このプロジェクトによって実施された模擬的な漏出（37日間で4.2トンの二酸化炭素）は、同様規模の二酸化炭素漏出の影響が限定的であることを示し、化学センサーと気泡音響調査技術の組み合わせは、漏出の検出や漏出がないことを保証する最善のモニタリング技術であることが示された。漏出の早期段階では生物学的な影響は見られず、環境変化は二酸化炭素漏出の終盤近くで僅かに発生したが、これらの影響は二酸化炭素漏出停止後17日以内に元の状態に回復した。

5-1-3. 海外で活躍する世界トップレベルの研究者の拠点滞在実績

主任研究者としての参加、共同研究者としての短期滞在、拠点主催のシンポジウムへの参加状況等について記述すること。

- ・ 全研究者中の外国人研究者数とその年次推移を[添付様式5-1-3]に記載すること。

海外の主任研究者・研究者の参加

海外で活躍する本研究所の8名の外国人主任研究者は、皆積極的にI²CNERに参加している。8名全員が最低年に1度はI²CNERを訪問し、1週間～1ヶ月間滞在し、I²CNER主催のイベント参加や共同研究プロジェクトについての意見交換などを行う。主任研究者以外にも、WPI教授、WPI招へい教授及びWPI准教授が、海外から定期的にI²CNERを訪問している。

WPIファカルティ・フェロー・プログラム

本研究所は、WPIファカルティ・フェロー・プログラムを策定した。詳細は、2-2を参照のこと。

常勤外国人主任研究者の雇用

常勤の外国人主任研究者を雇用するため、I²CNER教員選考委員会(FRC)は、1)国際学術誌への求人広告掲載、2)イリノイ大学機械科学工学部の教員候補者ファイルへのアクセス、3)イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校と契約のある人材スカウト会社との面談、4)すべての部門への有力候補者推薦の依頼、5)前述の「ファカルティ・フェロー・プログラム」の策定を含む大規模な採用活動を実施した。本研究所は、I²CNERに常勤可能な外国人主任研究者の採用に最大限の努力をしている。

5-1-4. 若手研究者の採用・就職状況

ポスドクを含む若手研究者の採用・就職の状況について記述すること。

- ・ ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況、外国人ポスドク比率、ポスドクの就職先の実績を[添付様式5-1-4]に記載すること。

教員選考委員会(FRC) & ポスドク研究者の採用

WPIプログラム採択通知を受け、開所前に国際公募による積極的な採用活動を開始し、現在まで継続して行っている。若手レベルでは、将来国際的に認知され得る有望な研究者の雇用に努めている。採用プロセスは教員選考委員会(FRC)によって統括され、本委員会のは研究所の主要メンバー及び公募ポストに関する情報を提供し得る教員によって構成される。さらに、所内のポスドク研究者の数を増やすため、平成24年に主任研究者にポスドク研究者雇用枠を1つずつ配分し、この枠内で雇用されたポスドク研究者は、教

員選考委員会 (FRC) による通常の選考過程を経た。ポスドク研究者に関するさらなる詳細は、9を参照のこと。

テニユア委員会

所長は、テニユアの考慮に値する卓越した若手研究者について、臨時でテニユア委員会を招集する。テニユア審査過程は、所内の昇任審査と全く同様の手順となり、世界トップレベルの科学者による信任評価が含まれる。このような臨時テニユア委員会を通して、2つの部門でそれぞれ部門長を務めているジュニア主任研究者2名を、平成26年4月1日付けで准教授のテニユア教員ポストに任命することとした。

ファカルティ・エクセレンス・プログラム

所長は、それぞれの所属部門内のみならず、研究所全体に渡っての変革やポジティブな変化への貢献が期待できる研究者を募るため、開所後間もなく「ファカルティ・エクセレント・プログラム (Faculty Excellence Program)」を制定した。本プログラムにより採用された研究者は、優れた業績の持ち主であり、本研究所が戦略的目標を達成し、異分野融合研究を促進する力を強化している。本プログラムを通して、平成23年度に主任研究者として女性研究者1名、25年度に教授1名、計2名の非常に優秀な若手研究者を採用した。

教員の昇任審査

本研究所では、教員を昇任させるにあたり、日本の慣習から脱却し、アメリカの一流大学と同様の基準を適用しており、研究所内規「18. 教員の昇任審査」に概要を説明している。この審査過程に則り、現在若手教員3名の昇任審査が進んでおり、平成26年度中に終了する予定である。審査過程には、昇任候補者の専門分野の国際コミュニティにおける世界トップレベルの科学者による評価が含まれる。この審査過程は、前述のテニユア委員会でも用いられており、同委員会は2つ以上の研究分野が参加し、九州・イリノイ両大学のシニア教員によって構成される。

助教と准教授の独立性

I²CNERの助教と准教授は、シニア教員から独立した自身の研究プログラムを展開し、研究所の研究目標の達成に資するよう奨励されている。それぞれが特定の研究部門に所属し、教授、主任研究者及び部門長と連携する一方で、自身の研究プログラム・グループに対して全責任を持つ。

5-1-5. その他

日本人研究者への国際経験の促進策や、世界的な頭脳循環を背景として当該拠点が研究者のキャリアパスに組み込まれている好例があれば記述すること。

Collaborative Foreign Exchange Program

特に日本人若手研究者による、より積極的な海外連携機関への訪問を奨励するため、平成25年7月に「Collaborative Foreign Exchange Program」を制定した。同プログラムの申請者には、2ページのプロポーザル提出後、SSCの審議を経て承認されれば、訪問後に1ページの要旨報告書提出とInstitute Interest Seminar Series (IISS)での発表が義務付けられている。平成26年3月31日付けで、計7名の若手研究者（日本人6名、外国人1名）のプロポーザルが承認され、うち6名が本プログラムを通してイリノイ大学サテライトを訪問した。滞在期間は1週間～数ヶ月程度であったが、共同研究が進むにつれ、今後はより長期の訪問が見込まれる。平成26年4月には、女性の助教が、サンディア国立研究所で6ヶ月の滞在を開始する予定である。

若手研究者のI²CNER退職後の雇用状況

現在までに、3名のポスドク研究者がI²CNERを退職し、在職中培った経験を生かして自身のキャリアを積んでいる。永縄友規ポスドク研究者は、平成24年6月1日付けで、名古屋大学の助教に就任した。松本剛ポスドク研究者は、平成26年4月1日付けで、中央大学の助教に就任予定である。エネルギーアナリシス部門の木村誠一郎ポスドク研究者は、松下政経塾の塾生となるため退職したが、平成26年4月1日付けで、本研究所のWPI訪問研究者 (WPI Visiting Scholar) に任命された。

フンボルト研究奨学金受賞者

開所以来、頻繁に九州大学を訪問し、サテライト研究活動の橋渡しに貢献してきたイリノイ大学のMay

Martinポスドク研究者は、高名なドイツのフンボルト研究奨学金を獲得した。

5-2. 環境整備

5-2-1. 国際的な研究集会の開催

主な国際的研究集会の開催実績について記述すること。

- ・ 全研究者中の外国人研究者数とその年次推移を[添付様式5-2-1]に記載すること。

I²CNER キックオフ・シンポジウム

平成23年2月1日、伊都キャンパスの稲盛財団記念館において九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I²CNER）のキックオフ・シンポジウムを開催し、合田隆史文部科学省科学技術・学術政策局長をはじめ、東義福岡水素エネルギー戦略会議幹事長、Anne Emig米国国立科学財団(NSF)東京事務所長、黒木登志夫WPIプログラム・ディレクターらの出席を得た。本シンポジウムでは、九州大学、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校及びその他の国際連携機関の研究者が一堂に会し、カーボンニュートラル・エネルギーの諸問題に関する意見交換と議論を始めるための絶好の機会となった。

I²CNER Annual Symposium & International Workshop 2012

平成24年1月31日、九州大学伊都キャンパスにおいて第1回目のAnnual Symposiumを開催し、上田光幸文部科学省研究振興局基礎研究推進室長及び黒木登志夫WPIプログラム・ディレクター、有川節夫九州大学総長らが出席し、国内外から約170名の研究者の参加を得た。同シンポジウムに続き、2月2日にはI²CNER International Workshop及び水素材料先端科学研究センター(HYDROGENIUS)と合同で、HYDROGENIUS & I²CNER Joint Research Symposiumを開催した。International Workshopでは、研究所の研究テーマに関連した9つの自由参加型セッションを並行して開催し、I²CNER研究者はこれらのセッションに参加した。

I²CNER Satellite Kick-off Symposium

平成24年3月6日と7日の2日間、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校において、サテライトのKick-off Symposiumを開催し、黒木登志夫WPIプログラム・ディレクター、有川節夫九州大学総長、藤木幸夫九州大学理事、Richard Wheelerイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校学長、Ilesanmi Adesidaイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校工学部長らの参加を得た。シンポジウム初日は、多くの著名な研究者による講演が行われた。主な講演者は、Sam Baldwin（米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局チーフ・サイエンス・オフィサー）、George Crabtree（アルゴンヌ国立研究所シニア・サイエンティスト）、Michael Wang（アルゴンヌ国立研究所輸送研究センター）、David Greene（オークリッジ国立研究所エネルギー・輸送科学部門）、Walter Short（米国国立再生可能エネルギー研究所エネルギー予測・モデリンググループ前マネージャー）、Robert Carling（サンディア国立研究所輸送エネルギーセンター長）、広瀬雄彦（トヨタ自動車FC技術部企画総括室主査）、K. Scott Weil（米国エネルギー省燃料電池技術プログラム）であった。1日目は、Mark Paster米国エネルギー省前技術開発マネージャーの司会によるパネルディスカッションで締めくくられた。2日目は、九州大学及びイリノイ大学サテライト研究者が、相互の研究内容を把握し、将来の研究の方向性について議論するため、両大学の研究者による講演が行われた。九州大学からは、合計30名の研究者が出席した。

I²CNER東京シンポジウム

詳細は、3-2を参照のこと。

I²CNER研究棟竣工式典 & Annual Symposium 2013

平成25年1月29日、I²CNER研究棟竣工式典及びAnnual Symposium 2013を開催し、森本浩一文部科学省大臣官房審議官、小川洋福岡県知事、Monterey Gardiner米国エネルギー省技術開発マネージャー、井村裕夫WPIプログラム委員長、黒木登志夫WPIプログラム・ディレクター、有川節夫九州大学総長、Peter Schifferイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校副学長ら、200名を超える参加があった。基調講演者は、川崎重工株式会社熱技術研究部長の原田英一氏及びDOEのエネルギーイノベーション研究の新拠点であるアルゴンヌ国立研究所エネルギー貯蔵研究共同センター(JCESR)長のGeorge Crabtree博士であった。

I²CNER Catalytic Concepts for Energy Symposium

平成25年9月13日、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校において、サテライト主催の「Catalytic

Concepts for Energy Symposium」を開催し、触媒作用の問題を専門とする国内外の研究者を幅広く招待した。招へい講演は、アルゴンヌ国立研究所Vojislav Stamenkovic博士、九州大学中嶋直敏教授及びAleksandar Staykov助教、スタンフォード大学Tom Jaramillo教授、ブルックヘブン国立研究所藤田恵津子博士、ケース・ウェスタン・リザーブ大学Dan Scherson教授、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校Sharon Hammes-Schiffer教授、九州大学松本崇弘助教らによって行われた。基調講演者は、オックスフォード大学のFraser Armstrong教授であった。また、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校工学部長Andreas Cangelaris教授も出席した。本シンポジウムで取り上げられた議題は、プロトン、酸素、硝酸塩、二酸化炭素削減；触媒用非白金金属電極、触媒用合金・複合材料、質量分析及び電気化学的理論等であった。このCatalytic Concepts for Energy Symposiumは、I²CNERを触媒分野におけるステークホルダーとして同分野の専門家に紹介し、交流する場のみならず、すべての参加者が一堂に会して新たな研究の方向性を検討するユニークな機会を提供した。I²CNERの主催者は、同イベントが、触媒に関するI²CNERの現在及び将来の研究についてブレインストーミングを行うシンクタンクの役割を果たした、と報告した。

I²CNER & ACT-Cジョイントシンポジウム

平成26年1月30日、I²CNERは、科学技術振興機構(JST)先導的物質変換領域(ACT-C)との共催により「I²CNER & ACT-C ジョイントシンポジウム」を開催した。同シンポジウムは、九州大学伊都キャンパスのI²CNERホールで行われ、多数の海外からのゲストを含め177名の参加があった。九州大学藤木幸夫理事による開会の挨拶に続き、パデュー大学特別教授で2010年ノーベル化学賞受賞者の根岸英一氏及びテキサス大学オースティン校教授Benny D. Freeman氏によって基調演説が行われた。午後のセッションでは、I²CNERとACT-Cの研究者が、それぞれの最新の研究成果について発表した。シンポジウムの締めくくりはポスターセッションで、参加者は自身の研究活動に関して活発に意見交換を行った。

第1回化学エネルギー変換国際シンポジウム (ISCECP-1)

I²CNERの酒井健教授は、第1回目となる「化学エネルギー変換国際シンポジウム」(ISCECP-1)を、平成25年6月12・13日の2日間主催した。本シンポジウムで議論されたテーマの多くは、水分解又は二酸化炭素削減による太陽エネルギー変換などのエネルギー変換プロセスや、様々な分子や不均一系により触媒された燃料電池に関する化学変換プロセスなどのエネルギー消費プロセスに関連したものであった。このイベントの目的は、化学エネルギー変換問題についてのアイデアや経験及び研究成果を交換するための場を設けることであった。

IMPRES 2013

第3回革新的エネルギー材料のための国際シンポジウム(IMPRES 2013)が、I²CNER副所長、熱科学部門長の高田保之教授、河野正道准教授、Bidyut Baran Saha教授及び古山通久教授らの主催により、平成25年9月4日～6日に開催された。同シンポジウムで取り上げられた議題は、燃料電池、ヒートポンプ、熱貯蔵、吸着システム及びその応用面に向けた機能材料の開発に関する理論、実験及びシミュレーション等であった。

5-2-2. 外国人研究者への支援体制

外国人研究者の日本社会への移住のための事務的支援

I²CNER支援部門は、九州大学外国人留学生・研究者サポートセンターと連絡を密に取り、ビザ申請、宿泊施設を含む一連の招へい手続きなど、外国人研究者に対して全面的支援を行っている。また、九州大学国際部と連携し、様々な書式の英語版を導入している。外国人研究者がI²CNERで研究を行いながら九州大学における研究環境になじめるように、追加的なトレーニングやワークショップへの参加の機会も提供している。加えて、健康診断、住宅手配、家族支援、出張手配及び医療を含む日本の社会保険システムの紹介などが、I²CNER支援部門が提供する多岐にわたる生活支援の事例として挙げられる。

外国人研究者のための住居手配

現在、国内外からの招へい研究者向け宿舎として、九州大学所有の施設又は大学にアクセスのよい家具付きの民間施設を手配している。

伊都ゲストハウス

海外からの短期滞在研究者向けに、I²CNERの位置する伊都キャンパスに「伊都ゲストハウス」が新築され、平成24年4月6日にオープンした。

英語のバス時刻表&食事メニュー

外国人研究者の便宜を図るため、伊都キャンパスのバス停には、キャンパス・最寄駅間を運行するバスの時刻表及び行き先を日英2カ国語で表記し、カフェテリアに英語メニューを整備するなど、国際化の取り組みを行っている。

伊都地区専用循環バス&キャンパス間連絡バス

I²CNER第1研究棟が伊都地区専用循環バスのルートに加わり、平成24年2月1日から運行を開始した。また、キャンパス間連絡バスの停車所が、I²CNER研究棟の近隣に新設された「椎木講堂」前に設置され、平成26年4月1日から運行を開始した。

Fuse News

研究者間の快適な交流環境づくりのため、I²CNER支援部門とイリノイ大学サテライトのサポート・スタッフは、連携して「Fuse News」を発行している。「Fuse News」はI²CNERの所内報であり、九州大学・イリノイ大学に所属する研究者同士が、お互いの研究活動をはじめ、両大学の文化やキャンパスなどを理解する手助けとなることを目的としている。創刊以来、計7号の「Fuse News」を発行した（平成23年度3号、24年度2号、25年度2号）。

6. システム改革（3 ページ以内）

6-1. 拠点長のリーダーシップによる運営

拠点長とホスト機関側の権限の分担、拠点長の拠点滞在実績についても記述すること。

権限の分担

研究所規則等を整備することにより、研究所の管理運営に関する権限の大部分は所長に付与され、所長の選・解任の承認は、ホスト機関長である九州大学総長が行う。所長は、副所長2名の補佐を受ける。

運営管理委員会 (SSC)

本研究所の設置にともない、運営委員会 (SSC) を置いた。同委員会は、所長が委員長を務め、構成員は副所長2名及び各研究部門長である。SSCは、研究所に係るすべての事項を決定する組織である（例：研究活動の企画及び運営、予算執行、国際協力及びアウトリーチ）。平成25年度、非常に優秀な准教授 2名（藤川、辻）が、それぞれの研究部門の部門長として、新たにSSCメンバーに加わった。さらに、平成25年11月1日付けで、エネルギーアナリシス部門の板岡健之教授を、投票権を持たない部門長代理として、同委員会に出席させることとした。所長の意思決定権限は、SSCとの協議の上、適用される研究所内規を整備することにより確立された。

意思決定プロセス

所長不在時の意志決定プロセスを規定し、執行部メンバーの役割と責務を明確にするため、平成24年度に、内規「22. 研究所の管理運営」を新たに策定し、研究所内規に正式に追加した。

I²CNER執行部会議 (Administrative Meeting)

I²CNER執行部の優れたコミュニケーションと理解を促進するため、所長、副所長及び支援部門長による執行部会議を定例化した。この対面会議は、日常的なEメール、電話、テレビ会議等を補完するものである。

所長の九州大学におけるフィジカルプレゼンス

平成25年度の所長のフィジカルプレゼンスは、前年24年度の46%から48%に増加した。25年度の所長の訪問回数は10回、通算108日を日本で過ごした。なお、24年度の訪問回数は10回（滞在日数103日）、23年度の訪問回数は5回（滞在日数54日、24%）であった。

I²CNER P. I. peline

平成24年度、所長は自身とI²CNER研究者との間に直接コミュニケーションの糸口をつかむため、「I²CNER P. I. peline」と題されたニュースレターの刊行を開始した。この刊行物はまた、I²CNERの重要なイベントや変更などの情報を、随時研究者に提供する目的も持つ。所長は、現在までに3巻のI²CNER P. I. pelineを発行した（平成24年12月vol. 1-1、25年5月vol. 2-1、25年12月vol. 2-2）。

今後の研究の方向性に関する特別委員会

平成25年度、所長は研究所の将来計画案を執行部に示すことを目標とした特別委員会（議長：松本広重教授）を設置した。同委員会には、現在のI²CNER研究ポートフォリオの枠を超えることが求められ、その所見を平成26年3月26日に開催した外部アドバイザリー委員会（EAC）とのリトリートにおいて発表した。

6-2. 英語その他必要な専門性を有する事務支援スタッフの配置状況

支援部門長

平成25年4月1日付けで、船木和夫教授が支援部門長に就任した。支援部門長は、支援部門及び所長の割り当てる職務などに対し責任を持つ。船木教授は、長年にわたり九州大学において教授を務め、大学に関し幅広い経験と知識を有する。

支援部門の構成

平成26年4月1日現在、支援部門職員は18名となり、以下の4つのグループで構成される。

- 1) 総務・人事(6名)
- 2) 経理・契約(5名)
- 3) 研究支援・国際連携(3名)
- 4) 渉外(2名)

これら4つのグループは、支援部門長及び副支援部門長の下、研究所の執行部及び研究者に対するサポートシステムの役割を果たす。九州大学職員は、英語が堪能であり、総務・人事の専門知識を有し、会計・予算の実務経験も豊富である。

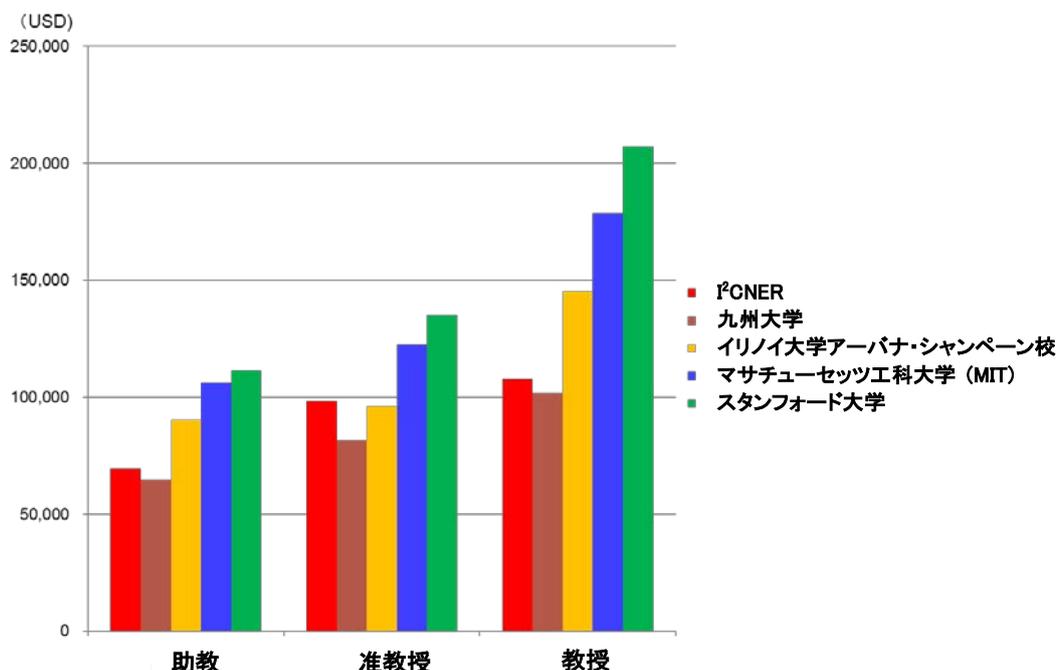
6-3. システム改革・ホスト機関への波及効果

研究成果評価システムと能力運動型俸給制度の導入等、WPIプログラムにより進めた研究運営上の改革、拠点運営上の改革、システム改革のホスト機関全体への波及効果等について記述すること。

能力に基づいた給与体系

処遇は、九州大学がI²CNERのために制定した「国立大学法人九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則」に準拠しており、大学の給与体系とは別に、能力に基づいた特別の給与体系を採用している。教員及び研究者それぞれの給与は、業績及び研究所への貢献度をもとに、副所長2名と協議の上、所長が決定する。以下のグラフ①は、I²CNER教員の給与額を、九州大学、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校、マサチューセッツ工科大学(MIT)及びスタンフォード大学のそれと比較したものである。

グラフ①：I²CNER教員給与額比較表



九州大学への波及効果

「年俸制教員制度」の導入

大学組織の活性化及び多様かつ有能な人材確保のため、平成23年11月、九州大学は新たに「年俸制教員制度」を導入した。さらに、文部科学省の「国立大学改革プラン」に先駆け、同制度を改定し、平成26年3月から施行した。九州大学は、今後も魅力ある年俸制給与体制とメリハリのある業績評価体制の一本化を目的とし、同制度の見直しと向上を継続的に行っていく。

スタンフォード大学サテライト

グローバル戦略の一環として、九州大学はイリノイ大学サテライトを海外における教育研究拠点設置のモデルとし、スタンフォード大学においてサテライト機関を設置すると同時に、イリノイ大学サテライトの活動全体を強化することとした。

I²CNER：研究の中心地

伊都キャンパスのセンターゾーンの中心部に竣工したI²CNER第1研究棟に続き、九州大学はI²CNER第2研究棟及びセンター・オブ・イノベーション(COI)を、近接した場所に設置することとした。これにより、I²CNER研究棟周辺のエリアは、大学内の新たな研究拠点・産学連携ゾーンとして急速に整いつつある。平成26年4月、九州大学の執行部は、I²CNER第1研究棟の近隣に新設された椎木講堂に移った。

クロス・アポイントメント制度

九州大学では、初めて適用したソフロニス所長のクロス・アポイントメントの成功事例に鑑み、クロス・アポイントメント制度による雇用の制度化を現在検討中である。

海外研究者の招へい旅費

海外から著名な研究者を招へいする際の旅費について、I²CNERでは必要に応じて幅を設けて適宜対応してきたが、平成26年4月1日から九州大学全体で同様の対応が可能となる。

教員の学内派遣制度

学内の教育研究水準を更に向上させるとともに、教員の配置を柔軟に行うため、九州大学は「教員の学内派遣制度」を制定し、平成24年12月1日に施行した。この人事制度改革を利用し、平成25年4月1日付けでシニアレベルの主任研究者9名がI²CNERに所属の変更を行い、これによりマインドセットが向上した。本派遣期間は1年ごとに更新となり、9名全員が平成26年度も引き続きI²CNERの中核を成す九州大学主任研究者としての役割を果たすこととなった。さらに、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所でも、本制度を利用し教員派遣を開始した。

6-4. ホスト機関による支援

ホスト機関による支援の実績と効果とともに、中長期的な計画への位置づけについても記述すること。

- ・ 具体的措置については、[添付様式6-4]に記載すること。

九州大学教育研究評議会

I²CNER所長は九州大学総長が主宰する教育研究評議会の構成員であり、所長の不在時は、代理の者が同評議会に出席する。

教授会

前述の工学研究院からの主任研究者9名の派遣を受けて、平成25年4月1日付けで教授会を設置した。

九州大学の中期計画

九州大学の中期計画に、「本学の強み・特色を有する世界トップレベル研究拠点であるI²CNERで行われているカーボンニュートラル・エネルギー関連の研究分野等において、イリノイ大学と連携し、最先端の研究を推進する。」と明記することとし、I²CNERの研究を推進するとともに、イリノイ大学におけるサテライトとの共同研究促進のための方策を講ずることとしている。

テニユア教員ポスト

平成26年3月31日現在で、九州大学総長は5つの准教授テニユア・ポストをI²CNERが利用できるようにした。平成23年度に女性の准教授1名（主任研究者）を採用し、また、平成26年4月1日付けで部門長2名が准教授

のテニユア・ポストについて。さらに、I²CNERはテニユア教員ポスト獲得のため、毎年学内の大学改革活性化制度に申請を行っている。平成25年度には、本制度を通して教授ポストを1つ獲得し、教授を採用した。

学術交流協定

九州大学とイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の関係と相互理解を促進するため、両大学間の学術交流協定を策定した。同協定は、互恵平等の精神に基づいて科学・学術・教育における協力関係の発展に資することを目的とする。両大学は、同協定の締結に向けて必要な手続きを進めている。

学生交流協定

現在、学生交流協定に関する議論が進行中である。本協定は、九州大学大学院工学府・工学部とイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校工学部との間の学生交流プロセスを制度化し、太平洋を横断した学生の往来を促進することを目的とする。九州大学渡邊副工学研究院長とイリノイ大学サテライトの副所長Ken Christensen教授が、同協定の締結に向けた調整を連携して行っている。

九州大学広報本部

九州大学は、総長を本部長とする「広報本部」を設置し、同本部の下に広報戦略会議と広報戦略推進室を新設し、協力教員を加えて組織化することとした。広報本部は、I²CNER支援部門の渉外グループを含む各部署の広報担当と連携し、大学全体の広報を強化していくこととなった。

6-5. その他

6-5-1. 若手研究者の育成についての取り組み（スタートアップ経費等）

若手研究者宛て評価レター

全ての若手研究者の研究成果は、所長、副所長2名及び所属部門長によって年間ベースでレビューされる（毎年2月に実施される所長、副所長による個人面談を含む）。若手教員及びポスドク研究者に対するこうした年次面談と評価を踏まえ、所長からフィードバックを含んだ個別の評価レターが、若手研究者各自に送付される。

所長裁量経費

平成25年度、所長は裁量経費を確保した。詳細は、4-3を参照のこと。

異分野融合スタートアップ経費

平成23年度、本研究所の執行部は、所内の部門間研究促進のため、「異分野融合スタートアップ経費」を新たに設けた。同プログラムは、翌24年度も継続した。詳細は、4-1を参照のこと。

若手教員への平成25年度資金配分

「異分野融合スタートアップ経費」プログラムは、継続するだけの十分な結果を出せなかったため、異分野融合研究のために確保していた予算の一部を、若手教員の研究支援に充当し、平成25年4月1日にスタートアップ経費として150万円を配分した。

スタートアップ経費

平成23年度、研究環境の整備のため、スタートアップ経費を新規採用の専任研究者に配分した（総額：約22,284万円）。

平成24年度、400万円を上限として、スタートアップ経費を専任教員及びポスドク研究者に配分した（総額：5,650万円）。

平成25年度、スタートアップ経費を専任教員、非常勤教員及びポスドク研究者に配分した（総額：5,275万円）。

競争的スタートアップ経費配分

平成25年度、I²CNER競争的資金を設けた。詳細は、4-1を参照のこと。

若手研究者による教育・学生指導

平成25年4月の専任主任研究者の増加に伴い、これらの主任研究者の指導の下で若手の専任教員が大学

院生の教育指導を共に行う機会が増えた。

特定教育研究講座の新設

平成25年夏、工学府・工学部それぞれと「エネルギー国際教育」、統合新領域学府と「オートモーティブ・カーボンニュートラル・エネルギー」の、計3つの特定教育研究講座を新たに設置した。これにより、本研究所の若手専任教員は、学部生・大学院生両方の教育及び研究指導が可能となった。平成25年度後期に、15名の教員（日本人9名、所長を含む外国人6名）が、工学部所属のグローバル30学生に対して講義を行った（「先端工学 A」、単位数2）。来る平成26年度後期には、7名の教員（日本人5名、外国人2名）が、統合新領域学府所属の日本人・外国人両方の学生に対して、英語による講義を行う予定である。本研究所は、九州大学におけるエネルギー関連分野の教育に若手教員が積極的に従事するための枠組みをより強固にするため、上記3つの部局との関係を強化する努力を継続して行っていく。

Collaborative Foreign Exchange Program

特に日本人若手研究者の海外連携機関への訪問滞在を奨励する目的で、「Collaborative Foreign Exchange Program」を平成25年7月に発足した。詳細は、5-1-5を参照のこと。

Institute Interest Seminar Series (IISS)

部門を超えた分野横断的な共同研究と異分野融合研究の環境を育くむため、「Institute Interest Seminar Series (IISS)」を定期的に開催している。詳細は、2-2を参照のこと。

SRA プログラム

各部門内において教授、准教授及び助教による指導の下、研究に従事できるように、優秀な大学院生を採用し支援するため「Super Research Assistants (SRA)」プログラムを制定した。SRAは、全員がIISSにおいて英語で研究発表を行い、プログレスレポートを提出し、また雇用更新の際も、SRA選考委員会の前で研究発表を行わなければならない。I²CNERのSRAの質の高さは、平成24年度採用の2名が、平成25年度4月1日付けでJSPS特別研究員(DC: 大学院博士課程在学者対象)に採用されたことでも明らかである。SRA雇用実績は、平成23年度4名、24年度7名、25年度7名となり、26年度は8名を雇用予定である。

技術向上セミナー

本研究所は、若手研究者に対し申請書作成能力を向上させる特別セミナーを定期的に開催している。現在までに、科研費セミナーを2回、特別セミナーを1回開催した。第1回目の科研費セミナーは平成25年8月30日に開催され、熱科学部門の高橋厚史教授が演台に立ち、31名の研究者が参加した。2回目はエネルギーアナリシス部門の古山通久教授を講師として、平成25年10月2日に開催し、22名が出席した。平成26年2月5日にはNature Materials誌のチーフエディターであるVincent Dusastre博士による特別セミナーが開催され、60名が出席した。

6-5-2. 女性研究者の登用

- ・ 女性研究者数の推移については、[添付様式6-5-2]に記載すること。

女性研究者雇用の取り組み

一流の女性研究者の採用と保持は、本研究所内の優先事項である。所長は、ポスドク研究者及び教員ポストに応募する女性研究者の出願書類全てに目を通す。本研究所の女性研究者のひとは、5-1-4で述べたように、部門間の境界を超えた大きな変革をもたらし得る、世界的な高い評価と実績を持つ教員の登用のため、通常の採用過程を早めて行うファカルティ・エクセレンス・プログラムを通じて採用された。平成26年4月1日現在のI²CNER女性研究者数は、九州大学7名、イリノイ大学9名、海外連携機関3名、合計19名となる。

7. 今後の展望（2ページ以内）

7-1. 拠点構想を実現するための今後の方針、計画等の取り組み

I²CNERは、九州大学の中期計画の中心に置かれ、同計画には「九州大学は、イリノイ大学との連携のもと、カーボンニュートラル・エネルギー分野において、最先端の研究を推進する。」と明記されている。さらに、I²CNERは、大学活性化プログラムにおける九州大学の国際化への取り組みにとって、ユニークかつ貴

重なる存在となり得る。加えて、本研究所の教員は、エネルギー学を含む国際コースを設置することによって更なる拡大を予定している工学部の G30 科目の講師を務めている。I²CNER は、本学のエネルギー教育の主要な原動力となりつつある。

九州大学グローバル戦略である躍進百大実行計画の一環として、英語による学部教育推進のため、平成 26 年度には「国際カーボンニュートラル・エネルギー学国際コース」の設置が予定されている。この学部英語コースは、将来的には基幹教育院に位置付けられ、その後は大学院教育の一端を担うことになる。これにより、I²CNER 及びその教員は、九州大学において研究だけでなく教育にも更に関与を深め、カーボンニュートラル・エネルギー分野における I²CNER のポートフォリオ拡大につながる。

九州大学は、国際化への取り組みの一環として、全領域の研究者を一学期間など長期間イリノイ大学に派遣するプログラムに関して、イリノイ大学との交渉を予定している。

九州大学のこのような包括的措置・取り組みは、常設部局としての I²CNER の将来を保証する指標となる。

7-2. 本プログラムの実施期間が終了した後も、当該拠点が「世界トップレベル研究拠点」であり続けるための取組み

平成 26 年 4 月 1 日現在、I²CNER は 6 つのテニユア教員ポスト（教授 1、准教授 5）を有する。9 つの研究部門全てに、少なくとも 1 名のテニユア教員を配置することを目的とし、I²CNER は今後も継続して大学改革活性化制度への申請を行う。加えて、教員の学内派遣制度は、I²CNER 教員の強みを保持し、拡大する手助けとなる。これら 2 つの制度を活用し、約 20 名の教員の確保を目標としている。

I²CNER 運営のための追加的資金源に関しては、以下の財政上の措置を検討中である。

- 1) 運営費交付金に加え、前述の約 20 名の研究者が獲得する外部資金を、運営費、人件費、研究費等に充てる。
- 2) 民間企業の資金援助を受け、企業に対し強いインパクトをもつ研究を行っている専任教員（例えば、久保田教授は I²CNER 雇用前、エア・リキード社の寄附講座の教授であった）。
- 3) 技術移転、特許販売からのリソース。その開発には、九州大学産学官連携本部 (IMAQ) が積極的な役割を果たすと期待される。
- 4) 九州大学の関係財団からの寄附。大学内の例としては、京セラの寄附を受けている稲盛フロンティア研究センターや、日本ガス協会が工学研究院に提供している研究支援などが挙げられる。
- 5) 日本政府の、国立大学国際化に向けた取り組みを活用する。イリノイ大学との連携により、I²CNER は九州大学と共に、リソース及び今後の展開に向けた政府の取り組みを活用することのできるユニークな立場にある。

8. その他、特筆すべき事項（1 ページ以内）

外部アドバイザー委員会 (EAC)

本研究所の創設に伴い、所長は所長代理と協議の上、再生エネルギーおよび CO₂ 回収・貯留分野の専門家および米国エネルギー省に、外部アドバイザー委員会 (EAC) 設置のため連絡を取った。平成 24 年 2 月に九州大学で行った第一回目の EAC 会議に続いて、翌平成 25 年 5 月 30、31 日、I²CNER リトリートを EAC 委員同席の下イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校において開催し、EAC は報告書を 6 月 19 日に所長に提出した。第 3 回目の EAC リトリートは、今後の研究の方向性について話し合うため、平成 26 年 3 月 26 日に九州大学において行い、EAC は報告書を同年 5 月 15 日までに提出予定である。平成 26 年 3 月 31 日現在、EAC の構成員は以下の 8 名である。

- Ronald J. Adrian 教授 委員長（米国アリゾナ州立大学）
- Deborah Myers 博士 副委員長（米国アルゴンヌ国立研究所）
- Robert J. Finley 博士（米国イリノイ州立地質調査所）
- Reiner Kirchheim 教授（独国ゲッティンゲン大学）
- Robert McMeeking 教授（米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校）

- Kevin Ott 博士（米国ロス・アラモス国立研究所）
- 庄子哲雄教授（東北大学）
- George Thomas 博士 諮問委員（元米国エネルギー省エネルギー効率・可能エネルギー担当、米国サンディア国立研究所）

チーフサイエンスアドバイザー

ウィスコンシン大学マディソン校工学部長Ian Robertson教授は、水素適合材料部門の主任研究者であると同時に、本研究所の研究活動をさらに強化するため、チーフサイエンスアドバイザーとしても所長を補佐している。

国際共同研究者

国際共同研究者の連携部門は下記のとおりである。

- John Kilner教授（水素製造部門）、英国インペリアル・カレッジ・ロンドン、主任研究者
- Brian Somerday博士（水素構造材料部門）、米国サンディア国立研究所、主任研究者
- Nikolaos Aravas教授（水素構造材料部門）、ギリシャ・テッサリー大学、WPI教授
- Robert Ritchie教授（水素構造材料部門）、米国カリフォルニア大学バークレー校、WPI教授
- Reiner Kirchheim教授（水素構造材料部門）、独国ゲッティンゲン大学、主任研究者
- 福田応夫教授（水素構造材料部門）、マレーシア工科大学マレーシア日本国際工科院、WPI招へい教授
- Chao-Nan Xu博士（水素構造材料部門）、産業技術総合研究所（AIST）、WPI招へい教授
- Harry Tuller教授（燃料電池部門）、米国マサチューセッツ工科大学、主任研究者
- Dario Marrocchelli博士、Graeme Watson教授、Bilge Yildiz教授（燃料電池部門）、アイルランド・ダブリン大学トリニティカレッジ（MITと連携）
- Jennifer Rupp（燃料電池部門）、スイス連邦工科大学チューリッヒ校、WPI准教授
- 國武豊喜博士（燃料電池部門）、公益財団法人 北九州産業学術推進機構（FAIS）、WPI招へい教授
- Xing Zhang教授（熱物性部門）、中国清華大学、主任研究者
- Ping Chen博士（水素貯蔵部門）、中国科学院大連化学物理研究所、WPI教授
- Louis Schlapbach名誉教授（水素貯蔵部門）、スイス連邦工科大学チューリッヒ校、WPI招へい教授
- Peter McGrail博士（CO₂分離・転換部門）、米国パシフィック・ノースウエスト国立研究所
- Benny Freeman教授（CO₂分離・転換部門）、米国テキサス大学オースティン校、WPI教授
- 草壁克己教授（CO₂分離・転換部門）、崇城大学、WPI招へい教授
- Tor Arne Johansen教授（CO₂貯留部門）、ノルウェー・ベルゲン大学
- Wawan Gunawan A. Kadir教授（CO₂貯留部門）、インドネシア・バンドン工科大学
- 薛自求博士（CO₂貯留部門）、公益財団法人 地球環境産業技術研究機構（RITE）、WPI招へい教授
- Mark Paster氏（エネルギーアナリシス部門）、元米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー部門エネルギーアナリシス担当、WPI招へい教授
- 本田國昭博士（エネルギーアナリシス部門）、元株式会社ガスアンドパワー、WPI招へい教授
- 岡崎健教授、東京工業大学、WPI招へい教授

I²CNERセミナーシリーズ

国内外のコミュニティー・リーダーとの取り組みを推進し、本研究所の認知度を高めるため、平成23年3月に「I²CNERセミナーシリーズ」を開始した。このセミナーシリーズは、学会、国立研究所、産業界や関係省庁などから著名かつ国際的に認知されている研究者を講師に招いて開催している。平成26年3月31日付けで、本研究所は合計64回のI²CNERセミナーを主催した（平成22年度2回、23年度17回、24年度23回、25年度22回）。同セミナー講演者の5割以上が外国人である。

I²CNER CO²

第1研究棟の完成に合わせ、研究者間の定期的な交流の場を設けるため、平成25年1月からI²CNER CO²（コーヒー&コラボ）を開始した。これは、研究者が気軽に立ち寄り、電子黒板の前でコーヒー片手に意見交換を行う場を提供するものである。

9. フォローアップ結果（現地視察報告書を含む）への対応とその結果（ページ制限なし）

平成25年度フォローアップ結果への対応を記述すること。ただし、既に記載済みの場合は〇〇ページ参照、などと記載箇所を明示することに代えて良い。

「平成25年度世界トップレベル研究拠点プログラムフォローアップ結果：3. 検討すべき課題」

所長のフィジカルプレゼンス

- 2012年にはソフロニス拠点長は10回来日し、彼の総労働日数の46%にあたる103日間滞在した。改善されているのは明らかだが、彼の物理的な存在が50%を超えるようにすることが重要である。
 - 6-1内、「所長のフィジカルプレゼンス」を参照のこと。

常駐外国人主任研究者の登用

- 世界をリードするトップ科学者が主任研究者として P^2 CNERに滞在するよう、特別な努力がなされるべきである。リクルート委員会がこのような科学者の調査と招へいにもっと自発的に動くべきである。事務部門もイリノイの事務部門と緊密な連携を持ち、それを助けるべきである。
 - 本研究所の教員選考委員会（FRC）は、常駐の外国人主任研究者を募るため、大々的な求人活動を実施した。詳細は、5-1-3を参照のこと。

九州・イリノイ大学間研究者交流

- 九州大学とイリノイ大学との間の研究者の交流が数的にも滞在期間的にも十分ではない。2012年度には5人の九州大学の研究者がイリノイ大学を訪問したが、1ヶ月以上の滞在をしたのは2人のみであった。一方、イリノイ大学から20人が九州大学を訪問しているが、1週間以下しか滞在していない。
 - 平成25年度、九州大学から23名の研究者がイリノイ大学を訪問し、うち16名が1週間以下、5名が1週間以上1カ月未満、2名が1カ月以上滞在した。イリノイ大学からは22名の研究者が九州大学を訪問、うち19名が1週間以下、3名が1週間以上1カ月未満滞在した。

ポスドク研究者の雇用

- ポスドクの人数を増やす努力は着実に進められている。九州大学所属の主任研究者1人につき1人のポスドクが割り当てられているが、その雇用手順にはそれぞれの候補者に関する厳しい評価が必要である。
 - 当該のポスドク研究者候補者は、本研究所で雇用するすべての研究者同様、教員選考委員会（FRC）による審査を受け、FRC が雇用を承認しない場合は、当該主任研究者には別の候補者の選定が求められ、適任者がいる場合は再度審査を行う。詳細は、5-1-4を参照のこと。

部門研究テーマ・プロジェクト及び若手研究者による研究

- 燃料電池部門はハイリスクな研究テーマを探すべきである。熱力学的物性研究部門は短期的、長期的な研究テーマをカーボンニュートラルの概念に適合するよう再考するべきである。CO₂を捕捉して用いる電気燃料研究プロジェクトはカーボンニュートラル社会が到来した際にも重要な課題であるのかどうかよく検討するべきである。若いスタッフの研究のなかには、その領域において、トップレベルの研究とはいえないようなものがあることを注意しておきたい。そのような若い研究者は、専門のシニア研究者あるいは指導的な主任研究者と真剣に討論すべきである。
 - 燃料電池研究部門はエネルギーアナリシス部門と緊密に協力し、その研究努力を根本的に再度集中させた。つまり、低温SOFC (LT-SOFC) 用燃料処理に関する取り組みを終結させた。エネルギーアナリシス部門との緊密な協力により作成した新しい部門のロードマップには、明白に定義し、焦点を絞った2つのプロジェクトのみが含まれる。a) 代替材料を開発することにより、より高い性能と耐久性を持つ高温 (> 100 °C) 水素PEM燃料電池の開発、b) 大幅に性能を改善した常温下および加圧下で動作する化学的に長時間耐久性のあるSOFCの開発。平成25年度は、同部門は2-1項で報告される数多くの発見に貢献したと自負している。例に挙げると、新たに以下の事柄を発見した。i) ポリベンゾイミダゾール膜を持つナノチューブをベースにした電極触媒は、120 °C、40万サイクルで高出力密度を可能にした。これは現時点で最先端のもの（8万サイクル以下）と比較して、劇的な進歩である。ii) 格子構造から酸化イオンを除去した後の還元陽イオンの電荷局在状態が、SOFCで通常使用される酸化物の有害な化学的膨張の起源であることを明らかにした。

- 指摘に基づき、燃料と有益な製品を製造する目的で、500MWの発電所で二酸化炭素を一酸化炭素に変換するために、送電線からの電力で一酸化炭素を作る電解槽を用いたものと、必要な水素の生成のため同じく送電線からの電力で動作する水電解を用い、二酸化炭素の電気化学的還元を実施することの技術経済評価を実施した。その結果、これから20年先の固形燃料費の継続的な値上がりに基づいて考えれば、再生可能エネルギーを用いると、その導入は可能であることを示した。
- 平成25年度には、若手研究者はエネルギーアナリシス部門と数多くのミーティングに参加し、それぞれの部門のロードマップをより成熟させていった。これにより、明確なマイルストーンと最終目標を持った部門プロジェクトと、若手研究者それぞれのエフォートが、どのように関連しているかが明白になったと考える。これにより、若手研究者は主任研究者のサポートを得ながら、自身の研究活動に集中することができる。

「平成25年度現地視察報告書：7. 拠点に対する要望と提案」

所長のフィジカルプレゼンス

1. 2012年、ソフロン所長は10回来日し、103日（全体の46%）滞在した。これは明らかな向上ではあるが、常時50%以上の所長のフィジカルプレゼンスを維持することが重要である。
- 前項「所長のフィジカルプレゼンス」を参照のこと。

常駐外国人主任研究者の登用

2. I²CNERに常駐する世界トップレベルの外国人研究者を主任研究者に登用するよう特に努力すべきである。教員選考委員会（FRC）は、そのような研究者を特定し招へいするために、より積極的に行動すべきである。支援部門もまた、イリノイのサテライト・オフィスと緊密に協力し、採用の手助けをすべきである。若手教員及び博士課程学生を国際規模で募るための広報により力を入れるべきである。
- 前項「常駐外国人主任研究者の登用」を参照のこと。

内部プログラム評価委員会（IPRC）

3. 内部プログラム評価委員会は、関連性があり適切に策定されたI²CNERの研究プロジェクトを特定する点で、うまく機能している。同委員会を常設とし、継続的に部門構成を見直し必要に応じて再編成を行うために活用すべきである。（1）徹底した見直し、及び（2）拠点のミッションに最も効果的に適合する持続戦略の策定に向け邁進することが不可欠である。
- 平成25年度、IPRCを常設委員会とした。詳細は、2-2を参照のこと。

エネルギーアナリシス部門（EAD）及びロードマップの更新

4. エネルギーアナリシス部門の取り組みと各部門のロードマップは、継続的に練り直し、年間ベースでカーボンニュートラル社会に向けた排出量削減の一貫したシナリオと経路を作成すべきである。そのようにして、徐々に不確定の度合いを減少させ、また、それぞれの技術目標のインパクトを定量的に評価すべきである。それぞれの部門は、融合研究及び共同研究を強化しながら、基礎研究とアプリケーション志向の研究の間の適度なバランスを目指すべきである。
- EAD運営に関する課題などの詳細は2-2を、I²CNERのカーボンニュートラル社会（CNS）のエネルギービジョン策定に向けた全体的な取り組みに関する詳細は3-1-1を、それぞれ参照のこと。

平成25年度、板岡教授をエネルギーアナリシス部門長代理に任命した。板岡教授は、年間を通じてそれぞれの技術部門と効率的に調整を行い、一連の生産的な会議を開催した。これらすべての会議に、ポスドク研究者から主任研究者まで部門の構成員全員が出席したことは、注目に値する。EADからの意見をもとに、各部門は、ロードマップの更新及び平成25年5月に開催された外部アドバイザリー委員会（EAC）リトリート後にEACから提示された指摘事項への対応を主要目的とした部門リトリートを通し、ロードマップを修正し、平成26年1月初旬に修正版を提出した。と同時に、EADは1年に渡ってCNSに向けたエネルギービジョンを構築し、研究部門ロードマップが短期、中期、長期マイルストーンを通して一連の有望な技術オプション - 1990年レベルから2050年までに温暖化ガス（GHG）排出量の大幅な削減（70-80%）に向けたシナリオの開発及び展開タイミングに密接に関わっていることを確認した。EADと各部門間の2度目の会議では、各部門のロードマップとCNSに向けたエネルギーシナリオの調和に至った。

既存研究プロジェクトの見直しと再編

5. 内部プログラム評価委員会とEADの協力を得、既存の部門研究プロジェクトの徹底した見直しと再編が必要である。燃料電池部門は、リスクが高く分裂的な研究テーマを探求すべきである。熱物性部門は、論理的解釈とカーボンニュートラルの概念との関連性において、短・長期の研究テーマを再考する必要がある。捕捉したCO₂を使用する電子燃料に関する研究プロジェクトは、もしそれがカーボンニュートラル社会を実現するための中心的課題であるならば、慎重に検討すべきである。
 - 前項の「EAD及びロードマップの更新」にも記載したとおり、EADからの意見をもとに、熱科学部門は、明確に定義された目標、マイルストーン及び最終ターゲットを持つ焦点を絞った新規プロジェクトに向け、研究戦略を練り直した。燃料電池部門及びCO₂の電気化学的転換の技術経済的分析に関しては、前述の「部門研究テーマ・プロジェクト及び若手研究者による研究」と「内部プログラム評価委員会（IPRC）」を参照のこと。

国際共同研究

6. 国際共同研究は、生産性をより高めるため、強化すべきである。大学院生、研究者、教職員を含む研究者の全メンバーにとってI²CNERは、海外の研究機関を長期間訪問するまたとない機会であると捉えられるべきである。特に日本人のポスドクは、1~2年の比較的長い期間海外で働く機会をより積極的に求めるよう奨励すべきである。シニア及びジュニア教員の海外交流も不十分である。共同研究が具体化するよう、滞在期間を見直す必要がある。国際的な共同研究を進める上で、ヨーロッパを含む地域や研究テーマなどにバランスよく焦点を置くべきである。
 - 6-4内記載の、九州大学とイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校との「大学間学術交流協定」、「部局間学生交流協定」及び6-5-1内の「Collaborative Foreign Exchange Program」を参照のこと。また、ポスドク研究者と若手教員の訪問を通じた九州大学とイリノイ大学間の連携の詳細は、5-1-5を参照のこと。平成25年度に開始した海外との更なるパートナーシップは、若手研究者がアメリカ及びヨーロッパにおいて研究を行う機会をより多く提供することになる。すでに、I²CNER研究者グループが、本年2月にカリフォルニア大学アーバイン校を訪問し、本研究所と同校の国立燃料電池研究センター（National Fuel Cell Research Center：NFCRC）間の連携に向けた研究プロジェクトを3つ特定した。NTNU/SINTEFとのパートナーシップは、ノルウェー研究評議会による補助金を基にすでに開始されており、本年3月に同機関と締結した覚書（MOU）は、若手日本人研究者がトロントを訪れる新たな機会をもたらすことになる。また、本研究所の多くの研究者が、例えばインドネシアのように世界各国の研究機関を訪問している。

若手教員の研究レベル

7. 若手教員が手がけた研究の幾つかは、関連分野でトップレベルでないことにも注目すべきである。若手教員は、同じ分野のシニア研究者や部門長とより広範にわたり研究テーマについて話し合うべきである。
 - 前項「部門研究テーマ・プロジェクト及び若手研究者による研究」を参照のこと。

以下は、具体的措置が必要となる推奨である。

成功の評価基準

1. WPIプログラムは、概して基礎研究を目標としているが、そのアプリケーション及びイノベーションにおける成果もまた歓迎である。したがって、I²CNERの評価においては、応用研究、IP、市場導入、さらにイノベーションの観点から、拠点の業績を特定し、数値化するための新しい手法を開発するべきである。I²CNERは、「グリーンイノベーション」の科学・技術・革新（STI）政策の下に開始したことに留意すべきである。
 - I²CNERは、ミッション重視（グリーンイノベーション）型の研究所ではあるが、その焦点は基礎科学に置かれている。そのため、本研究所の成功は以下の基準に基づき評価される。
 - 1) 日本政府のグリーンイノベーション戦略を可能にするための研究努力及び目標の関連性
 - 2) 研究を行うためのアプローチ。これは、ハイインパクトかつ領域指向のジャーナルに掲載される論文の質によって評価される。そのような雑誌に論文を発表することにより、その研究が最先端を行くものであるか否かを専門家が判断する厳しい評価プロセスを経ることになる。
 - 3) 研究ロードマップにおけるマイルストーン及びターゲットの実現度
 - 4) 国際的研究所との連携レベル、異分野融合研究の取り組みとその度合い

- 5) 提携企業の数と質
- 6) 特許申請
- 7) 技術移転関連の実績件数。これは、出願中の特許数よりも重要であると理解している。
- 8) I²CNER活動のすべてを質の良いものとするのが、最も重要な評価基準となる。

技術移転

2. 産業界との従来の協力関係に加え、技術移転機関の協力を得、特許の奨励と支援に向けたプロセスをI²CNERが開始すべきである。成功の明確な基準要素を定義し、それぞれの部門が技術移転を数量化し（例えばハイインパクトの論文や重要な研究成果が科学的業績を数量化するように）、それを部門ごとの研究ハイライトとして発表できるようにしなければならない。もしすべての部門が科学の発展と技術開発における向上に関し同様の基準要素を目標とするのであれば、これは研究所全体にわたり公正なプロセスとなる。

- 平成25年度、技術移転プロセスに関する協議を開始するため、本研究所は九州大学産学連携本部（IMAQ）及びイリノイ大学Office of Technology Management（OTM）の両事務局に連絡を取った。ソフロニス所長と共に、OTM所長のLesley Millar氏、IMAQの古川教授が本取り組みを先導した。IMAQとOTMは、数回ビデオ会議を行い、連携を始めるため両事務局の業務や特長について話し合った。I²CNERの教員は、知的財産（IP）に関する同意書、開示、特許出願など、OTM側で提供できる全ての支援が利用可能である。同様に、IMAQは特許及びIP問題に関し、九州大学のすべての研究者を支援する用意がある。OTMとIMAQは、技術移転に関し支援が必要となる可能性のある両大学間の共同研究プロジェクトについて連携していく。
- 開所以来、特許申請が18件（3-1-3の表1参照）あり、うちTOKiエンジニアリング（株）への技術移転が1件（3-1-3「Industrial Projects」参照）、技術供与（ライセンス）が1件（3-1-3表1内No. 11）及びライセンス交渉中が1件（3-1-3表1内No. 12）となる。すべての特許出願内容は、I²CNERのエネルギー研究課題の関連分野である。
- 平成25年度内の報告ではないが、I²CNERと企業の合同セミナーを平成26年4月11日東京で開催する。本イベントは、I²CNERが定期的に会議を主催し、研究活動を紹介し、技術移転に結び付く可能性のある研究を共同で探るプロセスを、民間企業と共に確立するための取り組みの一環である。参加企業は、日産自動車、東京ガス、日本エア・リキード、新日鉄、住友金属工業、トヨタ自動車、東芝、JX日鉱日石エネルギーを含む21社である。

更なるネットワークの構築

3. I²CNERは、世界の一流研究者と強力なネットワークを築くことが期待される。その方法のひとつとしては、主要な個人及び利害関係者を特定し、接触する必要がある。すなわち、十分にI²CNERを紹介し説明するためアウトリーチ活動を行い、I²CNERロードマップの厳格なレビューを依頼し、I²CNERプログラムを著しく強化し、I²CNERの取り組みを大幅に向上させる。

- 本研究所は、カリフォルニア大学アーバーイン校の国立燃料電池研究センター（National Fuel Cell Research Center : NFCRC）と、平成25年12月31日に同意書を交わした。研究者間のコンタクトは、平成26年2月25日に開始された。
- 本研究所は、カリフォルニア大気資源委員会（CARB）と、グリーンイノベーションの共通概念を強化するため、基本合意書締結に向け現在交渉中である。
- 一年に渡る相互努力の末、本研究所はノルウェー科学技術大学（NTNU）との間で、平成26年3月17日に覚書を締結した。I²CNER・NTNU間の共同研究プロポーザルは、ノルウェー研究評議会の助成金を獲得した。
- I²CNERは、その研究課題に対し意見と助言を収集するため、米国エネルギー省（DOE）省エネ・再生可能エネルギー部（EERE）と連絡を緊密に保っている。評価基準、ロードマップの更新及び予想される将来の研究テーマに関する正式な会議が、平成26年2月12日にワシントンD. C.において開催された。
- 本研究所は、エジンバラ大学とセント・アンドルーズ大学間の共同化学研究機関であるEaStCHEMから、共同研究の要請を受けた。EaStCHEMは、英国の化学部門トップ4にランクインしている。共同研究が見込まれる分野としては、燃料電池、エネルギー貯蔵・ガス用の多孔質物質、ソーラ材料及び均一系・不均一触媒作用などがあげられる。

- 本研究所と、オックスフォード大学の年間800万USドルを超える5年プロジェクト、HEmS (Hydrogen in metals- from fundamentals to the design of new steels)は、共同研究の可能性を模索するための打合せを行った。所長は、現在HEmS のStrategic Advisory Panelの一員である。
- 平成25年10月1日から、I²CNERはEU支援のコンソーシアム・プロジェクトであるECOSTOREと、4年間のコンソーシアム契約を有している（同契約は平成29年9月30日終了）。本プロジェクトの目的は、水素貯蔵に関する教育をとおして、ヨーロッパ内外のシニア及びジュニア科学者を集結させることである。若手研究者の国際交流もまた、ECOSTORE の優先事項となる。本研究所の水素貯蔵部門長である秋葉悦男教授は、本プロジェクトのAssociated Partnerを務めている。平成27年3月には、I²CNERにおいてECOSTOREワークショップが開催され、ヨーロッパから10人以上の大学院生とポスドク研究者が参加予定である。
(<http://inano.au.dk/news-events/news/show/artikel/international-ecostore-project-four-million-euro-for-research-into-energy-storage-using-hydrogen-an/>)

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 平成25年度主任研究者一覧

作成上の注意：

- ・「氏名」欄で、海外の機関に所属する研究者には下線を付すこと。また、世界トップレベルと考えられる研究者氏名の右側には* (アスタリスク) を付すこと。
- ・応募時計画もしくは平成24年度拠点構想進捗状況報告書に名前がなかった研究者が参加した場合には、主任研究者個人票 (添付様式1-2) を添付すること。
- ・※1：教員の学内派遣制度により、工学研究院からI²CNER所属となる主任研究者を示す。

【平成25年度末実績】								主任研究者 計26名	
氏名 (年齢)	所属機関・部局・職	学位 専門	作業時間 (全仕事時間:100%)				拠点構想 参加時期	拠点構想への参画状況 (具体的に記入)	海外の機関に 所属する研究者の 拠点構想への貢献
			拠点関連		拠点以外				
			研究	研究 以外	研究	研究 以外			
拠点長 <u>Petros Sofronis</u> (56) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授	Ph.D., Micromechanics of materials, Environmental degradation of materials	15%	70%	10%	5%	平成22年 12月1日	・イリノイ大学サテライトを含む研究所 の管理運営 ・拠点本部に滞在して参画 (年間48%) ・研究所、産業界へのプロモーション活 動参画 ・メールによる参画 ・TV会議による会議等への参画	・拠点業務の管理 運営
香月 勗 (67) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・特任教授	理学博士 有機化学、触媒	90%	10%	0%	0%	平成22年 12月1日	常時拠点本部に滞在して参画	
石原 達己 (52) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※1	工学博士 機能性無機材料、 触媒化学	90%	10%	0%	0%	平成22年 12月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・副所長／水素製造部門長	
安達 千波矢 (50) *	九州大学 大学院工学研究院応用化学部門・教 授	工学博士 有機半導体デバイ ス物性	60%	20%	10%	10%	平成22年 12月1日	拠点本部に滞在して参画	
高原 淳 (58) *	九州大学 先端物質化学研究所分子集積化学 部門・教授	工学博士 高分子科学	60%	20%	10%	10%	平成22年 12月1日	拠点本部に滞在して参画	

小江 誠司 (50) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	理学博士 グリーンケミス トリー	90%	10%	0%	0%	平成22年 12月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・触媒的物質変換部門長	
草壁 克己 (59) *	崇城大学工学部ナノサイエンス学 科・教授	工学博士 反応工学、触媒	50%	10%	20%	20%	平成22年 12月1日	・主に連携機関において参画 ・拠点本部（月2回）において参画 ・2014年4月1日より訪問教授へ職位変 更	
堀田 善治 (60) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	博士(工学) 材料科学	90%	10%	0%	0%	平成22年 12月1日	常時拠点本部に滞在して参画	
中嶋 直敏 (62) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	Ph.D ナノカーボン科 学、超分子科学	85%	15%	0%	0%	平成22年 12月1日	常時拠点本部に滞在して参画	
佐々木 一成 (49) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	工学博士 燃料電池、無機 材料化学	90%	10%	0%	0%	平成22年 12月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・燃料電池部門長	
秋葉 悦男 (62) *	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	理学博士 材料科学	70%	30%	0%	0%	平成22年 12月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・水素貯蔵部門長	
Harry L. Tuller (68) *	マサチューセッツ工科大学・教授	Eng. Sc. D., Functional electroceramic materials	35%	5%	45%	15%	平成22年 12月1日	・主に連携機関において参画 ・イベントや共同研究に係る意見交換の ため4週間拠点本部に滞在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	左記のとおり
John A Kilner (67) *	インペリアル・カレッジ・ロンドン ・教授	Ph.D., Materials for solid oxide fuel cells and electrolysers	35%	5%	45%	15%	平成22年 12月1日	・主に連携機関において参画 ・イベントや共同研究に係る意見交換の ため4週間拠点本部に滞在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	左記のとおり

杉村 丈一 (56)	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	工学博士 トライボロジ ー、機械設計	70%	30%	0%	0%	平成22年 12月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・イリノイ大学からの学生を受入	
高田 保之 (57)	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	工学博士 熱工学	70%	30%	0%	0%	平成22年 12月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・副所長／熱科学部門長	
Xing Zhang (52)	清華大学・教授	Ph.D., Thermal Science	10%	10%	45%	35%	平成22年 12月1日	・主に連携機関において参画 ・研究、イベント参加や共同研究に係る 意見交換のため3週間拠点本部に滞 在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	左記のとおり
Brian P. Somerday (45) *	サンディア国立研究所・教授	Ph.D., Materials Science and Engineering	20%	15%	35%	30%	平成22年 12月1日	・主に連携機関において参画 ・水素適合材料部門長として研究に 参画 ・研究、イベント参加や共同研究に係る 意見交換のため3週間拠点本部に滞 在して参画 ・TV会議により会議等に参画	I ² CNERから研究者 の受入
高木 節雄 (61)	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・教授 ※ 1	工学博士	90%	10%	0%	0%	平成23年 4月1日	常時拠点本部に滞在して参画	
Reiner Kirchheim (70) *	ゲッティンゲン大学・教授	Ph.D	20%	20%	40%	20%	平成23年 4月1日	・主に連携機関において参画 ・研究、イベント参加や共同研究に係る 意見交換のため2週間拠点本部に滞 在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	左記のとおり
山内 美穂 (40)	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・准教授	理学博士 化学	100%	0%	0%	0%	平成24年 1月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・イリノイ大学からの学生を受入	

酒井 健 (52)	九州大学 大学院理学研究院化学部門・教授	博士(理学) 無機化学	80%	10%	0%	10%	平成24年 1月16日	常時拠点本部に滞在して参画	
Ian Robertson (56)	ウインズコンシン大学マディソン 校・教授	Ph.D., Metallurgy	20%	5%	25%	50%	平成24年 4月1日	・主に連携機関において参画 ・チーフサイエンスアドバイザー ・研究、イベント参加や共同研究に係る 意見交換のため1週間拠点本部に滞 在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	I ² CNERへの大学院 生の派遣
Andrew A. Gewirth (54)	イリノイ大学・教授	Ph.D., Chemistry	20%	5%	60%	15%	平成24年 4月1日	・主に連携機関において参画 ・研究、イベント参加や共同研究に係る 意見交換のため1週間拠点本部に滞 在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	左記のとおり
Kenneth T. Christensen (40)	イリノイ大学・教授 九州大学カーボンニュートラル・エ ネルギー国際研究所イリノイサテ ライト・副所長	Ph.D., Theoretical and Applied Mechanics specializing in experimental fluid mechanics	20%	25%	35%	20%	平成24年 4月1日	・主に連携機関において参画 ・イリノイサテライト副所長 ・研究、イベント参加や共同研究に係る 意見交換のため1週間拠点本部に滞 在して参画 ・インターネットを通じ議論に参画	左記のとおり
藤川 茂紀 (43)	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・准教授	工学博士 ナノ工学	100%	0%	0%	0%	平成25年 6月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・CO2分離・転換部門長	
辻 健 (34)	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー 国際研究所・准教授	理学博士 地球惑星科学、 資源エネルギー 工学、宇宙探査 工学	95%	5%	0%	0%	平成25年 6月1日	・常時拠点本部に滞在して参画 ・CO2貯留部門長	

平成25年度に拠点構想に参加しなかった研究者

氏名	所属機関・部局・職	拠点構想参加時期	理由	対応
村上 敬宜	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・教授	平成22年 12月1日	辞職	
松岡 三郎	九州大学大学院工学研究院機械工学部門・教授	平成22年 12月1日	退職	
成田 吉徳	九州大学先導物質化学研究所・教授	平成22年 12月1日	退職	
峯元 雅樹	九州大学大学院工学研究院化学工学部門・教授	平成22年 12月1日	退職	藤川茂紀准教授が主任研究者として新規就任（上述のとおり）
柳 哲雄	九州大学応用力学研究所・教授	平成22年 12月1日	退職	辻健准教授が主任研究者として新規就任（上述のとおり）
下島 公紀	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・准教授	平成24年 1月16日	WPI准教授へ任命変更	
Robert O. Ritchie	カリフォルニア大学バークレー校・教授	平成22年 12月1日	WPI教授へ任命変更	
Ludwig J. Gauckler	スイス連邦工科大学・教授	平成22年 12月1日	辞職	
Louis Schlapbach	物質・材料研究機構・ナノ材料科学環境拠点 副拠点長	平成22年 12月1日	WPI訪問教授へ任命変更	
Ping Chen	科学院大連化学物理研究所	平成22年 12月1日	WPI教授へ任命変更	
Chen-Tung Arthur Chen	国立中山大学	平成22年 12月1日	任期終了	
Angus Rockett	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	

Elif Ertekin	イリノイ大学・准教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
Lane W. Martin	イリノイ大学・准教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
David Cahill	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
Thomas B. Rauchfuss	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
Paul J.A. Kenis	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
Dimitrios Kyritsis	イリノイ大学・准教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
Robert J. Fineley	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
Arne J. Pearlstein	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	
James F. Stubbins	イリノイ大学・教授	平成24年 4月1日	サテライト教員へ任命変更	

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 新規主任研究者個人票

氏名 (年齢) <small>※世界トップレベルと考えられる研究者は、氏名の右側に* (アスタリスク) を付す。</small>	辻 健 (34)
現在の所属機関・部局・職	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 CO ₂ 貯留研究部門 准教授
学位、現在の専門	理学博士、地球科学
研究・教育歴 【学歴】 1998/4～2002/3 早稲田大学理工学部環境資源工学科 2002/4～2004/3 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士課程入学 2004/3～2007/3 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程入学 【職歴】 2006/4～2007/3 日本学術振興会特別研究員 (DC2) 2007/4～2007/8 独立行政法人海洋研究開発機構 ポストドクトラル研究員 2007/9～2012/3 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 助教 2012/4～現在 九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 CO ₂ 貯留部門 准教授 2004/10～2007/3 Lamont-Doherty Logging Staff Scientist (コロンビア大学) 2010/2～2011/1 学術振興会 優秀若手研究者海外派遣事業 (スタンフォード大学) 2010/7～2010/8 統合国際掘削計画 (IODP) 第327次航海 共同主席研究者 2008/4～2011/3 関西大学 非常勤講師 2007/10～現在 (独) 海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 招聘研究員 (2013年～ 招聘主任研究員) 2011/4～2012/3 (独) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) プリプロジェクト研究員	
これまでの研究の成果、アピールすべき点 <small>(※世界トップレベルと考えられる研究者については、その理由を明記)</small> NSFのプロジェクトである統合国際掘削プロジェクト (IODP) において、共同主席研究者に選出され、国内外の研究者 (20名) を取りまとめた。	
研究活動実績 (1) 国際的影響力 a) 分野を代表する国際学会での招待講演・座長・理事・名誉会員、b) 有名レクチャーシップへの招待講演、c) 主要国アカデミー会員、d) 国際賞の受賞、e) 有力雑誌の編者の経験 等 【招待講演】 <ul style="list-style-type: none"> ・ CCOP CO₂ Storage Mapping Program (CCSM) Seminar, ベトナム ハノイ, 2014年3月18日. ・ 名古屋大学 地震火山研究センター, 2013年11月1日 ・ 東京大学地震研究所, 2013年9月27日 ・ 東京大学大気海洋研究所, 2013年5月27日 ・ 立命館大学, 2012年7月19日 ・ (独) 海洋研究開発機構, 2011年11月30日 ・ (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2011年11月9日 ・ University of California (UCSC; Whole Earth Seminar), 2010年10月26日 	

(2) 大型の競争的資金の獲得 (過去5年の大型の競争的資金の獲得実績)

1. 2013年, 共同研究, 地球環境産業技術研究機構, 「マイクルバブルCO2圧入方式革新的WAG技術開発のうちLBM法多相流解析」, ¥2,000,000 (2013).
2. 2011年~2015年, 受託研究, JST, 地球規模課題対応国際科学協力事業, 「インドネシア東ジャワ州グンディガス田における二酸化炭素の地中貯留及びモニタリングに関する先導的研究」 ¥3,900,000 (2013) .
3. 2013年, 共同研究, 深田地質研究所, 「CO2地中貯留における断層評価手法の研究」 ¥2,580,000(2013)
4. 2013年, 共同研究, 四国総合研究所, 「PS検層データおよび反射法地震探査データを用いた中央構造線の深部構造に関する研究」, ¥600,000(2013)
5. 2009年~2013年, 新学術領域研究 分担, 「高精度変動地形・地質調査による巨大地震断層の活動履歴の解明」 ¥1,300,000(2013)
6. 2012年, 住友財団助成 (環境), 「海底下夾炭層環境のエネルギー再生型CO2隔離に向けた地震波モニタリング手法の開発」, ¥2,000,000
7. 2012年~2015年, 基盤研究(A) 分担, 「ナノジオサイエンスに立脚した原油増進回収技術の研究」 ¥430,000(2013)
8. 2012年~2014年, 基盤研究(C) 分担, 「未確認活断層を抽出・評価するための応力不均一性の解析」 ¥161,250(2013)
9. 2012年, 共同研究, 四国総合研究所, 「四国西部の中央構造線の地質学および地球物理学的研究」 ¥550,000.
10. 2011年, 受託研究, 「IODP Expedition 327で得られた掘削データと反射法地震探査データを用いたファン・デ・フォーカ海嶺東翼部の玄武岩質海洋地殻の水理地質学的構造」 ¥1,500,000
11. 2012年, 共同研究, サンコーコンサルティング, 「地震探査による石油・天然ガス貯留層のモニタリング技術(地震学的4次元監視の適用) - 小型高性能MEMSワイヤレスシステムによる多チャンネル多成分モニタリング装置開発研究」 ¥400,000
12. 2011年, 共同研究, 四国総合研究所, 「四国西部の中央構造線の地質学および地球物理学的研究」, ¥1,000,000.
13. 2010年, 共同研究, 四国総合研究所, 「CRS解析を用いた中央構造線の高精度可視化」, ¥1,000,000.
14. 2009年~2010年, 新学術領域研究, 代表, 「海底下の流体循環経路解明に向けた反射法地震探査による海洋性地殻の構造と物性の推定」, ¥4,200,000.
15. 2009年~2010年, 基盤研究B 分担, 「沈み込みプレート境界地震発生帯の速度物性分布と物性獲得プロセスの解明」, ¥1,000,000.
16. 2009年, 共同研究, 四国総合研究所, 「四国の中央構造線の地下構造に関する研究」, ¥2,000,000.
17. 2008年~2010年, GCOE若手・学生萌芽研究プロジェクト, 「インドネシアメガシティの地震・津波災害低減のための活断層評価に関する研究・教育プロジェクト」, ¥2,500,000
18. 2008年~2010年, 基盤研究B 分担, 「帯水層に圧入された二酸化炭素の貯留特性と貯留量評価技術の研究」, ¥850,000.
19. 2008年~2009年, 若手B 代表, 「地震探査による弾性波速度構造から岩石モデルを使って地下応力を推定する手法の開発」, ¥4,290,000.

(3) 論文被引用 (主要な発表論文名、被引用の程度等)

(2014)

1. K. Ishitsuka, Y. Fukushima, T. Tsuji, Y. Yamada, T. Matsuoka and P.H. Giao, Natural surface rebound of the Bangkok plain and aquifer characterization by persistent scatterer interferometry, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi: 10.1002/2013GC005154, 2014.
2. R. Kamei, G. Pratt, and T. Tsuji, Misfit function in Laplace-Fourier domain waveform inversion, with application to wide-angle Ocean Bottom Seismograph data, *Geophysical Prospecting*, 2013, in press.
3. A. Miyakawa, S. Saito, Y. Yamada, H. Tomaru, M. Kinoshita, and T. Tsuji, Gas hydrate saturation at Site C0002 of IODP Expeditions 314 and 315 in the Kumano Basin, Nankai Trough, *Island Arc*, 2014, in press.
4. 滋井 康人、辻 健、松岡 俊文、池田 倫治、西坂 直樹、石川 康彦、地震探査データから計算された Q 値から推定される中央構造線周辺の岩相分布, *JSMS journal*, Vol.63 No.3 pp.250-257, 2014
5. J. Ishibashi, F. Ikegami, T. Tsuji, and T. Urabe, Hydrothermal activity in the Okinawa Trough back-arc basin - geological background and hydrothermal mineralization -, Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept, *Springer Japan*, 2014, in press.
6. F. Ikegami, T. Tsuji, H. Kumagai, J. Ishibashi and K. Takai, Active rifting structures in Iheya Graben and adjacent area of the mid-Okinawa Trough observed through seismic reflection surveys, Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept, *Springer Japan*, 2014. In press.

(2013)

7. T. Tsuji, K. Kawamura, T. Kanamatsu, T. Kasaya, K. Fujikura, Y. Ito, T. Tsuru, and M. Kinoshita, Extension of continental crust by anelastic deformation during the 2011 Tohoku-oki earthquake: The role of extensional faulting in the generation of a great tsunami, *Earth and Planetary Science Letters*, 364, 44-58, 2013. (3 citations)
8. T. Ikeda, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Window-controlled CMP cross-correlation analysis for surface waves on laterally heterogeneous media, *Geophysics*, 78, EN95-EN105, 2013. (0 citation)
9. Y. Yamada, R. Masui, and T. Tsuji, Characteristics of a tsunamigenic megasplay fault in the Nankai Trough, *Geophysical Research Letters*, 40, 4594-4598, 2013. (0 citation)
10. K. Becker, A.T. Fisher, and T. Tsuji, New Packer Experiments and Borehole Logs in Upper Oceanic Crust: Evidence for Ridge-parallel Continuity in Crustal Hydrogeological Properties, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14, 2013. (1 citation)
11. R. Kamei, G. Pratt, T. Tsuji, On acoustic waveform tomography of wide-angle OBS data - Strategies for preconditioning and inversion, *Geophysical Journal International*, 194, 1250-1280, 2013. (1 citation)
12. S. Minato, T. Matsuoka, T. Tsuji, Singular-value decomposition analysis of source illumination in seismic interferometry by multidimensional deconvolution, *GEOPHYSICS*, 78, Q25-Q34, 2013. (1 citation)
13. M.Y.N. Khakim, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Detection of Localized Surface Heave at Oil Sands Field by Differential SAR Interferometry, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 99, 1-11, 2013. (1 citation)
14. T. Tsuji, S. Kodaria, J. Ashi, and J-O. Park, Widely distributed thrust and strike-slip faults within subducting oceanic crust in the Nankai Trough off the Kii Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 600, 52-62, 2013. (1 citation)
15. Y. Hashimoto, N. Doi, and T. Tsuji, Difference in acoustic properties at seismogenic fault along a subduction interface: Application to estimation of effective pressure and fluid pressure ratio, *Tectonophysics*, 600, 134-141, 2013. (0 citation)
16. K. Ishitsuka, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Improved correlation analysis to detect liquefied area using multi-temporal SAR images -Application to the 2011 Tohoku Earthquake and the 2011 Christchurch Earthquake-, *Exploration Geophysics*, 66, 1, 25-33, 2013. (0 citation)
17. S. Chiyonobu, T. Nakajima, Y. Zhang, T. Tsuji, and Z. Xue, Effect of reservoir heterogeneity of Haizume Formation, Nagaoka Pilot Site, based on high-resolution sedimentological analysis, *Energy Procedia*, 37, 3546-3553, doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.247, 2013. (2 citations)

(2012)

18. G. Kimura, S. Hina, Y. Hamada, J. Kameda, T. Tsuji, M. Kinoshita, and A. Yamaguchi, Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust beneath the middle trench slope: The tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake off the east coast of northern Japan, *Earth and Planetary Science Letters*, 339-340, 32-45, 2012. (12 citations)
19. K. Ishitsuka, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Detection and mapping of soil liquefaction associated with the 2011 Tohoku earthquake using SAR Interferometry, *Earth Planets and Space*, 64, 1267-1276, 2012. (1 citation)
20. M.Y.N. Khakim, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Geomechanical Modeling for InSAR-derived surface deformation at steam-injection oil sand fields, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 96-97, 152-161, doi:10.1016/j.petrol.2012.08.003, 2012. (0 citation)
21. Y. Ito, R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Iinuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K.

- Suzuki, T. Tsuji, and J. Ashi, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2012.08.022, 2012. (14 citations)
22. S. Minato, T. Tsuji, T. Matsuoka, and K. Obana, Crosscorrelation of Earthquake Data Using Stationary Phase Evaluation: Insight into Reflection Structures of Oceanic Crust Surface in the Nankai Trough, *International Journal of Geophysics*, 2012, Article ID 101545, doi:10.1155/2012/101545, 2012. (2 citations)
23. T. Ikeda, T. Matsuoka, T. Tsuji, and K. Hayashi, Multi-mode inversion with amplitude response of surface waves in the spatial autocorrelation method, *Geophysical Journal International*, 190, 541-552, 2012. (2 citations)
24. S. Minato, T. Tsuji, S. Ohmi, and T. Matsuoka, Monitoring seismic velocity change caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake using ambient noise records, *Geophysical Research Letters*, 39, L09309, 2012. (7 citations)
25. A.T. Fisher, T. Tsuji, K. Petronotis, C.G. Wheat, K. Becker, J.F. Clark, J. Cowen, K. Edwards, H. Jannasch, and the IODP Expedition 327 and Atlantis Expedition AT18-07 Shipboard Parties, IODP Expedition 327 and Atlantis Expedition AT 18-07: Observatories and Experiments on the Eastern Flank of the Juan de Fuca Ridge, *Scientific Drilling*, 13, 4-11, ISSN: 1816-8957, 2012. (1 citation)
26. T. Tsuji, T.A. Johansen, B.O. Ruud, T. Ikeda, and T. Matsuoka, Surface-wave analysis for identifying unfrozen zones in subglacial sediments, *Geophysics*, 77, 3, EN17-EN27, 2012. (3 citations)
27. 石塚 師也, 辻 健, 松岡 俊文, 水野 敏実, 干涉 SAR 解析を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した東京湾臨海域の液状化に伴う広域地表変動量の推定, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.68, No.1, 175-182, 2012. (0 citation)
28. S. Minato, T. Tsuji, T. Matsuoka, N. Nishizaka, M. Ikeda, (2012), Global optimization by simulated annealing for common reflection surface stacking, and its application to low-fold marine data in southwest Japan, *Exploration Geophysics*, DOI: 10.1071/EG12008, 2012. (3 citations)
29. T. Tsuji, K. Takai, H. Oiwane, Y. Nakamura, Y. Masaki, H. Kumagai, M. Kinoshita, F. Yamamoto, T. Okano, and S. Kuramoto, Hydrothermal fluid flow system around the Iheya North Knoll in the mid-Okinawa Trough based on seismic reflection data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 213-214, 41-50, 2012. (5 citations)
30. R. Kamei, R.G. Pratt, and T. Tsuji, Waveform Tomography Imaging of a Megasplay Fault System in the Seismogenic Nankai Subduction Zone, *Earth and Planetary Science Letters (Elsevier)*, 317-318, 1, 343-353, 2012. (12 citations) (2011)
31. T. Tsuji, R. Hino, Y. Sanada, K. Yamamoto, J.-O. Park, T. No, E. Araki, N. Bangs, R. von Huene, G. Moore, and M. Kinoshita, In situ stress state from walkaround VSP anisotropy in the Kumano basin southeast of the Kii Peninsula, Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q0AD19, doi:10.1029/2011GC003583, 2011. (2 citations)
32. N. Nakata, R. Snieder, T. Tsuji, K. Larner, and T. Matsuoka, Shear-wave imaging from traffic noise using seismic interferometry by cross-coherence, *Geophysics*, 76, SA97-SA106, 2011. (7 citations)
33. Y. Ito, T. Tsuji, Y. Osada, M. Kido, D. Inazu, Y. Hayashi, H. Tsushima, R. Hino, and H. Fujimoto, Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophysical Research Letters*, 38, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355, 2011. (92 citations)
34. T. Tsuji, Y. Ito, M. Kido, Y. Osada, H. Fujimoto, J. Ashi, M. Kinoshita, and T. Matsuoka, Potential Tsunamigenic Faults of the 2011 Tohoku Earthquake, *Earth Planets and Space*, 63, 831-834, 2011. (21 citations)
35. 池田 達紀, 松岡 俊文, 辻 健, 林 宏一, SPAC 法における異なる相関距離を考慮したマルチ・モード解析, 物理探査, Vol.64, No.2, 127-138, 2011. (0 citation)
36. T. Tsuji, et al., Vp/Vs ratio and seismic anisotropy in the Nankai Trough seismogenic zone: Insights into effective stress, pore pressure and sediment consolidation, *Geophysics*, 76, No.3, WA71-WA82, 2011. (4 citations)
37. S. Minato, T. Matsuoka, T. Tsuji, D. Draganov, J. Hunziker, and K. Wapenaar, Seismic interferometry using multidimensional deconvolution and crosscorrelation for crosswell seismic reflection data without borehole sources, *Geophysics*, 76, SA19-SA34. (1st author is my supervised student), 2011. (16 citations)
38. N. Nakata, T. Tsuji, and T. Matsuoka, Acceleration of computation speed for elastic wave simulation using graphic processing unit, *Exploration Geophysics*, 42, 98-104, 2011. (3 citations) (2010)
39. H. Kumagai, S. Tsukioka, H. Yamamoto, T. Tsuji, K. Shitashima, M. Asada, F. Yamamoto, and M. Kinoshita, Hydrothermal plumes imaged by high-resolution side-scan sonar on a cruising AUV, Urashima, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 11, Q12013, doi:10.1029/2010GC003337, 2010. (8 citations)
40. T. Tsuji, H. Yamaguchi, T. Ishii, and T. Matsuoka, Mineral Classification from Quantitative X-ray Maps using Neural Network: Application to Volcanic Rocks, *Island Arc*, 19, 105-119, 2010. (3 citations)
41. 宮川 歩夢, 辻 健, 松岡 俊文, 山本 剛, 自己組織化マップを用いた複合物理探査による堤防内土質性状の分類, 土木学会論文集 C, Vol. 66, No. 1, 89-99, 2010. (1 citation) (2009)
42. T. Tsuji, K. Yamamoto, T. Matsuoka, Y. Yamada, K. Onishi, A. Bahar, I. Meilano, and H.Z. Abidin, Earthquake Fault of the 26 May 2006 Yogyakarta Earthquake Observed by SAR Interferometry, *Earth Planets Space (E-letter)*, 61, e29-e32, 2009. (4 citations)

43. T. Tsuji, J-O. Park, G. Moore, S. Kodaira, Y. Fukao, S. Kuramoto, and N. Bangs, Intraoceanic Thrusts in the Nankai Trough off the Kii Peninsula: Implications for Intraplate Earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 36, L06303, doi:10.1029/2008GL036974, 2009. (8 citations)
44. G. Moore, J-O. Park, N.L. Bangs, S.P. Gulick, H.J. Tobin, Y. Nakamura, S. Sato, T. Tsuji, T. Yoro, H. Tanaka, S. Uraki, Y. Kido, Y. Sanada, S. Kuramoto, and A. Taira, Structural and seismic stratigraphic framework of the NanTroSEIZE Stage 1 transect Proc. IODP, 314-315-316: College Station, TX, doi:10.2204/iodp.proc.314315316.102.2009, 2009. (98 citations)
45. 辻 健, 山本 勝也, 山田 泰広, 松岡俊文, 朝倉俊弘, 干渉 SAR 解析による新潟県中越沖地震に伴う山岳トンネル被害メカニズムの解明, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 4, pp.989-997, 2009. (1 citation)
46. 湊 翔平, 辻 健, 野口 尚史, 白石 和也, 松岡 俊文, 深尾 良夫, G. Moore, 地震波海洋学における海水中の微細温度構造の推定, 物理探査, 62, 509-520, 2009. (0 citation)
(2008)
47. T. Tsuji, H. Tokuyama, P. Costa Pisani, and G. Moore, Effective stress and pore pressure in the Nankai accretionary prism off the Muroto Peninsula, southwestern Japan, *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, 113, B11401, doi:10.1029/2007JB005002, 2008. (27 citations)
48. T. Tsuji, and G. J. Iturrino, Velocity-porosity relationships of oceanic basalt from eastern flank of the Juan de Fuca ridge: The effect of crack closure on seismic velocity, *Exploration Geophysics*, 39, 41-51, 2008. (8 citations)
(2007)
49. T. Tsuji, Y. Nakamura, H. Tokuyama, M. F. Coffin, K. Koda, Oceanic crust and Moho of the Pacific Plate in the eastern Ogasawara Plateau region, *Island Arc*, 16, 361-373, 2007. (7 citations)
(2006)
50. Y. Nakamura, T. Noguchi, T. Tsuji, S. Ito, H. Niino, T. Matsuoka, Simultaneous seismic reflection and physical oceanographic observations of oceanic finestructure in the Kuroshio extension front, *Geophysical Research Letters*, 33, L23605, doi:10.1029/2006GL027437 (I analyzed the seismic data), 2006. (40 citations)
51. T. Tsuji, G. Kimura, S. Okamoto, F. Kono, H. Mochinaga, T. Saeki, H. Tokuyama, Modern and ancient seismogenic out-of-sequence thrusts in the Nankai accretionary prism: Comparison of laboratory-derived physical properties and seismic reflection data, *Geophysical Research Letters*, 33, L18309, doi:10.1029/2006GL027025, 2006. (10 citations)
(2005)
52. T. Tsuji, T. Noguchi, H. Niino, T. Matsuoka, Y. Nakamura, H. Tokuyama, S. Kuramoto, N. Bangs, Two-dimensional mapping of finestructures in the Kuroshio Current using seismic reflection data, *Geophysical Research Letters*, 32, L14609, doi:10.1029/2005GL023095, 2005. (34 citations)
53. T. Tsuji, T. Matsuoka, Y. Yamada, Y. Nakamura, J. Ashi, H. Tokuyama, S. Kuramoto, N. Bangs, Initiation of plate boundary slip in the Nankai Trough off the Muroto peninsula, southwest Japan, *Geophysical Research Letters*, 32, L12306, doi:10.1029/2004GL021861, 2005. (15 citations)

(4) その他 (当該研究者が世界トップレベルと判断するに足る実績 等)

1. 20回以上の招待講演を行っている。
2. NatureGeoscience や NSFプロポーザルといった多くの査読を行っている。
3. 経産省と日本CCS調査による委員会に参加している (2013年)。
4. 物理探査学会から4度、表彰を受けている。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 新規主任研究者個人票

氏名 (年齢) ※世界トップレベルと考えられる研究者は、氏名の右側に* (アスタリスク) を付す。	藤川茂紀 (43)
現在の所属機関・部局・職	九州大学・カーボンニュートラルエネルギー国際研究所・准教授
学位、現在の専門	博士 (工学)
教育歴 1999年 九州大学大学院工学研究科 博士 (工学) 1996年 九州大学大学院工学研究科 修士課程卒業 1994年 九州大学工学部 卒業 研究歴 (Research) 1999年-2000年 Yale大学 (日本学術振興会特別研究員) 2000年 理化学研究所 フロンティア研究員 2000年-2003年 理化学研究所 基礎科学特別研究員 2003年-2004年 理化学研究所 研究員 2004年-2007年 理化学研究所 次世代ナノパターンニング研究チーム 副チームリーダー 2007年-2009年 理化学研究所 ナノ複合構造研究チーム チームリーダー 2009年-2011年 理化学研究所 界面ナノ構造研究チーム 副チームリーダー 2011年- 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 准教授	
これまでの研究の成果、アピールすべき点 (※世界トップレベルと考えられる研究者については、その理由を明記) (1) 精密な分子透過を可能とする自己支持性ナノ膜の開発 膜は様々な工業プロセスに利用される重要な材料であり、その機能はイオンや分子を選択的に透過することである。膜の超薄化は性能向上に対して直接的なアプローチであり、我々は世界で初めてわずか数十nmしかないにもかかわらず自己支持性のあるナノ膜の開発に成功した。膜材料デザインによって、我々はその自己支持性ナノ膜に選択的な分子透過機能を導入することに成功している。 (例: Langmuir 2009, 25, 19, 11563-11568) (2) 金属ナノ構造から大面積アレイの作製とその機能化 我々は表面ナノ構造作製法として、ナノ膜を活用した新しい手法を開発した。これにより、とりわけ高いアスペクト比をもつナノフィンやナノワイヤー構造およびそれらに関連構造を作成し、それらが極めてユニークな物理・化学特性を示すことを明らかにしてきた。 (例: Langmuir 2006, 22, 21, 9057-9061; Nano Letters 2011, 11(1), 8-15; Angew. Chem. Int. Ed. 2014, 53, 1, 127-131)	
研究活動実績 (1) 国際的影響力 a) 分野を代表する国際学会での招待講演・座長・理事・名誉会員、b) 有名レクチャーシップへの招待講演、c) 主要国アカデミー会員、d) 国際賞の受賞、e) 有力雑誌の編者の経験 等	

(2) 大型の競争的資金の獲得 (過去5年の大型の競争的資金の獲得実績)

(2014年)

- 科研費 基盤研究 (B) : 6,600,000円
- 科研費 新学術領域研究: 2,900,000円
- JST ACT-C: 11,100,000円
- JST ALCA: 1,800,000円
- Progress100: 9,700,000円

(2013年)

- 科研費 新学術領域研究: 5,700,000円
- JST ACT-C: 5,700,000円
- JST ALCA: 2,000,000円
- 日立共同研究: 2,100,000円

(2012)

- 科研費 新学術領域研究: 6,000,000円
- JST ACT-C: 5,700,000円
- JST CREST: 1,700,000円
- 日立共同研究: 2,100,000円

(2011)

- 科研費 新学術領域研究: 8,200,000円
- JST CREST: 7,000,000円

(2010)

- 科研費 新学術領域研究: 9,200,000円
- JST CREST: 7,000,000円

(2009)

- JST CREST: 7,000,000円

(3) 論文被引用 (主要な発表論文名、被引用の程度等)

1. Hybrid of Palladium Nanoparticles and Silicon Nanowire Array: A Platform for Catalytic Heterogeneous Reactions
Y. M.A. Yamada, Y. Yuyama, T. Sato, S. Fujikawa, Y. Uozumi,
Angew. Chem. Int. Ed. 2013, accepted (0 citations)
2. o-Phenylene Octamers as Surface Modifiers for Homeotropic Columnar Ordering of Discotic Liquid Crystals.
T. Kajitani, Y. Suna, A. Kosaka, T. Osawa, S. Fujikawa, M. Takata, T. Fukushima, T. Aida.
J. Am. Chem. Soc. 2013, 135 (39), 14564–14567 (0 citations)
3. Molecular Insight into Different Denaturing Efficiency of Urea, Guanidinium, and Methanol: A Comparative Simulation Study.
T, Koishi, K. Yasuoka, S. Y. Willow, S. Fujikawa, X. C. Zeng
J. Chem. Theory and Comp. 2013, 9(6), 2540-2551. (2 citations)
4. Sensitivity to refractive index of high-aspect-ratio nanofins with optical vortex
E. Maeda, Y. Lee, Y. Kobayashi, A. Taino, M. Koizumi, S. Fujikawa, J.-J. Delaunay
Nanotechnology 2012, 23(50), 505502 (1 citations)
5. Enzymatic direct electron transfer at ascorbate oxidase-modified gold electrode prepared by one-step galvanostatic method,
B. Patil, S. Fujikawa, T. Okajima, T. Ohsaka, Takeo,
Int. J. Electrochem. Sci. 2012, 7(6), 5012-5019 (2 citations)
6. Controlled polymerization and self-assembly of halogen-bridged diruthenium complexes in organic media

- and their dielectrophoretic alignment
R. Kuwahara, S. Fujikawa, K. Kuroiwa, N. Kimizuka
J. Am. Chem. Soc. 2012, 134(2), 1192-1199 (6 citations)
7. Measurement of Contact-Angle Hysteresis for Droplets on Nanopillared Surface and in the Cassie and Wenzel States: A Molecular Dynamics Simulation Study
T. Koishi, K. Yasuoka, S. Fujikawa, X. C. Zeng,
ACS Nano 2011, 5(9), 6834-6842. (16 citations)
8. Au double nanopillars with nanogap for plasmonic sensor
W. Kubo, S. Fujikawa*
Nano Letters 2011, 11(1), 8-15 (36 citations)
9. Size-controlled simple fabrication of Free-standing, ultralong metal nanobelt array
W. Kubo, H. Hayakawa, K. Miyoshi, S. Fujikawa*
J. Nanosci. Nanotech 2011, 11(1), 131-137 (2 citations)
10. Molecular dynamics simulations of urea-water binary droplets on flat and pillared hydrophobic surfaces.
T. Koishi, K. Yasuoka, X.-C. Zeng, S. Fujikawa
Faraday Discuss. 2010, 146, 185-193 (9 citations)
11. Manipulation of a one dimensional molecular assembly of helical superstructures by dielectrophoresis.
W. Kubo, S. Fujikawa*
Appl. Phys. Lett. 2009, 95, 16, 163110/1-163110/3 (0 citations)
12. Coexistence and transition between Cassie and Wenzel state on pillared hydrophobic surface.
T. Koishi, K. Yasuoka, S. Fujikawa, T. Ebisuzaki X.-C. Zeng
Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2009, 106, 21, 8435-8440 (77 citations)
13. Nanochannel Design by Molecular Imprinting on a Free-Standing Ultrathin Titania Membrane.
S. Fujikawa,* E. Muto, T. Kunitake
Langmuir 2009, 25, 19, 11563-11568 (7 citations)
14. Embedding of a gold nanofin array in a polymer film to create transparent, flexible and anisotropic electrodes.
W. Kubo, S. Fujikawa*
J. Mater. Chem. 2009, 19, 15, 2154-2158 (6 citations)
15. Fabrication of nanoline arrays of noble metals by electroless plating and selective etching process.
K. Miyoshi, S. Fujikawa,* T. Kunitake
Colloids Surf., A 2008, 321, 1-3, 238-243 (5 citations)
16. Fabrication of nanofins of TiO₂ and other metal oxides via the surface sol-gel process and selective dry etching.
R. Takaki, H. Takemoto, S. Fujikawa,* T. Kunitake
Colloids Surf., A 2008, 321, 1-3, 227-232 (2 citations)
17. Facile Fabrication of Silver Nanofin Array via Electroless Plating.
K. Miyoshi, Y. Aoki, T. Kunitake, S. Fujikawa*
Langmuir 2008, 24, 8, 4205-4208 (12 citations)
18. Photoluminescence Modification in 3D-Ordered Films of Fluorescent Microspheres.
Y. Li, T. Kunitake, S. Fujikawa, K. Ozasa
Langmuir 2007, 23, 17, 9109-9113 (18 citations)
19. Rapid fabrication of a smooth hollow-spheres array.
S. Matsushita, S. Fujikawa, S. Onoue, T. Kunitake, M. Shimomura
Bull. Chem. Soc. Jpn. 2007, 80, 6, 1226-1228 (6 citations)
20. Embedding of Individual Ferritin Molecules in Large, Self-Supporting Silica Nanofilms.
S. Fujikawa,* E. Muto, T. Kunitake

- Langmuir* 2007, 23, 8, 4629-4633 (6 citations)
21. Fabrication of Arrays of Sub-20-nm Silica Walls via Photolithography and Solution-Based Molecular Coating.
S. Fujikawa,* R. Takaki, T. Kunitake
Langmuir 2006, 22, 21, 9057-9061 (16 citations)
 22. Efficient Fabrication and Enhanced Photocatalytic Activities of 3D-Ordered Films of Titania Hollow Spheres.
Y. Li, T. Kunitake, S. Fujikawa, K. Ozasa
J. Phys. Chem. B 2006, 110, 26, 13000-13004 (82 citations)
 23. Efficient fabrication of large, robust films of 3D-ordered polystyrene latex.
Y. Li, T. Kunitake, S. Fujikawa, K. Ozasa
Colloids Surf., A 2006, 275, 1-3, 209-217 (8 citations)
 24. 3D nanoarchitecture from ultrathin titania film via surface sol-gel process and photolithography.
S. Fujikawa, T. Kunitake
Chem. Lett. 2005, 34, 10, 1414-1415 (1 citations)
 25. Nanocopying of Individual DNA Strands and Formation of the Corresponding Surface Pattern of Titania Nanotube.
S. Fujikawa,* R. Takaki, T. Kunitake
Langmuir 2005, 21, 19, 8899-8904 (16 citations)
 26. Preparation of hollow structures composed of titania nanocrystal assembly.
S. Fujikawa, T. Kunitake
Int. J. Nanosci. 2002, 1, 5 & 6, 617-620 (1 citations)
 27. Synthesis of metal and metal oxide nanoparticles in the nanospace of ultrathin TiO₂-gel films: role of the ion-exchange site.
J. He, I. Ichinose, S. Fujikawa, T. Kunitake
Int. J. Nanosci. 2002, 1, 5 & 6, 507-513 (0 citations)
 28. Nanocopying as a Means of 3D Nanofabrication: Scope and Prospects.
T. Kunitake, S. Fujikawa
Aust. J. Chem. 2003, 56, 10, 1001-1003 (8 citations)
 29. Preparation of Porous and Nonporous Silica Nanofilms from Aqueous Sodium Silicate.
J. He, I. Ichinose, S. Fujikawa, T. Kunitake, A. Nakao
Chem. Mater. 2003, 15, 17, 3308-3313 (19 citations)
 30. Surface Fabrication of Hollow Nanoarchitectures of Ultrathin Titania Layers from Assembled Latex Particles and Tobacco Mosaic Viruses as Templates.
S. Fujikawa, T. Kunitake
Langmuir 2003, 19, 16, 6545-6552 (58 citations)
 31. Surface fabrication of interconnected hollow spheres of nm-thick titania shell.
S. Fujikawa, T. Kunitake
Chem. Lett. 2002, 11, 1134-1135 (8 citations)
 32. Reversible conversion of nanoparticles of metallic silver and silver oxide in ultrathin TiO₂ films: a chemical transformation in nano-space.
J. He, I. Ichinose, S. Fujikawa, T. Kunitake, A. Nakao
Chem. Commun. 2002, 17, 1910-1911 (27 citations)
 33. A General, Efficient Method of Incorporation of Metal Ions into Ultrathin TiO₂ Films.
J. He, I. Ichinose, S. Fujikawa, T. Kunitake, A. Nakao
Chem. Mater. 2002, 14, 8, 3493-3500 (36 citations)
 34. Ultrathin composite films: An indispensable resource for nanotechnology.
Ichinose, J. He, S. Fujikawa, M. Hashizume, J. Huang, T. Kunitake
RIKEN Rev. 2001, 37, 34-37 (2 citations)

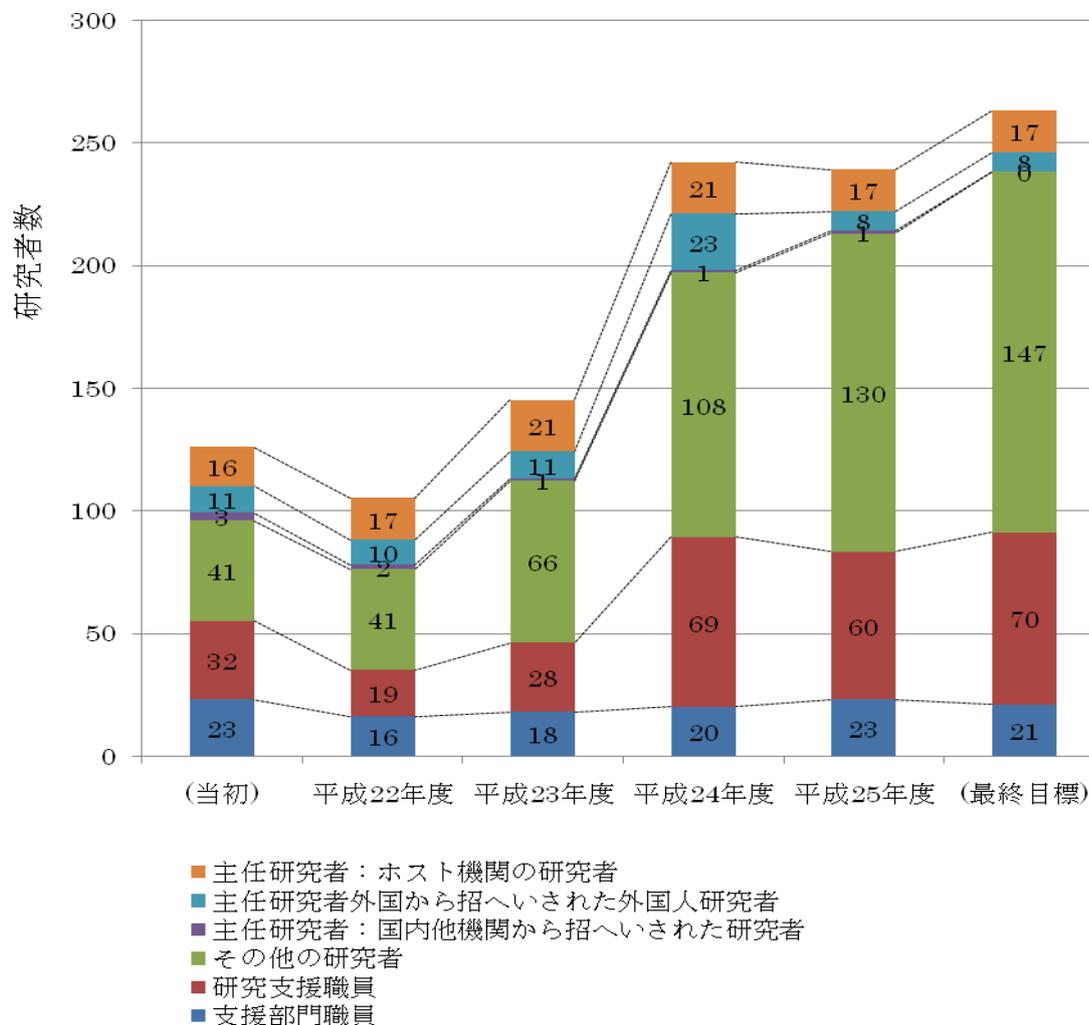
35. Organization of hydrophilic nanoparticles on a hydrogel surface and their gel-assisted transfer to solid substrates.
N. Kimizuka, S. Fujikawa, T. Kunitake
Adv. Mater. 1998, 10, 16, 1373-1376 (3 citations)
36. AFM observation of organogel nanostructures on graphite in the gel-assisted transfer technique.
N. Kimizuka, M. Shimizu, S. Fujikawa, K. Fujimura, M. Sano, T. Kunitake
Chem. Lett. 1998, 10, 967-968 (16 citations)
37. Protein assembly on solid surfaces by gel-assisted transfer (GAT) technique.
N. Kimizuka, S. Fujikawa, T. Kunitake
Chem. Lett. 1998, 8, 821-822 (2 citations)
38. Mesoscopic supramolecular assembly of a 'Janus' molecule and a melamine derivative via complementary hydrogen bonds.
N. Kimizuka, S. Fujikawa, H. Kuwahara, T. Kunitake, A. Marsh and J.-M. Lehn
J. Chem. Soc., Chem. Commun. 1995, 20, 2103-4 (52 citations)

(4) その他 (当該研究者が世界トップレベルと判断するに足る実績 等)

2. 「ホスト機関内に構築される中核」の研究者数

全体構成：

※発足時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。



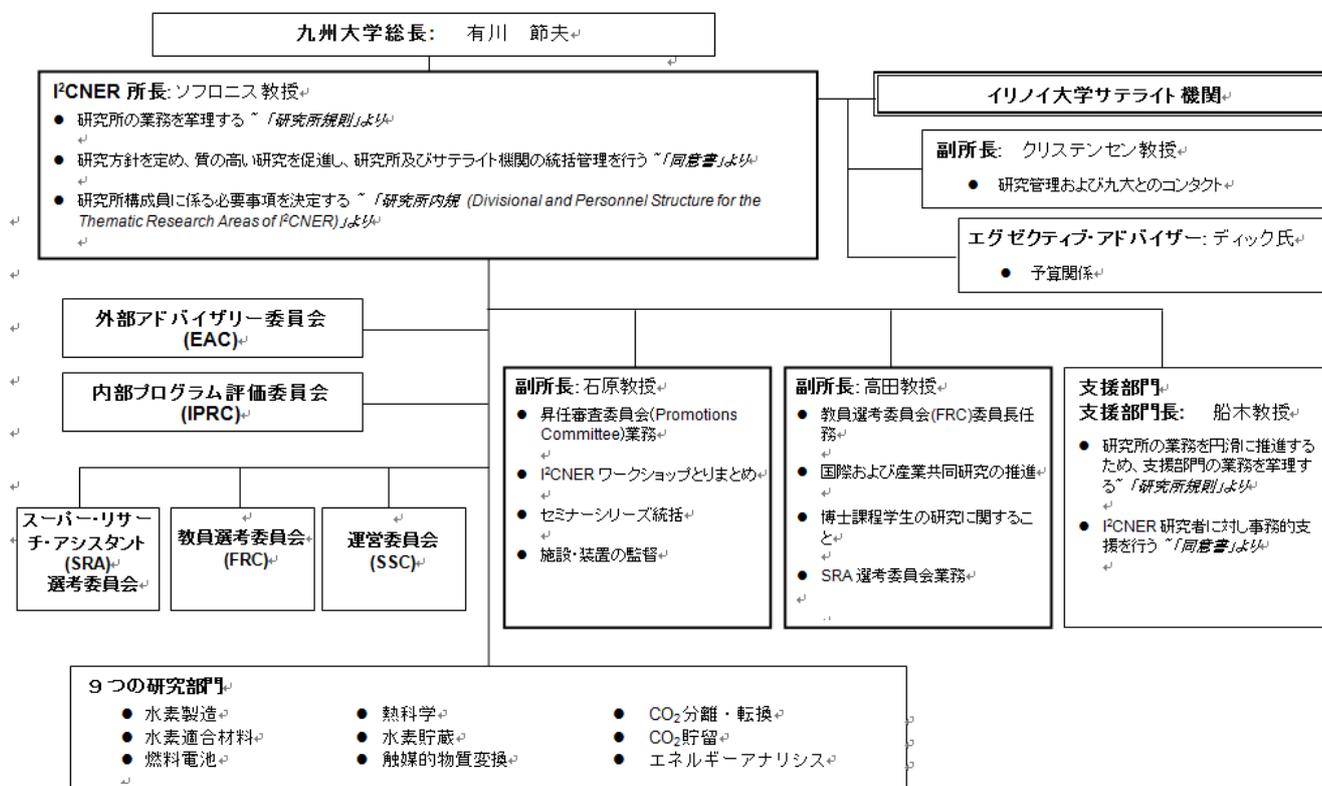
・最終目標に向けた具体的な計画や既に決定している主な研究者採用予定（特に主任研究者の場合）など、特記すべきことがあれば記載すること。

- ・ 本研究所の教員選考委員会(FRC)では、常駐の外国人主任研究者を雇用するため、大規模な募集活動を行った。1) 国際的な学術誌への広告掲載、2) イリノイ大学機械科学・工学部から教員候補者リストを入手、3) イリノイ大学が利用しているヘッドハンティング業者の検討、4) 全部門に候補者の推薦を要請、5) 「Faculty Fellows Program」の制定。本研究所はI²CNERに常駐する外国人P Iを募集するため最大限の努力を行った。
- ・ 平成26年5月1日付けで、1名のポスドク研究者を新しく雇用する予定。

3. 拠点の運営体制

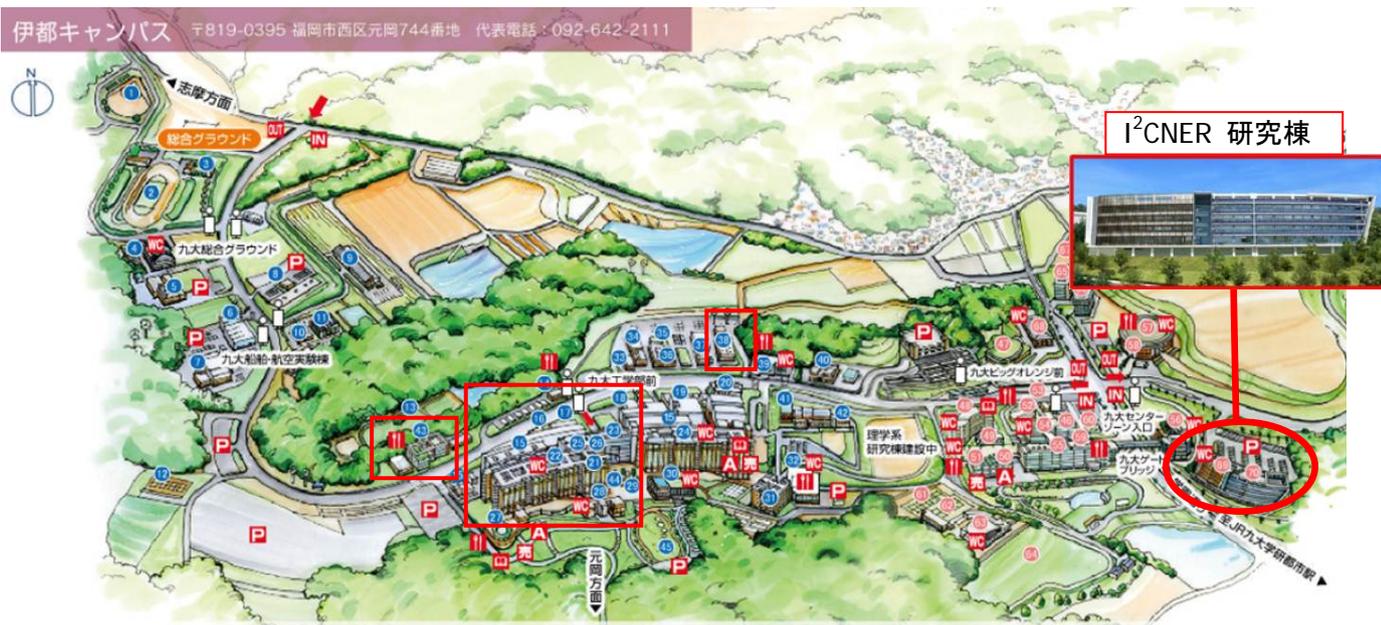
- 以下に拠点の運営体制をわかりやすく示した図を掲載すること。

I²CNER 組織図



4. 拠点施設配置図

・以下に拠点のキャンパス及びPI等の配置をわかりやすく示した図を掲載すること。



ウエストゾーン

- ① 野球場
- ② 陸上競技場
- ③ 弓道場
- ④ 課外活動施設Ⅱ
- ⑤ 加速器・ビーム応用科学センター(CE70)
- ⑥ 船舶海洋性能工学実験棟(EN80)
- ⑦ 先進航空宇宙工学実験棟(EN70)
- ⑧ 衛星通信実験棟(IE20)
- ⑨ アグリ・バイオ研究施設
- ⑩ 先端プロジェクト実験棟(CE80)
- ⑪ 次世代エネルギー実証施設
- ⑫ テニスコート
- ⑬ 生物多様性保全ゾーン
- ⑭ 九大あかでみつくらんたん
- ⑮ 工学系実験施設群
- ⑯ 工学系総合研究棟(コラボ・スペース)
- ⑰ 鉄鋼リサーチセンター(EN40)
- ⑱ 水素ステーション
- ⑲ 水素エネルギー国際研究センター(HY30)
- ⑳ 水素材料先端科学研究センター(HY10)
- ㉑ キャンパスライフ・健康支援センター(健康相談室、学生相談室)
- ㉒ ウェスト4号館
- ㉓ ウェスト3号館

- ㉔ ウェスト2号館
- ㉕ 工学系国際交流支援室
- ㉖ 外国人留学生・研究者サポートセンター
- ㉗ ビッグどら(食堂・喫茶・売店・書店)
- ㉘ 西講義棟
- ㉙ 石のアート QIAO(チャオ)
- ㉚ 総合学習プラザ
- ㉛ 数理学研究教育棟
- ㉜ マス・フォア・インターストリ研究所
- ㉝ 伊都図書館
- ㉞ 低温センター(伊都地区センター)(CE60)
- ㉟ 超伝導システム科学研究センター(CE50.51)
- ㊱ 循環型社会システム工学研究センター(CE40)
- ㊲ 東アジア環境研究機構(CE40)
- ㊳ 超高压電子顕微鏡棟(超顕微解析研究センター)(CE20.21)
- ㊴ 先導物質化学研究所(CE11)
- ㊵ 稲盛財団記念館(稲盛フロンティア研究センター)
- ㊶ エネルギーセンター
- ㊷ 学生支援施設
- ㊸ エコセンター
- ㊹ 最先端有機光エレクトロニクス研究センター(OPERA)
- ㊺ 工学部百周年記念展示室「CENTENNIAL GALLERY」
- ㊻ キャンパス・コモン

センターゾーン

- ㊼ 外国人留学生・研究者サポートセンター
- ㊽ 給水センター
- ㊾ 比較社会文化・言語文化研究教育棟
- ㊿ 比較社会文化学府等事務棟
- ① キャンパスライフ・健康支援センター(健康相談室、学生相談室)
- ② ビッグさんど(食堂・売店)
- ③ ビッグオレンジ(情報発信拠点)
- ④ 守衛所
- ⑤ センター1号館
- ⑥ センター2号館
- ⑦ センター3号館
- ⑧ 椎木講堂
- ⑨ 大学本部
- ⑩ 嚶鳴(おうめい)天空広場 Q-Commons
- ⑪ 山川健次郎初代総長胸像
- ⑫ テニスコート
- ⑬ 課外活動施設Ⅰ
- ⑭ 総合体育館
- ⑮ 多目的グラウンド
- ⑯ ドミトリー1(学生寄宿舍)
- ⑰ ドミトリー2(学生寄宿舍)
- ⑱ 伊都ゲストハウス
- ⑲ カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所(I²CNER)
- ⑳ 次世代燃料電池産学連携研究センター(NEXT-FC)

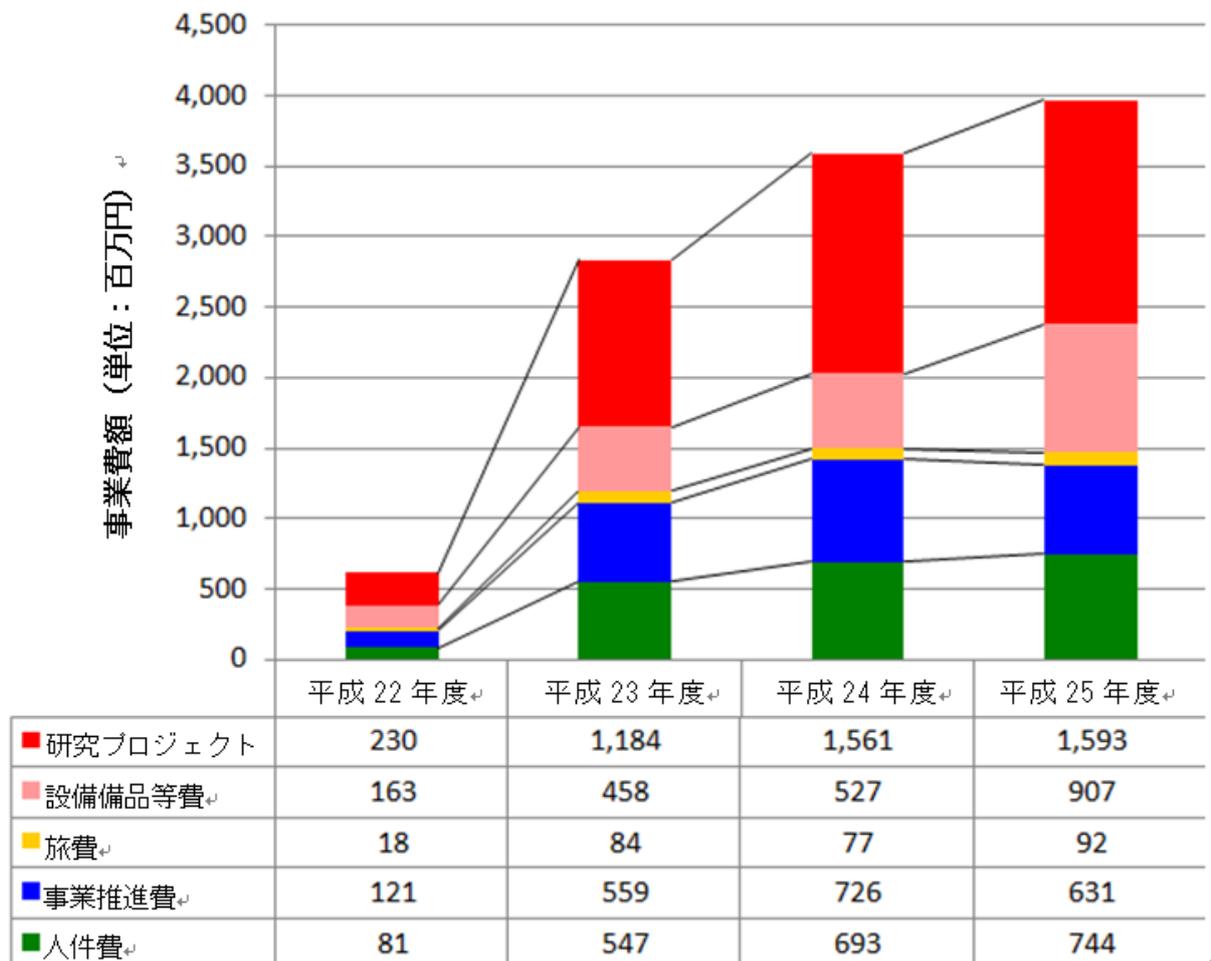
イーストゾ

- ⑳ 多目的グ

5. 事業費

5-1. 事業費額の推移

※拠点活動全体の事業費額の推移を棒グラフで表すこと。



- これまでの事業資金がどのような考え方で、どのような用途に供されたのかを以下に記述すること。

I²CNERでは、研究所内のポスドク研究者及び教員数を増やし、個人の研究資金では入手困難な共用の大型装置の購入に事業資金を供するよう努力している。事業費は、I²CNERの研究目標と国際的認知度の推進する範囲内で、事業推進費及び旅費に使われる。

5-2. 平成25年度 事業費（為替レート：1ドル=100円）

○拠点活動全体

（単位：百万円）

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、事務部門長	18
	・主任研究者 16人	205
	・その他研究者 74人	368
	・研究支援員 28人	57
	・事務職員 25人	96
	計	744
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 51人	9
	・人材派遣等経費 0人	0
	・スタートアップ経費 34人	46
	・サテライト運営経費 1ヶ所	201
	・国際シンポジウム経費 3回	4
	・施設等使用料	265
	・消耗品費	38
	・光熱水料	17
	・その他	51
	計	631
旅費	・国内旅費	17
	・外国旅費	46
	・招へい旅費 国内21人、外国40人	26
	・赴任旅費 国内1人、外国6人	3
	計	92
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	1
	・設備備品に係る減価償却費	906
	計	907
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	136
	・受託研究等による事業	634
	・科学研究費補助金等による事業	823
	計	1,593
合	計	3,967

（単位：百万円）

平成25年度WPI補助金額	1,334
平成25年度施設整備額	1
・施設の設置	0
・施設の修繕	0
・その他	1
平成25年度設備備品調達額	1,583
・核磁気共鳴スペクトルシステム 1台	90
・サーバー 2台	19
・その他	1,474

○サテライト等関連分

（単位：百万円）

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・主任研究者 2人	/
	・その他研究者 13人	
	・研究支援員 20人	
	・事務職員 4人	
	計	
事業推進費		38
旅費		18
設備備品等費		22
研究プロジェクト費		0
合	計	201

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

代表的な研究成果を裏付ける論文一覧

- ・「2. 拠点の研究活動」の「2-1. 研究成果」で挙げた代表的な研究成果[1]～[10]を裏付ける論文を挙げ（全部で40編以内）、それぞれについてその意義を10行以内で解説すること。
- ・それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。（記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない）なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。
- ・著者が多数（10名以上）の場合は、全著者名を記載する必要はない。

[1] 光触媒水電解

1. Lee, S., Apgar, B. A. and Martin, L. W. (2013), Strong visible-light absorption and hot-carrier injection in $\text{TiO}_2/\text{SrRuO}_3$ heterostructures, *Advanced Energy Materials*, 3 (8), 1084-1090.

光触媒への太陽光の利用効率を向上させるために、 TiO_2 とカップルした可視光の強い光吸収を最初に観測した。熱キャリアの注入によるデバイスは、従来の効率の制約を受けない。

本論文はエピタキシャル薄膜材料科学、固体物理、光電気化学に関連した内容である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882242626&partnerID=40&md5=384d3a9b5be3a6fa84d853f250c45149>

2. Apgar, B. A., Lee, S., Schroeder, L.E. and Martin, L. W. (2013), Enhanced photoelectrochemical activity in All-oxide heterojunction devices based on correlated "metallic" oxides, *Advanced Materials*, 25 (43), 6201-6206.

高性能太陽光触媒のための、光照射下での碑金属からなる低コスト酸化物を含む様々な材料の強い可視光吸収特性の帰属。本研究は現在申請している特許の原点となる。

この報告は電子伝導性材料物理、太陽光化学、材料科学に関連している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84888009876&partnerID=40&md5=c874e562865edd96d787cd7f780a0199>

3. Ida, S., Takashiba, A., Koga, S., Hagiwara, H. and Ishihara, T. (2014), Potential gradient and photocatalytic activity of an ultrathin p-n junction surface prepared with two-dimensional semiconducting nanocrystals, *Journal of the American Chemical Society*, 136 (5), 1872-1878.

酸化と還元反応を分離することを可能とする表面における電位勾配から生じる高活性をケルビンプローブ顕微鏡で観察したp-n ($\text{NiO}/\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$) および n-p ($\text{NiO}/\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$) ナノシート接合体の合成と解析。

この論文は原子レベルでの合成と解析に関係している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893718775&partnerID=40&md5=3e0960d08f82283db0bd03fd6597c7db>

[2] 有機発光デバイス (OLED)

4. Zhang, Q., Li, B., Huang, S., Nomura, H., Tanaka, H., and Adachi, C. (2014), Efficient blue organic light-emitting diodes employing thermally activated delayed fluorescence, *Nature Photonics*, 8 (4), 326-332.

現在用いられているもっとも高効率な量子効率で、蛍光OLEDに匹敵する金属を含まない青色発光が可能な有機ダイオードの最初の照明。発行するためにすべての励起種を用いることが可能な熱

遅延蛍光(TADF)による高い効率。

本論文はコンピュータモデルと設計、合成と解析を含んでいる。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897148279&partnerID=40&md5=58798adf95b21f9b5df87f066a2591c0>

5. Uoyama, H., Goushi, K., Shizu, K., Nomura, H. and Adachi, C. (2012), Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence, *Nature*, 492 (7428), 234-238.

90%以上の固有効率と発光のために一重項と三重項エキシトンの移行を実現する非発光三重項から一重項発光を可能とする新しい金属を含まないエレクトロルミネッセンス分子群。

本論文はコンピュータモデルと設計、合成と解析を含んでいる。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871027786&partnerID=40&md5=2d2b356d17025d976b00c822254b7310>

[3] 燃料電池自動車および水素の定置式貯蔵のための水素貯蔵材料および高圧ねじり加工 (HPT) 法を用いた水素貯蔵材料の開発

6. Matsuda, J. and Akiba, E. (2013), Lattice defects in V-Ti BCC alloys before and after hydrogenation, *Journal of Alloys and Compounds*, 581, 369-372.

透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて、Ti-V BCC合金のTi/V比が微細構造と水素化/脱水素化に及ぼす影響を調べた。Tiの比率が上昇すると有効水素吸蔵量が減少すると共に双晶界面の密度が減少した。これは、水素化の際に発生した双晶界面が水素のトラップサイトとして働き、これらの合金の水素放出の抵抗が増すものと考えられる。

この論文は物質科学、微細構造評価および結晶学を融合した成果である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881180517&partnerID=40&md5=79d7887cb5952ff507a1638c61e118d4>

7. He, L., Li, H.-W., Hwang, S.-J. and Akiba, E. (2014), Facile Solvent-Free Synthesis of Anhydrous Alkali Metal Dodecaborate $M_2B_{12}H_{12}$ ($M = Li, Na, K$), *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (12), 6084-6089.

金属ボロハイドライド、 $M(BH_4)_n$ 、は水素吸蔵量が10質量%以上である。しかし、現状では反応速度と水素放出温度が大きな実用化への障壁となっている。この系の熱力学および反応速度論的特性の検討と改善のために、当部門では金属ボロハイドライドの脱水素化および再水素化機構を明らかにするために極めて重要な様々な種類の脱水素化反応中間体 (例: $[B_3H_8]^-$, $[B_5H_9]^{2-}$) の合成に用いられる無溶媒の合成法を開発した。

この論文は物質合成、物質化学および熱力学を融合した成果である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897462763&partnerID=40&md5=a4dd50bfdee0ddf1de79de39cb91118b>

8. Edalati, K., Matsuda, J., Iwaoka, H., Toh, S., Akiba, E. and Horita, Z. (2013), High-pressure torsion of TiFe intermetallics for activation of hydrogen storage at room temperature with heterogeneous nanostructure, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (11), 4622-4627.

高圧ねじり加工 (HPT) 後のTiFeはHPTを行わないTiFeでは必要とされる高温および高圧水素下の活性化無しに直ちに水素を吸蔵する。更に、TiおよびFeは容易に酸化されるにもかかわらず、数回の水素吸蔵放出を繰り返した後に二、三ヶ月空气中に暴露したにもかかわらずHPTしたTiFeは活性化処理無しに水素と直ちに反応した。

この論文は物質科学、機械工学および金属工学を融合した成果である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84875365667&partnerID=40&md5=c12318e3c69d62237f20bcd8a421a3d4>

9. Edalati, K., Matsuda, J., Arita, M., Daio, T., Akiba, E. and Horita, Z. (2013), Mechanism of activation of TiFe intermetallics for hydrogen storage by severe plastic deformation using high-pressure torsion, *Applied Physics Letters*, 103 (14), 143902.

高圧ねじり加工（HPT）によって生成したFeが多い島状組織が水素の解離の触媒として働き、ミクロクラックおよびナノ結晶粒界が水素移動の経路として機能し、そして恐らく転位が水素化物生成のサイトとなると考えられる。

この論文は物質合成、物質科学、機械工学、表面科学、および活性化機構を調べるための評価手法を融合した成果である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885648001&partnerID=40&md5=3b33eddc6dfef3e2f7384330e560773>

[4] 代替触媒

10. Fujigaya, T. and Nakashima, N. (2013), Fuel Cell Electrocatalyst Using Polybenzimidazole-Modified Carbon Nanotubes As Support Materials, *Advanced Materials*, 25 (12), 1666-1681.

ポリベンズイミダゾールで修飾したカーボンナノチューブを用いる燃料電池電極触媒開発について最近の研究動向をまとめた総説

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84875145062&partnerID=40&md5=579329e8cccd1037531ef29862b53bd8>

11. Fujigaya, T., Okamoto, M., Matsumoto, K., Kaneko, K. and Nakashima, N. (2013), Interfacial engineering of platinum catalyst for fuel cells: Methanol oxidation is dramatically improved by polymer coating on a platinum catalyst, *ChemCatChem*, 5 (7), 1701-1704.

本論文では多層カーボンナノチューブ上に担持された白金触媒をピリジン基含有ポリベンズイミダゾールで被覆することでメタノール酸化活性が向上することを報告した。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84879708611&partnerID=40&md5=4d8660fb0c33156f385205fa659100f4>

12. Berber, M. R., Fujigaya, T. and Nakashima, N. (2014), High-Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cell Using Poly(vinylphosphonic acid) as an Electrolyte Shows a Remarkable Durability, *ChemCatChem*, 6 (2), 567-571.

ポリビニルホスホン酸でドーブしたポリベンズイミダゾールを電解質、カーボンブラックを導電性担持体、白金ナノ粒子を触媒とした新規電極触媒系において、リン酸の漏出が抑制されることで耐久性が向上することを見出した。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893320110&partnerID=40&md5=5687a8c162ca7b371dc1c74dd5e922b9>

13. Fujigaya, T., Hirata, S. and Nakashima, N. (2014), A Highly-Durable Fuel Cell Electrocatalyst Based on Polybenzimidazole-coated Stacked Graphene, *Journal of Materials Chemistry A*, 2 (11), 3888-3893.

グラフェンは高い電気伝導性と大きな比表面積と優れた機械的強度を持つため多様な用途に注目されている。数層グラフェンにポリベンズイミダゾールを被覆することで白金ナノ粒子の担持が可能となり高耐久な電極触媒として機能することを見出した。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894432385&partnerID=40&md5=a67a1bc1fd8ffd87498b393c43e5a952>

14. Fujigaya, T., Kim, C., Matsumoto, K. and Nakashima, N. (2014), Palladium-based Anion-exchange

Membrane Fuel Cell using KOH-doped Polybenzimidazole as the Electrolyte, *ChemPlusChem*, 79 (3), 400-405.

アニオン交換膜を用いた燃料電池は発電の律速反応となる酸素還元には白金を使用する必要がなく、低コスト化が可能であることから注目されている。本研究では多層カーボンナノチューブに被覆したポリベンズイミダゾールに水酸化カリウムをドーピングすることでアニオン伝導性を付与し、パラジウムを触媒としたアニオン伝導性燃料電池を構築した。負荷試験の結果、241mWcm⁻²という非常に大きな出力密度を示した。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84896367096&partnerID=40&md5=ebbad1161d456ae953de3aa1cd86d62b>

15. Berber, M. R., Fujigaya, T., Sasaki, K. and Nakashima, N. (2013), Remarkably Durable High Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cell Based on Poly(vinylphosphonic acid)-doped Polybenzimidazole, *Scientific Reports*, 3, 1764.

本論文では酸漏出を抑制した中温無加湿用燃料電池を開発し、耐久性試験において40万サイクルを超える高い耐久性を示すことを見出した。ここではポリビニルホスホン酸をドーピングしたポリベンズイミダゾールを被覆したカーボンナノチューブを用いている。このような高性能燃料電池は次世代の中温用燃料電池実用化に先鞭を付けた。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878642649&partnerID=40&md5=881c8fdf33b3b3be6eb14eafe338f2c5>

16. Fujigaya, T., Kim, C., Matsumoto, K. and Nakashima, N. (2013), Effective Anchoring of Pt-Nanoparticles onto Sulfonated Polyelectrolyte-Wrapped Carbon Nanotubes for Use as a Fuel Cell Electrocatalyst, *Polymer Journal*, 45 (3), 326-330.

スルホン化ポリアリレンチオエーテルスルホンとスルホン化ポリイミドが白金ナノ粒子をカーボンナノチューブ上に固定化するアンカーとして作用することを見出した。疎水性のポリチオエーテルスルホン部がカーボンナノチューブへの吸着を担い、スルホン化部が白金担持に寄与することを解明した。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874599521&partnerID=40&md5=a435cc0c4606e091851ec6cddb8009d3>

17. Liu, J., Takeshi, D., Orejon, D., Sasaki, K. and Lyth, S. M. (2014), Defective Nitrogen-Doped Graphene Foam: A Metal-Free, Non-Precious Electrocatalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Acid, *Journal of the Electrochemical Society*, 161 (4), F544-F550.

PEFCのカソード材料として期待されている白金フリー触媒もしくは非白金系触媒は、PEFC電極材料のメインピックとして広く研究がなされている。本研究では、広い表面積を有する窒素を含有したグラフェンフォームを金属フリー触媒のモデルとして合成した。本研究の目的は、その減少が明確に理解されていない鉄/窒素/炭素系触媒の酸素還元反応のメカニズムを明らかにすることである。結果から、窒素含有グラフェンフォームは、鉄が含まれない酸溶液中で白金系触媒と同様に4電子反応により酸素還元反応が起こることが確認された。現在、これらの触媒は高温（120℃）への応用に向け研究中である。

本研究は、材料合成、有機化学、ナノテクノロジー、先端分析技術、電気化学を組み合わせることにより進められた。

http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=U1vBU4jc4mqGWfmlsdi&page=1&doc=1

[5] SOFCにおける化学的な材料膨張現象の解明と低膨張材料の開発

18. Marrocchelli, D., Bishop, S. R., Tuller, H. L. and Yildiz, B. (2012), Understanding chemical expansion in non-stoichiometric oxides: ceria and zirconia case studies, *Advanced Functional Materials*, 22 (9), 1958-1965.

燃料電池でもっぱら用いられる酸化物における化学的膨張は、実験的証拠に基づいた原子レベル数値解析によって、初めて明らかにされる。本論文では、燃料電池の寿命耐久性を化学的膨張の抑制により改良するための基礎的研究成果について示している。

本論文は、実験と理論に基づく熱力学的材料科学、セラミック構造変形、結晶学、計算材料科学を基に示している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84860711946&partnerID=40&md5=614ce74dc908f4b1414145b7bfe0727d>

19. Marrocchelli, D., Bishop, S. R. and Kilner J. A. (2013), Chemical expansion and its dependence on the host cation radius, *Journal of Materials Chemistry A*, 1 (26), 7673-7680.

燃料電池に使用される蛍石構造を有する酸化物の化学的膨張に関して、解析によりホストのカチオンサイズとの関係が明らかとなった。化学的膨張の新しい抑制手法について仮説を考案し、実験的に評価した結果を論文中で示している。

本論文は、熱力学的材料科学、セラミック構造変形、結晶学、計算材料科学を基に示している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880061122&partnerID=40&md5=8db048e864a85b0be51aa79c691c0066>

20. Bishop, S. R., Marrocchelli, D., Fang, W., Ameszawa, K., Yashiro, K. and Watson, G. W. (2013), Reducing the chemical expansion coefficient in ceria by addition of zirconia, *Energy and Environmental Science*, 6 (4), 1142-1146.

本論文は化学的膨張を抑制、制御することを目指した等価ドーピングによる酸素空孔サイズ調整のデモンストレーション結果である。ここで示された結果は燃料電池の機械的耐久性を改善に長寿命化に資すると考えられる。

本論文は、熱力学的材料科学、セラミック構造変形、結晶学、計算材料科学を基に示している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84875659290&partnerID=40&md5=2b48088a6a6260463a01801a45b91eac>

21. Bishop, S. R., Marrocchelli, D., Chatzichristodoulou, C., Perry, N. H., Mogensen, M. B., Tuller, H. L. and Wachsman, E. D., Chemical Expansion: Implications for Electrochemical Energy Storage and Conversion Devices, *Annual Review of Materials Research*, Accepted for Publication/Online.

エネルギー技術分野における材料の化学的膨張に関するレビューであり、関連分野の化学的力学的相関についてカバーしている。

<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-matsci-070813-113329>
(Abstract only)

[6] 蒸発と動的濡れの相互作用

22. Fukuda, S., Kohno, M., Tagashira, K., Ishihara, N., Hidaka, S. and Takata, Y. (2014) Behavior of small droplet impinging on a hot surface, *Heat Transfer Engineering*, 35 (2) 204-211.

高温面への微小液滴の衝突は、種々の産業プロセスにおける相変化現象の基本プロセスである。しかしながら、噴霧液滴の衝突速度、直径などのパラメータが及ぼす影響は解明されていない。その理由は従来の実験系がそれらのパラメータを独立に制御できるようになっていなかったからである。本研究では衝突速度、液滴直径、流量を独立に制御可能な実験装置を開発し、同装置を用いて高温面から個々の液滴への伝熱特性を得た。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84884640028&partnerID=40&md5=564952b183f46d20929a2a9c6cc086e0>

23. Deendarlianto, Takata, Y., Hidaka, S., Indarto, Widyaparaga, A., Kamal, S., Purnomo and Kohno, M. (2014), Effect of static contact angle on the droplet dynamics during the evaporation of a water droplet on the hot walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 691-705.

本論文では、濡れ限界温度に及ぼす表面濡れ性の影響を調べた。我々は酸化チタンを用いることで、紫外線のオンオフのみによって表面の濡れ性を変化させることに成功した。そして表面の濡れ性は、高温面上の液滴の濡れ限界温度と濡れ広がり直径を増加させることを明らかにした。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893177376&partnerID=40&md5=6377ff7881e62d660716480b2bb6f8d2>

24. Sefiane, K., Fukatani, Y., Takata, Y. and Kim, J. (2013), Thermal Patters and Hydrothermal Waves (HTWs) in Volatile Drops, *Langmuir*, 29 (31), 9750-9760.

高速赤外カメラを用いて、加熱面上の揮発性液滴の蒸発過程とその内部に発生する Hydrothermal Wave (HTW) の観察を行った。本計測のために開発した手法は、種々の相変化プロセスに対する熱伝達の機構と分布に適用可能である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881444255&partnerID=40&md5=deb4e040a452ec61419608a175675e53>

[7] 生物学的な水素の扱い方：水素を酸化するニッケル・鉄ヒドロゲナーゼの活性中心の初めての合成的模倣

25. Ogo, S., Ichikawa, K., Kishima, T., Matsumoto, T., Nakai, H., Kusaka, K. and Ohhara, T. (2013), A Functional [NiFe]Hydrogenase Mimic That Catalyzes Electron and Hydride Transfer from H₂, *Science*, 339 (6120), 682-684.

この論文では、NiFeヒドロゲナーゼ酵素の[NiFe]-ベースの機能モデル錯体を報告する。この錯体は、水素をヘテロリティックに活性化し、ヒドリド錯体を形成する。

この論文は、生物無機化学、生化学、及び錯体化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84873509989&partnerID=40&md5=d789830de1c6bd2751fe28e504d63c2c>

26. Inoki, D., Matsumoto, T., Nakai, H. and Ogo, S. (2013), Isolation and Crystal Structure of the Proposed Low-Valent Active Species in the H₂ Activation Catalytic Cycle, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2013 (22-23), 3978-3986.

このレポートは、新しい触媒を構築することによって、水素活性化触媒サイクルにおける我々の設計原理を確認するものである。

この論文は、生物無機化学、錯体化学、及び生化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84886530957&partnerID=40&md5=f53e4479839ffb9d3155f729daa60ce8>

27. Matsumoto, T., Nagahama, T., Cho, J., Hizume, T., Suzuki, M. and Ogo, S. (2011), Preparation and Reactivity of a Nickel Dihydride Complex, *Angewandte Chemie - International Edition*, 50 (45), 10578-10580.

二核八面体構造のビス(μ-ヒドリド)ニッケル(II)錯体は、メチルビオロゲンのような電子受容体を還元する電子供与体として機能する。この錯体は、ニッケル・ルテニウムヒドロゲナーゼ、拡張すれば、ニッケル・鉄ヒドロゲナーゼそれ自体のジヒドリド中間体の機能モデルとして提案される。

この論文は、生物無機化学、生化学、及び錯体化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80155214281&partnerID=40&md5=6dc89d3a0e>

[be02f052d19bd991bc881c](https://doi.org/10.1002/anie.201101120)

28. Matsumoto, T., Kim, K. and Ogo, S. (2011), Molecular Catalysis in a Fuel Cell, *Angewandte Chemie - International Edition*, 50 (47), 11202-11205.

ニッケル・鉄ヒドロゲナーゼ模倣化合物を用いる単一分子触媒に基づいた初めての分子燃料電池が構築された。この触媒は固体と溶液の両方で機能できる。溶液相では、水素酸化触媒反応のメカニズムを正確に観測することができる。また、この触媒は酸素還元反応の活性も有している。

この論文は、生物無機化学、錯体化学、及び電気化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-81255179172&partnerID=40&md5=c7c2072e2d27761e4b088ce8772fff65>

[8] 微量の酸素を含む水素ガス中での疲労き裂進展に及ぼす影響因子の解明

29. Somerday, B. P., Sofronis, P., Nibur, K.A., San Marchi, C. and Kirchheim, R. (2013), Elucidating the Variables Affecting Accelerated Fatigue Crack Growth of Steels in Hydrogen Gas with Low Oxygen Concentrations, *Acta Materialia*, 61 (16), 6153-6170.

構造用合金の水素ガス中における疲労き裂進展速度を、ガス中の酸素量、負荷周波数、平均応力などを世界で初めて系統的に変えて測定した研究である。また、これらの変数が、微量酸素を含む水素ガス中でのX52鋼のき裂進展の加速開始にどのように影響するかを正確に表す解析モデルも開発された。これは、水素によって加速される疲労き裂進展に及ぼす酸素の影響を定量的に予測可能な唯一のモデルである。

本論文は材料科学、材料物理、および固体力学の分野を横断した内容である

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882816876&partnerID=40&md5=af58abae5cf99750b5e03db5a485c37b>

30. Staykov, A., Yamabe, J. and Somerday, B. P. (2014), Effect of Hydrogen Gas Impurities on the Hydrogen Dissociation on Iron Surface, *International Journal of Quantum Chemistry*, 114 (10), 626-635.

この研究は、鋼への水素侵入におよぼす酸素の防止効果の基本メカニズムを明確にした第一原理計算である。本研究により、1) ガス分子と鉄表面との引力は水素より酸素のほうが強いため、酸素が表面の吸着サイトを占めること、2) 電気陰性度の高い酸素はその近傍に電子密度を集中させるため、鉄表面に吸着した酸素は表面上での水素分子の分解を阻止する効果を高めること、などが見出された。従来、水素分子の分解に及ぼす酸素の防止効果は触媒に関して認識されていたが、その作用とともに酸素が水素侵入を阻害することはこれまで示されたことはなかった。

本論文は計算化学と実験材料科学の分野を横断した内容である

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897572950&partnerID=40&md5=0fe642e9be988ed00ea5160dbcd0d8b4>

[9] 自己支持性ナノ膜によるガス分離とその選択的CO₂ 透過メカニズムの解明

31. Taniguchi, I., Duan, S., Kai, T., Kazama, S. and Jinnai, H. (2013), Effect of phase-separated structure on CO₂ separation performance of poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene glycol) network, *Journal of Materials Chemistry A*, 1 (46), 14514-14523.

ポリアミドアミン dendrimer (PAMAM) が、ポリエチレングリコール膜マトリックス内で相分離構造を形成していることが3次元トモグラフィ電子顕微鏡により明らかとなった。このPAMAM層は膜内部で連続かつ膜貫通様にネットワークを形成しており、これが膜を介したCO₂ 選択的透過のパスとして働いている。

この論文は、高分子材料科学と化学工学そして最新の電子顕微鏡技術という異なる分野を融合するものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887218342&partnerID=40&md5=6f4d7b34b83e220aa9cd7196f42360a2>

32. Taniguchi, I., Urai, H., Kai, T., Duan, S. and Kazama, S. (2013), A CO₂-selective molecular gate of Poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene glycol) network, *Journal of Membrane Science*, 444, 96-100.

ポリエチレングリコール膜にポリアミドアミン (PAMAM) が固定化された高分子膜は、より分子サイズの小さなH₂ よりも高いCO₂ 選択透過性をしめした。CO₂ の選択透過メカニズムがNMRによって解明された。

この論文は、高分子材料科学と分析化学そして化学工学という異なる分野を融合するものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878830450&partnerID=40&md5=d62c9b0cc052d43d7b98e5f34dd9ba15>

[10] 圧入 CO₂ の挙動とトラッピングに関するシミュレーション研究と、地震波速度から貯留CO₂ 量の推定

33. Jiang, F., Tsuji, T. and Hu, C., Elucidating the role of interfacial tension for hydrological properties of two-phase flow in natural sandstone by an improved lattice Boltzmann method, *Transport in Porous Media*, doi: 10.1007/s11242-014-0329-0, Accepted for publication.

格子ボルツマン法のシミュレーションを、巨大な岩石間隙モデルに適用し、不均質な地層内での多層流挙動 (CO₂ と水の挙動) を明らかにした。この結果から界面張力が、相対浸透率や、CO₂ の残留トラッピングに強い影響を与えていることが明らかとなった。貯留層スケールのCO₂ の挙動を推定する貯留層シミュレーションでは、残留トラッピングの効果を考慮する必要がある。この成果は、その残留トラッピングのモデル化と貯留層シミュレーションへの導入の点で、重要な情報を提供する。

この論文は、流体力学、地質学、計算科学の融合によって、得られた成果である。

34. Jiang, F. and Tsuji, T., Evolution of Pore-geometry and Relative Permeability due to Carbonate Precipitation in Porous Media, *Physical Review E*, Reviewed and a moderate revision has been requested.

多層流の挙動と化学反応を統合した画期的な格子ボルツマン法のシミュレーションスキームを開発し、不均質な地層内でのカーボネートの鉱物化をモデル化することに成功した。この計算結果から、鉱物化に伴う間隙形状の変化は、地層水の挙動よりも、CO₂ の挙動に強い影響を与えることが明らかとなった。

この論文は、流体力学、地質学、計算科学の融合によって、得られた成果である。

35. Kitamura, K., Xue, Z., Kogure, T. and Nishizawa, O. (2014), The potential of Vs and Vp-Vs relation for the monitoring of the change of CO₂-saturation in porous sandstone, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 25, 54-61.

P波速度とCO₂ の飽和度の関係はヒステリシスを持つことを明らかにした。貯留層内でのCO₂ の飽和度は、P波速度から推定するのが一般的であるが、この方法ではヒステリシスによって精度よくCO₂ 飽和度を推定できない可能性がある。そこで本研究では、このヒステリシスの問題を克服するために、P波速度とS波速度の両方を使う方法を提案した。

この論文は、地質学、地震学、流体力学の融合によって、得られた成果である。

http://ac.els-cdn.com/S1750583614000814/1-s2.0-S1750583614000814-main.pdf?_tid=7e973a3a-db

[41-11e3-b8aa-00000aab0f01&acdnat=1400056192_dc664a0ab72fb17d469730c66ca01876](https://doi.org/10.1111/1365-2466.12176)

36. Kamei, R., Pratt, G. and Tsuji, T. (2013), On acoustic waveform tomography of wide-angle OBS data - Strategies for preconditioning and inversion, *Geophysical Journal International*, 194 (2), 1250-1280,

深部貯留層の地震波速度を高い解像度で推定するために、新しい波形トモグラフィの手法を開発した。今回開発した手法により、これまでの方法（走時トモグラフィ）に比べて、5倍程度も解像度の高い弾性波速度の推定することが可能となった。この方法は、不均質な貯留層を正確にモデル化する上で、革新的な手法であると考えられる。

この論文は、地球物理学、数学、計算科学の融合によって、得られた成果である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880283984&partnerID=40&md5=e26bd24f8b9601f88c847f42b287bc44>

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

国内外共同研究協定締結一覧

1. 協定の相手方：

- ・英国 QICSプロジェクトコンソーシアム（プリマス海洋研究所、英国地質調査所、ヘリオット・ワット大学、英国国立海洋学センター、スコットランド海洋科学協会、エディンバラ大学及びサウサンプトン大学）
- ・電力中央研究所（日本）
- ・日本エヌ・ユー・エス株式会社（日本）
- ・独立行政法人産業技術総合研究所（日本）
- ・公益財団法人地球環境産業技術研究機構（日本）
- ・東京大学（日本）

協定の名称：

- ・QICSプロジェクトにおける、英国と日本の連携了解覚書

締結時期：

- ・2012年4月27日

協定の概要

- ・海洋生態系において、沖合CO₂貯留層からの漏出による潜在的影響に対する理解を深めるため、英国資金によるプロジェクト、“Quantifying and Monitoring Potential Ecosystem Impacts of Geological Carbon Storage”(QICS)において、英国の計画的課題と日本の補完的課題に相乗作用を与える事で、関係者が協力する。

2. 協定の相手方：

- ・ノルウェー科学技術大学 (NTNU)

協定の名称：

- ・九州大学・カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所とノルウェー科学技術大学 (NTNU) 間の覚書

締結時期：

- ・2014年3月17日

協定の概要

- ・本覚書の目的は研究・教育においてさらなる協力を促進することであり、学生・教職員の派遣、共同研究活動及び出版物、セミナー及び学会への参加、学術的資料・出版物の交換及び特別短期課程の交流を含む。

3. 協定の相手方：

- ・ECOSTORE加入団体（独国・Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung

社 (HZG)、ノルウェー・エネルギー技術研究所(IFE)、デンマーク・オーフス大学(AU)、イタリア・トリノ大学(UNITO)、フランス・国立科学研究センター(CNRS)、英国・バーミンガム大学(UoB)、スイス・ジュネーヴ大学(UNIGE)、独国・ヴェストファーレン・ヴィルヘルム大学(WWU)、ギリシャ・科学研究デモクリトス国立センター(NCSR)、独国・Zoz社(ZOZ)、独国SAFT SAS (SAFT)そして独国ロックウッドリチウム社(ROLI)等)

- ・東北大学

協定の名称：

- ・FP7イニシャルトレーニングネットワークECOSTORE “Novel complex metal hydrides for efficient and compact storage of renewable energy as hydrogen and electricity”に係るコンソーシアム協定

締結時期

- ・2013年10月1日

協定の概要

- ・本コンソーシアム協定は、プロジェクト“Novel complex metal hydrides for efficient and compact storage of renewable energy as hydrogen and electricity”(ECOSTORE)に関して、当事者間の研究組織、本プロジェクトのマネジメント及びとりわけ不利益になるものに関する関係者の権利と義務、アクセス権、そして本プロジェクトに関する紛争解決に関し、関係者間の関係を規定することを目的とする。

4. 協定の相手方

- ・米国カリフォルニア大学アーバイン校国立燃料電池研究センター

協定の名称

- ・米国カリフォルニア大学アーバイン校国立燃料電池研究センターと九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所間の学術交流及び連携のための協定

締結時期

- ・2013年12月31日

協定の概要

- ・本協定は、科学の実用的応用への橋渡しを目的としており、I²CNERが科学に、NFCRCが実用的応用に取り組むことを特徴とする。NFCRCは実用的応用への「展開」を行うことで、I²CNERのミッションを補完/援助できるようになる。NFCRCの具体的な役割はI²CNERのエネルギー分析エフォートへの直接的な支援、「燃料電池システム」と「エネルギーシステム」の分析を通じた直接的な支援、そして水素燃料インフラ設備と関連するプランニング手法において直接的な支援を提供する。共通目標は、両者の持続的且つ永続的対話、基本的且つ実用的研究、及び教育的協力の促進とする。

5. 協定の相手方

- ・ 米国カリフォルニア州大気リソース委員会 (CARB)

協定の名称

- ・ 基本合意書

締結時期

- ・ 審理中

協定の概要

- ・ 本協定は、I²CNER及びCARBの活動、目標、政策について相互認識を築くことを目的とする。加えて、コミュニケーションを円滑にするために、各当事者の「連絡窓口」を特定する。I²CNERはCARBにマスターロードマップを提供し、CARBはカリフォルニア州の目標ととりわけ関係してくるであろうI²CNER活動を確認する。CARBは、「実行可能な」技術を2035年の目標に、「夢の」技術を2050年の目標とすることをI²CNERに既に提案している。これらの活動を通して、(1)CARBは先端技術研究における日本の投資及び検討中の科学技術の形態に精通するようになり、(2)I²CNERはカリフォルニア州が最新の技術、エネルギー効率、そして保全対策の展開に取り組み、加速するために、世界をリードし実行している政策と規則の形態に精通するようになる。

6. 協定の相手方

- ・ 米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校

協定の名称

- ・ 九州大学と米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校における学術連携協定

締結時期

- ・ 審理中

協定の概要

- ・ 本協定は、公正且つ互恵に基づき、科学的、学術的及び教育的な協力を発展させ、九州大学とイリノイ大学間の関係と相互理解を深めることを目的とする。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

主な賞の受賞・招待講演・基調講演等一覧

1. 主要な賞の受賞

- ・既に受賞したあるいは内定しているもの（国際的に認知されている賞）について新しいものから順に記載すること
- ・それぞれの受賞について、受賞者名、賞の名前、受賞年を記すこと。なお、共同受賞の場合には、拠点関係者に下線を記すこと

1. 古山通久、平成26年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」、2014年
2. Robert O. Ritchie、デビッドターンブル賞、Materials Research Society、2013年
3. 迫田直也、第10回アジア熱物性会議 “Young Scientist Award”、2013年
4. 辻健、日本物理探査学会奨励賞、2013年
5. 津田和人、安谷屋佳祐、小林直也、進藤孝介、高木貴大、永松洋平、高田将、豊福泰大、Liana Christiani、馬場伸吾、三好航太、平田恭平、“Development of A Hydrogen Production and Fueling Infrastructure in the Northeastern United States.”最優秀賞, 2012-2013 Hydrogen Student Design Contest, Hydrogen Education Foundation、2013年
6. 高原淳、日本レオロジー学会学会賞、2013年
7. 小江誠司、平成25年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞」（研究部門）、2013年
8. 堀田善治、第14回日本金属学会学術功労賞、2013年
9. 安達千波矢、有機EL討論会第6回業績賞、2013年
10. 小江誠司、日本化学会第30回学術賞、2013年
11. Harry L. Tuller、ヘルムホルツ・インターナショナル・フェロー・アワード、2013年
12. John A. Kilner, Institute of Materials, Minerals and Mining Platinum Award for “Outstanding contributions to materials science”、2012年
13. 石原達己、John A. Kilner、Harry L. Tuller、2012年度 Somiya Award、2012年
14. Sean R. Bishop, Young Scientist Gold Award for an oral presentation at the International Union of Materials Research Societies - International Conference on Electronic Materials, Yokohama, Japan, 2012年
15. 高原淳、第9回産学官連携功労者表彰（経済産業大臣賞）、2011年
16. Ian Robertson、Petros Sofronis、US Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Research and Development Award, “in recognition of outstanding contributions to the understanding of hydrogen embrittlement,” 2011年
17. 堀田善治、平成23年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞」（研究部門）、2011年

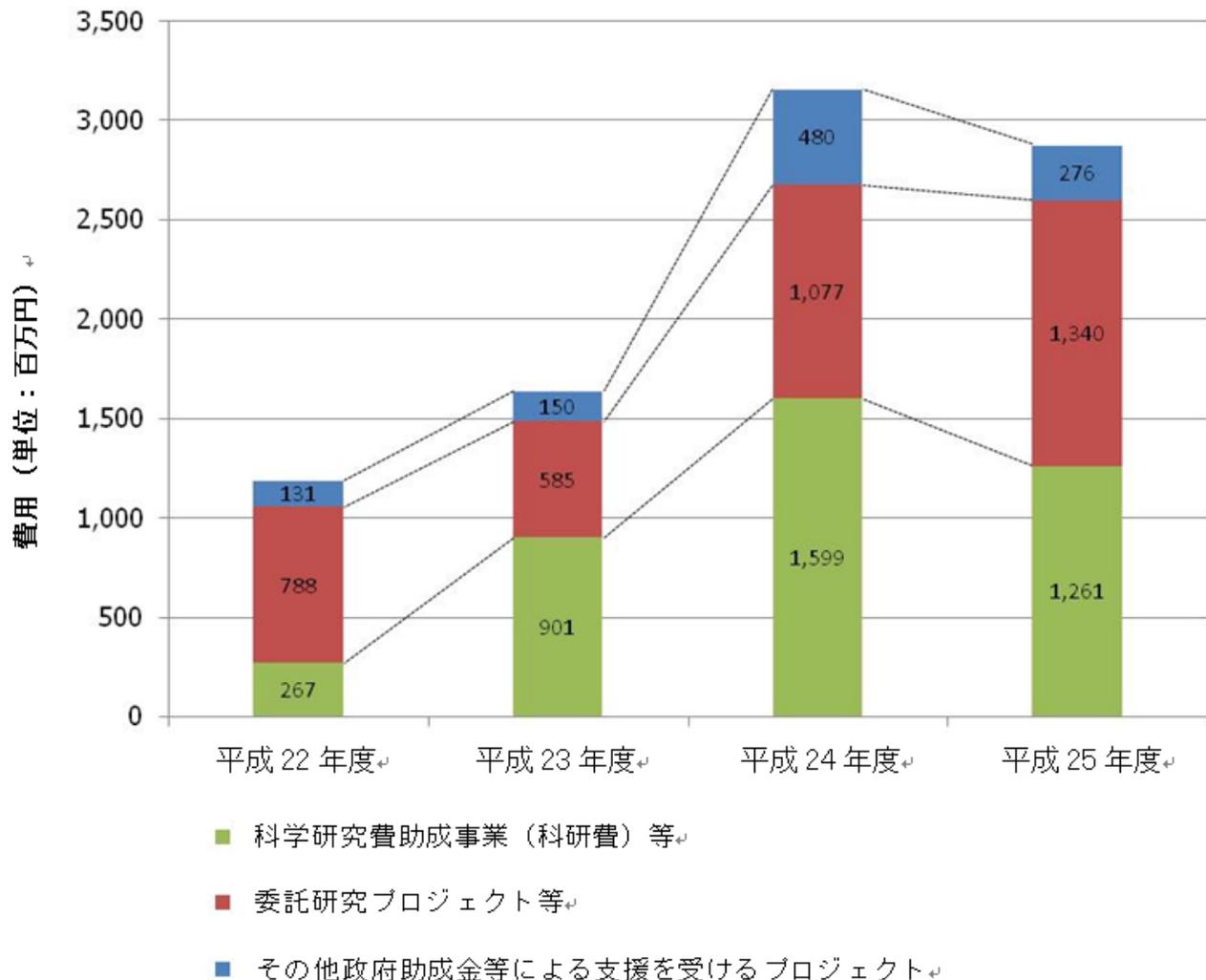
2. 国際会議・国際研究集会での招待講演・基調講演等

- ・主要なもの10件以内について新しいものから順に記載すること
- ・それぞれの講演等について、講演者名、発表タイトル、国際会議等名、開催年を記載すること

番号	講演者名等
1	堀田善治「Application of High-Pressure Torsion to TiFe Hydrogen Storage Material: No Requirement for Activation」 TMS 2014Annual Meeting and Exhibition Ultrafine-Grained Materials:Eight International Symposium (UFG-VIII) (2014年2月17日)
2	Harry L. Tuller「Electro-Chemo-Mechanics – Applications to Solid State Ionic Materials」 International Conference of Solid State Ionics (2013年6月5日)
3	高田保之「Wettability Effects in Boiling Heat Transfer」 The 8th International Conference on Multiphase Flow (ICMF2013) (2013年5月29日)
4	中嶋直敏「Thermodynamics on Soluble Carbon Nanotubes: How Do Molecules Replace Surfactants On Carbon Nanotubes?」 The 223rd ECS Meeting (2013年5月13日)
5	小江誠司「A significant contribution to the fundamentals and applications of chemistry: Catalytic electron and hydride transfer from H ² by functional hydrogenase mimic」 The 30th Chemical Society of Japan (CSJ) Award (2013年3月24日)
6	Petros Sofronis, Climate Change and National Security Speaker Series, Sandia National Laboratories (2013年1月16日)
7	下島公紀「Strategies for detection and monitoring of CO ₂ leakage in sub-seabed CCS」 11th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-11) (2012年11月18-22日)
8	石原達己「High Power Density Solid Oxide Fuel Cells Using LaGaO ₃ Perovskite Oxide Thin Film Prepared by PLD Method」 The 13th Asian Conference on Solid State Ionics IONICS for Sustainable World , (2012年7月18日)
9	Andrew A. Gewirth「Cu-Containing Oxygen Reduction Catalysts」 The 221st ECS meeting , (2012年5月6-10日)
10	松田潤子「Direct imaging of hydrogen in metal hydride」 Gordon Research Conference on Hydrogen-Metal Systems , (2011年7月20日)
11	山内美穂「Hydrogen Induced Phenomena in Nanometals and Nanoalloys」 Gordon Research Conference on Hydrogen-Metals Systems, Stonehill College, Easton, MA , (2011年7月17日)

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI） 研究プロジェクト費の獲得実績

※研究プロジェクト費の獲得実績を棒グラフで表すこと。



・特筆すべき外部資金については、その名称と総額を含めつつ、以下で説明すること。

平成22年度

- 名称：日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」
総額：648,397,800円（獲得者：安達 千波矢教授）

平成23年度

- 名称：日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」
総額：654,296,000円（獲得者：安達 千波矢教授）
- 名称：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「水素先端科学基礎研究事業」
総額：265,454,000円（獲得者：松岡 三郎教授）

平成24年度

- 名称：日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」
総額：761,772,570円（獲得者：安達 千波矢教授）
- 名称：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「水素先端科学基礎研究事業」
総額：381,004,000円（獲得者：松岡 三郎教授）
- 名称：経済産業省（METI）「技術の橋渡し拠点」整備事業
総額：717,659,000円（九州大学予算239,220,000円含む）（獲得者：佐々木 一成教授）

平成25年度

- 名称：日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」
総額：112,273,000円（獲得者：安達 千波矢教授）
- 名称：文部科学省（MEXT）「国際科学イノベーション拠点整備事業」
総額：704,958,503円（獲得者：安達 千波矢教授）
- 名称：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「水素利用技術研究開発事業」
総額：382,612,000円（獲得者：杉村 丈一教授）

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

低炭素社会への移行に資する研究成果

- ・低炭素社会への移行に資する研究を裏付ける論文（20編以内）を挙げ、それぞれについて10行以内で解説すること。
- ・それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。（記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない）なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。
- ・著者が多数（10名以上）の場合は、全著者名を記載する必要はない。

1. Uoyama, H., Goushi, K., Shizu, K., Nomura, H. and Adachi, C. (2012), Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence, *Nature*, 492 (7428), 234-238.

本論文で報告しているのは一重項と三重項のエネルギー差が最小になるように設計された金属を含まない一連の有機電界発光分子である。言い換えるとこれらの分子は遅延蛍光を通して一重項と三重項の励起子がともに発光し、90%以上の固有蛍光発光効率と高効率りん光発光素子に匹敵する19%以上の高い外部電界発光効率を達成する。固体発光子への移行は電力利用量の削減を可能にするだろう。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871027786&partnerID=40&md5=2d2b356d17025d976b00c822254b7310>

2. Goushi, K., Yoshida, K., Sato, K. and Adachi, C. (2012), Organic light-emitting diodes employing efficient reverse intersystem crossing for triplet-to-singlet state conversion, *Nature Photonics*, 6 (4) 253-258.

外部量子効率5.4%を達成したm-MTDATAをドナーとし、3TPYMBをアクセプターとして用いる有機発光ダイオードを作成した。さらに、詳細に材料を選択することで、効率のアップが期待できる。電力を削減できる固体照明への転換。

<http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84862790099&origin=inward&txGid=A699E56669944C1>

3. Lee, S., Apgar, B. A. and Martin, L. W. (2013), Strong visible-light absorption and hot-carrier injection in TiO₂/SrRuO₃ heterostructures, *Advanced Energy Materials*, 3 (8) 1084-1090.

低炭素社会にはクリーンなエネルギー発生とエネルギー源が必要である。太陽エネルギーの効果的な利用が可能な広く存在する材料によって構成される全酸化物光触媒はすべてのプロセスでCO₂の発生を抑制できるクリーンな可燃性燃料を製造することができる。現在の光触媒は2つの課題を有している。1) 広い光吸収を持つ材料は溶液中、照射中では不安定である。2) 安定な材料はバンドギャップが広く、太陽光の利用において効率が悪い。我々の研究は新しい強く光を吸収する安定な材料の開発のために、固体と半導体物理の融合を行った。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882242626&partnerID=40&md5=384d3a9b5be3a6fa84d853f250c45149>

4. Okamoto, Y., Ida, S., Hyodo, J., Hagiwara, H. and Ishihara, T. (2011), Synthesis and photocatalytic activity of rhodium-doped calcium niobate nanosheets for hydrogen production from a water/methanol system without cocatalyst loading, *Journal of the American Chemical Society*, 133 (45) 18034-18037.

低炭素社会の実現のための一つの有用な方法は、太陽光による水の分離と燃料電池のような装置によって消費できる水素製造にある。このエネルギー発生では炭素が含まれない。本論文ではNbとRhに基づいた新規な水の分解触媒の開発を行い、この材料が高効率な水分解に有用であることを示した。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80755123421&partnerID=40&md5=a93a5e9d4ada288327f97c3e8d72784c>

5. Somerday, B.P., Sofronis, P., Nibur, K.A., San Marchi, C. and Kirchheim, R. (2013), Elucidating the variables affecting accelerated fatigue crack growth of steels in hydrogen gas with low oxygen concentrations, *Acta Materialia*, 61 (16) 6153-6170.

疲労は、材料が繰返し負荷を受けたときにき裂が進展する劣化メカニズムとして知られている。このき裂進展が水素ガスの存在下で加速される理由は未だよくわかっていない。本研究では、水素ガスにほんのわずかな酸素を加えることによって、水素起因の疲労の加速が抑制されることを見出した。最も重要な成果は、水素効果の軽減を材料、環境、負荷のパラメータによって簡潔に表す公式を考案したことである。疲労き裂進展の複雑な現象を支配する、すべてのパラメータによって疲労加速に及ぼす水素の効果を実証する公式は、世界で初めてのものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882816876&partnerID=40&md5=af58abae5cf99750b5e03db5a485c37b>

6. Matsuoka, Y., Iwasaki, T., Nakada, N., Tsuchiyama, T. and Takaki, S. (2013), Effect of grain size on thermal and mechanical stability of austenite in metastable austenitic stainless steel, *ISIJ International*, 53 (7) 1224-1230.

実験室レベルで作製された超微細粒オーステナイト鋼は、高強度と高耐水素性の両方を備え持つ。この材料はさらに調査が必要であるが、降伏応力600MPaを有し耐水素性に優れ低コストのオーステナイト系ステンレス鋼開発のマイルストーンを満足する有望な候補である。この材料が実証され商業化の軌道に乗るとすれば、検討すべき重要な点の一つは量産化のための設備である。しかし、新日鐵住金株式会社（NSSMC）は、超微細粒304ステンレス鋼の大量生産を2013年に開始した (www.nssmc.com/news/20131203_100.html)。これは、高木教授のグループによって実験室で開発された超微細粒の製造方法が、工業的生産にスケールアップ可能であることを示している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883216716&partnerID=40&md5=02f1b06451b85cb582ea97e4186f20b4>

7. Shiratori, Y., Quang-Tuyen, T. and Sasaki, K. (2013), Performance enhancement of biodiesel fueled SOFC using paper-structured catalyst, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (23) 9856-9866.

SOFCはタービンや内燃機関などのカルノーサイクル機関より非常に高効率にエネルギーを変換できる。ロバスト性の高いSOFCを用いれば、たいいていの燃料からより多くの電気を、より少ない炭素排出で得ることができる。SOFCの課題の一つは燃料由来の炭素による被毒(コーキング)である。論文では、燃料電池内に触媒の層を配置することでコーキングを抑制した筆者が開発した手法について示している。これにより、さらに厳しい環境でSOFCを運用することが可能となった。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880180583&partnerID=40&md5=91347a67c45e74378c5c2c4c6981485a>

8. Berber, M. R., Fujigaya, T., Sasaki, K. and Nakashima, N. (2013), Remarkably durable high temperature polymer electrolyte fuel cell based on poly(vinylphosphonic acid)-doped polybenzimidazole, *Scientific Reports*, 3, 1764.

固体高分子形燃料電池の耐久性の向上は重要な研究対象である。近年、リン酸ドーブ系燃料電池において、リン酸の漏出が性能劣化を引き起こすことを見出された。本論文では酸漏出を抑制した中温無加湿用燃料電池を開発し、耐久性試験において40万サイクルを超える高い耐久性を示すことを見出した。ここではポリビニルホスホン酸をドーブしたポリベンズイミダゾールを被覆したカーボンナノチューブを用いている。このような高性能燃料電池は次世代の中温用燃料電池実用化に先鞭を付けた。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878642649&partnerID=40&md5=881c8fdf33b3b3be6eb14eafe338f2c5>

9. Marrocchelli, D., Bishop, S. R., Tuller, H. L. and Yildiz, B. (2012), Understanding chemical expansion in non-stoichiometric oxides: Ceria and zirconia case studies, *Advanced Functional Materials*, 22 (9) 1958-1965.

燃料電池でもっぱら用いられる酸化物における化学的膨張は、実験的証拠に基づいた原子レベル数

値解析によって、初めて明らかにされる。本論文では、燃料電池の寿命耐久性を化学的膨張の抑制により改良するための最適な材料微細構造に関する基礎的研究成果について示している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84860711946&partnerID=40&md5=614ce74dc908f4b1414145b7bfe0727d>

10. Erickson, E. M., Thorum, M. S., Vasic, R., Marinkovic, N. S., Frenkel, A. I., Gewirth A. A. and Nuzzo R. G. (2012), In situ electrochemical X-ray absorption spectroscopy of oxygen reduction electrocatalysis with high oxygen flux, *Journal of the American Chemical Society*, 134 (1) 197-200.

高温及び低温型燃料電池のための酸素還元反応について評価を行った。この反応は高い過電圧と共に進むことから、より効率良く反応を進行させる新たな材料開発を後押しするため、シンクロトロンを用いた触媒材料の構造評価を行った。低炭素社会に向け、高効率な発電は重要であり、特にポータブル電源として燃料電池は重要なデバイスとなる。本研究の成果は、高効率燃料電池開発のために重要な触媒材料の構造的な知見を与えることができた。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84855658133&partnerID=40&md5=a629650e85c211eb883e9ed7f8d3ab70>

11. Sefiane, K., Fukatani, Y., Takata, Y. and Kim, J. (2013), Thermal patterns and hydrothermal waves (HTWs) in volatile drops, *Langmuir*, 29 (31) 9750-9760.

液体の蒸発や固体材料との相互作用は、発電、ヒートポンプ、冷凍システム、熱制御などの技術に直結した現象である。我々は、高速赤外カメラを用いて、加熱面上の揮発性液滴の蒸発過程を明らかにするとともに、液滴内部に発生するHydrothermal Wave(HTW)の観察を行った。本計測のために開発した手法は、種々の相変化プロセスに対する熱伝達の機構と分布を理解するのに適用できる。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881444255&partnerID=40&md5=deb4e040a452ec61419608a175675e53>

12. Moroe, S., Woodfield, P. L., Kimura, K., Kohno, M., Fukai, J., Fujii, M., Shinzato, K. and Takata, Y. (2011), Measurements of hydrogen thermal conductivity at high pressure and high temperature, *International Journal of Thermophysics*, 32 (9) 1887-1917.

非定常短細線法により、温度323Kから773K、および圧力99MPaまでのノーマル水素の熱伝導率の測定を行った。熱伝導率測定における不確かさは、およそ2.2%である。既存の熱伝導率の予測式を修正し、本研究での測定によって、より広い領域をカバーする整理式が開発された。新しい予測式は温度78-773K、圧力100MPaまで適用可能である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84855432080&partnerID=40&md5=f0f6f1517360deba86d484ff8a1a3660>

13. Miao, T., Ma, W., Zhang, X., Wei, J. and Sun, J. (2013), Significantly enhanced thermoelectric properties of ultralong double-walled carbon nanotube bundle, *Applied Physics Letters*, 102 (5) 053105.

物質の熱電特性を総括的に評価するためのT型計測法を開発した。非常に長いカーボンナノチューブ束の240Kから340Kまでの熱伝導率、熱起電力、電気伝導度をT型法によって調べた。測定されたカーボンナノチューブのFOMは 10^{-3} であり、この値は従来の値を大幅に上回るものである。束は数千の方向の揃った長尺の不純物がほとんど含まれないナノチューブで構成されており、その熱伝導率は1本の二重壁ナノチューブの値よりもかなり低い。一方、電気伝導度は大抵のカーボンナノチューブのサンプルに比べると非常にすぐれている。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874100472&partnerID=40&md5=da26441fb3b60bc885249253d0370a20>

14. Edalati, K., Matsuda, J., Iwaoka, H., Toh, S., Akiba, E. and Horita, Z. (2013), High-pressure torsion of TiFe intermetallics for activation of hydrogen storage at room temperature with heterogeneous nanostructure, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (11) 4622-4627.

TiFeは定置式水素貯蔵システムへの有力な候補であるが、水素吸蔵のためには初期活性化処理が必

要である。本研究では高圧ねじり加工 (HPT) したTiFeが活性化無しに室温で1.7質量%の水素を吸蔵放出することを明らかにした。一回目の水素吸蔵時は2MPaを示した平衡吸蔵圧力が二回目以降は0.7MPaへと減少した。HPTしたTiFeは非常に高い硬度約1050Hvを持ち、ナノ粒子、粗な粒子、アモルファス的な相および不規則相からなる不均一マイクロ構造を有する。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84875365667&partnerID=40&md5=c12318e3c69d62237f20bcd8a421a3d4>

15. Yatabe, T., Kikkawa, M., Matsumoto, T., Nakai, H., Kaneko, K. and Ogo S. (2014), A model for the water-oxidation and recovery systems of the oxygen-evolving complex, *Dalton Transactions*, 43 (8) 3063-3071.

光化学系II(PSII)の酸素発生複合体(OEC)の水酸化および修復システムに関するモデルを提案した。PSIIによる水からの電子抽出は、太陽エネルギーを化学エネルギーに変換する非常に重要なプロセスである。その化学エネルギーは、CO₂を吸収して炭水化物(燃料、炭化水素)を生産するのに使われる。しかし、PSIIは、短時間の光照射後、容易に失活してしまう。PSIIの再活性化および修復を理解することは、水とCO₂から炭化水素を生産するロバストな人工光合成触媒を開発するために非常に重要であり、低炭素社会の実現に直接寄与する。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893226228&partnerID=40&md5=326006a89dd a0156352de56d021f6d6b>

16. Ogo, S., Ichikawa, K., Kishima, T., Matsumoto, T., Nakai, H., Kusaka, K. and Ohhara, T. (2013), A functional [NiFe]hydrogenase mimic that catalyzes electron and hydride transfer from H₂, *Science*, 339 (6120) 682-684.

水素はクリーンなエネルギー媒体であり、将来の低炭素社会の実現に貢献するものとして大変期待されている。しかし、水素活性化触媒として用いられている白金は高価であり、このことが燃料電池技術の大きな障害となっている。我々は自然界の酵素から着想を得て、[NiFe]ヒドロゲナーゼモデル錯体を開発した。また我々はこの触媒を用いて、水中・常温常圧での水素活性化メカニズムを初めて解明した。この触媒の触媒活性は低いものの、産業応用のための頑丈な触媒の開発に向けた重要な一歩であると言える。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84873509989&partnerID=40&md5=d789830de1c6bd2751fe28e504d63c2c>

17. Sadakiyo, M., Kasai, H., Kato, K., Takata, M. and Yamauchi, M. (2014), Design and synthesis of hydroxide ion-conductive metal-organic frameworks based on salt inclusion, *Journal of the American Chemical Society*, 136 (5) 1702-1705.

本研究では、非白金触媒が利用可能なアルカリ型燃料電池の電解質である水酸化物イオン伝導体を新規に創製する合理的な手法を新たに開発した。配位高分子を用いた水酸化物イオン伝導体の合理的な作製方法を初めて提案し、水酸化物イオン伝導性配位高分子の合成に初めて成功した。本研究の成果は安価なアルカリ型燃料電池の開発に寄与し、低炭素社会の実現に資する。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893750990&partnerID=40&md5=33c268675f4d8185f8d8a01256789246>

18. Taniguchi, I., Urai, H., Kai, T., Duan, S. and Kazama, S. (2013), A CO₂-selective molecular gate of poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene glycol) network, *Journal of the Membrane Science*, 444, 96-100.

高い選択性と透過性を持つCO₂分離膜の開発は、大気へのCO₂放出制御と炭素源としてのCO₂の利用に向けて重要な手段である。この論文では、ポリエチレングリコール膜にポリアミドアミン(PAMAM)が固定化された高分子膜は、より分子サイズの小さなH₂よりも高いCO₂選択透過性をしめすことを見出している。CO₂/H₂混合ガスからの効率的なCO₂分離により分離されたガスは、それぞれCO₂利用とグリーンエネルギー応用での利用が可能となる。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878830450&partnerID=40&md5=d62c9b0cc052d43d7b98e5f34dd9ba15>

19. Taniguchi, I., Duan, S., Kai, T., Kazama, S. and Jinnai, H. (2013), Effect of the phase-separated structure on CO₂ separation performance of the poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene glycol) network, *Journal of Materials Chemistry A*, 1 (46) 14514-14523.

この論文では、上記論文 18 ですでに報告しているCO₂ 分離について、分離機構を特定し、それを述べている。この成果は、より高い選択性と透過性をもつCO₂ 分離膜のさらなる開発に貢献する。

<http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84887218342&origin=inward&txGid=A699E56669944C1>

20. Jhong, H.-R. M., Brushett, F. R. and Kenis, P. J. A. (2013), The effects of catalyst layer deposition methodology on electrode performance, *Advanced Energy Materials*, 3 (5) 589-599.

例えば化石燃料発電所から回収されたCO₂ は、電気化学的に高分子やファインケミカル、炭化水素燃料などの有用物に変換可能なCOなどの化学ビルディングブロックに転換できる。全体として、このプロセスは社会の化石燃料依存性を低下させると同時に、温暖化ガスを減少させる。CO₂ の電気化学的変換を工業レベルで実稼働できるようにするためには、電極上の触媒を開発する必要がある。この論文では、電極の質（触媒層の均一性）と性能（高いスループットとエネルギー効率）を劇的に改善すると同時に、触媒導入量の低下を実現している。

より具体的には、ガス拡散電極の多孔性層にエアブラシによって、たとえば銀ナノ粒子からなる触媒を自動的に堆積する装置を用いて、非常に薄く、欠陥のない、そして均一な触媒層を作ること成功した。これは、手で塗布した電極触媒と比べて、CO₂ 変換における電極性能を著しく改善（50%以上の電流密度向上）し、触媒導入量を10分の1に減少させた。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84877706212&partnerID=40&md5=c542eb8912acb29043694c33c4acb95>

21. Tornow, C. E., Thorson, M. R., Ma, S., Gewirth A. A. and Kenis P. J. A. (2012), Nitrogen-based catalysts for the electrochemical reduction of CO₂ to CO, *Journal of the American Chemical Society*, 134 (48) 19520-19523.

我々はCO₂ を転換する方法を開発している。これはCO₂ を直接的に炭化水素などのより有用なものに変換する一つの方法として、低炭素社会に貢献するかもしれない。この最初で一番困難なステップは、CO₂ をCOに変換するプロセスである。この論文では、我々は以前利用されていたものよりもよりよく作動する一連の新しい触媒を開発している。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84870702915&partnerID=40&md5=f12dbefe09aeb6a6bdc8a94c984044de>

22. Shitashima, K., Maeda, Y. and Ohsumi, T. (2013), Development of detection and monitoring techniques of CO₂ leakage from seafloor in sub-seabed CO₂ storage, *Applied Geochemistry*, 30, 114-124.

安全で信頼性のある海底CO₂貯留を確認するために、漏洩CO₂の検出モニタリングの手法の開発は、重要と考えられている。海底設置型音響トモグラフィは、海底からの液体CO₂やCO₂ガスバブルの検出に有効な手法であることが分かった。また原位置pHとpCO₂センサーによって、海水中での迅速で高精度の測定が可能となり、漏洩CO₂によるpHとpCO₂の変化を測定することが可能となった。このセンサーをAUVに搭載することで、海底面から漏洩したCO₂の検出やモニタリングが可能になる。さらに（多くのセンサーとトランスデューサーを搭載した）曳航型TMLMSの測定により、CCS実施海域での漏洩CO₂の分散を観察することができる。最後に、Automatic elevatorを使うことで、漏洩CO₂の拡散の時間変化を観察することができる。この論文は、海底CCSにおける漏洩CO₂のモニタリング手法を記述した初めての論文である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84875402443&partnerID=40&md5=fb133d54fecce0d32db1c8ff3233ddab>

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

平成25年度の主な研究成果等に係るメディア報道一覧

※主なものを精選し、2ページ以内で作成すること

No.	日付	掲載媒体 (例：新聞、テレビ)	詳細
1	2013年4月25日	新聞	糸島新聞 TADFによる有機ELの実用化 I ² CNER水素製造研究部門 安達 千波矢教授
2	2013年5月4日	新聞	日経新聞 読売新聞 西日本新聞 日刊工業新聞 共同通信 (ウェブサイト) 四国新聞 (ウェブサイト) 静岡新聞 (ウェブサイト) ポリビニルホスホン酸とポリベンズイミダゾールに基づく耐久性の高い固体高分子型燃料電池を開発 I ² CNER燃料電池研究部門 中嶋 直敏教授、藤ヶ谷 剛彦准教授
3	2013年5月27日	雑誌	日経ビジネス 有機EL新材料 I ² CNER水素製造研究部門 安達 千波矢教授
4	2013年8月16日	新聞	日刊工業新聞 大型放射光施設スプリング8/フロンティアソフトウェア開発専用ビームライン産学連合体 (FSBL) 運営委員長 I ² CNER水素製造研究部門 高原 淳教授
5	2013年8月29日	ウェブサイト	ヘルムホルツセンター ベルリン研究所 マサチューセッツ工科大学/Materials Processing Center (9月24日) インタビュー I ² CNER燃料電池研究部門 Harry L. Tuller教授
6	2013年9月7日	新聞	中部経済新聞 レアメタルを使用しない有機ELの開発に成功 I ² CNER水素製造研究部門 安達 千波矢教授
7	2013年9月18日	新聞	日刊工業新聞 自然に学ぶ日本の生物模倣技術 I ² CNER水素製造研究部門 高原 淳教授
8	2013年10月2日	新聞	日経ビジネスデイリー 300°Cで作動する固体酸化物形燃料電池/燃料電池の小型化 I ² CNER水素製造研究部門 石原 達己教授

9	2013年10月16日	ウェブサイト	Nanoinfo.jp Research-er.jp (10月17日) マイナビニュース (10月17日) 単層カーボンナノチューブの電子準位を決定できる 経験式を確立 I ² CNER燃料電池研究部門 中嶋 直敏教授
10	2013年10月17日	新聞	化学工業日報 鉄族ナノ合金の作製の合成法開発 I ² CNER触媒的物質変換研究部門 山内 美穂准教授
11	2013年11月21日	ウェブサイト	ヘルムホルツセンター ゲーストハット研究所 ECOSTOREプロジェクト I ² CNER水素貯蔵研究部門 秋葉 悦男教授
12	2014年1月15日	テレビ	NHK (おはよう日本) インタビュー I ² CNER燃料電池研究部門 Stephen Lyth助教
13	2014年1月23日	新聞	西日本新聞 クルマが開く日韓新時代 融和 交流と競争共栄へ一 歩 I ² CNER水素製造研究部門 石原 達己教授
14	2014年2月17日	ジャーナル	文教ニュース I ² CNER & ACT-C Joint Symposium開催報告
15	2014年3月	ウェブサイト	JSTブレークスルーレポート 研究成果紹介 I ² CNER触媒的物質変換研究部門 小江 誠司教授

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

代表的な融合研究の成果論文一覧

- ・融合研究の成果を裏付ける論文のうち代表的なもの10編以内を挙げ、それぞれについて10行以内で解説すること。
- ・それぞれの論文は箇条書きとし、著者名・発行年・雑誌名・巻号・掲載ページ・タイトルを記載すること。
(記載順番は様式中で統一してあればこの限りではない) なお、著者が複数ある場合には、拠点の研究者に下線を記すこと。
- ・著者が多数(10名以上)の場合は、全著者名を記載する必要はない。

- 1) Tornow, C. E., Thorson, M. R., Ma, S., Gewirth, A. A. and Kenis, P. J. A. (2012), Nitrogen based Catalysts for the Electrochemical Reduction of CO₂ to CO, *Journal of the American Chemical Society*, 134 (48), 19520-19523.

CO₂ 還元のために、炭素担持型の窒素含有有機銀触媒が合成された。COの選択的生成に対する触媒性能は、Ag触媒を用いた時と同程度であるが、使用量がかなり低ゲインされている。触媒のファラデー効率は90%以上であり、これはAg触媒と同程度である。さらに、この炭素担持Agに対してアミン配位子を加えることで、COの部分電流密度が著しく向上し、これは共触媒機構の可能性を示している。

この論文は無機光化学及び材料科学を融合するものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84870702915&partnerID=40&md5=f12dbefe09aeb6a6bdc8a94c984044de>

- 2) Lyth, S. M., Shao, H., Liu, J., Sasaki, K. and Akiba, K. (2014), Hydrogen adsorption on graphene foam synthesized by combustion of sodium ethoxide, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (1), 376-380.

触媒材料合成の技術を用いて、水素貯蔵材料として大きな比表面積を持つグラフェンフォームが用いられた。可逆的な水素の吸着量は2.6wt%に達し、グラフェン系材料としては最高値を記録した。現在、種々の元素を含むグラフェンフォームを合成し、水素吸着量の向上に向けて研究を進めている。本研究は燃料電池部門と水素貯蔵材料部門の共同研究で行われた。

本研究は、材料合成、有機化学、ナノテクノロジー、表面科学の技術を組み合わせ、進められた。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84890441224&partnerID=40&md5=f82e318d876695b1b9410c0a4217db9b>

- 3) Liu, J., Takeshi, D., Orejon, D., Sasaki, K. and Lyth, S. M. (2014), Defective Nitrogen-Doped Graphene Foam: A Metal-Free, Non-Precious Electrocatalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Acid, *Journal of the Electrochemical Society*, 161 (4), F544-F550

PEFCのカソード材料として期待されている白金フリー触媒もしくは非白金系触媒は、PEFC電極材料のメインピックとして広く研究がなされている。本研究では、広い表面積を有する窒素を含有したグラフェンフォームを金属フリー触媒のモデルとして合成した。本研究の目的は、その減少が明確に理解されていない鉄/窒素/炭素系触媒の酸素還元反応のメカニズムを明らかにすることである。結果から、窒素含有グラフェンフォームは、鉄が含まれない酸溶液中で白金系触媒と同様に4電子反応により酸素還元反応が起こることが確認された。現在、これらの触媒は高温(120°C)への応用に向け研究中である。

本研究は、材料合成、有機化学、ナノテクノロジー、先端分析技術、電気化学を組み合わせることにより進められた。

http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=S1bzly4cUUFzBf8WVR7&page=1&doc=1

- 4) Marrocchelli, D., Bishop, S. R., Tuller, H. L. and Yildiz, B. (2012), Understanding chemical expansion in non-stoichiometric oxides: ceria and zirconia case studies, *Advanced Functional Materials*, 22 (9), 1958-1965.

燃料電池でもっぱら用いられる酸化物における化学的膨張は、実験的証拠に基づいた原子レベル数値解析によって、初めて明らかにされる。本論文では、燃料電池の寿命耐久性を化学的膨張の抑制により改良するための基礎的研究成果について示している。

本論文は、実験と理論に基づく熱力学的材料科学、セラミック構造変形、結晶学、計算材料科学を基に示している

<http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84860711946&origin=inward&txGid=42369414EC9D8E3E08DF2702CA3E32EF.Vdktg6RVtMfaQJ4pNTCQ%3a1>

- 5) Bishop, S. R., Marrocchelli, D., Chatzichristodoulou, C., Perry, N. H., Mogensen, M. B., Tuller, H. L. and Wachsman, E. D. Chemical Expansion: Implications for Electrochemical Energy Storage and Conversion Devices, *Annual Review of Materials Research*, Accepted for Publication/Online.

エネルギー技術分野における材料の化学的膨張に関するレビューであり、関連分野の化学的力学的相関についてカバーしている

<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-matsci-070813-113329>

(abstract only)

- 6) Edalati, K., Matsuda, J., Arita, M., Daio, T., Akiba, E. and Horita, Z. (2013), Mechanism of activation of TiFe intermetallics for hydrogen storage by severe plastic deformation using high-pressure torsion, *Applied Physics Letters*, 103 (14), 143902

高圧ねじり加工によるTiFe金属間化合物の活性化機構の確認

この論文は物質合成、物質科学、機械工学、表面科学、および活性化機構を調べるための評価手法を融合した成果である。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885648001&partnerID=40&md5=3b33eddc6dfebf3e2f7384330e560773>

- 7) Inoki, D., Matsumoto, T., Nakai, H. and Ogo, S. (2013), Isolation and Crystal Structure of the Proposed Low-Valent Active Species in the H₂ Activation Catalytic Cycle, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2013 (22-23), 3978-3986.

このレポートは、新しい触媒を構築することによって、水素活性化触媒サイクルにおける我々の設計原理を確認するものである。

この論文は、生物無機化学、錯体化学、及び生化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84886530957&partnerID=40&md5=f53e4479839ffb9d3155f729daa60ce8>

- 8) Ogo, S., Ichikawa, K., Kishima, T., Matsumoto, T., Nakai, H., Kusaka, K. and Ohhara, T. (2013), A Functional [NiFe]Hydrogenase Mimic That Catalyzes Electron and Hydride Transfer from H₂, *Science*, 339 (6120), 682-684.

この論文では、NiFe ヒドロゲナーゼ酵素の[NiFe]-ベースの機能モデル錯体を報告する。この錯体は、水素をヘテロリティックに活性化し、ヒドリド錯体を形成する。

この論文は、生物無機化学、生化学、及び錯体化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84873509989&partnerID=40&md5=d789830de1c6bd2751fe28e504d63c2c>

- 9) Matsumoto, T., Kim, K. and Ogo, S. (2011), Molecular Catalysis in a Fuel Cell, *Angewandte Chemie - International Edition*, 50 (47), 11202-11205.

ニッケル・鉄ヒドロゲナーゼ模倣化合物を用いる単一分子触媒に基づいた初めての分子燃料電池が構築された。この触媒は固体と溶液の両方で機能できる。溶液相では、水素酸化触媒反応のメカニズムを正確に観測することができる。また、この触媒は酸素還元反応の活性も有している。

この論文は、生物無機化学、錯体化学、及び電気化学を結びつけるものである。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-81255179172&partnerID=40&md5=c7c2072e2d27761e4b088ce8772fff65>

- 10) Staykov, A., Yamabe, J. and Somerday, B. P. (2014), Effect of Hydrogen Gas Impurities on the Hydrogen Dissociation on Iron Surface, *International Journal of Quantum Chemistry*, 114 (10), 626-635

密度関数汎法(DFT)を用いる鉄鋼中への水素の吸着の微量酸素阻害のための基本的な反応機構

この論文は材料科学、計算科学に関係する。

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897572950&partnerID=40&md5=0fe642e9be988ed00ea5160dbcd0d8b4>

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

イリノイ大学サテライトとの連携状況

1. 共著

- ・査読付き論文のうち、ホスト機関に所属する研究者とイリノイ大学サテライト機関に所属する研究者の共著分について記すこと
- ・論文の情報は添付様式2-1と同様の形式で転記した上で、サテライト機関に所属する著者名をイタリック体とすること。
- ・著者が多数（10名以上）の場合は、全著者名を記載する必要はない。

1. Pacquette, A. L., Hagiwara, H., Ishihara, T. and Gewirth, A.A. (2014), Fabrication of an oxysulfide of bismuth $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{S}$ and its photocatalytic activity in a $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{S}/\text{In}_2\text{O}_3$ composite, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 277, 27-36.

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84891811951&partnerID=40&md5=031bc3d65ad90bff88a73afbf6c41f6b>

2. Murakami, Y., Kanezaki, T., and Sofronis, P. (2012), Hydrogen embrittlement of high strength steels: Determination of the threshold stress intensity for small cracks nucleating at nonmetallic inclusions, *Engineering Fracture Mechanics*, 97 (1), 227-243.

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874346382&partnerID=40&md5=fda43d7d8a787b9f34e6a11811939236>

3. Somerday, B. P., Sofronis, P., Nibur, K. A., San Marchi, C., and Kirchheim, R. (2013) Elucidating the variables affecting accelerated fatigue crack growth of steels in hydrogen gas with low oxygen concentrations, *Acta Materialia*, 61 (16), 6153-6170.

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882816876&partnerID=40&md5=af58abae5cf99750b5e03db5a485c37b>

4. Martin, M. L., Sofronis, P., Robertson, I. M., Awane, T., and Murakami, Y. (2013) A microstructural based understanding of hydrogen-enhanced fatigue of stainless steels, *International Journal of Fatigue*, 57, 28-36.

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885960355&partnerID=40&md5=bea5e35b6d01580c1deef68da44b9bb3>

5. Nibur, K. A., Somerday, B. P., Marchi, C. S., Foulk III, J. W., Dadfarnia, M., and Sofronis, P. (2013) The relationship between crack-tip strain and subcritical cracking thresholds for steels in high-pressure hydrogen gas, *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 44 (1), 248-269.

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871955233&partnerID=40&md5=e2b56c1e1df9792076d901e10f9ec85c>

6. Martin, M. L., Somerday, B. P., Ritchie, R. O., Sofronis, P., and Robertson, I. M. (2012) Hydrogen-induced intergranular failure in nickel revisited, *Acta Materialia*, 60 (6-7), 2739-2745.
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84859109646&partnerID=40&md5=a36b5ba9044573c97b20909b31706156>
7. Nagao, A., Smith, C.D., Dadfarnia, M., Sofronis, P., and Robertson, I. M. (2012) The role of hydrogen in hydrogen embrittlement fracture of lath martensitic steel, *Acta Materialia*, 60 (13-14), 5182-5189.
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84864065508&partnerID=40&md5=2169bea8e4a27ee308b9637f73456523>
8. Tellez, H., Druce, J., Liao, D., Hall, A., Ishihara, T., Kilner, J., and Rockett, A., Low Energy Ion Scattering: Surface Preparation and Analysis of Cu(In,Ga)Se₂ for Photovoltaic Applications, submitted, *Progress in Photovoltaics*.
9. Tabara, M., Harish, S., Ikoma, Y., Horita, Z., Takata, Y., Cahill, D. G., and Kohno, M., Reduction in Thermal Conductivity of Crystalline Silicon Processed by High-Pressure Torsion, submitted, *Nanoscale Research Letters*.
10. Staykov, A., Jain, C. A., and Ertekin, E., A hybrid molecular switch for photocatalytic charge separation, planned for submission in June 2014.
11. Kitamura, K., Jiang, F., Valocchi, A.J., Chiyonobu, S., Tsuji, T., and Christensen, K. T., The Study of Heterogeneous Two-Phase Flow around Small-Scale Heterogeneity in Porous Sandstone by Measured Elastic Wave Velocities and LBM Simulation, submitted, *Journal of Geophysical Research—Solid Earth*.
12. Jhong, H.-R. M., Kenis, P. J. A., and Lyth, S. M., Nitrogen-doped Carbon Catalyst for Electrochemical CO₂ Conversion to CO, submitted, *Journal of the American Chemical Society*.

2. 研究者の交流状況

- 以下の表を用いて、研究者の交流状況を、年度別・機関別に記載すること
- 各欄の上段には主任研究者の訪問回数を、下段にはそれ以外の研究者の訪問回数を記入すること

＜拠点からイリノイ大学サテライトを訪問した者＞

	1週間未満	1週間以上 1ヶ月未満	1ヶ月以上 3ヶ月未満	3ヶ月以上	計
平成22～23年度	15 16	1 0	0 1	0 0	16 17
平成24年度	0 3	0 0	0 1	0 1	0 5
平成25年度	6 10	1 4	0 2	0 0	7 16
計	21 29	2 4	0 4	0 1	23 38

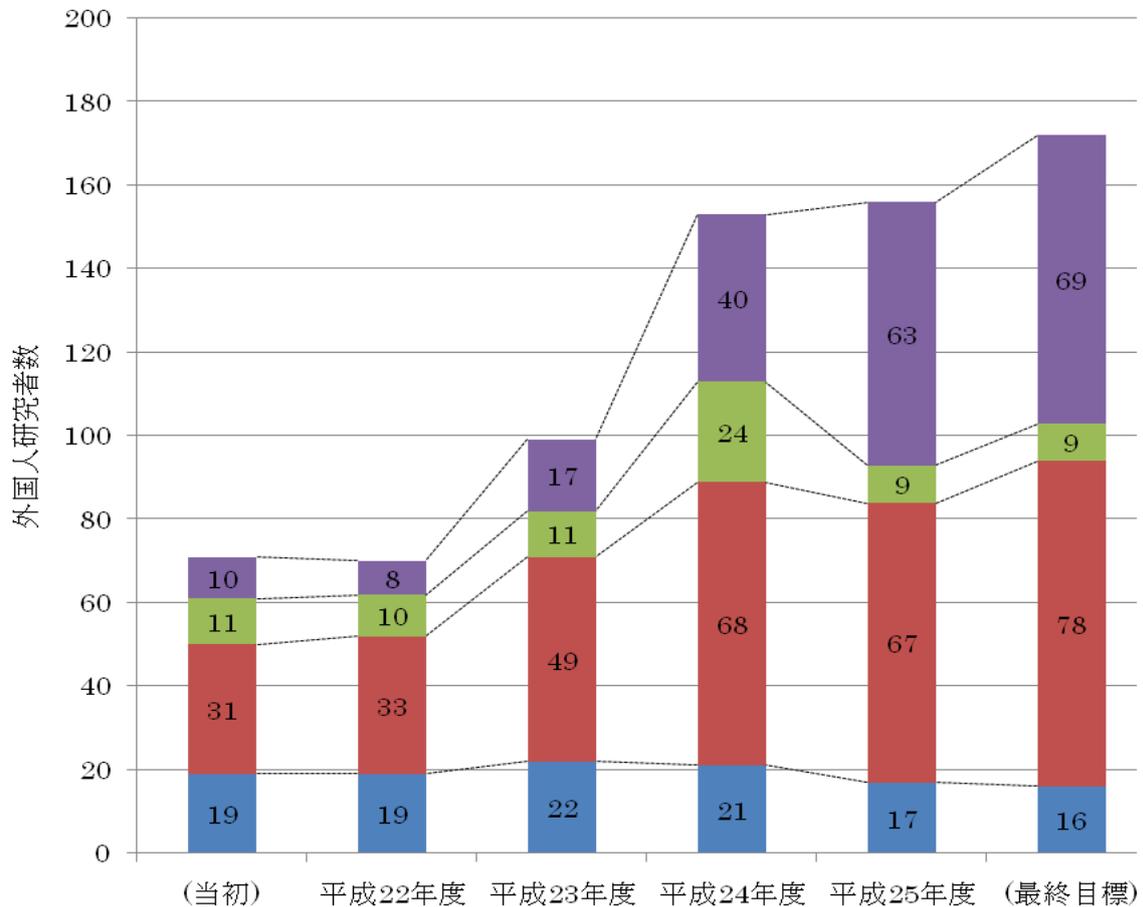
＜イリノイ大学サテライトから拠点を訪問した者＞

	1週間未満	1週間以上 1ヶ月未満	1ヶ月以上 3ヶ月未満	3ヶ月以上	計
平成22～23年度	12 6	4 1	0 0	0 0	16 7
平成24年度	20 3	0 0	0 0	0 0	20 3
平成25年度	3 16	0 3	0 0	0 0	3 19
計	35 25	4 4	0 0	0 0	39 29

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

1. 全研究者中の外国人研究者比率とその年次推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。



- 外国人研究者（P I除く）
- 外国人P I
- 日本人研究者（P I除く）
- 日本人P I

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

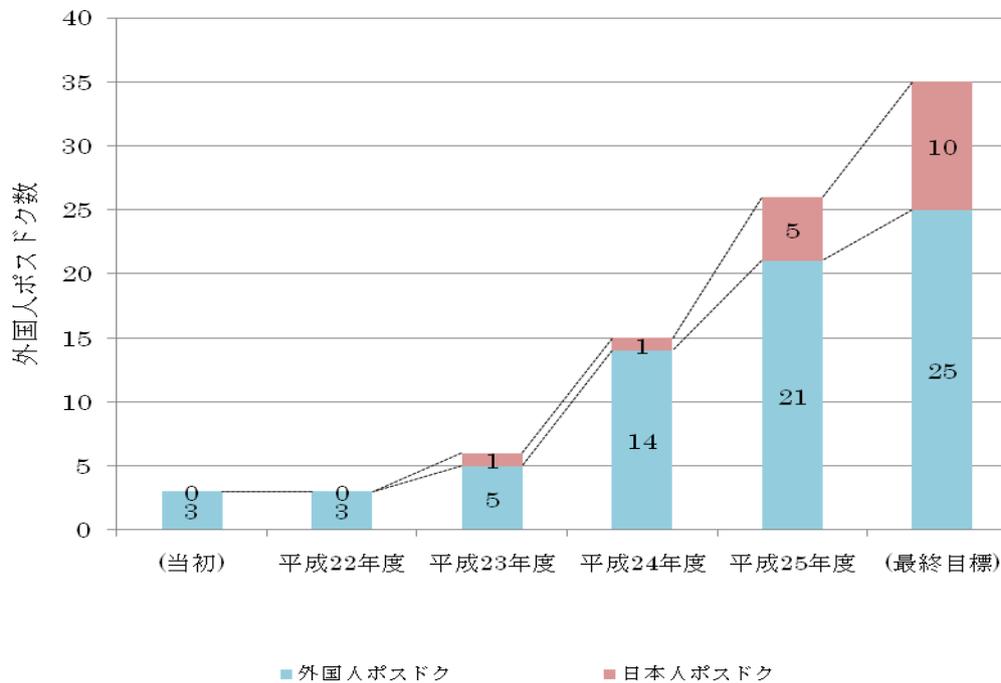
1. ポスドクの国際公募の実施と応募・採用状況

・応募人数、採用人数の欄の下段に〈外国人研究者数, %〉としてそれぞれ内数を記載すること。

年度	応募人数	採用人数
平成22年度	75 〈 71, 95 %〉	1 〈 0, 0 %〉
平成23年度	62 〈 62, 100 %〉	2 〈 2, 100 %〉
平成24年度	13 〈 12, 92 %〉	3 〈 2, 67 %〉
平成25年度	12 〈 11, 92 %〉	2 〈 1, 50 %〉

2. 外国人ポストク比率移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。



3. ポスドクの就職状況

・1名につき、1行で作成すること。記入欄が足りない場合は、適宜追加してもよい。

拠点所属期間	前職機関・所在国名	役職・就職先機関・所在国名
平成23年4月1日 ～平成24年3月31日	京都大学・日本	助教・名古屋大学・日本
平成24年1月16日 ～現在	インペリアルカレッジ ロンドン・英国	
平成24年4月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成24年9月1日 ～現在	ノースウエスト大 学・米国	
平成24年10月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成24年12月1日 ～現在	東北大学・日本	
平成24年12月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成25年4月1日 ～平成26年1月31日	東京工業大学・日本	ポスドク研究者・アイントホーフェン工科大学・オランダ
平成25年4月1日 ～平成26年11月30日	JST・日本	ポスドク研究者・シンガポール技術デザイン大学(SUTD)・シンガポール
平成25年4月1日 ～現在	エール大学・米国	
平成25年4月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成25年4月1日 ～平成26年3月31日	北海道大学・日本	助教・中央大学・日本
平成25年4月1日 ～平成26年3月31日	九州大学・日本	塾生・松下政経塾・日本
平成25年4月16日 ～現在	ICMPE, CNRS-UMR 7182, フランス	
平成25年5月1日 ～平成26年3月31日	九州大学・日本	研究員・岩手大学・日本
平成25年10月1日 ～現在	エディンバラ大学・英 国	
平成25年10月1日 ～現在	JSPS・日本	
平成25年11月1日 ～平成25年12月30日	京都大学・日本	研究員・スリウィジャヤ大学・インドネシア
平成25年1月1日 ～現在	北九州市立大学・日本	
平成25年2月1日 ～現在	北海道大学・日本	
平成25年2月1日 ～現在	九州大学・日本	

平成26年4月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成26年4月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成26年4月1日 ～現在	九州大学・日本	
平成26年4月1日 ～現在	近畿大学・日本	
平成26年4月1日 ～現在	豊田中央研究所・日本	
平成26年4月1日 ～現在	京都大学・日本	

*所在国名は機関所在地。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

国際的な研究集会の開催

年度ごとの開催回数と代表例（年度別に2件以内）を以下の表を用いて整理すること。

平成22～23年度： 会議実績数 5

代表例（会議名称・開催地）	参加人数
キックオフ・シンポジウム 開催地：九州大学（日本）	国内：128名 海外：26名
サテライト・キックオフ・シンポジウム 開催地：イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（米国）	国内：70名 海外：30名

平成24年度： 会議実績数 3

代表例（会議名称・開催地）	参加人数
I ² CNER東京シンポジウム 開催地：東京（日本）	国内：130名 海外：20名
I ² CNERアニュアルシンポジウム 開催地：九州大学（日本）	国内：159名 海外：66名

平成25年度： 会議実績数 4

代表例（会議名称・開催地）	参加人数
Catalytic Concepts for Energy Symposium 開催地：イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（米国）	国内：50名 海外：10名
I ² CNER & ACT-Cジョイントシンポジウム 開催地：九州大学（日本）	国内：119名 海外：58名

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI） ホスト機関による支援の実績

1. ホスト機関からのリソース供与等（人件費、研究スペースの提供等）

テニユア教員ポスト

- 平成23、24年度に九州大学が配置した5つの准教授テニユア・ポストに加え、I²CNERは25年度には大学活性化制度において教授ポスト1つを獲得した。これにより、平成26年4月1日現在、I²CNERは計6つのテニユア教員ポストを有する。詳細は、報告書内6-4及び7-2を参照のこと。

工学研究院からの主任研究者9名の派遣

- 平成25年4月1日付けで、九州大学総長が主導し執行した「教員の学内派遣制度」の下、工学研究院から9名の主任研究者がI²CNERに所属変更を行い、平成26年度も全員が派遣更新となる。報告書内6-3で述べたように、9名は今後も引き続き1年ごとに派遣を更新する予定である。

実験室・研究室の一時貸付

- 現存のI²CNER第1研究棟で行われている研究活動用スペースの不足の解決策として、九州大学は、第2研究棟が完成するまでの間、I²CNERが学内で実験室4室及びオフィス1室を使用できるよう、特別に措置を講じた。

九州大学職員の追加配置

- 平成25年4月1日付けで、支援部門に配置する経験豊富な大学職員を1名増員した。

2. 人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立

所長の権限

- 九州大学学則により、本研究所は常設の国際研究所として位置付けられている。研究計画、研究体制、予算執行、その他研究所の管理運営に関する事項について、運営委員会等と協議し、所長が意思決定できるよう、内規を整備した。

教員の採用

- 新規教員採用は、国際公募により実施され、所長には国際公募を通して新規教員を採用する権限が与えられている。報告書内5-1-4及び9で述べたように、書類審査・面接に基づいた教員選考委員会の推薦を踏まえ、所長が最終決定を行っている。

能力に基づいた給与体系

- 本研究所は、九州大学制定の給与支払区分とは別に、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則による給与体制を採用している。報告書内6-3で述べたように、教員及び研究者それぞれの給与は、業績及び研究所への貢献度に基づき、副所長2名と相談の上、所長が決定する。

3. 機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整

九州大学研究者の提携支援

- 九州大学の研究者が本研究所における活動に参画することを促進するため、例えば当該研究者の所属部局長に対する協力や取り決めの依頼など、所属部局と連携のもと積極的な支援を行っている。

教員の学内派遣制度

- 九州大学の教育と研究の水準を向上すると同時に学内教員配置に柔軟性を持たせるため、九州大学は教員の学内派遣に関する規程を制定し、平成24年12月1日付けで施行した。これにより、学内教員を所属部局からI²CNERに派遣することが可能となった。上記「1. ホスト機関からのリソース供与等」で述べたとおり、工学研究院の教員9名がI²CNERに所属の変更を行った。これにより、I²CNER・工学研究院間の関係が向上し、共同でテニユア教員ポストを獲得するのに有益である。最も重要なのは、報告書内6-3で述べたように、この関係が主任研究者のマインドセットにプラスの影響を与えたことである。

4. 従来とは異なる手法による運営の導入に向けた機関内の制度整備

(例：英語環境、能力に応じた俸給システム、クロスアポイントメント、トップダウン的な意志決定システム等)

九州大学の国際化への取り組み

- 九州大学総長のイニシアティブの下で、学内における研究及び教育現場の国際化が進められている。その一環として、学内文書や大学ホームページの英語版作成の取り組みが行われた。各キャンパスに「外国人留学生・研究者サポートセンター」が設置された。さらに、新たな規定を制定し、既存のものを改正することにより、その他の事項にも対応していく。

九州大学学内情報翻訳データベース (TRIAD)

- 日本語－英語に翻訳された学内文書を蓄積・共有する効率を高めるため、九州大学は平成26年度3月27日付けで、オンライン学内情報翻訳データベース (Translated Information Archiving Database: TRIAD)を導入した。

能力に基づいた給与体系

- 上記「2. 人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立」及び報告書内6-3で述べたように、ホスト機関からのリソース供与等」で述べたとおり、本研究所は、九州大学制定の給与支払区分とは別に、「九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則」による給与体制を採用している。教員及び研究者それぞれの給与は、業績及び研究所への貢献度に基づき、副所長2名と協議のうえ、所長が決定する。

ソフロニス所長のクロス・アポイントメント

- イリノイ大学執行部との協議のもと、ソフロニス教授は平成24年6月1日付けで九州大学に雇用されることが決定した。報告書内6-3で述べたように、これは九州大学で初めてのクロス・アポイントメントの事例となる。

5. インフラ（施設（研究スペース等）、設備、土地等）利用における便宜供与

I²CNER第1研究棟

- 世界トップレベルの研究所に相応しい研究環境を引き続き整備するため、平成24年11月末にI²CNER第1研究棟（約4,873㎡）が竣工し、I²CNERメンバーが平成25年1月に同研究棟に入居した。吹き抜けの1階ロビーには電子黒板を備えた広々としたラウンジを配置し、メンバー間で研究打合せや議論が活発に行えるようにした。報告書内2-5で述べたように、I²CNER第1研究棟にはドラフトチャンバーや空気配管などの設備が設置されている。

次世代燃料電池産学連携研究センター (NEXT-FC) との共用スペース

- 平成25年1月、I²CNER第1研究棟と棟続きの次世代燃料電池産学連携研究センター (NEXT-FC) 内に、I²CNERの燃料電池研究者用に、実験室7室、居室15室及びサーバールームを確保した。また、報告書内2-5で述べたように、九州大学と海外の連携研究機関との研究者交流を促進するため、マサチューセッツ工科大学 (MIT)、英国インペリアル・カレッジ等の研究者用実験室を確保した。

I²CNER第2研究棟

- 4階建て、総床面積5,000㎡のI²CNER第2研究棟を、現在建設中である。同研究棟には、大規模実験室8室、オープンオフィス2室及び支援部門室を配置予定であり、そのほとんどが、異分野融合研究促進のため、オープンな共同実験スペースとして設計されている。報告書内2-5で述べたように、I²CNER第2研究棟は平成24年度補正予算によるもので、平成27年2月末に竣工予定である。

6. その他

副所長

- 石原教授、高田教授の副所長2名が、本研究所の目標達成のため所長と連携し所長の代理を務め、学内関係部局との調整にも対応する。所長がイリノイ大学滞在中または出張などで不在の間は、所長の意を酌み、構想を実現するために所長と緊密なコミュニケーションを維持する。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

女性研究者数

※以下の各欄の女性研究者数及び総数に対する割合を記載し、総研究者を下段に記載すること。

	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	最終目標
研究者	3, 4%	7, 7%	14, 9%	18, 12%	29, 17%
	70	99	153	156	172
主任研究者	1, 3%	2, 6%	3, 7%	1, 4%	1, 4%
	29	33	45	26	25
その他の研究者	2, 5%	5, 8%	11, 10%	17, 13%	28, 19%
	41	66	108	130	147