

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 (延長審査用)

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

A. 拠点形成報告書

I. 概要

創立 8 年目に差し掛かり、研究所の勢いと科学的インパクトは加速し続けている。様々な指標がこのことを証明する：特定された課題を解決する科学的発見やブレイクスルー、産業界への技術移転の数は飛躍的に増加し、産業界とのパートナーシップや I²CNER との連携を求める海外機関の数も増加している。I²CNER の存在により活性化した大学事務局による革新的な大学改革、そして I²CNER の技術牽引型研究戦略は、九州大学を世界的リーダーとして位置付ける。進化を続ける I²CNER の研究テーマは、九州大学の他研究院との新たなパートナーシップに繋がっている。このことは、研究所の活力を維持し、I²CNER が日本のカーボンニュートラル社会への移行を阻む技術的障害を克服するために必要不可欠である。I²CNER は九州大学のシステム及びエネルギー分野の国際研究コミュニティに統合されてきている。これら進展にもかかわらず、乗り越えるべき課題は未だ多くある。しかし I²CNER は、数学、政治学、社会科学、経済学との新たなパートナーシップを通じて、これら課題に取り組む用意ができています。I²CNER は、未来のカーボンニュートラル社会の実現に向けて既に重要な貢献を果たしており、その将来目標は、日本がエネルギー需要を満たし 2050 年までに炭素削減の目標達成を確実なものとするよう、設定されている。

II. 各論

1. 形成拠点の全体像

I²CNER のミッションは、日本の将来のエネルギー需要を満たし、同時に CO₂ 排出を最小限 (2050 年までに 1990 年比で 70-80% 減) に抑えるためのエネルギーシステムの基盤を開発し続けることである。ミッション実現に向けて、I²CNER の研究は、基盤技術ロードマップにて明示されたマイルストーン及び目標の下で進められる。我々のロードマップは、エネルギーアナリシス部門 (EAD) により、次の 3 原則を満たすシステム構築を目指して策定されている：エネルギーコスト高効率、低炭素強度、高 CO₂ 管理能力。研究チームは必要に応じて、化学、物理学、材料科学、機械工学、地質学、生体模倣学等、様々な分野の科学者やエンジニアで構成され、研究は幅広い時空間スケールに跨る現象を取りあげる。研究チームは流動的であり、異分野融合的なパートナーシップが生まれては解散する。例えば、自然科学とエネルギー工学のための応用数学との融合研究プロジェクトがある。これは九州大学マス・フォア・インダストリ研究所との連携により生まれた新分野であり、地盤材料中の 2 相フローの研究とパーシスタント・ホモロジー、などが一例として挙げられる。I²CNER の研究は、理論、コンピュータモデリング及びシミュレーションを実験手法と組み合わせ、ロードマップで特定された課題解決を加速化する。すなわち、I²CNER の研究活動及び目標は、自ずと分野横断的であり、ミッション志向性があり、国境や研究部門/クラスターの垣根を越えて行われる。

I²CNER のミッションは、米国内のトップ大学、権威ある研究所や政府機関等との様々な協力関係構築を推進するイリノイ大学サテライトにより力強く支援されている。加えて、イリノイ大学サテライトは、九州大学の大学改革、教育・研究国際化を助する活性化プログラムの実施を支援し、また、日本人若手教員及び学生が国際的な環境で共同研究に従事する機会を与えている。研究ポートフォリオを強化するため、I²CNER は欧州・アジア・オーストラリアの国際認知度の高い研究チームとの協力関係構築を推し進めている。

2. 研究活動

I²CNER の研究は、EAD と密に連携した研究部門で行われるため、研究の技術的・経済的な重要性

とフィジビリティが継続的に評価されている。各部門の研究はプロジェクトに分割され、それぞれのプロジェクトにはロードマップが策定される。ロードマップには最終目標に向けたマイルストーンが明確に設定され、各プロジェクトに関与する研究者はそれぞれ、最終目標に向け、対応するマイルストーンを目指して研究を行っている。創立以来、I²CNERは12の短期、4の中期マイルストーンを達成した。特に、水素貯蔵研究部門はNEDO目標を達成し、CO₂分離・転換研究部門は分離膜のCO₂選択性に係る目標を越える成果を出した。プロジェクトロードマップの目標とマイルストーンへの進展を示す革新的研究成果は、以下のとおりである。

光エネルギー変換分子デバイス：光触媒水分解は、水素発生反応の遅い反応速度が課題とされる。この課題克服を目的として、イリノイ大学Ertekin助教及び石原主任研究者は、化学合成、原子レベル顕微鏡、第一原則モデリングを組み合わせ、チタニアに埋め込まれたドーパント原子がドーピングされていないナノシートに比べて10倍にも上る水素生成率を示すことを初めて明らかにした。これは、我々の知る限りでは、ドーパントの分光スペクトルの測定と計算予測の初の直接比較である。安達主任研究者は、太陽光照射による価電子帯上原子価の正孔トラップの増加が、最も有望な太陽光発電技術の一つであるハイブリッドペロブスカイト太陽電池の、高湿度環境下での、劣化原因となることを明らかにした第一人者である。ペロブスカイト太陽電池への酸素及び水の含有を抑制することにより、キャリアの再結合が減少し、金属鉛の形成が抑制され、デバイスの耐久性が改善された。4,000時間の推定デバイス寿命（18%の電力変換効率を維持）は、これまで報告された中で最長の部類に入る。

触媒の物質変換：小江主任研究者による生体模倣触媒の発見は、ロードマップ・マイルストーンへの継続的な前進の一例である。このグループはまず、Science誌において、天然の[NiFe]ヒドロゲナーゼを範とした[NiFe]ベースの機能モデル錯体による初の水素活性化を報告した。この研究に続いて、O₂付加物を介したO₂還元のための新たな[NiFe]ベース合成触媒の開発に成功した。これは、サイドオン型鉄(IV)ペルオキソ錯体の例となる酸素耐性[NiFe]ヒドロゲナーゼの世界初の生体模倣モデル触媒である。これらの成果は、貴金属触媒を用いない小分子燃料電池開発の発展の基礎となると同時に、エネルギー技術にとって非常に重要な領域である小分子活性化の枠組みを設定する。

熱科学：合体により誘起された液滴跳躍と吸着ナノ材のマイクロ/ナノ構造に関するMiljkovic教授（イリノイ大学）の研究は、異なる時空間スケールに跨る熱—流体—表面相互作用の操作による様々な応用技術の革新的な効率向上へ繋がるものである。具体的には、これらの画期的なナノ材料およびコーティングの発見は、再生可能/非再生可能エネルギー発電、熱管理、および建築エネルギー技術において、大きな技術的影響がある。

大気からの炭化水素吸着による表面濡れ性、及び高効率吸着材料の合理的設計のための固体蒸気吸着現象に関するSaha主任研究者の基礎研究は、水・エタノールの高効率吸着を可能にする多孔性の(> 3000m²/g) 金属有機構造体の発見をもたらした。プロジェクト・ロードマップの短期的マイルストーンを達成するこれら業績は、試料の濡れ性および吸着に対する環境影響を定量化することによって、表面科学の基礎知識ベースを書き直している。

電気化学エネルギー変換：現在も使用されており、将来的にも重要なエネルギーデバイスである固体高分子形燃料電池およびLi-O₂電池の主な欠点は、電子触媒の低耐久性である。中嶋主任研究者のグループが開発した固体高分子形燃料電池およびLi-O₂電池を被覆する「ポリマーラップ・カーボン」アプローチは、表面の機能を劇的に安定化し強化する。この発見は、高性能・高耐久性を有する燃料電池電極製造のために極めて重要な新技術を提供する。

固体酸化物電解槽等の電気化学デバイスの商業化は現在、空気電極の性能限界、すなわち、作動中に急速に劣化する現象により制限されている。表面の化学組成、表面反応、そして劣化メカニズムは長年の謎であり、広く技術が受容されるためにその解明が必要な問題である。低エネルギーイオン散乱として知られる先進的な表面分析技術と原子シミュレーションを用いて、Kilner主任研究者（Imperial College, London）および石原主任研究者のグループは、初期の電極表面は酸素の吸着に対して不活性であり、酸素吸着を起こすためには空孔機構として知られる活性サイトの誘起の機構を作らなければならないことを明らかにした。この研究チームの主な貢献者は、助教に昇進したポスドクのDruce博士とTellez博士、そしてテニュア教員のStaykov准教授であった。

CO₂分離・転換：新しく設計された相分離型CuPdナノ合金触媒を使用して、山内主任研究者及びKenis教授（イリノイ大学）は、電気化学的にCO₂をエチレンおよびエタノール（C₂生成物）に還元するための高効率CO₂電解還元プロセスの開発に成功した（最大63%のファラデー効率は、文献中のC₂生産の最も高い報告値の1つである）。これは、本研究の前に報告されたレベルと比較して10倍の性能向上であり、報告された限りで最小の過電圧（<0.7V）で達成される。

水素貯蔵：秋葉主任研究者と堀田主任研究者は共同研究により、TiFe金属間化合物を高圧ねじれ加工（High Pressure Torsion）することで生まれる格子欠陥が水素吸収の活性化に効果的であることを明らかにした。ここで留意すべきは、TiFeは、室温および低圧で活性化することが困難であったため、再生可能エネルギー貯蔵用媒体として放棄されていたことである。秋葉、堀田両主任研究者による発見は、冷間圧延法とメカニカルミリング法による活性化アプローチの商業化を導いた。この研究をさらに追求して、秋葉主任研究者は、TiFe系合金をMn添加により活性化する高圧ねじれ（HPT）加工のより高い有効性を達成した。並行して、秋葉主任研究者は、オンボード水素貯蔵用途のためのNEDO目標を満たすアミド/水素化合物複合材を介して、9 wt%の水素貯蔵量および90℃の

オンセット温度を達成した。

CO₂貯留：地質試料中における間隙スケールでのCO₂-塩水混合流体の流動ダイナミクスは、地下深部貯留層に圧入されたCO₂の大規模な挙動を正確に予測するために重要である。この分野におけるChristensen主任研究者（Notre Dame University）の研究は、2Dマイクロモデルを用いて、貯留層と同等の条件下における間隙スケールでの流動プロセスを実験により定量化した。彼の研究は、は岩石中を透過するCO₂流れに対する慣性力の重要性や孔隙中にトラップされた水塊へのCO₂流が発生することを明らかにした。これらの結果が示唆するところは、地質貯留層におけるCO₂の大規模移動を大きく変化させる動的流動過程を考慮して、液体CO₂移動の孔規模モデルを修正する必要があるということである。

辻主任研究者のグループは、貯留層岩の水理的特性（CO₂飽和度）と弾性特性（地震波速度）に基づいて、貯留層のCO₂飽和度を定量化するための新たなモニタリング方法を開発した。この方法は、連続かつ精密に制御された震源を用い、CO₂飽和度を地震波速度から割り出すものである。このモニタリングシステムは現在、カナダのサスカチュワンにある石炭火力発電所の継続的CCSプロジェクトに配備されている。

水素適合材料：Robertson主任研究者（University of Wisconsin-Madison）とSofronis主任研究者（Illinois /Kyushu）のグループは、最先端の微細構造評価と計算モデリングを使用して、水素により高められた可塑性と材料破壊との関連性を発見した。彼らは、水素により高められた可塑性と水素による欠陥によって生じた微細構造が材料の破損をもたらすことを見出した。この研究の重要性は、高圧水素ガス環境下における金属部品の寿命予測に繋がることにある。粒界割れに対する水素の影響に関する定量的洞察は、破壊に伴う新たな表面生成の熱力学的な取り扱いを通じて、Kirchheim（Gottingen University）主任研究者によってさらに研究された。平均場アプローチの限界に際した溶質の表面偏析及び脆性破壊の説明として、ニッケル系の破壊をもたらす閉鎖型溶液が導出された。

エネルギーアナリシス：EADは、各部門のロードマップを策定するだけでなく、日本の重要なエネルギー課題とCO₂排出削減に対するI²CNER研究の影響について、多くの技術・経済的研究を行ってきた。広瀬 WPI招聘教授（トヨタ）との共同研究で、EADのリーダーである板岡教授は、地理情報システム分析を利用して、燃料電池車の給電需要に対応した水素ステーションの配置法を検討し、理想的な配置場所を特定した。この研究では、潜在的な顧客と最寄りの水素ステーションの距離を最小限に抑える方法で水素ステーションを配置することが、最適な配備アプローチであると結論付けられた。また、この研究では、都市、特に各都道府県庁所在地に、より多くの水素ステーションを設置する必要があることが示された。最後に、既存計画ではカバーされていないが、カバーされる必要がある重要な大都市圏が特定された。

山内主任研究者との共同研究では、再生可能エネルギー資源が豊富、もしくは、その自然環境の条件と一致するため二酸化炭素の分離・貯蔵が容易な海外の地域から、再生可能エネルギーを利用した低炭素燃料の輸入の可能性を探った。この研究では、電気を使ってシュウ酸をグリコール酸に変換する山内主任研究者のカーボンニュートラル・サイクル（CNサイクル）のライフサイクル評価に基づいており、このグリコール酸は西オーストラリアの風力発電で生産され、石油タンカーで日本に輸送されると仮定されている。結果は、CNサイクルが放出するのは、送電網で排出されるレベルの50%未満（2014年で579g-CO₂/kWh）であり、高分子電解質アルコール電解合成セルを使用しグリコール酸の生産効率を高めることによって、それらの排出をさらに低減できることが明らかになった。

3. 研究成果の社会還元

日本政府のグリーン・イノベーション・イニシアティブを実行的なものにするI²CNERの研究成果と目標についての妥当性は、研究者らが産業界（トヨタ、日産、ホンダ、京セラ、三菱重工業、日立、JX石油開発、エアリキッド社、JFEスチール等）と連携した81件に上る共同プロジェクトによって証明されている。合計で33件のプロジェクトが技術移転に至った。さらに、現在実施中の産学関連事業の他の7件のプロジェクトも更なる技術移転に至る可能性がある。創設以来、I²CNERは178件の特許を申請し、46件の特許を獲得している。

各部門の代表的な研究成果例は次のとおり：i) 石原達己主任研究者の「自動車からのエネルギー再生のためのデュアルカーボンバッテリー技術のリコーへの技術移転」。ii) 松本広重主任研究者の「水蒸気電気分解に特に適したプロトン伝導電解質と電極の最適な化学合成の発見成果の、日本触媒社への技術移転。」これは、太陽光エネルギーから水素を大規模に生成するための、600度で運転する水蒸気電気分解装置の開発に活かされる。iii) 高田保之主任研究者の「高温熱供給ヒートポンプの商用製品設計向けに新たに開発された冷媒の熱物性と熱輸送特性、及び熱伝導特性に関する、三菱重工業及びセントラル硝子への基礎データ提供」。iv) 秋葉悦夫教授が「岩谷産業と協力して進めている、定置型水素貯蔵装置のための高性能水素吸蔵合金の開発」。v) 山内美穂主任研究者の「自動的に混合状態となるFe-Niナノ合金を調合する合成手法の大同特殊鋼への技術移転」。vi) 藤川茂紀主任研究者の「ガス分離のための機能的ナノ薄膜技術のナノメンブレン社での製品開発のた

めの技術移転」。 vii) 辻健主任研究者の「石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)との協力による革新的なCO₂継続モニタリングシステムの、カナダ・サスカチュワン州で行われているCO₂貯留プロジェクトへの技術移転及び配備」。 viii) 杉村丈一主任研究者の「現在の水素ステーションで利用されている100 MPaの水素フローバルブにおける、水素含有環境における候補コーティングの摩損に係るダイヤモンドライクカーボン (DLC) コーティングの開発に関するキットとの共同研究」。 ix) 板岡健之教授の「日本における水素ステーションと供給インフラストラクチャに関する研究結果 (詳細は前項参照)」は73頁の報告書として2017年2月に経産省に提出された。

より戦略的な枠組みにおける技術移転を実現するため、I²CNERは2017年春に産学連携諮問委員会および産学連携研究群 (IRD) を設立した。諮問委員会の目的は、産業界との連携機会、および技術移転の可能性についてI²CNERに助言することである。また、IRDの目的は、I²CNERの研究と明確な関連性を持つ企業との技術移転を進めることである。企業は、従業員の1人をWPI招聘教授としてI²CNERのラボラトリーに常駐させるとともに、プロジェクト遂行のための資金を提供する。このようなプロジェクトの第1号は、マツダが支援する「mobile energy storage of low-carbon society」である。

4. 異分野融合

I²CNERは、ボトムアップ研究のためのユニークな機会を提供し、研究者が新たな研究の方向性を創出する機会を与えている。若手研究者は、I²CNERの特に関連する部分を構成しており、内部資料によれば、30件の国際共同研究と12件の国内共同研究が彼らによって開始された。これはI²CNERの若手教員が実に創造的であることを示している。中でも、Staykov准教授はI²CNERの4つの部門と共同研究を行い、Perry助教は5つの国際共同研究を始め、Orejon助教は9つの国際共同研究を始めた。これらのコラボレーションから生まれた研究により、I²CNER若手研究者は12の内/外部資金源を獲得している。新しく創造的な研究方針の確立を促進するために、若手教員はI²CNER競争的資金を提供されている。一例として、電極表面上の酸素交換に関する計算と実験の複合的研究に焦点を当てたPerry助教とErtekin助教 (イリノイ大学) に提供された内部資金は、NSF /JSPSのPIRE (国際研究教育パートナーシップ) プロジェクト「活性物質の統合計算材料工学および化石燃料の生産におけるインターフェイス」獲得の土台となった。PIREプログラムは、NSFとJSPSの認知度の高い共同プログラムであり、国際共同研究を促進し、地球市民に資することを目的としている。

2015年度と2016年度には、九州大学の研究・産学官連携担当 若山理事の協力を得て、「エネルギー問題への応用数学」イニシアティブを開始した。I²CNERの「応用数学」イニシアティブの目標に沿ったプロジェクトであることを条件に、九州大学の全ての研究者に競争的資金獲得の公募が行われた。複数の申請書が寄せられ、IPRCによる厳格な審査の結果、2015年度には5件、2016年度には2件が、「seed projects」として採択されたが、その際の基準は、I²CNERと九州大学の他部局、とりわけマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) との協働関係を前進させる、との観点だった。I²CNERのAnnual Symposiumは、異分野間の融合を追求し、分野横断的な研究方針を育み、新たな教員採用の道筋をつけるような行動計画を策定するためのプラットフォームとして活用される。例えば、2016年と2017年のシンポジウムがもたらした重要な成果は、計算科学と応用数学をI²CNERの研究ポートフォリオの不可欠な構成要素として組み込んだことである。また、本シンポジウムは、数学者がI²CNER、九州大学、イリノイ大学の研究者と交流を始めるという波及効果をもたらした。これは国際資金団体への共同申請に繋がっている。

I²CNERがカバーする研究分野の多様性は、部門の垣根を越えたコラボレーションにより、異分野融合研究を促進する。Kilner主任研究者と石原主任研究者の共同研究は、固体酸化燃料電池の酸素輸送動態の理解につながり、表面科学、材料科学、電気化学、理論・分子化学にまたがる多数のポストドクと若手研究者の交流点となった。同様に、Sommerday主任研究者 (Southwest Research Institute) とStaykov准教授の機械的冶金および密度汎関数理論の計算が組み合わさった研究は、金属表面に吸着した酸素がどのように水素吸収を抑制して水素疲労を緩和するのかを理解することにつながった。水素疲労が非常に激しい劣化メカニズムであることはSommerday、Kirchheim、Sofronis主任研究者間の共同研究で明らかにされている。

5. 国際的な研究環境の実現

I²CNERの環境は、非伝統的かつ多様な環境における斬新な研究を促進する豊かな基盤を提供し、日本がカーボンニュートラル社会に移行する上で重要な課題に取り組む国内外の研究者を集めている。総勢196名の国際認知された研究者に加え、214名の著名な企業や機関の関係者がI²CNERを訪問した。I²CNERの環境は、定期的な研究交流、セミナー、シンポジウムを通じて、九州大学研究者と海外研究機関の研究者との交流を促進し、若手研究者の卓越性を育成する。内部資料によれば、研究所創設以来、I²CNERの大学院生、ポストドク、若手研究者40名が、共同研究の一環として、

海外の大学や研究機関を訪問し、I²CNER自身が35名以上の海外からの大学院生、ポスドク、招聘教授を受け入れた。I²CNERは、ポスドクや若手教員をインパクトある研究キャリアへ輩出している：具体的には、九州大学を除く様々なレベルの教員ポストに56名の研究者を輩出し、民間企業や研究機関に14名の研究者を輩出している。I²CNERは、学部レベルから世界的視野を持つ研究者を育成するための取り組みの一環として、毎年、イリノイ大学に5名ほどの学部生を派遣するとともに、イリノイ大学の学部生5名ほどを研究所の夏期研究プログラムに受け入れている。

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携し、外国人研究者に対して、ビザ申請及びキャンパス内宿泊施設申請を含む一連の支援を行う。支援部門はi) 外国人向けの追加的なトレーニングやワークショップの機会を提供し、ii)種々申請用紙、ガイドライン、大学規約の英訳版を導入し、そしてiii) I²CNERの全メンバーがラボ内で実験を行う前に修了する必要がある安全教育のEラーニング教材の英訳版を導入した。その他にも、支援部門は、健康診断、キャンパス外の住居探し、家族の転居、日本の社会保険システムの説明等、生活に係る支援を提供する。

6. システム改革

システム改革については以下のとおり要約できる。i) イリノイ大学はカーボンニュートラル・エネルギー研究に関する最先端研究の共同研究機関として指定された、ii) Sofronis所長は、久保総長と若山理事により、I²CNERの全事業についての完全な権限を与えられた、iii) クロスアポイントメントが制度化され、九州大学全体に適用された、iv) 教員の学内派遣制度が設けられた、v) I²CNER教員による教育への関与が進んでいる、vi) I²CNERが導入した能力に基づいた「年棒制教員制度」を九州大学が全学的に導入した、vii) 九州大学は、I²CNERに倣って、海外からの著名訪問者へ支払う旅費の規定に柔軟性を持たせることとした、viii) 九州大学は、支援部門職員、インフラ設備、テニュア教員ポストに係る支援を行った、ix) 英語に堪能なスタッフを支援部門に配置した、x) 九州大学学部生が研究経験のためにイリノイ大学へ派遣された、xi) I²CNERが研究・教育国際化のモデルコンセプトとして取り上げられ、九州大学はエネルギー研究教育機構(Q-PIT)を設立した、xii) 若山理事は、I²CNERと九州大学の繋がりを強化し、IMI等の他部局との連携を拡大するなどの努力を行った、xiii) I²CNERの教授会に関する規定が劇的に改変された。

7. その他特筆すべき事項

I²CNERの国際的な地位と連携の高まりは、1408件のジャーナル掲載に現われている。このうち89件が10以上のインパクトファクターを持つジャーナルに掲載されている。関連する情報としては、創設から現在に至るまでの発表論文の内、被引用数が10回を超えているものが230件、20回超が72件、30回超が38件、40回超が22件、50回超が44件ある。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 拠点形成報告書 (延長審査用)

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

※添付様式を除き30ページ以内で記載すること。また各項目に記したページ数を守ること。

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、平成29年3月31日現在の内容で作成すること。

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

1. 形成拠点の全体像 (このページを含め2ページ以内)

現在の拠点のアイデンティティなど全体像について記述すること。また、拠点長が交代した拠点では、その経緯と効果も記述すること。
・主任研究者、構成員数、運営組織、拠点施設配置、事業費について[添付様式1-1~7]に記載すること。

現在の日本は主要なエネルギー資源が不足し、化石燃料の輸入に過度に依存せざるを得ない状況となっている。このエネルギー安全保障の懸念を緩和するエネルギー技術を実現可能にすることがI²CNERの掲げるビジョンである。実現の暁には温室効果ガス(GHG)を2050年までに1990年レベル比で70-80%削減させるテクノロジーの基礎研究を通じてI²CNERのビジョンを遂行することにより、カーボン・ニュートラル社会(CNS)の構築を目指す。この削減目標は、2009年に発表されたG8のコミットメントに沿うものである。我々は、新技術開発にあたり経済効率と安全問題を考慮することによりこの取り組みを加速し、包括的に3E+S(環境、エネルギー安全保障、経済と安全)を考慮に入れることをビジョンの基礎とする。

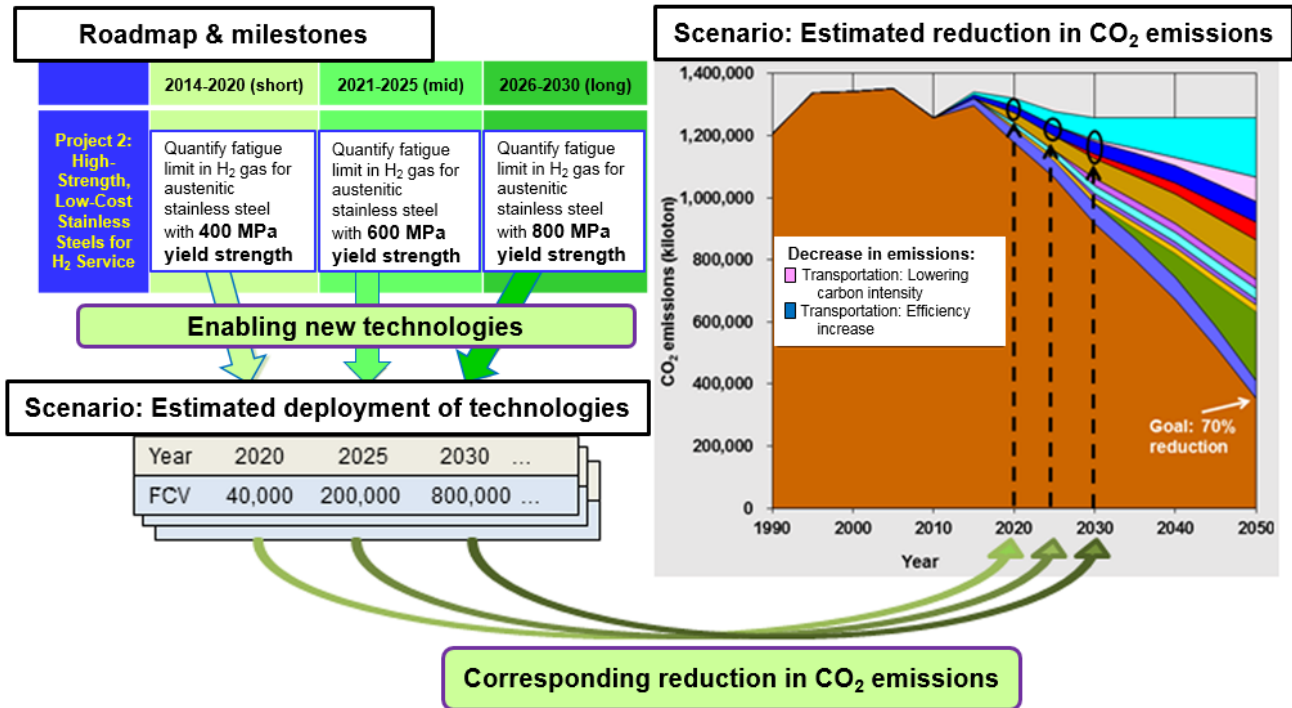


図1：水素適合材料研究部門における、水素ステーション及び燃料電池車(FCV)のための高い水素耐性をもつ鉄鋼材料の開発を目指すプロジェクト2のロードマップとマイルストーン、FCV技術の展開・配備計画、これらのマイルストーンとの実効的な関係、当該展開によるCO₂排出削減量の影響度計算、およびそれぞれの関係を表すフローチャート。

ビジョンを描くに際し、我々は、将来のテクノロジーを採択・開発する観点から、エネルギー転換・使用の効率向上(EI)と、燃料・電力分野の二酸化炭素濃度低減(LCI)という2つの主要原則を考慮する。EIは既存システムに適用できるのみならず、既存システムを新技術で置き換えることによっても達

成しうる。電力及び燃料供給・使用経路のLCIは、再生可能エネルギー、原子力、または炭素分離貯留（CCS）の何れかの活用によって達成される。目標とするGHG排出削減を成し遂げることを可能とする数多くのシナリオ（技術的選択肢の組合せ）がある。様々なLCIとEI技術、再生可能エネルギー、及びCCSについて優先度付けを行った結果、我々は5つのシナリオを作成した。技術開発とその展開タイミングは、シナリオ間の差異を生じる。5つのI²CNERシナリオは、それぞれ2050年までに70%の排出量削減をもたらすもので：A（重要なEI技術の開発、再生可能エネルギーとCCSのバランスのとれた展開）、B（LCIのための再生可能エネルギーの大規模な導入と重要なEI技術の開発）、C（電力と産業、特に石炭燃料のためのCCSの大規模な導入と、重要なEI技術の開発）、D（安全に対する社会懸念に配慮した限定的な原子力を含む、バランスのとれたLCI技術の展開）、E（大規模原子力発電所の無期限延長を含むLCI技術のバランスのとれた展開）を示す。前記各シナリオにおける多種の有望な技術オプションの開発・展開タイミングにおける障壁の排除を考慮しつつ、各部門別ロードマップ上の短期、中期、そして長期のマイルストーンを確証することにより、これら5つのシナリオとI²CNERの研究指針は強く結びついている。例えば図1は、I²CNERの研究部門における典型的な研究プロジェクトにおいて、上記シナリオAの下でのGHG排出削減を達成するために必要な技術開発の実施へ向けた各マイルストーンの関係を示している。

CNSへの障壁を排除するためのI²CNERロードマップと研究ポートフォリオの更新は、各研究部門とエネルギーアナリシス部門の密接な連携の下で行われている。併せて、I²CNERロードマップと研究ポートフォリオの更新は、サウスウエスト研究所（テキサス）、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（MIT）、カリフォルニア大学アーバイン校の国立燃料電池研究所、カリフォルニア州大気資源局（CARB）、英国のインペリアル・カレッジ（ロンドン）とオックスフォード大学、ゲッティンゲン大学（ドイツ）を含む世界中の24の協力機関の卓越した研究者との連携によっても支援されている。

I²CNERのユニークで重要な構成組織のひとつは、イリノイ大学アーバナ・シャンペン校（UIUC）サテライトであり、相互補完的な研究活動及び米国との学生・研究者交流を推進している。九州大学とイリノイ大学との間では、現時点において、学術交流協定および学生交流協定が締結されている。

拠点の設立以来、我々の研究者は世界中の621機関の研究者と共著論文を発表した。国際的に認められた214人の研究者が研究交流のためにI²CNERを訪れた。I²CNERの研究者は、これまで、159件の国際コンファレンス、191件の国際コンファレンスセッションやシンポジウムないしワークショップ、そして48件のI²CNER国際ワークショップを主催または共催した。

I²CNERは、若手研究者が伝統にとらわれない学際的かつ国際的な環境で斬新な研究を遂行するための最適な研究環境を提供している。85名の若手研究者のうち、19名が国内外の大学（九州大学を除く）で教員職につき、7名が企業や国立研究所へ就職した。異分野融合研究は、毎年行われる若手研究者を対象とした競争的研究イニシアティブへの資金援助など、様々な取り組みによって促進されている。この競争的イニシアティブでは、内部プログラム評価委員会（IPRC）による厳正な審査が行われる。この2年間で新たに生まれた極めて重要な異分野融合プログラムのひとつとして、イリノイ大学の様々な研究部門と九州大学のマス・フォア・インダストリ研究所(IMI)間の活発な協力関係に基づく、エネルギー工学と応用数学の融合研究が挙げられる。

日本政府のグリーン・イノベーション・イニシアティブを実効的なものにするI²CNERの研究成果と目標についての妥当性は、研究者らが産業界（トヨタ、日産、ホンダ、京セラ、三菱重工、日立、JX石油開発、エア・リキード社、JFEスチール等）と連携した81件に上る共同プロジェクトによって証明されている。合計で33件のプロジェクトが技術移転の成果となっている。さらに、現在実施中の産学連携事業の他の7件のプロジェクトも更なる技術移転に至る可能性がある。創設から現在に至るまで、I²CNERは178件の特許を出願し、46件の特許を取得した。

I²CNERは、大学改革活性化制度のもと、九州大学の国際化を牽引している。I²CNERの教員は大学の国際プログラムの講師を務めている。I²CNERの研究に関する運営指針は、2016年10月1日に設立された九州大学エネルギー研究教育機構のモデルとなっている。同機構は、社会科学、経済学、法学、政治学を含む様々な学部／学府／研究院で行われるエネルギーに関する研究・教育活動を統合する包括的組織である。

要約すると、I²CNERは成功した研究教育のテストベッド（test bed）であると言える。I²CNERは、科学研究・教育の国際化を通じて、エネルギー資源の限られた日本において、*carbon-neutral*で持続可能なエネルギー供給を実現するための重要な科学的課題に取り組む、国家的かつ世界的実験の場である。

2. 研究活動（15 ページ以内）

2-1. 研究成果

拠点が挑戦した世界的な課題とその成果について記述すること。成果の記述に際しては、2010～2017年3月までの代表的研究成果20件を挙げ、それぞれ解説すること。なお各成果には [1]～[20]までの通し番号を付すこと。さらにWPI拠点なくしては不可能であった研究成果には通し番号の前にアスタリスク（*）を付して示すこと。

- ・上記の研究成果を裏付ける論文一覧（全部で40編以内）とその解説を[添付様式2-1]に記載すること。

I²CNERの研究は、EADと密に連携した技術部門で行われるため、研究の技術的・経済的な重要性和とフイージビリティが継続的に評価されている。部門内の研究はプロジェクトに纏められ、各々のプロジェクトでは最終目標（図1参照）へのロードマップ上で明確なマイルストーンが設定される。I²CNERシナリオによれば、全部門のすべてのプロジェクト目標が達成されるとき、I²CNERのミッションは実現されたこととなる。この目標に向け、個々の研究者は、各々のプロジェクトの範囲内で、対応するマイルストーンを目指して研究を行う。これまで、我々はプロジェクト・ロードマップ中の12の短期マイルストーンと4の中期マイルストーンを達成し、水素貯蔵研究部門においてはNEDOの目標を達成した。以下に、本研究所のロードマップ目標への進展を示す優れた成果を提示する。

1)ハイブリッドペロブスカイト太陽電池の耐久性向上（安達主任研究者）

本部門の目的の1つは、高効率・高耐久性の太陽電池と発光ダイオードを開発することである。安達グループは、有望な太陽光発電技術の1つであるハイブリッド有機/無機ペロブスカイト太陽電池（PSC）の耐久性を向上させることを目指して研究を進めてきた。劣化前後のPSCを、熱刺激電流法（TSC）、X線光電子分光法、飛行時間型（TOF）二次イオン質量分析法により解析した結果、劣化の原因の1つが、水と酸素の存在下で太陽光照射した際のペロブスカイト化合物の分解に伴う金属鉛の形成であることを突き止めた [1、2]。我々は、高純度の窒素雰囲気下でペロブスカイト膜を作製することにより、ペロブスカイト太陽電池への酸素及び水の含有を抑制し、太陽電池寿命を2.5倍に改善することに成功した[1]。さらに、ペロブスカイト膜の作製に使用される溶液にベンゾキノン（BQ）を導入することで、更に耐久性が向上することを見出した[2]。BQがあるとペロブスカイトの成長速度が緩やかになる。これにより、大きなペロブスカイト結晶で構成された均一で平らなペロブスカイト膜が形成された。つまり、本手法を用いると、キャリアの再結合が減少し、金属鉛の形成が抑えられ、デバイスの耐久性が改善された。本研究で得られた4000時間の推定デバイス寿命は、これまで報告された中で最長の部類に入る（図2.1）。別途、ペロブスカイトの組成の最適化を行ったところ、電力変換効率は最高18%まで向上し、デバイスの熱的安定性が向上した。本部門の目標は、電力変換効率を20%以上に、寿命を10000時間以上に引き上げることである。これらの実験結果は光エネルギー変換分子デバイス研究部門プロジェクト1のロードマップにおけるベンチマークである12%を上回り、短期マイルストーンに迫るものである。

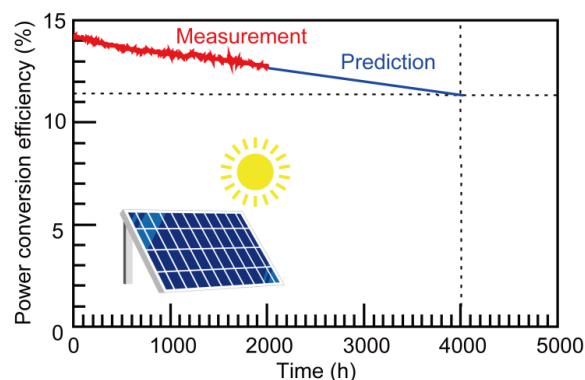


図 2.1: ペロブスカイト太陽電池の耐久性: 効率が初期値の 80%に低下した際の推定寿命は 4000 時間を示す。

*2) 光触媒の活性部位の視覚化（石原主任研究者）

光触媒水分解は、水素発生反応の遅い反応速度が課題とされる。これを克服するために、光触媒システムには助触媒がしばしば取り入れられる。しかしながら、このメカニズムは十分に理解されておらず、この理解不足は大規模な水素製造システムのデザインと最適化を阻害している。我々は、二次元のチタニア・ナノシートに担持されたドーパント原子助触媒の初の視覚化を報告した[3]。チタニア・ナノシートに取り込まれた孤立したロジウム原子は、水の酸化・還元活性部位として働く助触媒となる。最適なドーピング濃度での水素生成率は、ドーピングされていないナノシートに比べて、10倍を記録した。更に、原子論的な第一原理シミュレーションにより、孤立したRhドーパントがナノシート上で水分子の吸着と解離エネルギー状態へ変化をもたらすメカニズムが明らかになった。我々は、さらに研究を展開し、これらのナノシート上での酸素発生に関する完全な反応メカニズム

を解明した。さらに我々は様々な遷移金属のフル・スペクトルを、実験的に合成されたナノシートのドーパントとして、評価した。我々の研究は原子論的な計算モデルと二次元ドーパしたチタニア・ナノシート上の水分解化学の実験を結合したもので、我々の知る限りでは、ドーパントの分光スペ

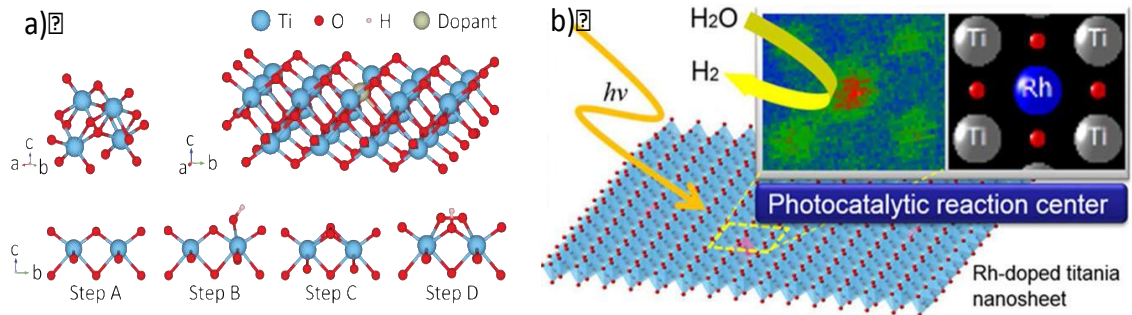


図 2.2 : 孤立 Rh ドーパント原子を組み込んだ二次元チタニア・ナノシートは、ドーピングしていないシステムと比較して、高い水素生産率を示すことが判明した。[3]

クトルの測定と計算予測の初の直接比較である。これらのエフォートは、高性能な光触媒活性部位のデザインに繋がり、光エネルギー変換分子デバイス研究部門のプロジェクト2-2の短期マイルストーン達成に寄与するものである。

*3) 水素貯蔵のための HPT (高圧ねじれ加工) による TiFe の活性化 (秋葉主任研究者、堀田主任研究者)

TiFe は、安価で、単位体積あたりの貯蔵量が大きく、水素の吸脱が室温でも可能であることから、静置 (ステーション) 用水素貯蔵への応用に適した素材である。40 年前に水素貯蔵材料として提案されたものの、活性化が難しく、高圧・高温環境を必要とし、大気中に曝すと急速に不活性化してしまうため、TiFe の応用は実現していない (図 2.3a)。しかし、当研究グループでは、2011-2012 年にこのような問題点を回避する新たな方法を開発した。実際には、高圧ねじり加工 (HPT) による機械的処理を利用するもので、活性化プロセスを要しない TiFe の「室温における迅速な水素貯蔵」を可能とした (図 2.3b) [4]。HPT 処理された材料は、1 年以上空気に曝された後でも活性状況が持続した。2013-2014 の詳細な実験は、TiFe の活性化が、主に、速い水素輸送経路として機能する格子欠陥と粒界の生成によるものであるということを確認した。この発見は TiFe に限定されるものではなく、TiFe-Mn、Mg₂Ni、TiV 等といった他の材料でも類似の現象が観測された (2015-2016) [5、6]。この発見により水素貯蔵研究部門のプロジェクト3の短期マイルストーンが達成された。HPT 処理したサンプルは小さく、商業的応用には適さないが、プロジェクト3の中期マイルストーンを達成し、活性化した TiFe 材料をスケールアップさせるため、我々は冷間圧延法(2014)とメカニカルミリング法(2015)の2つの商業化プロセスで最適化を試みた。また、これら2つの商業手法により処理された TiFe は事前に活性化プロセスなしでも水素を吸収することを見出した。

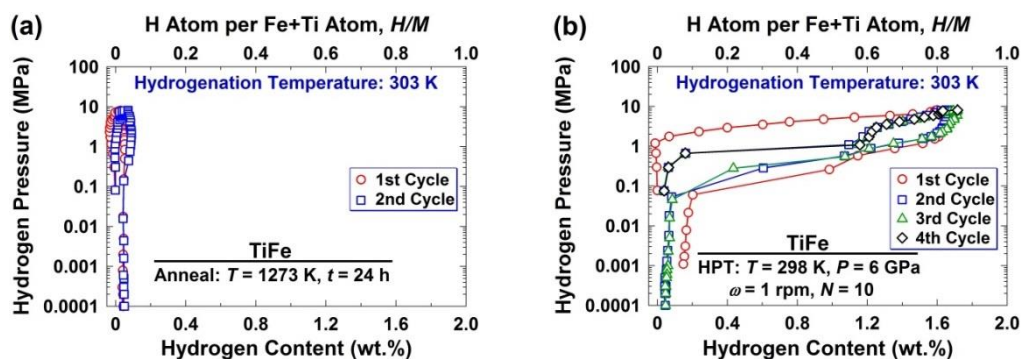


図 2.3 : HPT 処理を通じた格子欠陥の導入による室温環境下での TiFe 活性化。
a) 従来の手法により加工された材料の水素含有量、b) HPT 処理後の水素含有量。

***4) 電子移動または水素化合物移動により触媒作用を及ぼす[NiFe]ヒドロゲナーゼモデル (小江主任研究者)**

生体模倣による水素活性化の研究は、[NiFe]触媒に係る我々の研究成果に結実した。[NiFe]触媒は、水素活性化能を持つ世界で初めての天然酵素モデルである (図2.4) [7]。この新たな触媒は、天然酵素にも見られるように、一対のチオレートで繋がれたNiとFeを中心に構成されている。X線解析、中性子回折を含む幅広い技術により、詳細な反応メカニズムの検討がなされた。ヒドリド配位子は、FeとNiを架橋しており、特にFe中心に強く結合している。このヒドリド配位子のヒドリド的な性質は、強酸との反応による水素の発生により証明される。水素活性化に基づくこの新しいシステムでは、電子移動とヒドリド移動の両経路により基質を触媒的に還元することができる。この成果は、触媒的物質変換研究部門ロードマップのプロジェクト1における短期マイルストーン達成に資する。

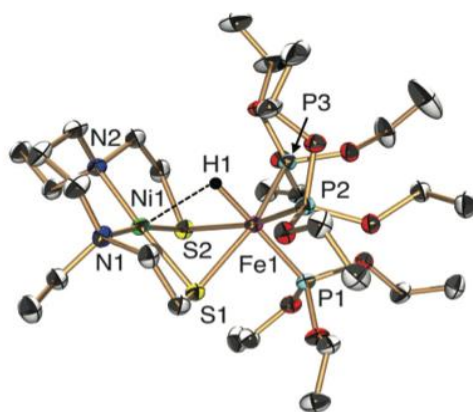


図 2.4 : 水素活性化のための生体模倣触媒

***5) O₂由来の高原子価鉄(IV)ペルキオソ種 (小江主任研究者)**

小江教授の研究チームによる第2の大きな前進は、酸素還元のための生体模倣分子触媒に着目したものである。酸素耐性[NiFe]ヒドロゲナーゼは、H₂を2H⁺と2e⁻へ変換するだけでなく、O₂をH₂Oへ還元する反応を触媒する。化学者は長らく、解析と触媒最適化を促進するような二つの機能を持つ触媒の模倣を試みてきた。この合成触媒は、酵素と比較しても、はるかにコンパクトで(1%の重量)、デバイス応用へも実用的である。小江教授のグループは、NiFeベースの新たなO₂還元触媒を報告した。構造決定により、サイドオン型鉄(IV)ペルオキシ中間体の最初の例であることを明らかにした。ヘモグロビンとの関連から鉄とO₂に関する化学は、歴史的な研究題目である。そのため、この前進は大変重要である。このブレークスルーは、H₂活性化触媒の再設計により達成され、Feに結合する有機配位子が、H₂対O₂の触媒選択性に起因することを明らかにした[8]。小江教授のプログラムは、プロトタイプの生体分子燃料電池の酸素及び水素側の両方に触媒を提供したことになる[9]。研究グループの次のステップは、実際の燃料電池として使用できるよう、水素・酸素活性化触媒をさらに改良することである。このような燃料電池の実現は、実社会における手頃な価格での燃料電池提供に向けて、重要なステップである。これは、触媒素材変換部門のプロジェクト1の短期マイルストーンを達成する。

***6) グリコール酸/シュウ酸レドックス・カップルを利用した直接充放電によるCO₂排出のない電力循環 (山内主任研究者)**

山内主任研究者は、非常に単純な生物由来のレドックス対を活用したCO₂フリーの電力分配法を発見した。そのレドックスの対は、自然界に豊富なグリコール酸 (GC) とシュウ酸 (OX) からなる。開発された手法を用いれば、温和な条件下 (-0.5~-0.7V vs. RHE 50°C) での優れた安定性と輸送性をもつグリコール酸への直接的な電力貯蔵が可能である。この電解還元のもっとも優れた特徴は、酸性水溶液中をもちいているのものに関わらず、水素発生が抑制されることである (pH 2.1、70-95%のファラデー効率)。また、アルカリ形燃料電池を使ったGCの選択的な電気化学的酸化反応を通じて

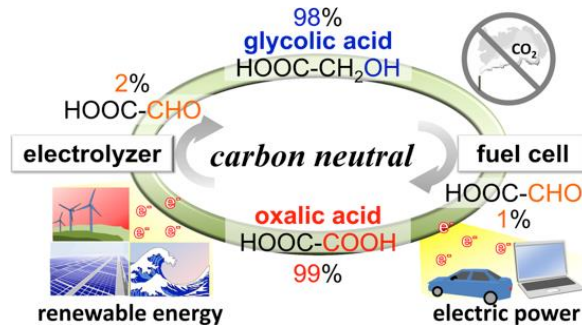


図 2.5: グリコール酸/シュウ酸レドックス対を用いた高度に選択的な電極触媒による炭素中性エネルギー循環の概略図。

も、CO₂フリー発電も達成されている。この技術の特に優れた点は、燃料の高いエネルギー密度、そして電子移動を仲介するチタニア・ナノ球体の構造安定性である。再生可能エネルギー（太陽光、風力タービン、波による発電等）から得られる電力で稼働する持続可能な社会を実現するためには、この成果のような効率的な配電方法を確立が必要である。この業績は、触媒的物質変換部門のプロジェクト2の長期目標に、直接寄与する。

*7) 合体により誘発された液滴跳躍に関する基本的理解 (高田主任研究者)

超撥水表面上の水蒸気凝縮は、液滴同士の合体により誘発される液滴の跳躍を通じて水の微小液滴を排除する表面能力を持ち、伝熱、凍結防止、抗バクテリア、自己洗浄等の性能を強化することから、近年注目を集めている [11、12]。我々は、初めて、合体により誘発された極小の水滴 ($R \sim 500\text{nm}$) の除去に成功した [11]。更に我々は、焦平面操作により3D情報を提供する画期的な単一カメラ技術（「焦平面シフト・イメージング」(FPSI)）を開発し、飛散方向についての理解を深めた [13]。本研究結果は、ナノ液滴を排除する能力を明らかにするため、広範囲にわたる水及びエネルギー関連の応用のための液滴跳躍を改善するシステムの効率を向上させる可能性がある。更に本研究の成果は、滑り、合体、衝突等の面外運動に繋がる液滴の挙動の研究に有益な映像プラットフォームを提供する。本研究から得られる知識は、冷暖房空調と発電産業用の小型復水器、凍結防止装置表面、高効率電子機器の熱管理装置等の開発に応用されている。この成果は、熱科学研究部門ロードマップのプロジェクトTP-3 (ナノレベルの熱伝導)、HMT-1 (熱伝導の段階的変化) の短期マイルストーンを達成するものである。

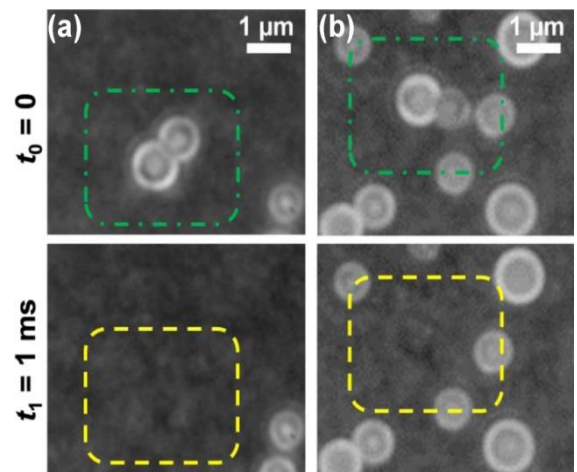


図 2.6: 超疎水カーボンナノチューブ表面の定性的な結露を、光学顕微鏡により、上部からとらえたタイムラプス画像。結露したナノレベルの液滴は、癒着後に自発的に飛散した。

*8) 機能化された画期的な吸着剤の開発と HVAC への応用 (Saha 主任研究者)

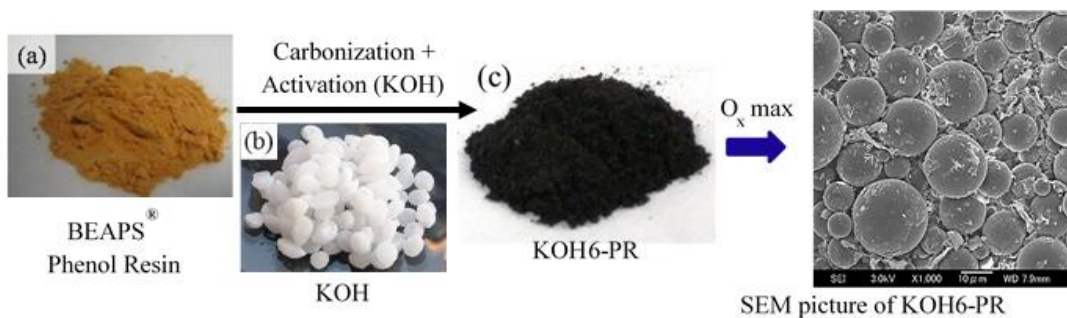


図 2.7: KOH6-PR 吸着材の生成を示す写真と粒度分布を示す SEM 顕微鏡写真。

本研究では、高性能吸着冷却装置開発のために、2つの有望な吸着剤 (KOH4-PR 及び KOH6-PR) に対するエタノールの吸着特性が調査された [14, 15]。レーザー回折式粒度分布測定によって、両サンプルが狭い粒度径分布を有し、KOH4-PR 及び KOH6-PR の粒子サイズが、それぞれ直径 26 と 23 μm の場合において、50%に達するということが判明した (図 2.7)。また、吸着等温線測定によって、KOH4-PR/エタノールが最高で 1.43 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ まで吸着し、1kg の KOH6-PR が (これまでで最高値の) 2kg まで吸着することが判明した [16]。KOH6-PR/エタノールの性能予測は、Maxsorb-III のそれに比べて 1.54 倍である。開発された KOH6-PR/エタノールは、蒸気圧縮式がに支配的な冷暖房空調市場への吸着冷凍技術の進出をさらに促進する。これらの成果は、プロジェクト HMT-2 (吸着) と TE-1 (排熱による吸着) の短期マイルストーンを達成するもので、プロジェクト HMT-2 (吸着) の中期マイルストーン達成へ迫るものである。

***9) 高温電気化学デバイス内の空気電極: 化学組成とメカニズムの原子論的研究 (Kilner 主任研究者)**

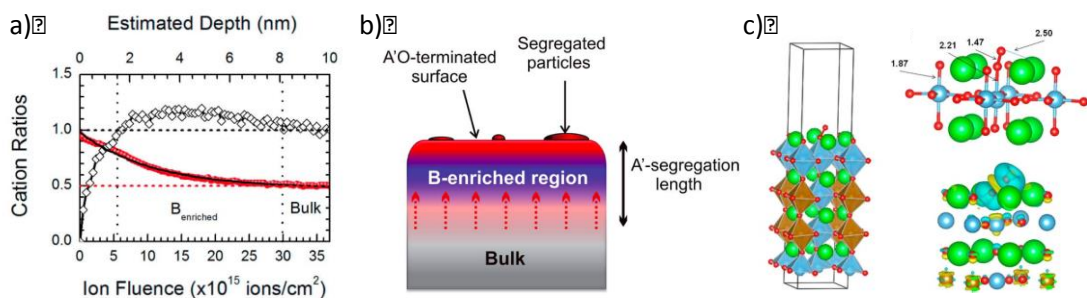


図 2.8 : a) 測定により得られた構成プロフィールは、陽イオンの表面への偏析を示している。b) 測定により得られた構成プロフィール略図。偏析は、パフォーマンスの劣化と密接に関わっている。c) 原子論的モデリングは、「空孔」により促進される表面交換メカニズムを示している。

電気化学デバイスの商業化は現在、空気電極の性能限界、すなわち、作動中に急速に劣化する現象により制限されている。表面の化学組成、表面反応、そして劣化メカニズムは長年の謎であり、広く技術が受容されるためにその解明が必要な問題である。我々は、先進的な表面分析技術を用いて、今まで知られていない二つの特徴を特定した。それらは、大多数の $\text{A}_{1-x}\text{A}'_x\text{BO}_3$ ペロブスカイト酸化物空気電極に一般化できるものであり、かつそれらの劣化に密接に関係するものである (図 2.8a,b) [17]。見いだされた特徴の一つ目は、作動時において表面の再構成が起り、表面が A、A'、O イオンのみで終端され、触媒的に活性な B サイト陽イオンがそれに覆われてしまうということである。二つ目の特徴は、このような構成イオンの偏析により、表面に A'O リッチな層が形成されるということである。このようにして得られた表面に関する知見をもとに、我々は、計算機実験により電極面への分子酸素の吸着と取込みをモデル化した [18]。我々のこのような分析により、初期の電極表面は酸素の吸着に対して不活性であり、酸素吸着を起こすためには空孔機構として知られる活性サイトの誘起の機構を作らなければならないことが示された [19]。これらの新たな知見は、電極性能の向上のためには表面の合理的なデザインが不可欠であること示しており、このことは、これまでになかった新たな認識である。この研究は、表面科学、材料科学、電気化学と理論分子化学の分野横断的な検討によってなし得たものである。これらの成果は、電気化学エネルギー変換研究部門のロードマップのプロジェクト 1 において、固体酸化物セルに係る短期および中期マイルストーンを達成するものである。

***10) カーボンナノチューブの高分子被覆による新しい電子触媒 (中嶋主任研究者)**

電子触媒の低耐久性という重大な制約を克服するため、我々は高分子被覆されたカーボン担体を利用する手法を開発した [20]。この独特なアプローチは、炭素担体の表面に Pt, Au, Pd, Au-Pd のコア・シェルや Ir 等の金属ナノ粒子、またはプロトン伝導層の均一なコーティング生成によるものである (図 2.9a) [21]。注目すべきは、これらの材料が、固体高分子形燃料電池 (PEFC) の寿命テストで、加湿雰囲気下、80 $^{\circ}\text{C}$ において非常に高い耐久性を示す (単一セルテストで 500,000 サイクル超 (図 2.9b, [22]) こと、また、120 $^{\circ}\text{C}$ の無加湿雰囲気下では、400,000 サイクル超 [21]) の耐

久性を示すということである。この高分子被覆技術は、極めて著しい耐久性強化とコスト削減を実現する次世代 PEFCs の開発に向けた新たな道筋を開くものである。これらの結果は、電気化学エネルギー変換研究部門ロードマップのプロジェクト 1 における PEFCs の安定性目標を上回り、短期マイルストーンの達成に貢献する。また、最終目標である「非 Pt PEFC」の実現にも有望である。

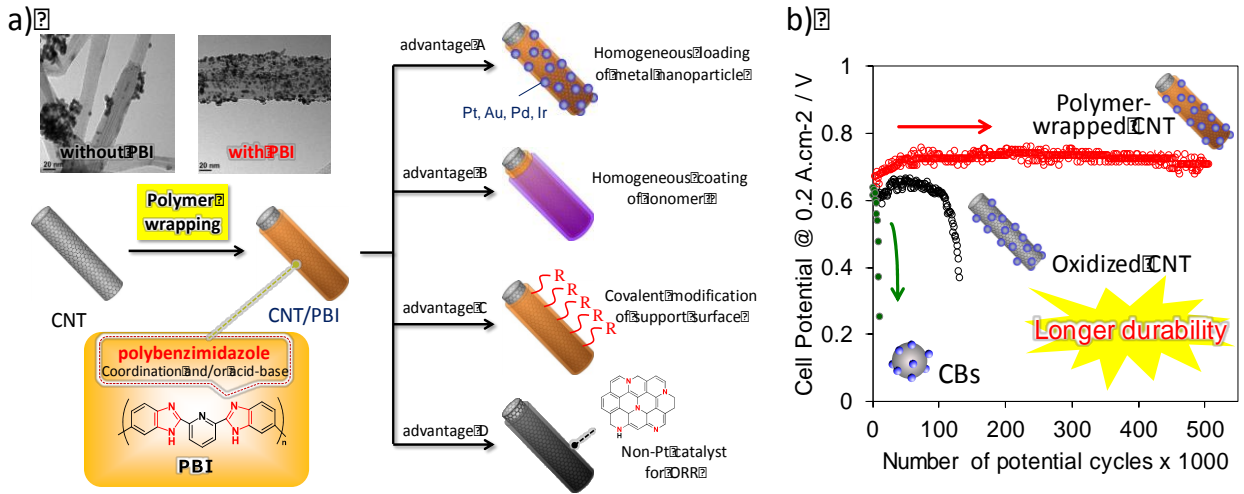


図 2.9 : 高分子被覆による耐久性の高い電子触媒生成への新たなアプローチ a) 被覆法の略図、b)500,000 サイクルまで高分子被覆したシステムに劣化が見られないことを示す耐久性結果

*11) 中温水蒸気電解 (松本主任研究者)

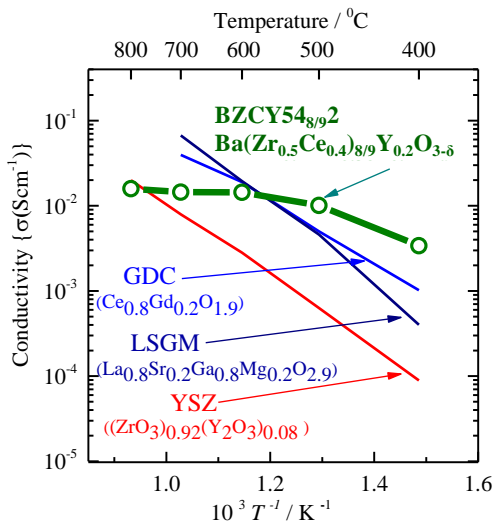


図 2.10 : 既存の酸化イオン伝導性電解質材と比較した (BZCY54_{8/92}) のイオン伝導率。

2013 年に開始された日本触媒との共同研究を通じて同社に共有された。その結果、水蒸気電解の商業化が進められており、サイズの大きな電解質/電極接合体の作製につながっている。この新素材の伝導率は、電気化学エネルギー変換研究部門プロジェクト 2 のロードマップ短期マイルストーンを達成するものである。

*12) CO₂ 貯留のための液体 CO₂-水の流体挙動に見られる慣性効果 (Christensen 主任研究者)

地質試料中における間隙スケールでの CO₂-塩水混合流体の流動ダイナミクスは、地下深部貯留層

に圧入された CO₂ の大規模な挙動を正確に予測するために重要である。本研究では、2D マイクロモデルを用いて、貯留層と同等の条件下における間隙スケールでの流動プロセスを実験により始めて定量化した。均質なモデルと天然岩石を模した不均質モデルを用いた実験結果は共に、CO₂ フロントの移動過程、個々のメニスカスの発達過程及びフィンガリングと呼ばれる樹枝状構造の生成過程における流動メカニズムをより深く理解するための重要な手掛かりとなる [26、27、28]。レイノルズ数が O(100) 近くまで上昇する「Haines Jump」と呼ばれる局所的な CO₂ 流速の急激な増加が観測され、慣性効果の重要性が示された。また、CO₂ に置換した水の隣接した孔隙への侵入が確認され、その影響は何十もの孔隙を越えて広がる可能性をも示している。これらは、Haines Jump が単なる局所的な現象ではないということの定量的な裏付けとなった。これらの発見は、間隙スケールでの流動プロセスに関する価値ある洞察を提供し、それは、部門内で行われている別の研究（例えば、モデル設計及びアップスケーリング）にも大きな利益をもたらす。この研究は、CO₂ 貯留研究部門プロジェクト2の短期マイルストーン達成へ直接寄与するものである。

*13) 貯留 CO₂ の高精度モニタリング・システムの開発 (辻主任研究者)

我々は、微動データから地震波速度の時間変化を推定することで、CO₂ の流動をモニタリングできる地震探査手法を開発した。この新たな手法により、受動的な地震計のデータのみから、タイムラプス探査により地下の情報を得ることが可能になった。このアプローチは低コストであるため、二酸化炭素地中貯留 (CCS) プロジェクトにおける貯留層の長期モニタリング (CO₂ の流動モニタリング及び漏えい検出) に特に効果的である。P 波速度変化は、流体圧入による間隙水圧の上昇と解釈できるため [29]、我々のアプローチにより、帯水層内での間隙水圧変化を推定することが可能となる。この研究に基づき、我々は、連続かつ精密に制御された震源を用いた、圧入した CO₂ の新たなモニタリング手法を開発した (図 2.11)。従来のモニタリング法と比較して、我々のモニタリングシステムは高い時間分解能と精度を有し、費用対効果も高い。また、実地試験では、表面波速度の 1 時間ごとの変化を 1% 以内の高い精度でモニタリングできることを示した [30]。このモニタリング精度により、断層帯に沿って漏えいする CO₂ に起因する地震波速度の変化を検出することが可能である。我々は、カナダで進行中の CCS プロジェクトにこの技術を適用している [31]。我々が開発したモニタリングシステムは、漏えいした CO₂ の空間分布を浅い地層内で検出することが可能であると考えられる。この研究は、CO₂ 貯留研究部門ロードマップのプロジェクト3短期マイルストーンに直接貢献する。

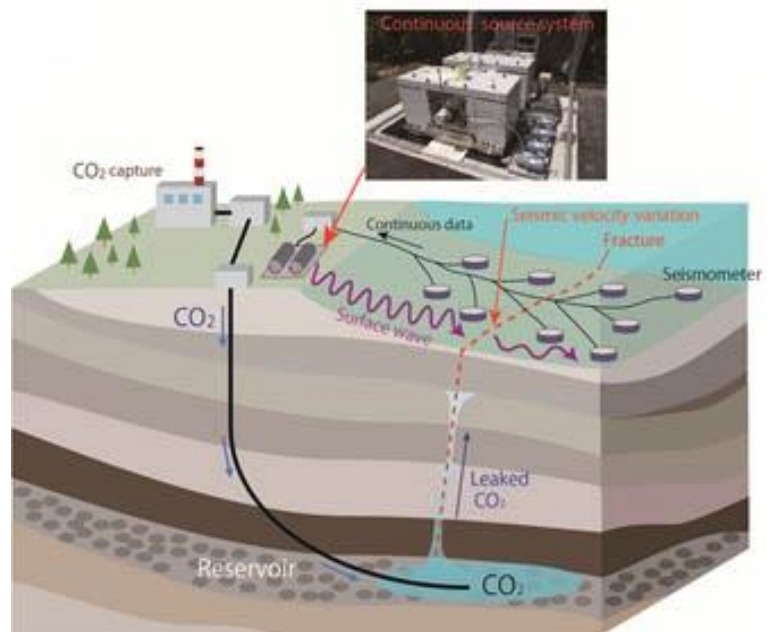


図 2.11: 圧入した CO₂ の連続地震波モニタリングおよび漏えい CO₂ の検出 (装置図)

*14) ナノ膜を用いた CO₂ 分離の新たなアプローチ (藤川主任研究者)

分離膜における CO₂ 選択性と透過流量は CO₂ 分離研究の主要要素である。分離膜の厚さは CO₂ 透過性に直接関係するため、透過流量を向上させるために自立性のあるナノ薄膜作製に注力している。我々は、CO₂ に親和性のあるサイトを含むポリマーから厚さ 20-100 ナノメートル程度しかない自立性ナノ膜の作成に成功し、14.4 (CO₂/N₂) と 14.1 (CO₂/H₂) の CO₂ 透過選択性を達成した。これは、厚さ数十ナノメートルの自立膜による CO₂ 分離としては、我々の知る限り初めての例である。この成果は、我々の手法の概念実証であり、CO₂ 分離変換研究部門ロードマップのプロジェクト1における 2 つの短期マイルストーンを達成するものである。我々は、これらの成果に基づき、CO₂ 選択

性を有する無機ナノ膜を開発した。また、我々は、理論アプローチの結果に基づいて、CO₂親和性を有する芳香族カルボン酸を二酸化チタン (TiO₂) (~ 100nm) のナノ膜に導入した。フタル酸を含む複合層 (PA@TiO₂) のCO₂選択性は、膜前後の圧力差が小さな場合でもα(CO₂/N₂)~140であった[32]。これは、我々の最終的なCO₂選択性の目標数値であるα(CO₂/N₂)~40を上回り、潜在的には、当該ナノ膜技術が空気からCO₂を分離回収可能性をもつことを意味している。

***15) CO₂電解還元異なる混合パターンを有するバイメタルCuPd触媒 (山内主任研究者)**

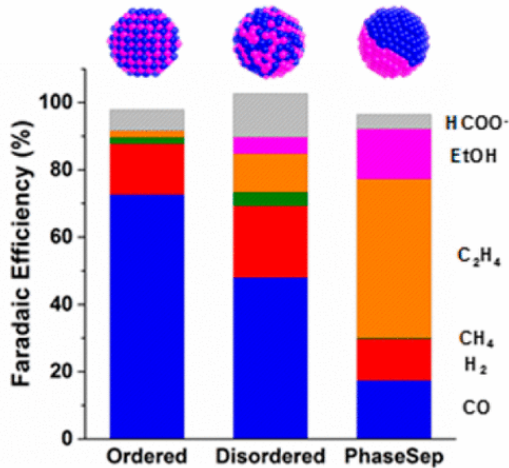


図 2.12 : バイメタル CuPd 触媒のための原子構成の機能としての、CO₂を異なる C1-C2 製品へ電解還元するためのファラデー効率 (選択性)

銅が、CO₂を大量のC₂炭化水素 (エチレンとエタノール) に還元することのできる「唯一の」遷移金属触媒であることは広く知られている。しかし、そのような製品への選択性は低い (一般的に<30%)。本研究では、様々なC₁-C₂製品へのCO₂電解還元の選択性の主要因を理解することを目的に、我々は異なる形態 (整った、乱雑な、相分離) や構成 (Cu:Pd = 1:1、1:3、3:1) を有する様々なバイメタルCuPd触媒を調査した [33]。乱雑で分相したCuPd触媒と比べ、整ったCuPd触媒はC₁製品へ最も高い選択性 (>80%) を示すことが判明した (図2.12)。加えて、分相したCuPdとCu₃Pdが、CuPd₃及び整ったCuPdに比べて、C₂製品に高い選択性 (>60%) を達成することが判明した。これらの結果は、C₂製品の形成には高密度のCu原子が必要であり、反応はC₁の二量化メカニズムを通じて進行することを示す。これらの結果は、さらに、バイメタルCuPd触媒の選択性を決定するにあたり、電気的よりも幾何学的影響がより重要な役割を果たすことを示している。

Cuベース・バイメタルに対するCO₂電解還元の選択性が幾何学的な構成の変更により調整可能であるという知見は、他のバイメタル触媒のデザインに有用である。また、この洞察は非貴金属触媒の作用を促進してCO₂を有用な製品に変えるにあたって重要である。本業績は、CO₂分離変換研究部門ロードマップのプロジェクト2の短期マイルストーンを満たす。

Cuベース・バイメタルに対するCO₂電解還元の選択性

***16) 水素供給のための次世代の高強度、低コスト合金 (高木主任研究者)**

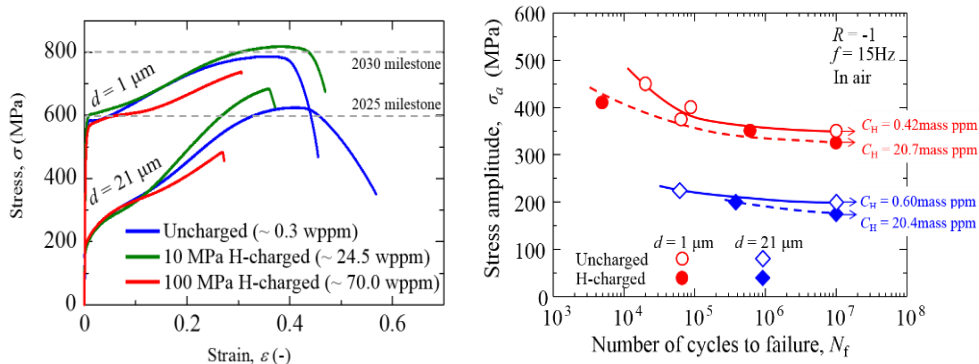


図 2.13 : 超微細粒径 (d = 1μm) と通常粒径(d =21μm)の Fe-16Cr-10Ni のデータ。(左) 最高 100MPa の水素ガス曝露後の引張—応力ひずみデータ。(右) 異なる水素濃度における応力振幅—破損までのサイクル数の関係。

我々のグループは、オーステナイト・ステンレス鋼における超微細結晶粒組織製造プロセスの先駆的な研究を行ってきた。このプロセスを適用した低コスト合金Fe-16Cr-10Niの降伏強度は、通常粒径の素材と比較して、3倍 (600MPa) に増加した (左図2.13)。水素適合性に関しては、引張延性と疲労寿命の2つの測定基準が満たされた。図2.13(左)で示されているように、超微細 (UFG) 化さ

れたFe-16Cr-10Niの引張限界は、100MPa水素ガスへの暴露後でも30%を超える水準を示す[34, 35]。疲労寿命に関しては、図2.13 (右) で示すように、超微細化されたFe-16Cr-10Niの疲労限界 (10^7 サイクルの応力振幅) に水素 (~ 20 wppm) による低下は見られない。現時点では、これと同等の耐久性・水素耐性を有するオーステナイト・ステンレス鋼は存在しない。本成果は、プロジェクト2の中期マイルストーンを達成するものであり、水素適合材料研究部門の最終目標への重要な前進を意味する。また、この業績の技術的意義のひとつとしては、低コスト・高強度UFGステンレス鋼が、水素燃料システムにおいて、ベンチマーク (SUS316ステンレス鋼) に代わる可能性があることである。これらの研究結果の商業界への技術移転は未だ実現していないが、最近、いくつかの鉄鋼製造会社*によりUFGステンレス鋼の商業規模生産が行われた。

(*公開版作成時修正)

*17) 水素中におけるフレット疲労メカニズム (Sommerday主任研究者)

フレット疲労 (繰返し応力と摩擦を伴う接触が連成した問題) の理解は、フレット疲労が機械要素の破壊につながる可能性があることから、技術的に必要不可欠である。本研究は、水素誘起の劣化はフレット疲労の方が通常の疲労 (すなわち、繰返し応力のみによる疲労) と比べてより激しいことを明らかにした。繰返し応力振幅に対する破壊までの繰返し数のプロットを示した図2.14では、304ステンレス鋼に対して、通常の疲労限度は水素の影響を受けていない。しかし、フレット疲労条件下では、水素は疲労限度を顕著に低下させている[36]。このようなデータは、水素供給システムの部品の安全な設計のために非常に重要である。このフレット疲労に関する研究は、TOKIエンジニアリング社 (福岡、日本) による高圧水素ガス供給用の金属製面シール (パッキン) (HYDROBLOCKERとして販売) の商業化を可能にした。本研究はまた、水素中のフレット疲労を支配するメカニズムを初めて確立した。この研究がもたらした重要な発見は、フレット疲労の最中の摩擦を伴う接触が素材表面の酸化物を除去し、水素取込みと接触表面間の凝着を促進するということである[37]。材料への水素取込みの促進と、凝着により増加させられた繰返し塑性ひずみの複合的な効果は、より激しい水素誘起劣化の原因となる。この業績は、水素適合材料研究部門プロジェクト1の短期マイルストーンを満たすものである。

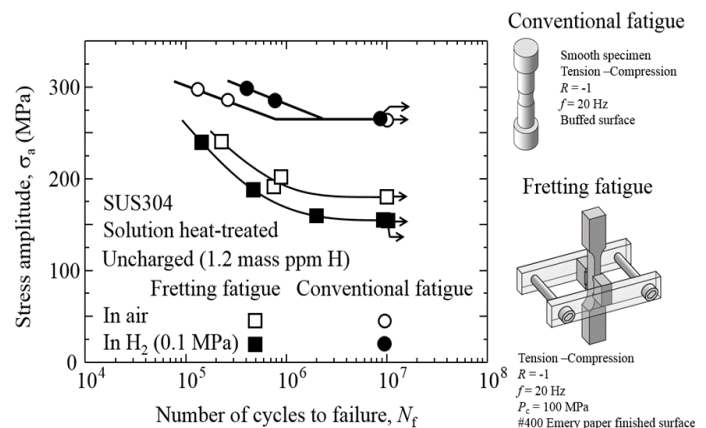


図 2.14 : 通常の疲労試験及びフレット疲労試験で測定された疲労強度に対する水素の影響。

*18) 水素ステーションの配置 (エネルギーアナリシス研究部門)

この研究の目的は、燃料電池自動車 (FCV) によって促進される燃料補給需要を満たすために、国内水素ステーションの配置に関する有効なモデルを開発し、水素ステーションを配置する有望地域を特定することであった。GIS (地理情報システム) を用いた2つの配置モデルが、ユーザーの利便性とFCVの普及を図るために検討された。本モデルでは、潜在的なFCVの顧客として高級車 (500万円以上) の所有者を仮定した。モデル分析結果に基づいて我々は、最も効果的なアプローチは潜在的顧客と最近接水素ステーション間の平均距離を最小にする水素ステーション配置である、と結論付けた (図2.15)。また、本研究は既存/計画中の水素ステーションの位置と我々の研究による最適位置の違いを特定した。この分析により、新たにステーションの配置が必要な都市 (特に県庁所在地) を特定した[38]。また本研究の成果は、日本の水素ステーション整備政策と配置計画を支援するために、経済産業省に直接報告され、水素ステーション関連団体に共有された。

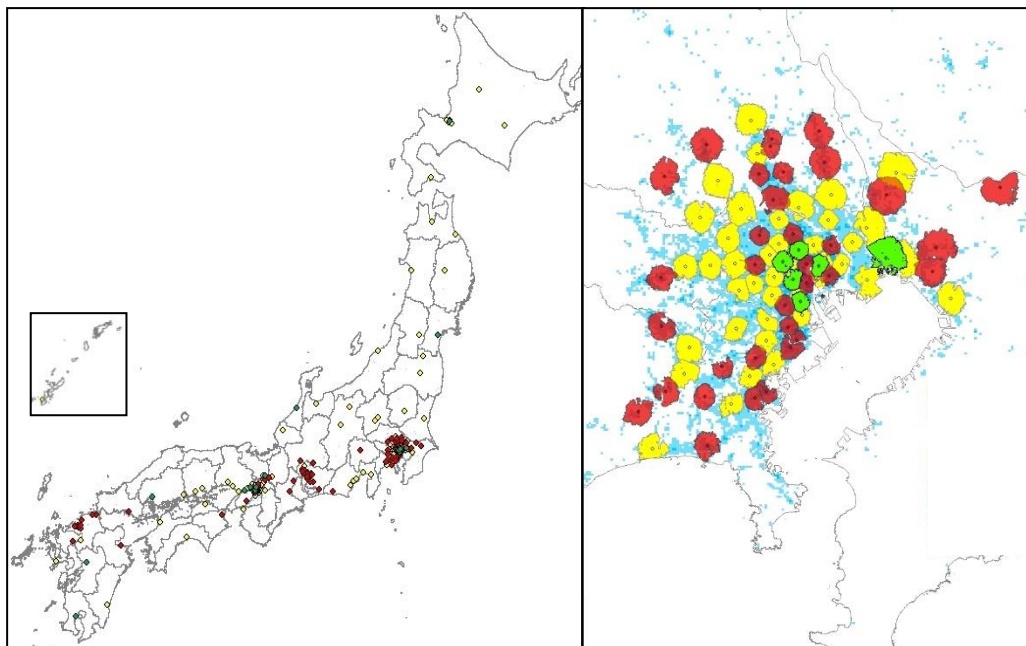


図 2.15 : 赤の点と赤の領域は既存/計画中のステーション位置とそれらから 10 分以内の走行圏を示す。初めに追加すべきステーション (最初の 100 か所まで) は緑の点で示され、それらから 10 分以内の走行圏は緑の領域で示される。更に追加すべきステーション (最初の 100 か所から 200 か所まで) とそれらから 10 分以内の走行圏は、それぞれ黄色の点と黄色の地域によって示される。最初の 5000 人の顧客の位置は、青い領域により示される。次の 15000 人の顧客 (合計 20000 人の初期顧客) は、薄い青色の領域により示される。最後に、さらに 30000 人の追加顧客 (合計 50000 人の初期顧客) は、淡青色の領域により示される。

19) 社会システムの応用数学分析 (村田教授による新たなイニシアティブ)

I²CNERで開発中の再生可能エネルギー技術を大規模かつ調和的に実装するためには、エネルギー生産(発電)、需要、貯蔵(蓄電)と電力系統との関わりに関する詳細で定量的な理解が必要となる。エネルギー(電気)消費のパターンは、新技術であるスマートグリッド、即ち通信・情報処理システムと重層化された発送配電統合ネットワークにおいて極めて重要である。以前は需要と供給が制御ループにおいて分離されていたが、近年は、それらが密接に統合されたネットワークとして捉えられている。村田教授は、住宅エネルギー消費に着目し、特に、次の二つを目標として研究に取り組んでいる：i) 柔軟でありつつ過適合していない消費者モデルの開発、ii) インセンティブを制御メカニズムとした消費者行動の最適化。モデル化は強化学習アプローチに基づいている。そこでは、消費者行動が時間依存性を有する遷移確率を持つマルコフ連鎖として記述され、また、即時的な電力価格(制御可能なインセンティブを含む)と消費の効用関数(遅延して得られる満足度も組み込まれている)に依存するものとされている。予備的な結果は、この消費者モデルの一般的な有効性を示している(モデルは電力消費の弾性的実験的観察と照合された) [39]。

*20) 地質材料の応用数学分析 (白井教授及び辻主任研究者の新たなイニシアティブ)

多孔質岩石内を流れる流体挙動を数学的にモデル化することは、CO₂貯留において極めて重要である。しかし、多孔質岩石の構造をモデル化することは非常に困難であった。本研究では、次の2分野の数学的手法を用いることで成果を得ることができた：2つの手法とは、従来の手法であるランダムウォークと、多孔質岩石の間隙形状を特徴化するパーシステント・ホモロジー(PH; 非常に新しいホモロジー理論)である。ランダムウォークを用いた手法では、シミュレーション・グリッド内の鉱物化プロセスは鉱物沈殿確率と拡散に依存するとし、岩石内部のCO₂の鉱物化プロセスのモデル化に成功した。パーシステント・ホモロジー(PH)理論を用いることで、異なるスケールを持つ物体の連結性を厳密かつ原理的に定量化することが可能となる。「穴」の概念は、本質的にトポロジカルである(つまりスケールに影響しない)。最近になって、ようやくPH理論の登場によって、スケール依存的な概念である高次連結性について説明することが可能となった。本研究では、PH理論を、X線マイクロトモグラフィーにより撮影された不均質天然岩石の間隙形状を説明するた

めに用いた。そして岩石間隙のトポロジカルな特徴を、パーシステンス図によって明らかにした。これらの取り組みは、CO₂貯留研究部門ロードマップのプロジェクト2の短期マイルストーンを満たすものである[40]。

2-2. 拠点の施設・設備等の研究環境

「世界トップレベル研究拠点」としてふさわしい施設・設備、必要な研究支援体制等の研究環境の整備および機能状況について記述すること。

I²CNERの研究者には、伝統に捉われない学際的な環境で斬新な研究を行うための最適な研究環境が提供されている。I²CNERの研究環境に関する具体的な詳細は以下のとおりである。

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継続的に整備し、また共同研究や異分野融合研究を促進すべく、2012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2013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、I²CNER研究者全員が使用可能な共用実験室群が設置されている。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ている。

I²CNER 第2研究棟

4階建て、総床面積5,000m²のI²CNER第2研究棟が建設された。同研究棟には、大規模実験室8室、オープンオフィス2室及び支援部門室が配置され、そのほとんどが、異分野融合研究促進のため、オープンな共用研究スペースとして設計されている。同研究棟の建設は、政府の2012年度補正予算によるもので、2015年2月末に完了した。

I²CNERが所有する6台の主要研究設備

- i) **小型疲労試験複合システム**
小型の疲労試験複合システムは、疲労試験実施中に、試験片表面における滑り帯や微少な亀裂等をモニターすることが可能である。このシステムは、走査型電子顕微鏡と組み合わせて使用可能な様に設計されている。
- ii) **高速ラマンイメージング分光分析システム**
ラマン分光法は、サンプル識別と定量分析のための分子振動に関する情報を提供する。このシステムは、サンプルの波長と信号強度の2次元イメージを生成する。
- iii) **2次イオン質量分析装置SIMS**
2次イオン質量分析装置SIMS(TOF-SIMS)は、極めて感度の高い表面分析ツールである。この装置により、サンプルの表面、薄層、インターフェースに関する詳細な原子・分子情報を解析し、精密な3次元分析結果を得ることができる。活用範囲は広く、半導体、ポリマー、ガラス、紙、金属、セラミクス、生体構成材料や生体組織などを含む。
- iv) **ArクラスターイオンビームXPS**
X線光電子分光法(XPS)は、サンプル表面の元素分析のために使われるツールである。単一エネルギーのX線をサンプル表面に照射し、光電子を生成する。アナライザーは、表面要素の元素同定、化学的状態、さらには表面構成物質の分量と相関関係にある光電子の結合エネルギーとその強度を測定する。XPSシステムに附加されたアルゴンガスクラスター銃は、サンプル構成要素の深さ方向の断面性状を分析するために、サンプル面をエッチングすることができる。
- v) **超伝導核磁気共鳴装置**
核磁気共鳴(NMR)分光法は、分子構造、種々の分子間の相互作用、分子の挙動や遷移、あるいは溶液と固体の混合物などにおける組成の解析に利用される。この分析の利点は、核分光計特有の性質により、溶液中及び固体中の分子を、非破壊かつ定量的に分析できることである。
- vi) **UNHT(ウルトラ・ナノインデンテーションテスト)**
UNHT(複合測定システム)は、ナノスケールで材料の機械的特性を調べるのに用いられる。UNHTは、特許取得済みの独自のアクティブ表面リファレンスシステムにより、熱ドリフト及びコンプライアンスの影響を実質的に排除することができる。これにより、ポリマーや、非常に薄い層、軟部組織などを含む多様な素材の長時間にわたる測定に極めて適している。

2-3. 競争的資金等

拠点の研究者による競争的資金等研究費の獲得実績について記述すること。

- ・ 研究プロジェクト費の獲得実績の推移、および特筆すべき外部資金について[添付様式2-2]に記載すること。

I²CNER研究者は、研究所の確立された研究基盤、研究文化や国際的なビジビリティを活用し、積極的に研究資金を獲得する活動を行っている。その例証となる、I²CNERの新しい主要研究プログラムは以下の通りである： i) 山内美穂准教授と中嶋直敏教授による、2015年度から2019年度の期間、1億8000万円規模のJST-CREST Grant； ii) 高田保之教授と小山繁教授による、2016年度から2017年度の期間、5800万円におよぶ次世代冷媒物性評価研究に係る研究資金； iii) 九州大学とイリノイ大学の共同研究チームが、2015年度から2019年度の期間、4億9500万円（450万米ドル、交換レート1ドル110円）にのぼる資金をJSPSとNSF双方から提供される国際共同研究教育パートナーシッププログラム（PIRE）； iv) 石原達己教授と酒井健教授による、2015年度から2019年度の期間におよぶ、3億8500万円規模の科学研究費助成事業； v) 松本広重教授および共同研究者による、2017年度から2021年度、9000万円のJSPS Core-to-Core研究拠点形成事業； vi) 小江誠司教授による、2014年度から2018年度の間わたる9900万円規模の小分子エネルギーセンター（CSME）向け資金の獲得； vii) 堀田善治教授による、2015年度から2020年度の、“巨大ひずみマテリアル国際研究センター（IRC-GSAM）への資金獲得（これまでの受け取り資金は300万円規模）； viii) 小江誠司教授の、2014年度から18年度にわたる、4億4000万円規模の科研費の特別推進研究助成金。

追加的な資金は、新たに設立された産学連携研究群において、産業界パートナーが支援するプロジェクトを通じて確保されている。前記研究群は、企業への技術移転を推進することを目的としている。企業は、I²CNERの研究分野と関連が有るプロジェクトに資金を提供すると同時に、その従業員をWPI招聘教授としてI²CNER内の研究チームに派遣する。最初のプロジェクトは、「低炭素社会に向けた移動体のエネルギー貯蔵に関する研究」であり、マツダ株式会社より、今後3年間で7,100万円が提供される。2つ目の株式会社IHI（2017年度に300万円程度を提供）とのプロジェクトの詳細については、最終的な詰めを行っている段階にある。

さらなる追加資金を、技術移転や特許収入、あるいは企業活動にインパクトのある研究に対する企業から支援（例：エアリキッド社による久保田祐信教授及びAleksandar Staykov准教授への支援、JFEスチールによる久保田祐信教授への支援）を通じて獲得する。

所長のビジョンは、中核となる大型外部資金を獲得し、同時にWPIプログラム期間終了後も継続する産学連携プロジェクト確保することにより、I²CNERを強靱かつ明敏で活性化された研究所として存続させることである。

2-4. 共同研究の状況

国内外の研究機関との共同研究実績について記述すること。

国立燃料電池研究センター（NFCRC）

I²CNERとカリフォルニア大学アーバイン校の研究者は、プロトン伝導性酸化物を用いたSOFC/SOEC用のカソードに関する研究や、材料の水素適合性に係る先端的な研究の実用面への応用に向けての橋渡しとなる取り組みを推進するため、相互に訪問し、また、関連する行事に参加した。

カリフォルニア州大気資源局（CARB）

グリーンイノベーションの考えを推し進めるため、CARBはI²CNER全部門のロードマップを審査し、水素インフラストラクチャ技術展開の観点から、I²CNERにおける材料の信頼性と寿命予測、及び燃料電池の研究を評価した。同時に、CARBはI²CNERのカーボンニュートラル・エネルギー技術開発に向けてのミッション牽引型の研究に対する理解を深めた。

ノルウェー科学技術大学（NTNU）と SINTEF

I²CNER, NTNU, 及びSINTEF相互における連携研究の可能性を探索するために、2012年11月15-16日に共同ワークショップが開催された。1年以上にわたる相互努力により、2014年3月17日に覚書が署名された。I²CNERのNTNUとの共同研究の一部として、水素含有環境下における材料劣化の基礎的な解明に係る共同研究プロポーザルが承認された。このプロジェクトはノルウェー研究審議会より資金援助を受ける。

カリフォルニア州リヴァモアのサンディア国立研究所、テキサス州サンアントニオのサウスウェスト研究所

設立から2016年3月まで、I²CNERはカリフォルニア州リヴァモアのサンディア国立研究所と強い協力関係にあり、特にI²CNER水素適合材料研究部門の主任研究者であり研究スタッフの卓越した一員であったBrian Samerday博士と連携してきた。2016年度には、Samerday博士はテキサス州サンアントニオのサウスウェスト研究所（SWRI）での新たなポストを得た。I²CNERは、同博士との相

互関係を維持するために、SWRIとの関係を構築した。Samerday博士は新たなポストから水素適合材料研究部門を主導していくこととなった。これらの交流により、I²CNERは米国の水素関連技術や水素適合材料の規定及び規格の開発などの情報を得続けることができた。

オックスフォード大学

I²CNER所長は、英国政府より大規模（数億円）の資金提供を受けるプログラムであるオックスフォード大学HEmS（金属内部の水素—基礎から新しい鋼のデザイン）の戦略的アドバイザーパネルの一員を務めている。この関係により、英国で行われている関連する研究についての情報を得ることができる。

2-5. 社会・学会からの評価

科学的成果に対する社会・学会からの評価について記述すること。
・主要な賞の受賞・招待講演・基調講演等を[添付様式2-3]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（2013年10月31日、東京）

米国エネルギー省（DOE）と日本の研究者が連携に成功した代表例として、I²CNERに言及。

国内外機関からの評価

秋葉主任研究者

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」（2007年～2011年）や燃料電池自動車に搭載する水素貯蔵システムの研究開発、さらには、水素転換技術の開発（2013年～2017年）など、コンパクトでエネルギー効率の高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。2012年度のNEDOプロジェクト「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、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。

佐々木主任研究者

佐々木一成教授は、2013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。佐々木教授は、学术界からの参加委員3名のうちのひとりである。

辻主任研究者

辻健主任研究者は、経済産業省(METI)の日本列島周辺の地層構造及び地質学調査船の新たな仕様を評価する委員会のメンバーである。同氏は、経産省傘下の地球環境産業技術研究機構（RITE）の委員会のメンバーでもある。これに加えて、日本列島周辺での沖合CCSプロジェクトを推進する環境省委員会にも参加している。更に、同教授は、国際海洋穿孔プロジェクトを推進するJAMSTEC(またはMEXT)の委員会メンバーでもある。加えて、辻教授は、「国際海洋発見プログラム」(米NSF)委員会のメンバーでもあった。

米国エネルギー省との交流（DOE）

水素適合材料研究部門のリーダーであるSamerday博士は、その卓越した技術専門性と成果を生み出すプロジェクトに対する管理能力により、米エネルギー省の権威あるプロジェクトH2FIRST（水素燃料インフラストラクチャの研究とステーション技術）にリーダー格として招聘された。これは、官民連携R&Dを強化することで、水素燃料ステーションの開発を促進するものである。I²CNERと過去に協働した米国エネルギー省職員は、Mark Paster氏（エネルギーアナリシス研究部門に重要な貢献をしたアナリスト）；Jeffrey Miller氏（在日米国大使館の元エネルギー担当大使館員）；そしてRoss Matzkin-Bridger氏（現在のエネルギー担当大使館員）である。さらに、Sofronis所長は水素燃料電池プログラムの年次人事評価及び成果評価会議のレビューでもある。

国内外機関からの名誉ある表彰例

US Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Research and Development Awards

2011年、Sofronis主任研究者とRobertson主任研究者がUS Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Research and Development Awardを受賞した。2014年にはSomerday主任研究者も同賞を受賞した。

The 2012 Somiya Award（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）

John Kilner、Harry Tuller、石原達己の各主任研究者は、この荣誉ある賞を受賞したグループメンバーの一員である。

2012-2013 Hydrogen Student Design Contest

I²CNERメンバーを含む九州大学の学生が、米国DOE、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主催する2012-2013 Hydrogen Student Design Contestで入賞を果たした。

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、小江誠司主任研究者の研究成果が特集された。

国際固体イオニクス学会役員

Harry Tuller主任研究者が会長に、石原主任研究者が財務役員にそれぞれ選出された。

文化勲章 (2014年)、京都賞 (2015年)

國武豊喜教授

紫綬褒章 (2015年)

堀田善治主任研究者

2016年度文部科学大臣表彰若手科学者賞 (科学技術分野)

辻健主任研究者、伊田進太郎准教授

Daiwa Adrian Prize 2016

石原主任研究者、John Kilner主任研究者、Aleksandar Staykov准教授、John Druce助教、Helena Tellez助教

2016年度文部科学大臣表彰科学技術賞 (科学技術分野)

中嶋直敏主任研究者

3. 研究成果の社会還元 (2ページ以内)

3-1. 研究成果の実用化など

成果の実用化、Innovationへの効果、IP実績、企業との共同研究等について記述すること。

また、低炭素社会への貢献に資する研究成果、低炭素社会のビジョン、移行シナリオについても記述すること。

日本政府のグリーン・イノベーションイニシアティブを実効的なものにするI²CNERの研究目的と目的についての妥当性は、I²CNERの研究者らが産業界と連携した81件に上る共同プロジェクトによって示されている。合計で33件のプロジェクトが技術移転につながっている。創設から現在に至るまで、I²CNERは178件の特許を出願し、46件の特許を取得した。

各部門の代表的な研究成果例は次のとおり: i) 石原達己主任研究者の「自動車からのエネルギー再生のためのデュアルカーボンバッテリー技術のリコーへの技術移転」。ii) 松本広重主任研究者の「水蒸気電気分解に特に適したプロトン伝導電解質と電極の最適な化学合成の発見成果の、日本触媒社への技術移転。」これは、太陽光エネルギーから水素を大規模に生成するための、600度で運転する水蒸気電気分解装置の開発に活かされる。iii) 高田保之主任研究者の「高温熱供給ヒートポンプの商用製品設計向けに新たに開発された冷媒の熱物性と熱輸送特性、及び熱伝導特性に関する、三菱重工業及びセントラル硝子への基礎データ提供」。iv) 秋葉悦夫教授が「岩谷産業と協力して進めている、定置型水素貯蔵装置のための高性能水素吸蔵合金の開発」。v) 山内美徳主任研究者の「自動的に混合状態となるFe-Niナノ合金を調合する合成手法の大同特殊鋼への技術移転」。vi) 藤川茂紀主任研究者の「ガス分離のための機能的ナノ薄膜技術のナノメンブレン社での製品開発のための技術移転」。vii) 辻健主任研究者の「石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)との協力による革新的なCO₂継続モニタリングシステムの、カナダ・サスカチュワン州で行われているCO₂貯留プロジェクトへの技術移転及び配備」。viii) 杉村丈一主任研究者の「現在の水素ステーションで利用されている100 MPaの水素フローバルブにおける、水素含有環境における候補コーティングの摩損に係るダイヤモンドライクカーボン (DLC) コーティングの開発に関するキットとの共同研究」。ix) 板岡健之教授の「日本における水素ステーションと供給インフラストラクチャに関する研究結果 (詳細は前項参照)」は73頁の報告書として2017年2月に経産省に提出された。2016年度、I²CNERは23件の特許を出願し14件が認められた。これにより、創設から現在に至るまでの特許出願数は178、査

定特許の数は46となった。

技術の産業界での展開を下支えするミッション指向の基礎科学研究を見極めるために、産業界との関係構築や政府プログラムを遂行する取組みの一環として、I²CNERは産業界連携研究群を設立し、探索的研究プロジェクトや技術移転を目指し、産業界とのリエゾンの役割をI²CNER内部に組み込んだ。例えば、関係産業界との関心領域を見極めるための終日にわたるワークショップ開催を通して、先端的な研究プロジェクトを立ち上げる。2016年度には、マツダとの初となるプロジェクトが立ち上がり、2017年度は株式会社IHIとのプロジェクトも立ち上がる予定。加えて、I²CNERは企業・政府機関・国立研究所の上級幹部で構成される産学連携諮問委員会を設立し、産業界との連携及び技術移転の機会についての助言を受ける。

3-2. アウトリーチ活動

特色のあるアウトリーチ活動実績や特記すべき事項があれば記述すること。
・メディア報道掲載等の実績を[添付様式2-4]に記載すること。

I²CNERは、国内外の一般市民、高校生、教員、国立研究所の研究者、産業界・政府関係者の関心を集め、参加を募る多様なアウトリーチ活動を行っている。特筆すべき事例を以下に列挙する。

I²CNER Kick-off Symposium (2011年2月1日)

本シンポジウムは、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。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。

I²CNER Satellite Kick-off Symposium (2012年3月6日-7日)

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、Richard Wheelerイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校学長(プロボスト)らが本シンポジウムへ参加した。シンポジウム初日は、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・サイエンティスト・オフィサー)など多くの著名な研究者による講演が行われた。九州大学からは、合計30名の研究者が現地(イリノイ大学)へ赴き、シンポジウムへ出席した。

I²CNER Annual Symposium

創立より、I²CNER Annual Symposiumは各部門の研究成果を披露するイベントとしてスタートし、漸次、I²CNERの研究ポートフォリオ及び国際的コミュニティに深く関わる特定研究トピック(計算、応用数学等)に着目した探索的なフォーラムへと変遷を遂げてきた。この国際シンポジウム・シリーズの目的は、ある分野における先端研究を特定し、その先端研究と比べたI²CNERの位置を把握し、障壁や必要な進捗度合いを特定し、それに応じて目標を新たに設けたり、調整していくことにある。毎年、シンポジウムでは各部門別の特定ワークショップも開催され、ブレーンストームの場を提供し、また、研究ポートフォリオの強みや弱みを特定し、各研究分野における極めて重要な成長を如何にして達成するかを探求する機会などを与える。詳細及び例については、以下5-2項参照。

I²CNER 東京シンポジウム

首都圏及び国際コミュニティのエネルギー・ステークホルダーにI²CNER研究活動を紹介するため、在日米国大使館の後援のもとで開催される「東京シンポジウム」も、I²CNERが主催する恒例の企画になりつつある。現在まで2012年及び2014年に開催され、何れも在日米国大使をはじめ、文部科学省、米国エネルギー省、他の米国政府機関の高官らの参加を得た。

Hello! I²CNER/Energy Outlook

高校生を対象とした「Hello! I²CNER」および産業界のステークホルダーを対象とした「Energy Outlook」を年3回発行している。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。「Energy Outlook」は企業の幹部やエネルギー分野において世界的に著名な研究者とのインタビューを特集している。

I²CNER プロモーション・ビデオ

2015年度、I²CNERはMRS学会の全てのビデオ・プログラムを担当する企業WebsEdgeと提携して、当研究所のプロモーション・ビデオを作成し、2016年3月28日～4月1日に米アリゾナ州フェニックスで開催された2016年MRS春季会合にて披露した。このビデオはI²CNERの認知度向上のため、2016

年度中、MRSのウェブサイトに掲載された。この種のビデオの平均視聴回数は6万回程度である

4. 異分野融合 (3 ページ以内)

4-1. 拠点融合領域創出へ向け戦略的に行った取り組み

所長は、異分野融合研究を助長し促進させることを目的とした「I²CNER 競争的資金」の活用について裁量権を持っている。この資金を配分する際、所長は I²CNER の専任教員それぞれの向上度合いや活動の全般的観点を考慮に入れる。競争的資金は、I²CNER の融合研究に関連する生産的な成果（論文、受賞、外部研究資金の獲得など）を出した教員に配分される。競争的資金を配分された教員は、毎年、内部プログラム評価委員会 (IPRC) から評価を受け、その結果に基づき資金は再配分される。

2012-14 年度の間に採択されたプロジェクトの進捗状況を注意深く検討した結果（発表された論文のうち、3 件のみが真に分野横断的であった）、所長は真に群を抜くプロポーザルを提出した研究者のみに競争的資金を供与するとした。また、資金の増加がより高い生産性を生むとの考えから、より少ない数のプロジェクトに多めの資金を配分することとした。

2015-16 年度、所長は「競争的資金」を、当初の新たな「エネルギー問題への応用数学」イニシアティブの支援に活用した。この「競争的資金」への応募については、I²CNER の「応用数学」イニシアティブの目標に沿うプロジェクトであることを条件に、九州大学の全ての研究者に門戸が開かれた。I²CNER 教員と九州大学教員の共同申請や、他部局に所属する教員による申請など複数の申請書が寄せられた。IPRC による厳格な審査の結果、2015 年度には 5 件、2016 年度には 2 件が、「seed projects」として採択されたが、その際の基準は、I²CNER と九州大学の他部局、とりわけマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) との協働関係を前進させる、との観点だった。採択された案件は以下のとおりである。

- i) 馬奈木教授, 都市環境工学部, "Global energy economy modeling: welfare analysis considering environment," 2015 年度
- ii) 村田教授, 電気工学部, "Design of Demand Response Programs Using Inverse Optimization," 2015 年度
- iii) 辻准教授, I²CNER, "Characterization of heterogeneous rock pore structure using persistent homology: Insight into scale dependence of hydrological and elastic properties." (ノートルダム大学の Christensen 主任研究者との共同研究), 2015 年度
- iv) D. Triadis 助教, IMI, Australia 支部, トローブ大, "Anomalous diffusion in realistic pore-scale simulations of two-phase flow for geologic CO₂ sequestration " 2015 年度
- v) 西井教授, IMI, "Statistical analysis of global gene expression data and applications to plant growth," 2015 年度
- vi) 松江助教, IMI 及び I²CNER, "Characterization of dynamic events in flame fronts in turbulent combustion," 2016 年度
- vii) 廣瀬准教授, IMI 及び I²CNER, "Statistical analysis of energy consumption," 2016 年度

2015 年度に採択された異分野融合研究プロジェクトは、IPRC により入念に査定され、所長が統括する review/rebuttal プロセスにより改善・修正が行われた。2015 年度に採択された全てのプロジェクトは 2016 年度も継続した。2016 年度に採択されたプロジェクトについては、テニュアトラック制助教である松江及び Hoa 両氏が、2017 年春にイリノイ大学サテライトを訪問し、サテライト教員との共同研究を開始した。

I²CNER の Annual Symposium は、異分野間の融合を追求し、分野横断的な研究方針を育み、新たな教員採用の道筋をつけるような行動計画を策定するためのプラットフォームとして用いられる。例えば、2016 年と 2017 年のシンポジウムがもたらした重要な成果は、計算科学と応用数学を I²CNER の研究ポートフォリオの不可欠な校正要素として組み込んだことである。加えて、計算材料科学を研究する女性ポスドク 2 名が 2016 年秋に採用されたこと、計算を専門とする主任研究者を採用する計画が策定されたことである。

2016 年 10 月、我々は京都大学でエネルギー社会環境科学の PhD を取得した Chapman 博士をエネルギーアナリシス部門(EAD)の助教として採用した。これは、国際スケールでの再生可能エネルギー発電・利用に関する社会的影響という観点から、EAD が I²CNER の研究プロジェクトを分析する能力を向上させるためである。Chapman 博士は、既に I²CNER の技術部門及び“九州大学学際コロキウム”との連携を始めている。これは将来のエネルギーシステムに対するユーザ選好の影響、ユーザの選択と行動に関する社会的要素を理解する、という I²CNER の社会学者との連携ニーズに対応した働きである。“九州大学学際コロキウム”は、多様な学部の教員や学生間の交流（特に社会・人文科学）を促

進めるために九州大学により設立された。

異分野融合の重要性は、所長から I²CNER メンバーへ絶えず強調されている。また、異分野融合研究が I²CNER 内で昇進及びテニユアを得る条件であることは、教員の昇進に関する研究所内規にも明示されており、全教員の知るところとなっている。

4-2. 研究者からの融合領域創出を促進するための取り組み

Coffee and Collaboration (CO²)

I²CNER 棟は研究者を一つの屋根の下に集め、これにより分野横断的な共同研究が活性化した。特に、研究所が運営・出資する非公式社交イベント“Coffee and Collaboration (CO²)”は、多くの共同研究の起点となった。例えば、石原主任研究者、Kilner 主任研究者、元サテライト教員 Rockett 教授、Druce 助教及び Tellez 助教の共同研究が挙げられる。同チームは、“CO²”を活用して意見交換を行いつつ、固体酸化燃料電池中と電解槽中の酸素輸送ダイナミクスについての重要な発見に繋がる研究を開始した。この発見は次世代電極の工学設計のために多いに役立つものである。また、この共同研究は、材料物理学(Kilner)、無機化学(石原)と材料科学(Rockett)の分野を結合するものである。

部門 Retreats

2013 年秋より、各研究部門は定期的に Retreat を行っている。Retreat は各研究部門がそれぞれの研究テーマを熟慮し、プロジェクトロードマップとの関連性を再確認する目的で、九州大学から離れた場所で、行われている。これらリトリートから生まれた分野横断的な共同研究の例としては、i) 酒井主任研究者と Martin サテライト教員の、高効率複合型有機/無機光触媒システムについての研究(この研究は先端材料科学及び化学分野の最先端にある)、ii) 萩原助教、Staykov 准教授、石原主任研究者、Ertekin サテライト教員による、超効率光触媒電荷分離のための hybrid molecular switch についての共同研究(この研究は固体光触媒と分子化学との融合である)等がある。

IISS プレゼンテーション

研究所の設立以来、I²CNER の若手研究者は、分野横断的な共同研究創出を目的として、Institute Interest Seminar Series (IISS) でプレゼンテーションを行ってきた。2016 年度には、17 のセミナーで 32 名が発表を行った。設立時から数えれば 103 のセミナーで 182 名の発表が行われている。これらセミナーから生まれた共同研究の例には次のようなものがある：i) 論文共著 (Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics (2014), 52, 293–298) に繋がった西原准教授と Staykov 准教授の研究(このプロジェクトはポリマー化学と個体材料科学、計算化学、電気化学の分野を融合したものである)、ii) Kenis サテライト教員グループ所属の大学院生 Molly Jong 氏が中嶋主任研究者と酒井主任研究者のグループに対して研究発表を行い、その際 I²CNER の Lyth 准教授から「自分 (Lyth) の持つ N-ドーピングされた炭素材料を CO² 転換に利用すべき」との助言があり、これが材料合成と電気化学との共同研究に繋がった。

“計算材料科学”セミナー

2013 年 10 月、Staykov 准教授を中心とした若手教員は、分子・材料化学に関する異分野間の交流・共同研究の促進を目的として、「計算材料科学」に係る独自のイニシアティブを開始した。このセミナーでは、プレゼンテーションとディスカッションを通じて、分子化学及び材料化学分野の研究者が交流・意見交換し、有機/無機界面化学、表面化学、材料界面という新たな異分野融合領域における計算技能や実験経験を共有する機会となった。これらのセミナーは、電子化学エネルギー変換研究部門、光エネルギー変換分子デバイス研究部門、水素適合材料研究部門のメンバーによる共同研究及び共著論文執筆に繋がった。

若手教員主催のワークショップ

2015 年 9 月 2 日、I²CNER の Staykov 准教授により「I²CNER-AIMR 共同ワークショップ」が開催された。本ワークショップでは、カーボン材料とナノグラフェンにおけるトップレベルの学際的研究に携わる若手研究者が、合成、応用、触媒、そして実験および理論に関する新たな技術について、情報と経験を交換し合い、共同研究の可能性を探った。I²CNER と九州大学から多くの研究者が参加したワークショップでは活発で力強い議論がなされ、新たなプロジェクトへとつながった。プロジェクトの中には、科研費補助金獲得に成功した Han 助教 (AIMR) と渡邊助教 (I²CNER) の共同研究、Packwood 助教 (AIMR) と Staykov 准教授 (I²CNER) の長期的な共同研究が含まれる。Staykov 准教授と Packwood 助教は、2017 年度に再び、数学と理論化学の融合に焦点を当てた同様のワークショップを若手研究者向けに開催するべく取り組んでいる。

4-3. 異分野融合による研究成果

異分野融合研究の実績と成果の概要について記述すること。

・異分野融合研究についての主要な論文(20編以内)とその解説を[添付様式3]に記載すること。

I²CNERの研究アプローチは、あらゆる空間(分子からマイルまで)及び時間(ナノ秒から10年単位まで)スケールにまたがるものであり、多様な分野(化学、物理学、材料科学、機械学、地質学、生体模倣学)の科学者及びエンジニアの結集が不可欠である。すなわち、I²CNERの研究活動、そしてその目標は、自ずと研究分野・部門・国境を横断するものとなる。そのようなI²CNERの「融合的」特徴を示す代表例は、以下のとおりである。

光エネルギー変換分子デバイス:伊田(九州大学)、Ertekin及びRockett(イリノイ大学)の共同研究では、I²CNERが開発した有限要素解析と第一原理アプローチを組み合わせ、光電気化学水分解の材料を設計した。TiO₂薄膜と地球に豊富なCaFe₂O₄を組み合わせることで、外部電源なしで水分解が実施され、これまでに報告された酸化物質 fotocathodeの中で最も高いオンセット電位を記録した(化学合成、原子分解能顕微鏡、第一原理、連続体モデリング)酒井主任研究者は、「ピリジルアンカー」スキームを設計し、界面全体に高い電子輸送率を維持したまま、有機色素分子と無機TiO₂の非常に強い結合を生成することに成功した。この結果は、従来のアプローチより優れており、光電気化学有機デバイスによる水素製造の安定性を大幅に改善する可能性がある(光化学、電気化学、無機-有機ハイブリッド材料化学)。

水素貯蔵:秋葉主任研究者と堀田主任研究者はお互いの専門分野の研究を活かした共同研究により、TiFe金属間化合物を高圧ねじり加工(High Pressure Torsion)することで格子欠陥が水素吸収の活性化に効果的であることを明らかにした。このHPT法を使用した研究は静置用の再生可能エネルギー貯蔵に繋がるのが期待される(合成化学、結晶学、分光学、機械冶金、電気化学)。

触媒の物質変換:小江主任研究者のグループは、H₂から電子およびヒドリド移動を触媒することによって水を酸化する[NiFe]ヒドロゲナーゼの活性部位のモデルを世界で初めて開発した。また、小江教授によるタイプ2の[NiFe]ヒドロゲナーゼの結晶構造学的研究は世界初である。このタイプ2の[NiFe]ヒドロゲナーゼは、O₂耐性と高いH₂活性化機能を有する新型バクテリアに由来している。このバクテリアから得られたヒドロゲナーゼ酵素は、白金よりも高い水素酸化活性を示し、さらに一酸化炭素による被毒に耐性を示し、O₂耐性と高いH₂活性化機能を有する新たなモデル触媒の分子設計に新しい可能性を与える。これらの結果は、低コストの水素燃料電池技術開発、および非貴金属触媒を用いた水素活性化の劇的な進展に資する(微生物学、生物有機化学、錯体化学、電気化学)。

熱科学:液滴同士の合体により誘発される液滴の跳躍と吸着ナノ材料のための画期的なマイクロ/ナノ構造に関するMiljkovic(イリノイ大学)助教の研究は、異なる距離及び時間スケールにおける熱-流体-表面相互作用を操作することによってエネルギー変換効率の向上を目指すものである。特に、これら画期的なナノ材料およびコーティングの発見は、再生可能/非再生可能エネルギーによる発電および熱管理において、大きな技術的インパクトがある(合成化学、表面科学、熱科学、流体力学、熱力学、光学、分光学、有機化学、ポリマー科学)。Saha主任研究者による高性能吸着剤の合理的設計に向けた固体蒸気吸着現象に関する基礎研究は、水およびエタノールの超効率的な吸着が可能な多孔性(>3000m²/g)MOFの発見につながった。我々の分野横断的な業績は、サンプルの濡れ性と吸着への周囲雰囲気の影響を定量化することによって、表面科学分野の基本的理解を書き換えるものである(合成化学、結晶学、表面科学、自己組立、熱科学、熱力学、有機化学)。

電気化学エネルギー変換:複雑なケモメカニカル(化学的-機械的)相関の理解は、あらゆる固体酸化電池をもとにした電気化学デバイスの破損を理解し、回避する上で極めて重要である。Tuller主任研究者、Perry、BishopがI²CNERとMITで行っているエレクトロケモメカニクス(電気的-化学的-機械的)研究は、化学膨張の原子レベルでの起源を特定し、それをコントロールするためのファクターを特定した。これは、高い耐久性を有するエネルギー変換材料の合理的設計と特性評価技術の革新につながった(表面科学、光学分光法、結晶学、高温電気化学、計算材料科学)。燃料電池の広範な使用は、現在、酸素還元反応(ORR)のための高効率かつ低コスト触媒の欠如によって制限されている。Gewirth主任研究者は、ORRがプロトンの関与によってどのように制御されるかを示し、そうすることで、プロトンの可用性の変化が反応による生成物にどのように影響するかを初めて示した。このようにして、彼は、有害な部分的に還元されたO₂種を生成することなく、O₂対H₂Oの4電子還元に対して100%の選択性を達成した。さらに、非貴金属ORR触媒が実現されれば、低温燃料電池の将来に大変有用である。Gewirthの研究は、非貴金属触媒の一つが有する組成を初めて解明し、それが炭素被包された超常磁性鉄ナノ粒子であることを示した(化学、物理学、材料科学、生体模倣学、電気化学、分光学)。

CO₂貯留:辻主任研究者の研究チームは、水文学と地球物理学を組み合わせた数値シミュレーションを用いて、実際の貯留層岩の水理的特性(CO₂飽和度)と弾性特性(地震波速度)の複雑な関係の解明に取り組んでおり、この研究は、貯留層に圧入されたCO₂の新たな定量的モニタリング方法の開発にもつながった。これはCO₂漏えいを検出するための世界初の連続的な地震波モニタリングシステムであり、現在、このシステムはカナダのサスカチュワンにある石炭火力発電所で進行中のCO₂隔離プ

プロジェクトに配備されている（地震学と物理探査学）。

水素適合材料：世界で初めて、実験とモデリングを組み合わせた研究が、ppmレベルの酸素によるH₂助長疲労亀裂進展の抑制を支配する物理現象を明らかにした。予測的な解析モデルの、重要な支配因子（O₂濃度や荷重）がどれくらい微量なO₂を含有するH₂ガス中の加速された亀裂進展の開始に影響を及ぼすかを正確に定量化する、定式化がなされた平行して、Staykov准教授による第一原理密度汎関数理論（DFT）モデリングは、鋼への水素吸収を妨げる鉄表面上の水素と酸素の競合的な相互の吸着特性を明らかにした（材料科学、固体力学、ガス物理学、理論化学）。

5. 国際的な研究環境の実現（4ページ以内）

5-1. 国際的頭脳循環

5-1-1. 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

海外世界トップレベル研究者の主任研究者としての参加、共同研究者としての滞在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4-1]に記載すること。

海外主任研究者及び研究者の参加

I²CNERの主任研究者9名は全員、I²CNERの研究活動に深く関わっている世界トップレベルの研究者である。彼らは、九州大学に1~7週間滞在し、イベント参加や九州大学の共同研究者と意見交換を行う。例えば、Kilner教授はイオニクスと混合伝導性セラミックスの国際的権威であり、2016年度にはI²CNERに7週間滞在した。同教授は九州大学教員と共同研究で国際的な賞や研究資金を獲得し（JSPS研究拠点形成（Core-to-Core）事業など）、I²CNERの助教を2カ月間、ロンドンのインペリアルカレッジにて受け入れた。米国セラミック学会の名誉会員及び米国電気電子技術者協会（IEEE）の上級会員であるTuller教授は、年に2~4週間にI²CNERで過ごし、I²CNERの助教及び学術研究員を毎年数カ月単位でMITにて受け入れている。機械冶金研究の第一人者であるSommerday博士は、年に平均3週間I²CNERを訪問し、自らがサウスウェスト研究所にいる際も、ビデオ会議などで部門の研究活動に参加している。Robertson教授、Gewirth教授、そしてChristensen教授は、I²CNER所長のチーフサイエンスアドバイザー（Robertson）、IPRC委員（Gewirth及びChristensen）、そしてサテライト諮問委員会のメンバー（3名共）を務め、イリノイ大学サテライトの研究活動のマネジメントに重要な役割を果たしている。この3名も毎年複数回I²CNERを訪問している。主任研究者以外でも、I²CNERは海外からWPI教授・准教授および招聘教授を定期的に受け入れている。海外からの権威ある研究者（訪問者）リスト全体については、要請に応じて提供可能。

5-1-2. 若手研究者の採用・就職状況

ポスト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。

・ポストドクの国際公募の実施と応募・採用状況、外国人ポストドク比率、ポストドクの就職先の実績を[添付様式4-2~4]に記載すること。

これまで、多くのI²CNER学術研究員が、当研究所でのポストをベースにキャリア形成してきた。例えば、I²CNER学術研究員の永縄友期博士は2012年6月1日より名古屋大学助教へ、同学術研究員松本剛博士は2014年4月1日より中央大学助教へそれぞれ就任し、EAD部門の学術研究員木村誠一郎博士は松下政経塾の塾生となると同時に2014年4月1日よりWPI訪問研究員となった。また、2015年度にはLimin Guo博士が華中科技大学の教員ポストに就き、Fei Jiang博士は2016年4月1日より山口大学の教員ポストに就いた。

5-1-3. 国外共同研究協定等締結状況

・国外共同研究協定等締結状況について[添付様式4-5]に記載すること。

イリノイ大学サテライトは、共同研究活動及び人的交流を推進する重要な機関である。研究活動の実施に加えて、サテライトは米国内外の大学や研究所の研究プログラム及び研究者をとりまとめる拠点としての役割も果たす。同大学と九州大学の教員間の継続的な協働関係は、I²CNER全体の研究文化に革新的な影響を与える。I²CNERのミッションを推進するイリノイ大学サテライトの取組は以下のとおりである。

サテライト教員構成

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る。彼らは、九州大学におけるI²CNERの研究を補完するために特別に招へいされ、I²CNERビジョンおよびロードマップとの関連性という観点から継続的に評価を受けている。2017年3月31日現在、教員7名と主任研究者1名がイリノイ大学サテライトでの活動に参画している。I²CNERの外部アドバイザー委員会（EAC）の1人はイリノイ大学を退官したRobert Finley教授である。さらに、元サテライト教員である、1) ウィスコンシン大学マディソン校工学部長Ian Robertson教授（主任研究者）、2) ノ

ートルダム大学Ken Christensen教授（主任研究者）、3)コロラドスクール・オブ・マイنزの冶金・材料工学部長Angus Rockett 教授（WPI教授、I²CNER内部プログラム評価委員）の3名は、現在も引き続きI²CNERサテライトに参画している。

サテライト協定の更新

九州大学-イリノイ大学間のサテライト協定は、2015年12月1日をもって更新された。主に運営面の問題について定められたこの協定は、付帯文書に「Master Research Agreement (MRA)」があり、知的財産の権利関係や「Research Project Agreement (RPA)」など、イリノイ大学と九州大学の共同研究の管理・運営方法を定めている。MRAによって、イリノイ大学の全教員がRPAに署名することを求められ、そのRPA中の「Statement of Work (SOW)」では、具体的な成果物の取り扱いについて説明されている。MRA/RPAの主旨は、イリノイ大学の全研究プロジェクトを同じ契約条件の元で統一し、イリノイ大学と九州大学の協働を強く促すことである。それには、相互交流、共同論文の執筆、発行物へのI²CNER所属の明記、などが含まれている。このようなMRAへの署名は、WPIプログラム全体にとってもモデルになりうる。

短期訪問学生

拠点の設立以来、我々はイリノイ大学や他の海外連携機関から、計31名の大学院生/学部生を受け入れた（2017年3月31日時点）。各年度に受け入れた短期訪問学生数は、それぞれ、2011年度5名、2012年度4名、2013年度8名、2014年度2名、2015年度4名、2016年度8名である。このうち、一ヶ月以上九州大学に滞在した学生数は、3（2011年度）、1（2012年度）、3（2013年度）、0（2014年度）、3（2015年度）、8（2016年度）である。

I²CNER 学部生交流プログラム

九州-イリノイ間の「学術交流協定」は、両大学の相互理解の促進と関係強化に大いに役立っている。2014年10月24日には、九州大学とイリノイ大学間の「学生交流協定」が締結された。イリノイ大学を訪れた九州大学の学部生数は、5（2013年度）、6（2014年度）、6（2015年度）、6（2016年度）である。2015年度はこのプログラムで初めて女子学生2名がイリノイ大学を訪れる節目の年となった。彼女たちは、サテライトの教員と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、補助を行った。また、ミーティングに参加し、毎週I²CNER所長と進捗確認をし、地元の工学系企業を訪問した。大学での文化的体験を充実したものとするため、現地学部生の「buddies」と週1度の昼食を共にするなど、Center for East Asian and Pacific Studies (CEAPS) との交流を深めた。プログラム最終日のワークショップでは、各自の研究面・文化面での体験を発表した。

国際研究教育パートナーシップ(Partnerships for International Research and Education: PIRE)

PIREプログラムは、米国国立科学財団 (NSF) と日本学術振興会 (JSPS) の共同プログラムで、NSFの国際プログラムのなかで最も名誉ある、競争的資金のひとつである。PIREは日米の大学間で行う国際共同研究に資金を提供する。その目的は、新たな知見と発見を生み出し、広範で国際的な取り組みのできる人材を育成し、実りある国際協力に関わる日米研究機関の組織能力を構築することにある。イリノイ大学とI²CNERがPIREから共同受賞した「活性物質の統合計算材料工学および化学燃料の生産におけるインターフェース(Integrated Computational Materials Engineering for Active Materials and Interfaces in Chemical Fuel Production)」は、I²CNERが計算科学と実験の融合を成功させた結果生まれたものであり、これにより2015年度から合計5年間に渡って資金が供与される。さらに、これは九州大学にとって初のPIREプログラムの獲得である。このプロジェクトにはイリノイ大学、九州大学、ノースウェスタン大学、インペリアル・カレッジ・ロンドン、カリフォルニア大学バークレー校の研究者が結集している。本プロジェクトはイリノイ大学にある米国国立スーパーコンピュータ応用研究所 (National Center for Supercomputing Applications : NCSA) の協力を得たものであり、九州大学とイリノイ大学の連携がもたらす相乗効果を象徴する一例である。本プロジェクトは、イリノイ大学のペタ級計算施設を利用する計算と、I²CNERの最新鋭設備での実験が同時に双方向で行われるという、おそらく世界初の取り組みである。本プロジェクトのキックオフミーティングは2015年12月7日にイリノイ大学で開かれ、日米の研究者が翌年以降の研究について計画を練った。2016年度には、最新の研究成果報告と次年度研究活動の計画について話し合う場として、「Annual PIRE Meeting」を毎年開催するよう取り決めた。2015年度には米国の学生が九州大学を訪れる2ヶ月の交換プログラム「x-FU(s)ION」の枠組みが固まり、2016年6月1日～7月31日に6名の米国人交換留学生在九州を訪れた。2017年度には、5名の米国人交換留学生在6月11日から8月13日の期間で九州大学を訪れる予定である。

5-2. 国際シンポジウム、ワークショップ、研究会、講習会等の実績

・主な国際的研究集会の開催実績について[添付様式4-6]に記載すること。

- 拠点の設立以来、I²CNERは毎年シンポジウムを開催してきた。I²CNERのシンポジウムは、各部門の研究成果を披露するイベントからI²CNERの研究ポートフォリオ全体及び国際的コミュニティに深く関わる特定の研究トピック（計算、応用数学等）に着目した探索型のフォーラムへと変遷を遂げてきた。この国際シンポジウム・シリーズの目的は、ある分野における最先端研究を特定し、それと比較してI²CNER研究の位置を把握し、今後の障害や必要な進歩を確認することで、拠点自身の目標を新たに調整していくことである。毎年、シンポジウムでは各部門別のワークショップが開催される。これらの部門別ワークショップは、I²CNERの研究ポートフォリオの強みや弱みを特定し、各研究分野に必要な進展をどのように達成するかを探求するブレインストーミングの機会となっている。
- 2017年のI²CNER Annual Symposiumは、「エネルギー&次世代電力網（スマートグリッド）における応用数学の挑戦(Applied Math Challenges in Energy & the Next-Generation Electric Grid)」と題して、2月1日に開催され、166名以上の研究者が参加した（うち86名は海外からの参加）。このシンポジウムは、数学系及び工学系コミュニティから専門家を集め、複雑でマルチスケールのエネルギー問題を解決する新ツールの開発や新たな考え方について議論することを目的とした。これには、イリノイ大学アーバナ・シャンパン校の電気・コンピューター工学部George Gross教授による“Renewable Resource Integration in the Smart-Grid Environment: the Grand Challenges and the Key Opportunities Towards a Sustainable Energy Future”と題されたキーノート講演、バーミンガム大学エネルギー研究所Martin Freer教授による“The Energy Challenge – A UK Perspective”と題された招待講演（及び他8件の発表）、そしてプリンストン大学土木環境工学部Michael A. Celia教授による“Mathematical and Numerical Modeling Requirements for Large-scale CCS”と題されたプレナリー講演が含まれていた。
- 2016年のI²CNER Annual Symposiumは、「計算科学によるカーボンニュートラル・エネルギー研究の基礎的問題の解決に向けて(Computational Solutions to Fundamental Problems in Carbon-Neutral Energy Research)」と題して、2月1～2日に開催され、250名以上の研究者が参加した。この2日間におよぶワークショップの目的は、i) 計算科学と実験分野の第一線の研究者を一堂に集め、ii) I²CNERのミッションに関わる計算科学で最も必要かつ重要な前進とは何かを集中的に話し合うことにあった。ワークショップでは5つのサブテーマ（分子/表面相互作用、固体中のイオン輸送および高温モデリング、分子/分子相互作用－電荷輸送および化学反応のダイナミクス、原子から連続体スケールへのリンク、孔隙スケールのフロープロセス）を扱うそれぞれのセッションが設けられた。参加者はいくつかの小グループに分かれ、各々関連するサブテーマについて意見/議論を交わした。各グループは話し合った結果をレポートにまとめることになっている。これらのサブテーマ・レポートは計算科学に関するI²CNERの「Basic Needs」レポートに蓄積され、この分野における後日のイニシアティブ/研究リソース投資の手引きとして使われる。2月1日の夕食会では、イリノイ大学の米国国立スーパーコンピュータ応用研究所（National Center for Supercomputing Applications : NCSA）所長のEdward Seidel博士が特別講演 “Trends in Scientific Computing and Data” を行った。
- 2015年2月2日に開催された「I²CNER Annual Symposium 2015: Fuel Generation and Use for the 21st Century」は、国内外から研究者141名の参加を得た。国際的な科学コミュニティのリーダーが集まり、I²CNERロードマップにおいて鍵となるテーマに取り組む次のような異分野融合アプローチについて討議がなされた：材料成分の構造欠陥に関連する分極、触媒活性の表面構造および粒界結晶成分拡散依存性、酸化還元反応の非貴金属触媒中のプロトン移動への依存性、熱活性化遅延蛍光材料の安定性に対する分子デザインおよびドーピング効果、國武教授による燃料電池へのアモルファス膜の採用に関する提案。
- 2014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。同シンポジウムには、多数の外国人を含む、計177名が参加した。
- 2015年5月、第11回日仏ナノ素材ワークショップがフランス・レンヌ市にて開催され、WPIの4拠点 (AIMR, MANA, iCeMS 及び I²CNER)が参加した。I²CNERからはSofronis所長が参加し、山内准教授及び藤川准教授が発表を行った。
- Sofronis所長及びSomerdar博士は、2012年及び2016年にワイオミング州ジャクソンホールで開催さ

れた国際水素会議の主催者を務めた。4年に一度開催されるこの国際会議シリーズは、物質への水素の影響をトピックとした第一級の国際会議である。

- 高田副所長（主任研究者）は、2016年3月13-17日にハワイで開催された第一回環太平洋熱工学会議（PRTEC2016）の議長を務めた。この会議は、日本機械学会（JSME）、韓国機械工学会（KSME）米熱流体工学会による共催である。
- 石原副所長は、2014年に福岡で開催された水素製造に関する国際会議（ICH2P-2014）を主催した。ICH2P-2014は、様々な手法による水素製造及び水素燃料電池を含む種々の水素応用システムに係る国際会議である。

5-3. 外国人研究者への研究生活支援体制

例えば多言語による生活支援、家族の生活支援等、外国人研究者が研究に専念できる環境を整備する取組みについて記述すること。

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携し、外国人研究者に対して、ビザ申請及びキャンパス内宿泊施設申請を含む一連の支援を行う。外国人研究者が新たな文化や研究環境に馴染むことを支援するために、支援部門は i) 追加的なトレーニングやワークショップの機会を提供し、ii) 種々申請用紙、ガイドライン、大学規約の英訳版を導入し、そして iii) I²CNER の全メンバーがラボ内で実験を行う前に修了する必要がある安全に関する E ラーニング教材の英訳版を導入した。その他にも、支援部門は、健康診断、キャンパス外の住居探し、家族の転居、日本の社会保険システムの説明等、生活に係る支援を提供する。

海外からの招聘研究者には大学内宿舎が利用可能であり、また、大学周辺の家具付きアパートも紹介される。海外からの短期訪問研究者向けの大学内宿舎“伊都ゲストハウス”は 2012 年 4 月 6 日、I²CNER がある伊都キャンパスのセンターゾーンに開所した。

5-4. 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

2013 年 7 月、I²CNER は、若手研究者（特に日本人）による海外連携機関への訪問を奨励するために、「Collaborative Foreign Exchange Program」を制定した。本プログラムでは、これまで 11 名の若手研究者（日本人 8 名、その他 3 名）の申請が採択され、そのうち 9 名が 1~9 カ月の期間、イリノイ大学サテライトを訪問した。2016 年度には、1 名の若手研究者が本プログラムを通じてイリノイ大学サテライトに 9 カ月滞在した。2014 年には、女性の若手研究者 1 名がカルフォルニア州リヴァモア市のサンディア国立研究所に 6 カ月滞在した。

6. システム改革（3 ページ以内）

6-1. 意思決定機構

拠点長の強いリーダーシップによる拠点運営とその効果、ホスト機関側の権限の分担との関係について記述すること。

九州大学規則では I²CNER の運営権限を研究所長に与えるが、所長の任命権限は総長にある。所長は 2 名の副所長による助言を受ける。研究所長の Sofronis 所長は、総長室及び研究・産学官連携担当理事（EVP）への直接のアクセスを有する。所長と研究・産学官連携理事との間では定期的な会議が行われる。総長からの助言と協議は必要に応じて行われる。研究所の意思決定システムは、所長が計画と研究活動、研究プログラムの分野及び部門の形成・構成、部門の再構成、サイトビジットレビューからのフィードバックに応じた研究方針変更、ポスドク及び教員採用、国際的な連携体制の構築及び世界トップレベルの研究機関との連携、研究成果の相互評価管理、予算執行について、責任一切を追う形となっている。それは、所長の権威が組織改革や発展に影響をあたえるという考えが背景にある。産学連携の促進については、研究・産学官連携担当理事が所長に必要な支援と助言を行う。I²CNER は、九州大学の中期目標・中期計画に沿って総長の指揮監督の下に運営される。

6-2. 事務支援スタッフの配置および適切な支援体制の整備

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並びに適切な体制の確立への取組みとその効果について記述すること。

支援部門長

所長は、九州大学において WPI ミッションを実現するための久保総長のビジョンを実行する権限を委任されている。2015年4月1日より、増田俊一氏が I²CNER の支援部門長を務めているが、支援部門を総括するとともに、所長により指示された他の事項に責任を負う。増田氏は、日米両国の産業界での広範な勤務経験を有する。

人員構成

2017年3月31日現在、支援部門は支援部門長及び事務長を含め 4 グループ 20 名で構成される。

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

これら 4 グループは、研究所の研究者、そして支援部門長及び事務長の監督の下、研究所の研究活動及び管理運営面を支援する。支援部門職員は英語に堪能 (1名は 3 か国語を話す) で、6名は九州大学事務局に所属しており総務・人事、または会計・予算管理に係る専門的な知識を有している。九州大学事務職員の経験と大学システムに係る深い理解は、九州大学内での研究所のスムーズな活動に貢献する。同時に、I²CNER の国際的な職場環境は、九州大学職員の英語スキル向上と、海外の研究者たちとのやり取りにより国際経験を養うことを助ける。

6-3. WPIプログラムにより進めたシステム改革と波及効果

WPI拠点による研究運営上若しくは組織運営上のシステム改革事項とその背景・効果について簡潔に箇条書きで記載すること。またホスト機関全体への波及効果を記述すること。(他機関への波及効果もあれば記述すること)

研究所のスムーズな運営を確保するため、I²CNER所長は、九州大学執行部に対して、九州大学の内部システムの柔軟な実施、調整、修正を要請した。これに対して、研究担当理事は、クロスアポイントメント制度の実施、学内派遣制度の拡充に務めてきた、また既存の「九州大学共同研究部門制度」の活用もその方法であると認識している。

クロスアポイントメント制度

ソフロニス所長のクロスアポイントメントの成功モデル (九州大学初) を参考に、2015年5月に九州大学執行部はクロスアポイントメントを制度化した。九州大学執行部はこのシステムを、民間企業または国内外の大学や研究機関から優秀な若手教員/研究者を採用する優れた方法と見ている。例えば、I²CNER とマスフォアインダストリ研究所は、既にこのシステムを利用して共同で 2 名のテニュアトラック教員による助教を採用している。実施にあたり、九州大学は研究と教育の更なる国際化と世界におけるレジビリティの向上という WPI 目標を実行することを目指している。日米 IAME は即座にこのシステムを新たな教員の採用に適用する。具体的には、このシステム下で、米国教員が所属大学で 9 カ月の契約がある場合、残りの 3 ヶ月は九州大学で採用されるようにすることが可能である。雇用契約は 3-5 年となる。

学内派遣制度

九州大学学内派遣制度は、教育と研究水準向上を目指し、学内での教員配置を柔軟に行うために 2012年12月1日に始まった。I²CNER はこのシステムを 2013年度より利用してきており、2016年度には、9名の教授が I²CNER に異動し、九州大学に所属する主任研究者として I²CNER において中心的な役割を果たしてきた。過去 4 年にわたりこのシステムを利用してきており、九州大学執行部と I²CNER は、当該システムの有効性につき共同で審査し、その拡充策を模索している。

I²CNER 教員の教育への関与

I²CNER 教員は、2013年夏に新たに設けられた 3つの「教育・研究分野」において教育に関与している。これは、1)工学部、2)大学院工学府、そして 3)大学院統合新領域学府との協力の下で行われているが、これら 3分野は I²CNER の研究分野と重複した研究を行っている。九州大学は、先端研究に関して国際経験のある教員が授業を担当するという意味で、この関与はプログラムの活性化に不可欠であると考えている。

I²CNER の能力に基づく給与システム/九州大学の新たな能力に基づく年棒制

I²CNER の能力に基づく給与システムの成功を参考に、九州大学もこのシステムを学内全学部で展開した。2017年4月1日現在、九州大学教員の 16.4%がこのシステムで給与を受領している。九州大学の長期目標としては、教員の 20%がこのシステムに移行することである。

海外からの研究者招聘旅費

海外から著名研究者を招聘する際、I²CNERは必要に応じて旅費を柔軟に扱う取り組みを実施した。2014年4月1日より、これは九州大学の一般的な運用となっている。

所長の福岡市親善大使としての役割

2016年2月24日、ソフロニス所長は福岡市長により市の親善大使に任命された。その役割は、福岡の国際イメージ向上と国際会議の福岡での開催である。

6-4. ホスト機関による支援

申請の際あるいは中間評価時等の更新の際にホスト機関からコミットした事項を含め、拠点構想の実現・持続のために措置されている機能的なホスト機関による支援を以下の項目に沿って記述すること。

6-4-1. ホスト機関による支援の実績と効果

・具体的措置については[添付様式5-1]に記載すること。

I²CNERの九州大学内での恒久的な位置づけ

2013年4月1日付けの九州大学学則の改正によってI²CNERの地位はWPIプログラムの支援期間に拘らず九州大学の恒久的な国際研究所となることが確定した。

テニュア教員及び主任研究者に係る久保総長のビジョン

久保総長は、2020年にはI²CNERが20-25名の主任研究者（10名のテニュアの主任研究者を含み、そのうち3-4名は外国人）を雇用することをビジョンとして描いている。これに従い、九州大学は10名以上のテニュア教員ポスト（教授及び准教授レベル）をI²CNERに配置した。2017年4月1日現在、I²CNERは准教授3名及び教授5名を採用し、2017年度内に残り約3ポストを使ってテニュア教員を採用する予定である。九州大学の各学部は、毎年の学内競争により教員採用のためのポイントを取得することができる。

「I²CNER専任のテニュア教員以外の」10-15名の主任研究者ポストについては、i) 学内派遣制度(九州大学内の他学部からの教員異動) ii) I²CNERと九州大学の他学部とのクロスアポイントメント制度(例：経済、理学、数学、生命科学等)、またはiii) I²CNERと海外の連携研究所・企業とのクロスアポイントメント制度を活用して配置される。

IMI-I²CNER エネルギーのための応用数学分野のテニュアポスト

IMIとI²CNERは、2016年秋に九州大学において新たに始まったテニュアトラックプログラムに共同申請を行い、テニュアトラック制の助教2名を共同で採用した。これら2名はI²CNERのエネルギーのための応用数学研究イニシアティブを推進し、IMIとの連携関係を強化する。

6-4-2. ホスト機関の中長期的な計画への位置付け等

・「中期目標」・「中期計画」等の表紙とWPI関連箇所を[添付様式5-2]に添付すること。

九州大学中期目標・中期計画

九州大学は中期目標・中期計画でI²CNERを中核に据え、「カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所(I²CNER)はイリノイ大学と協力してカーボンニュートラル・エネルギーの研究領域に関する最先端の研究を推進する」としている。

九州大学エネルギー研究教育機構(Q-PIT)

研究・教育の国際化モデルプロジェクトとしてのI²CNERコンセプトを推進し、各学部のエネルギーに関する研究及び教育を統合するため、2016年10月1日、九州大学は、分野横断型のエネルギー研究のための九州大学エネルギー研究教育機構(Q-PIT)を設立した。I²CNERは、この新たな組織内で中心的役割を果たすことを期待されている。そして、九州大学の他学部と連携し、多岐にわたるエネルギー研究に係る協力関係構築による相互便益を推し進め、ひいては、社会科学、経済、法律、政治科学等の分野におけるエネルギー研究を広げて充実させるための成長機会を育てることが期待されている。ソフロニス所長はQ-PIT戦略会議及び教員公募選考委員会のメンバーである。

6-5. その他

若手研究者の活躍促進(スタートアップ経費や自律的な研究環境)、女性研究者の登用等に関する独自の取組について記述すること。
・女性研究者の人数については[添付様式5-3]に記載すること。

若手研究者の評価

全若手教員の研究進捗は毎年、所長、副所長、そして部門長により評価される。それは所長及び副

所長との個別面談（毎年2月）を含み、これら面談及び評価の後、個別の所長評価レターによるフィードバックが与えられる。

所長裁量経費

「I²CNER競争的研究経費」は、おもに若手教員及びポストドクによって使われてきた。加えて、所長裁量経費は、若手教員の旅費や学会参加を支援するためにもある。

スタートアップ研究経費

新たに採用されたI²CNER専任教員が研究環境を整えるために与えられる年度予算は2200万円(2011年度)、5600万円(2012年度)、5200万円(2013年度)、2600万円(2014年度)、2700万円(2015年度)、そして2900万円(2016年度)である。

SRA プログラム

I²CNERは、優秀な大学院生を採用し、研究所内の種々部門の教員監督の下で博士論文に取り組むのを支援するために「スーパーリサーチアシスタント(SRA)」プログラムを設けた。WPI資金により支援されるSRAは、九州大学の大学院生の中から注意深く選定され、若手教員により監督される。これは、若手教員にとって彼らの教育、研究における指導監督能力を向上させる一助となる。

若手研究者を対象としたスキル開発セミナー

開所当初、研究所は若手研究者のプロポーザルライティング能力を向上させるために教授によるセミナーを定期的に開催した。2015年度及び2016年度では、これらスキル開発を個々の研究者を対象に行なったI²CNERの専任教員で科研費等を勝ち取ってきた研究者が若手研究者に助言するというのは、I²CNERの確立した伝統となっている。最後に、2014年2月5日にI²CNERは、編集者の関心を引く論文の書き方について、Nature Materials誌のVincent Dusastre編集長による特別セミナーを開催した。

女性研究者の採用への努力

優秀な女性研究者の採用及び維持は、研究所内の優先事項であり、全てのポストドク・教員ポストについて、所長が全ての女性候補を直接評価する。結果として、I²CNERにおける女性研究者の数は、4名(2010年度)、7名(2011年度)、9名(2012年度)、12名(2013年度)、11名(2014年度)、11名(2015年度)、そして10名(2016年度)である。これは望ましいレベルに達していないものの、九州大学内の他学部(理学・数学・工学部)に比して高い。加えて、2016年度のフォローアップ及びサイトビジットレポートに対応する形で、所長はI²CNERを女性にとってより魅力的な研究所とするための集中的な取り組みを始めた。イリノイ大学ハンターカレッジ及びCUNY大学院センターの権威あるVirginia Valian教授による「遅すぎる女性の進出」というレクチャー(2016年9月7日)に参加し、女性研究者採用に関するベストプラクティスについて聴取した後、所長は、男女公平の採用プロセスであることを再確認するため、FRCのメンバー全員が「unconscious bias training」を修了すべきと決定した。研究所は、採用プロセスを進める条件としての女性候補の最低数を設定することを検討している。ソフロニス所長は、山内主任研究者と連携し、I²CNERを女性にとってより魅力的とするにあたり変えるべき事項についてのインプットを集約してきた。研究所の女性主任研究者である山内准教授は、国際的認知度があり、部門の垣根を越えて革新的な変化をもたらすことが証明されている候補者については採用プロセスを加速化するという「Faculty Excellence Program」により採用された。2016年度に新規採用された13名の教員及びポストドクのうち、女性の准教授が1名、女性のポストドクが2名であった。2017年3月31日時点では、I²CNERには23名の女性研究者(九州大学で10名、イリノイ大学で6名、他海外連携機関で7名)が在籍している。

7. その他特筆すべき事項

1.~6.以外に「世界から目に見える拠点」に相応しい先導的な取組や、見出される特質等の特に優れた点がある場合は、記述すること。

内部評価委員会(IPRC)

内部評価委員会(IPRC)は研究所の重要な常任委員会であり、研究所内の個別プログラムをレビューする必要に応じて所長により開催される。IPRCメンバーと委員長は所長により任命される。レビューが終了すると、IPRCは所長に書面で報告書を提出する。個別研究プログラムに関してどのような行動を起こすかの決断は所長の責任である。2016年度には、コロラド・スクールオブマイネズ冶金学・材料工学部長のAngus Rockett教授が委員会メンバーとなり、光発電及び光エネルギー変換分野における専門性が追加された。委員会の他メンバーは以下の主任研究者である：Gewirth教授(UIUC)、Christensen教授(Notre Dame)、小江教授(KU)、そして高田教授(KU)。2016年度にIPRCは個別研究の取組みに対する深いレビューを実施した。その結果、フィードバックと反論がなされ、

全部門の個別プロジェクトの評価、エネルギーのための応用数学のシードプロジェクトのスクリーニングと進捗評価、新たに採用された研究者の研究計画の審査が行われた。

NEXT-RP (次世代冷媒物性評価研究センター)

高田教授及び小山教授による次世代冷媒物性評価研究センター(NEXT-RP)が2016年度から2017年度の間で採択され、NEDOより年間5800万円レベルの資金援助を得た。これは、次世代冷媒の開発に係る国際コミュニティの努力をコーディネートする役割をNEDOに代わり集中的に取り組む世界でもユニークなセンターである。より具体的には、同センターの目的は、ゼロODP(オゾン破壊の潜在性)及び低GWP(地球温暖化の潜在性)冷媒の熱交換及び空調・冷凍(ACR)サイクルの基礎的パフォーマンスに係る熱物性の正確な評価;九州大学の主導によるR&D全国研究グループの組織化;熱物性の基礎知識と技術、熱交換特性、ACRサイクルの基礎の開発;ACR産業セクターへの技術移転及び支援;そして日本ACR産業がグローバル市場で競争力を発揮に貢献することである。本プロジェクトに関与した他のI²CNER研究者はB.B. Saha主任研究者及び河野教授である。

Asian Pacific Innovation Conference

2015年度には、I²CNERは九州大学青木理事と協力して第7回Asian Pacific Innovation Conference (APIC)を科学技術イノベーション政策教育研究センターと共催した。APICは2016年11月18日から20日に福岡市で開催された。これは、I²CNERの九州大学の各部局等との連携をさらに強化し、広げる取り組みの例である。

8. 平成28年度フォローアップ結果(現地視察報告書を含む)への対応

平成28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。

1. 研究成果の社会還元: I²CNERから様々な企業へ多くの技術移転があった。特許申請数及び取得数もかなりの数あった。しかし拠点は、研究結果を社会へ還元するための確固たる計画や戦略を持っていないように見える。この点において改善の余地がある。
セクション3-1の最終段落、を参照されたい。
2. 融合研究: エネルギーアナリシス研究部門(EAD)の研究活動には、特に経済学者、社会学者、政府機関、そして他の利害関係者との更なる共同研究が必要である。
セクション6-4でも述べているように、I²CNERは新設されたQ-PITにおいて、新たな教員採用を含む、中心的役割を期待されている。I²CNERはQ-PITとの密な連携により、社会科学、経済学、法学、政治学関連分野に関するエネルギーポートフォリオを更に拡大、充実させるつもりである。更なるコラボレーションの創出に向けたEADの役割については、セクション4-2の終わりから2番目の段落、を参照されたい。
3. 持続性への努力: 事務的支援の提供、研究インフラの整備、他資金の提供を含む、より包括的な計画が求められる。
久保総長によるQ-PIT設立は、I²CNERがエネルギー研究・教育活動を維持・拡大するための機動的枠組みを提供する。より具体的には、I²CNERは今や、研究ミッション達成のための最先端機器を有し(セクション2-2)、クロスアポイントメント、教員の学内派遣制度、等の主任研究者及び教員配備への強力な支援体制を備え(セクション6-3)、多くのテニユア教員ポストを獲得し(セクション6-4-1)、優れた事務的支援システムを有している(セクション5-3, 6-2)。
4. アドバイス/勧告: I²CNERの成果のどれが真に重要なかを明確にし、それにより、拠点が持つリソースをどの研究へ投資し続けるべきかを決断することが重要である。
本年の報告書では、「4000時間の推定デバイス寿命(図2.1)は、これまで報告された中で最長の部類に入る」、「我々の知る限りでは、ドーパントの分光スペクトルの測定と計算予測との初の直接比較である」、「これまで認識されてこなかった発見である」等の文言を使って、研究成果の重要性を取り纏めた。また、セクション4-3で研究成果の重要性をさらに強調している。最後に、研究の重要性を表わす間接的な指標は我々の研究と技術移転との関連であり、これはセクション3-1の第二段落に述べられている。
セクション2-1の冒頭で述べている通り、I²CNERの研究成果は全て、技術部門とEADの連携により策定されたプロジェクト・ロードマップのマイルストーンや目標に言及している。2017年度、我々のEADは「それぞれの研究結果がI²CNERロードマップと関連する技術の市場展開・浸透にどのようなインパクトを与えているか」について包括的な評価を実施する予定である。これには、CO₂排出

削減量 (%) の評価、及び、その削減量と拠点目標 (2050 年までに 1990 年比で 70-80%削減) との比較が含まれる。この評価は目標達成に必要な取組みを明確化し、I²CNER が最も効果的な研究活動にリソースを集中的に投入するための一助となる。

5. アドバイス/勧告: 内部プログラム評価委員会(IPRC)とエネルギーアナリシス部門 は、研究所の全体方針及び各部門のロードマップを継続的にモニターすべきである。

内部プログラム評価委員会 (IPRC) は、重要な常設委員会であり、所長による各部門の研究及び各研究者の研究活動のレビューを継続的に支援する。2016 年度、IPRC は特に活発に活動し、その内容はセクション 7 で詳述されている。EAD は、全プロジェクト・ロードマップを適宜修正するために、研究部門と密に連携を取っている。また、上述 (4 への対応で詳述) されているように、EAD は、I²CNER の全研究ポートフォリオを拠点の CO₂ 排出削減目標と照らして評価するよう、既に動き出している。

6. アドバイス/勧告: 女性研究者を増やすために、関連する分野のシニアポジションにいる女性研究者から外部アドバイスを受けることを勧める。

セクション 6-5-1 の最終段落、を参照されたい。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 添付資料 1 - 1 平成28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。
- ・昨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、新規主任研究者個人票(添付様式1-1 別添)を添付すること。

【平成28年度実績】		主任研究者 計 27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> (59)	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. 材料マイクロ工学、 材料環境劣化	10%	80%	5%	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50.9%) ・ 様々な研究所や産業界へのI ² CNERプロモーション活動 ・ 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
石原 達己 (55)	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	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、光エネルギー変換分子デバイス研究部門長	
安達 千波矢 (53)	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 (61)	九州大学・先導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 (53)	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	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 ・ 触媒の物質変換研究部門長	
堀田 善治 (63)	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.,工学博士 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 (65)	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., 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 (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	工学博士 燃料電池 機能性無機材料	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	
秋葉 悦男 (65)	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	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 ・ 水素貯蔵研究部門長	
Harry L. Tuller (71)	マサチューセッツ工科大学・ 材料理工学科・教授	理工博士 機能性電 子セラミック材料	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	I ² CNERから数カ月単位 で助教、学術研究員受 入れ
John A Kilner (70)	インペリアル・カレッジ・ロンドン ・材料部門・教授	Ph.D., 固体酸化物形燃料電 池、電解槽材料	50%	5%	45%	0%	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7週間拠点本部に滞在して参画 ・ インターネットを通じ定期的に議論に参画	
杉村 丈一 (59)	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	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	
高田 保之 (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	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・熱科学研究部門長	
Xing Zhang (55)	清華大学・機械工学院・教授	Ph.D. 熱科学	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	
Brian P. Sommerday (48)	サウスウエスト・リサーチ・インス ティテュート・リサーチャー	Ph.D., 材料科学工学	15%	10%	45%	30%	平成22年 12月1日	・ 主に連携機関において参画 ・ 水素適合材料研究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4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	

高木 節雄 (64)	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	工学博士	90%	10%	0%	0%	平成23年 4月1日* (* 公開版作成 時修正)	・ 常時拠点本部に滞在して参画	
Reiner Kirchheim (73)	ゲッティンゲン大学・ 材料物理研究所・教授	Ph.D., 金属中水素、合金熱 力学、間隙溶液、ガ ラス内拡散	20%	20%	40%	20%	平成23年 4月1日* (* 公開版作成 時修正)	・ 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	
山内 美穂 (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* (* 公開版作成時修正)	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	
酒井 健 (55)	九州大学・大学院理学研究院化学部 門・教授	Ph.D., 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 (59)	ウィスコンシン大学マディソン校・工 学部長・教授	Ph.D. 金属学	10%	5%	25%	60%	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として研究、 イベントに参画 ・ 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	
Andrew A. Gewirth (57)	イリノイ大学・化学部・教授	Ph.D., 化学	20%	5%	60%	15%	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・アドバイザー委 員、内部プログラム評価委員 ・ 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	I ² CNERからの学生、学 術研究員、若手教員の 長期受入れ
Kenneth T. Christensen (43)	ノートルダム大学・工学部・教授	Ph.D., 実験流体力学を専門 とする理論・応用力 学	20%	5%	60%	15%	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・アドバイザー委 員、内部プログラム評価委員 ・ 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	

藤川 茂紀 (46)	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 ナノ科学・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 ・ CO ₂ 分離・転換研究部門長	
辻 健 (37)	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	85%	5%	0%	10%	平成25年 6月1日	・ 常時拠点本部に滞在して参画 ・ CO ₂ 貯留研究部門長	
松本 広重 (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	工学博士	80%	20%	0%	0%	平成22年 12月1日	・ 常時拠点本部に滞在して参画 ・ 電気化学エネルギー変換研究部門長	
Bidyut B. Saha (51)	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	工学博士	80%	15%	0%	5%	平成22年 12月1日	・ 常時拠点本部に滞在して参画	
Thomas Lippert (54)	スイス連邦工科大学チューリッヒ・応用化学バイオサイエンス学科（無機化学ラボラトリー）及び ポールシェラー研究所フィリゲン・薄膜界面研究グループ・教授	理学博士 物理化学	10%	15%	30%	45%	平成28年 84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	

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)
添付資料 1 - 1 平成28年度拠点構想に不参加となった主任研究者一覧

氏名 (年齢)	所属機関・部局・職	学位 専門	拠点構想	理由	対応
			参加時期		
該当なし					

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)
添付資料 1 - 1 別添 平成28年度新規主任研究者個人票

氏名 (年齢)	Thomas Lippert (54)
現在の所属機関・部局・職	ポールシェラー研究所 (薄膜界面研究グループ長) 及びスイス連邦工科大学 (無機化学ラボラトリー) ・教授
学位、現在の専門	理学博士、物理化学

[研究・教育歴]

(研究)

- 2016-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 光エネルギー変換分子デバイス研究部門 主任研究者
- 2013-現在 スイス連邦工科大学チューリッヒ・応用化学バイオサイエンス学科・無機化学ラボラトリー・教授 (titulary)
- 2013-現在 ポールシェラー研究所 研究委員会委員
- 2005-現在 ポールシェラー研究所 レーザー領域エキスパート
- 2002-現在 ポールシェラー研究所 薄膜界面研究グループ (旧材料研究グループ) 長
 ※2014年11月時点で薄膜界面研究グループは1名の上級レベル科学者 (講師)、1名の科学者、3名の学術研究員、6名の博士課程学生 (うち一名は電気化学ラボラトリーにも所属) で構成されている。
- 2002-2012 スイス連邦工科大学チューリッヒ・上級レベル講師 (Privatdozent) ;
 物理化学教授資格論文 (2002)
- 1999-2001 ポールシェラー研究所・上級レベル科学者 (材料開発・特性評価グループ)
- 1998-1999 ロスアラモス国立研究所・テクニカルスタッフメンバー
- 1995-1998 ロスアラモス国立研究所・学術研究員
- 1994-1995 物質工学工業技術研究所・科学技術振興機構/フンボルト財団学術研究員
- 1993-1994 Wacker Chemie AG (ブルクハウゼン) ・学術研究員

(教育)

- 1993 バイロイト大学・Ph.D. 化学
- 1990 バイロイト大学・MSc 化学
- 1983-1990 バイロイト大学・化学専攻

[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)

- M. Pichler, H. Téllez, J. Druce, E. Fabbri, M. El Kazzi, M. Döbeli, A. Wokaun, D. Pergolesi, T. Lippert, *Oxynitride thin films as model systems for photocatalysis*, Adv. Funct. Mat., invited feature article, in press.
- W. Si, D. Pergolesi, F. Haydous, A. Wokaun, T. Lippert, *Understanding the behaviour of various co-catalysts on LaTaON₂ photoanode*, Phys. Chem. Chem. Phys. 19, 656 (2017).
- S. E. Temmel, E. Fabbri, D. Pergolesi, T. Lippert, T. J. Schmidt, *Investigating the Role of Strain towards the Oxygen Reduction Activity on Model Thin Film Pt Catalysts*, ACS Catal. 6, 7566 (2016).
- A. Palla Papavlu, T. Mattle, U. Lehmann, A. Hintennach, A. Grisel, S. Temmel, A. Wokaun, T. Lippert, *Highly sensitive SnO₂ sensor via reactive laser-induced transfer*, Sci. Rep 6, 25144 (2016).
- A. Fluri, D. Pergolesi, V. Roddatis, A. Wokaun, T. Lippert, *Stress observation in thin oxide films: tensile stress aids oxygen ion migration*, Nature Commun. 7:10692 (2016).

[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

- 147 invited presentations (as presenting author).
- Over 220 talks or posters at international conferences (partly as co-author).

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

- President of the Senate of the European-Materials Research Society (E-MRS) (from 1/2016 to 2/2017).
- President of the European-Materials Research Society (E-MRS) (from 1/2014 to 12/2015).
- Vice-President of the European-Materials Research Society (E-MRS) (from 6/2011 to 12/2013).
- Member of the E-MRS Executive Committee (from 2008).
- Member of the Program/Scientific Committee of > 55 international conferences.
- Member of the Nomination Committee for the *Kyoto Prize* and *Japan Prize* (both with ca. 420 kCHF as prize money).
- Co-chair of 9 international conferences/symposia (including General Co-chair of the E-MRS spring meetings in 2010 and 2012 with more than 2500 attendees, the MRS Fall Meeting in 2012 with over 6000 attendees, and of the COLA conference in 2007). Coming: COLA conference in 09/2017 in Marseille France.
- Evaluation committee member or expert for:
 - a. SNF (Swiss National Science Foundation).
 - b. ESF (European Science Foundation).
 - c. NSF (National Science Foundation, USA).
 - d. NSERC (Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada).
 - e. RPF (Research Promotion Foundation, Cyprus).
 - f. Czech Academy of Science.
 - g. Czech Science Foundation.
 - h. DFG (German Research Foundation)-"Schwerpunktprogramm" and "Forschung."
 - i. AERES (agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur) France.
 - j. FONDECYT (National Commission for Scientific & Technological Research), Chile.
 - k. Romanian National University Research Council (CNCSIS).
 - l. Luxembourg National Research Fund (FNR).
 - m. US-DOE (Department of Energy, USA), proposal and project.
 - n. ANR (French National Research Agency).
 - o. Danish Council for Strategic Research (DSF).

- p. National Council for Research and Development for Partnership Programme - Joint Applied Research Projects, Romania.
- q. EU-FP7 Research Projects.
- r. Aristeia Research Programme for Research and Technology of Greece.
- s. Technology Foundation STW of The Netherlands.
- t. UEFISCIDI, Romania-declined, second time accepted
- u. Macquarie University Fellowships, Australia
- v. A*star, Singapore.
- w. OKTA-EPR, Hungarian Scientific Research Fund, Hungary, declined, twice.
- x. Croatian Science Foundation, declined.
- y. EU research projects or Marie Curie Action (declined several times).
- z. EU, Laserlab (Integrated Initiative, 7th framework program), several times.
- aa. ISL (Israel Science Foundation).

d) 国際賞の受賞
2014

Dr. *honoris causa*, University of Bucharest, Romania.

e) 有力雑誌の編者の経験 等

- 2017-present Editor-in-Chief of *Applied Physics A: Materials Science & Processing*.
- 2016-present Editorial Board of *npj 2D Materials and Applications*, (npj = Nature Partner Journals).
- 2012-2016 Editor of *Applied Surface Science*.
- 2008-2014 Editorial Board of *Materials*.
- 2006-2013 Co-Editor of *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*.
- 2006-2011 Associate Editor of *Laser Chemistry*.

(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)

Swiss National Science Foundation (SNF):

- **Current project** (with N. Marzari) *Theory and experiment synergy for artificial photosynthesis* within the SNF National Centre of Competence in Research (NCCR) MARVEL (Materials' Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials) (from 07/2015 for 2 years, 212 kCHF)
- **Current project** (with N. Marzari): *The search for low temperature super protonic conductivity* (from 09/2015 for 3 years, 448 kCHF).
- Previous project (with J. Rupp): *Influence of Strain and Interfaces on the Properties of Ion Conducting Thin Films for micro-Solid-Oxide-Fuel-Cells* (from 08/2013 for 3.5 years, 420 kCHF).
- Previous project (with PI Alexander Wokaun): *Positive or negative? Selecting the charge state of ions during pulsed laser deposition of thin films* (from 04/2011 for 3 years, 260 kCHF).
- Previous project (with M. Dinescu, Romania): *Small band-gap nanostructured perovskite materials for photovoltaic and photocatalytic hydrogen generation applications* (from 01/2013 for 3 years, 328 kCHF)

CRUS.CH (Rektorenkonferenz der Schweizer Universitäten): Scientific Exchange Programme-NMS (Sciex-NMS)

- Previous project (with A. Palla-Papavlu): *Application of laser-induced forward transfer for the fabrication of a flexible carbon nanotube sensor array-ALECSA* (from 2/2013 for 1 year, 100 kCHF).
- Previous project (with M. Filipescu): *NANO-Sens: Laser Printing of nanocomposite chemiresistors* (from 9/2014 for 6 month, 50 kCHF).

Kommission für Technologie und Innovation (KTI):

- Previous project: *Processing of low power integrated gas sensors with functionalized carbon nanotubes as sensitive layers deposited by a laser based technique* (start 5/2015, for 18 months 210 kCHF).

(3) 論文被引用 (主要な発表論文名、被引用の程度等)

1. T. Lippert*, J. T. Dickinson, *Chemical and spectroscopic aspects of polymer ablation- special features and novel directions, invited review*, Chem. Rev. 103, 453 (2003).
Cited 221
2. T. Lippert*, *Laser Applications of Polymers*, chapter in *Polymers and Light*, Ed. T. Lippert, Springer: Adv. Polym. Sci. 168, 51-246 (2004).
Cited 99
3. V.-M. Graubner, R. Jordan, O. Nuyken, B. Schnyder, T. Lippert*, R. Kötz, A. Wokaun, *Photochemical modification of crosslinked poly(dimethylsiloxane) by irradiation at 172 nm*, Macromolecules 37, 5936 (2004).
Cited 92
4. B. Schnyder, T. Lippert, R. Koetz, A. Wokaun, V.-M. Graubner, O. Nuyken, *UV-irradiation induced modification of PDMS films investigated by XPS and spectroscopic ellipsometry*, Surf. Sci. 532-535, 1067 (2003).
Cited 92
5. Doraiswamy, R. Narayan, T. Lippert, L. Urech, A. Wokaun, M. Nagel, B. Hopp, M. Dinescu, R. Modi, R. Auyeung, D. Chrisey, *Excimer Laser Forward Transfer of Mammalian Cells using a Novel Triazene Absorbing Layer*, Appl. Surf. Sci. 252, 4743 (2006).
Cited 89
6. R. Fardel, M. Nagel, F. Nüesch, T. Lippert*, A. Wokaun, *Fabrication of organic light-emitting diode pixels by laser-assisted forward transfer*, Appl. Phys. Lett. 91, 061103 (2007).
Cited 87
7. R. Phipps, M. Birkan, W. Bohn, H.-A. Eckel, H. Horisawa, T. Lippert, M. Michaelis, Yu. Rezunkov, A. Sasoh, W. Schall, S. Scharring, J. Sinko, *Laser ablation propulsion*, J. Prop. Power 26, 609 (2010).
Cited 79
8. T. Lippert*, *Interaction of Photons with Polymers: From Surface Modification to Ablation*, invited review for Plasma Process. Polym. 2, 525 (2005).
Cited 75
9. R. Stöckle, P. Setz, V. Deckert, T. Lippert, A. Wokaun, R. Zenobi, *Nanoscale atmospheric pressure laser ablation- mass spectrometry*, Anal. Chem. 73, 1399 (2001).
Cited 70
10. T. Lippert, A. Wokaun, J. Stebani, O. Nuyken, J. Ihlemann, *Excimer laser ablation of novel triazene polymers-influence of the structure on ablation characteristics*, J. Phys. Chem. 97, 12297 (1993).
Cited 66
11. G. Kopitkovas, T. Lippert*, C. David, A. Wokaun, J. Gobrecht, *Fabrication of Microoptical Elements in Quartz by Laser Induced Backside Wet Etching*, Microelectron. Eng. 67-68, 438 (2003).
Cited 65
12. G. Kopitkovas, T. Lippert*, C. David, A. Wokaun, J. Gobrecht, *Surface Micromachining UV-transparent Materials*, Thin Solid Films, 453-454, 31 (2004).
Cited 56
13. Weidenkaff, S. G. Ebbinghaus, T. Lippert, *$Ln_{1-x}A_xCoO_3$ ($Ln = Er, La$) ($A = Ca, Sr$) / carbon nanotube composite materials applied for rechargeable Zn/air batteries*, Chem. Mat. 14, 1797 (2002).
Cited 55
14. L. S. Bennett, T. Lippert, H. Furutani, H. Fukumura, H. Masuhara, *Laser induced microexplosion of a photosensitive polymer*, Appl. Phys. A 63, 327 (1996).
Cited 55

15. M. Nagel, R. Hany, D. Rentsch, M. Molberg, F. Nüesch, T. Lippert, *Aryltriazene Photopolymers for UV-Laser Applications: Improved Synthesis and Photodecomposition Study*, Macromol. Chem. Phys. 208, 277 (2007).
Cited 54
16. T. Lippert*, M. Hauer, C. Phipps, A. Wokaun, *Fundamentals and applications of polymers designed for laser ablation*, Appl. Phys. A 77, 259 (2003).
Cited 53
17. H. Furutani, H. Fukumura, H. Masuhara, T. Lippert, A. Yabe, *Laser-induced decomposition and ablation dynamics studied by nanosecond interferometry (I) a triazenopolymer film*, J. Phys. Chem. A 101, 5742 (1997).
Cited 53
18. H. V. Brand, R. L. Rabie, D. J. Funk, I. Diaz-Acosta, P. Pulay, T. Lippert, *Theoretical and experimental study of the vibrational spectra of the $\cdots\cdots\cdots$ and \cdot phases of octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine (HMX)*, J. Phys. Chem. B 106, 10594 (2002).
Cited 52
19. U. Gurudas, D. M. Bubb, S. Heiroth, T. Lippert, A. Wokaun, *Saturable and reverse saturable absorption in silver nanodots at 532 nm using picoseconds laser pulses*, J. Appl. Phys. 104, 073107 (2008).
Cited 51
20. T. Lippert, R. Webb, S. C. Langford, J. T. Dickinson, *Dopant induced ablation of PMMA at 308 nm*, J. Appl. Phys. 85, 1838 (1999).
Cited 49
21. S. Heiroth, R. Frison, J. L. M. Rupp, T. Lippert*, E. Barthazy, E. Müller, M. Döbeli, K. Conder, A. Wokaun, L. J. Gauckler, *Crystallization and grain growth characteristics of yttria-stabilized zirconia thin films grown by pulsed laser deposition*, Solid State Ionics 191, 12 (2011).
Cited 48
22. T. Lippert*, A. Yabe and A. Wokaun, *Laser ablation of doped polymer systems, review article*, Adv. Mater. 9, 105 (1997).
Cited 48
23. S. Heiroth, R. Ghisleni, T. Lippert*, A. Wokaun, J. Michler, *Optical and mechanical properties of amorphous and crystalline YSZ coatings prepared by pulsed laser deposition*, Act. Mat. 59, 2330 (2011).
Cited 47
24. R. Fardel, M. Nagel, T. Lippert*, F. Nüesch, A. Wokaun, *Laser forward transfer using a sacrificial layer: influence of the material properties*, Appl. Surf. Sci. 254, 1322 (2007).
Cited 47
25. F. Raimondi, S. Abolhassani, R. Brüttsch, F. Geiger, T. Lippert*, J. Wambach, J. Wei, A. Wokaun, *Quantification of Polyimide Carbonization after Laser Ablation*, J. Appl. Phys. 88, 3659 (2000).
Cited 47
26. G. Kopitkovas, S. Canulescu, C. David, J. Gobrecht, T. Lippert*, A. Wokaun, *Fabrication of micro-optical elements in UV-transparent materials*, J. Photochem. Photobiol. A Chem. 166, 135 (2004).
Cited 45
27. T. Lippert, A. Wokaun, J. Stebani, O. Nuyken, J. Ihlemann, *Dopant induced ablation of PMMA at 308nm, influence of the molecular weight of PMMA and the photochemical activity of added chromophors*, Angew. Makromol. Chem. 213, 127 (1993).
Cited 45
28. T. Lippert, A. Wokaun, J. Stebani, O. Nuyken, J. Ihlemann, *Triazene polymers designed for excimer laser ablation*, Angew. Makromol. Chem. 206, 97 (1993).
Cited 45
29. W. Schneider, M. Esposito, I. Marozau, K. Conder, M. Doebel¹, Y. Hu, M. Mallepell, A. Wokaun, T. Lippert*, *The origin of oxygen in oxide thin films - role of the substrate*, Appl. Phys. Lett. 97, 192107 (2010).
Cited 44
30. Weidenkaff, R. Robert, M. Aguirre, L. Bocher, T. Lippert, S. Canulescu, *Development of thermoelectric*

- oxides for renewable energy conversion technologies*, Renewable Energy 33, 342 (2008).
Cited 44
31. S. Heiroth, T. Lippert*, A. Wokaun, M. Döbeli, J. L. M. Rupp, B. Scherrer, L. J. Gauckler, *Yttria-stabilized zirconia films by laser ablation: microstructural and compositional control*, J. Europ. Ceram. Soc. 30, 489 (2010).
Cited 43
 32. R. Phipps, J. R. Luke, T. Lippert, M. Hauer, A. Wokaun, *Micropropulsion Using a Laser Ablation Jet*, J. Prop. Power 20, 1000 (2004).
Cited 43
 33. T. Lippert, A. Wokaun, D. Lenoir, *Surface reactions of brominated arenes as a model for the formation of chlorinated dibenzodioxins and -furans in incineration. Inhibition by ethanolamine*, Environ. Sci. Technol. 25, 1485 (1991).
Cited 43
 34. J. Xu, J. Liu, D. Cui, M. Gerhold, A. Y. Wang, M. Nagel, T. Lippert, *Laser-assisted forward transfer of multi-spectral nanocrystal quantum dot emitters*, Nanotechnology 18, 025403 (2007).
Cited 42
 35. J. Stebani, O. Nuyken, T. Lippert, A. Wokaun, *Preparation of novel triazene polymers*, Makromol. Chem. Rapid Commun. 14, 365 (1993).
Cited 42
 36. J. Wei, T. Lippert*, N. Hoogen, O. Nuyken, A. Wokaun, *Novel laser ablation resists for excimer laser ablation lithography. Influence of photochemical properties on ablation*, J. Phys. Chem. B 105, 1267 (2001).
Cited 37
 37. E. Ortelli, F. Geiger, T. Lippert*, J. Wei, A. Wokaun, *UV-laser induced decomposition of Kapton: an ex-situ Infrared Spectroscopy Study*- Macromolecules 33, 5090 (2000).
Cited 37
 38. R. Phipps, J. Luke, D. Funk, D. Moore, J. Glowina, T. Lippert, *Laser Impulse Coupling at 130 fs*, Appl. Surf. Sci. 252, 4834 (2006).
Cited 36
 39. T. Lippert*, C. David, M. Hauer, T. Masubuchi, H. Masuhara, O. Nuyken, C. Phipps, J. Robert, T. Tada, K. Tomita, A. Wokaun, *Novel applications for laser ablation of photopolymers*, invited paper for special issue of Appl. Surf. Sci. 186, 14 (2002).
Cited 36
 40. M. Hauer, D. J. Funk, T. Lippert*, A. Wokaun, *Time Resolved Study of the Laser Ablation Induced Shockwave*, Thin Solid Films, 453-454, 584 (2004).
Cited 35
 41. R. Phipps, J. R. Luke, G. G. McDuff, T. Lippert, *Laser-driven micro-rocket*, Appl. Phys. A 77, 193 (2003).
Cited 34
 42. T. Lippert*, D. J. Funk, Th. Gerber, M. Goto, H. Fukumura, A. Wokaun, *Single pulse nm-size grating formation in polymers using UV laser ablation*, Appl. Phys. Lett. 75, 1018 (1999).
Cited 34
 43. K. Kaur, R. Fardel, T.C. May-Smith, M. Nagel, D.P. Banks, C. Grivas, T. Lippert, R.W. Eason, *Shadowgraphic studies of triazene assisted laser-induced forward transfer of ceramic thin films*, J. Appl. Phys. 105, 113119 (2009).
Cited 33
 44. S. Heiroth, Th. Lippert*, A. Wokaun, M. Döbeli, *Microstructure and electrical conductivity of YSZ thin films prepared by pulsed laser deposition*, Appl. Phys. A 93, 639 (2008).
Cited 33
 45. R. Phipps, J. R. Luke, T. Lippert, *Laser Ablation of Organic Coatings as a basis for Micropropulsion*, Thin Solid Films, 453-454, 573 (2004).
Cited 32
 46. V.-M. Graubner, M. Hauer, R. Jordan, T. Lippert*, O. Nuyken, B. Schnyder, A. Wokaun, *Incubation and ablation behaviour of polydimethylsiloxane for 266 nm irradiation*, Appl. Surf. Sci. 197-198, 786 (2002). Cited 32

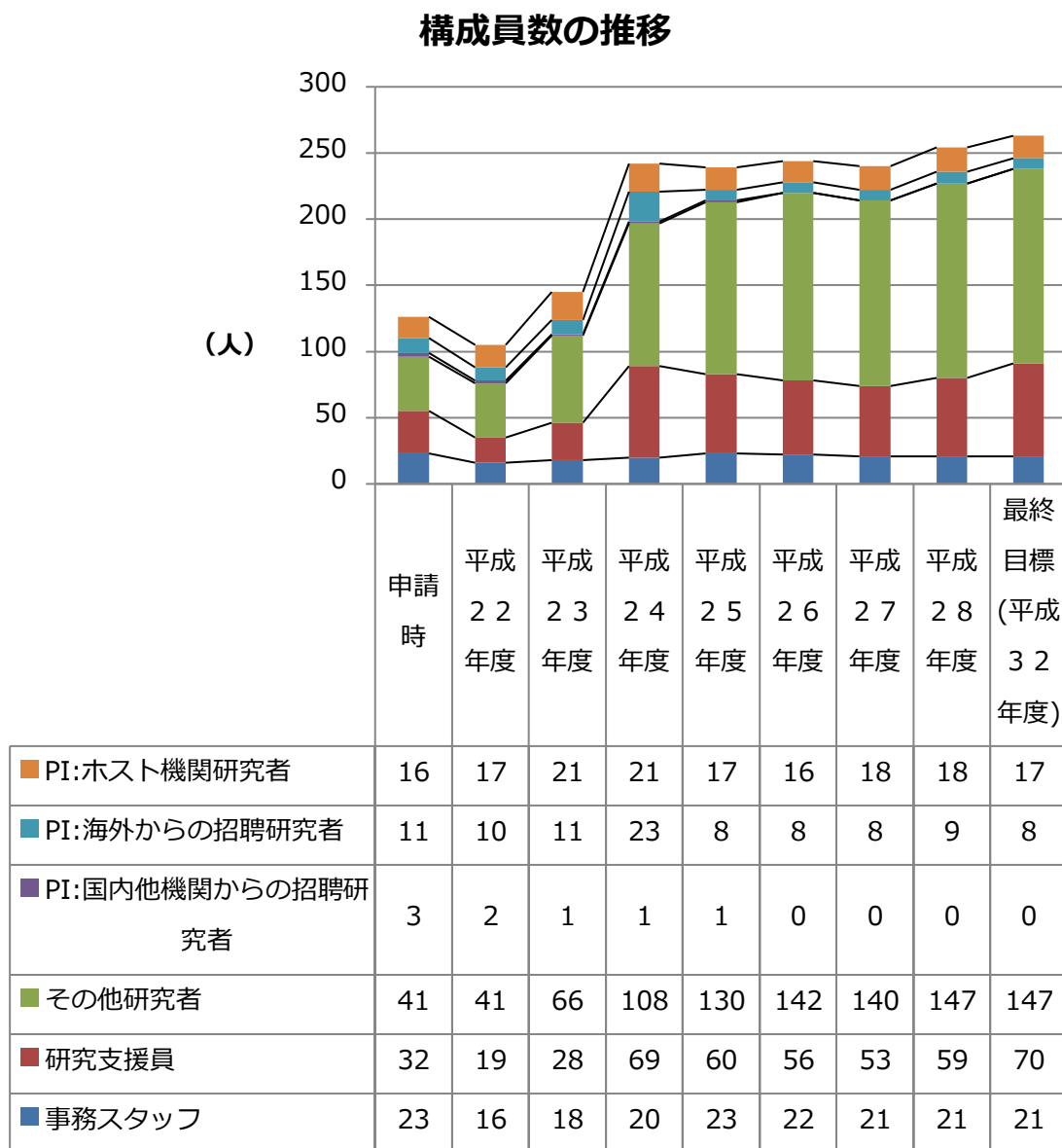
47. T. Lippert*, L. S. Bennett, T. Nakamura, H. Niino, A. Ouchi, A. Yabe, *Comparison of the transmission behavior of a triazeno-polymer with a theoretical model*, Appl. Phys. A 63, 257 (1996).
Cited 32
48. R. Fardel, M. Nagel, F. Nüesch, T. Lippert*, A. Wokaun, *Laser-induced forward transfer of organic LED building blocks studied by time-resolved shadowgraphy*, J. Phys. Chem. C 114, 5617 (2010).
Cited 31
49. David, J. Wei, T. Lippert, A. Wokaun, *Diffraction grey-tone phase masks for laser ablation lithography*, Microelectron. Eng. 57-58, 453 (2001).
Cited 31
50. F. Zimmermann, T. Lippert, C. Beyer, A. Wokaun, *N=N vibrations frequencies and fragmentation patterns of substituted 1-aryl-3,3-dialkyltriazenes- Comparison with other high nitrogen compounds*, Appl. Spectrosc. 47, 986 (1993).
Cited 31

Career Summary:	
Total Number of Citations:	5012
Total Number of Papers:	245
Average Citations per Item:	20
h-index:	37

(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)

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI） 添付資料 1 - 2 構成員数の推移

※申請時及び発足時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

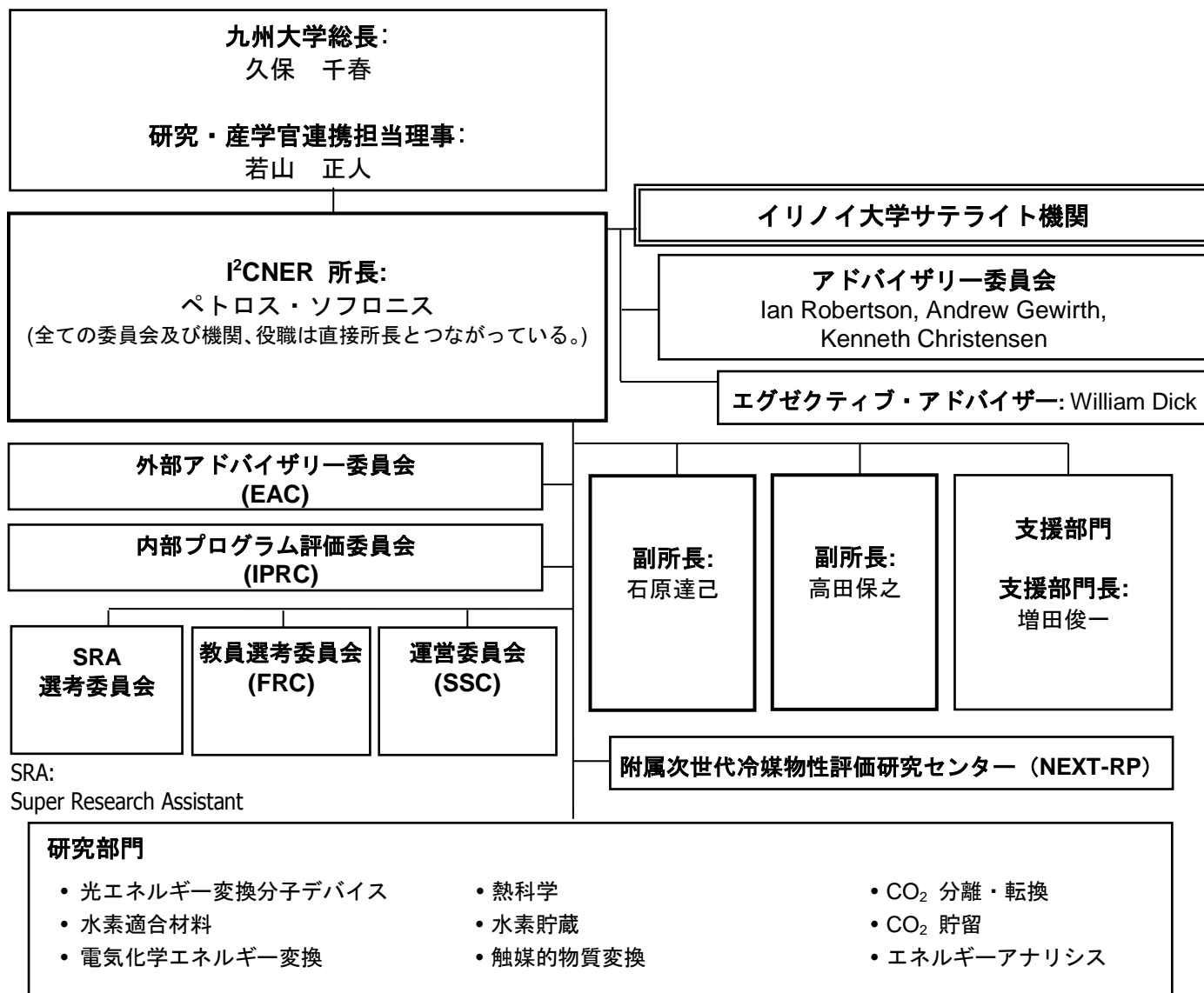


世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 1 - 3 運営組織図

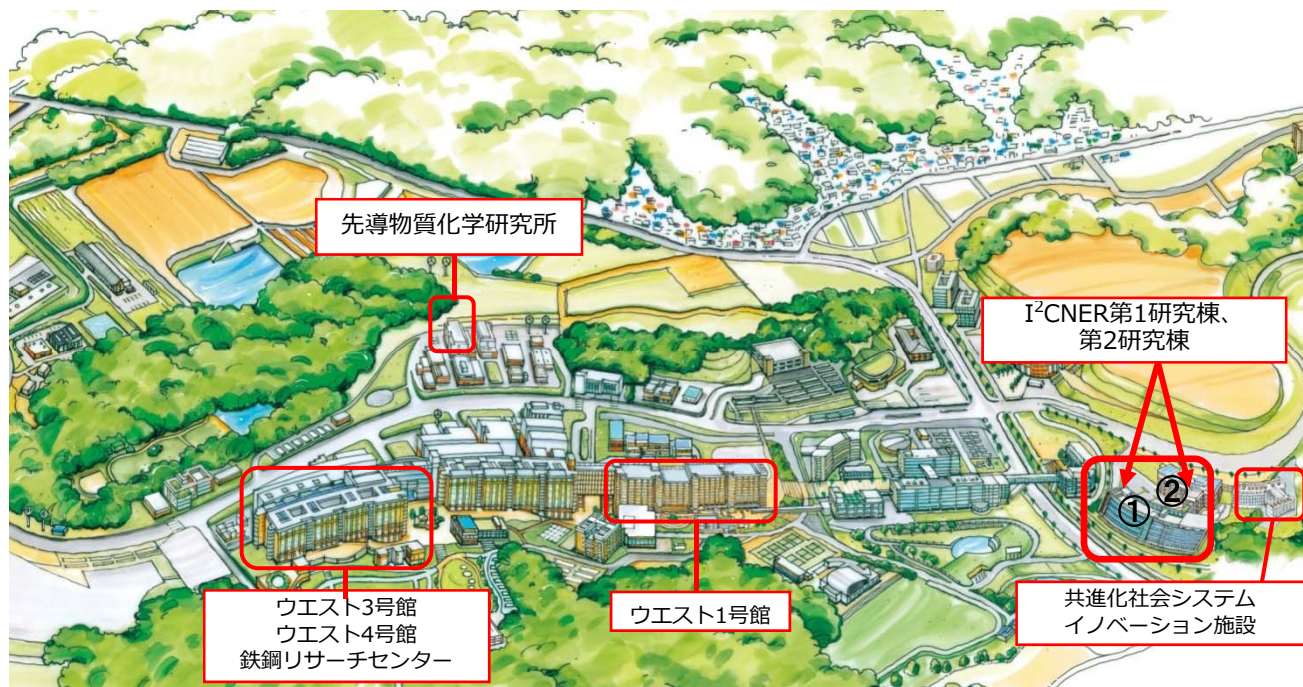
I²CNER組織図

(平成29年3月31日現在)



世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 1 - 4 拠点施設配置図

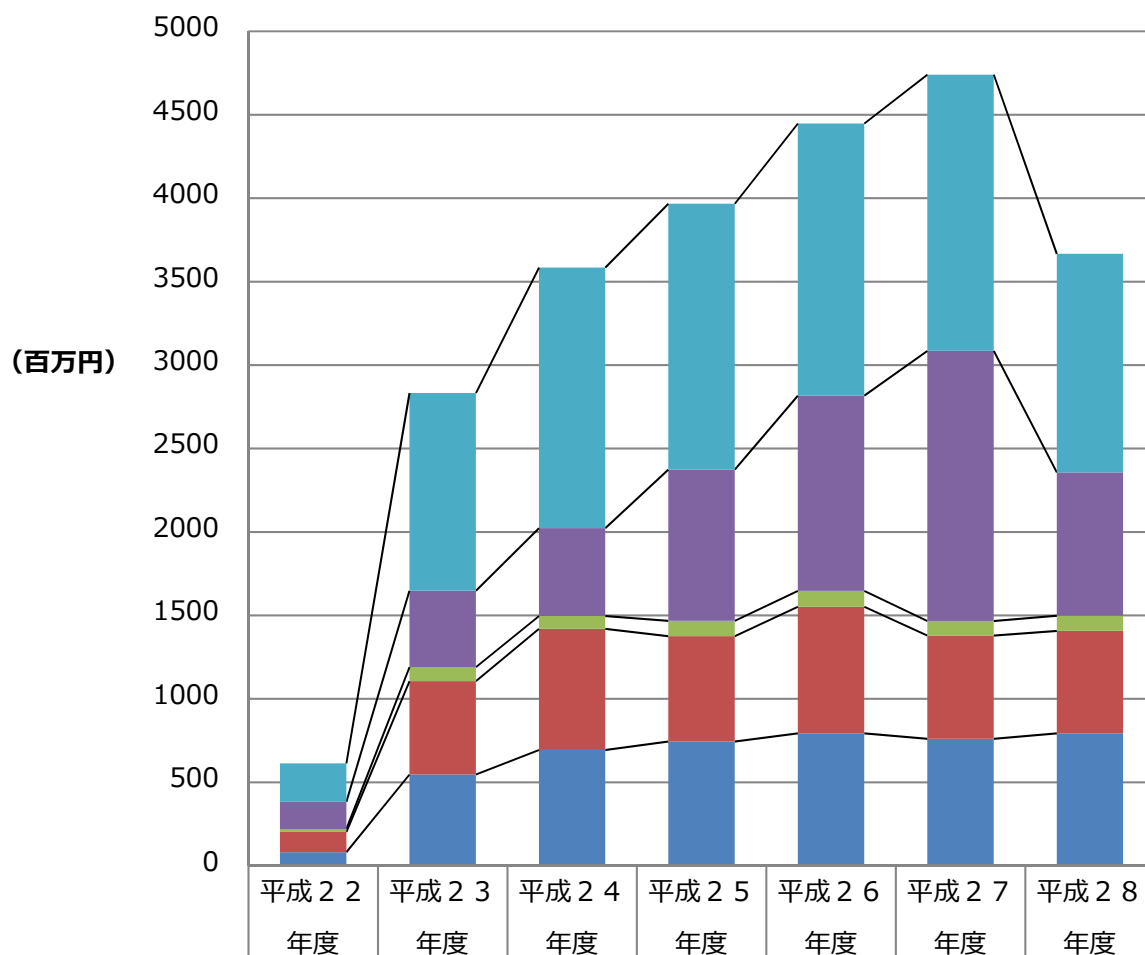


世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料 1 - 5 事業費の推移

※拠点活動全体の事業費額の推移を棒グラフで表すこと。

事業費の推移



■ 研究プロジェクト費	230	1184	1561	1593	1630	1655	1310
■ 設備備品等費	163	458	527	907	1170	1619	858
■ 旅費	18	84	77	92	95	87	91
■ 事業推進費	121	559	726	631	759	618	614
■ 人件費	81	547	693	744	793	761	793

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 1 - 6 事業費

1) 拠点活動全体

(単位：百万円)

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、支援部門長	21
	・主任研究者 17人	237
	・その他研究者 80人	363
	・研究支援員 29人	67
	・事務職員 27人	105
	計	793
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金 76人	7
	・人材派遣等経費 0人	0
	・スタートアップ経費 33人	46
	・サテライト運営経費 1ヶ所	183
	・国際シンポジウム経費 1回	4
	・施設等使用料	254
	・消耗品費	30
	・光熱水料	33
	・その他	57
		計
旅費	・国内旅費	15
	・外国旅費	50
	・招へい旅費 国内58人、外国59人	22
	・赴任旅費 国内2人、外国7人	4
	計	91
設備備品等費	・建物等に係る減価償却費	81
	・設備備品に係る減価償却費	777
	計	858
研究プロジェクト費	・運営費交付金等による事業	154
	・受託研究等による事業	938
	・科学研究費補助金等による事業	218
	計	1310
合	計	3666

平成28年度WPI補助金額 1245

平成28年度施設整備額 1

- ・研究棟新営 0m² 0
- ・第2研究棟改修 5000m² 1
- ・その他 0

平成28年度設備備品調達額 280

- ・円二色性分散計 1台 15
- ・ハルパフォーマンスコンピュータ・クラスタ 1台 16
- ・その他 249

2) 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 8人	
	・研究支援員 20人	
	・事務職員	
	計	114
事業推進費		49
旅費		16
設備備品等費		4
研究プロジェクト費		0
	合 計	183

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 1-7 平成28年度WPI補助金支出

1) 総額

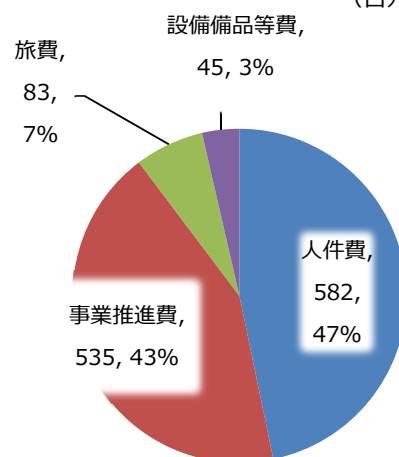
※経費区分を色分けした円グラフを作成してください。

(単位：百万円)

経費区分	内訳	事業費額
人件費	・拠点長、支援部門長	21
	・主任研究者 (14人)	195
	・その他研究者 (47人)	247
	・研究支援員 (29人)	67
	・事務職員 (18人)	52
	計	582
事業推進費	・招へい主任研究者等謝金(75人)	7
	・人材派遣等経費 (0人)	0
	・スタートアップ経費 (33人)	29
	・サテライト運営経費 (1ヶ所)	183
	・国際シンポジウム経費 (1回)	4
	・施設等使用料	254
	・消耗品費	21
	・光熱水料	6
	・その他	31
	計	535
	旅費	・国内旅費
・外国旅費		47
・招へい旅費 (国内：53人) (外国：52人)		20
・赴任旅費 (国内：2人) (外国：7人)		4
計		83
設備備品等費	・設備備品調達額	45
	計	45
合 計		1245

平成28年度WPI補助金の支出状況

(百万円)



2) 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)	114
	・その他研究者 (8人)	
	・研究支援員 (20人)	
	・事務職員	
	計	
事業推進費		49
旅費		16
設備備品等費		4
合 計		183

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 2 - 1 代表的な研究成果を裏付ける論文一覧

※「2. 研究活動」の「2-1. 研究成果」で挙げた代表的な研究成果[1]～[20]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。

※WPI拠点なくしては不可能であった研究論文にはアスタリスク（*）を付すこと。

1) ハイブリッドペロブスカイト太陽電池の耐久性向上（安達主任研究者）

1. C. Qin, T. Matsushima, T. Fujihara, W.J. Potscavage, C. Adachi (2016) Degradation Mechanisms of Solution-Processed Planar Perovskite Solar Cells: Thermally Stimulated Current Measurement for Analysis of Carrier Traps, *Advanced Materials*, 28(3), 466-471.

高い太陽光エネルギー変換効率(承認された値は20%を超える)と優れた膜形成能のため、有機無機ペロブスカイト材料は、太陽電池の光吸収層として非常に有望である。しかし、ペロブスカイト太陽電池の耐久性については向上させる必要がある。本稿では、ペロブスカイト太陽電池の性能低下がペロブスカイト膜中のキャリアトラップ形成に起因することを発見した。また、キャリアトラップは、水と酸素の存在下で太陽光照射した際にペロブスカイト合成物が分解されることにより形成される金属鉛が原因であることを発見した。高純度の窒素雰囲気下でペロブスカイト膜を作製することにより、ペロブスカイト太陽電池への酸素及び水の含有が抑えられ、電池寿命 (LT-80) を、大気中で作製されるペロブスカイト太陽電池と比較して、2.5倍の約570hまで向上させた。

2. C. Qin, T. Matsushima, T. Fujihara, C. Adachi (2017) Multifunctional benzoquinone additive for efficient and stable planar perovskite solar cells, *Advanced Materials*, 29(4), 1603808.

論文1で述べたとおり、窒素雰囲気下でペロブスカイト太陽電池を作製することによってデバイスの耐久性を改善することができたが、窒素雰囲気下で作製したものの、連続的な太陽光照射によって劣化したペロブスカイト太陽電池は少量の金属鉛を含む。そこで、我々は、ペロブスカイト膜の作製に使われる溶液にベンゾキノン(BQ)を導入した。これにより、金属鉛の形成が抑えられ、デバイスの耐久性が改善し、推定寿命は今まで報告された中で最長の部類に入る4000時間に達した。

2) 光触媒の活性部位の視覚化（石原主任研究者）

- *3. S. Ida, N. Kim, E. Ertekin, S. Takenaka, T. Ishihara (2015) Photocatalytic reaction centers in two-dimensional titanium oxide crystals, *Journal of the American Chemical Society*, 137(1), 239-244.

多くの光触媒水分解システムでは、水素発生半反応の遅さがしばしば良好なパフォーマンスの制限因子となりうる。これを克服するために、「反応速度を高める助触媒（金属ナノ粒子クラスターなど）」を含むことが一般的である。しかし、助触媒が働くメカニズムや最小のナノ粒子のサイズは、今まで十分理解されてこなかった。実験と計算科学を融合した本研究では、ロジウムがドーパされたチタニア・ナノシートでの水素発生を促進する助触媒として、単一原子部位が効果的でありうることを示すことができた。高解像度電子顕微鏡による原子スケールでの可視化は、ドーパントが二次元ナノシートへ取り込まれることを明らかにし、最適にドーパされたシステムの水素生成率が、ドーパされていないものと比較して、10倍に上ることを明らかにした。これに係る第一原理シミュレーションとモデリングは、ドーパントの存在が（律速であると考えられている）水分子吸着に対する熱力学エネルギーの障壁を小さくすることを示した。この研究は、助触媒のメカニズムに関する新たな洞察を与え、今後の光触媒水分解のデザインと発達に大いに役立つことが予想される。

3) 水素貯蔵のためのHPT（高圧ねじれ加工）によるTiFeの活性化（秋葉主任研究者、堀田主任研究者）

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

TiFeの活性化には、通常673K以上の高温と30気圧以上の水素雰囲気が必要となる。本稿は高圧ねじり加工（HPT）を用いたTiFeの活性化に関する最初の報告である。TiFeは、静置（ステーション）用置水素貯蔵に適した材料の1つであるものの、活性化が困難なことから、TiFeの応用は未だ実現していない。本稿は、この問題を解決するための研究の方向性を示すものである。

- *5. K. Edalati, H. Shao, H. Emami, H. Iwaoka, Z. Horita, E. Akiba (2016) Activation of titanium-vanadium alloy for hydrogen storage by introduction of nanograins and edge dislocations using high-pressure torsion,

International Journal of Hydrogen Energy, 41(21), 8917-8924.

Ti-V二元合金は、Tiベースの多元系体心立体水素貯蔵合金の基本型であり、燃料電池車に搭載する水素貯蔵システムへの応用が期待される。著者らは、高圧ねじり加工(HPT)法をTi-V合金に適用し、合金の初期活性化を調査した。その結果、結晶粒界と刃状転位が合金の活性化に重要な役割を果たすことが判明した。また、HPT法を様々な水素貯蔵材料に適用し、HPT法により生成した格子欠陥は水素と材料の反応速度の改善に効果的であることを明らかにした。

*6. T. Hongo, K. Edalati, M. Arita, J. Matsuda, E. Akiba, Z. Horita (2015) Significance of grain boundaries and stacking faults on hydrogen storage properties of Mg₂Ni intermetallics processed by high-pressure torsion, *Acta Materialia*, 92, 46-54.

Mg₂Niは、4 wt%までの水素収容が可能であるが、水素貯蔵材として応用されるには、更に反応速度を改善する必要がある。特に、水素放出速度は非常に遅い現状にある。本稿では、水素放出反応速度の高速化について、格子欠陥（例えば、高圧ねじり法により生成する粒界と積層欠陥）が持つ役割の重要性について論じている。

4) 電子移動または水素化合物移動により触媒作用を及ぼす[NiFe]ヒドロゲナーゼモデル (小江主任研究者)

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

本稿では、天然の[NiFe]ヒドロゲナーゼを範とした[NiFe]ベースの機能モデル錯体による初の水素活性化を報告した。このモデル錯体はヘテロリティックに水素を活性化することで、電子移動またはヒドリド移動による基質の還元が可能でヒドリド錯体を形成する。これらの結果は、水素燃料電池技術の開発に貢献し、部門の研究テーマである「低コスト・高効率な応用に適した水素触媒」と関連するものである。

5) O₂由来の高原子価鉄(IV)ペルキオソ種 (小江主任研究者)

*8. T. Kishima, T. Matsumoto, H. Nakai, S. Hayami, T. Ohta, S. Ogo (2016) A High-Valent Iron(IV) Peroxo Core Derived from O₂, *Angewandte Chemie International Edition*, 55(2), 724-727.

論文4で報告された最初の機能的な生体模倣鉄-ニッケル水素活性化触媒に係る前出研究と共に、我々は、カソード側での補完的な酸素活性化を可能とする触媒の開発に取り組んだ。酸素活性化触媒は、酸素耐性[NiFe]ヒドロゲナーゼをモデルとして開発された。このような結果は、サイドオン型鉄(IV)ペルキオソ錯体の最初の例となる酸素耐性[NiFe]ヒドロゲナーゼの最初の生体模倣モデル触媒のベンチマークである。

*9. T. Matsumoto, T. Ando, Y. Mori, T. Yatabe, H. Nakai, S. Ogo (2015) A (Ni-SIr)_I Model for [NiFe]hydrogenase, *Journal of Organometallic Chemistry*, 796(1), 73-76.

酸素活性化の反応メカニズムを理解することは、産業化学プロセス及び燃料電池技術において、O₂還元カソード触媒を開発するために非常に重要である。本研究は、酸素活性化の反応メカニズムを説明し、有機金属錯体を使って酸素活性化した最初の例である。錯体は配位子を変えることで簡単に制御でき、新たに効率的な触媒の合成を可能にする。

6) グリコール酸/シュウ酸酸化還元対を用いた直接的充放電によるCO₂フリー発電 (山内主任研究者)

*10. R. Watanabe, M. Yamauchi, M. Sadakiyo, R. Abe, T. Takeguchi (2015) CO₂-free electric power circulation via direct charge and discharge using the glycolic acid/oxalic acid redox couple, *Energy & Environmental Science*, 8(5), 1456-1462.

再生可能エネルギーによって駆動する持続可能な社会の実現には、効率的な電力蓄送電が不可欠である。本稿は、グリコール酸(GC)/シュウ酸(OX)酸化還元対をベースとしたCO₂フリーの電力循環方法に関する初めての論文である。

7) 合体により誘因された液滴跳躍に関する基本的理解 (高田主任研究者)

*11. H. Cha, C. Xu, J. Sotelo, J.M. Chun, Y. Yokoyama, R. Enright, N. Miljkovic (2016) Coalescence-Induced Nanodroplet Jumping, *Physical Review Fluids*, 1, 064102.

本稿は、合体によるナノ液滴の跳躍を実験的に明示し、理論的に説明する最初の研究であった。これまでの研究では跳躍する液滴の最小サイズ（研究界で受け入れられていた理論的な最小値）は10ミクロンとされていたため、本稿で報告した結果はとて重要である。液滴の跳躍効率は飛散する液滴の

サイズと直接的な関連があり、小さい液滴の方がよりパフォーマンスが良い。ナノ液滴の跳躍が真に可能であるという実験的・理論的な説明と、ナノ液滴の跳躍のために開発された表面構造デザインのガイドラインは、凝縮伝熱特性、凍結防止機能、自己洗浄と抗菌性能の促進にとって非常に重要である。

*12. J. Oh, P. Birbarah, T. Foulkes, S.L. Yin, M. Rentauskas, J. Neely, R.C.N. Pilawa-Podgurski, N. Miljkovic (2017) Jumping-Droplet Electronics Hot-Spot Cooling, *Applied Physics Letters*, 110, 123017.

本稿は、活発に跳躍する液滴による電子機器のホットスポット冷却についての最初の実証であった。窒化ガリウム半導体装置の活発なサーマル・ルーティングと温度平準化のために電界中の凝縮の利用は有効であり、これまで研究界で記録されたものの中で最高の電力密度(290W/cm³)を達成した。この研究は、将来の高電力密度かつ極めて高効率な電力機器(>98%)へ利用される次世代熱制御法としての幅広い応用可能性があるため、非常に重要なものである、それだけでなく、これまで実現が難しかったサーマル・ルーティングやサーマル・ダイオード技術を発展させるためにも、非常に重要である。

*13. H. Cha, J.M. Chun, J. Sotelo, N. Miljkovic (2016) Focal Plane Shift Imaging for the Analysis of Dynamic Wetting Processes, *ACS NANO*, 10(9), 8223–8232.

本稿では、焦平面操作(FPSI)により液滴と表面の相互作用に関する3D情報を提供する単一カメラ技術の開発について詳述している。これまで液滴と表面の相互作用に関する正確な3D分析を入手することは不可能だったため、本研究は重要な展開である。開発されたFPSI技術は、これまでの限界を克服し、噴霧、液滴、液滴と表面の相互作用等の研究に対して幅広い意義がある。共焦点顕微鏡が光学顕微鏡に用いられるように、強力なFPSI技術は液体と液滴間の相互作用の研究に利用される。

8) 機能化された画期的な吸着剤の開発とHVACへの応用 (Saha主任研究者)

*14. I.I. El-Sharkawy, K. Uddin, T. Miyazaki, B.B. Saha, S. Koyama, J. Miyawaki, S.H. Yoon (2014) Adsorption of ethanol onto parent and surface treated activated carbon powders, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 73, 445-455.

エタノールの吸着において超効率的な吸着剤の発見は、収着性能向上のために吸着剤の表面特性を微調整することが可能であることを証明した。このコンセプトは、異なる酸素含有量を有する3つの活性炭サンプルを用いて明らかにされ、エタノール吸着ではエタノール分子のヒドロキシル基グループと酸素を含有する表面グループとの間の強い相互作用が巧みに利用されている。研究結果は、新しい研究局面を顕在化させ、吸着式ヒートポンプの性能向上に向けた活性炭の表面特性の制御について可能性を示した。

*15. K. Uddin, I.I. El-Sharkawy, T. Miyazaki, B.B. Saha, S. Koyama, H.S. Kil, J. Miyawaki, S.H. Yoon (2014) Adsorption characteristics of ethanol onto functional activated carbons with controlled oxygen content, *Applied Thermal Engineering*, 72, 211-218.

異なる酸素含有量を有する3サンプルの平衡特性は詳細に分析され、これら3つのサンプルに対する吸着等温線方程式は、測定されたデータからの概算によって求められた。また、吸着熱は等温線方程式を用いて評価され、それは3つのサンプルの吸着取込みの関数として表わされた。分析によって得られたデータは、吸着式ヒートポンプ設計の基礎となる。

*16. I.I. El-Sharkawy, K. Uddin, T. Miyazaki, B.B. Saha, S. Koyama, H.S. Kil, S.H. Yoon, J. Miyawaki (2015) Adsorption of ethanol onto phenol resin based adsorbents for developing next generation cooling systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 81, 171-178.

本稿は、記録的な吸着量を有する吸着剤の開発について報告している。新たな活性炭は、球状フェノール樹脂から合成され、~3000 m²/gの高い比表面積を有し、孔幅が平均よりわずかに大きい1.6nmで設計されている(従来の活性炭の孔幅は1.1nm)。孔レベルの特注デザインにより、この新しい吸着剤はエタノール吸着で記録を打ち立てた。

9) 高温電気化学デバイス内の空気電極：化学組成とメカニズムの原子論的研究 (Kilner主任研究者)

*17. J. Druce, H. Tellez, M. Burriel, M.D. Sharp, L.J. Fawcett, S.N. Cook, D.S. McPhail, T. Ishihara, H.H. Brongersma, J.A. Kilner (2014) Surface termination and subsurface restructuring of perovskite-based solid oxide electrode materials, *Energy & Environmental Science*, 7(11), 3593-3599.

エネルギー変換・貯蔵のための高温電気化学デバイスの劣化プロセスは、商業化に大きな困難を来す。劣化の主要因の一つは、空気電極として使われる複合酸化物を含んだ触媒活性遷移金属の酸素交換性能の低下である。本報は、セラミック材料の最表面部の原子レベルでの化学組成の解明を可能にする低エネルギーイオン散乱の測定手法を用いた国際共同研究についての報告である。セルの作動条件を模した条件で処理すると、これまでの経験的な予想に反して、酸素交換反応に働いていると考えられて

きた遷移金属が表面において欠如しているということが明らかとなった。更にこの研究は、イオン-電子混合伝導性を高めるのに用いられるSr等の添加元素の偏析について、表面が非常に速くSrOに覆われるかを示した。本報は、動作環境下における空気極の最表面の組成変化を詳細に示し、劣化を遅らせるための戦略を提供した初の論文である。

*18. T. Akbay, A. Staykov, J. Druce, H. Tellez, T. Ishihara, J.A. Kilner (2016) The interaction of molecular oxygen on LaO terminated surfaces of La₂NiO₄, *Journal of Materials Chemistry A*, 4(34), 13113-13124.

本報においては、我々の分野横断的な研究チームは、酸素空孔がないにもかかわらず表面交換反応に高活性な、Srを添加していない新しい遷移金属複合酸化物の表面を調査した。これら材料は、動作環境下で表面には遷移金属が存在しておらず、典型的にLaO面で被覆されていることが分かった。我々は、以前の論文[17、19]で用いたものと同様の手法を用い、LaO面がSrO面とは異なり、酸素交換に活発であることを示した。これは、Laイオンが触媒的に不活性であるという既存の見方とは逆の全く新しい概念である。この発見は、多くの過去の実験結果を理解するために非常に重要なものであり、酸化物材料中の大きな希土類原子の触媒的役割についての調査をさらに進める契機となるものである。

*19. A. Staykov, H. Tellez, T. Akbay, J. Druce, T. Ishihara, J. Kilner (2015) Oxygen Activation and Dissociation on Transition Metal Free Perovskite Surfaces, *Chemistry of Materials*, 27(24), 8273-8281.

一般的なSrを添加した空気極材料が、デバイスの動作温度でSrOで覆われた表面をつくり出すという認識に基づき、空気極のモデル材料において酸素分子とその表面との相互作用の詳細な検討を行った。作動中の空気極表面についての第一原理量子力学計算を実験的な検討とともに、分野横断的な研究チームにより行った。その結果、表面にSrO面が存在するモデルにおいて、ガス内分子と格子酸素の交換が基本的に不活性であることが判明し、Sr偏析が空気極性能に有害であるとの予想が実際にそうであることが理論的に確認された。また更なる計算により、SrO表面層の酸素空孔サイトが酸素交換反応プロセスに活性で、パフォーマンスの更なる向上に有効であるという洞察を得た。これは、これら材料における酸素交換の活性部位についての長年の疑問に答えるものである。

10) カーボンナノチューブの高分子被覆による新しい電子触媒 (中嶋主任研究者)

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

本稿は、PEFC電子触媒材料開発のための画期的な高分子被覆法の進展についてまとめたものである。この方法は、白金ナノ粒子の補助材料としてカーボンナノチューブを用いることで、ナノチューブ表面を酸化させることなく、耐久性の高い固体高分子形燃料電池を作ることができたため、強い関心と呼んだ。

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

100°C以上の環境下での固体高分子形燃料電池(PEFC)の耐久性の改善は、燃料電池産業の目標の1つである。本稿では、120°Cの湿度のない雰囲気下における、最高の耐久性を示すPEFCを報告した(単一セルテストで500,000サイクル超)。これには、補助触媒として、従来のカーボンブラックではなくカーボンナノチューブ(CNT)を用いた。重要なことは、高分子被覆法を使って、白金ローディングを行う前に表面を酸化させることなくCNTsを使うことであり、そのためにはポリベンゾイミダゾール(PBI)が使われた。

*22. Z. Yang, I. Moriguchi, N. Nakashima (2015) Durable Pt Electrocatalyst Supported on a 3D Nanoporous Carbon Shows High Performance in a High-Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cell, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(18), 9800-9806.

本稿は、固体高分子形燃料電池(PEFC)の陰極に3次元ナノポーラスカーボンを使用したことを報告する初めての論文である。3Dナノポーラスカーボン上に白金ナノ粒子を固定するために、高分子被覆法が用いられ、これにより、低コストかつ耐久性の高いPEFC陰極電子触媒が生成された。

11) 中温水蒸気電解 (松本主任研究者)

*23. Y. Okuyama, K. Isa, Y.S. Lee, T. Sakai, H. Matsumoto (2015) Incorporation and Conduction of Proton in SrCe_{0.9-x}Zr_xY_{0.1}O_{3-δ}, *Solid State Ionics*, 275, 35-38.

本報は、中温型固体酸化物型燃料電池のための重要素材であるストロンチウム系ジルコネート-セレート固溶体のプロトン伝導性を扱ったものである。これまでに我々は、Xが0.5で、Zr/Ceが5/4である時に、プロトン伝導性が最高となることを見いだしているが、本報ではこの構成が最も高い性能を示す理由を、酸化物イオン空孔の水和がこの組成で最大となったためと結論した。

*24. K. Leonard, Y.S. Lee, Y. Okuyama, K. Miyazaki, H. Matsumoto (2017) Influence of dopant levels on the hydration properties of SZCY and BZCY proton conducting ceramics for hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(7), 3926-3937.

本報では、バリウムベースのプロトン伝導体について検討した結果について報告しており、高いプロトン伝導率を実験的に示したものである。それは、これまで報告されている中で最高のプロトン伝導率であり、500°C以下においては、他のどの固体電解質よりも高い伝導率である。これまでに見いだされたZr/Ce=5/4の組成比は、バリウム系の材料でも有効であり、低い粒界抵抗により高いプロトン伝導率がもたらされることが判明した。

*25. Y. Matsuzaki, Y. Tachikawa, T. Somekawa, T. Hatae, H. Matsumoto, S. Taniguchi, K. Sasaki (2015) Effect of proton-conduction in electrolyte on electric efficiency of multi-stage solid oxide fuel cells, *Scientific Reports*, 5, 12640.

固体酸化物電池の電解質としてプロトン伝導体を用いることは、酸化物イオン伝導体と比べて、稼働温度を下げるためのみならず、電極反応が異なるために、物質輸送の点でも優位性がある。本報は、プロトン伝導体の適用により燃料の希釈が避けられるため、酸化物イオン伝導体よりも水素燃料電池効率を約10%高めることができるということを定量的に説明した。

12) CO₂貯留のための液体CO₂-水の流体挙動に見られる慣性効果 (Christensen主任研究者)

*26. F. Kazemifar, G. Blois, D.C. Kyritsis, K.T. Christensen (2016) Quantifying the flow dynamics of supercritical CO₂-water displacement in a 2D porous micromodel using fluorescent microscopy and microscopic PIV, *Advances in Water Resources*, 95, 352-368.

本研究では貯留層相当の温度・圧力条件下における、多孔質マイクロモデル内の液体CO₂-水の流動についての初めて定量的に明らかにした。本研究では岩石中を透過するCO₂流れに対する慣性力の重要性や孔隙中にトラップされた水塊へのCO₂流が発生することが確認された。このCO₂流は溶解トラップを促進する可能性があることを示している。このような孔隙スケールでの液体CO₂流動モデルを貯留層での大規模なCO₂挙動の解釈に適用される事が期待される。

*27. Y. Li, F. Kazemifar, G. Blois, K.T. Christensen (2017) Micro-PIV measurements of multiphase flow of water and liquid/supercritical CO₂ in 2D heterogeneous porous micromodels, *Water Resources Research*, submitted.

本稿は、貯留層砂岩に見られる孔隙構造を有する不均質マイクロモデル内の液体CO₂-水の流動についての初の定量的研究である。これらの実験により、天然岩石中のCO₂流動に伴い、隣接する孔隙間での水の流れが広範囲で発生すること確認された。このことは、孔隙間での相関関係はないとの前提を有する多くの間隙スケールモデルとは対照的である。また、孔隙構造中におけるCO₂流が、慣性力の影響を無視できないような大きな速度で発生していることが確認された。

*28. Y. Chen, A. Valocchi, Y. Li, K.T. Christensen (2017) Comparison of the Lattice Boltzmann simulation and experiment of pore-scale flow interactions between water and supercritical CO₂ in 2D heterogeneous micromodels at reservoir conditions, *Journal of Contaminant Hydrology*, submitted.

本研究では天然の貯留層を構成する岩石を基に、数値計算用の不均質孔隙構造岩石物理モデルと不均質マイクロモデルを作成し、それぞれCO₂-水二相流挙動を格子ボルツマン・シミュレーション法による数値シミュレーションと貯留層相当の温度圧力条件下におけるCO₂注入試験を実施し、それぞれの結果の比較・検討を行った。その結果、シミュレーションと実験において類似した液体CO₂浸透パターンが観測された。しかし、実験において確認された後続のCO₂経路の形成がシミュレーションでは確認できなかった。更に数値的な安定性を高めるために液体CO₂/水の粘性比率を保つようにそれぞれの流体の粘度を大きくしたシミュレーションでは、慣性力及び後続のCO₂経路形成が抑えられることが明らかになった。この結果は液体CO₂と水の粘性比率及びキャピラリー数を一致させるのみでは十分でなく、これら粘性の絶対量が一致しなければならないことを明確に示している。

13) 貯留CO₂の高精度モニタリング・システムの開発 (辻主任研究者)

*29. T. Tsuji, T. Ikeda, T.A. Johansen, B.O. Ruud (2016) Using seismic noise derived from fluid injection well for continuous reservoir monitoring, *Interpretation*, 4(4), SQ1-SQ11.

コストの問題で、貯留CO₂を連続的にモニタリングすることは難しいとされている。その現在のモニタリング手法の欠点を克服すべく、微動を利用して地震速度の時間的変化を推定するモニタリング手法を開発した。この手法では、微動から仮想的な震源を作るため、地震計のデータだけを使って連続的な人工地震探査データ(モニタリングデータ)を構築することが可能となる。このアプローチは、低コストで、CO₂の地中貯留プロジェクトの長期モニタリングに特に効果的である。この方法を、CO₂圧

入時に記録された地震計データに適応することになっている。

*30. T. Ikeda, T. Tsuji, T. Watanabe, K. Yamaoka (2016) Development of surface-wave monitoring system for leaked CO₂ using a continuous and controlled seismic source, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 45, 94-105.

我々は、環境省の支援により、連続かつ精密に制御された震源を用いて圧入したCO₂を測定する新たなモニタリング・システムを開発した。このシステムは既存のシステムとは大きく異なるものである。現地試験では、表面波速度の時間変化を1時間ごとに1%以上の精度でモニタリングできることを示した。この時間安定性があれば、断層帯に沿ってCO₂が漏れいすれば、それを地震波速度の変化として検出できる。この手法は、貯留層からのCO₂漏洩を連続的に調べることで、初めての地震波モニタリング・システムである。

*31. T. Ikeda, T. Tsuji, M. Takanashi, I. Kurosawa, M. Nakatsukasa, A. Kato, K. Worth, D. White, B. Roberts (2017) Temporal variation of the shallow subsurface in the Aquistore CO₂ storage site associated with environmental influences using a continuous and controlled seismic source, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2016JB013691.

我々は、費用対効果が高く、高い時間分解能と精度を有する新たなモニタリング手法を開発した。この手法では連続かつ精密に制御された震源を用いている。この手法は、カナダのサスカチュワン州で進行中のCCSプロジェクトで用いられた。これにより、地下深部の貯留層に圧入されたCO₂に対する高精度モニタリングを阻害する浅い地層の堆積物が季節によって異なる(地層水の凍結、など)ということを知り、このように、我々のモニタリング・システムは、浅い地層での地震波速度の変化がもたらす影響を鑑みることで、圧入されたCO₂の高精度モニタリングを可能にしている。このことは従来のモニタリング・システムでは実現困難である。

14) ナノ膜を用いたCO₂分離の新たなアプローチ (藤川主任研究者)

*32. S. Fujikawa, M. Ariyoshi, E. Shigyo, C. Fukakusa, R. Selyanchin, T. Kunitake (2017) Preferential CO₂ separation over nitrogen by a free-standing and nanometer-thick membrane, *Energy Procedia*, accepted.

100nm未満の膜厚にもかかわらず、高分子材料から成る自立ナノ膜(深刻な欠陥やピンホールのない)は、N₂よりもCO₂を選択的に分離する。我々の知る限り、厚さ数十ナノメートルの自立ナノ膜によるCO₂分離としては、初めての例である。

15) CO₂電解還元異なる混合パターンを有するバイメタルCuPd触媒 (山内主任研究者)

*33. S. Ma, M. Sadakiyo, M. Heima, R. Luo, R.T. Haasch, J.I. Gold, M., Yamauchi, P.J.A. Kenis, (2017) Electroreduction of carbon dioxide to hydrocarbons using bimetallic Cu-Pd catalysts with different mixing patterns, *Journal of the American Chemical Society*, 139, 47-50.

本稿は、高い炭化水素選好性を示す電解還元触媒を開発する新しいアプローチを提示する。CuPdバイメタル微粒子に関するナノ工学は、選好性の調整を可能にし、単純な銅システムより高い選好性を可能にする。また、微粒子への幾何学的影響が電子的影響よりも重要であるとの新しい洞察が示されるが、これは他のバイメタル・システムにも応用できる潜在性がある。本稿は、材料化学、電気化学、分析化学と化学工学の連携によるものである。

16) 水素供給のための次世代の高強度、低コスト合金 (高木主任研究者)

*34. A. Macadre, N. Nakada, T. Tsuchiyama, S. Takaki (2015) Critical grain size to limit the hydrogen-induced ductility drop in a metastable austenitic steel, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 10697-10703.

本稿では、微細粒化が水素露出後も高い強度と十分な延性(伸長 > 30%)を保持するステンレス鋼を生成する優れた方法であることを証明する。ユニークな結果の一つは、水素誘起劣化のメカニズムが粒径に依存するという点である。つまり、水素暴露している状態では粒径の大きなステンレス鋼は粒界破壊を示すが、微細粒化したステンレス鋼は延性破壊を示すのみであった。これらの結果の技術的意義は、水素適合性を損なわずにコスト削減を実現することから、超微細粒子(UFG)ステンレス鋼がベンチマーク(SUS316ステンレス鋼)に代わる魅力的な選択肢となり得ることである。

*35. A. Macadre, K. Tsuboi, N. Nakada, T. Tsuchiyama, S. Takaki (2014) Ultra-Grain Refinement Effect on Tensile and Phase Transformation Behaviour in a Metastable Austenitic Steel Charged in Hydrogen Gas, *Procedia Materials Science*, 3, 350-356.

超微細粒化された(UFG)ステンレス鋼生産の鍵となるのは、ひずみによりマルテンサイトを形成するという当該材料の性質である。これは、マルテンサイト形成が水素適合性の劣化を引き起こす可能性が

あるためである。本研究の重要な成果は、粒径と低水素濃度(~25 wppm)がひずみ誘起マルテンサイトの形成に影響を及ぼさず、従ってUFGプロセスは水素適合性を損なわないということを証明したことである。UFGステンレス鋼の水素適合性を明らかにすることは、これら合金がベンチマーク(SUS316ステンレス鋼)に代わる選択肢となるためには不可欠である。

17) 水素中におけるフレット疲労メカニズム (Sommerday主任研究者)

36. M. Kubota, K. Kuwada, Y. Tanaka, Y. Kondo (2011) Mechanism of Reduction of Fretting Fatigue Limit Caused by Hydrogen Gas in SUS304 Austenitic Stainless Steel, *Tribology International*, 44, 1495-1502.

これは、水素エネルギー・システムの開発に貢献することを目的とした水素ガス中のフレット疲労に関する最初の論文である。また、本論文は、オーステナイト系ステンレス鋼のフレット疲労強度が水素ガス中では顕著に低下することを示し、安全に関する水素エネルギー・システムの設計にはフレット疲労が最重要課題の一つであることを明確に示している。フレット疲労強度の低下を引き起こしたメカニズムは、接触表面で起きた現象の詳細な観察により明らかにされた。具体的には、水素ガス中では接触表面間の凝着が促進され、それが微小な亀裂の発生をもたらした。

*37. R. Komoda, M. Kubota, J. Furtado (2015) Effect of Addition of Oxygen and Water Vapor on Fretting Fatigue Properties of an Austenitic Stainless Steel in Hydrogen, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 16868-16877.

オーステナイト系ステンレス鋼のフレット疲労強度の顕著な低下が、水素ガスに水蒸気と ppm レベルの酸素を不純物として添加したことにより引き起こされた。これらの新しい実験結果は、水素ガス中に含まれる ppm レベルの酸素量を制御することができる独自のシステムが開発されたことにより実現された。これらの予想を超える結果は、繰り返しの表面酸化物層の摩耗と再形成を原因とするものであり、それはフレット摩耗とそれに関連した試験片表面の亀裂発生に導く応力状態を引き起こした。ppm レベルの酸素不純物が市場の水素ガスに含まれることは予想されるため、微量の酸素濃度がフレット疲労強度に対する水素の悪影響を更に強めるという知見には技術的に意義がある。

18) 水素ステーションの配置 (エネルギーアナリシス研究部門)

*38. K. Itaoka, K. Hirose, S. Kimura, Y. Kikuchi, T. Higuma, K. Honda, K. Simokawa (2017) Basic research on development of hydrogen supply facilities (research on deployment of new hydrogen stations), submitted to Ministry of Economy, Trade and Industry Japan through the Next Generation Vehicle Promotion Center in February 2017, 73 pp., contract file number 28-0366.

本稿では、数学モデルと高い計算技術を利用して新規水素ステーションの最適な地理的配置を分析し、既存/計画中の水素ステーションの位置と分析により提案された最適位置との違いを確認した。本研究は経済産業省(METI)から支援を受け、研究結果はMETIに直接報告されると共にエネルギー関連企業や自動車メーカーを含む水素ステーション関連団体にも共有され、日本の水素ステーション整備政策にインパクトを与えるため、本稿は、国家政策への影響力を有するI²CNERの研究、という意味でも重要である。

19) 社会システムの応用数学分析 (村田教授による新たなイニシアティブ)

39. M. Murakami, R. Funaki, T. Matsumura, J. Murata (2016) Modeling of consumer behaviors and incentive design in demand response programs, *Symposium on Systems and Information*, Otsu City, Shiga Prefecture, Japan, Dec. 6-8, 2016, Technical Division of Systems and Information, Society of Instrument and Control Engineers, Paper No. GS01-13.

消費者の電力消費行動を変えるために用いられるインセンティブ・ベースデマンドレスポンスプログラムのためのインセンティブ設計法が開発された。また、ある種の消費者モデルが提案されている。これは、消費者行動の動的変化を初めて考慮に入れたモデルである。デマンドレスポンスプログラムに関する、主に実験的なデータと観察に頼る他の研究と異なり、本研究は数学的手法(逆最適化)を理論的証明を付して利用し、適切なインセンティブ・スキームを決定する。本研究は実験的な研究と矛盾するものではなく、むしろそれらに理論的根拠を与えるものである。

20) 地質材料の応用数学分析 (白井教授及び辻主任研究者の新たなイニシアティブ)

*40. T. Tsuji, F. Jiang, A. Suzuki, T. Shirai (2017) Mathematical modeling of rock pore geometry and mineralization: Applications of persistent homology and random walk, *In: Agriculture as a metaphor for creativity in all human endeavors, Proceedings of Forum Math-for-Industry 2016*, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, Eds. B. Anderssen, Y. Fukumoto, M. Simpson, I. Turner, Springer 2017.

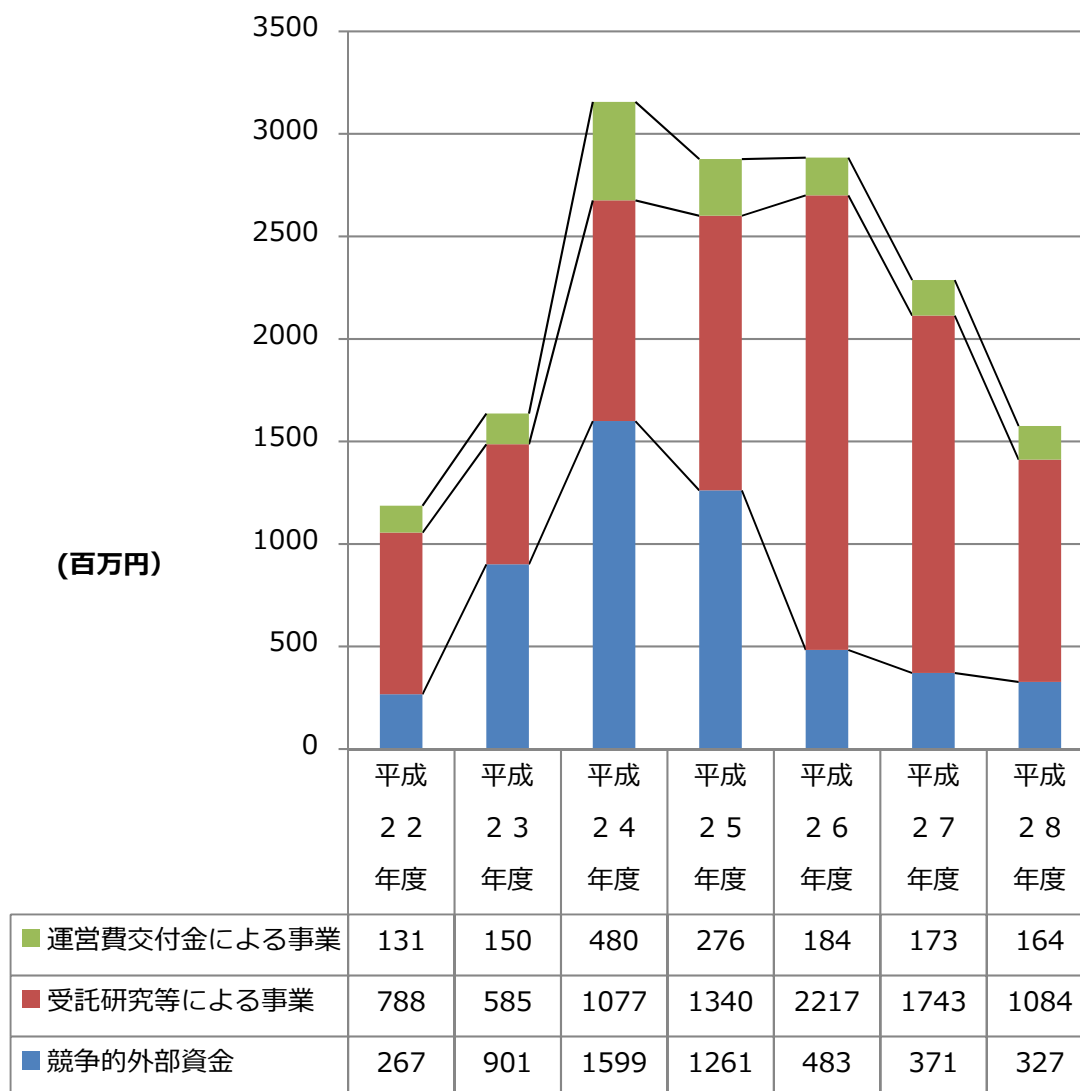
天然岩石の不均質な間隙形状とその時間変化(鉱化作用)をモデル化するために数学的な手法を導入した。天然岩の水理特性を評価するために、我々はパーシステント・ホモロジーを用いて、岩石間隙形状を特徴化することに成功した。また、鉱物化プロセスをモデル化するために、我々はランダムウォークを用い、鉱物化作用による水理特性の時間的変化を計算した。ランダムウォークの鉱化作用パラメータは、柔軟に変化させることが可能で、計算時間が短くて済む。つまり長期の鉱物反応のようなプロセスをシミュレーションするには、このアプローチは実用的であると考えられる。

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料2-2 研究プロジェクト費獲得実績の推移

※研究プロジェクト費獲得実績の推移を棒グラフで表示すること。また特筆すべき研究資金について記載すること。

研究プロジェクト費獲得実績の推移



[特筆すべき研究資金]

- 日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」平成22年度：
648,397,800 円（獲得者：安達 千波矢）
- 日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」平成23年度：
654,296,000 円（獲得者：安達 千波矢）
- 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」平成23年度：
265,454,000 円（獲得者：松岡 三郎）

- 日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」平成24年度：
761,772,570 円（獲得者：安達 千波矢）
 - 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」平成24年度：
381,004,000 円（獲得者：松岡 三郎）
 - 経済産業省（METI）「技術の橋渡し拠点」整備事業 平成24年度：
717,659,000 円（九州大学予算 239,220,000 円含む）（獲得者：佐々木 一成）
 - 日本学術振興会（JSPS）「最先端研究開発支援プログラム（FIRST）」平成25年度：
112,273,000 円（獲得者：安達 千波矢）
 - 文部科学省（MEXT）「国際科学イノベーション拠点整備事業」平成25年度：
704,958,503 円（獲得者：安達 千波矢）
 - 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」平成25年度：
382,612,000 円（獲得者：杉村 丈一）
 - 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」平成26年度：
828,346,000 円（獲得者：杉村 丈一）
 - 科学技術振興機構（JST）「創造科学技術推進事業（ERATO）」平成26年度：
253,800,000 円（獲得者：安達 千波矢）
 - 日本学術振興会（JSPS）科研費（特別推進研究）平成26年度：
174,800,000 円（獲得者：小江 誠司）
 - 文部科学省（MEXT）センターオブイノベーション（COI）プログラム 平成26年度：
126,960,000 円（獲得者：佐々木 一成）
 - 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 平成24年度～平成27年度：
94,959,000 円（獲得者：山内 美穂）
 - 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」平成27年度：
393,537,000 円（獲得者：杉村 丈一）
 - 科学技術振興機構（JST）「創造科学技術推進事業（ERATO）」平成27年度：
228,996,000 円（獲得者：安達 千波矢）
 - 日本学術振興会（JSPS）科研費（特別推進研究）平成27年度：
117,300,000 円（獲得者：小江 誠司）
 - 文部科学省（MEXT）「産学官地域連携による水素社会実証研究」平成27年度：
108,542,000 円（獲得者：佐々木 一成）
 - 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 平成27年度～平成28年度：
29,650,000 円（獲得者：山内 美穂）
- *申請額（採択）：180,000,000 円（平成27年度～平成30年度分）

- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
「高効率低GWP冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発」平成28年度：
44,936,560 円 （獲得者：小山 繁）
- 科学技術振興機構（JST）「創造科学技術推進事業（ERATO）」平成28年度：
214,373,700 円 （獲得者：安達 千波矢）
- 文部科学省（MEXT）「産学官地域連携による水素社会実証研究」平成28年度：
107,131,000 円 （獲得者：佐々木 一成）

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 2 - 3 主な受賞・招待講演・基調講演等一覧 (2ページ以内)

1. 主要な賞の受賞

※既に受賞したあるいは内定している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、賞の名前、受賞年、受賞者名を記すこと。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) Reiner Kirchheim、Foreign affiliate of the United States National Academy of Engineering、2017年
- 2) 石原 達己、John A Kilner、Helena Téllez-Lozano、Aleksandar T. Staykov、大和エイドリアン賞、2016年
- 3) 高原 淳、フェロー、王立化学会、2016年
- 4) John A. Kilner、Imperial College Medal、2016年
- 5) 中嶋 直敏、科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞」、2016年
- 6) Helena Téllez-Lozano、第9回 資生堂 女性研究者サイエンスグラント、2016年
- 7) Harry L. Tuller、Distinguished Life Membership in American Ceramic Society、2016年
- 8) 辻 健、科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」、2016年
- 9) 菊池 康紀、研究奨励賞、化学工学会、2016年
- 10) 堀田 善治、紫綬褒章、2015年
- 11) 藤川 茂紀、九州先端科学技術研究開発表彰、九州先端科学技術研究所、2015年
- 12) 國武 豊喜、京都賞、2015年
- 13) 辻 健、小澤儀明賞、2015年
- 14) Ian Robertson、2014 Edward DeMille Campbell Memorial Lecture ASM International、2015年
- 15) 國武 豊喜、文化勲章、2014年
- 16) Hellena Téllez-Lozano、John Druce、Ju Y.-W.、石原 達己、John Kilner、Christian Friedrich Schonbein Contribution to Science Medal、2014年
- 17) Brian Somerday、Hydrogen and Fuel Cells Program Achievement Award、米国エネルギー省、2014年
- 18) Harry L. Tuller、フェロー、電気化学会、2014年
- 19) Robert O. Ritchie、David Turnbull Award、Materials Research Society、2013年
- 20) 高原 淳、日本レオロジー学会賞、2013年
- 21) 小江 誠司、科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞」、2013年
- 22) 堀田 善治、日本金属学会学術功労賞、2013年
- 23) 安達 千波矢、有機EL討論会業績賞、2013年
- 24) 小江 誠司、日本化学会第30回学術賞、2013年
- 25) Harry L. Tuller、Helmholtz Intl. Fellow Award、Helmholtz Association of German Research Centers、2013年
- 26) 石原 達己、John A. Kilner、Harry L. Tuller、Somiya Award、2012年
- 27) Ian Robertson、Petros Sofronis、Hydrogen and Fuel Cells Program Research and Development Award、米国エネルギー省、2011年
- 28) 堀田 善治、科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞」、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20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

- 1) 石原 達己、"New Technology for Carbon Neutral Energy," 8th International Conference on Materials Science

- and Technology MSAT-8, Bangkok, Thailand, Dec. 15, 2014. (総会講演)
- 2) 安達 千波矢, "Current Status of High Efficiency OLEDs Based on Delayed Fluorescence," ICSM2016, Guang Zhou, China, Jul. 1, 2016 (招待講演)
 - 3) 久保田 祐信, "Fretting Fatigue in Hydrogen and the Effect of Impurity Addition to Hydrogen on Fretting Fatigue Properties," 3rd World Congress on Petrochemistry and Chemical Engineering, Atlanta, USA, Dec. 2 2015. (総会講演)
 - 4) John A. Kilner, "Surface and Near-Surface Characterisation of Electroceramic Materials for Solid Oxide Electrode Surfaces: from bulk ceramics to real devices," 14th International Conference European Ceramic Society, Toledo, Spain, Jun. 24, 2015. (基調講演)
 - 5) 中嶋 直敏, "Design and Creation of Advanced Nanomaterials Based on Soluble Carbon Nanotubes," 2014 MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, CA, USA, Apr. 23, 2014. (招待講演)
 - 6) Harry L. Tuller, "Electro-Chemo-Mechanics – Applications to Solid State Ionic Materials," The 19th International Conference of Solid State Ionics, Kyoto, Japan, Jun. 5, 2013. (招待講演)
 - 7) Xing Zhang, "Thermophysical characterization methods for individual nanoscale materials," International Heat Transfer Symposium 2016, Nottingham, UK, Jun. 26-29, 2016. (総会講演)
 - 8) 高田 保之, "Wettability Effects in Boiling Heat Transfer," The 8th International Conference on Multiphase Flow (ICMF2013), Jeju, Korea, May 29, 2013. (総会講演)
 - 9) 堀田 善治, et al., "Severe Plastic Deformation under High Pressure: Scaling-up of high-pressure sliding for grain refinement and enhanced mechanical properties," Engineering Mechanics Institute Conference (2016EMI-IC), Metz, France, Oct. 25-27, 2016. (基調講演)
 - 10) 秋葉 悦男, Kyushu University Hydrogen Project: Challenges to realize a hydrogen society," The Road to a Hydrogen Society: Prospects for Developing Zero-Emission Fuel and Outlook for U.S.-Japan Cooperation, Washington D.C., USA, Apr. 21, 2016. (総会講演)
 - 11) 松本 崇弘, "Hydrogenase and its Mimics for Fuel Cell Electrodes," 42nd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC-42), Brest, France, Jul. 5, 2016. (招待講演)
 - 12) 山内 美穂, "Catalyst Development For the Realization of Carbon-Neutral Energy Cycles," The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem2015), Honolulu, HI, USA, Dec. 16, 2015, (招待講演)
 - 13) 小江 誠司, "A significant contribution to the fundamentals and applications of chemistry: Catalytic electron and hydride transfer from H₂ by functional hydrogenase mimic," The 30th Chemical Society of Japan (CSJ) Award, Japan, Mar. 24, 2013. (招待講演)
 - 14) 藤川 茂紀, "Molecular separation by a free-standing and nanometer-thick membrane," The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem2015), Honolulu, HI, USA, Dec. 17, 2015. (招待講演)
 - 15) 辻 健, "Digital rock physics: Insight into fluid flow and elastic deformation of porous media," GeoMod2014, Potsdam, Germany, Sep. 3, 2014. (基調講演)
 - 16) Kenneth T. Christensen, "Quantitative Studies of Environmental Flows at the Micro- and Macro-Scales," 16th International Symposium on Flow Visualization, Okinawa, Japan, Jun. 27, 2014. (基調講演)
 - 17) 板岡 健之, "Focus groups and interviews with stakeholders of the Tomakomai CCS project before the decision on the project site, International Energy Agency (IEA) Greenhouse Gas R&D Programme," The 5th Social Research Network Meeting, Cambridge, UK, Jul. 6, 2015. (招待講演)
 - 18) 東 之弘, "Measurements of Vapor Pressures, Saturated Densities, and Critical Parameters for R1224yd(Z)," 11th Asian Thermophysical Properties Conference, Yokohama, Japan, Oct. 4, 2016. (招待講演)
 - 19) Petros Sofronis (2012) Recent Advances in Experiments, Modeling and Prognosis of Hydrogen-Induced Fracture, Gordon Research Conference on Corrosion-Aqueous, Colby-Sawer College, New London, NH, July 8-13, 2012 (招待講演)
 - 20) 谷口 育雄, "Effort of I2CNER and the CO₂ capture by membranes," New Membrane Technology Symposium 2016, Tokyo, Japan, Oct. 28, 2016. (招待講演)

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料2-4 平成22～28年度主な研究成果等に係るメディア報道一覧

※プレスリリース・取材などの結果、平成22～28年度に報道された記事（特に海外メディア）等について主なものを精選すること

1) 国内

番号	日時	媒体名	内容概略
		(新聞、雑誌、テレビ等)	
1	平成23年5月7日	ウェブサイト	日本経済新聞電子版(ウェブサイト) カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所副所長 村上敬宜教授へのインタビュー記事。インタビューでは発電所の集中がもたらすリスクについて言及があり、水素燃料電池の普及による電力源の分散が提案された。
2	平成23年6月5日	新聞	朝日新聞 「「水素」社会へ才能集結 世界から若手 成果出す」(インタビュー記事) (Petros Sofronis 所長)
3	平成23年9月	新聞、ウェブサイト	読売新聞 (平成23年9月13日) 共同通信 (ウェブサイト) (平成23年9月13日) 日刊工業新聞 (平成23年9月14日) 日経産業新聞 (平成23年9月14日) 朝日新聞電子版 (ウェブサイト) (平成23年9月14日) 「ニッケル触媒 燃料電池 プラチナ使わずコスト減」 (物質変換研究部門 小江誠司)
4	平成23年12月21日	テレビ	NHK福岡 次世代燃料電池に関する特集 (燃料電池研究部門 佐々木一成)
5	平成24年3月11日	新聞	日本経済新聞 固体酸化物形燃料電池(SOFC)に関する新聞記事 (水素製造研究部門 石原達己)
6	平成24年5月24日	テレビ	NHK "Today's Close-up" 最先端廃熱利用技術に関する特集 (水素製造研究部門 石原達己)
7	平成24年10月-11月	新聞	日経産業新聞 (平成24年10月24日) 日刊工業新聞 (平成24年10月25日) 化学工業日報 (平成24年10月25日) 電気新聞 (平成24年10月25日) 科学新聞 (平成24年11月2日) プラセオジム・ニッケル酸化物の高酸素透過率の原因に関する新聞記事 (水素製造研究部門 石原達己)
8	平成24年12月12日	新聞	日刊工業新聞 「デュアルカーボン電池 大容量化に成功」 (水素製造研究部門 石原達己)

9	平成25年2月	新聞	読売新聞 (平成25年2月8日) 朝日新聞 (平成25年2月8日) 毎日新聞 (平成25年2月8日) 日本経済新聞 (平成25年2月8日) 西日本新聞 (平成25年2月8日) サイエンスニュース(平成25年2月15日) 日本経済新聞 (平成25年2月21日) 水素から電子を取り出す新触媒開発に関する新聞記事 (物質変換研究部門 小江誠司)
10	平成25年2月-3月	新聞	日本経済新聞 (平成25年2月22日) 日経産業新聞 (平成25年2月26日) サイエンスニュース (平成25年3月15日) ポリベンゾイミダゾール被覆カーボンナノチューブを使った燃料電池電解触媒の開発に関する新聞記事 (燃料電池研究部門 中嶋直敏)
11	平成25年2月-3月	新聞、ウェブサイト	日本経済新聞電子版 (ウェブサイト) (平成25年2月26日) Yahoo Japan! ニュース (ウェブサイト) (平成25年2月26日) Optronics ウェブジャーナル (ウェブサイト) (平成25年2月26日) 日本経済新聞 (平成25年2月26日) Sustainablejapan.net (ウェブサイト) (平成25年2月28日) Nanotech Japan (ウェブサイト) (平成25年3月11日) 読売新聞 (平成25年3月16日) 水素貯蔵合金 (FeTi) の新たな製造技術開発に関する新聞記事 (水素貯蔵研究部門 堀田善治)
12	平成25年5月4日	新聞、ウェブサイト	日本経済新聞 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ゾイミダゾールを基礎とした高耐久性固体高分子型燃料電池開発に関する新聞記事 (燃料電池研究部門 中嶋直敏、藤ヶ谷剛彦)
13	平成25年5月27日	雑誌	日経ビジネス 「有機EL新材料」 (水素製造研究部門 安達千波矢)
14	平成25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」 (水素製造研究部門 石原達己)
15	平成26年4月 平成26年9月	新聞	日本経済新聞 (平成26年4月11日) 西日本新聞 (平成26年9月6日) 日刊工業新聞 (平成26年9月8日) 日経産業新聞 (平成26年9月9日) 「燃料電池の触媒向け白金使用量を10分の1にする技術開発」 (燃料電池研究部門 中嶋直敏)
16	平成26年5月-平成26年6月	新聞、ウェブサイト	日経テクノロジーオンライン (ウェブサイト) (平成26年5月30日) 西日本新聞 (平成26年5月31日) 日刊工業新聞 (平成26年6月2日) 「有機EL第一世代発光効率100%に」 (水素製造研究部門 安達千波矢)

17	平成26年6月4日-平成26年6月5日	テレビ、新聞	NHK 読売新聞 毎日新聞 日経新聞 「燃料電池触媒に代替新酵素」「発電力白金の1.8倍」 (触媒的物質変換研究部門 小江誠司)
18	平成26年9月29日	新聞	電気新聞 日刊工業新聞 日本経済新聞 「世界初の実海域における海底下CO ₂ 漏出実験を実施」 (CO ₂ 貯留研究部門 下島公紀)
19	平成26年10月	新聞	財経新聞 (平成26年10月6日) 日経産業新聞 (平成26年10月8日) 日刊工業新聞 (平成26年10月10日) 科学新聞 (平成26年10月10日) 「半導体性カーボンナノチューブの高濃度分離を可能に」 「CNT大量精製法 半導体CNT 可溶化剤で分離」 (燃料電池研究部門 中嶋直敏)
20	平成27年4月7日	新聞	日本経済新聞 「水素は今後どう使われる？エネルギーを貯蔵・輸送 電気を補い、再エネ促進」(インタビュー記事) (水素貯蔵研究部門 秋葉悦男)
21	平成27年4月20日	新聞	日本経済新聞 「水素社会への展望と課題 官民でインフラ構築必要」 (電気化学エネルギー変換研究部門 佐々木一成)
22	平成27年6月、平成27年11月	新聞	朝日新聞 (平成27年6月20日) 西日本新聞 (平成27年6月23日) 読売新聞 (平成27年11月23日) 京都賞 (CO ₂ 分離・転換研究部門 國武豊喜)
23	平成27年7月2日	新聞	毎日新聞 「未踏の世界へ 細胞膜構造 人工的に合成」 (CO ₂ 分離・転換研究部門 國武豊喜)
24	平成27年7月29日	新聞	日本経済新聞 「燃料電池 発電効率3割向上」 (電気化学エネルギー変換研究部門 佐々木一成)
25	平成27年10月1日	新聞、ウェブサイト	産経新聞 日本経済新聞 サイエンスポータル (ウェブサイト) エキサイトニュース (ウェブサイト) zakzak (ウェブサイト) 産経ニュース (ウェブサイト) 「紀伊半島沖に未知の地質帯 南海トラフ地震に影響か」 (CO ₂ 貯留研究部門 辻健)
26	平成27年10月20日	新聞	日経産業新聞 「有機EL 安価で高輝度」 (光エネルギー変換分子デバイス研究部門 安達 千波矢)

27	平成27年11月2日	新聞	西日本新聞 朝日新聞 読売新聞 日本経済新聞 紫綬褒賞 (水素貯蔵研究部門 堀田善治)
28	平成27年11月4日	新聞	日経産業新聞 朝日新聞 「燃料電池両極に酵素」 (触媒的物質変換研究部門 小江誠司)
29	平成27年11月9日	新聞	日本経済新聞 「地中に貯留したCO ₂ を連続的にモニタリングする手法を開発」 (CO ₂ 貯留研究部門 辻健、池田達紀)
30	平成27年11月26日	新聞	日刊工業新聞 「固体高分子形燃料電池の耐久性を従来触媒の120倍超に」 (電気化学エネルギー変換研究部門 中嶋直敏)
31	平成28年4月	新聞	日刊産業新聞 (平成28年4月13日)、 日刊工業新聞 (平成28年4月28日) 「CO ₂ 地中貯留を効率化 適地選定、岩石を分析」 (CO ₂ 貯留研究部門 辻健)
32	平成28年4月15日	新聞	日本経済新聞 「熊本地震、余震3番目の多さ、震源の浅さが影響か」 (多発する余震に関する辻准教授の見解が紹介された) (CO ₂ 貯留研究部門 辻健)
33	平成28年6月6日	新聞	日本経済新聞 「水素生成効率数十倍に 九大、細菌と光触媒合わせ」 (光エネルギー変換分子デバイス研究部門 石原達己、本田裕樹、他)
34	平成28年7月8日	新聞	日刊工業新聞 「先端研究で活躍、国内12人選出 (リサーチフロントアワード受賞)」 (光エネルギー変換分子デバイス研究部門 安達千波矢)
35	平成28年7月11日	新聞	日経産業新聞 「波長変えられる蛍光材料 九大 カーボンナノチューブ応用」 (電気化学エネルギー変換研究部門 中嶋直敏)
36	平成28年9月15日	新聞	日本経済新聞 「長野鍛工の金属加工新技術 国の研究委託事業に」 (堀田教授を中心とした研究チームと長野鍛工が共同開発した技術の研究がNEDOの「戦略的基盤技術高度化支援事業」に採択された) (水素貯蔵研究部門 堀田善治)
37	平成28年10月2日	新聞	日本経済新聞 「進化する生物模倣(2) 極薄膜でCO ₂ キャッチ」 (CO ₂ 分離・転換研究部門 藤川茂紀)
38	平成28年11月20日	新聞	読売新聞 「有機EL 次世代の光」 (光エネルギー変換分子デバイス研究部門 安達千波矢)

39	平成29年2月21日	新聞	読売新聞、他 「熊本地震 内牧の源泉「枯れていない」 地層ずれ井戸破損」 (辻准教授を中心とした研究チームが温泉地域の浅い地層が数平方キロの範囲で横滑りしていたことを発表した) (CO ₂ 貯留研究部門 辻健)
----	------------	----	---

2) 海外

番号	日時	媒体名	内容概略
		(新聞、雑誌、テレビ等)	
1	平成23年5月11日	ウェブサイト	米国エネルギー省 ウェブサイト 「P. Sofronis所長－米国エネルギー省(DOE) 水素燃料電池プログラム平成23年度功労賞(チーム賞Delivery部門)を受賞」 (Petros Sofronis所長)
2	平成23年5月12日	ウェブサイト	サンディア国立研究所 ウェブサイト 「Japanese collaboration promises to put Sandia hydrogen program on global track」 (水素適合材料研究部門 Brian Somerday)
3	平成23年11月8日	ウェブサイト	MRS Bulletin Website 「Japan funds new international energy center, I ² CNER, led by the University of Illinois」
4	平成24年6月-平成24年8月	ウェブサイト	The Guardian (平成24年6月29日) Fish Update (平成24年6月29日) Planet Earth Online (平成24年6月29日) This is Cornwall (平成24年6月30日) International Business Time (平成24年7月1日) Responding to Climate Change (平成24年8月14日) 世界初のCCSIにおけるCO2漏出フィールド実験に関する記事 (CO2貯留研究部門 下島公紀)
5	平成25年1月17日	ウェブサイト	CHEMICAL & ENGINEERING NEWS 「Polymer Gets Sticky When Hit with Light」 (水素製造研究部門 高原淳)
6	平成25年8月29日	ウェブサイト	Helmholtz Zentrum Berlin マサチューセッツ工科大学Harry Tuller教授へのインタビュー記事 (燃料電池研究部門 Harry Tuller)
7	平成25年11月21日	ウェブサイト	Helmholtz-Zentrum Geesthacht ECOSTOREプロジェクトに関する記事 (水素貯蔵研究部門 秋葉悦男)
8	平成27年2月	新聞	Economist、 Seattle Times、 Washington Times 「Wendy Schmidt Ocean Health XPRIZE: selected as Team SINDEN Japan Team Leader」 (CO ₂ 貯留研究部門 下島公紀)
9	平成27年12月11日	テレビ	国営バングラデシュ通信 「日本の研究チームがバングラデシュ大学・副総長と会談」 (熱科学研究部門 Bidyut Baran Saha)
10	平成28年7月8日	電子版新聞	Europa Press La Vanguardia El Confidencial 第9回 資生堂 女性研究者サイエンスグラント 受賞 (電気化学エネルギー変換研究部門 Helena Téllez-Lozano)

11	平成28年7月8日	ラジオ	Cadena Sur スペインのラジオ局によるHelena Téllez-Lozano助教へのインタビュー (電気化学エネルギー変換研究部門 Helena Téllez-Lozano)
12	平成28年7月13日	新聞	Diario Cordoba 第9回 資生堂 女性研究者サイエンスグラント 受賞 (電気化学エネルギー変換研究部門 Helena Téllez-Lozano)
13	平成28年8月7日	ラジオ	COPE スペインのラジオ局によるHelena Téllez-Lozano助教へのインタビュー (電気化学エネルギー変換研究部門 Helena Téllez-Lozano)

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料3 主要な融合研究論文の一覧

※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) S. Ida, K. Kearney, T. Futagami, H. Hagiwara, T. Sakai, M. Watanabe, A. Rockett, T. Ishihara (2017) Photoelectrochemical H₂ evolution using TiO₂-coated CaFe₂O₄ without an external applied bias under visible light irradiation at 470 nm based on device modeling, *Sustainable Energy & Fuels*, 1, 280-287.

CaFe₂O₄ (CFO) は、光電気化学 (PEC) 水分解のための将来性あるフォトカソードであるが、単独では不安定である。材料をTiO₂で覆うことで安定性は改善されるが、動作するにはより高い電圧が必要と判明した。数値デバイスモデルと第一原理密度汎関数法に基づく理論的予測は、電荷輸送メカニズムを明らかにし、短い波長の光を除去することで問題が解決するとの予測を示した。この予測に基づく実験は、性能を劇的に向上させた。我々の共同研究は、これまで報告された酸化物光電陰極の中で最も高い開始電圧を達成し、外部からのバイアスなしで水分解するPEC装置の製造に繋がった。

分野：理論電気化学、実験材料科学

2) K. Takijiri, K. Morita, T. Nakazono, K. Sakai, H. Ozawa (2017) Highly Stable Chemisorption of Dyes with Pyridyl Anchors over TiO₂: Application in Dye-Sensitized Photoelectrochemical Water Reduction in Aqueous Media, *Chemical Communications*, 53(21), 3042-3045.

全ての有機光学デバイスにとって、効率的に電荷輸送する強い結合を有する無機基板と結合した安定的で高性能な色素分子は重要である。多くの光電気化学デバイスで使われるように、有機リガンドを二酸化チタン (TiO₂) に結合させるときに、これは特に重要である。この研究では、新しい「ピリジル・アンカー」スキームが設計され、そのスキームは、界面全体に高い電子輸送率を維持したまま、有機色素分子と無機TiO₂との間に極めて強い結合を生むということが示された。この結果は、これまでのアプローチより優れており、デバイス性能を大幅に向上させる可能性がある。

分野：電気化学、材料科学、有機/無機化学

3) H. Emami, K. Edalati, A. Staykov, T. Hongo, H. Iwaoka, Z. Horita, E. Akiba (2016) Solid-state reactions and hydrogen storage in magnesium mixed with various elements by high-pressure torsion: experiments and first-principles calculations, *RCS Advances*, 6(14), 11665-11674.

本稿の優れた点は2つある。第一に、計算モデリングと材料合成を融合することによって新たな素材開発が行われたことである。モデリングが新素材の開発に極めて効果的であることが示された。第二に、燃料電池車搭載の水素貯蔵システムに適用できる軽量なMg-X合金の開発に高圧ねじり加工 (HPT) 技術が活用できたことである。特にHPT法によれば、試料サイズは小さいが迅速に開発できることが特徴となる。

分野：理論化学、実験材料科学・加工

4) K. Edalati, H. Emami, A. Staykov, D.J. Smith, E. Akiba, Z. Horita (2015) Formation of metastable phases in magnesium-titanium system by high-pressure torsion and their hydrogen storage performance, *Acta Materialia*, 99, 150-156.

MgとTiはお互いに非混和性の元素であるため、金属間化合物相を形成することはないが、本研究では、高圧ねじり加工(HPT)を用いて体心立方構造を有する準安定MgTiの生成に成功した。またHPT法が新相の合成に効果的であることを示し、素材研究の新しい研究分野を開くことができた。計算モデリングは、新素材開発において、化学組成の選定や実験結果の解釈に極めて重要で、本研究成果は計算モデリングを導入してHPT加工技術と融合することで達成することができたものである。

分野：理論化学、素材加工、冶金学

5) T. Matsumoto, S. Eguchi, H. Nakai, T. Hibino, K.S. Yoon, S. Ogo (2014) [NiFe]Hydrogenase from *Citrobacter* sp. S-77 Surpasses Platinum as an Electrode for H₂ Oxidation Reaction, *Angewandte Chemie International Edition*, 53(34), 8895–8898.

¹²CNERの研究により探索された[NiFe]ヒドロゲナーゼをアノード、白金をカソードとする燃料電池は、白金を両極に用いる燃料電池よりも高い電力密度を示した。この酵素電極は、空気中でも安定であり、白金とは異なり一酸化炭素による被毒後も100%復元が可能である。本研究結果は、2013年にサイエンス誌で発表された生体模倣[NiFe]ヒドロゲナーゼの研究と共に、O₂耐性ヒドロゲナーゼを用いた初のバイオ燃料電池のベンチマークとなる。このことは、水素活性化に関する短期マイルストーンの達成を意味している。

分野：化学、生体模倣化学、燃料電池工学

6) N.D. Muhd Noor, K. Nishikawa, H. Nishihara, K.S. Yoon, S. Ogo, Y. Higuchi (2016) Improved Purification, Crystallization and Crystallographic Study of Hyd-2-type [NiFe]-hydrogenase from *Citrobacter* sp. S-77, *Acta Crystallographica, Section F (Structural Biology Communications)*, F72(1), 52–58.

これまでの生化学的研究と本研究の結果により、我々はO₂耐性を有する[NiFe]ヒドロゲナーゼの結晶構造を探る最初の中期研究を終えた。この分野横断的な研究は、新たなO₂耐性[NiFe]ヒドロゲナーゼと生化学的特徴を持つ新たなバクテリアの単離と、タンパク質構造解析に基づく。これは、¹²CNERによって精製されたタイプ2のO₂耐性[NiFe]ヒドロゲナーゼの初の結晶学的研究である。

分野：生物学、生体模倣化学、結晶学

7) S. Ma, M. Sadakiyo, M. Heima, R. Luo, R.T. Haasch, J.I. Gold, M. Yamauchi, P.J.A. Kenis (2017) Electroreduction of Carbon Dioxide to Hydrocarbons Using Bimetallic Cu-Pd Catalysts with Different Mixing Patterns, *Journal of the American Chemical Society*, 139, 47-50 (2017).

九州大学とCO₂分離変換研究部門を構成するイリノイ大学の共同研究チームは、C₂化合物を生成する高効率なCO₂電解還元プロセスの開発に成功した。また、新たに設計された相分離タイプのCuPdナノ合金触媒は、CO₂の電気化学還元において、C₂化学物質に対し最も高い選択性を示すことが分かった（最高63%のファラデー効率は、報告された研究の中で最高の数値である）。更に、我々は、ナノ合金触媒に関する選択性を左右する可能性のある要因を提示した。

分野：電気化学、材料科学、有機化学

8) S. Ma, M. Sadakiyo, R. Luo, M. Heima, M. Yamauchi, P.J.A. Kenis (2016) One-step Electrosynthesis of Ethylene and Ethanol from CO₂ in an Alkaline Electrolyzer, *Journal of Power Sources*, 301, 219-228.

我々は、粗い表面を有するCuナノ触媒を調合し、Kenis教授が作製したアルカリ電解槽を使ってCO₂電解還元を行った。Cu触媒は、 $\sim 200 \text{ mA cm}^{-2}$ の電流密度状況下でCO₂をエチレンとエタノールへ電解還元する際に46%のファラデー効率を示し、先行研究と比較しても非常に低い過電圧で（わずか0.7V未満）10倍以上のパフォーマンスの向上を成し遂げた。

分野：電気化学、材料科学

9) B.B. Saha, I.I. El-Sharkawy, T. Miyazaki, S. Koyama, S.K. Henninger, A. Herbst, C. Janiak (2015) Ethanol Adsorption onto Metal Organic Framework: Theory and Experiments, *Energy*, 79, 363-370.

この分野横断的な研究論文は、エタノールの平衡および過渡吸着特性を対象とした新開発のMetal Organic Framework(MOF)の吸着特性について報告している。吸着剤と吸着質ペアの吸着動力学はモデル化され、活性炭と比較してMOFが高い活性化エネルギーを有することや、吸着の時定数が強く温度に依存すること等の重要な発見が報告された。

分野：材料科学、表面科学、理論的な熱力学と動力学

10) S. Chavan, H. Cha, D. Orejon, K. Nawaz, N. Singla, Y.F. Yeung, D. Park, D.H. Kang, Y. Chang, Y. Takata, N. Miljkovic (2016) Heat Transfer through a Condensate Droplet on Hydrophobic and Nanostructured Superhydrophobic Surfaces, *Langmuir*, 32(31), 7774-7787.

非濡れ表面における蒸気凝縮の基本的なメカニズムを理解することは、エネルギーと水の幅広い応用研究にとって重要である。本稿は、二次元軸対称の数値シミュレーションを利用し非濡れ表面上

の個々の液滴の伝熱について調査することで、液滴成長モデリングに関する伝統的な障害を克服している。液体と蒸気との界面に適切な対流境界条件を導入することで、三相界線における伝熱が支配的であることが判明した。そこでは、局所的な熱流束が、液滴頂点でのそれより最高で4桁高くなることがある。液滴の分布理論が考慮され、従来のモデリングによるアプローチでは、液滴および跳躍液滴の凝縮に関する総括熱伝達が300%も過小評価するということが示された。シミュレーション結果を確認するために、凝縮液滴の成長に関する実験を光学・環境制御型SEMを使って行い、シミュレーションと実験結果との確かな一致を確認した。本稿は、相変化伝熱の基本的理解と忠実な高いモデリングのためには、局所的な伝熱効果の解析が重要であるということを示している。

分野：機械工学、熱科学、表面科学

11) N.H. Perry, S.R. Bishop, H.L. Tuller (2014) Tailoring Chemical Expansion by Controlling Charge Localization: In Situ X-ray Diffraction and Dilatometric Study of (La,Sr)(Ga,Ni)O_{3-δ} Perovskite, *Journal of Materials Chemistry A*, 2(44), 18906-18916.

本稿は、我々の以前の計算予測に対する初の実験的実証の報告であり、多原子価陽イオン上の電荷を非局在化することが、優れたイオン/電子伝導率と表面反応速度を維持しながら化学膨張係数を下げ、デバイスの耐久性を向上させることに効果的であるということを示している。また、その場の構造解析を通じて、化学膨張における結晶構造の対称性の変化が重要な役割を果たす明らかにされた。以上の結果は、ペロブスカイトの化学膨張を制御する方法を理解・特定するために、原子論的な予測と単位セル及び巨視レベルの測定を組み合わせることにより得られた。ペロブスカイト型構造は、固体酸化電池電極と電解質に最も広く使用されているものの1つである。

分野：理論化学、結晶学、電気化学

12) S.R. Bishop, D. Marrocchelli, C. Chatzichristodoulou, N.H. Perry, M.B. Mogensen, H.L. Tuller, E.D. Wachsman (2014) Chemical Expansion: Implications for Electrochemical Energy Storage and Conversion Devices, *Annual Review of Materials Research*, 44, 205-239.

I²CNER研究者によるこの招待レビューは、国際的な実験・計算チームによる、化学膨張に関する初の包括的レビューである。化学膨張の定義、様々な分類、その原因、複数の応用及び材料区分にわたる例、測定・シミュレーションにより得られた係数、電気化学デバイス耐久性の推測が含まれる。本稿は、ケモメカニクスの新分野を定義する中心的な参考文献となり、すでに多数引用されている。

分野：理論化学、結晶学、電気化学、ケモメカニクス

13) D. Marrocchelli, N.H. Perry, S.R. Bishop (2015) Understanding Chemical Expansion in Perovskite-Structured Oxides, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(15), 10028-10039.

本稿は、I²CNERとMITの若手実験・計算研究者による共同研究により実現し、固体酸化電池で広く使われているペロブスカイト構造における化学膨張の原因について初めて詳述している。本稿は、ペロブスカイトの化学膨張にインパクトを与える要素を特定し、計算シミュレーションを通じて、化学膨張プロセスに関する原子レベルでの理解を与えている。また、本稿は、ペロブスカイトの擬立方晶の格子定数を説明するために、これまでのいずれのモデルよりも正確で物理的にも理に適う新たな経験モデルを導入し、様々なペロブスカイト組成における酸素空孔の効果的なサイズを決定している。興味深いことに、本研究結果によれば、ペロブスカイトの酸素空孔が酸化物イオンと比べてそれほど小さくないため、蛍石構造とは異なり、陰イオン空孔のサイズではなく陽イオン副格子に着目することがペロブスカイトの化学膨張を制御し耐久性を向上させるのに効果的でありうることを示している。

分野：理論化学、結晶学、材料合成

14) C.J. Barile, E.C.M. Tse, Y. Li, T.B. Sobyra, S.C. Zimmerman, A. Hosseini, A.A. Gewirth (2014) Proton Switch for Modulating Oxygen Reduction by a Copper Electrocatalyst embedded in a Hybrid Bilayer Membrane, *Nature Materials*, 13(6), 619-623.

高分子電解質型燃料電池の性能を制限するのは、酸素還元反応(ORR)である。本稿では、活性表面上の溶液pH数値を変えることで酸素還元反応のオン/オフが可能であることを示している。pH値が低ければ、プロトン移動剤が中性となり、疎水部の間を「ゆらゆら」と拡散するが、pH値が高ければこの現象は発生しない。結論としては、プロトン“スイッチ”は、光と

他のプロトン共役電子移動(PCET)反応を用いてORRを制御する他の発見との関連で、一般的有用性を備えている。

分野：化学、材料科学、生体模倣化学、電気化学

- 15) E.C.M. Tse, C.J. Barile, N.A. Kirchschlager, Y. Li, J.P. Gewargis, S.C. Zimmerman, A. Hosseini, A.A. Gewirth (2016) Proton Transfer Dynamics Control the Mechanism of O₂ Reduction by a Non-Precious Metal Electrocatalyst, *Nature Materials*, 15(7), 754-759.

本研究の著者らは、Au上チオール自己組織化単層膜(SAM)に脂質分子の単層を追加することで生成される複合型二層膜(HBM)を用いて、CuベースNPM ORR触媒へのプロトン輸送の正確な制御が可能となるプラットフォームを開発した。膜内のプロトンキャリアがSAMに含まれる触媒へのプロトン輸送量の制御に用いられている。このプラットフォームを用いて、我々は、プロトン可用性に従ってORRの生成種に変化が見られることを確認し、NPM触媒上のORRのプロトン共役電子移動(PCET)特性を明らかにした。更に、我々は、触媒へのプロトン・電子輸送率を最適化することによって、有害な部分的に還元されたO₂種を生成することなく、O₂対H₂Oの4電子還元に対して100%の選択性が実現されることを明らかにした。

分野：化学、生体模倣化学、電気化学、触媒作用

- 16) J.A. Varnell, E.C.M. Tse, C.E. Schulz, T.T. Fister, R.T. Haasch, J. Timoshenko, A.I. Frenkel, A.A. Gewirth (2016) Identification of Carbon-Encapsulated Iron Nanoparticles as Active Species in Non-Precious Metal Oxygen Reduction Catalysts, *Nature Communications*, 7, 12582.

本稿の著者らは、白金触媒の代替となりうる鉄ベースの非貴金属触媒について研究した。非貴金属触媒の活性種の性質解明は困難であり、新たな触媒の開発を妨げている。本稿では、高温気相塩素と水素処置を用いて生成される鉄ベースの非貴金属酸素還元触媒の可逆的な非活性化と再活性化が明らかにされている。さらに、メスバウアー法とX線吸収分光法を用いることにより、塩素と水素による処理後に触媒の不均質性が減少することが分かった。本研究により、触媒の活性と安定性が鉄のナノ粒子に隣接した保護部位に依存していることが明らかになった。

分野：化学、物理学、材料科学、分光学、触媒作用、電気化学

- 17) H. Yamabe, T. Tsuji, Y. Liang, T. Matsuoka (2015) Influence of fluid displacement patterns on seismic velocity during supercritical CO₂ injection: Simulation study for evaluation of the relationship between seismic velocity and CO₂ saturation, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 46, 197-204.

本研究では、数値シミュレーションが実施され、貯留層内のCO₂挙動が地震波速度とCO₂飽和度の関係に及ぼす影響を評価された。これは、地震波を利用してCO₂の移動と漏えい検出をモニタリングする手法を活用するために重要な研究である。水理学と地球物理学の分野横断的な融合を通じて、実際の貯留層における水理的特性(CO₂飽和度)と弾性特性(地震波速度)の複雑な関係が明らかにされた。それにより、貯留層に圧入されたCO₂の定量的なモニタリングを可能にする新手法が提供された。

分野：地球物理学、水理学、数学

- 18) J. Liu, D. Takeshi, D. Orejon, K. Sasaki, S. M. Lyth (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.

酸素還元反応が起こるPEFCカソードでは、通常白金触媒が用いられているが、近年、白金を含まない非貴金属系触媒の研究開発が世界中で注目されている。本研究では、高比表面積(> 700 m²/g)を有する窒素ドーピンググラフェンを、非貴金属電極触媒のモデル触媒として合成した。本研究の目的は、まだ十分に理解されていないFe/N/Cベースの電極触媒における酸素還元反応メカニズムについて、明らかにすることである。その結果、他の鉄を含まない非貴金属系電極触媒と比較して最もORR活性が高いこと、そして、鉄が存在しなくても酸素の4電子還元が起こることが分かった。また、初めて、白金触媒のORRに対応するダブルターフェル勾配を示すことが出来た。現在、これらの触媒に関して、高温作動環境下(>120°C)での性能評価を進めている。

分野：材料合成、有機化学、電気化学

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

密度汎関数理論(DFT)シミュレーションの適用により、酸素により阻害された鉄への水素吸収に関する力学的な詳細が明らかにされた。DFTシミュレーションは、2つの重要な力学的な本質的な理解を明らかにした：1) ガスと表面の引力は、 O_2 の方が H_2 よりも強い、2) 酸素で覆われた鉄の表面は、表面上での H_2 の解離を妨げる。 H_2 と O_2 の相互の吸着シミュレーション加えて、 CO のような他の H_2 と表面の吸着サイトに関して競合しうるガス種に対してもDFT法が適用された。これらの CO についての予備的な結果は、Air Liquideの支援を受けたより発展した研究に繋がり、鋼の水素により加速された亀裂進展を抑えるための化学抑制剤への応用が目指されている。

分野：理論化学、表面科学、機械冶金学

20) R. Kirchheim, B.P. Somerday, P. Sofronis (2015) Chemomechanical Effects on the Separation of Interfaces Occurring during Fracture with Emphasis on the Hydrogen-Iron and Hydrogen-Nickel System, *Acta Materialia*, 99, 87-98.

予測的な能力の開発に極めて重要な水素助長粒界割れのモデリングは、破壊に伴う新しい表面の生成についての熱力学的取り扱いによって進められた。このアプローチでは、破壊の力学的側面に代表される破壊に対する仕事が、化学的側面を取り扱うギブズ吸着等温線に結びつけられている。以前のモデルと比較して、現在のものは、より一般化されてはいるが、粒界割れに対するケモメカニクス的な影響についてより簡単で定量的な見方を提供する。この分野を横断した学際的なモデル構築の努力は、材料物理学、固体力学と機械冶金学を結びつけている。

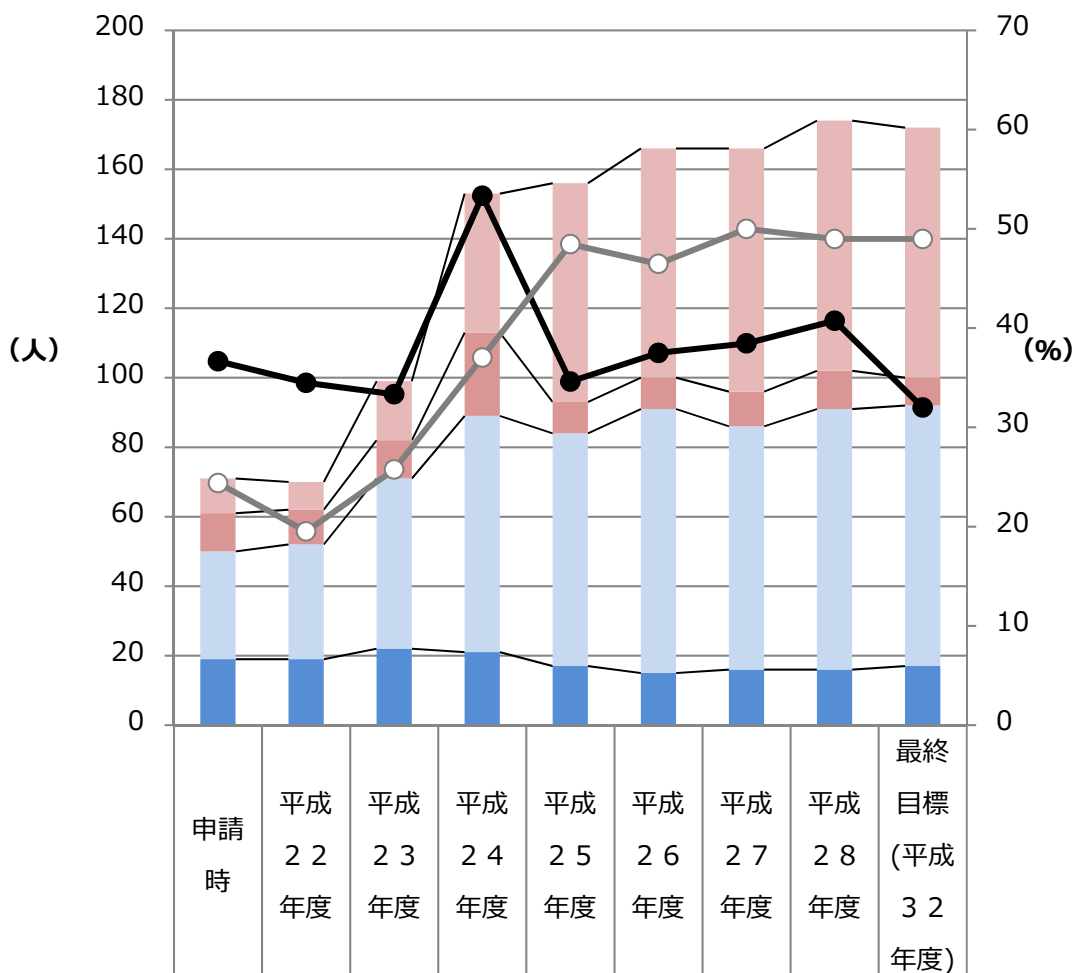
分野:具体的な物理学、固体力学、機械冶金学

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-1 全研究者中の外国人研究者数とその比率の年次推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

外国人研究者の年次推移



■ その他研究者：外国人	10	8	17	40	63	66	70	72	72
■ 外国人PI	11	10	11	24	9	9	10	11	8
■ その他研究者：日本人	31	33	49	68	67	76	70	75	75
■ 日本人PI	19	19	22	21	17	15	16	16	17
● 外国人PI比率 (%)	36.7	34.5	33.3	53.3	34.6	37.5	38.5	40.7	32.0
○ その他外国人研究者比率 (%)	24.4	19.5	25.8	37.0	48.5	46.5	50.0	49.0	49.0

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料 4 - 2 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。

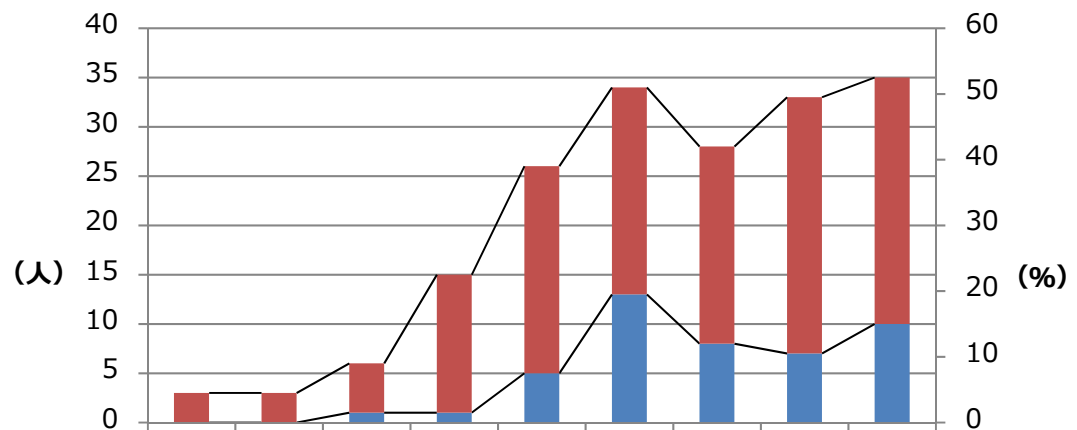
年度	応募人数	採用人数
平成22年度	75	1
	< 71, 95%>	< 0, 0%>
平成23年度	95	2
	< 62, 100%>	< 2, 100%>
平成24年度	13	3
	< 12, 92%>	< 2, 67%>
平成25年度	12	2
	< 11, 92%>	< 1, 50%>
平成26年度	16	2
	< 15, 93%>	< 2, 100%>
平成27年度	79	2
	< 72, 91%>	< 2, 100%>
平成28年度	0	0
	< 0, 0%>	< 0, 0%>

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料4-3 外国人ポスドク比率の推移

※申請時からの人数の推移を棒グラフで表すこと。

外国人ポスドク比率の推移



	申請時	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	最終目標 (平成32年度)
外国人	3	3	5	14	21	21	20	26	25
日本人	0	0	1	1	5	13	8	7	10
外国人ポスドク比率	100.0	100.0	83.3	93.3	80.8	61.8	71.4	78.8	71.4

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 4-4 ポスドクの国際的就職状況

・1名につき、1行で作成すること。記入欄は、適宜追加してください。

日本人ポスドク

拠点所属期間	前職機関・役職(所在国名)	就職先機関・役職(所在国名)
平成23年4月1日 -平成24年5月31日	京都大学 ・博士課程学生 (日本)	名古屋大学・助教 (日本)
平成25年4月1日 -平成26年3月31日	北海道大学 ・学術研究員 (日本)	中央大学・助教 (日本)
平成25年4月1日 -平成26年3月31日	九州大学 ・博士課程学生 (日本)	松下政経塾・塾生 (日本)
平成25年5月1日 -平成26年3月31日	九州大学 ・テクニカルスタッフ (日本)	岩手大学・研究員 (日本)
平成26年4月1日 -平成27年3月31日	九州大学 ・学術研究員 (日本)	九州大学・助教 (日本)
平成26年4月1日 -平成27年2月28日	豊田中央研究所 ・研究員 (日本)	産業技術総合研究所 ・研究員 (日本)
平成26年4月1日 -平成28年10月15日	京都大学 ・博士課程学生 (日本)	(現：I ² CNER助教)
平成26年4月1日 -平成29年3月31日	九州大学・学術研究員 (日本)	奈良女子大学・助教 (日本)
平成26年4月1日-現在	近畿大学 ・博士課程学生 (日本)	(現：I ² CNER学術研究員)
平成26年8月1日 -平成27年7月31日	ペンシルバニア州立大学 ・研究員 (米国)	九州大学 ・学術研究員 (日本)
平成26年10月1日 -平成28年9月30日	東京理科大学 ・学術研究員 (日本)	山口東京理科大学 ・学術研究員 (日本)
平成26年10月1日 -平成27年3月31日	九州大学 ・博士課程学生 (日本)	三菱ガス化学株式会社 (日本)
平成27年3月1日 -平成28年12月31日	東京工業大学 ・研究員 (日本)	東北大学・研究員 (日本)
平成27年4月1日 -平成28年3月31日	九州大学 ・博士課程学生 (日本)	岡山大学・助教 (日本)
平成27年5月1日-現在	朝日インテック株式会社 ・研究員 (日本)	(現：I ² CNER学術研究員)
平成28年4月1日 -平成29年3月31日	九州大学・学術研究員 (日本)	株式会社ADECA (日本)

外国人ポスドク

拠点所属期間	前職機関・役職(所在国名)	就職先機関・役職(所在国名)	国籍
平成24年1月16日 -平成27年12月31日	インペリアル カレッジ ロンドン・学術研究員 (英国)	(現：I ² CNER助教)	英国
平成24年4月1日-現在	九州大学・学術研究員 (日本)	(現：I ² CNER学術研究員)	フランス
平成24年9月1日 -平成26年8月15日	ノースウェスタン大学 ・学術研究員 (米国)	(現：I ² CNER助教)	米国
平成24年12月1日 -平成27年1月30日	九州大学・学術研究員 (日本)	温州生物材料と工程研究所 ・研究員 (中国)	中国
平成24年12月1日 -平成28年3月25日	東北大学・日本学術研究振興会特別研究員 (日本)	華中科技大学・教授 (中国)	中国
平成25年4月1日 -平成26年1月31日	東京工業大学 ・博士課程学生 (日本)	アイントホーフェン工科大学・学術研究員 (オランダ)	中国
平成25年4月1日 -平成26年11月30日	JST科学技術振興機構(ERATO)・学術研究員 (日本)	シンガポール工科大デザイン大学・学術研究員 (シンガポール)	ミャンマー
平成25年4月1日 -平成27年3月31日	九州大学・学術研究員 (日本)	(現：I ² CNER助教)	イラン
平成25年4月1日 -平成27年4月30日 平成27年6月1日 -平成27年7月17日	イェール大学 ・博士課程学生 (米国)	ノースダコタ州立大学 ・助教 (米国)	米国
平成25年4月1日 -平成28年3月30日	九州大学・学術研究員 (日本)	タンタ大学 ・助教 (エジプト)	エジプト
平成25年4月1日 -平成28年3月31日	九州大学・学術研究員 (日本)	山口大学・助教 (日本)	中国
平成25年10月1日 -平成28年10月15日	エジンバラ大学・博士課程学生 (スコットランド)	(現：I ² CNER助教)	スペイン
平成25年10月1日-現在	九州大学・日本学術研究振興会特別研究員 (日本)	(現：I ² CNER学術研究員)	カメルーン
平成25年11月1日 -平成25年12月30日	スリウィジャヤ大学 ・講師 (インドネシア)	スリウィジャヤ大学 ・研究員 (インドネシア)	インドネシア
平成26年1月1日-現在	北九州大学 ・学術研究員 (日本)	(現：I ² CNER学術研究員)	ウクライナ
平成26年2月1日-現在	九州大学・学術研究員 (日本)	(現：I ² CNER学術研究員)	中国
平成26年2月1日 -平成27年3月31日	北海道大学 ・研究支援スタッフ (日本)	ウィスコンシン大学マディソン校・学術研究員 (米国)	中国
平成26年4月1日 -平成27年4月15日	九州大学・学術研究員 (日本)	アクロン アセント イノベーション・最高執行責任者/主任研究員 (米国)	米国
平成26年5月1日 -平成26年8月31日	九州大学・学術研究員 (日本)	釜慶大学校・助教 (韓国)	韓国
平成26年11月1日 -平成27年7月31日	エジンバラ大学・博士課程学生 (スコットランド)	九州大学・日本学術研究振興会特別研究員 (日本)	ギリシャ

平成27年3月16日-現在	シンガポール国立大学・博士課程学生（シンガポール）	(現：I ² CNER学術研究員)	インド
平成27年4月1日-現在	九州大学 ・博士課程学生（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	ベトナム
平成27年12月1日 -平成28年12月19日	物質材料研究機構・日本学術研究振興会特別研究員（日本）	プラハカレル大学 ・研究員（チェコ）	チェコ
平成27年12月1日-現在	サウサンプトン大学 ・博士課程学生（英国）	(現：I ² CNER学術研究員)	ルーマニア
平成28年1月16日-現在	ジャワハラルネール先端科学研究所・博士課程学生（インド）	(現：I ² CNER学術研究員)	インド
平成28年3月1日 -平成28年9月30日	九州大学・学術研究員（日本）	南京工業大学・助教（中国）	中国
平成28年3月1日-現在	セブルスマレット大学 ・研究員（インドネシア）	(現：I ² CNER学術研究員)	インドネシア
平成28年4月1日-現在	京都工業大学 ・博士課程学生（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	タイ
平成28年5月1日-現在	九州大学・学術研究員（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	中国
平成28年5月16日-現在	インド工科大学バンガロール校・博士課程学生（インド）	(現：I ² CNER学術研究員)	インド
平成28年5月16日-現在	インペリアル カレッジ ロンドン・博士課程学生（英国）	(現：I ² CNER学術研究員)	中国
平成28年6月1日-現在	九州大学・学術研究員（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	中国
平成28年9月1日-現在	ジャガナス大学 ・助教（バングラデシュ）	(現：I ² CNER学術研究員)	バングラデシュ
平成28年10月1日-現在	漢陽大学校・特任助教（韓国）	(現：I ² CNER学術研究員)	中国
平成28年11月1日-現在	九州大学・学術研究員（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	ドイツ
平成28年11月16日-現在	ノルウェー科学技術大学 ・学術研究員（ノルウェー）	(現：I ² CNER学術研究員)	フランス
平成28年12月1日-現在	九州大学・学術研究員（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	ギリシャ
平成28年12月1日-現在	九州大学・学術研究員（日本）	(現：I ² CNER学術研究員)	ブルガリア
平成29年1月1日-現在	トロント大学 ・研究員（カナダ）	(現：I ² CNER学術研究員)	インド
平成29年1月1日-現在	ジローナ大学 ・博士課程学生（スペイン）	(現：I ² CNER学術研究員)	スペイン

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 4 - 5 国外共同研究協定等締結一覧

1. 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

協定の相手方

ノルウェー科学技術大学(NTNU)

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、共同研究及び共同出版、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教育プログラムを含む。

2. 協定の名称

FP7 Initial Training Network 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

協定の相手方

ECOSTORE連携機関：Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material-und Küstenforschung 社(HZG)、エネルギー技術研究所(IFE)、オーフス大学(AU)、トリノ大学(UNITO)、フランス国立科学研究センター(CNRS)、バーミンガム大学(UoB)、ジュネーヴ大学(UNIGE)、シュツットガルト大学(USTUTT)、科学研究デモクリトス国立センター(NCSR)、Zoz社(ZOZ)、SAFT SAS社 (SAFT)、ロックウッドリチウム社(ROLI)、東北大学、南デンマーク大学(SDU)

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、マネジメント、責任問題に関する関係者の権利と義務、アクセス権、そして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。

3. 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

協定の概要

本協定は、基礎科学の実用的応用への橋渡しを目的としており、I²CNERが基礎科学に、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/援助する。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」の分析を通じての直接的支援、水素燃料インフラ配備にむけた手法、構想において直接的な支援を提供することである。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。

4. 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の学術交流協定

締結時期

2014年5月26日

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

協定の概要

本大学間協定の目的は、公正且つ互恵に基づき、九州大学とイリノイ大学の科学的、学術的及び教育的な協力関係を発展させ、両者の相互理解を深めることであり、学生・教職員の派遣、共同研究活動、学術的資料・出版物の交換及びその他の学術交流を含む。

5. 協定の名称

ニューサウスウェールズ大学と九州大学の共同研究契約のための協定

締結時期

2016年5月9日

協定の相手方

豪国ニューサウスウェールズ大学

協定の概要

本大学間協定の目的は、双方が関心を持つエネルギー分野等において、共同研究を軸とした両機関の結びつきを強めることである。

6. 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(I²CNER)と豪国ニューサウスウェールズ大学の学術交流協定

締結時期

審理中

協定の相手方

豪国ニューサウスウェールズ大学

協定の概要

本協定の目的は、学術的・教育的協力の更なる促進であり、学生・教員の派遣、共同研究・学術論文の共著、セミナー・学術会議への参加、学術的資料・出版物の交換及び大学院学位プログラムを含む。

7. 協定の名称

基本合意書

締結時期

審理中

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)

協定の概要

本合意書の目的は、I²CNERとCARBがお互いの活動、目標、方針についての相互認識を築くことである。また、お互いのコミュニケーションを円滑にするため、各機関における「連絡窓口」を特定する予定である。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政策目標と特に関連のあるI²CNERの活動は何かを確認する。CARBは既にI²CNERへ、“実行可能な技術”の目標年を2035年／“夢の技術”の目標年を2050年に設定するよう提案している。これらの活動を通して、(1)CARBは、日本の先端技術研究に対する投資について、また、日本が現在検討中の最新技術の形態について精通するようになり、(2)I²CNERは、最新技術、エネルギー効率、保全対策の普及・向上に関して世界をリードするカリフォルニア州が実行している政策及び規則の形態に精通するようになる。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 4 - 6 国際研究集会の開催実績

※これまでに開催した主な国際会議等(20件程度)を以下に記載すること。

平成22～23年度：会議実績数 5

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
平成23年2月1日	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
平成24年3月6-7日	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

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
平成24年12月7日	I ² CNER東京シンポジウム 開催地：学術総合センター（一橋講堂他）、東京（日本）	国内：130名 海外：20名
平成25年1月29日	I ² CNER Annual Symposium 2013 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

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
平成25年9月13日	Catalytic Concepts for Energy 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
平成26年1月30日	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

平成26年度：会議実績数 6

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
平成26年12月12日	I ² CNER東京シンポジウム 開催地：TKPガーデンシティ品川、東京（日本）	国内：98名 海外：27名
平成27年2月2日	I ² CNER Annual Symposium 2015 開催地：九州大学（日本）	国内：79名 海外：62名

平成27年度：会議実績数 5

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
平成28年2月1-2日	I ² CNER Annual Symposium 2016 開催地：九州大学（日本）	国内：127名 海外：125名
平成28年3月13-17日	The First Pacific Rim Thermal Engineering Conference 開催地：ハワイ（米国）	合計：500 - 600名

平成28年度：会議実績数 9

開催日時	会議名称・開催地	参加人数
平成28年9月11-14日	2016 International Hydrogen Conference 開催地：Jackson Lake Lodge（米国）	国内：25-30名 海外：100-125名
平成29年2月1日	I ² CNER Annual Symposium 2017 開催地：九州大学（日本）	国内：80名 海外：86名
平成29年2月2-3日	University of New South Wales-I ² CNER 2nd Energy Workshop 開催地：九州大学（日本）	国内：22名 海外：8名

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料5-1 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

(1) 資金、人員

※ <資金> については、交付要綱第12条による実績報告書の区分に基づいて記入すること。

※ 研究者等が獲得した競争的資金（研究プロジェクト経費に当たるもの）は含まない。

※ <人員> について、事務職員のうち常勤職員の数を（ ）に記入すること。

(平成22年～平成28年)							
<資金>							(百万円)
年 度	22	23	24	25	26	27	28
人件費	58	351	379	226	243	227	211
教員（研究職員）	44	299	330	187	199	180	158
うち専任	0	0	0	0	0	0	0
うち併任	44	299	330	187	199	180	158
ポスドク	0	0	0	0	0	0	0
RA等	0	0	0	0	0	0	0
研究支援者	0	0	0	0	0	0	0
事務職員	14	52	49	39	44	47	53
事業推進費	1	7	12	22	128	74	79
旅費	0	2	1	3	4	3	7
設備備品等費	0	0	819	10	1957	34	8
研究プロジェクト費	720	1570	2238	2557	2838	2128	1543
合計額	779	1930	3449	2818	5170	2466	1848
<人員>							(人)
年 度	22	23	24	25	26	27	28
人件費	49	62	65	48	49	47	45
教員（研究職員）	43	56	59	42	41	39	36
うち専任	0	0	0	0	0	0	0
うち併任	43	56	59	42	41	39	36
ポスドク	0	0	0	0	0	0	0
RA等	0	0	0	0	0	0	0
研究支援者	0	0	0	0	0	0	0
事務職員	6	6	6	6	8	8	9

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料5-1 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

(2) 土地建物・研究スペース等の現物供与

I²CNER第2研究棟

- 九州大学は2015年2月末に竣工したI²CNER第2研究棟を無償で提供している。4階建て、総床面積5,000㎡のI²CNER第2研究棟には、オープンラボ8室、オープンオフィス2室及び支援部門室が配置され、そのほとんどが、異分野融合研究促進に適したオープンな共同実験スペースとなるよう設計されている。

テニュア教員ポスト

- これまで、九州大学は合計12のテニュア教員ポストをI²CNERへ配置してきた。このうちの7ポストは、I²CNERが大学改革活性化制度を通じて獲得してきたものである。それぞれの年度でI²CNERに配置されたテニュア教員ポストの数は以下のとおり：

2011, 2012年度	准教授ポスト5
2014年度	教授ポスト1 (大学改革活性化制度を通じて獲得)
2015年度	教授ポスト1および准教授ポスト2 (共に大学改革活性化制度を通じて獲得)
2016年度	教授ポスト1および准教授ポスト1 (共に大学改革活性化制度を通じて獲得)
2017年度	准教授ポスト1 (大学改革活性化制度を通じて獲得)

これらに加えて、I²CNERは、マス・フォア・インダストリ研究所との共同プロポーザルにより、2つのテニュアトラック助教ポストを獲得し、2016年12月16日付けでテニュアトラック助教2名を採用した。

教員の学内派遣制度

- 九州大学総長の主導により「教員の学内派遣制度」が執行された2013年4月1日以来、I²CNERは常に同制度を有効活用してきた。2016年度には、9名の教授が他学部からI²CNERへ所属変更（派遣）を行っている。教員の派遣は一年単位での延長が可能であるため、2017年度も（定年退職となる2名を除く）7名の派遣教授が引き続き、九州大学所属の主要なI²CNER主任研究者として活動を行う。また、新たに教授1名が工学部から派遣される予定である。

2. 人事・予算面での拠点長による執行体制の確立

九州大学におけるI²CNERの恒久的位置付け

- 九州大学において最も重要な規則・規定を定める九州大学規則の改定により、I²CNERの位置付けは、WPIプログラムの期限に関わらず九州大学の恒久的な研究所と定められ、これは2013年4月1日に発効した。

所長の権限

- I²CNERでは、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の意思決定について所長が全面的な権限を有するよう、内規が整備されている。例えば、国際公募により新規教員を採用する際には、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、所長が採用可否の最終決定を行う。

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

兼務教員への支援

- 九州大学は、他部局所属の研究者が不自由なくI²CNERとの兼務に従事できるよう、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、部局と連携して積極的な支援を行っている。

4. 新たな運営制度の導入に向けた制度整備

(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)

能力に基づいた給与体系

- I²CNERでは、九州大学制定の給与支払区分とは異なる特別な給与体制が採用されている。I²CNER所属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末、ソフロニス教授は2012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。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. インフラ利用における便宜供与（1.以外で）

I²CNER第1研究棟

- I²CNER第1研究棟（約4,873㎡）は2012年11月末に竣工した。高い吹き抜けの1階ロビーには電子黒板を備えた広々としたラウンジが配置され、メンバー間で研究打合せや議論が活発に行える空間となっている。また、次世代燃料電池産学連携研究センター（NEXT-FC）内の実験室7部屋、居室15部屋及びびサーバールームがI²CNERの研究者用に確保されており、それらの部屋の幾つかはマサチューセッツ工科大学（MIT）、英国インペリアル・カレッジからの共同研究者用の実験室としても使用されている。

6. その他

副所長

- 石原教授、高田教授の副所長2名は工学部から「学内派遣制度」を通じて派遣された“派遣教員”である。両副所長は研究所の目標達成のため、所長と連携しながら、時に所長の代理を務め、学内関係部局との調整に対応している。所長がイリノイ大学滞在中または出張で不在の間も、所長の意を酌んだ構想を実現すべく、常に所長と緊密なコミュニケーションを維持している。

九州大学エネルギー教育研究機構（Q-PIT）

- 九州大学では、2016年10月にオール九大で「2100年の社会が理想とするエネルギー」を具現化することをビジョンとしたエネルギー教育研究機構（Q-PIT）を創立した。エネルギーに関する革新的かつ総合的な国際研究教育拠点の構築を目指しており、I²CNERはその中核的な役割を担っている。

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

添付資料5－2「中期目標」・「中期計画」の抜粋

「九州大学 中期目標、中期計画」（抜粋）

【第2期：平成22年4月1日～平成28年3月31日】

○研究水準及び研究の成果等に関する目標

・世界的研究・教育拠点にふさわしい世界最高水準の卓越した学術研究を行う。

○研究水準及び研究の成果等に関する目標を達成するための措置

・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。

・マサチューセッツ工科大学等の世界トップレベルの大学から外国人研究者を招へいし、世界最高水準の国際共同研究を実施する。

【第3期：平成28年4月1日～平成34年3月31日】

○研究水準及び研究の成果等に関する目標

・地域社会、国際社会、学術コミュニティの要請に応えながら自律的に変革し、常に未来の課題に挑戦する活力に満ちた最高水準の研究・教育拠点となることを目指して学術研究を行ってきた。これまでの研究の成果等に立脚し、多様性（学術分野の多様性を活かした国際連携）、発展性（アジア戦略の成果に基づく世界展開）、重層性（研究大学としての層の厚い研究・教育）という本学の強み・特色をさらに伸張させ、世界的研究・教育拠点にふさわしい世界最高水準の卓越した学術研究を行う。

○研究水準及び研究の成果等に関する目標を達成するための措置

・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カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所における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、研究体制を整備するとともに最先端の研究を推進する。

・海外の世界トップレベルの大学から外国人研究者を招へいし、世界最高水準の国際共同研究を実施する。

・自然科学とくに理論系、数学系および人文社会科学系など多様な分野との連携・協力を積極的に推進し、学内の英知を集結することにより、研究体制のさらなる充実を図る。

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

添付資料 5 - 3 女性研究者数の推移

※平成25年度～平成28年度の女性研究者数及び総数に対する割合を上段に、総研究者を下段に記入すること。

(単位：人)

		平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	最終目標 平成32年度
研究者		18, 12%	18, 11%	18, 11%	23, 13%	29, 17%
		156	166	166	174	172
内訳	主任研究者	1, 4%	1, 4%	1, 4%	1, 4%	1, 4%
		26	24	26	27	25
	その他の研究者	17, 13%	17, 12%	17, 12%	22, 15%	28, 19%
		130	142	140	147	147