

2. 拠点構想等の概要（日本語で記載。それぞれA4版3枚以内）

ホスト機関	九州大学
ホスト機関長	久保 千春（九州大学総長）
拠点名	カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I ² CNER）
拠点長	ペトロス・ソフロニス（米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校教授）
拠点構想責任者 （2010年12月時点）	村上 敬宜（九州大学 理事・副学長）
拠点構想の概要	I²CNERは、九州大学に拠点化された国際的な研究プロジェクトであり、そのミッションは、低炭素排出かつ低コストなエネルギーシステムの進歩、およびエネルギー効率の改善に関する基礎研究に取り組むことによって、継続的かつ環境親和性のある社会の実現に貢献することである。このような広く包括的な目的に達するために、I²CNERは、固体や液体の多様な枠組みと気体の間における、固体吸着、分離、拡散、分子種の化学的還元、反応、相互作用などの現象について研究を主導している。これらの現象は、時・空間の全領域、あるいは原子系から地球系、ナノ秒から数十年にもおよぶ物質と気体の相互反応の界面において起こる現象である。例えば、I²CNERの研究が実現を目指す一連の技術には、固体酸化物型燃料電池（SOFC）、高分子分離膜を用いた燃料電池、生物情報科学などの斬新な触媒についての概念設計、水素燃料の製造・貯蔵・利用などが包含される。さらには、CO₂の分離・貯蔵技術の基礎となる科学、加えて、付加価値を高めた化学物質の製造を可能とするCO₂変換システムの創生、あるいは再利用のための電力の貯蔵に関する探索研究も進めている。各々のI²CNERの研究活動は、究極の研究目標へと続く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通じて日本のカーボンニュートラル・エネルギー社会実現のために必要なテクノロジーの組み合わせからなるシナリオと密接に関連し、進展している。イリノイ大学に設置したサテライトと連携しながら、I²CNERは、世界各国の主導的研究者らと共に領域融合型研究や教育協働を育て上げる環境と文化を創出することによって、九州大学キャンパスにおいて確固たる位置を確立した。
ミッションステートメント 及び/又は 拠点のアイデンティティ	I²CNERのミッションは、低炭素排出、経済効果の高いエネルギーシステムの構築及びエネルギー効率の向上を目指す基礎研究を実施することによる、環境調和型で持続可能な社会の実現への貢献である。I²CNERの研究が実現を目指す数あるテクノロジーは、SOFC、高分子膜ベースの燃料電池、生体模倣やその他の新規触媒コンセプト、燃料としての水素の製造、貯蔵及び利用を含む。我々の研究はまた、CO₂回収・貯留技術及び付加価値のある化学製品又は再生可能ベースの電力蓄電のためのCO₂転換システム構築に関する基礎科学を探究する。さらに、共同・融合研究(fusion)によるイノベーションを促進する国際的な学術環境を構築することも、I²CNERのミッションである。
対象分野	<u>研究領域：</u> 化学、物理、材料科学、機械学、地球科学、生物模倣、生命科学、計算機科学、経済、数学などに関わる複合／融合研究 <u>提案したプロジェクトの重要性：</u> 東日本大震災、その津波、さらには福島原子力発電所事故などから起こった大災害は、日本のエネルギー基盤構成とその将来像について広い範囲の深刻な問題点を露呈させた。そこには、CO₂排出のない持続的エネルギー資源の開発、さらには、日本のカーボンニュートラル社会を実現するための安全かつ信頼性の高い二酸化炭素分離・貯留システムの確立に対する極め

	て高い必要性が存在する。日本のカーボンニュートラル社会実現へと至る核心的な挑戦に向け、科学主導による技術ソリューションの開発に格別の主眼を置くことにI²CNERの重要性がある。その根拠に、I²CNERの研究ロードマップには、平成26年4月に政府発表された第4次エネルギー基本計画に盛り込まれた多岐に渡る技術、例えば、次世代電力発電、省エネルギー、効率的分散型エネルギーシステム、水素経済の実現、次世代自動車に代表される重要な科学的課題への取り組みが明記されている。
研究達成目標	I²CNERにおける研究活動は、テーマ別の研究クラスター（ディビジョン）内のプロジェクト目的達成に向けて取り組んでいる。個々のプロジェクトにおいては、研究が進むにつれて切れ目なく更新される短期、中期、長期のマイルストーンと、究極的目標に依って、研究が推進される。 ・ 高温電気分解液で動作する有機光電池や光電気化学的な水分離技術を用いて水素製造を行うための太陽エネルギーの活用；エネルギー保存デバイス開発；有機LEDおよび低摩擦ベアリング。 ・ 水素サービスにおける部品の設計や部材選定に革命を起こす様な、水素の影響による疲労、破砕、摩耗や焼き付きに支配される材料の特性を予測するモデルの開発。 ・ 固体高分子形燃料電池 (PEFC) や固定酸化物形燃料電池 (SOFC) を含む燃料電池の耐性、効率向上、コストの低減化開発。 ・ カーボンニュートラル社会技術における物質の最も効率的な利用を可能にしたり、熱プロセスにおけるエネルギー効率を改善するための、物質の熱物性的な物質情報や熱科学・工学の発展拡張。 ・ 移動あるいは固定された水素貯蔵、並びに水素供給の高度化に向けた新しい担体物質の研究と開発。 ・ 次の (i) と (ii) に挙げる開発。 (i) 太陽光をエネルギー源とし、電気（燃料電池）や水素、炭化水素系燃料を二酸化炭素を排出せずに製造するための、高度な生物模倣技術を活かした触媒や製造工程の新発見。 (ii) 燃料燃焼と再生成のための新しい触媒、および、新低炭素燃料および電力貯蔵とエネルギー配送のためのエネルギーサイクルを実現する画期的な物質。 ・ 発電と産業プロセスにおけるCO₂分離のための高い効率を備えた物質の開発、および、(i) 液体燃料や中間物質に代表される付加価値のある化学物質の生産と (ii) 再生可能電力の貯蔵の二項を目指す、エネルギー効率に優れかつ低コストのCO₂変換システムの創出。 ・ 日本における特徴的な地層構造において、効率的な残留性、溶解性、鉱物CO₂貯留性を促進するための、核となる細孔スケールプロセスの発見と調査研究；これら知見の、安全かつ改善されたCO₂貯留系の精密な貯留特性解析手法への展開；深海底より下部の地層構造におけるCO₂の注入／漏洩を監視するための新しい効率的な手法の開発。 ・ カーボン排出、エネルギー効率、現在および発展中のI²CNERおよび他のエネルギープロセス、技術、およびインフラストラクチャの情報を提供することにより、I²CNERや世界のエネルギー関連研究がカーボンニュートラル社会の実現に向けた適正な目標設定を確かめる助けとする。 I²CNERや他のエネルギーシステム解析により、カーボンニュートラル社会実現を目指すI²CNERのビジョンとロードマップを継続的に見直し、更新する。

拠点運営の概要	○ 本研究所は、九州大学総長直轄の組織であり、所長は総長及び研究兼産業連携担当理事と直接的なつながりを持つ。所長は、研究活動の計画と実施、研究分野又は部門の構成・確立、毎年の現地視察時の意見に基づく研究部門の再編成、研究努力の再検討、ポスドク研究者と教員の採用、トップクラスの研究機関との国際共同研究や連携の構築、研究成果評価の運営及び予算執行に関する決定に全責任を負う。これらについて、所長は、自らが委員長を務め、所内の研究部門長及び所長が適任とする追加メンバーを含む者等（サイエンス・アドバイザー）から構成される運営委員会（SSC）に諮問する。 ○ 研究所の重要な要素として、関連研究分野の国内外の主要研究者などから構成される外部アドバイザー委員会（EAC）があり、毎年又は所長が必要と判断すれば随時開催する。EACは、所長の指導力、マネジメント、各研究分野の研究の進捗状況、発案される研究計画などを含む研究所全体の評価を行い、報告・提案をまとめた報告書を所長に提供する。研究所活動の最終決定は所長が行う。さらに所長は、自らが任命・召集し、定期的に研究所内の個別研究プログラムの評価を行う内部プログラム評価委員会（IPRC）の助言を受ける。 ○ 2名の副所長が、所長を補佐する。石原教授は、ワークショップのとりまとめ、セミナーシリーズの運営、施設・研究装置に関する事項等の責任者であり、高田教授は、教員選考、国際及び産学連携、大学院生の研究に関する事項等の責任者となる。SSC及び副所長2名の役割は、厳密に諮問的なものであり、最終決定については所長が全責任を負う。 ○ 所長は、研究所の支援部門を統率する支援部門長のサポートを受ける。支援部門長の役割は、研究所運営のための事務的支援を行うことである。支援部門内での公用語は英語である。 ○ 所長のペトロス・ソフロニス教授は、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の教員である。イリノイ大学サテライトは、学生・研究者交流、米国内の共同研究の推進及び国際研究活動強化のための拠点として設立された。 ○ 所長の不在時（米国勤務中）の研究所運営は、研究所内規「22. 研究所の管理運営」に準拠する。
研究体制	I²CNERは、九州大学の恒久部局としての第二期を開始する。2019年までに10名のテニュア主任研究者をI²CNERに配置する予定である。全体総数20～25名中、残り10～15名分の主任研究者ポストは、以下を通じて確保する。 a) 「学内派遣制度」による他部局からの教員派遣 b) 他部局（経済、理、数理等）とのクロス・アポイントメント制度 c) 海外の連携機関及び産業界とのクロス・アポイントメント制度 また、上述の a), b) 及び c) とは別に、海外・産業界から主任研究者レベルの客員特別研究員（Visiting Fellow）やクロス・アポイントメントによる主任研究者を招聘する。現在、I²CNER 所属の 24 名の主任研究者のうち、7 名が外国人である。全体としては、専任教員 16 名、ポスドク研究者 35～40 名、テクニカルスタッフ 30 名他を雇用し、産学官からの訪問教員や研究者も多数招聘予定である。 イリノイ大学サテライトは、本研究体制の重要な構成要素であり、九州大学におけるI²CNERの研究を補完し、学生・研究者の米国との交流を促進する。九州大学とイリノイ大学間のあらゆるレベルにおける連携に関する覚書、特に学生交流のための協定が締結されている。イリノイ大学サテライトは、機械科学工学部内に位置し、広々としたオフィス・スペースを確保しており、日本人研究者がイリノイ・キャンパス訪問時に使用可能である。サテライトでは、教員を8名、ポスドク研究者を2名、リサーチアシスタントを10名、事務スタッフ2名を雇用予定である。サテライト教員の研究室は、九州大学の共同研究者による利用が可能である。さらに、キャンパス内の共有施設及び研究室は、使用料を払えば全ての研究者が使用でき

	る。イリノイ大学Office of Technology Management (OTM)は、九州大学産学連携本部(Imaq)と連携し、知的財産(IP)管理及び技術移転を国内外で推進していく。また、カリフォルニア大学アーバイン校の国立燃料電池研究センター(NFCRC)、ノルウェー科学技術大学(NTNU)/産業科学技術研究所(SINTEF)と、それぞれ研究交流及び共同研究に関する覚書を、カリフォルニア大気資源委員会(CARB)とは基本合意書を交わしている。加えて、I²CNER主任研究者、専任教員及びポスドク研究者と、海外の一流機関の教員及び研究者の間では、現在約20の共同研究活動が行われている。これらの連携機関の例としては、MIT、UCバークレー、マックス・プランク、オックスフォード大学、ドイツ研究センターヘルムホルツ協会のHelmholtz Zentrum Geesthacht (HZG)、大連化学物理研究所、スイス連邦工科大学(ETH)などが挙げられる。
事務部門長	藤木 幸夫、九州大学名誉教授
環境整備の概要	I²CNERの第1及び第2研究棟(平成27年2月竣工予定)は、主任研究者、専任教員と研究者オフィス、研究室及び支援部門を集結させ、「under one roof」コンセプトを実現している。どちらの研究棟も、共同研究を促進するための共同実験室や、その場で即座に打合せを行えるよう電子黒板を備えた広々としたラウンジなどを完備し、最先端の研究施設として設計されている。I²CNERラボラトリーは、低エネルギーイオン散乱分光装置(LEIS)や、表面・界面分析を行う二次イオン質量分析計(TOF-SIMS)など、最先端の装置を備えている。I²CNER支援部門は事務サポートの基盤を成し、研究者への支援を提供する。異分野融合研究の推進と若手研究者の育成のため、競争的資金プログラムやスタートアップ資金等が整備されている。処遇は、「国立大学法人九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則」に準拠しており、大学の給与体系とは別に、能力に基づいた特別の給与体系を採用している。教員及び研究者各自の業績評価は、所長及び副所長2名により、年1回又は所長が必要と判断すれば更に頻繁に実施される。有能なポスドク研究者や教員の採用は、研究所の主要メンバーから成る教員選考委員会(FRC)が管理し、同委員会 は所長の監督下にある。研究者雇用には、イリノイ大学における採用方法と同様のものをを用いている。 研究所の公用語は、英語である。
世界的レベルを評価する際の指標等の概要	I²CNER は、ミッション重視(グリーンイノベーション)型の研究所ではあるが、その焦点は基礎科学に置かれている。そのため、本研究所の成功は以下の基準に基づき評価される。 1) 日本政府のグリーンイノベーション戦略を可能にするための研究努力及び目標の関連性 2) 研究を行うためのアプローチ。これは、ハイインパクトかつ領域指向のジャーナルに掲載される論文の質によって評価される。 3) 国際的な賞の授与及び論文引用数。これらは、総合的な知名度・認知度の指標となる。 4) 研究ロードマップにおけるマイルストーン及びターゲットの実現度 5) 国際的研究所との連携レベル、異分野融合研究の取り組みとその度合い 6) 提携企業の数と質 7) 特許申請 8) 技術移転関連の実績件数 最も重要な基準は、質の高さをI²CNER活動すべてに浸透させることである。

研究資金等の確保	主要な日本人主任研究者を含むI²CNER構成員より過去5年間（平成21～25年度：1ドル=120円）の獲得研究資金は、年平均23億4千万円以上にのぼる。今後は、積極的に外部の財源確保を目指し、より多くの外部資金を継続して獲得していくことが目標となる。											
充当計画	年度	27	28	29	30	31	合計					
	申請金額 (百万円)	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	6,350					
ホスト機関からのコミットメントの概要	九州大学の戦略的ビジョンの概要は、大学を「世界的研究・教育拠点として位置付け」、「卓越した研究者にとって魅力ある学術環境の整備をととした分野横断的/異分野融合研究の推進によって、新しい学問分野を促進する」ことである。この取り組みの中で、九州大学は、持ち得る全てのリソースを活用し、本研究所を支援していく。以下は、その積極的な方策の具体例となる。 ・ I²CNERの恒久的機関及び世界最先端のカーボンニュートラル・エネルギー研究所としての成功を確実にする。 ・ 本学へのWPIビジョンを実行できるよう、所長に全面的な権限を与える。 ・ イリノイ大学との連携と交流をさらに促進する。 ・ 産業界との共同研究を推進し、知的財産の管理や国内外の技術移転を促進する。 ・ I²CNERの「フェロー・プログラム」や、九州大学の「クロス・アポイントメント制度」等の新たな取り組みを活用し、海外の大学・研究機関から優れた研究者をI²CNERに招聘する。 ・ 研究及び予算執行のための運営体制の強化を支援する。 ・ 「教員の学内派遣制度」等の人事制度を活用し、I²CNER研究者の参加について便宜を図るため、関連学部と調整する。 ・ 国際業務の遂行上、英語を使用言語とする内部システムを向上する。 ・ 俸給システム（能力に応じた給与制度）を見直す。											

3. 拠点構想（日本語で記載）

ホスト機関	九州大学
ホスト機関長	※ 氏名、役職を記載すること。 久保 千春（九州大学総長）
拠点名	カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I ² CNER）
拠点長	ペトロス・ソフロニス（米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校教授）
拠点構想責任者 （2010年12月時点）	※ 氏名、所属、役職を記載すること（2010年12月時点）。 村上 敬宜（九州大学 理事・副学長）
拠点構想の概要	※ 拠点構想の全体概要について簡潔に記載すること。 <拠点構想> ○ 九州大学における国際的な活動の中心は、低炭素排出と優れたコストのエネルギーシステムの発展、およびエネルギー効率の改善に関する基礎研究を主導することにより、持続的で環境に優しい社会の創出に寄与することにある。2050年における温暖化ガス排出量を1990年基準から70～80%と大幅に削減することによって、カーボンニュートラル社会の実現に向けた公約を支える技術に関する基礎科学研究に研究活動の主眼を置いている。この科学技術の果敢な挑戦は、エネルギー変換と利用効率の改善、および燃料と電力分野の低炭素排出という、2点の原則を拠り所としている。2050年までに温暖化ガスを目標に叶う様に削減するための新たな利用効率改善と低炭素排出技術の可能な組み合わせ（シナリオ）は多数存在する。これら候補技術の開発進捗と実施時期次第で、将来シナリオも大きく左右される。I²CNERのエネルギーアナリシスチームは、研究チームと協働しながら、最も期待できる新技術の選択肢を活かせるシナリオを生み出している。I²CNERの研究活動は、これらのシナリオと密接に関連している。つまりシナリオ中の様々な有望な技術選択肢の開発と実施時期を考慮することにより、研究プロジェクトロードマップにおける短期、中期、長期のマイルストーンが策定されている。例えば、I²CNERが実現しようとしている一連の技術には、固体酸化物形燃料電池、高分子分離膜を用いた燃料電池、生物模倣やその他の高度な触媒のコンセプト、そして燃料としての水素の製造、貯蔵や活用が含まれている。また、CO₂の分離と貯留技術に関わる科学、また、付加価値のある化学物質製造のためのCO₂変換システムや電力再利用のための蓄電を支える科学の探索も含まれる。 ○ 国際的なエネルギーの需給構図を勘案すれば、今このような国際的研究プロジェクトを進めることは、この上なく好都合である。米国の人工光合成やエネルギー貯蔵の共同研究拠点（それぞれ、JCAPとJSESR）、米国エネルギー省の資金によるCO₂の地中隔離や光電子科学的な水素製造に関する科学と実用化を促進する研究活動などは、エネルギーの自給と持続性を目指す重要な科学技術的戦略である。実際、2014年4月に日本政府策定の第4次エネルギー基本計画において、例えば次世代発電、省エネルギー、エネルギー効率を高める分散エネルギーシステム、水素社会の実現、それに次世代の車など、多くの技術が描かれており、I²CNERの研究ロードマップもそれらに関わる基礎科学的課題に主眼を置いている。このように、I²CNERの基礎科学研究目標は米国と日本の機関相互

の共同研究の実施基盤として機能する。我々は、世界トップレベルの研究者らが共同研究し、協力し合い、知識を共有し、アイデアを交換し、さらには、科学的な課題とその社会的影響について議論し、意見交換するために集う永続的な場としてI²CNERを設立した。

○ 基礎科学的な視点からは、物質／岩石と、水素や酸素、二酸化炭素などのガスとの間の界面で生じる一連の現象の未解明な点が、I²CNERの研究領域全てに通じるテーマである。例えば、未解明の事象として次のようなものが挙げられる：i) 水素による機械的強度の劣化に耐える合金の設計や、望ましい水素添加／脱水素特性を有する軽量な車載用貯蔵媒体の設計を困難にしているところの、水素の物質吸着メカニズム、ii) 超高圧環境下における水素と二酸化炭素の特性と挙動、iii) 3位相の岩石／水／二酸化炭素の相互作用、および、地層貯留の安定性、iv) 照明下における光触媒安定性の最適組み合わせ解、および、水素製造のための太陽輻射の有効活用。これらの要約されたリストより、我々が着目している現象は、超長大、超長時間スケール、ナノメートルから何千キロメートルにも、ナノ秒から数百年に及ぶ現象を対象にしていることが容易く推察される。提唱する研究は、すべての時間と距離スケール、極小から地球規模に至るまで、つまり原子と分子から中～長スケールの結晶質材料、地層に至る領域に関連する課題を対象とする。これ等の科学現象は、様々な違った媒体や長大な時間や距離で起こるものではあるが、しばしば、似通っているプロセス（例えば吸着種、吸収、分離、拡散、反応や伝導）や類似の科学原理によって特徴付けられることがある。つまり、微細／極小／巨視的な時間と空間スケールにおいて起こる、化学、物理学、材料科学、力学、地球化学や生物模倣学的な現象に纏わる情報を深い洞察により統合することによって、原理・分野横断的な研究を進めるのが九州大学I²CNERにおけるアプローチである。

○ I²CNERはプロジェクト運営と管理においては、個々の研究プロジェクト領域における効率と実行可能性の観点から、さらには、日本のカーボンニュートラル・エネルギー社会実現に向けた大局的なプロジェクト目的の達成に向けた進捗度合いの観点から、研究活動状況とその成果について、定期的な評価と批評を行う。例えば、材料の疲労に関する機構的な理解の欠如や、CO₂貯蔵における気孔スケールのプロセスや大規模な貯蔵についての理解や制御などについて、我々の研究が如何に技術を発展させるか、また、如何にカーボンニュートラル・エネルギー社会実現における障壁の除去に効果があるかによって予測される研究進展を査定するという、厳格な取り組みを取り込んだ。最後に、I²CNERのプロジェクトは、その研究成果と科学文化が社会の様々な側面へ普及することに特に注力している。イリノイ大学の学問的専門知識を活用することにより、社会教育的な普及活動を組織的に実施することもあり得る。専門に特化したワークショップを通じて産業や政府の科学界の連携を促進するための国際交流を企画することによって得られた、過去4年間の経験ノウハウを礎にすることもできる。I²CNERの全体計画は、我々の研究が科学技術に強い影響を与え始めるに従い、カーボンニュートラル社会の福祉的利益に関する情報をあまねく社会へ伝えることに主眼が置かれている。これらの戦略は、科学発展に対する衆智を高めると同時に、我々科学者に必要なコミュニケーション技量を訓練するための道を開くものである。

○要約すれば、I²CNERの研究活動は、日本のカーボンニュートラル・エネルギーの発展過程の障壁除去することを強調しつつ、基礎科学的課題の研究を成し遂げて行く。

<研究体制>

研究体制としては、九州大学及び世界中の連携機関の著名な研究者を中心

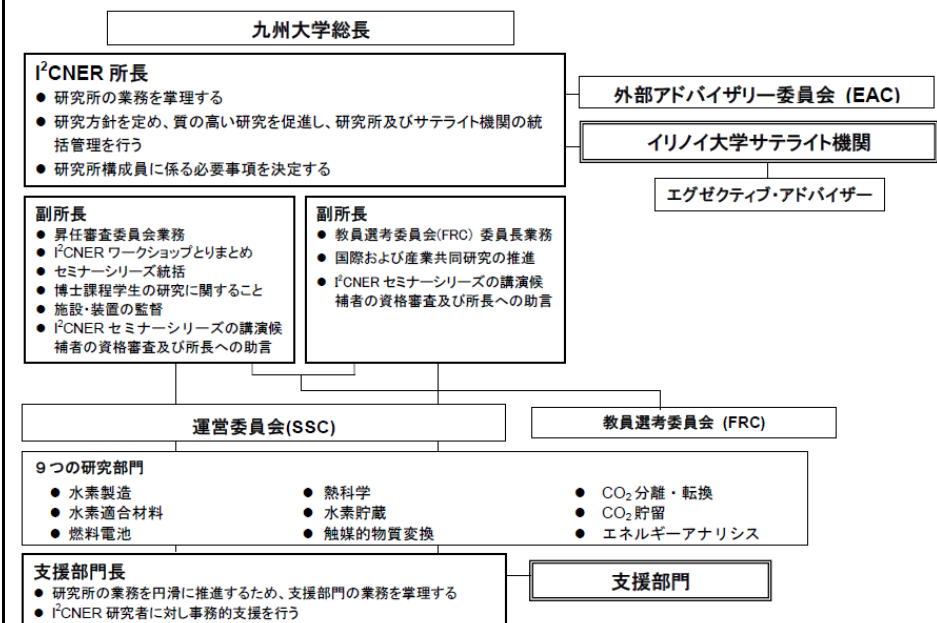
に組織され、化学、物理学、材料科学、機械学、地球科学、生物模倣学等の分野において、国内外で評価されているトップレベルの研究者からなる。イリノイ大学サテライトは、本研究体制の重要な構成要素であり、米国内での研究活動を広め管理する。

<運営>

本研究所の主目的の一つは、九州大学における研究運営の改革である。新しい研究運営は、ソフロニス所長の運営手法、学術的経験、研究業績等に基づいて行われる。

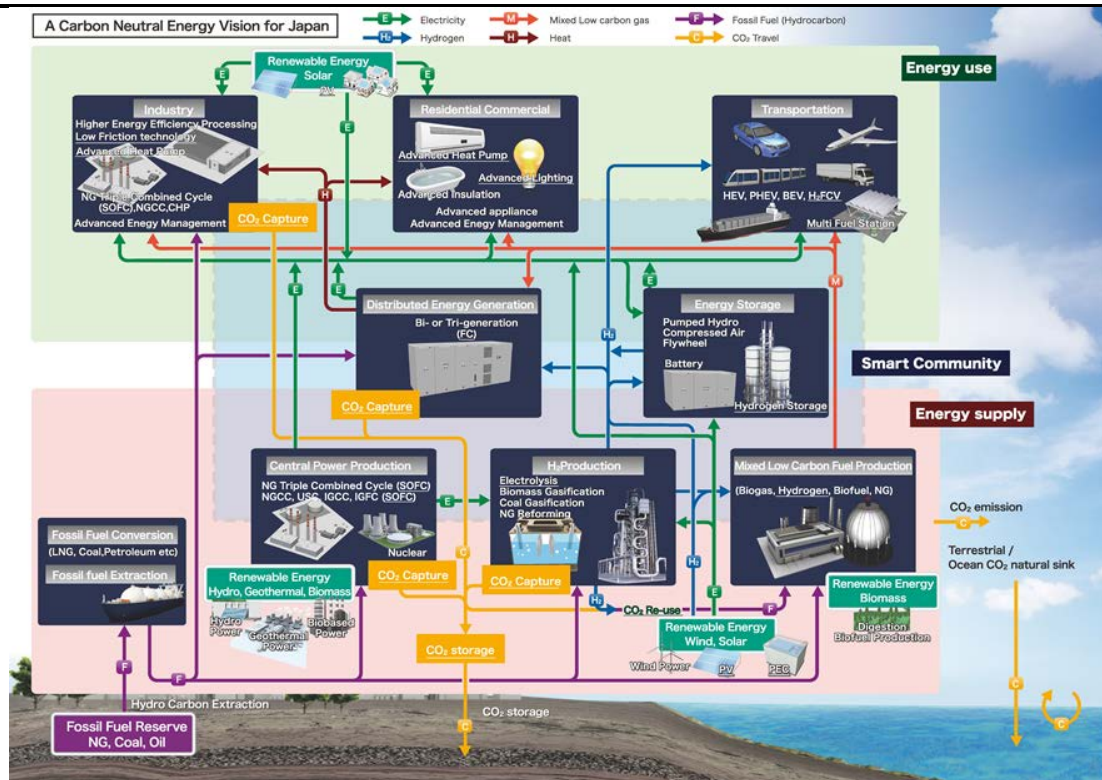
- 本研究所は、九州大学総長直轄の組織であり、所長は総長及び研究兼産業連携担当理事と直接的なつながりを持つ。所長は、研究活動の計画と実施、研究分野又は部門の構成・確立、毎年の現地視察時の意見に基づく研究部門の再編成、研究努力の再検討、ポスドク研究者と教員の採用、トップクラスの研究機関との国際共同研究や連携の構築、研究成果評価の運営及び予算執行に関する決定に全責任を負う。これらについて、所長は、自らが委員長を務め、所内の研究部門長及び所長が適任とする追加メンバーを含む者等(サイエンス・アドバイザー)から構成される運営委員会(Science Steering Committee)に諮問する。
- 研究所の重要な要素として、関連研究分野の国内外の主要研究者などから構成される外部アドバイザリー委員会(External Advisory Committee)があり、毎年又は所長が必要と判断すれば随時開催する。EACは、所長の指導力、マネジメント、各研究分野の研究の進捗状況、発案される研究計画などを含む研究所全体の評価を行い、報告・提案をまとめた報告書を所長に提供する。研究所活動の最終決定は所長が行う。
- 研究所のもうひとつの重要な常設委員会は、内部プログラム評価委員会(Internal Programs Review Committee)であり、研究所で行われている個別のプログラムの評価が必要な際に所長が招集する。IPRCのメンバー及び委員長は、所長が任命する。
- 2名の副所長が、所長を補佐する。石原教授は、主にワークショップのとりまとめ、セミナーシリーズの統括、施設・研究装置に関する事項等を担当し、高田教授は、教員選考、国際及び産学連携の推進、大学院生の研究に関する事項等を担当する。
- 上述のSSC及び副所長2名の役割は、厳密に諮問的なものであり、最終決定については所長が全責任を負う。
- 研究所の公用語は英語である。

I²CNER 組織図



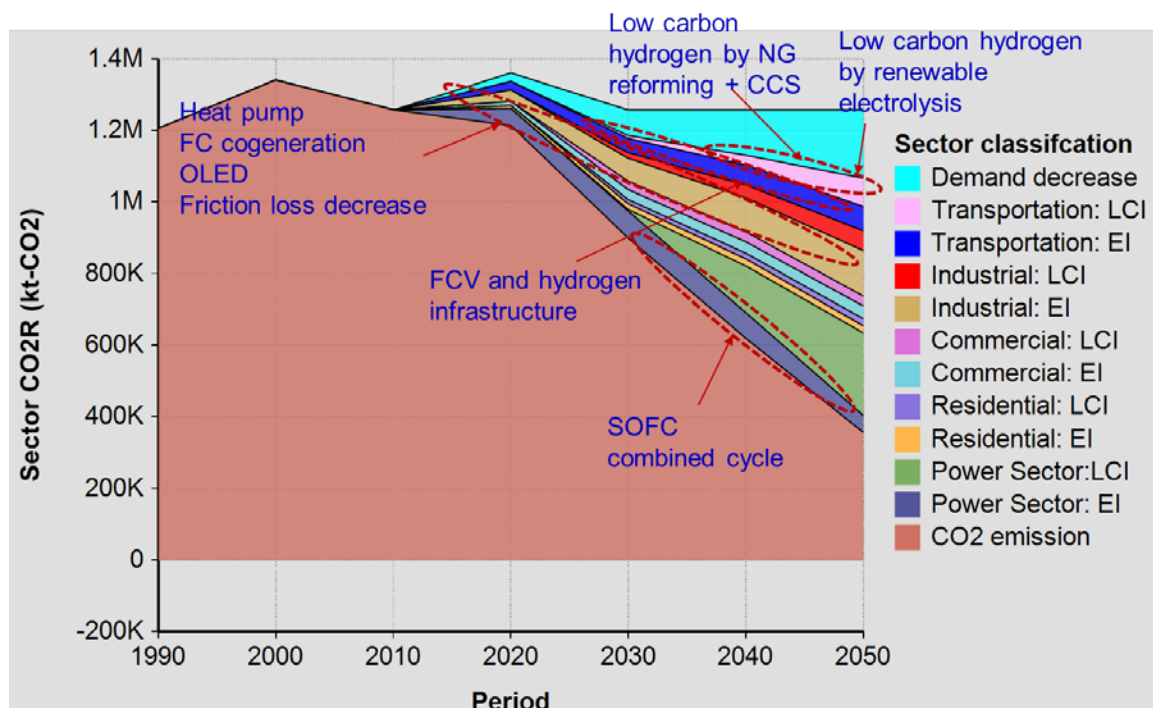
	<連携体制> ○ 研究所のミッションを遂行するため、国際的に評価されている研究機関、大学、国内外の研究所と協力関係を構築し、共同研究、人材交流、研究機関の相互訪問等を行う。 a) サテライト（米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校） ソフロニス所長は、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の教授であり、材料の力学的特性に対する水素の影響に関する分野で国際的に認知されている。サテライト教員は、全員がそれぞれの専門分野において国際的に評価されている著名な研究者であり、九州大学におけるI²CNERの研究を補完するために特に招聘された。両大学間の共同研究や人材交流を推進するため、イリノイ大学にサテライトを設置した。I²CNER関連の研究実施に加え、サテライトは、米国内外の大学・研究機関における重要な研究計画や優秀な教員を特定し、連携するための基盤としての役割も担う。ソフロニス所長は、サテライト長も兼ね、イリノイ大学工学部長に直接報告を行う。九州大学・イリノイ大学間の学生及び学術交流協定が整備されている。 b) 連携機関及び研究者 本研究所は、例えばカリフォルニア大学アーバイン校の国立燃料電池研究センター(NFCRC)、カリフォルニア大気資源委員会(CARB)、ノルウェー科学技術大学(NTNU)・産業科学技術研究所(SINTEF)及びドイツ研究センターヘルムホルツ協会のHelmholtz Zentrum Geesthacht(HZG)等、国際的に著名な機関の優秀な研究者との共同研究に従事している。さらに、I²CNER研究者は、MIT、マックス・プランク、インペリアル・カレッジ・ロンドン、オックスフォード大学等の優れた研究者と個別に共同研究を行っている。このようなパートナーシップや連携協力は、研究能力を活用した研究促進を目的とする施設訪問を含む。本研究所の連携機関は、I²CNER研究目標の達成度や研究努力の変更・打ち切りの状況に応じて、常に変化している。
	当初の構想との変更点： ○ エネルギーアナリシス研究部門(EAD)は、短期、中期、長期のタイムスケールを通してのカーボンニュートラルな社会に向けた研究所の展望とロードマップを継続的に見直し改定するために設立された。それにより、本研究所は、カーボンニュートラル・エネルギー社会を実現するにあたり、二酸化炭素の排出、効率、コスト、国の安全保障及びレジリエンス(回復力)に基づいた一次エネルギー資源とその供給量の制約に起因する障害に取り組む。EAD部門の目的は、i) カーボンニュートラル社会に向けたI²CNERロードマップと比較しI²CNER研究活動の関連性を評価すること、ii) I²CNERの研究が、現在及び今後の日本のエネルギー選択肢に精通したものであるよう努める、ことである。 ○ 本研究所の主要プログラムは、当初は水素とCO₂が中心であったが、時間の経過とEADの導入に伴い、ミッションステートメントを最新のものとし(以下記載)、それに取り組むことにより、カーボンニュートラル・エネルギー社会を実現し得ることが判明した。 ○ 九州大学の恒久的な部局への移行の一環として、平成25年4月1日付けでI²CNERに教授会が設置され、それにより、工学研究院所属の主任研究者9名のI²CNERへの派遣が促進された。

ミッションステートメント 及び/又は 拠点のアイデンティティー	※ WPI拠点としてのミッションステートメント及び/又は拠点のアイデンティティーを、明確かつ簡潔に記載すること。 I²CNERは、九州大学に拠点を置き、イリノイ大学アーバナシャンペーン校にサテライトを置く、日本と国際社会間のコラボレーションである。I²CNERは、低炭素排出、経済効果の高いエネルギーシステムの構築及びエネルギー効率の向上を目指す基礎研究を実施することにより、環境調和型で持続可能な社会の実現に貢献する。I²CNERの研究が実現を目指す数あるテクノロジーは、SOFC、高分子膜ベースの燃料電池、生体模倣やその他の新規触媒コンセプト、燃料としての水素の製造、貯蔵及び利用を含む。我々の研究はまた、CO₂回収・貯留技術及び付加価値のある化学製品又は再生可能ベースの電力蓄電のためのCO₂転換システム構築に関する基礎科学を探索する。さらに、共同・融合研究(fusion)によるイノベーションを促進する国際的な学術環境を構築することも、I²CNERのミッションである。
	(1) 対象分野 ※ 研究分野名を記載する。関連の深い分野のどのような融合領域であるかも明示。 ※ 対象分野として取り組む重要性（当該分野における国内外の研究開発動向、我が国の優位性等）について記載すること。 ※ 類似の分野を対象とする国内外の既存拠点があれば、列挙。 <u>研究分野：</u> カーボンニュートラル・エネルギー経済実現のための基礎科学 化学、物理学、材料科学、工学、地球科学、生体模倣が融合した学際科学 I²CNERでは、数学、計算科学、経済学、技術予測、生命科学といった分野を新たな研究分野とし追加することを構想中である。 <u>対象分野として取り組む重要性：</u> ○ 2011年に東北地方を襲った大地震、大津波、福島原発事故が招いた大惨事の数々は、日本のエネルギーシステムが抱える深刻な問題を明らかにした。CO₂排出の全くない、持続可能なエネルギー資源を開発し、カーボンニュートラル・エネルギー社会の実現に向けた安全で確かなCO₂回収・貯留システムを建設することは、きわめて必要性の高い取り組みである。 ○ 化石燃料資源の限界、エネルギーの安全保障、資本流出、不規則に変動する石油価格による経済の不安定といった問題を考慮すると、多種にわたるエネルギー資源の有効活用を可能にするような柔軟性の高いエネルギーシステムを建設することは、きわめて緊急性の高い取り組みである。 ○ 2009年の主要8カ国首脳会議（G8）では、2050年までに先進国全体で温室効果ガスの排出量を1990年と比較して80%削減するとの目標が発表された。I²CNERが掲げる低炭素社会の実現というビジョンは、2050年までに温室効果ガスの排出量を70%～80%削減するという長期目標に基づいて設定されている。この目標は、第一に、環境問題への懸念に関連した事項（地球温暖化のエネルギー供給面での緩和技術）であるが、また同時に、輸入化石燃料に依存する日本のエネルギーの安全保障への懸念に関連した事項でもある。新たなエネルギー技術の開発を通じてこの目標を達成していくために、私たちは経済的な効率性や安全性問題といった事柄についても深く検討している。I²CNERは、“3E+S”（Environment「環境」、Energy Security「エネルギーの安全保障」、Economy「経済」、and Safety「安全性」）をI²CNERの研究がとるべき基本的な視座として位置付けている。 ○ 下図は、低炭素社会におけるエネルギーの転換/運用を担うそれぞれのセクターの関係性を示している。各セクターを繋いでいるのは二次エネルギー（電力、水素、そしてバイオ燃料を用いた混合低炭素燃料）の流通経路である。化石燃料はCO₂回収・貯留システムを搭載したエネルギー転換施設及び工業施設へと供給される。回収されたCO₂はエネルギー担体として再利用することが可能である。



日本のエネルギー未来像：テクノロジー・オプションのパラメータ空間

- I²CNERの研究プログラムは、次のような二大原則に基づいている。①EI (Efficiency Increase)：エネルギー転換・運用の効率化 ②LCI (Lowering Carbon Intensity)：(将来的な技術の開発、導入へと結びつけるための) 燃料中及び電気中の炭素集約度[or炭素強度]の低下。
- EI (エネルギー転換・運用の効率化)は、エネルギー変換システム、最終使用システム、工業プロセスの研究を通じて行われている。EIは既存のシステムに適応されているとともに、既存のシステムを新たな技術に入れ替えることによって為されている。電力・燃料供給経路におけるLCI (炭素集約度[炭素強度]の低下)は再生可能やCO₂回収・貯留システム(CCS)を通じて行われている。LCI (炭素集約度[炭素強度]の低下)には新たな設備か新たなエネルギーシステム、もしくはその両方が必要であるようだ。2050年までの温室効果ガスの削減目標達成を目指した展開構想案、新たなEI技術、LCI技術の組み合わせ案は、多数考えられる。I²CNERの研究努力は、これらの展開構想案と密接に関わっており、I²CNERの研究計画表に記された短期的、中期的、長期的なマイルストーンはそれぞれ、私たちの展開構想の中で想定されている様々な新技術の開発・展開時期を考慮したうえで打ち立てられている。I²CNERの展開構想では、CO₂回収・貯留システム(CCS)と連動した再生可能の大規模な展開によって、発電及び輸送部門における炭素集約度の低下が実現され、様々なセクターにおけるエネルギー転換・運用の効率化が可能になることで、温室効果ガスの排出がおおよそ70%程度削減されるとされている。下図は、主要なEI技術を開発し、LCI技術とCO₂回収・貯留システムをバランスよく展開することによって、CO₂の排出量を1990年と比較して71%削減できるだろうとの予測を示している。



主要なEI技術の開発、LCI技術とCCSの調和のとれた展開が達成された際の
部門別CO₂（排出）削減量（1990年比）

- また、18件におよぶ特許申請やトヨタ自動車、日産自動車、ホンダ自動車、京セラ、三菱日立パワーシステム、JX日鉱日石エネルギー、日本エア・リキード、JFEスチールといった民間企業との共同研究の数々に見受けられるように、I²CNERはグリーンイノベーションの促進に取り組んでいる。TOKiエンジニアリングが開発した水素用の超高压メタルリングの例が示すように、技術移転は既に始まっている。
- 日本は、住宅用燃料電池、燃料電池自動車、水素ステーションというような技術の研究を牽引する再生可能/クリーンエネルギー先進国の一つである。九州大学には、これらの分野において、素晴らしい研究実績と最先端の研究施設がある。九州大学は、水素に関する基礎科学から燃料電池や水素ステーションの評価にいたる幅広い問題を取り扱う水素エネルギー研究活動により、国際的に認知されている。九州大学が持つこのような研究設備と研究実績が、I²CNERの国際的な研究努力のための非常に重要かつ有益な基盤を成している。炭素回収・貯留に関する研究は世界中で集中的に行われているが、CO₂移動の正確な予測が成される前のCO₂の大規模な移動における細孔単位流出プロセスの役割の理解といったような、言及されるべき多くの問題がある。I²CNERで、私たちは(i) CO₂が注入された際の孔隙の“動的”な性質を説明する液体/超臨界CO₂の排水及び吸水プロセス（降水など）の大規模な数値によるシミュレーションを実施し、(ii) 液体/超臨界CO₂の排水及び吸水プロセスにおける流出工程を世界で初めて数値で表すとともに、CO₂の移動と捕捉を引き起こす動力学過程を数値で表した。細孔単位モデルでは、そのような変遷過程を説明しきれないが、私たちはこれらの断続的な事象が捕捉されたCO₂を大幅に揺れ動かすことを見つける。
- アメリカ合衆国の対応型エネルギー・ハブのように、貯留や水素製造などといった特定のエネルギー領域を専門とするエネルギーセンターは世界中に多数存在している。しかしながら、I²CNERは広く包括的にエネルギー領域を研究対象としている。I²CNERは、生成から利用にいたる様々な種類のエネルギー問題を研究対象とし、経済性、効率性、安全性を十分に考慮しながら、CO₂排出の削減を目指している。この点において、I²CNERのようなエネルギーセンターは世界に類を見ない。

（2）研究達成目標

- ※ 実施期間終了時の研究達成目標を一般国民にも分かり易い形で明確に設定。その際、環境領域において、異分野の融合によりどのような研究を実施していくのか、その上で、どのような科学技術上の世界的な課題の簡潔に挑戦するのか、またその実現により、将来、どのような社会的インパクトが期待できるのか、をできるだけ分かり易く記載すること。
- ※ 上記目標を達成するための研究活動面の具体的計画を記載すること。

- 本研究所は、低炭素排出かつ低コストなエネルギーシステムの発達及びエネルギー運用効率の向上を目指した基礎研究を行っている。我々の研究努力は部門別に行われている。研究は、それぞれのプロジェクトの中で、短期、中期、長期的なマイルストーンと最終的な目標が設定された研究計画に沿って行われている。研究計画は、研究の進行に伴って随時更新され、エネルギーアナリシス部門が想定したエネルギーシナリオに沿いながら技術系部門との連携を通じて実現される。研究計画で設定された目標に達するために、化学、物理学、物質科学、工学、地球科学、生体模倣科学といった様々な分野を含んで研究を行っている。原子から地質系統、ナノ秒から数十年といったあらゆる尺度における、物質、水素、酸素、CO₂間の相互作用のインターフェイスで引き起こされる種の拡散といったような現象を詳細に研究するために。また、私たちは、カーボンニュートラル・エネルギー社会に移行することの利益を公表し、CO₂の地質学的な隔離に関する確かなデータを提供することによって、社会的議論に貢献していくことを目指している。下記は、各部門の研究目標の概略及びそれらに関する研究プランの詳細を示したものである。

- CO₂生成しない水素製造。水素製造のための太陽エネルギーの使用：①有機光起電力技術による高温電気分解、②光電気化学水分解。省エネルギー装置の開発：有機発光ダイオードと低摩擦ベアリング。
- 水素による消耗、破碎、磨耗、焼き付きを受ける材料のための予測能力モデルの開発（水素関連設備の設計や部品選択に革新をもたらすもの）。
- 固体高分子形燃料電池や固体酸化物形燃料電池のような、耐久性と発電効率が高く、生産コストの低い燃料電池の開発（発電、発熱におけるCO₂排出を劇的に削減するため）
- 熱物性値情報及び熱に関する科学と工学の裾野を広げること（カーボンニュートラル・エネルギー技術における材料の最も効率的な使用を可能にし、熱過程でのエネルギー効率を高めるため）。活性化した水素の運動性と安定した貯蔵及び水素運搬のための新たな伝導物質の研究と開発。
- 電力（燃料電池）、水素、太陽エネルギー資源に基づく炭化水素燃料のカーボンニュートラルな製造を可能にする、画期的で革新的な触媒と経路の開発（生体模倣科学に基づく）。燃料の酸化及び再生成のための新触媒、新たなカーボンニュートラル燃料や電力貯蔵とエネルギー分配に関するエネルギーサイクルを可能にする画期的で新触媒の開発。
- 日本の特徴的な地質学的構造に見られる、残留有効かつ、溶解性があり、鉱物性のCO₂捕捉を促進する重要な細孔単位プロセスの詳細な研究と特定。この理解を正確な残留層特性を実現する方法を生み出す方法への展開、安全で機能的なCO₂貯留を確実にすること。海底面地層中の注入された/漏れたCO₂を監視する効果的な方法を開発し、フィールドスケールでのCO₂の動きを特定すること。日本の特徴的な地質学的構造に適した、革新的なCCS（CO₂回収・貯留システム）を提案し、実現すること。
- 炭素排出、エネルギーの効率性、現在のそして近い将来におけるI²CNER及び他のエネルギープロセス、技術、インフラのコスト分析を供給すること（I²CNERと地球規模のエネルギー関係研究がカーボンニュートラル社会を目指していることを確実にするため）。I²CNER及び他のエネルギーシステム分析に基づいて、継続的に、研究機関のビジョンとカーボンニュートラル社会の実現へむけた研究計画を見直し、修正し続けること。

これらの目標を達成するための研究プラン

以下では、「短期」、「中期」、「長期」という言葉は、各部門の研究計画で設定されているマイルストーンに対応するタイムスケールを指す。

1) 水素製造（部門長：石原教授）

本部門の研究テーマはエネルギーの製造、転換及び貯蔵である。太陽光の電気変換によるエネルギー製造、液体水素燃料による貯蔵の実現、高効率固体照明の効率性向上によるエネルギー保護の実現を目指している。独自の観点、有機色素と無機半導体のインターフェイス構造の分析、材料合成実験、デバイスの製造及びテスト、理論に基づいた材料開発を目指した技術である。プロジェクトは広範囲にわたり、新しい無機・有機光触媒及び電極、有機発光ダイオードの新しい分子合成、光電気化学、光起電セル、電気化学及び電解による水還元材料など網羅している。補完的に、有機発光デバイスを開発し、高効率照明によりエネルギー消費の低減に貢献する。代表的な研究成果は以下のとおりである。

光触媒水分解

人工光合成、特に光触媒水分解はCO₂排出を行うことなく、革新的な水素製造を行う有望なア

ブローチである。現在の光触媒における重要な課題は2点あり、太陽放射の効果的利用には広すぎるバンドギャップを有するか、あるいは、不安定であることである。我々は、強力に光吸収を行う安定した新種の材料への先駆的アプローチを行っている。我々のアプローチは、異分野融合を基礎とする。つまり「金属酸化物」（濃縮物質物理コミュニティのプレイグラウンド材料）と酸化チタン（ TiO_2 ）（光触媒水分解に貢献するワークホース材料）のカップリングである。 SrRuO_3 のような相関金属酸化物は、金属の伝導性と半導体の光吸収性を併せ持っているため特殊である。これらふたつの材料のカップリング(図1a)により、相関金属酸化物における大きな光吸収、酸化物から TiO_2 へホットキャリアの効果的な電荷移動、及び化学反応に触媒作用を及ぼす TiO_2 の望ましい表面化学を示す[1]。他の相関金属酸化物、つまり TiO_2 システム(SrRuO_3 , LiNiO_3 , SrVO_3 , LaSrMnO_3 , LaSrCoO_3) も光触媒活動が劇的に向上することから、このアプローチの普遍性は明らかである[2]。本研究は、Project2（光触媒水分解）の短期マイルストーンである「1%以上のエネルギー変換効率達成」について取り組んだものである。

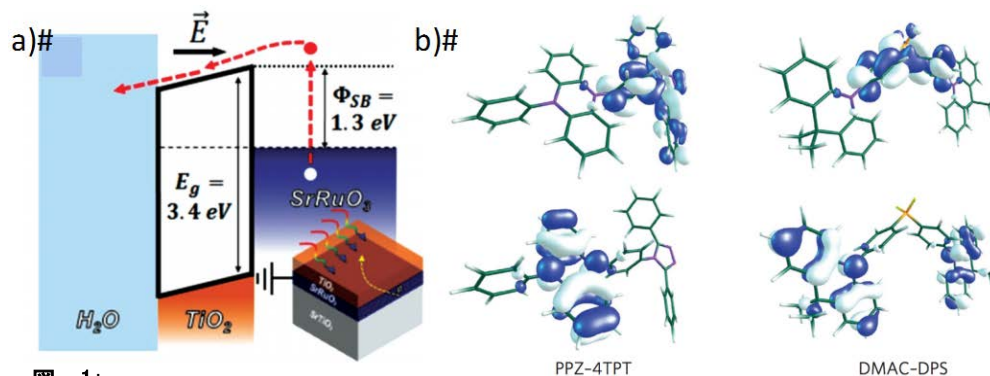


図. 1:

- a) SrRuO_3 から TiO_2 へ高速移動する光励起キャリアを可能にするホットキャリア注入 [1, 2].
- b) 高効率の青色OLED用熱活性化された遅延蛍光の第一原理モデリングで設計した分子錯体 [3, 4].

有機発光デバイス (OLED)

有機発光ダイオード (OLED) は、低電力な固体照明への有望なアプローチと考えられてきた。しかし、いまだ効率は低く、高コストである。最も一般的な蛍光発光材料は、25%の一重項励起子しか発光しないため発光能力が限られている。第2世代のリン光スキームでは、この限界を克服し、ほぼ100%の発光を達成したが、広範な利用には高価なレアメタルを使うことが障害となっている。そこで、本グループは、レアメタルを使わずに全励起子から発光できる青色OLEDのアプローチを提案した[3]。このアプローチは、安達主任研究者グループが開発した第3世代材料、熱活性型遅延蛍光 (TADF) に基づくものである[4]。これは、熱活性電荷移動により、最も低い一重項励起子と三重項励起子の熱エネルギーギャップにより、すべて蛍光分子へエネルギー移動させることが可能になった。量子力学的シミュレーションによって、いくつかの候補である原子を評価し、一重項と三重項状態が望ましい低いエネルギーギャップとなるものを示した(図1b)。この系は、現在よく使われている最高のリン光OLEDに相当する外部量子効率19.5%を示した。上記研究成果は、Project3-1 (OLED) 「100lm/W以上のエネルギー変換効率達成」という短期マイルストーンについて取り組んだものである。

今後の方向性

現在のところ、完全な水分解は、効率的な光吸収、効率的な電荷キャリア寿命、分離及び良好な反応化学等の制限により達成されていない。我々の将来の方向性は、以下のような重要な改善を目標とする。

- 分子スイッチ構想。今日まで我々の部門は、効率的に水素と酸素を生成するための構造制御酸化物半導体と有機半導体を組み合わせた二段階光励起Z-スキーム系を開発した。長期目標として、我々は、1方向のキャリア流れを可能にする分子スイッチの概念を導入し、これを進展させていく。また、新しい有機半導体と並行して、新たな酸窒化物を用いた有機化合物への高速電荷移動遷移を行う方法を開発した。提唱された研究で、我々は、完全な水分解と、

無機光触媒システムとヒドロゲナーゼのような酵素など新たに提案された組み合わせをとおり、水素の発生を調査する。

- **太陽電池/スチーム電解。**我々は、太陽電池と水蒸気電解の組み合わせをとおり、高効率の水素製造達成を短期目標としているので、有機半導体などの有機ペロブスカイトの化合物や水蒸気電解装置用電極としての安定した二重ペロブスカイトの利用に焦点を当てる。加えて、酸化物電極に関しては、 CH_4 のような有用物質に変換するための CO_2 と H_2O の共電解について研究する。
- **基礎研究。**我々は、新しい無機 - 有機半導体のバイオミメティック合成に関する次の研究を行う。材料界面での色素の制御、電荷移動プロセス、原子レベルでの太陽電池と電解セルの電極構造、光励起電荷の分離効率。最終的に、私たちの研究は、 CO_2 を排出することない水素製造技術の発展に貢献することだ。本研究は、分子化学、バイオミメティクス、生体材料、環境に優しい化学、表面化学の統合をとおり、酵素活性中心を使用した光触媒の新しいタイプの開発を目指す。(短長期)
- **省エネ。**照明はエネルギーの大きな消費源であるため、省エネデバイスも、この部門で扱っている。我々は、より大きなサイズと安定性を示す熱活性化遅延蛍光 (TADF) に基づく、新しい発光分子の設計に焦点を当てる。(短長期)

参考文献:

1. Lee, S., Apgar, B. A. and Martin, L. W. (2013), Strong visible-light absorption and hot-carrier injection in $\text{TiO}_2/\text{SrRuO}_3$ heterostructures, *Advanced Energy Materials*, 3 (8), 1084-1090.
2. Apgar, B. A., Lee, S., Schroeder, L.E. and Martin, L. W. (2013), Enhanced photoelectrochemical activity in All-oxide heterojunction devices based on correlated “metallic” oxides, *Advanced Materials*, 25 (43), 6201-6206.
3. Zhang, Q., Li, B., Huang, S., Nomura, H., Tanaka, H., and Adachi, C. (2014), Efficient blue organic light-emitting diodes employing thermally activated delayed fluorescence, *Nature Photonics*, 8 (4), 326-332.
4. Uoyama, H., Goushi, K., Shizu, K., Nomura, H. and Adachi, C. (2012), Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence, *Nature*, 492 (7428), 234-238.

2) 水素適合材料 (部門長: Somerday博士)

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

低酸素濃度の水素ガス中での疲労き裂進展に影響を与える要因の解明

水素の製造、貯蔵及び輸送用構造部材への適用が期待される低強度フェライト鋼は、水素ガスにより疲労き裂進展速度が劇的に加速される。このような疲労き裂進展の加速は、水素ガス中の微量酸素によって抑制されるという実験結果がある。しかし、このような抑制効果に及ぼす環境因子と力学的因子の影響については、これまで定量的に整理されていなかった。酸素濃度を制御した水素ガス中でのX52配管鋼の疲労き裂進展速度測定の実験を行った。本実験のアプローチは、従来の研究からの革新的な展開を意味している。すなわち、酸素濃度、負荷サイクル周波数、平均応力が重要な因子であることを見出し、これらを系統的に変化させた実験を行なった。その結果、世界で初めて水素助長疲労き裂進展に及ぼす酸素の影響について明確な傾向が解明され、これらのデータにより、水素助長疲労き裂進展が酸素によって抑制される物理メカニズムの仮説がたてられた[1]。この仮説に基づき、不活性環境での疲労き裂成長速度、酸素濃度、負荷サイクル周波数、平均応力から加速抑制効果を予測する解析モデルが開発された。このモデルは、微量の酸素を含む水素ガス中でのX52鋼のき裂進展開始にこれらの因子が及ぼす影響を正確に表現した。(図2) 要約すると、このモデルは、水素助長疲労き裂進展への酸素の役割を定量的に予測することができる唯一のモデルであ

る。

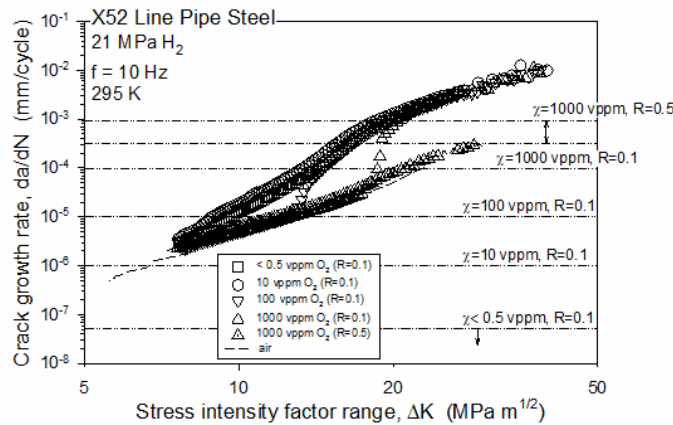


図2：き裂進展の水素助長開始点（図中の記号が測定値）は、酸素濃度（ χ ）と平均応力(R)の値から予測できる（図中破線）[1]

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

今後の方向性

- 構造用金属材料、特に高強度合金について、水素ガス中における疲労限度の物理学的解釈とその環境条件および材料特性との関係を明らかにする。（短長期）
- フェライト系およびオーステナイト系合金における水素起因の破壊モード遷移のメカニズムを、水素起因ミクロ構造変化の役割を考慮して明らかにする。この知見を微細構造スケールでの応力の役割を含めて、世界に先駆けて低強度鋼における水素助長疲労き裂進展の物理的解釈に活かす（短中期）。
- 低強度鋼の水素助長疲労き裂進展の予測モデルを構築し検証する。（中期）
- オーステナイト系合金の材料特性（例えば、合金組成）と水素の影響を受けた変形モードの関係を解明するために新たな材料試験法を開発し適用する。これらの実験データを用いて、結晶の滑りに基づいた材料挙動の理論的な構成式をたて検証する。（短期）。
- 800 MPaの降伏強度を有する耐水素、低コストオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、水素ガス中でのそれらの疲労限度を定量的に明らかにする。（長期）
- 定置式水素圧力容器用の材料損傷センサの感度の評価と改善を行う。水素助長疲労き裂進展予測モデルと材料損傷センサを組み合わせ、圧力容器の構造健全性監視システムを構築する。（短長期）
- コーティング材や高分子材料などの低摩擦材料のトライボフィルム形成に及ぼす環境の影響を明らかにする。（短期）
- 様々な環境下での転がり・滑り接触における表面での諸過程、水素侵入、構造変化、及びそれらの結果として生じるトライボ損傷における支配的因子を明らかにする。（短期）
- トライボ損傷やトライボフィルム形成に関する力学的及び化学的プロセスのモデルを開発する。（短期）

参考文献：

1. Somerday, B. P., Sofronis, P., Nibur, K. A., San Marchi, C. and Kirchheim, R. (2013), Elucidating the Variables Affecting Accelerated Fatigue Crack Growth of Steels in Hydrogen Gas with Low Oxygen Concentrations, *Acta Materialia*, 61 (16), 6153–6170.
2. Staykov, A., Yamabe, J. and Somerday, B. P. (2014), Effect of Hydrogen Gas Impurities on the Hydrogen Dissociation on Iron Surface, *International Journal of Quantum Chemistry*, 114 (10), 626–635

3) 燃料電池：（部門長：佐々木教授）

本部門の研究目的は、固体高分子形燃料電池（PEFC）及び固体酸化物形燃料電池（SOFC）などの、高耐久性、高効率、低コストな燃料電池を開発することである。PEFCについては、a) 高耐久性触媒担体を用いた高温作動形（ $> 100^{\circ}\text{C}$ ）のPEFCの開発と、b) カーボンナノチューブやグラフェンなどの材料と組み合わせたPBIベースのイオノマーについて高温での電解質としての機能について評価を行う。SOFCについては、加圧形のSOFCにおける劣化メカニズムや金属酸化物に関する基本的な表面/界面触媒プロセスを明らかにする事で多様な燃料を用いる事が可能な定置型発電器や大型発電設備用への応用を目指す。特にガス化燃料電池複合発電（IGFC）、天然ガストリプルコンバインドサイクルへの適用に向け研究を進める。研究成果は次のとおりである。

代替触媒

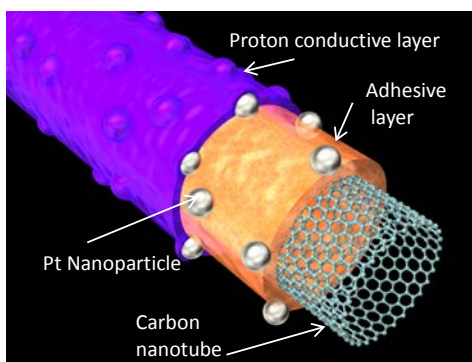


図3：構造上の欠陥を有さないカーボンナノチューブを用いた燃料電池電極触媒で、従来のカーボンブラックを用いた電極触媒より100倍以上高い耐久力を示す[10]。触媒はボトムアップタイプのナノ組織化法で作製された。

非常に高い耐久性（単一セルテスト： $> 400,000$ サイクル。日本の自動車メーカーが設定したサイクル試験用プロトコルを用いた）を示し、無加湿下 120°C で高い電流密度を示す固体高分子形燃料電池（PEFC）を新たに開発した（図3）。この成果は、現時点で最高水準にある高温動作形のPEFCよりも少なくとも5倍性能が高い。この劇的な耐久性の向上は中嶋主任研究者のグループが開発したポリベンズイミダゾール（PBI）をベースにした電解質膜を最適化できたために達成できた[1-7]。今回の高い耐久性を示す高温形PEFCの開発により、従来のナフィオンを用いた低温作動形PEFCからPBIを用いた高温作動形PEFCへのシフトを一層加速させると考えられる。PEFCの高温作動化が実現することで、低温で発電するナフィオンを用いたPEFCより発電効率が向上し、白金への一酸化炭素の被毒を低減できるだろう。さらに、高温作動形PEFCは高純度の水素を必要としないため、大幅な被毒の削減も期待される。これらの結果は、最近の触媒の開発[8]と組み合わせることで、NEDOロードマップに記載されているようにPEFC開発に付随する三つの主要な課題、耐久性、加湿、及び高温動作を解決することができる。これらの研究結果により、 $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$ での高温で動作、高い触媒活性、被毒の低減が達成可能な、低コスト、高耐久性の燃料電池の実現が期待される。

SOFC作動時の化学膨張の原因解明と化学膨張を抑制した新規SOFC用材料の開発

低温で動作させるためのSOFC用電極材料では、非化学量論的な組成変化による拡張（化学膨張）が運転中に大きなひずみと応力を誘引するため、結果として機械的な破損の原因となる。Tuller主任研究者、その他研究員のグループは、カチオンと酸素空孔がこの拡張に関して重要な役割を持つことを発見した[9]。Kilner主任研究者の知見を得て、カチオン種を置き換えることで化学膨張係数を操作できることを発見した[10]。この理論は、酸化セリウム中に同じ価数のジルコニアに置換することで実験的に実証した。化学膨張は $\text{Zr}_{0.5}\text{Ce}_{0.5}\text{O}_{2-\delta}$ の密度汎関数理論（DFT）計算によるシミュレーションと実験的な結果から導いた[11]。ジルコニアへ置換を行う事で、セリアのみで観察された化学膨張より化学膨張係数が小さくなることが明らかとなった。これらの化学膨張係数の減少は、材料内の酸素空孔近傍での格子サイズの収縮と関連している。このグループによる最近の研究から、還元されたカチオンの電荷の局在化が化学膨張低減に重要な役割を果たすことも明らかにした[12]。この発見は、SOFC材料の化学膨張の低減に大きな影響を及ぼすと考えられ、SOFCの耐久性の向上をもたらす。

今後の方向性

- 代替材料の開発を進めることで、高効率、高耐久性を有する低コストで作製できる高温形（ $> 100^{\circ}\text{C}$ ）燃料電池車用PEFC（HT-PEFC）の開発と機能向上を行う。HT-PEFCは、燃料利用効率の

- 向上と CO 被毒を低減に大きなメリットを持つ。(中長期)
- 高温形の膜/電極接合体(MEA)の開発。(短期)
- グラフェン、カーボンナノチューブ、メソポーラスカーボン及び SnO₂ を用いた高温動作のための高耐久性触媒担体の開発。(中期)
- 高温動作に最適化された Pt フリー触媒の開発。(中期)
- 燃料電池に関連する高温作動形の触媒に関するプロトンと電子の相互作用の解明
- ポリベンゾイミダゾール (PBI) と電荷移動錯体ハイブリッドフィルムに基づく高温電解質の開発。(短期)
- 周囲作用に対し、長期に化学的耐久性の有る SOFC を実現するために、SOFC の劣化メカニズムおよび金属酸化物の基本的な表面/界面触媒プロセスの理解。(中長期)
- すべての主要な劣化メカニズムを理解した、10 年のセル耐久性の達成。(中期)
- より高い活性(電極)と燃料利用率を目的とした先進的電極の開発。(中長期)
- 60%LHV(総合効率 90%) のより高システム効率を目指した長期耐久性の実現。(長期)

参考文献:

1. Fujigaya, T. and Nakashima, N. (2013), Fuel Cell Electrocatalyst Using Polybenzimidazole-Modified Carbon Nanotubes As Support Materials, *Advanced Materials*, 25 (12), 1666-1681.
2. Fujigaya, T., Okamoto, M., Matsumoto, K., Kaneko, K. and Nakashima, N. (2013), Interfacial engineering of platinum catalyst for fuel cells: Methanol oxidation is dramatically improved by polymer coating on a platinum catalyst, *ChemCatChem*, 5 (7), 1701-1704.
3. Berber, M. R., Fujigaya, T. and Nakashima, N. (2014), High-Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cell Using Poly(vinylphosphonic acid) as an Electrolyte Shows a Remarkable Durability, *ChemCatChem*, 6 (2), 567-571.
4. Fujigaya, T., Hirata, S. and Nakashima, N. (2014), A Highly-Durable Fuel Cell Electrocatalyst Based on Polybenzimidazole-coated Stacked Graphene, *Journal of Materials Chemistry A*, 2 (11), 3888-3893.
5. Fujigaya, T., Kim, C., Matsumoto, K. and Nakashima, N. (2014), Palladium-based Anion-exchange Membrane Fuel Cell using KOH-doped Polybenzimidazole as the Electrolyte, *ChemPlusChem*, 79 (3), 400-405.
6. Berber, M. R., Fujigaya, T., Sasaki, K. and Nakashima, N. (2013), Remarkably Durable High Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cell Based on Poly(vinylphosphonic acid)-doped Polybenzimidazole, *Scientific Reports*, 3, 1764.
7. Fujigaya, T., Kim, C., Matsumoto, K. and Nakashima, N. (2013), Effective Anchoring of Pt-Nanoparticles onto Sulfonated Polyelectrolyte-Wrapped Carbon Nanotubes for Use as a Fuel Cell Electrocatalyst, *Polymer Journal*, 45 (3), 326-330.
8. Liu, J., Takeshi, D., Orejon, D., Sasaki, K. and Lyth, S. M. (2014), Defective Nitrogen-Doped Graphene Foam: A Metal-Free, Non-Precious Electrocatalyst for the Oxygen Reduction Reaction in Acid, *Journal of the Electrochemical Society*, 161 (4), F544-F550.
9. Marrocchelli, D., Bishop, S. R., Tuller, H. L. and Yildiz, B. (2012), Understanding chemical expansion in non-stoichiometric oxides: ceria and zirconia case studies, *Advanced Functional Materials*, 22 (9), 1958-1965.
10. Marrocchelli, D., Bishop, S. R. and Kilner J. A. (2013), Chemical expansion and its dependence on the host cation radius, *Journal of Materials Chemistry A*, 1 (26), 7673-7680.
11. Bishop, S. R., Marrocchelli, D., Fang, W., Amezawa, K., Yashiro, K. and Watson, G. W. (2013), Reducing the chemical expansion coefficient in ceria by addition of zirconia, *Energy and Environmental Science*, 6 (4), 1142-1146.
12. Bishop, S. R., Marrocchelli, D., Chatzichristodoulou, C., Perry, N. H., Mogensen, M. B., Tuller, H. L. and Wachsman, E. D. (2014), Chemical Expansion: Implications for Electrochemical Energy Storage and Conversion Devices, *Annual Review of Materials Research*, 44, 205-239.

4) 熱科学部門（部門長：高田教授）

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

水素の透過現象による真空の生成：水素純度分析

水素の熱物性は、燃料電池自動車の水素燃料充填への応用や車載型高圧水素タンク等、様々な水素エネルギーシステムにおいて実用上な重要である。これら水素システムにおいては、安全に水素を貯蔵するために高いレベルの気密性が要求される。しかし水素は、特に高温において容器壁から簡単に漏洩する性質を持つため、その透過率は容器の設計および水素の材料壁からの漏洩量の予測におけるカギとなる要因である。主任研究者の高田教授グループ[1]は、ステンレスSUS316Lおよびインコネル625をコイル状の管にした容器内部の圧力を調べることで水素の透過率を測定するための簡単な装置を開発した（図4上）。同グループは、容器を300から500℃で加熱することにより、内部の圧力は低下し、最終的には真空状態になることを発見した（図4下）。また、インコネル625の場合は、容器を500℃で5時間加熱後、その現象が起こることを発見した。

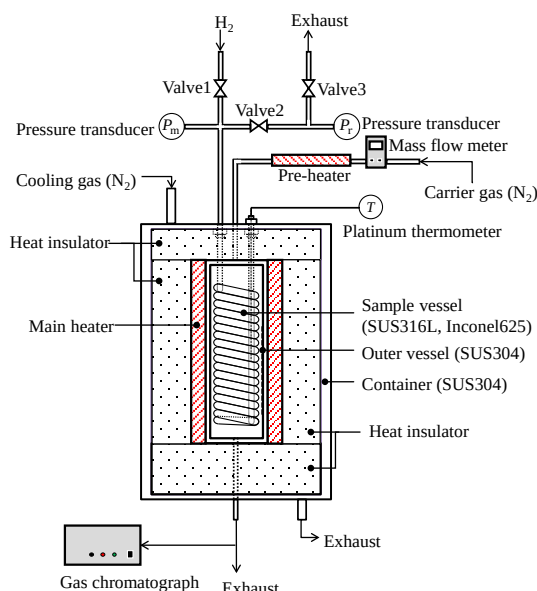
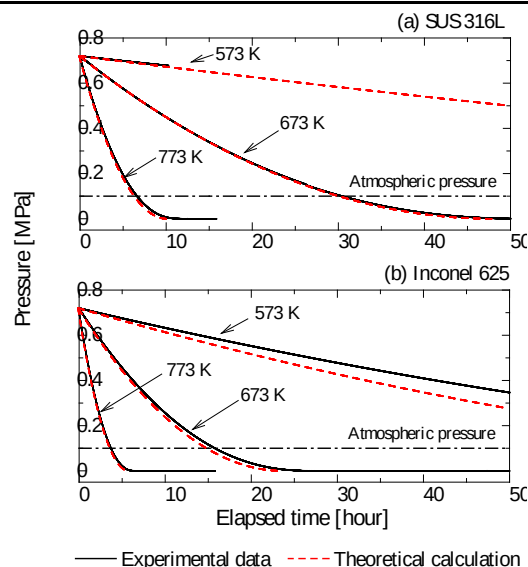


図4.（上）水素の透過率を測定する装置、（下）水素容器内の圧力の変化 (a) SUS316Lの場合、(b) インコネル625の場合



水素は、圧力の低下を伴う金属壁透過現象は知られているが、この研究では、内部圧力がほぼ真空状態に達することを初めて示した。この現象は、水素の透過は容器内外の水素の分圧のルートの差に比例するという事実により説明できる。大気中の水素の分圧は非常に小さいことから、容器内部の分圧（正確には、不純物の分圧）はほぼゼロに低下する。この方法は水素純度の評価および水素純度計設計に利用可能である。

[1] N. Sakoda, R. Kumagai, R. Ishida, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata, "Vacuum generation by hydrogen permeation to atmosphere through austenitic and nickel-base alloy vessel walls at temperatures from 573 K to 773 K", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 39, pp.11316–11320, 2014 July

今後の方向性

- 過熱度 2K 以下の沸騰開始点、および銅表面より 2.5 倍高い限界熱流束を持つ沸騰伝熱面の開発。気液相変化における濡れ性の影響の解明。この技術の高性能装置冷却への応用（短期）。
- サーモフレクタンス法による沸騰および蒸発プロセスにおける薄液膜の熱移動特性の測定（中期）。
- 気液相変化におけるマルチスケール伝熱の解明（短長期）。
- 活性炭の吸脱着プロセスの解明に向けた、活性炭に対する自然または低 GWP（地球温暖化係数）冷媒に関する吸着等温線および速度データの蓄積（短期）。
- 吸着熱交換器用熱物質移動（HMT）促進技術の開発。この技術の排熱駆動型空調及び冷凍システム開発への応用（長期）。
- 高圧下での PVT、粘度、透過性等水素の物性の測定。測定データは水素の熱物性データベース開発に使用（短期）。
- 新規冷媒用熱物性の測定及びそのデータベースの開発。これを、低 GWP 冷媒を用いた空調および冷凍システムの設計最適化に応用（短長期）。
- 炭素系吸着剤の吸着現象の原子レベルでの解明および吸着速度促進技術の確立（中期）。
- 排熱駆動型熱ポンプおよび冷凍システム実現に向けた活性炭系複合吸着剤を用いた高速吸脱着熱交換器の開発（中長期）。

5) 水素貯蔵（部門長：秋葉教授）

本部門では、水素のモバイル型及び定置型貯蔵や水素輸送のための新しいキャリア材料を開発することを目的としている。モバイル水素貯蔵では、貯蔵材料を用いた貯蔵システムにおいて、水素燃料電池車に要求される項目である体積、水素重量パーセント、コスト、高速充填放出、そして油井から自動車までの高いエネルギー総合効率での耐久性を達成することが求められ

る。水素貯蔵材料を用いた水素配送システムでは、水素を大量輸送可能なコスト効率の良いトラック輸送に焦点をあてて研究を進めている。水素貯蔵材料を用いた定置型水素貯蔵は、既存の圧縮ガス水素貯蔵よりもコスト効率がよく、エネルギー効率がよいものであるか、または材料の特性を活かした独自の水素貯蔵基準を満たすものでなければならない。研究成果は以下のとおりである。

燃料電池車搭載と定置貯蔵を目指した水素貯蔵材料、及び高圧ねじり加工（HPT）を利用する水素貯蔵への新しい道すじ

V-Ti基BCC構造合金は、車両搭載用材料の最も有望な候補のひとつである。本部門での研究は、二つの主な課題、重量容量及びサイクル寿命の解決に焦点を置いている。重量容量の課題は、ミクロ構造の変化及び水素発生サイクルで導入される格子欠陥から生じると考えられている。本部門ではTEMを使ってミクロ構造に与えるTi/V比の影響及びTi-V二元BCCの水素化/脱水素化特性を解明した〔1〕。Tiの増加に伴い、有効水素容量は減少し、双晶境界の密度は増加した。これは、水素化によって形成された双晶境界が水素トラップとして働くためである。そのため、Vの増加に伴う水素化物生成エンタルピーの増加と相関があることが判明した水素吸蔵合金では水素の放出抵抗が増加した。Mg(BH₄)_nのようなメタルボロハイドライドは、10 wt %を越える水素容量を持つが、反応速度と水素放出温度が、現在、主要な課題となっている。このシステムの熱力学的、反応動力学的特性を改善するため、新しい無溶媒合成プロセスを開発した〔2〕。これは、様々な脱水素化反応の中間体（e.g. [B₃H₈]⁻, [B₅H₉]²⁻）の合成に適用でき、メタルボロハイドライドの脱水素反応および再水素吸蔵メカニズムの解明にとって大変重要である。

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

（図5）〔3〕さらに、TiとFeは容易に酸化するにもかかわらず、水素化/脱水素化のサイクルを何ヶ月も繰り返した後大気中に置かれたTiFeでは、活性化処理なく水素と容易に反応した。HPT加工によって形成されたFeリッチ相の島状析出物は、水素分離の触媒として考えられる。また微小き裂及びナノ結晶粒界は水素の拡散経路となり、恐らく転位は水素化物が形成部位として寄与しているものと考えられる〔9〕。

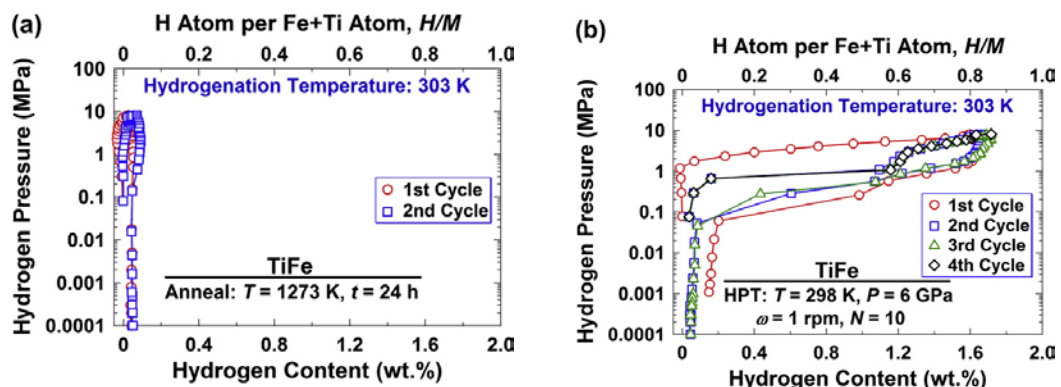


図5：(a) 高圧ねじり加工前の水素吸蔵 (b) 加工後の水素吸蔵

今後の方向性

- 分子化学、表面科学、固体力学、固体物理学、材料科学に渡る広範な学問分野に基づいて、Ti基および窒化物系材料のモバイル型貯蔵への応用、またMg基および無機水素化物（ボロハイドライド）の定置型貯蔵への応用に向けた研究を行う。
- 短期的（2015-2020）には、Ti基の水素貯蔵合金の有効水素貯蔵容量と寿命の改善に取り組む。

窒化物系材料用では複合材料系材料を探索し候補となるシステムを絞り込む。またMg基の水素貯蔵材料開発に向けては、短期的にはナノテクノロジーに基づき反応速度とサイクル特性を改善する。ポロハイドライド材料では、反応中間体を特定し、中間体の純相を合成する。モバイル型水素貯蔵システムの開発短期的マイルストーンは、5kgの水素を貯蔵する場合においてタンク体積178L以下、重量密度約5 wt. %、費用50万円以下である。また、モバイル型貯蔵システムに関する中期目標（2021-2030）は、タンク体積150L以下でコストが20万円以下である。中期的にはこれらの材料の車載型への応用は、燃料電池自動車の大規模生産と時を同じくして開始されると予想している。長期的（2031-2050）には、プロジェクトの最終目標を、タンク体積100L以下、重量密度7.5 wt. %以上、コスト10万円以下のフレキシブルなタンクのデザインを可能とする水素貯蔵システムの開発である（ただし、これらすべての条件を同時にクリアする必要はない）。

- 中期的には、水素吸蔵量、熱力学的特性、熱伝導率を強化・最適化させたMg基材料を開発すると共に、熱力学的に実用化が可能な最適ポロハイドライドを絞り込み100°Cかつ10 MPa以下で10 wt%以上の水素吸蔵量を持つ材料を開発する。長期的には、水素吸蔵量7 wt%以上、1万回以上のサイクル後も90%以上の吸蔵量を有するサイクル安定性、また低コストを含むその他の適切な性能を持つMg基水素貯蔵材料を開発する。開発したポロハイドライドは定置型貯蔵に利用する。最終目標は、これらの開発した材料を出力変動する再生可能エネルギーの貯蔵に実用化することにある。
- また、車載型および定置型への応用を目指した高圧ねじり加工技術にも研究の目を向ける。短中期的には、反応速度が改善され耐不純物特性が向上したTiFe基水素貯蔵合金を対象に、また低温車載型水素貯蔵用の適切な特徴を備えたMg基の水素貯蔵合金を対象に高圧ねじり加工技術を開発する。中期的には、材料の大量生産を可能にする高圧ねじり加工プロセスの拡大に挑戦する。また、長期的には定置型貯蔵に応用する高圧ねじり加工処理済みTiFe基材料、および車載型貯蔵に応用するMg基合金の商品化を開始する。究極の目標は、定置型および車載型に応用可能な高圧ねじり加工されたTiFeおよびMg基を用いた水素貯蔵材料への安全な利用である。

参考文献：

1. Matsuda, J. and Akiba, E. (2013), Lattice defects in V-Ti BCC alloys before and after hydrogenation, *Journal of Alloys and Compounds*, 581, 369-372.
2. He, L., Li, H.-W., Hwang, S.-J. and Akiba, E. (2014), Facile Solvent-Free Synthesis of Anhydrous Alkali Metal Dodecaborate $M_2B_{12}H_{12}$ ($M = Li, Na, K$), *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (12), 6084-6089.
3. Edalati, K., Matsuda, J., Iwaoka, H., Toh, S., Akiba, E. and Horita, Z. (2013), High-pressure torsion of TiFe intermetallics for activation of hydrogen storage at room temperature with heterogeneous nanostructure, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (11), 4622-4627.
4. Edalati, K., Matsuda, J., Arita, M., Daio, T., Akiba, E. and Horita, Z. (2013), Mechanism of activation of TiFe intermetallics for hydrogen storage by severe plastic deformation using high-pressure torsion, *Applied Physics Letters*, 103 (14), 143902.

6) 触媒的物質変換（部門長：小江教授）

本部門は、基礎科学と工学の両側面に基づく「新しい触媒」を開発し、革新的なカーボンニュートラル技術の創出を目的としている。主たる研究課題は、「太陽エネルギーと省エネルギー」に関連する触媒開発で、エネルギー、電力、工業生産などの過程における格段のエネルギー効率の向上とCO₂排出の削減に著しく寄与するものである。当部門の研究プロジェクトでは、(i)天然の酵素機能に基づくH₂、CO₂、H₂Oの活性化に向けたバイオミメティクス触媒開発、(ii)カーボンニュートラル発電サイクルの実現に向けた材料開発に取り組んでいる。注目すべき研究成果は以下のとおりである。

白金電極を超える水素酵素「S-77」電極の開発に成功
 酵素燃料電池触媒の開発は、価値のある研究テーマであるが、特に興味深いのはその驚異的な性能にある。この論文では、微生物S77株から精製したヒドロゲナーゼS-77 ([NiFe]S77) 酵素による水素酸化電極について報告している[1]。この電極は、水素の半電池において50mVの時、白金に比べ637倍（ヒドロゲナーゼ/白金1mg当たり）の質量活性を持っている（図6）。ヒドロゲナーゼS-77電極は空气中で安定であり、また、白金と違い酸化炭素による被毒後も活性が100%回復する。ヒドロゲナーゼS-77をアノード極に白金をカソード極とした燃料電池系で、ヒドロゲナーゼS-77は水素酸化反応において白金よりも高い電力密度を示した。

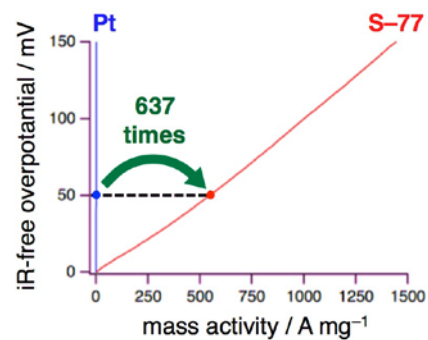


図6：PEFCにおけるヒドロゲナーゼS-77と白金による水素酸化における質量活性の比較

水素を酸化する[NiFe]ヒドロゲナーゼの活性部位を模倣した初めての人工酵素

化学者は、より単純な構造の化合物で酵素の水素活性化を模倣できないか長年追求してきた。小江主任研究者のグループは、[NiFe]水素可逆的酸化還元酵素の機能を持つ[NiFe]型モデルの創製を報告した（図7）。この錯体は、水素をヘテロリティックに活性化し、電子移動あるいは水素化反応によって基質を還元するヒドリド錯体を形成する[3]。ヒドリド配位子は主にFeと結合する。配位子のヒドリドとしての性質は強酸との反応によってH₂が遊離することで明らかにした。

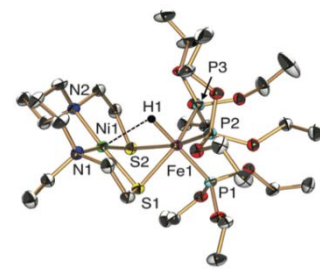


図7：ヒドロゲナーゼ酵素を模倣した機能的NiFeモデル

この生物学的かつ合成触媒による結果は、水素燃料電池技術の進歩を加速し、非貴金属触媒による水素活性化の過程を明らかにし、低コストな水素燃料電池創製への道を開いた[1-4]。これら2つの画期的な研究は、部門ロードマップ中の短期マイルストーン「新しい生体触媒およびバイオミメティック触媒の開発」に関するものである。

アルカリ媒体においてエチレングリコールをシュウ酸に選択的に酸化する方法を用いた、Fe族ナノ合金触媒に基づく二酸化炭素を排出しない発電

二酸化炭素の排出を制限するためには、既存システムに替わる再生可能なエネルギーサイクルシステムが必要となる。我々は、直接エチレングリコール燃料電池（AFC）を用いた発電に成功した。これは、エチレングリコールの酸化還元能力を備えたFe-Co-Ni合金をアノード触媒として使用しており、貴金属を全く必要としないシステムとなっている（図8）。また、Fe-Co-Ni触媒は二酸化炭素を発生させることなくエチレングリコールからシュウ酸を作り出す高い選択性を示した[5]。

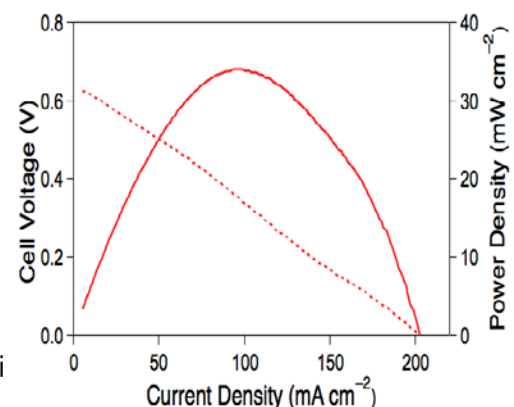


図8：FeCoNi/Cを用いた直接エチレングリコールアルカリ形燃料電池の性能

今後の方向性

- 研究目標達成に向けた方向性として、小江教授は生物学的システムに関する研究を重ね、その特性を解明した。このことは、バイオインスパイアード触媒の設計および合成においてとても重要である。化学と生化学を融合した新技術は、二酸化炭素と太陽光エネルギーから燃料（水素、アルコール、ギ酸等）を作り出す可能性を秘めている。今後は、人工光合成研究と結びつけた開発に発展させていく。
- これと並行して、Rauchfuss教授のグループは、上記の方法とは別の方法でデザインし、新規の補助因子に着目したバイオミメティック触媒に関する同様の研究を実施した。小江、Rauchfuss両グループの基礎研究は本質的に興味深いものであるが、部門ロードマップに記述

されているとおり、新規触媒の開発という意味において、独特で大きな価値がある。これら2つのグループの研究により、I²CNERはバイオミメティック水素活性メカニズムの解明において世界を牽引していく。

- 山内准教授のグループは、「カーボンニュートラルエネルギーサイクルの実現に向けたナノ合金触媒の開発」に焦点を当てる。
- 将来的な研究の方向性を以下に要約する。

天然の酵素を模倣した水素、二酸化炭素、水活性のための新規バイオミメティック触媒の開発

- 水素活性：新規ヒドロゲナーゼの単離とそのモデル錯体（短期）
- 二酸化炭素変換：ギ酸デヒドロゲナーゼの単離とそのモデル錯体（短期）
- 水分解反応：光化学系IIの単離とそのモデル光化学系II（短期）
- 実用的な水素触媒とヒドロゲナーゼの結晶構造（中期）
- 実用的な二酸化炭素触媒とギ酸デヒドロゲナーゼの結晶構造（中期）
- 人工光合成と光化学系IIの構造解析（中期）
- 水素触媒：低コストで高性能なものの実用化（長期）
- 二酸化炭素触媒：低コストで高性能なものの実用化（長期）
- 人工光合成：低コストで高性能なものの実用化（長期）

二酸化炭素を排出しない発電サイクルの実現に向けた材料の開発

- 非白金触媒：50 mW cm⁻²（短期）
- 電気化学的還元による燃料再生：1%（短期）
- 高温固体アルカリ形電解質：120° C（短期）
- 固体アルカリ電解質：10⁻³ S cm⁻¹（中期）
- 発電：500 mW cm⁻²（中期）
- 電気化学的還元による燃料再生：80%（長期）
- 空気露呈耐性の高いアルカリ電解質形燃料電池：空気中での作動（長期）
- 二酸化炭素を排出しない発電サイクル（長期）

参考文献：

1. Matsumoto, T., Eguchi, S., Nakai, H., Hibino T., Yoon, K.-S. and Ogo, S. (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.
2. Nguyen, N.T., Mori, Y., Matsumoto, T., Yatabe, T., Kabe, R., Nakai, H., Yoon, K.-S. and Ogo, S. (2014) A [NiFe]hydrogenase model that catalyses the release of hydrogen from formic acid, *Chem. Commun.* 50(87), 13385-13387.
3. Ogo, S., Ichikawa, K., Kishima, T., Matsumoto, T., Nakai, H., Kusaka, K. and Ohhara, T. (2013), A Functional [NiFe]Hydrogenase Mimic That Catalyzes Electron and Hydride Transfer from H₂, *Science*, 339 (6120), 682-684.
4. Matsumoto, T., Kim, K. and Ogo, S. (2011), Molecular Catalysis in a Fuel Cell, *Angewandte Chemie – International Edition*, 50 (47), 11202-11205.
5. Matsumoto, T., Sadakiyo, M., Ooi, M.L., Kitano, S., Yamauchi, M., Yamamoto, T., Matsumura, S., Kato, K., and Takeguchi, T., (2014), CO₂-free power generation on an iron group nanoalloy catalyst via selective oxidation of ethylene glycol to oxalic acid in alkaline media, *Scientific reports*, 4 (5620), 1-6

7) CO₂分離・転換（部門長：藤川准教授）

本部門の研究目的は、(1)火力発電や工業プロセスにおける高効率なCO₂分離材料の開発と、(2)CO₂を液体燃料やその中間体といった有用物質に変換するための効率的かつ経済的な電気化学システムの開発である。CO₂分離に関する研究は、石炭ガス化複合発電（IGCC）の燃焼前過程、発電所や他産業における燃焼後過程、そして天然ガス田でのガス精製過程におけるCO₂分離用の新しい膜技術の開発を目的とする。膜分離は極めて重要な科学的挑戦が残されている。従来の膜技術は、ガス選択性は実用レベルに達しているものの、低いガス透過性が問題である。この問題を解決する

には薄膜化が効果的であるものの、いまだ膜厚が数ミクロンにとどまっている。そのため、本部門は、選択的ガス分離膜のさらなる薄膜化と膜材料の開発が主目的である。またCO₂の電気化学的転換に関する研究では、より良い性能を持つ触媒や電解質の開発が目的である。現在の触媒を用いた場合、CO₂の電気化学的還元には高い電圧（過電圧）が必要であるため、この過電圧削減を可能とする触媒を開発し、エネルギーの効率化をはかるとともに、電解槽セルにおいて物質移動を制約しない電極の開発も行う。代表的な研究成果は以下のとおりである。

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

藤川主任研究者のグループは、スピンコート法によるナノメートル厚の膜の作製に成功した（特許申請中）。200ナノメートル以下のエポキシ樹脂膜は、多孔性支持体の上に転写・固定化できた（図9a）。また、加湿条件下において、窒素ガスに対してCO₂ガスがより選択的に透過した。エポキシ樹脂のアミノ基は、膜の親水性付与のために必要というだけでなく、CO₂との親和性向上のためにも必要である。これらの結果は、ナノ膜による選択的CO₂分離に成功した初めての例である。

谷口准教授のグループは、 dendリマーの存在下でポリエチレングリコール（PEG）ジメタクレートの光架橋によって dendリマー架橋高分子膜を調製し、ポリアミドアミン dendリマーがCO₂に対して高い親和性を示すことを発見した[1]。この膜は非常に優れたCO₂分離性能を示し、これは特に、ポリアミドアミン（PAMAM） dendリマーの組成や世代、相分離構造（PEF鎖長）及び湿度によって制御される。分離機構としては、膜中においてCO₂が重炭酸塩とカルバミン酸塩を形成し（図9b）、前者が主な透過種となる。また、後者は dendリマーと反応して擬似架橋を形成し、H₂透過を妨げる[2]。

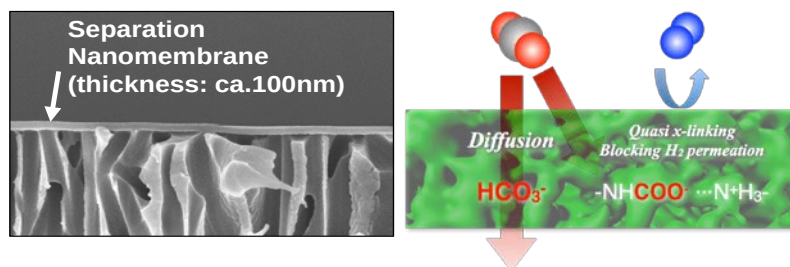


図9：（a -左）高CO₂透過性を持つ薄膜（100nm未満）、（b-右）作製したPAMAM dendリマー膜のCO₂選択性メカニズム：H₂浸透性を妨げるカルバミン酸塩 dendリマーの準架橋結合

二酸化炭素の電気化学的変換

イリノイ大学サテライト教員であるKenis教授グループでは、二酸化炭素の電解還元による一酸化炭素生成反応に必要な高性能触媒や電極の開発に成功した。一酸化炭素はフィッシャー・トロップシュ反応プロセスによる燃料や化成品合成に必要な原料である。例えば、エアブラシ法を基にした触媒堆積により、薄くて欠陥のない触媒層をもつ電極が作製され、これが高い電気化学特性をもつことが示された [3]。また、新たに開発したチタニア担持銀触媒は、CO₂還元に必要なAg量を必要とせず、さらには従来よりも高い反応性を示した。これは銀ナノ粒子の分散性向上と、反応中間体の安定に担持材料が効果的に貢献したためと考えられる [4]。イリジウムをベースとしたアノード触媒（白金の代用）は、優れた酸素発生性能を持ち、電解槽セルの電位を-1.55V、カソードの過電圧を0.02Vと低く抑え、さらに二酸化炭素還元における部分電流密度は250mA cm⁻²（Ir CO₂アノードの代わりに白金を使った場合～130mA cm⁻²）、全体のエネルギー効率70%と高い[5]。最近の研究では、金ナノ粒子で覆われた高分子被覆カーボンナノチューブを用いたカソード触媒も開発された。

今後の方向性

我々は、欠陥がない自立したナノメートル厚膜の作製プロセスを確立した。現在CO₂親和性を分離膜に組み込まれた材料開発に焦点をあてている。我々が既に発見しているポリアミド dendリマーを含む膜は、水素に対して高いCO₂親和性を示している。この発見に基づき、今後数年間の短期マイルストーンとして膜の分子デザインと開発を追求する。我々が目指す複合ガスは、燃焼前、燃焼後過程及び天然ガス精製における主な排出ガス組成である、CO₂/N₂、CO₂/H₂、CO₂/CH₄である。これらの複合ガス分離ではどれも、膜の化学的・物理的物性にに基づいた異なるタイプ

の分離メカニズムが必要である。ガス浸透の分子メカニズムの解明は、膜の開発において重要な前提条件である。既存の分離膜についても分子メカニズムの知識はまだ不足している。我々の研究は、実証及び計算アプローチにより、分子レベルにおけるCO₂分離メカニズムを正確に理解することに焦点を置く。膜のロバスト性及び耐久性、また我々が開発した膜によるCO₂分離の実現可能性は、中期、長期マイルストーンとして追求する。

- ここ数年間、CO₂をCOに変換するいくつかの高活性触媒と電極を開発してきた。これら10~20倍以上の活性触媒を使ったプロセスの律速段階は、触媒への反応物質及び生成物質の大量移動となっている。短期的には、ナノ膜を組み込んだ電極を作製し、市場で販売されているガス拡散電極に置き換える。二番目に我々はメタノール、エチレン、エタノールのような付加価値製品生産のため銅をベースにした触媒を追求する。3番目に、我々は無駄になっている再生エネルギーの大規模エネルギー貯蔵法として、CO₂の電気化学転換の実現可能性について実験及びプロセス分析を長期的に研究する。現時点では大規模なエネルギー貯蔵力がないため、太陽光や風力から作られている電力のうち30%しか使われていない。このシナリオは、CO₂変換により使える再生エネルギーを増加させることによって、CO₂排出削減に寄与するものである。

参考文献:

1. Taniguchi, I., Duan, S., Kai, T., Kazama, S. and Jinnai, H. (2013), Effect of phase-separated structure on CO₂ separation performance of poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene glycol) network, *Journal of Materials Chemistry A*, 1 (46), 14514-14523.
2. Taniguchi, I., Urai, H., Kai, T., Duan, S. and Kazama, S. (2013), A CO₂-selective molecular gate of Poly(amidoamine) dendrimer immobilized in a poly(ethylene glycol) network, *Journal of Membrane Science*, 444, 96-100.
3. Jhong, H.-R.M., Brushett, F.R., Kenis, P.J.A. (2013), The effects of catalyst deposition methodology on electrode performance, *Advanced Energy Materials*, 3(5), 589-599.
4. Ma, S., Lan, Y., Perez, G.M.J., Moniri, S., Kenis, P.J.A. (2014), Silver supported on titania as an active catalyst for electrochemical carbon dioxide reduction, *ChemSusChem*, 7(3), 866-874.
5. Ma, S., Luo, R., Moniri, S., Lan, Y., Kenis, P.J.A. (2014), Efficient electrochemical flow system with improved anode for the conversion of CO₂ to CO, *Journal of the Electrochemical Society*, 161(10), F1124-F1131.

8) CO₂貯留 (部門長: 辻 准教授)

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

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

CO₂圧入前に貯留層を正確に評価すること、またCO₂圧入後のCO₂の挙動予測のためには、貯留層スケールでのシミュレーションに加えて、CO₂トラッピング形態に影響する間隙スケールでの物理化学的過程の理解が重要である。辻主任研究者のグループは、マイクロCTスキャンイメージから抽出した実岩石のデジタル間隙モデル (図10a) に対して格子ボルツマン法 (LBM, 図10b) を適用し、岩石内部の多層流挙動に関する革新的なモデリングとシミュレーションを行うことに成功した。この研究により、貯留層モデリング、貯留層特性評価及び挙動予測において最も重要なパラメータの一つである相対浸透率は、界面張力に強く影響を受けることが明らかになった[1]。また鉱物化の影響をシミュレーションした結果、鉱物沈殿による間隙減少 (図10d) は、濡れ性流体よりも、CO₂といった非濡れ性流体の浸透率に強い影響を与えることがわかった

[2]。これらのLBMシミュレーションは、CO₂残留の研究において、我々の知る限りでは世界最大規模のものである。現在、イリノイ大学サテライトオフィスにおいてKenneth Christensen教授グループが補足実験を行っている。

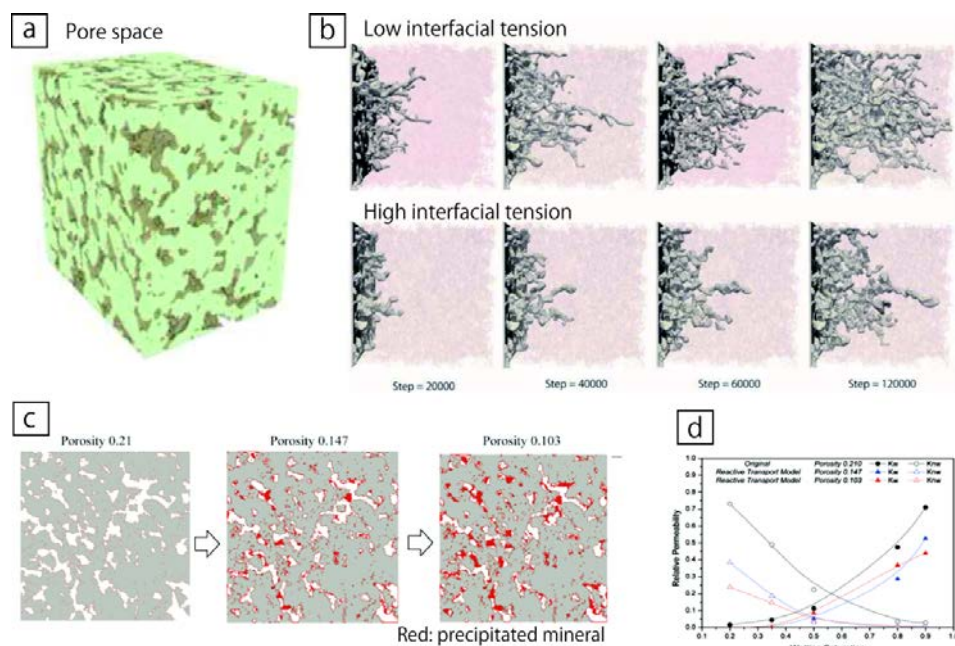


図10： a) ベレア砂岩の孔形状（マイクロX-CT画像） b) 界面張力によりパラメータ化された孔間内の超臨界CO₂挙動[33] c) CO₂挙動から計算した岩石間隙内の鉱物沈殿[34] d) 鉱物化した岩石モデルから計算した相対浸透率

北村助教、辻准教授及びイリノイ大サテライトChristensen主任研究者とValocchi教授の共同研究では、岩石実験とLBMシミュレーションによって多孔質砂岩内の小規模不均質構造が二相流体挙動に与える影響に報告した。この研究では孔隙径分布の不均質性を持つ葉理面がCO₂挙動に大きく影響し、CO₂遮蔽層として機能していることが確認された。一方、水の流動はこれら薄層の影響を受けない。これら結果から葉理面のような小規模不均質構造は多孔質砂岩中のCO₂ゲートとして機能し、多孔質砂岩内の二相流体挙動を強く支配していると考えられる。

今後の方向性

CO₂の挙動予測及び効果的にCO₂をトラッピングするためのCO₂トラッピングメカニズム及び相互作用の解明

- 間隙に圧入されたCO₂挙動、特にトラッピングメカニズム（残留、溶解及び鉱物トラッピング）を実験及び数値シミュレーションを使ってモデル化する。数値シミュレーションでは、CO₂圧入に伴う誘発地震をより理解するために水理学的及び地球物理学的モデリングの融合を行う。（短期）
- 間隙内のCO₂挙動をアップスケールし、フィールドスケールにおけるCO₂の挙動を正確に予測する。圧入されたCO₂のスケール依存性は、主に地層の不均質性に影響を受けるため、我々は地層の不均質性がCO₂の挙動に与える影響を明らかにしなければならない。長期的には、日本に典型的な不均質性に富む地理的構造において、正確に貯留サイトの特性を評価するフレームワークの確立（注入前）、及び長期的なCO₂挙動（注入後）を予測するためのフレームワークを確立する。（中長期）
- 残留及び溶解トラッピングを効果的に引き起こすことで、CO₂貯留能力と安全性を高めるアイデアを模索する。長期的には、鉱物トラッピングを効果的に引き起こすことで、地層のCO₂貯留能力や安全性を高めることができると期待される。（中長期）

圧入CO₂の長期モニタリングシステムの開発及びフィールドスケールのCO₂挙動の特定

- 亀裂帯といった不均質な地質構造を、高解像度で検出する手法の開発。（短期）
- 地層に圧入したCO₂を検出するための効果的なモニタリングシステムの開発。モニタリングデータから水理学的な特性を定量的に推定するために、実験及び理論研究を実施する。中期的には、フィールドスケールにおけるCO₂の挙動を特定するための信頼できるモニタリングシステムを「確立」する。（短中期）
- 間隙スケールのCO₂挙動モデリングの結果と、モニタリングから得られたフィールドスケールのCO₂挙動（実測データ）を比較することにより、CO₂挙動のスケール依存性を明らかにする。（中期）

信頼できるCO₂漏洩モニタリングシステムの開発

- 漏洩したCO₂の探知/モニタリングシステムの開発（短期）
- このモニタリングシステムのCO₂漏れ分野における配置（中期）

参考文献：

1. Jiang, F., Tsuji, T. and Hu, C. (2014), Elucidating the role of interfacial tension for hydrological properties of two-phase flow in natural sandstone by an improved lattice Boltzmann method, *Transport in Porous Media*, 104, 205–229.
2. Jiang, F. and Tsuji, T. (2014), Changes in pore geometry and relative permeability caused by carbonate precipitation in porous media, *Physical Review E*, 90, 053306 (10 pp).
3. Kitamura, K., Jiang, F., Valocchi, A. J., Chiyonobu, S., Tsuji, T., and Christensen K. T. (2014), The Study of Heterogeneous Two-Phase Flow around Small-Scale Heterogeneity in Porous Sandstone by Measured Elastic Wave Velocities and LBM Simulation, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 119, 7564–7577.

9) エネルギーアナリシス（部門長代理：板岡教授）

当研究部門は、I²CNERIにおいて非常に重要な役割を担っている。二酸化炭素排出、エネルギー効率及びエネルギープロセス、技術、インフラの現在及び将来のコスト分析を行っている。これらの分析により、I²CNERIが行っている国際的なエネルギー関連研究が日本のみならず世界が目標とするカーボンニュートラルな社会へ向かっていると確証される。また、各研究部門と連携し、I²CNERIの研究や他のエネルギーシステム分析に基づき、カーボンニュートラルな社会に向けた研究所のビジョンやロードマップについて継続的に見直しを行っている。

日本のエネルギービジョン

I²CNERIのビジョン策定において、EADは、エネルギー変換・利用の効率化 (Efficiency Increase: EI) 及び燃料と電力の低炭素化 (Lowering of Carbon Intensity: LCI) のふたつの主要原理に基づいて分析を行っている。I²CNERIのビジョンには、現在I²CNERIで研究されているものに限らず、全てのEI及びLCI技術が含まれる。2050年までのGHG削減目標につながるEI及びLCIの新技术とその展開のタイミング（シナリオ）の可能な組み合わせは数多く存在する。これまでに、I²CNERIは最も有望な新技术のオプションを用いた4つのシナリオを生み出した。各部門ロードマップの短期、中期、長期マイルストーンは、シナリオ中の種々の有望な技術オプションの開発と展開のタイミングを勘案して設定しているため、I²CNERIの研究努力は、これら4つのシナリオと密接に関わっている。I²CNERIの研究努力を盛り込んだ、現在検討中の4つの当該シナリオは、a) 重要なEI技術開発及び再生可能エネルギーとCO₂貯留 (CCS) のバランスのとれた展開に依拠するベース・シナリオ、b) LCIに向けた再生可能エネルギーの大規模な普及と重要なEI技術展開を伴う再生可能エネルギー・シナリオ、c) 電力や産業、特に石炭や重要なEI開発のためのCCSの大規模展開を伴うCCSシナリオ、そして、d) 原子力を含むバランスのとれたLCI技術を伴う「原子力も含む」シナリオ、となり、I²CNERIの研究及びロードマップとCNSとの関連性を確保する手助けとなる。

今後の方向性

現在進行中または計画されている研究は以下のとおりである。

- 2050年日本の低炭素排出エネルギーインフラに向けての定量的展望。
- 低炭素燃料を日本へ輸入する可能性についての分析。様々なバイオ燃料やその他のオプションを含む。
- 日本における電力系統、インフラの制約及び将来のエネルギー需要を満たしつつ、再生エネルギーとエネルギー貯蔵によっていかに大幅に炭素排出を削減するかについて詳細な分析。
- 日本及び燃料電池自動車のための水素インフラ開発の必要性、実用性の分析。
- I²CNERの研究の方向性や便益を定量化するため、I²CNER研究プロジェクト及びその他の新興テクノロジーに係るエネルギー、エクセルギー、炭素排出及びコストの分析。

(3) 運営

i) 拠点長

※ 拠点長の氏名、年齢（2015年4月1日現在）、略歴（5行程度）、専門分野を記載すること。

※ 拠点長が交代する場合は、新拠点長がどのような拠点の構築を目指し、如何に達成するかのビジョンを添付すること（新拠点長の作成による。様式自由。）。

氏名：ペトロス・ソフロニス（57歳）

専門分野：固体力学、有限要素法、材料マイクロメカニクス、弾性・塑性破断力学、水素脆化

所長に相応しい理由：

ソフロニス教授は、弾性、粘弾性、塑性、破壊力学、欠陥相互作用のマイクロメカニクスを含む材料力学分野の教育・研究をしている。1987年にイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校（UIUC）にて理論応用力学の博士号を取得し、1991年以降はUIUCの教員である。2007年から現在まで、UIUC機械化学工学科力学プログラムの次長を務め、また、米国機械学会（ASME）及び日本学術振興会（JSPS）のフェローでもある。

ソフロニス教授は、約30年間、材料の環境劣化の分野で活躍し、1991年より、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の材料研究所の主任研究者を務め、材料力学と原子スケールでの実験的観察の組み合わせによって材料の水素脆化現象の研究を行っている。脆化に関する水素による局所的な塑性のメカニズムを説明するための、欠陥相互作用の水素による遮蔽に関するソフロニス教授の理論により、世界で初めて水素による亀裂に関する合理的説明が可能になった。最近では、水素社会実現のための材料の共同研究に取り組んでおり、水素ガス環境下での材料破壊の寿命予測方法の開発と実証を目指している。材料劣化を回避するためのこの様な予測方法や戦略を開発し実証することは、水素社会での水素輸送のために現在の天然ガス供給システムを利用することや、水素関連用途のために製造された新合金について、迅速に評価するために最も重要である。

厳しい化学力学的な環境下での材料の相互作用に関するソフロニス教授の専門知識は、本研究所の主要な研究テーマである「気体（水素、酸素、CO₂）と物質との相互作用」にとって極めて重要である。従って、国際的に認められた研究実績のあるソフロニス教授が、研究活動の運営において最高規範を適用、要請することにより、質の高い研究が行われる。

ii) 事務部門長

※ 事務部門長の氏名、年齢（2015年4月1日現在）、略歴（5行程度）を記載すること。

氏名：藤木 幸夫（66歳）

藤木教授は、1994年より、九州大学理学研究院生物学科の教授を務めている。2009年には、九州大学名誉教授の称号を付与され、2010年から2014年まで、九州大学理事を務めた。支援部門長の主な役割は、I²CNERの財務・経営及び事務機能を高め、実行し、所長が研究所の研究ミッション全般における統括・管理に専念できるようにすることである。

iii) 事務部門の構成

※ 事務部門の構成等について具体的に記載すること。

○ 所長、研究者等の要望に的確かつ迅速に対応するとともに、理想的な研究環境を提供するため、

研究所専用の支援部門を設置している。支援部門は、1) 総務・人事グループ、2) 経理・契約グループ、3) 研究支援・国際連携グループ、4) 渉外グループからなる。

- これら支援部門スタッフには、九州大学内から十分な英語能力を有する職員を充てるとともに、外部から専門知識・経験、十分な英語能力等を有する人材を雇用している。支援部門内での公用語は英語である。
- 本研究所は、既に学内で整備されている外国人留学生・研究者サポートセンターと密接に連携し、外国人研究者に対して、研究活動だけでなく、大学内外におけるその他の活動についても支援を行っている。これら支援業務には、ビザ手続き、住居、空港等への出迎え、大学内の手続き、外国人登録、銀行手続き、就学、携帯電話等必要品の購入や諸経費支払い手続き等が含まれる。

支援部門を構成する4つのグループ及びその主要業務は以下のとおりである。

①総務・人事グループ

研究所全体の管理、各種会議の準備、各種規程の整備、雇用・給与・出張等の人事管理、安全管理、外国人研究者の支援を行う。

②経理・契約グループ

予算の立案、設備・装置・物品等の調達、物品費・給与・出張旅費等の支払い、経理管理等を行う。

③研究支援・国際連携グループ

各種申請書等作成支援、成果発表支援、共同研究の企画・契約、特許申請・管理（知財本部と連携）等を行う。

④渉外グループ

渉外、広報、ホームページ管理、訪問者対応、国際会議開催等を行う。

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

iv) 拠点内の意思決定システム

※ 拠点内の意思決定システムについて具体的に記載すること。

- 本研究所は、九州大学総長直轄の組織であり、所長は総長及び研究兼産業連携担当理事と直接的なつながりを持つ。所長は、研究活動の計画と実施、研究分野又は部門の構成・確立、毎年の現地視察時の意見に基づく研究部門の再編成、研究努力の再検討、ポスドク研究者と教員の採用、トップクラスの研究機関との国際共同研究や連携の構築、研究成果評価の運営及び予算執行に関する決定に全責任を負う。これらについて、所長は、自らが委員長を務め、所内の研究部門長及び所長が適任とする追加メンバーを含む者等（サイエンス・アドバイザー）から構成される運営委員会（SSC）に諮問する。
- 研究所の重要な要素として、関連研究分野の国内外の主要研究者などから構成される外部アドバイザー委員会（EAC）があり、毎年又は所長が必要と判断すれば随時開催する。EACは、所長の指導力、マネジメント、各研究分野の研究の進捗状況、発案される研究計画などを含む研究所全体の評価を行い、報告・提案をまとめた報告書を所長に提供する。研究所活動の最終決定は所長が行う。
- 研究所のもうひとつの重要な常設委員会は、内部プログラム評価委員会（IPRC）であり、研究所で行われている個別のプログラムの評価が必要な際に所長が招集する。IPRCメンバー及び委員長は、所長が任命する。評価が完了次第、IPRCは所長に勧告書を提出する。個別の研究プログラムに関する措置の最終決定は、所長の責任となる。
- 2名の副所長が、所長を補佐する。石原教授は、主にワークショップのとりまとめ、セミナーシリーズの統括、施設・研究装置に関する事項等を担当し、高田教授は、教員選考、国際及び産学連携の推進、大学院生の研究に関する事項等を担当する。
- 上述のSSC及び副所長2名の役割は、厳密に諮問的なものであり、最終決定については所長が全責任を負う。
- 所長の不在時（米国勤務中）の研究所運営は、研究所内規「22. 研究所の管理運営」に準拠する。

v) 拠点長とホスト機関側の権限の分担

※ 拠点長とホスト機関側の権限の分担について具体的に記載すること。

- 所長の選・解任と主任研究者採用の承認は、ホスト機関長である九州大学総長が行う。所長は、前述通り、それ以外の管理運営に関し権限を持つ。

(4) 研究体制（拠点を形成する研究者、サテライト等）

i) ホスト機関内に構築される「中核」

a) 主任研究者（教授、准教授相当）

	事業開始時点	平成26年度末時点	最終目標 (○年○月頃)
ホスト機関内からの研究者数	16	13	14
海外から招聘する研究者数	11	9	10
国内他機関から招聘する研究者数	3	2	1
主任研究者数合計	30	24	25

※ 最終目標を達成するための具体的計画（時期・手順など）を併せて記載。

※ 主任研究者については、リストを添付様式「主任研究者リスト」に従い添付すること。平成27年4月1日以降に招聘する主任研究者については、招聘するに当たっての方針・戦略について記載。特に、「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「*」印を付すこと。

b) 全体構成

	事業開始時点	平成26年度末時点	最終目標 (○年○月頃)
研究者	71 < 21, 30%>	165 <74, 45%> [17, 10%]	172 < 78, 45%> [29, 17%]
主任研究者	30 < 11, 37%>	24 <9, 38%> [1, 4%]	25 < 9, 36%> [1, 4%]
その他研究者	41 < 10, 24%>	141 <65, 46%> [16, 11%]	147 <69, 47%> [28, 19%]
研究支援員数	32	60	70
事務スタッフ	23	18	21
「中核」を構成する構成員の合計	126	243	263

※ 各欄の人数を記載し、研究者については下段に<外国人研究者数, %> [女性研究者数, %]としてそれぞれの内数を記載すること。

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

ii) 他機関との連携

※ サテライト的な組織を設置して国内外の他の機関との連携を行う場合は、当該連携先機関の名称、サテライトの拠点構想における役割、サテライトの人員構成・体制、ホスト機関と当該連携先機関の間の協力の枠組み（協定等の締結、資金のやりとりの考え方等）等について記載すること。

※ サテライトに主任研究者を配置する場合は、主任研究者のリストを添付様式「主任研究者リスト」に記載すること（サテライト名を明記）。

※ その他、サテライト的な組織を設置しないものの、国内外の他の機関との連携を行う場合は、当該機関の名称、拠点構想における役割、連携の概要等について記載すること。

- 研究所のミッションの中核を成す共同研究努力は、国内外の機関の教職員と連携して行われる。この取り組みには、共同研究だけでなく人材交流も含まれる。研究のベースを九州大学外へも広げることにより、研究所の活動を一層促進させ、中核機関（センター・オブ・エクセレンス）としての位置付けを確立する。

- サテライト：米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校
イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校は、水素エネルギー・材料等、さまざまな分野における世界トップクラスの機関である。サテライト教員は、全員がそれぞれの専門分野において国際的に認知されている著名な研究者であり、九州大学におけるI²CNERの研究を補完するために特に招聘された。I²CNER関連の研究実施に加え、サテライトは、米国内外の大学・研究機関における重要な研究計画や優秀な教員を特定し、連携するための基盤としての役割も担う。ソフロニス所長は、サテライト長も兼ね、イリノイ大学工学部長に直接報告を行う。九州大学・イリノイ大学間の学生及び学術交流協定が整備されており、今後は、共同学位プログラム等の追加協定に関し、両大学間で協議が行われる。サテライトは、機械科学工学部内に位置し、広々としたオフィス・スペースを確保しており、日本人研究者がイリノイ・キャンパス訪問時に使用できる。サテライト教員の研究室は、九州大学の共同研究者による利用が可能であり、さらに、キャンパス内の共有施設及び研究室は、使用料を払えば全ての研究者が使用できる。
- 連携機関
I²CNERは、カリフォルニア大学アーバイン校の国立燃料電池研究センター(NFCRC)、ノルウェー科学技術大学(NTNU)/産業科学技術研究所(SINTEF)と、それぞれ研究交流及び共同研究に関する覚書を、カリフォルニア大気資源委員会(CARB)とは基本合意書を交わしている。加えて、I²CNER主任研究者、専任教員及びポスドク研究者と、海外の一流機関の教員及び研究者の間では、現在約20の共同研究活動が行われている。これらの連携機関の例としては、MIT、UCバークレー、マックス・プランク、オックスフォード大学、ドイツ研究センターヘルムホルツ協会のHelmholtz Zentrum Geesthacht(HZG)、大連化学物理研究所、スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETH)などが挙げられる。

(5) 環境整備

※ 以下のそれぞれの項目についてどのような措置をとるのか、時期・手順も含めて具体的に記載すること。

- i) 研究者から研究以外の職務を減免するとともに、種々の手続き等管理事務をサポートするためのスタッフ機能を充実させることなどにより、研究者が研究に専念できるような環境を提供する。
 - I²CNER研究者が研究に専念できるよう、世界トップクラスの研究機関に必要とされる全ての事務業務を遂行するべく、効率的で優れた支援部門を置く。この支援業務には、予算の立案、設備・物品の購入、調達手続き、出張手続き、補助・助成金申請手続き、成果発表支援、共同研究や新規活動着手への支援、契約管理、特許申請、広報、訪問者対応等が含まれ、研究者が何ら支障なく研究所のミッションを遂行できるよう、強力な支援基盤を整備する。特に、スタッフが国際的視野を持つよう、九州大学とイリノイ大学サテライト間の支援部門人材の交流を予定している。
 - また、研究の補助、施設・設備の維持管理を担当するテクニカルスタッフのスキル向上にも絶えず取り組む。
 - さらに、研究者の授業負担を軽減するよう努める。
- ii) 招聘した優秀な研究者が、移籍当初競争的資金の獲得に腐心することなく自らの研究を精力的に継続することができるよう、必要に応じスタートアップのための研究資金を提供する。
 - I²CNER研究者や外部からの招聘研究者が、移籍当初すぐに研究資金の申請準備を必要とすることなく、本来の研究に集中できるよう、研究を開始・継続するために必要な研究施設・設備を最大限、可能な限り提供する。また、研究所の競争的資金プログラムを通じて若手教員が獲得した資金は、主に異分野融合研究を支援するものであり、研究所内における教員と訪問研究者の共同研究の支援に使用できる。
- iii) ポスドクは原則として国際公募により採用する。
 - 有能なポスドク研究者を確保するため、求人広告を九州大学のホームページや海外事務所（英国、カリフォルニア、ワシントンDC、ミュンヘン、韓国、北京など）、イリノイ大学サテライ

トのホームページ、主要な国際学会誌及び国内の関連学会誌等に掲載する。採用プロセスは教員選考委員会 (FRC) の監督下であり、本委員会は、研究所の主要メンバー及び公募ポストに関する情報を提供し得る教員によって構成される。本研究所の研究者雇用には、イリノイ大学における採用基準と同様のものを用いている。加えて、I²CNER主任研究者は、日本人を含め各国の有能な候補者の提案に積極的である。

iv) 職務上使用する言語は英語を基本とし、英語による職務遂行が可能な事務スタッフ機能を整備する。

- 業務上のコミュニケーションは、英語を基本とする。
- 所内の英語環境を整備するため、支援部門の職員には、九州大学内外から英語の堪能な職員を充てる。

v) 研究成果に関する厳格な評価システムと能力に応じた俸給システム (例えば年俸制等) を導入する (主にホスト機関外からの招聘研究者が対象。拠点形成以前よりホスト機関に所属していた研究者についてはホスト機関が給与を支給することが基本)。

- 処遇は、九州大学がI²CNERのために制定した「国立大学法人九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則」に準拠しており、大学の給与体系とは別に、能力に基づいた特別の給与体系を採用している。教員及び研究者各自の業績評価は、所長及び副所長2名により、年1回又は所長が必要と判断すれば更に頻繁に実施される。給与は、業績及び研究所への貢献度をもとに、副所長2名と協議の上、所長が決定する。評価基準は、教員の昇任に係る研究所内規に記載されており、異分野融合研究論文、国際会議での招待講演、独立資金による研究プログラムの開発、そしてより一般的には、研究所の利益及びミッションへの貢献を含む。所長は、異分野融合研究の重要性を一貫して強調したレターを通じて、評価結果を教員及び研究者に毎年伝え、各自の給与は、この評価をもとに、副所長2名と協議の上、所長が決定する。

vi) 「世界トップレベル拠点」としてふさわしい研究室、居室等の施設・設備環境を整備する。

- 引き続き世界トップレベルの研究所に相応しい研究環境を整え、また共同研究や異分野融合を促進すべく、平成24年11月末にI²CNER第1研究棟 (約4,873m²) が竣工した。すべてのI²CNERメンバーが平成25年1月に同研究棟に入居した。同研究棟は、この「under one roof」コンセプトで設計され、すべてのI²CNER研究者が使用可能な共同実験室の集結点となっている。I²CNERメンバー間で研究打合せ及び議論が活発に行えるよう、吹き抜けの1階ロビーには電子黒板を備えた広々としたラウンジを配置した。また、ドラフトチャンバーや空気配管などの設備も建物内に設置され、I²CNER第2研究棟も同様に設計されている。
- 4階建て、総床面積5,000m²のI²CNER第2研究棟を、現在建設中である。同研究棟には、大規模実験室8室、オープンオフィス2室及び支援部門室を配置予定であり、そのほとんどが、異分野融合研究促進のため、オープンな共同実験スペースとして設計されている。I²CNER第2研究棟は、平成27年2月末に竣工予定である。
- 平成25年1月、I²CNER第1研究棟と棟続きの次世代燃料電池産学連携研究センター (NEXT-FC) 内に、I²CNERの燃料電池研究者用に、実験室7室、居室15室及びサーバールームを確保した。また、九州大学と海外の連携研究機関との研究者交流を促進するため、マサチューセッツ工科大学 (MIT)、英国インペリアル・カレッジ等の研究者用実験室を確保した。
- I²CNERラボラトリーは、最先端の装置を備えている。主な装置として、機械的挙動テスト用に走査型電子顕微鏡を組み合わせた微小複合疲労試験装置、3種類のターゲットを同時スパッタすることで、多元素組成膜が作製可能なRFプラズマスパッタリング装置 (薄膜成膜法)、低エネルギーイオン散乱分光装置 (LEIS)、表面・界面分析を行う二次イオン質量分析計 (TOF-SIMS)、元素分析を行うArクラスターイオンビームX線光電子分光計 (XPS)、溶液中及び固体中の分子の非破壊かつ定量な分析が行える核磁気共鳴スペクトルシステム等がある。
- 研究所にとっての課題は、現在の分析ツールを用いたエネルギーシステムのボトムアップモデルを開発することである。データ収集を進め、分析の信頼性を向上させるために、EADIはエネルギー設備の大規模データベースや外部団体 (例えばBloomberg New Energy Finance) による市場動向情報など資源を利用する。これらの資源を使い、EADIは、国際的な二酸化炭素排出削減に向けた日本の科学技術やI²CNERの実現技術の貢献可能性の分析を含んだ研究の今後の方向性を広げていく。

vii) 世界トップレベルの研究者を集めた国際的な研究集会を定期的（少なくとも年1回以上）に開催する。

- 本研究所は、テーマ別研究分野における最先端研究に取り組むシンポジウムを、毎年開催している。こうした一連の国際シンポジウムの目的は、その分野においてI²CNER研究者が何を主な障害、課題及び好機として考えるかを割り出し、これらに対する研究所の取り組みを紹介し、また、世界の科学界全体において今日行われている研究領域に対するエクセレンス、成功した融合研究及び異分野融合的インパクトの点において、本研究所の活動の位置づけを示すことである。シンポジウムに続いて、各研究部門がそれぞれの研究テーマに特化したワークショップを開催している。これらのワークショップは、ブレインストーミングを行う公開討論の場であり、また、我々の研究ポートフォリオにおける強みと弱みを特定し、各研究部門の科学的な幅の中で重要な成長を達成する最善の方法を探るための好機となる。
- I²CNER研究者が国際会議に参加し、また、本研究所活動全般にわたり、世界的に著名な研究者や研究機関からの積極的な参加を得て、国際会議や専門分野に特化したワークショップを定期的に開催することが慣例となりつつある。このような会議やシンポジウムの研究テーマの例としては、水素エネルギーと燃料電池、水素経済性向に関するHYDROGENIUSとI²CNER共同の研究シンポジウム、光触媒による水分分離による水素製造、持続可能な物質変換システム、革新的なCO₂回収及びCO₂の地底貯留などが挙げられる。
- もうひとつI²CNERの慣例となりつつあるのが、東京シンポジウムの開催である。本イベントは、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、駐日米国大使館の後援を得て開催される。I²CNER東京シンポジウムは、現在まで平成24年及び26年に行われ、どちらも駐日米国大使をはじめ、文部科学省、米国エネルギー省、ホワイトハウス等の高官らの参加を得た。
- サテライトもまた、九州・イリノイ両大学のI²CNER研究者と国際コミュニティ間の交流を深めるため、分野を絞ったシンポジウムを開催している。

viii) 上記のほかに、世界から集まるトップレベルの研究者が、国際的かつ競争的な環境の下で快適に研究に専念できるようにするための取組みがあれば記載すること。

- I²CNER支援部門は、ビザ申請、宿泊施設を含む一連の招聘手続きなど、外国人研究者に対して全面的支援を行っている。加えて、健康診断、住宅手配、家族支援、出張手配及び医療を含む日本の社会保険システムの紹介などが、I²CNER支援部門が提供する多岐にわたる生活支援の事例として挙げられる。
- 海外からの研究者向け宿舎として、I²CNERの位置する伊都キャンパスの「伊都ゲストハウス」等、大学施設が整備されている。また、長期滞在者向け宿舎として、大学にアクセスのよい家具付きの民間施設を手配している。
- 伊都キャンパスのバス停に、キャンパス・最寄駅間を運行するバスの時刻表及び行き先を日英2カ国語で表記し、外国人研究者の便宜を図っている。
- さらに、伊都地区専用循環バスの停留所がI²CNER第1研究棟の前に、キャンパス間連絡バスの停車所は近隣の「椎木講堂」前にそれぞれ設置されている。また、九州大学のカフェテリアでは、英語メニューを整備している。

(6) 世界的レベルを評価する際の指標等

※ 以下のそれぞれの項目について、具体的に記載すること。

i) 対象分野における世界的なレベルを評価するのに適当な評価指標・手法

I²CNER は、ミッション重視（グリーンイノベーション）型の研究所ではあるが、その焦点は基礎科学に置かれている。そのため、本研究所の成功は以下の基準に基づき評価される。

- 1) 日本政府のグリーンイノベーション戦略を可能にするための研究努力及び目標の関連性
- 2) 研究を行うためのアプローチ。これは、ハイインパクトかつ領域指向のジャーナルに掲載される論文の質によって評価される。そのような雑誌に論文を発表することにより、その研究が最先端を行くものであるか否かを専門家が判断する厳しい評価プロセスを経ることになる。

- 3) 国際的な賞の授与及び論文引用数。これらは、総合的な知名度・認知度の指標となる。
- 4) 研究ロードマップにおけるマイルストーン及びターゲットの実現度
- 5) 国際的研究所との連携レベル、異分野融合研究の取り組みとその度合い
- 6) 提携企業の数と質
- 7) 特許申請
- 8) 技術移転関連の実績件数。これは、出願中の特許数よりも重要であると理解している。

最も重要な基準は、質の高さをI²CNER活動すべてに浸透させることである。

ii) 上記評価指標・手法に基づいた現状評価

以下、本研究所の現状評価となる。

- 日本におけるカーボンニュートラル・エネルギーに向けたミッションを支援するため、研究部門ごとの目標とロードマップを策定した。
- インパクトが国際的に認められる世界最高レベルの研究成果を生み出した。
- I²CNER研究者の生産性は、同じく研究テーマに重点を置いた世界の他の研究所の生産性に類する、またはそれを上回る。
- I²CNER研究者は、国内外で賞を獲得した。
- 日本、米国及びヨーロッパ間の共同研究を可能とした。
- I²CNER研究者は、数多くの特許を出願した。
- 数多くの企業が、I²CNER研究者との共同研究プロジェクトから利を得ている。

iii) 本事業により達成すべき目標（事後評価時）

第1目標として、本研究所は、事業開始から10年目の評価時まで、日本におけるカーボンニュートラル・エネルギーの実現というミッション達成に向けた基礎科学に関して、国際的な中核機関（センター・オブ・エクセレンス）としての名声とブランドを確立する。この目標達成の指標は、基礎研究において十分認知されたブレイクスルーとする（水素による材料疲労のメカニズム発見や、CO₂活性化のための生体模倣又は光触媒水分解の新規触媒の発見等）。このような基礎科学のブレイクスルーにより、研究所の第2期ミッションを、例えば新たな耐水素脆化合金開発、新たな車両搭載向け水素貯蔵材料の開発、技術的に実現可能な人工光合成による水素製造の実現、低コスト燃料電池のための新触媒の開発、CO₂ 地中貯留の実証プロジェクト等の技術開発の方向性にまで広げることが可能となる。

（7）研究資金等の確保

今後の見通し

※ 本プログラムからの支援額と同等程度以上のリソースを、どのようにして確保するのか、具体的な見通しについて記載すること。

I²CNER研究者は、今後、より積極的な資金確保に努めるため、既存のインフラと研究所の研究文化を活用していく。1例としては、日本学術振興会（JSPS）の先端研究拠点事業や全米科学財団（NSF）の国際共同研究教育パートナーシッププログラム（PIRE）をととしたプロジェクトが目下進行中である。さらに、I²CNER主任研究者は、研究所の名目で大型資金の調達を目指しており、研究所としても、日本政府の国立大学国際化に向けた取り組みを活用していく。イリノイ大学との連携により、I²CNERは九州大学と共に、このような政府の取り組みや、戦略的に重要な全学的事業の今後の展開に向け競争にあたりユニークな立場にある。また、追加リソースは、技術移転や特許販売及び企業の資金援助を受けながら企業に対し強いインパクトをもつ研究を実施している非テニュア教員から確保していく見込みである。

※ その際、競争的資金等の研究費については、「研究活動の実施に必要となる時間に占める、本件拠点における研究活動（他の競争的資金による研究活動も含む）の実施に必要となる時間の割合」を勘案して算入すること。また、研究費の獲得の見通しについては、これまでの実績を踏まえた現実的なものとする。

主要な日本人主任研究者を含むI²CNER構成員による過去5年間（平成21～25年度：1ドル=120円）の獲得研究資金は、年平均1950万ドル（23.4億円）以上にのぼる。今後は、上述のように積極的に外部の財源確保を目指し、より多くの外部資金を継続して獲得していくことが目標となる。

その他

※ 補助実施期間終了後の取り組みについて記載すること。

平成26年11月18日に東京で実施されたWPIプログラム委員会において、久保総長が発表したI²CNERの将来構想どおり、本研究所は九州大学の恒久的な部局である。平成25年4月1日付けで施行した九州大学規則の改正により、WPIプログラムの実施期間に関わらず、I²CNERは九州大学の恒久的研究所として明確に定義されている。

※ 他の機関への波及効果（ホスト機関の他部局や他の研究機関が世界トップレベルの研究拠点を構築する際に参考となりうる要素を持つ先導的なものであるか）について記載すること。

九州大学の他部局や研究所は、I²CNER所長の学術的な名声に比例して変化する本研究所のアカデミックな運営体制から利を得ることが期待される。I²CNERは、本研究所の業務運営の様式が、採用、メンタリング、研究者の昇任、一流研究機関との国際連携の構築と推進、研究及び教員の生産性に対する精力的な査読、学歴・科学的認知度・研究実績等に応じた研究リソースと報酬の配分等の点において、全学システムの模範となることを期待している。すでに波及している効果及び継続的に拡大している波及効果の例は、以下のとおりである。

○ 年俸制教員制度

九州大学が新たに導入した「年俸制教員制度」は、多様で国際的かつ有能な人材の確保をととして大学組織を活性化することを目的とする。本学が、若手研究者がキャリアをスタートし、また、シニアレベルの研究者が研究プログラムを拡充するための魅力的な場となるよう、九州大学は、本制度の継続的な見直しと向上を目指す。

○ I²CNER：研究の中心地

伊都キャンパスのセンターゾーンの中心部に竣工したI²CNER第1研究棟に続き、九州大学はI²CNER第2研究棟と大学のセンター・オブ・イノベーション(COI)事業である「共進化社会システム創成拠点(CESS)」を、近接した場所に設置することとした。I²CNER第1研究棟の周辺エリアは、大学内の新たな研究拠点・産学連携ゾーンとして急速に整いつつある。平成26年4月、大学本部は、I²CNER第1研究棟の近隣に新設された椎木講堂に移った。

○ クロス・アポイントメント制度

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

○ 海外研究者の招聘旅費

海外から著名な研究者を招聘する際の旅費について、I²CNER では必要に応じて幅を設けて適宜対応しているが、このユニークな取り組みはすでにポジティブな波及効果を生み、九州大学全体で同様の対応が可能となっている。

○ 教員の学内派遣制度

「教員の学内派遣制度」は、九州大学で実施されている教育研究の水準の向上を目的とし、学内における教員の柔軟な配置を可能とするものである。この人事制度改革を利用し、シニアレベルの主任研究者9名がI²CNERに派遣され、I²CNERの中核を成す九州大学主任研究者として活躍している。さらに、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所でも、本制度を利用し教員派遣を開始した。

※ その他、世界トップレベルの拠点を構築していくに当たり重要な事項を記載すること。

○ I²CNER のテニュア主任研究者

I²CNER は、九州大学の恒久部局としての第2期を開始する。久保総長の構想によれば、10名のテニュア主任研究者を含む20～25名の主任研究者が本研究所に配置され、10名のテニュア教員を除いた残りの10～15名分の主任研究者は、以下を通じて確保する予定である。

a) 「学内派遣制度」による他部局からの教員派遣（I²CNER 派遣任期後、教員は元の所属部局へ戻るができる）

b) I²CNER と他部局（経済、理、数理、生命科学など）間のクロス・アポイントメント制度

c) I²CNER と海外の連携機関及び産業界とのクロス・アポイントメント制度

さらに、総長の構想は、上述のテニユア教員 10 名のうち 3～4 名は、外国人としている。I²CNER 主任研究者として優れた海外研究者の採用を支援するため、九州大学は、このような外国人教員が、国際基準に従って水準以上の給与を得ることができるよう、学内の教育研究評議会において新たな年俸制を最近導入した。最後に、上述の主任研究者に係る a)、b) 及び c) とは別に、I²CNER は主任研究者レベルの客員特別研究員 (Visiting Fellow) を招聘する。平成 27 年 4 月 1 日現在、I²CNER は教授 2 名、准教授 7 名のテニユア教員ポストを有する。

○ I²CNER 教員の授業負担

I²CNER 教員は、教育に携わっていく。実際、九州大学は、この I²CNER 教員による教育への関与を高く評価しており、最先端の研究に関し国際的経験を持つ教員を授業に投入することは、大学プログラムの活性化に不可欠であると見なしている。教員の授業負担は、彼らが研究と教育両方の義務において、可能な限り高い業績基準を維持できるよう、柔軟に対応する。I²CNER の若手教員は、すでにエネルギー関連の共同講座を担当しており、これらの講座は文部科学省の元グローバル 30 や、最近のスーパーグローバル大学創成支援事業といった、九州大学の国際化プログラムの一環となっている。そのため、I²CNER 若手教員の平均的な授業負担は軽めである（1 学期につき単 1 コースの共同授業）。さらに、九州大学は、今後 4 年以内に先述のスーパーグローバル大学創成支援事業の枠組みの中で新学部、基幹教育院（仮称）を設立する計画を進めており、本学部は、物理科学と社会科学の両方を網羅する。I²CNER の若手教員は、先述のように、研究と教育義務のバランスを取り、関連分野において科学技術の講座を担当することによって、この新設学部の教育的目標を手助けすることを想定している。また、前項の a)、b) 及び c) の主任研究者は、各自の大学院生を所属部局から I²CNER に連れてくるため、I²CNER に在籍するテニユア主任研究者が共同で学生指導にあたるというのが我々の構想である。

九州大学は、所長が I²CNER 主任研究者と専門分野（数学、経済学、社会・生命科学、計算科学など）の多様化を図るよう支援する。

5. ホスト機関からのコミットメント（日本語で記載）

2015年1月19日

文部科学省 宛

ホスト機関名 : 九州大学
ホスト機関の長の役職・氏名 : 総長 久保千春
署名

「世界トップレベル研究拠点プログラム」に採択された「カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I²CNER）」に関し、以下に示す事項について責任をもって措置していくことを確認する。

＜中長期的な計画への位置づけ＞

※ 「当該拠点をホスト機関の中長期的な計画に明確に位置づけ」ということに関し、どのような計画にどのような形で位置づけるかについて具体的に記載。

- 九州大学の中期目標・中期計画には、具体的に以下のように記載されている。

- ・ 研究に関する中期目標：

「世界的研究・教育拠点としての学術研究活動を展開し、その成果を社会に還元する。卓越した研究者が集い成長していく魅力ある学術環境を整備し、新しい学問分野や融合研究の発展及び創成を促進する。」

- ・ この目標に対する中期計画：

「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。併せて、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。」「国家的・社会的政策課題対応型研究開発を推進し、総合大学としての特徴を活かした独創的・先端的な研究成果を上げる。」「人文・社会科学から自然科学、芸術工学までの幅広い分野において世界を先導する学際的・学融合的な研究を推進し、成果を上げる。」「研究組織として（中略）時代の要請に柔軟かつ迅速に対応できる研究体制を構築する。」

- I²CNERは、本学の中期目標・中期計画に沿った、総長直轄の組織である。ソフロニス所長への支援は、総長及び全部局によって引き続き行われる。

＜具体的措置＞

※ 以下のそれぞれの事項について、具体的措置を記載。

- ① 当該拠点が、拠点運営及び拠点における研究活動のために、本プログラムからの支援額と同程度以上のリソースを当該拠点に参加する研究者が獲得する競争的資金等の研究費、ホスト機関からの現物供与等（人件費の部分負担、研究スペースの提供等）もしくは外部からの寄付等により確保するに当たり必要な支援を行う。

- 研究者が大規模な競争的資金を獲得できるよう、九州大学の研究戦略企画室他、関連事務局等による情報収集や申請に関するきめ細かな助言等の積極的支援を引き続き行う。

- また、関係する自治体や民間企業等からの研究費獲得に向けた努力を継続して支援して行く。

- 本学では、部局独自の積極的な組織の見直しを後押しし、大学の活性化改革を推進するため、平成23年度から「大学改革活性化制度」を実施している。I²CNERは、毎年申請書の提出を行い、テニユア教員ポスト獲得を競っており、今後も継続して定員を確保していく。本制度を通じて、I²CNERは、平成25年度に教授1名、26年度には教授1名及び准教授2名を獲得した。それまでに本学が措置した准教授5名と合すると、平成27年4月1日現在、I²CNERが保有するテニユア教員ポストは、教授2名、准教授7名となり、うち2名については、外国人主任研究者の採用に充てることとする。

- ② 拠点運営に一定の独立性を確保するため、「拠点構想」実施に当たって必要な人事や予算執行等に関し、実質的に拠点長が判断できる体制を整える。

- I²CNERは総長直轄の組織であり、所長は総長及び研究・産学連携担当理事と直接的なつながりを持つ。以下の事項等に関し、所長が実質的に判断し決定できる体制が整っている。

- ・ 研究活動の計画と実施

- ・ 研究分野又は部門の構成・確立
- ・ 毎年の現地視察時の意見に基づく研究部門の再編成及び研究努力の再検討
- ・ ポスドク研究者と教員の採用
- ・ トップクラスの研究機関との国際共同研究や連携の構築
- ・ 研究成果評価の運営
- ・ 予算執行

これら全ての事項について、所長は運営委員会及び副所長2名に諮問する。運営委員会及び副所長2名の役割は、厳密に諮問的なものであり、最終決定については所長が全責任を負う。さらに、所長は外部アドバイザー委員会の助言を得る。

③機関内研究者を集結させるに当たり、ホスト機関内の他の部局における教育研究活動にも配慮しつつホスト機関内での調整を積極的に行い、拠点長を支援する。

- 九州大学の「教員の学内派遣制度」や「クロス・アポイントメント制度」を通じてI²CNERに貢献する学内の研究者について、その所属部局と連携し、教員の教育ミッションの遂行に必要な代替教員の確保等必要な支援を行う。
- I²CNERは、九州大学の恒久部局としての第2期を開始する。本学は、10名のテニユア主任研究者をI²CNERに配置し、全体で20～25名の主任研究者を置くことを想定している。残りの10～15名分の主任研究者は、以下を通じて確保する。
 - a) 「学内派遣制度」による他部局からの教員派遣（I²CNER 派遣任期後、教員は元の所属部局へ戻る事ができる）
 - b) I²CNER と他部局（経済、理、数理、生命科学など）間のクロス・アポイントメント制度
 - c) I²CNER と海外の連携機関及び産業界とのクロス・アポイントメント制度
 これまでのところ、a) 「学内派遣制度」を通じて、シニアレベルの主任研究者9名が、工学研究院からI²CNERに派遣されている。
- 九州大学は、I²CNER主任研究者や専門分野（数学、経済学、社会・生命科学、計算科学など）の多様化を図るよう所長を支援する。
- I²CNER教員は、教育に携わっていく。実際、九州大学は、I²CNER教員による教育への関与を高く評価しており、最先端の研究に関し国際的経験を持つ教員を教育の場に投入することは、本学のプログラム活性化に不可欠であると見なしている。教員の授業負担は、彼らが研究と教育両方の義務において、可能な限り高度な業績基準を維持できるよう、柔軟に対応する。I²CNERの専任教員は、すでにエネルギー関連の共同講座を担当しており、これらの講座は文部科学省の元グローバル30や、最近のスーパーグローバル大学創成支援事業といった、本学の国際化プログラムの一環となっている。そのため、I²CNER若手教員の平均的な授業負担は軽めである（1学期につき単1コースの共同授業）。
- 本学が工学府・工学部及び統合新領域学府オートモーティブサイエンス専攻に新設した3つの特定教育研究講座は、I²CNERの研究と重複する研究分野に係るものである。本学では、これらの部局において、I²CNERの専任教員が学生の教育指導に引き続き従事できるよう、調整済みである。
- 本学において、他部局からI²CNERへの教員へのアポイントは、名誉であると思なされるようになる。

④機関内の従来の運営方法にとらわれない手法（英語環境、能力に応じた俸給システム、トップダウン的な意志決定システム等）を導入できるように機関内の制度の柔軟な運用、改正、整備等に協力する。

- 九州大学では、全学において研究教育の国際化に向けたプロジェクトを実施している。その一環として、本学の国際部と連携を図りながら、以下のような取り組みを行っている。
 - ・ 英語による学部・大学院課程の拡充
 - ・ 外国人留学生や優秀な教員の数の増加
 - ・ 学内文書や本学ホームページの英文化
 - ・ 学生と職員の英語力向上
 - ・ 国際的教育及び研究環境整備の加速を目的とした全キャンパスにおける「外国人留学生・研究者サポートセンター」の設立・運営

- 処遇は、「国立大学法人カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則」に準拠しており、大学の給与体系とは別に、能力に基づいた特別の給与体系を採用している。本学が、若手研究者のキャリア出発点として、また、シニアレベル研究者の研究プログラム拡充のための魅力的な場となるよう、本制度の継続的な見直しと向上を目指す。
- 平成25年4月1日付けで施行した、学内の最上位規則である九州大学規則の改正により、I²CNER はWPIプログラムの実施期間に関わらず、九州大学の恒久的研究所という位置付けが明確に定義された。さらに、WPIの趣旨である所長のトップダウンによる意思決定の方式を踏まえた、これまでの教授会の概念とは大きく異なる教授会をI²CNERに設置した。この従来にない取り組みは、所属員の意識改革を促すだけでなく、我が国の教授会制度の在り方に一石を投じる挑戦となる。
- また、I²CNERの円滑な運営確保のため、本学は所長の要請に応じて、学内の制度の柔軟な運用、改正、整備に積極的に協力する。
- これらの取組とともに、本学はI²CNERと他部局との連携をより密にし、WPIプログラム終了後、I²CNERを安定した恒久機関とするための支援に必要な措置を講じていく。この点については、以下の⑥を参照のこと。

⑤インフラ（施設（研究スペース等）、設備、土地等）の利用に関し便宜を図る。

- 世界トップレベルの研究所に相応しい研究環境を整えるため、平成24年に竣工したI²CNER第1研究棟には、専任教員を中心に構成員が1ヶ所に集結している。
- I²CNER第2研究棟は、平成27年2月に竣工予定である。本研究棟には、異分野融合的な研究とマインドセットを促進するために、オープンな共同実験スペースとして設計された大規模な研究室やオープンオフィスを設置する計画である。また、研究者間の連携を促すため、屋外にも交流スペースが整備される。
- I²CNERの位置する伊都キャンパスには、中央分析センター、超高圧電子顕微鏡室などの学内共同教育研究施設に様々な先端設備・機器等が整備されており、I²CNER研究者が優先的に利用できるよう引き続き便宜を図る。
- I²CNER研究棟は、どちらも伊都キャンパスのセンターゾーンの中心部に位置し、近接した場所には大学のセンター・オブ・イノベーション(COI)事業である「共進化社会システム創成拠点(CESS)」を設置する。センターゾーンを本学の新たな研究拠点・産学連携ゾーンとするため、I²CNER研究棟周辺のエリアは、急速に整いつつある。また、大学本部も、I²CNER研究棟の近隣に新設された椎木講堂に位置する。

⑥本プログラムの実施期間が終了した後も、当該拠点が「世界トップレベル拠点」であり続けるために必要な支援を行う。

- WPIプログラム終了前の2020年までに、九州大学は、外国人主任研究者3～4名を含む10名のテニュア主任研究者をI²CNERに配置する。主任研究者の総数は全体で20～25名を構想しており、残り10～15名分の主任研究者ポストは、以下を通じて確保する。
 - a) 「学内派遣制度」による他部局からの教員派遣（I²CNER 派遣任期後、教員は元の所属部局へ戻るができる）
 - b) I²CNER と他部局（経済、理、数理、生命科学など）間のクロス・アポイントメント制度
 - c) I²CNER と海外の連携機関及び産業界とのクロス・アポイントメント制度
- 海外の大学・研究機関から優れた研究者をI²CNERに招聘するため、I²CNERの「フェロー・プログラム」や、本学の「クロス・アポイントメント制度」等の新たな取り組みを活用していく。平成26年度にイリノイ大学と締結した大学間学術交流協定に基づき、相互の主任研究者のサバティカル等を活用し、両大学の研究者間のより活発な交流と連携を促進する。また、同年度に締結した学生交流協定に基づき、「Joint-Degree Program」等をとおして両大学間の学生交流をさらに促進する。
- 本学独自の「共同研究部門制度」を活用し、産業界との共同研究をさらに推進する。九州大学産学官連携本部(IMAQ)とイリノイ大学Office of Technology Management(OTM)間の連携を強化することにより、知的財産の管理や、国内外の技術移転を促進する。

- このような将来構想をもって、WPIプログラム終了後も、世界最先端のカーボンニュートラル・エネルギー研究所としてのI²CNERの成功を確実にするため、九州大学は総力を挙げて取り組んでいく。

⑦その他、当該拠点が「拠点構想」を着実に実施し、名実ともに「世界トップレベル拠点」となるために最大限の支援をする。

私、久保千春は、九州大学総長として、研究・産学連携担当理事（以下、「担当理事」とする）に新たに着任した若山正人教授とともに、以下のような方策を講じ、I²CNERに対し最大限の支援を行っていく。

- 総長は、所長の方針・希望を踏まえつつ、I²CNERの人員組織編成を巡って起こりうる、学内他部局との話し合いや「人事・人員配置の枠組み」に関する意思決定を行う。その際、担当理事は、総長の命を受け、必要に応じて学内調整を行う。
- 特に、所長が本学へのWPIビジョンを実行できるよう、項目②で述べたように所長を支援していく。
- 所長と担当理事との定期的協議の場を設け、必要に応じて大学（総長）からの助言を与える。国際的な産学連携推進に関しては、担当理事が所長に必要な支援と助言を供する。
- I²CNER支援部門強化に向けた継続的努力の一環として、本学は、前研究・国際担当理事である藤木教授を、支援部門長として新たに任命した。また、学内の恒久的な研究所に特化した事務部門には初めてとなる事務長（課長職）を配置した。
- 九州大学は、国際的評価、国際環境における若手研究者の育成、オープンな研究発表の場を通じた知識の向上及び世界中の優秀な科学者と学生の誘致のためのWPIビジョンを実証するため、学内文化の変革を目標に、本学の研究・教育の国際化に向けたモデル事業として本拠点構想を促進し、大学全体に波及していくこととする。

(添付様式)
(日本語で記載。)

主任研究者リスト

※ 主任研究者が10名を超える場合は、その数に応じて作成。
※ 「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「＊」印を付す。
※ 年齢は、2015年4月1日時点とする。
※ 2015年4月1日時点で、当該構想に所属できないものについては、備考の欄に、参加予定時期を明記する。

氏 名	年 齢	現在の所属 (機関、部局、専攻等)	現在の専門 学 位	備 考
① Petros Sofronis ＊	57	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・教授	Ph.D., Micromechanics of materials, Environmental degradation of materials	
② 石原 達己 ＊	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	工学博士 機能性無機材料、 触媒化学	
③ 安達 千波矢 ＊	51	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	
④ 高原 淳 ＊	59	九州大学 先端物質化学研究所分子集積 化学部門・教授	工学博士 高分子科学	
⑤ 小江 誠司 ＊	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	理学博士 グリーンケミストリー	
⑥ 堀田 善治 ＊	61	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・教授	博士(工学) 材料科学	
⑦ 中嶋 直敏 ＊	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 ナノカーボン科学、超分 子科学	
⑧ 佐々木 一成 ＊	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 燃料電池、無機材料化 学	
⑨ 秋葉 悦男 ＊	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	理学博士 材料科学	
⑩ Harry L. Tuller ＊	69	マサチューセッツ工科大学・教授	Eng. Sc. D., Functional electroceramic materials	
⑪ John A Kilner ＊	69	インペリアル・カレッジ・ロンドン・ 教授	Ph.D., Materials for solid oxide fuel cells and electrolysers	
⑫ 杉村 丈一	57	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・教授	工学博士 トライボロジー、機械設 計	

(添付様式)

⑬ 高田 保之	58	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	
⑭ Xing Zang	53	清華大学・教授	Ph.D., Thermal Science	
⑮ Brian P. Somerday *	46	サンディア国立研究所・教授	Ph.D., Materials Science and Engineering	
⑯ 高木 節雄	62	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・教授	工学博士 構造材料工学	
⑰ Reiner Kirchheim *	71	ゲッティンゲン大学・教授	Ph.D.	
⑱ 山内 美穂	41	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・准教授	理学博士 化学	
⑲ 酒井 健	53	九州大学 理学院化学部門・教授	博士(理学) 無機化学	
⑳ Ian Robertson *	57	ウィスコンシン大学マディソン校・教授	Ph.D. Metallurgy	
㉑ Andrew A. Gewirth *	55	イリノイ大学・教授	Ph.D. Chemistry	
㉒ Kenneth T. Christensen	41	ノートルダム大学・教授	Ph.D., Theoretical and Applied Mechanics specializing in experimental fluid mechanics	
㉓ 藤川 茂紀	44	九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・准教授	工学博士 ナノ工学	
㉔ 辻 健	35	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	