

# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

## 平成24年度拠点構想進捗状況報告書

|        |                       |         |                 |
|--------|-----------------------|---------|-----------------|
| ホスト機関名 | 九州大学                  | ホスト機関長名 | 有川 節夫 (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 | 拠 点 長 名 | Petros Sofronis |

※平成25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。

### 拠点構想進捗状況概要

平成24年度、I<sup>2</sup>CNERはエネルギーアナリシス部門(EAD)の助言を基に、2050年までに国内のCO<sub>2</sub>を50%まで削減することを目的とした最新のエネルギー技術のタイムライン案を作成した。外部アドバイザリー委員会(EAC)の評価における具体的推奨事項に取り組むため、各研究部門はEADの提案を受け、選択されたエネルギー技術実現への障壁に対する解決策を特定するための研究テーマに焦点を合わせたロードマップを策定した。

過去2年間の取り組みに基づき、安達グループは有機発光ダイオードのエネルギー効率に関する重要な発見をネイチャー誌に発表し、小江グループは将来実現性のある革新的アプローチとして、機能的な[NiFe]ヒドロゲナーゼを合成し、水素活性化メカニズムの解明に成功、これをサイエンス誌に発表した。今年度発展させた革新的アイデアの主なものは以下のとおりである：燃料電池用電極触媒としての利用のためにカーボンナノチューブ表面に金属ナノ粒子を固定する方法；多層カーボンナノチューブのシェル内外の熱伝導率における異方性熱伝導性質の発見；水素誘起疲労き裂成長中の繰返し変形による微細構造形成の性質に関する新考察；高圧ひずみ加工したTiFeは活性化を必要とすることなく水素を容易に吸蔵・放出することを発見；二酸化炭素から一酸化炭素への電気化学的還元における電解質組成の影響；海底に設置した音響トモグラフィ及び新規に確立したpH/pCO<sub>2</sub>センサー使用とCO<sub>2</sub>漏洩地点のマッピングによる海底面CO<sub>2</sub>漏出の検出とモニタリングの成功。

I<sup>2</sup>CNERにおける融合研究を確保するため、昨年度の現地視察時の指摘を受け、臨時の特別委員会「内部プログラム評価委員会(IPRC)」を新たに設置し、イリノイ大学サテライトも含むすべてのプロジェクトに厳格な審査を行った。その結果、「異分野融合研究スタートアップ経費」プログラムにおいて平成23年度に採択したプロジェクトの幾つかを中止して新規プロジェクトを1件採択し、本プログラムの総予算を50%以上削減した。さらに、

サテライトにおける幾つかのプログラムも、ミッション/参加の点で標準以下と見なされ、これらの問題点が早急に改善されない限り、当該プログラムは平成25年12月までに終了となる。

本研究所は、ミッションを前進させ、新たな研究を採り入れ続けるため、融合研究を推進中のプログラム強化を目的とした新しいイニシアチブを開始するために必要なリソースを確保している。所長はIPRCと協議し、本イニシアチブのプロポーザル評価を行う。新年度の研究成果の質を高めるため、高度なブレンスツーミング・ワークショップを計画している。

I<sup>2</sup>CNERは、九州大学の一部局であり、WPIプログラムによる支援の終了後も学内組織として存続する。今年度は、テニュア教員ポスト獲得のための申請を行い、九州大学から追加でテニュア教員ポスト4つの貸与を受けた(すべて准教授ポストであり、これにより計5ポストの貸与となる。)。以下は、平成25年4月1日現在の人事に関する概略である：主任研究者9名を工学研究院からI<sup>2</sup>CNERに派遣；研究者総数150名(九州大学119名、イリノイ大学31名)；研究者と支援スタッフを合わせた総数225名(九州大学192名、イリノイ大学33名)、うち91名が外国人、59名が女性；WPI主任研究者計24名、うち6名が著名な国際的研究者、2名がイリノイ大学の著名な教員；ポストク研究者数は平成23年度の6名から19名に増え、さらに9名を雇用予定；大学院生数も14名から48名に増加し、うち22名がI<sup>2</sup>CNERにより雇用されている。九州大学・イリノイ大学間交流により、イリノイ大学から九州大学への訪問数は、教員、ポストク研究者、大学院生合わせて計28回(滞在日数計144日)、九州大学教員によるイリノイ大学訪問は計5回であった。

エネルギーに関する日米プロジェクトとしての国際的認知度を高めるため、東京でシンポジウムを開催し、I<sup>2</sup>CNERの研究を日本国内のエネルギー関係者や国際社会に紹介した。

## 1. 拠点構想の概要

### 【応募時】

#### <拠点構想>

- 持続可能で信頼できるエネルギー源を次世代に供給するためには、グリーンエネルギー・イノベーションとして、石油系エネルギー源に対する代替燃料が必要である。そしてその代替エネルギーキャリアは、環境に影響を及ぼさずに生産・消費されなければならない。考えられるエネルギーキャリアの一つとして、水素ガスがある。しかし、水素社会に移行するためには、製造、貯蔵、エンドユーザーのステーションまでの供給、発電の面において様々な課題がある。その中でも大きな課題は、天然ガスや石炭の改質などによる水素製造に伴って発生するCO<sub>2</sub>の管理である。水素社会に基づく完全なカーボンニュートラル・エネルギー社会を実現するためには、CO<sub>2</sub>の回収・貯留（CCS）技術が大きく進展しなければならない。このような課題を克服していくために、九州大学を拠点とした国際的な取り組みを展開する。本研究は、CO<sub>2</sub>の回収・貯留のための技術開発や水素社会の実現の基本となる基礎科学に重点的に取り組む。特に、カーボンフリーな水素製造、水素貯蔵材料の開発、耐水素脆化材料、燃料電池、物質変換、CO<sub>2</sub>の分離・濃縮、CO<sub>2</sub>の地中・海洋への貯留に関連する課題に重点的に取り組む。これらの課題の基本を理解することによって、カーボンニュートラルな水素社会を実現し、地球温暖化の解決策を開発する。
- 今後の国際的なエネルギー展望を考慮すると、このような国際的な研究プロジェクトに着手するのに今が絶好の機会である。効率的な石炭燃焼による発電・水素製造やCCSのための米国Future Genプロジェクトや、CCSや光電気化学的な水素製造に関して米国エネルギー省が出資している産業界の取組みなどは、エネルギーの独立性と持続性を確保するための重要な科学技術戦略である。九州大学の研究拠点における基礎科学の目的は、同様の技術的課題に取り組むとともに、日本と海外の機関間での共同研究のプラットフォームとなることである。我々は、トップレベルの研究者が協力し、知識を共有し、アイデアを交換し、科学的課題やその社会への影響について議論するセンター・オブ・エクセレンスとして「カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所」を設立する。
- 基礎科学的観点からみると、本研究の全領域に共通の課題は、物質・岩石・海洋乱流渦と水素、酸素、CO<sub>2</sub>などの気体とのインターフェイスで起

### 【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】

#### <拠点構想>

- 所内の体制変更及びテーマ別研究分野の再構成と見直しにより、平成24年度にI<sup>2</sup>CNERのミッションを以下のとおり更新した。

I<sup>2</sup>CNER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。数あるテクノロジーの中でI<sup>2</sup>CNERが実現を目指すのは、革新的で安全かつ信頼できる、水素経済における燃料としての水素製品、貯蔵利用である。また、CO<sub>2</sub>の効率的な回収・貯留技術又は有用製品への転換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、I<sup>2</sup>CNERのミッションである。

所長は、平成24年度現地視察報告書、プログラム委員会報告書及びI<sup>2</sup>CNER外部アドバイザー委員会と内部プログラム評価委員会による報告書を集約し、それぞれにおける各部門への指摘や意見などを取りまとめた「Director's Assessment and Requested Action」と題された報告書を、部門ごとに作成した。同報告書は、平成25年1月20日付けで部門長に配付され、3月末までの対応が求められた。内部プログラム評価委員会は、Ian Robertson教授を委員長として所長が特別委員会として設置し、「来る中間評価に備え、所内すべての研究活動領域における情報を所長に提供する」ことを目的とする。

- I<sup>2</sup>CNERの研究者は、内部プログラム評価委員会(IPRC)によるプロジェクト評価を受けた。
- 前述の「Director's Assessment and Requested Action」配付後、各部門において、部門の活性化と研究目標、ターゲット及びマイルストーンの再評価を目的とした部門全員参加によるリトリートを、平成25年3月31日までに開催することとした。リトリートにおいて、各部門メンバーはエネルギーアナリシス部門(EAD)メンバーと共に、I<sup>2</sup>CNERの研究目標、ターゲット、マイルストーン及び日本のエネルギー目標に対し、短期、中期、長期目標を策定した。また、所長は、リトリートにおいて部門ごとに「Director's Assessment and Requested Action」に対する取り組

こる様々な現象について理解が不足していることである。例えば、以下の様なことが分かっていない。1) 水素が物質に吸着するメカニズム（水素による劣化に対して耐性のある合金や、理想的な特性の軽量貯蔵材料の設計を困難にしている）、2) 超高压下での水素やCO<sub>2</sub>の物性と挙動、3) 岩石・水・CO<sub>2</sub>の三相相互作用及び地質での閉じ込めの安定性、4) 超臨界状態のCO<sub>2</sub>と海洋乱流との相互作用（海底でのCO<sub>2</sub>貯留に対する海象の影響を予測するために必要）。取り組むべき現象は、ナノメートルから数千kmまで、また、ナノ秒から数世紀まで、本質的に異なる時間・空間スケールに及ぶ。本研究では、原子から地球規模まで、つまり、原子・分子から、結晶物質、デバイス、地層、海洋システムまでの全ての時間・空間スケールの課題に取り組む。その現象は、様々な媒体、時間・空間スケールで起きるが、しばしば同じプロセス（吸着、吸収、固溶、拡散、反応、伝導など）に基づいて起こり、類似の科学的原理で特徴付けることができる。そのため、九州大学のアプローチでは、インターフェイスにおける現象について原子レベルからマクロまでの時間・空間スケールの情報を科学的に統合させることにより、化学、物理学、材料科学、機械学、地球科学、海洋科学、生物模倣学を融合した研究を展開する。

- 本構想の運営・管理においては、研究活動とその成果に関して、個々の研究の効率性と実現可能性、さらには、水素社会の実現とCO<sub>2</sub>の排出量の削減という総合的な目標の達成に向けた研究の進展について、定期的な評価・ピアレビューを行う。その研究の進展を評価する際には、我々の科学研究がどの様に技術開発を促進させるか、また、カーボンニュートラル・エネルギー社会への障壁を取り除くことにどの様に貢献できるか、について厳格に評価する。ここで、障壁とは、材料疲労のメカニズムに関する解明不足や海底での超臨界CO<sub>2</sub>の安定性問題などである。九州大学の構想では、研究成果やその科学的文化を社会に普及させることにも留意する。また、イリノイ大学の学術的専門知識を活用し、社会教育的なアウトリーチ・プログラムを実施する。国際フォーラム開催に関しての九州大学の専門的知見を活用し、専門ワークショップを通じて、民間や国立研究所の科学コミュニティを取り込む。全世代のためのインターネット学習ツール、博物館展示、その他様々な方法で、社会全体に情報を提供していく。この取り組みにより、研究成果に対する国民の理解を深める道が開かれ、また同時に、研究者にも必要なコミュニケーションスキルを教育できる。

- 九州大学の取り組みは、CO<sub>2</sub>の回収・貯留を経て、CO<sub>2</sub>排出のない水素社会

みを求め、さらに、部門長による「Director's Assessment and Requested Action」に対する回答をリトリートの報告に含め、3月31日までに提出することを依頼した。

#### \*主任研究者\*

- 平成25年4月1日付けで、教員の学内派遣制度により、工学研究院の主任研究者9名をI<sup>2</sup>CNERの所属とした。本制度は、主任研究者のマインドセット及びI<sup>2</sup>CNERと工学研究院間の関係を強化する目的で、九州大学総長が提案し、運用している。九州大学の常設部局であるI<sup>2</sup>CNERにとって、他部局との共同申請を促進するこのような学内連携は有益なものであり、それにより研究文化に影響を与え、教育機会を提供することが可能となる。
- 同じく平成25年4月1日付けで、主任研究者の数を24名に減らした。その所属は、九州大学15名、イリノイ大学サテライト2名、残り7名がその他国際連携機関である。

#### \*採用\*

- 九州大学所属の主任研究者にポスドク研究者雇用枠を1つずつ配分する旨、平成24年10月27日に通知し、平成25年4月1日までに雇用することとした。ポスドク研究者は、教員選考委員会(FRC)による通常の選考経過を経て、平成25年4月1日現在、19名となった。うち、女性が3名、外国人が16名であり、平成25年末までに、28名の雇用を予定している。
- I<sup>2</sup>CNERはWPIプログラム採択通知を受け、開所前に積極的な国際公募を開始し継続している。若手レベルでは、将来国際的に認知され得る有望な研究者の採用に努め、シニアレベルでは、世界的に高い評価を得ている研究者のみを候補者としている。採用プロセスは教員選考委員会(FRC)によって統括され、平成25年2月1日から高田副所長が委員長を務め、メンバーは主要研究者のほか、公募ポストに関する情報を提供しうる教員により構成される。国際公募とポスドク研究者獲得に向けたプロポーザル募集(平成24年7月4日)を行い、その結果、教員3名及びポスドク研究者3名を採用した。

#### \*若手研究者宛て評価レター\*

- 新規採用者は、シニア主任研究者と同様に、研究計画を記載したホワイトペーパーを提出することになっている。ホワイトペーパーは、「Young

の実現に向けて、その障壁を取り除くための基礎科学の課題について研究を実施するものである。

Investigator Research Project Summaries」と題してまとめられ、研究所執行部が研究の進捗状況の評価を毎年行う。平成25年2月6、7日に所長、副所長2名による若手研究者に対する年次評価を実施し、所長はその結果をまとめ、平成25年3月31日付け評価レターとして各自に送付した。

**\*I<sup>2</sup>CNERセミナーシリーズ\***

○ 国内外のコミュニティー・リーダーとの取り組みを推進し、本研究所の認知度を高めるため、平成23年3月に「I<sup>2</sup>CNERセミナーシリーズ」を開始した。このセミナーシリーズは、学会、国立研究所、産業界や関係省庁の政策立案者から、著名かつ国際的に認知されている研究者を講師に招いて開催している。この取り組みを継続するため、平成24年度も23名の講演者を招へいした。うち、世界的に著名な講演者の招へい例は以下のとおりである。

- B. Ameduri (フランス国立科学研究センター所長)
- T. Autrey (米国パシフィック・ノースウエスト国立研究所)
- R. Glass (米国アリゾナ大学教授)
- J. Kim (米国メリーランド大学教授)
- M. Gardiner (米国エネルギー省技術開発マネージャー)
- 堂免一成 (東京大学教授)
- S. Y. Lee (韓国Korea Advanced Institute of Science and Technology:KAIST教授)
- H. J. Sue (米国テキサスA&M大学Polymer Technology Center教授)
- S. Mitra (カナダ・アルバータ大学教授)
- H. Brongersma (オランダCalipso BV CEO、英国インペリアルカレッジ名誉教授)
- 北川宏 (京都大学教授)
- 岩本正和 (東京工業大学教授)
- S. Garimella (米国ジョージア工科大学教授)
- P. Stephan (ドイツ・ダルムシュタット工科大学教授)

**\*INSTITUTE INTEREST SEMINAR SERIES (IISS)\***

○ 部門を超えた分野横断的な共同研究と異分野融合研究の環境を作るため、「Institute Interest Seminar Series(IISS)」を定期的で開催している。このシリーズは、若手研究者(准教授、助教、ポスドク研究者、大学院生)がそれぞれの見解、研究方法や研究アプローチを専門家の前

で発表することを通して、発表やコミュニケーションの能力を磨くためのフォーラムの役割を果たしている。平成24年度は、合計16回開催し、毎回2名が発表を行った。

#### \*SRAプログラム\*

- I<sup>2</sup>CNERは、各部門内において教授、准教授及び助教による指導の下、研究に従事できるように、優秀な大学院生を採用し支援するため「Super Research Assistants (SRA)」プログラムを制定した。平成24年度は、平成23年11月及び平成24年4、7、10月の計4回募集を行い、その結果新規者6名、更新者1名を採用した。SRAは全員、Institute Interest Seminar Seriesにおいて英語で研究発表を行い、プロGRESSレポートを提出し、また雇用更新の際も、SRA選考委員会の前で研究発表を行わなければならない。I<sup>2</sup>CNERのSRAの質の高さは、平成24年度採用の2名が、平成25年4月1日付けでJSPS特別研究員(DC:大学院博士課程在学者対象)に採用されたことでも明らかである。I<sup>2</sup>CNERはSRAを継続して採用し、次世代の研究者育成・訓練に力を入れている。現在のSRA総数は6名であり、平成25年10月までには10名にする計画である。

#### \*短期訪問学生\*

- 九州大学とイリノイ大学(I<sup>2</sup>CNERサテライト機関)、また海外の共同研究機関との間で、学生の積極的な交流を円滑に促進するため、海外から「短期訪問学生」を受け入れている。平成24年度は、7名(イリノイ大学から6名、ジャマイカから1名)の学生がI<sup>2</sup>CNERを訪問した。

#### \*招へい研究者\*

- 平成24年度以降、本研究所は海外の共同研究機関において外国人主任研究者の指導を受けているポスドク研究者を「短期招へい研究者」として受け入れ、九州大学において研究に従事させる体制を確立した。平成24年度は熱物性部門に中国の清華大学から「短期招へい研究者」を3ヶ月受け入れた。

また、「短期訪問研究者(Visiting Scholar)」を、CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門で熊本大学から半年、水素構造材料部門でフィンランド技術研究センター(VTT)から3ヶ月受け入れた。

### <研究体制>

研究体制としては、九州大学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、海洋科学、生物模倣学等の分野の国内外に評価されたトップレベルの研究者からなる。イリノイ大学におけるサテライト機関は、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。

### <研究体制>

- 本研究所は、研究テーマごとに部門に組織され、個々の研究課題に取り組んでおり、それぞれの部門は、シニアの主任研究者(部門長)によってまとめられている。部門名は以下のとおりである。
  - 水素製造
  - 先端物質変換※
  - 熱物性(H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>)
  - 水素構造材料
  - 水素貯蔵※
  - 燃料電池
  - CO<sub>2</sub>分離・濃縮
  - CO<sub>2</sub>貯留※
  - エネルギーアナリシス

注：※の部門に関しては、平成24年7月1日付けで部門名が変更となった。

### \*エネルギーアナリシス部門(EAD)\*

- 平成23年度の現地視察後に、WPIプログラム委員会によるフォローアップ結果報告書で提示された指摘に基づき、エネルギーアナリシス部門を設置した(「I<sup>2</sup>CNERは、カーボンニュートラル社会に向けた独自のビジョンとロードマップを短期、中期、長期のそれぞれの時間スケールにおいて確立すべき。」)。その目的は、一次エネルギーの利用率及びCO<sub>2</sub>排出量・効率性・価格に基づいたエネルギー資源の制約が原因となるカーボンニュートラル・エネルギー社会実現の障壁に対処することである。本部門の目標は以下のとおりである。
  - I<sup>2</sup>CNERの目指すカーボンニュートラル社会の実現へのビジョンと研究活動の関連を評価する。
  - I<sup>2</sup>CNERの研究が、現在及び将来の日本のエネルギー選択肢に関連する全ての最新情報に基づいたものとする。
  - 持続可能なカーボンニュートラル社会に向けたロードマップを確立し、中長期のシナリオを作成する。

本部門は、所長によって統括され、平成25年4月1日現在の構成員は以下のとおりである。

- Mark Paster WPI招へい教授（元米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー部門エネルギーアナリシス担当）
- 本田國昭教授（平成24年7月1日付け採用）
- 古山通久教授（九州大学稲盛フロンティア研究センター教授）
- 板岡健之教授（平成25年3月16日付け採用）
- 木村誠一郎（平成25年4月1日付けポスドク研究者採用）

- James Stubbins教授は、イリノイ大学原子力・プラズマ・放射線工学部長の職にあり、ポスドク研究者のDr. Xuping Liと共に、本部門の研究プログラムに参加している。

**\*在外研究者\***

- 運営委員会(SSC)の推薦を受けて、所長はその研究実績により国際的に著名な以下の研究者を、平成25年度の主任研究者として再任した。
  - John A. Kilner教授（英国インペリアル・カレッジ・ロンドン）
  - Brian P. Somerday博士 水素構造材料部門長（米国サンディア国立研究所）
  - Harry L. Tuller教授（米国マサチューセッツ工科大学）
  - Xing Zhang教授（中国清華大学）
  - Reiner Kirchheim教授（独国ゲッティンゲン大学）

WPI教授は以下のとおりである。

- Robert O. Ritchie教授（米国カリフォルニア大学バークレー校）
- Ludwig J. Gauckler教授（スイス連邦工科大学チューリッヒ校）
- Ping Chen博士（中国科学院大連化学物理研究所）
- Nikolaos Aravas教授〔更新〕（ギリシャ・テッサリー大学）

WPI招へい教授は以下のとおりである。

- Louis Schlapbach教授（スイス連邦工科大学チューリッヒ校）
- Mark Paster氏〔更新〕（元米国エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー部門エネルギーアナリシス担当）
- 福田応夫教授〔更新〕（マレーシア工科大学）

WPI主任研究者を辞した研究者は以下のとおりである。

- Chen-Tung Arthur Chen教授（台湾国立中山大学）

これらの研究者は、I<sup>2</sup>CNER研究者と共に共同研究を推進し、講義やセミ

ナー発表を行い、短期コースを担当し、学生やポスドク研究者の指導に携わることを通して、優れた研究プログラムに貢献することが期待される。

**\*国内研究者\***

主任研究者は以下のとおりである。

- 草壁克己教授〔更新〕（崇城大学工学部ナノサイエンス学科）

招へい教授は以下のとおりである。

- 國武豊喜博士〔更新〕（北九州産業学術推進機構）
- 徐超男博士〔更新〕（産業技術総合研究所）
- 薛自求博士〔更新〕（地球環境産業技術研究機構）

**\*サテライト教員\***

- 加えて、イリノイ大学サテライトの教員13名全員が、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I<sup>2</sup>CNERの研究を補完している。平成24年度は、サテライト教員全員を主任研究者に任命したが、平成25年4月1日以降は、Andrew Gewirth、Kenneth Christensen及びIan Robertsonの3教授のみを主任研究者とする。しかしながら、同じく4月1日付けで、Robertson教授はウイスコンシン大学マディソン校の工学部長職に就任するため、サテライト所属の主任研究者ではなく、その他の外国人主任研究者となる。

残り10名のイリノイ大学メンバーの肩書きは、「サテライト教員」となった。これらサテライトメンバーの平成24年度の研究活動・分野は以下のとおりである。

- 構造材料と水素適合性
  - Robertson教授（材料科学工学）、Sofronis教授（機械科学工学）
- 材料インターフェースとの水素とCO<sub>2</sub>の作用
  - Cahill教授（材料科学工学）
- CO<sub>2</sub>の価値を付した生産物への転換
  - Kenis教授、Gewirth教授（バイオ・化学工学）
- 触媒作用
  - Rauchfuss教授（化学）
- 光電気化学
  - Gewirth教授（化学）、Martin助教、Rockett教授（材料科学工学）、



Ertekin助教(機械科学工学)

- CO<sub>2</sub>貯留層の特性調査及び圧入・漏洩CO<sub>2</sub>モニタリングとモデリング
  - Christensen教授、Pearlstein教授 (機械科学工学)
- 活性固体表面での臨界点近傍の温度圧力条件下におけるCO<sub>2</sub>流動
  - Kyritsis准教授 (機械科学工学)
- エネルギーアナリシス
  - Stubbins教授 (原子力、プラズマ・放射能工学)

平成24年度には、イリノイ大学工学部の研究費をもとに、二つの新規プロジェクトに着手した。これらのプロジェクトは、CO<sub>2</sub>貯留・光電気化学的水素製造装置モデリング及びシミュレーション分野におけるI<sup>2</sup>CNERの計算能力を強化する目的で開始した。

- 貯留層における超臨界CO<sub>2</sub>の間隙スケール多層流挙動及びキャピラリートラッピング・メカニズムの解明に向けた計算モデリング
  - Valocchi教授、Werth教授 (土木・環境工学)
- 太陽水素製造のための製作可能なナノワイヤーアレイ
  - Li准教授 (電気コンピューターエンジニアリング)

\*その他の主任研究者の異動\*

- 平成25年4月1日付け主任研究者の異動は以下のとおりである。
  - 下島准教授(CO<sub>2</sub>貯留部門)の主任研究者任期満了
- 九州大学退職と同時に主任研究者の職を辞したメンバーは以下のとおりである。
  - 村上教授、松岡教授 (水素構造材料部門)
  - 成田教授 (先端物質変換部門)
  - 峯元教授 (CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門)
  - 柳教授 (CO<sub>2</sub>貯留部門)

<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、所長の運営スタイル、学術的経験、研究業績等に基づいて行われる。所長は、研究チームの構成、国際研究者公募、トップクラス研究機関との共同研究や交流の構築、研究成果評価の運営、研究評価会議報告に基づく研究チームの再構成、研究活動の再検討、研究者評価、研究

<運営>

- 平成24年度の新体制の特徴は、所長が管理、運営及び研究関連の委員会のすべてに直接アクセスできることである。この体制は、階層制を排除するために特別に採用された。
- 石原達己教授と高田保之教授の副所長2名が所長を補佐する。高田教授は、前任の佐々木一成教授の任期が平成24年11月30日に満了した後、平

予算・歳出の監視などを行う。

本研究所は九州大学総長直轄の組織とし、研究計画、研究体制、研究分野の構成・確立、予算執行等、研究所の管理運営に関する事項について、所長が意思決定できる体制を整える。これらについて、所長は、自らが委員長を務め、所内の研究分野リーダー、所長が追加する者等から構成される運営委員会の支援を受けられる。

また、研究所に不可欠な要素として、関連研究分野の国内外の主要研究者等から構成される外部アドバイザー委員会を設置し、毎年又は所長が必要と判断すれば随時開催する。外部アドバイザー委員会は、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、委員会での報告・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。

所長の下に、研究マネジメント面での補佐をする副所長を2名（日本に1名、サテライト機関である米国イリノイ大学に1名）置く。また、研究者の事務的な支援を行う支援部門及びそれを統括する支援部門長を置く。支援部門の公用語は英語とする。支援部門の効率的かつ適切な運営のため、ポスドク研究者等を積極的に登用し、所内研究活動を把握している者による支援部門の運営を図る。

成25年2月1日付けで新たに就任した。現在の副所長2名の所掌は、以下のとおりである。

- 石原教授(水素製造部門長を兼務)：昇任審査委員会、I<sup>2</sup>CNER ワークショップとりまとめ、セミナーシリーズの運営、施設・研究機器・装置に関する事項
- 高田教授(熱物性部門長を兼務)：教員選考委員会(FRC)、国際及び産学連携、大学院生の研究に関する事項

#### \*IAN ROBERTSON教授\*

- ウィスコンシン大学マディソン校工学部長Ian Robertson教授は、本研究所の研究活動をさらに強化するため、チーフサイエンスアドバイザーとして所長を補佐している。

#### \*運営委員会(SSC)\*

- 本研究所の設立にともない、運営委員会(SSC)を設置した。同委員会は、所長が委員長を務め、構成員は副所長2名及び各研究部門長である。運営委員会は、研究所に係るすべての事項を決定する組織である(例：研究活動の企画及び運営、予算執行、国際協力及びアウトリーチ)。平成24年度、運営委員会はエネルギーアナリシス部門が研究所の進路に関する情報を常に把握できるよう、同部門の本田教授をオブザーバーとすることを可決した。さらに、前部門長の退職にともない、平成25年4月1日付けで、CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門の藤川准教授及びCO<sub>2</sub>貯留部門の辻准教授を、部門代表として、同委員会に出席させることとした。

#### \*外部アドバイザー委員会(EAC)\*

- 平成25年3月31日現在の構成員は、以下のとおりである。
  - Ronald J. Adrian 教授 委員長 (米国アリゾナ州立大学)
  - Deborah Myers 博士 副委員長 (米国アルゴンヌ国立研究所)
  - Robert J. Finley 博士 (米国イリノイ州立地質調査所)
  - Reiner Kirchheim 教授 (独逸ゲッティンゲン大学)
  - Robert McMeeking 教授 (米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校)
  - Kevin Ott 博士 (米国ロス・アラモス国立研究所)
  - 庄子哲雄教授 (東北大学)
  - George Thomas 博士 諮問委員 (元米国エネルギー省エネルギー効

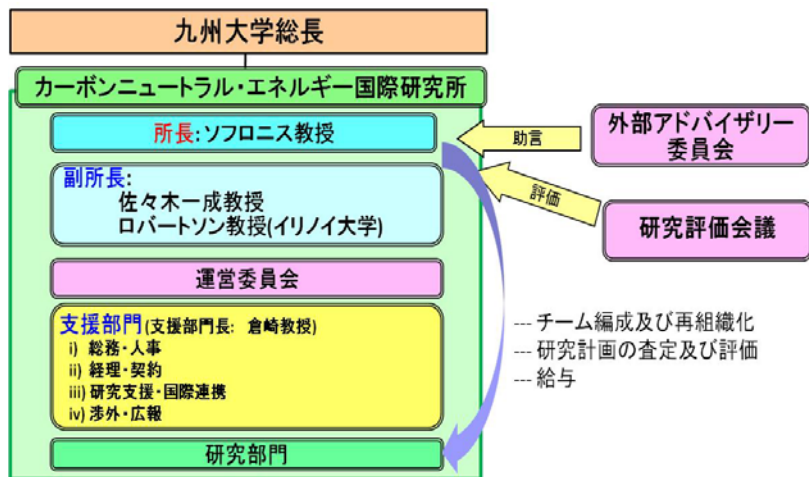


図. 研究所の運営体制

率・可能エネルギー担当、米国サンディア国立研究所)

EACは平成24年2月1、2日に九州大学で行った、研究所評価に関する実地調査報告書を、同年7月15日に所長に提出した。また、平成25年5月30、31日、I<sup>2</sup>CNER リトリートをEAC同席のもとイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校において開催予定。

**\*九州大学・イリノイ大学間の連携とイベント\***

- 九州大学・イリノイ大学間及び他の共同研究機関との共同研究や人的交流は引き続き行われている。イリノイ大学のリサーチアシスタントは継続的に九州大学を訪問し、日本人研究者と共同実験を行っている。平成24年度には、イリノイ大学のポスドク研究者2名及び大学院生5名が九州大学を訪問した。加えて、平成24年度には、九州大学から2名の若手教員が、2ヶ月以上イリノイ大学サテライトのCahill教授のもとで共同研究を行った。その1人である河野准教授は、平成24年10月末から翌年4月まで6ヶ月間の長期にわたりイリノイ大学に滞在した。
- 平成25年1月29日に九州大学において開催したI<sup>2</sup>CNER研究棟竣工式典及びAnnual Symposium 2013に続いて、1月31日にはI<sup>2</sup>CNER研究者間の融合研究と連携を深めるため、それぞれの部門が研究テーマとする分野に焦点を当てたワークショップを開催した。Annual Symposium 2013には、イリノイ大学サテライトから17名の参加があり、その他の海外連携機関からもこのワークショップに多数の出席があった。現在、イリノイ大学サテライトは、九州大学とイリノイ大学から講演者が参加する「Catalytic Concepts for Fuel Cells」と題する国際ワークショップの開催を平成25年9月に計画している。このような一連のI<sup>2</sup>CNER イベントや教員・学生の相互訪問は、両大学の研究者は定期的なEメールやテレビ会議によるコミュニケーションに加え、連携・共同研究に関するアイデアを直接交換し話し合う機会となる。
- 平成24年度、「I<sup>2</sup>CNER P. I. peline」と題されたニュースレターの刊行を開始した。この刊行物は、I<sup>2</sup>CNERの重要なイベントや変更などの情報を、随時研究者に提供する目的でスタートし、平成24年12月に創刊号を発行した。

**\*所長の九州大学におけるフィジカルプレゼンス\***

- 平成24年度の所長のフィジカルプレゼンスは46%である。同年度の所長

の訪問回数は10回、合計103日を日本で過ごした。なお、前年度の訪問回数は5回、滞在日数は54日である。

**\*教授会\***

- 工学研究院からの主任研究者9名の派遣を受けて、教授会を設置した。

**\*予算\***

- 平成24年度WPI補助金執行内訳は以下のとおりである。

|        |         |
|--------|---------|
| ・人件費   | 3.1 億円  |
| ・事業推進費 | 7.1 億円  |
| ・旅費    | 0.8 億円  |
| ・設備備品費 | 2.2 億円  |
| 合計     | 13.2 億円 |

- 平成24年度の九州大学I<sup>2</sup>CNER研究者による獲得研究資金の総額は31.6億円で前年度比93%増であった。詳細については、8. を参照。
- 6名のイリノイ大学サテライト所属の研究者が、I<sup>2</sup>CNERの研究により、15件の外部資金を獲得した。その結果として、イリノイ大学サテライトに更に総額4.6億円の外部資金をもたらした(研究期間に平成24年度を含んでいるプロジェクトをカウント)。

**<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。イリノイ大学をサテライト機関とし、その他機関を連携機関とする。

a) サテライト機関 (米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校)

所長のソフニス教授は、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校の教授で、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。米国イリノイ大学で行われている他の研究活動にも、本拠点構想で提案されているプログラムに共通するものがある。そのため、イリノイ大学には、本研究所のサテライト機関を設置し、緊密な共同研究、人材交流を行う。また、米国イリノイ大学において、研究所関連の研究活動を展開するだけでなく、このサテライト機関には、米国内の他

**<連携体制>**

- Livermore Valley Open Campus (LVOC) プロジェクトは、サンディア国立研究所とローレンス・リバモア国立研究所が合同で立ち上げたプロジェクトであり、米国人以外の外国人研究者が参加できるオープンキャンパスの設立を目的としている。近い将来、LVOCとI<sup>2</sup>CNERによる、例えば水素環境における最先端材料についての合同ワークショップの実施を想定している。本研究所の水素構造材料部門の部門長であるBrian Somerday博士は、米国サンディア国立研究所の著名な技術スタッフの一員である。

- 所長は、学会、国立研究所、産業界及び関係官庁間における研究とエネルギー政策に関する交流ネットワーク及び意見交換を推進するため、アメリカ、ヨーロッパ及び日本において折衝を行っている。その目的は、I<sup>2</sup>CNERのミッションと研究目標が、常に最新の最先端テクノロジーと社

大学・研究機関における重要な研究計画や優秀な研究者を発掘し、連携するための基盤としての機能も持たせる。所長であるソフロニス教授がサテライト機関長も兼ね、イリノイ大学工学部長へ報告を行う。九州大学・イリノイ大学間で、現在行っている大学院生の交換留学提携に加えて、研究・研究者交流のための協定を締結する。

b) 連携機関

国際的に著名な機関の優秀な研究者と共同研究を実施する。これには、研究者の研究能力を高め、研究を促進するサイトビジットも含まれる。

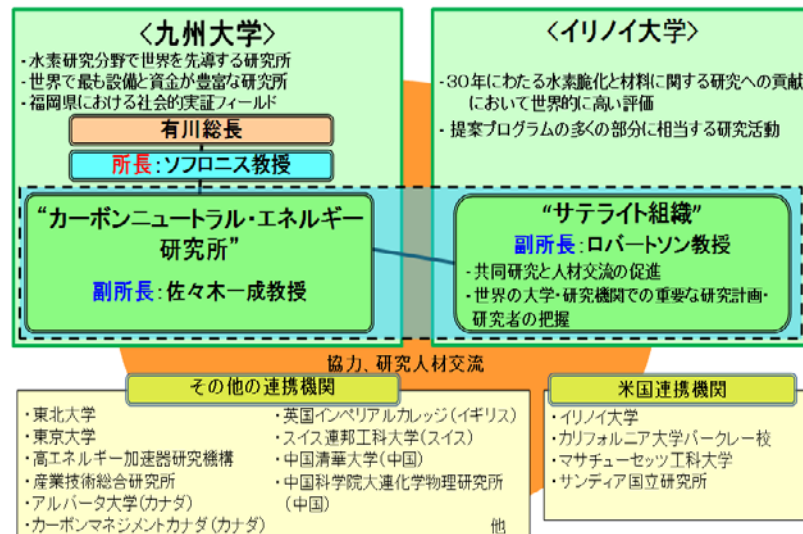


図. 連携体制

会発展に基づいたものとするものである。例として、I<sup>2</sup>CNER・NTNU/SINTEF 3機関の共同ワークショップを平成24年11月15、16日にノルウェー、トロンヘイムにおいて開催し、今後の連携の可能性を検討し、CO<sub>2</sub>貯留(CCS)、エネルギーアナリシス、構造材料に関する連携に向けた覚書に係わる調整を行っている。1月16日、所長は米国ニューメキシコ州アルバカーキーのサンディア国立研究所において、I<sup>2</sup>CNERプロジェクトの紹介を行った。サンディアは米エネルギー省から資金を獲得し、CCSに関する研究所であるEnergy Frontiers Research Center (EFRC)を運営していることから、同分野における連携の可能性を現在検討中である。また、パシフィック・ノースウエスト国立研究所Chemical and Materials Sciences DivisionディレクターのBruce Garrett博士と、回収したCO<sub>2</sub>及び触媒作用の分野におけるI<sup>2</sup>CNERの計算能力を強化するための連携も検討中である。

## 2. 対象分野

### 【応募時】

#### 対象分野：

カーボンニュートラル・エネルギー社会実現に向けた基礎科学  
(化学、物理学、材料科学、機械学、地球科学、海洋科学、生物模倣学等の融合科学)

#### 対象分野として取り組む重要性：

- カーボンニュートラル・エネルギー社会を実現するために、CO<sub>2</sub>排出のない持続性のあるエネルギー源の開発や、安全で信頼性の高いCO<sub>2</sub>回収・貯留(CCS)システムの確立が必要である。
- 化石燃料資源の有限性に対するエネルギーセキュリティや、原油価格の高騰による資本の流出と経済活動の不安定さの観点から、化石燃料に依存しないエネルギー源の組み合わせによる柔軟なエネルギーシステムの早期実現が不可欠である。
- 特に、水素は以下のような優れた特徴から、持続的発展及びカーボンニュートラル・エネルギー社会の実現のための究極の代替エネルギー源としてだけでなく、多様なエネルギー源から作られる有望なエネルギーキャリアとして、非常に重要な役割が期待される。
  - a) 水素は、反応(燃焼)過程において、CO<sub>2</sub>を排出しない。
  - b) 水素燃料電池は、化石資源の燃焼によってエネルギーを取り出す従来の熱機関システムに比べてはるかに高効率である。(化石燃料等は、電気エネルギーを得るために、その化学エネルギーを燃焼等によって一度熱エネルギーに変換する必要があり、利用できない廃熱を生じてしまうことから、潜在的に持っているエネルギーの全てを十分に活用できていない。)
  - c) 水素は、電気分解、核熱の利用、化石燃料の改質、光触媒による水分解等、様々な方法によって製造でき、特にエネルギー密度の希薄な自然エネルギーを化学エネルギーとして濃縮することが可能である。
  - d) 水素エネルギー(化学エネルギー)は、電気エネルギーとの間で、電気分解や燃料電池等によって相互に高効率かつ可逆的にエネルギー変換が可能である。
  - e) 水素エネルギー(化学エネルギー)は、電気エネルギーとの間で、電気分解や燃料電池等によって相互に高効率かつ可逆的にエネルギー変換が可能である。

### 【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】

東北地方太平洋沖地震により発生した津波や福島における原発事故等の大災害により、将来の日本におけるエネルギー基盤が抱える深刻な課題が表面化した。カーボンニュートラル・エネルギー社会の実現に向けI<sup>2</sup>CNERが行っている基礎科学は応募時から変わらない。目標・マイルストーンの設定は、カーボンニュートラル・エネルギーの未来に向けたエネルギー技術実現の障壁の除去に向けたロードマップに沿って、エネルギーアナリシス部門(EAD)が各研究部門と共同で取りまとめている。

- 昨年度の各研究部門における進捗状況の概要は、次項「3. 研究達成目標」に示す。その内容は九州大学、イリノイ大学及び国際共同研究機関における研究努力を反映し、まとめたものである。

換が可能である。

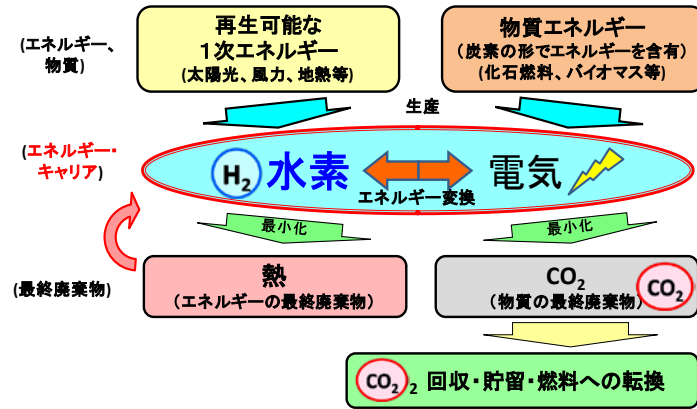


図. カーボンニュートラル・エネルギーシステム

水素の製造やCCSの工程にもエネルギーが必要である。もし、水素製造の際に消費したエネルギーの方が、得られた水素の化学エネルギーよりも多かたり、また、CCS工程で使用したエネルギーによって排出されたCO<sub>2</sub>が、実際に回収・貯留したCO<sub>2</sub>よりも多かたりしては、クリーン又は持続可能なエネルギーとしての意味がない。さらに、前述したように、炭素の形でエネルギーを含む物質（化石燃料やバイオマス）は、燃やして電気や熱が取り出され、その際に排熱やCO<sub>2</sub>を放出する。また、太陽光、風力、地熱等の再生可能なエネルギー源からも熱や電気が生産され、最終的な廃棄物は有効に利用されなかった排熱である。従って、これらの排熱の有効活用も含めて、以下の技術を柔軟かつ適切に組み合わせることによって、最終的なCO<sub>2</sub>排出量及び廃棄される熱エネルギーを最小化した、最適で経済的なトータルエネルギーシステムを構築することが非常に重要である。

- a) 既存の火力発電、原子力発電、化石燃料、再生可能エネルギーや排熱等の有効利用も含めた、高効率な水素製造
- b) 水素（化学）エネルギーと電気エネルギーとの間の高効率なエネルギー変換
- c) CO<sub>2</sub>の高効率な回収・貯留

つまり、水素エネルギー関連の研究やCO<sub>2</sub>の回収・貯留等の研究は、個々に独立して実施するのではなく、全体のエネルギーシステムの中での位

置づけ、融合的役割等を十分考慮しながら実施することが重要である。

これまで日本は、家庭用燃料電池、燃料電池自動車、水素ステーション等、再生・クリーンエネルギー技術の分野において世界の最先端にあり、特に九州大学を核として、世界に誇る研究基盤と実績がある。例えば、九州大学は、水素エネルギーに関する基礎基盤研究から、燃料電池や水素ステーション等の実証研究まで、水素エネルギーに関する研究活動において国際的に認められている。この国際的な取り組みの開始に向けて、これまでの九州大学の研究基盤と研究実績が、貴重かつ有益な環境を提供する。CO<sub>2</sub>の回収・貯留については、世界中で精力的に研究が進められているが、その長期的な安全性・安定性に関する研究が十分になされておらず、実用化に向けて、これらの技術の科学的な根拠を充実させる必要がある。その素地となる基盤的研究として、九州大学では、地中貯留に関して、SO<sub>2</sub>の存在によるCO<sub>2</sub>溶解量への影響や浅地層でのCO<sub>2</sub>の物理化学挙動等について研究を行っている他、海洋貯留に関して、海洋大循環モデルの開発、モニタリングに活用可能なバーチャルモアリング（係留）システムの開発等を行っている。

- カーボンニュートラルな水素社会の実現に向けた障壁を取り除くため、本研究対象は、水素製造、水素貯蔵材料、耐水素脆化材料、燃料電池、物質変換、CO<sub>2</sub>の回収・海洋貯留・地中貯留とする。そして、これら技術に必要なブレイクスルーを達成するためには、基本原理に立ち返り、水素、酸素、CO<sub>2</sub>と、物質とのインターフェイスにおける基本的なプロセス・反応を理解することが必要である。本構想では、課題に共通する現象（吸着、吸収、固溶、拡散、反応、伝導）について、幅広い時間・空間スケールにわたる研究を行う。従って、現在のエネルギー及び環境問題を解決するには、ミクロからマクロまでを扱う異分野科学の融合が必須である。
- 本研究目標達成のためには、化学、物理学、材料科学、熱流体力学、地球科学、海洋科学、生物模倣学等、様々な研究領域の研究者が共に、同じ課題の研究に取り組む必要がある。それによって生み出される相乗効果によって、研究成果全体に良い影響をもたらす、革新的な技術の開発につながっていく。



### 3. 研究達成目標

#### 【応募時】

○ 10年後の研究達成目標は、革新的で安全かつ信頼性のあるCO<sub>2</sub>の分離・濃縮、CO<sub>2</sub>の地中・海洋への貯留だけでなく、水素の製造・貯蔵・利用技術（水素製造、水素貯蔵材料、耐水素脆化材料、燃料電池、物質変換）を確立することである。この目標達成のため、学問領域の融合（化学、物理学、材料科学、熱流体力学、地球科学、海洋科学、生物模倣学）による研究を行い、水素、酸素、CO<sub>2</sub>と物質とのインターフェイスにおける拡散などの現象について、原子から地球規模まで、また、ナノ秒から数十年までのあらゆるスケールで調べる。また、地中・海洋への貯留やカーボンニュートラル・エネルギー社会への転換について、科学的データを提供し、国民に情報を発信することにより、社会的議論に貢献することを目指す。個々の研究における研究達成目標は次の通りである。なお、具体的な研究内容については、次項で述べる。

- 余計な廃棄物やCO<sub>2</sub>を排出しない高度物質変換の実現。
- 人工光合成等、革新的な環境調和型水素製造プロセスの実現。
- 水素貯蔵量6質量%以上の革新的水素貯蔵材料の実現。
- 安全で信頼性の高い材料によるインフラ開発に向けた耐水素脆化材料の設計。
- 最先端材料・デバイス研究による次世代燃料電池の実現。
- 低エネルギーのCO<sub>2</sub>分離・濃縮プロセスの実現。
- CO<sub>2</sub>の挙動や化学的相互作用を考慮したCO<sub>2</sub>地中貯留の実現。
- 海洋におけるCO<sub>2</sub>の挙動の解明による海洋貯留の実現。
- 水素技術や地中及び海洋におけるCO<sub>2</sub>の長期的挙動に対する国民意識を高める。

#### 【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】

- 応募時からの変更点はない。研究進捗状況については、各部門の全研究者の報告をまとめ、エグゼクティブ・サマリーとして部門ごとに整理し、以下のとおり報告する。加えて、エネルギーアナリシス部門の現況も報告する。



図. 学問領域の融合による研究プログラムにおけるインターフェイス

(具体的な研究内容と目標)

### 1) Zスキーム型励起機構による水の光完全分解の研究 —人工光合成の実現を目指して—

- 人工光合成(具体的には水の光分解)はCO<sub>2</sub>を排出しない革新的な水素製造方法として有望であるが、現時点では水の完全分解まで達成していない。これは、電荷分離の時間が短すぎてプロセスが完了しないためである。
- これまで、水素と酸素を効率的に製造するため、構造を制御した酸化物半導体と有機半導体を組み合わせたZスキーム型の二重励起を開発する；とともに、ある種の酸化物により非常に高速に電荷が有機物に移行する方法を開発した。本研究では、水の光完全分解による水素製造について研究し、これらの原理を利用し、1)革新的な太陽電池の開発、2)暗反応を模擬した電解技術との組み合わせによるCO<sub>2</sub>の有用化合物への転換を実現する。
- これらの目標達成に向けて、生物化合物を模擬した新規の無機・有機半導体の合成、界面構造における色素の制御、電荷移動過程の解明、太陽電池及び電解槽の電極構造の原子レベルでの解析、光励起された電荷を効率的に分離するシステムの解析等の研究を行い、分子化学・生物模倣学・

(研究目標と方法)

### 1. 水素製造及び人工光合成

目的

本部門は、エネルギーの生産・変換、また貯蔵可能なエネルギーとしての水素の製造に必要な技術の科学及び工学に焦点を置いている。現在、太陽光を直接水素に変換する光触媒や光電気化学電池、2段階での水素製造として水蒸気電解と組み合わせた太陽光発電の開発に取り組んでいる。また太陽光発電の逆動作素子として、高効率な発光ダイオードを開発している。省エネルギーに貢献する有機発光デバイスを開発しており、その基礎化学はエネルギー変換方法として研究されている有機太陽光発電にとっても大変重要である。

研究活動には、有機色素の界面構造及び光触媒の無機半導体を分析するミクロ構造特性評価も含まれる。本部門の研究は、エネルギー生産・変換・貯蔵をテーマに実施しており、それぞれ、太陽光の電気変換、高効率発光による発光効率の向上、水の還元による水素の生産について研究を行っている。また、材料合成、デバイス作製、理論に基づいた材料開発などを行っている。本部門では、今までにない無機・有機光触媒や電解質の開発、有機発光・光電気化学電池・太陽光電池に適用できる新し

グリーン化学、表面科学等の分野の統合により、光を利用したCO<sub>2</sub>を排出しない水素製造技術とCO<sub>2</sub>の還元の実現に貢献する。

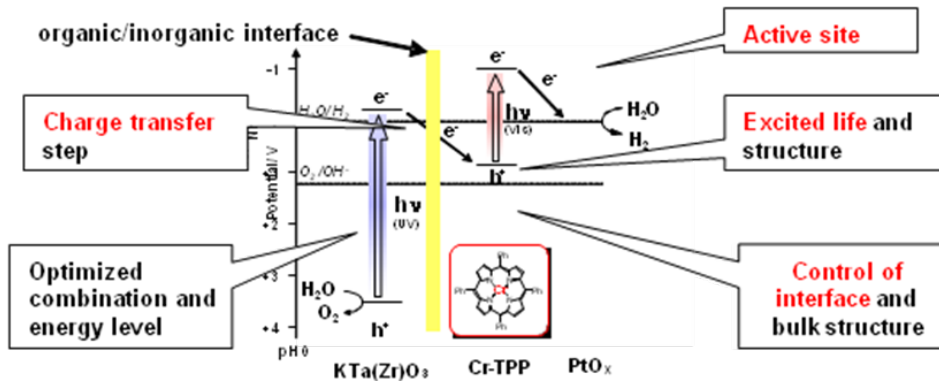
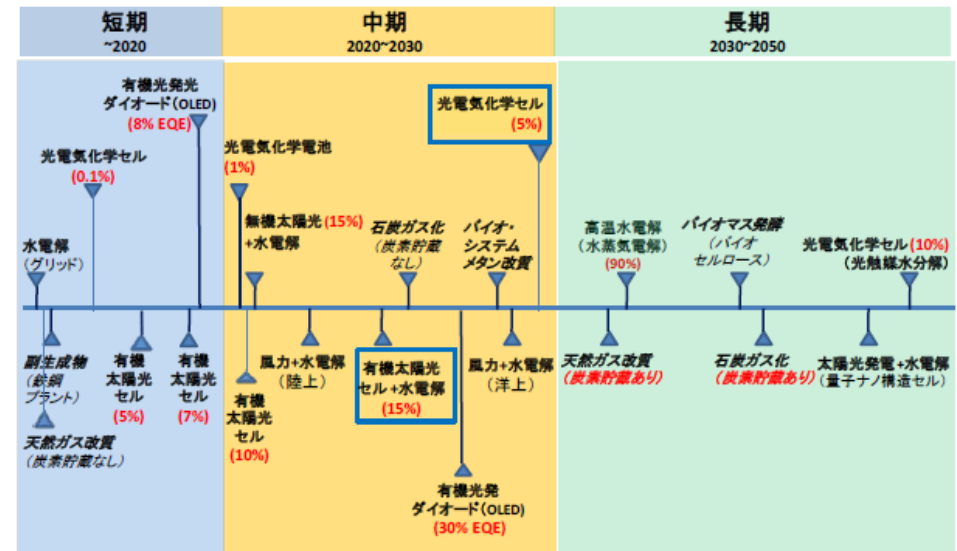


図. 水の完C全分解による人工光合成

い分子合成、電気化学的及び電解による水素製造に関する材料開発などの研究を行っている。

部門の研究目標及び目的について、エネルギーアナリシス部門と協議し、ロードマップ(図1)にまとめた。



イタリアック体箇所: FCNER以外の研究テーマ  
 囲み: 優先度の高い研究目標

図1 水素製造部門ロードマップ

研究ハイライト

石原教授グループは、光触媒の活性向上を目指し、新規な有機色素分子の設計及び合成を行った。オクタフィリンは、広い波長吸光性を持つCr-TPPCIより非常に高い水の完全分解活性を示した。また、無機材料において、Ga(Zn)N(O)は可視光の利用に有効で、350~650nmで行った実験では、水の光触媒分解においてより優れた活性を示すことがわかった。

Kilner教授グループはPr<sub>2-x</sub>La<sub>x</sub>NiO<sub>4+δ</sub>ペロブスカイトの安定性について実験を行い、水蒸気電解におけるアノード材料への適用を検証したところ、“A サイト”陽イオンは、材料表面で濃縮することがわかった。実験の多くは、Druce学術研究員が九州大学の低エネルギーイオン散乱装置(LIES)を用いて行った。開回路における分極抵抗は、Pr<sub>2</sub>NiO<sub>4+δ</sub>で活性が高く、電極性能はLa<sub>2</sub>NiO<sub>4+δ</sub>と同等であった。

安達教授グループが開発したITO/MoO<sub>3</sub>/DBP/C<sub>70</sub>/BCP/Agデバイス構造に基づいた有機太陽光発電装置は7%の効率性を示した。さらに、一重項と三重項でのエネルギーギャップが大変少ない材料を作製し、三重項の高効率発光特性を一重項発光においても実現し、内部蛍光効率及びエレクトロルミネッセンス外部効率は、OLEDに基づく高効率のリン光基準のOLEDと同様の19%を達成した。

酒井教授グループは、様々な新しいピグメント・マルチアクセプター・システムに基づき、水を酸化する新規な有機分子の設計、合成を行った。例えば、Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>から生成された単一発色団をつなぐマルチビオロゲンフレームワークを開発し、マルチ電子貯蔵及び光物理的物性の詳細な分析を行った。これらの新しいシステムにおいて実現されたひととき長寿命の電荷分離状態は、マルチビオロゲン残留物中の電子移動が逆電子移動の可能性を抑制した結果である。その他にも、Pt(II)複合体を、「単一分子光水素発生デバイス」として開発し、光触媒で水から水素を放出させた。これは大阪大学の研究者との共同研究で開発している大変ユニークな「人工光合成Zスキーム」に基づいたものである。

Rockett教授グループは、安田准教授と連携し、九州大学で開発された有機太陽電池のシミュレーションを行った。これらのシミュレーションにより、暗電流と再結合メカニズムを抑制する装置のヘテロ接合を通る電荷輸送の再結合を説明している。また、ヘテロ接合における電荷収集と電荷再結合のバランスを検証するために電流電圧特性と比較を行っている。Rockett教授グループはまた、次世代光起電材料として注目を浴びるAgInSe<sub>2</sub>について走査型トンネル分光器(STS)を使って計測し、バンド端変動を観察した。この実験結果をもとに、無機光起電装置の性能を改善することが可能となっている。この研究は、九州大学NEXT-FCにあるイオン表面散乱装置を用いてDruce学術研究員と共同で行われている。

Ertekin助教グループは、有機、無機材料の密度関数理論シミュレーションをStaykov助教と共同で実施した。Ertekin助教は、光触媒水分解の電極表面の電子状態を計算し、Martin助教と共同で、Cuprous Oxide/TiO<sub>2</sub>及びBaTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>ヘテロ接合に応用し、観察された挙動のシミュレーションに成功した。本グループではまた石原教授によって合成された光触媒porphyrin-GaN:ZnOにおける電荷移動の解明及び最適化を研究している。Ertekin助教の電子構造モデリングを使い、最善の光触媒動作のための有機色素の適切な合成を検討し、さらに、Staykov助教、萩原助教、石原教

授と共同で、有機と無機の接合、つまり、ペロブスカイト型 $\text{KTaO}_3$ と有機分子 $\text{Cr-Tetraphenylporphyrin-Cl}$  ( $\text{Cr-TPPCl}$ )の接合のシミュレーションを行う。その接合において、電荷分離は独特の分子スイッチングメカニズムによって可能となることを検討する。

Martin助教グループは、 $\text{SrRuO}_3$ から $\text{TiO}_2$ へホットキャリア注入を行う $\text{TiO}_2/\text{SrRuO}_3$ ヘテロ構造について研究を行い、サブバンドギャップ放射と相互作用し、可視光線照射下で活性が高まることを発見した。これは、石原教授グループが開発している光電気化学電池の性能を高める可能性がある。 $\text{TiO}_2$ 光吸収のほとんどを除去しても、強い光起電性反応がAM1.5G照射下で観測された。

Gewirth教授グループは、窒素を含むリガンドを使うことによって銀ナノ粒子触媒の一酸化炭素、水素生産をコントロールし、また窒素を含む分子を銀粒子に付着させることにより、水素に対する一酸化炭素発生の増加に成功した。これは、様々な形態の水素及び二酸化炭素両方を削減する高性能電気化学方法を設計する際に重要である。また、萩原助教と共同で研究を実施し、酸硫化物電解質が有機金属光吸収剤表面上における吸収により改善されることを発見した。助触媒と可視光応答により、十分な量の酸素及び水素の放出を達成し、特に九州大学で開発された色素調節の技術を使って、活量を向上させた。このシステムにおけるガス生産の正確な効率性は現在検証しているところである。

高原教授チームはTEMによるトモグラフィイメージを使い、燃料電池電解質(FCEs)の劣化過程をサイズ、白金触媒の分配等の観点から検証した。光触媒の有機色素及び無機半導体の界面構造分析のため、スモールアングルX線スキャッターを用いた。また、ポリマーブレンドのナノ構造について、この技術を使った予備研究を行った。本グループは新しい燃料電池の高分子電解質膜の開発を目指している。

#### 重要な研究成果

*Uoyama, Hiroki; Goushi, Kenichi; Shizu, Katsuyuki; Nomura, Hiroko; and Adachi, Chihaya. "Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence." Nature, 492, 234-238, 2012.*

#### 科学的解説:

安達教授グループは、高価なレアメタルを使わない高性能なルミエッセン

スの開発、合成に成功した。OLEDsの発光は、励起子中のカルボカチオン及びカルバニオンの回転とフェーズへの制限を課す量子力学選択則に従う。

一般的に“一重項”状態の蛍光遷移は、発光には利用できない三重項状態より高いエネルギーを持っている。そのため発光は通常弱く、三重項から一重項への変換を達成する分子はない。これらの分子はたいていイリジウムのような重希元素を包含する。安達教授グループは、時間依存密度汎関数理論と有機化学合成を併せて発展させ、三重項から一重項へ非常に低いエネルギーで変換する有機分子を創製し、高価なレアメタルを使わずに高効率蛍光発光を達成した。新しい分子であるカルバゾリルジシアノベンゼン誘導体(CDCB)は一般に入手可能な材料から一工程で合成でき、触媒としてのレアメタルを使わない。そのため分子創製コストを抑えることができる。分子の発光波長は、DFT計算法を用い分子構造の変更によって調整を行った。ピーク発光波長は450nm以下~590nm以下、青色からオレンジ色の範囲である。エレクトロルミネッセンスの外部量子効率は、スペクトルの赤、緑、青を発光する装置で8~20%を得ることが出来た。これは従来の一重項から三重項へ変換する分子をもつOLEDsより高い結果である。

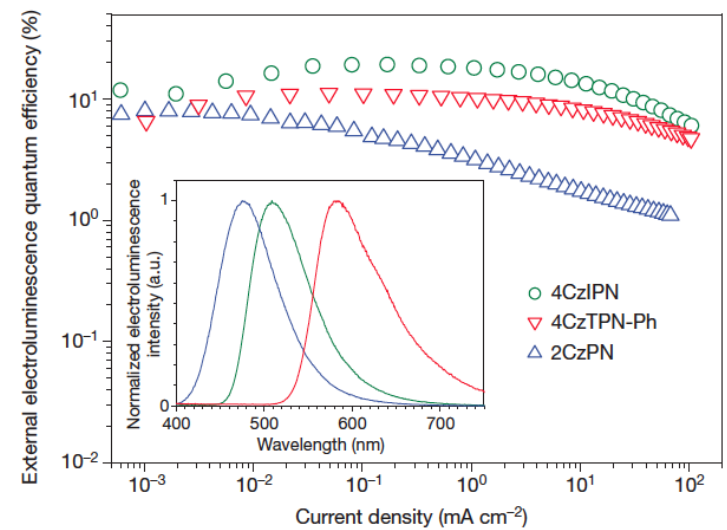
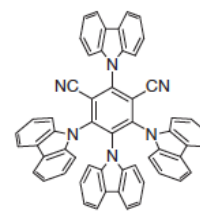


図2



4CzIPN

図3

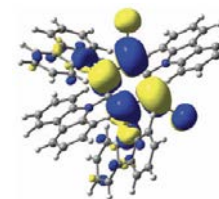


図4

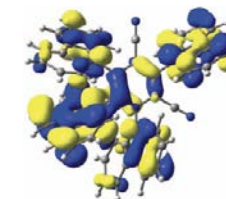


図5

図2：3つの異なるカルバゾリルジシアノベンゼン誘導体から創製された OLEDsの電発光効率

図3：創製された新しい分子構造

図4：図3で示す分子の最低空軌道

図5：図3で示す分子の最高被占軌道

#### 重要な研究成果

*Kobayashi, Masayuki; Masaoka, Shigeyuki; and Sakai, Ken.*

*"Photoinduced Hydrogen Evolution from Water by a Simple Platinum(II) Terpyridine Derivative: A Z-Scheme Photosynthesis."*  
*Angewandte Chemie International Edition, 51, 7431–7434, 2012.*

#### 科学的解説：

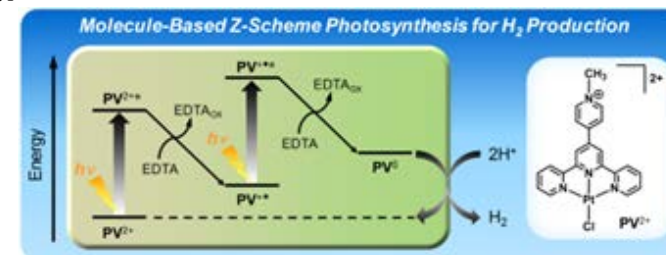


図6

Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>誘導体を使って水から水素を発生させるための白金(II)基分子触媒について研究を行った。その結果、リガンド ([Pt(terpy)Cl]<sup>+</sup>)として2,2':6',2''-terpyridineを持つ白金(II)複合体は、光増感及び水素活性化の両方を奨励する二重機能を持った光触媒となることがわかった(岡崎他, Dalton Trans. 2009)。さらに、ビオロゲンのようなアクセプターユニット(PV<sup>2+</sup>)を持つ新しい [Pt(terpy)Cl]<sup>+</sup> アナログを設計し、合

成した。また、 $PV^{2+}$ を触媒とする光化学的水素生産システムの詳細を解明し、可視光照射下において犠牲電子ドナーEDTAが存在するとき  $PV^{2+}$ は水から水素を発生することがわかった。興味深いことに、光水素発生活量は、 $cis\text{-PtCl}_2(\text{NH}_3)_2$ のような白金(II)基原子共触媒によって劇的に高まることがわかった。

次に、 $PV^{2+}$ の光化学的挙動について、光照射下紫外可視スペクトルの時間的経過観察を行った。まず、 $PV^{2+}$  ( $PV^{2+*}$ )の光励起状態における還元消光は、 $PV^{2+}$  ( $PV^{+*}$ )の一電子還元化学種を与えることがわかった。興味深いことに、 $PV^{+*}$ は暗所でかなり安定していることを発見した。また、効果的な水素発生は  $PV^0$ の形成が必要で、これは $PV^{+*}$ の光励起状態のさらなる還元消光によって形成される。これは、自然界における光合成のように、水から水素を放出する分子システムの2段階光励起に関する初めての研究である。そのため、我々は“Zスキーム”と呼んでいる。

#### 今後の方向性

現在、取り組んでいる短期目標は、無機グループ I 及び III 族の酸化物の開発と光触媒への応用及び太陽光電池の最適化である。新しい有機リガンドは、光化学的電池の複合有機/無機電解質を生成し、次世代無機光発電に直接適用できる。日本で現在開発されている無機光発電をさらに高めるための材料化学は、Rokkett教授、石原教授、Kilner教授のチームによって研究されている。OPVやOLEDs向け有機材料は、安達教授グループが開発している。これらの研究では、Ertekin助教、Staykov助教、Rokkett教授の協力のもと、密度機能理論を用いたシミュレーションや、光発電・光化学装置シミュレーションが行われている。水蒸気電解質は、Ertekin助教、Staykov助教の協力のもと、Kilner教授のグループによって開発された無機材料を使って最適化されている。

## 2) 水素材料適合性の研究

### —水素脆化に対する緩和・改善戦略—

- 水素脆化は、ほとんど全ての材料において、通常ならば安全に使用できる荷重条件下で突発的かつ壊滅的な不具合を引き起こす深刻な現象である。金属の水素による劣化の問題は現象的には、十分に知見が蓄積されており、限られた荷重条件においては基本的メカニズムの解明には著し

## 2. 水素構造材料

### 目的

水素燃料による技術の普及には、高圧水素の貯蔵及び供給システムの安全性、信頼性、構造的な効率及び低コスト化が必要不可欠である。水素の貯蔵と供給のためのシステムの安全性と信頼性のために考慮すべき事項のひとつは、材料の劣化に及ぼす水素の影響(水素ぜい化など)である。水素と材料との相互作用により、疲労き裂の進展が加速され、破壊靱性は低下し、部品の摩耗が促進され、その結果予期せぬ惨事を引き起こす可能性が



い進歩が見られるものの、水素が材料特性を劣化させる種々の道筋や、機器の運用条件にどのように左右されるのかについての情報は未だ不足している。本課題の重要性について例を挙げ実証する。我々は、水素によって促進される疲労破壊において、どのようにして比較的低下の水素が材料抵抗を桁違いに低下させるのか把握できていない。また、より基本的なレベルについて言うと、水素による空孔安定化が潜在的な破壊機構なのかどうか把握できていない。ましてや空孔形成に起因した破壊の原因となる運転履歴や荷重条件については分かっていない。また、ガス状の水素が乾燥条件下のスライディングシールで潤滑剤として働くのか、あるいは摩耗機構と結びついて破壊を促進するのか、把握できていない。製造、輸送、貯蔵、ディスペンサー等のシステムは、金属以外の部材を含むと考えられる。例えば、ポリエチレンは自動車用途向けの加圧タンクでライナーとして使用され、エラストマーはシールで使用される可能性がある。金属系と比較すると、我々の非金属材料の構造特性への水素の影響に関する知識はせいぜい基本的なものでしかない。

- 水素環境における構造部材の寿命評価、軽減や改善手法の構築、スマート材料の開発は未だ実現していない。本研究では、様々な空間・時間スケールにわたる実験・計算を相乗的に用いた手法を考案し課題に取り組む。各スケールにおける取り組みは、より高いスケールでの開発と理解につながる。例えば、局所水素濃度の実験的測定と第一原理計算を組み合わせることにより、水素濃度に関する電子構造及び結合エネルギーの水素濃度への依存性について知見が得られる。材料内部の界面の凝集に及ぼす水素の影響についての知識は、特性予測のためのマイクロメカニカルモデルに組み込む構成方程式やマクロスケールでの寿命評価法の開発のキーポイントである。我々は、本研究の進行には最先端の計算ならびに実験的手法の専門家からなる国際的な研究部門の編成が必要であり、そのように構成されている。具体的には、

- 金属表面と水素の相互作用を研究する。分子状水素がどのように表面原子と相互作用するか、原子状水素に解離して、金属に入るかを把握することは、劣化メカニズムがどのように水素侵入に依存するのかを把握するために必須の知識である。他の脆化緩和種の存在下で、自由界面や材料内部の界面における水素吸着の物理・化学について研究する。
- 静的及び繰り返し荷重下のき裂先端部における酸化物等の再生皮膜の形成と水素吸着との相互作用研究のための実験法を開発する。
- 局所水素濃度及びその局所電子構造への影響、格子結合力、FCC構造

ある。そのため、これらの材料劣化現象を正しく理解し対策を講じることが重要である。

本部門は、以下に述べる新しい手法と技術の開発を可能にする基礎知識の確立を研究目的としている。すなわち、材料の疲労、破壊、摩耗に及ぼす水素の影響を計測する信頼性の高い効率的な試験法や、固体への水素の侵入、水素と欠陥との相互作用、材料劣化の詳細なメカニズムを含む水素起因の疲労、破壊、摩耗特性のモデル構築、また耐水素性を損なうことなく低コストでより良い性能(高強度など)を持つ次世代材料の開発などである。これらを実現するための基礎的知見は、高圧水素や低温といった特殊環境下での材料の複雑な機械的特性の測定を実施することによって得られる。さらに、これらの結果から導かれる水素起因の材料劣化の物理的モデルは、今後の予測モデルのフレームワーク開発の基礎となる。本部門の研究は、水素ガスの貯蔵と供給のためのシステムのコスト、性能、安全性を最適化するために資するものである。

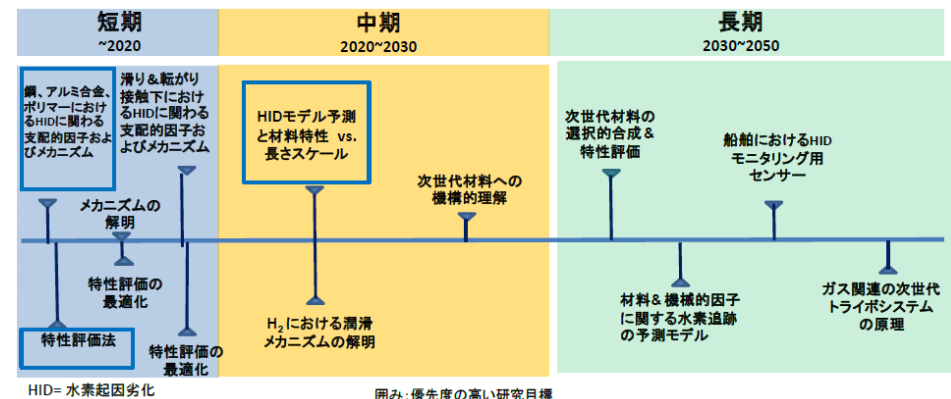


図7 水素構造材料部門ロードマップ

### 研究ハイライト

本部門の研究は、短期、中期、長期技術目標及び研究目標に沿って進められる。まず当セクションでは短中期目標へ向けての進展について述べ、次のセクションで重要な研究成果2件について詳細を報告する。

本部門の短期技術目標は、水素ガス貯蔵及び供給のための安全で信頼性のある部品(バルブ、パイプ、シール等)、高圧容器、コンプレッサー等の普及である。ここに述べる研究は、技術目標から生じた以下の研究目標によって実施したものである。すなわち、構造材料の水素起因の劣化に関わる

の粒界等内部界面の強度について測定する。第一原理計算ならびに分子動力学シミュレーションを用いて、空孔や転位芯等の欠陥と水素の相互作用を解析する。

- ナノスケールの検討として、水素の影響を受ける各すべり系の塑性流動の活性化及び界面結合力の測定、マクロレベルでは破壊力学の観点からマクロスケールの劣化強度を測定する実験法を開発する。
  - 水素と材料の結晶構造の相互作用を記述する材料の構成方程式モデルを開発する。このような力学的な観点からの疲労の解明・モデリングは必要不可欠だが、現時点では完璧に不足している。
  - 科学的根拠に基づいた規格・基準の構築を目指し、有限要素解析及びマイクロ／ナノスケールからマクロまでの知見を統合するシミュレーションを用いて材料強度予測を行うツールを開発する。
- 本研究は、1) 水素脆化を軽減あるいは抑制する手法を開発することにより、既存の材料における水素脆化問題の改善、2) 実験と計算を併用した知的手法により、広範な動作条件において耐水素脆化材料の開発を目指す。

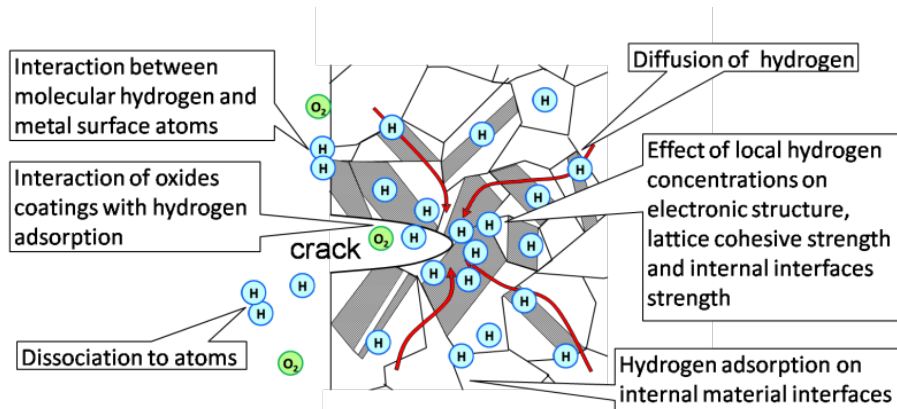


図. 水素存在下における亀裂周辺的基本的プロセス

支配的因子及びメカニズムの解明、及びその劣化の特徴を説明する方法の最適化である。前者の研究目標、すなわち水素起因の材料劣化のメカニズム解明は、疲労、破壊とともに摩擦、摩耗に関連している。

次のセクションで述べる重要な研究成果のひとつは、短期研究目標と関わりがある。Robertson教授チームによる成果は、疲労き裂成長において繰返し変形によって誘起されるマイクロ構造の変化の本質について新たな解釈を与えるものである。さらに、この加工によって誘起されるマイクロ構造変化は水素の顕著な影響を受けることが実験によって明らかになった。従来困難であったこのような観察が可能になったのは、最先端の材料特性評価方法によるものである。これらの成果は、最近「*International Journal of Fatigue*」に掲載され、昨年報告した研究活動が着実に成果を生み出してきたことを表している。また、異なる材料システムを研究している他のチームが、並行して以下の結果を出している。例えば、久保田教授チームは銅においても繰返し変形における水素の影響があることを示した。この新しい研究では、水素はすべり帯の生成を顕著に助長することがわかった。銅は水素関連技術に関わる構造材料として高い優先順位があるものではないが、水素と変形との相互作用に関する基礎的知見を得るためのよいモデル材料である。さらに、山辺准教授グループは、高強度鋼における水素ぜい化メカニズムについて、結晶粒界での変形双晶の相互作用が関与している可能性を見だし、その機構の解釈について2012年「*International Journal of Fracture*」に発表した。

その他2件の研究が、昨年度より継続して実施されている。Somerdar博士が平成23年度の報告書において、低強度鋼の水素による疲労き裂進展助長のメカニズムに粒間破壊が関わっていると指摘した点を立証するために、Somerdar博士と高木教授チームが共同で実験を考案している。高木教授チームは実験に必要なモデル材料であるFe-C合金を調達し、特性を調べた。また摩擦及び摩耗の研究を行っている杉村教授チームは、低接触面圧の滑り接触下で形成された酸化膜が鋼への水素侵入を遮断することを昨年度報告したが、その継続研究において、接触面圧や温度など表面酸化に影響を及ぼす他の因子が水素侵入に影響を及ぼすことがわかった。このような、固体表面間の滑りや接触において水素侵入に影響を及ぼす基本的過程や因子を探求する研究は、水素起因の疲労や破壊の基礎的メカニズムに関わるき裂先端での水素取り込みに関する研究を補完するものである。

#### 重要な研究成果

*Tsuboi, Koichi; Macadre, Arnaud; Tsuchiyama, Toshihiro; and Takaki, Setsuo. "Surface-layer microstructure control for metastable austenitic stainless steel plate to improve hydrogen embrittlement resistance." CAMP-ISIJ, 25, 1185, 2012.*

#### 科学的解説：

本部門の最終目標は、結晶粒の超微細化、格子間原子の高濃度化による結晶粒微細化など様々なミクロ構造の制御技術を使って、耐水素ぜい化性に優れた低コストで高強度の鋼を開発することである。ここで低コストと高強度を強調したが、これらは本部門の中期・長期技術目標においても一貫して掲げているものである。準安定オーステナイト鋼は、ニッケル含有量が低いため比較的費用効率が高い。この種の鋼では、加工誘起マルテンサイト変態によって強度が高まる。しかしながら、マルテンサイトの結晶粒同士がつながると水素の拡散経路が生じ、その結果、水素ぜい化が助長されることになる。安定したオーステナイト相と加工誘起マルテンサイト相の分布を制御するために、準安定オーステナイト鋼304に固相窒素吸収法による窒化処理を行った。非窒化処理材において表面下のどの位置でもオーステナイト相の約80%がマルテンサイト変態しているのに対し、完全な窒化処理材(86.4ks)では加工誘起マルテンサイト変態は抑制され、オーステナイト相が完全に安定化する。一方、窒化処理の不完全な材料において、安定化オーステナイト層は表面にのみ存在し、このオーステナイト表面層は窒化時間が長いほど(0.18、3.6ks)増加することがわかった。このようなオーステナイト表面層の水素ぜい化に対する効果を、電解水素チャージあり、なしの試験片を用いた引張試験で計測した(図8)。この図からわかる通り、厚さわずか10 $\mu$ mの安定化オーステナイト表面層により、ぜい化感度は劇的に減少する。この技術に関わる特許は既に取得している。

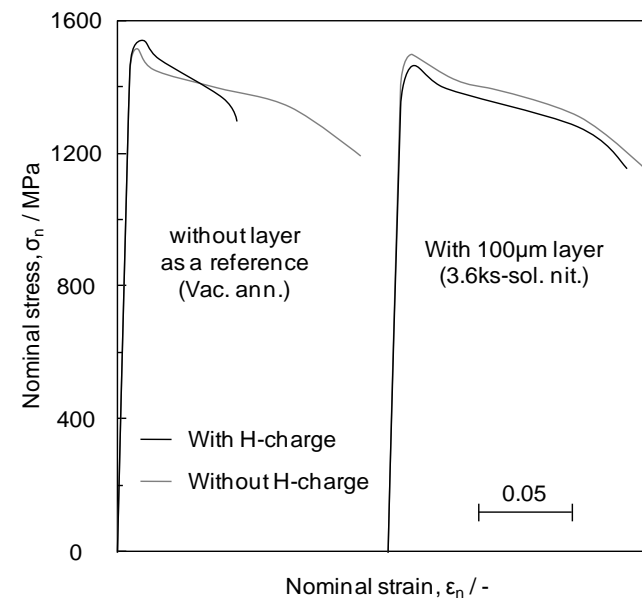


図8 公称応力-ひずみ曲線の比較

(左) 固溶窒化材の水素チャージあり、なし(窒化3.6ks)

(右) 60%冷間圧延SUS304鋼シート(100μmオーステナイト相層)

#### 重要な研究成果

*Martin, M. L. ; Sofronis, P. ; Robertson, I. M. ; Awane, T. ; and Murakami, Y. "A microstructural based understanding of hydrogen-enhanced fatigue of stainless steel." International Journal of Fatigue, DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2012.08.009, 2012.*

#### 科学的解説:

水素ガス貯蔵と供給のために安全で信頼のおける部材と部品を開発する短期技術目標に基づき、関連する研究目標に沿って水素に起因する鋼の劣化を支配する因子及びメカニズムを解明し、また材料における水素起因の劣化を特徴づける最適な方法を探求している。集束イオンビーム(FIB)を用いた Lift-out法を用いて、不規則な形状を持つ破断面のサイトごとに異なる状態にある箇所から透過型電子顕微鏡(TEM)観察用サンプルを取り出す技術を開発した。この新しい技術によって、初めて破断面直下のミクロ構造の観察が可能になり、疲労負荷下のミクロ構造変化に関する我々の

理解を大きく前進させることができた。特に、ストライエーション直下に形成されたマイクロ構造は層状構造をもつこと、及びその構造の複雑さは破断面から内部に行くほど減少することを発見した。さらに、水素の存在によってそのマイクロ構造はより微細になり、その変化は水素が不在のときよりも大きい。図9は、316ステンレス鋼において水素が存在するときと不在のときの顕微鏡写真である。

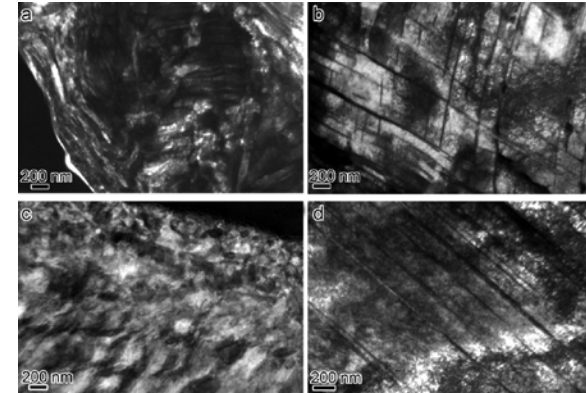


図9 水素不在(a-b)、水素存在時(c-d)の316ステンレス鋼の疲労破断面直下のマイクロ構造

a) 空気中で形成された破断面(左側)直下のマイクロ構造、高レベルのひずみを示すバンド構造から成る、b) 空気中で形成された破断面から5 $\mu\text{m}$ のマイクロ構造、平面構造の積み重なりから成る(双晶)、c) 水素チャージ後に形成された破断面(上側)直下のマイクロ構造、微細粒から成る、d) 水素チャージ後に形成された破断面から5 $\mu\text{m}$ のマイクロ構造、平面構造(双晶)から成る

ストライエーション直下で従来知られていなかったマイクロ構造が発展し、水素の存在がその構造を異なる形で微細化することを見いだした以上の成果は極めて独創的なものである。き裂伝播前の疲労負荷下のマイクロ構造の形成はき裂の成長に大きく影響を及ぼすため、その構造形成の程度を理解することが重要である。また、このようなマイクロ構造の複雑さから、疲労プロセスに関する我々の基礎的理解がまだ十分でなく、最新の実験、モデリング、シミュレーションの技術を用いてさらに研究を進めることが必要であることがわかる。

## 今後の方向性

水素構造材料部門は、今後、短中長期技術目標及び研究目標に沿って研究を進めていく。今後の研究活動に共通していることは、連携の強化である。部門内はもちろん他部門、他機関との協力体制を構築する。短中期目標に関する共同研究を以下に取り上げる。

### (i) 短期

短期目標として、疲労、破壊、摩擦、摩耗を引き起こす機械的負荷下にある鋼の水素起因劣化を支配する因子とメカニズムの解明を目的とした基礎研究に焦点を置く。例えば、疲労・破壊を専門とするRobertson教授チームと摩擦・摩耗を専門とする杉村教授チームが共同研究を実施し、しゅう動下におけるミクロ構造の変化に及ぼす水素の影響を解明する。既に共同研究は開始されており、表面損傷特性が明らかとなっているサンプルのミクロ構造の探求を行っている。

また、Somerdar博士チームと高木教授チームも当目標に基づき、共同研究を実施している。以前報告したとおり、Somerdar博士は水素ガス中で低強度鋼について行った疲労き裂進展試験から水素ぜい化は粒界破壊と関連があることを発見し、水素起因粒界破壊の機械的シナリオをいくつか提案した。この研究の発展として、モデルFe-C合金で実験を行う。最初の実験では、結晶粒サイズが異なる2つのFe-C合金で行う。実験で使用する合金は、すでに高木教授チームが調達し組織の調査を終えている。初期疲労き裂進展試験は、Somerdar博士と高木教授チームのMacadre学術研究員が協力し、今年夏か初秋にサンディア国立研究所にて実施予定である。

### (ii) 中期

中期研究目標は、異なる長さスケールでの水素起因劣化と材料特性との関係を予測するモデルの構築である。

当目標達成のため、Sofronis教授チームは水素による結晶の可塑性に関する新しい構成モデルを完成させるために共同研究を実施する。すでにそのモデルの枠組みはAravas WPI教授とともに提案しているが、さらなる発展のために実験から得られる知見が必要である。これらの実験は複雑なものであり、水素曝露した単結晶金属の圧縮試験を含む。機械的負荷と水素濃度の境界条件が精度よく与えられなければならない。実験の計画及び実施は、Somerdar博士と久保田教授が行う。

### 3) 燃料電池材料の基礎研究

—高効率なエネルギー変換のための基礎学理の確立と新材料デバイス創製を目指して—

- 燃料電池は、水素等の化学燃料を効率的に電気に変換でき、水素エネルギー社会の中核的技術である。しかし、燃料電池材料の使用条件の制約により、本格普及に至っていない。従って、革新的な燃料電池材料開発のブレイクスルーが不可欠である。
- 本研究領域では、燃料電池に関して、既存の研究方法だけでなく、界面やナノ領域の固体電気化学や固体化学の基礎研究に基づき、革新的な電解質材料・電極材料・新規デバイスの創製を目指す。
- 具体的には、(1)ナノ構造物質（ナノ複合材料、薄膜、触媒等）の電気特性・電気化学特性・触媒活性等パラメーターのナノ電気化学計測、(2)表面吸着、拡散等の微視的プロセスや、イオン・電子伝導、熱・物質移行等の巨視的プロセスを計算する計算科学、(3)モデル表面・界面における表面・界面輸送現象を把握する分子化学・表面科学・材料研究、に基づいて、次世代燃料電池デバイスのための電解質材料創製研究（無機系、有機系）、電極材料創製研究（貴金属系、無機系）に取り組む。本研究は、燃料電池に関する電子・原子・分子のナノレベルでの反応機構を解明し、10年後には燃料電池分野のブレイクスルーとなる革新的材料・デバイスを創製する。

### 3. 燃料電池

目的

本部門の目標は、効率的に、安価また安定的に水素や他の燃料を直接電気に変換する燃料電池を開発することである。ロードマップに示すとおり、高温 (HT) 及び低温 (LT) 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) から固体高分子形燃料電池 (PEFC) に関する研究まで実施している。SOFCに関しては、低温で作動するイオン伝導体、高耐久性材料、高活性な電極 (触媒) の開発を行っている。PEFCについては、高耐久性かつ導電性の高い触媒担体、高活性で安価な触媒、そして100°C以上でも機能する電解質膜の開発を行っている。新しいシステムの実用化を視野に入れた研究を進める一方で、次世代の燃料電池に向けた基礎研究にも注力する。本部門の研究目標及び研究の進め方は、図10のロードマップに示すとおりである。

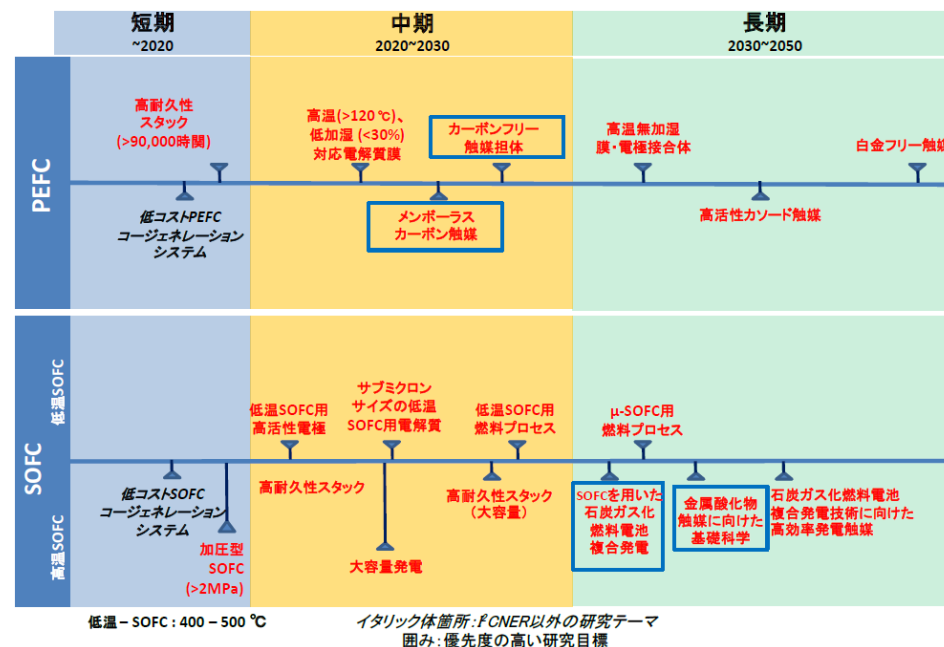


図10 燃料電池部門のロードマップ

## Interfaces in Fuel Cells

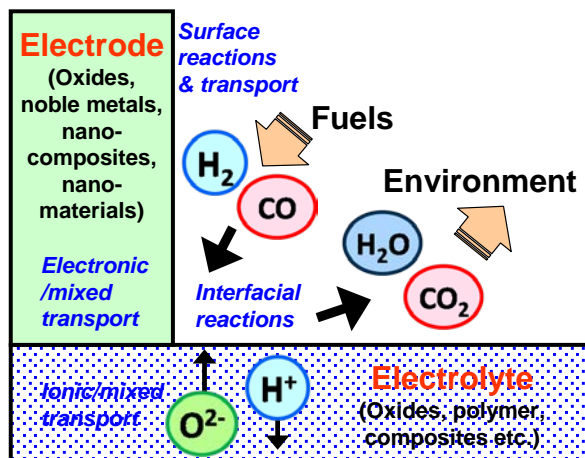


図. 燃料電池の電極・電解質インターフェイスにおける輸送・反応過程

### 研究ハイライト

固体高分子形燃料電池 (PEFC) では、効率の向上を目的とした $100^\circ C$ 以上での作動を視野に入れ、材料の耐久性の向上を目指しており、特に、以下の研究項目に重点を置いている。

- システムの高耐久性化及び高効率化に向けた水管理改善のための新しいガス拡散層の開発
- カーボンナノ材料や $SnO_2$ など高耐久性担体の検証及び評価
- 高温対応電解質膜の開発及び評価。カーボンナノチューブと組み合わせて用いるポリベンゾイミダゾール (PBI) 膜に重点をおくが、グラフェンや電荷移動錯体からなる電解質膜の検証も行う。
- 窒素ドーパされたカーボン等の酸素還元 (ORR) 特性を持つ白金フリー触媒の開発。より高い温度での作動は、電極反応速度を改善することが予想され、燃料電池の商業化の拡大に繋がると期待される。

低温SOFCでは、電極表面で起こる酸素交換反応の高活性化、高伝導率かつ安定性の高い薄膜の開発、低温でも燃料を内部改質できる電極触媒の開発を目指し、ロバスト性を有する低温SOFCのオペレーションを全体目標としており、特に、次の項目に重点を置いている。

- 表面酸素交換反応速度を向上する薄膜電極の開発
- 低温 (ca.  $400^\circ C$ ) でも電解質-電極間界面でプロトンを伝導できる薄膜電極の開発
- SOFCアノード極で、低温で hidrocarbon もしくはアルコールを改質するためのメカニズム解明及び材料 (セラミック材料) の開発

高温SOFCについては、高温/高圧/複合ガス化を含めた大容量発電のための高耐久性SOFC開発を目標としており、特に次の研究項目に重点を置いている。

- SOFC電極のメカニズム及び律速反応過程の解明
- 石炭ガスのような実用燃料に含まれる不純物に耐性のある電極材料の開発
- SOFC技術と水電解を含む他の技術との結合
- 原子レベルでの化学的拡張の観点からの劣化メカニズムの解明

本部門の共通研究目標は、電極の安定性と耐久性の向上、低温及び高温領域での作動実現、アノード及びカソード触媒反応メカニズムの解明、イオン伝導性の高い電解質材料の開発である。



#### 重要な研究成果

本部門は、PBIとCNTをベースとするPEFCの研究から、SOFC用のジルコニア系セラミクス材料の研究まで様々な研究成果を挙げている。

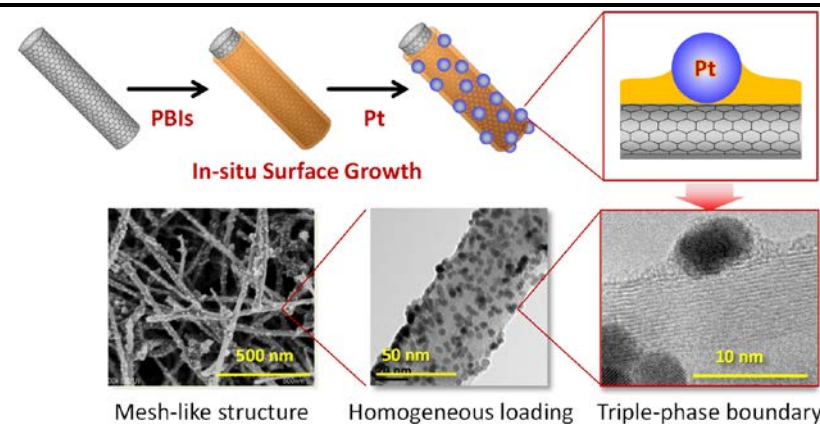
*Fujigaya, T. and Nakashima, M. "Fuel cell electrocatalyst using polybenzimidazole-modified carbon nanotubes as support materials." Advanced Materials, 25, 1666-1681, 2013.*

#### 科学的解説：

本部門1つ目のハイライトは、PBIで修飾したカーボンナノチューブ(CNT)を燃料電池の電極触媒担体とする研究である。CNTはその結晶性の高さから耐酸化性を有し、触媒担体として理想的な材料である。しかしながら、一般的に高結晶化されたCNT表面に金属ナノ粒子を均一に分散させることは難しい。通常、表面を酸化することで、金属ナノ粒子を担持する。しかし、そのような酸化はグラファイト構造にダメージを与え、その結果、表面酸化に対する耐久性を低下させてしまう。そのためCNT結晶構造を保持したまま金属ナノ粒子を担持する革新的な方法の確立が必要となる。本研究では、未処理CNTをPBIで包むことで、そのPBIを糊として白金ナノ粒子を固定化する方法を導入した。その結果、CNTの結晶構造にダメージを与えることなくCNTをベースとする触媒を得ることができた。さらに、PBIはプロトン伝導性を有することから、導電性、プロトン伝導性、反応サイトと電極反応に必要なすべてをそなえる電極触媒の開発に成功した。ナフィオンなど従来の高分子電解質と比べて、PBIは高温(～200℃)下でもプロトン伝導性を有することから、PBIを用いることでより高温で発電できるPEFCの開発が可能となる。100℃以上のPEFC作動が可能になると、以下の利点が考えられる。

- i) 反応速度の改善
- ii) 一酸化炭素被毒に関する耐久性の向上
- iii) 白金の代替となる安価な金属触媒の可能性

これらの利点は全てPEFCシステムのコスト削減につながる。更に、より高温でのPEFCオペレーションは、高い発電効率につながる。



Mesh-like structure Homogeneous loading Triple-phase boundary  
 図11 PBIで覆われたカーボンナノチューブに分散した白金ナノ粒子のイメージ図（上）及び実際の電子顕微鏡写真（下）

#### 重要な研究成果

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

#### 科学的解説：

本部門の2つ目のハイライトは、SOFCに関する研究である。SOFCで使われる多くの電極では、ノストイキオメトリに起因する膨張、つまり化学的膨張が発電中絶え間なく起こり、大きなひずみとなって、機械的ダメージを受ける。九州大学のこれまでの研究で、酸素まわりの格子緩和から、陽イオン置換によって化学的膨張係数を制御できる可能性について見出している。今回、ノストイキオメトリに起因する膨張(化学的膨張)における酸化セリウム中の等原子価ジルコニアの役割について、初めて詳細に検討した。化学的膨張の生成について検討するために、 $\text{Pr}_{0.1}\text{Zr}_{0.4}\text{Ce}_{0.5}\text{O}_{1.95-\delta}$ のHTXRD回接、膨張率測定、TGA測定を行った。また、 $\text{Zr}_{0.5}\text{Ce}_{0.5}\text{O}_{2-\delta}$ についても、DFT計算手法を取り入れて検討した。

今回検討した範囲では、ジルコニアの存在が、セリアの還元性及び化学的膨張を増加させる一方で、化学的膨張とノストイキオメトリから得られる化学的膨張係数はかなり小さく(54%以下)なり、これまでの我々の研究結果とも一致した。酸素空孔まわりの格子縮小にともなう化学的

膨張係数の減少は、DFT計算からも証明され、これまで見出されたセリアジルコニア系材料で還元特性が向上する結果とも一致した。この結果は、化学膨張を低減できる、つまりSOFCの耐久性を向上できることを示唆し、この材料のSOFC電極機能層への応用可能性を見出すことができた。

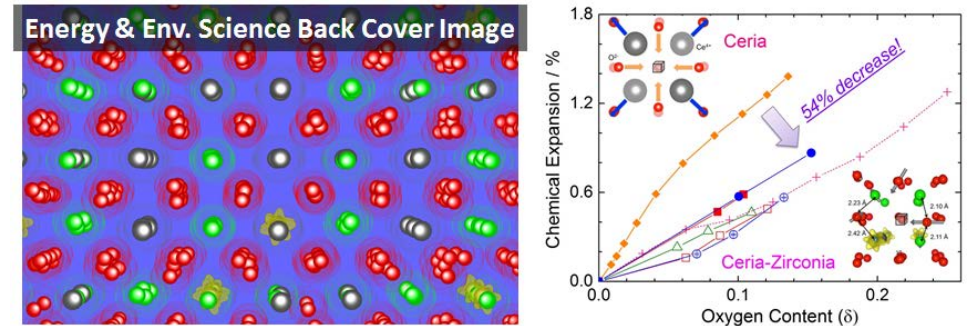


図12 CeO<sub>2</sub>へのZr添加によって酸素空孔の格子が緩和され、化学的膨張を画的的に低減できることを理論的計算により明らかにした。

#### 今後の方向性

ロードマップに示すように研究を進めていく中で、PEFCに関しては、カーボンフリー触媒、メソポーラスカーボン触媒を含む高活性カソード触媒の開発に注力する。高温SOFCに関しては、“画期的なSOFC複合サイクル”の一環として、SOFCアノードに使う金属酸化触媒の性能及び耐久性について検討する。

アノード材料には、ガス化プロセスにより発生する不純物混入に対して、抵抗力、耐久性、機能性が不可欠となる。本研究は、日本における新しい発電サイクルの1つである、SOFC+ガスタービン+蒸気タービンを複合した発電システム「トリプルコンバインドサイクル」の確立に貢献する。

#### 4. 熱物性

##### 目的

本部門は、エネルギーアナリシス部門と協議の結果、現在では熱科学から熱工学までより広い研究分野を取り扱っている。本部門のロードマップ(図13)に示しているとおおり、全体にわたる研究目標は、熱エネルギーの有効利用によるCO<sub>2</sub>排出削減である。さらに、ほとんどのエネルギー変

#### 4) 高圧域における水素・CO<sub>2</sub>の熱物性・熱流動特性研究

水素貯蔵・CO<sub>2</sub>貯留技術を開発するためには、高圧域(例えば、100MPa)での水素・CO<sub>2</sub>の基礎的熱物性に関する知識が必要である。高圧下では、PVT関係・比熱容量・熱伝導率・熱伝達等の特性は測定できておらず、現在は低圧測定結果から推定される値が用いられている。水素のオルソ・パラ変換の解明、

超臨界圧CO<sub>2</sub>の熱物性・熱伝達特性評価と吸着・脱着特性の把握などを行い、広範囲の温度と圧力にわたる正確な熱物性データベースを開発する。

換プロセスにおいては、高温から低温への熱エネルギー(熱)移動に関わるロスが問題となる。そのため、できるだけ少ない温度差で熱移動ができれば、よりスマートで高効率なエネルギー利用に向けた根本的な前進が期待できる。例えば、熱電気、つまり熱から直接電気エネルギーに変換するシステムは、より低い温度(100-700°C)で作動することができれば、廃熱回収利用の可能性は大いに広がるであろう。

将来の低炭素社会において広く利用されることが期待される、鍵となる物質の熱物性についての基礎理解を深めることなしに、新エネルギー技術のさらなる発展及び最大限の利用はない。幅広い低排出技術の基礎を築くために、さらに多岐にわたる状況下における主な物質の熱物性データベースを充実させ、また新しい高効率エネルギー変換技術開発のために、物質界面、相変化現象、表面現象、薄膜に関する熱物質移動のメカニズムを理解するためのデータを作り出す必要がある。

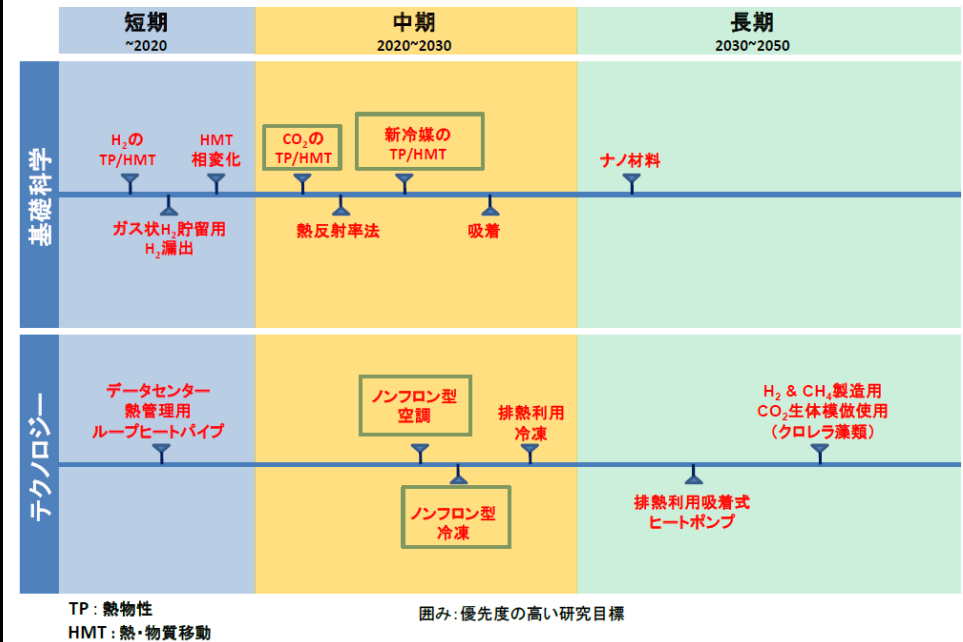


図13 熱物性部門ロードマップ

#### 研究ハイライト

最大100MPa、500°Cまでの条件下で、水素のPVT物性、粘性係数、熱伝導率を計測した。さらに、粘性係数測定の方法として、コンパクトな半円型振動細線法を開発した。多層カーボンナノチューブ(CNT)の熱伝導性及びシェル内外の熱伝導性の計測に成功した。ポンプ・プローブ分光法を用いて、GHz帯表面波の発生と検出を行い、また、革新的なT型法によりCNTの熱電気特性の検出を行った。

#### 重要な研究成果

*Hayashi, H.; Ikuta, T.; Nishiyama, T.; and Takahashi, K. "Enhanced anisotropic heat conduction in multi-walled carbon nanotubes." Journal of Applied Physics, 113, 014301, 2013.*

#### 科学的解説：

カーボンナノチューブ(CNT)は、燃料電池触媒の支持材として有望視されている。しかしながら、その熱物性、特に多層カーボンナノチューブの熱物性に関してはまだ解明されていない点が多い。今回、個々のCNTを測定することができる我々の技術を用いて、その熱伝導異方性を初めて明らかにした。またCNTグラファイトのシェル内外の熱伝導は、シェル内部のギャップにより4桁以上の違いがあった。このようにCNTの熱伝導性が広範囲にわたるのは、この異方性によって引き起こされることを明らかにした。

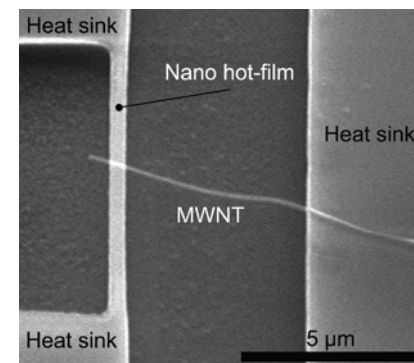


図14 単一CNTの熱伝導性測定におけるSEM画像

### 重要な研究成果

Yusibani, E.; Woodfield, P.L.; Shinzato, K.; Takata, Y.; and Kohno, M. "A compact curved vibrating wire technique for measurement of hydrogen gas viscosity." *Experimental Thermal and Fluid Science*, 47, 1-5, 2013.

### 科学的解説：

水素ガス粘性測定への振動細線法適用について研究を行った。呼び径50 $\mu\text{m}$ のタングステン線を半円形にして対称的に磁場に配置し、線の振動における周波数領域を粘性計算に利用した。また、アルゴン、窒素、ヘリウム、水素の粘性を室温、0.7MPa以下の条件下で計測した。その結果、既存の計算式による偏差から、さらなる改良によって誤差1%以下でガス粘性測定を行える可能性が判明した。

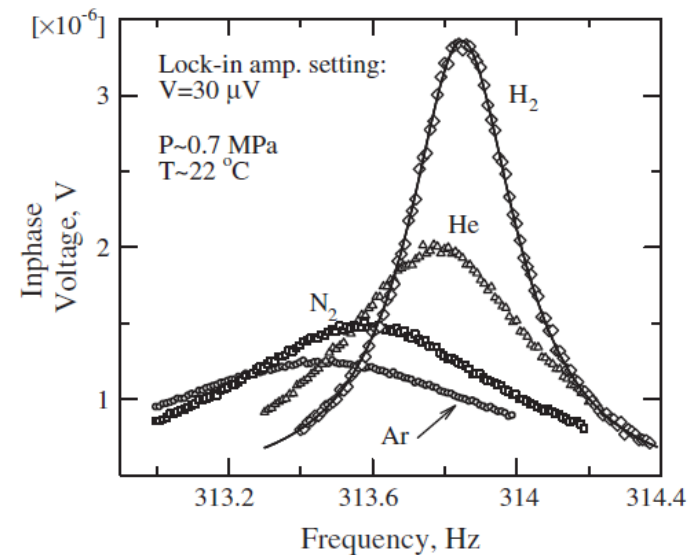


図15 典型的な測定結果(0.7 MPa, 10 mHz/step)と最小二乗によるフィッティング

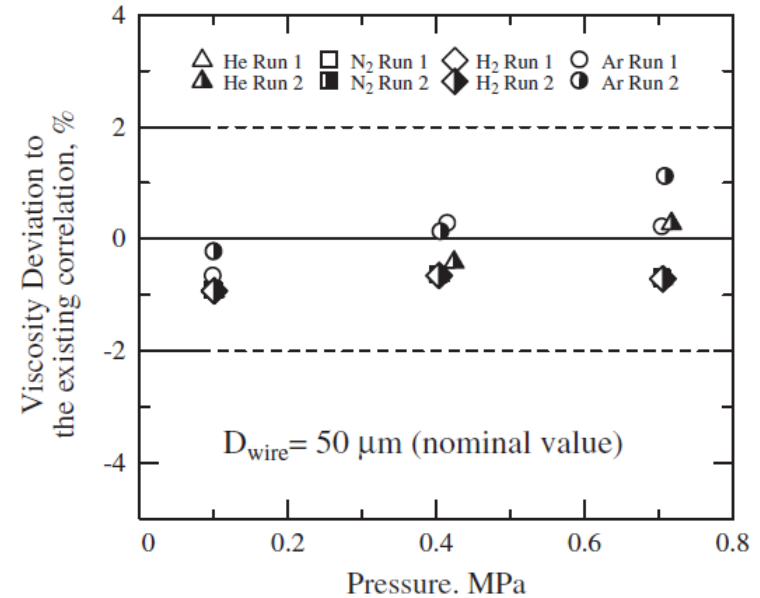


図16 粘性の偏差対室温下気圧

#### 今後の方向性

本部門が研究している分野をより正確に表現するため、部門名を「熱物性部門」から「熱科学部門」に変更する。また、ロードマップに基づき、以下の事項に焦点をあてる研究を今後実施する。

- 1) 沸騰及び蒸発における表面ぬれ性、
- 2) ナノスケール熱輸送の基礎的事項、
- 3) 温暖化係数の低い冷媒、
- 4) 時間領域サーモリフレクタンス法による熱物性測定、
- 5) 低品位熱利用システム、
- 6) 水素下の混合流体における相界面、
- 7) 二酸化炭素及びその混合物の粘性、熱伝導性、熱拡散性の計測、
- 8) 非接触ポンププローブ光学法を用いて、水素下における構造材料の弾性定数のリアルタイム測定、
- 9) 水素製造のための効果的なポンプ動力利用(クロレラ藻と類似)。

#### 5) 水素貯蔵材料の研究

—超高压域における新たな道筋—

- 現在実用化が進められている圧縮水素を用いる方法では、体積エネルギー密度の極めて低い水素を効率よく輸送貯蔵することが難しい。そ

#### 5. 水素貯蔵

##### 目的

本部門のミッションは、カーボンニュートラル・エネルギー社会実現へ大きく近づくことを可能とする技術オプションとしての水素貯蔵材料開発に必要な基礎研究の実施である。水素貯蔵材料の用途には、水素の移

のため、コンパクトかつ安全でエネルギー効率よく安価に水素を輸送貯蔵できる技術の開発が求められている。水素貯蔵材料では、水素と物質の表面あるいは内部との相互作用により水素を吸着・吸蔵するため、圧縮水素及び液化水素より優れた貯蔵能力を有している。現状では、水素貯蔵量3質量%が世界最高水準であるが、高い体積エネルギー密度を維持したまま、更なる重量エネルギー密度の向上が必要である。

- 分子化学、表面科学、固体力学、物理学、材料科学等、様々な分野の融合により、Mg系材料、錯体系水素化合物及び吸着系材料について、
  - 1) 反応温度の制御を目指した水素と貯蔵材料の結合性、
  - 2) 最も高い水素貯蔵量を目指すための水素の貯蔵材料中の組織及び構造、
  - 3) 超高压法など様々な手法による新しい構造の創成、
  - 4) 材料による水素の輸送特性の詳細な解析・評価、等を進める事により、水素貯蔵量6質量%以上の材料の実現を目指す。

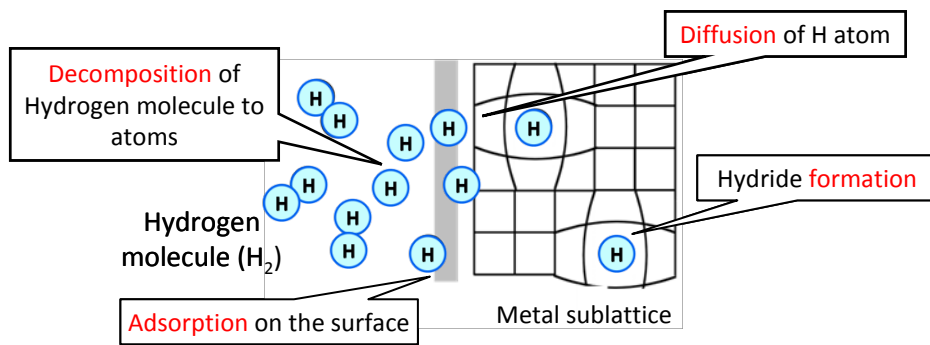


図. 水素貯蔵材料の表面における基本的なプロセス

動体への搭載、様々な方法と規模の定置式エネルギー貯蔵、ニッケル水素電池のような電気化学的応用などがある。

移動体への用途においては、最近行われた燃料電池自動車技術に関する日本の自動車産業との協議により、本部門は重量密度、体積密度、コスト及びタンクの形状自由度に焦点を当てている。部門長の秋葉教授は、わが国の水素貯蔵/輸送ロードマップを改訂する委員会の委員長を務めている。現在、図17に示した本部門の研究開発ロードマップは、わが国全体のものと同様にしては一致している。

定置式の用途では、東日本大震災の後、出力変動の大きい再生可能エネルギーを短期から長期の期間、安定的かつコンパクトに貯蔵することは、ますます重要となっている。水素の形態での電力貯蔵は、その目的に関して有望な解決策である。水素の体積エネルギー密度は、既存の電池に比べて一桁以上の高さを有している。また、水素貯蔵材料は、70 MPaの圧縮ガスよりも相当に高い密度で水素を貯蔵可能である。定置式の用途に関しては、現在のところわが国では国としてのロードマップは定められていない。その理由の一つとして、その規模、目的、設置場所などが個々に異なることが挙げられる。本部門では、定置式への応用に適した材料開発に関する主要な課題を体積密度、耐久性及びコストと設定している。

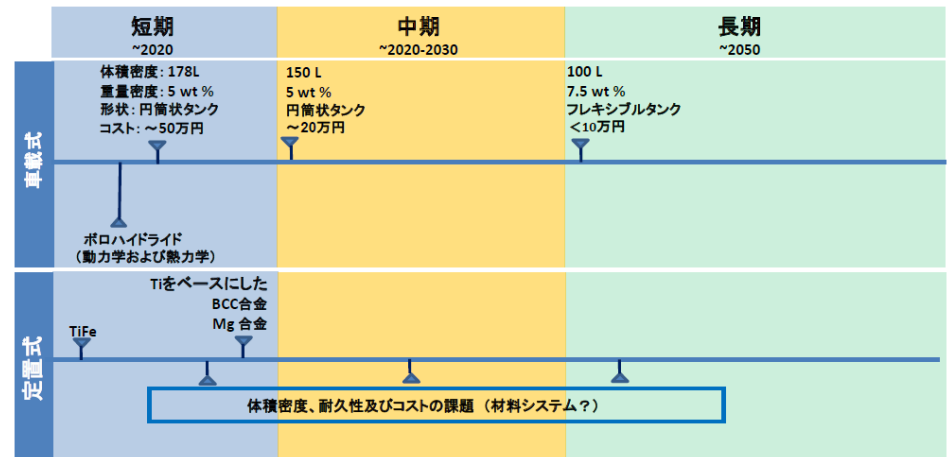


図17 水素貯蔵部門ロードマップ



#### 研究ハイライト

TiFeは、定置式貯蔵向けの低価格で理想的な水素貯蔵材料であり、液体水素よりもよりコンパクトに、穏和な水素圧力下、常温で水素を吸蔵・放出する。この材料は1970年代後半に貯蔵システムとして報告されたにも関わらず20年間以上放置されてきた。その主な理由は、活性化(水素吸蔵・放出を開始させるための操作)に、水素圧力30気圧下(あるいはそれ以上)、400°C(あるいはそれ以上)の加熱が必要であったためである。本部門の主任研究者である秋葉教授と堀田教授のグループは継続的に共同で研究を進めた。特に、高圧ひずみ加工(HPT)手法によって活性化を不要とすることをターゲットとして研究を進めた結果、高圧ひずみ加工法によって強加工したTiFeは、高圧水素及び高温を必要とせず、室温で容易に水素を吸蔵・放出する、すなわち活性化が不要という驚くべき現象を発見した。

TiベースBCC系水素貯蔵材料の研究に関して、水素化後のV-Ti合金の微構造変化を調べたところ、水素化されたV-Ti合金に導入されたマイクロ双晶は有効水素吸蔵量の減少をもたらすことが判った。また、燃料電池自動車の水素タンクへの応用に関して最も期待できる材料の候補のひとつである上記以外のTiベースBCC合金の水素化/脱水素化特性及び微細構造の研究も行った。

マグネシウムをベースにした材料の反応速度及び熱力学的特性向上させるため、Mg/Ni薄膜の水素化機構の解明を本部門の重要な研究項目としている。薄膜の組成を最適化することは、より高い性能の材料を開発するのに有効である。Mg/Ni薄膜の微細構造とMg/Ni比の関係を、TEM(透過電子顕微鏡)を用いて解明しているところである。

#### 重要な研究成果

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

#### 科学的解説:

TiFeは、定置式水素貯蔵の用途に関して、低価格で理想的な水素貯蔵材料であり、液体水素よりもよりコンパクトに、穏和な水素圧力下、常温で水素を吸蔵・放出する。1970年代後半に貯蔵システムとして報告され

たにも関わらず 20 年間開発が進捗しなかったのは、活性化に水素圧力 30 気圧下(あるいはそれ以上)、400°C(あるいはそれ以上)の加熱が必要であったためである。本部門の主任研究者である秋葉教授と堀田教授のグループは継続的に共同で研究を進めた。特に、高圧ひずみ加工 (HPT) 手法によって活性化を不要とすることをターゲットとして研究を進めた結果、高圧ひずみ加工法によって強加工した TiFe は、高圧水素及び高温を必要とせず、室温で容易に水素を吸蔵・放出するという驚くべき現象を発見した。さらに、共同研究チームは、高圧ひずみ加工法によって非常に大きな歪みを TiFe サンプル内に導入し、その水素貯蔵とサイクル寿命の特性を測定した。活性化が不要になったことに加えて、水素吸蔵量が加工によって減少しないこと及び数回のサイクルでは吸蔵量の減少が見られないことを見出した。さらに、チタンと鉄は簡単に酸化するが、水素化/脱水素化を数回繰り返した後、数ヶ月間空気にさらされた TiFe は、それでも活性化が不要で、室温で容易に水素と反応するという、従来の常識を覆すような結果を発見した。

下の図 18 は、高圧ひずみ加工した TiFe は水素と活性化無しに反応し、また4サイクル後の吸蔵量の減少が観測されていないことを示している。

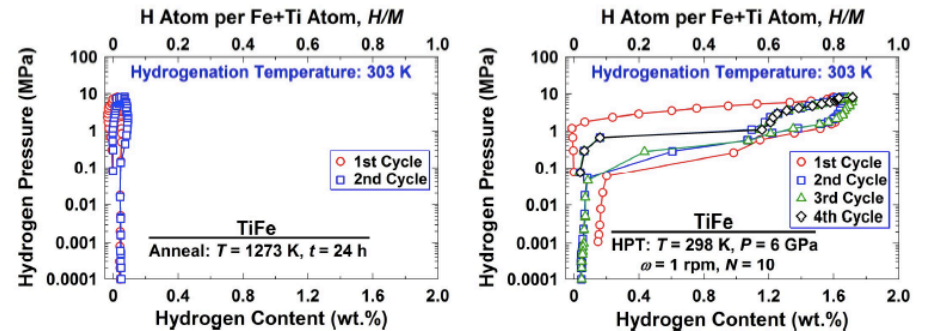


図 18

高圧ひずみ加工していない水素吸蔵

高ひずみ加工後の水素吸蔵

#### 今後の方向性

わが国の自動車メーカー3社及び当該技術のステークホルダーと NEDO プロジェクトにおいて先進的車載用先端材料を開発する。

大量の生産開発と用途を目指し、HPT(高圧ひずみ加工)技術を使って強加工した TiFe における水素貯蔵をさらに検討する。

6) 物質変換における不斉酸化の研究  
—廃棄物ゼロの触媒プロセスの発見を目指して—

- 日常生活において使用される膨大な数の機能材料物質の多くは化石燃料の化学変換により得られるが、従来の化学反応はかなりのエネルギーの消費を要し、膨大な量の廃棄物や不要なCO<sub>2</sub>を排出する。従って、新しい効率的な物質変換法の開発により、CO<sub>2</sub>排出量の削減、さらには化石燃料の有限性を前提としたエネルギーの持続性の確保が求められている。本研究では原子効率の良い酸化剤で不斉酸化を行い、物質変換の「グリーン化」に取り組む。分子状酸素を酸化剤として用いて、余計な廃棄物やCO<sub>2</sub>の排出、さらにはエネルギーの損失を伴うことなく、目的物質のみを与える方法論を構築する。これは、人工光合成によって生じる酸素の有効活用でもある。
- 一般に生体内酸化はいくつかの段階よりなり、複数の酵素の組み合わせによって触媒される。だが、多くの酵素は不安定で取り扱いが困難であり、必ずしも大量生産に適していない。従って、酵素触媒作用に匹敵する酸化触媒作用を示す効率的な触媒の開発が強く求められている。—

ロードマップが示すように、車載用の第1世代材料は、2020年後半～2030年代における実用化を目指している。実用化初期を目指し、本部門では高性能貯蔵システムにも焦点を当てる。ホウ素系水素貯蔵材料(ポロハイドライド)は10 wt%以上の水素吸蔵量を有しているが、反応速度と水素放出温度が目下の重大な課題である。ポロハイドライドの反応速度及び熱力学をコントロールするため、水素放出/吸蔵の中間体に関する研究を行う。

水素化特性は、組織構造、つまりはナノ構造の強い影響を受ける。TEM(透過電子顕微鏡法)は、ナノ構造を観測するための最も強力なツールのひとつである。この技術は、ナノグレインの形態、結晶構造、界面組織・構造及び化学分析に関する重要な情報を提供する。松田助教は、TEMを使用して水素化物の動的挙動を観察するため、水素雰囲気下測定可能なセル(in-situ測定)を自身のTEMに設置している。観測される材料は、現象への理解をより深めるためのモデル材料はもちろん、移動式・定置式双方への応用に関しての目標に沿ったものである。

6. 先端物質変換

目的

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を創出することを目的とする。主たる研究課題は、水素を基盤とするカーボンニュートラル技術の開発に大きな影響を及ぼし得る「新エネルギーと省エネルギー」に関連する触媒作用の開拓である。本部門は、ロードマップに示すように3つの主要な研究分野によって構成されている。

1. 小江教授と Rauchfuss 教授グループは、基礎研究をベースにした「水素活性化と発生に適した新規触媒開発とその反応メカニズムの解明」に焦点を当てている。その後、人工光合成と融合させることで、水から電子を抽出し、カーボンニュートラルな燃料(水素、メタン、ギ酸など)の製造に発展させていく。
2. 香月教授グループは、「省エネルギーかつ廃棄物を生じることのない物質変換」の実現を目指した効率的な不斉触媒の研究を行う。

方、弱い結合相互作用が酵素触媒作用に関与することは知られている。しかし、酸化酵素の活性部位に関するこれらの情報は不十分であり、このことが求める高性能分子触媒の開発を困難なものとしている。不斉酸化触媒作用の開発にとって、解決すべき課題である。

- 具体的には、グリーン化学、分子化学、表面化学、電荷・質量・熱移動、生物模倣学等の分野の融合により、酸素活性中間体の捕捉を行い、その反応特性を解明し、1) 酸素活性化に伴う電子移動機構の解明を行い、プロトン・電子移動を必要としない酸化システムの構築、2) 室温で分子状酸素を酸化剤として用いる精密酸素酸化触媒の開発を行う。この開発により、生体系酸化反応と異なる酸素活性化システムを構築する。
- 本研究は、複数の触媒作用を示す構造的に柔軟な触媒の開発を通して、基礎科学の発展に影響を与えるだろう。本研究の目標は、酸化反応経路に沿ってその触媒構造が適切に制御され、それぞれの配座異性体が各段階において適切な触媒作用を示した場合に、分子触媒による多段階不斉酸素酸化が実現されることを実証することである。

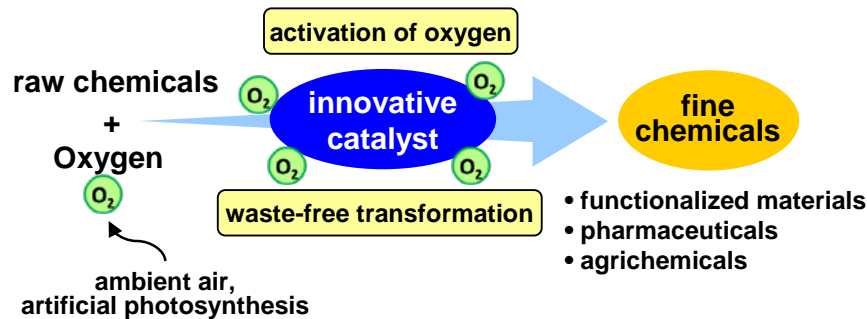


図. 廃棄物ゼロ反応の触媒プロセスのコンセプト

3. 山内准教授グループは、“カーボンニュートラル・エネルギーサイクル”を実現するためにナノ合金触媒の開発を行う。

本部門では、「省エネルギーと再生可能エネルギー」という二つの重要な研究課題解決の鍵となる「新規触媒」の研究開発を精力的に行う。

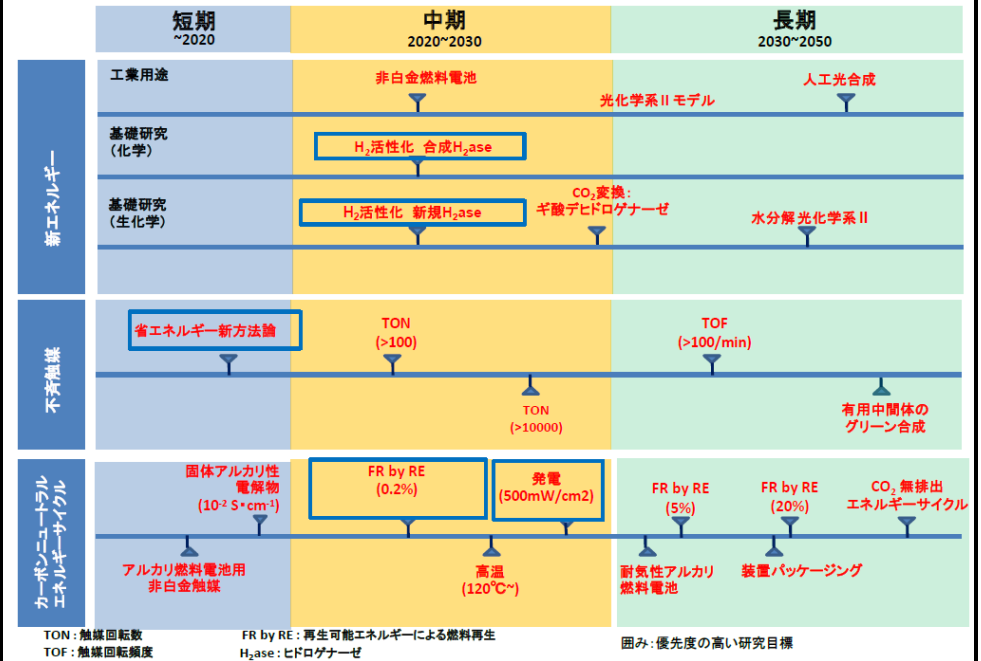


図19 先端物質変換部門ロードマップ

### 研究ハイライト

本部門は、ロードマップ(図19参照)に示したように、現段階の重点研究は新しい合成ヒドロゲナーゼ(H<sub>2</sub>ases)の開発である。この基礎的だが方向性のある研究は、我々の中期研究目標に欠かせないものである。生体反応のように、小江教授グループは将来実現可能な革新的アプローチとして、機能的な[NiFe]ヒドロゲナーゼの合成に成功し、H<sub>2</sub>活性化を証明した(サイエンス 2013, 339: 682-684)。先行研究では、貴金属であるルテニウム錯体でH<sub>2</sub>活性化メカニズムを提案している。Rauchfuss教授グループの先行研究では[NiFe]錯体合成に成功しているが、H<sub>2</sub>活性化能力はないものであった。小江教授のブレークスルーは、前述の2つの欠陥を解決し、予備段階ではあるが、新しい触媒が触媒反応性を示した。例

例えば、この触媒は、燃料電池のようにヒドリドから受容体分子へ電子移動を可能にする。並行して、Rauchfuss 教授グループは、その関連研究として錯体合成に新規補因子を導入し、バイオミメティクス水素触媒として研究をまとめた (Organometallics 2013, 32, 323)。小江教授と Rauchfuss 教授グループによる基礎研究は、大変興味深く、ロードマップに示されたように、本研究は具体的かつ実用性のある新触媒開発へと進化している。概して、共同かつ相補的な取り組みは、非貴金属触媒を使用した水素燃料電池技術をさらに加速して行くことになる。

香月教授グループは、廃棄物をほぼ出さない有機化合物合成法の開発において順調に前進している。本年度のブレイクスルーは、温和な条件下で「C-H amination」反応を可能にした (Angew. Chem. Int. Ed. 2013, 52(6), 1739-1742)。この新しいショートカット変換反応は、以前の複数のステップにより、相当な廃棄物を生み出した反応とは違い、より効率性かつ選択性を示すものである。この研究テーマには、現在の研究目標に応じて多くのチャンスがもたらされる。例えば、室温の空気による不斉エポキシ化、酸素駆動によるヒドロキシ芳香族化合物の脱芳香族化、触媒的な鉄酸化メカニズムの解明、不斉アジリジン化など幅広く挙げられる。

山内准教授グループは、選択的プロピレン合成触媒と高磁化磁石の生成ができる非白金ナノ合金を使用することで、直接エチレングレコール固体アルカリ形燃料電池で発電に成功した (Nanoscale. 2013, 5(4), 1489-1493)。このような特定の研究成果に加え、I<sup>2</sup>CNERにおいて、熱心かつ有能な若手女性研究者である山内准教授が独自の研究キャリアを始める上での支援ができていたことは特筆すべきことである。

#### 重要な研究成果

*Ogo, Seiji; Ichikawa, Koji; Kishima, Takahiro; Matsumoto, Takahiro; Nakai, Hidetaka; Kusaka, Katsuhiko; and Ohhara, Takashi. "A functional [NiFe]hydrogenase mimic that catalyzes electron and hydride transfer from H<sub>2</sub>." Science, 339, 682-684, 2013.*

#### 科学的解説 :

化学者達は長い間構造的にシンプルな化合物で酵素の様な水素活性化ができる模倣化学を追求してきた。我々は、[NiFe]ヒドロゲナーゼ酵素の活性部位を模倣し、機能性[NiFe]モデル錯体の合成に成功した (図20)。

この錯体は、水素をヘテロリティックに活性化し、ヒドリド錯体を形成する。そのヒドリド錯体はヒドリドイオンもしくは電子の移動に還元剤として働くことができる。X線回折と中性子散乱による構造解析の結果、ヒドリド配位子は主に鉄センターと結合していることを見出した。配位子のヒドリドな性質は強酸との反応でH<sub>2</sub>を遊離し、活性化されることが証明された。

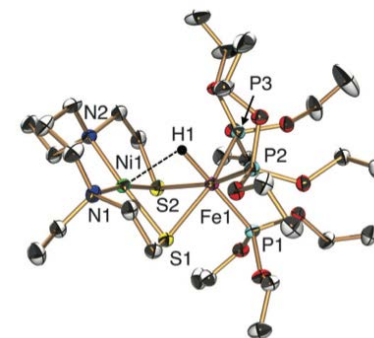


図 20 小江教授らによって報告された合成ニッケル・鉄触媒の構造

#### 重要な研究成果

*Koya, Shota; Nishioka, Yota; Mizoguchi, Hirota; Uchida, Tatsuya; and Katsuki, Tsutomu. "Asymmetric Epoxidation of Conjugated Olefins with Dioxygen." *Angewandte Chemie, International Edition*, 51, 8243–8246, 2012.*

#### 科学的解説：

生物学的酸化は物質変換反応で最もエネルギーを要しない方法であり、精緻な酵素系の触媒反応によって行われる。これらには酸化酵素、電子伝達酵素及びプロトン移動と酸素キャリアタンパク質などがある。このような空気を酸化剤とする生物の酸化反応を模倣した触媒の合成は長年の夢であった。大部分の生物学的酸化では水が最終副生成物として得られる。著者らは、水を陽子源とし、また、空気を酸化体として二度の触媒的酸化反応（すなわち、電子伝達プロセス）リサイクルできる触媒を創出した（図 21 参照）。この触媒は、電子と陽子移動、また酸素キャリアシステムを使用せず、室温で空気を酸化体として生物のようなエポキシ化反応を触媒する。これは、一つの触媒が生物のような酸化反応を行うことができる前例のない研究例である。

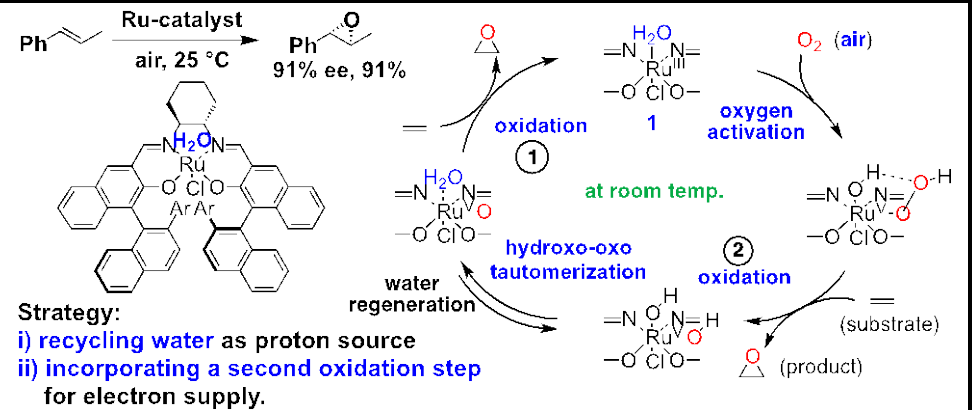


図 21 室温での空気による不斉エポキシ化と生物的酸化に提案されるメカニズム

#### 今後の方向性

省エネルギー分野において、香月教授グループによる研究は I<sup>2</sup>CNER の研究に相応しいカーボンニュートラルな触媒反応の確立に著しく貢献している。数多くの機会において、継続的かつ慎重になるのは、このような物質変換反応はインパクトが最も大きく、図 19 のロードマップに示すように I<sup>2</sup>CNER のターゲット研究に最も関連が深い分野であり、また我々の研究協力環境に多大な影響力を与えることもあり、今後もその評価に焦点が当たることになる。

新エネルギー分野に携わっている小江教授と Rauchfuss 教授の両主任研究者は、ロードマップが示すように、合成ヒドロゲナーゼの研究を加速度的に発展させ、最適化していこう。小江教授グループのブレークスルーを見ると、本研究は順調に軌道に乗っている。小江教授と Rauchfuss 教授両グループ間の取り組みにより、生体模倣による水素活性化メカニズムの解明において I<sup>2</sup>CNER は世界をリードする立場にいる。1、2 年後には、現在小江教授によってリードされている新触媒研究は、燃料電池のプロトタイプに統一されるであろう。

山内准教授グループは、省エネルギーと新エネルギーの両分野に貢献するため、カーボンニュートラル・サイクルに適したナノ合金触媒開発を行っている。今後は、水素を含む多様なエネルギーキャリアに対応可能な高効率触媒及び高機能材料の開発に研究の重点を置く。

## 7) 先進的CO<sub>2</sub>分離・濃縮システムの開発研究

—効率的で低コストのCO<sub>2</sub>分離・濃縮技術の確立を目指して—

- 化石燃料の燃焼により発生するCO<sub>2</sub>の分離に関して、種々の方法が提案されているが、いずれも所要エネルギーが大きく、実用化が難しい。本研究では、CO<sub>2</sub>の吸収・吸着の高性能化、低コスト・高性能の電気化学的方法によるCO<sub>2</sub>分離システムの構築を目指した基礎研究を行う。
- 具体的には、イオン交換膜を介した水の電気分解と組み合わせることにより、発生する水素を有効利用しつつ、生成するアルカリ液でCO<sub>2</sub>を吸収させる方法を提案する。1) その原理を解明し最も効果的なCO<sub>2</sub>分離システムのための新材料（膜材料・吸収材）を開発する、2) 分子動力学を利用して、高性能の触媒、溶液、膜特性を開発・評価する。また、吸収・吸着法に関しては、脱着しやすい特異的吸着物質の最適な吸着材構造を検討する。
- 本研究は、流体力学、表面科学、電荷・質量・熱移動、電気化学等の分野の融合によって行い、水素製造・燃料電池・CO<sub>2</sub>貯留等のグループと連携して行う。
- 所要エネルギーを従来の4分の1以下にできる新しいCO<sub>2</sub>分離システムを構築する。

## 7. CO<sub>2</sub>分離・濃縮

目的

CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門は、二酸化炭素排出削減に貢献するため、効率的な二酸化炭素分離・濃縮技術の開発の基礎となる基礎科学に重点を置いて研究を行っている。また、二酸化炭素は工業的水素製造における副産物であることから、本部門が行う分離技術の研究は、低炭素・水素エネルギー社会の構築に向けて重要となる。さらに、二酸化炭素をメタノール等高付加価値化合物に変換することも、本部門の研究目標である。

研究ハイライト

平成24年度、本部門は研究領域を再検討し、それについてエネルギーアナリシス部門からの助言を踏まえ、将来性のあるCO<sub>2</sub>の回収・分離及び転換技術を重点項目とした。図22の研究ロードマップにも示されているように、主な科学的・技術的な課題は以下のとおりである。



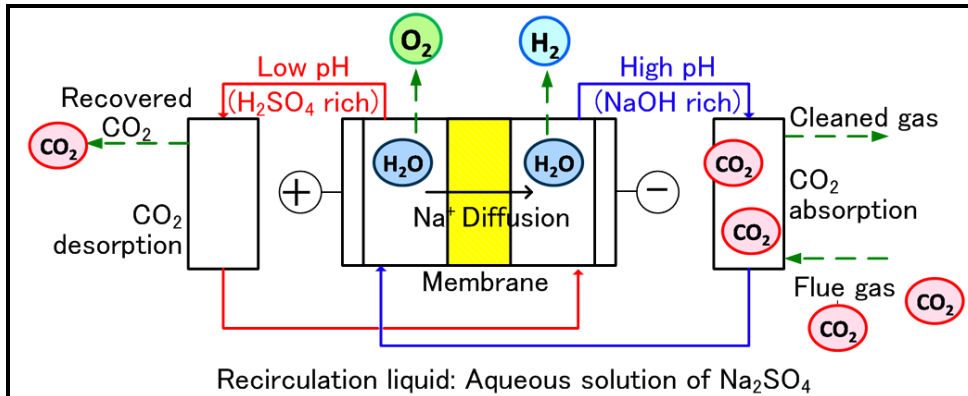


図. 先進的CO<sub>2</sub> 分離・濃縮システム

|                          | 短期<br>~2020  | 中期<br>2020~2030   | 長期<br>2030~2050   |
|--------------------------|--|---|---|
| <b>膜分離 (燃焼前)</b>         | 膜の最薄化<br>分離分子メカニズム<br>高性能膜材料   | 膜分離用材料設計<br>分離手法  | 今後の方向性<br>実際の使用時における膜頑丈性<br>産業&パイロット規模の分離                         |
| <b>吸着 (燃焼後)</b>          | 多孔質有機/無機材料<br>電気化学CO <sub>2</sub> 吸着プロセス   | はっ水表面改質<br>選択的分離のための最適材料<br>材料低温CO <sub>2</sub> 排出  | 材料コスト削減<br>CO <sub>2</sub> 分離プロセス設計<br>CO <sub>2</sub> 分離への不純物の影響 |
| <b>CO<sub>2</sub> 利用</b> | 高電流密度のための電極構造<br>効率的なCO <sub>2</sub> 変換<br>プロセス商用化の性能レベル<br>ファラデー効率、電流密度、エネルギー効率の最適化 | 液体CO <sub>2</sub> 回収とCO <sub>2</sub> 変換の統合<br>高性能触媒の選択<br>スケールアップ & ベンチトップ電解槽の基準<br>パイロット規模の電解槽 | 回収物との共同設置<br>パイロットプラント<br>電解槽の耐久性 & 触媒の安定性<br>商業規模工程              |

図22 CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門ロードマップ

CO<sub>2</sub>分離・濃縮

二酸化炭素分離に要する費用は、二酸化炭素回収・貯留 (CCS) の全プロセスにおいて最も大きな割合を占める。従来の二酸化炭素回収技術である溶液吸収法は、研究が進み、現在最も利用可能なCCS技術として受け入れられている。しかしながら、吸収液からの二酸化炭素回収に更なるエネルギーが必要となり、回収コストが増加する。表1には、二酸化炭素回収技術に要する現在のコスト及び目標とするコストを示す。

表1 分離技術

| Technology        | Current Situation:                      |                                  | Target cost:<br>JPY/t-CO <sub>2</sub> |
|-------------------|---|----------------------------------|---------------------------------------|
|                   | Cost:<br>JPY/t-CO <sub>2</sub>          | Energy:<br>kWh/t-CO <sub>2</sub> |                                       |
| Liquid absorption | <b>4,900-5,800*</b><br>(\$54 - 64)      | <b>200-230</b>                   | <b>2,000</b><br>(\$22)                |
| Membrane          | -<br>(Not used)                         | -<br>(Not used)                  | <b>1,000</b><br>(\$11)                |
| Solid Adsorption  | <b>13,000-17,000**</b><br>(\$144 - 188) | <b>640-680</b>                   | <b>1,500</b>                          |

\*文部科学省2010年報告書

\*\*全米石油審議会2012年報告書

エネルギー計算方法：1kWh=25円(1ドル=90円)

この表によれば、溶液吸収法が最もコスト効果の高いものではなく、それを代替しうる、全く異なる分離技術が必要である。膜分離及び吸着法は、低コストで効率的な二酸化炭素回収プロセスを実現するために大きな可能性を秘めた有望な候補である。そこで膜分離及び吸着法の利点を把握し、それを最大限活用するために、燃焼前CO<sub>2</sub>分離プロセスや液体天然ガス抽出時に放出される高圧ガスからのCO<sub>2</sub>分離を目標とすることとした。二酸化炭素の膜分離技術における最先端性能を踏まえ、また水素が貴重なエネルギー担体であることを考慮し、二酸化炭素と水素の高圧混合ガスを、分離発生源ガスとして重要目標とした。このような混合ガスは通常石炭ガス化複合発電(IGCC)所から排出される。膜分離はこのような工業的側面だけでなく、科学的にも重要な研究要素を含んでいる。なぜなら、二酸化炭素分子は水素よりも大きいことから、従来のガス分子のサイズによる分離・回収では機能しない。また膜分離には、相反問題がある。具体的には、より選択的なガス分離はガス透過性を低下させ、逆に透過性を上げると選択性が下がるという問題である。この問題に取り組むべく、本部門では薄膜材料を設計し、さらに膜厚を可能な限り薄くする手法をベースとしたアプローチで研究を行う。このアプローチは、他の気体の分離技術にも応用できる。吸着もまた取り組むべき課題である。二酸化炭素吸着として、多孔配位高分子(MOFs)、ゼオライトを含む多孔質材料の開発に向け努力している。

### 二酸化炭素の利用

地中炭素貯留は、大気中の二酸化炭素レベルの上昇を抑制するために用いられる方法のひとつであろう。貯留は今や広く受け入れられた「安定化のくさび」的アプローチの一部で、2004年サイエンス誌に掲載された Pacala と Soclow による有名な論文により世に紹介された(第305巻、968-972ページ)。二酸化炭素の回収と地中貯留のような安定化のくさびの多くは、実質的にコストがかかるので、利益に結び付く可能性が全くない。それに対し、二酸化炭素は別の価値ある化合物に変換できる炭素源のひとつであるため、二酸化炭素の利用が最近注目されている。このように、このプロジェクトでは、電気化学的還元によって回収・精製した二酸化炭素を有益な化学薬品に変換し、二酸化炭素回収費用を取り戻す可能性のあるアプローチ(可能性のある付加的な安定化のくさび)を模索している。このプロセスは、世界中の様々な場所で利用可能であり、間欠的な再生可能エネルギーの大量な余剰分によって行う。さらに、二酸化炭素を化成品原料(出発物質)として利用することにより、化石燃料への依存度を減らすことができる。二酸化炭素貯留に代わる選択肢としての二酸化炭素回収から利用までの全体像を描くために、我々は二酸化炭素利用法の研究の必要性を強く信じている。既述のとおり、二酸化炭素の回収、分離、地中貯留は割高のプロセスである。対照的に、化学変換後の(地中貯留を行わない)二酸化炭素の回収と分離は、経済的価値を生み出す可能性を秘めている。

### 重要な研究成果

*Thorson, Michael R.; Siil, Karl; and Kenis, Paul J.A. " Effect of cations on the electrochemical conversion of CO<sub>2</sub> to CO." Journal of the Electrochemical Society, 160, F69-F74, 2013.*

### 科学的解説:

この研究において、我々は二酸化炭素から一酸化炭素への電気化学還元における電解質組成の影響を調べた。具体的には、一酸化炭素と水素の2つの生成物の部分電流密度に対するアルカリカチオンの大きさの影響に関し調査した。これにより、サイズの大きなカチオンは水素の発生を抑える一方で、一酸化炭素の部分電流密度が増えると、一酸化炭素生成のためのファラデー収率が高くなることを発見した。その結果を論文発表し、モデルを用いた理論で説明することに成功した。

## 今後の方向性

溶媒吸収というアプローチは、最も確立した技術であるが、それを導入及び流通させるにはさらなるコスト削減が必要となる。I<sup>2</sup>CNER では、さらに効率的な技術に到達するための薄膜及び吸着剤を用いた二酸化炭素の分離に焦点を当てていく。

### 二酸化炭素回収・分離

#### 膜分離 (谷口准教授、藤川准教授)

膜分離の目標を、二酸化炭素と水素を分離する IGCC 発電所に置く。今までに数多くの二酸化炭素分離薄膜が開発されてきたが、成功例はとても少ない。谷口准教授が開発した dendritic 膜は、二酸化炭素分離効果が最も高い側面があることを示している。加圧下における分離係数 (浸透率) と二酸化炭素の浸透性はそれぞれ 30 及び  $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^3 (\text{STP}) / (\text{m}^2 \text{ s Pa})$  であった。しかし、分離係数は導入に十分なレベルに達しているものの、二酸化炭素の浸透率は  $7.5 \times 10^{-10} \text{ m}^3 (\text{STP}) / (\text{m}^2 \text{ s Pa})$  に上げる必要がある。二酸化炭素の浸透性は薄膜厚に反比例 (10-500 $\mu\text{m}$ ) することがわかっており、これは二酸化炭素の浸透は拡散に影響されることを意味する。二酸化炭素の浸透率を上げるには、薄膜厚を少なくすればよい。これらの側面とマイルストーンを考慮すると、膜材料のデザインと薄膜厚減少に注力する必要がある。

#### 多孔質材料 (草壁教授)

有機及び無機複合材料は、二酸化炭素を吸着する多孔質構造デザインに大きな可能性を持つため、これらによる様々な吸着材料探索は重要である。本研究の目的は、MOFs やゼオライトを含む多孔質材料の開発である。平成 23 年度は、有機配位子と金属イオンでできた多孔質結晶構造のサイズの大きな MOF-5 の製作に成功した。今後、このサイズの大きな MOF 結晶を用い、気体の吸着機能を評価する。初期の実験結果を基に、構造を再デザインし、二酸化炭素の吸脱着特性を改善させる。既に濾過サポート上での多孔質材料からなる薄膜の作製に関する予備的な結果が得られている。この濾過サポート上の多孔質薄膜は、効率的な二酸化炭素分離薄膜としての高い可能性を持つ。

#### 二酸化炭素変換

平成 24 年度、Kenis 教授は燃料電池部門との緊密な連携の下、二酸化炭素から一酸化炭素への選択的変換用に特に有望な 3 つの触媒材料を特定

8) CO<sub>2</sub>地中貯留研究  
—地中でのCO<sub>2</sub>挙動の解明と数値予測モデルの開発

- CO<sub>2</sub>の地中貯留は地下千m以深の貯留層を対象として計画されているが、長期間にわたる安全性・安定性に関する研究は少なく、高圧多孔質層内でのCO<sub>2</sub>の吸着・溶解等の各種トラップ、断層を通じたCO<sub>2</sub>ガスの浅層領域での移流・拡散等解明すべき現象が多い。
- 貯留層工学、地球科学等の分野を融合し、高圧多孔質層での岩石・水・CO<sub>2</sub>の三相共存下におけるCO<sub>2</sub>の溶解、変質、鉱物化について解明する。とくに、CO<sub>2</sub>貯留層から地表への拡散挙動について、浅層試験フィールドでの測定・評価を行い、CO<sub>2</sub>移流・拡散の数値予測モデルを確立する。また、地下貯留層内の微生物によるCH<sub>4</sub>への転換プロセスについても研究を行う。

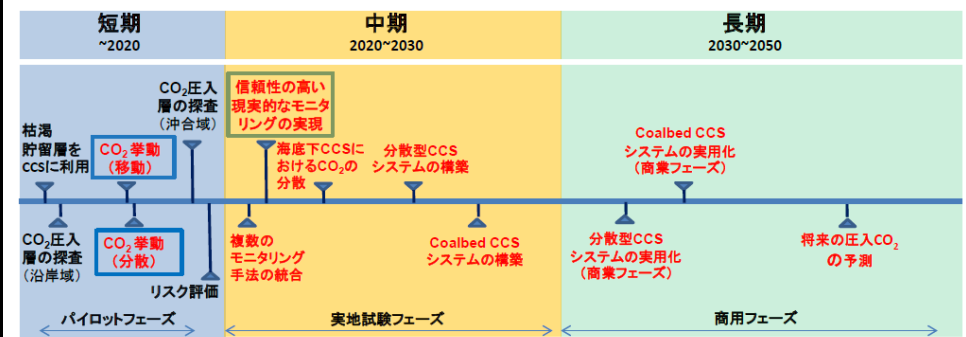
した：(1) au ナノ粒子担持ポリマー被覆複層カーボンナノチューブ（中嶋教授、藤ヶ谷准教授、Gewirth 教授との共同研究）、(2) 有機金属触媒（Gewirth 教授との共同研究）、(3) 金属フリー炭窒化物触媒（Lyth 助教との共同研究）。これらの触媒は、商用プロセスの開発に必要な基準（ファラデー効率 95%以上、エネルギー効率 60%以上、電流密度 200 mA/cm<sup>2</sup>以上）に近づきつつある。

以上の観点と本部門の研究目標を考慮すると、平成 25、26 年度は、(1) 上記触媒のさらに詳しい特性評価と最適化、(2) 電極への導入も含めた電極構造の最適化、及び(3) 商品化へ向けた可能性についてビジョンとして描いたプロセスの評価の 3 点に重点を置く。

8. CO<sub>2</sub>貯留

目的

CO<sub>2</sub>貯留 (CCS) 部門では、貯留層に圧入したCO<sub>2</sub>の漏洩、誘発地震の危険性及び高コストといったCO<sub>2</sub>地中貯留の障害となる問題を解決することを目的として研究を行っている。これらの課題は、CO<sub>2</sub>圧入層 (貯留層) が持つ不確実性と強く関係しており、その解決には複雑な地下構造を相手にする必要がある。図23のロードマップに、CCS技術及び研究目標を示した。CO<sub>2</sub>貯留部門の短期目標には、貯留層の特性評価と、圧入CO<sub>2</sub>と漏洩CO<sub>2</sub>のモニタリングとモデリングを設定した。特に、日本に典型的な地質構造を対象とした圧入CO<sub>2</sub>と漏洩CO<sub>2</sub>のモニタリングとモデリングシステムの構築を集中的に研究する。なお、これらの研究目標はエネルギーアナリシス部門と協力して決定した。



図み：優先度の高い研究目標

図23 CO<sub>2</sub>貯留部門ロードマップ

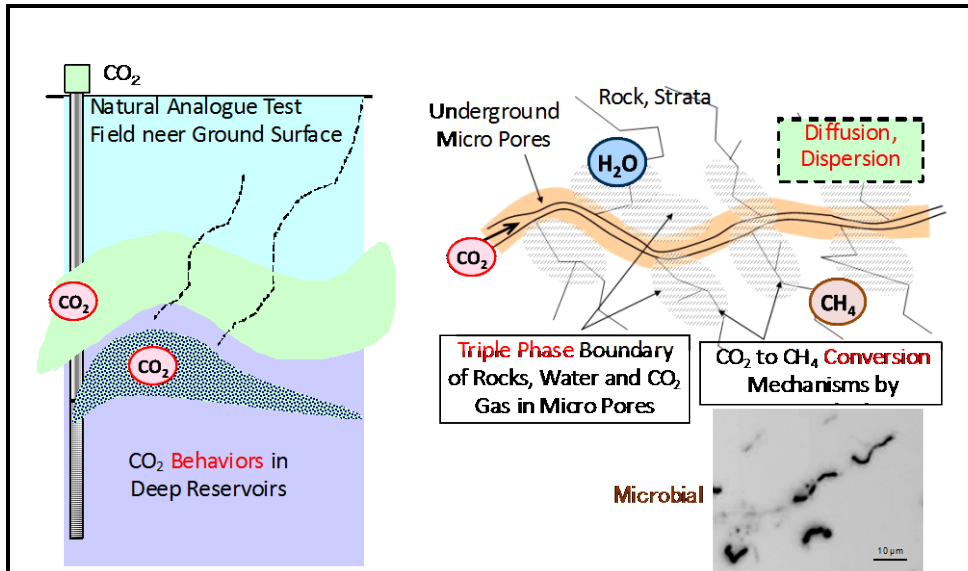


図. CO<sub>2</sub> 地中貯留

日本に代表される島弧系の地質構造は、オーストラリアなどの広大な貯留層(地質構造)に比べて、非常に複雑である。そのため貯留層シミュレーションに用いる地質モデルを作成する際、またモニタリング調査のデザインを行う際には、地質構造の不均質性を考慮する必要がある。我々は、地質構造が持つ不均質性を地質モデルに組み込む研究を行っている。さらに日本列島といった大陸縁辺部には、CO<sub>2</sub> 圧入に適した背斜構造を見つけることが困難である。そのため多孔質内での CO<sub>2</sub> の挙動を調べることによって、(背斜構造を必要としない)残留トラッピング、溶解トラッピング、鉱物トラッピングを効率的に実現するための研究を行っている。我々は室内実験、モデリング、シミュレーションを実施し、それらの結果を統合することによって、日本のような不均質的な地質構造に CO<sub>2</sub> を圧入するための画期的な手法を構築することを目指している。さらに我々が注目している研究課題に、貯留層の圧力と温度に依存する CO<sub>2</sub> の挙動を、実験的に調べるものがある。具体的には、地層水に溶解した CO<sub>2</sub> の挙動を調べたり、キャップロックの脆弱化によって海中に漏洩した CO<sub>2</sub> がどのように振る舞うか(平成 25 年度に I<sup>2</sup>CNER に新たに導入される高水圧トンネルを使用する予定)を研究している。また、限られた地球物理学的・地質学的データから、地質モデルを確立するための貯留層特性の評価法に関する研究も行っている。

**圧入 CO<sub>2</sub>・漏洩 CO<sub>2</sub> のモニタリングとモデリング**では、半恒久的に貯留層中の CO<sub>2</sub> をモニタリングする必要がある。そこで、長期モニタリング手法を開発し、実際の CCS プロジェクトへの適用を目指している(これは、CO<sub>2</sub> 注入による石油増進回収と大きく異なる)。この目標達成のため、微動ノイズを使った地震波モニタリング手法の開発を行っている。さらに海中への CO<sub>2</sub> の漏洩を発見するため、海底音波トモグラフィー、及び自律型無人潜水船や自律型水中ロボットに搭載した pH/pCO<sub>2</sub> センサーを使ったモニタリング技術の開発を行っている。最後に、貯留層モデリングにおいて、地層水の地化学的反応を考慮するための研究も行っている。日本周辺の地層水は塩分濃度が低いことから、圧入 CO<sub>2</sub> の地層水への溶解度及び化学反応が速いことが知られている。これらの要因を貯留層シミュレーションに組み込み、さらに CO<sub>2</sub> の海中への拡散も予測できるように研究を行う。

#### 研究ハイライト

CCS部門は平成24年度に短期的、長期的な研究目標を大幅に変更し、**貯留層の特性評価及び圧入CO<sub>2</sub>・漏洩CO<sub>2</sub>モニタリング**の2つの研究目標に関する幅広い成果をあげた。

## 9) CO<sub>2</sub>海洋貯留研究

### —CO<sub>2</sub>海洋貯留に関する社会への情報発信—

- 海洋吸収によって大気中のCO<sub>2</sub>は自然に取り除かれるが、増え続けるCO<sub>2</sub>の排出量に追いつかない。CO<sub>2</sub>の削減目標達成のためには、CO<sub>2</sub>の海洋貯留が重要な役割を果たすと期待されるが、中規模渦や湧昇流等を考慮した場合の安定性や海洋酸性化による環境や生物への影響など、解明すべき点が多い。
- 本研究では、CO<sub>2</sub>の安定性や海洋環境・地球環境への影響について評価するとともに、CO<sub>2</sub>注入・モニタリングシステムのリスク解析を行い、海洋貯留の長所・短所について理解を深め、社会に情報提供していく。
- 具体的には、九州大学が開発した海洋大循環モデルに炭素循環モデル（大気・海洋間炭素交換過程、海洋中のpH変化、バイオ・ポンプ過程などを含む）を結合し、流体力学、海洋科学を融合し、中規模渦や湧昇流下でのCO<sub>2</sub>の挙動を解析する。
- 本研究活動成果により、九州大学が開発したバーチャルモアリングシステムに基づいたモニタリングシステムが構築される。

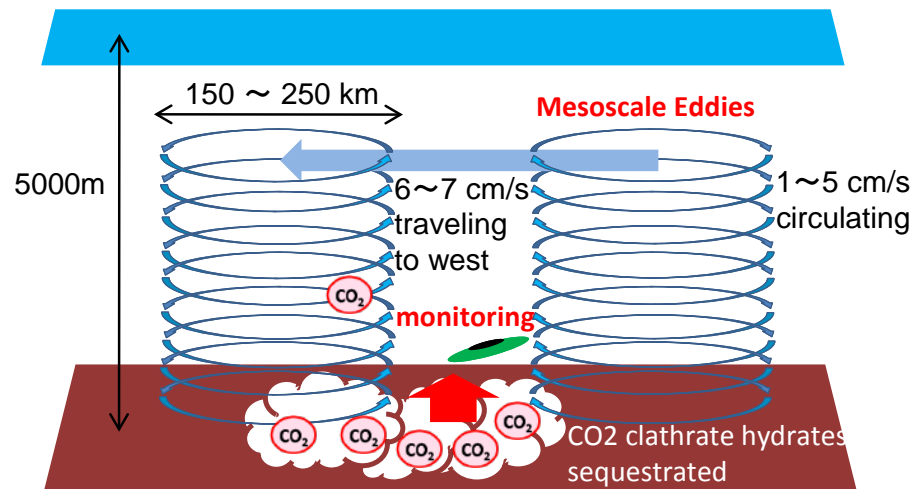


図. CO<sub>2</sub> 海洋貯留

第1の研究成果として、環境ノイズを使って地震波速度の変化を推定する地震波モニタリング手法を開発した研究がある。この方法はノイズから仮想的な震源を作成するため、地震計データだけを使って、貯留層周辺の地質構造を調べることや、その時間変化を抽出することができる。このアプローチは低コストであるため、地中CCSプロジェクトの長期的モニタリングでは、とても威力を発揮する。湊ほか(2012)は、このモニタリング手法を東北地方の地震計データに適用し、平成23年東北地方太平洋沖地震で引き起こされた地殻の弾性波速度の変化を抽出することに成功した。弾性波速度の変化は、応力変化を表しているため、この手法は地殻の経時的な応力変化を抽出できることが分かった。我々は、この方法を流体圧入試験(CO<sub>2</sub>圧入に向けたInjectivityの評価試験)で記録された地震計のデータに適用した。その結果、流体圧入に伴うP波速度の変化を抽出することに成功した。このP波速度の変化は流体圧入に伴う間際水圧の上昇を表していると解釈でき、この手法によって帯水層内の間際水圧をモニタリングできることを示している。この成果は、微動ノイズを使った圧入流体のモニタリング実現に向けた重要なステップと考えられる。この成果は、CO<sub>2</sub>地下貯留における地層の安定性を、長期的かつ信頼できるモニタリング手法によって評価するという我々の研究目標達成にとって重要である。

第2の研究成果として、我々が開発した測定機器及び設備を使って、海底からのCO<sub>2</sub>漏洩の発見と、そのモニタリングの方法を提案した研究がある。この研究(下島他、*Applied Geochemistry*, 30, 14-124, 2012)では、海底音響トモグラフィーを使って貯留層からのCO<sub>2</sub>漏洩を発見し、自律型無人潜水船に搭載されたpH/pCO<sub>2</sub>センサーを用いて漏洩地点の分布をマッピングする。最後に、遠隔操作無人探査艇を使って、漏洩の影響のある地点をモニタリングするというものである。これは、CO<sub>2</sub>の漏洩を効果的にモニタリングするためのアプローチを記載した初めての論文であり、重要な成果といえる。また、長期的で信頼性のあるCO<sub>2</sub>漏洩のモニタリングを行うという我々の目標にとっても重要な成果である。

最後の研究成果として、多孔質岩石中のCO<sub>2</sub>の挙動の解明がある。岩盤の物理的性質は、間隙中の流体の状態に影響を受ける。つまり、モニタリングから貯留層のCO<sub>2</sub>の状態を推定する際には、間隙中のCO<sub>2</sub>の挙動を知る必要がある。地震波を使ったモニタリングでは、地震波速度の変化を使って、CO<sub>2</sub>の分布を評価できる。なぜならP波速度は、間隙中のCO<sub>2</sub>の飽和度が増すにつれ急激に減少するからである。これらの関係を確立するため、我々は精力的に室内実験を行ってきた(北村他、*Journal of MMIJ*, 128,

511-518, 2012)。一方で間隙中のCO<sub>2</sub>の挙動は、間隙の形状、圧力、温度条件に強く影響される。多孔質媒体におけるCO<sub>2</sub>の挙動を様々な条件下で定量的に調べるため、さらにCO<sub>2</sub>の飽和度とモニタリングで得られる情報（例えば弾性波速度）との関係を確立するために、個別要素法を使って構築した3次元のデジタル岩石モデルに対して2相の格子ボルツマン法を適用し、間隙中の超臨界CO<sub>2</sub>の分布を計算した(辻他, AGU Fall Meeting, GC51A-1176, San Francisco, December 3-7, 2012)。間隙中の超臨界CO<sub>2</sub>の分布からは、その弾性波速度と比抵抗を、有限要素法で計算することができる。つまり、この方法によりCO<sub>2</sub>の飽和度とモニタリングで得られる情報(地震速度と電気抵抗)の関係を、様々な条件で計算できるのである。これらの関係は、CO<sub>2</sub>挙動をモニタリングデータから評価する際に必要となる。この進行中の研究は、地層中におけるCO<sub>2</sub>の挙動、また間隙中のトラッピングメカニズム、特に残留トラッピングの理解とモデル化に必要であり、我々の研究目的の一つとして重要である。

#### 重要な研究成果

*Shitashima, K; Maeda, Y.; and Ohsumi, T. "Development of detection and monitoring techniques of CO<sub>2</sub> leakage from seafloor in sub-seabed CO<sub>2</sub> storage." Applied Geochemistry, 30, 114-124, 2012.*

#### 科学的解説：

この研究では、我々が開発、試験した測定機器を用い、海底下地中貯留で海底からのCO<sub>2</sub>漏洩を発見、モニタリングするアプローチを報告した(図24)。主な手順は以下のとおりである。i) 海底音響トモグラフィーを使ってCO<sub>2</sub>漏洩を発見する、ii) 自律型無人潜水機(AUV)に搭載したpH/pCO<sub>2</sub>センサーを使って、漏洩ポイントの分布をマッピングする、iii) 遠隔操作無人探査機、自動昇降装置、曳航式観測システムを使って影響のあったエリアを詳しくモニタリングする。

この論文は、CCSにおけるCO<sub>2</sub>の漏洩に対するモニタリング法を記述した初めての論文である。CO<sub>2</sub>漏洩をモニタリングするため信頼性の高いアプローチを確立することは、CCS部門の最も重要な目標である。この研究は、CO<sub>2</sub>漏洩の信頼性の高いモニタリングを行うという点で、本部門の長期的目標に直結している。



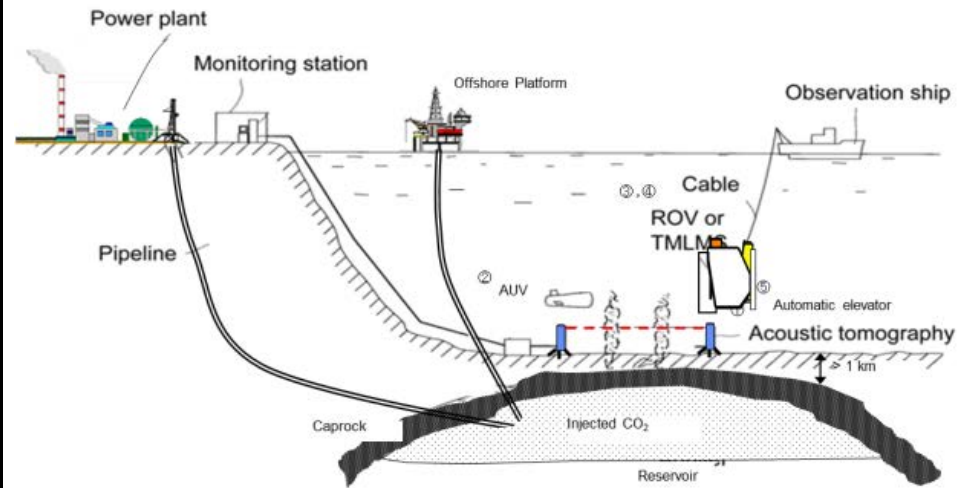


図24 海底貯留CCSにおけるCO<sub>2</sub>漏洩の発見とモニタリングの方法

Minato, S.; Tsuji, T.; Ohmi, S.; and Matsuoka, T. "Monitoring seismic velocity change caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake using ambient noise records." *Geophysical Research Letters*, 39, L09309, 2012.

この論文では、圧入CO<sub>2</sub>の挙動モニタリングを行うため、微動ノイズを用いてCO<sub>2</sub>圧入層周辺の地震波速度を推定するための手法を開発した。この方法を使えば、環境ノイズから仮想震源を構築できるため、ノイズデータだけを使って、貯留層周辺の物性の時間変化や地質的特徴を抽出することができる。このアプローチは低コストであるため、地中CCSプロジェクトの長期的モニタリングにおいて、魅力的な手法と考えられる。我々は、この手法を東北地方の地震計データに適用し、平成23年の大地震時の地殻内部の地震波速度の変動を抽出することに成功した。この地震波速度の変動は、地殻応力の変動を表していると考えられ、この手法を用いることで地殻応力の変動をモニタリングできることが示された。我々は、この手法を水圧入試験(CCSに向けた試験)の際に取得された地震計のデータに適用し、水圧入に伴うP波速度の変動を推定することに成功した。すなわち、この手法は、微動ノイズを使った圧入流体のモニタリング手法として有効であると考えられる。

#### 今後の方向性

CCS部門は、貯留層の特性評価及び圧入CO<sub>2</sub>と漏洩CO<sub>2</sub>のモニタリングとモデリングを短期的目標として、これらを集中的に研究することとした。これらの研究目標は、エネルギーアナリシス部門と相談して決定したことであり、日本でCCSプロジェクトを実施するために必要不可欠である。特に、モデリングのために地質モデルを構築する際、またモニタリング探査のデザインを行う際に、地質構造の不均質性を地質モデルに組み込むことを試みる。また残留トラッピング、溶解トラッピング、鉱物学的トラッピングを効率的に実施するために、圧入CO<sub>2</sub>の挙動の解明や、それらに適用したモニタリング手法の確立を目指す。また、限られた地球物理・地質データから地質モデルを確立するための貯留層評価法を確立する。CCSに伴う地震活動への影響の評価も、CCSプロジェクトの促進に重要である。そのためCCS部門では、CO<sub>2</sub>注入による間際水圧の上昇をモニタリング及び制御する新たなツールを開発する。それにより、日本をはじめとする地震発生帯に位置する場所で、CCSが原因となって引き起こされる地震の発生を防止する。

我々は、日本のような島弧型の地質的条件においてCCSを実施するための新しい技術の開発を行っている。具体的には、分散型CCS、再生型CCS、深海底CCSに焦点を当てている。分散型CCSでは、主要なCO<sub>2</sub>のトラッピングメカニズムは、圧入したCO<sub>2</sub>を地層水に溶解させる方法である。この方法を使えば、比較的浅い貯留層(100m以下)に、低コストでCO<sub>2</sub>を圧入できる。再生型CCSでは、圧入CO<sub>2</sub>をメタン(CH<sub>4</sub>)に変換することを目指している。このCCSが実現すれば、CCSによって日本周辺で炭化水素(エネルギー)を生産できる。また深海底CCSが実現すれば、日本列島周辺の深海底下の貯留層にCO<sub>2</sub>を圧入することができる。つまり日本周辺の広い海域に、大量のCO<sub>2</sub>を圧入することが可能となり、CO<sub>2</sub>の貯留量ポテンシャルが増加する。

CCS部門が開発した技術を、現在実施されているCCSプロジェクトに積極的に適用する。また現在計画中的のCCSプロジェクトでも、我々の手法を適用する準備を行っている。例えばI<sup>2</sup>CNERのCCS部門は、日本CCS調査(株)と苫小牧CCSプロジェクトに関して共同研究を行っており、このプロジェクトで得られるモニタリングデータの解析及び地質モデルの構築を行っている。

## 10) カーボンニュートラル・エネルギー社会研究

カーボンニュートラル・エネルギー社会を支える各要素技術について、効率、CO<sub>2</sub>削減効果の可能性、現実性等を常に評価し研究を行う。所内研究成果を評価し、我々の開発技術の意義と重要性を国民的視点から明確にしていく。1) 公営ラジオでの解説、2) 理工学を専攻していない学生を対象にした革新的な授業、3) 演説、4) 著書や雑誌記事等を通して、本研究が社会に与える影響を継続的に確認し、組織的に国民の理解促進を図る。

## 9. エネルギーアナリシス

### 目的

エネルギーアナリシス部門(EAD)の目的は、I<sup>2</sup>CNERの研究が将来の日本における低炭素・カーボンニュートラル・エネルギーシステムに関連し、そこに関係する現在及び将来のエネルギー選択肢の全てを考慮していることを確認すること、そして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今後のビジョンとロードマップの明確化において主導的役割を担うことである。

ビジョンを明確にするため、EADは日本のカーボンニュートラル・エネルギー社会につながる課題とテクノロジーを特定し、I<sup>2</sup>CNERの各研究部門における取り組みと、その目的及びターゲットとの関連性を確保する手助けとなるよう助言を行う。また、EADは、所内における研究活動を強化し得るI<sup>2</sup>CNERの研究ポートフォリオ範囲外のテクノロジーについても助言も行う。

これらの目的に加え、EADは潜在的な日本と国際エネルギー政策への示唆をもたらす研究も行う。研究所内外の専門知識に基づくシステム解析を行い、自然科学・社会科学の両面から研究を行う。EADの分析は、予測されるエネルギー使用、温暖化ガス(GHG)排出、またテクノロジーとエネルギー経路の経済的、社会的、国家安全保障などの側面も含む。ターゲット技術は、経済活動、コスト、エネルギーの流れに適用し、エネルギー消費と技術のライフサイクルを分析、すなわち「ゆりかごから墓場まで」ベースで分析を行う。

### 研究ハイライトと研究成果

本年度、EADは以下三つの分野で成果を上げた。

- 2050年における日本の低炭素エネルギー社会基盤に向けた技術オプションの初期検討。これは、日本のエネルギー未来へのビジョンにつながることで期待される。
- 革新的な低炭素エネルギー技術を適用することによる日本における潜在的 GHG 及びエネルギー使用削減を定量化するためのエネルギー技術システム・モデルの改善
- マイルストーンとタイムラインを含む I<sup>2</sup>CNER 研究プロジェクトの初期ロードマップ策定及びロードマップにおける各研究部門の明確な

## 目的とターゲット設定に対する支援

### 日本の低炭素・カーボンニュートラル・エネルギー社会に向けた技術オプション

日本の将来の低炭素エネルギー社会に対する考察に関し、最新技術、将来のエネルギー需給及び主な各エネルギー消費部門に関連するCO<sub>2</sub>排出量の検証を実施した。2050年のエネルギー利用は、政府の人口とGDP成長率の予測に基づいて予想した。そして、炭素排出が少なく、よりエネルギー効率の良い技術を使用する可能性に関連し、エネルギー消費部門を詳細に検討した。初期検討の結果得られた認識は以下のとおり。

- 製造工程、電化製品、より小型の乗用車、照明、断熱、スマートグリッドなど需要サイドにおけるエネルギー効率の向上は、炭素排出量削減において重要である。
- 日本におけるCO<sub>2</sub>排出の46%は、発電所起源であり、それが低炭素排出テクノロジーに向けた大きな焦点となる。発電部門では日本国内の再生可能エネルギー源(水力発電、風力、太陽光、地熱、バイオマス)及び原子力の利用が大きな効果をもたらすと考えられる。最新のよりエネルギー効率の高い化石燃料発電と、CO<sub>2</sub>の回収隔離・貯留(CCS)もまた、低炭素排出発電への道の重要な一部と考えられる。蓄電に加えてガスタービンなどの出力調整可能発電もまた、風力・太陽エネルギー導入を促すと考えられる。有機太陽電池、水素製造、大型の固体酸化物形燃料電池及びCCSに関するI<sup>2</sup>CNERの研究は、この部門における低炭素排出実現のカギである。
- 産業部門(電力消費を含まず)においてはCO<sub>2</sub>排出は全体の23%を占め、熱の必要性がその主要因である。これに対しI<sup>2</sup>CNERの先端物質変換部門における研究、新しい化学テクノロジー、プロセス技術開発によって、エネルギー需要量が低減される可能性がある。最新のよりエネルギー効率の高い化石燃料利用技術とCCSも、このセクターの二酸化炭素抑制を可能にすると考える。
- 輸送部門のCO<sub>2</sub>排出量は全体の21%であり、同部門もまた低炭素排出のためには重要である。多くの二酸化炭素排出量抑制のための輸送技術が開発されており、その焦点は、CO<sub>2</sub>排出の大半を占める自動車

にある。有望な技術として、ハイブリッド自動車(HEV)、プラグインハイブリッド自動車(PHEV)、電気自動車(BEV)及び燃料電池自動車(FCV)が挙げられる。HEVは、バイオ燃料を用いた場合、二酸化炭素排出量の大きな抑制となる可能性がある。PHEV・BEV技術を非常に魅力的なものとするには、二酸化炭素排出量のごく少ない電力供給網が必要となり、BEV技術には、航続距離やコストに関し幾つかの懸念がある。FCVは、水素製造のための十分な供給源を確保し、移行中の燃料補給インフラの問題に対処するのであれば、CO<sub>2</sub>削減への有力な選択肢となりうる。I<sup>2</sup>CNERの固体高分子形燃料電池及び低炭素型水素製造技術の研究は、低炭素排出自動車の開発に重要な役割を果たすと考えられる。

- バイオ燃料は、日本の将来の低炭素エネルギーに非常に重要な役割を担う可能性があり、現在もしくは将来のエネルギー技術における化石燃料に取って代わることができる。日本はバイオマス資源を十分持たないが、バイオ燃料の輸入は検討事項となるであろう。

(注) 部門別の報告CO<sub>2</sub>排出量シェアは、直接排出統計に基づいて算出されていることに留意。間接排出の統計に基づいた評価では、発電部門11%、産業部門37%、輸送部門22%、住宅部門16%、商業部門13%である。

日本において将来的に二酸化炭素排出の少ないエネルギー利用の形は様々考えられる。技術と燃料の最適な組み合わせは、現在行われている研究の結果による製品コストと性能、そして再生可能エネルギーとCCSのポテンシャルと技術の社会受容に影響されると考えられる。

#### エネルギー技術システム評価モデルの枠組み

低炭素又はカーボンニュートラル・エネルギー社会実現へ向け、潜在的なエネルギー技術の貢献を定量的に評価するため、日本におけるエネルギーフローの一連のモデルを構築する必要がある。そのため、EADではエネルギー需要を重視したエネルギーフロー・モデルと集中型電力供給システム・モデルから成るモデルを第一段階として開発した。

エネルギー需要を重視したエネルギーフロー・モデルは、必要に応じてその他の統計データによって補足された日本のエネルギー統計に基づいてデータが与えられた。EADでは、2010年から2050年までの時間スケールにおけるエネルギー需要を重視して、技術の貢献度を評価できるよう、当該モデルをさ

らに改良中である。エネルギー技術の例としては、家電、住宅用太陽電池及び太陽熱暖房、熱電併給システム、断熱、電化(キッチン、ボイラー及び暖房)、膜分離、低温熱回収、将来自動車になどが挙げられる。ここで留意すべきは、人口増加や経済成長に関連する需要増加などの経済的・社会的シナリオが、外部入力条件として設定可能である点である。EADは、日本社会における需要の全体的な変化を把握するため、それぞれの技術オプションに関連するシナリオ条件(効率、普及率等)の設定を行う。推定電力需要データは、集中型電力供給システムモデルに入力する。

集中型電力供給システムモデルは、目標期間における日本の送電網からの発電を最適化するための従来の発電配分を基に開発された。EADのモデルは、2010年から2050年に渡り、最小費用で送電網を最適化し、原子力、火力(LNG、石炭、石油)、水力、揚水、地熱、太陽光、風力及びその他の潜在的エネルギー技術オプションを包む。EADでは、文献や公開データベースから参照データを収集した。

一連の入力データを使用し、モデル・アルゴリズムの有効性を調べるため、予備的な分析を行った。EADでは、当該モデルを使い、現在及び近い将来の二酸化炭素排出やエネルギー使用削減シナリオについて定量的分析を行う準備が整った。

#### **ロードマップ**

I<sup>2</sup>CNERにおける全ての研究部門所属の研究者と面談を行い、EADは図25で説明するように、初期のビジョンとロードマップを作成した。主要ターゲットとマイルストーンを含んだタイムライン草案もまた、それぞれのI<sup>2</sup>CNER研究部門とともに作成し、本報告書内の各部門の当該セクションで紹介した。

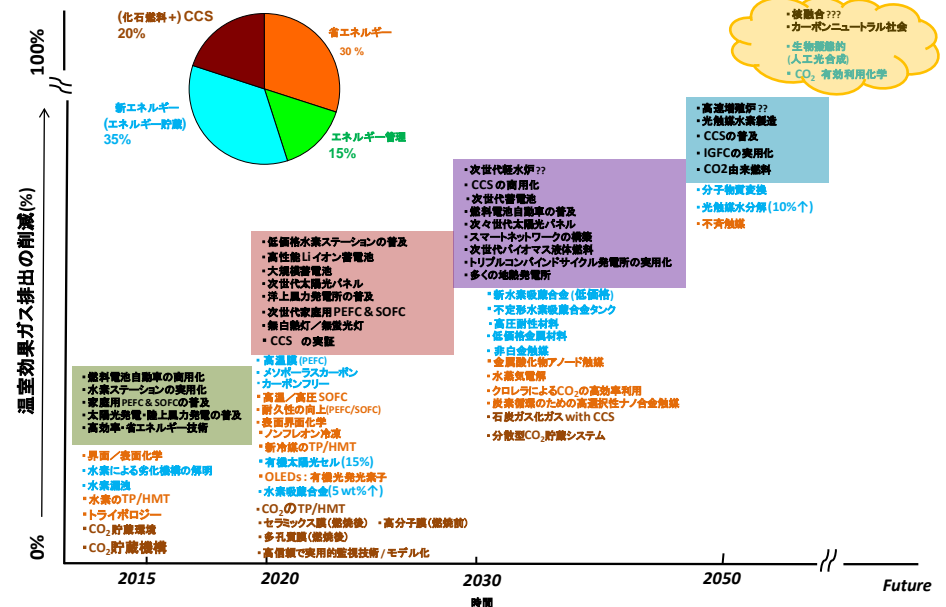


図25 I<sup>2</sup>CNERビジョンと研究タイムライン

今後の方向性

- 各研究部門のプロジェクトが、日本の将来の低炭素エネルギー消費のためのインフラに関連したものであり、適切な性能及び経済性の目標を有することを確認するため、研究部門との連携を引き続き実施する。また、必要に応じてシステム・モデリングと分析を行う。
- 技術の分析と適用先システム分析について、競合する技術を考慮して実施する。
- ETSS(エネルギー技術システム)モデル及びEADで開発予定のその他分析ツールを用い、日本における炭素排出とエネルギー使用の削減へのI<sup>2</sup>CNERの技術の潜在的な寄与の定量化を行う。
- 技術オプション調査、潜在的シナリオのETSSモデル分析及びその他各種の情報とツールを使用し、日本の低炭素排出エネルギー・インフラに向けたビジョンを構築する。

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 一つもしくはそれ以上の因子で構成される国のエネルギー安全保障の評価手法を定義し、EAD分析に統合する。</li> <li>• 日本で用いられている現在のエネルギー経路向けのコスト、エネルギー使用及び温室効果ガス(GHG)排出の数値化に必要なデータを含むコンピュータによるデータベース・システムを開発し、I<sup>2</sup>CNER とその他において研究開発中のエネルギー技術を含むよう拡張する。</li> <li>• I<sup>2</sup>CNER の研究成果を活用できる可能性のあるエネルギーパスの分析とモデル化について、自動車に関して先行的に実施する。</li> <li>• 二酸化炭素排出量を削減する鍵となる技術とそのエネルギー・パスについて社会的受容性を評価するための社会科学的研究を実施する。これにより、こうした新しい技術を社会に伝え、それに対する一般市民の認識を高める。</li> <li>• 社会選択理論に基づいたエネルギー技術の普及プロセスの研究を行う。</li> </ul> |
|--|--|

|  |   |
|--|---|
| <p>4. 運営</p>   | <p>【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】</p> <p>① 事務部門の構成</p> <p>角田英之支援部門長は、平成25年3月31日限りで支援部門長の職を辞し、翌4月1日付けで、船木和夫教授が新たに支援部門長に就任した。</p> <p>○ 平成25年4月1日現在、支援部門職員は支援部門長及び副支援部門長を含め19名となり、以下の4つのグループで構成される。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 総務・人事(6名)</li> <li>2) 経理・契約(5名)</li> <li>3) 研究支援・国際連携(3名)</li> <li>4) 渉外(3名)</li> </ol> <p>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。</p> |
| <p>【応募時】</p> <p>①事務部門の構成</p> <p>○ 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する。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。</p> <p>○ これら事務職員には、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する。支援部門内での公用語は英語とする。</p> <p>○ また、各種申請書等作成、成果発表支援、共同研究の企画・契約、特許申請等、研究所の国際活動の支援を行うため、相応の専門知識が必要とされる。このような効率的で適切な研究支援体制を整備するため、ポスドク研究者等をリサーチアドミニストレーター(RA)として登用し、所内研究員が研究に専念できるよう支援する。また、これにより、日本ではまだまだ普及していないRAをポスドク研究者等の魅力ある新たなキャリア・パスとして定着させる。</p> |   |



- 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する。これには、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の支援が含まれる。

各グループの主要な業務は以下の通りである。

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。

② 拠点内の意志決定システム

- 所長がこれまでの米国学界での経験に基づいて、大学のシステム改革や管理を行うためには、相応の権限を付与する必要がある。研究者採用、トップクラス研究機関との共同研究、厳格な研究評価・研究計画評価、研究費、給与の分野等で、このような権限が必要である。
- 研究所は総長直轄の組織とし、所長及び研究領域リーダー等から構成される運営委員会等の意見も参考にしながら、所長の研究計画、研究体制、予算執行等について、所長が意思決定できる体制を整える。
- 所長の下に、副所長2名（日本国内1名、米国内1名）を置く。また、本研究所は、当該分野における国内外の著名な有識者からなる外部アドバイザー委員会により、毎年評価され助言・提言を得る。

② 拠点内の意志決定システム

- I<sup>2</sup>CNER執行部のコミュニケーションと理解を深め確実にするため、所長、副所長及び支援部門長による執行部会議(Administrative Meeting)を定例化した。この対面会議は、日常的なEメール、電話、テレビ会議等を補完するものである。
- 村上敬宜所長代理の平成25年1月31日付け退任にあたり、所長代理の職を廃止し、平成25年2月1日からその職務は二人の副所長が引き継いだ。
- 所長不在時の意志決定プロセスを規定し、執行部メンバーの役割と責務を明確にするため、平成24年度に、内規「22. 研究所の管理運営」を新たに策定し、研究所内規に正式に追加した。
- 平成24年度の変更点に鑑みて、研究所内規を適宜改正、更新した。現

|  |   |
|--|---|
| <p>③拠点長とホスト機関側の権限の分担</p> <p>○ 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が、それ以外の研究所の人事、予算執行等、研究所の管理運営は、所長が判断できることとする。</p> | <p>行の研究所内規一覧は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. テーマ別研究分野における部門及び人員構成</li> <li>2. 運営委員会 (SSC)</li> <li>3. 外部アドバイザー委員会 (EAC)</li> <li>4. プログラム評価プロセス</li> <li>5. 教員選考プロセス</li> <li>6. ファカルティ・エクセレンス・プログラム</li> <li>7. スーパー・リサーチアシスタント (SRA) プログラム</li> <li>8. 外国人主任研究者のためのポスドク研究者</li> <li>9. 支援部門の役割と責務</li> <li>10. 会議・ワークショップの主催又は後援について</li> <li>11. 異分野融合研究スタートアップ経費</li> <li>12. 競争的資金に係る間接経費の取扱方針</li> <li>13. 事業基金要項</li> <li>14. 短期訪問学生受入れに関するガイドライン</li> <li>15. WPI 短期招へい研究者受入れに関するガイドライン</li> <li>16. 教員及びポスドク研究者の業績評価プロセス</li> <li>17. WPI 補助金による研究者旅費規程</li> <li>18. 教員の昇任審査</li> <li>19. 研究部門の運営</li> <li>20. 研究ウェブページの運用方針</li> <li>21. 主任研究者の定年退職後の処遇について</li> <li>22. 研究所の管理運営</li> </ol> <p>③拠点長とホスト機関側の権限の分担</p> <p>○ 研究所規則等を整備することにより、研究所の管理運営に関する権限の大部分は所長に付与され、所長の選・解任の承認は、ホスト機関長である九州大学総長が行う。所長の権限に関しては、前述のI<sup>2</sup>CNER 研究所内規「22. 研究所の管理運営」に明記されている。</p> <p>○ 給与は、九州大学がI<sup>2</sup>CNER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」に準拠している。</p> |
|--|---|

5. 拠点を形成する研究者等

○ ホスト機関内に構築される中核  
主任研究者

|                 | 発 足 時 | 平成22年度当初計画 | 最 終 目 標<br>(○年○月頃) | 平成24年度実績 | 平成25年4月末 |
|-----------------|-------|------------|--------------------|----------|----------|
| ホスト機関内からの研究者数   | 16    | 16         | 16<br>(平成23年3月)    | 21       | 15       |
| 海外から招聘する研究者数    | 11    | 11         | 11<br>(平成23年3月)    | 23       | 8        |
| 国内他機関から招聘する研究者数 | 3     | 3          | 3<br>(平成23年3月)     | 1        | 1        |
| 主任研究者数 合計       | 30    | 30         | 30<br>(平成23年3月)    | 45       | 24       |

全体構成

|  | 発 足 時           | 平成22年度当初計画       | 最 終 目 標<br>(○年○月頃)            | 平成24年度実績                       | 平成25年4月末                      |
|--|-----------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 研究者<br>(うち<外国人研究者数, %> [女性研究者数, %])    | 71<br><21, 30%> | 92<br><36, 39 %> | 130<br><54, 42%><br>(平成26年3月) | 132<br><50, 38 %><br>[10, 8 %] | 151<br><71, 47%><br>[20, 13%] |
| 主任研究者<br>(うち<外国人研究者数, %> [女性研究者数, %])  | 30<br><11, 37%> | 30<br><11, 37%>  | 30<br><11, 37%><br>(平成23年3月)  | 45<br><23, 51%><br>[3, 7%]     | 24<br><9, 38%><br>[1, 4%]     |
| その他研究者<br>(うち<外国人研究者数, %> [女性研究者数, %]) | 41<br><10, 24%> | 62<br><25, 40%>  | 100<br><43, 43%><br>(平成26年3月) | 87<br><27, 31%><br>[7, 8%]     | 127<br><62, 49%><br>[19, 15%] |
| 研究支援員数                                 | 32              | 37               | 51<br>(平成25年3月)               | 90                             | 54                            |
| 事務スタッフ<br>(うち(英語を使用可能なものの人数, %))       | 23              | 23               | 23<br>(平成23年3月)               | 20 (19, 95%)                   | 21 (20, 95%)                  |
| 合 計                                    | 126             | 152              | 204                           | 242                            | 226                           |

- 「平成25年4月末」の欄は、イリノイ・サテライト機関の33名を含む。(内訳：研究者15名、リサーチアシスタント16名及び事務スタッフ2名)

|  |  |
|--|--|
| <p>○サテライト機関<br/>【応募時】<br/>機関名① 米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校<br/>&lt;役割&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校は、米国内の水素エネルギー・材料分野における世界トップクラスの機関である。米国イリノイ大学において、研究所関連の研究活動を展開するだけでなく、このサテライト機関は、米国内の他大学・研究機関における重要な研究計画や優秀な研究者を発掘し、連携するための基盤としての機能も持たせる。</li> </ul> <p>&lt;人員構成・体制&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 所長であるソフロニス教授がサテライト機関長も兼ね、イリノイ大学工学部長へ報告を行う。九州大学・イリノイ大学間で、現在行っている大学院生の交換留学提携に加えて、研究・研究者交流のための協定を締結する。</li> </ul> <p>&lt;協力の枠組み&gt;</p> | <p>○サテライト機関<br/>【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】<br/>機関名① 米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 平成25年3月31日、Ian Robertson教授が委員長を務める内部プログラム評価委員会(IPRC)は、イリノイ大学サテライトにおいて実施されている全ての研究プログラムの評価を実施した。その結果、九州大学側の研究と完全に統合されていないと判断されたプログラム担当のサテライト教員には、所長からその旨を指摘し、改善のためのアクションプランが実施されている。平成25年12月までに改善が見られない場合、これらのプログラムに対する資金援助は打ち切りとなる。</li> </ul>  |
| <p>【応募時】</p> <p>○連携先機関</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 国際的に著名な機関からの優秀な研究者と共同研究を実施する。これには、研究者の研究能力を高めることと、研究を支援するサイトビジットも目的としている。主要な研究機関は以下の通りである。</li> <li>● 東京大学大気海洋研究所</li> <li>● 産業技術総合研究所</li> <li>● 米国カリフォルニア大学バークレー校</li> <li>● 米国マサチューセッツ工科大学</li> <li>● 米国サンディヤ国立研究所</li> <li>● カナダアルバータ大学</li> <li>● カーボンマネジメントカナダ</li> <li>● 英国インペリアルカレッジ</li> <li>● スイス連邦工科大学</li> <li>● 中国清華大学</li> <li>● 中国科学院大連化学物理研究所</li> </ul>   | <p>【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】</p> <p>○連携先機関</p> <p>連携機関、研究者及び連携部門は下記のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 英国インペリアルカレッジ John Kilner教授（水素製造部門）</li> <li>● 米国サンディヤ国立研究所 Brian Somerday博士（水素構造材料部門）</li> <li>● ギリシャ・テッサリー大学 Nikolaos Aravas教授（水素構造材料部門）</li> <li>● 米国カリフォルニア大学バークレー校 Robert Ritchie教授（水素構造材料部門）</li> <li>● 産業技術総合研究所（AIST）Chao-Nan Xu博士（水素構造材料部門）</li> <li>● マレーシア工科大学マレーシア日本国際工科院 福田応夫教授（水素構造材料部門）</li> <li>● 独逸ゲッティンゲン大学 Reiner Kirchheim教授（水素構造材料部門）</li> <li>● 米国マサチューセッツ工科大学 Harry Tuller教授（燃料電池部門）</li> <li>● アイルランド・ダブリン大学トリニティカレッジ（MITと連携） Dario Marrocchelli博士、Graeme Watson教授、Bilge Yildiz教授（燃料電池部門）</li> </ul> |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● スイス連邦工科大学チューリッヒ校 Ludwig Gauckler (燃料電池部門)</li> <li>● 公益財団法人 北九州産業学術推進機構 (FAIS) 國武豊喜博士</li> <li>● 中国清華大学 Xing Zhang教授 (熱物性部門)</li> <li>● 中国科学院大連化学物理研究所 Ping Chen博士 (水素貯蔵材料部門)</li> <li>● 崇城大学 草壁克己教授 (CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門)</li> <li>● ノルウェー・ベルゲン大学 Tor Arne Johansen教授 (CO<sub>2</sub>貯留部門)</li> <li>● インドネシア・バンドン工科大学 Wawan Gunawan A. Kadir教授 (CO<sub>2</sub>貯留部門)</li> <li>● 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE) 薛自求博士 (CO<sub>2</sub>貯留部門)</li> <li>● 米国パシフィック・ノースウエスト国立研究所 Peter McGrail博士 (CO<sub>2</sub>分離・濃縮部門)</li> </ul> |
|--|--|

|  |   |
|--|---|
| <b>6. 環境整備</b>   |   |
| <p><b>【応募時】</b></p> <p>①研究者が研究に専念できる環境</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 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あるような、全ての管理業務を実施する効率的で優れた支援部門を設置する。支援部門では、予算の立案、設備・物品の購入、調達手続き、出張手続き、各種申請書手続き、成果発表支援、共同研究支援、契約管理、特許申請、広報、訪問者対応等を行う。円滑に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。</li> <li>○ また、研究の補助、施設・設備の維持管理を行うテクニカルスタッフの強化も図る。</li> <li>○ さらに、研究者の大学での教育義務を軽減できるよう、それを代理する者への謝金等の措置を講じる。</li> </ul> <p>②スタートアップのための研究資金提供</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 所内研究者や外部から招聘する研究者等が、研究資金確保に奔走することなく研究に専念できるよう、また、当初から研究を開始・継続できるよう、必要な研究施設・設備を整備する。また、所長の判断によって、適切と思われる研究者にスタートアップ研究資金を提供できるような体制を整備する予定である。</li> </ul> | <p><b>【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】</b></p> <p>①研究者が研究に専念できる環境</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 平成24年度以降、各研究部門にテクニカルスタッフ1名を配置することとし、また、九州大学所属の主任研究者もそれぞれテクニカルスタッフを雇用していることから、平成25年4月1日現在のテクニカルスタッフ総数は19名となる。</li> </ul> <p>②スタートアップのための研究資金提供</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 所内における異分野融合研究促進のため、平成23年度から異分野融合スタートアップ経費を制度化した。平成24年度は9件の応募があり、5件のプロジェクトを採択した。5件のうち1件は新規プロジェクトであり、4件は継続プロジェクトである。これら5件のプロジェクトの予算は850.5万円であった。平成24年度採択プロジェクト5件は、平成25年度に研究発表を予定している。5件の採択プロジェクトは以下のとおりである。</li> </ul> |

|   |  |
|---|--|
| <p>③ポストドク研究者国際公募体制</p> <p>○ 有能なポストドク研究者を確保するため、九州大学のホームページ、海外事務所、イリノイのサテライト機関のホームページ、主要な国際学会誌、関</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Hydrogen Adsorption on Graphene Nanofoam<br/>(Lyth助教、Shao助教)</li> <li>● Nano Processing and Properties of Mg-based Materials for Energy Storage<br/>(Shao助教、秋葉教授、高田教授、Bishop助教、Lyth助教、藤川准教授)</li> <li>● Investigation of proton conducting amorphous oxides for pre-combustion CO<sub>2</sub> separation<br/>(藤川准教授、Bishop助教)</li> <li>● Direct Investigation of physical characteristics of super critical CO<sub>2</sub> toward monitoring of CO<sub>2</sub> behavior in geological reservoir<br/>(北村助教、藤川准教授)</li> <li>● A novel nanostructured electrode by combining nanotitania and mesoporous carbon<br/>(松本教授、林准教授)</li> </ul> <p>○ 400万円を上限として、スタートアップ経費を専任教員及びポストドク研究者に配分した(総額: 5,650万円)。</p> <p>○ 加えて、申請および審査を経て、300万円を上限として、競争的スタートアップ経費を専任教員に配分した(総額: 2,918.3万円)。</p> <p>○ 異分野融合研究のために確保していた予算の一部を若手教員の研究支援に充当し、平成25年4月1日にスタートアップ経費として150万円を配分した。</p> <p>○ 新たに所長裁量経費を設けた。平成25年度には、競争的スタートアップ経費として、I<sup>2</sup>CNERの研究に顕著な成果(論文、受賞、外部資金獲得実績等)を収めたと所長が判断した教員に対して研究経費を追加配分する。</p> <p>③ポストドク研究者国際公募体制</p> <p>○ 平成25年4月1日現在、I<sup>2</sup>CNERで雇用しているポストドク研究者の内訳は以下のとおりである:</p> |
|---|--|

連国内学会誌等に求人広告を掲載する。所長は、運営委員会と相談しつつ、採用プロセスを監督する。イリノイ大学での類似の採用方法を、本研究所の研究者雇用にも活用する。

- 九州大学では、「若手研究者の自立的な研究環境整備促進プログラム」の下で実施している「次世代研究スーパースター養成プログラム」において、既に募集活動を行っている。

#### ④英語を使用言語とする事務スタッフ機能

- 有能なポスドク研究者を確保するため、九州大学のホームページ、海外事務所、イリノイのサテライト機関のホームページ、主要な国際学会誌、関連国内学会誌等に求人広告を掲載する。所長は、運営委員会と相談しつつ、採用プロセスを監督する。イリノイ大学での類似の採用方法を、本研究所の研究者雇用にも活用する。
- 九州大学では、「若手研究者の自立的な研究環境整備促進プログラム」の下で実施している「次世代研究スーパースター養成プログラム」において、既に募集活動を行っている。

- 主任研究者の推薦による採用者：8名
  - 国際公募による採用者：5名
  - その他：2名
  - イリノイ大学サテライトにおける採用者：3名
- 計：18名

- 平成24年度の国際公募は、3月から6月にかけて一度実施した(第4回国際公募)。求人広告をNatureやScience等の国際的学術雑誌に掲載したところ、教員に29名、ポスドク研究者に12名の応募があり、教員選考委員会(FRC)が書類審査を行い、面接対象者を選考した。その結果、教員3名(教授1名、准教授1名及び助教1名、全員日本人)とポスドク研究者3名(中国人2名及び日本人1名)を平成25年4月1日以前に採用した。
- この結果、平成24年度中に合計13名の研究者(教員8名及びポスドク研究者5名)を採用した。

#### ④英語を使用言語とする事務スタッフ機能

- 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。研究支援・国際連携グループには、研究者とより円滑なコミュニケーションを行えるよう博士号取得者を2名充てた。
- 支援部門は、九州大学外国人留学生・研究者サポートセンターと連絡を密に取り、ビザ申請、宿泊施設を含む一連の招へい手続きなど、外国人研究者に対して全面的支援を行っている。また、国際部と連携し、様々な書式の英語版を導入している。外国人研究者がI<sup>2</sup>CNERで研究を行いながら九州大学における研究環境になじめるように、追加的なトレーニングやワークショップへの参加の機会も提供している。加えて、健康診断、住宅手配、家族支援、出張手配及び医療を含む日本の社会保険システムの紹介などが、I<sup>2</sup>CNER支援部門が行う多岐にわたる生活支援の事例として挙げられる。

### ⑤研究成果評価システムと能力連動型俸給制度の導入

- 所長のビジョンで述べたように、外部アドバイザリー委員会は、研究所全体の評価を毎年、又は所長が必要と判断した場合には随時開催する。委員会は、所長の指導力、マネジメント、各分野での研究活動の進捗状況、新たな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。
- 外部アドバイザリー委員会の提案及び運営委員会の意見を参考にしながら、所長が研究資金の配分や給与を調整し、成功報酬により研究環境を活性化する。
- 九州大学では、各研究者による大学への貢献度等に応じて給与を設定する制度が既にあるが、必要に応じて見直す。

### ⑥世界トップレベルに見合う施設・設備環境の整備

- 九州大学は、「教育機関における最先端の研究の最前線に位置する開かれた大学の構築」という新たな戦略的目標に向けて、現在、福岡市西部の伊都キャンパスへの移転を進めている。
- 現在、伊都キャンパスには、水素エネルギー国際研究センター、産業技術総合研究所の水素材料先端科学研究センター（HYDROGENIUS）、稲盛フロンティア研究センター等があり、水素エネルギー関連の最先端の研究設備等が整備され、世界最大規模の水素研究拠点となっている。
- 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、総長のイニシアティブの下、この伊都キャンパスにWPI用の最先端設備を備えた研究施設を建設する予定である。施設の建設中も、国内外からの所内研究者のための居室及び研究室を提供するものとする。
- 異分野の研究者がオープンに打ち合わせ、議論等を行えるよう、オープンスペース及び実験室の共有を確保する。
- また、テレビ会議システム等を整備し、九州大学、サテライト機関、連携機関との間で意見交換や議論を促進する予定である。

### ⑤研究成果評価システムと能力連動型俸給制度の導入

- 本研究所は、九州大学制定の給与支払区分とは別に、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所職員の就業に関する特例を定める規則による給与体制を採用している。教員及び研究者それぞれの給与は、業績及び研究所への貢献度に基づき、副所長2名と相談の上、所長が決定する。
- I<sup>2</sup>CNER 専任教員のうち、高評価を受けた者に対して、翌年度昇給を行った。
- 九州大学教員で、本研究所を兼務している者には、業績評価に基づき、拠点手当が支給される。

### ⑥世界トップレベルに見合う施設・設備環境の整備

- 引き続き世界トップレベルの研究所に相応しい環境の整備を進めるべく、平成24年11月末にI<sup>2</sup>CNER第1研究棟(約4,873m<sup>2</sup>)が竣工し、I<sup>2</sup>CNERメンバーは平成25年1月、同研究棟に入居した。I<sup>2</sup>CNERメンバー間で研究打ち合わせ及び議論が活発に行えるように、吹き抜けの1階ロビーに電子黒板を備えた広々としたラウンジを配置した。
- 平成25年1月、I<sup>2</sup>CNER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、I<sup>2</sup>CNERの燃料電池研究者のため、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に、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。
- 平成24年度補正予算により、4階建て、総床面積5,000m<sup>2</sup>のI<sup>2</sup>CNER第2研究棟の建設が予定されている。第2研究棟に設置予定の大規模実験室及び共通実験スペースによって異分野融合研究の更なる活性化を図る。



## ⑦世界トップレベルの国際的な研究集会の開催

- 過去4年間にわたり、年に1回、九州大学及び福岡市内において、「水素先端世界フォーラム」を開催している。このフォーラムでは、各専門分野の世界的リーダーが研究を発表し、日本の科学界・産業界と交流している。
- この世界フォーラム開催の経験を活かし、研究所で行う研究活動全般について、世界的に著名な研究者や機関が積極的に参加するような国際会議や専門のワークショップを定期的に開催する。例えば、水素エネルギーと燃料電池、光触媒を用いた水分解による水素製造、物質変換、革新的CO<sub>2</sub>回収、CO<sub>2</sub> 地中貯留・海洋貯留、経済的分析・評価等のテーマで開催する。
- 会議やワークショップでの情報交換、活発な討議、新たな研究・共同研究等を促進することにより、地球温暖化対策への社会の取組みに貢献するという研究所のミッションを支援する。

## ⑦世界トップレベルの国際的な研究集会の開催

### 国際シンポジウム

#### 1. I<sup>2</sup>CNER東京シンポジウム

平成24年12月7日、学術総合センター（東京都千代田区）において「I<sup>2</sup>CNER東京シンポジウム Japan-US Collaboration on Energy」を開催した。これは、東京近郊の一般・学術・産業界にI<sup>2</sup>CNERの研究内容を広く示すとともに、カーボンニュートラル・エネルギー技術を支える基礎研究の推進に資するI<sup>2</sup>CNERの努力を示すものとして開催した。国内外から、以下の講演者を含む約150名が参加した。

- a. 吉田大輔（文部科学省 研究振興局長）
- b. John V. Roos（米国大使館 駐日米国大使）
- c. Monterey Gardiner  
（米国エネルギー省 技術開発マネージャー）
- d. 広瀬雄彦（トヨタ自動車 技術統括部主査）
- e. 黒木登志夫（WPIプログラム・ディレクター）
- f. 笠木伸英（WPIプログラム・オフィサー）
- g. 有川節夫（九州大学 総長）
- h. Petros Sofronis（I<sup>2</sup>CNER 所長）
- i. Kenneth Christensen  
（イリノイ大学I<sup>2</sup>CNERサテライト 副所長）
- j. 佐々木一成（I<sup>2</sup>CNER 燃料電池研究部門長 主任研究者）
- k. Mark Paster（I<sup>2</sup>CNER WPI招へい教授）

#### 2. I<sup>2</sup>CNER第1研究棟竣工式典

平成25年1月29日、九州大学伊都キャンパスI<sup>2</sup>CNER第1研究棟ホールにおいて「I<sup>2</sup>CNER研究棟竣工式典」を開催した。本式典には、国内外から200名以上が参加した。また、以下の参加者から祝辞が述べられた。

- a. 井村裕夫（WPIプログラム委員長）
- b. 森本浩一（文部科学省大臣官房審議官）
- c. 小川洋（福岡県知事）
- d. 黒木登志夫（WPIプログラム・ディレクター）
- e. Monterey Gardiner  
（米国エネルギー省 技術開発マネージャー）
- f. Peter Schiffer  
（米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校副学長）

3. I<sup>2</sup>CNER Annual Symposium 2013

平成25年1月29日、「I<sup>2</sup>CNER Annual Symposium 2013」を開催し、国内外から200名以上が参加した。原田英一(川崎重工株式会社 熱技術研究部長)、George Crabtree(米国アルゴンヌ国立研究所)両氏の基調講演の後、I<sup>2</sup>CNERからは水素製造、水素構造材料、燃料電池、CO<sub>2</sub>貯留の各研究部門の研究者が発表を行った。

4. I<sup>2</sup>CNER International Workshop 2013

平成25年1月31日、「I<sup>2</sup>CNER International Workshop 2013」を開催し、国内外から約150名が参加した。本ワークショップは平成25年1月30日に開催された水素先端世界フォーラム2013と合同で開催した。CO<sub>2</sub>分離・濃縮/CO<sub>2</sub>貯留、水素貯蔵、先端物質変換の各研究部門による3つのワークショップを九州大学伊都キャンパスにおいて開催した。

5. HYDROGENIUS & I<sup>2</sup>CNER Joint Research Symposium

平成25年1月28日・31日の2日間に渡り、九州大学伊都キャンパスにおいて「HYDROGENIUS & I<sup>2</sup>CNER Joint Research Symposium」を開催した。1月28日には燃料電池及び水素製造分野を中心とした14のレクチャーが行われ、国内外から約80名が参加した。1月31日には水素材料強度特性、水素高分子材料、水素トライボロジー及び水素物性の研究チームごとに4つのシンポジウムを開催し、国内外から約220名が参加した。

国際セミナー

本研究所のランドマークとするだけでなく、I<sup>2</sup>CNERの世界的知名度を上げ、九州大学 I<sup>2</sup>CNER(日本)と海外との間の結束を強める意図により、I<sup>2</sup>CNERセミナー・シリーズを平成22年3月から、定期的に開催している。

国際会議(後援・共催)

I<sup>2</sup>CNERは、主任研究者に対し、本研究所の達成目標に関連する国際会議を計画し、推進することを奨励している。

a. 2012 Japan-Taiwan Bilateral Polymer Symposium (JTBPS' 12)

主催者：高原淳教授

開催日：平成24年9月6日、7日

⑧その他取組み

- 国内外から招聘する研究者の宿舎としては、大学所有の4施設に加え、大学指定宿舎として民間施設を手配する。招聘する研究者が研究に専念できるよう、家財道具を備えた快適な住環境を提供する。

- b. 2012 International Hydrogen Conference  
共同主催者：Brian Somerday 博士、Petros Sofronis教授  
開催日：平成24年9月9日-12日
- c. International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, 2012 (MH2012)  
副委員長：秋葉悦男教授  
開催日：平成24年10月21日-26日
- d. 11th International Conference on Green Gas Control Technologies (GHGT-11)  
ブース展示：柳哲雄教授  
開催日：平成24年11月18日-22日

⑧その他取組み

- 現在、国内外からの招へい研究者向け宿舎として、大学所有の施設又は九州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。
- 海外からの短期滞在研究者向けに、I<sup>2</sup>CNERの位置する伊都キャンパスに「伊都ゲストハウス」が新築された。
- 外国人研究者の便宜を図るため、伊都キャンパスのバス停には、キャンパス・最寄駅間を運行するバスの時刻表及び行き先を日英2カ国語で表記し、カフェテリアに英語メニューを整備するなど、国際化の取り組みを行った。
- I<sup>2</sup>CNER研究棟が伊都地区専用循環バスのルートに加わり、平成24年2月1日から運行を開始した。
- また、キャンパス間連絡バスの停留所もI<sup>2</sup>CNER研究棟前に設置され、平成24年4月1日から運行を開始した。
- 研究者間の交流を促進するため、平成24年度にI<sup>2</sup>CNERの所内報「Fuse News」を2号発行した。「Fuse News」の目的は、九州大学・イリノイ大

|  |  |
|--|--|
|  | <p>学に所属する研究者が、お互いの研究活動をはじめ、両大学の文化やキャンパスなどを理解する手助けとなることである。</p> <p>○ 研究棟の完成に合わせ、研究者間の交流の場を設けるため、平成25年1月から新たにI<sup>2</sup>CNER CO<sup>2</sup>(コーヒー&amp;コラボ)を開始した。これは、研究者が気軽に立ち寄り、電子黒板の前でコーヒー片手に意見交換を行う場を提供するものである。</p> |
|--|--|

| 7. 世界におけるレベルを評価する際の指標・手法   |  |
|--|--|
| <p><b>【応募時】</b></p> <p>1) 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</p> <p>所長のビジョンで述べたように、研究所の地位と認知度の評価尺度として以下のものが挙げられる。1) 雑誌掲載学術論文の質とインパクト、2) 研究所の価値を示す共著学術論文の数、3) 基調講演・本会議講演、4) 所内研究者による国際学会でのシンポジウムの開催、5) 文部科学省、日本学術振興会、米国国立科学財団、米国エネルギー省、欧州委員会などの政府機関が参加する研究動向を決めるワークショップ、6) 国際学会の開催、国際学会への所内研究者の参加、7) 所内研究者の政府パネル・国立研究所研究への参加招へい、8) 特許・研究業績。また、研究所訪問者数、特に外国人訪問者数も研究所の世界的認知度を判断する指標となる。</p> <p>2) 上記評価指標・手法に基づいた現状評価</p> <p>所長は、外部アドバイザー委員会及び運営委員会の意見を聞きながら、研究所の卓越性を獲得・維持するための対策を調整する。それには、上述の評価尺度に関する対策を講ずることにより、主任研究者が自らの認知度ひいては研究所の認知度を向上させるよう促すことも含まれる。特に、所内研究者が受賞する国際的な賞及び論文被引用数を、研究所の地位と認知度の評価尺度として用いる。その際、研究所の質の指標は、若手教員・研究者の研究成果の被引用度としてみなされる（通常、若手研究者の研究が認められるのに時間がかかるのは良く知られているが）。各研究部門の資金は、世界トップレベル研究所としての目標や認知度を達成するための研究所活動に対する個々の研究部門の参加の程度に比例する。</p> | <p><b>【平成24年度実績／現状評価／応募時からの変更点】</b></p> <p>○ 現状評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>平成24年度、特別委員会として内部プログラム評価委員会を新たに設置した。委員会は、九州大学3名、イリノイ大学3名の計6名のメンバーで構成され、委員長を務めるのは、現在ウィスコンシン大学マディソン校工学部長のIan Robertson教授である。本委員会は、必要に応じて所長が召集し、所長が本研究所のプログラムを評価する上で必要となる情報の提供を行う。将来的に、同委員会は常設委員会となる予定である。</li> <li>左記の評価・手法に従い、今年度（平成24年4月～平成25年3月）の評価は以下のとおりである。</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>WPI所属記載論文（平成24年1月～12月の1年間）</b><br/>平成24年の1月から12月までの1年間で発表されたWPI所属記載論文は合計213本（平成23年度76本）、WPI関連の論文は415本（平成23年被引用総数559本）であった。</li> <li><b>基調講演等</b><br/>20件（平成23年度20件）</li> <li><b>招待講演</b><br/>184件（平成23年度79件）</li> <li><b>I<sup>2</sup>CNER研究者による国際学会でのシンポジウム開催</b><br/>33件（平成23年度21件）</li> </ol> |

3) 本事業により達成すべき目標（中間評価時、事後評価時）

第一目標として、中間評価（事業開始から5年後）までに、本研究所は、カーボンニュートラル・エネルギー社会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であるべき（例、水素による材料疲労のメカニズムの発見や、不斉酸化による物質変換のため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、第二期目標（6～10年）を技術開発の方向性にまで拡げることが可能になる。

10年にわたる包括的目標は、技術開発の基礎研究を完了することである。例として、具体的な目標は、新たな耐水素脆化合金の開発、新たな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、CO<sub>2</sub> 地中・海洋貯留の実証プロジェクト等である。

5. 文部科学省、日本学術振興会、米国国立科学財団、米国エネルギー省、欧州委員会などの政府機関が参加する研究動向を決めるワークショップ  
12件（平成23年度5件）

6. 国際学会の開催  
9件（平成23年度21件）

7. 国際学会へ参加（Gordon Research Conferencesなど）  
191件（平成23年度88件）

8. I<sup>2</sup>CNER研究者の政府パネル及び国立研究所への参加招へい  
18件（平成23年度14件）

9. 特許・技術的成果  
16件（平成23年度22件）

10. I<sup>2</sup>CNER 訪問者及び研究者交流実績

昨年度はI<sup>2</sup>CNERも益々国際化し、それにつれて訪問者数も増加した。と同時に、多くのI<sup>2</sup>CNER研究者が、イリノイ・サテライト機関をはじめとする海外の研究機関に招へいされ、訪問している。特に、外国人主任研究者のI<sup>2</sup>CNER訪問回数は、平成23年度の32回から42回に、うちイリノイ・サテライト所属の主任研究者の訪問も平成23年度の15回から20回に増加した。

8. 競争的研究資金等の確保

【応募時】

1) 過去の実績

過去5年間の日本人主任研究者による獲得研究資金は、以下の通りである。

2005年度： 3.7 億円  
2006年度： 21.7 億円  
2007年度： 24.6 億円  
2008年度： 29.2 億円  
2009年度： 28.5 億円

【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】

平成24年度の九州大学I<sup>2</sup>CNER研究者による獲得研究資金の総額は31.6億円で前年度比93%増であった。

平成24年度獲得研究資金の概要は以下のとおりである。

● 科学研究費 : 2.79 億円  
● その他の補助金 : 13.2 億円  
● 受託研究費 : 9.03 億円  
● 共同研究費 : 1.74 億円  
● 寄附金 : 1.26 億円

|  |   |
|--|---|
| <p>2) 研究所設立後の見通し</p> <p>過去5年間の主要な日本人主任研究者による獲得研究資金は、年平均21.5億円以上である。今後研究所を強化し、さらなる資金確保が目標である。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 運営費交付金（プロジェクト）：1.12 億円</li> <li>● その他の学内経費：2.42 億円</li> </ul> <p>過去の実績は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 平成22年度：11.9 億円</li> <li>● 平成23年度：16.4 億円</li> <li>● 平成24年度：31.6 億円</li> </ul> <p>直接経費に加え、平成24年度の九州大学I<sup>2</sup>CNER研究者による間接経費獲得総額は3.31億円であった。</p> |
|--|---|

|   |   |
|---|---|
| <p>9. その他の世界トップレベル拠点の構築に関する重要事項</p>   |   |
| <p>【応募時】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 本プログラム終了後も本研究所の研究活動を継続する。今後10年にわたる科学的ブレイクスルーによって、本研究所で開発される技術に関連して、新たな研究経路が開かれることが期待されることから、本研究所での研究は推進され続けるだろう。</li> <li>○ 九州大学の平成22年年度からの中期目標及び中期計画に記載されているように、本研究所の構想は、九州大学の研究・教育ミッションの国際化の例として推進される。世界トップクラスの研究者が共同研究する研究環境が維持され、国家的・社会的ニーズに対応する研究においても、同様の異分野融合での研究活動を九州大学全体に波及させていく。</li> </ul> <p>本研究所は、外国人研究者を所長として採用する初めての例である。研究所の管理システムは所長のこれまでの経験によるところが大きい。九州大学内の他の部局・組織にとって、大いに参考になると期待される。研究者採用のあり方、トップクラスの研究機関との国際的な共同研究の構築・推進、厳格な研究評価、研究資金の配分、能力・認知度・研究実績等に応じた給付金等について、本研究所の運営形態が九州大学全体のモデルとなることを期待する。</p> | <p>【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ I<sup>2</sup>CNERは、九州大学の常設機関であり、I<sup>2</sup>CNER所長は九州大学総長が主宰する教育研究評議会の構成員である。</li> <li>○ 所長は、研究所の全ての事項に関し決定権を持つ。</li> <li>○ 九州大学総長は、平成23年度の1ポストに加え、平成24年度には追加で4ポスト、合計5つのテニユア教員ポストをI<sup>2</sup>CNERに貸与した。</li> <li>○ イリノイ大学グレインジャー工学図書館(William H. Mischo教授、Mary C. Schlembach教授)と九州大学附属図書館(天野絵里子氏、大村武史氏)は、様々なオンラインデータベースを使ってI<sup>2</sup>CNERの研究者が必要な情報に迅速にアクセスできる学術情報サービスの開発を共同で行っている。特に、研究者のニーズにあったグループ情報生産性ツール(GRIPT)の開発に注力しており、当ツールによって、I<sup>2</sup>CNERの研究者の部門別及び著者別論文、分野毎の主要ジャーナル、特定の項目に特化したジャーナル内の論文検索、適宜デザイン可能なトピック検索結果、被引用数が多い論文、特定の論文を引用している論文など様々な検索が可能であり、イリノイ大学及び九州大学のキャンパス内また遠隔からでもアクセスできるようになっている。平成25年2月1日にはイリノイ大学図書館の担当者が九州大学を訪問し、この新しく開発された検索ツール“GRIPT”について「I<sup>2</sup>CNER研究者のための学術情報ツール」というテーマでプレゼンテーションを行った。</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>URLs:<br/> <a href="http://hades.grainger.uiuc.edu/guy/pip7j.asp?i2cner">http://hades.grainger.uiuc.edu/guy/pip7j.asp?i2cner</a><br/> <a href="http://hades.grainger.uiuc.edu/sarina/i2cner_scopus/i2cner_search.asp">http://hades.grainger.uiuc.edu/sarina/i2cner_scopus/i2cner_search.asp</a></p> <p>○ エネルギーアナリシス部門(EAD)の Mark Paster 氏の助力を得て、所長は I<sup>2</sup>CNER 研究グループと米国エネルギー省プログラム・マネージャー及び担当者間のコンタクトをとり、ブレインストーミング・セッションを開始した。第1回目のセッションは、平成24年10月7日から12日にハワイのホノルルで開催された日米合同・電気化学秋季大会期間中に行われ、光電気化学について議論が交わされた。</p> |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
| 10. ホスト機関からのコミットメント  |   |
| <p>【応募時】</p> <p>○中長期的な計画への位置づけ<br/>九州大学の平成22年年度からの中期目標及び中期計画には、具体的に以下のように記載されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 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。」</li> <li>● この目標に対する中期計画：「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。</li> </ul> <p>従って、“カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所”は、まさにこの新たな中期目標、中期計画に沿った構想であり、総長直轄の組織として、明確な達成目標の下に、全学を挙げて支援する。</p> <p>○具体的措置<br/>①拠点の研究者が獲得する競争的資金等研究費、ホスト機関からの現物供与等</p> | <p>【平成24年度実績／進捗状況／応募時からの変更点】</p> <p>○ 中長期的な計画への位置づけ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 変更なし</li> </ul> <p>○ 具体的措置<br/>①拠点の研究者が獲得する競争的資金等研究費、ホスト機関からの現物供与等</p> |

- 研究費に関して、研究戦略企画室等による情報収集、申請に向けた戦略の検討・助言、研究所専用の事務部門による申請書作成支援等を行うことにより、研究者が大規模な競争的資金を獲得できるよう積極的に支援を行う。また、大学内の予算を活用した研究支援等も積極的に行う。
- 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、現在移転途中の九州大学伊都キャンパス内に、総長のイニシアティブの下に新たにWPI用の施設を建設するとともに、最先端の設備・機器等を整備する予定である。この新施設が完成するまでの間も、外部機関から招へい、又は新たに採用された研究者のための居室・研究室等を提供できるよう措置する。
- また、関係する自治体、民間企業等からも寄付等の支援が得られるよう、積極的に働きかけを行う。

## ②人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立

- 研究所は総長直轄の組織とし、研究所長の選・解任や主任研究者採用の承認等を除いて、研究計画、研究体制、予算執行等、研究所の管理運営に関する事項について、研究所長が意思決定できる体制を整える

## ③機関内研究者集結のための、他部局での教育研究活動に配慮した機関内における調整と拠点長への支援

- 研究所に参加する学内の研究者について、その所属部局における教育研究活動に支障が生じないように、当該部局に対して代替教員の確保等必要な支援を行うなど、関係部局との調整を積極的に支援する。
- 今回のような研究所を例として、政策的・社会的に対応すべき研究課題等に対して、部局の枠を超え、また国内外からトップクラスの関係研

- 本研究所の支援部門長であった角田英之教授は、研究戦略企画室の教授でもあり、研究費に関する情報収集及び助成金申請について戦略的な助言を行った。前述のとおり、平成25年4月1日付けで、船木教授が新たに支援部門長に就任する。加えて、博士号を持つ支援部門職員2名が、研究支援・国際連携業務を担当し、大規模な競争的資金の申請を含む支援を行った。

## ②人事・予算執行面での拠点長による判断体制の確立

- 本研究所は、学則により、常設の国際研究所として位置づけられている。研究計画、研究体制、予算執行、その他研究所の管理運営に関する事項について、運営委員会等と協議し、所長が意思決定できるよう、内規を整備した。
- 新規教員採用は、国際公募により実施され、所長には国際公募を通して新規教員を採用する権限が与えられている。書類審査・面接に基づいた教員選考委員会の推薦を踏まえ、所長が最終決定を行っている。
- 本研究所の給与体制に関する詳細は、6.-⑤を参照のこと。

## 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と拠点長への支援

- 九州大学の研究者が本研究所における活動に参画することを促進するため、例えば当該研究者の所属部局長に対する協力や取り決めの依頼など、所属部局と連携のもと積極的な支援を行っている。
- 九州大学の教育と研究の水準を向上すると同時に学内教員配置に柔軟性を持たせるため、九州大学は教員の学内派遣に関する規程を制定し、



研究者が結集・融合・連携できる柔軟な研究体制が構築できるよう、その基盤を整備する。

④従来とは異なる手法による運営（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）の導入に向けた機関内の制度整備

- 現在、総長のイニシアティブの下で、世界的研究・教育拠点形成を目指した国際化戦略を進めている。その一環として、英語による学部・大学院課程の拡充、外国人留学生や教員数の増加、学内文書やホームページの英文化、教職員・学生の英語力向上や国際感覚醸成、各キャンパスごとに「外国人留学生・研究者サポートセンター」の分室の運営などを実施してきているが、国際部と連携を図りながら、これら国際的環境の整備を一層加速させる。
- 研究所を総長直轄の組織として、研究計画、研究体制、予算執行、厳格な評価に基づく等、研究所の管理運営に関する事項について、研究所長が意思決定できる体制を確実に整備できるよう措置する。
- 給与に関しては、主に外部からの研究者に対して、能力に応じた給与システムが整備されているが、必要に応じて見直しを行う。
- その他、本研究所の運営に関して支障が生じないよう、研究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。

⑤インフラ（施設（研究スペース等）、設備、土地等）利用における便宜供与

- 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、現在移転途中の九州大学伊都キャンパス内に、総長のイニシアティブの下に新たにWP I用の施設を建設するとともに、最先端の設備・機器等を整備する予定である。この新施設が完成するまでの間も、外部機関から招へい、又は新たに採用された研究者のための居室・研究室等を提供できるよう措置する。

平成24年12月1日付けで施行した。これにより、学内教員を所属部局からI<sup>2</sup>CNER に派遣することが可能となった。

- 「1. 拠点構想の概要」に記載したように、工学研究院の教員9名がI<sup>2</sup>CNERに所属の変更を行った。これにより、I<sup>2</sup>CNER・工学研究院間の関係が向上し、共同でテニユア教員ポストを獲得するのに有益である。最も重要なのは、この関係が主任研究者のマインドセットにプラスの影響を与えたことである。

④従来とは異なる手法による運営（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）の導入に向けた機関内の制度整備

- 九州大学総長のイニシアティブの下で、学内における研究及び教育現場の国際化が進められている。その一環として、学内文書や大学ホームページの英語版作成の取り組みが行われた。各キャンパスに「外国人留学生・研究者サポートセンター」が設置された。さらに、新たな規定を制定し、既存のものを改正することにより、その他の事項にも対応していく。
- 本研究所の給与体制に関する詳細は、6.-⑤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）利用における便宜供与

- 実験施設及び第2研究棟の計画を含む新研究棟に関する詳細は、6.-⑥を参照のこと。

|   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>また、学内には、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、その効率的な利用が可能となるように便宜を図る。</li> </ul> <p>⑥その他</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本研究所の拠点構想責任者である村上前理事・副学長（所長代理に就任予定）には、ホスト機関として確実に責任を果たし、拠点構想が着実に実現できるよう、研究所設置後も引き続き、総長の下で拠点構想責任者としての役割を継続し、学内関係部局との調整等きめ細かな対応が図れるようにする。</li> <li>九州大学で進めている世界的研究・教育拠点の代表例として本拠点構想を積極的に推進することにより、世界に通用する若手研究者の育成も含めて、この様に部局を超えて関連分野の研究者が結集・融合する組織の運営形態を、大学全体に波及させていくこととする。</li> </ul> | <p>⑥その他</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>石原教授、高田教授の副所長 2 名が村上所長代理の担っていた役割を分担し、本研究所の目標達成のため所長と連携し、所長の代理を務め、学内関係部局との調整にも対応する。所長が不在の間は、所長の意を酌み、構想を実現するため、所長と緊密な連絡を保っている。</li> </ul> |
|---|--|

|  |   |
|--|---|
| <p>11. プログラム委員会からの指摘事項への対応</p>   |   |
| <p>○改善を要する点（平成24年度フォローアップ結果の「3. Action Required and Recommendations」を転記）</p> <p>1. <u>研究と主任研究者：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WPIのミッションを達成するためには、主任研究者の意識と動機の改善が依然として必要である。</li> <li>研究課題は多少ばらばらのように思える。カーボン・ニュートラル社会の実現にとって欠かせないテーマとして欠けているものがある。</li> <li>論文数は、大型の資金によって支援され、国際的に競争の激しい分野の研究機関としては、十分ではない。I<sup>2</sup>CNERIは所属の研究者による論文の質と量の向上に、あらゆる努力を行うべきである。論文には所属もしくは謝辞にWPIと記載すべきである。</li> </ul> | <p>○対応とその結果</p> <p>1. <u>研究と主任研究者：</u></p> <p>【主任研究者】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. で述べたように、平成25年4月1日付けで、主任研究者の数を前年の45名（九州大学21名、イリノイ大学13名、その他11名）から24名（九州大学15名、イリノイ大学2名、その他7名）とした。</li> <li>1. 及び10.-③で述べたように、平成25年4月1日付けで、主任研究者9名が工学研究院からI<sup>2</sup>CNERIに所属の変更を行い、専任の主任研究者は11名となった。</li> <li>引き続きファカルティ・エクセレンス・プログラムを活用し、専任の外国人主任研究者の獲得に努め、九州大学における割合の10%達成を目指す。</li> </ul> |

- 優先すべき取り組みは、世界的な一流の研究者を採用し、新たな展望の下に科学のレベル向上を図ることである。
- 九州大学では少なくとも外国人フルタイムPIが10%必要である。
- エネルギーアナリシス部門（EAD）は、主な課題について、量的あるいは少なくとも質的に解決するための戦略を示し、ロードマップと指標を作成すべきである。同時に、望むらくは日本とアメリカのエネルギー政策に対して科学の観点からの助言者となるべきである。

## 2. 運営:

- 拠点長の強力なリーダーシップはI<sup>2</sup>CNERの成功と九州大学のシステム改革の鍵となる。有能な副拠点長の更なる支援と、すべての主任研究者との緊密な協力関係は、今まで以上に発展させなければならぬ。
- 2011年度は拠点長の九州大学での滞在日数が大幅に増えた。2012年度に至っては彼の総労働時間の半分程度に達した。これ以上増やさないに

- 以上の措置により、サテライト経費、実験室・研究室等の借料を除くと、平成25年度予算に人件費が占める割合は約70%になる。なお、サテライト経費は全て人件費となる。

## 【マインドセット】

- 平成25年4月以降、専任主任研究者の増加に伴い、主任研究者のI<sup>2</sup>CNERへの帰属意識が強まった。さらなる強化に向け、定期的なPI MeetingやFaculty Meetingの開催がすでに始まっている。
- 「まとまりのない研究トピック」問題に関しては、各研究部門でリトリートを行い、エネルギーアナリシス部門と相談の上、テーマ別研究分野に焦点を当てた研究目標及びロードマップを策定した。これらのリトリートは、九州大学とイリノイ大学の教員及び国際共同研究者間の緊密な連携により実施された。各部門は明確な研究計画、ターゲット、マイルストーン及びロードマップを報告書にとりまとめ、平成25年3月31日までに所長に提出したのは、1. で述べたとおりである。
- ポスドク研究者を含む交流会を定期的に行うことで、意思疎通の強化を図る（例えば、平成24年10月開催の電気化学会（ECS）会議における光電気化学水素製造（PEC）リトリート、平成25年2月九州において実施したPECリトリート、毎日のティータイムなど）。このような交流会は各部門レベルで開催する。
- 6.-②で述べたように、異分野融合研究を促進し、研究費の一部を競争的資金にすることで、研究の質を高めた。

## 2. 運営:

### 【マネージメント体制の強化】

- 1. で述べたように、平成25年2月1日から、所長、副所長2名及び支援部門長が、所長のイニシアティブの下で運営を行うよう組織の変更を行った。それにより、所長は所内全ての組織・研究に直接アクセスが可能となった。
- 所長の積極的な競争的経費配分の管理・運営により、インパクトファ

ても、このレベルは維持されるべきである。

- 各年度毎の予算と支出の状況をI<sup>2</sup>CNERの拠点構想の進捗状況報告書に明確に記載し説明すべきである。
- 事務部門長は、拠点長、主任研究者、九州大学総長に対して、WPI拠点としてのI<sup>2</sup>CNERのあり方について積極的に助言すべきである。

### 3. 若手研究者の育成：

- ポスドク研究者の数は未だ極端に少なく、たった8名である。WPIの補助金はポスドク研究者経費に割り当てることができるにも関わらず、補助金のわずか15%がポスドク研究者を含む人件費として支出されているに過ぎない。この割合は、他の5拠点が補助金の60-70%をこれらの用途に支出していることからすると、かなり少ない。
- 学生やポスドク研究者を惹き付けるための戦略を強化し、トップレベルの若手研究者の採用活動を継続して行うべきである。
- 若手研究者の長期にわたる将来を保障し、彼ら自身のキャリア形成のために、さらなる努力が必要である。彼らに学生を教育し、指導する機会を提供すべきである。

クターの高い雑誌へ論文を発表した生産性の高い研究チームへの経費の上積み及び人材の配置(ポスドク研究者やSRAなど)を行い、研究の活性化を図る。

- 共著論文の発表に向け、予算の一部を競争的にし、奨励する。この競争的資金は異分野融合研究を促進するために使用し、異分野融合研究プロジェクトは、6.-②他で述べたように、業績評価に基づいて予算配分される。
- 新たに雇用した専任教員が成果を挙げるために、競争的経費の取得などが行いやすい、サポート体制を強化した。サポートは、事務的支援や特に各種申請書作成スキル向上のための支援などを含む。
- 所長不在時の意志決定、マネージメントについては、4.-②で述べたように、研究所内規として文書化した。

### 3. 若手研究者の育成：

#### 【専任教員】

- ファカルティ・エクセレンス・プログラムにより、専任教員(外国人専任教員、主任研究者)2~3名の採用プロセスを開始した。

#### 【ポスドク研究者の雇用】

- 九州大学所属の主任研究者の雇用枠で採用したポスドク研究者を含む平成25年4月1日現在のポスドク研究者数は19名となる。平成25年度に28名まで増やせるように予算を計上し、継続して、採用の努力を行う。
- 全ての教員に、異分野融合研究活動の促進及び海外研究機関との共同研究を目的とした研究プロポーザルの提出によるポスドク研究者雇用の機会を与えた。

#### 【テニユア教員ポストの獲得】

- 世界トップレベルの研究者の招へいに際し、9.で述べたように、九州大学総長により平成23年度の1ポストに加え、本年度は追加で4つのテニユア教員ポスト(計5つ)が貸与され、採用プロセスが進んでいる。

#### 4. 国際交流：

- 九州大学とイリノイ大学サテライトの相互発展のために、主任研究者やその他の研究者が互いに訪問することを推奨する。滞在期間については、実質的な共同研究の成果をあげるのに十分な期間、現地に滞在すべきである。
- 国内及び外国の、若手研究者の採用を併せてより推進すべきである。
- 九州大学とイリノイ大学間の共同（あるいは両者にまたがる）博士号修得プログラムを検討すべきである。それにより、日本人のPh.D候補者に、キャリア形成の早い段階でアメリカの研究システムを経験できる機会を与えることに繋がる。あるいは九州大学の才能ある留学生に対応すべきである。

- 学内の大学改革活性化制度申請によるテニユア教員ポスト獲得に向けた継続的な取り組みを行った。工学研究院及びその他の部局との連携を強化したことにより、次年度の申請時には共同してテニユア教員ポスト獲得を目指す。

#### 【教育・学生指導】

- 平成25年4月の専任主任研究者の増加に伴い、これらの主任研究者の指導の下で若手の専任教員が大学院生の教育指導を共に行う機会を設ける。
- ソフロニス所長の九州大学における教育指導については、高田副所長と協力して、可能な範囲で始める。第一回目は、平成25年4月19日に機械工学を専攻する学生70名に対して「破壊力学」に関する講義を行う予定である。

#### 4. 国際交流：

#### 【九州大学・イリノイ大学間の共同研究及び研究者交流】

- 九州大学の研究者をイリノイ大学に派遣するための枠組みを構築した。この枠組みにおいて、研究プロポーザルを運営委員会において審議した上で、旅費と併せて所長が承認する。例として、熱物性部門の河野准教授は平成24年10月末から平成25年4月末までの半年間イリノイ大学に滞在し、Cahill教授のもとで研究を行っている。同様に、水素製造部門のStaykov助教も、平成25年4月から5週間イリノイ大学を訪問し、Ertekin助教と共同研究を行う予定である。このような派遣を活発に行うため、日本学術振興会などの外部資金の獲得に努める。
- このような国際交流をさらに推進するため、サテライト教員への予算配分は、学生及び教員の九州大学訪問の頻度に基づくものとする。例として、Robertson 教授、堀田教授、Sofronis教授、Edalatiポスドク研究者及びサテライト大学院生のMegan Emigh及びKelly Nygrenによる合同会議を平成25年1月に開催し、その結果、Megan、Kellyの両名は本年夏に2ヶ月間九州大学を訪問する運びとなった。
- 研究者に海外渡航を奨励し、真の国際人材を育成するために、若手研究者を引きつける、イリノイ大学を中心とした海外交流プログラムを

|   |   |
|---|---|
| <p>5. 九州大学のコミットメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WPIプログラムは、九州大学にとって既存の学問組織の構造改革と、学内に世界をリードする研究所を構築するチャンスである。九州大学は、I<sup>2</sup>CNERの発展のために更に積極的にコミットしなければならない。</li> </ul> | <p>促進するとともに広報に努める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>学生が研究経験を積めるように、ソフロニス所長はイリノイ大学国際部暫定副部長のWolfgang Schloer教授と九州大学・イリノイ大学間の学部学生交換留学プログラムに関して協議した。</li> </ul> <p>5. 九州大学のコミットメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>前項 11.-3. 若手研究者の育成の「テニュアポジションの獲得について」を参照のこと。</li> <li>平成 25 年 4 月 1 日付けで、支援部門に配置する経験豊富な九州大学職員を 1 名増員する。</li> <li>大学からさらなるサポートを得るための交渉を行う。</li> </ul> |
|---|---|

|   |   |
|---|---|
| <p>12. 作業部会からの指摘事項への対応</p>  |   |
| <p>○改善を要する点（平成24年度現地視察報告で指摘された改善点を抜粋）</p> <p>1. 研究者数の増加<br/> （「7. 拠点に対する要望と提案」内、「4. <u>ポスドク研究者及び大学院生を含む若手研究者</u>」）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I<sup>2</sup>CNERは、有能な人材を常に補充する必要がある。学生やポスドク研究者を引きつける戦略を強化し、トップクラスの若手科学者を継続して採用すべきである。若手研究者及び大学院生を採用し奨励するために、より多くのWPI予算を配分するようにする。</li> </ul> | <p>○対応とその結果</p> <p>1. 研究者数の増加</p> <p>a) 専任教員</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>平成24年度、教授3名、准教授3名、助教2名（合計8名）を採用した。</li> <li>平成25年4月1日現在、本研究所は教授13名、准教授6名、助教9名（計28名）を雇用している。これに対して、平成24年4月1日現在の専任教員数は、教授2名、准教授3名、助教8名（計13名）であった。</li> </ul> <p>b) ポスドク研究者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 及び11. で述べたように、九州大学所属の主任研究者にポスドク研究者雇用枠を1つずつ配分した。</li> <li>加えて、1. 及び11. で述べたように、ポスドク研究者を定期的に雇用するため、異分野融合研究活動の促進及び海外研究機関との共同研究を目的とした研究プロポーザルの提出について通知した。結果として、平成25年4月1日現在、ポスドク研究者数は19名（うち女性3名）</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
| <p>2. マネージメント体制の強化<br/> (本セクションは、平成25年1月28日にホテルオークラ福岡で実施されたPDP0ミーティングにおける笠木P0の提案事項への対応状況の報告である)</p> <p>3. 主任研究者のマインドセット<br/> (「7. 拠点に対する要望と提案」内、「2. 主任研究者のコミットメント」)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>主任研究者の数は十分なレベルに達したとはいえ、I<sup>2</sup>CNERは、主任研究</li> </ul> | <p>となった。これに対して、平成24年4月1日現在のポスドク研究者数は、6名であった。</p> <p>c) テニユア教員ポスト</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>9. で述べたように、九州大学から平成23年度にテニユア教員ポストが1つ貸与され、昨年、北海道大学から非常に有能な女性研究者を採用した。平成24年度にはさらに4ポストが貸与された（平成25年3月31日現在で計5ポスト）。うち一つは、現在審議中の候補者の採用に充てる予定である。</li> <li>専任の外国人主任研究者の雇用に関しては、6月に国際公募を行うことになっており、所長、部門長及び主任研究者により公募対象分野を明確にするため、広範な議論が行われた。</li> <li>9. で述べたように、工学研究院等と連携し、学内の大学改革活性化制度申請によるテニユアポジション獲得のための努力を継続して行う。</li> </ul> <p>2. マネージメント体制の強化</p> <p>a) 執行部</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4. で述べたように、平成25年2月1日から、所長、副所長2名（共にシニア・レベルの主任研究者兼部門長）、支援部門長が、所長のイニシアティブとリーダーシップの下で研究所を運営するよう組織変更を行った。</li> <li>4. で述べたように、所長不在時の所内の意志決定及び運営について明文化した。</li> </ul> <p>b) 新支援部門長</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>新支援部門長は、主に新規採用教員の外部資金獲得のための（特に政府機関に対する）プロポーザル作成支援を積極的に行っていく。</li> </ul> <p>3. 主任研究者のマインドセット</p> <p>a) 主任研究者の選考</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. で述べたように、研究所にコミットし生産性の高いWPI主任研究者の</li> </ul> |
|--|---|

者はその時間の少なくとも50%を費やしI<sup>2</sup>CNERにおいて実質的な役割を果たすべきであるという観点から、全員の関与の度合いを点検し、その肩書きと称号を見直す必要がある。主任研究者とは、I<sup>2</sup>CNERの研究活動をリードし、展開し、若手研究者を育成する中心メンバーである。

#### 4. 九州大学・イリノイ大学間の研究者交流

(「7. 拠点に対する要望と提案」内、「2. 主任研究者のコミットメント」)

- 九州大学とイリノイ・サテライト機関が共に発展するため、主任研究者の交流と相互訪問の機会をさらに増やすべきである。昨年度は、共同研究の実質的な成果を挙げるには滞在期間が短かすぎた。

(“国際研究拠点として競争力を強化するための提案事項”内、「2. 国際共同研究」より抜粋)

- 九州大学とイリノイ大学の若手研究者間の国際共同研究をさらに推進すべきである。

み厳選し、その数を昨年の45名から24名に減らした。

#### b) 教員の学内派遣制度

- 1. で述べたように、新たに設けられた九州大学教員の学内派遣制度を利用し、平成25年4月1日付けでシニアレベル主任研究者9名を工学研究院から派遣する。

#### c) 主任研究者の研究運営への参加促進

- 前述の新たなマネジメント体制下において、平成24年度中にPI Meetingを2度開催した。このような会議を定期的で開催し、主任研究者が意見交換し、研究所の問題を議論する場を設ける。

#### d) 競争的研究資金

- 6. -②で述べたように、予算の一部を競争的経費とし、生産性の高い研究活動(共著論文を含む)を行う研究者に配分するプロセスを確立した。このインセンティブにより、研究所全体の科学的成果のレベル向上のための研究者のモチベーションが高まることが期待され、所長が積極的に経費配分の管理を行う。

#### e) その他

- 加えて、6. -⑧で述べたように、マインドセット向上のため、ポスドク研究者を含むFaculty Meeting、部門リトリートの他、I<sup>2</sup>CNER CO<sup>2</sup> (コーヒー&コラボ)等の交流会を開催し始めた。

#### 4. 九州大学・イリノイ大学間の研究者交流

- 2大学間の継続した共同研究活動を促進するため、研究者の中長期的交流のためのシステムを整備した。一例として、1. に述べたように、熱物性部門の准教授1名が約半年間イリノイ大学に滞在し、サテライト教員の下で研究活動を行っている。

- 1. で述べたように、平成24年度中、イリノイ大学から教員11名、ポスドク研究者2名、博士課程の学生5名が九州大学を訪問し、九州大学の教員5名がイリノイ大学を訪れた。



13. 事業費

○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、事務部門長         | 21    |
|           | ・主任研究者 20人         | 246   |
|           | ・その他研究者 65人        | 273   |
|           | ・研究支援員 20人         | 54    |
|           | ・事務職員 26人          | 99    |
|           | 計                  | 693   |
| 事業推進費     | ・招へい主任研究者等謝金 46人   | 13    |
|           | ・人材派遣等経費 1人        | 4     |
|           | ・スタートアップ経費 24人     | 94    |
|           | ・サテライト運営経費 1ヶ所     | 203   |
|           | ・国際シンポジウム経費 1回     | 14    |
|           | ・施設等使用料            | 88    |
|           | ・消耗品費              | 136   |
|           | ・光熱水料              | 10    |
|           | ・その他               | 164   |
|           | 計                  | 726   |
| 旅費        | ・国内旅費              | 14    |
|           | ・外国旅費              | 35    |
|           | ・招へい旅費 国内56人、外国40人 | 25    |
|           | ・赴任旅費 国内6人、外国2人    | 3     |
| 計         | 77                 |       |
| 設備備品等費    | ・建物等に係る減価償却費       | 1     |
|           | ・設備備品に係る減価償却費      | 526   |
|           | 計                  | 527   |
| 研究プロジェクト費 | ・運営費交付金等による事業      | 208   |
|           | ・受託研究等による事業        | 665   |
|           | ・科学研究費補助金等による事業    | 688   |
|           | 計                  | 1,561 |
| 合         | 計                  | 3,584 |

平成24年度WPI補助金額

1,324

平成24年度施設整備額

16

・施設の設置

0

・施設の修繕

0

・その他

16

平成24年度設備備品調達額

1,604

・ドラフトチャンバー 14式

63

・AV機器 1式

30

・その他

1,511

## ○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       | ・研究者 17人   | 121  |
|           | ・事務長 1人    |      |
|           | ・研究支援員 25人 |      |
|           | ・その他 1人    |      |
|           | 計          |      |
| 事業推進費     |            | 40   |
| 旅費        |            | 26   |
| 設備備品費等    |            | 16   |
| 研究プロジェクト費 |            | 0    |
|           | 合 計        | 203  |