

Energy Outlook

International Institute for Carbon-Neutral Energy Research

June
2019

I²CNER 対談特集号

Special Interview I 再生可能エネルギーの探求

Jill Engel - Cox

アメリカ国立再生可能エネルギー研究所 所長

板岡 健之

九州大学 I²CNER WPI教授

Andrew Chapman

九州大学 I²CNER WPI准教授

Special Interview II 次世代の研究者を魅了する CCSの重要性と環境負荷に対する理解

Michael Celia

プリンストン大学環境研究所 所長

辻 健

九州大学 I²CNER WPI教授

Wetting Phase (Brine) Nonwetting Phase (CO₂)

$$s_w, p_n, p_w, p^{cap}$$

Solid Phase



アンドリュー チャップマン

九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)

エネルギーアナリシス部門 准教授



いたおか けんし
板岡 健之

九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)

エネルギーアナリシス部門 教授



ジル エンゲル-コックス

アメリカ国立再生可能エネルギー研究所 所長

Special Interview I

再生可能エネルギーの探求

持続可能なエネルギー資源を実生活に引き寄せるために

エネルギー資源の世界的需要が増すにつれ、持続可能なエネルギー供給策が喫緊の課題となっている。しかしながら、再生可能なエネルギー資源を利用するシステムそのものにもいくつかの課題がある。本対談では、I²CNERエネルギーアナリシス研究部門の板岡健之教授およびアンドリュー チャップマン准教授が、米国国立再生可能エネルギー研究所よりジル エンゲル-コックス氏をお迎えし、全世界の地域社会が持続可能なエネルギー資源を採用するための道筋を模索する最新の研究についてご意見を伺った。

再生可能エネルギーテクノロジーを考える

アンドリュー チャップマン: こんにちは。今日は宜しくお願いたします。早速ですが、現在のご自身の役職や仕事内容について簡単に教えてください。

ジル エンゲル-コックス: 私は国立再生可能エネルギー研究所(以下、NREL)傘下の、提携大学との共同研究機関であるJoint Institute for Strategic Energy Analysis (以下、JISEA)研究所の所長を務め、エネルギーシステム、そして複数の分野にまたがるエネルギーシステムの変換を分析しています。JISEAには、NREL内のより大規模な分析グループの有識者が参加しています。NRELは米国エネルギー省に属する再生可能エネルギーとエネルギー効率に特化した唯一の研究所です。また、約1,800人の研究者とサポートスタッフを擁し、太陽光、風力、地熱といったあらゆる再生可能エネルギー、およびその貯留、輸送、電池の研究も行っています。

板岡 健之: エネルギーシステムを研究されているんですね。

エンゲル-コックス: そのとおりです。NRELには技術開発を専門とする多くの研究者が在席していますが、政策、

経済、変換、シナリオ分析を研究する分析グループを設けることが極めて重要であるとかかなり早い段階から認識していました。この種の分析は、実際の技術開発を進めるうえでも非常に重要です。

チャップマン: NRELでは現在どのようなことに取り組まれていますか。

エンゲル-コックス: さまざまなことに取り組んでいます。今日、再生可能エネルギーは、特に太陽光、風力、水力といった特定の種類で商業化が進んでいます。NRELでは、これまで主にその発電、輸送、システム構築に注力してきました。現在では、それをどの分野に適用するかについて検討を始めたところです。まず、工業分野、そして農業分野での調査を開始しています。再生可能エネルギーへの対応が不十分な領域がいくつかあるためです。

板岡: おっしゃるとおりですね。産業界、特に鉄やセメント産業などについては、未だに適切な解決策が確立されていません。

エンゲル-コックス: ええ、電力を再生可能エネルギー由来にすることについては、現在もさまざまな取り組みを行っているところです。多くの都市や州が、100%再生可能エネルギーまたは100%低炭素への移行について検討しています。言うのは簡単ですが、実現するとなると決し

て容易ではありません。NRELでは、都市や州のエネルギー供給が実際にどのような形になるのかをモデル化できるようにさまざまなプロジェクトを実施しています。

場所の精査とエネルギー要件の把握

チャップマン: 従来の化石燃料に頼らないエネルギー供給には二つの異なるアプローチがあるといわれています。NRELのプロジェクトでは完全集約型、あるいは分散型、どちらの方法をお考えでしょうか。おそらく、再生可能エネルギーの目標を達成するためにはそれらを組み合わせる必要があるのではないのでしょうか。

エンゲル-コックス: それは場所、つまりその地域の現行のエネルギー供給基盤によります。どの種のグリッドシステムが整備済みか、現在どの程度集約されているのか、そしてどのような電力システムが構築済みなのかを考慮する必要があります。エネルギーにアクセスしづらい場所で、かつシステム構築を始めたばかりならば、大規模なシステムを備えた既存のグリッドインフラが存在する場所とは異なる手法が必要です。おそらく、より分散されたマイクログリッド手法となるでしょう。出発点により大きく違うということです。また、地域の天然資源によるところも大きく、たとえば豊富な地熱資源を持つアイスランドのような国においては、太陽光や水力が豊富な場所とは解決策が違ってきます。また、人的資源や、地域の意向にも左右されますね。

板岡: 現在、日本では多くの地域のエネルギー供給が集約型グリッド^{注1}です。米国の状況とどのような違いがありますか。

エンゲル-コックス: 米国では20%が再生可能エネルギーとなりつつありますが、その約半数が水力発電です。特定の地域に大規模な水力発電所が存在します。そのため、国内の太陽光は2%弱、そして風力は約7%を占めるといったところですが。しかし、州によって大きな違いがあります。再生可能エネルギーの占める割合が非常に低い州もあれば、非常に高い州もあります。たとえば、再生可能エネルギー業界を牽引するカリフォルニア州では水力による再生可能エネルギーが約50%、太陽光や風力などによる水力以外の再生可能エネルギーが25%強を占めます。また、ある地域では、住宅用太陽光発電システムなど極めて分散性の高いシステムの積極的な振興が図られています。ロサンゼルスは、再生可能エネルギーを

100%にすると宣言しており、NRELはそのモデル化にあたってロサンゼルス市と連携しながら目標に向かっていきます。

板岡: エネルギー貯留に関しては、どのように考えていくべきでしょうか。

エンゲル-コックス: 貯留についてはさまざまな考え方があります。NRELでは、電気自動車の使用済バッテリーを取り出し、それを優れた貯留装置として活用する可能性を探っているところですが。その有効性はエネルギー貯留の必要性がほんの数時間分なのか、数日分なのか、季節単位なのかに依存します。現在は、どのような種類の貯留が有効か、どんな場所でなら効率的なのかについてさまざまな実験を実施している段階です。おそらくエネルギーミックスが必要となるでしょう。私はサウジアラビアで多くの事業に携わってきましたが、サウジアラビアにおけるエネルギー需要は極めて特徴的です。空調が必要とされる夏はエネルギー需要が冬の2倍となりますが、比較的一定であるために時間単位でのエネルギー貯留の必要性はあまりありません。季節単位での貯留が有望な策となるサウジアラビアに対し、米国など他の地域では家族全員の帰宅する夕方が需要のピークとなり、時間単位での貯留が注目されているのです。

消費者に省エネ行動を学んでもらうことも有効ですが、技術の革新に合わせてとるべき省エネ行動も変化します。このことを踏まえ、NRELでは消費者の理解を促進するスマートテクノロジーの検討を始めています。また、需要のバランスに合わせて機器が充電するタイミングを自動的に認識する技術の開発にも着手しています。

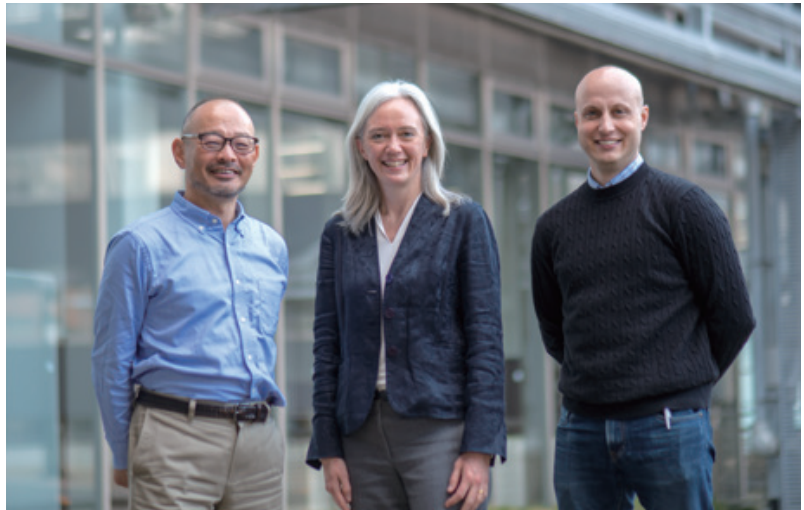
地域主導のエネルギー社会を支援していくために

チャップマン: 素晴らしいお話をお聞かせいただきました。消費者に省エネ行動を教育するということですね。オーストラリアでは、太陽光発電の買い取りに純量固定価格買取制度^{注2}と全量固定価格買取制度^{注3}の選択制が導入されています。全量固定価格買取制度のもとでは、あまり考えることなくエネルギーを使用できるため、省エネをあまり意識しない行動パターンが生まれます。一方、純量固定価格買取制度においては、発電した電力を全量使用するのではなく、余剰分を販売するという考え方になり、自宅で発電した電気を省エネ行動で販売に回そうという発想につながることができそうです。まさに経済的利益に基づいた行動パターンを消費者に教育できると思います。地域社会への支援の重要性について、もう少しお聞かせいただけますでしょうか。地域社会の支援に役立つ私たちの研究とはどのようなものになり得るのでしょうか。

エンゲル-コックス: そうですね。「投票」制は一つの例であると思います。カリフォルニアなど多くの州においては、公的資金を投入したり、増税を実施したりする場合に投票が必要となる制度が運用されています。住宅に導入される再生可能エネルギーの一部、および開発者に対しても、国による税制上の優遇措置があります。ここで大切



になるのが投票する人々の意向と奨励金との組み合わせです。続けて各家庭での太陽光発電を例に見ていきましょう。人々を意向別に分けると大きく三つのグループに分かれます。一つ目のグループは平たく言えば新しもの好きで、投資した費用を回収できるまでに20年かかってもソーラーパネルを設置します。これは純粋に投資の判断としては理にかなっているとは言えず、先進技術を支援したい、あるいは新技術に興味があるという人たちのみのグループです。制度の奨励金が十分で、損が出ない限り、設置に前向きでいてくれるでしょう。二つ目のグループは、最近まさにソーラーパネルを設置しようとしている人たちで、経済的利益追求として理にかなっています。約8年で元を取ることができ、ほとんど無償で電力を得られることを素晴らしいと考え、設置に踏みきったグループです。これがうまくいけば発電装置の価格が下がるため、後に続く段階の人々を呼び込むことができます。三つ目のグループである、家庭での発電・電力の買い取り制度に消極的な人々をどう取り込むかといった問題が残ります。また、パネルを設置するスペースがない、あるいは樹木で遮られる、南向きの屋根がない、設置に適さないといった条件下の人々にまで浸透させる方法を検討する必要があります。米国では、現在、こういった問題の解決策として一般的にコミュニティソーラーを導入しています。これは、町レベルで導入するシステムであり、地域が主体的に投資・運営することができます。



のではと考えられます。日本ではコミュニティ主導の再生可能エネルギーとして風力エネルギーが導入されていますが、日本でもコミュニティソーラーシステムが広まるとお考えでしょうか。

エンゲル-コックス：米国には古い埋め立て地に設置されているコミュニティソーラーシステムもあります。これは日本でも有効だと思います。家を建てるには向かない、そして農業ができない土地であっても、コミュニティソーラーの設置には最適です。

チャップマン：それはおもしろいアイデアですね。埋め立て地であれば、ソーラーシステムはその土地の最終用途となり得ます。

エンゲル-コックス：また、NRELは商業用太陽光発電が大幅に増加していることにも注目しています。ゼロ炭素や100%再生可能エネルギーを追求したいという企業が出てきているということです。倉庫や建物の上には巨大なルーフスペースがあり、大型のソーラーシステムを設置できます。ただ、スマートグリッド^{注4}や需要側の管理といった技術的解決策と、それらの社会的受容という課題もあります。技術者は、素晴らしい技術だからうまく導入されるはずと考え、生活者の視点を忘れてしまいがちです。「自分の家の暖房システムや電気自動車を他人に変えられたくない」と考える人もいるはずで。重要な課題のひとつは、技術側の人間が、社会学者やエコノミストといった人々と連携し、これらのソリューションを人々が抵抗なく、喜んで受け入れられる方法を考えることであると思います。

板岡：本日はエネルギー問題と将来の課題について貴重なご意見をいただきありがとうございました。みなさんのお考えをお聞きして大変うれしく思います。今後も連携を深めて発展していくことを楽しみにしています。

解決の糸口

チャップマン：日本でも同様の傾向が見られました。好ましい結果が出たものもあれば、残念なものもありました。日本では、一つ目のグループである早期導入者が占める割合はわずかであることが判明しました。そして、中間層に非常に大きなグループがあり、最下層に同じくらい大きなグループがあります。最下層のグループは、政府が特定の制度を強制的に施行するまで待ち続けます。多くの人がアパート住まいであるため、米国とは違いがある

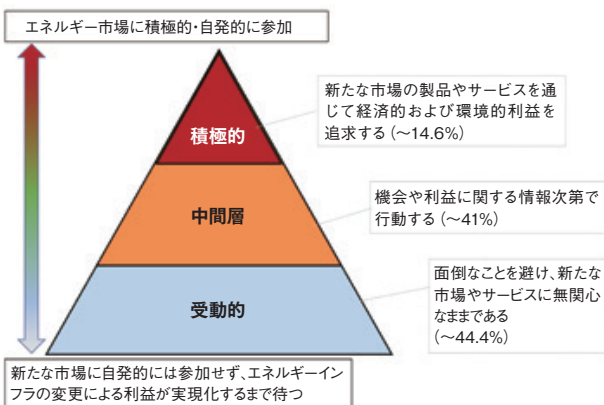


図1 日本のエネルギー市場における消費者活動層

注

- 1 グリッド集約型エネルギー：集約型発電で発電された電力は、電力網を通じて複数のエンドユーザーに配電される。集約型発電施設には、化石燃料火力発電所、原子力発電所、水力発電ダム、風力発電所などがある。(EPA.gov)
- 2 純量固定価格買取制度：ソーラーシステムの所有者に対して、そのシステムによって発電された余剰の未使用エネルギーにのみ対価が支払われる制度。
- 3 全量固定価格買取制度：ソーラーシステムの所有者に対して、グリッドに接続されているシステムによって発電されたすべてのエネルギーに対し対価が支払われる制度。
- 4 スマートグリッド：使用されている電力の流れを供給・需要の両側から制御・最適化できる送電網。

Special Interview II

次世代の研究者を魅了する CCSの重要性と環境負荷に対する理解

CCS(Carbon Capture Storage)^{注1}およびCO₂排出量削減の方法を探ることは、地球規模での重大な課題となっている。I²CNER CO₂貯留研究部門の部門長である辻健教授がプリンストン大学環境研究所所長のマイケル セリア教授に、CCS研究の現状およびこの分野に期待される今後の展望についてインタビューを行った。さらに、持続的な解決策を見出すために、次世代をこれらの問題の探求へと導くことの重要性についても伺った。

協同的な試みとしての研究

辻 健: 今回はお時間をいただき、誠にありがとうございます。昨日のアニュアルシンポジウムでのお話しは、I²CNERのメンバーにとって大きなモチベーションとなったはずです。まず、I²CNERに関わるようになったいきさつを教えてください。

マイケル セリア: I²CNERが重要なCCSコンポーネントを取り入れ始めた際に、I²CNERのメンバーからCCS活動に関する外部諮問委員会への参加について打診をいただきました。みなさんに初めてお会いしたのは3、4年前で、私にとって最初のI²CNERの会議でした。そして、みなさんの取り組みにとっても感銘を受けたのです。CCSで実施されている取り組みは非常に興味深く重要なことだと思います。

辻: 私はI²CNERに参加する前は地球物理学/地質学を専門としていました。具体的に言いますと、地球物理学

的アプローチを用いた大規模な地層調査と大規模なCO₂挙動のモニタリングを行っていました。

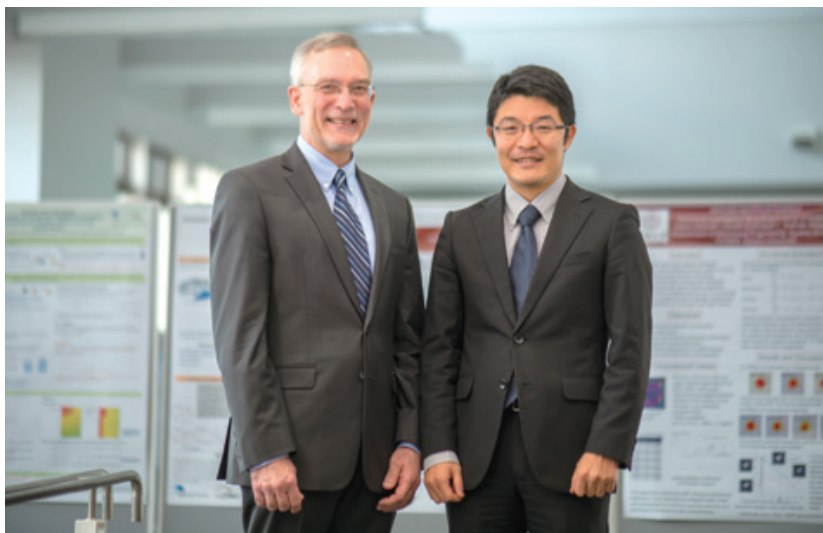
セリア: 地震学の知識や経験を活かした取り組みは重要なポイントだと言えます。地中に膨大な量の流体を注入することで引き起こされ得る地震の危険性をどのように考えるべきか、といったCCSに関する重要な問題についても、異なる視点から捉えることが可能だと思います。このような問題を適切な方法で考えるには地震と地震学の専門知識が必要です。CCSを単に研究という側面から考えると、25年前にはCCSに関する研究は存在すらしていませんでした。水文学や石油工学などのあらゆる知識や経験を持つ専門家がこの問題に取り組み始めましたが、そのほとんどが流体の流路という観点から解決を試みましたが、しかし、岩石力学についても配慮しなければならないことや、地表に地震が発生する可能性があるのかといった懸念が後になってわかってきました。比較的新しい領域の研究において、研究そのものがどのよう

マイケル セリア
プリンストン大学環境研究所 所長

つじ たけし
辻 健
九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)
CO₂貯留部門 部門長 / 教授

に発展していくかを注視することは実に興味深いことです。新しい研究は多様な分野の専門家を魅了し、それぞれが様々な形で研究に寄与します。

辻: そうですね。CCSは多くの専門家を集めて連携する非常に良い機会であり、私たちの研究は他の分野にも役立つものと思われま



CCSの見通しについて

辻: 2018年のIPCC^{注2}報告書では、今世紀末までに3~4°Cの気温上昇が見込まれるとされていますが、CCSの重要性についてお話しいただけますか。

セリア: これまで検討してきた研究はすべて、炭素削減戦略においてCCSが主要な役割を果たすべきであることを示唆していると思います。ご指摘の3~4°Cではなく、2°Cまたは1.5°Cの上昇を抑えるには、CO₂貯留は現在から今世紀半ばにかけて著しいレベル、つまり年間ギガトンレベルまで上昇すると予測されます。例えば、この1.5°Cの報告書を調べると、多くのシナリオで今世紀後半には実質ネガティブエミッション^{注3}が達成されると見込まれています。現在、実施可能と期待されている主な技術は、CCSとバイオエネルギーの組み合わせです。この技術であれば、1年につき10ギガトンほど処理量が上昇します。炭素問題を現実的に解決できるすべての方法において、膨大な量のCCSが必要です。私たちが抱えている課題とは、現状から、将来起こり得る状況へと考察を進めなければならないということです。CCSは、炭素削減戦略において中心的な役割を果たすため、私たちの責務は、CCS活動を強化する方法を見出すことにあると思います。

ネガティブエミッションの達成

辻: 昨日のI²CNERアニュアルシンポジウムでのプレゼンテーションでは、ネガティブエミッションについてお話しいただきました。ネガティブエミッションは困難な取り組みですが、炭素削減の実現には極めて重要です。ネガティブエミッションについて少しお聞かせいただけますでしょうか。

セリア: はい。ネガティブエミッションとは、人工的にCO₂を大気から取り除き、(地中に貯留するなどにより)大気から隔離するための技術を確立することです。もしくは植物に(光合成によって)大気からCO₂を吸収させ、その後、植物の生成物を燃料源として使用し、排出されたCO₂を回収して地中に貯留するという方法もあります。いずれの場合でも、炭素貯留と連結したプロセスを用いて、基本的に地中から大気中に移動する炭素量を実質ネガティブエミッションとするものです。現時点では、大気中の膨大な量のCO₂を抽出する、大規模で実用的な人工的技術はありません。BECCS^{注4}(炭素回収貯留によるバイオエネルギー)と呼ばれるテクノロジーが、関連の報告

書等で注目されているのはこのためです。これは現時点である程度有効性が期待できるとされているテクノロジーです。理想的には、大気から炭素を取り除き、取り除いたままの状態でもリダイレクトできる新しい技術群が見出されることになると思います。また、いずれにおいても、回収される炭素量が大量でなければ効果はありません。つまり、年間当たりギガトン単位のCO₂です。壮大な事業であり、様々なテクノロジーが必要とされるため、この問題の規模を重視しなければなりません。また、地質学的側面や、地中に貯留するという点についても、同じ規模で考える必要があります。こういったギガトン単位のレベルを達成することが重要だからです。

CCSの認知度を高める

辻: そうですね。大量のCO₂を削減することが重要であり、CCSは大規模なCO₂排出削減を達成する可能性を秘めています。もうひとつお聞きしたいことがCCSの重要性です。米国、そして世界的にはどのような状況でしょうか。

セリア: CCSは米国において、これまでのところ巨大産業というような形では軌道に乗っていません。将来的にどうなるかもまだわかりません。しかし、現時点で興味深い可能性があります。約1年前の2018年に、新たな税法案が可決されました。その税法案ではCCSは税額控除の対象です。税額控除はかなりの高水準で、CO₂を回収して直接貯留で使用した場合は、1トンあたり最大50ドル、石油井活性化で使用した場合は1トンあたり最大35ドルです。

辻: CCSは環境の脱炭素化において世界的な注目を集めるにまでは至っていないというのが一般的な認識ですね。考えられる理由を詳しく説明していただけますか。CCSプロジェクトの迅速な導入における主な障害は何でしょうか。

セリア: 主に経済にあると思います。個人的には、大規模なシステムが整備されていればCO₂を地中に埋めることで利益が生じ、「CCS産業」は発展すると思います。それに向けて関係する規制が制定または改定されていくこ



とになるでしょう。法規制が整うまで、一般認識、そして否定的な認識がCCSの大規模開発をどう妨げているのかについて、十分に検討する時間があると思います。もちろん一般認識は重要なのですが、世界のほとんどの地域において、パイプラインを含む様々な類のインフラプロジェクトが構築されています。米国にはメキシコ湾地域から私が住むノースイーストまで天然ガスを運ぶパイプラインがあり、季節単位のガス貯留を目的とした天然ガス貯蔵場所といったものが既に存在します。CO₂についても同様のパイプラインを構築することができるのではないのでしょうか。私自身の考えでは、これは希望的な見方であるかもしれませんが、CCSに対する否定的な見方というのは、ある特定の調査方法において確認されたものだということです。「石油会社が運営するパイプラインを構築しないか」と聞けば、その答えはおそらく「まあ、それは良くないんじゃないか」となるでしょう。より妥当な質問は「私たちと連携して気候問題を解決しよう」です。牽引力や一般認識を得るという点では、気候変動問題の解決に役立つ重要なグリーンテクノロジーという点を前面に打ち出せばよいのではないのでしょうか。

次世代のモチベーションを高める

辻: I²CNERのような学術機関におけるCCS研究の役割をどのようにお考えですか。

セリア: プリンストン大学では、数回にわたってCCSを扱った特殊なトピックコースを開催してきました。CCSの重要な「回収」の部分、実際はエンジニアリングテクノロジーの問題であるということです。「ガス分離を実施するものをどのように構築するのか？」あるいは「新しい材料についてはどうか？」このような側面は実際には化学工学と物質科学の課題です。「貯留」の部分は地球科学や、地学、そして土木工学の側面もあります。全体として、

CCSには実に様々な分野が含まれているため、「回収」と「貯留」とに分類すると有効となる場合もあります。CCSに特化したカリキュラムはないかもしれませんが、この取り組みに必要なツールは、様々な大学のプログラムに存在します。そのため、特定のCCSコースを策定しなくても、これらの問題解決に大いに貢献できる知識や技能を習得した学部学生、大学院生が多数存在すると考えてもよいかと思えます。

辻: CCSの領域で研究に取り組むよう若い研究者達のモチベーションを高めるにはどうすればよいのでしょうか。今後、雇用機会はあるのでしょうか。

セリア: 最高のモチベーションは、共に取り組み世界を救おう、と研究者を惹きつけることであると考えます。ある種の「宣伝」です。大きな意味で、この取り組みはこういったことであると思います。制御されていない温暖化が進む地球が人類や地球上の動植物に対する脅威であると思うなら、「共に世界を救おう。私たちが知っている世界を。」と言っても過言ではありません。世界を救うことは気候問題を解決することであり、CCSが大きな役割を果たすのであれば、それが学生の士気を高める方法です。私たちの仕事とは、学生たちが世に出て多大な貢献をするための手法、視点、環境を与えることです。学生たちが最終的に何を職業として選択しようともです。私はこういった若い研究者たちについていたって楽観的に考えています。私たちの世代が生産や消費といった排出物を生み出す活動を通して引き起こした今日の問題を、若い研究者たちが尽力し、解決してくれると信じています。

辻: CCSへの取り組みは、人類にとっての最大の問題に直接関連しているということは正にそのとおりだと思います。炭素排出削減のための研究活動を続け、また地球を救うために若い研究者の教育に取り組んでいきたいと思えます。実に興味深いお話をいただき、ありがとうございました。

注

- 1 CCS (Carbon Capture and Storage: 炭素回収・貯留): CO₂を分離・回収し、地中に貯留するプロセス。
- 2 IPCC: 気候変動に関する政府間パネル。
- 3 ネガティブエミッション: 大気中のCO₂量の削減。
- 4 BECCS (炭素回収貯留によるバイオエネルギー) 温室効果ガスの削減に有効とされる技術。

マイケル セリア教授による特別講演 (2019年2月1日)

セリア教授をお迎えし、辻教授の研究グループおよび九州大学地球資源システム工学専攻の学生を対象とした特別講演を開催した。同氏より、Jonathan Harr著のベストセラーノンフィクション「A Civil Action」に描かれている地下水汚染の事例を引用し、地下水の流路を含む水文学の基本を理解することの重要性について伺った。





参加者による集合写真(I²CNER研究棟にて)

Special Reports

2019.1.31

2019 I²CNERアニュアルシンポジウム 低炭素エネルギー社会に向けた エネルギー移行と CCS(CO₂貯留)の役割



講演を行うCelia教授



Q&Aセッションで質問する聴講者



ポスターセッション会場の様子

2019年1月31日、「2019 I²CNERアニュアルシンポジウム~"Energy Transitions and the Role of CCS toward a Carbon-Neutral Energy Society"(低炭素エネルギー社会に向けたエネルギー移行とCCS(CO₂貯留)の役割)」を九州大学伊都キャンパス(福岡市西区)のI²CNER研究棟にて開催し、研究機関、産業界、官公庁などから150名の方にご参加いただきました。

九州大学では、学内のエネルギー関連部局が連携し、2017年から毎年「九州大学エネルギーウィーク」を開催しており、I²CNERアニュアルシンポジウムはその主要イベントの1つです。

本シンポジウムでは、国内外のトップレベルの研究者が一堂に会し、再生可能エネルギーの創出等、低炭素エネルギー社会を目指すエネルギー移行における世界各国の課題やCCSの役割について議論を行いました。招待講演では、オランダアイントホーフェン大学のGeert Verbong教授、米プリンストン大学のMichael Celia教授らが物理学、経済学、政治学にも及ぶ最先端の研究発表を行いました。また、ポスターセッションではI²CNERの全研究部門による最新の研究成果が展示され、分野や国を超えた活発な質疑応答が飛び交い、盛況のうちに終了しました。

HYDROGENIUS & I²CNER 合同シンポジウム

2019年1月30日、I²CNERと九州大学水素材料先端科学研究センター(HYDROGENIUS)は「HYDROGENIUS & I²CNER 合同シンポジウム」を伊都キャンパス内にて開催しました。本シンポジウムは例年、I²CNER水素適合材料研究部門とHYDROGENIUS金属材料研究部門及びトライボロジー研究部門、またI²CNER熱科学研究部門とHYDROGENIUS物性研究部門が共催するもので、両機関に所属する研究者のほか、外部の共同研究者などを交えて議論を深める場となっています。本年は各部門、「Hydrogen-Materials Interactions」(水素適合材料/金属材料)、「Hydrogen in Tribological Processes」(水素適合材料/トライボロジー)、「Thermal Issues for Hydrogen and New Refrigerants for Energy Systems」(熱科学/物性)をテーマに掲げ、最新の研究成果や見解について話し合いました。

I²CNER 国際ワークショップ

2019年2月1日、I²CNERの各研究部門がそれぞれの最新の研究成果や今後の課題を探るべく「I²CNER国際ワークショップ」を伊都キャンパス内で開催しました。今年の各部門のテーマは以下のとおりで、各会場とも熱心な議論が行われました。

- 1) 光エネルギー変換分子デバイス研究部門&電気化学エネルギー変換研究部門
「Materials for Photo & Electric Energy Conversion」
- 2) 触媒的物質変換研究部門&CO₂分離・転換研究部門
「Carbon Capture and Utilization Research for Negative Carbon Emissions」
- 3) CO₂貯留研究部門
「Monitoring and Modeling CO₂ Storage Reservoirs」
- 4) エネルギーアナリシス研究部門
「Sharing innovations in Energy Transition research」
- 5) エネルギー問題への応用数学(九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所共催)
「Applied Mathematics Challenges in Energy Systems」

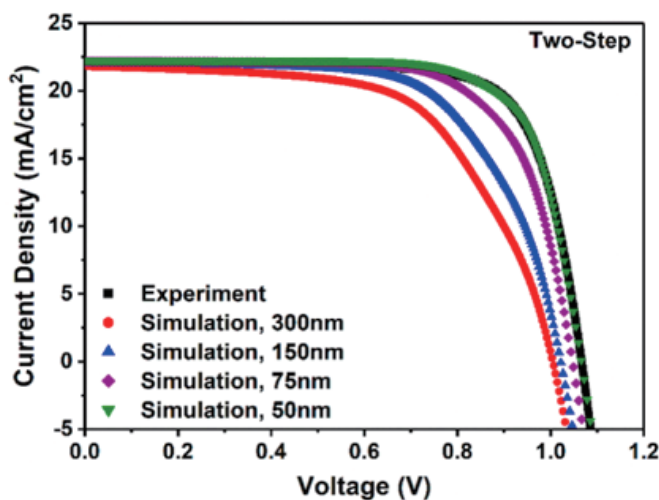


国際ワークショップでのレクチャー

1 計算科学を用いたペロブスカイト太陽電池のトラップ分布解析

Kara Kearney, Gabseok Seo, Toshinori Matsushima, Chihaya Adachi, Elif Ertekin, and Angus Rockett
Journal of the American Chemical Society
DOI: 10.1021/jacs.8b06002

ペロブスカイト太陽電池の変換効率は作製プロセスに大きく依存する。例えば、1段階プロセスで作製すると13.5%程度であるが、2段階プロセスで作製すると17.7%まで向上する。しかし、作製プロセスによりなぜ変換効率に違いが生じるのか明らかではなかった。本研究では得られた実験結果に対して計算科学的アプローチを行った結果、1段階プロセスで作製したペロブスカイトには膜全体にトラップが分布しているが、2段階プロセスを用いた場合には基板とペロブスカイトの界面近傍のみにトラップが局在していることを見出した。また、膜全体に分布しているトラップはペロブスカイト構造の欠陥に由来し、界面近傍に局在するトラップは有機成分の欠損により生じていることを明らかにした。本研究成果を応用することで、より高効率なペロブスカイト太陽電池の作製が可能となり、昨今問題とされているCO₂排出削減に貢献できる。

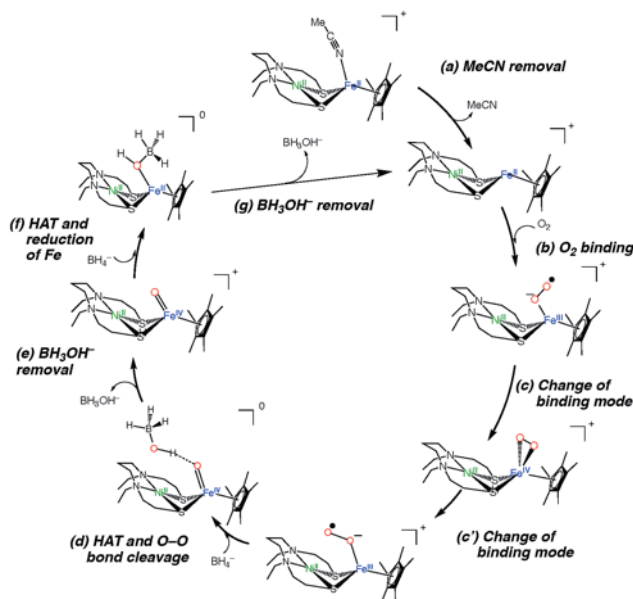


計算科学によるペロブスカイト太陽電池特性の解析

2 密度汎関数法による酸素活性化メカニズムの解明

Miho Isegawa, Akhilesh K. Sharma, Seiji Ogo, Keiji Morokuma
Organometallics
DOI: 10.1021/acs.organomet.8b00098

工業的酸化において用いられる大半の試薬は高コストであり、環境配慮がなされていない。一方、酸素は豊富に存在しクリーンであるため最も理想的な酸化剤とされる。近年、小江グループはボロハイドライドの存在下で、酸素活性化を行うニッケル-鉄錯体の合成に成功した。本研究では、密度汎関数法を用いてNiFe錯体による酸素活性化の触媒反応メカニズムを明らかにすることを目的とした。触媒サイクルにおける重要な中間体であるペルオキシ活性種に対して計算された鉄のメスバウアーパラメータは実験と良い一致を示し、分子軌道解析により二電子が鉄中心から酸素へ移動していることが示された。さらに、酸素活性化はボロハイドライドからの水素原子移動により誘発されることをスピン密度解析により明らかにした。計算により得られた熱力学的、速度論的データおよび電子構造に基づいた触媒反応の根本的理解はI²CNERが目標とする実用的触媒開発において重要である。



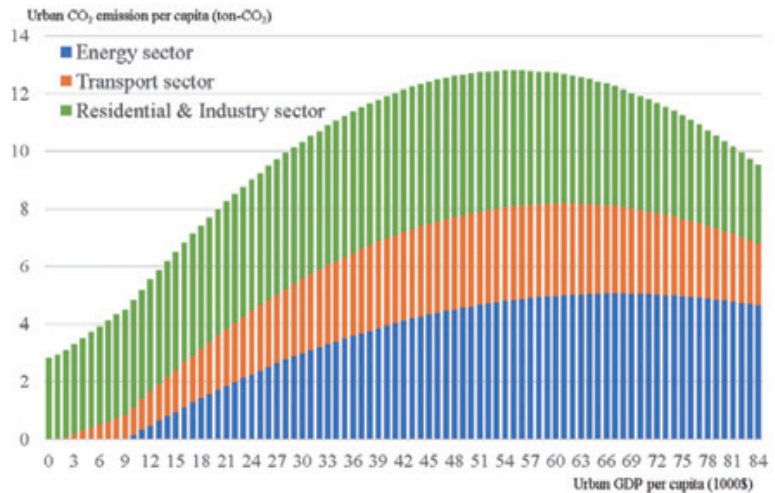
NiFe 錯体による酸素活性化触媒サイクル

3 環境クズネツ曲線を応用したCO₂排出量の解析： 世界276都市の実証的分析

Hidemichi Fujii, Kazuyuki Iwata, Andrew Chapman, Shigemi Kagawa, Shunsuke Managi
Applied Energy
DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.06.158

私たち研究グループは、都市の経済発展がCO₂排出量の変化に与える影響について、環境経済学分野で発展してきた「環境クズネツ曲線」の分析方法を応用した新たな手法を開発し、解析することに成功した。分析は26か国の276都市を対象に、2000年、2005年、2008年のデータを利用して行った。その結果、交通部門と住宅・工業部門では経済発展が進むことでCO₂排出量が減少に転じる転換点が存在することが示唆された。

本研究成果は、急速に都市化が進む中で、都市のCO₂排出量の削減を効果的に進めていく上で重要な情報である「経済発展とCO₂排出量の関係性」を明らかにするとともに、都市の気候変動対策に関する環境政策の立案を進める上で重要な将来予測にも役立つ情報として活用されることが期待される。



都市の経済発展に伴うCO₂排出量の予測値

4 持続可能な開発とCO₂排出量管理実現のための推進要因： 北東アジア6カ国の比較分析

Andrew John Chapman, Hidemichi Fujii, Shunsuke Managi
Sustainability (Switzerland)
DOI: 10.3390/su10010244

本研究では、1991～2015年の北東アジア6カ国での経済成長とCO₂排出量の関連性を、要因分解分析アプローチのLogarithmic Mean Divisia Index (LMDI)を用いて分析した。その結果、排出量やエネルギーポートフォリオトレンドに影響を与える要素は国によって異なることが明らかとなった。この期間CO₂排出量は中国と韓国では経済発展の影響を受けて増加し、ロシアと北朝鮮では効率向上により削減された。日本とモンゴルでは効率向上と経済発展の影響による大きな変化は見られなかった。

本研究の結果は技術進歩と経済要素を活かした地域協力やCO₂排出削減政策策定に役立てられ、I²CNERが目標とする持続可能なエネルギーシステムの実現に寄与することが期待される。

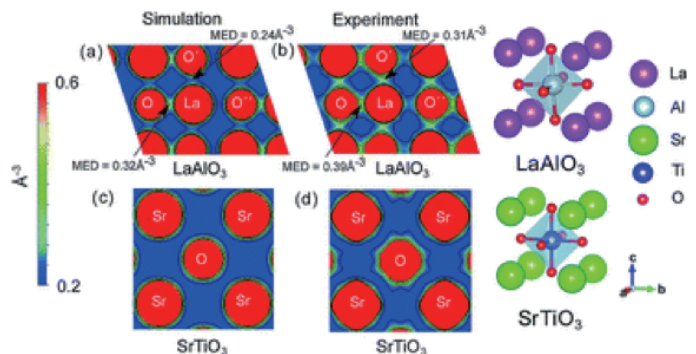


1991～2015年の北東アジア6カ国における炭素強度と再生可能エネルギー比率

5 機能性複合酸化物におけるランタニド元素の役割の系統的評価：エネルギー変換デバイスへの影響

Ji Wu, Kotaro Fujii, Masatomo Yashima, Aleksandar Staykov, Taner Akbay, Tatsumi Ishihara, and John A. Kilner
Journal of Materials Chemistry A
DOI: 10.1039/c8ta01191e

本研究は、SOFCデバイスの電極に用いる複合酸化物のイオン性形式電荷について再定義するため、実験と理論両面からアプローチを行った。本材料系において系統的な評価を行った結果、イオン種に適用される形式電荷は材料特性の根本的な誤解につながることを明らかにした。本研究の理論計算アプローチでは第一原理法を用いた。本手法をSOFCデバイスの電極に用いる希土類酸化物に適用すると、カチオン電荷が小さくなり、金属-酸素部分共有結合性や表面触媒活性などの興味深い物理的性質がより明瞭に得られることが分かった。本理論的アプローチによる電子密度マッピング結果は、シンクロトロンX線分光分析と最大エントロピー原理による金属-酸素相互作用の電子密度のマッピング結果と良く一致している。我々の理論-実験両面からのアプローチ手法は、表面酸素交換を改善するための新たな電極材料の設計を可能にする。本研究結果はI²CNER電気化学変換装置部門のロードマップにおける重要なマイルストーンであり、今後は本手法を用いてSOFC技術の普及に貢献できると考えている。

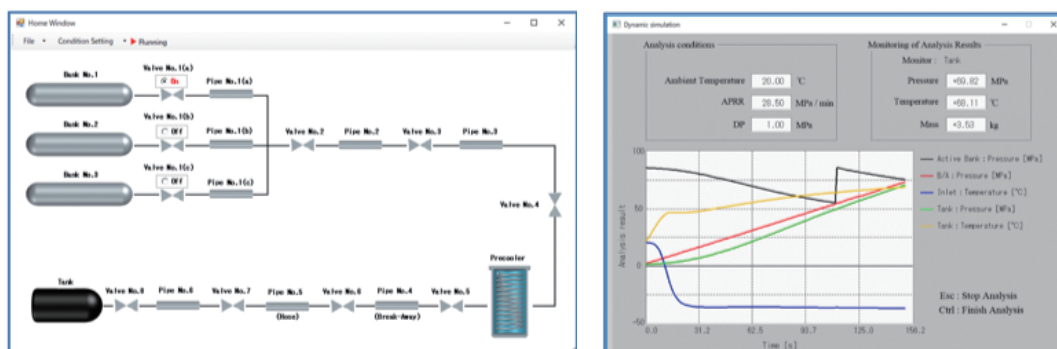


複合酸化物の理論と実験アプローチによる電子密度マッピング結果

6 FCV 車載容器への最適な水素充填に向けたダイナミックシミュレーション

Taichi Kuroki, Naoya Sakoda, Kan'ei Shinzato, Masanori Monde, and Yasuyuki Takata
International Journal of Hydrogen Energy
DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.01.111

水素ステーションでは、最大87.5 MPaの高圧水素を燃料電池自動車(FCV)におよそ3分で急速充填している。このとき水素の温度が断熱圧縮によってFCV車載容器の許容最高温度である85°Cを超えないよう、プレクーラーで-40°Cまで冷却している。現在、より安全かつ短時間で自由度の高い充填方法が必要とされているが、充填中の水素の状態は、大きな温度、圧力変化を伴い、充填条件や周囲環境によって多様に変化することから、その把握は非常に困難となっている。本稿では、プレクーラーからFCV車載容器までの各機器において、流れる水素の状態を、質量収支および周囲からの伝熱を考慮したエネルギー収支を基礎式として正確に推算する、熱力学ベースのシミュレーションモデルを提示した。この研究成果はI²CNERの研究ロードマップ(熱科学研究部門)における高圧水素の熱物性研究からの応用技術として位置付けられ、水素社会の実現に向けて、水素ステーションの新しい充填方法の確立に寄与するものである。



本研究成果を基に開発された水素ステーションにおける水素充填シミュレーションソフト



第7回WPIサイエンスシンポジウム

2018.12.27

12月27日名古屋大学豊田講堂において、世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) の各研究拠点がサイエンスシンポジウムを開催しました。このシンポジウムは次世代を担う高校生を対象にそれぞれの研究を広く一般の方々にも知ってもらおうと毎年開催されており、今年は名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 (ITbM) が運営を担当しました。「トランスフォームするサイエンス」と題した今回のシンポジウムでは、東海地域を中心に来場した900

名を超える高校生の、熱気にあふれた質問が飛び交いました。I²CNERはWPIの他の12拠点と合同でブース展示を行い、1分限定で研究所をわかりやすくアピールする紹介プレゼンテーションにも参加しました。エネルギー、環境問題に関する高校生の関心は高く、I²CNERの概要を説明すると、再生可能エネルギーの可能性に関することから、この研究所で働くにはどのような学科を選ぶべきかといった進路に関することまで、さまざまな質問が飛び出しました。



シンポジウムでのプレゼンテーション



ブースの掲示を熱心に見入る高校生

JSPSサンフランシスコセンター15周年記念イベント

2019.1.24-25

I²CNERペトロス・ソフロニス所長と松島敏則准教授 (光エネルギー変換分子デバイス研究部門) が、カリフォルニア大学バークレー校およびスタンフォード大学において開催された、日本学術振興会 (JSPS) サンフランシスコ研究連絡センター設立15周年記念イベント「World Premier Research in Japan」にて講演しました。

サンフランシスコ研究連絡センターは、2003年の

設立以来、日米の学術交流・学術研究の促進を図るとともに、米国の優れた研究者の日本招致に取り組んできました。今回のシンポジウムでは、日本で最も国際化が進み、かつ、高い研究成果を挙げている代表例として、WPI拠点から4拠点 (Kavli IPMU、AIMR、I²CNER、ITbM) が招待されました。研究者、学生、企業関係者を含め2日間で計110名が来場し、WPI拠点の講演者と交流を深めました。



I²CNERを紹介するソフロニス所長 (スタンフォード大学にて)



講演する松島准教授 (カリフォルニア大学バークレー校にて)



Awards

IUGG Early Career Scientist Award

辻 健 教授 (CO₂貯留研究部門長)

2018年11月5日、辻健教授がInternational Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)からEarly Career Scientist Awardを受賞すると発表されました。

IUGGは、国際学術会議加盟の非営利国際的学術団体であり、その規模は地球物理学研究分野において世界最大級です。「IUGG若手研究者賞」は、IUGGが顕著な地球惑星科学研究及び国際研究協力を推進している優れた若手研究者を表彰する主旨に基づいて創設され、4年に1度、超高層大気物理学、地震学、水理学、気候学、海洋学、雪氷圏科学の地球科学分野で世界中から10名以下を選定して贈呈されます。

辻教授はSeismology(地震学)のセクションでの貢献が認められ、今回の全部門10名の受賞者のうち唯一の日本人として選出されました。

授賞式は2019年7月13日、カナダのモントリオールで行われます。



熊本地震後に調査を行う辻教授

Welcome to I²CNER



前田 修孝

マエダ ノブタカ
学術研究員
触媒的物質変換研究部門
出身地: 北海道
研究分野: 分光化学、触媒化学
着任時期: 2019年4月

神奈川大学にスポーツ推薦で入学し箱根駅伝を目指した後、大学3年時の授業だった「触媒化学」の奥深さ、まるで推理小説のような研究方法の面白さに魅了され、同大学で博士号を取得しました。その後、スイス、イタリア、中国で11年間海外で研究生生活を送り、分光化学と触媒化学を融合させる分野「オペランド分光」の研究に従事してまいりました。I²CNERではこれまでの研究経験を活かし既成の概念にとらわれない、水素を利用した新しい反応系の創製、オペランド分光法による触媒表面挙動の解明に取り組みます。休日にはジョギングやボクシングで思い切り汗を流すことで脳をリフレッシュしています。



藤崎 貴也

フジサキ タカヤ
学術研究員
電気化学エネルギー変換研究部門
出身地: 鹿児島県
研究分野: プロトン伝導性酸化物
着任時期: 2019年4月

昨年度、九州大学で博士課程を修了し、本年度よりI²CNERの学術研究員に着任いたしました、藤崎貴也と申します。私が研究の道に進むきっかけとなった理由は、高校時代に水素と再生可能エネルギーを組み合わせた持続可能な社会に魅力を感じたためです。そのような社会の構築のためには価格の面一つ取っても多くの課題がありますが、一人の研究者としてその構築に貢献できればと考えております。また、I²CNERは公用語が英語で、多様な国籍の研究者が集まっている国内でも先進的な研究所だと思っております。彼らと日常的に交流することで世界各国の方々が持つ水素と再生可能エネルギーに対する視点を学べるのも大きな利点です。その交流の一環として、休日には時折、彼らと近隣へ山登りに出かけたり、国内へ小旅行に出かけたりもしています。



唐 永鵬

タン ヨンベン
学術研究員
光エネルギー変換分子デバイス研究部門
出身地: 中国
研究分野: 超微細粒金属
着任時期: 2019年4月

金属は商業的および工業的用途に広く使用されており、研究者らは優れた金属の機械的性質を得るための新たな手法を模索しています。例えば100ナノメートル未満の粒径である超微細粒金属は、並外れた高強度を有するなど特殊な性質を持つため、とても興味深い研究トピックとなります。私の研究の目的は、強ひずみ加工を利用した超微細結晶粒組織の製作により、特異な性質を持つ新しい合金を設計することです。I²CNERは世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)の1拠点であり、I²CNERでの研究活動に貢献する機会が得られたことをとても嬉しく思います。そして将来的にはI²CNERの主任研究者になることを目標に日々奮闘しています。休日には、家族と一緒にアウトドアを楽しみたいと思っています。



日高 澄具

ヒダカ スミトモ
学術研究員
熱科学研究部門
出身地: 宮崎県
研究分野: 次世代冷媒の熱物性、伝熱特性
及び基本サイクル性能特性の評価
着任時期: 2019年4月

冷蔵庫、エアコンなどには冷媒が使用されています。1970年代には特定フロンガス(CFC,HCFC)が、オゾン層破壊をもたらす物質であることがわかり、その後代替フロン(HFC)が使用されるようになりました。しかし、これらも温室効果ガスとして地球温暖化に影響しています。そのため、環境に影響の少ない新規冷媒(HFO)およびその混合系に注目しました。これら新規冷媒の熱力学的性質の理解は、産業機器を開発するための基本情報として非常に重要です。I²CNER熱科学研究部門での研究に、九州大学において取得した論文博士(工学)の知識が活かせたらと考えています。休日には、怪我しない程度に趣味のパドミントンを楽しんでいます。

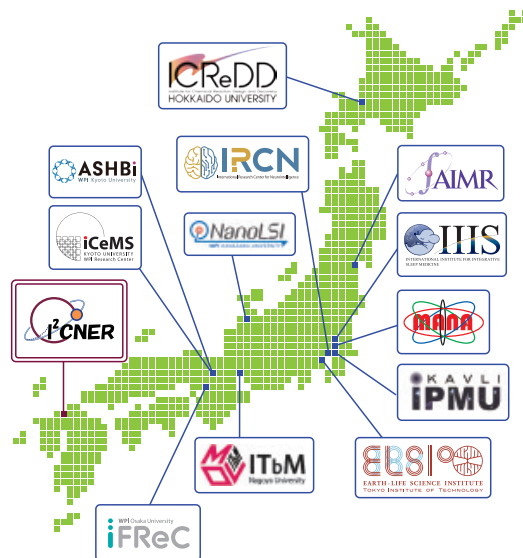


WPIとは?

World Premier International
Research Center Initiative

「世界トップレベル研究拠点(WPI)」は、高いレベルの研究者を中核とした世界トップレベルの研究拠点を形成するため、文部科学省が2007年度より開始した事業です。第一線の研究者が世界から多数集まってくるような、優れた研究環境と極めて高い水準を誇る「目に見える研究拠点」の形成を目指しています。

参照：
文部科学省HP http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/toplevel/
日本学術振興会HP <http://www.jspss.go.jp/j-toplevel/index.html>



九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)

低炭素社会の実現に向けて、水素エネルギー利用とCO₂の回収・貯蓄に関する課題を、原子レベルから地球規模の科学の融合により解決する研究拠点です。



東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU)

数学、物理学、天文学等の研究者が集まり、宇宙の始まり、進化の解明など、宇宙の謎に迫る研究拠点です。



東北大学 材料科学高等研究所

物理学、化学、材料化学、バイオエンジニアリング、電子、機械工学の領域を融合させ、革新的な機能性材料を創製・開発します。さらに、材料科学の統一学的な学理のため、2011年度より数学ユニットが加わり、国際材料科学研究拠点の形成を目指しています。



大阪大学 免疫学フロンティア研究センター (iFReC)

様々な生体イメージング(画像化)の技術と免疫反応を予測する生態情報学を用いて、体を病原体から守る免疫システムの全貌解明を目指す免疫学の研究拠点です。



物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)

従来のナノテクノロジーを革新した材料開発の新しいパラダイム「ナノアーキテクトニクス」のもと、画期的な材料を開発する研究拠点です。



京都大学 物質一細胞統合システム拠点 (iCeMS)

細胞科学と物質科学を統合した新たな学際領域の創出を目標とし、幹細胞研究(ES/iPS 細胞など)やメゾ科学を進展させ、医学・創薬・環境・産業に貢献する研究拠点です。



名古屋大学 トランスフォーメティブ生命分子研究所 (ITbM)

世界屈指の分子合成力を推進力とし、合成化学者と動物分子生物学者の連携により、生命科学・技術を根底から変える革新的機能分子「トランスフォーメティブ生命分子」を生み出す研究拠点です。「分子をつなげ、価値を生み、世界を変える」、これが我々の思いです。



筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構 (IHS)

睡眠は未だ多くの謎に満ちています。IHSは睡眠の機能や睡眠/覚醒を制御するメカニズムを解明し、睡眠障害および関連疾患の病態解明、予防法・診断法・治療法の開発を通じて人類の健康増進に貢献することを目指します。



東京工業大学 地球生命研究所 (ELSI)

地球惑星科学および生命科学分野の世界一線級の研究者を結集し、「生命の起源に関する研究は初期地球環境の研究と不可分である」というコンセプトのもと、地球、さらには地球-生命システムの起源と進化の解明に挑みます。



金沢大学 ナノ生命科学研究所 (NanoLSI)

さまざまな生命の基本単位である「細胞」。その表層や内部においてタンパク質や核酸といった生体内で重要な役割を担う高分子等がどのように振舞うか、その動態をナノレベルで直接動画として観察、分析、操作する「ナノ内視鏡技術」を開発します。それにより様々な生命現象をナノレベルで根本的に理解することを目指します。



東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構 (IRCN)

本機構では、生命科学と情報科学をつなぐ新学問分野「Neurointelligence」を創成し、ヒトの知性の本質の理解、脳神経回路の障害の克服、新たなAIの開発を通じて、より良い未来社会の創造に貢献します。



京都大学 ヒト生物学高等研究拠点 (ASHBi)

生命・数理・人文科学の融合研究を推進し、ヒトに付与された特性の獲得原理とその破綻を究明する先進的ヒト生物学を創出、革新的医療開発の礎を形成することを目指します。



北海道大学 化学反応創成研究拠点 (ICReDD)

計算科学、情報科学、実験科学の3分野を融合させ、化学反応の本質的理解に基づく新しい化学反応の合理的設計と高速開発を目指します。

編集後記

- PCNERでは、さまざまなイベントを開催しています。
詳しくは <http://i2cner.kyushu-u.ac.jp/ja/>

で

- 今回は、2つの対談を特集し【Energy Outlook】のみの拡大版としてお届けいたします。再生可能エネルギーを地域社会で運営するシステム、大気中のCO₂削減のための多分野からのアプローチなど、時代のニーズに合わせた研究の一端を対談の中でご紹介いただきました。これからはさらに、さまざまな分野の研究やアイデアを組み合わせ、エネルギー問題に関する課題をひとつずつ解決に近づける研究所であり続けたいと思います。I²CNERはWPI拠点10周年を迎えました。本形態での広報誌は次号で最終号となる予定です。皆様のご意見・ご感想をお待ちしております。

Energy Outlook vol.22 June 2019

【発行】九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)
〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744
☎ +81-(0)92-802-6935 ☎ +81-(0)92-802-6939
✉ wpisyogai@jimu.kyushu-u.ac.jp
🌐 <http://i2cner.kyushu-u.ac.jp>
📘 <http://www.facebook.com/i2cner.news>
🐦 <http://twitter.com/i2cner>

【編集・デザイン】城島印刷株式会社

【撮影】入江 修

【企画・編集】I²CNER支援部門 (古賀 朝也、野上 由紀、古賀 詔子)



A World Premier International Research Center



九州大学

I ILLINOIS