

Energy Outlook

再生可能エネルギーの必要性

J X 日 鉱 日 石 エ ネ ル ギ ー 株 式 会 社
取締役 常務執行役員 研究開発本部長

岡崎 肇

Special Interview

The Future of Energy

日本が抱えるエネルギー問題とは？

カーボンニュートラル社会を目指して

九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)
エネルギーアナリシス研究部門 教授

本田 國昭

Message from the Director

Director, Petros Sofronis

カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所長

ペトロス・ソフロニス



カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（¹ICNER）は炭素排出量削減及び費用効果の高いエネルギーシステムを推し進め、エネルギー効率を高めるための基礎研究を行うことにより、持続可能で環境調和型の社会を実現することを目標としています。¹ICNERの研究が実現を目指す様々な技術の中には、水素エネルギー社会における燃料としての、水素の革新的で安全なそして信頼性のある製造、貯蔵、利用があります。また¹ICNERの研究はCO₂の回収、地中・海洋貯留（CCS）技術の基礎科学やCO₂の有用製品への転換にも及んでいます。さらに、連携や学際的研究（融合研究）を通して革新を生み出す国際的な学術環境を整備することも使命の一つです。

このような目標に対して当然次のような問いが発せられることでしょう。¹ICNERの基礎研究は最終的にどうやってカーボンニュートラル技術を実現するのでしょうか？言い換えれば、どのようにして基礎科学の進歩を技術革新へと変換していくつもりなのでしょうか？その答えは¹ICNERの使命の根幹に見つけることができます。連携・融合研究です。基礎科学の発展を推進するため¹ICNERの研究者が互いに協力し合うだけで

はなく、社会のエネルギー需要に基づいた目標達成のための研究を行うことで、我々が実現しようとしている技術が20年〜30年後のエネルギー状況に影響を与えることも目指しているのです。最先端技術の様相が変化し続けていることはもはや自明の理です。¹ICNERは我々が直面している科学的課題は複雑な国際問題であることを認識しており、その解決には学際的で産学連携によるアプローチでもって研究開発に取り組むことが必要です。つまり、いかなる大学、科学分野、産業も、単独ではこの問題を解決することはできないのです。¹ICNERの協体制に基づく課題重視のアプローチは、進化する学術研究形態と日米間のエネルギー分野における活発な連携を象徴しています。¹ICNERは学術連携と国際的な研究パートナーシップの代表的な成功例となることを目指しています。また、21世紀のエンジニア教育に建設的な影響を与え、若い教職員に対して、継続した取り組みや活発な議論がごく普通であり、様々なパフォーマンス基準が存在するような、国際的な環境において成功をおさめる機会を提供したいとも考えています。

これらの目標を心に留めて¹ICNERの最新刊行

物「Energy Outlook」をお届けできることを嬉しく思います。この冊子は、社会のニーズに基づく我々の使命に焦点を当てた基礎研究を知るきっかけとなることでしょう。



Special Interview

The Future of Energy

エネルギーの未来について語る

日本が抱えるエネルギー問題とは？



九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (ICNER)
エネルギーアナリシス研究部門 教授

本田 國昭

Kuniaki Honda



J X 日鉱日石エネルギー株式会社
取締役 常務執行役員 研究開発本部長

岡崎 肇

Hajime Okazaki

再生可能エネルギーに 対する期待と現実

本田 東日本大震災以降、資源・エネルギー問題はより身近なものとなり、現在のエネルギーシステムの在り方が問われています。近年、アメリカにおいてシェールガス・オイルが採掘され、天然ガスが安価になるなど、エネルギーの種類も変化しています。このような状況のなかで、いかに再生可能エネルギーを用いたカーボンニュートラル・エネルギー社会を構築していくかが、本研究所が取り組んでいる課題です。J X 日鉱日石エネルギー様（以下、J X 日鉱日石）では、再生可能エネルギーの将来性についてどのようにお考えでしょうか。

岡崎 私たちは石油の精製・販売で成長を遂げてきました。しかし、CO₂削減対策は重要課題です。また、中東不安による原油高騰などの観点からも、再生可能エネルギーは必要だと考えています。一方、再生可能エネルギーに対して過大な期待をしていることも否めません。太陽光や風力などの自然エネルギーは、天候や稼働時間に制限があるため、安定供給は見込めません。とは言つものの、自然エネルギーのポテンシャルに対する

備えは持ち続けるべきだと思います。

水素経済社会を見据えた エネルギー改革

本田 私の記憶によれば、70年代のオイルショック時の石油の価格は、1バレル 60ドルを超える勢いででした。この価格でしたら、太陽光や風力などすべての新エネルギーは競合相手になり得たと思いますが、その後、石油の価格が 10ドル台まで下がり、新エネルギーの研究がストップしてしまいました。ところが、今や石油が1バレル 100ドルを超えるまでに跳ね上がり、それに代わる低価格の代替エネルギーを必要としているにも関わらず、新エネルギー研究の中断が影響しているのか、新エネルギーの価格は高額で石油や天然ガスを頼らざるを得ません。そのような状況の中、石油業界としては、再生可能エネルギーに対する戦略的ビジョンを形成されていますでしょうか。

岡崎 私たちは、早い段階で石油製品の需要減に備え「燃料電池」の研究開発を開始しました。要するに、新しい用途の開発です。研究を始めたきっかけは、供給形態も含め、新しいエネルギーの軸を持ちたかったというところに他なりません。また、それら

を再生可能エネルギーの対立軸と考えていました。私たちの進めるこれらの事業は、日本のエネルギー事情に貢献できると思っています。

本田 燃料電池をはじめ、水素社会を標榜されているわけですが、水素についてはどのようにお考えでしょうか。

岡崎 私たちは、すでに水素を扱う技術を持っています。純度を高くする必要はありますが、今までの土地やインフラなどを活かしたまま、製油所の中の水素製造プラントが利用できれば理想的です。

本田 なるほど。既に対応策を考えていらつしやるようですね。それでは、将来、水素が商品化され、水素経済社会が真に実現するであろう現実的な時間枠についてご意見をお聞かせください。

岡崎 自動車メーカーとインフラ整備に係る事業者は、2015年から燃料電池自動車を市場に本格導入することを共同で発表しております。コストや安全面などの問題がクリアされることで大前提ですが、2030年頃には燃料電池自動車の普及率が上がっていくと予想しています。

再生可能エネルギーに対する評価

Kuniaki Honda



PROFILE

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研究部門 教授

本田 國昭
Kuniaki Honda

1972年、同志社大学工学部化学工学科卒業。同年、大阪ガス株式会社に入社。産業用ガス販売をはじめ、業務用・家庭用ガス販売や機器開発に従事。その間、約3年間日本コージェネレーション研究会に就任。2005年7月から2009年7月まで内閣府総合科学技術会議の専門委員に就任。2008年3月まで科学技術連携施策群（水素利用／燃料電池分野）のコーディネーターを務める。2009年、九州大学博士（工学）を取得。2011年4月より九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER) の招聘教授を務め、2012年7月、同研究所エネルギーアナリシス研究部門教授に就任。現在に至る。

本田 太陽光、風力、バイオマスなどのような再生可能エネルギーからのカーボンニュートラルな真の水素社会と、石油、石炭などの化石燃料を組み合わせた水素社会がありますが、コストとCO₂削減を考えた場合、「高効率化・省エネ・スマートグリッド（次世代送電網）」と「再生可能エネルギー推進導入」とをどのように比較されますか。

岡崎 コスト面では、高効率化・省エネを推進することがはるかに有益でしょう。しかし、炭化水素を燃やすことには変わりません。CO₂削減を迫られる中で、「C」に代わる別の原子を利用することが理想です。それを最も簡単に解決する方法が水素の利用

です。すでに技術の確立されたスチームリフォーミング（水蒸気改質）を使えば、コストも低減できますし、化石燃料の他、バイオマスからも製造できるというメリットがあります。一方で、水素社会を実現するためには、CO₂処理技術の向上も必要不可欠です。無論、CCS（CO₂回収貯留）についても、埋蔵したCO₂がどの程度その状態を保てるのかなどいろいろな問題があります。ある程度の時間を費やし、これらの研究が進展しないことには本場の意味での水素社会は訪れないと思います。今私たちにできることは、一つ一つの課題に取り組み、ステップを踏んでいくことだと思っています。まずは化石燃料を組

み合わせた水素社会を実践し、徐々にCO₂排出量を減らしていくことが理想だと思っています。

産学官連携の推進

本田 私たちI²CNERは、環境調和型で持続可能なカーボンニュートラルな社会を目指した基礎科学に取り組み研究所です。長期の研究になりまますので、マイルストーンを決め、計画の達成度を分析しながら取り組んでいきます。また、I²CNERでは企業が取り組みにくい基礎研究や最先端の科学技術研究を行っています。そして、I²CNERで生み出されたエネルギーに



PROFILE

JX日鉱日石エネルギー株式会社
取締役 常務執行役員 研究開発本部長

岡崎 肇

Hajime Okazaki

1975年、京都大学工学部石油化学科卒業。1978年、京都大学大学院工学研究科石油化学専攻修了。同年、日本石油株式会社中央技術研究所に入社。石油精製プロセスおよび触媒の研究開発に従事。2002年4月、中央技術研究所副所長を経て、2004年6月、研究開発本部中央技術研究所長。2010年、名古屋工業大学博士(工学)を取得。2010年7月、JX日鉱日石エネルギー株式会社取締役常務執行役員(研究開発本部長)に就任。現在に至る。

関する基礎科学が、これからの社会に役立つように色々な企業と共同研究を進めていきたいと考えています。企業側から見て、本研究所のような大学の研究所にどのようなことを期待しているか教えていただけますか。

岡崎 量産や商品化も意識しながら取り組んでいきたいと思っております。その結果、自然科学の分野にとどまらず、社会科学や政治の力テゴリーにまで広がっていくことになるかもしれません。研究技術を活かす最終現場では、費用対効果、顧客満足、コンプライアンスが要求されます。基礎研究の成果を供給することだけにとどまらず、企業と並走した技術の実証や商品開発を担うなど、

「CNERにはそういう研究所になってほしいですね。」

次世代を担う学生たちへ

本田 心強いアドバイスありがとうございます。では、最後に、将来のエネルギーの雇用市場に向け、学生に何かアドバイスをいただけますでしょうか。

岡崎 今後のエネルギーの雇用市場においては、流通や経済に精通した人材が必要になると思います。また、競合相手を見極め、市場動向の解析や戦略の提案をするだけの力を持った人材を期待しています。

本田 つまり、社会受容性が得られるような社会科学の研究分野の人材が必要だということですね。

岡崎 そうです。学生の皆さんには、自分たちの行っていることをどういうメカニズムで社会に反映させるかを学んでほしいですね。

本田 本日は、有意義なお話をありがとうございました。

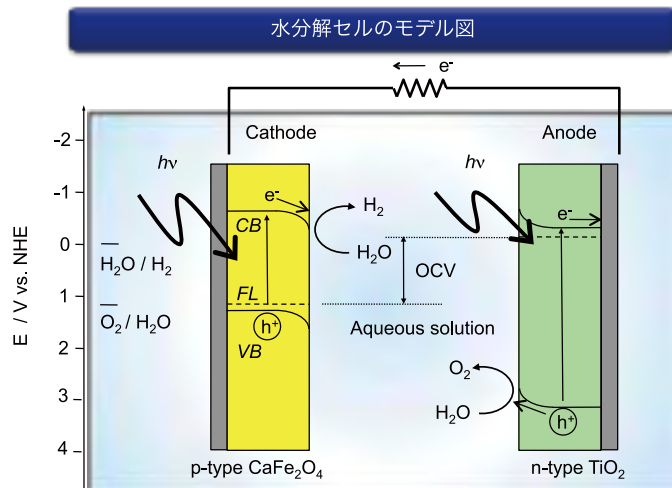
岡崎 こちらこそ、ありがとうございました。



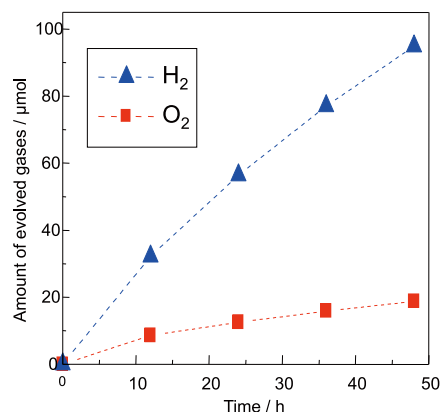
p型・n型酸化物半導体電極を用いた光電気化学水素生成

Shintaro Ida, Keisuke Yamada, Maki Matsuka, Hidehisa Hagiwara, Tatsumi Ishihara
Electrochimica Acta 82 (2012) 397–401

p型半導体である鉄酸カルシウムとn型半導体である酸化チタン電極を用いた外部印加電圧を必要としない水の光電気分解を実施した。CaFe₂O₄を主相、Ca₂Fe₂O₅を副相に持つ、鉄／カルシウムの組成比が1.9の鉄酸カルシウム電極が最も大きな光還元電流を示した(条件:500W-Xeランプ照射下、0.1 M NaOH水溶液中で+0.30V vs. Ag/AgCl以下の電位)。TiO₂電極は同光照射・電解質条件下、-0.78 V vs. Ag/AgCl以上の電位で光酸化電流を示した。鉄酸カルシウムと酸化チタン電極を同光照射・電解質条件下で接続すると、1.09Vの開回路電圧、550 μA/cm²の短絡電流を示した。また、両電極を短絡させたセルでは外部電圧を印加しなくても光照射のみで水素と酸素が発生した。12時間の反応後に短絡セルから発生した水素／酸素の比は3.7であった。このようなシステムは光照射下で水素と酸素を別々に製造できる究極の人工光合成システムである。本研究で示したシステムは、将来、太陽光と水から直接水素と酸素を製造できる人工光合成システムの基盤技術になると考えている。



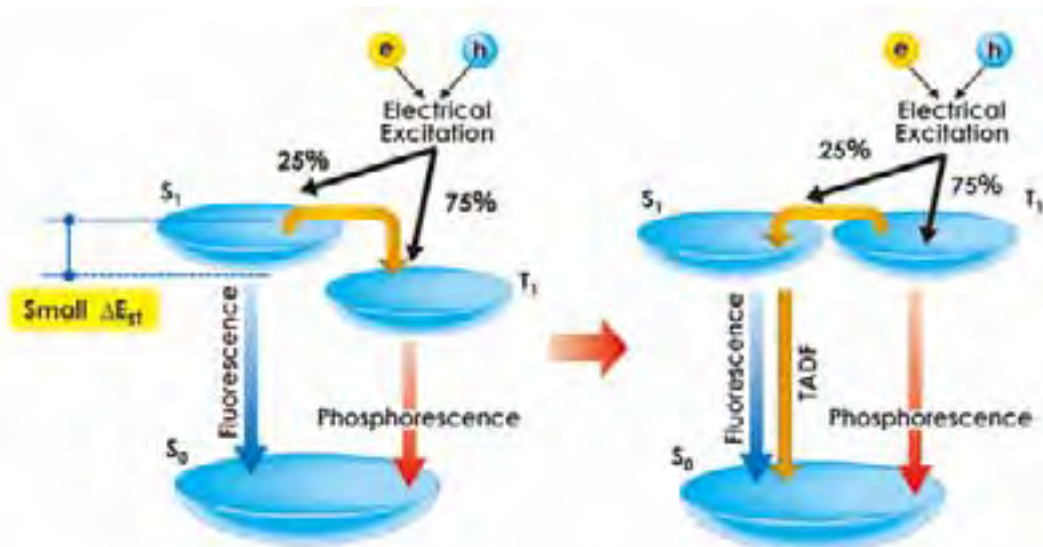
発生した水素と酸素の光照射時間依存性



材料科学:遅延蛍光を利用した高効率有機発光ダイオード

Hiroki Uoyama, Kenichi Goushi, Katsuyuki Shizu, Hiroko Nomura, Chihaya Adachi
Nature 492,234–238(13 December 2012) doi: 10.1038/nature11687

有機分子固有の分子設計の大きな自由度を生かして、これまで20年にわたって多種多様な有機半導体の開発が推進されてきた。特に、蛍光材料を利用した初期のデバイスからりん光材料を利用したデバイスに至るまで、有機発光ダイオード(OLED)用の材料開発には、顕著な進歩が見られる。OLEDでは、電気的に注入された電荷が再結合して、一重項励起子と三重項励起子が1:3の比率で形成される。りん光性有機金属錯体を利用すると、通常は放射失活が生じない三重項励起子を活用できるため、発光量子効率が高まる。今回九州大学の安達グループでは、分子設計によって一重項励起状態と三重項励起状態のエネルギーギャップを最小限にした、レアメタルを含有しない有機EL発光材料の開発に成功した。エネルギーギャップを小さくすることで、10⁶s⁻¹を超える高い放射失活速度定数を維持しつつ、無放射三重項状態から放射一重項状態へのアップコンバージョンを実現した。つまり、TADF (Thermally Activated Delayed Fluorescence)により、一重項励起子と三重項励起子の両方を一重項放射過程を通して発光させることができ、90%を超えるフォトルミネッセンス効率と、19%を超える非常に高い外部量子発光効率を実現した。これは、従来の高効率りん光OLEDに匹敵する値である。



電荷再結合による励起子生成からTADFに基づく新しい発光メカニズム

水素脆化現象を積極的に利用した新しい介在物評価法

Shinji Fujita, Yukitaka Murakami

Metallurgical and Materials Transactions A, January 2013, Volume 44, Issue 1, pp 303-322

引張り試験片の水素脆化現象を積極的に利用した鋼の品質管理のための新しい介在物評価法を提案する。この方法は基本的には極値統計法による介在物評価に基づいており、水素チャージした試験片を単純に引張り試験することにより試験片中の最大介在物を決定するものである。清浄度が重要視される2つの軸受鋼(SAE52100, HV 346, HV 447, HV 559, HV 611, HV 678 およびASTM-A485-1, HV 706, HV 715)と1つのばね鋼(SAE5160, HV 651)について試験を行った。方法の妥当性を確認するために軸受鋼(SAE52100, HV 682)について疲労試験も行った。SAE52100 ピッカース硬さHV 346のSAE52100を除くすべての水素チャージ試験片(SAE52100, ASTM-A485-1, SAE5160)は内部介在物が起点となって破壊した。水素チャージしたSAE52100の引張り試験で得られた介在物寸法の極値分布は水素チャージの有無に関係なくSAE52100の疲労試験による分布と完全に一致した。このことより、疲労試験による介在物評価法は水素チャージした試験片の簡単な引張り試験で置き換えることが可能である。この研究で提案する方法は従来の疲労試験や顕微鏡による方法に比べてはるかに簡便であり信頼性も高い。この方法を適用するにはピッカース硬さHVを447より高く熱処理することが条件である。この方法は、耐水素脆化材料の開発に役立つとともに水素機器の安全な強度設計にも応用できるものである。また、この研究は、高強度鋼の水素脆化破壊靱性値 K_{TH} のき裂寸法依存性の発見につながった(1)。(1) Y. Murakami, T. Kanezaki and P. Sofronis, Engineering Fracture Mechanics, 2012.

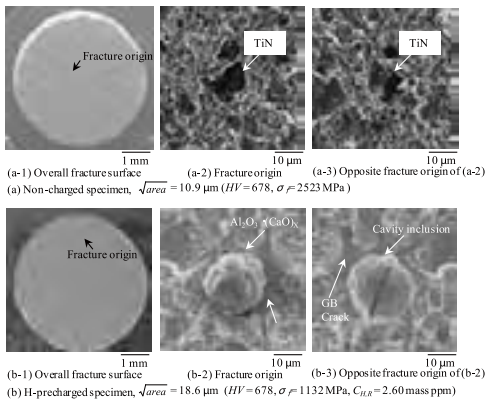


Fig. 1 SEM 写真 (材料 SAE52100) 非金属介在物から破壊した引張り試験片の \sqrt{area} : 介在物寸法 C_{ILR} : 材料中の水素濃度

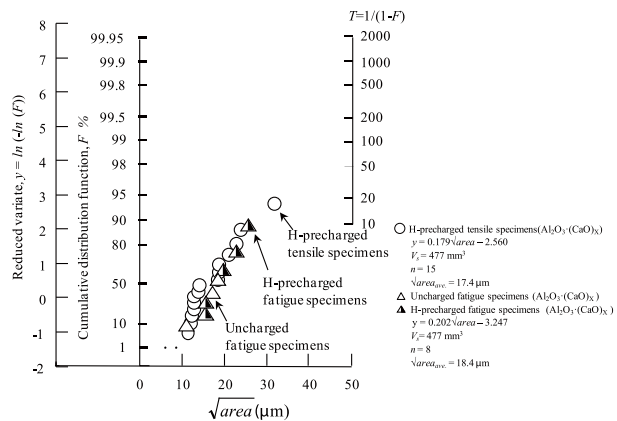


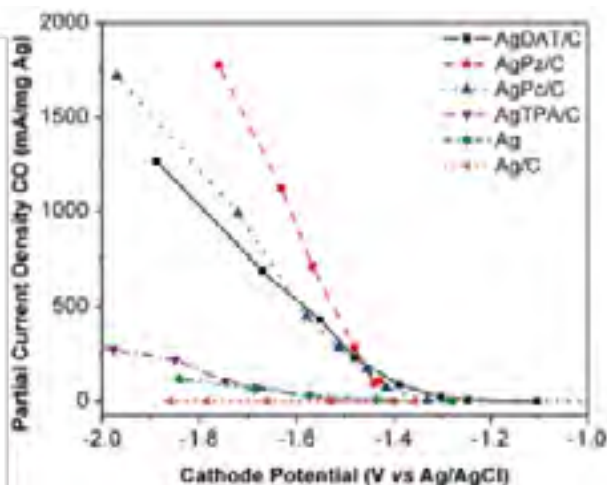
Fig. 2 水素チャージした試験片の破壊起点となった介在物の寸法の極値統計分布 (引張試験と疲労試験結果の一致、材料 SAE52100)

二酸化炭素の一酸化炭素への還元のための窒素ベースの触媒

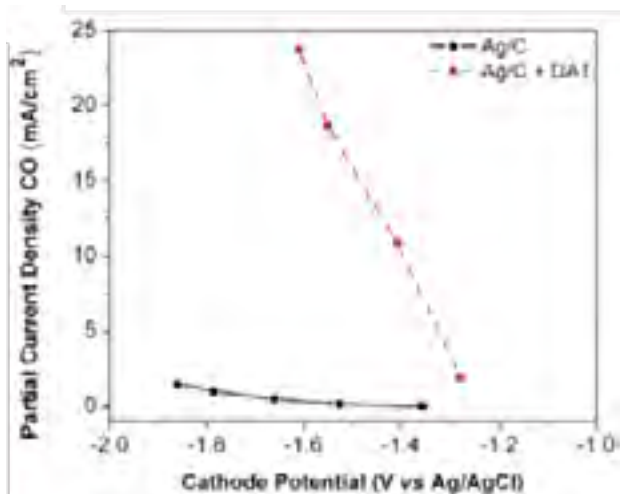
Claire E. Tornow, Michael R. Thorson, Sichao Ma, Andrew A. Gewirth, and Paul J. A. Kenis

Journal of the American Chemical Society, 2012 Dec 5; 134(48):19520-3. DOI: 10.1021/ja308217w.

カーボン(炭素)担時の窒素ベースの有機金属銀触媒の合成し、電気化学的フローリアクター(連続流式反応器)を用いて、二酸化炭素の還元に対する触媒能を調べた。これらの選択的一酸化炭素生成に対する性能は、銀触媒と同程度であったが、銀担時量は銀触媒のそれよりかなり低い。この有機金属触媒のファラデー効率は、90%より高く、銀触媒のそれと同程度であった。さらに、Ag/Cへのアミン配位子の付加により、一酸化炭素への部分電流密度は顕著に増加した。これは、一酸化炭素触媒機構を示唆している。本論文では、二酸化炭素還元機構に対して、活性と選択性を如何に改善するかについて、またこれらの錯体を如何に炭素担体に集積されるかについて、多くに知見が得られた。



1) 窒素ベースの銀触媒を用いたカソードの銀に対する一酸化炭素の部分電流密度とカソード電位の相関

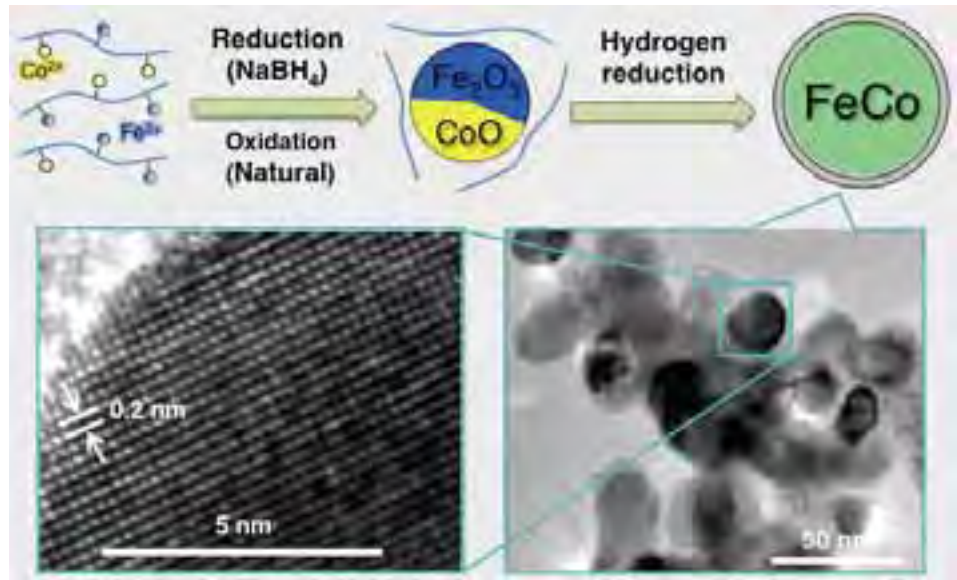


2) 一酸化炭素の部分電流密度に対してのDAT添加銀/カーボン電極と銀/カーボン電極の比較

水素還元法によって作製された高結晶性bcc型Fe-Coナノ合金の大きな飽和磁化

Md Jafar Sharif, Miho Yamauchi, Shoichi Toh, Syo Matsumura, Shin-ichiro Noro, Kenichi Kato, Masaki Takata and Tatsuya Tsukuda
Nanoscale, 2013 Jan 3. DOI:10.1039/C2NR33467D

ナノメートルサイズの磁石は、データストレージ、イメージングなどの分野での応用が期待されています。Fe-Co合金は二元遷移金属合金の中でもっとも大きな飽和磁化と高いキュリー温度をもつため、そのナノ粒子は高性能磁性素子になると考えられています。これまでに、多くのFe-Coナノ合金の報告例がありますが、その飽和磁化は通常のバルク合金よりも小さい値しか示しません。これは、ナノ合金の空気中での酸化、炭化物の生成、ナノ合金の低い結晶性などの原因によるものと考えられています。合成の後の処理によってこのような問題を解決することができます。我々は有機ポリマーで保護されたFe-Coナノ合金前駆体を水素化で処理する“2-ステップ合成法”により、カーボンで被覆された固溶体型Fe-Coナノ粒子の作製に成功しました。このナノ合金はバルクのFe-Coと同程度の高い飽和磁化を示すことが明らかになりました。



新規に開発した2ステップ合成法により構成金属が均一に固溶されたFe-Coナノ合金を作製した。得られたFe-Coナノ合金はこれまでに報告されているナノ合金の中で最も大きく、バルクのFe-Coと同等の飽和磁化を示すことが明らかになった。

REPORT —レポート—

I²CNER東京シンポジウム Japan-US Collaboration on Energyを開催



平成24年12月7日(金)、カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所(I²CNER)は、東京都千代田区一ツ橋の学術総合センターにおいて、文部科学省、日本学術振興会、米国大使館の後援により「I²CNER東京シンポジウム Japan-US Collaboration on Energy」を開催しました。同シンポジウムでは、有川節夫九州大学総長、吉田大輔研究振興局長、黒木登志夫WPIプログラム・ディレクター、ジョン・ルース駐日米国大使を迎え、各国大使館関係者、エネルギーに関する企業関係者など約150名が参加しました。

本シンポジウムでは、低炭素社会の実現を目指すための戦略や、それを可能とするための科学研究の現状と今後の展望について、トヨタ自動車(株)技術統括部広瀬勝彦主査、九州大学I²CNER佐々木一成燃料電池部門長、イリノイ大学アーバナー・シャンペーン校I²CNERケニス・クリステンセン サテライト副所長からそれぞれの機関における取り組みを報告されました。また、特別講演として米国エネルギー省モンテレー・ガーディナー技術開発マネージャーを招き、米国における水素エネルギー社会の現状と将来性について述べられました。さらに、九州大学I²CNERマーク・パスター招へい教授がモデレーターを務め、登壇者と参加者による、エネルギー問題について活発な意見交換が行われた。ペトロス・ツフロニス所長はシンポジウムの中で、水素エネルギーを基盤とする持続可能で環境に優しい社会の実現に向けて、日米の連携を深めエネルギー問題に取り組みたいと講演しました。



吉田大輔 研究振興局長

John V. Roos 駐日米国大使



パネルディスカッションの様子