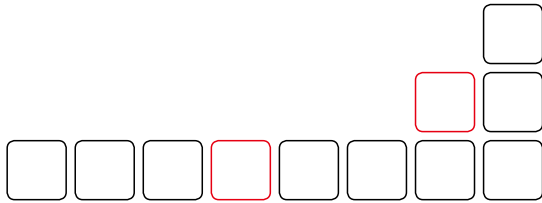


International Institute for Carbon-Neutral Energy Research

Energy Outlook

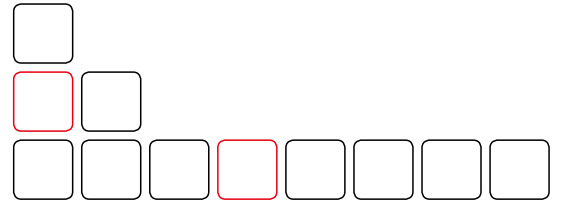
July, 2013

エネルギーの将来について語る



國武 豊喜 (Toyoki Kunitake)

カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所
燃料電池研究部門 WPI 招へい教授
財団法人 北九州産業学術推進機構 理事長



ペトロス・ソフロニス (Petros Sofronis)

カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 所長
イリノイ大学 アーバナ・シャンペーン校 教授

ペトロス・ソフロニス (以下ソフロニス): 國武先生、本日はエネルギー、特に日本における再生可能エネルギーの展望についてのお考えをお聞かせ頂こうと思います。というのも、私たち九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (PCNER) は、低炭素社会の実現に向けた研究に取り組んでいるからです。再生可能エネルギーとのかかわりにおいて私たちはどういう方向を目指していくべきか、先生のご見識、ご意見、専門知識を伺いたいと思います。最初の質問です

が、再生可能エネルギーの未来はどのようなものでしょうか。

國武豊喜 (以下國武): これは実に難しい質問ですね。

ソフロニス: ではもう少し具体的に質問します。やはり再生可能エネルギーの未来についての質問です。例えばアメリカでは、私の知る限り、再生可能エネルギーへの投資が成功する要因はコストです。投資したコストに対して高い効果が得られなければ、積極的に受け入れられません。日本の状況はどうでしょうか？

國武: 日本でも状況は同じです。再生可能エネルギーはどれも、当然ながら石油よりも高くつきます。現段階で、政府が補助金を出しているのはそういう点からだと思います。分かりやすい例がソーラーパネルです。現状では太陽光エネルギーの電気への変換効率は約 10%ですが、理論的には最大 25%は可能と言われています。効率が 2 倍になれば、状況は大きく変わるでしょう。ですから技術の進歩が再生可能エネルギー、特に太陽光エネルギーの利用拡大へと繋がっていくと思います。

ソフロニス: ご指摘の通り、効率を2倍に引き上げることが、飛躍的進歩、いわゆるブレークスルーなのです。効率が重要な課題です。

化石燃料の今後について

ソフロニス: 化石燃料についてはどうでしょうか？ 21世紀において、化石燃料は再生可能エネルギーに対してどのような位置付けにあるとお考えですか。社会・経済において全く化石燃料なしでやっていけるのでしょうか？ それとも化石燃料と他の燃料との併用、エネルギーミックス、ということになるのでしょうか？ 例えばアメリカでは「利用できる資源はすべて活用する」というアプローチを採っています。化石燃料には化石燃料の役割があり、再生可能エネルギーにも役割がある、ということですか。

國武: 過去50年の間、化石燃料の潤涸については様々に言われてきました。国際的民間団体のローマクラブは第一報告書(1972年)の中で40年後の21世紀には、我々は危機的状況に直面するだろうと主張しました。実際はそんなことはありませんでした。今日では、シェールガスという新たなエネルギーもあります。今後しばらくの間、日本において化石燃料はこれまでと同様に重要な役割を果たすと思います。日本には、ほとんど化石燃料はありません。海外から輸入しているため、輸送コストがかさんでいます。その点が、自国でも産出しているアメリカと日本における価格情勢の大きな違いに繋がっているのです。将来的に、日本が海底のメタンハイドレートからメタンを回収できるようになるまで、日本の化石燃料の値段は安くはならないのではないかと考えています。

ソフロニス: なるほど。では化石燃料の利用に関して、二酸化炭素の回収と貯留(CCS)についてはどの様にお考えですか？ 二酸化炭素の排出を削減しようとするならば、二酸化炭素を回収し、また有用製品へ転換できる技術の実用化に向けて、最先端の科学を追及するべきで

しょうか？ またそれにあたって考慮すべき点はどのようなことでしょうか？

國武: 異なる2つの事例をご紹介します。まず、発電所や製鉄所から大量に二酸化炭素が排出されているケースです。この場合の二酸化炭素は、濃度が高いため、とりわけ貯留が重要になってきます。もう一つのケースは、輸送機関や農業など、その他の「放散」源からの排出です。この場合は、回収が困難です。2例目においては、二酸化炭素の削減には燃料の消費効率を高めることが必要です。長期的にはおそらく人工的な光合成や遺伝子操作による光合成が有効になるでしょう。

ソフロニス: 実に興味深いです。國武先生のご意見としては、将来、現状打破を狙う役割を担うのがそうした技術なのですか。だからこそ、我々は各種システムのエネルギー高効率化にこそ力を注がなくてはなりません。

國武: 地球規模で考えると、回収すべき二酸化炭素は膨大な量です。それをどのようにして回収するか？ それは、容易ではなく、機械的に行うには莫大な費用がかかります。分散した人工触媒を太陽光エネルギーと組み合わせることも二酸化炭素削減の一助になると思います。分散エネルギーと分散資源の組み合わせというわけです。

日本における再生可能エネルギーの利用

ソフロニス: 日本におけるソーラーパネルによるエネルギー生産といえば、飛躍的なアイデアかもしれませんが、日本を取り囲む海の上に設けた筏にソーラーパネルを取り付ける、というのはどうでしょうか？ 日本は山が多い国ですから、太陽から十分なエネルギーを確保するだけのソーラーパネルを陸地に設置する余地はありません。洋上の利用はいかがでしょうか？

國武: それは高くつきますね。

ソフロニス: 多額の費用がかかるのですか？ ここでもコストが問題として浮上しました。

國武: そうですね。コストの面を考えると、耕作放棄地の利用はどうでしょうか？ 耕作されていない農地にソーラーパネルを設置する。農村部は都市部に比べるとコストがかからない。ところが洋上となると、コストがかかります。

ソフロニス: 洋上風力発電所についてはどうでしょうか？ 送電系統に連系できるような発電タービンはどうですか？

國武: 沿岸から20~30km離れた沖合からエネルギーをどのように陸地に移送するかが問題だと思います。送電距離が長いと、その途中で膨大な電力が失われます。だから、遠隔地から電気を運ぶための超伝導送電ケーブルの実用化が待たれるのです。超伝導ケーブルは銅線よりもはるかに効率が良いからです。

ソフロニス: この様な技術の革新こそが、IPCCが将来展開させることのひとつだと思います。

未来を担う大学院生へ

ソフロニス: さてここで、この研究所の特徴に関する質問をさせていただきます。IPCCは九州大学内にあり、大学院生の研究者が参加しています。大学院生を含め、若い世代に対して、何かアドバイスはありますか？ 将来、社会に出て目標や希望を実現するためだけでなく、社会の一員として貢献するためには、若者は教育を通じて自分の知識形成をどのように進めていけばよいのでしょうか？ また、エネルギーの将来を考えた場合、どのような教育が必要でしょうか？

國武: 私の場合、ペンシルベニア大学で博士号を取得しました。日本の教育システムだけでなく、アメリカのシステムや大学院も経験しています。アメリカではトレーニングが大変重要視されていました。かつての日本のシステムは徒弟制度が根底にありましたが、次第に変化してきています。現在のように学生数が増加すると教育の効率を上げるためには標準化した対応をせざるを得ないとは思いますが、それでもトレーニングという側面は非常に重要です。いずれにしても大学院生にとつ

で重要なのは、好奇心を持つこと、勤勉であること、成長することに対して貪欲であることだと思います。

ソフロニス: 日本の学生は実によく勉強していると思います。

國武: 確かにそうだと思いますが、改めて基礎の重要性を皆さんに伝えたいです。ペンシルベニア大学での経験で素晴らしい点は、日本で学んだ化学の工学的側面に加えて、基礎物理学や基礎化学、物理化学の基礎的側面を学ぶことができたことです。基礎は、どのような場合においても重要です。エネルギー関連の研究開発においては、特に幅広い視点が必要とされます。科学と工学技術の様々な側面を理解していなければなりません。基礎知識があれば、異なる側面から物事を見ることが容易になるのです。

ソフロニス: おっしゃる通りです。例えば成果が得にくい分野に係わるようになったとしても、基礎をきちんと理解していれば、また再出発できる。反対に基礎ができていなければ、再出発もままならない。それはもっともなご意見だと思います。

國武: 我が国の工学部で何十年も前に行われていたような、極端に工業的な教育はあまり良くないと思います。それよりも基礎の方がはるかに大事です。

ソフロニス: 全く、おっしゃる通りです。私自身、学校でもっと基礎知識を身につけておけばよかったと思っています。例えば量子力学の分野などです。学校では機械工学を勉強したエンジニアなので、量子力学については詳しく学んでいません。今日、機械工学を応用する中で、量子力学に関する課題が必然的に含まれていることがあります。研究分野や技術がそれぞれの境界を越えて互いに係わり合っている現状では、従来のような単一分野だけを学ばせる教育では不十分です。包括的アプローチの重要性を痛感します。

高等教育について I²CNER へのアドバイス

ソフロニス: 私どもの研究所に関して何かアドバイスをいただけますか？ 重点

的に取り組まねばならないのはどこでしょうか？ 國武先生はすばらしいキャリアをお持ちですし、日本の大学制度についても精通されています。ご承知のように、世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) は異分野融合や大学の改革を目指しています。活発な交流とイノベーションなど、多分野にまたがるいわゆる学際的アプローチを大学が導入・拡充するのを促し、研究者が異分野の融合的アプローチを採り入れることができるように文部科学省は WPI を財政的に支援しています。要するに、大学という場を議論が活発にできるような場に変えるのも WPI のコンセプトの一つです。

國武: 50 年ほど前、九州大学で教鞭を取るためにペンシルベニアから日本に戻った頃、所属した学科は、アメリカの大学院教育制度を導入したばかりでした。これは学生に新たな論題についての論文を作成させ、教授グループの前でプレゼンさせてから 1 時間の個別討論を行うというものです。日本でも多くの学部で基本的なこのシステムを活用していると

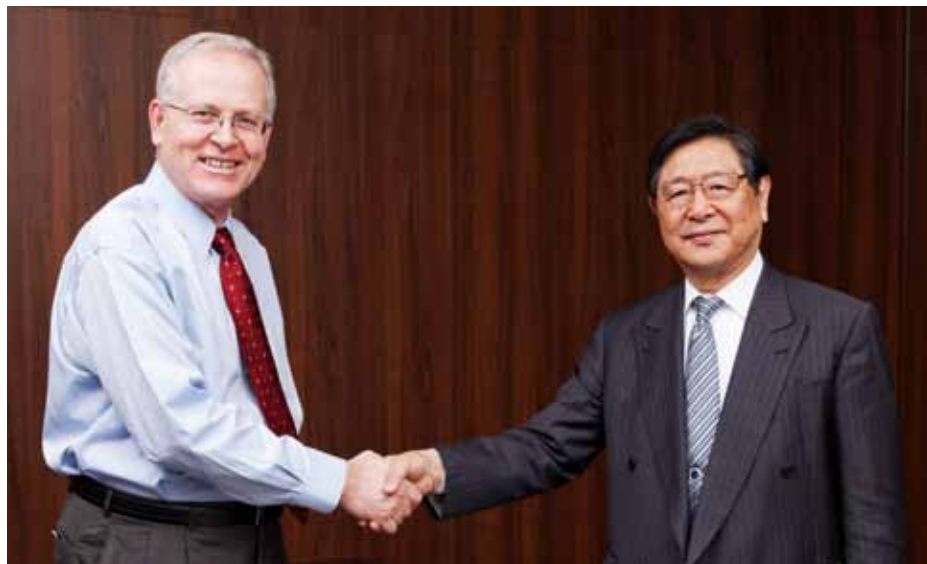
思います。実際、これはとても有益です。学生は自ら考えて新しいものを生み出さなければなりません。その過程で十分に鍛えられるのです。このような柔軟性のあるトレーニングが最も重要だと思います。

ソフロニス: 同感です。これは大学院生から指導教授への創造的モデルです。言い換えれば、学生にはイノベーションの自由がある例です。

國武: 時として教授は、自分の研究室に所属する大学院生を労働力の一つ、補助的役割者と思ってしまうことがあります。

ソフロニス: アメリカでも同様ですが、一部にすぎないと思います。最終的には学生は指導教授の良き協力者になり、また指導教授は学生から学ぶことも多々あります。大学院生をその専門分野で指導教授を越えるような優秀な人材に導くのが、大学院教育の目的ではないかと私は思います。本日は、お話をどうもありがとうございました。これからも、アドバイスをいただければと思っております。

國武: こちらこそありがとうございました。



ペトロス・ソフロニス (Petros Sofronis)

1987-1990: カリフォルニア大学サンタバーバラ校 学術研究員
1991-1997: イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 理論応用力学科 助教授
1997-2004: イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 理論応用力学科 准教授
2004-現在: イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 理論応用力学科 教授
2007-2012: イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 機械科学工学科 力学プログラム次長
2010-現在: 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 所長

國武 豊喜 (Toyoki Kunitake)

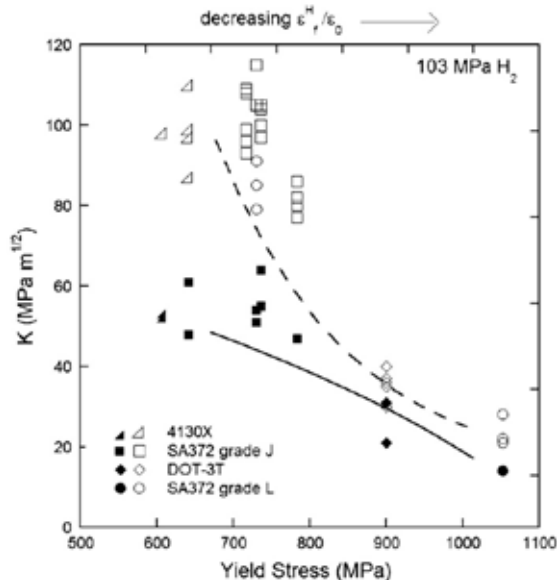
1974-1999: 九州大学工学部 教授
1992-1994: 九州大学工学部 部長
1999-2008: 北九州市立大学国際環境工学部 教授・副学長
1999-2007: 理化学研究所 フロンティア研究システムグループディレクター
2007-現在: (株) ナノメンブレン 代表取締役
2009-現在: (公財) 北九州産業学術推進機構 理事長
2011-現在: 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 WPI 招へい教授

RESEARCH HIGHLIGHTS

高圧水素ガス中における鋼のき裂先端ひずみとき裂の安定成長限界の関係

Kevin A. Nibur, Brian P. Somerday, Chris San Marchi, James W. Foulk, Mohsen Dadfarinia and Petros Sofronis
 Metall and Mat Trans A, 44, 248-269(2013) DOI: 10.1007/s11661-012-1400-5

水素貯蔵システムの安全のために考慮すべき課題の一つは水素脆化現象である。水素脆化によって構造部材における疲労き裂進展は促進され、破壊靱性が低下する。この材料劣化現象を正しく理解し考慮しなければ、予期しない破局的な破壊が起こる可能性がある。高圧容器などの貯蔵機材の余寿命予測において重要なことは、稼働環境、すなわち 100 MPa までにわたる高い圧力のもとでの鋼のき裂進展抵抗に及ぼす水素の影響を正確に測定することである。本研究では、100 MPa 水素ガス中における圧力容器用鋼を対象として、水素助長き裂進展の限界を二つの標準試験法によって測定した。一つは定変位破壊力学試験であり、き裂停止破壊靱性値を求めた。もう一つは変位漸増破壊力学試験であり、き裂発生破壊靱性値を求めた。従来、これらの標準試験法によって同一のき裂進展限界の値が得られると考えられてきた。しかし本研究において、き裂停止破壊靱性値はき裂発生破壊靱性値よりも大きく、低強度の鋼においてこの違いが顕著に現れることがわかった。このことは、低強度鋼の水素圧力容器の余寿命評価にき裂停止破壊靱性値を用いると、危険側の評価となり得ることを意味する。以上の結果は、低強度鋼のき裂先端近傍の局所的な力学にもとづいて説明することができる。すなわち、これらの鋼でき裂進展が水素によって助長されるときのき裂先端のひずみ場は、二つの試験法で同じではない。



103 MPa 水素ガス中における定変位試験によるき裂停止破壊靱性値 (白抜き記号) と変位漸増試験によるき裂発生破壊靱性値 (黒塗り記号) の降伏応力との関係。実線と破線はそれぞれひずみの関数式 [3] 及び [7] を示す。

カーボンナノチューブを燃料電池用導電担体として利用可能にする技術

T. Fujigaya, N. Nakashima
 Advanced Materials, 25, 1666-1681(2013) DOI: 10.1002/adma.201204461

高い電気化学的安定性を持つカーボンナノチューブ (CNT) は燃料電池触媒耐久性向上に向けて、従来のカーボンブラック (CB) の代替材料として注目されている。しかし、高い電気化学的安定性をもたらす欠陥の無いグラファイト構造は一方で触媒担持に不利で、白金触媒の高分散担持が困難であった。我々はポリベンズイミダゾール (PBI) というポリマーが CNT の表面に均一コーティングでき、さらに白金担持の「のり」となることを発見した (図 1)。添加した白金のほぼ 100% が担持される極めて高効率な担持法で、白金のサイズ均一性や分布の均一性に優れる手法である (図 1)。PBI は電気的には絶縁性であるため、コーティング厚を数ナノメートルに制御することで触媒ナノ粒子との電子授受を可能にしている。さらに、PBI は酸ドーブによりプロトン伝導性を付与可能であるため、担持された白金周りには確実に三相界面が形成される (図 2)。PBI はプロトン伝導に加湿が不要で、しかも 100°C 以上でも動作するため、発電効率向上、触媒被毒の回避等が可能な電池が実現できる。実際に我々の触媒をリン酸ドーブ PBI 膜で発電した結果、120°C、無加湿状態で高い出力密度が得られた。

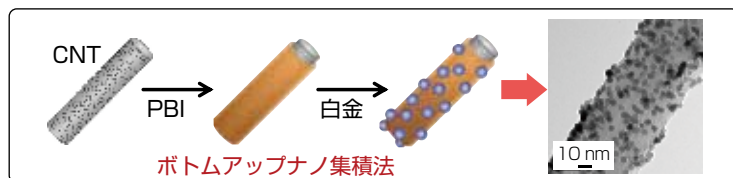
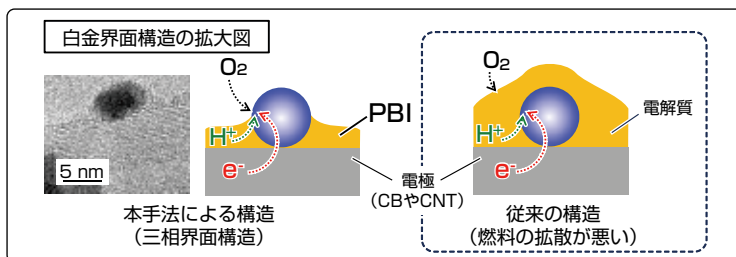


図 1 新しく開発した触媒担持法スキーム作製した触媒の電子顕微鏡写真

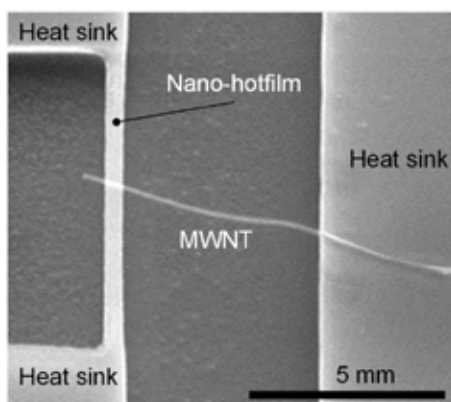
図 2 従来法と本手法により作製される触媒界面構造の比較



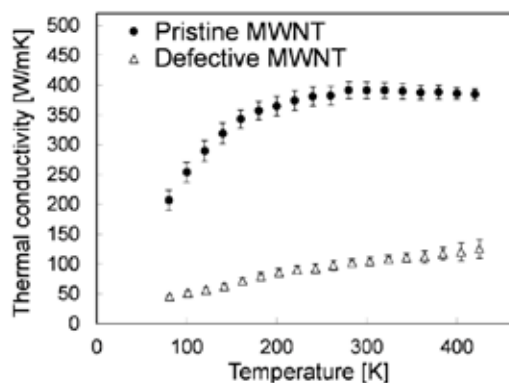
多層カーボンナノチューブの熱伝導の巨大異方性

Hiroyuki Hayashi, Tatsuya Ikuta, Takashi Nishiyama, and Koji Takahashi
 Journal of Applied Physics, 113, 014301(2013) DOI: 10.1063/1.4772612

一般論として、 sp^2 結合の強さとフォノンの平均自由行程の長さによってカーボンナノチューブは高い熱伝導率を持つことが知られているが、安価で各種応用が進んでいる多層ナノチューブの熱伝導機構の詳細はほとんどわかっていない。ここでは、その多層ナノチューブの熱伝導について、欠陥の有るものと無いものをそれぞれ1本だけで計測することによって詳しく調べた。なお、欠陥は大気中で熱酸化させることで試料に与えている。実験データを解析した結果、多層ナノチューブの「層」に沿った方向と垂直な方向では熱伝導率に4桁も差があることがわかった。この大きな異方性は層の間に存在するギャップによるものであるが、これによって、体積比で全体の2.8%だけ外側の層に欠陥ができただけで熱伝導率が74%も下がることがわかった。今回の発見は、熱伝導率が長さによって変化するという興味深い熱物性現象を初めて合理的に説明するとともに、ナノ材料の熱輸送特性は個々の原子レベルの構造に大きく依存することを示唆している。



MWNT 1本の熱伝導率を計測する実験装置

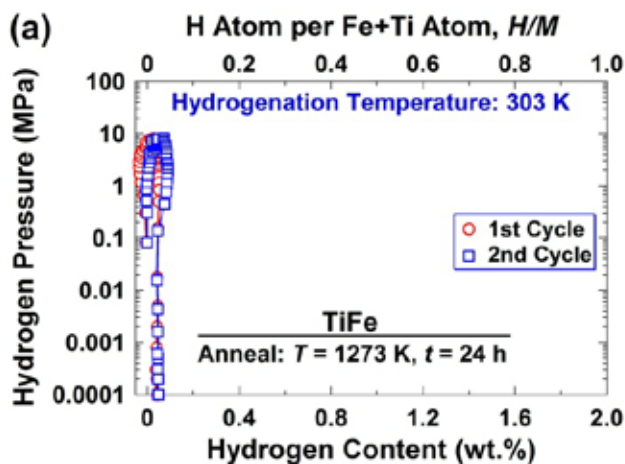


欠陥の無いMWNTと有るMWNTの熱伝導率の計測結果

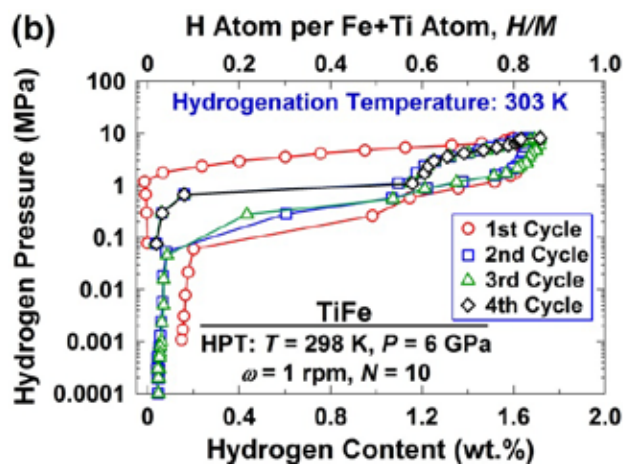
高圧ひずみ加工による TiFe 水素貯蔵合金の活性化

Kaveh Edalati, Junko Matsuda, Hideaki Iwaoka, Shoichi Toh, Etsuo Akiba, Zenji Horita
 International Journal of Hydrogen Energy, 38, 4622-4627(2013) DOI: 10.1016/j.actamat.2013.02.042

TiFe 金属間化合物は定置式水素貯蔵システムへの応用が期待される材料であるが、最初に水素吸蔵する際、 400°C 以上の高温、数 MPa の高圧水素雰囲気下での活性化処理が必要である。本研究では、この TiFe を高圧ひずみ (HPT) 加工することにより、初期活性化の必要なく、室温で 1.7 wt% の水素を可逆的に吸蔵・放出させることに成功した。安価な TiFe を高温高圧の設備を必要とせず、室温で水素貯蔵材料として活用できれば、水素を利用したエネルギー貯蔵技術に関して大幅なコスト削減が期待できる。



熱処理のみ TiFe の水素吸蔵・放出曲線

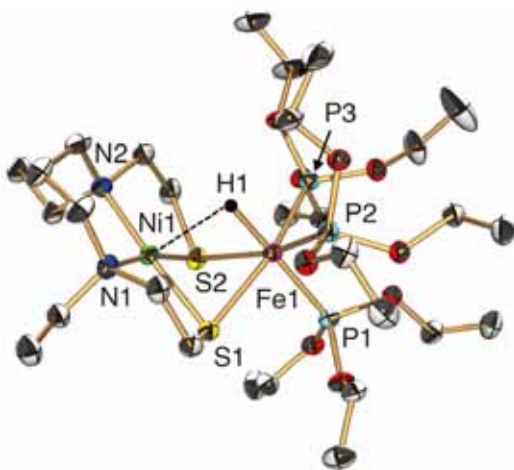


熱処理後 HPT 加工した TiFe の水素吸蔵・放出曲線

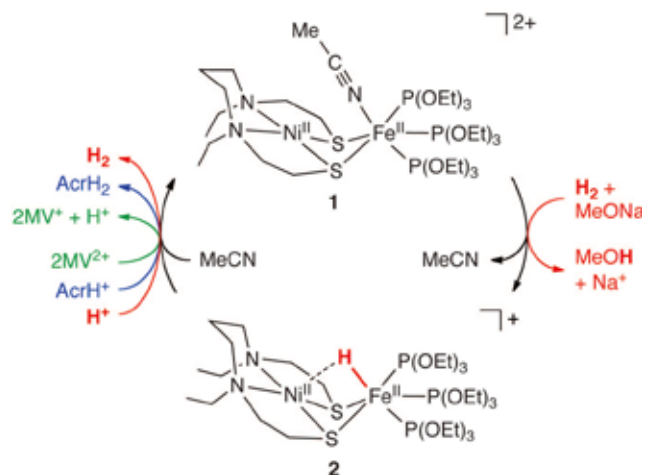
水素から電子を取る貴金属フリー触媒を開発 – 水素活性化酵素の完全モデル化に成功 –

Ogo S., Ichikawa K., Kishima T., Matsumoto T., Nakai H., Kusaka K., Ohhara T.
 Science 339, 682 (2013) DOI: 10.1126/science.1231345

自然界に存在する水素活性化酵素「ニッケル - 鉄ヒドロゲナーゼ」をモデル(模範)として、同様の働きをする新しいニッケル - 鉄触媒を開発した。そして、この触媒を用いて、常温常圧で水素から電子を取り出せることを示した。これまで、自然界の酵素をモデルとすることで、安全・高性能・低コストな人工触媒の開発が多く試みられてきた。これまでの、最良の機能モデルは、2007年に九州大学の同研究グループが開発したもので、「鉄」ではなく貴金属である「ルテニウム」を使用したニッケル - ルテニウム触媒であった。今回、ルテニウム (240 円 /g) の代わりに、約 1/4000 の価格の鉄 (0.06 円 /g) を使用した系での水素の活性化に初めて成功し、学術的な価値だけでなく、今後の燃料電池用の触媒などへの応用を考えると画期的な進歩と言える。



ニッケル - 鉄触媒の結晶構造



ニッケル - 鉄触媒を用いた水素からの電子抽出

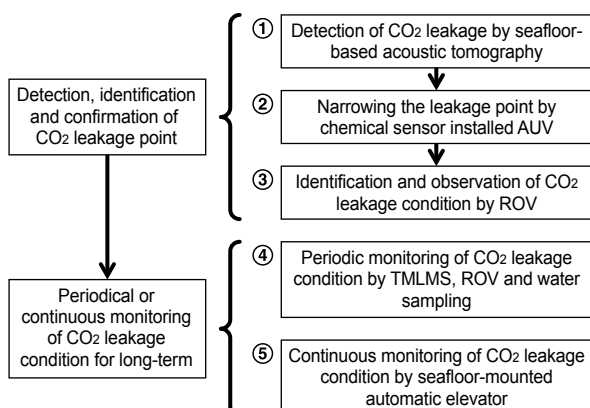
海底下地層貯留における漏洩 CO₂ の検知・モニタリング技術の開発

Kiminori Shitashima, Yoshiaki Maeda, Takashi Ohsumi
 Applied Geochemistry, 30, 114-124 (2013) DOI: 10.1016/j.apgeochem.2012.08.001

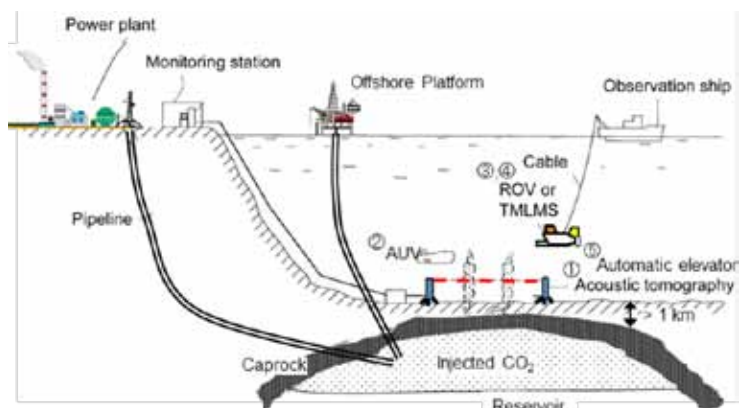
大気中の CO₂ 排出削減策として、分離・回収した CO₂ を地中に貯留する技術 (CCS) の研究開発が注目を集めている。海底下地層貯留の実施に際しては、海中への貯留 CO₂ 漏洩の検知・監視が重要であり、その技術開発が望まれている。

海底からの CO₂ 漏洩の広範囲検知のため、海底設置型の音響トモグラフィー装置を開発した。海水中 pH 変動の高精度現場計測のため、応答の早い現場型 pH/pCO₂ センサを開発した。CO₂ 漏洩の自動観測のため、センサが搭載できる AUV を開発した。海中への CO₂ 拡散挙動観測のため、複数のセンサを同時に曳航できる観測システムを開発した。CO₂ 拡散挙動の空間的な時系列観測のため、海底設置型のセンサ自動昇降装置を開発した。

漏洩 CO₂ の検知・モニタリングの実施は以下のように行う。①複数の音響トモグラフィー装置を漏洩が懸念される場所に広範囲に配置し、海底面上の顕著な密度場の乱れの発生を監視する。② CO₂ 漏洩によって生じる密度場の乱れを検知したら、センサ搭載 AUV を投入し、その地点の詳細なマッピング観測を行って漏洩箇所を特定する。③さらに ROV 等を投入して漏洩状況の確認や、モニタリング用にセンサ自動昇降装置を設置するとともに、曳航式観測システムによる定期的な観測によって漏洩 CO₂ の拡散挙動をモニタリングする。



漏洩 CO₂ の検知・モニタリングの手順



漏洩 CO₂ の検知・モニタリングの概略

AWARDS

ヘルムホルツ・インターナショナル・フェロー・アワード

Harry L Tuller 教授

(燃料電池研究部門 主任研究者 (マサチューセッツ工科大学))

エネルギー分野における素晴らしい業績が認められヘルムホルツ・インターナショナル・フェロー・アワードを受賞しました。

日本化学会 第30回学術賞

小江 誠司 教授

(触媒的物質変換研究部門 部門長 主任研究者)

「ヒドロゲナーゼ機能モデル錯体による触媒的水素活性化とエネルギー創出」の業績が認められ学術賞を受賞しました。

第14回 日本金属学会学術功労賞

堀田 善治 教授

(水素貯蔵研究部門 主任研究者)

金属学または金属工学に関する学術または技術の進歩発展に功労があった者として日本金属学会学術功労賞を受賞しました。

平成25年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞

小江 誠司 教授

(触媒的物質変換研究部門 部門長 主任研究者)

「水中での小分子活性化分子触媒の研究」の成果が認められ科学技術賞・研究部門を受賞しました。

EVENT INFORMATION



IMPRES
International Symposium on Innovative Materials for
Processes in Energy Systems 2013

September 4 - 6, 2013,
Fukuoka, Japan

International Symposium on Innovative Materials for Processes in Energy Systems 2013 (IMPRES2013)

日時：2013年9月4日－6日

場所：九州大学 伊都キャンパス I²CNER 棟

詳細：<http://power.mech.kyushu-u.ac.jp/impres2013/>

このIMPRESシンポジウムは燃料電池、ヒートポンプ、熱貯蔵、取着システムなどの機能材料や応用側面の開発に真摯に取り組んでいる研究者の参加をお待ちしております。コンサルティングエンジニア、設計技師、建設会社や建築家、メーカーや大学などの研究者の参加が見込まれています。IMPRESは3年に一度開催され、今年は2007年(京都)、2010年(シンガポール)に続き3回目になります。ここ福岡にて活発な意見交換を行いたいと思っております。