

NATIONAL  
INSTITUTE FOR  
MATERIALS  
SCIENCE

# NIMS NOW

No. 4  
2011 MAY

## マイクログリッド社会へ

分散型エネルギー社会実現に貢献する材料開発

## Science & Mission

潮田理事長、岸顧問と語る



# SCIENCE & MISSION

## サイエンスとミッション 潮田資勝理事長、岸 輝雄顧問と語る「NIMS 次の5年間」

NIMSは平成23年4月から第3期中期計画をスタートしました。第1期、第2期の10年間でナノテクノロジーを活用した材料技術の革新を目標に着実な成果をあげ、一流の研究機関として定着したNIMSの次の5年間の課題は何か。潮田理事長と岸顧問に語り合っていました。

### ミッション・オリエンテッドな研究機関として

潮田: 国の研究機関のミッションというのはいち早く定義されているので、わたしたちはそれをかなりまじめにやるべきだと考えています。もちろん、自由な発想による研究が、研究者にとって大事なことはいうまでもありませんが、全員が勝手にやっていると国にとって困ったことになる。

事業仕分けでも気がついたのですが、まず、社会に対するサービスを強調することがもっと必要であると…。同じときに言われたのですが、「君たち確かによく勉強して、いい仕事をしている。でも、それが社会に対してはどうなの…」と。

それを踏まえて、第一に、国の研究開発に関する中核機関として広く国内外の研究者に対する研究支援をおこなう。それから、研究者は一般市民のサイエンス・リテラシーをあげる努力をし、子供たちの教育にも貢献する。こうしたことは研究者にとって決して雑用ではなく、本務の一部と認識して、しかるべきエネルギーと資源を投下するという事です。もうひとつ、社会ニーズというのは刻々と変わります。レアメタルが来ない、地震が来た、原子力発電所の問題、というように…。その時に、研究者が自分の専門にこだわって何十年も同じ椅子に座っていても困るのです。むしろそれぞれのエキスパートを何に使えるかを考えてもらいたい。フレキシブルに人材を運用したいのです。ここには1000人以上の研究者がいます。研究の自由は尊重しますが、NIMS全体のベクトルはある程度そろえたいというのが、わたしの方針です。

岸: 独法がミッション・オリエンテッドな研究機関だとすれば、それは当然のことです。そのあたりが、独立行政法人と大学とを区別する



潮田資勝 NIMS理事長

ものなのではないでしょうか。国からのトップダウンと研究者からのボトムアップという両者の違いが、今のお話の中にすべて含まれていると思います。

潮田: われわれの大事な機能の一つに、テク

ノロジーにおける国のプレーンであるということがあります。官僚組織はアドミニストレーションですから、行政官として方針を作る役割が主であって、専門知識はやはり研究者に分がある。したがって、その中身について検討し、こう進むべきだと提案しなければいけないのは我々の側なのです。そこで新たに調査分析室を設置しました。物質・材料に関する情報収集機関にして、それをプランニングに反映させ、国に対するアドバイザーの役割を果たしたいと考えています。

岸: それは昔からわたしもやりたいと考えていたことです。文部科学省にしる、内閣府にしる、実際にわたしたちが研究方針などについて具体的に考え、それを強力に発言していけば、その声を政策に取り入れざるを得ないでしょう。

潮田: そのためには、今までのようにお役所から問題を出されて答えるのではなく、こちらから提案を持っていくようにしなくてはなりません。したがって、そうした提案づくりに責任を持つ部署と、それに命をかける人がどうしても必要でしょうね。

岸: 調査分析室にやはり兼任でなく、何人かの優秀な人材を送り込むことが肝要でしょうね。国内的にも国際的にも高いセンスと能力を持った人が望まれます。

潮田: 1000人以上の研究者がいるんだから、そのうちの何人かは、行政に対する働きかけを専一にするべきですね。みんながいい子のお勉強だけじゃ困るのです。

岸: ただ、一つ問題は、政策提案などにすぐれた人材は、研究者としてもきわめて優秀だということです。

潮田: 天は二物を与え給うというわけですか…。

岸: 調査分析室も、科学技術政策研究所などにみられるように、情報を集めてきてまとめるだけ、発言・提言はしないというのではダメなので、発信することがたいへん重要です。

### ライフ・イノベーションは材料研究だ

潮田: ところで、国が基本計画でグリーン・イノベーション、ライフ・イノベーションを標榜していることを受け、NIMSにはそれに従ったプロジェクトとして、GREEN(ナノ材料科学環境拠点)というのがあるのですが、ここ半年ほどの間、リクルートで採用した人はすべてここに入れることにしています。幸い応募は多くて、世界中から137人の研究者が応じてくれていますので、これから大いに力を発揮してくれることと期待しています。ライフに関してはこれまでちょっと弱かったのですが、これも頑張らなければならない分野ですね。

岸: DNAをはじめ、生体材料は物質のもっとも精密な組み合わせであり、その代表が人体なので、それを排除して材料研究はできません。ライフ・テクノロジーはとても重要な分野で、長期的に考えれば、日本はここで大きな成果をあげて、将来輸出技術にまで高めていかないと厳しい国際競争の中で生きていけないでしょう。NIMSのライフ部門をそうした国策に込められるようにするためには、中心になって引っ張っていく優れたリーダーを呼んで、その人にすべてを任せ、お金や人をドーンとつけるといった思い切った策をとることが大事です。さらにその組織は理事長直轄にして、あいだに人を入れないようにすることも必要でしょう。強力なリーダーは、他人に余計な口を出されることを

いやがりますから…。

潮田: なるほどそうかもしれませんね。



岸 輝雄 NIMS顧問

### 研究をすすめるとともに国のプレーンとなる

潮田: 我々の社会貢献としては、端的に言うとして研究成果をインダストリーにいかすという

ことになるのでしょうか。ただ、企業と違う点をいえば、NIMSではサイエンスをしっかりやる、ということです。一過性のものでなくサイエンスに基づいた普遍性のある成果であることが要求されると思うのです。

話は変わりますが、研究者は10年もやったら一度自分の研究を見直して、テーマを変えるということがいいのではないのでしょうか。もっといえば、NIMSから企業へ、企業からNIMSへ人が動くのがいい。一所懸命という言葉が日本人は好きですが、これがいけないのかもしれない。ひとつのところに命をかけるというのではなく、もっと融通無碍の方がいい。そういう意味では、今度の地震はいい機会かもしれない。実験装置が動かないのだったら、外へ出てやればいい。外国の機関でも、受け入れてくれるところはたくさんあります。

岸: 強制的なサバティカルか…。それに、NIMSの研究者は一般に実験に追われすぎているのだから、この機会に実験は少し控えて、頭を使うことも考えたらいいのではないかと。他所へ行くのも、そのためのチャンスでしょう。

潮田: 最近の若い人は優秀で、全体のクオリティは上がっているんで、そういう人たちが自分の手をつかって研究をやる習慣を身につければ、きっといい結果が生まれてくるでしょう。そして繰り返しになりますが、この期の終わる5年後のNIMSは、研究所として世界の一流の座を占めているのはもちろん、科学研究プロパーの人と社会的なテククラートが協力して研究をすすめると同時に、国の科学技術政策推進のなかで重きをなすようになっていいたいと考えています。■

エネルギーのあたらしいかたち

# マイクログリッド

— その実現に寄与する材料開発 —

## 高性能発電・蓄電用材料の研究開発プロジェクト

大きな転換点を迎えているエネルギー問題。将来のエネルギー政策の選択肢として、脚光を浴びているのがマイクログリッドと呼ばれる、分散型小規模発電・供給システムだ。その実現に寄与するためのキーを握るのが、蓄電と高効率発電、廃熱利用などの新技術。NIMSでは今期、それらに特化したプロジェクトを立ち上げ、より意欲的に取り組んでいく。



Interview

## マイクログリッド社会がやってくる

高性能発電・蓄電用材料の研究開発プロジェクト  
プロジェクトリーダー

西村 睦氏

— 東日本大震災の影響で原子力発電所事故が起こり、これからの日本を考えるとエネルギーをどうするかが一番大きな問題になっているという思いがあります。エネルギー関連の研究者として、西村さんご自身はどんなことを考えていらっしゃいますか。

**西村:** 震災が起こる以前には、鳩山前首相のCO<sub>2</sub>25%削減宣言があり、それに応じて昨年(2010年)6月には経済産業省のエネルギー計画が、ゼロエミッション電源(再生可能エネルギー、原子力発電等)を2020年までに50%以上にしようという構想を打ち出していました。

この計画では原子力発電の割合を現在の2-3割から5割程度まで増やそうという考えに頼っていたのですが、今度の事故でそれはもろくも崩れてしまったわけです。したがって構想の実現は非常に厳しい状況なのですが、そうかといって化石燃料の割合を増やすわけにもいけませんので、グリーンエネルギーベースをますます大事にしていかなければなりません。

ひとつの方向としては、原子力発電所や化石燃料を使った火力発電所のような、大規模集中型の電源が少なくなると思います。マイクログリッドといわれる、分散型小規模発電・電源とネットワークを組み合わせ、相互に電力を融通し合うようなシステムになるのではないかと思います。

社会実験はおそらくもうすぐはじまるでしょう。復興地域などからはじめていけるかもしれませんが、もしかしたらそのまま本格的に導入されるかもしれませんね。

— 分散型の電源を活用ということになれば、太陽光や蓄電池、それに燃料電池が重要になってきますね。

**西村:** 太陽光による発電を効率的に利用するためには蓄電が重要です。二次電池は自動車への応用で脚光を浴びていますが、太陽光発電にも必要なんです。それとバイオなどからのグリーンな水素を利用する燃料電池、さらに将来は廃熱を回収する熱電材料など、

こうしたクリーンなエネルギーの重要性は、いっそう高まるということで、われわれは大いに責任を感じて身が引き締まる思いです。

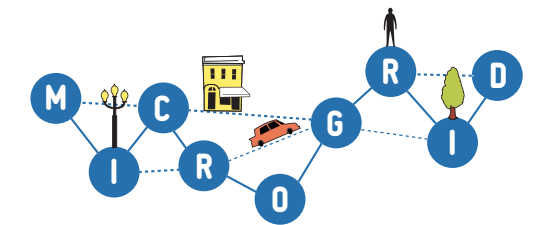
— 西村さんのところでは、そうした研究をいらっしゃいますか。

**西村:** いま申し上げた、エネルギー利用の効率化に直接寄与することが期待される、蓄電や発電にかかわる高性能新材料の開発に取り組んでいます。二次電池、水素と燃料電池、燃料合成のための触媒、廃熱回収の熱電材料といったところです。

電気と水素という点でいえば、たとえば自動車の利用法を考えた場合、電気自動車だけでは不十分なんです。つくば市内、東京都内といった、せまい範囲なら電気自動車でもいいのですが、長距離を走ろうとなると、エネルギー密度的にやはり燃料が欲しい。そこで水素が期待される、ということになります。家庭におけるオール電化というのでも善し悪しで、燃料によるエネルギー源もあつたほうがリスク分散の観点からベターだと思うんです。電気と、水素をはじめとする燃料との両立が望ましいんじゃないですか。

— 二次電池、燃料電池の現在における課題は何でしょうか。

**西村:** リチウム二次電池は、すでに一般にも広く使われています。燃料電池も2009年に家庭用にエネファームが出てきましたが、まだすべてコストが高いですね。燃料電池は低温ではたからせるために白金(Pt)の強力な触媒作用が必要です。その動作温度は現在80°Cぐらいですが、より温度をあげると白金を使わなくてすむようになり、コストが下がる。そこで5年のうちに150°Cまで動作温度をあげるのが我々の目標です。この目標は中期計画にも盛り込まれているので、達成しなければならない具体的な数字です。それから、特に二次電池ではコストと同時に性能と安全の両立をはかることも大切です。携帯電話は同一機種が100万台単位で使われています。バッテリーも同じですから、1ppmの確率で事故が起こっても困る



のです。1ppm以下の確率とは人間社会で例えると、京都のような大都市に犯罪者が一人いるかないかという状況です。二次電池はこういう厳しい制約の下で実際に使われていますので、そのレベルを守りながら高性能化を図ることが求められています。

— 研究者の方々は、そうした国家的なプロジェクトにどう対応しているのですか。

**西村:** もちろん、研究は自由に楽しめる状況をつくり出すことが好ましいのですが、環境エネルギー材料部門の研究は、国策に基づいてきちんとしたミッションをかかげておこなうので、材料技術の実用化に向けて、少し泥臭い努力を、そして社会貢献をするという意識を持とうと考えています。

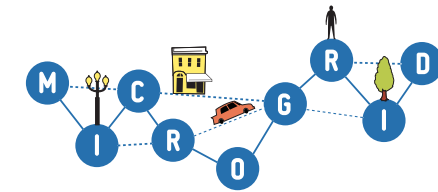
— 西村さんご自身の研究はいかがですか。

**西村:** 燃料電池用の燃料である水素を、アノード(負極)でプロトン(陽子)と電子に分ける際には、前にも言ったように白金の触媒が使われるのですが、この触媒は水素の中に一酸化炭素が5ppmも入っているとダメージを受けるのです。それを防ぐためには、動作温度をあげて白金を使わなくする方法以外にも、不純物のない、高純度の水素をつくり出すことが重要で、わたしはそれに従事しています。また、同じユニットでは、メタンなどを改質して、水素を製造するための触媒の研究もやっています。

— 研究者としての夢は何でしょうか。

**西村:** マイクログリッドなどの分散型エネルギーシステムができるだけやく実現することを願っています。わたし自身は水素をやっているんで、水素が電気と相補的につかえる二次エネルギーとして確固たる地位を築くことを期待しています。電気と違って水素はモノですから、蓄えやすい利点もあります。そうした水素社会の構築に貢献できたらうれしいなと考えています。

にしむら ちかし:プロフィールはP7に掲載。



## 定置型分散電源を実現する、高温・無加湿な固体高分子形燃料電池の開発

環境・エネルギー材料部門 電池材料ユニット  
燃料電池材料グループ

金 濟徳、全 文錫、鈴木 彰

### 固体高分子形燃料電池への期待と課題

固体高分子形燃料電池 (polymer electrolyte fuel cell, PEFC) は、高い出力密度を得られるという特徴と、高い信頼性を有する燃料電池であることが知られており、自動車駆動用電源、定置型分散電源、携帯機器電源などの用途向けに開発がすすめられています。

一方、作動温度(100℃以下)が低いため、空気極(正極)での過電圧ロスによる効率低下や水素に含まれているCOガスにより、燃料極(負極)が被毒され過電圧ロスが増大して、電極活性の低下が起こるなどの問題があります。

こうした問題を解決するために、高温領域(100~200℃)において、無加湿で高プロトン伝導性を示す電解質膜の開発が活発化されています。高温領域で無加湿運転が可能になると、耐CO特性の向上、Pt使用量の低減、改質システムの簡素化、水蒸気管理の簡素化、冷却システム簡素化、システム熱効率の向上のような利点があり、低価格化が可能になります。

現在、PEFC用の電解質として使用されているのは、パーフルオロスルホン酸系のイオ

ン交換膜であり、Nafion(ナフィオン)膜が代表的なものです。この膜はミクロ的に主鎖部分が集まった疎水性の「骨格領域」とイオン交換基を含む側鎖が集まった親水性の「クラスター領域」に相分離した構造を有しています。このクラスター領域に水を取り込むことで、この中を水素イオンが移動し、高いプロトン伝導性を発揮します。

### ハイブリッド電解質膜を開発、さらなる高プロトン伝導体の実現を目指す

これまでの研究では、これらの伝導機構を模倣し、高温・無加湿用電解質膜としてナフィオン酸のナノポーア(nanopore:多孔質薄膜)に陽子(プロトン、H<sup>+</sup>)のアクセプタ(電子受容体)として塩基性モノマー(単量体)を導入し、加湿系でのナフィオン酸に対して水代わりの役割を果たすようなハイブリッド電解質膜の開発をおこないました。

その中でプロトンアクセプタ材料として1,2,4-triazole(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>N<sub>3</sub>)とBenzimidazole(Bz)と1,2,3-triazoleが有効な候補であることが分かりました。また、これらの塩基はナフィオンのナノポーアに導入できることがX-線小角散乱法から明らかになりました。

これらの伝導度を調べた結果(図1)、1,2,4-triazoleとBzを用いたハイブリッド系は1,2,3-triazole系より伝導度は高いのですが、高温領域で、膜の中で塩基の溶解による析出や電解質膜が壊れやすいなどの問題がありました。一方、Nafion-1,2,3-triazoleハイブリッド膜は、伝導度は他よりも低いですが、柔軟性が非常に高く、薄い(50μm以下)膜の作製も可能で、さらに水系でも安定していました。

次期ではこれらの電解質膜のさらなる高プロトン伝導体の実現を目指しながら、膜-電極接合体(図2)による単セルの作製(図3)や100~200℃での電池特性を評価し、安定性を調べる予定です。さらに、酸-塩基配列を原子レベルから制御し、界面での高速プロトン伝導が可能な高温プロトン伝導体の合成や膜による高温燃料電池への実現を目指します。

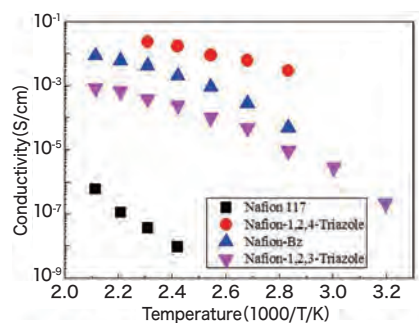


図1 伝導度特性

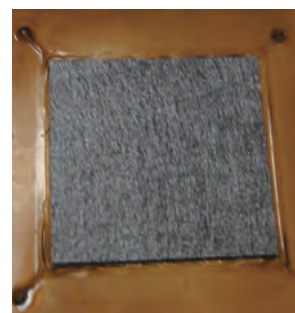


図2 膜-電極接合体



図3 単セル

きむじょく 博士(工学)。金沢大学自然科学研究科博士課程修了。2000年名古屋大学大学院工学研究科 リサーチ・アソシエイト。2002年産総研電力エネルギー研究部門ポスドク。2005年NIMS研究員を経てから現職。/ そんむんそく 博士(工学)。九州大学総合理工学府 博士課程修了。2010年よりNIMSポスドクとして勤務。/ すずきあきら (工学修士)。1974年東京大学大学院理学系研究科化学専攻修士課程修了、1975年石川島播磨重工業株式会社(現IHI)、2005年サムスン総合技術院を経て2009年よりNIMS特別研究員として勤務。

## 高純度水素を精製するための分離用合金膜の開発

環境・エネルギー材料部門 水素利用材料ユニット  
ユニット長

西村 睦

固体高分子形燃料電池を用いた通称「エネファーム」が2009年に市場導入されました。低温作動を特徴とする固体高分子形燃料電池では、アノード触媒に白金(Pt)が用いられていますが、そのPtが数ppm程度のCOによって性能劣化を起こすため、燃料の水素は高純度であることが要求されています。現在水素ガスの大部分は工業的にメタンの水蒸気改質法で作られており、反応途中で生成するCOを除去した後にPSA法という大がかりな方法によって高純度化しています。エネファームには燃料処理装置が組み込まれており、都市ガスを改質してシフト反応の後、COを除去する三段階を全て触媒によっておこなっていますが、装置のコンパクト化とプロセスの効率化が求められています。

このように高純度水素を効率的に得る技術が求められていますが、期待されているのが金属系水素分離膜です。水素分離膜用としてはパラジウム(Pd)合金が古くから実用化されていますが、希少で高価なため、実用は極めて限定されています。そこで、安価で資源豊富な材料で代替する試みが世界中でおこなわれており、NIMSでは低温でも高い透過流量を得ることのできるバナジウム(V)に着目しています。

### V合金水素分離膜の開発

水素の拡散による単位面積当たりの透過量(フラックス)は、水素の拡散が律速の条件下では、拡散係数(D)と膜両面の水素濃度差(ΔC)の積を膜の厚さ(L)で割った値になります。水素濃度は、余り高くすると脆い水素化物が生成したり、体積膨張が大きくなり膜を破壊してしまうので、適度な値に抑える必要がありますが、拡散係数は大きければ大きいほど有利です。Pdは原子が最も密に詰まった面心立方構造であるのに対し、Vは隙間の大きい体心立方構造であり、水素のような小さな原子は極めて速く拡散することができます。200℃と比較するとV中の水素の拡散係数はPdより一桁大きくなっています。

そのVにNiを添加して水素吸収量を適度に下げ、また強度と延性のバランスを持たせることで、分離膜を20ミクロン程度まで圧延可能であり、表面に100nm程度の薄いPd合金を被覆することで、極めて高い水素透過流量が得られることを明らかにしました。

### 完全分離の実現とモジュール化

図1は、冷間圧延で作成した厚さ32ミクロンのV-15Ni合金の表面に100nmのPd-Ag

合金を被覆した水素分離膜について、Heを10%含む混合ガスを用いて300℃で連続水素透過をおこない、透過ガスを質量分析計により分析した結果です。

H<sub>2</sub>ガスのみが透過実験開始直後から増加するものの、ほぼ同じ分子径を持つHeは長時間経っても全く透過しません。一方、製膜法で作成した薄い膜では、どうしても多少のピンホールが存在するため不純物ガス成分も多少は透過してしまいます。今回の成果は、希少資源であるPdの使用量を大幅に減らした複合膜が大処理速度の高純度水素製造技術に有望であることを示し、固体高分子形燃料電池用の燃料製造コスト削減に貢献するものです。これまでに、図2のように、面積14cm<sup>2</sup>のV合金薄板試料とフランジを一体化させた水素分離モジュールを作成し、それを用いて水素透過をおこない、不純物ガスのリークなく高い水素透過量が実現できるまで研究はすすみました。

今後は、より高い処理速度の実現と、実ガスに近い多くの不純物を含むガスを用いて耐久性を高めるとともに、次世代の水素製造法として期待されているメンブレン・リフォーミングで用いることのできる耐熱性を持たせることを目指し、研究をすすめていきます。

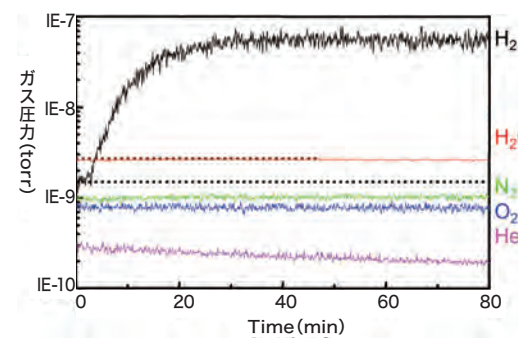


図1 質量分析計による透過ガスの分析結果: 32ミクロンのV-15Ni, 573K, H<sub>2</sub>+ 10%He.

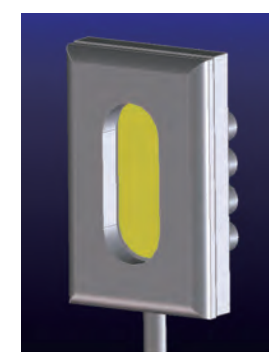
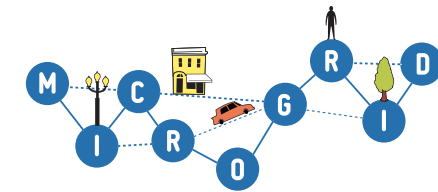


図2 試作した水素分離モジュールの模式図

にしむら ちかし 博士(工学)。早稲田大学大学院修士課程修了。1984年金属材料技術研究所入所。1996年早稲田大学博士(工学)学位取得。2006年燃料電池材料センター長、2011年水素利用材料ユニット長。



## 低コスト、高効率な水素製造触媒の開発

環境・エネルギー材料部門 水素利用材料ユニット  
合金触媒材料グループ

許 亜、出村雅彦、平野敏幸、蔡 安邦

近年、燃料電池の燃料として注目を集めている水素は、自然界には単独で存在しないので、炭化水素などから製造する必要があります。燃料電池用水素製造システムには、従来の大型水素製造装置では要求されない特殊な性能(小型、頻繁な起動停止および負荷変化への応答性、低水蒸気炭素比(S/C)条件下の運転)が求められます。そのため高性能な新しい触媒の開発が必要です。わたしたちは、純金属や合金では得られない物性を示すことが多い金属間化合物に着目しました。低コストで高効率な燃料電池用水素製造システムを実現するために、耐熱性と触媒性をあわせ持つNi基金属間化合物を用いて、貴金属不要の高性能な水素製造触媒を開発しています。

### Ni<sub>3</sub>Al基金属間化合物箔触媒活性の発見

Ni<sub>3</sub>Al金属間化合物は優れた高温での機械的特性を持ち、高温構造材料として研究開発されてきました。わたしたちは世界ではじめてNi<sub>3</sub>Alの冷間圧延箔の開発に成功し

ました(図1の写真)。このNi<sub>3</sub>Al箔は水素製造システム用の容器材として有望です。さらに、Ni<sub>3</sub>Al箔がメタノール、メタンから水素を製造する反応に対して高い触媒活性と選択性を示すことを見出しました。図1の曲線はNi<sub>3</sub>Al箔のメタノール分解反応(CH<sub>3</sub>OH ⇌ 2H<sub>2</sub> + CO)に対する触媒活性を調べたもので、供給メタノールのうち反応したメタノールの割合(メタノールの転化率)の時間変化を示しています。反応初期にメタノールの転化率が急速に増加しています。これは、Ni<sub>3</sub>Al中のAlが選択的に酸化され(図2a)、箔表面に活性なNi微粒子が生成されたことによることを突き止めました。反応の進行に伴い、Ni微粒子を担持したカーボンナノファイバーからなる、比表面積の大きい表面ナノ構造(図2b)が形成されます。

### 組織・組成制御、表面処理によるNi<sub>3</sub>Al基金属間化合物触媒の活性の向上

Ni<sub>3</sub>Al/Ni<sub>2</sub>相微細組織を有する冷間圧延箔を酸、アルカリ中で表面化学処理するとメ

タンの水蒸気改質に対する触媒活性が向上することがわかりました(図3)。その原因を以下のように明らかにしました。酸処理をおこなうとNi<sub>3</sub>Al相が選択的に溶出し、表面に微細なマイクロポーラス構造が形成します。その後のアルカリ処理によって表面層からAl元素を選択的に溶出するとNi微粒子が生成します。これらのNi微粒子が触媒活性化の役割を担っていると考えられます。

このように、優れた耐熱性を有するNi<sub>3</sub>Al基箔は表面に高活性のナノ構造層を形成すると、容器材と触媒の2役を兼ねることができ、貴金属触媒不要の水素製造用システムの開発が可能と考えられます。

現在、わたしたちは、種々のNi基金属間化合物に対し、組成・組織、結晶・電子構造と触媒特性との関係を調べるとともに、表面処理の最適化と微細組織の制御という2つの手法を用いて、触媒特性を更に向上させるための研究をおこなっています。目指すものは、反応効率で貴金属触媒に匹敵する新しい水素製造用触媒の実現です。

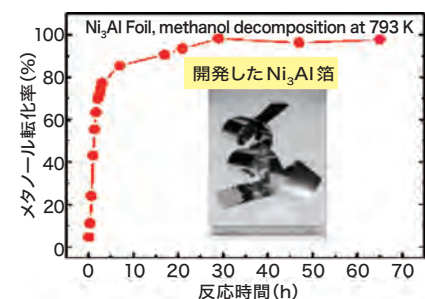


図1 開発したNi<sub>3</sub>Al冷間圧延箔のメタノール分解に対する触媒活性

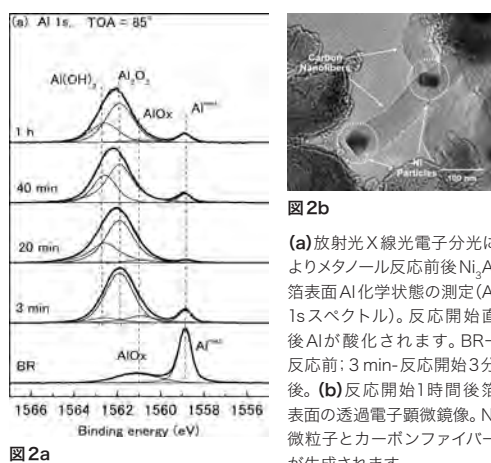


図2b (a)放射光X線光電子分光によりメタノール反応前後Ni<sub>3</sub>Al箔表面Al化学状態の測定(Al 1sスペクトル)。反応開始直後Alが酸化されます。BR-反応前; 3 min-反応開始3分後。(b)反応開始1時間後箔表面の透過電子顕微鏡像。Ni微粒子とカーボンファイバーが生成されます。

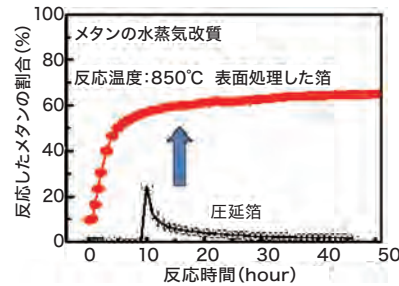


図3 表面処理(酸・アルカリ)によりNi/Ni<sub>3</sub>Al複相箔の触媒特性の向上。

## リチウムイオン電池の全固体化

環境・エネルギー材料部門 電池材料ユニット  
ユニット長

高田和典

環境・エネルギー材料部門 電池材料ユニット  
二次電池材料グループ

大西 剛

二次電池の基本的な構造は、電気を蓄える正極と負極、その間をイオンの移動により電気を運ぶ電解質でつないだもので、わたしたちが普段目にする電池の電解質はイオンの移動しやすい液体でできています。それに対して、固体であるにも関わらずイオンが電気を運ぶ物質があり、このような材料を固体電解質と呼びます。

固体電解質を用いることにより、電池を長寿命で信頼性の高いものにすることができ、今日もっとも普及している二次電池であるリチウムイオン電池においては、可燃性電解質に起因する安全性の課題を根本的に解決し、電気自動車などで必要とされる大型電池への道をもひらくものとして大きな期待がかけられています。

### 高性能全固体リチウム電池の開発

長寿命で安全な全固体リチウム電池ですが、電池を全固体化した場合に問題が生じます。それは電池から取り出すことのできる電流が小さなものになってしまうことです。

この問題の解決には、高速でリチウムイオ

ンが移動する固体電解質が必要で、現在では10<sup>-3</sup> S・cm<sup>-1</sup>を超えるイオン伝導度を持ついくつかの固体電解質が開発されています。中でも硫化物の固体電解質は高電圧に対しても安定しており、粉末をプレス成型しただけで高いイオン伝導性が発現するという特質もっています。しかし、このように優れた性能をもつ硫化物の固体電解質ですら、全固体リチウム電池の出力性能を実用十分なものにまで高めることはありませんでした。

今回NIMSでは、全固体リチウム電池の出力律速過程が正極活物質と固体電解質の界面にあるリチウムイオンの欠乏した空間電荷層にあることを見出しました。さらに、この空間電荷層の形成を抑制する独自の界面設計を導入することで、図1に示すように不燃性の固体電解質を用いながらも有機溶媒電解質を用いたリチウムイオン電池と同等の出力性能を達成したのです。

### 界面イオン伝導の研究

イオン伝導体の界面では特異なイオン伝

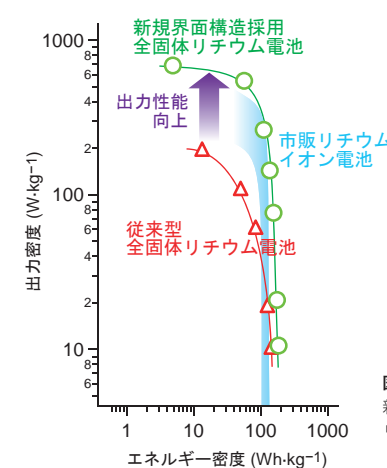


図1 新しい界面設計導入による全固体リチウム電池の出力性能向上

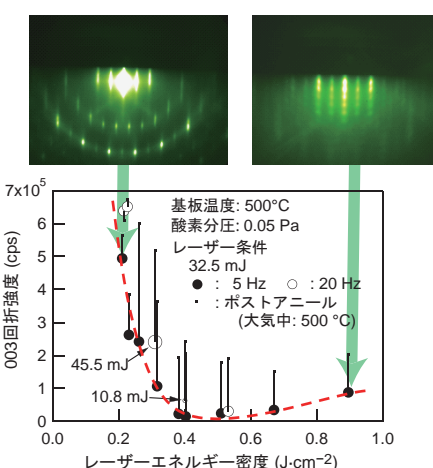
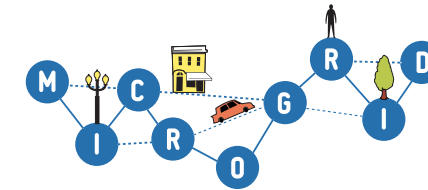


図2 パルスレーザー堆積法によるLiCoO<sub>2</sub>の薄膜単結晶化

しゅや 博士(工学)。筑波大学大学院博士課程修了。2000年産業技術総合研究所NEDO 研究員、2003年NIMS主任研究員、2005年同主幹研究員。／でむらまさひこ 博士(工学)。東京大学大学院修士課程修了。1995年金属材料技術研究所研究員、2005年NIMS主任研究員。／ひらのとしゆき 博士(工学)。大阪大学大学院博士課程修了。1975年金属材料技術研究所入所。2007年NIMS特別研究員。／さいあんぼう 博士(工学)。東北大学大学院博士課程修了。1990~1996年東北大学金属材料研究所、1996~2003年NIMS、2004年~東北大学多元物質科学研究所教授、2007年~NIMS金属間化合物研究グループリーダー(兼任)

たかだ かずのり 博士(工学)。大阪大学大学院理学研究科博士前期課程修了。松下電器産業、無機材質研究所を経て、環境・エネルギー材料部門 電池材料ユニット ユニット長。／おおにしつよし 博士(工学)。東京工業大学大学院総理工学研究所博士課程修了。東京大学物性研究所助教を経て、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点MANA 研究者。



## エネルギーを有効利用し発電する高性能熱電変換デバイスの実現

環境・エネルギー材料部門 電池材料ユニット  
エコエネルギーグループ  
篠原嘉一

先端の共通技術部門 量子ビームユニット  
中性子散乱グループ  
辻直人

MANA ナノエレクトロニクス材料ユニット  
半導体デバイス材料グループ  
後藤真宏

### 環境にやさしいエネルギー変換技術

熱電変換とは物質中のキャリアによる熱エネルギー輸送現象を応用した、ソリッドステート(固体状態)のエネルギー変換のことをさします。物質に温度差を与えるだけで発電したり、電流を通すだけで冷却や加熱が可能です。したがって、地熱や太陽熱などの再生可能エネルギーや低品位の排出エネルギーによる発電およびフロンレスの冷却・加熱ができ、環境にやさしいエネルギー変換技術です。

エネルギーや地球温暖化の問題が深刻度を増すなか、エネルギーや廃熱を有効利用して発電をおこなう高性能な熱電変換デバイスの実現が望まれています。

このデバイスは電極部、熱電材料およびそれらの接合部で構成されますが、デバイス性能は主に熱電材料の性能で決まります。熱電材料の性能は性能指数  $Z (= S^2 \sigma / \kappa)$  または無次元性能指数  $ZT$  で評価され、 $Z$  は材料に1Kの温度差を与えたときのエネル

ギー変換効率を意味します。ここで  $S, \sigma, \kappa, T$  はそれぞれ、ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率、絶対温度です。熱電材料の高性能化には材料の電気伝導率、ゼーベック係数をより大きく、熱伝導度をより小さくする必要がありますが、これらは互いに相反する特性です。

熱電発電では、特に出力因子(性能指数の分子項)を大きくすることが重要であり、電気伝導率とゼーベック係数のトレードオフは解決が急がれる課題です。これらの問題に対して、当プロジェクトでは物質探索とプロセス開発の両面で正面から取り組みます。

### 物質探索とプロセス開発

物質探索の側面からは、図1に示すような  $Ba_8Al_xSi_{46-x}$  化合物に注目しました。カゴ構造の中にとりこまれたBaイオンが熱伝導率を低減させる物質で、組成制御により無次元性能指数が  $ZT \sim 0.3$  まで増加しまし

た。計算によると物質中の不純物や欠陥を減らすことで、性能指数の分子項は二倍以上向上すると予測されます。鉄と銅を含む半導体試料でも大きなゼーベック係数を観測しており、3d電子の強い相関に関連した新しい物質設計を見出したいと考えています。

熱電変換においては物質の特性がアウトプット(電力)に直結しているため、この物質探索は大変やりがいのある研究です。

また、プロセス開発としては、前述した相反する特性を共に満たすことのできる新しい熱電材料を見出す目的で、主にコンビナトリアルスパッタ成膜手法を活用し、材料の結晶構造・組成あるいは多層膜構造などをナノレベルで制御・作製する技術の開発をすすめています。

これにより開発した新しい材料と熱電変換特性との相関について詳細に研究することで、熱電変換効率の大幅な向上にむけたブレイクスルーを目指します。

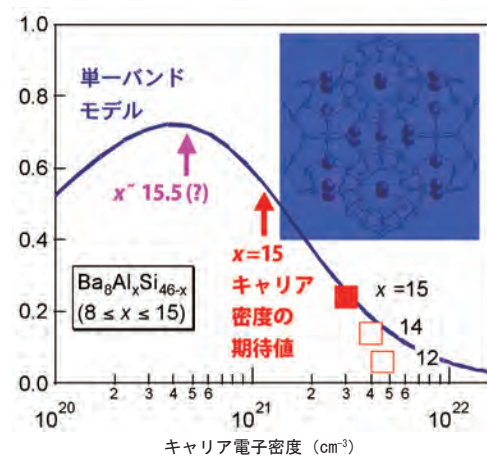


図1 計算による性能向上予測

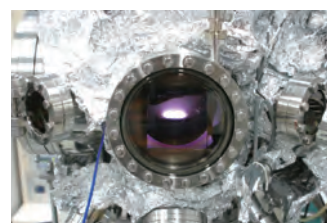
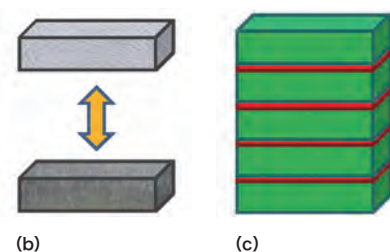


図2 (a)

(a) コンビナトリアルスパッタ成膜装置の放電の様子

(b) 成膜条件を高精度で制御し、必要とする材料の結晶構造・組成を再現性良く作製

(c) 多層膜・超格子構造を全自動で作製



(b)

(c)

## ナノ多孔体を用いるクリーン燃料合成用触媒

MANA独立研究者  
Ajayan VINU

2008年から2010年度にかけて、わたしたちは科学技術総合推進費補助金による研究「燃料電池用新規ナノ構造化触媒材料の開発」に取り組みました。これは高比表面積、大細孔容積および均一細孔径分布などの優れた構造パラメータを有する炭素や炭窒化物を、貴金属・遷移金属または遷移金属酸化物で修飾したPEM型燃料電池用の新規ナノ多孔電極材料の開発を目指したものです。

この研究で、ナノ多孔炭素または炭窒化物支持体の表面上に白金触媒粒子を分散させるためには、多孔体の化学組成と構造パラメータを制御することが重要であることを明らかにし、表面上への高分散に成功しました。また、貴金属に数パーセントの遷移金属イオンを添加することで、電極中の貴金属量を1/10に減らすという目標も達成しました。

これら、わたしたちの研究開発した炭素、または炭窒化物は市販の電極支持体であるカーボンブラックと比較して、はるかに高い電極触媒特性を示すことが明らかになりました。この成果は、低コストで高い安定性を持つ次世代の燃料電池を実現する確かな道を拓くものと期待されます。

### 再生可能燃料合成用触媒の開発

現在、CO<sub>2</sub>排出増に起因する温暖化が地球に大きなダメージを与え、世界中に破滅的な状況を生み出しています。バイオ燃料や水素など再生可能な燃料を提供する技術を確認することが、温暖化ガス排出をなくすために極めて重要です。また、再生可能燃料は、持続性・炭素循環への影響が小さいこと、および温暖化ガス排出が小さいということから最近脚光を浴びています。

わたしたちはこれまでの成果を進展させ、優れた構造特性を持つ新規ナノ多孔体を利用して、燃料合成用の触媒を開発することに焦点を絞ることとしました。窒化物、フラーレン、金属シリケート、ヘテロポリ酸やゼオライトなどの表面に異なる金属酸化物を分散させた、様々な材料の合成を提案しています。

メインとなる研究テーマは、強塩基性のナノ多孔窒化物を合成し、それによってCO<sub>2</sub>を捕捉し、燃料への転換に用いることです。そうすることでCO<sub>2</sub>排出削減とクリーンな燃料製造に貢献できます。

これらの有望な触媒材料を用いて接触分解や、エタノールまたはグリセロールからの改質などによって水素、バイオ燃料およびア

ルコールに転換することも視野に入れていきます(図1)。特に、動物油脂や使用済み植物油、あるいはグリースを100°C以下の低温でのエステル交換によってバイオディーゼルを製造したり、その副産物としてグリセロールを製造することを目指します(図2)。副産物のグリセロールは、上記多孔体を金属または金属酸化物で修飾した触媒を用いて250~350°Cの温度範囲で水素のようなクリーン燃料に改質することができます。さらにメタノール、エタノールやプロパノールなどの各種有機分子から、通常法よりもはるかに低い温度で水素ガスを改質することも提案しています。

本研究の有利な点は前述のようなクリーン燃料の合成プロセスを開発するにとどまらず、ナノ多孔触媒を短時間で、環境に優しく省エネルギーな方法で合成できることです。例えば、前駆体は安価でありながら高比表面積で大細孔容積、さらに熱的にも機械的にも化学的にも安定であるため長寿命です。結果として、本研究によってプロセスコストが大幅に低減されるため、環境に優しいクリーン燃料製造プロセスの早期の実用化が見込まれます。

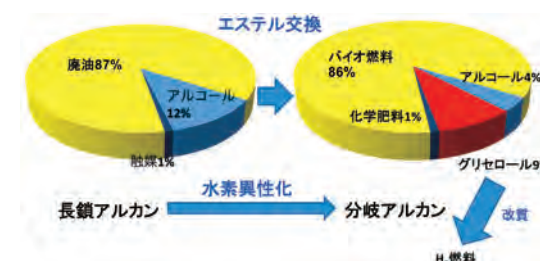


図1 エステル交換の概念図

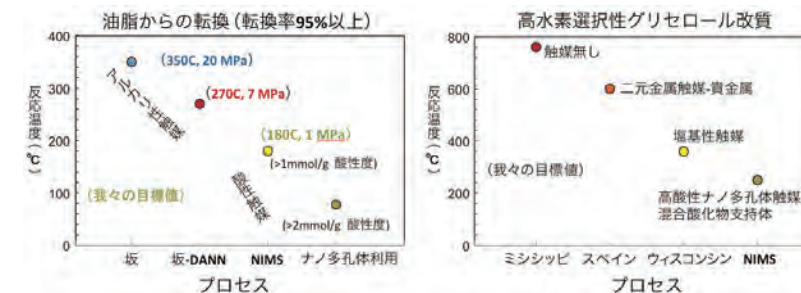


図2 研究の目標値

しのはら よしかず 博士(工学)。1989年東京大学大学院工学系研究科修了、金属材料技術研究所研究員、2001年NIMS研究員、2002年東北大学多元研助教授、2005年NIMS研究員を経て現職。／ つじい なおと 博士(理学)。1999年京都大学大学院理学研究科修了、NRIM研究員。2001年NIMS研究員。2008-2009年カリフォルニア大学アービス校客員研究員を経て現職。／ ことう まさひろ 博士(理学)。1994年分子科学研究所協力研究員、1995年新技術事業団博士研究員、1997年JAERI博士研究員、2000年NRIM研究員、2001年NIMS研究員を経て現職。

アジャヤン ビヌ 博士。MANA独立研究者。2004年NIMS入所。2004年-2006年ICYS研究員、2006年-2007年NIMS主任研究員、2007年より現職。

## 1 NIMS 新理事に岩瀬氏が就任

NIMSでは4月1日付で新理事を下記の通り決定しました。任期は2011年4月1日からとなります。



理事 岩瀬公一 (いわせ きみかず)

東京大学理学部化学科卒。東京大学大学院理学系研究科化学専攻修士課程、ダートマス大学経営大学院経営学修士課程修了。科学技術庁、文部科学省宇宙開発利用課長、科学技術振興機構社会技術研究開発センター研究開発主幹、内閣府大臣官房審議官などを経て2011年独立行政法人物質・材料研究機構理事。

1981年に科学技術庁に入庁以来、様々な立場で科学技術行政に携わってきました。前職の内閣府では、イノベーションを通じた課題解決の強化を目指して、科学技術予算編成プロセスや研究開発システムの改革に取り組みました。このような行政や政策のレベルの取組みが活かされ実際に価値が生み出されるのは、研究開発や実用化の現場です。今回、独立行政法人化を契機に発展を続けるNIMSの運営に参画する機会を得ましたので、現場の立場で、我が国の研究開発システムの更なる向上と国民のための価値創出の一端を担えればと思います。

## 2 第5回科学技術の「美」パネル展・最優秀賞受賞

科学技術団体連合(有馬朗人会長)が毎年、科学技術週間などをはじめ、全国で開催している「美」パネル展。研究の課程や成果で撮れた写真や画像(CG含む)で、美しく感動的なもの、興味深いものを公募し、そこから厳選した写真をパネルにして展示しています。展示会の来場者にはアンケートでどのパネルが良かったか投票してもらい、毎年最優秀賞などが選ばれています。

このたび、昨年4月に東京都千代田区の丸の内カフェで展示されたパネルのうち、最優秀賞2点、優秀賞8点が選出され、NIMSの中西尚志主幹研究員(先端的共同技術部門高分子材料ユニット有機材料グループ)の「ナノサイズの金の薔薇」が最優秀賞を受賞しました。4月15日に科学技術館で

おこなわれた表彰式に出席した中西主幹研究員は、来場者にパネル写真が「表面にナノサイズのフレーク構造を持つ分子集合構造を、金に構造転写したときに得られる薔薇の花弁のような美しい模様」であることを説明しました。

4月11日～27日に文部科学省の「情報ひろば」で開催された今年度の「美」パネル展には、NIMSから、竹内正之、中西尚志、友澤方成、内橋 隆、岸本 哲、ガウタム・ウジャル(敬称略)らが提供した画像が展示されました。

作品はJSTのサイエンスポータルでも見ることができます。

>> <http://scienceportal.jp/special/ScienceTechnologyWeek2011/>



(科学技術団体連合事務局撮影)

## 3 つくばフェスティバル2011に出展

平成23年5月14日(土)と15日(日)の2日間、TXつくば駅周辺の4会場にて「つくばフェスティバル2011 ～がんばろう日本 つくりだそうあしたへの絆～」(主催:つくばフェスティバル実行委員会、後援:つくば市、つくば市教育委員会など)が開催されました。本イベントの特色として、つくば市の特色である科学や国際交流を取り入れた多くの催しがおこなわれており、また本年度

は東日本大震災における被災者の支援を目的としたイベントとしても実施されました。

NIMSはつくばサイエンスインフォメーションセンター会場において、『真ちゅうに自分の名前を彫るキーホルダー作り』を中心とした出展をおこないました。これは主に子供対象として例年好評を得ているもので、今回も2日間でのべ416人以上の来訪者を迎える盛況となりました。

