

イベント開催告知 *event*

## WPI 6 拠点合同シンポジウム「世界トップレベルの科学を愉しむ」

WPI 6 拠点合同シンポジウム「世界トップレベルの科学を愉しむ」を開催します。

昨年から、WPI 拠点では全拠点合同で高校生向けシンポジウムを開催しています。今年は MANA がホスト機関となり、つくば市で開催します。今年のテーマは、「科学を愉しむ」です。ナノテクをはじめ、材料、宇宙、そして免疫や細胞といった医学から環境・エネルギーまで幅広い分野の世界トップレベルの研究者たちが、専門的なトピックを高校生向けに噛み砕いて紹介してくれるのが魅力です。

- 会場：つくば国際会議場  
(茨城県つくば市竹園2丁目20-3)  
<http://www.epochal.or.jp/index.html>
- 開催日時：2012年11月24日(土) 13:00～17:00
- 開場：12:00
- 入場料：無料
- 申し込み先：mana-pr@ml.nims.go.jp
- お問合せ先：国際ナノアーキテククス研究拠点  
Tel.:029-860-4710 Fax.:029-860-4706  
mana-pr@ml.nims.go.jp

イベント開催報告 *event*

## MANA 第二期発足式開催

2012年5月7日、WPI-MANA 棟オーデトリウムこのけら落として、MANA で働く全スタッフに向けて、青野正和 拠点長から講話がありました。

MANA の5年間の歩み、「マテリアルズ・ナノアーキテククス」のコンセプト、それに基づいて推進する MANA4 分野の研究の重要性、第二期における MANA の取り組みの概要などについて話がありました。終了後、同日オープンしたメルティングポットカフェにおいて懇親会が開かれました。



## オーストラリア/MANA 合同ワークショップ開催

2012年5月10日(木)、MANA は豪州メルボルン大学他との共催で「Nanoarchitectonics for Innovative Materials & Systems」と題した合同ワークショップを開催しました。本ワークショップは、両国間のナノテクノロジー分野の研究交流や共同研究の推進を目的として行われました。当日は98名の参加者のもと、両機関の研究者や関連分野の招待研究者による、最新の研究成果について15件の口頭発表が行われました。



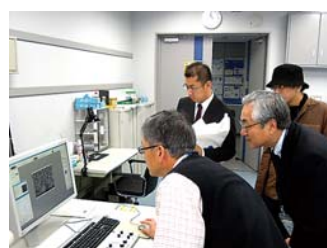
トム・ヒーリー教授  
(メルボルン大学)



ニール・ファーロン教授  
(メルボルン大学)

## 「第53回科学技術週間」にて MANA の研究施設を公開

文部科学省の第53回科学技術週間にあわせ、平成24年4月18日(水)に開催された NIMS 施設一般公開にて、MANA は並木地区の研究施設を一般公開しました。今年は「物質と材料のふしぎ」をテーマに、MANA では研究者自身による実演や実験を含む全10タイトルを公開し、当日は150名近い参加者がありました。

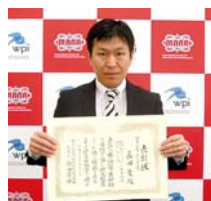


走査型電子顕微鏡のデモンストレーション

受賞ニュース *news*

## 長田実 MANA 准主任研究者、NIMS 理事長賞を受賞

2012年4月2日、MANA 准主任研究者の長田実博士が、第7回 NIMS 理事長賞研究奨励賞を受賞しました。長田博士は、「酸化ナノシートの新規物性開拓とその応用」の研究業績が評価され、この度の受賞となりました。



長田実 MANA 准主任研究者

## 富中悟史 MANA 独立研究者、船井研究奨励賞を受賞

2012年4月14日、MANA 独立研究者の富中悟史博士が、船井情報科学振興財団船井研究奨励賞を受賞しました。同賞は情報技術、情報科学に関する研究について顕著な功績のあった者を褒賞し、同分野の研究の向上発展に寄与することを目的として設けられたものです。富中博士は「超小型エレクトロニクス用オンチップ燃料電池の創製」の研究業績が評価され、この度の受賞となりました。



富中 悟史 MANA 独立研究者(右)

新任研究者紹介 *newface*

## ◆MANA 准主任研究者◆



長田 実



大久保 勇男



木野 日織

## ◆独立研究者◆



三成 剛生



富中 悟史



ダニエレ・ベルコレシ

その他 ICYS-MANA 研究員 3 名が新たに着任しました

「システマティックな探究」と「概念」が  
研究を育てる

— 根岸英一

長年の研究成果が評価されて

— デイミトリ・ゴルバーク

NanoGREEN/WPI-MANA 棟が完成

MANA の研究成果

表面ナノアーキテククスによる高効率光エネルギー変換 — 魚崎浩平

熱電材料の開発について:原子構造レベル、グレインレベル — 森 孝雄

幹細胞分化を制御するスマート・バイオマテリアル — ジャンカルロ・フォルテ

無電荷ひも状逆ミセル

— 既存の常識を覆す自己集合能 — ロック・クマール・スレスタ



## 根岸 英一 NEGISHI Ei-ichi

1958年東京大学工学部応用化学科卒業。同年、帝人へ入社。1960年、同社を退職し、フルブライト奨学生としてペンシルベニア大学へ留学。1963年に同大学院博士課程修了(理学博士)。1966年帝人を退職後、パデュー大学ハーバート・C・ブラウン博士(1979年ノーベル化学賞受賞)の博士研究員となる。その後1968年にパデュー大学ブラウン博士の助手となるが、1972年にシラキュース大学へ移籍。1979年ブラウン教授の招きでパデュー大学へ移籍し、教授に就任。1999年からパデュー大学ハーバート・C・ブラウン化学研究室特別教授。触媒にパラジウム、つなぎかえの目印にアルミニウム(1976)、亜鉛(1977)、ジルコニウム(1977)等を使い、極めて正確にクロスカップリングを行わせる方法を作りたいいわゆる「根岸カップリング」を発見した業績により、鈴木章、リチャード・ヘックと共に、2010年ノーベル化学賞受賞。国内では日本化学会賞(1996)、山田一古賀賞(2007)、文化勲章および文化功労者(2010)、海外ではペンシルベニア大学ハリソンフェローシップ(1962-1963)、アラン・R・デイ賞(1996)、米国化学会(有機金属化学賞)(1998)、ドイツフンボルト上席研究賞(1998-2001)、ハーバート マッコイ賞(1998)、英国エドワードフラン克蘭ド講演賞(2001)など。

◆聞き手：科学ジャーナリスト 餌取 章男

## 有機金属化学への熱い思い

—「クロスカップリング」との出会いはいつごろだったのでしょうか？

私は帝人に入社した1年後にフルブライトの試験を受け、1960年にアメリカのペンシルベニア大学に3年間行くことになりました。私がまだ25歳になったところでしたかね。1年目に専門の勉強がよくできたのが、非常にいい自信につながりました。その頃から「ひょっとして学者にでもなった方がいいんじゃないかな」と思うようになりました。

ペンシルベニア大学で印象に残っているのは、その頃一か月に一、二回は世界でトップレベルの科学者が講演に来られていたことです。ノーベル賞を取られた方や、これから取るのは間違いないと思うような方が次々と。1962年には、私の生涯の師と仰ぐようになるハーバート・C・ブラウン先生がパデュー大学から来られていました。ブラウン先生は、1956年に有機金属化学という当時まだ若い学問分野で、有機ホウ素化合物の合成に成功していました。また、ずいぶん後にですが、「有機ホウ素化合物を用いる新しい有機合成法の開発」の功績で、1979年にノーベル化学賞を受賞しています。

ブラウン先生の、ペンシルベニア大学での1962年の講演では、ヒドロメタル化の一つであるヒドロボレーションという反応を発見されたことについてお話しされました。それを聞いた時、「ああ、自分がこれからやりたいのはこれだ。こういう分野だ」、そういう強い決意を持ちましたね。有機金属との出会いはこの頃になります。

## イチロー方式が功をなす

—その後、先生はずっとブラウン先生に師事していらっしゃったのですか？

いえ、私はフルブライトの留学生として行っていましたから、3年間で帰国しなければなりません。まあ、それで強引に3年間で博士課程を押し込めて、博士号を取得できましたけど。その後、帝人に戻ってまた研究をすることになりました。有機金属の研究ではありません。私なりに、研究は非常にうまくいったと思っていましたよ。しかし、内容が時期尚早ということで、重役会議で、事業化していただけなかったのです。これを知ったときはやはり相当なショックでした。企業の中では、自分の研究が優れていても、それだけじゃだめなんだ。自分の研究で自分を左右することは必ずしもできないんだ。企業では、ヒットを何本打っても、ホームまで来なければゼロ点ということ。今で言う、イチロー方式ですか。ヒットでも2塁打でも何でも、少しずつ積み上げていくことが着実にそれなりの成果になってくるじゃないですか。私はその頃から、そういうスタイルでアカデミックなポジションを得て、自分で自分の人生をコントロールしたいと思うようになりました。それと同時に、例の有機金属への思いがますます募っていきました。

アメリカに行こうと思いつき、ポスドクのアプリケーションを10通だしました。3件のオファーがあり、その一つにブラウン先生のオファーがあったのです。1966年から6年間、パデュー大学ブラウン先生

のところにおりましたが、最初の2年間がいわゆるポスドクで、3年目からは助手として研究を続けました。最初は2年間助手をしたら、次のポジションに行こうと思っていた。ただ、そのころはアメリカの雇用環境が劣悪でした。結局、4年間助手を続けて、1972年にシラキュース大学の助教授ポストにアプライしました。250倍の倍率をなんとか突破して移りました。

## 1976年のヒットからノーベル賞までを支えた「発見の10項目」

—世界トップの研究だということが確認されたのはいつ頃だったのですか？

そうですね。私のヒットは1976年です。シラキュース大学に移ってから4年ぐらい経った頃でしょうか。そのころ、私は京都大学の玉尾皓平先生のお仕事にヒントを得て、ニッケルを触媒にすると反応が上手くいくことを見つけました。玉尾先生が1972年に「ニッケル触媒によるクロスカップリング」の論文を出されています。このことを私はノーベル賞ものだと思っていて、今でも思っています。その後、私どもがアルミニウムともう一つの金属を使う反応を見つけ、またパラジウム触媒は際立って良いことなどを世界に先駆けて発表しました。このパラジウムを触媒にしたところが、一番大きなヒットだったかもしれません。

—先生がパラジウムを扱うようになったのは、やはりセレンディピティのようなものがあったのでしょうか？

もちろんセレンディピティが私にもあったとは思いますが、「発見の条件」においてセレンディピティの重要性は低いと思っています。一番中核になるのは『システムティック(系統的)な探究(Systematic Exploration)』です。これはブラウン先生に教えを乞うた結果わかったことです。この系統的な探究というのは、一朝一夕にできるものではないですね。何年とか、何十年とかかかる。最初に何か発明してこういうものができるようになったらいいという『ニーズ(Needs)』と『願望(Desire)』があって、この二つから『作戦(Plan)』が生まれてきます。それから、系統的な探究が始まるのです。しかしこの探究をうまくやるには、片方では豊富な『知識(Knowledge)』と『判断力(Judgement)』、『アイデア(Idea)』が必要です。他方では粘りといいますか、希望的な観測を持ってやっていくこと、何遍失敗しても、これは絶対いじょう、という根気がなければいけませんね。『意志力(Will Power)』と『不屈な行動力(Optimism)』ですね。私はその下に『セレンディピティ(Serendipity)』をおきますね。何かをやっているうちにポカンといいものにぶ

つかる確率は低いですが、よくできる人でも、いろいろ手をうっているうちに、本当はそんなふうには思っていなかったことが、うまくいくこともあるのです。これがセレンディピティ(幸運な発見)だと思っています。

## 欲張れるだけ欲張って、テーマを設定すべき

—先生ご自身は50年間一つのテーマをご研究なさって、成果を上げられた。

ええ。たった一つに見えるかもしれませんが、私はテーマを選ぶとき、「目標を小さくセレクトしたようなテーマは選ぶな」と教え子やスタッフたちに言っています。「一つの反応とか、一つの化合物とかそういうことではなくて、もっと広く、大きく目標を設定しろ」と。ですから個々の物よりは、何と言いましようか、深いと言いましようか、そういうものを追うべきじゃないかと思っています。

たとえば有機金属化学の場合10個くらいの有機元素と、使える60くらいの金属元素とを考えて、極端に言うと、全部の組み合わせの可能性を考えてみようと思うのです。そんな風に、欲張って欲張れるだけ、テーマについて考えるべきだと思います。頭で考えるのはタダだし、速いですからね。

## 研究のトータルなターゲット、それは研究の『概念』

—MANAや、若いこれからの研究者に対するメッセージをお願いします。

小さな個々のターゲットも大事ですが、研究全体のターゲットをもっと大切にすることでしょうか。そのためには、研究の概念のようなものを持つことが重要です。例えるなら、化学の一番の基礎ともいえる量子化学というような学問ができる前に、そのような『概念』を持っていたロシアのメンデレーエフです。陽子または中性子が一つずつ増え

るにつれて、原子の重さも一つずつ増えていく、今度は陽子にマッチした電子がないと原子は中性にならない、など量子化学の概念を持って、未発見の元素の存在も見抜いて周期表を作りました。

—MANAは、研究の国際化に向けて努力をしていますが、研究の国際化にとって大事なことはありますか？

英語を話すことなど、いろいろ大事なことはあると思います。言葉以外に大事なことといえば、「自分の学問的、インテリジェンスの点で、できれば1000人に1人、1000人でなくても数百人に1人の人間だと思えるようになること」でしょうか。フェアなコンペティションを振り返って見たときに、それぐらいの資質をもつことが、若者が伸びていく一つの条件じゃないでしょうか。また、自分で自分の資質をコンペティティブに高く評価できることも成功の一つの条件だと思います。オリンピック選手とか、ピアニストとか、歌手だとかでも同じです。

ブラウン先生のところに、外から来られていた博士研究員は400人くらいでしょうか。そこに鈴木章先生と私がいましたから200分の1でノーベル賞を受賞したことになりますね。

—先生の今後のご予定についてお聞かせ下さい。

ノーベル賞の受賞前、パデュー大学で75歳になったときハーフタイム(ハーフリタイア)を宣言しました。それを宣告してから5年後にリタイアをするのがふつうなので80歳で仕事をやめる予定でした。しかし受賞後すぐ、パデュー大学から「Negishi-Brown Institute」という新しい研究所を設立するので、所長になってくれと依頼されました。その仕事が本格的に始まる予定です。世界中から優秀な研究者がアプライしてくるので、楽しみです。

—本日はお忙しいところ、興味深い話をありがとうございました。



1979年、恩師ブラウン先生(写真右)のノーベル化学賞受賞時、ストックホルムに同行した根岸先生(写真左)

# 「システムティックな探究」と「概念」が研究を育てる

# 長年の研究成果が 評価されて

ディミトリ・ゴルバーク  
Dmitri Golberg

MANA主任研究者  
ナノマテリアル分野

今回、MANA主任研究者であるディミトリ・ゴルバーク博士にお話を伺いました。博士は、BN、ZnOやZnS等から合成した無機ナノチューブ（NT）その他のナノ材料の合成・分析が専門であり、こういったナノ構造物はCNT（カーボン・ナノチューブ）やグラフェンに次いでナノテクノロジー分野での応用が期待されています。博士は、ナノ材料研究で優れた成果を収めたことにより、板東義雄博士とともにトムソン・ロイター社による第三回リサーチフロント・アワードを受賞されました。共著論文『1次元無機ナノ構造物質の探索・創製とその応用』の被引用数の伸びが著しいことが評価されました。

## —受賞の対象となった研究についてお話しいただけますか。

板東先生と私の他にも、研究グループには優れたポスドク研究員などの方々がいて、一次元的形状だけでなく、二次元構造を有するナノマテリアルの研究、特に無機ナノ構造物質の物性を透過型電子顕微鏡（TEM）を使って研究しています。私の研究対象には、今回の受賞につながったZnOやZnSの他、BN、MoS<sub>2</sub>やWS<sub>2</sub>等があります。私たちには、十年以上にわたって着実に学術論文を発表してきた実績があり、それがトムソン・ロイターの関心を引いたのだと思います。トムソン・ロイターでは、論文の引用件数など一定の指標に基づいて調査を行い、先端分野で最も注目を集めた研究者を選出しています。しかし、今回の受賞は、NIMSグループとしての成果に対するものだと考えています。

## —今回の受賞により、博士は日本の材料科学における第一人者と認められたことになりませんが、お気持ちはいかがですか。

今回の受賞は、MANAにとって良いことだと思います。私は、ここで腰を落ち着けて世界中でも数少ない最先端の装置を用いた研究を継続することができました。私の研究は、ナノ構造を有するワイドギャップ半導体の活用に関するものです。MANAには優れた研究者が沢山いるので、遠紫外領域の活用など、この分野における先端的研究に先んじることができます。

## —日本で研究を行おうと決意されたのはなぜですか。

私は、1993年にポスドクとして日本に来ました。当時は、こんなに長く日本に留まることになることは夢にも思いませんでした。しかし、当時のロシアでは、補助金などが潤沢な日本と比べて、研究費の捻出が厳しい状況にありました。私は、無機材料研究所と金属材料技術研究所の両方で研究を行っていたので、その二つが合併して2001年にNIMSが誕生する前から、NIMSにいたこととなります。日本の永住権を取得し、ここで定年まで研究を継続することができるので、今の状況に大変満足しています。他の国に移る理由はありません。

## —MANAの研究体制についてはどのようにお考えですか。特に、外国の研究機関と比較していかがですか。

外国の研究者は、ここの研究環境がうらやましいと言っています。日本の先端設備を多くの外国人に対して開放しているのは、他の施設では見られないことです。個人的には、優れたポスドク

を3人まで研究の助手として雇うことができるので助かっています。MANAの名は広く知られており、魅力があるので、日本内外から研究者が集まってきます。MANAは、人材の宝庫です。かつては同僚であった研究者が教授になっていたりするので、研究室から優れた学生を送ってくれて助かっています。最新の装置で最先端の研究ができるのです。MANAにはノーベル賞受賞者が訪問することもあるので、若手研究者にとっては、刺激を受けるまたとない機会となります。

## —ロシアの研究機関と共同研究を開始する予定と伺いましたが、

はい。NIMSとモスクワにある国立科学技術大学（MISIS）との間で計画が進行中です。私は同大学を卒業しましたので、日本人研究者をスコルコボ（ロシア版シリコンバレー）のプロジェクトに紹介して欲しいと頼まれたりします。国際交流に役立ってもらうことも良い研究者であることの証でしょうし、一種の「外交官」のような面があります。科学技術の分野で両国間の距離を近づけるために私が何かできるとしたら、それはナノテクノロジー分野での協力です。近年、ロシアの研究開発費は増大しており、ナノテクにも巨額の研究費が投じられるようになってきました。

## —ナノチューブユニット長として、今後の研究活動についてお話しいただけますか。

私たちの願うことは、優れた成果を生み出せる「ナノ工場」となって、先導的な研究者を育成するとともに、ナノチューブの基礎研究に貢献することです。まもなく、ナノ材料の物性測定に焦点を当てた研究を開始する予定です。例えば、電子・力学・熱特性は、TEMを使って直接調べていますが、オプトエレクトロニクス技術が有望な手法となる分野のあることも分かってきました。TEMによりナノ物質を操作することもできます。あたかも、電子ビームで溶接を行うような感じです。



ディミトリ・ゴルバーク

ロシア人であるゴルバーク博士は、1995年にBNナノチューブ研究の先駆者の一人として、本格的な研究を開始。それ以降、世界が認めたこの分野の専門家として、百件以上のナノ化合物に関する論文を発表してきた。

# NanoGREEN/WPI-MANA棟が完成

2012年3月、環境エネルギー技術と革新的材料開発の研究拠点となる総合研究棟がNIMS並木地区に竣工しました。これは、ナノ材料科学環境拠点等の「NanoGREEN棟」と、MANAの「WPI-MANA棟」という2つの研究棟で構成され、両棟をつなぐ空間は研究者の交流スペースとなっています。世界トップレベルのナノアーキテクトニクス研究を担い、同時に国際研究交流を促進する新研究棟について、今回は環境性能や研究環境という視点からご紹介します。

## 国内初のマイクログリッドを導入

太陽光発電、蓄電池、非常用発電機、商用電力という4つの電源を用いた分散型エネルギーシステムは、実運用としては国内初のマイクログリッド（＝スマートグリッド）です。これにより、消費電力の削減や停電時の無瞬断給電が可能となります。

## 設計・施工段階から環境に配慮

建築物を環境性能で評価し格付けする「CASBEE」（建築環境総合性能評価システム）において、最高評価Sランク（基本設計段階）を取得。施工段階から、CO<sub>2</sub>排出削減や建築副産物の最終処分率0%など、環境に優しい工事を行いました。



## 建物の環境性能もトップレベル

光触媒ガラス散水システム、太陽光発電パネルをはじめ、ほかにも再生木材を利用した日射調整ルーバーなど、建物のいたるところに環境配慮型の多様な技術を導入。温度・湿度・明るさなどは自動制御により、省エネと快適性を両立させています。自然エネルギーを有効活用し、世界最先端の「ゼロ・エナジー・ラボ」の実現を目指します。

## 光触媒ガラス散水システム

夏の暑い時に窓ガラス上部から雨水を散水し、屋内を涼しくします。



## 太陽光発電パネル

建築一体型の太陽光パネルを屋根材として、ガラス一体型の太陽光パネルを底として設置しています。



## 日射調整ルーバー

室内への日射を遮ったり、日光を適度に拡散し間接光として取り込んだりします。



## ゆとりと刺激に満ちた交流空間

国内外の研究者の居住性や快適性に配慮した研究環境づくりと、多様なコミュニケーションを誘発する交流の場づくりを追求しました。アトリウムに設けたメルティングポットをはじめ、オフィスやラボもオープンな空間となっています。

## メルティングポット

2つの棟をつなぐインナーストリートを、異分野・異文化の研究者が自由に交流できる立体交流テラスとしました。この空間は、休憩やリフレッシュに加え、研究交流を活性化させる「メルティングポット」としての活用が大いに期待されます。



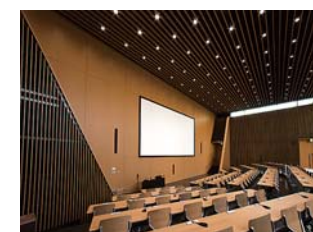
## カフェ



新棟に集まる内外の研究者や企業技術者等との幅広い交流が実現します。名前は「メルティングポットカフェ」!

## オーデトリウム

階段状シアター席97席に最新映像設備と大スクリーンを備え、ワークショップやセミナー等による活発な議論の場となることが期待できます。



## 廊下に面して全面ガラス

研究者の実験状況が見えるオープンラボとして、同様にオフィスもガラス張り、交流が生まれやすい欧米スタイルの研究環境です。



## 主任研究者オフィス



各フロアは複数の研究分野の研究者が一つの空間に同居し、異分野融合による独創的な研究を生み出します。



魚崎 浩平  
Kohei UOSAKI  
MANA主任研究者  
ナノグリーン分野コーディネータ

# 表面ナノアーキテククスによる 高効率光エネルギー変換

再生可能エネルギーとして太陽エネルギーへの期待が非常に高くなっていますが、太陽エネルギーを利用しようとすると、消費とエネルギー供給の時間的、空間的ギャップが大きく、貯蔵や輸送を考えると化学エネルギーや電気エネルギーへの変換が不可欠です。このような観点から、生物の光合成を範とする人工光合成に興味を持たれています。光合成では種々の機能を司る分子が精密に配置され、光によって励起された電子を用いて高エネルギー物質の合成が効率的に行われていますが、私たちは金属や半導体の表面に機能性分子を配列し、光エネルギーを電気や化学エネルギーに高い効率で変換することを目指しています。ここでは2つの例を紹介します。

最初の例では、光吸収を担うポルフィリンと電子リレーとして働くフェロセンさらに結合性官能基である末端チオールとをアルキル鎖で結合した分子を高度に構造を制御して金表面に配列することによって、可視光による高効率光電変換を実現しました。しかし、この場

合ポルフィリンによる光の強い吸収が近紫外領域にあり、可視光領域の光吸収が小さいことが問題です。最近私たちは金属ナノ粒子を光アンテナとすることで、効率的に光を捕集し、光エネルギー変換効率の増強に成功しました。

第2の例は、シリコン半導体による光吸収を利用した光電気化学的水素発生と二酸化炭素還元です。半導体に十分なエネルギーを持った光を照射すると、電子が価電子帯から伝導帯に励起され、価電子帯に正孔が残ります。原理的にはこれらの励起種を利用することで、水の分解や二酸化炭素の還元が光だけで実現できますが、半導体表面の反応性(触媒活性)が低いため、実際の変換効率は高くありません。私たちはSi(111)表面に多段階表面反応により、電子移動機能を持つピオローゲン層と水素発生触媒として白金錯体を導入することで、光電気化学的水素発生の高効率化に成功しました。反応がおこっているその場で精密な構造決定により、白金錯体が分子状態で水素発生触媒として働いていることがわかりました。また、この電極は金属電極の結果とは異なり、二酸化炭素の還元に対して高い効率と選択性を示しました。

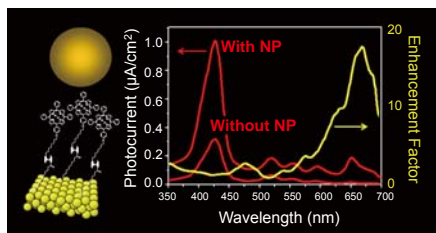


図1:ポルフィリン-フェロセン-チオール結合分子で修飾した金電極での、光誘起電流(金ナノ粒子光アンテナ有、無)および金ナノ粒子光アンテナによる増強度の波長依存。

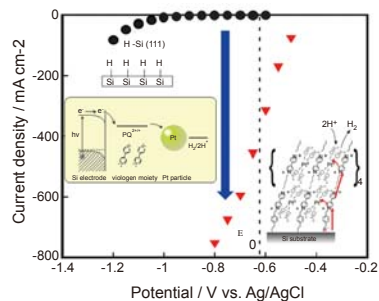


図2:水素終端およびピオローゲン分子層/白金錯体で修飾したSi(111)電極での光電気化学的水素発生電流の電位依存性とモデル。

参考文献  
Ikeda, K. et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 1280 (2011).  
Masuda, T. et al., *Adv. Mat.* **24**, 268 (2012).



ジャンカルロ・フォルテ  
Giancarlo FORTE  
MANA研究者  
ナノバイオ分野

# 幹細胞分化を制御するスマート・バイオマテリアル —心筋組織工学用足場(scaffold)の設計—

幹細胞を用いて心筋組織を再生することができれば、現在のところ治療法がない疾患に対して、革新的な低侵襲性治療法の提案が期待できます(図1)。

近年、未分化細胞と成熟細胞では、基材表面の機械・物理的性質に対する感受性に違いがあることが報告されておりますが、その詳細な分子生物学的なプロセスについては、多くが不明なままです。そこで幹細胞がこうした基材の性質(例えばナノ構)をどのように判読し、特定の遺伝プログラムを選択的に発現する機構を解明することにより、新たな生体模倣材料の設計と、それを用いた心臓疾患の治療に役立てることが可能となります。心筋に特異的な足場材料には、原則として、心筋構造への適合性のみならず、心筋の収縮を許容・維持できるように変形可能であることが求められます。また、幹細胞と宿主組織との電気機械的カップリングが起こること、新たに形成した組織に血管形成が起こることが必要条件となります(Forte et al., 2011)。

材料の機械・物理的特性に応じた幹細胞反応を観察するため、筆者らは、スマート・バイオマテリアルを用いた独自の手法を開発しました。末端に反応基を有する2分岐型ポリ-ε-カプロラクトン(PCL)と4分岐型PCLを架橋することにより、化学組成を維持したまま弾性率が異なるPCL膜を合成しました。このPCL膜の表面は、その表面の特性を任意に制御することが可能なため、生物学的因子を用いることなく、幹細胞の運命決定を行うことができます。ハイスループット解析法により、異なる弾性率を有するPCL表面上で培養した幹細胞および心筋細胞の遺伝子発現の差異を調べました。その結果、弾性率の違いによってヒト幹細胞および収縮性細胞の細胞接着率や接着過程が異なることが分かり、材料の弾性率に応じて異なる感受性を示すことが判明しました。更に重要な発見として、PCRアレイ解析により、材料の弾性が幹細胞および収縮性細胞の表現型に顕著な影響を及ぼしていることがわかりました。このように幹細胞の機械・物理的的感受性に関する分子メカニズムを解明することによって、患者の病状や組織の特性に応じた新規生体材料の開発につながることを期待されます。

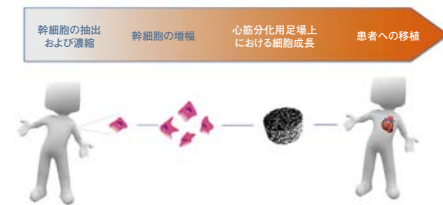


図1:細胞の分化誘導を促す足場上で患者の幹細胞を培養し、自家心筋再生組織を作製

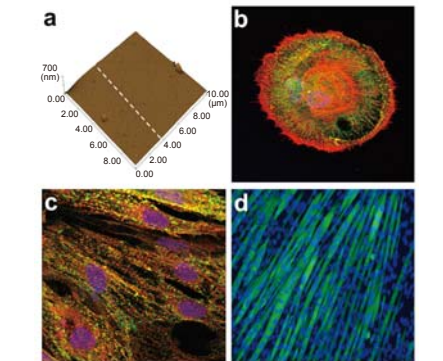


図2:(a) ナノ構造を有する生体材料の原子間力顕微鏡写真。弾性率およびナノ構造を制御したポリマーフィルム上で培養した(b) ヒト間葉系幹細胞、(c) 成熟心筋細胞群、および(d) 骨格筋前駆細胞から形成した筋管構造。  
参考文献  
Forte, G. et al., *Stem Cell Rev.* (2011). doi: 10.1007/s12015-011-9325-8.

# 熱電材料の開発について: 原子構造レベル、グレインレベル



森 孝雄  
Takao MORI  
グループリーダー  
MANA研究者  
ナノマテリアル分野

日本で使用する石油・石炭・ガスなどの1次エネルギーは約3分の1しか有効使用されずに残りの大部分が廃熱である。固体のゼーベック効果によって廃熱の一部を電気に変換できる熱電材料の開発は社会に大きな恩恵を与えられる。我々は多角的に、原子構造レベル、グレインレベルの制御をととして広範囲実用化に資する熱電材料の開発を行っています。

従来の高性能材料は、Bi、Te、Pbなど元素戦略で好ましくない元素で構成されており、我々は、ありふれて安全な元素を主成分とする無機材料の高機能化のために、クラスターなどの特徴的な原子のネットワーク構造に注目しています。架橋サイトの導入でネットワーク構造の制御を行え、これにより、まだセレンディビティーの域とはいえ、劇的な物性も発現しています。例えば、我々は、熱電材料として数少なく一時実用化されたp型ポロニウムカーバイドの期待のn型カウンターパートを見出しました。一方で、新規なネットワーク構造の高性能で高温耐酸化性のあるケイ化物カゴ状化合物なども開発しています。

熱伝導率の制御手法の開発は、熱電材料に限らず、Thermal Managementにとっても大切です。我々は、原子構造レベルのメカニズムに着目して、図1のように、提唱している“Symmetry Mismatch Effect”、すなわちネットワーク構造における building block の特徴的な対称性と全体の対称性が大きな不一致を起こした時の効果などを活用しようとしています。

一方で、グレインレベルでの制御、すなわちナノ・マイクロ構造制御もさきわけて重要です。我々は従来の熱電研究で疎まれがちだった添加剤・焼結助剤の活用において、構造材料からの知見を取り入れて開発を進めています。例えば、見出した亜鉛添加法では、ホウケイ化合物のケイ素の偏析が取り除かれ結晶性も向上し(図2)、本質的な低熱伝導率を有するために熱電性能が大幅に向上しました。また、グレイン制御は粒界でのフォノン散乱の制御につながり、熱伝導率を低減する強力なツールです。

ネットワーク構造物質のポテンシャルをさらに示す新展開として、特許出願済で論文投稿準備中の成果で、我々は、ネットワーク構造の主成分がありふれた安全な元素の化合物において、同じ結晶構造、同じ構成元素で、ゼーベック係数の絶対値 200  $\mu$ V/K 以

上の正負(p,n)の材料を自在に制御することに成功し、実用化に資する熱電材料の開発へ向けて大きく進展しました。

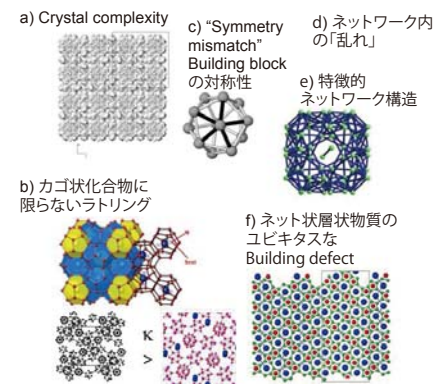


図1:熱伝導率制御のメカニズム

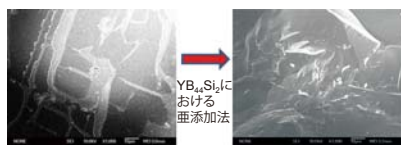


図2:亜鉛添加法の効果

参考文献  
Mori, T. "Boride Thermoelectrics: High temperature thermoelectric materials", in: *Modules, Systems and Applications*, ed. D. M. Rowe, (Taylor and Francis, London), in press (2012).  
Mori, T. et al., *Dalton Trans.* **39**, 1027-1030 (2010). (Hot Article)

# 無電荷ひも状逆ミセル —既存の常識を覆す自己集合能



ロククマール・シュレスタ  
Lok Kumar SHRESTHA  
ICYS-MANA研究員

界面活性剤は両親媒性分子であり、水や油中で集合してさまざまな構造体を形成します。通常、逆ミセル、ジオメリーの異なる液晶、ベシクルや逆ミセルを形成することができます。臨界ミセル濃度(CMC)を超えると、界面活性剤分子が集合して球状ミセルを形成し、一定の温度や組成条件または塩や界面活性剤を加えることにより、棒状または(絡み合った)ひも状に成長します。水系溶媒中の集合については広範囲に研究が行われ、理論的研究とあわせて、両親媒性化合物の分子構造に基づいて、自己集合構造体の形態を予測することが可能となっています。しかし、非水系溶媒中の自己集合能については、研究が遅れており、逆ミセルの構造を自由に制御することはまだ困難です<sup>1</sup>。逆ミセルでは、極性が高い親水性部分を核とし、極性が低い親油性部分を外側に向けており、水系において通常形成するミセルとは逆の構造となっています。逆ミセルは、水中における化学反応のマイクロ・ナノ反応容器として活用が行

われている一方、さまざまなジオメリーを利用したナノ粒子の合成に特化したテンプレートとしても用いられています。

無電荷ひも状逆ミセル(ネットワーク構造)には、可溶化、抽出・分離、薬物送達、物質合成など広範囲な用途に応用する可能性のあるもの、無水条件下で生成することは、過去数十年間至難の業でした。最近、我々は、ヘキサデカン中にトリオレイン酸スクロース(STO)を加えて生成した半希釈逆ミセル溶液に、ジオレイン酸スクロース(SDO)を添加することによって、有機溶媒中で新規無電荷非イオン性ひも状逆ミセルを形成することに成功しました<sup>2</sup>。親油性が低い非イオン性界面活性剤であるSDOによって、STO逆ミセルが一次元方向に成長し、粘弾性を有するひも状逆ミセルの一時的なネットワークが形成されることが判明しました。また、ゼロせん断粘度はおよそ400倍に上昇し、SDOとSTOの混合比によって、系のレオロジー特性が決定されることが判明しました。

この新たに開発された系は、極めて特異であり、この分野における一般常識を覆すものです。一般的に、界面活性剤の自己集合には、極性および非極性溶媒が共存し、両親

媒性が強く電荷を有する界面活性剤が必要とされます。そのため、本系は、通常の界面科学の常識からは逸脱していますが、電荷および水分子を回避できるという点において、応用面からは極めて興味深いものと言えます。

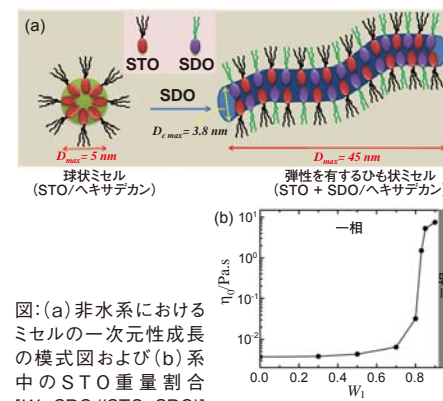


図:(a)非水系におけるミセルの一次元成長の模式図および(b)系中のSTO重量割合[ $W_1=SDO/(STO+SDO)$ ]に対するゼロせん断粘度と相挙動の関係。ヘキサデカン中にSTOのみが存在する場合には、球状ミセルを形成する。親油性が低い非イオン性界面活性剤SDOは、ヘキサデカン中では構造体を生成しないが、STOミセルの網膜部に可溶化し、曲率が低下してミセル成長が起こる。

参考文献  
1. Shrestha, L. K., et al., *Langmuir*, **27**, 5862-5873(2011).  
2. Shrestha, L. K., et al., *Langmuir*, **27**, 2340-2348(2011).