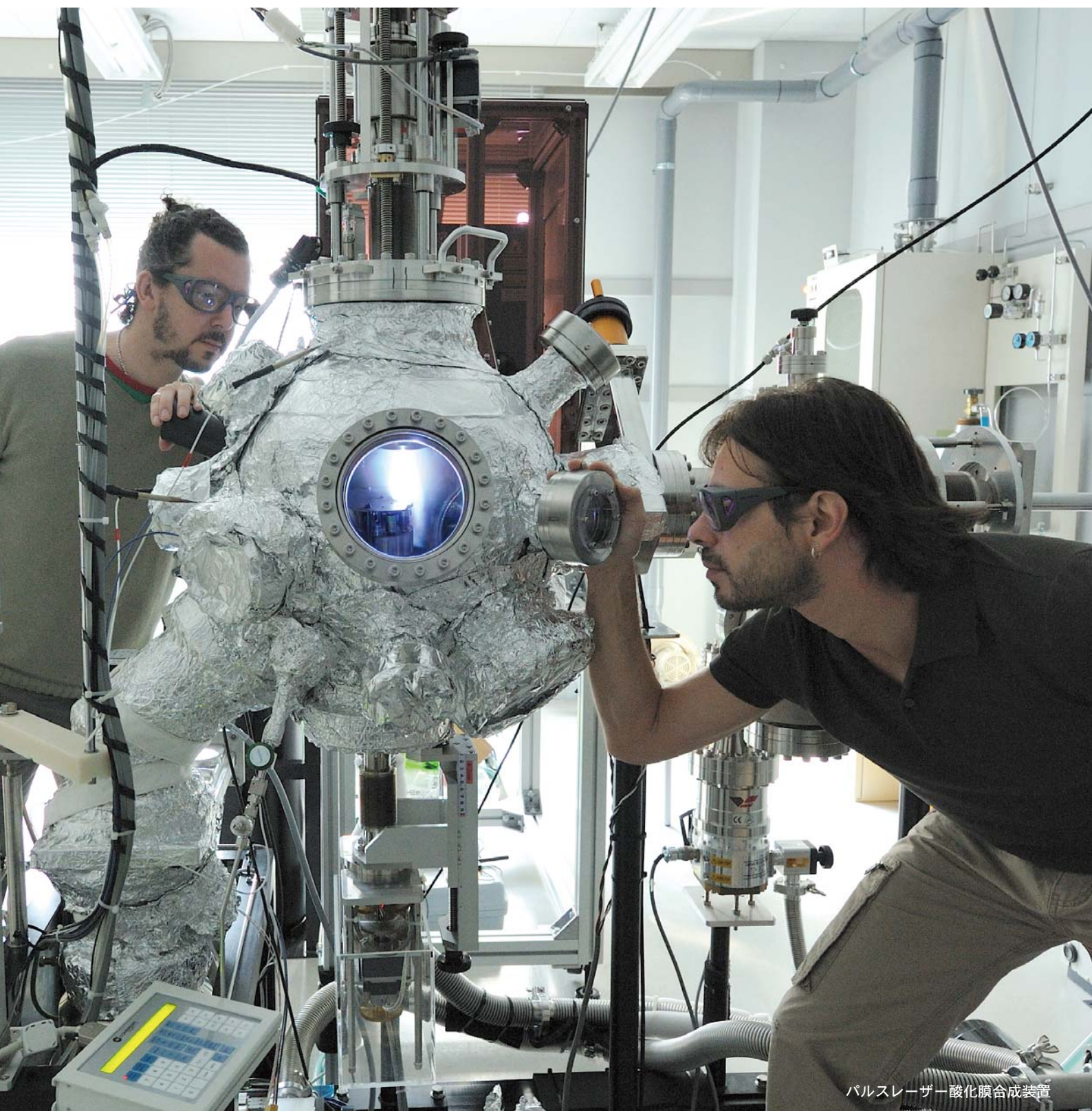


NIMS

2009年 11月号

NOW

世界のトップに立つ
革新分野の
研究拠点を つくる



世界のトップに立つ 革新分野の 研究拠点を つくる

世界的に目に見える研究拠点の形成を目指して、文部科学省の「世界トップレベル研究拠点形成事業」(WPIプログラム)が始まってから2年。形成された5つのWPI拠点の中で、1年目の業績に関してWPIプログラム委員会から高い評価を受けたIPMUとMANA両拠点のヘッドに語り合っていました。

IPMU機構長の村山さんは、カリフォルニア大学パークレー校教授からの転身ですが、いかがですか。



村山 いやー、しんどいです。お金がついている10年の間に世界の名の通った研究所と同じレベルのものを作るという、目標の高い、極めて野心的な計画ですから、常に走り続けていないと到底届くかどうか分からない。WPI構想には非常に賛同するところがあった、日本に国際的な研究所を作る、日本と外国との壁をなくすということができれば素晴らしいと前から思っていたのですが、東大のメンバーに拠点長として来てくれと言われて、私自身は第1に日本の申請書の書き方を知らない、第2にこんな若造に10億のお金はつけないだろう、第3に我々の分野はお金がつく分野とは到底思えない、という3つの理由でお断りしたんです。しかし、とりあえずということをやってみたら通ってしまった。はめられたようなもんです(笑)。

MANA拠点長の青野さんは、いかがですか。

青野 WPIプログラムは今までなかった新しいシステムを構築しようとしているわけです。ですから、この1年数ヶ月、本当に手探りでやってきましたね。単なる研究プロジェクトではなく、WPI予算が年間約10億円、期間は10年、規模は約200人という一つの研究所を作るということだったんですが、NIMSのような独立行政法人の中にそれを作ることは少しひずみを生じるんです。それをなんとか工夫しながらやってきました。

村山 大学のひずみについて言えば、大学というのは学部や学科によって最良をし

ないというのが基本的な考え方だと思うので、ここだけ特別なものをつくるのにかなりバリアがあったみたいです。今のところ東大はIPMUを特区と言っています。

村山さん、IPMUの特徴をひとりでいうと何ですか。

村山 みんな楽しそうだということだと思います。何が楽しそうかと言うと、今までは大学の中でいろんな雑用なり、しがらみの中で自分の可能性が実現できなかったという気持ちが結構あったようで、ここに来ると本当にのびのびやれるという、そういう幸せ感が伝わってくるので、そこが一番うれしいですね。

青野 村山さん、私は天文少年だったもんですから、IPMUでやられている研究には非常に興味があり、いいなあと思います。

村山 青野さん、IPMUに来ませんか(笑)。

青野さん、MANAの特徴は何ですか。

青野 IPMUとMANAは対照的で、MANAは社会貢献ということを常に頭に置いています。「使われてこそ材料」がNIMSのモットーで、科学的に面白いだけでなく、実際に材料として使うという視点が我々には重要なんです。21世紀の持続可能な社会の構築には多くの新技術の開発が必要で、そのためにはそれを支える新材料を開発しなければなりません。ここで、材料開発の方法は新し



村山 斉 Hitoshi Murayama
東京大学
数物連携宇宙研究機構 (IPMU) 機構長

青野 正和

青野 正和 Masakazu Aono
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) 拠点長

いパラダイムへのシフトを要求されています。私達はその革新を材料ナノアーキテクトニクス「Materials Nanoarchitectonics」という新語で表現しました。

村山さん、「数物連携」についてはいかがですか。

村山 今の研究の動向を見て、新しい学科を設計するとしたらどういう組み合わせになるかを考えた時、天文・物理・数学という3つの枠の中から当てる部分は切り取って組み合わせるのもっともうまくいくんじゃないかと、そういう気持ちが入っているんです。

青野 なるほど。それは我々の考え方とよく似ていますね。一つひとつは従来型であっても、おのおのでイノベーションを起こすと同時に、それをうまく融合することによって、まったく今までになかった新分野を創ろうという発想でしょう。我々のMANAの基本コンセプトもそういうことなんです。

二つの拠点が急成長している秘訣は?

村山 共通しているのは、国際化が非常に進んでいることで、要するに外国人をどれだけ採用できているかを指標にしているわけです。私の方針は「恥と外聞を捨てる」。本当に優秀な外国人を採用するのは大変なことだから、宣伝マンに徹する。IPMUのTシャツを作って国際会議にも出ますし、発表の最初の5分間は必ずIPMUの紹介をします。



青野 MANAの場合、評価されている理由は二つあると思っています。一つは国際化で、私も必ず「5分間の宣伝」をしています(笑)。

今MANAの外国人研究者は52%ですが、IPMUはどのくらいですか。

村山 専任の人だけでしたら55%くらいです。

青野 MANAのもう一つの評価は、若い人を育てる方法をシステム化していることだと思います。若手独立研究者や特別なポストドクというシステムによって、若手研究者が好きな研究ができる環境を整えています。業績が良ければ、研究リーダーなどへのキャリアパスも考えているんです。

村山さんはグローバルな存在であり続けたいとおっしゃっていますね。

村山 外国人の研究者が最初に気にするのは、日本にいたら日本に埋もれてしまうのではないかということです。今まで行っていた共同研究であるとか、人脈であるとか、そういうものを失わないようにするのは、グローバルであり続けることと密接につながっている。ですからこのポリシーは、年に1か月外国に行かなければならない、3か月まで行ってもいいと言っています。そうすると、最初から安心してくれます。IPMUの特色として考えているのは「壁が穴ぼこだらけ」とい

ことで、人がいつでも出入りして、それで活気を創り、中にいる人がいい仕事ができるようにするということです。

青野 国際化というのは、無国籍化するとはまったく違って、むしろ世界中の人が集まってくるためには他にないものがあることが必要です。ロシアは理論に強いとか、インドはソフトウェアに強いとか、日本は材料やナノテクノロジーに強いとか、そういうところをしっかりとっていないと国際化はできません。

村山 魅力がなかったら別に必要がないですからね。

一般に向けた広報活動にも熱心ですね。



村山 最初にこの研究所を提案するときに、ここで言う研究ははっきり言って役に立ちませんと言いました。役に立たないのだけれども、我々にできることは、若い人を中心に科学に興味を持ってもらうこと。そのことを通じて、高校生の理科離れを防いだり、科学技術の大切さを一般の人にも分かってもらうという役割を果たせるだろう。そういうことを初めから公約したのです。

青野 広報活動というのは、自分たちのやっていることを世の中に知ってもらうという一方的なものではありません。組織が健全な活動をするためには、外に向かって積極的に広報活動をし、その反応を見て自分た

ちを見直すということが必要です。ですから、MANAの広報は目指すところをしっかりと伝えなければならないと思っています。

評価委員会では海外サテライトを積極的に展開しなさいという指摘がありました。

村山 他の機構との連携はありますが、サテライトは今のところありません。連携先の1つであるプリンストンにははっきりした目論見があって、彼らは日本のすばる望遠鏡のように非常に遠方まで見えて、しかも画像の質の良い望遠鏡を持っていません。我々はすばる望遠鏡をいろいろ改造していく計画を持っているので、彼らはそれに貢献することによって使用权を得るわけです。こちらとしては、プリンストンの知的レベルは非常に高いので、彼らが取ったデータからどうやって最大限のサイエンスを引き出すかという、その芸を盗もうということですから、両方にとって得な関係になると思います。ヨーロッパの場合は、神岡に人を送り込んで武者修行をさせる教育の手段にしようとしています。こちらには人手がほしいわけですから、これも両方に価値がある。これからやろうとしているのは、パークレーにサテライトの良い環境をつくりたいということです。

青野 MANAは海外サテライトを4つ、UCLA(米)、ケンブリッジ大学(英)、CEMES/CNRS(仏)、ジョージア工科大学(米)に持っていて活発にやっています。当初サテライトという考え方はあまり評価されていなかったんですが、活動の甲斐があって、今は真価が認められたんですね。

さて、10年後のイメージは……。

村山 それは本当に悩ましいところで、心配なのは10年で終わると思うと、6年目くらいから人が逃げ出す。だから10年目には誰もいない状況になってしまう。それを食い止めるのは本当に厳しいと思っています。そのためにも、今から研究に対するサポートを各方面にお願いする体制を整える必要があります。

青野 私たちは、材料ナノアーキテクトニクスの技術をひたすら追及し、10年後には革新的なナノテクノロジーを駆使した新材料開発の世界的なハブにしたいと思っています。そのとき、MANAから多くの若い研究リーダーが世界に巣立っていきければいいですね。

* この対談は平成21年7月に行ったものです。

MANAの2年間 国際化推進の歩み



55%が外国人

「アメリカの有名大学からもオファーがあって悩みましたが、MANAの方がよりやりがいがあると考えてNIMSを選びました。」こう語るエンリコ・トラベルサ博士は、ローマ大学の教授職を辞し、4人の若手イタリア人研究者とともに2009年1月から専任の主任研究者としてMANAに着任しました。

燃料電池材料の権威であるトラベルサ博士は、低温で稼働する小型燃料電池の開発に取り組んでいます。日本はこれまで人材獲得でアメリカに後塵を拝することが多かったのですが、激しい争奪戦の末にMANAはトラベルサ博士の獲得に成功したのです。



チームトラベルサ：左からマニョーネ博士、マンドーリ博士、トラベルサ博士、ペルゴレーシ博士、ファブリ博士

* 表紙は若手イタリア人研究者2名が燃料電池用材料を試作している様子

このようにMANAに研究の場を求める外国籍の研究者はトラベルサ博士だけではなく、2009年10月現在、MANAに所属する研究者数は190名ですが、そのうち外国籍は104名、55%を占めており、MANAで研究しようという研究者は現在も増え続けています。

MANA研究者の人員構成 (2009年10月現在)

職名	人数	外国人
主任研究者*	19	4
主任研究者(サテライト)	10	5
MANA研究者*	44	9
独立研究者*	13	3
ICYS-MANA 研究員(ポストドク)	14	10
MANA リサーチアソシエイト(ポストドク)	62	52
大学院生	28	21
合計	190	104

*NIMS研究職

外国人研究者比率:55%

研究者天国

その理由をあげるとすれば、材料科学分野の機関別サイテーションランキングで世界第3位*というNIMSの高い研究レベルや、世界トップクラスを誇る研究施設群もありますが、国籍を問わない支援体制が整っていることが、外国籍の研究者にとっては大きな魅力であると言えるでしょう。

「アメリカやヨーロッパのいくつかの機関で研究をしてきましたが、MANAは研究者にとって天国。ベストの研究環境ですね。」カーボンナノチューブを使い、DNA配列やたんぱく質のバイオセンサーの開発に取り組んでいるマーチン・プメラ博士はこう断言しています。欧米の研究者にとって、言葉、文化、風習の異なる日本での研究を決意するのは容易なことではありません。WPIセンターの事務部門は、「研究以外の職務を減らし研究者が研究に専念できる環境を提供する」ことがミッションですが、プメラ博士の言葉はMANAでそれが実現していることを物語っています。

日本的な「痒い所まで手が届く」サービスを、国籍に関係なくすべての研究者に即断即決で提供する、このような環境がMANAにはあります。しかしこれは一朝一夕でできたものではありません。MANAに先立ち、5年間にわたって実施した「若手国際研究拠点(ICYS)」プログラムで、切磋琢磨して得たノウハウや人的な財産があったからこそ、このような環境が作りあげられたのです。

* トムソン・ロイター社Essential Science Indicatorsの2009年9月1日付けのデータに基づき、2005年1月から2009年6月までの4年6カ月のサイテーションを順位付けした。

持続可能な社会の実現に向けて

マテリアル・ナノアーキテククスは、個々のナノ構造間の相互作用を十分に理解し、かつそれらを意図的に配置することによって、材料の究極的な機能を引き出して利用しようとする材料開発の新しいコンセプトで、MANAの青野拠点長が2000年に初めて提唱しました。

持続可能な社会の実現は、21世紀の人類共通のテーマであると言っても過言ではありません。MANAは設立当初から、持続的な発展を可能にする革新的な材料を開発することを旗印に活動してきました。「科学と技術には光と陰があって、いまや陰の部分が地球規模で深刻な問題を生じつつありますが、MANAでそれを克服できるような材料を開発

したいですね。」青野拠点長はこのように決意を述べています。

ナノアーキテククスは図に示す5つのキーテクノロジーに分類されます。これらを技術的に融合(コンバージェンス)することにより、ナノマテリアル、ナノシステム、ナノグリーン、ナノバイオの4つの分野の研究に取り組んでいます。

将来の持続可能な社会を実現するための新しい材料・システムを創製しつつ、環境・エネルギー・健康の分野で画期的なイノベーションを生み出していくのがMANAの目標です。「『材料は科学と技術を生み出す母』と言われるが、既存の学問の枠組みや、無機、有機、バイオなどの分野も超えて革新的な材料やシステムを開発し、持続可能な社会作り貢献していきたい。」というのが、青野拠点長がWPIプログラムのゴールを見据えた夢なのです。

独立研究者

独立研究者。なじみのない言葉ですが、これこそMANAが若手研究者の育成手段として導入した新しい制度です。次世代を担う若手研究者の育成はMANAの重要なミッションのひとつです。これまで若手研究者は、入所すると必ずいずれかの研究グループに属し、グループリーダーの指導のもとで研究を行うのが常でした。このシステムはシニア研究者からの技術伝承を期待できる半面、若手のオリジナリティを損なう懸念もありました。独立研究者は、既存の研究グループに所属することなく、自らの自由な発想のもと独立して研究を遂行する30歳台の若手研究者です。(P7のResearch Highlightsに登場する山内悠輔博士は20歳台の独立研究者です。)

「好きな研究ができるだけではありません。同年代の異分野の研究者とまさにメルティングポットの環境で切磋琢磨できることがとても刺激的です。」独立研究者の一人、中西淳博士はこう語っています。このような環境の下で、いくつかの独創的な融合研究が始まっています。この中から将来のノーベル賞候補となる研究成果が生まれてくることも夢ではありません。MANAでは彼らの独創的な研究成果を期待する一方、彼らが将来のグループリーダーとして成長していくことを待望しています。

ナノアーキテククス 5つのキーテクノロジー

- 制御された自己組織化
- 化学的ナノ構造操作
- 場を利用した材料制御
- 新しい原子・分子操作
- 理論的モデル化・設計

技術融合 (コンバージェンス)

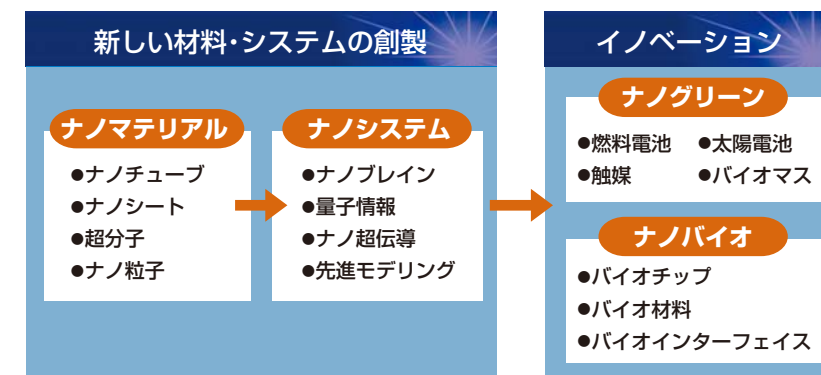
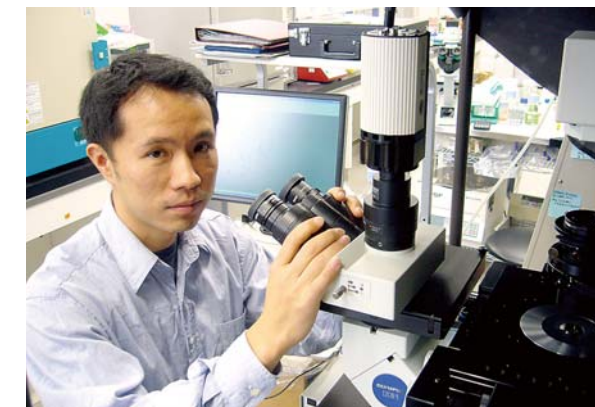


図 MANAの研究システム

3D制度

MANAは3D (Triple Doubles) 制度と呼ぶ独自の若手育成の制度を運用しています。MANA主任研究者と海外の著名研究者の二人のメンター (Double-Mentor) を持ち、二つの機関 (Double-Affiliation) で、二つの分野 (Double-Discipline) にまたがる研究を遂行することを若手研究者に奨励しているのです。当初は独立研究者を対象に始めた制度ですが、グローバル感覚を有する多面的な若手研究者を育てるのに極めて有用なことから、独立研究者以外の若手研究者に対しても3D制度の適用を拡大しています。



光に応じて生体分子を放出するナノ粒子の研究に携わるMANA独立研究者の中西博士。創薬研究への応用を目指しています。日本分析化学会表彰において2009年度奨励賞を受賞しました。

ポスドクであるICYS-MANA研究員のサミュエル・サンチェス博士は、化学反応で動くナノロボットを開発して医療分野に応用するため、3D制度を利用してドイツのナノサイエンス総合研究所 (IIN) と共同研究を始めました。「ナノロボットを作るためにはIINの技術習得がどうしても必要でした。技術を開発した研究者に共同研究をしたいとメールしたところ、すぐに一緒にやろうという返事が来ました。嬉しかったですね。」と語るサンチェス博士は、IINに滞在してすぐに研究成果をあげました。「化学者の私には、物理理論に基づくIINのテクニックは驚きでしたし、先方も私の研究は新鮮に映ったようです。ポスドクの私をこのように海外の研究機関に送って研究をさせてくれるなんて夢みたくです。」と目を輝かせ、IINの研究者数名をMANAに呼び、融合研究をさらに発展させる計画です。

MANAの分身：サテライト

MANAは「サテライト」を7つ持っています。国内では筑波大学、北海道大学、東京理科大学の3つ。海外ではアメリカのカリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA)、ジョージア工科大学、イギリスのケンブリッジ大学、フランス国立科学研究センター (CNRS) の材料解析・構造研究所の4つです。MANAは目指す研究目標を達成するために、NIMS外部からも世界トップレベルの研究者を主任研究者に任命しています。この外部主任研究者がいる機関をサテライトと呼び、MANA本体と密接に連携して研究を行っています。

サテライト主任研究者の一人、ジョージア工科大学のワン教授は材料科学分野の論文被引用数が世界第5位という著名な研究者です。MANAでは「生物に学ぶナノ材料」による光学デバイスの開発を担当していますが、MANAの3D制度のメンターの一人としてMANAの独立研究者を

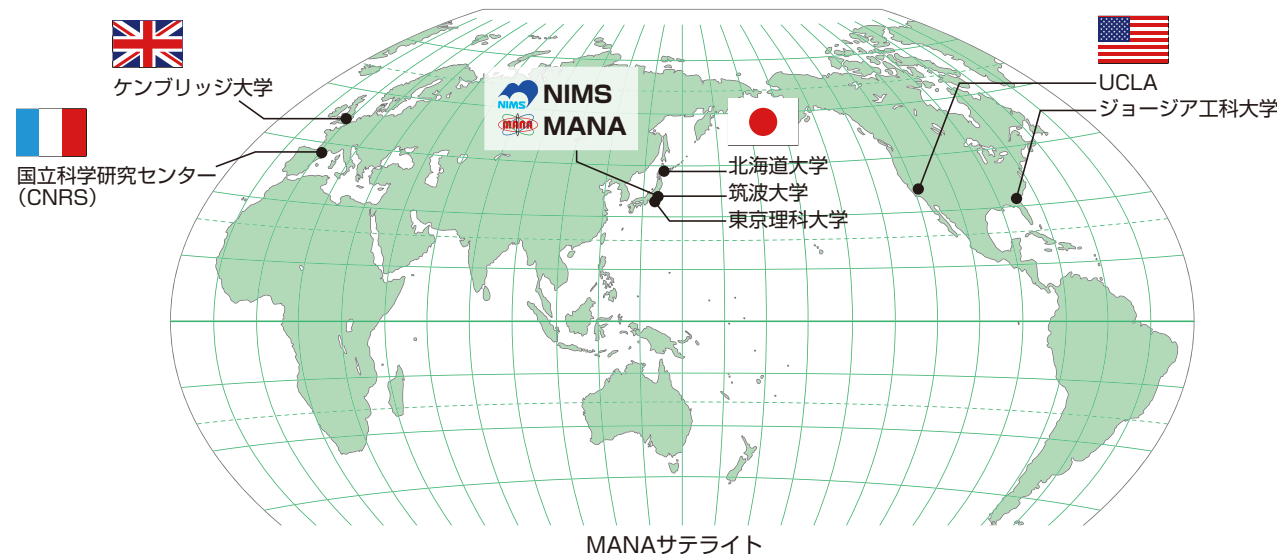
受け入れて、シリコンナノワイヤを用いたナノデバイスの共同研究も進めています。ワン教授はサテライトについて次のように語っています。「MANAと私のグループが力を合わせれば、すごい研究ができます。サテライトは、MANAが日本の枠を超えて世界レベルに到達するための拠点になると思いますよ。」(NIMS NOW 2009年6月号にワン教授のスペシャルインタビューが掲載されています。)

またケンブリッジ大学とUCLAとは、共同研究を実施するのはもちろんのこと、博士課程の学生を対象としたサマースクールを持ち回りで毎年開催しています。「日本の学生は国際的視野が全然ない。」と危惧する青野拠点長が提唱して始めたもので、今夏で6回を数えました。「日本から十数人、外国から十数人を集めて、1週間缶詰で勉強会もサッカーも盆踊りも一緒にやらせています。あまりわれわれはタッチせずに彼らに任せて企画までさせる。帰国すると確実に一皮むけていますね。」と嬉しそうに語る青野拠点長。

真の国際化に道をひらき、ナノテクノロジーを軸として材料開発に新しいコンセプトを導入したMANA。「世界トップレベル研究拠点」の構築に向けて、いま着実に歩みを進めています。



UCLAで行われたサマースクール(2009年7月):NIMS 10名、ケンブリッジ大学 9名、UCLA 10名、合計29名の学生が参加



白金ナノ金平糖 —超微細構造を持つ 白金ナノ粒子の開発に成功—

MANA独立研究者
JSTさきがけ研究員(兼任)
MANAリサーチアソシエート*



山内 悠輔
(やまうち ゆうすけ)



Wang Liang*
(ワンリャン)

白金は、触媒として高い活性を持つことが知られており、電池などの電極や工業触媒(排気ガスの浄化触媒など)として広く用いられています。白金の表面積を大きくすると、露出している面積が増加するため、触媒性能が飛躍的に向上します。従来からナノ粒子、ナノファイバー、ナノチューブ、ナノ(メソ)ポラス物質などの新しい白金ナノ材料の合成が盛んに研究されてきました。しかし、これらの物質の表面積は、大きいものでも30m²/g程度に留まり、工業触媒として用いられている白金黒(黒色の微粉末の白金)と同レベルです。また、逆ミセル法などで大きい表面積を有するナノ粒子も合成されていますが、粒子サイズが小さいため高温にすると粒子同士の凝集が起こり、熱的安定性が低いことが課題としてあげられます。希少元素の使用量低減が社会的に強く求められるなかで、材料をナノ構造化し表面積を大きくすることで、少ない白金使用量でも高い機能性を発現できる技術の開発を望む声は高まっています。

そこで、我々は表面積が大きくかつ熱的安定性の高い金平糖状の形状(図a)を有するナノ粒子を高速で合成する手法を開発しました。界面活性剤、白金イオン種、水溶液に還元剤を添加し、界面活性剤分子の疎水基と白金表面との相互作用を利用し、白金表面にナノレベルの微細な凹凸を作っていきます(図b)。還元剤を投入してからの反応時間がおよそ10分間と短く、収率も100%であるため、量産化への転換も期待されます。電子顕微鏡による観察(図c)から、生成物の粒子径は一定であり、金平糖状の形態であることを確認でき、『白金ナノ金平糖』と名づけました。この金平糖は、水溶液に対して高い分散性を示します(図b)。また、高い熱的安定性も示し、摂氏250度までの耐久性があります。表面積は、55m²/g以上であり、

既存の白金ナノ材料中で最も高い表面積を達成しています。

さらに、投入する還元剤の量を調整することで、生成する粒子の大きさを変えることができ、用途にあった粒子サイズのものを作製することができます。本手法は、これまでにない簡便かつ実用的な手法であり、他の金属との合金化も可能であることから、今後は用途に合った組成で金属ナノ材料のオーダーメイドデザインを目指します。高い熱的安定性や高い表面積を有する『白金ナノ金平糖』は、既存の白金ナノ材料を越える高性能な触媒材料としての展開が期待できます。

本成果は Journal of the American Chemical Society 誌(アメリカ化学会発行)に掲載されました。(論文:Liang Wang and Yusuke Yamauchi*, "Block Copolymer Mediated Synthesis of Dendritic Platinum Nanoparticles", J. Am. Chem. Soc., 131, 9152-9153 (2009).)

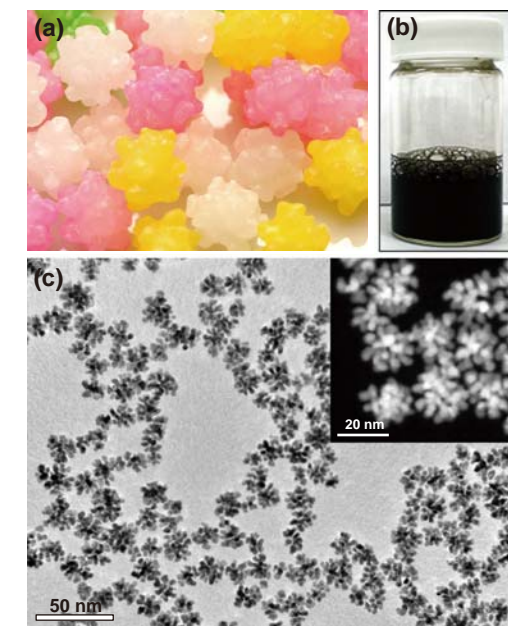


図 (a) 金平糖の写真、(b) 白金ナノ金平糖の分散液、(c) 白金ナノ金平糖の電子顕微鏡写真。

葉緑素分子集合体の構造問題に決着 —930MHz 固体 NMR が決め手に—

ナノ計測センター 強磁場NMRグループ



グループリーダー
清水 禎 (しみず ただし)

環境・エネルギー問題の解決を目指す太陽電池開発の一環として、葉緑素を利用した色素増感太陽電池の研究が近年注目されています。葉緑素は集光機能(光子を吸収して分子を励起状態にする)と発電機能(自由電子を作り、他部位へ送り出す)を兼ね備えています。その分子構造(図)は、環状の有機分子の中心に4配位(陰イオン4個と結合している状態)のマグネシウム原子を1個持つ金属錯体で、構造上の微妙な差異により約10種類の仲間が知られています。実は、葉緑素の分子単体には集光機能はありますが発電機能はありません。発電機能は約10個~100個程度の葉緑素が集まって分子集合体(一種の超分子)を形成することによって初めて発現します。この分子集合体は、詳細な構造はまだ分かっていません。葉緑素の発電機能を解明する上で、分子集合体の構造解明は不可欠です。

最近、葉緑素研究の専門家との共同研究により、NIMSの930MHz固体NMR装置を用いて、この分子集合体の構造に関して重要な進展がありました。NMRとは、核磁気共鳴装置の略称で、原子核の磁気的性質を利用して物質・材料の分子構造や電子状態などを調べる分析装置です。NMRでは測定試料を磁場中に入れて測定し、磁場強度が強いほど感度と分解能が向上します。930MHzは磁場の強さを表しており、固体NMR装置としては世界最強磁場の21.8テスラを出すことができます。

この研究に用いた葉緑素はバクテリオクロフィル-c(BChl-c)と呼ばれる種類で、一部の光合成細菌の中に含まれています。今までBChl-cの分子集合体には6種類の異なる構造モデルが提案されてきました。6種類の主な相違点は、分子が集合する並び方(対称性)だけです。実際の分子集合体がどの構造になっているのかを決着させるために、X線回折を含む多くの研究が従来から行われてきましたが、決定的な実験的証拠はありませんでした。

今回、BChl-c中のマグネシウムについてNMR測定を行った結果、BChl-c分子集合体のマグネシウムには5配位と6配位の2種類が含まれている(図)ことが判明しました。従来は6配位マグネシウムは存在しないと学説が主流でした。分子単体の時には4配位だったマグネシウムの配位数が分子集合体になって増える理由は、分子が集合するために必要な水素結合や分子間結合がマグネシウムを介して発生した結果です。このNMRの結果を説明できる構造は、6種類のモデルうち1種類だけなので、BChl-c分子集合体の構造問題はここに決着することができました。

葉緑素中のマグネシウムのNMRが測定されたのはこの研究が世界で初めてです。マグネシウムのように感度と分解能の点で従来は観測困難だった元素でも、強磁場を利用すれば観測可能になります。今後も多くの元素へ固体NMRの観測範囲を広げていくことで、未解明の問題を開拓することが期待されています。この研究は、関西学院大学の小山泰教授の研究グループおよび日本電子(株)との共同研究による成果です。

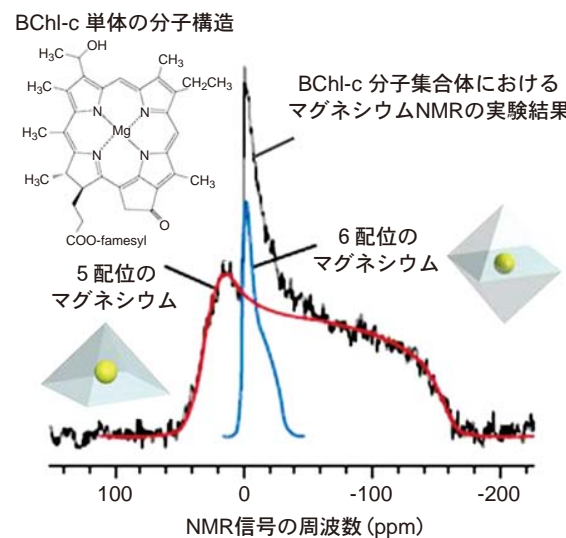
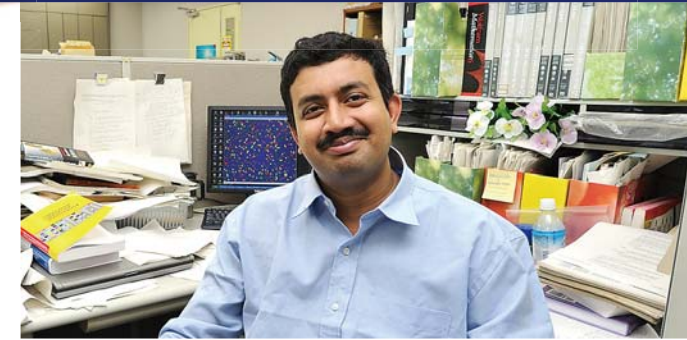


図 BChl-c分子集合体におけるマグネシウムのNMR信号。赤線(5配位)と青線(6配位)はシミュレーション。単体のBChl-c分子(挿入図)におけるマグネシウムは4配位の1種類だけ。(Kakitani, et al., *Biochemistry*, 48(2009)74)

16ビットの平行信号伝送を実現する分子集合体

ナノ計測センター 先端プローブ顕微鏡グループ



Anirban Bandyopadhyay (アニルバン・バンディオパダヒヤイ)

私たちの研究グループは、原子レベルでの動作を可能にする分子機械の開発で飛躍的な進歩を遂げました。複数の動作を実行する分子機械の操作には、多岐にわたる無数の指示が必要です。しかし、これまでに他の分子機械の動作を操作したり、複数のシステムとの同時通信を可能にする分子機械が開発された例はありませんでした。分子機械を直線的に接続すれば、一度に伝送できる指示は一つだけなのに対し、中心に位置する一つの制御分子に放射状に接続した分子機械の場合、複数の指示を同時に伝送することが可能になります。この研究の画期的進展とは、分子レベルで複数の指示を同時伝送できる点です。

この研究開発は、いくつかの2,3,5,6-テトラメチル-1,4-ベンゾキノン(ジウロキノン, DRQ)分子による分子集合体の特性を利用したものです(図1)。DRQはアルキル基の固有の回転によって生じる四つの論理的状態(0, 1, 2, 3)を持つことが知られており、走査型トンネル顕微鏡(STM)のプローブから放射される電気パルスによって制御することが可能です。今回新たに開発された分子集合体は、超分子構造内で17のDRQ分子を組み合わせたものです(図2)。この超分子構造とは、機械の実行ユニット(EU)の役割を果たす16の類似DRQ分子による分子環を、中央制御ユニット(CCU)として機能する一つのDRQ分子の回りに配置させたもので構成されます。その結果、中央の一つの分子CCUが、合計で 4^{16} の異なる最終ステータスの指示を16の周辺分子に同時送信することが可能になります。

絶対温度77度の超高真空(UHV)STMチェンバーにおいて、Au(111)面上に17DRQ分子を無作為に分散させ、この分子機械を組立てました。分子の組成は、Au上に適切に配向させた分子集合体から作成した理論上のSTM画像と比較することによって確認できます。超分子集合体は、自己構造化により特異的な方法でDRQ分子を統合化します。CCUにシグナルを送ることで、EUへの同時シグナルが伝送されるのです。図3に示すよう

に、超分子集合体の特性により、一回のSTMパルスのCCUへのシグナルが16ビットの信号配列への指示伝送を実現しました。

この超分子集合体による機械は、CCUにSTMパルスにより指示を送り、CCUが16のEUに16固有の指示を同時に伝送することにより、16のEUの状態を一对多で同期制御することができます。このコンセプトは、ロジックマシン制御のための意志決定に関わる無数の指示集合を同時伝送できる可能性を持つものです。ここでは、シリコンチップをベースとしたパーソナルコンピュータの中央処理ユニットに相当するナノ中央処理装置を開発することにより、単独の制御ユニットを用いて複数の分子機械の独立した動作を制御することが目標です。

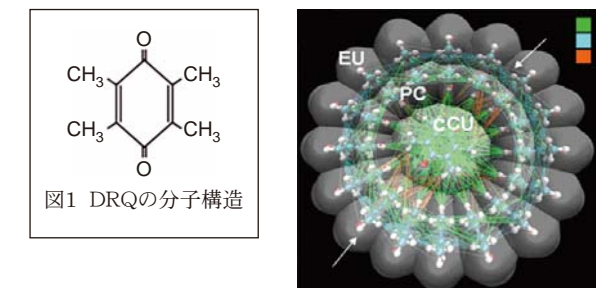


図2 CCU, PC, EUの3つの区分を示す構造の分子モデル。緑の部分はCCUとEUの水素結合、青は隣り合うEU間の水素結合、赤はCCUの酸素原子が生じさせる特殊な水素結合を表わしています。

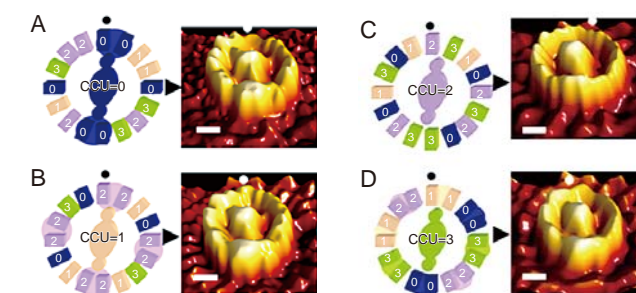


図3 0, 1, 2, 3の状態のCCUに対し、EUでは4つの特異的な指示配列(A, B, C, D)が誘発されている。これらに相当するSTM画像中の変化を記録した。

Copyright ©2008 by National Academy of Sciences, USA. Reproduced with permission from PNAS. DOI:PNAS March 11, 2008 vol. 105 no. 10 3668-3672

この研究内容は、Quantum Nanoelectronics (著者:エドワード・ウルフ、Wiley-VCH出版、2009年5月発刊)に掲載されています。

優れた科学は、巧みな芸術である

ニューヨーク大学 化学部
Nadrian C. Seeman 教授

ニューヨーク大学のDr. Nadrian C. Seemanは、図形構造、格子状構造、デバイス構造を自律的な秩序形成過程で形成できるという“分岐DNA構成ブロック”を活用したDNAアーキテクチャー設計分野の世界的リーダーとして活躍してきました。この功績により、同博士は1995年フライングマン賞(ナノテクノロジー部門)を受賞されました。将来、分子を構成ブロックとしてあらゆる構造を自発的秩序により創出できると考えられており、この分野での同博士の業績は大変重要視されています。可能な限り微細な物質構造を支配しようとする技術水準は、産業界に一大変革をもたらすと考えられています。



現在の研究についてお聞かせください。

私は結晶成長以外の結晶学全般を研究している結晶学者で、主に「プログラマー」の仕事に従事していました。ある時、6つの分岐を持つDNAの接続構造と、M.C. エッシャーの“Depth”という木版画に描かれた魚の反復配列構造の関連性にひらめいて、反応性末端を持つ分岐DNA分子が周期的配置の制御(DNA結晶成長)に使えるのではないかと気づきました。その発想を得て以来、DNA結晶の研究に取り組んでいます。ただし、現在は魚ではなく、ナノメートルレベルで動き回る歩行ナノロボットの動きについての研究です。

私がDNAナノテクノロジー分野の研究について考え、研究を始めたのは1980年9月のことですが、この領域に関わる研究施設は、現在では恐らく40から50あるでしょう。どうやら私は、数多くの競争相手やコンピュータ科学者、材料研究者を生み出してしまったようです。我々にとって良いかどうかは分かりませんが、新しい研究分野を創出したということです。そして我々は今もなお、結晶学的観点で取り組んでいる唯一の研究機関であり、最先端であり続けています。

現在の主要なプロジェクトは何ですか。

私の研究所では、DNAを遺伝学的材料としてではなく分子としてとらえ、ナノテクノロジー的に応用することをテーマにしています。ある“分岐DNA構成ブロック”の反応性末端を別の“分岐DNA構成ブロック”の反応性末端分岐に接続させることにより、格子状構造が組みあがり、その一辺は二本鎖DNAで構成されることとなります。我々はすでにDNAを用いて、立方体と角切り八面体の連結性を有する格子状構造を構築しています。この技術の最終目標は、“合理的”な方法で周期性物質の合成を究極とし、複雑なコンピュータシステムや、ナノロボットなど緻密なナノ構造を組み立てることにあります。

このような方法で周期的物質の合成を試みているのは、現在活用されている結晶化プロトコルに弱点があることと、DNA付着末端を使用することによって、配向性のゲスト分子を取り込んだDNA骨格(または“籠”)の組み立てが簡易にできるようになるからです。我々はこれらをDNAタイルと呼んでいます。このような技術によって、例えば、人類はあらゆる種類の生体分子を容易に結晶化できるようになります。この方法を用いて新たな形態のコンピュータ処理が提案されており、DNAタイルの回路が、解決されるべき問題に対して“DNAベースの演算処理結果”を与えます。

科学者になろうと思ったのはいつ、なぜですか。

シカゴ大学では最初医学部進学課程の学生でしたが、どこかの大学で教授になれば、生涯好きな研究で暮らしていけると気づいて、生化学専攻に転向しました。その後1970年に、当時まだ数少なかった“結晶学科”を持つ大学の中からピッツバーグ大学を選び博士号を取得しました。コロンビア大学とマサチューセッツ工科大学でいくつかのポストドク研究に従事した後、ニューヨーク州立大学アルバニー校で教授になり、次いで現在のニューヨーク大学化学部に移りました。

若い研究者に向けてのメッセージと好きな言葉を。

若い研究者への私からのメッセージは、「自分の直感に従い、信念を貫き通すこと。そうすれば大抵の場合、取り組んでいることに間違いはない。」ということです。優れた科学研究を行なうには、数学、物理学、結晶学、コンピュータ科学から化学、生物学に至るまで、あらゆる学問分野の基礎をしっかり身につけておくことが重要です。ただし、芸術性も忘れてはなりません。芸術性こそ、パラダイムを一大転換させることのできる概念のひらめきをもたらすものですから。「優れた科学は、巧みな芸術である」が私の好きな言葉です。

NIMS NEWS

タイ 科学技術省御一行がNIMSをご訪問

平成21年10月7日、タイの科学技術省クンジン・カラヤー・ソーボンパーニット大臣の御一行20名がNIMSを訪問されました。潮田理事長や北川特別顧問との懇談では、NIMSの材料科学技術や独立行政法人化後の成果にたいへん興味を示され、その取り組みについて熱心にお尋ねになりました。

概要の説明を受けられた後、御一行はCO₂削減と燃料消費量低減に貢献する発電用ガスタービンや航空機用ジェットエンジンのタービンプレード用単結晶合金などの超耐熱合金開発を行っている超耐熱材料センターをご視察になり、ロールス・ロイス社との共同研究による成果であるNIMS単結晶合金が、2012年頃に実用化されて航空機用エンジンに搭載されることが予定されているという説明には、大臣から「おめでとう」の言葉をいただきました。また、大臣は単結晶合金の開発が外国ではどこの国が行っているかなどについても、興味深く質問されました。



超耐熱材料センターをご視察される
ソーボンパーニット大臣(中央)

イタリア ローマ大学トル・ヴェルガータ校と姉妹機関協定を締結

平成21年10月13日、MANAとイタリアのローマ大学トル・ヴェルガータ校(URTV)のナノサイエンス・ナノテクノロジーセンター(NAST)が、合同ワークショップ“持続可能社会を実現するナノ材料”を、ローマのURTVにおいて開催しました。このワークショップは、NASTのリコッチア教授とMANAのトラベルサ主任研究者により企画され、URTVのレナト・ラウロ学長とNIMSの野田理事をはじめとするURTV-NAST、



ワークショップ参加者

NIMS-MANAに加え、イタリアの国家研究評議会や新技術・エネルギー・環境庁などから多数の研究者が参加しました。

また、この機会にURTVとNIMSは姉妹機関協定を締結しました。これにより、すでに行われている共同研究をポリマー燃料やナノトキシコロジー分野などの分野に広げるほか、研究者や学生の人材交流、合同ワークショップ開催、連携大学院プログラムの設置も予定しています。



調印式で握手をするURTVのレナト・ラウロ学長(右)とNIMSの野田理事

トヨタ燃料電池自動車の試乗会を実施

平成21年10月13日、NIMSにおいてトヨタ自動車(株)と燃料電池自動車に関する意見交換会およびトヨタの燃料電池自動車試乗会を行いました。

意見交換会では、トヨタ側から燃料電池自動車開発の現状、燃料インフラ整備や法整備などの必要性、燃料電池に関する材料基礎研究や耐水素脆性に優れた構造材料の開発を継続的に推進する重要性について説明を受け、基礎研究ニーズなどの情報がNIMSに発信されることなどを確認しました。

試乗した燃料電池自動車「トヨタFCHV-adv」は、90kW出力の固体高分子形燃料電池を搭載し、最高充填圧力700気圧でタンク容量156リットルの水素を燃料に用い、最高速度は時速155km/h、航続距離は10・15モードで約830kmの性能を持ちます。「騒音が全くない」、「思ったよりパワーがあり加速感がある」、「操作性は普通の自動車と変わらない」などの感想が試乗した研究者から寄せられました。

NIMSでは、さらに高性能で普及可能な低炭素化社会に貢献する環境・エネルギー対応の材料研究に取り組みます。



トヨタFCHV-adv

NIMS・サンゴバン先進素材研究拠点を設立

平成21年10月2日、NIMSとフランスを代表する企業サンゴバングループはNIMS・サンゴバン先進素材研究拠点設立に関する覚書の調印式を行いました。この研究拠点はNIMSにおける「ロールス・ロイス航空宇宙材料センター」、「NIMS・トヨタ次世代自動車材料センター」に続く3番目の企業連携組織です。

昨年11月の「透明導電膜コンビナトリアル材料」に関する共同研究に続き、今回「薄型酸化物フィルム分野の共同研究プロジェクト」の合意に関する調印を行いました。この新技術によりガラスを構造的に改善することで、建物の省エネルギー効果の向上が期待されます。

フランスを本拠地に世界62カ国で建設資材分野事業を展開するサンゴバンは、既存の事業基盤の拡大と世界規模で行っている研究開発部門を強化する中で、NIMSに資金を提供して人材を派遣する意向で、NIMSにとって情報網の拡大や技術交流の増大が期待されます。相互のパートナーシップを通じて、エネルギー・環境など将来の成長分野でリーダーシップを確立するための素材開発、システム開発を計画しています。



NIMS潮田理事長(左)とサンゴバンCEO シャランダール氏

ノーベル博物館長 Prof. Lindqvist が MANA をご訪問 ノーベル賞に関する国際講演会を開催

平成21年10月2日、ノーベル博物館長でスウェーデン王立科学アカデミー会長の Prof. Svante Lindqvist と御一行が MANA を訪問されました。MANA の板東最高運営責任者による概略説明後にナノバイオ分野、ナノマテリアル分野、ナノシステム分野の各研究施設を見学され、研究者の説明に興味深くお聞きになりました。



MANA 棟にて：左から 日本工学アカデミー理事岡田氏、Sweden-Japan Foundation Dr. Edvard Fleetwood、ノーベル博物館長 Prof. Svante Lindqvist、MANA 板東氏、産総研 小玉氏



質疑に応答する江崎玲於奈氏(左)とLindqvist氏

午後には、つくば国際会議場において「Why is there no Nobel Prize for technology and engineering?

(なぜ工学系ノーベル賞は存在しないのか?)」と題した国際講演会が、つくばサイエンス・アカデミー、日本工学アカデミー主催、NIMSほか3機関の共催により開催されました。サイエンス・アカデミー会長の江崎玲於奈氏の司会で、Prof. Lindqvist によるノーベル賞の目的や歴史、受賞者選考方法についての講演が行われ、続いて行われた質疑応答では会場から様々な質問や意見が寄せられました。

第9回NIMSフォーラム開催のお知らせ

NIMSの最新の研究と成果をより多くの方々に知っていただくため、今年度も、NIMSフォーラム「物質・材料の最先端研究と技術移転」を開催いたします。

開催日： 2010年2月17日(水)

会場： 東京国際展示場(東京ビッグサイト)

参加費： 無料

お申込み： 2010年1月中旬より事前登録受付開始

同じく東京ビッグサイトで開催される、ナノテク関係では国内最大の展示会 nano tech 2010 - 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 - の初日と同日に開催しますので、「nano tech 2010」・「NIMSフォーラム」の両方にご参加いただけます。

詳細は公式ホームページをご覧ください。 <http://www.nims.go.jp/publicity/events/nimsforum/nimsforum09.html>