

NIMS

2007.Vol.7 No.10 October

NOW

スペシャルインタビュー

フロンティア創造共同研究センター
応用セラミックス研究所 細野 秀雄
東京工業大学 教授

ありふれた物質から新しい
機能を生み出すという発想

NIMS Project

～プロジェクト紹介と最近の成果～

磁性材料センター
ホイスラー合金系ハーフメタルの探索

Research Highlights

- 新しいNb₃Al超伝導線材の実用化を目指して
- 極低温ローレンツ電子顕微鏡によるスピントロニクス材料の磁区観察

フェイス interview

社会の役に立つことが
研究者のファイナルゴール
材料ラボ 特別研究員 中谷 功

NIMS NOW—産総研TODAY共同企画

理事長
対談

吉川 弘之 産業技術総合研究所 理事長
岸 輝雄 物質・材料研究機構 理事長
餌取 章男(司会) 産業技術総合研究所
広報アドバイザー

独立行政法人の
役割を大いに語る

独立行政法人の役割を大いに語る

- 吉川 弘之 ————— 産業技術総合研究所 理事長
- 岸 輝雄 ————— 物質・材料研究機構 理事長
- 餌取 章男(司会) — 産業技術総合研究所 広報アドバイザー

独立行政法人とは何か —創業を振り返る—

餌取 — 独立行政法人(以下 独法)が発足して7年目になります。それぞれ日本をリードする独法研究機関の創業の理事長として、ここまで発展させてこられた間には相当なご苦心があったと思いますが、どんなことが今までに一番印象に残っていますか。

吉川 — 研究所が日本をリードしてきたと言えば、昔もそうでした。産業技術総合研究所(以下 産総研)の前身の工業技術院は明治からあり、日本が近代化と工業化に変貌する中で非常に大きな役割を果たしてきました。その間何度も改革があって、次第に時代とともに変わる中で2001年に独法になった。その歴史的な流れは非常に良かったと思います。科学技術、工業、工学、産業という

点で遅れをとっていた日本が、研究を国策として一気に欧米型の近代国家へと変貌し、技術を輸入し、研究成果を蓄積してきたのです。戦後になると研究は多様化しますが、国策に応じて行政目的と研究目的が完全に一致するような構造で進んできました。その中で研究者はかなり自由に研究の種を探しながら自立性を持って、しかも国策と矛盾せず研究を行うことができました。そして2001年に研究者だけでなく研究所が独立して研究できる体制になることによって、国策型の研究者が世界に通用する本当の研究者となり、日本の科学技術が世界に通用するものになってきたのです。

多くの研究所が改廃されて産総研として1つに統合されたことで、組織原理が全く変わりました。私が組織原理の基本として真っ先に言ったのは、研究者はオートノミー(自治)を持たなければならないということです。自分の殻に閉じこもるのではなく、自治を持つ研究者でありながら同時に集団として国が求めていることに協力して力を発揮していくことは、ある意味では2つの矛盾した問題が絡んでいました。それを研究者と一緒に具体的に理解することが、創業時の苦勞であったし、また一番楽しかったことでもありました。

餌取 — 岸理事長も大学から独法にいらして、大きな2つの研究所をひとつに束ねて新しく発足させたわけですが、どんなところに一番意を用いましたか。

岸 — 一番は独法とは何かということです。良いところは自治を行う自由を得たことです。しかし一方で、組織が変わったにもかかわらず、上から言われたことをやれば良いという雰囲気非常に強く残っていましたので、自由であるがゆえに責任を取らなければならないことは、研究者にとって辛い面でもありました。ですから最初は、独法になったことはプラスなのだというところを皆で分かち合うことが1つの問題点だったと思います。



Profile

吉川 弘之(Hiroaki Yoshikawa)
2001年 産業技術総合研究所初代理事長。日本学術振興会学術最高顧問。1993~1997年 東京大学総長。1997年 日本学術会議会長。総合科学技術会議議員。工学や産業、教育、学術行政に関する要職を歴任。専門は一般設計学、ロボット工学、信頼性工学。



Profile

岸 輝雄(Teruo Kishi)
2001年 NIMS初代理事長。NIMSナノテクノロジー拠点長および国際ナノアーキテクトニクス研究拠点プロジェクト全体責任者。2003~2005年には日本学術会議副会長、2007年より日本工学会会長を務める。専門は材料の強度・非破壊評価。

NIMSは2つの研究所が統合されてできました。金属材料技術研究所は工業技術院から分かれてできた研究所で、無機材質研究所は科学技術庁が新たに創り、当初から大学を志向したような研究所でした。この2つの研究所のメンタリティがそのまま物質・材料という名称に残っています。英語のMaterialは、日本の大学では歴史的に理学部が「物質」、工学部が「材料」と訳していたので、1つになるにあたっては両方から名前を取ったのです。このメンタリティの違いをどうするかという問題がありましたし、それは今でも違うのですが、違うから却って面白いと思うようになりました。苦勞というよりも、新しい組織に立ち向かうことが面白かったという印象があります。付け加えると、私は3ヶ月間産総研に在籍していました。産総研は1月にできたので、私はそこで勉強し4月にNIMSに移ったのです。

餌取 — その3ヶ月で学んだことで、どんなことが一番役に立ちましたか。

岸 — 行政と研究をどう分かち合うかということです。文科省と経産省では多少違うところもありますが、行政が出した課題をどう解決するかという点では非常に似ています。

餌取 — 産総研の場合はたくさんの研究所が一緒になったので、最初は途方に暮れたのではないのでしょうか。

吉川 — 私だけでなく皆が途方に暮れたと思います。研究所が発足する前に、産総研をどうデザインをすべきかについて若手の40代の人たちが中心になって大いに議論をしましたが、その時、研究所の所長や部長といったマネジメントの人たちを議論に入れませんでした。本当に産業技術が融合することによって価値が出るのだとすれば、伝統的な明治時代に必要だった各分野別の研究所の概念をなくさなければなりませんので、古い記憶を持っている人たちにはご遠慮願って、若手が集ってどういう研究分野を創ればいいのかを決めたのです。

私が4月に来てみると、3000人の研究者がいました。発足時に創ったマップには60くらいの研究ユニットがあり、研究者がどこに属したいかは原則的に自分で決めて入りました。つまり、人がいたから組織ができたのです。大学は違います。例えば、理学部には物理とか生物の学科があり、専門として素粒子とか天文学がある。そういう組織が先にあってそこに人を集めるのが大学です。組織原理が完全に逆転したのです。組織は進化しなければ



Profile

餌取 章男(Akio Etori)
科学ジャーナリスト。日本教育テレビ、テレビ東京の科学番組のプロデューサー、「日経サイエンス」編集長を経て、現在は産業技術総合研究所広報アドバイザー。

ならないということをお前提にしています。人がいて組織があるというのは設立時だけの原則ではなく、毎日がそうなのだといい続けています。すると変わるのですよ。最初にあった研究ユニットで、今も同じ名前が残っているのは数えるほどしかありません。そのようにして、研究者が研究しやすい組織を自由に創りました。スタートして3年半で見直し、昔の研究所の記憶をとどめている部分をもう1度壊す大改革をし、この6年半で大変有効な組織原理ができたと思います。改革した組織が次第に定着していくうちに、どんどん成果が上がるのが分かってきて、所内の理解はかなり進んできたのではないかと考えています。

餌取 — NIMSの場合、大学との差別化はどうお考えになっていますか。

岸 — 今言われているイノベーションである技術革新を見据えて、大型の施設・設備を整備し、独立したグループによるプロジェクトを行っています。それは大学のやり方とはかなり違いますし、中期計画や中期目標を立てて、ある程度国策ということを加味してプロジェクトを進めていくという意味でも違います。真の最先端の研究になると大学と競合することが多くなりますが、我々は「大学ではやりたいけれどもやれないことをやる」ことが重要だと考えています。

研究と産業界をつなぐ独立行政法人の役割

餌取 — 業界、企業との関わり方という点ではいかがですか。

吉川 — 産総研では組織づくりに関してひとつだけ枠を設けています。それが本格研究です。本格研究というのは、その中に大学と伍してやるような基礎研究を必ず入れなければなりません。新しい科学的発見が技術の根幹にない研究ならどこでもやれるからです。自分で科学の研究をし、それに基づいた技術を創ろうという一群の人たちがいる。産業界と完全に共同研究できる研究者、あるいは産業界に足を踏み入れてベンチャーを起すような研究者がいてもいい。これらを第2種の基礎研究を行う研究者が統合していくのです。第2種基礎研究というのは経済・社会ニーズへ対応するために異分野の知識を融合・適用する研究のことで、これに対して、新しい発見・解明をするのが第1種基礎研究です。この第2種基

礎研究を軸に、一般の大学の研究者とベンチャーをやるようとしている人との間を統合できるような大きな研究体を創る。これを本格研究と言っています。これは大学ではできないものですから、大学が産総研と結べば、大学でやった研究が産総研の本格研究の上を流れて産業界に繋がっていく道筋ができます。ですから、差別化するよりも大学と協調して国内にネットワークを創りたいと考えています。

餌取 — 産総研よりNIMSの方がやや基礎研究寄りというのが一般的な見方だと思いますが、NIMSもずいぶん産業界との連携を考えていらっしゃいますね。

岸 — NIMSには基礎・基盤研究というミッションがあり、その成果を普及させることが求められています。それに対して、応用研究や産業研究はミッションではありませんが、このところ産業界との繋がりは非常に強くなりました。企業との技術交流のためにイブニングセミナーを開催していますし、共同研究も最初はほとんどゼロでしたが現在では200件ぐらいいなりました。もはや産業界との繋がりにしは我々の研究活動は考えられない状況になっています。

社会に変革をもたらすイノベーションの必要性

餌取 — 今イノベーションがまさに国策になっていますが、どのように捉え、研究所の中でどの方向に持っていくようとしていらっしゃいますか。

岸 — 広い意味でイノベーションはずいぶん浸透してきました。自分たちの基礎・基盤研究から世の中を大きく変えるものにどう持っていくべきか。技術だけでなく、日本だけでなく、世界中が今突き当たっている壁を打ち破って、本当に社会システムを変えるような方向を、材料からどのように模索していけばいいのかを考えています。

例えば、NIMSが一番開発したいものは何かといえば、常温の超伝導材料です。これは未だ遠い夢であってすぐ叶うわけではありませんが、そこに秘められているものが材料から見たイノベーションの1つの到達点だろうと思います。もし安い常温超伝導材料ができれば、エネルギー問題、環境問題、資源問題、社会変革、経済変革などに非常に大きく資することになります。そういう夢と現実を考えながら、材料からどうアプローチしていけば

いいのか議論しています。しかし、ターゲットは未だ夢ですから、その前段階の積み重ねをして少しずつ上がっていかなければならないという捉え方をしています。

餌取 — 吉川理事長はイノベーションというのは、社会システムの変革にまで影響を与えて初めて成立するとおっしゃいましたね。

吉川 — そう思いますね。社会の富を生み出すメカニズムに影響を与えなければイノベーションとは言えないと思います。新しいものができただけではイノベーションではありませんから、私はシュンペーターとは違う定義をしようと思います。

最近ノーベル平和賞を受賞したムハンマド・ユヌス氏が設立したバングラデシュのグラミン銀行が良い例です。バングラデシュで貧しさに苦しんでいる大家族に27ドルを貸したところその家が再生したことから、ある社会ではアメリカで学んだ経済学とは関係なく、小さなお金でも大きな影響力を持つのだと気づいてこの銀行を設立しました。貸し出す相手を女性に限り、お金を借りたい人には5人ひと組のグループを作ってもらって、その中の誰かひとりでもビジネスを始めて成功したらまた貸し出し、逆に誰かひとりでも悪事を働いたら、5人の責任で返済してもらうことにした。これで貸金の回収率は98%にまでなっています。この銀行システムで貧困の緩和に成功したことによりノーベル平和賞が贈られたのです。そこには科学技術は何もないのですが、すでにある金融というメカニズムを使って今までにない富の流れを生み出した。私はこれがまさにイノベーションの

最終的な姿だと思うのです。我々はもちろん科学技術を通してイノベーションを行います。それは、我々が解決したいのは貧困だけでなく、地球環境問題のように科学技術を要する問題だからです。しかし、今あるメカニズムを変えなければ現在ある問題は解決できないと思います。これまでの学問は知識を生み出すことばかりやってきて、出てきた発明や発見をどのように普及させるかという方法を蓄積してこなかったのは学問の怠慢です。環境問題を解決する、農業問題を解決する。どうすれば実際に少しずつでも解決できるような道を歩めるのか。従来の「変わればお金が儲かる」というイノベーションからもう一歩出なければいけません。イノベーションとは、科学技術に携わっている人たちの一番大きな仕事だろうと思っています。

餌取 — 独法の役割のひとつとして、そうしたイノベーションの概念を広め、それを進めるための方法論をどんどん世の中に問うていかなければいけませんね。

岸 — 日本の科学技術政策もかなり整ってきました。しかし、その先のイノベーションや社会、あるいはシステムの変革などをどうやっていくかを今模索している状況なのではないでしょうか。

吉川 — 我々も模索しています。一種の直観で本格研究という方法を創りましたが、本格研究はイノベーションだったのではないかと我々研究者の間で同意しています。この方法は科学技術者がイノベーションを実現するための非常に有力な方法なのですから。餌取さんとおっしゃるように研究成果だけでなく、その方向性をもっと



世の中に知ってもらおうのが大事だと思い、今新しいジャーナルを出そうという計画を立てています。

岸 — 大学では先生方が好奇心で研究する部分が多いですが、独法からイノベーションを強く打ち出していけると面白いですね。

吉川 — イノベーションに好奇心を持ってもいいわけです。

餌取 — 科学技術に関する政策提言にまで繋げる必要がありますね。

吉川 — そうです。第1種基礎研究は新しい物質や材料を発見する研究です。使える材料をたくさん創り、その材料がデバイスに適切かどうか判断するためには、機械的性質、電気的性質、さらには経済・社会まで含めた知識がないと第2種基礎研究はできません。しかし、第2種基礎研究は論文にならないので、研究者にとっては論文生産性が悪く誰もやらなくなってしまいます。それで新しいジャーナルをスタートしようとしているのです。何十人もの執筆者の候補ができました。当面は産総研の中でスタートしようとしています。外部からも論文を受け付けたいと思います。そういうものはどの学会にもありませんから。第2種基礎研究というのは、必ず多数の学問にわたり1つに絞ることはできません。分野が合成されたところに意義があります。

岸 — 今おっしゃった第1種基礎研究は我々の物質研究、第2種基礎研究は材料研究に近いと思います。これらをうまく繋がなければ意味がありません。第2種基礎研究は異分野が大事になってくるとは思いますが、異分野が入ると確かに論文化から遠ざかるかもしれません。そこで大事なことは独法における評価で、個人評価については色々苦労しています。何をもちて成果とするかということが非常に難しいのです。

産業界が欲しがると人材を育成する

吉川 — これはまだ具体的な合意ができていませんが、私は独法の研究所の中に学校の機能を持たせてはどうかと考えています。ドクターコースを終了した人を教育する場です。「ポストドク1万人計画」で失業者が増えたと文句を言う人もいますが、あの計画がなかったら科学技術基本計画はありませんでしたし、今有効に研究ができているのは、まさにポストドクがいるからです。研究の現場を守っているポストドクは、日本の知的生産の分野にお

ける宝物です。それを失業者予備軍のように扱ってははいけません。しかし、現実に行き先がないのが確かだとすれば、それはやはり我々研究所の怠慢だろうと反省をしています。

産総研には何百人というポストドクがいて、そのうちの一部はパーマネント職につきますが、それ以外のプロジェクト単位で採用したポストドクは期限付き雇用です。ですから、研究所から出た時に企業が欲しがると幅広い感性を持った人材を輩出しなければなりません。問題は、大学では非常に狭い分野でドクターを取得していることです。分野が狭くなってしまった人が産総研に来て第2種基礎研究をやることで、再び専門を広げていくようにしたいのです。産総研では50以上のユニットで本格研究をやっていますから、そこに参加することにより専門分野の狭さが相対化され、様々なことが分かってくるはず。そして仮に3年か5年の勉強をした後、卒業論文として新しいジャーナルに論文を投稿させるのです。こうして実地で訓練すれば、元々力のある研究者ですから企業は大歓迎してくれるはず。企業の研究者とはまさにイノベーターですから、そうした実践的な研究者を育成していきたいと思っています。そうなった時に「ポストドク1万人計画」は完結するのだと思っています。

岸 — ところで吉川先生に質問があるのですが、今私が一番気になっているのはこれからの研究者のことで、『理系白書』には「理系に行く」と損をする」ということが書かれています。理工系に人気がないと言われますが、本当に人気がないのは工学系です。イノベーションには何かを達成するための工学的なセンスや意欲がとても大事な要素であるのに、工学に人気がないのが非常に気にかかります。「理系に行く」と損をするのか、「なぜ工学系に人気がないのか」、そして、この頃は中国・インドと比べても日本の大学院は如何かと感じているので、「日本の大学院の現状」の3点について、ぜひご意見を伺えればと思います。

吉川 — 理系の人気のなさというのは社会的な問題です。ベルギーなど小さな国では、政策的に理系の給料を上げたりしていますが、イギリス、アメリカ、日本はダメです。それには理由があって、本質は理系教育の失敗だと思います。若者は将来に対して、説明はできないけれど非常に鋭敏な感覚を持っていて、それに基づいた異議申し立

てなのです。理系をやった知識ばかり増えてしまっても仕方がないじゃないか。環境を壊す原因を作り出すことになるし、貧富の差は拡大しているのではないかと。自分では気がついていないけれど、彼らはなんとなく理系を嫌だと思っている。そういう若者の直感というのは、私は逆に非常に頼りになるとは思っています。

では、解決する方法は何かというと、私は工学が理学の応用としてやってきたところに非常に大きな罪があると思っています。知識をどのように使うべきかという、「知識を使うための知識」についての学問を作らなければいけない。工学とは何か、工学の使命は何かということをきちんと述べる仕組みがなかったことが今の状況を生み出している面があるから、それをこれからやろうと言っているのです。それはまさに我々の自治とも関係があると思っています。

岸 — なるほど。では大学院はどうすればいいですか。

吉川 — それは、ドクターをワーカーとして使ってきたことで問題が深くなってしまったと思います。諸外国ではもっと気をつけていて、教育者意識の強い人が日本よりはるかに多く、次世代にどのような人材を育むかに対する責任を自覚しています。こういうことは、日本の大学の先生はあまり考えてこなかったのではないかと思います。

岸 — 独法は雇用する側ですから、適確な意見をまとめて大学に出していく必要がありますね。

吉川 — 私はそこには期待できないと思っています。それで、研究所の中で教育をしようと考えているのです。今の日本の大学に多くを求めることは難しいのではな

いでしょうか。教育に対する予算が減らされていますし、教育再生会議にも問題があります。現場では一所懸命にやっていますが、仕組みについては放置されてきました。そういう意味では「再生」ではなくて、制度側の責任なのです。もっと教育費を上げて現場に判断能力を与え、教育に関して工夫した教授が成功するような形にすることが大切だと思います。

餌取 — 吉川先生が今おっしゃったことは、とても大切なことだと思います。私も技術に対する広報が足りなかったと感じています。技術はもっと楽しいものだと思えなければならなかったのです。

さて、最後になりますが、両理事長から若い人に檄を飛ばしていただけないでしょうか。

吉川 — 檄を飛ばすというよりも、逆に謝らなければならないと思っています。私達は高度成長時代に大変いい仕事をしましたが、80年代から90年代にかけては次の世代を育てることに繋がらないという教育の失敗があったような気がします。ただ、これから教育に携わる人たちはきちんと再建させるだろうと思います。ですから、若者たちには冷静に日本の社会を見て、自分で判断してほしいですね。日本には非常にいい組織、実績がありますから、それに気がつく感受性を持ってほしいのです。

岸 — 私は個人がいろいろな意味で強くなり、責任を持たなければならないと思います。そして、研究者には仕事も生活も楽しんでほしい。その精神がないと研究は前に進まないと思いますから。

餌取 — 本日はどうもありがとうございました。



磁性材料センター

ナノ構造制御による
高性能ナノ磁性材料の創製プロジェクト



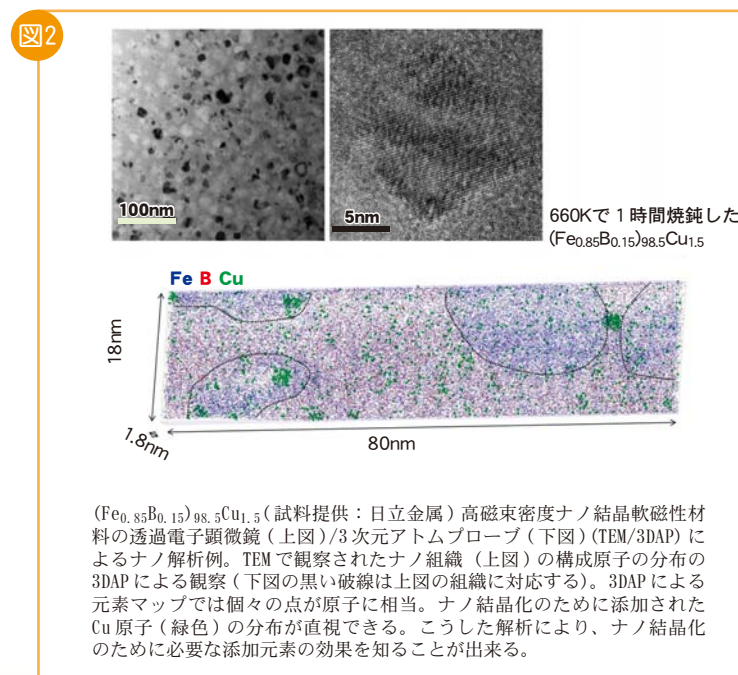
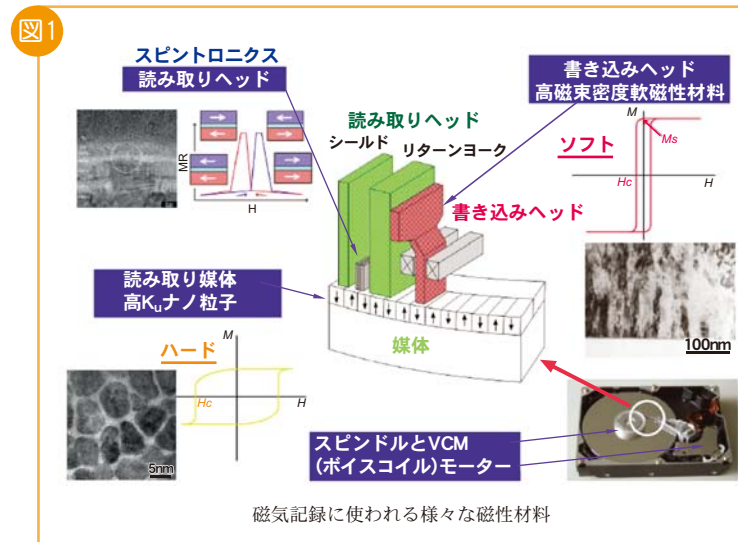
ユビキタス社会を実現するためには磁気記録システム、スピントロニクス*素子の開発が必要です。磁性材料センターでは、こうした開発に必要な磁性材料、スピントロニクス材料の開発を行っています。また、環境対応自動車でも重要性の高まっている永久磁石材料の開発と、それに必要な基礎研究にも取り組んでいます。

職員数ではNIMSでもっとも小さなセンターですが、20名以上のポスドクならびに大学院生がセンターの研究活動に携わっており、半数以上の構成員が外国人、公用語は英語という国際色豊かな研究環境で、若い研究者や大学院生が「組織化された混沌」の下で研究に励んでいます。

研究対象とする材料は、高密度磁気記録媒体用薄膜、再生ヘッド用巨大磁気抵抗(GMR)素子、ランダムアクセスメモリ(MRAM)応用などを視野に入れたスピントロニクス素子とそれを構成する材料、薄膜永久磁石材料ならびにバルク磁石材料です。センターは磁性材料グループ、スピントロニクスグループ、ナノ組織解析グループの3つのグループから構成され、これらの3グループが密接な連携をとりながら、次世代の高特性磁性材料の開発とその基礎研究を推進しています。

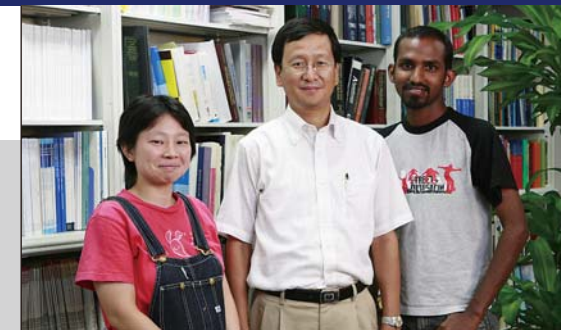
磁性材料グループでは磁気記録(図1参照)、スピントロニクス、エネルギー環境分野で用いられるあらゆる磁性材料ならびにスピントロニクス材料の探索と開発、スピントロニクスグループではMRAMなどの応用を念頭に置いたスピントロニクスデバイスの開発に取り組んでいます。ナノ組織解析グループでは磁性材料、スピントロニクス材料とそれらのデバイスのナノ構造解析により材料、デバイス設計の指針を示すための解析研究を進めています。同時に、3次元アトムプローブ(3DAP)というユニークな解析技術を縦横に活用するために、ナノ結晶超強度合金、マグネシウム合金、金属ガラスなどのナノ組織金属材料のナノ解析にも取り組んでいます。

*スピントロニクス:従来のエレクトロニクスでは電子の持つ電荷のみを制御するが、スピントロニクスは電子の持つ電荷とスピンを制御した素子を用いる



ホ イスラー合金系ハーフメタルの探索

磁性材料センター 磁性材料グループ



センター長 高橋 有紀子 宝野 和博 A.Rajanikanth

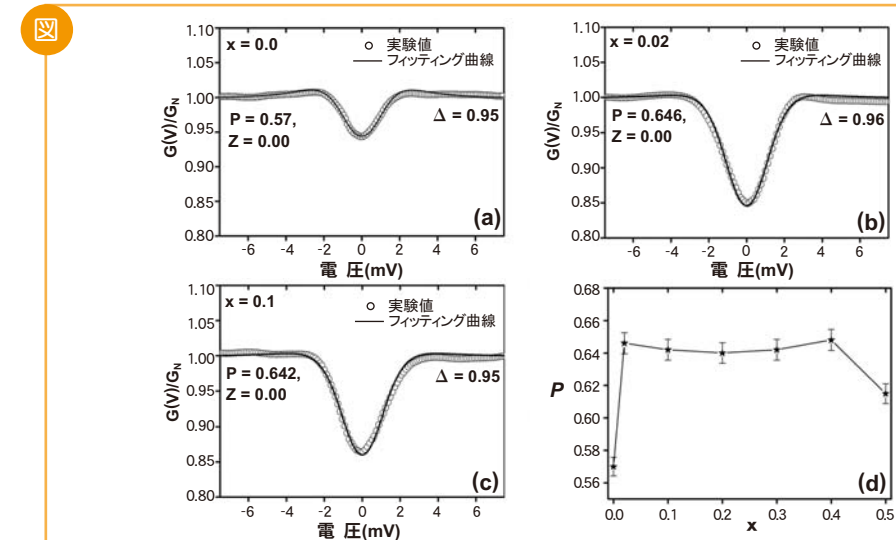
電子には上向きスピンと下向きスピンがあります。上向き電子スピンが金属的なバンド構造を持ち、下向き電子スピンが半導体的なバンド構造を持っていて、そのバンドギャップにフェルミ準位がある材料では伝導電子はすべて上向きスピンに分極しています。こうした材料をハーフメタルと言い、ハードディスクドライブ(HDD)の再生ヘッドに使われる巨大磁気抵抗(GMR)素子や磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(MRAM)に使われるトンネル磁気抵抗(TMR)素子、金属から半導体へのスピン注入や電界効果スピントランジスタ(スピンFET)など、あらゆるスピントロニクスデバイス実現のためのキーマテリアルとして注目されています。

ハーフメタル探索には、迅速・簡便に材料そのもののスピン分極率を実験的に測定することが必要です。常伝導体/超伝導体の点接触を通して流れる電子の伝導度は、点接触間の電圧が超伝導のエネルギーギャップ内であると常伝導体/常伝導体の2倍になるというアンドレーフ反射を利用して、強磁性材料のスピン分

極率を直接測定することができます。この測定法を使って我々はハーフメタルの探索を行っています。

図にはCo₂Cr_xFe_{1-x}Si 4元系ホイスラー合金の様々なCr濃度xでの電圧・伝導度曲線を示しています。これに理論曲線をフィッティングすることにより分極率を求めています。Co₂FeSiのFeのわずか2%をCrで置換することにより、スピン分極率は0.57から0.64へと急激に増加し、その後一定の値を示しています。このような微量元素添加により分極率が大きく変化することを測定した実験結果はこれが初めてであり、合金組成を変化させた種々の合金の分極率を迅速・簡便に測定するのに上記の点接触アンドレーフ反射(PCAR)法は最適のツールとなっています。このような研究によってCo基ホイスラー合金*に第4元素を添加して、比較的高いスピン分極率の得られる材料や温度耐性の優れた高スピン分極率合金が見出されてきており、近い将来スピン分極率が0.9を超えるような理想に近いハーフメタルを探索しています。

*ホイスラー合金:体心立方構造を基調としたL2₁規則構造をもつ合金



Co₂Cr_xFe_{1-x}Si合金のPCARによる電圧・伝導率曲線(図a, b, c)とスピン分極率のx依存性(図d)。
P: スピン分極率 Z: 界面散乱因子 Δ: 超伝導ギャップ

新しいNb₃Al超伝導線材の実用化を目指して

—安定化のための高速銅めっき技術の開発に成功—

超伝導材料センター 強磁場線材グループ

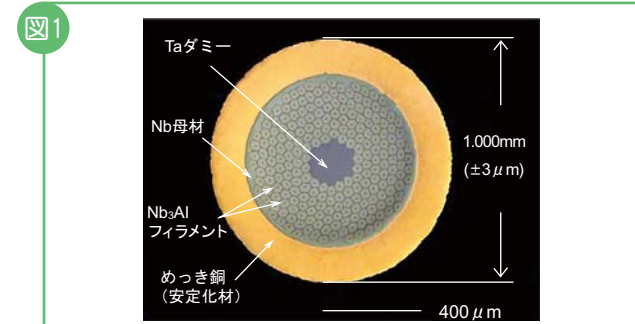


菊池 章弘 (左から2番目)とフェルミ研究所の共同研究者

特性の優れた化学量論組成のNb₃Al超伝導線材を合成するには約2,000℃の高温熱処理が必要で、この特殊性が線材の実用化を阻む第一の壁でした。10年ほど前に、直接通電による抵抗加熱を制御した急熱急冷法という長尺線材のための熱処理法がNIMSで開発され、実用化が待望されていました。しかし、実際に超伝導磁石として応用するには、熱ゆらぎ等の様々な擾乱により不安定になる超伝導状態を安定化しなければなりません。一般的に、超伝導線材の安定化のためには良導体である純銅が線材の母材として使用されます。しかし、急熱急冷法で作製するNb₃Al線材の場合、高温加熱時の温度が銅の融点をはるかに越えるため銅を母材とできず、高温加熱後に銅を線材に複合しなければなりません。これまでは銅箔を貼り合わせるクラッド圧延を行っていましたが、銅とNb₃Al線材の間には多数の密着不良が確認され不安定化が懸念されていました。また薄い銅箔しか扱えないために多量の銅の複合は不可能で、さらに、圧延により平角形状になるため用途が限定されていました。幅広い領域に応用を図るには、高品質の銅を効率よく且つ良好な密着性で丸形状を維持した線材に複合することが求められ、これが実用化のための第二の壁となっていました。そこで、(株)ヒキフネの技術協力を得て、電解めっき技術を基盤に、銅を高速で厚くめっきする技術

の開発に取り組みました。電解めっきでは1μm以下の薄い膜を形成することが一般的ですが、安定化材とするには、従来のめっきの常識を超えた厚さが必要で、しかも高品質且つ高速で複合できなければ実用的ではありません。今回、様々な改良を加えて、従来の150倍以上の厚さ(150μm)の銅を毎時5mもの高速で連続的に1km級線材にめっきする技術の開発に成功しました。これまで不可能であった高いめっき効率のため、低コストで銅の複合が可能となりました。品質は高純度且つ緻密な組織のため極低温で高い電気伝導度を得ることができ、さらに線径は±3μm以内の高い寸法精度を実現しています(図1)。

NIMSと米国フェルミ国立加速器研究所は次世代加速器のための新しいラザフォードケーブルの開発に関する共同研究を実施しています。NIMSで開発した銅安定化Nb₃Al線材を使用して、世界初のNb₃Alラザフォードケーブルが試作されました(図2)。加速器で使用されるケーブルは、超伝導線材にとって最も過酷な条件での応用と言えます。導体の大容量化のために数十本の超伝導線材が矩形に曲げられ、さらに圧縮されて帯状に成型されます。このような極端な塑性変形を受けても、個々の超伝導線材は特性劣化がないことが求められます。また加速器用磁石では特異な磁場分布を示すため、低磁場から高磁場まで広範囲で安定した性能が必要です。加速器用導体としてNb₃Al線材の製造法が確立されれば、核融合炉等の他の応用への発展も益々期待が高まるでしょう。



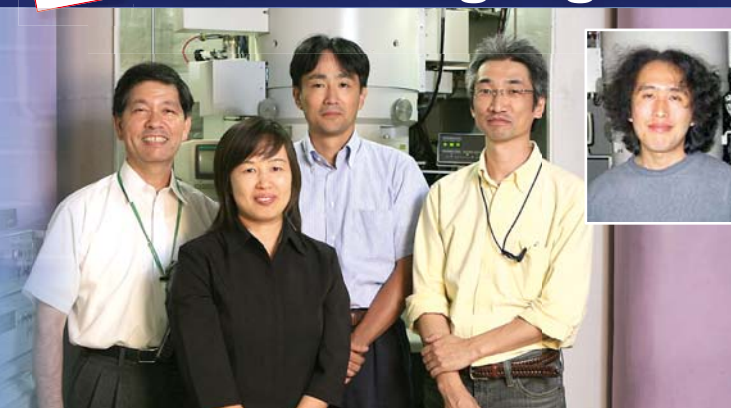
新しい高速めっき技術により安定化銅が複合されたNb₃Al超伝導線材。銅の分量は線材全体の50%。



27本のNb₃Al線材を編み込んだラザフォードケーブル。87%と高い充填率で圧縮成型されている。液体ヘリウム(4.2K)中で25,000A以上の大電流を通電することができる。今年の夏、米国フェルミ国立加速器研究所と共同で試作された。

極低温ローレンツ電子顕微鏡によるスピントロニクス材料の磁区観察

ナノ計測センター 先端電子顕微鏡グループ



グループリーダー 松井 良夫 于 秀珍 木本 浩司 原 徹 浅香 透 (米国留学中)

強磁性体は「磁区」と呼ばれる小磁石からなっています。磁区と磁区の境界を磁壁と呼びます。1つの磁区内では、各原子の電子スピンの向きが同じ方向に整列しています。磁区や磁壁の観察は、通常の電子顕微鏡では不可能で、特別に設計された「ローレンツ電子顕微鏡」が必要となります。

近年、磁性(スピン状態)の外部磁場依存性を利用して電気伝導性を制御する、いわゆる「スピントロニクス」の研究が盛んであり、スピン整列状態の直接観測と制御が特に重要な課題です。例えば、トンネル磁気抵抗(TMR)材料として注目される、層状ペロブスカイト型マンガン酸化物La_{1.2}Sr_{1.8}Mn₂O₇では、Mn(マンガン)の僅か数パーセントをRu(ルテニウム)で置換するだけで、スピン整列状態が劇的に変化することが、磁化測定等で示唆されていました。しかし、実際に室温から極低温の間で、スピン整列状態、いわゆる磁区がどのように変化するか、その詳細は知られていませんでした。

そこで、Mnの5%をRuで置換した強磁性体La_{1.2}Sr_{1.8}(Mn_{0.95}Ru_{0.05})₂O₇に着目し、極低温ローレンツ電子顕微鏡(図1)を用いて、磁区構造の温度依存性を調べました。

図2(a)は20Kでの磁壁像です。磁壁が白又は黒線として、明瞭に捉えられています。カラーの矢印が磁化方

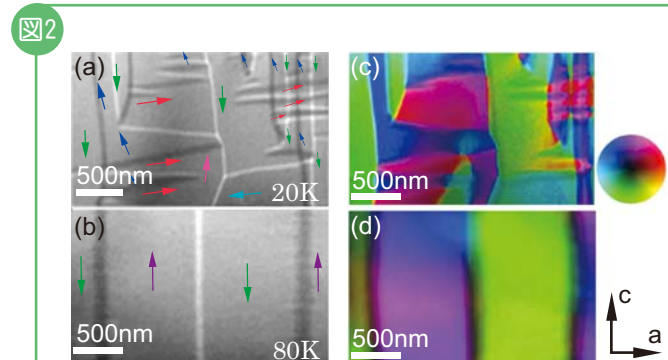
向(スピン整列方向)を示しています。温度を80Kまで上げると、(b)の様に、より単純な磁区構造に変化します。

我々は、スピン整列の温度依存性を詳細に調べ、スピン整列方向を温度によって制御可能なことを明らかにしました。まず図2(a)と(b)の磁壁像に基づいて、コンピュータで位相解析を行い、磁化方向を算出し、カラー表示した結果を図2(c)と(d)に示します。20Kでは各磁区の磁化方向は複雑に傾いていますが、温度の上昇に従って徐々にc軸(層状構造の層に垂直な方向)方向に揃い始め、80Kでは、磁化方向がc軸方向に沿って、反平行の磁区(通常180°磁区と言います)を形成していることが分かりました。

本研究では、強磁性TMR材料として注目されるLa_{1.2}Sr_{1.8}Mn₂O₇のMnをRuで5%置換したときの磁区構造の温度依存性を、極低温ローレンツ電子顕微鏡によって観察することに成功しました。この結果は、強磁性体の磁化方向、いわゆる、スピン整列方向を温度によって制御することの可能性を示唆するもので、次世代の磁気メモリ素子の開発に繋がる成果です。このように、ローレンツ電子顕微鏡による磁区や磁壁の直接観察は、強磁性材料の磁性制御、即ちスピントロニクスの研究開発において非常に有意義であり、今後の発展が期待されています。



ローレンツ電子顕微鏡



La_{1.2}Sr_{1.8}(Mn_{0.95}Ru_{0.05})₂O₇の磁区構造。右側のカラーホイールが磁化の方向を示しています。

スペシャルインタビュー ありふれた物質から新しい 機能を生み出すという発想

セメントと言えば、教科書では電気を通さないと教える絶縁体の物質です。そのセメント材料の一種であるカルシウムアルミネート(C12A7)のナノ構造を利用して電気を流し、遂には超電導を実現するなど、物質の持つ隠れた性質を探索し、常識を破るユニークな研究で注目を集める東京工業大学の細野秀雄教授に話を伺います。

カルシウムアルミネート(C12A7)の研究は、ERATO(戦略的創造研究推進事業)から始められたのですか。

C12A7の論文を初めて出したのは1986年、高温超電導体と同じ年です。1999年から5年間プロジェクトリーダーとして携わったERATO[透明電子活性プロジェクト]の構想時に、自分がやってきた研究の中から主だったものを拾い上げて、その中から一番面白いことを中心に展開しようと思いました。その中で、どうしても気になるC12A7結晶を隠し玉として取りあげることにしたのです。

それが、思いがけず電気伝導を示すようになったのですね。

C12A7は絶縁体ですが、結晶構造は内径0.4nmの籠構造が3次元的に繋がっています。私が考えたのはこのナノの籠と活性な陰イオンの組み合わせでした。普通の状態では不安定だけれども、ナノ構造の中に入れば安定になります。それが、水素マイナ(水素は普通は+1のイオン)であり、酸素の-1価イオン(普通は-2)であり、そして電子だったわけです。例えば、O-を入れると、安定な白金さえ酸化できるという新しい機能が発現しました。また、電子を入れることで、狙っていた超電導体になりました。

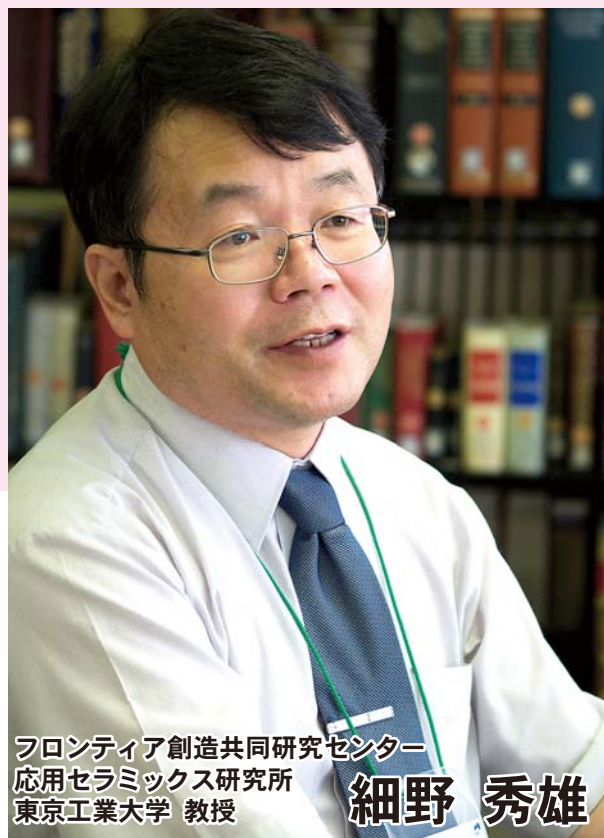
特に留意した点というものは何ですか。

単結晶、薄膜、焼結体(セラミックス)という材料の3形態を揃えたことです。もしパウダーだけでやっていたら、これだけ興味深い機能は見つからなかったと思います。

今、元素戦略が重要になっていますが、ただ単に似た性質のもので置き換えていくのではなく、その課題に対して科学がどう寄与できるかが試されていると思います。ナノの本質を利用したアプローチが必要です。日本は資源がない国なので物質科学のブレークスルーをナノが担わなくて、何のためのナノテクノロジーかと思うのです。元素戦略は「ナノテクの道場」ではないでしょうか。

応用ではアモルファス透明酸化半導体(TAOS)が注目されていますね。

まず、1995年のアモルファス半導体国際会議でTAOS



フロンティア創造共同研究センター
応用セラミックス研究所
東京工業大学 教授 細野 秀雄

のコンセプトと実例を発表しました。それまでイオン性のアモルファス半導体はありませんでしたし、電子輸送特性が既存のそれとは全く異なっているので、新規性には自負をもっていました。しかしながら、当時はアモルファスシリコンが全盛で、全く相手にされませんでした。私たちはその後もこつこつ研究を続け、TAOSの一つであるインジウム・ガリウム・亜鉛の酸化物のアモルファス薄膜を使って、電界効果移動度が $10\text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$ という薄膜トランジスタ(TFT)を創ったのです。これはプラスチックの上に室温でできる高性能透明トランジスタとして、2004年11月に『Nature』に載りました。私にとっては10年前からやっていたことをTFTにただけですが、その時は既にフレキシブル・エレクトロニクスが話題になっていて、このTAOS-TFTはあっという間に世界中に広まりました。今年8月の同会議では、アモルファス・ナノ酸化物半導体が全体の15%に急成長しました。

最後になりますが、細野先生の夢は何ですか。

誰もやっていないような明快なオリジナリティのある研究によって、自分のものを見る見方が変わるような体験をしたいです。より具体的には『Nature』や『Science』などの雑誌に載るような学術のブレークスルーを成し遂げ、それが世の中で困っていることの解決や産業化に繋がること。そして、このような開拓的研究をやっている過程で志の高い優れた学生が育つこと。これらが揃ったものが、私は大学の理想の研究だと思っています。

フェイス interview

磁性体微細加工のパイオニア。長年にわたり研究を続けてきた、1平方インチ辺り600Gビットで、やがて1Tビットも射程内であるというパターン媒体が、今、次世代の記録媒体として注目を集め、世界で研究されています。1970年にNIMSの前身である科学技術庁金属材料技術研究所に入所し、昨年定年退職した後も特別研究員として研究を続けている中谷特別研究員は、オリジナルの研究で数々の特許技術を開発してきました。その研究成果を生み出した背景と、未来を担う若い研究者に望むことについて伺います。

社会の役に立つことが 研究者のファイナルゴール

磁性体の微細加工を始めたきっかけは何ですか。

そのモチベーションとなったのは、ハードディスクの高密度磁気メモリ、パターン媒体。それから磁気ヘッドです。3次元構造体ですが、GMRやTMRなどを創り込むこと。さらに、フラッシュメモリのような不揮発性メモリのMRAMをデバイス化するために、磁性体の微細加工技術が必要だったのです。

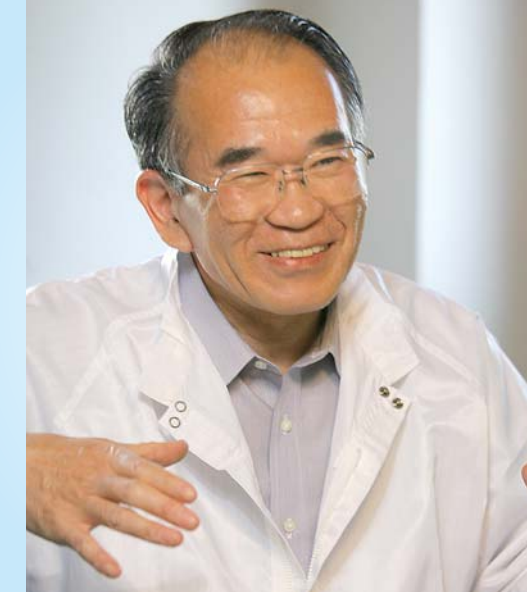
具体的には、どのような技術になりますか。

シリコン半導体はハロゲンガスのプラズマによって的確にドライエッチングできるのですが、磁性体は鉄族遷移金属ですからそれができません。そこで、一酸化炭素ガスとアンモニアガスのプラズマを使って、磁性体のエッチングを行う技術を開発し、エッチング装置を創りました。これについては、NIMSが基本特許から防衛特許まで一式もっています。今のところ、この技術しかありませんのでシェアは100%です。

このエッチング技術で磁性体の微細加工を行って、ハードディスクのパターン媒体を提案したのが1989年のことです。パターン媒体はハードディスクの表面に、大きさの揃った磁性体のナノ粒子をトラックに沿ってきちんと並べます。この配列に沿ってヘッドが走り、磁性体のナノ粒子1ドットにバイナリーのデータを記録します。その当時、パターン媒体には誰も見向きもしませんでした。垂直磁気記録の限界を超えるものとして、2000年頃から世界中で研究が始まりました。市場への投入は2009年の予定です。市場規模は2兆円と試算されています。

このナノ粒子の製造装置を創られていると伺いました。

一昨年、この研究で創った装置が実際に産業界で稼働しています。研究をやっていく間にいろいろな発見をしたり論文を書いたりする喜びもありますが、



特別研究員 中谷 功 (Isao Nakatani)
材料ラボ

社会の役に立つことができるのは、それとは別の種類の大きな喜びです。

お一人でされてきた研究が多いですが、不安ではありませんでしたか。

エジソンに始まる音声記録の発達の歴史を考えると、パターン媒体の研究は大きく間違っていないのではないかと、という頼りない信念と、同じような研究をしている仲間がいないことの不安が心の中に同居していました。しかしそれはオリジナリティの高い研究をするにはやむをえないことです。

若い研究者に何かアドバイスをいただけますか。

研究者にとって実験ノートはきわめて重要ですから大切にしてください。実験ノートを開けば、いつ、どこでも、その空間が研究室になります。それから、研究テーマは、今、社会が必要としているものに取り組むのでは遅過ぎます。例えばハードディスクに代わるまったく新しい発想の記録媒体を、勇気を持って提案してほしいと思います。

研究者のファイナルゴールは社会や産業の役に立つことです。研究をやっている最中はとかく忘れがちですが、自分たちは何のために研究をしているのかを1年に1回でもいいですから考えてください。自分のためではなく、人を良くするために科学や技術、そして研究があることを。その気持ちがないと、どんな分野でも努力がほとんど意味をなさないと思います。



中谷氏の実験ノート

「PoLyInfo 高分子データベース」が「オルガテクノ大賞2007」を受賞

平成19年7月19日、第3回を迎えた有機系高分子の新しい技術に関する展示会・国際会議である「オルガテクノ2007」にて、NIMSデータベースステーションの「PoLyInfo 高分子データベース」が「オルガテクノ大賞2007」を受賞し、東京ビックサイトにて授賞式が行われました。

オルガテクノ大賞は、従来のテクノロジーを根底から覆す可能性を秘めた先端材料・先端応用技術を様々な分野から募り、有機・高分子技術の一層のレベル向上を図ることを目的とした賞です。

「PoLyInfo」は単なるデータベースにとどまらず、高分子材料設計を支援し、新物質の創成に大きく貢献する機能を有する点で、新しいデータベースの概念を提唱しています。今までのデータベースにはなかった未知の高分子に対する物性推算機能や構造作図(モデリング)機能などが、オルガテクノ分野において、従来とは異なる新しいアプローチで分野の進展に大きな貢献をもたらしたと評価されての受賞となりました。

なお、NIMS物質・材料データベースは世界110カ国の7,879機関から、31,337人(平成19年8月31日現在)がユーザ登録して利用しています。詳細はNIMS物質・材料データベースのホームページをご覧ください。 <http://mits.nims.go.jp/>

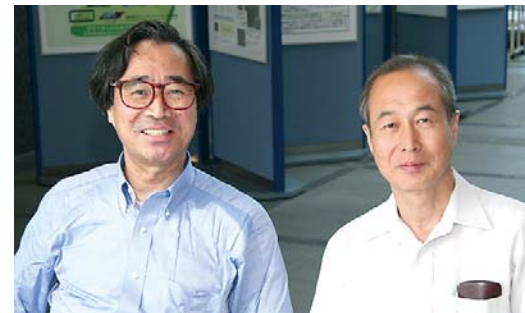


データベースステーションメンバーとお話になった方々と

NIMSのフェロー、「応用物理学会フェロー表彰」を受賞

NIMSの青野正和、堀池靖浩両NIMSフェローが「応用物理学会フェロー表彰」の第1回受賞者に選ばれ、平成19年8月3日に開催された「応用物理」創刊75周年記念式典において授賞式が行われました。

両氏は応用物理学会における継続的な活動を通じて応用物理学の発展に多大の貢献をしてきたことが認められ、他の84名の方々とともに表彰を受けました。表彰に関わる両氏の研究業績は、青野フェローについては「固体表面の構造と電子状態の解析およびナノ構造の創製と物性計測」、堀池フェローについては「先進的微細加工技術開発とデバイス新機能発現に関する研究」です。応用物理学会は75年の歴史をもち、応用物理を通して学術の振興、技術の発展による社会と産業への貢献、相互啓発と人材育成による教育貢献などを目指した23,000人以上の会員を擁する組織です。



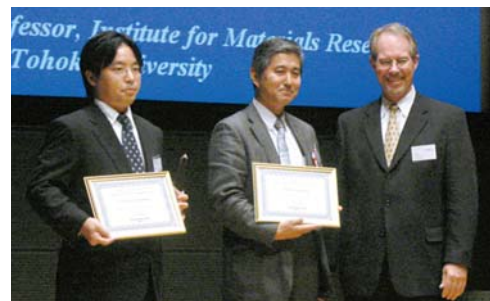
青野NIMSフェロー(左)、堀池NIMSフェロー

NIMSの名誉顧問が日本のリサーチフロントを牽引する研究者として表彰

平成19年9月19日、東京丸ビルホールにて開催された学術シンポジウム「日本の優れたリサーチフロントを称えて」(主催:トムソンサイエンティフィック、後援:科学技術振興機構)において、飛躍的な発展が期待される最先端研究領域(リサーチフロント)を牽引する研究者として、鯉沼秀臣NIMS名誉顧問が表彰されました。

リサーチフロントとは、主たる分野のみならず、異分野の研究領域からも強く注目される最先端研究領域であり、領域を代表する論文の被引用件数と、またそうした注目研究領域間には相互に強い関連性が生じるとの見解から、複数の論文が同時に引用される「共引用」の分析によって選出されます。

第2回にあたる今回は10件のリサーチフロントが選出され、分野を牽引する17名の研究者が表彰されました。鯉沼氏は「酸化物磁性半導体のコンビナトリアル探索と室温強磁性の発見」によって共同研究者の福村知昭氏(東北大学金属材料技術研究所講師、元NIMS物質研究所客員研究員)とともに本賞を受賞しました。



授賞式にて、鯉沼秀臣NIMS名誉顧問(中)と共同研究者の福村知昭氏(左)

第4回日英ナノテクノロジー・サマースクール開催報告

平成19年7月29日から8月5日までの期間、英国のケンブリッジ大学で「第4回NIMS-IRCナノテクノロジー・サマースクール」が開催されました。IRC(Interdisciplinary Research Collaboration)からはIRC in Nanotechnologyで研究を行っている学生14名(ケンブリッジ大学、ロンドン大学、ブリストル大学)が参加し、NIMSからはNIMS内で選抜した学生14名(東京大学、筑波大学、東京理科大学、北見工業大学、カレル大学(チェコ))を英国に派遣して、最新の研究成果の発表と活発な討論を行いました。

参加した学生は最先端ナノテクノロジーに関する知識を深める一方、ボウリング、サッカー親善試合、パンティング(ボート遊び)などを通じて親交を深めました。

第5回は来夏にNIMSで開催する予定です。



ケンブリッジ大学セントジョーンズカレッジサッカーグラウンドにて

ナノテク材料インターンシップ・セミナー2007開催報告

平成19年8月20日より24日までの期間、九州大学大学院総理工学府、修士・博士課程の学生を対象に、「ナノテク材料インターンシップ・セミナー2007」が開催されました。本インターンシップは、NIMS人材開発室の支援の下、実行委員会(九大総理工学、NIMS光材料センター、センサ材料センター、実行委員長:桑原誠九大教授)の主催で計画され、今回で3回目となります。今年度は10名の学生が参加し、上記センター他、ナノスケール物質センター、およびナノ有機センターからの各講師によるナノテク材料に関わる講義を受けるとともに、最先端の装置に触れ、ナノテク材料を体験的に学びました。修了証授与式後の各講師を交えた懇親会では、実行委員長の代理で出席された九大教授 島ノ江憲剛先生より、以前の参加者が本インターンシップでの経験を海外で活かした例が紹介されるなど、成功裏に終了することができました。今後、さらに工夫を加えたインターンシップを開催したいと思います。



インターンシップに参加した講師と学生

NIMS夏のイベント開催報告

毎年恒例の夏のイベントを今年も開催いたしました。

- ・7月30日～8月1日 「サマーサイエンスキャンプ2007」
対象:全国各地の高校生15名
- ・8月1日～3日 「茨城県中学生ミニ博士事業」
対象:茨城県内の中学生10名
- ・8月22日～24日 「つくばちびっ子博士事業」
対象:小学生、各日20名
(希望者が多く、今年は一部回数を増やして実施)

生徒達は初めは緊張した面持ちでしたが、科学技術に興味を持つ者同士すぐに打ち解け、協力し合いながら生き生きと実習や実験を行いました。物質・材料に関する様々な実験に積極的に取り組む中で科学技術に対する興味を高め、生徒から研究者への質問が活発に行われたことで、NIMS研究者への良い刺激にもなったと思われます。

それぞれの学校に帰った後もこの経験が活かされ、日本の科学技術を担う研究者の芽を育むきっかけとなることを、関係者一同期待しています。



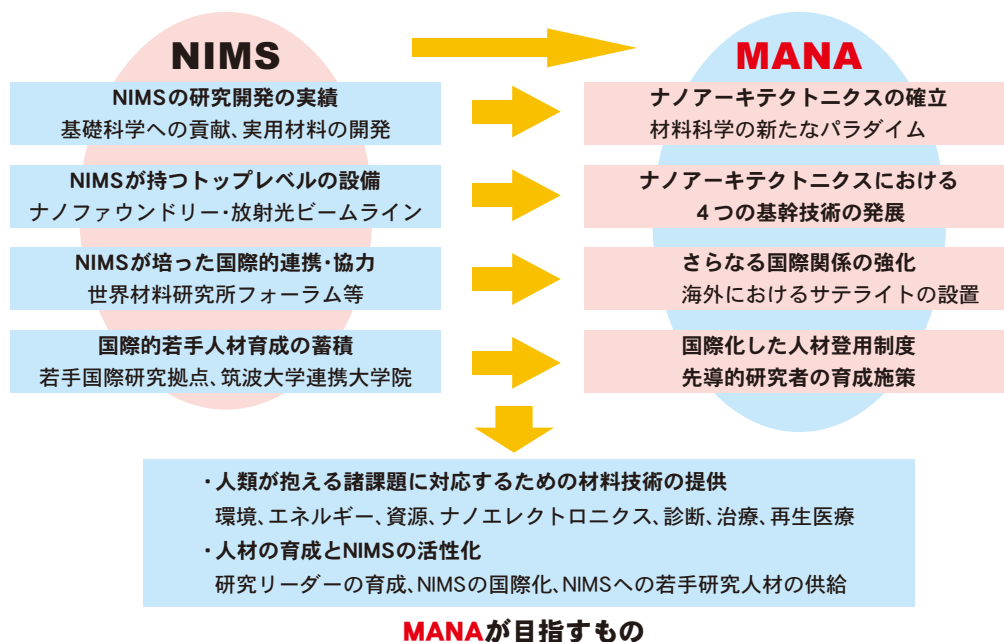
NIMSにて:実習・実験に取り組む生徒達

● NIMS、世界トップレベル国際研究拠点へと飛躍

平成19年9月12日、NIMSは7倍近い厳しい競争を勝ち抜き、文部科学省「世界トップレベル国際研究拠点形成促進プログラム」の助成対象機関のひとつとして選定されました。NIMS以外に4大学(東京大学、京都大学、大阪大学、東北大学)が選定されています。

NIMSが提案した「国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点」International Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA)は、環境、エネルギー、資源など21世紀の人類が抱える深刻な問題に、わが国が最も得意とする材料の分野から貢献しようとするものです。若手国際研究拠点(ICYS)で培ってきたノウハウや経験を活かして、世界の頭脳が集い、優れた研究成果を生み出すとともに、優秀な人材を生む場を構築していきます。

10年後には、MANAをナノテクノロジーおよびナノ物質・材料研究の世界的中核機関へと成長させるばかりでなく、MANAを先導としてNIMS本体を世界トップの材料研究所へと脱皮させていくことを目指しています。



● 第7回NIMSフォーラム「物質・材料の最先端研究と技術移転」開催について

平成19年11月1日(木)、東京国際フォーラム(東京都千代田区丸の内)において『物質・材料の最先端研究と技術移転』をテーマとした第7回NIMSフォーラムを開催いたします。

NIMSのプロジェクト研究・萌芽研究、技術移転の可能性のある研究トピックスについて、研究内容・成果をご紹介します。新たなブレークスルーの可能性を秘めた物質・材料研究、将来の実用化の芽に出会っていただけるものと考えております。

プログラムおよび登録等につきましては、下記ホームページをご覧ください。ご参加のお申し込みは、円滑な手続きのため事前のご登録をお願いいたします。ホームページまたはパンフレットの申込書にご記入の上、事務局までFAXにてお送りください。

当日会場での受付もいたしますので、どうぞお気軽にご参加ください。入場は無料です。

NIMSフォーラムHP <http://www.nims.go.jp/nimsforum/>

問い合わせ先 NIMSフォーラム事務局

FAX 申込書送付 029-859-2017 **☎** 問い合わせ 029-859-2026

