

イベント開催予告 *event*

## MANA 国際シンポジウム 2014

2014年3月5日(水)から7日(金)までの3日間にわたり、MANA国際シンポジウム2014をつくば国際会議場にて開催します。第7回目となる今回は1973年ノーベル物理学賞受賞の江崎玲於奈教授、2008年ノーベル物理学賞受賞の小林誠教授をはじめとする、国内外の著名な研究者の招待講演やMANAの研究者による最新研究成果の口頭・ポスター発表が行われます(参加費無料)。

ウェブサイト:

<http://www.nims.go.jp/mana/2014/>

イベント開催報告 *event*

## Swiss-Japanese Nanoscience Workshop: Materials Phenomena at Small Scale

2013年10月9日から11日の三日間、日本・スイス国交樹立150年記念事業の一環として、独立行政法人科学技術振興機構、スイス連邦工科大学チューリッヒ校、独立行政法人物質・材料研究機構の共催で「ナノサイエンス」ワークショップが開催されました。日本とスイスの研究機関から最先端の研究成果が紹介され、両国の研究者の活発な交流が行われました。



## サイエンスアゴラ 2013

11月9日と10日の二日間、東京 お台場で開催されたサイエンスアゴラへWPIの一拠点として出展しました。MANAからはナノライフ分野の生体機能材料ユニット 複合化生体材料グループが「病気を診断・治療する未来の材料“スマートポリマー”」の展示・実演をしました。スマートポリマーをわかりやすく説明するため、「サイエンスまんが絵本 スマポレンジャー」を制作し、スマポレンジャーに扮した研究員が配布・説明を行いました。病気の早期発見に役立つ診断材料やガン治療に有効なファイバーメッシュなど、将来の生体材料応用についても具体的に紹介。来場者に楽しく学んでもいただきました。



スマポレンジャーに扮して説明する研究員

MANA/ICYS Reunion  
ワークショップ

2014年3月3日(月)と4日(火)の二日間にわたり、MANA/ICYS Reunion Workshopを開催します。MANAまたはICYS にかつて在職した研究者(Alumni)の研究発表を実施し、Alumni同士や在職研究者との交流促進、グローバルなネットワークの強化・充実を図ります。

ウェブサイト:

[http://nims.nims.go.jp/mana/reunion/WS\\_2014/index.html](http://nims.nims.go.jp/mana/reunion/WS_2014/index.html)

受賞ニュース *news*青野正和MANA拠点長が  
Nanoscience Prize 2013受賞

第12回原子制御表面・界面・ナノ構造国際会議(ACSIN-12)の運営委員会より、青野 正和MANA拠点長のNanoscience Prize 2013受賞が発表されました。この受賞は、青野拠点長による「表面・界面ナノ構造の原子スケールでのコントロールにおける顕著な研究業績およびナノ科学・ナノテクノロジーの発展への貢献」が評価されたものです。



表彰式写真

山内独立研究者が  
日本化学会 進歩賞受賞

公益社団法人日本化学会より山内悠輔独立研究者の第63回(平成25年度)進歩賞受賞が発表されました。このたびは同氏の「分子鑄型を用いたナノポーラス金属のテーラードデザイン」の画期的・独創的研究への国内外における高い評価を受け、受賞に至りました。



山内悠輔 独立研究者



国際ナノアーキテクトニクス研究拠点  
International Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA)

No.16  
Feb.2014

山内悠輔  
WPI  
MANA

高い志を持った若者を  
大きく育てる研究環境づくりに挑戦  
—— 十倉 好紀

ナノで遊び、未来を拓く  
—— 長田 実

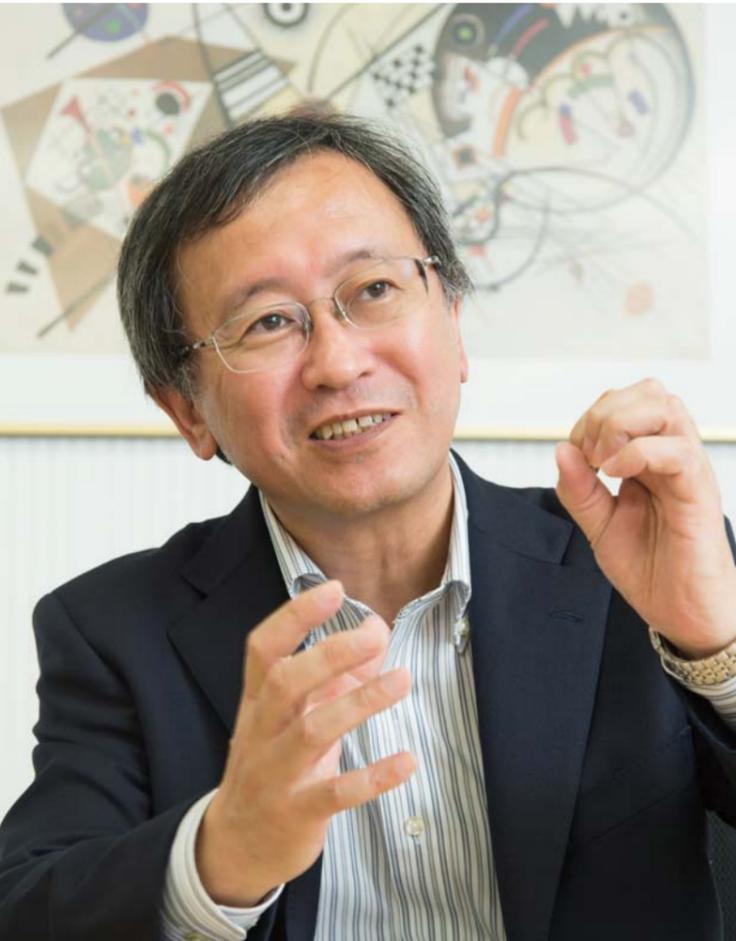
若手研究者のキャリアアップ

MANAの研究成果

- ・新エネルギー技術としてのナノ発電機 —— ゾン リンワン
- ・細胞集団移動における細胞外微小環境の寄与 —— 中西 淳
- ・界面一原子層で電気特性を劇的に変え、エネルギー利用効率向上 —— 吉武 道子
- ・層状粘土鉱物による二酸化炭素の『呼吸現象』を発見 —— 石原 伸輔



# 高い志を持った若者を大きく育てる研究環境づくりに挑戦



## 十倉 好紀 Yoshinori TOKURA

1976年東京大学工学部物理工学科卒業。1981年工学博士を取得後、同大学工学部物理工学科助手。1984年講師に昇任後、1986年理学部物理学科助教授を経て、1994年同大学大学院理学系研究科物理学専攻教授、1995年同大学大学院工学系研究科物理学専攻教授。2001年産業技術総合研究所・強相関電子技術研究センターのセンター長併任。2007年理化学研究所交差相関物性科学研究グループグループディレクター併任。2013年4月より理化学研究所創発物性科学研究センターセンター長併任。2009年よりはFIRST(最先端研究開発支援プログラム)QS2C強相関量子科学プロジェクトの中心研究者も務めている。電子が固体中で特殊な臨界状態となる「強相関電子材料」を見出し、量子物性科学という新たな学問分野の創成に貢献した、日本を代表する物理学者。1990年仁科記念賞、同年日本IBM科学賞、2005年James C. McGroddy Prize for New Materials、2013年恩賜賞・日本学士院賞など国内外での受賞歴多数。

### 第三のエネルギー革命を

——理化学研究所で先生が統括されているセンターではどのようなことを狙っているのですか？

私たちのこの創発物性科学研究センターでは、固体中の電子によってエネルギーを作るという「第三のエネルギー革命」につながるような仕事を狙っています。

人類の第一のエネルギー革命は、熱エネルギーから力学的エネルギーを生み出せるようになったことです。つまり化石燃料を燃焼して得られる熱エネルギーが蒸気の力に変換され、そしてそれを動力源として電気が得られるようになりました。今や、人類は社会の隅々まで電気を送るべくネットワークを整えています。そして第二のエネルギー革命は、原子力つまり核エネルギーの利用です。この第一と第二のエネルギー革命では、どちらも電気エネルギーを得るまでに力学的エネルギーを介しています。しかし、第三のエネルギー革命では力学的エネルギーを介することなく、光や熱を直接電気エネルギーに変換するのです。これにより、ほとんどエネルギーを使わない情報技術も構築することができるはずです。

まだまだどれだけの成果をあげられるかは未知数ですが、そのようなことを目指しながら、狭い学問分野だけでなく、例えば物性物理、機能性材料、量子情報エレクトロニクス、ナノエレクトロニクスなどの専門家の知識、思考、技術の集結と融合によって、世界トップのセンターにしたいですね。

——理化学研究所とNIMSの目指す方向性に共通点はありますか？また、十倉先生のご研究とNIMSに関わりがあれば教えてください。

どちらも独立行政法人ですし、文部科学省が関係しているという点は共通ですね。理研もNIMSも、国の予算つまり国民の税金の投入があつての機関です。このセンターでは、社会への還元も意識し、研究が国のエネルギー問題を解決する大きな道筋につながると信じて活動をしています。本センターのミッションは、超高効率なエネルギーの収集・変換を実現し、超低エネルギー消費のエレクトロニクスを導くこと、と考えています。

NIMSとの関係といいますと、ありますよ。私たちは、3年前にナノスケールのスピン渦「スキルミオン」が電場で制御可能であることを発見しまして、その後は超低消費電力な演算・磁気メモリ素子の実現に向けた新しい道筋を作ろうと試みしています。この一連の研究につながった2001年から2008年にかけての研究プロジェクトで、電子スピンや軌道の超構造体が示す特異な電気磁気応答について探索していた頃から、NIMSと研究協力を行っています。スキルミオンの世界初の直接観察では電子顕微鏡のプロ、NIMSの松井良夫さんたちに大変お世話になりました。

——大学と比べて研究環境は変わりますか？また、このセンターでなければできないことはありますか？

特に研究環境が変わったとは思っておりません。大学でも、学生はこちらが頑張る指導すれば、いい研究をおこない、よい論文が書けるくらいまで成長してくれます。逆に研究者でも論文の

書き方から指導をしなければならないこともありますから。

このセンターでなければできないことという、うんと研究が推進しやすい環境づくりに配慮しています。研究者たちは、実験室も居室も全てシェアするようにして、研究員や学生といった身分も取っ払って喧々諤々、フリーにディスカッションできるのです。そんな環境がいい研究を育んでいると思います。

このセンターを作る時に特に心掛けたのが、“研究者のショーケース”づくりです。つまり、世界トップレベルの研究者たちが集結していることを“売り”にすることです。最近では優れた研究者でも、任期制度で職に就く時代になってきています。まだ研究者達は、任期制度の職場には二の足を踏んでなかなか飛び込んでくれないことが多いですが、数ある研究所の中でも「ここに来たい！」と思わせる魅力的なセンターにしたいと思っています。優れたリーダー格の憧れの研究者がズラリと並んでいたら、若者は飛びついてくれますから。そして、飛びついてくれた研究者を、若手リーダーとして育成できる環境づくりをめざしたいです。MANAはすでに有能な若手が揃った状態でスタートしているので、参考にさせていただきたいところですね。

### 国際的競争社会で、世界の第一線を走る

——研究者として最も影響を受けている、または受けた方はいますか？

例えば、まさしく隣で研究している理論家、強相関理論研究グループの永長直人さんには、よい刺激を日々貰っています。あと、思い出すのは、1987年にBednortzとMullerが超伝導でノーベル賞を受賞して世間が沸いていた頃、アメリカのIBMで研究した際のことです。わずか1年間でしたが、その時のボスのジェリー・トランス博士は大きな志と素晴らしいリーダーシップを持ち合わせた方で、非常に影響を受けました。彼は西部開拓の一族の子孫だとか聞きましたけれど、もとは有機物性が専門なのに、超伝導でも何でも新しい分野にどんどん飛び込んでいく勇気があり、アグレッシブでエネルギーに満ちた姿に感銘を受けました。毎日一緒に20本くらい論文を読みあって、意見をたくさん交換しあって研究を進めたのを覚えています。今でも、私が異なる分野に飛び込んでいける姿勢を持てたのは彼のおかげだと思っています。

——世界の第一線を走っていくために大切なことは何ですか？

私は第一線を走っているかどうかなんて

わからなくてそんなことは他人が評価することなのですが・・・。純粋に自分の夢と目標に向かっていくことでしょうか。私が小さいころは、「科学者」がヒーローでした。「湯川」、「朝永」の時代ですよ。彼らの発見、発明のニュースに心躍り、「カッコいい科学者になりたい！」と思っていたことをよく覚えています。

最近ではどこが第一線か、という海外の事情も変わってきましたね。少し前まではアメリカが圧倒的に優れていると思われていましたが、今では物理や材料の分野では優れた人材が不足気味です。ドイツは常に、計画的な研究体制に優れ、基礎も応用もレベルが高く人材もしっかりとしています。そして、最近では中国のレベルが随分と上がってきています。基礎から応用まで手広く研究が進められていてトップクラスの研究者がたくさん出てきていますね。

——海外の研究者とはどんな関係を持つとされていますか？

海外の研究者とはよく交わる機会があり、この分野では先陣争いをする部分も多いです。しかし優れた研究者は、まず人間的にも優れていると感じます。海外の研究者とは、単なるライバル同士の関係ではなく、「友好的な競争関係」を保てると思っています。協力的でディスカッションできる仲であることを意識しています。

### 考えて、考え抜いた論理的思考を大切に

——若い研究者と接するとき心掛けていることはありますか？

私の専門が物理であることも影響しているかもしれませんが、「とことん考え、考

え抜いてから研究を実行するように」とか「何も考えずには動くな」とか言っていますね。この分野では勉強もうんとしなくてはいけませんし、たくさん選択肢からよく考えた方法で結論と結果を導いていく論理的思考が重要です。

ただし研究というのは、私が言った通りにもならないし、若い研究者が思った通りにもならないという、予想と違う結果が出てくることもあります。それが新しい発見につながることもあれば、無駄な実験に終わることもあります。うまく行かなかった時に「気合いが足りませんでした」という言葉を若い人から聞くと「わかってきたな」と思われます。つまり、よい研究に対する熱意が必要ということなのです。

### 日本の研究者環境はどうあるべきか

——MANAが世界一流の研究拠点となるためのアドバイスをお願いします。

研究者は、個人プレーヤーとして転職を重ねながら研究者コミュニティを渡り歩くことが多いです。任侠映画の“包丁一本さらしに巻いて”のようなイメージですね。能力に応じて年俵契約をするプロ野球選手に通じるところもあって、アメリカでは図抜けて優れた研究者や教授の年俵は図抜けて高いものです。しかし、日本ではそうはいきません。ノーベル賞なんかをとらないと優秀であることが見抜けないような今の日本の社会では図抜けた研究者は育ちにくいでしょうね。高い志を持った若者がどんどんと科学の分野に入ってこない、優れた研究も進みません。MANAでは、素質ある若者を大きく育てる環境づくりをぜひお願いします。



IBMアルマデン研究所での研究仲間と。中央が十倉先生、向かって右端がジェリー・トランス博士。

◆聞き手：科学ジャーナリスト 餌取 章男

# ナノで遊び、未来を拓く

長田 実  
Minoru OSADA

MANAソフト化学グループ  
准主任研究者

今回は、昨年度にMANAマテリアル分野の准主任研究者に昇進した長田実博士にインタビューを行いました。長田博士は酸化ナノシートをベースとした新しい電子材料の開発を研究テーマとしています。

**長田さんはナノシートの研究をされているそうですね？具体的に教えてください。**

私たちは酸化ナノシートを基本ブロックとして、将来の電子デバイスに使える機能性材料を合成する研究を行っています。ナノシートは分子レベルの薄さの紙のような酸化シートです。紙のように薄いナノシートを積み木細工のように重ねて、新しい電子材料を作っています。別の言葉で例えますと、お菓子のミルフィーユを分子レベルで制御して作るようなものです。ミルフィーユは何層ものパイ生地の中にクリームやイチゴなどの果物が重ねられた美味しいケーキですね。そのパイ生地にあたるのがナノシートで、クリームやイチゴなどの果物にあたるのが新しい機能を持たせるために挿入される分子のブロックであるとイメージしてみてください。

**ナノシートを合成するのは難しいのでしょうか？それは高価な材料なのですか？**

いいえ。合成は意外と簡単なのです。まず望みの化学組成となるように層状の酸化物を合成し、ミルフィーユのパイ生地だけが積



長田 実 博士

1998年 東京工業大学大学院総合理工学研究科材料科学専攻 博士課程修了、博士(理学)。1998年 理化学研究所 基礎科学特別研究員、2001年 科学技術振興機構 さきかき研究 専任研究員などを経て、2003年 物質・材料研究機構入所。物質研究所主任研究員、ナノスケール物質センター主任研究員、MANA研究者を経て、2012年より現職 MANA准主任研究者。2009年から早稲田大学・NIMS連係大学院 准教授も併任。受賞歴として、つくば賞(2008)文部科学大臣表彰 若手科学者賞(2009)他。現在は「2次元ナノシートの物性開拓、デバイス開発」を研究テーマとしている。

み重なったようなものを先に作っておきます。それをソフト化学という室温水溶液プロセスを用いて、水溶液中でシャカシャカ振り続けると一枚一枚がはがれた、きれいなナノシートが出来上がります。そのあとは、ナノシートを色々な順番で並べたり、層間に機能をもった分子をサンドイッチのようにはさんで、新しい材料を合成していくのです。

今は多くの電子機器の小型化、高性能化が進んでいて、電子材料も新しい機能が求められていく時代です。私たちの作っているナノシートは、小型で高い機能の電子機器の部品をつくるための未来材料として期待されています。例えば、ナノシートが電子を蓄える能

力は世界一で、ナノシートでコンデンサやメモリなどの携帯電話に欠かせない電子部品を作った場合、現在の1000倍高性能の電子部品が出来るともかもしれません。今後は、携帯電話用のバッテリー、太陽電池、タッチパネルなど様々な分野への応用も期待されます。

**MANAはとても国際色豊かですが、長田さんは日々の研究生活ではどんなことを感じているのでしょうか？**

ここでの研究環境には大変満足しています。私たちの研究グループに限らずMANAには海外の研究者が多いのでコミュニケーションは英語が標準言語です。ただ、私の部下はみな外国の方ですが日本語もよく学んでくれています。MANAでは研究者がよい意味でいろいろな刺激をし合っていると思います。

私たちのナノシートに関する研究はまさに最先端で、例えば欧米、韓国など海外の研究グループとはつねに競争関係にあります。私には多くの海外研究者の親しい友人がいるのですが、夜一緒に飲む時は友達でも、研究の面ではライバルですね。

**研究に、国民性とか風土とかも関係するのでしょうか？**

それはあるかもしれませんね。米国、韓国では、ある研究が重要であると決まればその研究に予算も人材も集まり研究が加速されるという面があります。MANAはよくサポートされている方だと思いますが、まだまだ日本ではなかなかそうはいかない事も多いですね。

私は学生時代にスウェーデンに留学した経験がありますが、その時はカルチャーショックを受けました。研究設備や予算は潤沢ではありませんでしたが、科学研究の歴史や奥深さを肌で感じる事ができました。一般の人も英語が上手ですし、国民に科学の文化が浸透しているとも感じました。スウェーデンでは学生も研究者もディスカッションを始めると熱く長く語らうのが好きですね。

その他の私の友達の例ですが、ドイツでは質実剛健という国民性なのか、着実に研究を進めていますね。フランス人はゆったりじっくりと研究を進める感じがありますね。ソフト化学はフランスが本場で、実験をしかけて置いておくとか何かできあがるといった研究は、のんびりワインで語らう国民性のフランス人にはお勧めかもしれませんね(笑)。

**将来の日本の科学に対するあり方、そして10年後のご自分についてどう思われますか？**

やはり若手研究者を伸ばして引き上げるプログラムが日本にもっとあるといいと思います。海外に行く日本人が減っている中、MANAでは国内に居ながらにして海外留学に近い環境に身を置くこともできますから、若手が海外に行くことに障壁を感じずに伸びる環境が整っています。日本国内全体でも、もっとも若い科学者、研究者を育てる環境が必要でしょう。

そして私も、10年後はマネージメントの仕事が増えていることとは思いますが、育ちざかりの若手研究者たちとディスカッションをしながら切磋琢磨を続けたいです。常に研究の現場で新しいものを見出す心を忘れず、若々しい精神を持った研究者でありたいですね。

# 若手研究者のキャリアアップ

MANAは、材料科学分野の研究振興をひとつの使命と捉え、人材の育成・提供に精力的に取り組んでいます。世界中から若手研究者を集め、優れた研究者に育成するばかりでなく、日本のよき理解者となってもらい、世界各国でキャリアアップしてもらうことがMANAのポリシーです。

## ■ 世界へ羽ばたく

過去5年間で、MANAから7名がNIMSの研究者に採用されたほか、117名が国内外の大学や研究機関の研究者へとキャリアアップし活躍しています。

MANA出身の研究者は、約4割が日本国内に職を得ていますが、残りの6割はアジアを中心として欧米諸国など全世界に旅立っています。

こうしてMANAをハブとするナノテクノロジー研究者のネットワークが広がっています。



世界に羽ばたくMANA出身研究者(単位:人)

## ■ 3Dシステムで育てる

MANAには3D (Triple Doubles)システムという独自の若手研究者育成制度があります。MANAの若手研究者は、NIMS内とNIMS外(特に海外)に二人のメンター(Double-Mentor)を持ち、二つの機関(Double-Affiliation)で二つの分野(Double-Discipline)にまたがって研究することを奨励されています。世界トップレベルの研究者と異分野融合研究を行うことによって、国際的・学際的な研究者を育てることがねらいです。

マックス・プランク研究所のサミュエル・サンチェス博士は3Dシステムで大きく羽ばたいた一人です。サンチェス博士は、ICYS-MANA研究員としてMANA在任中に、3Dシステムを利用してドイツの研究所と共同研究を行ったことがきっかけで、ドイツを代表する研究機関にキャリアアップを果たしました。



サミュエル・サンチェス博士、(元ICYS-MANA研究員)  
Research Group Leader,  
Max Planck Institute for Intelligent Systems, Germany

MANAでの研究者生活は、間違いなく私の研究キャリアを高めてくれました。日本ではプロフェッショナルなスタッフの懇切丁寧な対応のおかげで、私の家族を含めて安心・快適な生活を送ることができました。

MANAではトップクラスの設備に圧倒されました。研究環境もすばらしく、考え得る最高のリソースと、世界各国の優秀な研究者に囲まれたメルティングポットでした。

ドイツの権威ある研究機関にグループリーダーとしてキャリアアップできたのもMANAのおかげです。でも私にとっては文化的体験も思い出深いですね。

## ■ MANA同窓会でネットワークを作る

このたびMANAとICYS(若手国際研究拠点)に在籍した研究者を対象に MANA/ICYS Alumniを設立しました。世界中にMANA/ICYS Alumniのネットワークを張りめぐらし、同窓者同士や同窓者と在職研究者の交流を促進することを目的としています。

2014年3月3日と4日の二日間にわたり、約20名のAlumniを招いてMANA/ICYS Reunion Workshopを開催します。各研究者がそれぞれの研究について報告するほか、このネットワークを使ってどのような交流ができるかについても議論し、秀でたアイデアについてはMANAの事業に反映させていく予定です。

MANA Alumniウェブサイト: <http://www.nims.go.jp/mana/jp/alumni/>



## 新エネルギー技術としてのナノ発電機

主任研究者  
ナノマテリアル分野  
ジョージア工科大学

この半世紀の間、エレクトロニクス分野のトレンドは小型化と携帯化の方向に向かっています。環境からエネルギーを回収し、持続可能な自給自足型マイクロ・ナノ動力源を得る新技術は、世界中のエネルギー需要に対応するソリューションになると考えられています。

私たちはナノエネルギー分野の研究を行っています。その目的は、ナノテクノロジーを利用して、マイクロ・ナノシステムや可動型・携帯型エレクトロニクスの持続可能で自立的、かつ保守不要な操作に必要なエネルギーを回収することです。私たちがジョージア工科大学で開発した自己発電法は、持続可能な自給自足型のマイクロ・ナノシステムを真に実現するためのナノテクノロジーとグリーンエネルギーにおける新しいパラダイムであり、センシングや医学、環境・インフラストラクチャーのモニタリング、防衛技術、個人用電子機器にとっても非常に重要となる領域です。

私たちは、ジョージア工科大学で、摩擦帯電を利用して発電する摩擦電気NG(ナノ発電機)を最近開発しました。摩擦帯電は、ある物質が他の物質と接触した後に帯電する接触帯電の一種です。帯電系列は、他の物質との接触で電子を獲得するのか、あるいは喪失するのか、という物質の傾向に従って形成されます。摩擦帯電は、発火、吸塵、電気機器への破損につながるおそれがあるため、通常は迷惑で危険な現象とみなされており、これをエネルギー回収に利用しようという試みはほとんど行われてきませんでした。私たちは最近、低コストで製造が簡単な小型の摩擦電気NGの実演発表を行いました。接触帯電と静電誘導を組み合わせたことによって、帯電系列中の極性が異なる2つのポリマーフィルム間で繰り返し接触が起こり、発電が実現しました。その際、瞬時電力密度は300 W/m<sup>2</sup>および400 kW/m<sup>3</sup>にまで達しました。これによって、摩擦電気NGは、風力や運動・振動エネルギー、また海洋波エネルギーの回収に効果的な手段であることが示されました。

自己出力型ナノシステムは、ワイヤレスで独立しており、また持続的に作動します。この計画の目標は自己出力システムの開発であり、持続可能な自給自足型のマイクロ・ナノシステムを真に実現するためのナノテクノロジーにおける新規パラダイムとなることを目指しています。また、センシング、医学、環境・インフラストラクチャーのモニタリング、防衛技術および個人用電子機器分野においても非常に重要となります。私たちはこの2,3年の内に、ナノ発電機が小型電気機器の動力として重要な役割を果たすようになることを予想しています。

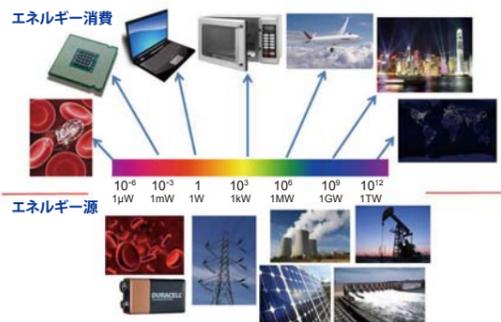


図1 エネルギー尺度。右側になるほど大きなエネルギーを必要とする。左側は携帯型電気機器用のナノエネルギー分野であり、この計画の焦点でもある。

参考文献  
1. Z.L. Wang, *ACS Nano* 7(11), 9533 (2013). doi: 10.1021/nn404614z



吉武 道子  
Michiko YOSHITAKE  
MANA研究者  
ナノマテリアル分野

## 界面一原子層で電気特性を劇的に変え、エネルギー利用効率向上

トランジスタやセンサーなどの電子デバイスは、金属電極に電圧を印加することで動作・検知します。動作電圧は、金属電極と絶縁膜・半導体との界面におけるフェルミ準位と価電子帯・伝導帯のエネルギー位置関係(バンドアライメント)により決まります。また、太陽電池による発電においても、光により生成した電子と正孔を如何にエネルギーの無駄なく電極に受け渡せるかはバンドアライメントにより決まります。

我々は、トランジスタのゲート絶縁膜/金属電極界面のバンドアライメント制御法を開発するために、アルミナ絶縁膜と銅やニッケル電極との界面の研究を行ってきました。アルミナは酸素とアルミ元素から成っており、界面で電極金属と接する際に、酸素原子を介して電極と結合する場合と、アルミ原子を介して結合する場合が考えられます。実際に界面を作製して、その界面が酸素あるいはアルミのいずれの原子を介して結合しているのかを、X線光電子分光法によりAl 2pスペクトルを観測することで決定しました。その結果、電極金属が銅やニッケルの場合には酸素原子を介して結合していること、銅やニッケルに少量のアルミを添加したものを電極とすると、アルミ原子を介して結合することを明らかにしました(図のa)b)c)。また、価電子帯付近の光電子スペクトルを観測することで、それぞれの場合のバンドアライメントも測定しました。その結果から、結合を介する原子の種類が酸素かアルミかの違いにより、バンドアライメントに約1.5Vの違いが生じることを明らかにしました(図のd)e)f)。つまり、デバイスの動作電圧に1.5Vの違い、太陽電池の起電力に1.5Vの違いが発生します。ももとの動作電圧や起電力が数V程度ですから、1.5Vというのは20~30%にも及ぶ大きな差です。

このように、電気特性を決定付ける界面の結合に関して、任意の酸化物と任意の金属の組み合わせについて、結合を介する原子の種類を予測する方法<sup>2</sup>を開発しています。

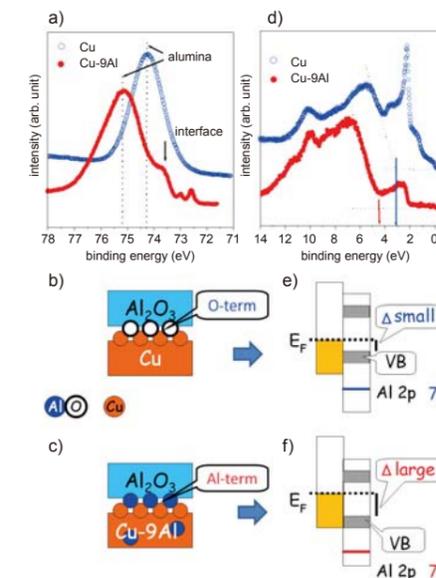


図1 界面結合を介する原子の種類とバンドアライメントの関係。Al 2p スペクトル(a)から界面原子種が、価電子帯スペクトル(d)からフェルミ準位と価電子帯VBのエネルギー差Δが判明する。

参考文献  
1. M. Yoshitake, S. Nemšák, T. Skála, N. Tsud, T. Kim, V. Matolín, K. C. Prince, *Surf. Sci.* 604, 2150-2156 (2010).  
2. M. Yoshitake, S. Yagyu, T. Chikoyow, *J. Vac. Sci. Technol. A* 32, 201102 (2014).



## 細胞集団移動における細胞外微小環境の寄与

独立研究者

細胞集団移動は複数の細胞が細胞間の接着を保った状態で移動する現象で、多細胞生物体の組織形成や維持において重要です。その一方で、さまざまな生命現象や病態において細胞は集団性を活発に変化させることも知られています。例えば、胚発生時の管腔形成には細胞の集団性の可逆的な変化が不可欠です。また、ガン細胞の転移では、元の組織における集団性の喪失と遠方組織での集団性の再獲得を経て新たな病巣が形成されます。では、これらの場面で細胞はどのようにして集団性を変化させているのでしょうか?この問題に答えることは疾患治療や組織工学の糸口となると考えられています。

我々は、細胞集団移動における、周囲の細胞や細胞外マトリクス(ECM)が構成する微小環境(ニッチ)の寄与に注目し、そのことを調べるための新しい材料や方法の開発を行っています。たとえば最近、細胞とECMの相互作用を定量的に制御した環境下で細胞集団移動を解析できる基板を開発しました。

この基板の表面には金ナノ粒子が数十nm間隔で規則的に配列されており、さらにナノ粒子には光応答的に活性化されるECMペプチドによる修飾が施されています(図1A)。この基板では、光照射をコントロールすることで任意の形状やサイズの細胞集団を解析対象とすることができ、さらに二次照射でその集団移動を誘導することができます(図1B)。また、基板上にナノ粒子を配列する条件を変えることで粒子間隔を自在に調節可能で、その結果として細胞とECMとの相互作用を調節することができます。実際に、この基板を用いてガン細胞の集団移動挙動を解析したところ、予想に反して細胞とECMとの相互作用が弱まるにつれて集団性が低下することをつきとめました。この現象は、ガン細胞の転移にECMとの相互作用の変化が関わっていることを示唆する興味深い結果です。現在は、細胞-ECM間の変化が引き起こす細胞側の応答機構に関する生化学的な解析を進めています。さらには、これら実験結果と計算科学的手法を組み合わせることで、新しい細胞集団移動モデルの構築にも取り組んでいます。

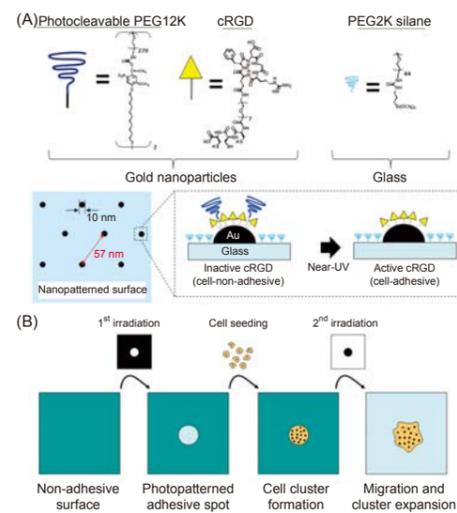


図1 光応答性ナノパターン基板を用いた細胞集団移動の解析。(A)表面設計。(B)細胞集団移動の解析手順。

参考文献  
1. C. Rolli, H. Nakayama, K. Yamaguchi, J. P. Spatz, R. Kemkemmer, and J. Nakanishi, "Switchable adhesive substrates: Revealing geometry dependence in collective cell behavior", *Biomaterials*, 33, 2409-2418, (2012)  
2. Y. Shimizu, H. Böhm, K. Yamaguchi, J. Spatz, and J. Nakanishi, "Photoactivatable nanopatterned substrate for analyzing collective cell migration with precisely tuned cell-substrate interactions" submitted.



石原 伸輔  
Shinsuke ISHIHARA  
ICYS-MANA研究員

## 層状粘土鉱物による二酸化炭素の『呼吸現象』を発見

二酸化炭素による地球温暖化への懸念から、地球規模での炭素循環の理解に関心が集まっています。地球上で炭素を最も蓄えているのは炭酸塩とよばれる岩石群ですが、これらが風化して、炭素循環するには100万年単位の時間がかかると考えられていました。今回我々は、層状粘土鉱物であるハイドロタルサイトに含まれる炭酸イオンが、空気中の二酸化炭素と一週間程度で入れ替わっていることを初めて観測しました(図1)。従来の炭素循環に対する考え方を大きく変える固体物質群を発見したことになります。

<sup>13</sup>C同位体ラベルを用いることで、ハイドロタルサイト中の炭酸イオンが、空気中の二酸化炭素と交換していることを証明しました。同位体ラベルされていない炭酸イオンは、ほとんどの炭素が<sup>12</sup>Cから構成されており、赤外吸収スペクトルが1367 cm<sup>-1</sup>に現れます(図2A)。一方で、<sup>13</sup>C同位体ラベル化された炭酸イオンは赤外吸収スペクトルを1329 cm<sup>-1</sup>に示します。<sup>13</sup>C同位体ラベル化した炭酸イオンを

含むハイドロタルサイトを空気中に放置すると、赤外吸収スペクトルが1329 cm<sup>-1</sup>から1367 cm<sup>-1</sup>へと徐々にシフトしていき、1週間程度で入れ替わることがわかります(図2B)。

計算化学やガス吸着実験に基づいた検証により、ハイドロタルサイトの層間には二酸化炭素が空気中から吸い込んだり、吐き出したりする性質があることがわかりました。興味深いことに、二酸化炭素よりも小さい窒素ガスは層間に入ることができません。また、核磁気共鳴分光法を用いた解析から、ハイドロタルサイト層間の炭酸イオンは運動性がとても高いことがわかりました。これは、炭酸イオンの反応性が高いことを意味しており、空気中の二酸化炭素との交換反応において重要であると考えられます。

ハイドロタルサイトに類似した粘土鉱物は天然にも存在することから、本成果は炭素循環や炭素年代測定法のより正確な理解につながると考えられます。

また、ハイドロタルサイトの構造最適化により、効率的な二酸化炭素の分離膜や固定触媒担体などの次世代材料が開発できると期待しています。

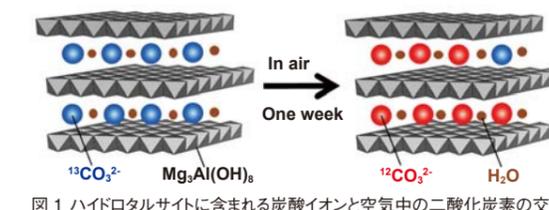


図1 ハイドロタルサイトに含まれる炭酸イオンと空気中の二酸化炭素の交換

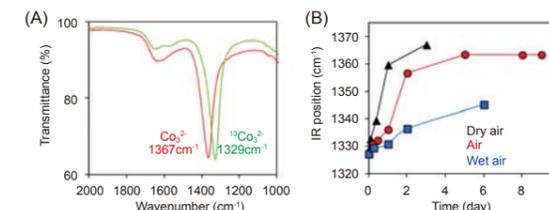


図2 (A) ハイドロタルサイトの赤外吸収スペクトル。(B) ハイドロタルサイトに含まれる炭酸イオンと二酸化炭素の交換過程

参考文献  
1. S. Ishihara, P. Sahoo, K. Deguchi, S. Ohki, M. Tansho, T. Shimizu, J. Labuta, J. P. Hill, K. Ariga, K. Watanabe, Y. Yamauchi, S. Suehara, N. Iyi, *J. Am. Chem. Soc.*, 135, 18040-18043 (2013).