

CONVERGENCE

No.22 | 2016 | February

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



Leader's Voice

ブレイクスルーこそが
未来をつくる

江崎玲於奈

Asking
the
Researcher

陳国平

再生医療へナノの
アプローチで挑む



MANA ナノライフ分野
 コーディネーター PI (主任研究者)
 生体組織再生材料ユニット
 生体機能材料ユニット ユニット長

陳国平

Guoping Chen

PROFILE

博士(工学)。1993年に来日し、1997年京都大学大学院工学研究科材料化学専攻博士課程修了。同年奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科。1998年工業技術院産業技術融合領域研究所研究員、2001年産業技術総合研究所研究員。その後、主任研究員を経て、2004年NIMS主幹研究員、2007年グループリーダー、2011年からPIとユニット長、2015年から現職。

Asking
 the
 Researcher

再生医療へナノの アプローチで挑む

再生医療は、近い将来に実現が見込まれる最先端の医療です。しかしながら、組織・臓器を再生する仕組みには、まだ未解明のところが多く残されています。細胞が適切に分化して組織の再生へと至る道筋は何か。そこにナノ材料というアプローチで挑むのが、陳国平博士です。

インタビュワー：科学ジャーナリスト 餌取章男

再生医療の必要性

病気や事故などにより身体の組織や臓器の一部が失われたり、機能しなくなったりした場合、どのような治療が考えられるでしょうか。従来は、臓器移植や人工臓器などによる治療が行われてきました。しかし、臓器移植では、ドナー臓器は慢性的に不足していて、臓器を確保できたとしても免疫拒絶反応や免疫抑制剤の使用による合併症などの医学リスクを少なからず伴います。また、人工関節などの人工臓器も、失われた機能を部分的には代替してくれますが、長期間の使用にあたって必要となるメンテナンスの問題などが残されています。

近年注目されている再生医療は、これらの問題を克服しようとして提唱されました。臓器や組織を、細胞からもう一度作り出せないか、というものです。最初は荒唐無稽な考え方だとされましたが、1970年代以降徐々に研究が盛んになり、今や一部では臨床試験が行われるほどになりました。

陳国平博士が再生医療研究を行うようになったきっかけも、重篤な患者を救いたいという気持ちからだそうです。「1993年の来日当時、日本では臓器移植法はまだ成立していませんでした。心臓病や腎臓病などの患者さんに対して、どのように治療を行うか。当時アメリカで再生医療や組織工学といった概念が登場し、ドナーに依存しない治療法が開発され始めました。とても興味が湧きましたね」。

ナノサイズ的环境は、細胞の分化に深く関わる

「再生医療には、細胞、細胞成長因子、足場材料という3つの要素があります。まず、再生医療に用いられる細胞には、胚性幹細胞(ES細胞)・人工多能性幹細胞(iPS細胞)・体性幹細胞などの幹細胞や、幹細胞から分化した組織の細胞があげられます。細胞成長因子は、こうした細胞の増殖と分化を制御・促進し、わずかな数の細胞から大きな組織の再生を誘導します。足場材料は細胞が付着する足場になり、また再生のための空間を確保する役割を担います。これら3つの要素を、単独で、またはうまく組み合わせて利用することが重要です」と説明する陳博士。

陳博士が主に扱っている細胞の種類は間葉系幹細胞で、骨髄などから取り出して培養し、臨床でも使用されています。幹細胞を用いる上で最も難しいのはやはり分化のコントロールだといいます。「一番難しいのは幹細胞の分化誘導ですね。いかに幹細胞を目的の組織細胞の方向に向かわせるか。そのファクターがわかれば一番いいのですが、そこが一番難しい。それを世界中の研究者が研究しています」。

陳博士の研究の特色は、分化に作用する化学的・物理的なファクターを重視し、ナノサイズの構造に注目していることだそうです。「一般に、医学、生物学の研究者は体内にもともと存在しているファクター、たとえばサイトカインなどの生理活性因子が分化にどのような影響を与えるかに興味を持っています。一方、私たちは、生物学的なファクターというより、材料科学という観点から化学

的・物理的なファクターを見つけたいと考えているのです。組織や臓器の細胞は、ナノサイズの細胞外微小環境に取り囲まれていて、細胞はこの細胞外微小環境を介して周囲の細胞と情報をやりとりしながら恒常性を維持しています。生体組織が損傷を受けると、細胞とともにこの細胞外微小環境も失われてしまいますが、そこに適切なナノ構造材料を供給することで、同じような環境を再現しようと試んでいます」。

軟骨や骨などはマクロサイズの組織で、それらを構成する細胞はマイクロスケールといえますが、さらに小さいナノサイズ的环境が細胞の分化の鍵を握っているのです。

ナノ構造多孔質足場材料とは

再生組織を作るさまざまな段階において、陳博士はこうした材料科学に基づくアプローチで細胞の分化機能を研究してきました。その代表的な一つが、骨の再生を促進する、ナノ構造を有する多孔質足場材料です。幹細胞から骨芽細胞へ分化させ、骨を再生するための足場材料として、陳博士は、天然由来であるコラーゲンをスポンジ状にしたものと、合成高分子である乳酸とグリコール酸の共重合体(PLGA)をメッシュにしたものの複合材料を開発しました。これは、生体になじみやすいけれども柔らかく強度の低い天然高分子と、強度は高いけれども生体へのなじみやすさの点では天然高分子には及ばない合成高分子の欠点を補い合い、長所を活かす組み合わせです(図1)。

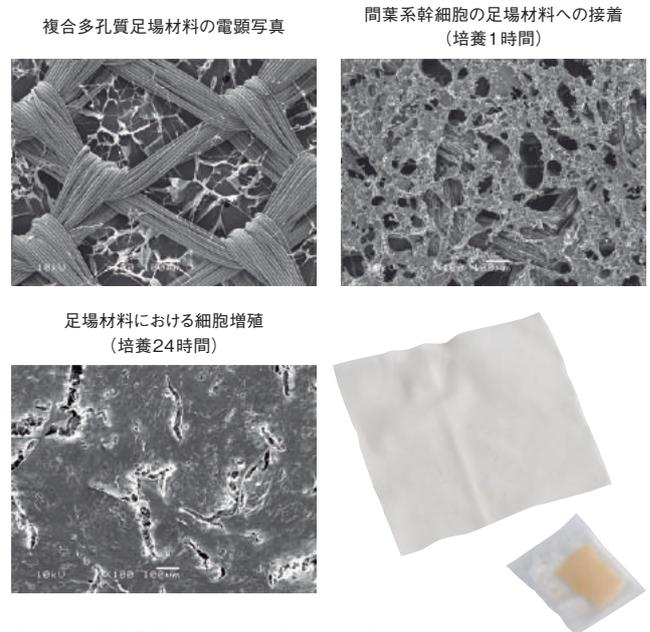


図1 複合多孔質足場材料における細胞増殖の様子。
右下の写真は、メッシュ状の複合多孔質足場材とそこで増殖した細胞のサンプル。

さらに陳博士は、骨への分化を促進することがわかっているBMP4という生理活性因子をコラーゲン線維に結合し、骨形成の誘導能力を高めることに成功しました。この構造は生体内のナノ構造の細胞微小環境を模倣したもので、マウスに移植した状態で

も骨形成を誘導する効果が持続することを確認できました(図2)。これは合成高分子と天然高分子にさらに生理活性因子を複合化した新しいナノ構造多孔質足場材料です。

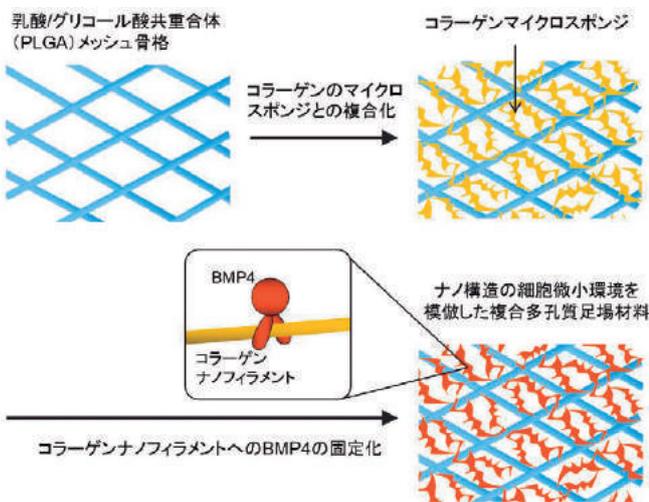


図2 コラーゲン/PLGA/BMP4複合多孔質足場材料のイメージ

金ナノ粒子を使った細胞分化研究

陳博士は、金ナノ粒子を使って、足場材料のナノ構造そのものが細胞分化にどのような影響を与えるかについても研究を進めています。実際に生体へ応用する際には天然由来のコラーゲンなどに置き換えられるのですが、細胞の分化に有効な構造、形状、表面に修飾すべき官能基などを調べるために、金ナノ粒子でサンプル構造を作り、検討を行っているのです。

「なぜ金ナノ粒子を利用するのか、その理由の一つは表面修飾が行いやすいからです。表面に官能基、分子を導入しやすいからです。金ナノ粒子は生体適合性に比較的優れているからとも言えます」。昨年2015年4月に発表した論文では、金ナノ粒子を異なる官能基で修飾することにより、間葉系幹細胞が骨細胞に分化する際にどのような影響があるかを示しました(図3)。

「最終的にこの官能基は天然コラーゲンの中に含まれている場合もありますし、人為的に導入することもできます。どの官能基を使えば、どのような分化が起こるかが、こうしたことでわかるのです」。

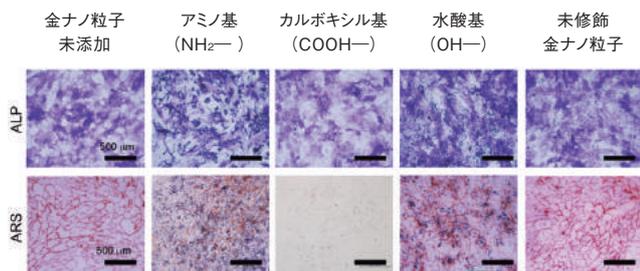


図3 表面修飾金ナノ粒子による、ヒト間葉系幹細胞(hMSCs)の骨分化への影響。上段の写真で紫色の部分は骨分化の指標アルカリフォスファターゼ(ALP)の存在を示し、下段の写真の赤い部分は、アリザリンレッド(ARS)で染色されたリン酸カルシウムを示す。両方の写真から、表面官能基の種類によって骨分化への影響が異なることがわかる。

さらに興味深いのは、ナノサイズでの大きさ、形状までもが細胞の分化に影響を持っている点です。金ナノ粒子の大きさが40nmなのか70nmなのか110nmなのか、その形状は丸いのか棒状なのか、星形なのか、そうしたナノレベルの環境が細胞分化に深く関わっていることも明らかにしました。このような精密に制御したナノ微小環境が幹細胞の分化にどのように影響するか調べたのは世界で初めての試みです。

このような陳博士の一連の研究は、ナノ材料科学の手法によって幹細胞の機能制御にアプローチしたのですが、こうした材料の実用化を目指し、企業との連携にも取り組みながら研究を続けています。



学生に混じり、可能な限り自ら実験を行う。

英国王立化学会フェローに選出

陳博士は昨年、英国王立化学会のフェローに選出されました。「今までの論文の成果もあるでしょうが、私は今「Journal of Materials Chemistry B」という雑誌のアソシエイト・エディターも務めており、そちらでの貢献も認めていただけたのかなと思います。年に300論文ほど、全て一人で読んでいます。だいたい1日1論文ですね」。

さらに陳博士は筑波大学連係大学院で物質・材料工学専攻の教授も兼任しており、学生の指導も大変熱心に行っています。「普段私はいつも、学生を自分の子どものように思って接しています。研究の面では指導者として愛情を持って厳しくもしますし、研究以外の面では友達同士というスタンスで、コミュニケーションするように心がけています」。

こうした真摯で温和な陳博士のバイタリティは、体を鍛えることからやってくるようです。「私生活ではスポーツが好きでよくやっていますね。卓球やバドミントン、たまにはバスケットボールもやりますが、やはり忙しいので、いかに短い時間で効率よく体を鍛えるかを考えています。今はそのために毎日のランニングが欠かせませんね。毎日夜10時ごろ走っていますよ」と陳博士は笑います。

最後に、研究者としての夢を聞いてみました。「短期的な夢と長期的な夢があります。短期的にはやはり今の成果を実用化し、臨床に持っていきたいですね。例えば皮膚移植や変形性関節症の軟骨再生といった分野です。しかし、もっと長期的な夢、目標はやはりがんの治療です。特に末期がんの患者さんが希望を持てるようにしたい。末期がんは、初期のがんと違って今のところ有効な治療法が確立していません。新しい材料を応用することで、治療や予後のQOLの向上に少しでも役に立てることができればと思っています。それが一生をかけての夢ですね」。

スパコンによる高精度 シミュレーションが解き明かす 電池内の原子・分子の宇宙



館山佳尚
グループリーダー
ナノパワー分野

電池開発に関する課題

再生可能エネルギーの高効率利用やCO₂ゼロエミッションの達成によるエネルギーシステムの転換は、社会の喫緊な課題となっており、その実現に向けた大型蓄電池や次世代太陽電池の開発が盛んに行われています。しかし実用化には、高性能化に加えて安全性向上や長寿命化などの高信頼性の確立が待たれています。蓄電池（リチウムイオン電池（LIB）など）では、さらなる高エネルギー密度の実現の一方、熱暴走を防ぐための電極界面被膜（SEI膜）の設計や安定性の高い電解液の開発が急務となっています。また次世代太陽電池として台頭してきたペロブスカイト太陽電池（PSC）は、その耐久性の悪さが実用化の大きな壁となっています。しかし、実験観察の困難さも相まってその原子・分子レベルでの実態は明らかになっていませんでした。

京コンピュータの高効率利用が 可能なプログラム改良・開発

このような電極界面被膜（SEI膜）、新規電解液、劣化の微視的機構を明らかにするためには、量子力学に基づいた第一原理計算シミュレーションが必要となります。しかし第一原理計算は計算コストが非常に大きく、多数の原子・分子が関わる複雑な構造・現象の取り扱いには限度がありました。私たちは京コンピュータ（図1）などを高効率に利用可能な第一原理計算プログラムの高機能化・並列化・高速化を行うことで、電池の動作温度における原子・分子の複雑な挙動を精度よくシミュレーションできるようにしました。



図1 京コンピュータ

スパコンによる

電池内の原子・分子挙動の解明

LIBについては、電解質分子の還元分解から界面被膜の形成にいたる機構を原子レベルで明らかにすると共に（図2-a）^{1,2)}、新概念である高濃度リチウム塩電解液の電気化学安定性や優れたイオン輸送特性の起源を理論的に示しました³⁾。PSCに関してはペロブスカイト材料の表面・界面の安定性や、陰イオンに加えて陽イオンも容易に拡散することを世界で初めて理論的に実証し、劣化の原因とその抑制方法の提案を行いました（図2-b）⁴⁾。私たちはさらに実験との連携・企業との連携を積極的に推進し、電池内の複雑な原子・分子挙動の解明を強力に進めているところです。近い将来、このような計算科学研究が社会のエネルギー転換に大きく貢献する日が来るかもしれません。

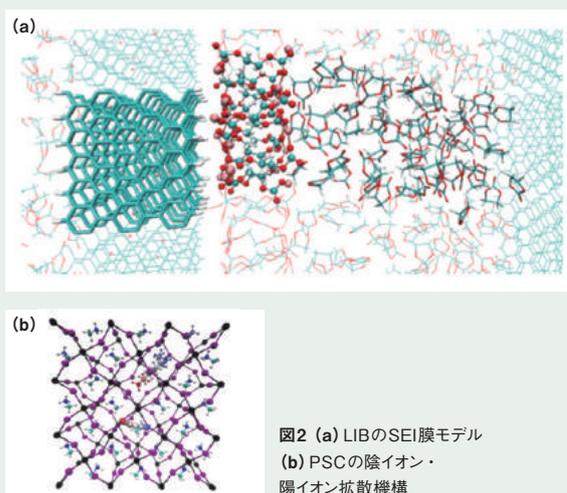


図2 (a) LIBのSEI膜モデル
(b) PSCの陰イオン・陽イオン拡散機構

参考文献

- 1) K. Ushirogata, Y. Tateyama et al., Additive Effect on Reductive Decomposition and Binding of Carbonate-Based Solvent toward Solid Electrolyte Interphase Formation in Lithium-Ion Battery, *J. Am. Chem. Soc.* **135**, 11967-11974 (2013).
- 2) K. Ushirogata, Y. Tateyama et al., Near-Shore Aggregation Mechanism of Electrolyte Decomposition Products to Explain Solid Electrolyte Interphase Formation, *J. Electrochem. Soc.* **162**, A2670-2678 (2015).
- 3) K. Sodeyama, Y. Tateyama et al., Sacrificial anion reduction mechanism for electrochemical stability improvement in highly concentrated Li-salt electrolyte, *J. Phys. Chem. C* **118**, 14091-14097 (2014).
- 4) J. Haruyama, Y. Tateyama et al., First-Principles Study of Ion Diffusion in Perovskite Solar Cell Sensitizer, *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 10048-10051 (2015).

Leader's Voice

江崎玲於奈氏に聞く

インタビュー：科学ジャーナリスト 餌取章男

PROFILE

1947年東京帝国大学(現東京大学)理学部物理学科卒業後、神戸工業株式会社に入社。1956年東京通信工業株式会社(現ソニー株式会社)に移り、1959年には理学博士(東京大学)。1960年米国IBM T. J. Watson研究所。1973年ノーベル物理学賞受賞。1975年には日本学士院会員、1976年全米科学アカデミー外国会員。1992-1998年筑波大学学長。1998年日本国際賞受賞、2000-2005年芝浦工業大学学長、2006年より横浜薬科大学学長。一般財団法人茨城県科学技術振興財団理事長兼務。

戦中であって、サイエンスの真理に惹かれる

— 先生が具体的にこのような、サイエンスの世界に目覚めたのはいつでしょう。

それには歴史がありますね。私の最初の挫折は12歳の時に京都府立中学校の入学試験に落ちたことなんです。それで非常に落胆したのですが、13歳で同志社中学に入学することになりました。1938年のことです。この同志社でキリスト教に基づくアメリカ文化という新しい世界にさらされたことが、私にとっては視野を広げることが出来てとてもプラスに働きました。13歳というのはちょうど、他律に疑問を抱き、自ら物事を探求することができる時期の始まりです。自我の目覚めですね。その頃から、全人類に価値のあるサイエンスの研究こそが自分のやるべき仕事ではないかと思うようになりました。同志社中学にいたことが、私がサイエンスの研究で国際的に活躍できる基盤を作ってくれたのだと思います。

— 当時は日中戦争のただ中ですね。

そうです。私の10代はずっと戦争です。真珠湾攻撃の翌年、

17歳で旧制第三高等学校(三高、現在は京都大学の一部)に入学することができました。当時、アメリカのB29が偵察飛行に来るのですが、成層圏飛行が極めて安定していて、日本の戦闘機はとてもじゃないが近づけなかった。これはアメリカの勝利というより、サイエンスの勝利だと思いましたね。

また、当時は戦中ですから、信じられるものが非常に少ない。それで私は、誰もが信頼できる知識、時を超える至上と言える知識を求めたんですね。人間の可能性を限りなく拡大してきたサイエンスの知識、それも宇宙を貫く普遍的法則を論じる物理学こそが最も価値あるようになると思いました。

戦中の思い出にはこういうものもあります。東京帝国大学理学科物理学科に入学したのですが、だんだん空襲がひどくなってきた。1945年3月9日夜半から10日未明、あの東京大空襲の日、被災者百万、その内十万もの人が一夜で亡くなりました。私はあの時、東大の赤門から50m離れたところにあるアパートに住んでいた。なんとか持っているものを取り出すことはできたんです。本とかなんか…。そして、その夜が明けて10日の朝8時、当時の物理実験第一という講義を受け持っていた田中務先生はいつもと変わらず授業を行い、われわれは戦禍を忘れ、物理学の世界に没頭し、必死になってノートをとりました。田中先生は何にも言わずいつも通り授業をなさった

ブレイクスルーこそが未来をつくる

のです。何があっても学ぶことに第一の価値を置けと教わったのです。まさに東京帝国大学アカデミズムの存在を実感した時でした。

誰もやったことがないことをやる、それがフロンティアスピリッツ

— 当時の講義では量子論が扱われていたんですね。

そうです。古典力学を超える量子力学の講義は面白く大変感動しました。それで戦争が終わった1947年、卒業したときに量子力学の知識を企業で活用してみたいと思いました。企業には量子力学のことを知っている人は誰もいない。誰もやったことがないことをやろうと思ったんです。

1947年、斬新的なトランジスタが生まれました。これは大へんなブレイクスルーです。それまでは真空管が信号の増幅に使われていたのです。私も真空管の研究をしていた。ここで重要なのは、真空管の研究の延長には、トランジスタは生まれなかったということです。安定した社会では未来は現在の延長線上にあると思いがちですが、ブレイクスルーというのは日進月歩の研究成果ではない。ブレイクス

ルーこそがイノベーション(技術革新)を惹起し未来を作るのです。

私はトランジスタの誕生に刺激を受け、企業で当時全く新しくあった半導体物理の研究をはじめました。ゲルマニウムやシリコンなどを扱う半導体は、当時フロンティア、未踏の領域でした。未踏領域での研究は、研究対象にも事欠かず、数多くの斬新な研究成果が生まれました。フロンティア領域の研究をすることで、ブレイクスルーが実現されることを実感しました。エサキ・トンネルダイオードはもちろん、そうした未踏領域での仕事です。

— エサキ・ダイオードにはどのようなご苦労がありましたか。

薄さの限界への挑戦ですね。私はp-n接合における電子障壁の幅を10nm(ナノメートル)程度までとにかく薄くしました。実験機器も手探りで自作しながらの研究です。1957年、ついに量子力学的トンネル電流を観測できました。そして同時に、負性抵抗というサプライズもありました。これはダイオードに画期的な特性を与える、予想外の発見でした。それまでの苦労が報われましたね。こうしたサプライズの感動こそサイエンスの真髄だと思いました。

このエサキ・ダイオードは翌年1958年6月に、ブリュッセルで行われた固体物理学国際会議で世界から注目を浴びました。1956 →

江崎玲於奈氏に聞く

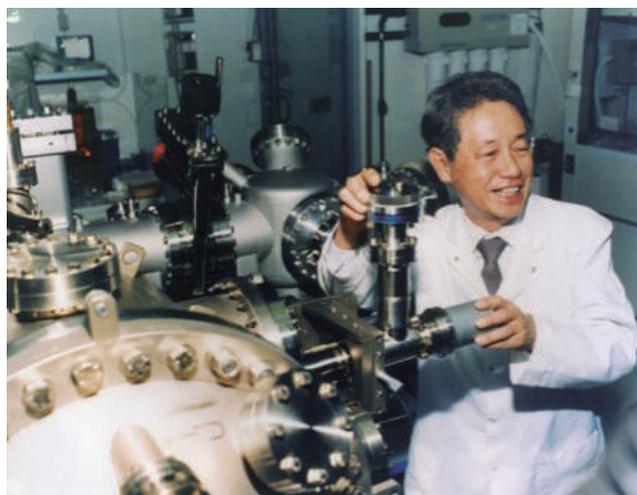
年のノーベル物理学賞受賞者のウィリアム・ショックレー氏が「本会議でトンネル効果に対し、これまでなされた中で最も美しい研究成果が東京のレオ・エサキによって報告される」と絶賛してくれました。おかげで講演は超満員。当時私は33歳でした。

— その後、アメリカでエサキ・ダイオードの研究がかなり盛んになったのですね。

はい。アメリカの各地に講演に呼ばれました。勧誘も受けました。ベル研究所に講演に行った時、アレキサンダー・グラハム・ベルの胸像があり、彼の言葉がそえられていました。今でも覚えています。「時には踏みならされた道から離れ、森の中に入ってみなさい。そこではきっとあなたがこれまで見たことがない、新しい何かを見出すに違いありません」と。これに心を動かされ、よし、日本の踏みならされた道を離れ、アメリカの森に入り自分の力を試そうと思いました。これもフロンティア・スピリッツですね。

— そして、IBM T.J.ワトソン研究所に入られました。

1960年、まだIBM中央研究所は建設途中でした。ここで所長ロイド・ハンター（Lloyd Hunter）から「何でもあなたが価値あると思われる研究を自由におやりなさい」と言われました。研究というのは、自分独自のゴーイングマイウェイの課題に取り組むのか、競争場裡にあり、おおくの人が関心のある最新のホットな課題に取り組むのか、二つのやり方があります。後者は資金も集まりやすいし、前者は成果が出るまで評価もされないというリスクがあります。でも、チャンスに恵まれればブレイクスルーが起こり得る。それを所長は知っていたのです。当時私が取り組んだ人工超格子は、もちろん前者に属します。そのおかげで、分子線エピタキシーの研究も大いに進み、これを用いて半導体超格子構造を作ることができました。この成果により1998年日本国際賞を受賞しました。しかしそのずっと前、1973年、量子力学的トンネル効果の発見でノーベル賞を受賞しました。当時、私は48歳でした。 ▽



IBMワトソン研究所にて、分子線エピタキシーを操作する江崎玲於奈氏。1988年頃



人間の一生は、自分が主役を演ずるドラマ

— これからのナノサイエンスに、どのような期待を持たれていますか。

サイエンスが面白いのは、サイエンスの将来は決して見通せないということです。技術の将来は見通せますが、これはどうしてか。現在のサイエンスをどのように活用するかが技術ですから。サイエンスの応用に近いものでバイオメディカルなどの分野は大いに発展するでしょうし、KAGRAを使った重力波の観測も期待したいところです。ナノサイエンスはDNAを通じ生命への理解にも貢献するでしょう。ともかく学際的なナノサイエンスは新しい研究のフロンティアで画期的な研究成果が期待できる分野です。

— MANAの若者へひとこといただけますか。

私はサイエンスの研究は人間のやる仕事の中で最も価値の高いものだと思います。サイエンスは明確に「進歩」することが内蔵されており、人間の活動能力を限りなく拡大してくれます。文学、音楽、芸術、スポーツなどは時代と共に変貌を遂げますが、決してサイエンスのように進歩しません。

私は、東京帝国大学を卒業した時、自分の人生のシナリオを自分で作成しました。誰もやれなかったことをやろう、ということで量子力学の新知識を活用して量子デバイスを作ろう、という大きな人生戦略を立てました。人間の一生は、自分が主役を演ずるドラマであり、そのシナリオが問われると思います。自分の能力が最大限発揮できるようなシナリオを作れば、あとはチャンスを待てばいいのです。パスツールがこう言っています。「チャンスの女神は準備を整えたものを好む」と。



中西 尚志
独立研究者

機能性分子液体の アーキテククス戦略

第三の液体物質

物質には、一般的には固体、液体、気体の三状態があります。中でも分子性「液体」物質に目を向けると、水、アルコールやベンゼンなどの小分子からなる液体溶媒が最も一般的です。液体とは、物質内の分子が決まった方向や配向で並んでおらず、流動的な状態を指します。21世紀初頭より、正電荷と負電荷の結合力を制御した常温で液体の塩がイオン液体として開発され、電解液や環境低負荷な反応溶媒に利用されるなど脚光を浴びています。汎用溶媒、イオン液体とは異なる第三の新種液体（常温、無溶媒）として、我々は「機能性分子液体」の開発に成功しました。具体的には発光性色素の液体¹⁾、ナノ炭素物質フラーレン(C₆₀)を素材とするC₆₀液体²⁾などです。近年、フレキシブルなエレクトロニクスデバイスの開発が盛んですが、近未来的には過度な折り畳みにも耐え得るフォールダブルなデバイス用素材やインク材料として、開発した機能性分子液体が有用となることを期待しています。

機能性分子液体の特徴

我々の開発した機能性液体の分子設計は、導入する分岐アルキル鎖によって光電子機能を司るπ共役系分子ユニットを一部または完全に孤立・隔離する「アルキル-πエンジニアリング」³⁾技術を採用しています。この分子設計によって、分子性材料として様々なメリットが生じます。例えば、一般的には容易に光酸化・分解してしまう有機色素ですが、色素コアがアルキル鎖により保護される効果で光劣化に対する安定性が10倍以上向上しました。液体粘性は導入するアルキル鎖の種類によって制御でき(はちみつ程度の粘性: 10⁻² ~ 10³ Pa·s)、-50 ~ 350°Cの広い温度範囲で熱安定性を示します。加えて、揮発性溶媒を用いることなく、様々な形状、幾何学構造の基板上へも直接塗布加工でき、毛細管現象を利用して微細加工された箇所にも高密度に液体材料を配置できます。

光電子機能性インクとしての応用

ここでは、機能性分子液体のもう一つの特徴である溶媒機能を駆使した2種類の新奇液体材料を紹介します(図)。一つは、液状化した青色発光のアントラセン色素分子の例です。青色発光する色素の励起エネルギー準位に比べて低い励起準位となる他色(緑色や赤色)の発光色素を、液体アントラセンに直接混ぜ込むことで、単一波長の紫外光励起よりフルカラー発光を示すインク材料が創成できました¹⁾。

もう一つは、有機薄膜太陽電池などにも応用可能なC₆₀を素材とした液体です。C₆₀部位の配列・配向がランダムなC₆₀液体に、アルキル鎖成分のアルカン分子(ヘキサンなど)もしくは未修飾のC₆₀を添加することで、C₆₀部位の配列・配向が誘起され、球状ミセル、ファイバー状ゲルまたはナノシート構造が形成されました。これら組織化された構造の一部からはC₆₀由来の光導電性が発現され、液体材料のさらなる機能化の可能性が示されました²⁾。

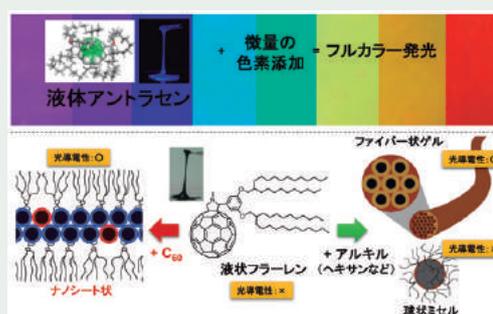


図:青色発光する液体アントラセン(上)。微量のアクセプター性色素添加によりフルカラー発光のインクとして調整。液体フラーレン(下)。C₆₀の添加によりナノシート状組織体を形成する一方、アルキル成分(ヘキサンなど)の添加により球状ミセルまたはファイバー状ゲルを形成する。ナノシートおよびファイバー組織体は光導電性を発現する。

参考文献

- 1) T. Nakanishi et al., Nonvolatile liquid anthracenes for facile full-colour luminescence tuning at single blue-light excitation, *Nature Commun.* **4**, 1969 (2013).
- 2) M. J. Hollamby, T. Nakanishi et al., Directed assembly of optoelectronically active alkyl-π-conjugated molecules by adding n-alkanes or π-conjugated species, *Nature Chem.* **6**, 690-696 (2014).
- 3) F. Lu, T. Nakanishi, Alkyl-π engineering in state control toward versatile optoelectronic soft materials, *Sci. Technol. Adv. Mater.* **16**, 014805 (2015).

MANA × 企業

MANAと社会をつなぐ“企業連携”

MANAで行なわれている研究成果を社会へと還元する最も有効な手段のひとつは、開発した新材料の製品化を通じて、現実社会の中で役立たせていくことです。また、MANAが持っている知識や技術を、それを必要としている企業と共有していくことも同様に社会貢献のひとつのアプローチと言えるでしょう。

ナノ材料研究というユニークな研究領域のMANAと企業の連携件数は年々増加しており、その件数は企業との共同研究で154件、企業への技術指導・技術相談で114件に達しています(2015年1月現在)。これは、アカデミアと複

数の企業会員で共同研究を行う「NOIC」や、中小・中堅企業と研究者を結ぶワンストップ窓口である「npc (NIMSパートナーズ倶楽部)」をはじめ、企業限定ラボツアー^{※1}、NIMSフォーラム^{※2}などのNIMS、MANAによる企業連携への積極的な取り組みの成功の証であり、MANAの研究成果が世界に注目されている証でもあるのです。

※1 企業からの参加者限定のラボツアー。効率よく研究現場を見学し、研究者との個別相談も可能。

※2 数多くのNIMSの最新研究成果発表や、研究者との個別相談ブースが用意されたフォーラム。



実例で見る企業連携

1 嗅覚センサーを業界標準に

吉川元起独立研究者が故ローラー博士とスイス連邦工科大学ローザンヌ校と共同で開発した嗅覚センサー「MSS」は、超高感度と超小型を両立。呼気検査から食品検査、環境測定など様々な応用が期待できる。このMSSを元にした新たなニオイ分析センサーシステムの実用化・普及のため、NIMS、京セラ、大阪大学、NEC、住友精化、NanoWorldの6機関は「MSSアライアンス」を発足させ、信頼性の高い計測システムの確立と業界標準化を目指します。



MSSを実演する吉川独立研究者

2 電子材料でより良いHEVを

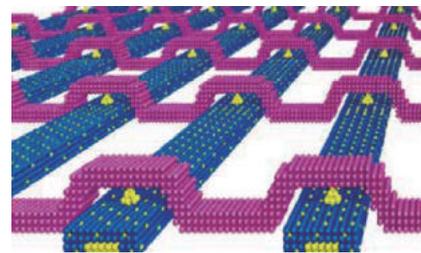
MANAの寺部一弥グループリーダー率いるNIMS-ホンダ次世代機能性材料研究センターはホンダ技研とともに共同研究を行っています。HEV (Hybrid Electric Vehicle) の性能を向上させるためには、モーター、パワーコントロールユニット(PCU)、バッテリー等の部品の高性能化が欠かせません。HONDAのキャッチフレーズである「The POWER of DREAMS」を陰で支える新しい電子材料が、MANAとの共同研究を通じて開発されています。



HONDA Accord HYBRID

3 原子スイッチが再構成可能ICに実用化

MANAで開発された原子スイッチが実用化されました。最も進んだICであるFPGA (Field Programmable Gate Array) にNECが原子スイッチを用い、既存のFPGAを大きく上回る機能と低コストを実現しました。すなわち、サイズと消費電力がどちらも1/4であるだけでなく、ロボットの可動部の近くにおける電気ノイズや人工衛星における宇宙線による誤動作がありません。AIやIoTの発展において活躍することになるでしょう。



初期の原子スイッチの模式図

イベント報告

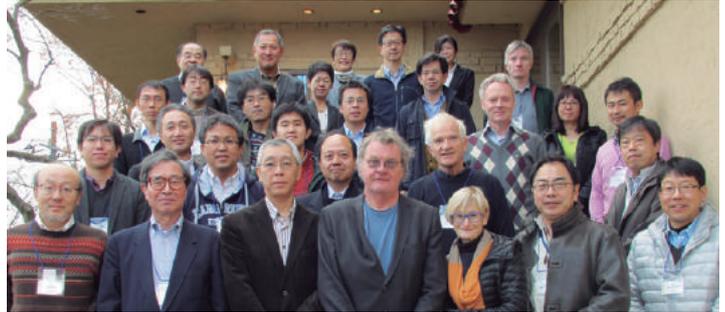
つくば科学フェスティバル2015

2015年10月31日から11月1日、「つくば科学フェスティバル2015」にて、「ナノ戦隊スマポレンジャー」として、病気の診断・治療に応用可能な材料“スマートポリマー”についてブース展示とサイエンスショー上演を行いました。今回の出展は、並木中学校科学クラブ、筑波大学の皆さんにMANAブースでの来場者対応を手伝っていただきました。



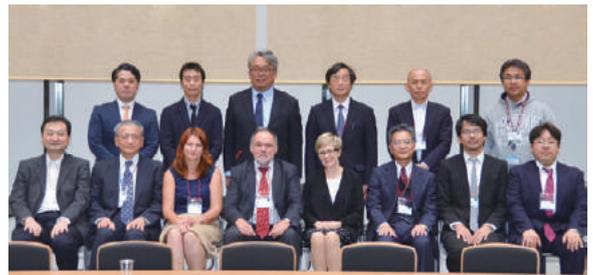
ISSP-MANA Grand Challenge Meeting

2015年11月27日、28日、栃木県那須にてISSP-MANA Grand Challenge Meetingが行われました。MANAの若手研究者からベテラン研究者までが参加し、東京大学物性研究所 (ISSP) で活躍する研究者とともに将来の重要な研究テーマや方針について活発な議論を交わしました。



MANA-RSC Symposium

2015年10月15日、16日の2日間にわたり、MANAと王立化学会 (RSC) は、筑波大学、産業技術総合研究所 (AIST) の協力を得て、MANA-RSC Symposiumを開催しました。会議では、オックスフォード大学のFraser Armstrong教授をはじめとして、エネルギー関連材料の中心的研究者による14件の講演と、38名の若手研究者によるポスター発表が行われました。参加者数は130名を数え、その1/3が機構外部からの参加者となりました。



お知らせ

2015年の高被引用著者 (Highly Cited Researchers 2015) に MANAから5名の研究者が選出

「高被引用著者 (Highly Cited Researchers)」とは、トムソン・ロイター社のEssential Science Indicatorデータベースに基づいてトムソン・ロイター社が、被引用数の多さが上位1%に入る論文の著者を研究分野ごとに選定するものです。2015年は、MANAから5名が選ばれました。



有賀克彦
(主任研究者)
【材料科学】



板東義雄
(最高運営責任者)
【材料科学】



デミトリ・ゴルバーグ
(主任研究者)
【材料科学】



ゾン・リン・ワン
(主任研究者)
【材料科学】
【化学】
【物理】



オマル・ヤギ
(主任研究者)
【化学】

受賞情報

長崎幸夫 主任研究者
「第15回日本DDS学会永井賞」
(2015.7)

フランソワーズ・ウィニック
主任研究者
「第37回日本バイオマテリアル学会
科学奨励賞」(2015.11)

山本真人 NIMSポスドク研究員
「応用物理学会講演奨励賞」
(2015.11)

クリスチャン・ヨアヒム
主任研究者
「Europe's Rising Stars 2015」
(2015.12)

魚崎浩平 主任研究者
「日本化学会フェロー」(2016.1)

森孝雄 グループリーダー
「nano tech 2016 プロジェクト賞」
(2016.1)

イベント開催予告

MANA国際シンポジウム2016

2016年3月9日(水)から11日(金)まで、「MANA国際シンポジウム2016」をつくば国際会議場にて開催します。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。(参加無料)

<http://www.nims.go.jp/mana/2016/>

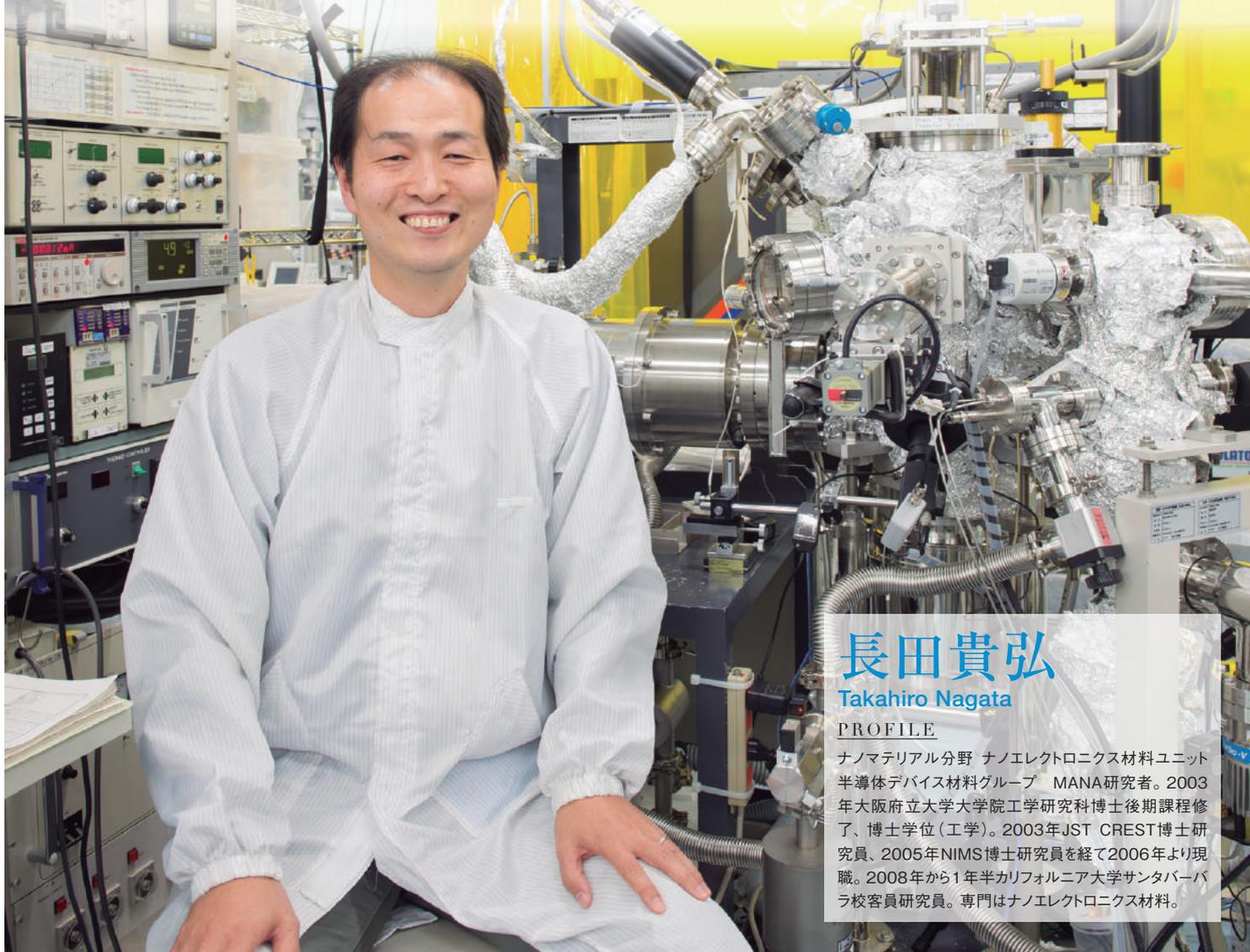
Emerging MANA Researcher

「元々はモノづくりが好きで、子どもの頃はモーターなどの機械を作って遊んでいました」と懐かしげに語る長田。高校時代にIBMによるSTM(走査トンネル顕微鏡)を用いた原子レベルでのパターニング成功に感銘を受けたことがきっかけで、大学では材料系の学部を選択し、今はMANAでエレクトロニクスへの応用が期待される「薄膜材料」の研究開発に取り組んでいます。具体的には、トランジスタ素子の高集積化を可能とするMOS(金属-酸化物-半導体構造)や、高電圧高電流を実現するパワーデバイスに応用するための、高温の環境でも使用できる高誘電率材料などが、主な研究対象です。

特に、現在は科学技術振興機構「さがしげ」プログラムからの支援を獲得し、シリコンに替わる次世代のチャンネル材料であるゲルマニウムを用いたMOS構造への応用が可能なフッ化物高誘電体極薄膜材料の開発などに取り組んでいます。もとはバルク材料として利用していたフッ化物の特性に、新たに電子デバイス材料としての可能性を見出した、画期的な提案です。

長田にとってのナノアーキテクトニクスとは、「薄膜材料というナノ構造をいかに目的に合わせて高精度に制御するか」であるとのこと。自身で設計した材料で当初にイメージしていた機能を実現できたときの喜びが、研究における一番のモチベーションである、と言います。

彼は現在2児の父でもあり、「休日は子どもとの時間を大切にしています」と笑顔で語ります。「子どもと関わっていると、僕がいかにもろんなことを見なくなったのか気づかれますね。」しかしながら、そんな彼の観察力や柔軟性が、家庭でも研究生活にも大いに活かされているように見受けられます。



長田貴弘 Takahiro Nagata

PROFILE

ナノマテリアル分野 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 MANA研究者。2003年大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士学位(工学)。2003年JST CREST博士研究員、2005年NIMS博士研究員を経て2006年より現職。2008年から1年半カリフォルニア大学サンタバーバラ校客員研究員。専門はナノエレクトロニクス材料。

MANA NEWS LETTER

CONVERGENCE

No.22 2016年 2月発行



発行 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)
アウトリーチチーム
〒305-0044 茨城県つくば市並木 1-1
国立研究開発法人物質・材料研究機構内
電話 029-860-4710(代)
FAX 029-860-4706
Eメール mana-pr@ml.nims.go.jp
ウェブ http://www.nims.go.jp/mana/jp

CONVERGENCE:

世界の優秀な研究者をMANAのメルティングポット研究環境に集結・収斂させ、新材料の創製・イノベーションに向けて、ナノアーキテクトニクスのキーテクノロジーを統合(CONVERGENCE)していくというMANA全体を表すキーワードです。

表紙・・・陳国平主任研究者と若手研究者

◎掲載記事・図版の無断引用・掲載はご遠慮ください。

CONTENTS

- 2 **Asking the Researcher**
再生医療へナノのアプローチで挑む／陳国平
- 5 **Research Outcome 1**
スパコンによる高精度シミュレーションが解き明かす
電池内の原子・分子の宇宙／館山佳尚
- 6 **Leader's Voice**
ブレイクスルーこそが未来をつくる／江崎玲於奈
- 9 **Research Outcome 2**
機能性分子液体のアーキテクトニクス戦略／中西尚志
- 10 **Progress of MANA**
MANA×企業 MANAと社会をつなぐ“企業連携”
- 11 **NEWS & TOPICS**
- 12 **Emerging MANA Researcher** 長田貴弘