

ナノ・バイオ融合研究が実現する  
未来型 ICT 基盤技術

## ナノ・バイオ融合が 見据える未来

未来 ICT 研究所では、ナノ ICT とバイオ ICT の分野融合によるプロジェクトを推進しています。2つの領域を融合することによってどのような新しい研究を生み出そうとしているのか。ナノ ICT 研究室の田中研究マネージャーにうかがいました。



**Q：プロジェクトが立ち上がった背景を教えてください。**

田中：近年のICT技術の急激な発達のおかげで私たちは利便性の高い便利な生活を得られるようになってきましたが、その一方で、通信の情報量の増大やそれに起因するエネルギー問題、災害時における対応など多くの課題も指摘されています。このような問題は今後いろいろな局面で顕在化することが予測されます。その根本的な解決には既存の技術の延長ではなく、新たな発想やコンセプトに基づきいわゆるパラダイムシフトが必要であると考えています。そのひとつの方向性がナノとバイオの分野融合です。

例えば、有限の温度の下ではすべての事象が温度スケールと同程度のばらつき(熱ゆらぎ、ノイズ)を内包することが知られています。正確に情報を伝え合うために、この温度で規定され

ナノICT研究室  
研究マネージャー

### 田中 秀吉

Tanaka Shukichi

理学博士(物理学)

#### 略歴

1996年 名古屋大学大学院理学研究科(物理)博士課程修了、日本学術振興会特別研究員、佐賀大学理工学部助手、同助教授、ジュネーブ大学固体物理学研究科研究員を経て、2002年に通信総合研究所(現NICT)に入所し現在に至る。

#### 研究分野

固体物性、強相関電子系、超精密計測技術、ナノプロセス技術、分子ナノデバイスの開発

#### 近況

よい季節になってきたので、趣味の園芸活動にそろそろ本腰をいれようかと思っています。これもいわゆる「ナノ・バイオ」です。

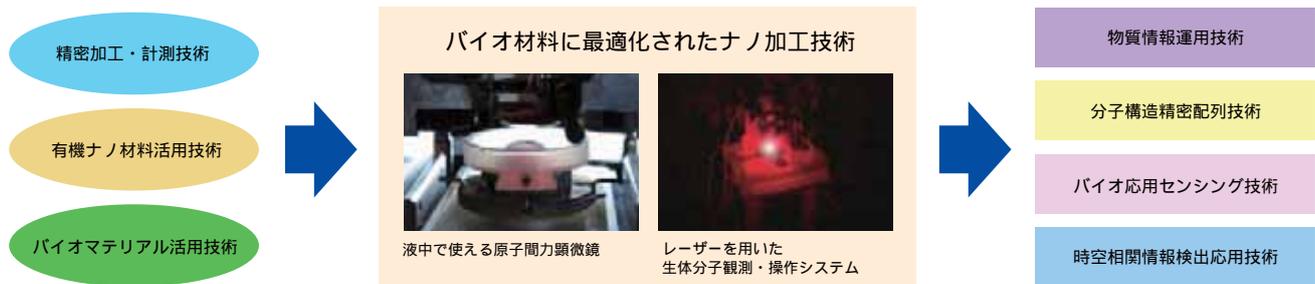


図1 ナノ・バイオ融合プラットフォームの概要

る「ノイズ」に負けないような強いシグナルやエネルギーを送りあう、ノイズやゆらぎを力技で押し切るというのが情報を確実に伝え合うための一般的な戦略ですが、その一方で、生物の情報伝達や認識能力に目を移すと、信号エネルギーを増強して熱ゆらぎやノイズに打ち勝つのではなく、むしろそれらをうまく利用することによって伝達効率や確度を上げています。そこに、ネットワークやデバイスに負荷をかけずに情報を伝える手法や高感度な環境センシング、脳の中のメカニズムを利用したような効率のいい情報処理やネットワーク制御システムにたどり着くヒントがあるのではないかと、考えられるようになりました。

これらのシステムや構造を構成する要素を解明し、利用可能な形で再構成する技術をつくり上げることができれば、生物の感覚システムや脳の中の思考のシステムを「モノ」として示せるのではないかと考えています。そのためには、生物のからくりを解明する「バイオ」と、究極的な精度で物質構造や機能を制御する「ナノ」が相補的に協力することが重要となります。

ただ、ナノとバイオの協力といっても、一般の研究機関では、ナノならばナノ構造をつくる研究に特化する、バイオならば生体機能の解明に特化するというように、研究を狭い領域に限定してしまう傾向があります。一方、われ

われ未来ICT研究所では、どちらの領域にもICTに役立てるという共通の目標、強いドライブフォースがあり、研究協力における垣根はありません。その強みを生かし、具体的なアクションとするために、2011年度からの中期計画では、バイオとナノの融合研究を具体的に領域化して進めていくという方針が決まったわけです(図1)。

**Q: バイオ素材はどのようなところが優れているのですか。**

田中: 従来型の電子的なメカニズムで動作する素子は高い性能のものがいくつもつくられています。効率が適度な機能という点では、バイオの巧みさも侮れないことがわかってきました。

センシングや情報伝達という観点からバイオの巧みさを理解するうえで重要なポイントはだまかに言って3つあります。

1つ目は、情報が物質に乗っていることです。一般に情報通信は電気信号で情報を伝えますが、バイオではホルモンやDNAのように物質の構造や組み合わせそのものが情報です。物質が相手に届きさえすればフルセットの情報が相手に確実に伝わるので、ノイズやゆらぎと張り合う必要がありません。むしろ、熱ゆらぎで適度にかき混ぜてくれる方が検出や伝達が促進されます。

2つ目は、抗体反応に見られるような分子レベルでの高い物質選択性です。

相補的に結合する、すなわち情報を受け取る相手が特異的にあらかじめ決まっているので、混信することがありません。

3つ目は、質ではなく量で機能を高度化していることです。情報を検出したり、受け取ったりする受信側に注目すると、どの受信器官の中にも受信ユニット(シグナル受容体)がたくさんつまっています。それらを構成するバイオ素材やひとつひとつのシグナル受容体それだけを見れば単機能で貧弱ですが、それらが大量に集まり機能を補い合うことでシステム全体としての高度なパフォーマンスを実現しています。

典型的な例として人間の嗅覚をあげることができます。人間の鼻は10万種類の匂いをかぎ分けることができます。しかし、嗅覚デバイスである嗅球にある分子受容体ユニットは388種類しかありません。これらは、それぞれが特定の匂い分子と結合してシグナルを発生するので、シンプルに考えれば388種類の匂いしか認識できないはずですが、実際には10万種類以上の匂いを認識できることが知られています。これは、嗅球上に配置されたきわめて多数の分子受容体ユニットがお互いに「かかわりあい」を持ちながら協調し、匂いシグナルを構成する分子の情報を時空相関パターンとして認識しているからです。

また、視覚や触覚にも隣接する感覚

モジュールの相関をうまく使ってシステムとしてのパフォーマンスを向上させる仕組みがあることがわかっています。従来型の電子センサが素子そのものをハイスペックにすることで検出パフォーマンスを上げようとするのとは対照的です

**Q：具体的には、どのようにして感覚システムをナノテクで再構築するのですか。**

田中：生物のメカニズムを情報処理や通信に利用するためには、それらが検出し伝達している情報を何らかの形で外部に取り出す必要があります。これらは基板やインタフェースを介して電気信号や光信号で取り出すことになると思われますが、触媒や酵素などを利用した化学反応によるシグナル増強も検討する必要があります。また、個々の受容体分子ユニットを整然と配列して協調動作させる技術も必要となります。これらの部分は、これまで私たちがナノテクノロジー研究で培ってきた、基板加工や微小電極作製、分子配列制御などのノウハウが役に立ちます。デバイスの素材や調整にかかわる部分はバイオのノウハウがあるので、これらを組み合わせる形で考えています。

例えば、ナノICT研究室の笠井主任研究員は、古細菌から得たバクテリオロドプシンという光感受性膜タンパク質を使って演算機能を持つ光センサをつくらうとしています。そのタンパク質を抽出し機能調整する技術はバイオであり、これらを基板上の電極上に整然と配列する技術はナノです。そし

て、そのシステムを制御するアーキテクチャは脳情報となるかもしれません。

この部分は、これから蓄積していかなくてはならない技術要素がたくさんあります。未来ICT研究者のアイデアと技術を結集して、これまでになかった革新的なものを開発していきたいと思えます。

**Q：ナノ・バイオ融合分野ではほかにどのような研究を進めていますか。**

田中：DNAそのものをセンサとするセンシングとDNAによる精密構造作製、この2つに力を入れています。

DNAは、特定の塩基配列が作り出した物質により、他の配列を読ませたり、読ませなくしたりすることができます。この促進や阻害をつかさどる物質を検出し、コントロールできれば、外部からリアルタイムにDNAの構造をつくりかえることができます。これをうまく使うと、目的の物質ができた、ある特定の構造ができて、それをもとに別の物質ができるという、ナノレベルの連鎖反応をDNAによってコントロールできます。

これらはセンサやアクチュエータの基本メカニズムとして活用できるのではないかと期待しています。

また、これまでのナノの研究では、分子を精度よく並べることができる一方、その空間精度を保ったまま大きくすることがコストや作業時間の面で困難でしたが、DNAを使えば、これも比較的簡単にこなせます。DNAは分子レベルでプログラミングできるので、構造をコントロールしやすく、二重らせん構造はもちろんタイルのような構造

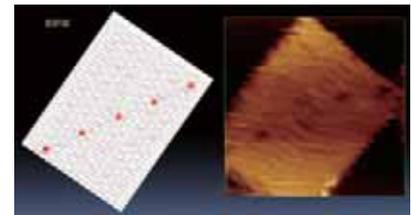


図2 DNA造形による origami シートの作成事例。約  $70 \times 90$  nm のシート状の DNA origami。左の設計図に示した赤丸の部分に特定のマーカーが突出するように設計されており、右の FM-AFM 観察像で実際にその部分に目的とするナノスケール構造が形成されていることが確かめられた。

をつかって基板上に大量に敷き詰めることもできます。この技術を DNA 造型といい、ナノスケールの空間精度を維持したまま、ミクロンスケールの構造をつくり上げることを可能にする技術です。

例えば、図2のようにDNAでまず足場をつかって、その特定の場所に目印となるマーカー構造をつけておきます。並べようとする分子ユニットにこれと選択的に結合するカウンターをつけておけば、後は部品を混ぜ合わせるだけで各ユニットを基板上に精密に配置することができます。ただ、ここには生物特有の問題が絡んできます。いろいろな反応が並行して進みます。その中でエネルギー的に一番安定な構造ができるため、いろいろな候補の中でどれができるかは、やってみなければわからない部分もあります。ですから、つくることも重要ですが、実際にできたものを見て確かめることも重要となります。

**Q：どのように生体分子を見るのですか。**

田中：生体分子は、私自身の研究テーマでもある、液中動作が可能な周波数変調方式の原子間力顕微鏡(FM-AFM)で見ることができます。DNA造型によるナノ構造が設計通りにできたかどうか、FM-AFMで観察して実際に確か

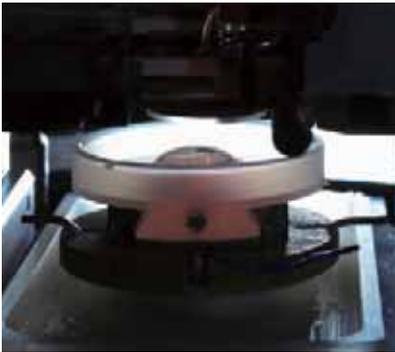


図3 溶液中での高分解能観察に用いる原子間力顕微鏡のステージ部分。カンチレバーの先にある非常に小さな針を自己励振させた状態で、液滴の中に設置した観察対象に近づけると、探針先端と試料表面との距離によって自己励振周波数が変化する。これを精密に検出し画像化することで試料表面の原子スケールの凸凹を読み取る。

めることができます。なぜ液中にこだわるかというと、バイオのサンプルはほとんど溶液を介してその構造がつくられ、維持されるからです(図3)。

ところが、これまでのナノテクプロセスの多くは超高真空環境での作業が必須であり、溶液があってはだめでした。それをなんとか溶液の中でできるようにと開発を進めてきたのが、この観察手法です。

DNA造型の研究において、DNAの

タイルはあくまで足場にすぎず、そこからさらに反応を進めていかなければなりません。これを途中で真空に入れてしまうと、DNAは水分を失ってミイラ化し本来の性質を失ってしまいます。液中ならば元の性質や構造を維持したまま観察できますし、さらに材料を追加して、反応の続きを追いかけることも可能です。

このような先端的な計測手段があると、いろいろな研究機関から、これを使って手持ちのサンプルを測りたいという申し出が多くあります。ナノ・バイオの世界は自分たちだけですべて見渡せるほど狭くはないので、こういった協力をきっかけに新たな共同開発テーマの研究が始まることもあります。

**Q：将来に向けてどんな目標を立てていますか。**

田中：生物の感覚や機能に即したもの

で特定の事象をセンシングしたとき、いったいどういった情報が収集されるのか、情報をどう統合処理すれば、生物の持っている高度な情報処理能力や効率性を模倣できるのか、その本質は何なのか、どうすればそれらを漏れなく他者に伝えることができるのか、といった部分に重点を置いています。センサやデバイスをつくることそれ自体を大目的にしているわけではありません。

生体のからくりを探索し再構成していく過程で得られたアイデアや技術から、シリコンなどの非バイオ素材を使って新しいデバイスを組んでもいいのです。あくまで、そこにあるメカニズムは何なのか、それをどう活かしていくかを考えて、材料が無機か有機かバイオかといったことにはこだわらず、研究開発を進めていきたいと考えています。

## 「ナノ・バイオ ICT シンポジウム 2012」を開催

未来 ICT 研究所は、2012 年 2 月 15 日に、東京ビッグサイト(東京都江東区)で「ナノ・バイオ ICT シンポジウム 2012」を開催しました。NICT の熊谷 博理事の開会挨拶、ナノ ICT 研究室の田中秀吉研究マネージャーによる主旨説明に続き、所外からのゲストを含む 7 人の研究者が最新のナノ・バイオテクノロジーについて講演を行いました。

このシンポジウムは、毎年 NICT が出展している世界最大のナノテク展示会「nano tech 2012」に合わせて開催されたこともあり、ナノとバイオの融合による新しい ICT 技術に興味をもつ企業や研究機関からの参加者で満席の盛況でした。

「私自身も講演内容をわくわくしながら聞いた」と閉会挨拶で大岩和弘所長が述べたとおり、さまざまな視点で展開されているナノ・バイオの最先端研究についての講演は聞き応えがあり、講演後の質疑応答も活発に行われました。



### 講演リスト

#### 第一部 基調講演

法政大学生命科学部教授 川岸郁朗 氏  
「生物のインテリジェントセンシング機能  
～細菌がもつ多機能環境応答センサーのしくみを探る～」

#### 第二部 バイオのからくり

大阪大学大学院医学系研究科教授 岡村康司 氏  
「細胞膜蛋白質による膜電位変化のセンシングと情報転換」  
奈良女子大学生生活環境学部准教授 才脇直樹 氏  
「脳機能計測を用いた触感インタフェースの開発」

#### 第三部 バイオに学びバイオで測る

福井大学遠赤外線領域開発研究センター教授 谷正彦 氏  
「テラヘルツ帯振動分光で探る有機・生体分子のダイナミクス」  
未来 ICT 研究所ナノ ICT 研究室主任研究員 笠井克幸 氏  
「バクテリオロドプシン薄膜を用いたバイオメテック光センシング」  
未来 ICT 研究所バイオ ICT 研究室主任研究員 山田 章 氏  
「バイオ機能を再構築して使う」

#### 第四部 バイオメテックシステムによる高機能センシング

未来 ICT 研究所企画専攻研究員 片桐祥雅 氏  
「非線形生物システムに学ぶマイクロインテリジェンスと応用」