

# Science Academy of Tsukuba

# SAT

No. **28**

September 2015

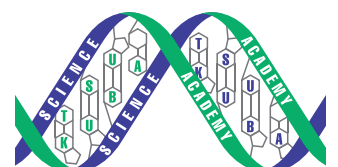
<http://www.science-academy.jp/>



写真上：SATフォーラム2015

写真下：TIA連携棟 TIA-nano事務局提供

- ▶ 巻頭言：つくば研究学園都市からイノベーションを
- ▶ 特集：つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) の現状と動向
- ▶ SATフォーラム2015：2014年ノーベル物理学賞を受賞した中村修二教授を迎えて
- ▶ つくば賞その後-5：つくば高血圧マウスとつくば低血圧マウスの創作とその解析
- ▶ 研究室レポート：宇宙から学ぶ究極の予防医学
- ▶ 科学の散歩道：老化ミトコンドリア散歩道
- ▶ 賛助会員訪問記：大鵬薬品工業株式会社 日清製粉株式会社
- ▶ SATサイエンス・カフェ：マイクロバブル・ナノバブルの応用



つくばサイエンス・アカデミー  
SCIENCE ACADEMY of TSUKUBA

# つくば研究学園都市からイノベーションを

国立研究開発法人産業技術総合研究所副理事長・つくばセンター長 金山 敏彦

冒頭から私事で恐縮だが、私の経歴は、つくば研究学園都市とほぼ重なっている。理科大好き少年だった小学生の頃、どこかで、多分、子供向けの科学雑誌で、研究学園都市をつくばに作る計画を知り、漠然とあこがれを抱いたことを、折に触れて思い出す。その後、つくば移転を控えていた研究所に職を得、入所に先立ち観光をかねて建設中の学園都市を学友と共に見に来たのが、つくばを訪れた最初である。爾来、1979年末から当地の住民である。つくば研究学園都市が、どんな構想と戦略に基づいていたのか、寡聞にして知らないが、これだけ多岐にわたる研究機関や大学を集約した効果は大きく、学術的には数々の成果を生み出して、世界に冠たるサイエンスシティとなった。人材や知識、研究設備の集約度は極めて高い。年月を経て、都市としての成熟度も増した。この環境の下、個人的にも、所属が同じ旧工業技術院の研究所はもとより、他研究所や筑波大学の研究者と、様々な交流や共同研究を楽しんだ。

今世紀を迎える頃から、つくばに続いて、世界的にも国内にも、多くの研究拠点が建設されている。その狙いは、サイエンスシティとはやや異なり、一語で表すならば、イノベーションであろう。つまり、

科学技術の研究に留まらず、その成果に基づいて社会に変革を与える拠点としての役割が期待されている。持続的な経済発展や、エネルギー・資源・環境・健康などの様々な社会課題解決のために、研究機関には卓抜な技術を生み出すだけでなく、それを総合してイノベーションにつなげることまでが期待されている。しかし、科学や技術はイノベーションの主要な構成要素であっても、一部分に過ぎない。イノベーションを生み出すには、必要な要素技術を統合し社会実装の筋道を実証することに加え、技術の具現化の担い手である産業界や、受取手であるマーケットとの連携が欠かせない。

つくばに、研究機関の垣根を越えた産業界との連携のための組織を作ることを目的に、2009年、産業技術総合研究所、物資・材料研究機構、筑波大学が、経団連の支援を得て、「つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 (TIA-nano)」を創設した。2010年度には第1期5年間の計画を定め、2012年度には高エネルギー加速器研究機構が加わった。ナノテクノロジーを標榜したのは、4つの構成機関に強みがあることに加え、基礎研究の拡がりや産業へのインパクトが共に大きいことに基づく。詳細は、本特集号の各記事に譲るが、200社を越える多数の企

業から多くのプロジェクトへ参画を得、パワーエレクトロニクスやカーボンナノチューブでは、基礎研究の成果を事業化へ繋げるに至った。人材育成にも、4機関連携の実が上っており、オープンイノベーションの新たなモデルを創出したと言えよう。TIAは、強力な戦略性を打ち出すのではなく、アリーナの名の通り、まず場所を作って利用者呼び込むことで連携につなげる、つくば研究学園都市の成り立ちに似た、日本的つくば流モデルを打ち立てた。

この実績に基づき、TIAは今年度から新たに始める第2期5年間のビジョンとして、「継続的イノベーションのための資源連動の仕組み」を掲げる。つくばには、イノベーションの源泉となる数十年の豊富な蓄積があるが、まだまだ連動が足りず、利点を十分に生かし切っていない。第2期は、第1期に作り上げたTIA独自のつくば流組織原理に則って構成メンバーの自主性を生かしながら、外部の企業や研究機関がつくば全体に蓄積された資源を利用しやすいように、一元的なマネジメント機能を強化する。多くの方がこの仕組みに参加し利用することで、つくばから多くのイノベーションが続出することを期待する。

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
副理事長・つくばセンター所長

## 金山 敏彦 (かなやま としひこ)

- 1977年3月 東京大学大学院理学系研究科修士課程物理学専攻、修了
- 1977年4月 工業技術院電子技術総合研究所入所 電子デバイス部
- 1994年4月 工業技術院 産業技術融合領域研究所アトムテクノロジーグループ長
- 2000年4月 同所 首席研究官
- 2001年4月 独立行政法人産業技術総合研究所次世代半導体研究センター副研究センター長
- 2008年4月 同所ナノ電子デバイス研究センター長
- 2010年4月 同所理事
- 2014年7月 同所副理事長、つくばセンター所長、現在に至る
- 2001年4月 筑波大学 連携大学院 数理工学系研究科教授、現在に至る
- 1999年 つくば奨励賞受賞



## 特集 つくばイノベーションアリーナ ナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) の現状と動向

世界最高水準のナノテクノロジー研究設備、人材、技術が集積するつくばにおいて、政府からの支援を得て、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構および筑波大学が中核機関となり、産業界が参加したつくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) が発足したのは2009年6月であった。現在は高エネルギー加速器研究機構も中核機関として参加している。今年3月で第1期が終了し、4月から第2期に入った。そこで、この間のTIA-nanoの活動全体を俯瞰し、第2期の展望を述べた総括的内容とともに、第1期の成果、すなわち基礎から開発段階での成果、実証段階での成果、事業化への橋渡しでの成果、光・量子計測での成果、共用機器整備での成果、人材育成での成果について執筆頂いた。第2期は継続的イノベーションのための資源 (知識・技術・人) 連動の仕組みを構築していくのがTIA-nanoのビジョンである。今後の活動に注目したい。

### つくばイノベーションアリーナ ナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) の概要と今後の展望

つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) 運営最高会議  
事務局長 岩田 普 事務局次長 菱田 俊一 事務局次長 野家 彰 事務局次長 池田 進

#### 1. はじめに

つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) は、つくばにある産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構の4研究機関が、日本経済団体連合会の支援を得て、ナノテクノロジーの研究開発促進を目指す活動である。現在、ナノテクノロジー研究は、世界各国で巨大プロジェクトとして推進されており、大きな脅威となっている。TIA-nanoは、つくばの4機関が互いに技術を補完して研究開発を加速し、産業界と一体となってイノベーションを創出しようとするものであり、第1期 (2010年度からの2014年度) の5年間を終了して、今年度より第2期に入る。本報告では、TIA-nanoの設立の経緯、第1期の主な活動と成果、今後の課題と展望を紹介する。

産学官連携や、つくばにある研究機関間の連携の重要性は、長く叫ばれてきたことではあるが、それが実現された例はむしろ少数である。近年は、自己の技術と市場にある技術とを積極的に組み合わせる課題を解決するオープンイノベーションの必要性も強く訴えられている。総論として連携やオープンイノベーションに反対する人はいないだろうが、連携するために必要となる労力、法律などの制度上の限界、組織間の壁、各人の精神的な壁などが大きな障害となって、実際に連携を進めるのは大変な作業である。TIA-nano第1期は、これらの障害を見つけ、対応策を模索する試行錯誤の過程であったように考えられる。そこで得られた経験知は、非常に貴重なものであった。TIA-

nano第2期は、これらの経験を糧にして、オープンイノベーションを具現化していく飛躍の期と期待している。

#### 2. TIA-nano設立の目的

ナノテクノロジーは、ナノメートル ( $\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ) サイズで物質を制御し、そこで現れる物理現象を活用する技術であるが、2001年に米国のクリントン大統領がNNI (National Nanotechnology Initiative) を提唱して以来、材料や計測技術、半導体研究などを広く包含するキーワードとして使われるようになった。

ナノテク研究において世界的に注目を集めているのが、半導体を起点として活動を急拡大する大規模な研究開発拠点である。米国のニューヨーク州立大学アルバニー校 SUNY Poly CNSE、ベルギーのIMEC (Inter-University Microelectronics Center)、フランスのMINATEC (Micro-Nano Technology) などがあり、それぞれが特有の性格を有している。SUNY Poly CNSEは、大学でありながら「産業界のため」の拠点を徹底的に追及しており、米国大学においても他に類がないものとなっている。IMECの特徴は利用者満足へ向けた研究サービスの徹底であり、MINATECの特徴はグルノーブル市やフランスの政策と一体となって拠点構築を進めている点である。

ナノテクは、巨大で高額な研究インフラと多様な知識の集約が必要となる。海外の研究開発拠点の動向を鑑み、国内におけるナノテクノロジー拠点形成 (TIA-nano) の検討が開始されたのは2008年である。当時の国内のナノテ

ク研究は、企業コンソーシアム、国の各研究機関が、それぞれ独自に推進している状況であった。国内の半導体企業の事業環境は非常に厳しくなり、事業再編や企業統合が進められていった。巨大な研究開発投資を必要とする集積回路の微細化を維持できる企業は数社となってしまった。

そのような状況において、これまで作り上げられてきた微細加工技術とナノテクの新しい材料とを組み合わせ、新しい技術を生み出すための拠点の必要性が、官民それぞれから提唱された。官としては、経済産業省および文部科学省のナノテク関連課による内部検討やシンポジウムが継続的に行われ、両省との合同戦略会議にて実行計画が協議された。民としては、2009年3月に産業競争力懇談会(COCN)が「環境調和型ユビキタス社会を実現」を提言し、ナノエレクトロニクス研究拠点の形成を求めた。日本経済団体連合会も、提言「日本版ニューディールの推進を求める」で拠点形成を取り上げた。

これらの官民の動きを受け、2009年6月に産総研、NIMS、筑波大、経団連の4者により、TIA-nanoが設立され、「つくばナノテクノロジー研究開発拠点構想」共同宣言が発表された。本格的な研究活動が開始されたのは2010年4月であり、2年後の2012年より高エネ研が中核機関として加わり、現在の体制となった。

### 3. TIA-nanoの体制と指標

TIA-nanoの運営体制を図1に示す。構成機関の長と有識者からなる「運営最高会議」が意思決定組織であり、現在、日立製作所顧問の住川雅晴氏が運営最高会議議長を務めている。産業界の意見を反映することを目的に、運営諮問会議(議長：須藤亮東芝常任顧問)を設けている。各研究領域において、企画・連携促進を担う組織として「マネジメントグループ」を設け、企業との連携を推進する組織として「ステークホルダーグループ」を設けた。事務局は、運営最高会議の運営を担うとともに、連携企画、広報、国際戦略、知財を担うチームを設けて活動している。

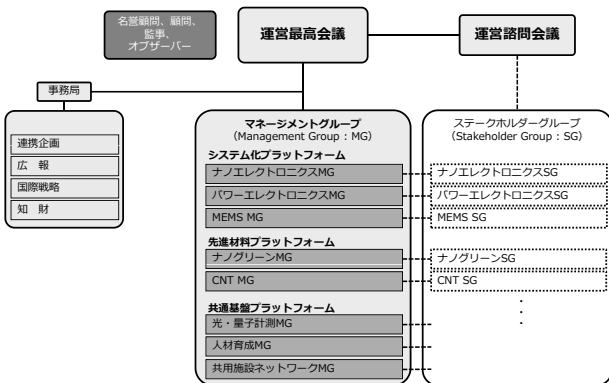


図1. TIA-nano 運営体制

数値的な活動指標を図2に示す。TIA-nanoは研究予算を直接管理してはいるが、TIA-nanoの場で活動するプ

ロジェクトを「拠点活用プロジェクト」と定義して指標を集計している。これらのプロジェクトの多くは、TIA-nano関係者がプロジェクト設立に深く関与したり、研究実施において大型研究インフラの利用支援を行っている。2014年度では、総事業規模187億円、公的資金の割合75%、累積プロジェクト数33件であった。これらのプロジェクトに参加した連携企業数200社、外部研究者数1028人(ほとんどが企業の研究者であり、1/3以上がつくばに常駐)、TIA連携大学院生数504人であった。

これらの数字だけからでは読み取れないが、TIA-nanoの場で研究プロジェクトを実施することで、従来とは異なるいくつかの効果が現れている。多くの企業研究者がつくばに常駐することで、民間とは異なる国特有の制度の存在など、国の研究機関への理解が進んだり、隣り合う研究プロジェクト間での研究協力が行われたりした。それらは、まだまだ小さな動きではあるが、今後の様々な連携への下地作りができたのではないかと考える。

### TIA-nano 指標

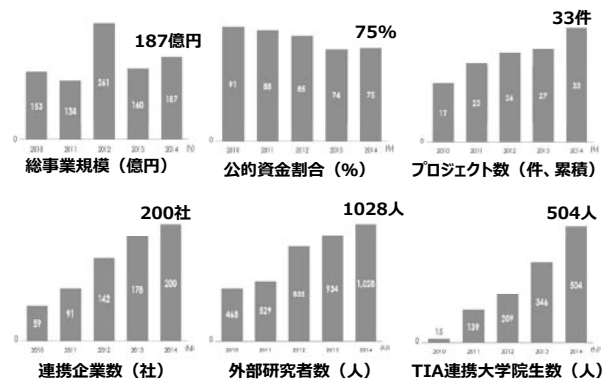


図2. TIA-nano 指標

### 4. 研究環境整備と主な研究成果

次に第1期で行った研究環境の整備と主な研究成果を紹介する。「コア研究領域」として、ナノエレクトロニクス、パワーエレクトロニクス、N-MEMS、ナノグリーン、カーボンナノチューブ(CNT)、ナノ材料安全評価の6領域を選んだ。これらは、つくばに技術的強みがあるテーマとして選定したものである。コア研究領域を基盤的に支える「開発研究連携領域」として計測技術を設け、「コアインフラ」として、ナノデバイス実証・評価ファンドリー、ナノテク共用施設、ナノテク大学院連携を定めた。

TIA-nanoの活動を開始するにあたり、2008年度、2009年度の補正予算により大型の研究インフラを整備した。その主なものは、ウエファ径300mmのCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)プロセスライン、ウエファ径3インチのSiCプロセスライン、ウエファ径200mm/300mmのMEMSライン、ナノグリーン研究のための実験棟である nano-Green 棟などである。これらの大型研究施設を国の研究機関が導入することは極めて

稀なことであったが、企業と一緒に研究開発を行い、技術の事業化を判断するためには必須な研究インフラであった。

このような大型研究インフラを国が整備することにより、多数の研究プロジェクトが限られた時間の中で大きな成果を上げることが可能となった。図3に主な研究成果を示す。この図の横軸は技術の研究開発段階であり、縦軸はコア研究領域である。基礎研究から事業化まで、割とバランスよく研究テーマが配置されているが、基礎研究段階のものは、主に文部科学省や内閣府のプロジェクトとして実施され、事業化段階のものはNEDOプロジェクトとして実施されている。以下にその概要を述べる。

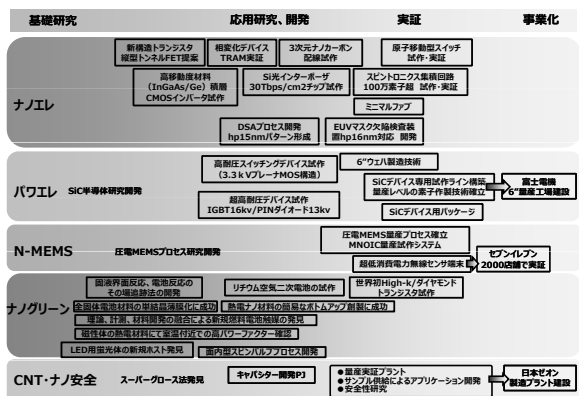


図3. 主な研究成果

#### 4.1 トピックスの概要

まず、本特集号でトピック的に取り上げるテーマの概略を述べる。基礎から開発段階での成果として紹介するのは、ナノグリーンコア研究領域におけるNIMSナノ材料科学環境拠点 (GREEN) と、ナノエレクトロニクスコア研究領域の相変化デバイスTRAM (topological-switching RAM) である。材料の研究開発には長い時間を要するが、将来が楽しみな材料がNIMSや産総研で生れている。「材料が世界を変える」ことを期待させる非常に有望な材料である。これらを企業と一緒に実用化への課題解決に取り組んでいる。

実証段階にあるのはMEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 技術である。MEMSラインを運営する産官連携の体制MNOIC (MicroNano Open Innovation Center) と、そこで実現されたセンサーとを紹介する。

事業化まで到達した成果として、SiCパワーエレクトロニクスの6インチ量産工場建設とCNTの製造プラント建設を紹介する。これらは20年以上にわたり、つくばで研究されてきたものであるが、それが漸く実事業になろうとしている。このように技術開発が加速された一つの要因は、TIA-nanoの場に量産技術までを視野にいたれた研究設備が整備され、事業化まで踏み込んで産学官連携が可能となったことと考えている (図4、5)。また、パワーエレクトロニクスでは、民活型の共同研究体「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC)」を設立し、30社

によぶ企業が参加するオープンイノベーションを実践している。

#### TIA-nanoの橋渡し: SiCパワーエレクトロニクス

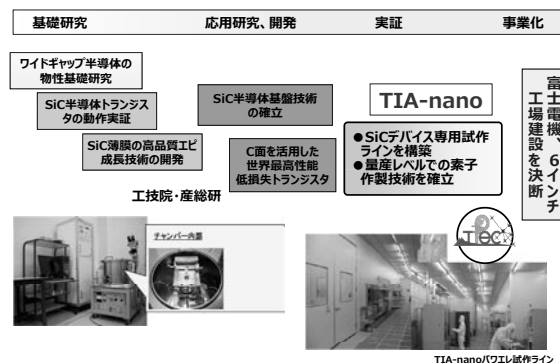


図4. パワーエレクトロニクスの技術進展

#### TIA-nanoの橋渡し: カーボンナノチューブ (CNT)

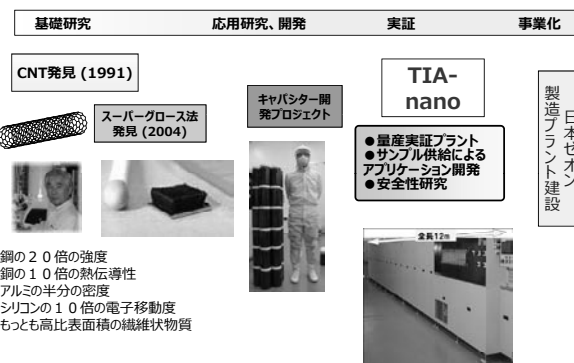


図5. カーボンナノチューブ (CNT) の技術進展

共通基盤的な活動として、光・量子計測、共用施設、人材育成を取り上げる。光・量子計測では、中核4研究機関が保有する技術を組み合わせることによる連携効果、共用施設では外部利用が可能な利便性の高い装置群・制度、人材育成では国際的リーダー育成を目指すオナーズ事業などの活動を紹介します。

#### 4.2 最先端研究開発支援プログラム (FIRST)

基礎研究・応用研究段階のテーマのいくつかは、内閣府の最先端研究開発支援プログラム (FIRST) によって実施されたものである。FIRSTは、30人の中心研究者を選定し、中心研究者に強力な権限を与えて研究を推進するという大きな試みであり、総合科学技術会議が直接プログラム推進に当たった。特にTIA-nanoと深く連携して進められた中心研究者を図6に示す。東京大学荒川先生は、CMOS技術開発で培われたシリコンの微細加工技術を光素子に適用することで、Si光インターポザーの高密度、高速動作を実現した。東北大学江刺先生は、産総研との共同でプロジェク

トを実行し、MEMSとLSIのヘテロ集積を実証した。東北大学大野先生は、300mmラインで、他のプロジェクトと連携してCMOSと磁性材料とを組み合わせるプロセスを開発し、スピントロニクス論理回路試作実証を達成した。京都大学木本先生は、産総研と共同でプロジェクトを推進し、超高耐圧デバイス試作に成功した。富士通研究所横山フェローは、産総研で連携研究体を組織し、企業研究者と国の研究機関の研究者との一体のチームを作り、相変化デバイス実証などの世界トップレベルの成果を達成した。これらの大きな成果は、TIA-nanoにある研究インフラや技術蓄積と研究プロジェクトとの連携により生み出されたものである。

FIRST 中心研究者	研究課題
荒川泰彦(東京大学)	フォトニクス・エレクトロニクス融合システム基盤技術開発
江刺正喜(東北大学)	マイクロシステム融合研究開発
大野英男(東北大学)	省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発
木本恒暢(京都大学)	低炭素社会創成へ向けた炭化珪素 (SiC) 革新パワーエレクトロニクスの研究開発
横山直樹(富士通研究所)	グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発

図6. FIRST中心研究者

### 4.3 ナノエレクトロニクス

ナノエレクトロニクスの活動内容に関しては、本稿でも簡単に触れておく。ナノエレクトロニクス研究の中心となる施設としてスーパークリーンルーム (SCR) がある。3000m<sup>2</sup>のクリーンルームに100台以上の大型半導体プロセス装置 (ウエファ径300mm) が並んでおり、回路線幅65nm / 45nmのCMOS標準プロセス装置とナノテク材料を取り扱うための専用装置がある。CMOSプロセスにおいて不純物は天敵であるため、通常、特殊な材料をCMOSラインに持ち込むことはできない。SCRでは逆に、新材料の重要性を考え、ナノテク材料を積極的に取り扱えるようにした。それを可能とするために、不純物の影響をCMOSに与えないプロセス「BEOL共通プラットフォーム」を研究プロジェクトと協力して整備した。ナノテク材料が取り扱える300mmラインは世界でもほとんど例がないと考えられる。

このSCRを利用して、超低電圧デバイス技術研究組合 (LEAP) は、原子スイッチというデバイスを開発した (図7)。原子スイッチは、非常に微細なスイッチとして機能するものである。これをCMOSの配線層に埋め込むことで、CMOSのつなぎ変えを可能とし、必要な論理回路を瞬時に構成できるLSIを動作実証した。

また、SCRはシリコンフォトニクスの拠点ともなっている。シリコンフォトニクスは、光を伝える導波路にシリコンを用いる技術で、素子の超小型化を可能とするものである。CMOS技術として発展してきた大面積、微細加工

技術を適用する事で、非常に特性の優れた光素子が実現できるようになった。このような微細加工技術は、特定の研究プロジェクトに帰属するのではなく、多数のプロジェクトで利用できることが望ましい。現在、文部科学省やNEDOなどのプロジェクトがSCRを活用している。

### 原子スイッチ (LEAPプロジェクト)

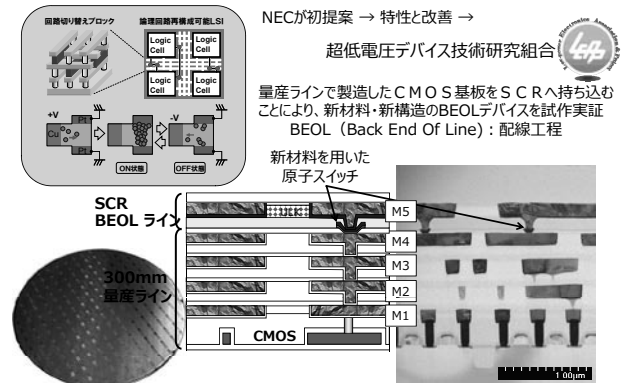


図7. 原子スイッチ

### 5. 課題と展望

これまで紹介してきたようにTIA-nanoを活用するプロジェクトから多くの成果が上がっているが、拠点としての魅力の向上、利用者への利便性向上を実現するために解決しなければならない課題は多数ある。第1期では、走ると課題が現れ、慌てて対処するという感覚で進まざるをえなかった。第2期では、目指すべき活動の方向性をTIA-nanoビジョンとして整理した。現在、その具体化に取りかかったところであり、今後の展望として紹介する。

国はイノベーション政策として「イノベーションの芽を育む」「イノベーションシステムを駆動する」「イノベーションを結実させる」ことを表明している。TIA-nanoでは、「継続的イノベーションのための資源連動の仕組み」を謳い、「知の創造・強化」と「産業化」の機能を有する「オープンプラットフォーム」により、国のイノベーション政策実現の一翼を担うことを目指している。我が国にはイノベーションを起こしていくために必要な人材、技術、研究インフラ、資金があるにもかかわらず、それが経済につながっていないという指摘を海外の有識者から何度か受けた。TIA-nanoでは、これらの資源が経済的に連動していくための仕組みとして「オープンプラットフォーム」を整備していく。

「オープンプラットフォーム」の概念を図8に示す。研究の領域として「先進材料プラットフォーム」、「共通基盤プラットフォーム」、「システム化プラットフォーム」を定め、技術融合を図っていく。運営機能を「オープンプラットフォームマネジメント」と定義して、利用者の利便性向上を目指す「ワンストップ化」、新たな研究を企画提案していく「連携企画」、拠点の魅力を広めていく「ブランド構築」に注力していく。

第1期においても、クリーンルームの24時間稼働、約款による簡便な契約制度、企業研究者を受け入れる出向制度、試作品有償提供を可能とする研究施設貸与制度など、様々な制度の改善に努めてきた。しかしながら、共同研究契約の煩雑さなど、利用者からするとまだまだ多くの不便さが残っている。第2期においては、金融界との連携も推進し、イノベーション創出に適した環境の構築を目指す。是非、多くの研究者がTIA-nanoの場を活用して、大きな成果を上げることを期待する。

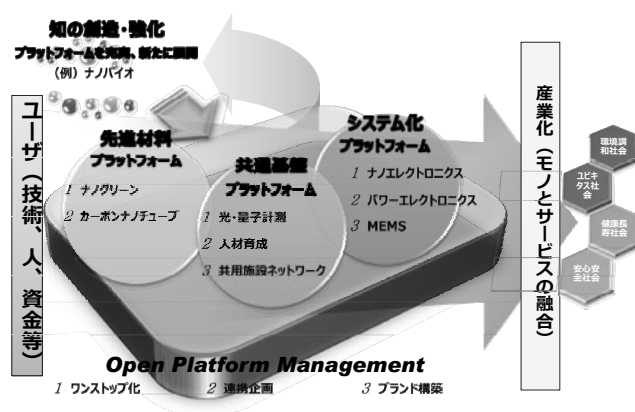


図8. TIA-nano ビジョン オープンプラットフォーム

著者略歴

### 岩田 普 (いわた ひろし)

(研) 産業技術総合研究所 つくばイノベーションアリーナ推進センター 審議役 工学博士  
 つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 運営最高会議 事務局長  
 1983年3月 東京大学大学院理学系研究科相関理化学専攻修士課程終了  
 1983年4月 日本電気(株)入社。以来、半導体レーザー、化合物半導体結晶成長の研究開発に従事  
 2001年3月 半導体、ナノテクノロジーの研究開発戦略に従事  
 2008年10月 産業技術総合研究所 入所。ナノテク拠点構想に従事、現在に至る。



### 菱田 俊一 (ひした しゅんいち)

(研) 物質・材料研究機構 TIA推進室室長 工学博士  
 つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 運営最高会議 事務局次長  
 1983年 東京大学大学院工学研究科博士課程終了 工学博士  
 1983年 東京大学理学部助手  
 1986年 科学技術庁無機材質研究所(現 物質・材料研究機構) 入所  
 2015年より現職



### 野家 彰 (のいえ あきら)

筑波大学 国際産学連携本部 教授  
 つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点 運営最高会議 事務局次長  
 1981年3月 東北大学法学部卒業  
 1981年4月 科学技術庁入庁  
 2014年8月より現職



著者略歴

### 池田 進 (いけだ すずむ)

学位: 理学博士  
 KEK名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授  
 現職: KEK大学・産業連携推進室長、つくばイノベーションアリーナ室長  
 昭和52年 東北大学大学院博士課程修了(物理学専攻)(理学博士)  
 東北大学理学部助手・助手、文部省・高エネルギー物理学研究所(KEK)助手、KEK助教授を経て、平成7年 高エネルギー物理学研究所(KEK)・教授 平成10年—平成21年物質科学第三研究系研究主幹 及び 中性子科学研究系研究主幹 平成18年—平成24年 物質構造科学研究所副所長 平成19年—平成24年3月 J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョン副ディビジョン長 平成26年3月—現在 KEK研究支援戦略推進部 大学・産業連携推進室長、つくばイノベーションアリーナ室長





～基礎から開発段階での成果～

# 物質・材料研究機構 (NIMS) ナノ材料科学環境拠点 (GREEN) の活動紹介

NIMS フェロー・ナノ材料科学環境拠点長  
魚崎 浩平

ナノ材料科学環境拠点 (Global Research Center for Environment and Energy based on Nanomaterials Science: GREEN) は、文部科学省「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発プログラム」の支援のもと、ナノテクノロジー・材料分野において高い研究水準を誇る我が国が、地球環境問題を抜本的に解決して持続可能な社会を構築するために、産学が連携して環境技術の基礎基盤的な研究開発を推進する研究拠点であり、「つくばイノベーションアリーナ (TIA-nano)」におけるナノグリーンコア研究領域の中核的プロジェクトとして、産学官の多様な研究者が結集したオープンイノベーションの場である。ここではナノ材料科学環境拠点 (以降GREEN) の目指すところ、研究開発および拠点としての実績について紹介する。

## 1. GREEN 設立の背景

環境・気候変動問題を主題とする2008年7月の洞爺湖サミットを控え、当時の福田首相が1月のダボス会議で「クールアース推進構想」を提示するなど地球温暖化・地球環境問題への取り組みが喫緊の課題であった。文部科学省においても「ナノテクノロジーを活用した環境技術の開発に関する検討会 (主査:橋本和仁東京大学教授)」が4月に発足、6月には同検討会の報告書が公表された。それを受けて、上述の「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発プログラム」が2009年2月に公募され、7月にNIMSの提案したナノ材料科学環境拠点が唯一採択され、10月に発足した。

## 2. GREENのミッションと組織

「地球環境問題を抜本的に解決して持続可能な社会を構築する」という観点から、GREENはUnder One Roof型の拠点として、太陽光から出発するエネルギーフローに関わる太陽光発電・光触媒による水分解・二次電池・燃料電池を出口課題とし、計算科学手法と高度その場解析技術を駆使して、共通の課題である表面・界面現象の理解と制御技術の確立を通してブレークスルーとなる技術シーズを創出するとともに、実践的人材育成を目指している (図1)。材料・計測・計算が融合して研究を推進する拠点は今や国内外で大きなトレンドであるが、本拠点の設置は世界的にも先駆的な試みであった。計算分野、計測分野、電池分野、太陽エネルギー利用分野の各分野に、比較的少人数で構成されるグループを置き、各分野コーディネータによる分野

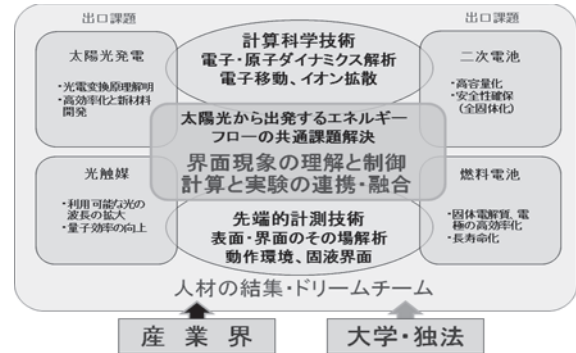


図1. GREENの組織イメージ

内の統括と分野を超えた密接な連携のもと研究開発を進めている他、実験・計測・材料研究者からなる特別推進チームを設置し、拠点の目的である材料-計測-計算の融合による研究推進のより効果の実現を図っている。グループリーダー、チームリーダー22名の内、併任・出向者が6名 (民間企業(1)、大学(4)、高専(1))、GREEN発足後採用者7名 (民間企業(2)、大学(5)) と、オールジャパンの観点で人材結集が図られ、2012年5月の新研究棟 (NanoGreen棟) の完成を機に、中心メンバーが集結、名実ともにUnder One Roof型拠点となった。ここでは異分野の研究者間の情報交換、共同研究が円滑に行われることを期待して居室、実験室を大部屋化している。

## 3. 研究内容と成果

**太陽光利用分野:** 太陽光の電気および水素への変換を目指した長期的課題に取り組んでいる。ハロゲン化鉛系ペロブスカイト (以下、ペロブスカイト) 太陽電池に関する研究は数年前に開始されたばかりであるが、塗布などの低温プロセスで作製可能なこと、大きな電流が得られること、高い開放電圧が得られることから、安価で高効率な次世代太陽電池として急速に研究が進んでいる。しかし、ペロブスカイト太陽電池は高い変換効率を示すものの、再現性が低く、また電流-電圧曲線に電圧掃引方向に依存したヒステリシスが観測されるなど、安定性も問題であった。これらの問題の解決を目指してGREENでは昨年10月に、色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池の専門家と物理、化学、計算、計測の基礎研究者で構成されるペロブスカイト太陽電池特別推進チームを設置した。これまでに、雰囲気制御を厳格

にするなど作製手法の工夫により、低温・溶液プロセスを用いて、高い再現性と安定性を示すペロブスカイト太陽電池の作製に成功し、高効率、高安定性の要因を明らかにしている。光触媒を用いると、光で水を分解し、クリーンな燃料である水素が得られる。太陽光を高効率で利用するためには、幅広いエネルギーの光を利用する必要があるが、これまでに開発された水分解光触媒のほとんどは紫外光しか利用できず、可視光利用が可能な場合でも最長500nm程度までであり、より長波長側の光まで利用できる光触媒の開発が求められていた。光化学エネルギー変換グループでは太陽光の高効率利用のために酸窒化物をベースとした新規可視光応答型光触媒と新規表面修飾法(酸化物による表面被覆)の組み合わせにより世界で初めて500nmより長波長まで利用可能でしかも効率の高い水分解光触媒の開発に成功している。

**電池分野:** 太陽光により確保したエネルギーの貯蔵と変換に不可欠な二次電池と燃料電池の研究を行っている。二次電池では、現在のリチウムイオン電池を安全性あるいはエネルギー密度ではるかに凌駕する全固体電池とリチウム空気電池について取り組んでいる。全固体電池は不燃性物質のみから構成され高い安全性が期待される。全固体電池では、電解質/電極界面が電池性能決定の最大の要因であるが、これまでの研究は粉末材料を対象としてきたため、界面の解析、理解、制御が困難であった。全固体電池特別推進チームでは電池材料を単結晶薄膜化することによって理想的界面を構築し、高性能全固体電池の実現につながる界面の姿を計算科学・高度解析技術との融合により明らかにする研究を行っている。リチウム空気電池は正極活性物質として空気中の酸素を利用することによって格段に大きなエネルギー密度を実現できる究極の蓄電池と考えられている。しかし、正極における副反応の抑制、大きな充電過電圧、リチウム金属負極の低安定性といった問題があり、スタックの動作実証も必要である。リチウム空気電池特別推進チームではこれまでに、計算科学・高度解析技術との融合研究により、正極反応がほぼ正しく進行する適正条件を確認し、新規スタック方式の設計、試作を経て、世界で初めてスタックの動作実証に成功している。なお、GREENのメンバーは、現在文科省の支援のもとJSTが推進している次世代蓄電池研究加速プロジェクト(ALCA-SPRING)において中心的役割を果たし、また、NIMS蓄電池基盤プラットフォームの支援を通してオールジャパンの次世代蓄電池開発に寄与している。

燃料電池は家庭用および自動車用に実用化されているが、広範な利用には多くの課題の解決が必要である。改良

著者略歴

魚崎 浩平 (うおさき こうへい)

1971年 大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻修士課程修了、三菱油化(株)応用研究所入社  
 1974年~1976年 フリンダース大学(豪)大学院物理科学研究科博士課程留学、Ph. D.取得  
 1978年 三菱油化(株)退社、オックスフォード大学無機化学研究所研究員  
 1980年 北海道大学理学部化学科講師、1981年 同助教授を経て、1990年 同教授  
 2010年 北海道大学定年退職、名誉教授、大学院総合化学院客員教授。物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス拠点(WPI-MANA)主任研究者  
 2013年 物質・材料研究機構フェロー・ナノ材料科学環境拠点長

研究についてはNEDOのいくつかの大型プロジェクトが進んでいることから、GREENでは中温利用(酸化物固体電解質形燃料電池の低温化と高分子電解質膜形燃料電池の高温化)と非白金電極触媒に的を絞って計算・計測・材料研究者の融合研究を進めている。

#### 4. 外部研究者の支援—オープンラボ

オールジャパンに開かれた拠点として、国内の大学、高専、公的研究機関および民間企業に所属している研究者、またはこれに準ずる者を、研究テーマに関係のあるGREEN所属の研究者が受け入れ担当者となり、その活動を支援するオープンラボ制度を創設当初より積極的に推進している。オープンラボ研究者に対しては交通費および滞在費を支給し、GREEN所有の研究設備、およびNIMSの共用施設使用の便宜を図っている他、同行する学生についても短期あるいは長期RAとして支援している。企業研究者についてはオープンラボでの活動は2年程度を目処とし、共同研究などNIMSの他のプログラムへの展開を目指すこととしている。

#### 5. 産業界ニーズの抽出とアウトリーチ

産学が連携して環境技術の基礎基盤的な研究開発を推進するための研究拠点という設立趣旨から産業界ニーズの抽出とアウトリーチには当初より積極的に取り組んでいる。1つめはGREENシンポジウムであり、年2回開催のうち1回は成果発表を中心とする研究者を対象としたものをNIMSで、またもう1回は国内の関心が高く、産業界からの参加者も含む突っ込んだ討議がふさわしいテーマについて東京で開催している。2つ目は構造材料拠点と連携して隔月開催しているNBCI-NIMS合同セミナーである。ここでは1つのテーマについて発表、見学、質疑を長い時間をかけ、徹底的に行っている。3つ目は蓄電基盤PF設立にあわせて開始した電池材料解析ワークショップであり、ALCA-SPRINGとも共催し、最先端技術の紹介を行っている。今年度からは講習、実習をあわせて行い企業研究者のスキルアップに貢献したいと考えている。この他研究内容の動画公開も積極的に行っている ([http://www.nims.go.jp/publicity/digital/movie/power\\_of\\_nims.html](http://www.nims.go.jp/publicity/digital/movie/power_of_nims.html))。

#### 6. 終わりに

GREENは10年計画の7年目であり、研究成果に加えて若手人材の育成にも実績をあげてきたと自負しているが、今後は産業界との連携をより積極的に深め、オープンイノベーションの新しい形を作り上げて行きたいと考えている。



## ～基礎から開発段階での成果～

## 相変化メモリデバイス (TRAM) の研究開発と展望

産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門

首席研究員 富永 淳二

増え続けるビックデータの蓄積管理に向けて、データサーバーの小型・省エネ化は将来の必須課題である。このためには不揮発メモリの一層の集積化と省エネ化が欠かせない。近年、フラッシュメモリの限界を超えた次世代不揮発性メモリの研究開発が活発化している。中でも現在商品化されている相変化メモリ (Phase Change Random Access Memory, PRAM) とは異なる原理で動作する新しい相変化メモリが昨今注目を集めている。この新型相変化メモリは、TRAM (Topological Random Access Memory) と新たにネーミングされ、従来のPRAMと区別されて呼ばれるようになった。本稿では新型相変化メモリTRAMの研究開発の背景と性能、そして今後の展望について紹介する。

## 1. 従来型PRAMの原理と課題

相変化メモリ (PRAM) とは不揮発性固体メモリの一種で、フラッシュメモリのように外部電源を切り離してもメモリ効果を長時間維持できる。その原理は電荷を蓄積保存するフラッシュメモリと違って、カルコゲンと呼ばれるあまり耳慣れない元素から構成される化合物がもつ、結晶状態とアモルファス状態との大きな電気抵抗差 (2桁から3桁) を、1と0に置き換えてデータを記録・保存している。現在流通しているPRAM材料は、Ge (ゲルマニウム) とSb (アンチモン) を含むTe (テルル) 化合物 (テルルがカルコゲンである) で、この三元合金は読者のみなさんのお宅やオフィスにあるかもしれないDVD-RAMやBlu-rayといった書き換え型光ディスクにも使用されていて、実は馴染みのある材料である (光ディスクでは電気抵抗差ではなく、結晶状態とアモルファス状態がもつ大きな光反射率差を利用している)。このようにGe-Sb-Teからなる三元化合物は結晶状態とアモルファス状態がもつ物性差が大きいことから、メモリとしての応用が昔から盛んに研究されてきた[1,2]。しかし、昨今の省エネ時代になってPRAMにも省電力化の波が押し寄せてきた。実はPRAMには避けて通れない問題がある。「アモルファス状態」と何回かすでに記載しているが、このアモルファスの形成に省エネ化を拒む大問題が隠れている。アモルファスを形成するにはご存知のように一旦「熔融」といって、融点以上に加熱した後、瞬時に冷却させて結晶化する前にアモルファス固化 (ガラス状というのがわかり易いかも) させる必要がある。また、メモリの性能 (書き換え速度) は、アモルファス化の速度とアモルファス状態から結晶状態への相転移時間の速さで決まる。このような機構をメモリセル内で、数十ナノ秒間隔で繰り返し完了しなければならない。従って電

気メモリであれ光メモリであれ、エネルギーを一旦「熱エネルギー」に変換する機構が相変化メモリは備えられている[3]。Ge-Sb-Te化合物は620℃付近に融点があり、この高温以上に加熱する必要性から比較的大きな電流が必要なのである。化合物の融点は固有のものであり、Ge-Sb-Te化合物のもつ高速相転移や安定した繰り返し書き換え耐久性 ( $10^{6-8}$ 回) を犠牲にせずに電流量を下げるわけにはいかないのである。

## 2. PRAMの消費電力低減に向けた研究開発

PRAMの消費電力削減手段は二つある。一つは熱力学第一法則に基づいて、ナノテクノロジーを駆使して相変化メモリの各々のセルを極限まで小さくし、スイッチ動作領域の体積を極小化する方法であるが、韓国のサムソン電子や米国マイクロンは力づくで消費電力の低減を図った[4]。もう一つは筆者が2007年ごろに考案した方法で、熱力学第二法則を応用したものである。これがTRAM開発の基盤である。結晶—アモルファス相転移は1.0の情報を発生させる「装置」であるから、入力エネルギーは「装置」が生み出す「仕事」とエントロピーとして捨てられるエネルギーの和になるので、エントロピーを抑えるなんらかの工夫をすれば系全体の入力エネルギーを抑制できるだろう、という発想である。アモルファス状態は構成する原子のランダム配置に起因するので、「あるディメンジョンにコヒーレントに原子を反復移動できる相転移状態」を実現すれば大幅にエントロピーロスを低減できるはずである。実は、第一の手段では熱力学第一法則を使っているだけなので、第二の手段を組み合わせればさらに一層の省電力化が実現できることに注意してほしい。しかし、そうは言ってもそう簡単に第二の手段を相変化メモリに持ち込むことはできないのである。そもそも電気メモリにせよ光メモリにせよ、結晶—アモルファス相転移をその記録原理に使用しているのだから、「熔融」過程は必須のプロセスなのである。

## 3. TRAM実現へ向けた研究開発

さて、「第二法則を利用した相変化メモリ」をどのように作製すれば良いのか。筆者は2008年にGe-Sb-Te化合物に「一次元方向にコヒーレントに原子を反復移動させる相転移モデル」を考案した (基本特許出願2008年) (図1)。詳細は紙面の制約上、参考文献に譲るが、このモデルでは従来のGe-Sb-Te化合物を合金として利用するのではなく、カルコゲン化合物の層状特性がもつファンデルワールス力を利用し、GeTe結晶薄膜とSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>結晶薄膜をそれぞれのある結晶軸を共有させながら一軸方向にエピタキヤ

ル成長させたヘテロ超格子膜にすると、この超格子膜内のGe原子が熱エネルギーと電圧によって独立にSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>界面に向かって反復移動できることが分かった。そしてこの「結晶—結晶」相転移は、Ge-Sb-Te合金化合物の「アモルファス—結晶」相転移と同様に大きな抵抗変化を実現できることを第一原理計算から予想した[5]。以降、これらの構造を具体的に産業応用が容易なスパッタリング法を用いて作製できるようになるまで2年ほどの実験を必要としたが、2011年に実際に75nm径の電極を用いた相変化メモリデバイスに超格子を作製して、同径のPRAMとの比較測定で~1/10の消費電力の低減ができることを実証した[6]。また、2010年から立ち上がった二つの国プロ (FIRSTとLEAP) においては、この原理に基づき、Teに対するGeの組成比を小さくすることで一層の省エネ化が達成され、従来比で1/100から1/1000程度まで消費電力の低減が可能になった[7,8]。

#### 4. TRAMで発見されたPRAMにない磁気特性

2011年の論文発表後間もなく、筆者らは固体物理学の分野でメモリとは一見全く関係がなさそうな論文が目が止まった。「トポロジカル絶縁体」である。2005年ごろに提

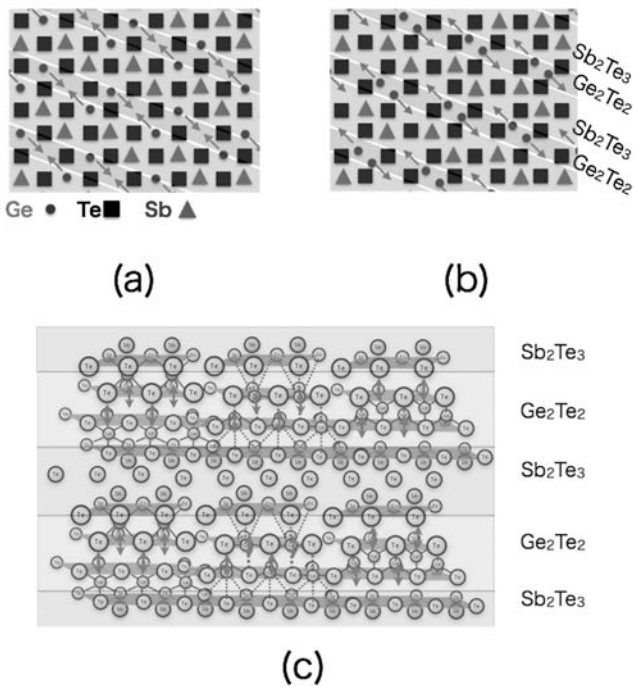


図1 Ge-Sb-Te化合物を一次元方向にコヒーレントに原子を反復移動させる相転移モデル。(a)と(b)は理想的な空孔をもつNaCl型立方晶のモデルで、空孔に向かって対をなすGe原子が一軸方向にスイッチ動作できる。実際にはランダムに、Ge原子、Sb原子、および空孔が結晶のbサイトを占めるので(Teはa-サイトを占める)、決して自然にはこのような理想的な結晶はできない。(c)はこのモデルを六方晶として展開したモデル。(c)ではGeTeとSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>を交互に積層した超格子薄膜を形成すれば、Ge原子のコヒーレントな一軸方向への反復運動が可能になる。

唱された新しい物理現象である。トポロジカル絶縁体は、その物質内部は絶縁体でありながら表面だけは電気を通す金属のように振る舞う。この現象は結晶のバンド構造電子のBerry位相変化に起因した現象で、内部と表面ではバンド構造のトポロジー ( $Z_2$ と呼ばれる数) が異なることに起因する(詳細な説明は紙面の都合上割愛する)[9]。注目すべきは超格子内のSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>結晶薄膜は典型的なトポロジカル絶縁体であることが理論計算と実験から報告されていた。一方、GeTe結晶薄膜は狭いバンドギャップをもった半導体である。これらを交互に積層した超格子構造はトポロジカル絶縁体のように振る舞うのだろうか?このようなヘテロ構造の理論や実験結果は当時報告されていなかった。トポロジカル絶縁体の特徴は、結晶構造に時間反転対称性と空間反転対称性の両方を持つことである。超格子構造の結晶モデルから抵抗の高いRESETと呼ばれる状態が空間反転対称性をもつことはわかっていたので、時間反転対称性を壊す操作を加えると何が起るかを早速検証することにした。小さな、しかし、ある程度強い磁力をもつ小さな磁石を動作中の超格子メモリセルに接近させてみたのである。すると室温で2000%を超える巨大磁気抵抗変化が観測された[10]。この他にも最近、150℃の高温化で鏡面対象な異常光磁気カー効果など異常な磁気現象が相次いで見つかった[11]。Ge-Sb-Te合金の構成元素はいずれも非磁性で、これまで決してそのような磁気現象が観測されなかったことから、これらの異常な磁気現象はトポロジカルな特性に関係しているらしいことが次第に分かってきた。また、スピン軌道相互作用を含めたバンド計算では、我々の予想通り、ディラックコーンと呼ばれるグラフェンがもつようなコーン状のバンドが形成されていることも確認されたことから、トポロジカルな電子物性が超格子メモリに秘められ、顔を覗かせていることが次第に分かってきた。このようなメモリを超えた機能をもつことから、超格子メモリに新たな名前が必要になり、Topological Switchingをもつものとして、TRAMと新たに命名したのである。

#### 5. 今後の展望

TRAMは元来、PRAMの低消費電力化を目的に開発したものであるが、トポロジカル絶縁体という新しい機能が加わることで、メモリから固体物理学の分野でも注目を集めるようになり、メモリとしての本流の開発プロジェクトの他に、新たにJSTのCRESTにも採択され、後者ではトポロジカル特性の純粋な理論研究と、それらを用いた革新的なマルチフェロイック機能デバイスの実現に向けて、産総研と4大学が参加して2014年から研究開発がスタートしている。また、EUでも超格子メモリプロジェクト(PASTRY)が進行中で我々の研究開発を追いかけている。このように、TIA-nanoで育ったTRAMは世界へ向けて大きな展開を見せはじめており、発明者としては感無量である。今後の成果に期待したい。

#### 参考文献:

- 1) N. Yamada *et al.*: *Jpn. J. Appl. Phys.* 26, 61 (1987) .

- 2) M. Wuttig and N. Yamada, *Nature Mater.* 6, 824-832 (2007) .
- 3) A. Kolobov and J. Tominaga, *Chalcogenides -Metastability and Phase Change Phenomena* (Springer, 2012) .
- 4) B.K. Cheong *et al*; *Phys. Status Solidi B* 249, 1985 (2012) .
- 5) J. Tominaga *et al.*; *Jpn. J. Appl. Phys.* 47, 5763 (2008) .
- 6) R. E. Simpson *et al*; *Nat. Nano.*6, 501 (2011) .
- 7) T. Shintani *et al.*; *ECS Trans.*64, 71 (2014) .
- 8) N. Takaura *et al.*; 2014 *IEEE IEDM*, 29.2MT (2014) .
- 9) 齊藤英治、村上修一；スピン流とトポロジカル絶縁体 (共立出版, 2014.)
- 10) J. Tominaga *et al.*; *Appl. Phys. Lett.* 99, 152105 (2011) .
- 11) D. Bang *et al.*; *Sci. Rep.* 4, 5727 (2014) .

著者略歴

富永 淳二 (とみなが じゅんじ)

1985年千葉大学大学院工学研究科修了。1997年までTDK開発研究所研究員。この間、1987年から1990年、英国Cranfield Institute of Technology (現Cranfield University) 先端材料工学科博士課程社費留学、1991年Ph.D.取得。1997年旧工業技術院産業技術融合領域研究所入所。2001年産業技術総合研究所次世代光工学研究ラボ長、2003年近接場光応用工学研究センター長、2013年ナノエレクトロニクス研究部門首席研究員。2000年日本IBM科学賞、2014年第一回産総研論文賞、S. R. Ovshinsky Lectureship Awardなど受賞。米国光学会 (OSA) フェロー、日本化学会、英国物理学会 (IOP) 会員。



～実証段階での成果～

## MEMS 新潮流 オープンイノベーションで開発 3軸触覚センサ

一般財団法人マイクロマシンセンター 渡辺 秀明 タッチエンス株式会社 丸山 尚哉

### 1. はじめに

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) は、多様な産業分野における小型・高精度で省エネルギー性に優れた高機能のデバイスとして期待されており、昨今のスマートフォンやタブレットなどの普及により、MEMS市場が急拡大している。更なる市場拡大のためには、様々なアイデアを持つベンチャー企業などが、新規のMEMSデバイスを開発することが望まれるが、MEMSの研究開発は高額な研究施設が必要なため、限られた企業だけが研究開発を実施していた。一方、海外では、ベンチャーや中小企業が利用可能なMEMS研究拠点やファクトリーが整備されており、俊敏な実用化が行われていた。このような状況を打開するために、マイクロマシンセンターは、海外の研究施設に対抗できる最先端MEMS研究拠点・MNOIC (MicroNano Open Innovation Center : エムノーイックと呼ぶ) を2011年4月1日に設立した。ここでは、MNOICのサービス開始から4年間経った当センターの紹介と最近のトピックスを紹介する。

### 2. MNOICの紹介と利用状況

MNOICはTIA (つくばイノベーションアリーナ) に属する国立研究開発法人産業技術総合研究所 (つくば東事業所)

の集積マイクロシステム研究センター (廣島洋センター長) の所有する世界最先端の8、12インチの研究施設を広く産業界が利用する活動である。MNOICの利用形態は大きく分けて以下の5つのサービスに分類される。

- 1) 年間利用契約を行い、企業の研究者がMNOIC研究居室に席を確保して自由に研究施設を使用する。
- 2) 一時利用者 (ビジター) として研究員登録し、必要な時に利用する。
- 3) 研究受託：仕様書に基づいてMNOICの研究員が代行して試作や加工を行う。
- 4) 工程受託：産総研の共用設備を主に利用して、指示された工程でサンプル加工や試作を行う。なお、このサンプルは販売可能である。
- 5) 人材育成、MEMSの研究開発や実用化のためのコンサルタント、産官学による研究開発提案のための活動を行う。

また、ユーザはデバイス企業のみならず、装置メーカー、材料企業、商社的な企業も含まれる。特に研究受託や工程受託では、専門企業やベンチャー企業もあり、日本における当該産業の活性化に多大な貢献している。

### 3. 最近の成果

ここでは、MNOICを利用して開発した、タッチエンス社の3軸触覚センサについて紹介する。

タッチエンスは、中小企業の佐竹製作所が東京大学で開発された技術を活用して開始した新規事業が母体となって設立された会社である。

今後成長が期待されるロボット市場の中で、特に進化が望まれている認識制御技術のセグメントへの新規参入を目指すため、東京大学とライセンス契約を結んだ2つの触覚センシング技術のうちの1つが3軸触覚センサ（当社製品名ショックチップ）（図1）であった。

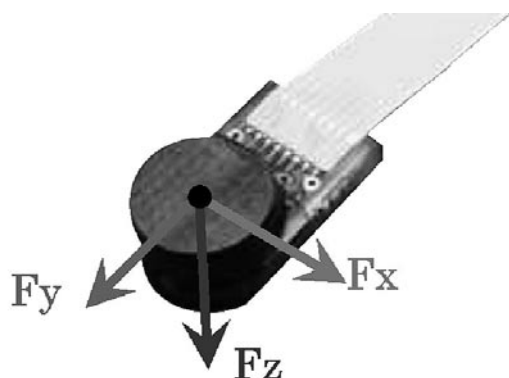


図1 3軸触覚センサ

ロボットの指先に使われることを想定して開発されたため触覚センサという表現になっているが、この3軸触覚センサは、せん断力と圧力を出力するセンサであるため、競合になる技術は3軸の力覚センサと呼ばれているものであるが、これらの力覚センサはメーカ数も非常に少なく、市販されている製品はロボットの触覚用途に使うには大きくて、かなり高価なものであるため、市場規模も数億円（当社推定）程度にとどまっている。

一方、タッチエンスの3軸触覚センサは、MEMSを活用しているため、小型化と低コスト化には非常に有利である（図2）。ベンチャー企業であるタッチエンスが、このセンサで目指しているのは、既存力覚センサ市場の置換えではなく、サイズとコストにイノベーションを起こすことで、全く新しい市場を創り出すことであるため、このセンサにとって量産プロセス開発の成否は非常に大きなマイルストーンであった。



図2 小型、低コストの3軸触覚センサ

稀に技術の入手=製品と誤解されることがあるが、大学で発明された技術は製品として求められる状態からかなり遠い状態である。特に今回の3軸触覚センサのような数量を多く作ることを求められるものに関しては、製品の特性の安定度は言うまでもなく、収益の出せるコストで必要数量を製造可能にする生産技術の開発が必須となる。これらは大学での研究段階では深く検討・実証される必要のないものであるため、センサとしての技術を手に入れただけでMEMSの製造経験がないタッチエンスにとって、MEMSウェハ量産プロセス開発は技術的なハードルも非常に高く、困難の連続であった。

MNOICのサービスを活用するまでの3年間は、民間のMEMSファクトリーへ試作製造を依頼していたが、最初に直面した問題は、量産ビジネスが前提であるMEMSファクトリーでは、当社のような特殊設計で開発後の販売量が確定していない試作を引き受けてくれるところがほとんどないということであった。

海外含めて10社以上に断られながら、ようやく大学からの紹介で1社試作製造を引き受けてくれるところが見つかったが、そのファクトリーでの設備の制限により、市場で主流になっている量産サイズより小さい4インチのウェハでの開発となっていた。

センサとして試作品を開発するには4インチでも数量的には十分であったが、結局この小型のウェハでも製造は安定しなかったため、センサとしての特性バラツキも大きくなり、また顧客からも量産ができる製品という評価を受けること難しい状態であった。

この過程を経て、再度大学からの紹介で、MNOICを知ることになり、2章に記載したサービスの中で3) 研究受託のスキームを活用することにした。

上記の環境であったため、少量の開発試作を引き受けてもらえるだけでも助かったが、さらにその試作を量産時に必須になる8インチの大型ウェハで製造できたことはこの製品の開発にとって非常に大きなステップであった（図3）。

また、MEMS製法に知見のないタッチエンスにとっては、センサの特性側からの視点で必要となるMEMSチップの特性を仕様にとめるだけで、製法に精通している研究員により最適な製造レシピが開発され、試作品が製造されるというサービスは、他の民間ファクトリーでは得られないものであった。

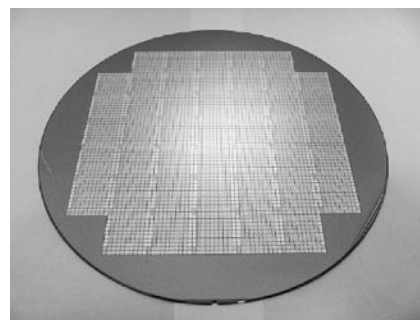


図3 ウェハ状態の触覚センサ

結果としては、数回のトライアルは必要であったが、4インチでは実現できていなかったイオンインプランテーションによるピエゾ抵抗形成にも成功し、8インチという大型ウェハでありながら、面内の均一性も4インチから飛躍的に改善されるという成果を得ることができた。

このウェハ製造のブレイクスルーにより、ようやく量産プロセス開発のマイルストーンに対して目途を立てることができ、その効果によって、現在では、当初のターゲット市場であったロボット用途だけでなく、携帯やPCといったコンシューマーエレクトロニクス市場やヘルスケア市場への可能性が開けてきている。

#### 4. おわりに

日本のものづくり産業にとっては、先端技術であるMEMSを活用してイノベーションを狙う企業が増えてくることが望まれる。タッチエンスのような産学連携を活用した企業は、稀な事例であるかもしれないが、ベンチャー企業によるMEMS関連製品の開発という視点では、最新の設

備で量産前提の試作開発ができる機関や製造ノウハウの必要性は共通の課題であり、MNOICという開発製造インフラが、その課題を解決する役割を果たしていくことになるだろう。

ただ、この役割にはもう1ステップ必要になることが予想される。MEMSの特徴は量産性であるため、試作支援を完了した後は量産の製造が必要になるが、この部分ではコストや安定供給の観点から民間ファンドリーの活用が不可欠になる。MNOICによる受託サービスにより開発された製品の製造ノウハウを民間ファンドリーへ橋渡しするスキームをどのようにするのか。

MEMS開発製品のビジネス化支援機関として、MNOICの今後のさらなる発展が望まれる。

#### 参考URL

(一財) マイクロマシンセンター <http://www.mmc.or.jp/>  
 タッチエンス株式会社 <http://www.touchence.jp/>

著者略歴

渡辺 秀明 (わたなべ ひであき)

一般財団法人マイクロマシンセンター MNOIC  
 研究企画部長 1982年 筑波大卒、同年立石電機株式会社 (現オムロン) 入社  
 2007年 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
 2015年より現職



丸山 尚哉 (まるやま なおや)

1974年愛知県生まれ。名古屋工業大学卒業後、外資メーカーの日本法人にて技術営業職に就く。同社アメリカ工場にて事業責任者、新規事業責任者などを歴任。2010年に株式会社佐竹製作所取締役、2011年よりタッチエンス株式会社を設立し取締役 (兼務) に就任。現在に至る。



### ～事業化への橋渡しでの成果～

## 富士電機6インチ SiC 量産工場

富士電機株式会社

技術開発本部 次世代デバイス開発センター SiC 開発部 **木村 浩**  
 電子デバイス事業本部 開発統括部 プロセス開発部 **山崎 智幸**  
 技術開発本部 次世代デバイス開発センター **渡邊 雅英**

#### 1. はじめに

SiC (Silicon Carbide) は次世代パワーデバイスを実現する半導体材料として有望視され実用化が始まっている。富士電機(株)はパワーエレクトロニクス技術強化の必要からSiCデバイス技術開発に精力的に取り組んでいる。

産業技術総合研究所 (以下産総研) とは2009年に富士電機(株)、(株)アルバックとの3機関で研究と量産の間の所謂「死の谷」を乗り越える技術共同研究 (イニシアティブ) をスタートさせた。この共同研究では産総研の最先端SiCショットキーバリアダイオードおよびIEMOS (Implantation and Epitaxial Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) の量産化技術確立を目的とし、

富士電機(株)は量産化技術、(株)アルバックはSiC専用装置開発を担当した。開発当初は、技術開発だけでなく、開発をバックアップするユーティリティーや体制上の課題が山積したが、外部装置導入補強や24時間化体制構築など、様々な形で産総研からの多大なご協力いただき課題解決を進めた。その結果、世界発のSiC専用試作ラインを計画通り構築することができた。更に、2012年にはより多くの企業と大学等も参画した民活型共同研究体 TPEC (Tsukuba Power-Electronics Constellations) に発展した (2012年10月時点で計25機関)。TPECでは開発した技術成果を標準レシピという形で知的財産化されたことにより外部への技術供与も可能になっており、産業化の支援が他のプロジェ

クトより容易になっている。これらの取り組みが日本経済団体連合会で認められ、第11回産学官連携功労者表彰(2013年)において、「会長賞」を受賞することができた。

一方、富士電機(株)は、上記共同研究の知見を生かして同年より同社松本工場(図1)で世界に先駆けたφ6インチライン(図2)の構築を開始した。φ6インチSiCウェハの外観写真を図3に示す。このφ6インチ製造ラインは当時世界中で例がなく、φ3インチやφ4インチ結晶が一般的だった頃において、いち早く生産性向上を狙った量産工場の立ち上げを意識したものであった。このラインは前述のTPEC標準レシピを活用し、短期間で立ち上げを完了させ、現在は様々なSiCデバイス生産を始めている。本稿ではこれから富士電機(株)のSiCの取り組みについてご紹介していく。



図1 富士電機(株)松本工場

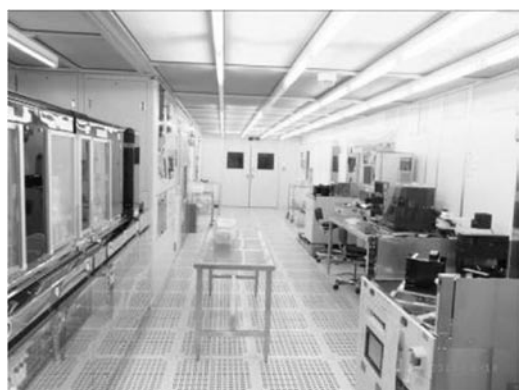


図2 SiC φ6インチライン



図3 SiC φ6インチウェハ(工程処理前)

## 2. φ6インチSiC量産工場

SiC量産工場の設備は、SiC専用設備と従来のSiラインから転用可能な設備で構成される。SiCウェハの熱処理温度はSiより高いため、酸化炉やアニール炉は1300℃以上の高温処理に耐えうる設備が施されたφ6インチSiC専用設備を採用している。別の例としては、p型やn型を形成するためにSiCウェハにイオン注入によりドーピングされる不純物原子(アルミニウムや窒素など)は、高温処理してもSiC結晶内で殆ど拡散することはない、イオン注入の際に同時に形成される結晶欠陥も回復しにくいという性質を持つ。この点はSiと大きく異なるため、イオン注入装置においては注入によるダメージを小さくするためにSiでは一般的に行われない高温イオン注入を行う機構が求められる。これらの設備はSiラインからの転用が困難であるため、φ6インチSiC専用設備が導入されている。

一方で、一例としてゲート電極を構成するために用いられるポリシリコンや層間絶縁膜として用いられる酸化膜の成膜はCVD(Cheical Vapor Deposition)装置を使用するが、これはSiラインと同等設備であり転用している。その他、ウェハの前処理装置やパターンを形成するための露光機や現像装置なども転用したものを採用している。

## 3. SiCデバイスの紹介

富士電機φ6インチラインで製造されたIEMOSとショットキーバリアダイオードのウェハ外観写真を図4に示す。SiCデバイスの適用が進められている耐圧クラスは現在IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とFWD(Free Wheeling Diode)が使われているが、一般にIGBTとFWDはバイポーラ素子であるために高速スイッチング動作に限界があるのに対して、IEMOSとショットキーバリアダイオードはユニポーラ素子なので高速スイッチング動作に適し高周波化にメリットがある。またデバイス耐圧を維持するためのドリフト層厚をSiCではSiの1/10程度にできるため、SiCを用いることで導通損失やスイッチング損失が大幅に改善される。こうした特性を活かすことでチップ面積を小さくすることができ、またこれらチップを搭載するパワーモジュールも小型化することができる。パワーモジュールが小型化されることでパワーモジュール内配線による寄生インダクタンスも小さくすることができ、デバイスを駆動するキャリア周波数を高め周辺部品を小さくすることができる。このようにSiCを使うことによるメリットはパワーデバイスを用いたパワーエレクトロニクス製品の高効率化だけでなく小型化にも寄与する。これらSiCデバイスの適用例を図5に示す。これはIEMOSとショットキーバリアダイオードを用いた小型パワーモジュールを搭載した1MWクラスの太陽光発電PCS(Power Conditioning System)である。このPCSは従来に比べ大幅な小型化がなされ、盤サイズを20%と大幅に縮小することに成功している。性能面では変換効率98.8%を実現(従来機種98.5%)しており、2015年度の電機工業技



術功績者表彰最優秀賞を受賞している。

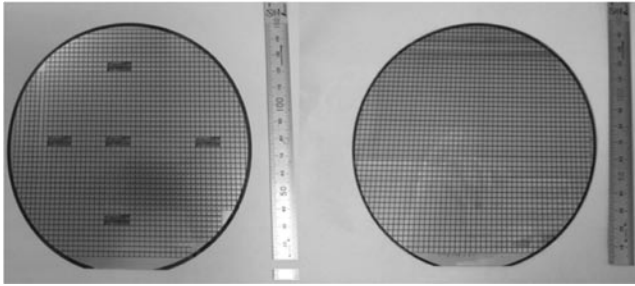


図4 SiC-IEMOSおよびSiC-SBDのウェハ外観  
(左はIEMOS、右はショットキーバリアダイオード)



図5 SiCを適用した1MW太陽光発電PCS外観

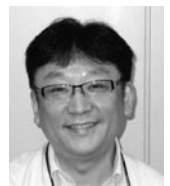
#### 4. おわりに

産総研における共同研究によるSiCパワーデバイスの研究開発成果は、パワーデバイスの開発だけでなくこれらを搭載した新たなパワーエレクトロニクス製品の創出へとつながってきている。現状ではSiCの結晶品質やMOSゲート特性などはSiに比べ改善すべき点が多く、これらに関わる精力的な研究開発が多くの研究機関で進められている。これら技術課題が一つずつ解決されることでSiCの性能が最大限活かされるようになり、またφ6インチ量産工場のような生産性の高い製造ラインによりSiCデバイスが普及することで、高効率なパワーエレクトロニクス製品の市場拡大が期待される。

著者略歴

木村 浩 (きむら ひろし)

富士電機(株) 技術開発本部 電子デバイス研究所  
次世代デバイス開発センター SiC開発部長  
1990年 富士電機(株)入社  
2010年より現職



山崎 智幸 (やまざき ともゆき)

富士電機(株) 電子デバイス事業本部 開発統括部  
プロセス開発部長 博士(工学)  
1991年 富士電機(株)入社  
2014年より現職



渡邊 雅英 (わたなべ まさひで)

富士電機(株) 技術開発本部 電子デバイス研究所  
次世代デバイス開発センター長 博士(工学)  
1983年 富士電機(株)入社  
2014年より現職



### ～事業化への橋渡しでの成果～

## SGCNTの量産実証プラントから製造プラント建設

日本ゼオン株式会社

特別経営技監 元取締役常務執行役員 荒川 公平

#### 1. はじめに

単層カーボンナノチューブは、優れた電気伝導性、熱伝導性、機械的物性を有し、ナノテクノロジーの中核となる基盤材料として期待されているものの、長きにわたり工業材料に適用されるような高生産性と高純度を両立できる製法が見出されてこなかった。

2004年に独立行政法人産業総合研究所(以下、産総研)の嶋博士によって、スーパーグロース法と言う高生産性、高純度の単層カーボンのチューブ(SGCNT)の合成法

が発見された。これによって飛躍的な高効率、高生産性の可能性が見えて来た。2006年度から2010年度の5年間のNEDOプロジェクト「カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト」の中でSGCNTの初めての連続生産技術が作られ、量産化の道が見えてきた。また、2009年の経済産業省(以下 経産省)の補正予算によって、生産機に近い実証プラントの建設が認められた。この実証プラントは、2010年末から稼働した。また実証プラントの建設に先駆けて、2010年5月に「単層CNT融合新材料研究開発機構」

と言う技術研究組合を設立し、ポリマー、ゴム、金属等とカーボンナノチューブを複合化するための基盤技術構築が行われた。ここでは、量産技術構築、実証プラント建設からプラント建設承認までについて記載する。

## 2. NEDOプロジェクト参画の決断

2005年6月に産総研の湯村先生と畠先生が日本ゼオンの私を訪問し、SGCNTのNEDOプロジェクトに参画してほしいとの要請があった。当時、CNTの共同研究先として日本ゼオンと言う会社を選択することは、ほとんど誰も理解できないことであった。ここで簡単に日本ゼオンと言う会社を紹介する。

日本ゼオンは、1950年に設立し、米国グッドリッチ社からの技術導入で、1952年に塩化ビニルの国産化に成功した。更に同じ会社からの技術導入で1959年に合成ゴムの製造・販売を開始した。その後、ナフサ原料から抽出された成分により、化成品、電子材料、高機能材料等を製造・販売している会社で、無機物は一切扱っていない会社である。CNTの技術からはかけ離れた日本ゼオンに産総研から共同研究を持ちかけるということは、誰もが理解できないことであった。そこには、理由があった、私が日機装と言う会社で、流動気相法と言うCNTの連続製法を今から約30年前の1984年に開発していたこと、つまり私がCNTの開発の経験者であると言うことが、日本ゼオンを共同研究の対象として候補に挙げた理由である。

2005年6月に畠先生から、SGCNTの技術内容の説明を受け、高純度、高成長性等から、初めて単層CNTが産業材料になる手ごたえを感じ、社長の古河に共同研究参画の許可を求めた。社長は、有機材料しか扱っていない会社が、最先端のCNT研究に参画する実力が有るかどうかと言うことと安全面での懸念を持っていたが、最終的には、事業化はともかく研究開発だけはやっても良いと言う条件付きで、プロジェクトに参画することを許可してくれた。それによって、2006年のカーボンナノチューブキャパシタのNEDOプロジェクトへの参画が可能となった。

今から考えれば、2005年にアスベスト問題があり、CNTも同等の危険性が指摘され、反対する役員もいた中で、社長が許可してくれたことが、結果的にSGCNTの工場建設につながった。

## 3. NEDOプロジェクトでの量産技術開発から実証プラント建設

SGCNTは、比表面積が $1000\text{ m}^2/\text{g}$ 以上であり、既存のカーボンナノチューブの中で最高である。このことにより高容量が期待できる。また従来の活性炭との比較では、電気伝導性が高く高出力のキャパシタを期待できる。このような理由で、高容量、高出力のSG-CNTキャパシタは、2006年のNEDOプロジェクトに採択された。研究体制は、飯島博士がプロジェクトリーダーで、産業技術総合研究所、日本ケミコン株式会社、日本ゼオン株式会社の三者による

共同研究となった。研究課題は大きく2つあり、キャパシタの研究開発は産業技術総合研究所と日本ケミコン株式会社で担当した。SGCNTの量産技術を産業技術総合研究所と日本ゼオン株式会社が担当した。ここではその量産化技術についての成果についてのみ紹介する。

2004年に発見されたスーパーグロース法のカーボンナノチューブの製法は、約1cm角のシリコン基板上に生成されたが、大量合成のために、第一に大面積化、第二に連続化が課題となった。小さい基板で出来るものは、基本的に大基板でも出来るはずであるが、結晶成長にはガスの流れがその生成に大きな影響を及ぼすことから、大基板上で原料ガスや水分が出来るだけ均一になる必要があり、熱流体シミュレーションによって、ガスの流れを制御できる設備を設計した。その成果として、2007年にA4サイズの基板での生成に成功し、更に2008年に連続化に成功した。この成功によって、従来のシリコン基板上での生成に対して、1000倍以上の生産性が実現し、工業材料として利用されるコストの可能性が見えて来た。次に、SGCNTの用途開発のために十分なサンプルを供給できる体制が必要であった。経済産業省研究開発課で実証プラント用に2009年の補正予算で11.4億円を獲得し、産業技術総合研究所敷地内に実証プラントの建設が承認された。

このプラントは、SGCNTの用途開拓や基盤研究に使うサンプルの供給をするために必要とされた。

## 4. 実証プラントでのサンプル製造から、生産プラントの設備投資承認

2010年5月に、産総研、NEC(株)、東レ(株)、帝人(株)、住友精密工業(株)、日本ゼオン(株)の6社を組合員とする技術研究組合が設立された。

CNTは、優れた特性を有するが、多くの場合、単独ではその機能を引き出すことは出来ない。そのために、各種材料との複合化が必要である。一方、CNTは分散が難しく、異種材料との複合化はそれなりにハードルが高い。このような、複合化等の技術は用途を開発する会社で単独に技術開発することは、全体的視点で効率が悪く、オープンイノベーションで基盤技術を開発することを目的に技術研究組合が設立された。この中で、複合化技術の他に、半金分離技術、糸状化技術、また安全性の簡便評価技術、環境評価技術等の基盤技術について、大きな成果が得られた。

SGCNTとゴムとの複合材においては、機械的耐久性、電気伝導性、熱伝導性、微細加工性等において、従来の多層CNT、単層CNTとの比較でも圧倒的に高いパフォーマンスを示すことが判明してきた。例えば、フッ素系ゴム(FKM)とSGCNTの複合材料のテストピースを50%伸ばし、また元に戻すと言う伸縮繰り返し実験で、初期特性が $20\text{ S}/\text{cm}$ と言う高い導電性をしめすことと、4000回以上の伸縮繰り返しに耐えることが確認された。

他のCNTは1000回以下で特性が劣化することと、ほとんどが $10\text{ S}/\text{cm}$ 以下である。つまり導電性、繰り

返し伸縮耐久性共に他のCNTとは一線を画す圧倒的に高い性能を発現することが確認できたのである。

ゴムとの複合材料化に於いては、電気伝導性以外に熱伝導性でも画期的な成果が得られた。熱伝導性が鉄を超える、 $90\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$ と言う特性が有られた。この基本的成果は、新規の熱伝導材料用途開発として、NEDOの助成事業で進めている。

その他にも、銅との複合で、電気伝導性がほぼ銅並みで、電流密度が銅の100倍の材料が得られており、そのポテンシャルの高さから、実用化に向けた研究が継続されている。

このように、SGCNTのポテンシャルを引き出す成果が続々と現れている。それらとは、別に企業での個別研究で用途開発が進展し、2014年初めには、具体的にSG

CNTを組み込んだ製品を考えている企業が数社現れ、SGCNTの供給を望む声が多くなり、日本ゼオンとしても、まだ需要は少ないものの、将来的に大きな市場を形成するという判断と、市場の要求に対応すべく、2014年4月の取締役会議に工場建設承認の付議を行い、会社としてSGCNTの事業参入が決定した。

2015年4月に、CNT研究所を設立、同6月に、SGCNT事業を行うゼオンナノテクノロジー株式会社設立した。工場は11月に竣工する予定であり、産官連携の国プロの成果が大型事業として年末よりスタートすることとなった。

これまで、経済産業省、NEDO、産総研を始め多くのご協力のもと、事業化が可能になったこと、改めてお礼申し上げます。

著者略歴

荒川 公平 (あらかわ こうへい)

昭和53年3月31日 東京大学大学院工学系研究科化学工学専門課程修了  
 日機装株式会社、富士写真フイルム株式会社を経て、  
 平成14年1月1日 日本ゼオン株式会社入社 光学製品研究所所長  
 取締役常務執行役員 研究・知財担当を経て、  
 平成25年6月27日～現在 特別経営技監 会長プロジェクト担当  
 民間団体歴として、  
 平成22年5月～現在 技術研究組合単層CNT融合新材料開発機構 理事  
 平成26年6月～現在 プラスチック成型加工学会 理事



～光・量子計測での成果～

「つくば」だからできる機関を跨ぐ新しい連携・連動TRX

高エネルギー加速器研究機構  
池田 進

「つくば」は高密度研究機関集積拠点である。そこでは恒常的でスピード感のある機関を跨ぐ研究連動・連携 (TRX: Tsukuba Research eXpress) が可能である。それは、同種研究領域における「しきい値を超えた大型研究グループの形成」、異種間における「新しい機能を加えた革新研究グループの形成」、さらには、知の創成、産業への橋渡し、そして産業化への一貫した研究開発体制「研究・開発コンビナート」、それぞれを実現可能とする。それは、また、「つくば」に明確な存在感をもった研究力、躍動感に溢れる研究力を創造させる源にもなる。TIA-nano「光・量子計測」は、この機関を跨ぐ新しい連携・連動=TRXを基本理念として、2014年、TIA-nanoの中に立ち上げられた。

「光・量子計測」の立ち上げは、2012年4月、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が、産総研、物材機構、筑波大に続く4番目の中核機関としてTIA-nanoに参画したことに始

まる。KEKは、加速器を研究手段に用いて宇宙・素粒子・原子核・物質・生命の謎を解き明かすことを目指した基礎研究を推進している。ここから生まれた新しい技術は、新素材の開発、表面処理等の工業技術から、がん等難病の診断・治療まで、様々な分野に展開され活用されてきている。さらに、「茨城県」「つくば」は、放射光施設、陽電子施設、J-PARC施設、イオンビーム施設、電子顕微鏡施設等の大型施設を揃える加速器技術の世界最大拠点である。この恵まれた歴史と環境から、「光・量子計測」は、TIA-nano 4機関の加速器技術、測定器技術並びに加速器から生み出される量子ビームによる計測・分析利用技術を向上させ、「つくば」全体の科学を高度化させ、社会・産業が必要とする材料・生物・医療等の応用研究を加速度的に促進し、TIA-nano全体をより一層魅力ある世界的ナノテクノロジー研究拠点に成長させる基盤として期待されている。

「光・量子計測」は、研究現場、産業現場に設置できる小型・軽量・可搬な光量子ビーム源の開発を主な目標とする「光量子発生スクエア」、高感度、高精度、高分解能の検出器開発と革新的計測技術の開発を目標とする「光量子センシングスクエア」、光量子を用いて物質機能発現メカニズムの探究と新しい機能性材料の基礎開発を進める「光量子ナノ材料スクエア」から成る(図1参照)。


「光・量子計測」設立1年目の平成26年度、TIA 4機関の研究者は連携した研究開発推進を目指して、「光・量子計測」にテーマを登録した。それらは、研究推進のための大型外部資金獲得を連携して目指すもの、また、資金は確保されているが加速度的な研究推進をするためにより大型の革新研究グループ形成を目指すもの等、その登録の意図は多様である。

平成26年—現在の「光・量子計測」の特筆すべき成果は、第1に、機関を跨ぐ連携・連動TRXの理念の基に、30近いテーマが集ったことである。

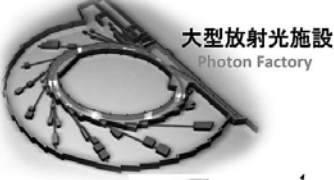
第2に、テーマの一つである革新的構造材料研究(物材機構、産総研、筑波大、KEK)が、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)革新的構造材料に応募し、「構造材料の未活用情報を取得する先端計測技術開発プロジェクト(平成26年度~平成31年度)」として採択されたことである。そこでは、SIP-構造材料の未活用情報を取得する先端計測技術開発に向けて、4機関が分担・連携して、先端計測技術開発にあたる。例えば、産総研は、陽電子マイクロビーム欠陥イメージング、超伝導微量軽元素検出、マルチスケールモアレ変位イメージング。物材機構は、アトムプローブなど3次元ナノ構造解析装置群。筑波大は、イオンビームを用いた水素検出、多元素同時2Dマッピング。KEKは、放射光を用いたX線吸収分光CT(XAFS-CT)。これは、4機関のグループ研究者が強く連携した結果であり、「光・量子計測」が目指した機関を跨ぐ連携・連動TRXの成果である。

**光・量子計測 (TIA-ACCELERATE)**


光量子発生技術スクエア (光量子発生技術開発)	光量子センシングスクエア (光量子計測技術開発)	光量子ナノ材料スクエア (光量子ナノ材料構造説明)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● SiC半導体を用いた高性能加速器電源開発</li> <li>● 超小型加速器開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SOI技術</li> <li>● 超電導検出器</li> <li>● 大型構造イメージング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 構造材料</li> <li>● 環境・エネルギー</li> <li>● エレクトロニクス材料</li> <li>● 基礎物性</li> </ul>



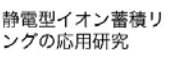
超伝導X線吸収微細構造分析装置(SC-XAFS)を用いた応用研究



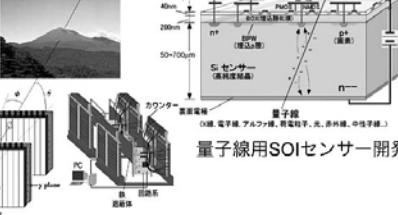
大型放射光施設  
Photon Factory



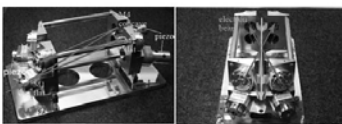
SIP 革新的構造材料  
「構造材料の未活用情報を取得する先端技術計測開発」(FYH26~)  
TIA-nano4機関連携プロジェクト



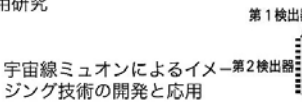
静電型イオン蓄積リングの応用研究



量子線用SOIセンサー開発



レーザーコンプトン高輝度X線源による高精細診断・治療装置の基盤技術開発



宇宙線ミュオンによるイメージング技術の開発と応用

図1 「光・量子計測」

TIA中核の4研究機関の開発・研究交流を通して、光量子発生及び観測技術の革新並びにその利用研究の高度化を図り、4研究機関の開発・研究を加速度的に発展させるとともに、TIA-nano既存の産業直結のプログラム「研究コア」の開発促進に貢献し、次なる「研究コア」の創成に資することを旨とする。

著者略歴

池田 進 (いけだ すすむ)

学位: 理学博士

KEK名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授

現職: KEK大学・産業連携推進室長、つくばイノベーションアリーナ室長

昭和52年 東北大学大学院博士課程修了(物理学専攻)(理学博士)

東北大学理学部助手・助手、文部省・高エネルギー物理学研究所(KEK)助手、KEK助教授を経て、平成7年 高エネルギー物理学研究所(KEK)・教授 平成10年—平成21年物質科学第三研究系研究主幹 及び 中性子科学研究系研究主幹 平成18年—平成24年 物質構造科学研究所副所長 平成19年—平成24年3月 J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョン副ディビジョン長 平成26年3月—現在 KEK研究支援戦略推進部 大学・産業連携推進室長、つくばイノベーションアリーナ室長



～共用機器整備での成果～

産業技術総合研究所における共用施設

産業技術総合研究所 TIA 推進センター・共用施設運営ユニット

共用施設ステーションステーション長 多田 哲也

産総研は、日本の産業技術を革新するオープンイノベーション・ハブの役割を果たすことを目指し、5つの共用プラットフォームで機器共用サービスを外部に公開しています。これらの共用施設は、外部の方が使用する際には、約款に基づいた手続きによって利用することが可能です。この約款には、次のような特徴があります。1. 知財及び有体物は原則利用者に帰属、2. 単価表ベースによる料金となっているため、コストの見通しが立てやすい。詳細は、次のURLをご参照下さい。

<https://unit.aist.go.jp/tiaco/orp/index.html>

以下では、公開している5つの共用施設の紹介をさせていただきます。是非、皆様のご活用をお願い申し上げます。

1. 先端ナノ計測施設 (ANCF)

<https://unit.aist.go.jp/rima/nanotech/index.html>

ANCFは、独自に開発した計測装置や技術を中心に公開しています。すなわち、陽電子プローブアナライザー装置、蛍光収量X線吸収微細構造分析装置等、産総研が独自に開発した装置に加え、過渡吸収分光装置、リアル表面プローブ顕微鏡装置、NMR装置等市販の製品に、産総研独自の計測法、高度な試料調整法、解析法を適用することで、他を凌駕する解析能力を実現しています。

2. 超伝導アナログ・デジタルデバイス開発施設 (GRAVITY)

<https://unit.aist.go.jp/riif/openi/cravity/ja/index.html>

超伝導デバイス開発を牽引してきた産総研と国際超伝導産業技術研究センターの有するデバイス作製機器とノウハウを集約し、超伝導アナログ/デジタル技術の両方をカバーした世界トップレベルの研究開発施設です。GRAVITYを研究者が自ら利用、またはプロセスの代行を依頼することで、超伝導アナログ/デジタルデバイスを作製することができます。

3. 蓄電池基盤プラットフォーム (BRP)

次世代蓄電池の研究開発を支援するため、最先端装置群をアンダーワンルーフに設置し、共用インフラとして全国の研究者に提供することを目的としているプラットフォームです。利用目的は、次世代蓄電池の研究開発に関係していなければなりません。

4. ナノプロセッシング施設 (NPF)

<https://nanoworld.jp/npf/>

NPFでは、原子層堆積装置、プラズマエッチング装置、電子線描画装置、マスクレス露光装置、走査電子顕微鏡・ナノプローバなどの70以上の成膜・加工・計測装置を有し、ナノデバイスの作製、ナノ材料の評価が可能です。オリジナルな着想をいち早く具現化すべく、日々先端的な材料・デバイスの微細加工から機能検証までを一貫して推進しています。また、様々なスクールを開いて、人材育成にも努めています。

5. スーパー・クリーンルーム (SCR)

<https://unit.aist.go.jp/tiaco/orp/scr/index.html>

SCRでは、300mmのシリコンウエハに対して一般的な半導体集積回路を形成するプロセス装置を保有しており、プロセスメニューを活用した研究開発や個々のプロセスモジュール、単独工程の処理などを行うことができます。また、新規技術開発に対応できるように、新規材料の研究開発に対しても前洗浄処理や汚染対策などに関する相談も受け付けます。

以上、産総研の共用施設を紹介しましたが、これらの施設はTIA-nanoとして、中核4機関と連携して運営されており、TIA-nano 4機関で公開している共用施設の機器は、つくば共用研究施設データベース <http://oft.tsukuba-sogotokku.jp>にて検索できますので、ご活用下さい。



図1. NPFのクリーンルーム

著者略歴

多田 哲也 (ただ てつや)

博士 (理学) 東京大学  
 国立研究開発法人産業技術総合研究所TIA推進センター・共用施設運営ユニット  
 共用施設ステーションステーション長  
 1991年 通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所  
 1993年 産業技術融合領域研究所アトムテクノロジーグループ  
 2001年 産業技術総合研究所次世代半導体研究センター  
 2015年 同研究所ナノエレクトロニクス研究部門研究グループ長を経て現職



～人材育成での成果～

TIA連携による人材育成

筑波大学大学院 数理物質科学研究科  
 研究科長 木越 英夫

つくばイノベーションアリーナ (TIA) 大学院連携WG (平成27年度より、人材育成MG) では、筑波大学大学院数理物質科学研究科を中心にTIA-nano各機関と協働し、つくば連携を活かした教育・人材育成を様々なかたちで行っています。以下に、これまでの主な取組みについて紹介します。

1. サマー・オープン・フェスティバル

まず、TIA連携教育の一番の特徴としては、「オープンエデュケーション」です。TIA連携教育は、対象をTIAに限定することなく、日本中の学生や研究者に対して、教育する側も日本中の研究者により行われています。平成25年度より実施しているサマー・オープン・フェスティバル (図1がポスターです) では、著名外国人教員によるサマーレクチャーを筆頭に、最新のテクノロジーなどに関する各種サマースクール、ナノテクノロジーなどに関するシンポジウムなど10件程度のイベントを夏休み期間に集中的に開催しています。前述のように、他大学の学生、企業の研究

者・技術者も参加することができるとともに、希望者には、評価により単位を授与することもできます。

昨年度は、6件のスクール、2件のセミナー、2件のシンポジウムを開催し、600名を越える参加者を得ており、本年度も継続実施しています。

2. オナーズプログラム

文部科学省の平成22年度特別経費 (産学連携機能の充実) として採択された『つくばナノテク拠点産学独連携人材育成プログラム ～筑波研究学園都市をキャンパスとした「つくばナノエレクトロニクス産学独連携教育研究システム」の構築～』 (通称: オナーズプログラム) では、博士後期課程を (原則) 対象に、数理物質科学研究科内の専攻横断型のナノエレクトロニクス関連研究分野教育プログラムとして、つくばにある産業技術総合研究所 (AIST)、物質・材料研究機構 (NIMS)、民間企業と連携し、平成22年度から26年度まで実施されました。本プログラムでは、次世代のナノエレクトロニクスの展開に係る人材を育成するために、基礎力、俯瞰力、課題発掘力を養うことを目的としました。そのために、異なる文化を持った基礎から応用に至る産・学・独の研究者の連携と異分野の研究者の協働により、連携コーディネータを置き、彼らのリーダーシップのもとで、基礎研究と技術開発の共鳴場を構築し、履修大学院生をその中の知の流れ、技術の流れ、人の流れで鍛える教育を行いました。履修生はさらに、4ヶ月程度の「海外武者修行」を行い、海外著名大学で自分の研究の幅を広げるためにサマーレクチャーなどの単位履修を行うとともに、海外メンターによる研修を受けることもできます。5年間に、グルノーブル工科大学 (フランス)、スタンフォード大学 (アメリカ)、ルーヴェンカトリック大学 (ベルギー) などに30名が派遣されました。図2にIさんに対するオナーズ教育の内容を



図1. 2014年度および今年度のサマー・オープン・フェスティバルのポスター

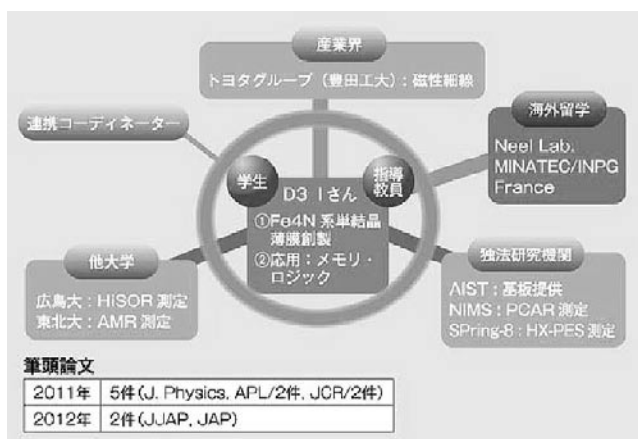


図2. オナーズプログラム教育: Iさんの例

示します。

本プログラムの5年間の履修者の総数は、39名であり、ナノテク関連分野の大学教員などとして巣立っています。以下に、何人かの履修生の声を示します。

「私が一番オナーズプログラムでよいと思っている点は、連携コーディネータの方が研究についてアドバイスをくださるといった点です。私はポリマーの合成の研究を行っているのですが、磁気的挙動について詳しいコーディネータがその観点からアドバイスをくださるので、今後の研究をどのように進めていくかということに、非常に大きな示唆を与えていただけます。」

「私は理学系物理学専攻の出身なのですが、本プログラムでは工学系の方と接する機会が多いので、実際に自分の研究が社会にどのように役に立つのか、どのように繋がるのかをもっと考えなくてはダメなんだと痛感することが多かったのですごく勉強になりました。」

「オナーズプログラムの魅力としては、海外留学に行けたことです。留学では、自己主張の大切さを学べたことが一番の収穫だと思っています。」

著者略歴

木越 英夫 (きごし ひでお)

理学博士 (名古屋大学)

1959年 岐阜県生まれ。

名古屋大学助手、助教授を経て、2000年より筑波大学教授。

現在、大学院数理工学物質科学研究科長。

専門は、生物活性天然有機化合物の単離・構造、合成、活性発現機構の解明。



文部科学省からの補助金は、平成26年度で修了しましたが、平成27年度からは学内予算などにより、対象を数理工学物質科学全体として継続しています。

### 3. 寄附講座とTIA連携大学院履修コース

産業界との協働教育の一例として、パワーエレクトロニクス分野の教育があります。筑波大学では、トヨタ自動車株式会社・株式会社デンソーおよび富士電機株式会社の協力により本分野に2つの寄附講座を設置するとともに、数理工学物質科学研究科の関連分野の教員と産業総合技術研究所の研究者を加えたパワーエレクトロニクス履修コースを開設し、パワーエレクトロニクスの基礎から応用までを一貫して教育する体制を整えています。体制が整うにしたがって、本コースの履修者は5 (H25) → 10 (H26) → 20名 (H27) と増えております。さらに、TIA-nanoの6つのコアのうち、ナノエレクトロニクスやナノグリーン分野にもそれぞれ履修コースを設置し、関連分野の人材育成に努めています。

### 4. CUPAL

平成26年度からは、科学技術人材育成費補助事業「科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業」で採択された「ナノテクキャリアアップアライアンス (Nanotech CUPAL)」は、ナノテク若手研究人材のキャリアアップと流動性向上を図るために、TIA-nanoと京都大学ナノテクノロジーハブ拠点を中心に、1) 新たな知の創成を牽引するプロフェッショナル (NRP) および2) イノベーション創出を牽引するプロフェッショナル (NIP) の育成を目的としています。TIA関連4機関では、共鳴場を活用した先進的かつ独創的な研究テーマを提案した若手研究者に対し、共同研究や国際レベルでの人的交流などの機会を提供するとともに、超微細加工技術、微小電気機械・素子創製技術、先端計測技術、放射光利用技術に関するコースを開設しています。

# SATフォーラム2015開催

2015年7月22日（水）、つくば国際会議場で

## 2014年ノーベル物理学賞を受賞した中村修二教授を迎えて

SATフォーラム2015は2015年7月22日午後、講演者に2014年ノーベル物理学賞を受賞したカリフォルニア大学サンタバーバラ校教授中村修二博士を迎えて、つくば国際会議場大ホールで開催された。

演題は「InGaN系高輝度青色発光ダイオードの開発と将来の照明光源」、講演の前に当財団江崎玲於奈会長の挨拶、講演の後に江崎会長の司会で質疑応答が行われた。

参加者は844名で、アンケート（回答者数335名）による参加者の職業は多い順に無職17%、公的研究機関の研究者・技術者16%、民間企業の研究者・技術者15%、会社員（研究職を除く）14%、公務員・団体職員12%、主婦8%、小中高生5%…であった。SATフォーラムの印象は「とても参考になった」と「参考になった」で97%を占めた。

### 【江崎玲於奈会長の挨拶】



### 青色LED 日本の巧みなものづくりにノーベル賞 経済効果大 世界のエネルギーの10%節約

本日はSATフォーラム開催に際しまして、非常に多数の方にご来場いただきありがとうございます。SATフォーラムは皆さんご存じのように毎年、著名な研究者をお招きして講演するのですが、本年度は中村修二さんをお招きしました。

自然科学系のノーベル賞受賞者は大学の先生が多いのですが、中村修二さんと私は共に企業時代の研究でノーベル物理学賞を受賞しております。

ノーベル賞は研究業績を挙げてからある年数経過後授与されます。中村さんの場合は、徳島県の日亜化学工業時代の1993年頃の研究業績に対する授与です。心からお祝い申し上げます。

先日、中村さんと対談した折、なぜノーベル賞をもらえたのかという質問しました。今日はその答えも講演でしていただけたと思います。将来、この筑波研究学園都市からもノーベル賞受賞者を輩出したいというのが私たちの希望でして、今回の中村さんの講演が何か刺激になると、大変幸いです。

日本のノーベル物理学賞の受賞者は10名になりましたが、大半は素粒子物理関係です。

中村さんのノーベル賞受賞理由は、明るく消費電力の少ない発光光源を可能にした青色発光ダイオードの発明です。これは日本の巧みなものづくりに対して初めてノーベル賞が授与され、世界的に称賛されました。

中村さんの発明したLEDは蛍光灯に比べて3倍、エジソンが発明した電灯に比べると100倍位効率がよくなっていると思いますが、これを使うと世界のエネルギーの10%が節約できるようで、これは今までのノーベル賞の中で多分経済効果の最も大きいものと思います。彼の業績は人類の生活に利益を与えたという意味では特筆すべきことだと思います。

講演に先立ちまして、講師の中村修二先生をご紹介します。

中村先生は1954年、愛媛県にお生まれになり、1979年徳島大学修士課程修了後、日亜化学工業株式会社に就職されました。同社在籍中の1989年から窒化物系材料を使用した発光デバイスの研究開発に先駆的に取り組み、1993年に世界で初めて高輝度青色LEDを、1995年高輝度青、緑色LEDをそれぞれ開発、製品化に成功されました。1996年には世界で初めて青紫色半導体レーザーの発振にも成功されました。これらの発明は過去30年間の半導体材料研究における分野で最も重要な発明の1つとされております。こうした研究成果によりまして、昨年、ノーベル物理学賞を受賞されましたことは皆様の記憶に新しいところでございます。現在はアメリカのカリフォルニア大学サンタバーバラ校の工学部教授としてご活躍中でございます。

本日は「InGaN系高輝度青色発光ダイオードの開発と将来の照明光源」と題しまして、ご講演をいただきます。

それでは中村さん、ご講演をよろしく申し上げます。



## 【中村修二教授の講演】



## 演題 「InGaN系高輝度青色発光ダイオードの開発と将来の照明光源」

## 私が発明した発光層はすべて江崎先生が発明した量子井戸構造を使用

中村です。今日はよろしくお願ひします。

私の発明した青色発光ダイオードとレーザーダイオードは全部発光層が量子井戸構造です。別名、超格子と言いますが、これは江崎先生が発明されました。私の発明が多分世界で一番、量子井戸構造を使っています。それは市場がLEDが一番大きいからです。レーザーもそうです。

江崎先生は超格子ではノーベル賞を受賞していません。江崎先生の受賞はトンネルダイオードです。これもつい最近、うちのUCSBでLEDに使い始めました。非常にいいです。ですから、江崎先生の2つの発明を今、うちの大学で使っています。江崎先生は超格子で近い将来、2つ目のノーベル賞をもらえるのではないかと考えています。

ノーベル賞は人類に貢献する発見・発明が必要  
量産化技術・製造方法では貰えない

日本の公的関係機関やマスコミ等は受賞理由がよく解っていない

ノーベル賞受賞後の2014年10月4日の日本の新聞はすべて、赤崎先生と天野先生は青色LEDの開発で、中村は量産化技術の開発で賞をもらったと書いています。NHKを始め他の日本のテレビも同じです。応用物理学会、日本学術会議、NEDO、JST、文部科学省も同様です。量産化技術や製造方法ではノーベル賞は絶対にもらえません。

ノーベル財団のプレスリリースでは、私の受賞理由は高効率青色LEDの発明です。

アルフレッド・ノーベルの意志というのがあるんです。どういう人にノーベル賞をあげるか、必要最低条件は人類に貢献をすることです。これは「the greatest benefit on mankind」です。ノーベル物理学賞というのは、英語を日本語に訳しているんですけど、「物理の分野における最も重要な発明、あるいは発見にノーベル物理学賞をあげなさい」です。発明、発見なんです、量産化技術の開発や製造技術の開発なんかでは絶対もらえないのです。

ノーベル物理学賞の選考委員長は、日本におけるマスメディアとのインタビューで、「赤崎先生は窒化ガリウムの可能性を見出し、非常に質の高い材料を創った。天野先生は不可能といわれていたpn接合を初めて実現した。私の場合は、実用レベルの明るさと効率化を可能にするなど数多くの貢献がある」と述べています。

n型層－発光層－p型層のダブルヘテロ構造  
発光層にはInGaN使用

一番人間に優しい光源は太陽光です。太陽光に当たってずっと人類は育ってきました。太陽光というのはフルスペクトルと言って、ありとあらゆる波長のところに強度があります。解りやすく言うと、すべての色を持っているということです。そういう色をコピーして作ると人工的に最高の光源になります。

昔は物を燃やして光をつくりました。トーマス・エジソンは19世紀に電球を発明しました。次に蛍光灯が発明されました。20世紀にLEDが発明されました。LEDは電球や蛍光灯に比べて発光効率が高いのです。

LEDとは何か。図1がLEDの基本構造です。青色LEDというのはサファイアの基板がありまして、その上にn型半導体（n型層）、その上に発光層（活性層）、これが光る層です。発光層にはInGaNを使います。その上にp型半導体（p型層）です。これはダブルヘテロ構造です。これが基本構造です。要は基板を除けば、n型層と発光層とp型層、この3つの層があればLEDはできるわけです。青色発光ダイオードの場合は、この発光層とp型層ができなかったわけです。赤崎先生、天野先生、私の3人でこの2つの層を基本的に解決したのでノーベル賞をもらえたわけです。

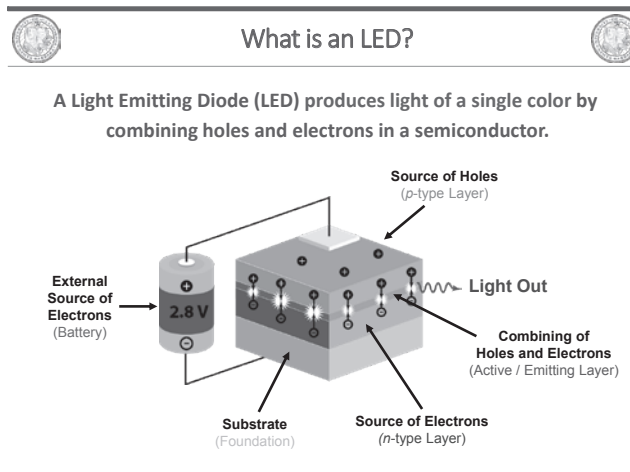


図1 LEDの基本構造

発光層のInGaNのInの組成を変えることによって、同じ構造で紫外線から赤色の発光まで作れます。でも、発光効率を考えると、製品化されているのは紫色から緑色までです。紫色LEDから緑色LEDまでは全部、このInGaN発光層を使って作っています。

白色が一番LEDとして市場が大きいです。それは光源に使えるからです。白色を作る方法には青色と黄色を混ぜる方法と3原色を混ぜる方法があります。しかし、前者が簡単なので、今これが一番ポピュラーな方法です。実際、青と黄色をどうやって混ぜて作っているかという、青色発光ダイオードに蛍光体を置くと蛍光体が青の光を黄色に変えます、青色は直接青色発光ダイオードから来ます、これで白色になります。

最近分かったんですが、青色でつくった白色は目によくありません。青色LEDというのはスペクトルが非常に短くて、ピーク強度が極端に高いです。ですから、ピーク強度が極端に高いので、目には青が一番よくないのです。太陽の朝日というのは青色を一番含んでいます、人を起こすために。ですから、青色強度が非常に強ければ、睡眠障害を起こすわけです。

うちのSoraaという会社が紫色で作った白色発光ダイオードがあります。これは睡眠障害を起さず、全然問題ありません。紫色で創った白色発光ダイオードはうちの会社Soraaしか作っていませんから、ぜひ使ってください。うちの会社の宣伝にもなるのです。

図2はLEDの発光効率と年代との関係の図です。赤色は70年代にできて、年とともに効率が高くなっています。青色が1993年にそして緑色が1995年に、うちでInGaNという発光層を使ってできました。白色の効率は研究レベルでは約300lm/Wですが、量産化品は半分なので150lm/Wぐらいです。150lm/Wでも効率は蛍光灯の倍ぐらい、電球の15倍ぐらいです。LEDの寿命は50年ぐらいあります。

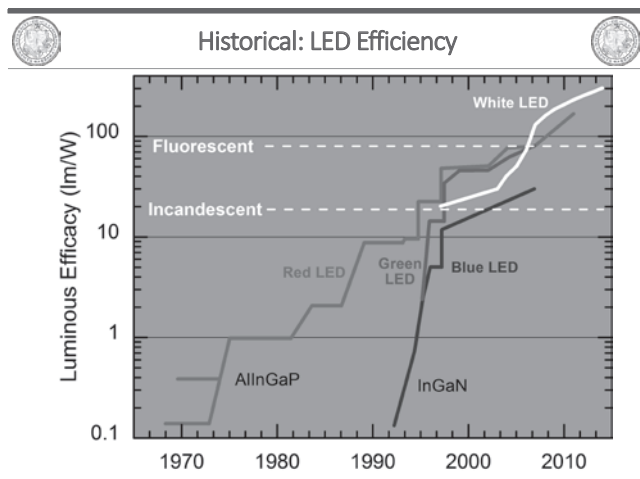


図2 LEDの発光効率と年代との関係

## 照明、モバイルデバイスやテレビのバックライト等に広く使用

応用についてお話しします。LEDが最初に使われたのは携帯電話です。今では広くiPhoneやiPadのようなモバイルデバイスのバックライトに使われています。乾電池で簡単に作動します。

テレビはバックライトにLEDを使っています。それは

消費電力がLEDにしますと従来の冷陰極管に比べて1/4～1/3になるからです。自動車のヘッドランプなどにも使われています。現在は使用量が増えているのは照明です。しかし、さっき言ったように睡眠障害の問題があるので、気を付けてくださいね。

150lm/Wの量産化したLEDを使うと、どのぐらい電気が節約できるか。カリフォルニアの場合ですけれども、全電力消費量のうち照明に使われるのは35%ぐらいです。あとは暖房とか冷房ですね。アメリカのDepartment of Energy (エネルギー省)の調べでは、2030年までに46%ぐらい電力が節約できる。これは照明に関しての話です。アメリカは日本に比べてLEDに変わるペースが非常に遅く、そのペースでも照明用消費電力は2030年に半分になるということです。これは火力発電所約30基分が節約できるということ。原子力発電所だと20～30基節約できるということ。省エネということで、地球温暖化防止に非常に貢献することになります。

世界で約15億人が電気がない生活をしています。そういうところでは、オイルを燃やして照明に使っています。これはCO<sub>2</sub>が出るので健康によくないし、火事を起こすので非常に危険です。石油を買うのに年間2万円近くかかります。

ところが、LEDを太陽電池とバッテリーを組み合わせると、昼間はバッテリーを太陽電池で充電して、夜は充電したバッテリーでLEDを動かす、これですと年間300～400円ですみ、非常に安い。現在バッテリーの寿命は2年か3年ですが、これが10年ぐらいになるともっと安くなります。

## 初期はZnSeの研究が主流、GaNはマイナー

1980年代、多くの科学者が青色発光ダイオードの発明を目指していました。当時ZnSeとGaNの2つの材料がありました。図3はZnSeとGaNの欠陥を結晶学的に示した概念図です。ZnSeは基板にGaAsを使うと、非常に欠陥の少ない結晶ができました。ところがGaNは、使える基板はサファイアだけでした。これは欠陥だらけです。格子定数ミスマッチが16%ぐらいありますから欠陥だらけで、ぼろぼろの結晶なのです。格子の欠陥である転位の密度は、前者が10<sup>3</sup>以下そして後者は10<sup>9</sup>以上です。当時、理論物理学者や研究者は欠陥の多い結晶はよく光るLEDや信頼性の高いLEDに使えんとは考えていませんでした。転位密度が10<sup>3</sup>以下にならないと光らないというのが常識みたいになっていました。ですから1980年代はみんなZnSeを使おうとしていました。

1992年の応用物理学会において、GaNのセッションへの参加者は座長を入れて4～5人でした。座長が赤崎先生、発表者が天野先生で、聞いているのが私他に2～3人です。そんな状況でした。こっちは1時間で終わりです。ところが、ZnSeのセッションへの参加者は500人ぐらいの大講堂がいっぱいで立ち見もいました。その前年アメリカ

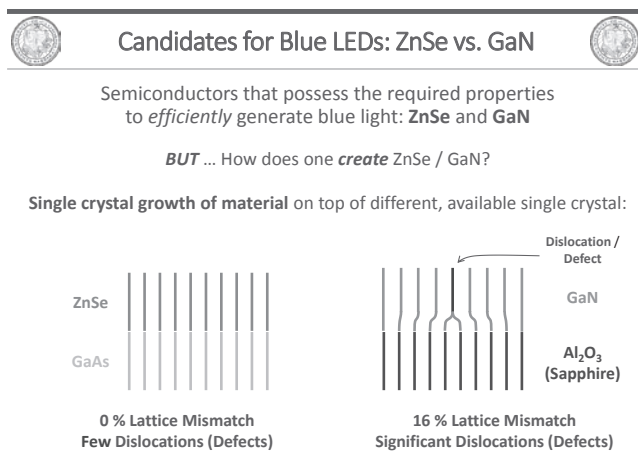


図3 青色LED用候補材料ZnSeとGaNの結晶学的違いの概念図

の3Mという会社がZnSeで青色、緑色レーザーを創りました。それで世界中の科学雑誌はZnSeで青色発光ダイオードは決まりと書いています。ですから、多くの研究者がGaNの研究を止めていました。

### 1989年にGaNで青色発光ダイオードの研究を開始成功は改良したTwo-Flow MOCVDの使用がすべて

私は青色発光ダイオードの研究を1989年に始めました。その前の1年間はフロリダ大学に客員研究員として行っています。そこでフロリダ大学のドクターコースの学生と一緒に研究したのですが、徳島大学の修士でそれまで科学論文を書いたことがなかったので、テクニシャン扱いでした。

アメリカの科学者というのは必ずドクターを持っていて、持っていない人はみんなテクニシャンです。テクニシャンというのは科学者の言われた通り動くだけなのです。テクニシャンの年収は300～400万円でした。私は今カリフォルニア大学で教授をやっていますが、うちのドクターコースを卒業したら初任給は1,200万円ぐらいです。それプラス、最初の年はスペシャルボーナスが2回ぐらい付きます。それにプラス、ストックオプションです。すごい差があるわけです。

1年後に帰国した時、夢はドクター学位をとることでした。当時日本では論文を5つぐらい書いたら論文博士の学位が取れたのです。

ZnSeに関する論文は山のようにあるのです。私はZnSeでは絶対論文を書けないと思いました。私はそれまで論文を書いたことがないですから。

GaNの研究をやっているのは赤崎先生、天野先生、あと日本の1グループか2グループぐらいでした。論文がないに等しいのです。ですから、GaNを使えば何か実験結果が出たら適当に理論を付けて論文を5報ぐらい書けると思いました。青色発光ダイオードができるとは全く思わなかったです。というのは、田舎の何もない会社ですから。でもそれでやったら、たまたまできたというのが実状です。

1989年当時、青色発光ダイオードの問題はp型GaNと発光層のInGaN、これができなかったのです。

GaNの結晶を成長させる装置として1989年にMOCVDの市販の装置を2億円で購入したんです。やってもうまく行きませんでした。膜が成長しないとか、成長しても真っ黒の膜です。必要なのは透明な膜なのです。

購入後数か月から毎日のように装置を改造し始めたんです、特に反応装置のところを。装置を午前中に改造して午後、反応実験を5～6回するというペースでした。これを1年半ぐらいだいたい毎日やり、正月だけ休みました。普通のMOCVDは1つの流れなのですが、改造して上からもう1つ別の流れを追加したのです。Two-Flow MOCVDと名付けました。

これでGaNの結晶を成長させたら、世界一の膜ができたのです。これが1990年10月です。それ以降、何をやっても世界初、世界一でした。現在も日亜化学のLEDが一番明るいのですが、これを使っているんです。Two-Flow MOCVDがキーなのです。1990年10月までは赤崎先生、天野先生が世界最高の結果を出していました。

最初、赤崎先生や天野先生はバッファ層なしのn型GaNの移動度（モビリティ）、これは高いほど結晶性がいいのですが、50cm<sup>2</sup>/Vsという値を出しました。うちはノーバッファで200cm<sup>2</sup>/Vsです。AlNのバッファ層、この技術は赤崎先生と天野先生が開発されたのですが、これを使うと450cm<sup>2</sup>/Vsになります。うちはGaNのバッファ層を開発して、600cm<sup>2</sup>/Vsになりました。世界一の結晶性のダイオード、これで論文が2報書けました。

次にp型GaNです。赤崎先生と天野先生は1989年に、電子線を照射したらp型ができることを発見しました。しかし、両先生はできた理由が分からなかったのです。私の場合はMgをドーブした絶縁体のGaNを熱処理で温度を上げたら、簡単にp型ができました。これが今現在、LEDの会社がみんな使っている方法なのです。

そして、なぜp型GaNができたかというメカニズムを解明しました。要はHがMgにくっついて悪さをしているんです。熱処理によりHが除去されると、p型になります。これは水素パッシベーションという現象なのですが、これを発見したんです。なぜ水素が来るかという、N源にアンモニアを使うのですが、アンモニアが分解すると、原子状Hができます。原子状HはMgに簡単に結合するのです。

### InGaNは奇跡の材料

#### なぜ青色に光るか、その理由は未だ不明

次に発光層のInGaNについてお話しします。赤崎先生と天野先生は1989年に、電子線照射でp型GaNを創りました。ですから、赤崎先生たちはpn接合を創ったのです。これはホモ接合なので暗いのです。しかも、欠陥だらけのサファイア上なので、光っても紫外線だけです。よく光るLEDというのはダブルヘテロ構造です。InGaNをp型とn

型に挟む。このInGaNがキーです。このダブルヘテロ構造というのはクレマーという人が考えて、ノーベル賞を2000年にもらっています。

発光層のInGaNとp型とn型のダブルヘテロ構造、これは1993年にうちが創ったLEDなんです。ダブルヘテロ構造というのはアクティブレイヤーはInGaNなのです。ここに電子と正孔が閉じ込められてよく光るんです。ホモ接合は電子と正孔があっちこっち拡散で広がるのでくっつきません。

InGaNを発光層に使うと、青とか緑に光るのです。これを使わないと青色LEDはできません。転位密度が $10^9$ あって光るのはInGaNだけです。奇跡の材料です。しかし何故光るかは未だ解っていません。GaNは紫外で発光し、青に光らない。GaNは結晶欠陥があるからです。

このInGaNは70年代から研究されましたが、誰も青色に光る結晶をつくれませんでした。

ところが、Two-Flow MOCVDでInGaNの結晶を成長させると初めて、室温で青と紫に光ったのです。p型は既にできていたので、これを単に組み合わせただけで世界初のダブルヘテロ構造が創れました。ダブルヘテロ構造の世界初の高輝度LEDができたのです。

この開発は非常に大事なことだと思いました。翌年1993年に製品化しました。そして1994年に論文を出しました。これは非常に大事な論文ですけど、日本の学術関係者からは完全に無視されました。量産化技術の一言で終わりでした。

青色LED製品化に関連して、『日刊工業新聞』は1993年10月20日、豊田合成が赤崎氏と天野氏と共同で開発したものを「GaNのMIS型青色LEDの生産技術開発」と記事にしていますが、これはp型半導体を使っていません。『日経産業新聞』は11月30日、私がいた日亜化学工業が開発したものを「InGaNを発光層とする、pn接合ダブルヘテロ構造高輝度青色LEDの発明、製品化に成功」と書いています。後者はノーベル賞受賞対象の高輝度青色LEDです。

1995年、今度は最終的によく光るInGaNの量子井戸構造の青、緑、黄色LEDを創りました。量子井戸構造を使って翌年、紫のレーザーダイオードも世界で最初に開発しました。

ノーベル賞受賞対象の高輝度青色LEDの開発には赤崎先生、天野先生、中村の3人が関わりましたが、私なりに考えますと貢献度は次のようになります。

- 赤崎先生と天野先生は
- ・ AlNバッファ層開発
  - ・ 電子線によるp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N発見
  - ・ GaNのpn接合の実現

中村は1991年にTwo-Flow MOCVD開発後、次のような成果をあげました。

- ・ GaNバッファ層開発

- ・ 熱処理によるp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nの発見とそのp型化の機構の解明
- ・ 青色に光るInGa<sub>0.5</sub>Nの成長
- ・ InGa<sub>0.5</sub>Nを発光層とするダブルヘテロ構造高輝度青色LEDの発明

## 次世代LEDはGa<sub>0.5</sub>N on Ga<sub>0.5</sub>N 発光効率84%

### 次々世代は低コストで小さい光源のレーザー照明

次世代のLEDはGa<sub>0.5</sub>N on Ga<sub>0.5</sub>Nです。今は基板にサファイアを使っていますが欠陥が多い、しかし、Ga<sub>0.5</sub>Nはhomoepitaxialなので欠陥がありません。紫色LEDを使って白色にしています。太陽光と一緒にです。これは睡眠障害を起しません。世界中でうちの会社だけがつくっています。投入電力に対してどれだけ光るか、効率は現在商品化されている青色LEDは50～60%ですが、Ga<sub>0.5</sub>N基板を使ったLEDは84%になります。

蛍光染料というのは紫色とか紫外線で励起されるんです。青色では励起されません。蛍光染料が入っている白色のシャツや紙は蛍光染料を励起して白色になっているんです。青色で作った白色光源だと蛍光染料が励起されないで、白いものが全部黄色っぽくなるのです。いくら洗濯しても黄色っぽいのです。紫色LEDで作った白色照明ですと、紫色で蛍光染料が励起されるので白は白なのです。

最終的な照明というのはレーザー照明です。電流密度を上げるとLEDはどんどん光らなくなるのです。これはドループと言って、もうこれはしょうがないんです。レーザーは電流密度だけでどんどん光るのです。ですから、LEDというのは非常に低い電流密度のところを使っています。レーザーは電流密度がLEDに比べて1,000倍ぐらい高いところで動くんです。ですから、LEDは電流密度を下げるためにチップの面積が大きくなります。レーザーですと電流密度を1,000倍ぐらい高くできるので、チップを小さくすることができます。小さい光源でむちゃくちゃ明るいのがつくれます。コストを低くできます。ですから将来は、10年以上かかるでしょうが、レーザー照明になると思います。

最近レーザーが一番使われているのは車のヘッドランプです。青色レーザーだと、1キロ先まで照射できるんです。LEDですと300メートルぐらいです。

現在レーザー照明は車以外にプロジェクターにも使われています。

以上です。ありがとうございました。

**【質疑応答】**（質問者の名前が不明なので、質問1、質問2、……とする）

### 「日本人ですから日本は大好きです」

質問1：先生は1990年ごろ会社に勤めながら非常にたくさん論文を書かれた。それがなければノーベル賞はもらえなかったと思います。普通の企業の研究者ですと特許を出してしまったら、そこで終わりです。その会社は先生が論

文を書くことをどう理解してくれたのでしょうか。

**回答1 (中村) :** 当時うちの会社は論文発表、学会発表は全部禁止でした。それでも自分で開発したから論文はいっぱい書けました。

1979年に入社して10年間で、3つ製品開発をしました。あまり売れなかった。そのため給料は上がらず、偉くもなれなかった。上司から開発を止めろと云われ、私はキレました。そして、会社を全部無視して、好きなことをやることにしたのです。それが青色発光ダイオードなのですが、それができるとは思っていませんでした。でも博士論文は書こうと思いました。

論文を1報書いたら5~6万円かかります。だから事務所に行って、これは本代ですとしました。論文は必ず英文のものにしました、田舎の会社なので英語の論文は誰も読まないですから。

ばれたのは、1992年に発表した発光ダイオードのpn接合に関する論文を関西の大手家電メーカーの関係者が読んで、うちの大阪支店に電話してきたのです。その支店長が私に電話をかけてきたんです。「中村、うちで何か青色発光ダイオードができたと言うけど、お前、知らんか」「そんなのおるわけないでしょう」それで通るんですよ。

それからまた別の家電メーカーからも電話があって、今度は論文のコピーを送ってきました。次の日、社長命令で論文発表禁止です。私は命令書をすぐ破って捨て、次の日からまた論文を書いて出していました。クビを覚悟して全部無視です。

大企業やアメリカの企業では絶対できないです。即クビです。

特許も全部禁止でしたが、論文を書くときに秘密裏に必ず特許を申請しました。特許は国内出願だと30~40万円ですけど、上司はみな印を押してくれました。出したら全部通りました。そういう意味では、田舎のいい会社でした。

**質問2 :** 中村先生は何故日本を離れてアメリカへ行かれたのですか。本音の部分をお聞かせください。

**回答2 (中村) :** 1993年に高輝度青色発光ダイオードを発明・製品化して、それで一躍世界で有名になり、世界中の学会に呼ばれるようになった。

アメリカに行ったら、みんな聞くのです、お前の収入はいくらだと。私は当時1993年で青色発光ダイオードができるまでが年収500万円で、青色発光ダイオードができて倍の1,000万円です。それは1993年で係長とか課長ですよ、1,000万円は。そうしたらアメリカ人が行くたびにみんな言うんです、「お前、1,000万円か、こんな発明をして。こんな低収入でよく会社に勤めている」と。僕はそれが普通だと思っていた。行くたびに、「そんなに給与が低いのならアメリカに來い」と云われました。

それと高輝度青色発光ダイオードの発明・製品化まで全部できて、退屈になっていたの、アメリカでまた新し



いことをやりたくなりました。人間は苦勞しないと進歩しないでしょう。アメリカはやっぱり言葉とか文化が全部違う。苦勞するので、また自分が磨けるという期待も込めてです。

**(江崎) :** 日本とアメリカの会社の違いに関してですが、1つは集団を重視するか、或いは個人の業績を重視するかということです。組織の繁栄のために個人は協力して組織の繁栄を図るかということです。どちらかといいますと、我が国は集団思考の国で、全体をよくしていこうという国、アメリカはやはり個人の業績を評価していこうという国だと思います。一般的にそういう傾向があるように思いますね。

個人の能力を発揮するという点ではアメリカの方が研究をやりやすい。大きな発明、発見というのはグループがするのではなくて、やはり創造性のある個人がするもの、ノーベル賞はあくまで個人に与えられる賞と私は思います。

先ほど中村さんが触れられた博士論文に関してですが、アメリカでは研究者というものはすべてPh.D.を持っているということが必要条件ですね。それに対してテクニシャンは大学卒業か短大の卒業です。両者間でレベルが違うし、給料が違っている。ですから、プロフェッショナルという言葉が通用する。

**質問3 :** 日本に愛想を尽かしましたか。

**回答3 (中村) :** 愛想は尽かしていません。日本人ですから日本は大好きです。日本がどうしてもよかったら、講演の冒頭で述べたようなことは言わないです。ノーベル賞に関して日本の関係機関は民間を低く見えますね。

**質問4 :** 日本の大学教育は教育とはいえないようなことしかやっていないと思いますが、アメリカに行かれてどうでしたか。

**回答4 (中村) :** 日本の大学教育も問題なのですが、会社もそうだと思います。私らの時代、徳島大学の修士を終了して面接のとき聞かれたのは、大学時代に何をやってたかでした。これは勉強以外のことですよ。私は「柔道部のキャプテンをやっていました」と言ったら、はい、採用

です。専門のことを一切聞かないのです。

日本の会社は採用したら会社で再教育するという考えなのです。大学の勉強を一切期待してないんです。元気のいい、大学で変わったことをした人を採る。一番好かれるのは修士卒ぐらいです、再教育がしやすいから。ドクター取得者は再教育ができないから、いらないうんです。だから、日本は給料は全部一緒なのですよ。

アメリカは採用するとき、「大学で専門は何をやったか」しか聞かれない。それ以外のことを聞いたら、差別になります。健康状態や年齢も聞けないです。専門のこと以外は何も聞けないのですよ。雇ったら、その専門を生かして即戦力です。再教育は一切なし。お前、これをしろ、ですよ。

それと僕は思うんですけど、日本ではノーベル賞が案外多いでしょう。日本人ほど世界でまじめな人はいないですよ。例えば何か部品を発注すると、納期までに図面通りにちゃんと作る。これは日本だけですよ。

ところが、いい物を作っても世界に売れないのです、言葉ができないから。過去の半導体やテレビは殆ど国内だけで売っていて、外国では売られない。だから、日本でいいものを作っても、ほかの国がまねして世界に大量に売ってコストダウン、全部それです。そのうち日本はノーベル賞だけもらって終わりになりますよ。

日本はグローバリゼーションというのが全然だめだと思います。若いお子さんがいたら、ぜひ海外に出してほしいのです。グローバリゼーションのため英語は大事です。

**質問5**：私は36年間、高等学校の教員をしていました。子供たちの将来をよく考えながら教育をしてきましたが、その子供たちの将来設計や人生設計のために中村先生のこれまでの経験を踏まえて、アドバイス等がありましたらぜひお聞かせください。

**回答5 (中村)**：先ほどいいましたが、日本人は非常にまじめで、これは世界に誇れます。だから、いい発明しいい製品までは作れます。が、その後がだめです。その最大の原因は言葉の問題です。英語は世界の標準語で決まりなのです。アジアで一番発展しているのは韓国とシンガポールです。それは英語を話せる人が多いからで、世界の人種のるつぽですよ。子供は高校、大学から最低5年ぐらい留学させてほしいです。特にアメリカがいいです。そこで5年後に帰ってこようが、アメリカのどこに行こうが、それは自由ですよ。それが日本のグローバリゼーションです。そうしたらネーティブ・イングリッシュがしゃべれて、いい製品ができると世界中に売りに行きますよ。

いい例がサミットを見てください。日本の首相はいつも片隅にいて、仲間外れです。それは英語ができないからです。大事なことは、すべてそういう雑談の場で決まるんです。商談だろうが、技術のことだろうが、学会でも、雑談で決まるんです。雑談に入れるようにならないとだめです。そうでないと、いい製品を作っても世界標準が取れないのですよ。

(文責 編集委員 角田方衛)

## つくば賞その後-5

『つくば高血圧マウスと  
つくば低血圧マウスの創作とその解析』

筑波大学名誉教授

村上 和雄

## I. 高血圧マウスと低血圧マウス

私は1976年、開学直後の筑波大学にアメリカから直接赴任した。7年ぶりの日本であったが筑波大学は建物も設備も不十分であり生活も不便であった。しかし日本にない新しい大学を創るという熱気のようなものが大学にはあった。

そこで、少しずつ新しい研究を始めた。私の研究テーマは、高血圧の発症に重要な役割を演ずるレニン（酵素）・アンジオテンシン（ホルモン）系の生化学的研究であった。このレニン・アンジオテンシン系の引き金を引くレニンを生体から純化する研究に取りかかった。

しかし、この研究は難渋を極めた。生体のレニンの含量が非常に低いからである。たとえば、牛の脳下垂体3万5千頭から抽出できたレニン量は僅かに0.5mgであった。

## 新しい実験手段の導入

その時、素晴らしいニュースが飛び込んできた。ヒトのホルモンや酵素を大腸菌で作れる遺伝子工学の登場である。早速、この技術を我々の研究に取り入れた。

1983年、ヒト・レニンの遺伝子を単離しその塩基配列を決定した。そして、ヒト・レニンのアミノ酸配列も判明した。次に、このレニンの分子としての成果を土台にしてレニン・アンジオテンシン系の研究は細胞レベル、個体レベルの研究へと進展していった。

そのために発生工学という新しい実験手段を導入した。そして、ヒトのレニン・アンジオテンシン系を導入した遺伝子導入マウスを誕生させた。このマウスが高血圧を呈したので「つくば高血圧マウス」と命名した。つぎに、レニン・アンジオテンシン系の遺伝子を欠損させたマウスを作成した。このマウスが低血圧を呈したので「つくば低血圧マウス」と命名した。

これらの実験結果より、レニン・アンジオテンシン系が高血圧の発症に遺伝子レベルで重要な役割を演じていることが判明した。

また、研究の進展には研究レベルを変えることや新しい実験手段の導入が重要であることを学んだ。そして1996年につくば賞を、筑波大学の宮崎均博士、深水昭吉博士、八神健一博士、杉山文博博士らと共に受賞した。

## II. つくば賞受賞後

1999年、私は筑波大学を定年退官した。そして全く新しいプロジェクトに関与することになった。その1つが、

「心が遺伝子の働きを調節する」という仮説の検証である。

## 1) 遺伝子にはスイッチのオンとオフがある

ヒトの全遺伝情報（ゲノム）が21世紀の初めに解読された。これは、医学や生物学上大きな出来事だった。これで生命の謎が解けると期待されたが、実はそうではなかった。

そして、非常におもしろいことが分かった。全遺伝情報の内、本当に働きがわかっているのは2%ぐらいである。98%は何をしているかよく解かっていない。ある人はジャンクDNAといていた。しかし、私は前からジャンクが98%もあるわけがない、と思っていた。そのジャンクといわれる部分に大切な役割があり、しかも遺伝子のスイッチのオンとオフに関係しているらしいことが分かった。

そういう研究のなかで、私は心の働きも遺伝子のスイッチのオンとオフに関係するのではないかと思ってきた。心の働き、心遣いが遺伝子のスイッチのオンとオフに関係するという仮説を立て「心と遺伝子研究会」を設立した。

## 2) 笑うネズミ

「笑い」がどの遺伝子のスイッチを入れるか、どれを切るかという研究を開始した。笑いはなぜ健康にいいのか？そして、笑いが糖尿病患者の食後の血糖値の上昇を抑えることを見出した。その際、免疫活性を高めたり、新陳代謝を促進する遺伝子をオンすることをつきとめた。

私どもは「ヒトの笑いの研究」に続いて、仔ねずみを遊ばせて笑わせるという研究をしている。この研究は、ドライラマ法王とのご縁で始まった。

2004年に、私が法王からダラムサラに招きを受け、「笑いと健康」の研究について報告した時のことだ。アメリカの研究者からアメリカでは笑いの研究をねずみで行っていると聞いた。そこで、早速、私どもの研究に利用できないか考えた。

小さい子供たちはじゃれ合って遊ぶ時、声をあげて笑う。仔ねずみも人間のこどもたちと同じように仲間と遊ぶ時には、嬉しい時に出す50キロヘルツの超音波を出す。この50キロヘルツのなき声は、ヒトの笑い声の原型ではないかとされており、サイエンス誌でも紹介されている。

私どもは、仔ねずみの遊びを真似して、人間の手でねずみを遊ばせるTicklingという方法を使ってねずみを笑わせている。お母さんが、赤ちゃんのお腹をくすぐると声をあげて笑う。そんなふうには、何度もねずみを追いかけてひっくり返してお腹をくすぐってやる。そうすると、仔ねずみは人間の手とじゃれ合うようになり、50キロヘルツの超音波を出す。

この方法を使ってどのような実験をしたかと言うと、私どもは、仲間から離されてひとりぼっちで育った仔ねずみと、楽しく遊ばせて育てたねずみとでどのような違いが生じるか比べてみた(図1)。

Fig.1 Ticklingの効果

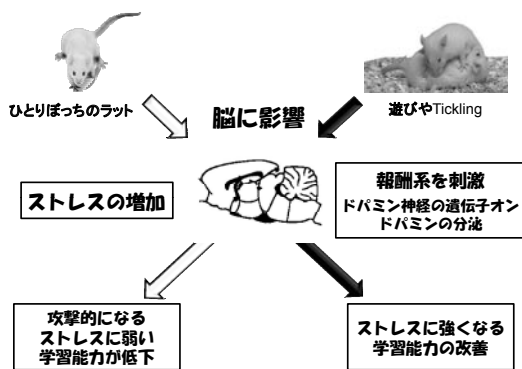


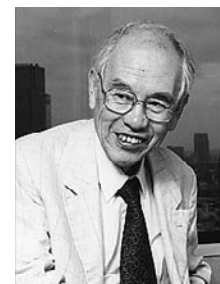
図1. Ticklingの効果

これまでのたくさんの研究で、ひとりぼっちで育った動物(ねずみ以外に、サル、イヌ等)は、攻撃的になるばかりか、ストレスに弱くなり、学習能力も低下して普通に成長できないことが分かってきている。ところが、仔ねずみを楽しく遊ばせて育てると、ストレスに強くなり、学習能力も良くなること、さらに、脳の中の遺伝子のオンとオフも変わることが分かった。例えば、脳の視床下部という生命維持にとっても大切な中枢では、ストレスに関する遺伝子や喜びを感じるときに出るドパミンの分泌に関わる遺伝子がオンになった。この研究成果は、米国のサイエンティフィックアメリカン誌の電子版でも紹介された。この研究により、私どものグループの堀美代は学術博士となった。

著者略歴

村上 和雄 (むらかみ かずお) (農学博士)

- 1963年 京都大学大学院 博士課程修了
- 1963年 米国オレゴン医科大学 研究員
- 1976年 米国バンダビルト大学 医学部 助教授
- 1978年 筑波大学 応用生物化学系 教授
- 1990年 マックスプランク研究賞
- 1996年 日本学士院賞
- 1999年 筑波大学 名誉教授
- 1999年 (公財)国際科学振興財団 理事 バイオ研究所長



私たちの研究で、こども時代に、仲間と楽しく遊ぶという経験は、大人になって生きていくためにとても大切なことだということが分かった。最近、切れやすかったり、引きこもりになったり、自殺する子ども達がいるが、そのような対処法に繋がるような研究になればと願っている。そして、私ども大人は子供たちが楽しく遊べる環境を提供する役割があるのだと考える。

3) 祈りと遺伝子

私は白鳥哲監督が製作した映画「祈り～サムシンググレートとの対話」に出演した。この映画では、世界の著名な医師や生物学者、科学ジャーナリストたちが、祈りを含めた心や意識の近年の研究について語っている。また、心と自然治癒の関係の研究で世界的に知られる米国の医師、ラリー・ドッシー博士は、彼の著書『祈る心は、治る力』(原著: Prayer is Good Medicine)において、祈りのもつ力とその効果を、多くの科学的根拠にふれながら紹介している。この映画は、諸外国で5つの賞を受賞している。

最近、祈りや瞑想における遺伝子発現の網羅的な解析報告も増えており、2013年には、ヨガ瞑想が、ストレスによる免疫機能の低下を回復する可能性や、抑うつ改善やストレスによる細胞老化を防ぐ可能性が報告されている。

私たちは、2013年から、高野山大学密教文化研究所と協力し、真言宗の護摩行が、からだにどのような変化を引き起こすのかを、生理的な変化や遺伝子の発現の変化から検証している。具体的には、護摩行を行う僧侶と、その場を共有した健常者を対象に、行の前後、最中に血液を採取し、代謝産物や遺伝子の発現の変化を解析した。現在までに、行の前後で発現が変化する遺伝子がいくつか見つかった。

以上述べたような「笑いと遺伝子」や「祈りと遺伝子」の研究を、さらに発展させ、人間の心の働き、魂の働きまでも追及していきたいと思っている。

参考文献

村上和雄「心は遺伝子の発現を調節する」化学と生物 Vol.50, No.5, 378-382 (2012)



研究室レポート

# 「宇宙から学ぶ究極の予防医学」

宇宙航空研究開発機構 宇宙医学生物学研究グループ

参事 村井 正

## 1. はじめに

2015年7月23日、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の油井亀美也宇宙飛行士はカザフスタン共和国のバイコヌール宇宙基地から、ソユーズ宇宙船により打ち上げられ、国際宇宙ステーション（ISS）における約5ヵ月間の宇宙滞在を開始した。油井宇宙飛行士は日本人として10人目の宇宙飛行士であり、ISSでの長期宇宙滞在はJAXAとして6回目（若田宇宙飛行士による2回を含む）の経験となる。

ISSでの長期滞在中、油井宇宙飛行士は微小重力環境、宇宙放射線の被ばく、多文化少人数の閉鎖環境など、地上には存在しないISS特有の環境で過ごすことになり、この環境は心身にそれなりの影響を与えることになる。各国から選抜された6名のISS滞在宇宙飛行士には、必ずしも医師が含まれているとは限らないが、地上には各国のフライトサーजनと呼ばれる宇宙航空専門医を中心に宇宙飛行士健康管理のためのチームが編成され、日常的に宇宙飛行士の健康を管理し、時に発生し得る宇宙飛行士の心身の異常に備える体制をとっている。

JAXA 宇宙医学生物学研究グループは、宇宙飛行士の健康管理を支えるため、宇宙環境が人間に与える影響を解明し、そのリスクに対する対策を確立することを第一義的な目的としており、同時に将来の人類の宇宙進出における医学的課題を解決していくことを長期的な目標としている。この研究活動の結果は、後述のように地上の医療に貢献することが期待される。

## 2. 宇宙から学ぶ究極の予防医学

1992年、毛利衛宇宙飛行士によるスペースシャトルでの初飛行当時、宇宙環境が宇宙飛行士の心身に与える影響について、国内には知識、経験の蓄積がほとんどなかった。まずは、米国、ロシアの先人の経験に学ぶことから始めたのが、現在のJAXAにおける宇宙医学に関する研究の出発点である。

当時、スペースシャトルによる1～2週間の短期フライト中の微小重力環境による不都合な影響としては、体液の頭方への移動、地球帰還時の起立性低血圧、平衡感覚の混乱による宇宙酔い、地球酔い、骨量減少、筋肉の萎縮などが知られていた（図1）。当時の宇宙医学研究は、これらの不都合な影響のメカニズムの解明やその対策の開発が中心であったが、日本人による宇宙飛行の機会は少なく、さまざまな制約がある中で、宇宙飛行士を被験者として直接データを取得する機会は非常に限られていた。多くの研究は、

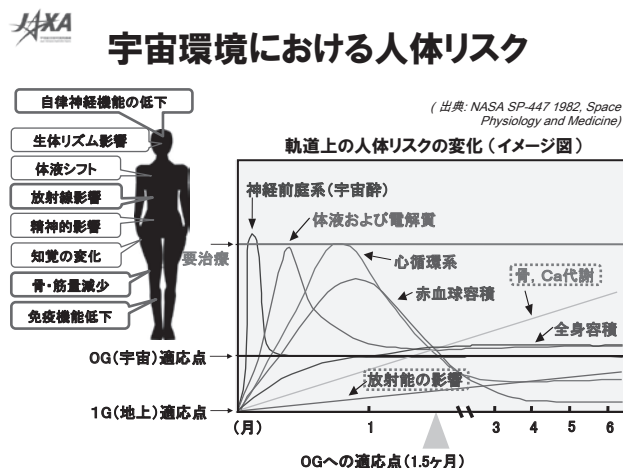


図1 宇宙環境における人体リスク（原図：太田敏子）

地上で宇宙環境の特性を模擬し、ボランティアの被験者からデータをとることで行われた。当時、筑波宇宙センターに整備された医学研究用の設備としては、宇宙酔いを模擬する回転いす、微小重力環境での生理学的変化を再現するためのベッドレスト実験設備、気圧を用いて体液を足方に移動させる下半身陰圧負荷装置などがあり、大学等に所属する研究者が筑波宇宙センターにおいてデータを取得するような実験が行われた。

2008年頃には、やがて実現するISSでの長期宇宙滞在中を想定し、その悪影響を最小限にする方法、例えば、半年間のISS滞在中で約10%の骨密度の低下に対し、骨吸収抑制剤による骨密度維持に関する検討も国際共同研究の形で行われた。近年、宇宙における適切な運動と骨吸収抑制剤の組み合わせにより、骨量の減少はほとんど抑制できるとの結果が得られた（OsteoporosInt, 2013, 24:2105-14）。

一方で、宇宙飛行士の健康管理についての技術的な研究開発も行われてきた。宇宙放射線被ばく量の予測・測定などの技術や生物学的影響の評価方法の検討、長期宇宙滞在中に適した精神心理的特性の研究と宇宙飛行士選抜への反映、究極のへき地医療とも言えるISS環境における遠隔医療技術の検討などが行われた。現在では、半年から一年におよぶ宇宙滞在中の後でも、帰還後のリハビリを通じて宇宙飛行士は、ほぼ飛行前の健康状態を維持することが可能となっている。

このように、国内外の多くの宇宙医学研究から得られた成果は、今日のISS長期滞在中に生かされている。



図2 宇宙医学の成果をヒトの暮らしに生かす (原図: 太田敏子)

### 3. 社会に役立つ宇宙医学を目指して

宇宙に滞在することによって引き起こされる人間の心身の変化、特に宇宙から地球に帰還した時に宇宙飛行士が経験する起立性低血圧、運動能力の低下、骨量減少、筋肉の萎縮などの現象は、人間が加齢した時に経験する心身の変化に類似している。宇宙に滞在する場合の変化の速度は、地上での加齢の速度よりも早く「宇宙飛行は加齢の加速系」と言われている。

このことは、宇宙医学研究成果が、地上における高齢化社会の役に立てる可能性を意味している。宇宙における心身の変化のメカニズムの研究は、加齢のメカニズムの解明、さらには老化の予防につながる可能性があり、宇宙飛行士の健康管理のために開発されてきた技術は、高齢化社会の問題の解決に貢献できると考えられる(図2)。例えば、骨密度の減少や筋肉の萎縮の予防、起立耐性の低下や前庭三半規管の機能低下の予防、低線量率被ばくへの対策などの研究が、将来のヒトの暮らしにおいて役立っていくことが期待される。

また、特に最近の地上における分子生物学レベルでの技術の進歩、マルチオミックス、バイオインフォマティク

スなどの新しい領域の研究の発展は、宇宙環境のサンプルさえ回収できれば、新たな人体機能の解析を可能にした。宇宙医学研究においてもこれら先端技術が積極的に展開されるようになってきている。

### 4. おわりに

現在ISSに参加する各国間では、ISSを2024年まで運用継続することについて検討がなされている。また、ポストISS時代の国際協力による宇宙開発の枠組みなどについても、協議が始まっている。

ISS計画の先に想定される太陽系の有人宇宙探査、すなわち、有人の月基地の建設、有人火星探査などに向けて、研究グループとして医学的な重点課題を洗い出す作業を始めたところである。有人火星探査を例にとるならば、往復3年近くにも及ぶ、長期間の宇宙旅行期間が想定されており、地球磁気圏外を飛行することによる放射線被ばくの影響はどうか、一年近くにも及ぶ微小重力状態の後に火星に着陸した場合、宇宙飛行士は立って歩けるのか、常に危険と隣り合わせの狭い宇宙船内で、少人数での生活の精神的なストレスはどの程度か、地球との通信に時間を要し、何かあっても引き返せない宇宙飛行中に急病が発生したらどうするか、火星という新たな自然環境に人間が接した時、未知のリスクが存在する可能性はないか、など、従来とは次元の異なる新たな課題の検討が必要ではないかと考えている。

将来に向けては、宇宙で生活しようとする人類について、分子レベルから個体レベル、さらには精神的、社会的なレベルに至るまでのトータルな理解が必要であり、統合された対策の研究が必要であるとの認識のもとに、これまで以上に広い分野の多く研究者の協力をいただく体制を構築していく必要がある。JAXAの宇宙医学生物学研究グループ自体は少人数ではあるが、自ら医師であり、ISSでの長期滞在の経験を有する古川聡をリーダーに、筑波大学をはじめとしてさまざまな領域の研究機関が近傍に存在する筑波宇宙センターを拠点として、その地の利を生かす活動を展開していきたいと考えている。

著者略歴

村井 正 (むらい ただし)

1983年筑波大学医学専門学群卒業 (医師免許取得)。筑波大学附属病院研修医を経て第26次南極地域越冬隊医療担当隊員。1990年筑波大学大学院医学研究科修了 (医学博士)。1990年宇宙開発事業団副主任開発部員。1992年まで米国ライト州立大学航空宇宙医学専門課程 (理学修士)。2014年4月より現職。



## 科学の散歩道

## 「老化ミトコンドリア散歩道」

筑波大学 生命環境系 特命教授 林 純一

日光の戦場ヶ原を歩いて行くと、初夏にはカッコウヤアオジなどさまざまな野鳥の美しいさえずりがあちこちから聞こえてきて清々しい気分になるが、常に適度な緊張感もある。それはたまに出現するノビタキやホオアカ（図1）の姿を見つけたらこの「シャッターチャンス」を逃してはならないという緊張感である。筆者の老化研究に限定して言えば、メインストリートで早さを競うのではなく、そこから外れたこの戦場ヶ原の遊歩道のような道の特段の使命感もなく散策して行くような気ままなものだった。もちろん「シャッターチャンス」があれば一気に研究を進める適度な緊張感も維持しながらである。



図1：初夏の戦場ヶ原のノビタキ（左）とホオアカ（右）  
 この他にアオジ、ビンズイ、ニュウナイスズメ、アカゲラなどが姿をみせることがある。

今から20年以上も前のことであるが埼玉県立がんセンターから筑波大学に着任した筆者は、学生たちの研究テーマとして競争の激しかったミトコンドリア病のモデルマウス作製に着手し、ミトコンドリアと老化やがん化との関係を探る研究も続けた。当時定説であった「ミトコンドリア老化原因説」では、老化に伴うさまざまな能力の低下を「ミトコンドリアDNA (mtDNA) 突然変異の蓄積」「呼吸欠損」「活性酸素 (ROS) の漏出」の三者の悪循環で説明していた。つまり酸素呼吸により生命エネルギーを作り出すミトコンドリアの中はその副産物であるROSにさらされるため、mtDNAに突然変異が蓄積され、加齢とともに呼吸欠損になるというのである。ただし、この定説は単純で美しいが状況証拠の羅列でできており、それぞれを結びつける確固たる証拠が欠落していた(1)。

そこで直接的証拠を得るためヒト繊維芽細胞株などを用いて核移植やミトコンドリア移植を行い、老化に伴う呼吸欠損の遺伝様式を培養系で調べたところ、老化に伴う呼吸欠損は細胞質遺伝するのではなく核の劣性遺伝であることが判明した。そこで「老化に伴う呼吸欠損の原因がmtDNAの突然変異ではなく核DNAの劣性突然変異にある」という新仮説を提示した。この研究成果は従来の定説を否定するものであり、国際的に高く評価され欧州であった幾つかの国際学会に招待された。しかし従来の定説の信奉者たちから「mtDNAに突然変異が蓄積しているのになぜ呼吸欠損にならないのか説明しろ」との十字砲火を浴

び続け、「その説明責任はそっちだろう」と反論できず呆然と立ち尽くした。この借りはいつか論文で返そうと心に誓ったが当時はそのすべもなく、そのまま撤回するしかなかった。

当時筆者が全力を挙げて競ったメインストリートはミトコンドリア病モデルマウスの作製だった。すでに筋肉等の組織の呼吸欠損を示すミトコンドリア病患者さんの報告が有り、患者さんの血液や筋肉のmtDNAには特殊な突然変異が蓄積していることが明らかになっていた。しかし、「mtDNA突然変異の蓄積」により「呼吸欠損」が生じ、その結果「ミトコンドリア病が発症する」という三者の因果関係を立証するためには、患者さんと同等のmtDNA突然変異をもつモデルマウス（ミトマウス）を作製し、このマウスが呼吸欠損とミトコンドリア病様症状を発現することが証明されなければならなかった。幸運にも国立感染症研究所（現 理化学研究所）の小倉淳郎先生との共同研究のおかげで筆者たちは世界で初めてミトマウスを作製し、三者の直接的因果関係の存在を証明することができた(1)。

実はこのミトマウスの「mtDNA突然変異の蓄積」と「呼吸欠損」の間の因果関係を詳細に調べて行くとそこには不思議な現象があった。突然変異mtDNAの割合が80%までは呼吸活性が正常で、80%を超えると急激に呼吸欠損になり病態発症もしたのである。その理由として、突然変異mtDNAを含むミトコンドリアと野生型mtDNAを含むミトコンドリアの間での相互作用（物質の交換）が頻繁に起こり、結果的には呼吸欠損になるのを防御していたのである。更に異なったミトコンドリア病患者さん由来で、それぞれ異なった突然変異mtDNAをもつ細胞を融合させると呼吸活性が完全に回復することも明らかにした(1)。そしてここにあの十字砲火に対する回答があった。mtDNAに突然変異が蓄積しているのに呼吸欠損にならない理由は「ミトコンドリア間相互作用のため」だったのだ。

しかしこの3年後の2004年、従来の定説を強力に支持するミューテーターマウスの論文が発表された(2)。このマウスはmtDNA複製酵素の校正機能が破壊されたためmtDNAには通常の数倍の速度で突然変異が蓄積し、呼吸欠損が誘導されかつ早期老化様症状も呈し、本来2年半ある寿命が1年に短縮されていた。ただし正常マウスは老化しても呼吸欠損は生じないためこのマウスはヒトの老化モデルであると主張された。このマウスで呼吸欠損が起こるのはミトコンドリア間相互作用を凌駕するような異常な数の突然変異が蓄積した結果だが、多くの症状は筆者らが

樹立したミトマウスと共有していたため、これも老化ではなくミトコンドリア病モデルではないかと思った。しかし逆にミトマウスも老化モデルマウスであると解釈できるため、気の利いた反論もできずまた漂流することとなった。

その後すぐに反撃のチャンスはやって来た。後にノーベル賞を受賞することになる山中伸弥たちにより「分化した細胞からiPS細胞を樹立すると初期化が達成できる」という衝撃的な報告が2006年に出された。一方、次世代シーケンサーの進歩によりDNAの塩基配列決定に要する時間と精度が大きく改善された。「ミトコンドリア戦場ヶ原」を漂流していた筆者に緊張感が走ったのは、この2つの大きな波が従来の定説をきちんと検証できる「シャッターチャンス」の到来を告げていたからである。そこで若年グループと老年グループ由来のヒト繊維芽細胞株を用いて、京都大学の沖田圭介先生にはiPS細胞の樹立を、東京大学の間野博行先生にはおびただしい数のmtDNAの塩基配列決定を、そして理化学研究所（現慶応大学）の三好浩之先生には特定の核遺伝子の発現調節をお願いし以下の決定的証拠をつかんだのである（3、図2）。

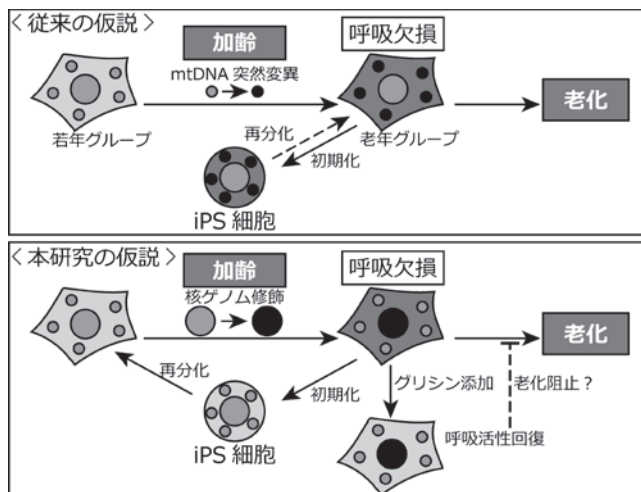


図2：従来の仮説と筆者たちの仮説の模式図

- \* 老年グループに呼吸欠損を確認したが、ROSの発生量は増加せず、次世代シーケンサーで調べてもmtDNA突然変異の蓄積率に有意差は認められない。つまり定説のいう悪循環のうち「ROSの増加」と「mtDNA突然変異の蓄積」は存在しない。
- \* それぞれのグループの繊維芽細胞をiPS細胞にすることで初期化し再分化させて呼吸活性を比較すると、老年グループの呼吸活性は若年グループのレベルにまで回復し

たため、呼吸欠損の原因は突然変異でない。

- \* 核遺伝子の発現比較により、呼吸欠損の原因遺伝子としてミトコンドリア内のアミノ酸代謝（グリシン代謝）に関係する遺伝子を特定した。グリシン添加により呼吸活性が回復したためグリシン摂取が老化の予防戦略として有効である。

以上の結果から「老化に伴う呼吸欠損の原因はmtDNAの突然変異ではなく核のゲノム修飾である」という仮説を提案した。この仮説は筆者が20年前に提出した仮説（老化に伴う呼吸欠損の原因がmtDNAの突然変異ではなく核DNAの劣性突然変異にある）とは一見矛盾しているように見える。これは当時ゲノム修飾の概念が成熟していなかったためで、当時の実験結果は今回の仮説に照らしても何ら矛盾するものではない。この研究成果は「若返りが可能」として注目され新聞報道もされた。今回の研究成果の重点は若返りではないが、昨今では「科研費を受けた研究成果の社会への発信」が義務づけられているので有難いことである。

ここで一つ不思議に思うのは、次世代シーケンサーが開発されてしばらくたつのに、老化したヒトの繊維芽細胞のmtDNAに突然変異の蓄積がないという結果をなぜ専門家たちが発表しなかったのかということである。もし定説の信奉者達が定説を否定する都合の悪い結果を発表しなかったからだとすれば、そのおかげでこの成果が筆者たちのものになったのかもしれない。すべてと言うわけにはいかないが、第一線の研究の戦場でしごきを削って疾走するよりも、遊歩道を散策するような自然体のほうが有効な場合もある。散策気分で先入観を捨てて研究していると、時として少々の矛盾を顧みず高速道路を疾走するような研究では得られない宝物に巡り会うことがあるようだ。

ただ、今はあの戦場ヶ原を散策する気分で研究を進める余裕はない。科研費は今年度で終了するので研究活動からも卒業することになる。ここには書かなかったが決着を付けたい研究がまだ少し残っている。今は目前に迫ったゴールに間に合うように疾走中である。

参考文献

1. 林 純一 ミトコンドリア・ミステリー（講談社ブルーバックス）2002
2. Trifunovic, et al. Nature 2004
3. Hashizume, et al. Scientific Reports 2015



プロフィール  
林 純一（はやし じゅんいち）  
筑波大学 生命環境系 特命教授

1949年4月29日 函館市生まれ  
1977年 東京教育大学大学院博士課程修了、理学博士  
1977年 埼玉県立がんセンター研究所・研究員  
1988年 同・主任研究員  
1993年 筑波大学生物科学系・助教授  
1998年 同・教授（この間生物学類長、第二学群長、生命環境学群長兼任）  
2015年 筑波大学名誉教授・筑波大学生命環境系・特命教授

## 賛助会員企業訪問記 — 抜粋 (11) —

## 大鵬薬品工業株式会社 研究本部（つくばエリア）

訪問の当日（平成27年6月17日（水））は梅雨の一日で午後から雨はありましたが、多少ドンヨリとした曇り空でした。大鵬薬品工業（株）研究本部（つくばエリア）はつくば市の北部、テクノパーク大穂にあります。最初に社内見学をさせて頂き、その後応接室でお話を伺いました。ご対応は執行役員・研究本部長の岩沢善一様、創業企画推進部部長の杉本芳一様、同部主任の佐藤香織様、総務部副部長の前田和男様、総務部つくば業務課課長の室岡進様です（SATからは洪尾事務局長、伊ヶ崎）。

大鵬薬品工業（株）は1963年の設立で、大塚ホールディングス傘下の事業会社です。医療用医薬品の領域では、自社創薬を基本として、がん、免疫・アレルギー、泌尿器の3領域の創薬研究開発に取り組み、なかでもがん領域に最も注力しています。また一方で、コンシューマーヘルスケア領域ではビタミン含有保健剤「チオピタ・ドリンク」がよく知られています。

特にがん領域に意欲的に取り組み、多くの抗がん剤を開発・上市しています。自社の主力抗がん剤の一つに代謝拮抗剤（がん細胞のなかに“偽のパーツ”を紛れ込ませて細胞増殖をできなくする薬剤）「ティーエスワン」があります。そして昨年、世界に先駆けて日本で承認取得・発売した「ロンサーフ」は、自社で創薬・臨床開発した最新の薬剤で、欧米を中心にグローバル展開をふまえ、本年欧米で承認申請を行っています。同時にがん細胞の増殖、生存、血管新生、薬剤耐性、がん細胞における特異的な代謝等を狙った分子標的薬についても多くの化合物を創製し、臨床開発段階に入っています。中堅企業で活気に満ちた企業です。研究本部はつくばエリアと徳島エリアとがあります。つくばエリアは2009年に開設。上記3領域におけるアンメットメディカルニーズ（まだ治療法が確立できていない医療上のニーズ）に対する新薬候補化合物の創製を主に行い、多くの成果を上げています。今後、つくばエリアでの連携強化を期待しているとのことでした。業務に関連した異分野交流を含めた連携に意義を感じている一方、そのきっかけが不足しているとのことをご意見を伺い、SATの活動を賛助会員企業によく知って頂くと共に、今後ともいろいろと企画していかなければと改めて思いました。

インタビューを終えて、「大鵬薬品さんは開発精神に溢れた企業であり、その企業から元気を分けて頂いた」と感じました。

（伊ヶ崎記）

（大鵬薬品工業（株）のURL）  
<http://www.taiho.co.jp/>

## 日清製粉株式会社 つくば穀物科学研究所

平成27年6月19日、午後から出かけた日清製粉（株）つくば穀物科学研究所はつくばの北部に位置するテクノパーク大穂にあります。到着時はまだ雨が残っていましたが、晴れた日には筑波山が綺麗に見えるということでしたが、見ることは出来ず、残念でした。

日清製粉グループは、私にとってはフラワー、お好み焼き粉、唐揚げ粉、ママーSPAゲティなどの印象が強い会社です。会議室には普段良く目にする商品に加えて、業務用の大きな紙袋に入った小麦粉や最近開発されたクッキングフラワーなどをご用意頂いており、当グループの商品の幅の広さには驚かされました。

事前にお問い合わせしていました所内見学から始まりまして。ご対応はつくば穀物科学研究所の早川克志所長、中村健治主任研究員です（SATからは洪尾事務局長、伊ヶ崎）。小麦粉の各種成分の分析装置、DNA解析装置、小麦の粉碎装置、異物除去装置、小麦粉の二次加工性（製パン性、製麺性など）に関連した生地特性解析装置等の丁寧な説明を頂きました。見学の後、予め伝えてありました質問事項に沿う形で早川所長からパワーポイントを使って説明頂いた後、インタビューに入りました。

小麦の製粉企業国内90社のうち、ナンバーワンの取扱量を誇り、粉体技術に関しても高い技術力を誇る日清製粉（株）らしく、自社での研究開発に誇りを持っていることを強く感じました。単なる製粉事業だけではなく、一般消費者の方々のニーズを解析し、パン、麺、菓子等を製造しているユーザー企業に新製品、新技術を提案する、いわば提案型の研究開発・営業を行い、この中でつくば穀物科学研究所は、原料小麦、小麦粉製品の品質管理や製造、開発を支援する技術開発を担当していることがよくわかりました。

またつくばの地の利を生かしての公的研究機関との連携・共同研究にも積極的です。つくばの公的研究機関に感謝しつつも、民間ではなかなか手が付けられないが、しかし将来的には大きな流れになるような領域の研究開発をしっかりと実施して欲しいという要望は公的研究機関に働くものにとって、是非心に留めて頂きたい言葉とと思いました。

昨年SATに加盟頂きましてから、SAT事業にも積極的に参加頂いています。今後も積極的に若手も含めて参加していきたいとのこと、満足頂けますように我々SATも努力しなければと改めて思いました。

（伊ヶ崎記）

（（株）日清製粉グループ本社のURL）  
<http://www.nisshin.com>

## 第2回SATサイエンス・カフェ開催 「マイクロバブル・ナノバブルの応用」

去る4月22日(水)の夕方に、第2回SATサイエンス・カフェが開催されました。今回は、(公財)つくば科学万博記念財団のご協力を得て、TXつくば駅の北側にあるつくばエキスポセンター内の「レストラン滝」を会場としました。講演内容(マイクロバブル・ナノバブル)に話題性があり、かつ開催時間も前回よりも一時間早い17:00~19:00と設定したこともあってか、参加者も40名近くと予想外に多くの方々にご参加頂き、大変盛況裏に開催を終えることができました。写真はそのサイエンス・カフェの一場面です。今回は特に話題技術の応用について関心が高かったためか、参加者の約半数が食品、病院、製薬、バイオ、商社など企業関係者で、残り半数は大学・研究機関関係者と財団・センター等公的な法人関係者が各1/4と、企業関係者が多かったことが特徴といえます。このような広い分野の企業関係者、研究者によるSATサイエンス・カフェは「知の触発」にも繋がっていく場として期待されます。

「カフェ」は、先ず主催者を代表してSAT副会長の岡田雅年氏による開会挨拶で開始され、次いで産業技術総合研究所の高橋正好研究主幹から、最近多くの分野で注目されている「マイクロバブル・ナノバブルの応用」について話題提供をして頂き、引き続き質疑応答等フリーディスカッションをする形で進められました。

高橋氏からは、最初にマイクロ・ナノバブルの基本概念と具体的な製造方法、製造されたマイクロ・ナノバブルの物性などの技術的基礎を解説され、その後、応用が期待されている広範な分野での実用化事例や研究事例の紹介がありました。具体的にはすでに普及段階にある食品の殺菌から、産総研で開発された半導体製造時のレジスト除去技術に関する最新の研究成果、九州大による内視鏡利用時等における大腸洗浄や自治医大による動脈硬化治療例など最近特に注目を集めている医療分野における研究事例に至るまで、幅広い応用分野を最新の技術動向を含めて大変分かり易くご紹介頂きました。このため、それに続く質疑応答も極めて活発なものとなりましたが、最終的には時間切れとなってしまったことは残念でした。また、別の機会を設けて今後の課題・発展方向に関して等の議論も必要と思いました。

また、この質疑応答時には、バブルに内包させる気体としては空気、酸素、窒素、炭酸ガス、オゾン等が利用可能で、殺菌目的では酸素やオゾン等を用いるなどその目的により適宜利用されることなども紹介されました。特に注目されたのは、空気内包ナノバブルを金属の切削時に利用する事例で、その理由はまだ不明とのことですが、顕著な温度上昇抑制効果が見られ、作業環境の保安など工業的には大変大きなメリットが得られるため、すでに実際に利用さ

れているとのことでした。このように、新しい応用展開も始まっているようです。また研究や実証試験の結果では、明らかにマイクロ・ナノバブルの添加効果が見られる事例でも、その作用機構が必ずしも明確にされていないことが多いため、応用分野開拓だけではなくその作用機構の解明等も目的とする研究が産総研を中心に進められているとの話がありました。

SATサイエンス・カフェもまだ2回の開催であるため、主催者としては開催形式や準備の仕方、開催結果のアンケート集計などまだまだ改良の余地が大きく、関係者は今後一層の努力をしたいと思っています。皆様におかれましても今後とも引き続きご支援・ご協力のほどよろしくお願い申し上げます。

今後のSATサイエンス・カフェにつきましてのご意見・ご要望等を事務局(academy@epochal.or.jp)まで、Eメールでご遠慮なくお寄せ下さい。

(サイエンスカフェ担当コーディネーター補佐 中根、コーディネーター 伊ヶ崎)



写真1. 会場風景

## SATからのお知らせ

## 江崎玲於奈賞、つくば賞、つくば奨励賞授賞式、記念講演会

第12回江崎玲於奈賞、第26回つくば賞、第25回つくば奨励賞の選考会が9月3日につくば国際会議場で開催され、次の方々が選ばれました。授賞式と記念講演会は11月24日（火）午後、つくば国際会議場にて開催されます。日本の最先端研究の状況を知る良い機会です。会員の皆様のご参加をお待ちしています。

## ○第12回江崎玲於奈賞

相田卓三（東京大学大学院 工学系研究科 教授）  
「有機分子材料のメゾスケール構造制御と新機能発現」

## ○第26回つくば賞

澁谷 彰（筑波大学 医学医療系・生命領域学際研究センター 教授）  
「難治疾患の克服を目指した免疫受容体の研究」

## ○第25回つくば奨励賞（実用化研究部門）

韓 立彪 産業技術総合研究所 材料・化学領域  
触媒化学融合センター  
ヘテロ原子化学チーム 研究チーム長  
佐賀勇太 片山化学工業株式会社 生産本部  
P事業推進室P開発グループ リーダー  
「次世代リン化合物製造法の開発と製品化」

## ○第25回つくば奨励賞（若手研究者部門）

野崎隆行 産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域 スピントロニクス研究センター  
電圧スピントロニクスチーム 主任研究員  
「超省電力高速スピン制御技術の実現とその応用」

## SAT行事案内

### 1. 第10回SATつくばスタイル交流会開催のご案内

サイエンス&アートをテーマにした「SATつくばスタイル交流会」を開催します。講演後は、三笑亭夢花師匠による落語をお楽しみください。

日時：2015年11月28日（土） 13：30～

場所：つくば国際会議場 中ホール300

講演：宇宙に生物はいるか

科学ジャーナリスト

餌取 章男氏（SAT運営会議委員）

落語：三笑亭夢花師匠

参加費：無料

参加申込：事務局まで電話（029-861-1206）またはメール（academy@epochal.or.jp）で、「SATつくば交流会参加」と明記し、氏名、連絡先（住所、電話）を連絡ください。

### 2. 第7回SAT研究情報交換会開催のご案内

テーマを決めての分野横断的な交流会です。

日時：平成27年10月9日（金） 17：00～20：30

場所：物質・材料研究機構（千現地区） 研究本館

8階中会議室（811、812室）

テーマ：「ものづくりにおける磁場効果の利用」

プログラム：講演（1時間）

・廣田憲之氏（物質・材料研究機構）

「強磁場の発生とその磁気科学的応用」

・中村 顕氏（東京大学大学院農学生命科学研究科）

「強磁場・高磁気力を利用したタンパク質結晶の高品質化」

・目 義雄氏（物質・材料研究機構）

「強磁場によるセラミックスの配向制御」

・フリーディスカッション（50分）

・強磁場発生装置の見学後、交流会

参加費：無料（但し、交流会は1,000円/人）

参加申込：メールでacademy@epochal.or.jpまで、「SAT研究情報交換会参加」と明記し、氏名、勤務先、ご専門、交流会参加の有無をご連絡ください。

### 3. 第13回SAT賛助会員交流会開催のご案内

賛助会員とつくばの研究者の交流会です。

日時：平成27年11月9日（月）午後1時～

場所：つくば国際会議場202B

会員企業事業紹介：

日清製粉株式会社つくば穀物科学研究所、日京テクノ株式会社、日本エクシード株式会社

研究者研究紹介：

阿部豊様（筑波大システム情報系教授/マイクロバブル関連研究）

北本大様（産総研機能化学研究部門部門長/バイオサーファクタント関連研究）

小早川達様（産総研人間情報研究部門主任研究員/官能試験関連研究）

参加申込：メールでacademy@epochal.or.jpまで、「SAT賛助会員交流会参加」と明記し、氏名、勤務先をメールでご連絡ください。

詳細は追って、HPに掲載いたします。

### 4. テクノロジーショーケース2016 開催のご案内

2016年2月4日（木）に開催します。今回の実施協力機関は土木研究所で、「ようこそ！インフラ技術のショーケースへ ～未来の豊かな生活を支える知恵と技術」がメインテーマです。一般ポスター発表、つくば発注目研究ポスター発表、企画展示、特別講演（土木研究所理事長の魚本健人

様）、ミニシンポ等が予定されています。

ご発表・ご参加をお待ち申し上げます。

<http://www.science-academy.jp/showcase/index.html>をご参照ください。



## つくばサイエンス・アカデミー役員

平成 27 年 7 月 22 日現在

## ◆会長

江崎玲於奈 一般財団法人茨城県科学技術振興財団理事長・つくば国際会議場館長

## ◆副会長

村上 和雄 公益財団法人国際科学振興財団理事／国立大学法人筑波大学名誉教授  
岡田 雅年 国立研究開発法人物質・材料研究機構名誉顧問

## ◆運営会議委員

青木 雅博 株式会社日立製作所材料イノベーションセンター長  
石田 瑞穂 国立研究開発法人産業技術総合研究所・国立研究開発法人防災科学技術研究所  
客員研究員

市原 健一 つくば市長  
井邊 時雄 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構理事長  
\*魚本 健人 国立研究開発法人土木研究所理事長  
潮田 資勝 国立研究開発法人物質・材料研究機構理事長  
餌取 章男 科学ジャーナリスト  
太田 敏子 国立大学法人筑波大学名誉教授  
岡田 安弘 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構理事  
岡田 義光 国立研究開発法人防災科学技術研究所理事長  
小幡 裕一 国立研究開発法人理化学研究所バイオリソースセンター長  
貝沼 圭二 公益社団法人大日本農会理事  
金山 敏彦 国立研究開発法人産業技術総合研究所副理事長兼つくばセンター長  
木阪 崇司 公益財団法人つくば科学万博記念財団相談役  
岸 輝雄 新構造材料技術研究組合理事長／東京大学名誉教授  
久野美和子 国立大学法人電気通信大学客員教授／内閣府地域活性化伝道師  
後藤 勝年 国立大学法人筑波大学名誉教授  
小玉喜三郎 国立研究開発法人産業技術総合研究所特別顧問  
澁谷 勲 株式会社常陽銀行経営顧問  
住 明正 国立研究開発法人国立環境研究所理事長  
関 正夫 関彰商事株式会社代表取締役会長／一般社団法人茨城県経営者協会名誉会長  
中鉢 良治 国立研究開発法人産業技術総合研究所理事長  
永田 恭介 国立大学法人筑波大学学長  
中村 道治 国立研究開発法人科学技術振興機構理事長  
西村 暹 国立大学法人筑波大学生命科学動物資源センター客員研究員  
沼尻 博 沼尻産業株式会社代表取締役会長  
橋本 昌 茨城県知事

\*林 純一 国立大学法人筑波大学特命教授  
板東 義雄 国立研究開発法人物質・材料研究機構フェロー  
三村 信男 国立大学法人茨城大学学長  
丸山 清明 東京農業大学客員教授  
\*渡戸 満 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センター所長代理  
吉武 博通 国立大学法人筑波大学ビジネスサイエンス系教授  
吉田 茂 一般財団法人茨城県科学技術振興財団専務理事  
和田祐之助 茨城県商工会議所連合会会長／株式会社祐月本店会長

## \* 新任委員

計 38 名  
(五十音順)

# つくばサイエンス・アカデミー賛助会員一覧

(五十音順)

アステラス製薬株式会社	つくば研究センター	株式会社 常陽産業研究所	日清製粉株式会社	つくば穀物科学研究所
荒川化学工業株式会社	筑波研究所	関彰商事株式会社	株式会社日本触媒	筑波地区研究所
育良精機株式会社		株式会社セノン	日本新薬株式会社	東部創薬研究所
株式会社池田理化		茨城支社	日本ハム株式会社	中央研究所
一般社団法人 茨城県経営者協会		大鵬薬品工業株式会社	日本エクスード株式会社	研究本部 (つくばエリア)
茨城県信用組合		大陽日酸株式会社	日本電気株式会社	つくば研究所
インテル株式会社		つくば研究所	日本電子株式会社	筑波研究所
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	筑波宇宙センター	高橋興業株式会社	浜松ホトニクス株式会社	筑波研究所
株式会社エア・リキード	ラボラトリーズ	株式会社つくばエッサ	日立化成株式会社	筑波総合研究所
株式会社S・Labo		公益財団法人つくば科学万博記念財団	株式会社日立製作所	日立研究所
オークラフロンティアホテルつくば		一般社団法人つくば観光コンベンション協会	不二製油株式会社	つくば研究開発センター
国立研究開発法人 科学技術振興機構		株式会社つくば研究支援センター	国立研究開発法人 物質・材料研究機構	ペンギンシステム株式会社
カゴメ株式会社	研究開発本部	つくば国際会議場	国立研究開発法人 防災科学技術研究所	
株式会社カスミ		株式会社つくば山水亭	三菱化学株式会社	RD戦略室 筑波センター
キッコーマン株式会社	研究開発本部	つくば市	水戸商工会議所	
株式会社クラレ	つくば研究センター	つくば市商工会	公益財団法人 山田科学振興財団	
クリタ分析センター株式会社		筑波家田化学株式会社	理想科学工業株式会社	理想開発センター
株式会社クレフ		筑波学園ガス株式会社		(62企業・団体)
公益財団法人 国際科学振興財団		株式会社 筑波銀行		
株式会社Scientific Language		ツジ電子株式会社		
株式会社JTBコーポレートセールス		テスコ株式会社		
株式会社 常陽銀行		東京化成工業株式会社		
		戸田建設株式会社		
		技術研究所		
		日京テクノス株式会社		

平成27年9月8日現在

## 編集委員

- 内山俊朗 / 国立大学法人筑波大学芸術系
- 金岡正樹 / 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
- 川添直輝 / 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 五藤大輔 / 国立研究開発法人国立環境研究所
- 角田方衛 / 一般財団法人新技術振興渡辺記念会
- 田中斎仁 / 株式会社クラレ
- 東口 達 / 日本電気株式会社
- 松崎邦男 / 国立研究開発法人産業技術総合研究所

## SAT編集事務局

- 岡田雅年 / つくばサイエンス・アカデミー副会長
- 丸山清明 / つくばサイエンス・アカデミー総務委員長
- 洪尾 篤 / つくばサイエンス・アカデミー事務局長
- 伊ヶ崎文和 / つくばサイエンス・アカデミーコーディネータ

## 編集後記

会誌28号の巻頭言は産総研金山敏彦副理事長に「つくば研究学園都市からイノベーションを」と題した寄稿を頂いた。持続的な社会発展のためにつくばの研究機関が有する優れた技術成果を総合することによってイノベーションに繋げることが求められていること、そのナノテク版が特集として取り上げた日本的つくば流モデルである「つくばイノベーションアリーナ ナノテクノロジー拠点 (TIA-nano)」であることが述べられている。

特集「TIA-nanoの現状と動向」は、研究機関の壁を越えてつくばの4機関(産総研、物材機構、筑波大学、KEK)が経団連の支援を受けて創設したTIA-nano第1期の成果を中心としてまとめたものである。つくばの更なる発展には研究機関の壁を越えた取り組みが必要であるが、これが現実には難しい。特集は現実に直面した課題解決に取り組みながら、得られた産学官の貴重な成果が示されている。第2期での飛躍を期待したい。

今回、SATフォーラム2015報告として、昨年ノーベル物理学賞受賞の中村修二教授(UCSB)をお迎えしての講演内容を角田編集委員にまとめて頂き掲載した。多くの聴衆を惹きつけた講演を誌面で再現できたと思っている。

つくば賞その後-5では「つくば高血圧マウスとつくば低血圧マ

ウス」の創作とその解析」で受賞された村上和雄先生に受賞に至った経緯および受賞後の「心が遺伝子の動きを調節する」という仮説の検証について執筆頂いた。

研究室レポートではJAXA宇宙医学生物学研究グループの村井正参事に「宇宙から学ぶ究極の予防医学」を執筆頂いた。「宇宙旅行は加齢の加速系」であり、これを地上における高齢化社会に役立てる予防医学を目指しているとのこと。なるほどとの思いで読ませて頂いた。

科学の散歩道では筑波大学の林純一先生に「老化ミトコンドリア散歩道」を執筆頂くことが出来た。ミトコンドリアDNAに関する従来の定説を打ち破った話して面白い。

SATサイエンスカフェの「マイクロバブル・ナノバブル」では講師の産総研高橋正好様、賛助会員訪問記では大鵬薬品工業(株)、日清製粉(株)にはお世話になった。

SAT会誌の編集・出版に初めて関わり、決められたページ数に合わせるのに苦労したが、特集で全面的に協力頂いた岩田普事務局長はじめTIA-nano事務局の皆様および執筆頂いた皆様のお陰で無事出版に漕ぎ着けることが出来た。感謝申し上げます。

(伊ヶ崎記)

(一財)茨城県科学技術振興財団 つくばサイエンス・アカデミー

## 入会申込書

(FAX TO: 029-861-1209)

※入会をご希望の方は、本申込書を FAX または郵送にて下記事務局宛にお送りください。

会員番号			入会申込年月日	年	月	日
フリガナ			会 員 種 別	<input type="checkbox"/> 正 <input type="checkbox"/> 学生		
氏 名	姓	名	性 別	男 ・ 女		
英 文	Family	Given	生 年 月 日	年	月	日
自宅住所	(〒 )					
電 話			F A X			
勤 務 先	名 称					
	所 属					
	部 課					
	職 名					
	所在地	(〒 )				
	電 話			内 線		
	F A X			E-mail		
学 歴	<input type="checkbox"/> 学生 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 修士 <input type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> その他		最終学位取得年	_____年 (西暦)		
関連所属学会						
専門分野						
これまでの主な業績						
受賞記録						
代表的な論文テーマ						
簡単な履歴						
得意とする講演テーマ						
●太枠内のみにご記入ください。			連 絡 先	自 宅 ・ 勤 務 先		
●経歴書、プロフィール等お待ちの方は、添付していただいて結構です。						
●学生会員として入会を希望される方は、学生証等の証明書のコピーを合わせてお送りください。						

## 入会申込みについて

## ■ 個人会員

## 1. 入会申込書

入会申込書に必要な事項をご記入の上、本会事務局宛お送りください。入会の承認は、諸手続きを経ますので、若干時間を要します。事務手続きが終了次第、会員番号を記載した入会承認書と会費納入方法に関する書類をお送りいたしますので、指定された方法によりご入金をお願いいたします。

## 2. 会 費

本会では、入会金は不要です。下記の年会費のみお支払いください。

一般会員 5,000円  
学生会員 3,000円  
特別会員 10,000円

## ■ 賛助会員

## 1. 入会申込みについて

下記事務局にご連絡ください。所定の申込書をお送りいたします。

## 2. 会 費

賛助会員 1口50,000円 (複数口のご協力を期待しています)

## ■ 申込み・問合せ先 (個人・賛助会員とも)

(一財)茨城県科学技術振興財団 つくばサイエンス・アカデミー 事務局  
〒305-0032 つくば市竹園2-20-3 つくば国際会議場内  
TEL: 029-861-1206 FAX: 029-861-1209 E-mail: academy@epochal.or.jp

# Contents No.28 September 2015

- 表2 ●巻頭言  
**つくば研究学園都市からイノベーションを**  
産業技術総合研究所 副理事長・つくばセンター長 金山 敏彦
- 2 ●特集 **つくばイノベーションアリーナ ナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) の現状と動向**  
つくばイノベーションアリーナ ナノテクノロジー拠点 (TIA-nano) の概要と今後の展望  
TIA-nano 運営最高会議 事務局長 岩田普、事務局長 菱田俊一、事務局長 野家 彰、事務局長 池田 進  
～基礎から開発段階での成果～  
物質・材料研究機構 (NIMS) ナノ材料科学環境拠点 (GREEN) の活動紹介  
NIMS フェロー・ナノ材料科学環境拠点長 魚崎浩平  
相変化メモリデバイス (TRAM) の研究開発と展望  
産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 首席研究員 富永淳二  
～実証段階での成果～  
MEMS 新潮流 オープンイノベーションで開発 3軸触覚センサ  
一般財団法人マイクロマシンセンター 渡辺秀明、タッチエンス株式会社 丸山尚哉  
～事業化への橋渡しでの成果～  
富士電機6インチSiC量産工場  
富士電機株式会社 技術開発本部 次世代デバイス開発センター 木村 浩  
電子デバイス事業本部 開発統括部 山崎智幸  
技術開発本部 次世代デバイス開発センター 渡邊雅英  
SGCNTの量産実証プラントから製造プラント建設  
日本ゼオン株式会社 特別経営技監 元取締役常務執行役員 荒川公平  
～光・量子計測での成果～  
「つくば」だからできる機関を跨ぐ新しい連携・連動 TRX  
高エネルギー加速器研究機構 池田進  
～共用機器整備での成果～  
産業技術総合研究所における共用施設  
産業技術総合研究所 TIA 推進センター・共用施設運営ユニット 共用施設ステーションステーション長 多田哲也  
～人材育成での成果～  
TIA 連携による人材育成  
筑波大学大学院 数理物質科学研究科 研究科長 木越英夫
- 22 ●SATフォーラム2015開催  
2014年ノーベル物理学賞を受賞した中村修二教授を迎えて
- 29 ●つくば賞その後-5  
「つくば高血圧マウスとつくば低血圧マウスの創作とその解析」  
筑波大学名誉教授 村上和雄
- 31 ●研究室レポート  
「宇宙から学ぶ究極の予防医学」  
宇宙航空研究開発機構 宇宙医学生物学研究グループ 参事 村井 正
- 33 ●科学の散歩道  
「老化ミトコンドリア散歩道」  
筑波大学生命環境系 特命教授 林 純一
- 35 ●賛助会員企業訪問記  
大鵬薬品工業株式会社 研究本部 (つくばエリア)  
日清製粉株式会社 つくば穀物科学研究所
- 36 ●第2回SATサイエンス・カフェ開催  
「マイクロバブル・ナノバブルの応用」
- 37 ●SATからのお知らせ  
江崎玲於奈賞、つくば賞、つくば奨励賞授賞式、記念講演会 (2015年11月24日)  
SAT行事案内 第10回SATつくばスタイル交流会 (2015年11月28日) 第7回SAT研究情報交換会 (2015年10月9日)  
第13回賛助会員交流会 (2015年11月9日) テクノロジーショーケース2016 (2016年2月4日)
- 39 ●つくばサイエンス・アカデミー役員
- 40 ●つくばサイエンス・アカデミー賛助会員一覧／編集後記

**SAT** Science Academy of Tsukuba  
つくばサイエンス・アカデミー ©  
発行:(一財)茨城県科学振興財団つくばサイエンス・アカデミー

事務局

<http://www.science-academy.jp/>

■(一財)茨城県科学振興財団つくばサイエンス・アカデミー

つくば市竹園2-20-3 つくば国際会議場内 〒305-0032

TEL:029-861-1206 FAX:029-861-1209 Email:academy@epochal.or.jp

発行日:2015年9月30日

発行人:江崎玲於奈

編集人:内山俊朗 金岡正樹 川添直輝 五藤大輔

角田方衛 田中齋仁 東口 達 松崎邦男

岡田雅年 丸山清明 波尾 篤 伊ヶ崎文和