

Science Academy of Tsukuba

SAT

No. 41

April 2023

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

つくばの明日はSATがつくる



▷ 2022年度第19回江崎玲於奈賞・第33回つくば賞・第32回つくば奨励賞

▷ SATテクノロジー・ショーケース2023

特別シンポジウムテーマ「加速器だから見える世界」

▷ つくば賞その後-17: 「単原子の分析を可能にする超高感度電子顕微鏡技術の開発」

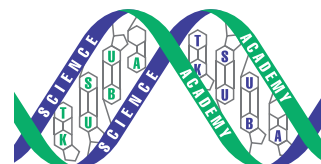
▷ つくば研究情報 ー若手研究者、外国人研究者の活躍ー

「身の回りで進行する細胞内共生進化」

「私の研究交流活動および日本文化の体験」

▷ 科学の散歩道: 「医工融合教育研究への挑戦」

▷ 賛助会員最前線



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

2022年度

第19回江崎玲於奈賞・第33回つくば賞・第32回つくば奨励賞

茨城県科学技術振興財団では、国内において、ナノサイエンス又はナノテクノロジーに関する研究に携わり、世界的に評価を受ける顕著な研究業績を挙げた研究者に江崎玲於奈賞を授与しています。

また、茨城県内において科学・技術に関する研究に携わり、世界的に評価を受ける顕著な研究成果を収めた研究者、研究結果が実用化されるなどの成果を収めた研究者及び今後飛躍的な研究成果が期待できる若手研究者に、それぞれつくば賞、つくば奨励賞（実用化研究部門、若手研究者部門）を授与し、科学・技術の振興及び産業の活性化に寄与するとともに、「科学技術創造立県いばらき」を広く全国にPRしています。

江崎玲於奈賞には本賞（賞状）、副賞（協賛：関彰商事株式会社）と記念品、つくば賞には賞状、賞牌、副賞（協賛：茨城県）、つくば奨励賞の2部門（実用化研究部門と若手研究者部門）にはそれぞれ賞状、賞牌、副賞（協賛：つくば市）が授与されます。受賞者一覧を財団のWebページに掲載しています。

2023年3月10日（金）、つくば国際会議場にて2022年度の江崎玲於奈賞・つくば賞・つくば奨励賞の授賞式を開催しました。今回の授賞式は3年ぶりに各賞合同で行いました。受賞者の方々と財団理事・SAT副会長の丸山清明の他、ご協賛頂いている関彰商事（株）代表取締役社長 関正樹様、茨城県産業戦略部技術振興局長 薄井秀雄様、つくば市長 五十嵐立青様にご出席頂き行いました。

2022年度の上記各賞は、下記の方々に授与されました。

○第19回江崎玲於奈賞

国立大学法人 東京大学 大学院農学生命科学研究科 特別教授 …………… 磯貝 明 氏
「植物由来の完全分散化セルロースナノファイバーの創製と応用に関する研究」

○第33回つくば賞

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 …………… 足立伸一 氏
同機構 物質構造科学研究所 准教授 …………… 野澤俊介 氏
「放射光X線による分子動画計測法の開発」

○第32回つくば奨励賞(実用化研究部門)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点
磁気記録材料グループ グループリーダー …………… 高橋有紀子 氏
同機構 理事長 …………… 宝野和博 氏
「FePt-C系熱アシスト磁気記録媒体の開発」

○第32回つくば奨励賞(若手研究者部門)

国立大学法人 筑波大学 数理物質系 准教授 …………… 都甲 薫 氏
「高機能性多結晶薄膜の低温合成とデバイス応用に関する研究」

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 磁性スピントロニクス材料研究拠点
主幹研究員 …………… Hosein Sepehri-Amin 氏
「希少元素を用いない新規高性能永久磁石材料の研究」

(関連リンク: 茨城県科学技術振興財団 Web ページ)

江崎玲於奈賞・つくば賞受賞者紹介 <https://www.i-step.org/prize/award/>

第19回江崎玲於奈賞

植物由来の完全分散化セルロースナノファイバーの創製と応用に関する研究

東京大学 大学院農学生命科学研究科 特別教授
磯貝 明

植物は光合成により、成長段階で大気中のCO₂をセルロース、ヘミセルロース、リグニンという有機高分子に変換－固定化－蓄積し、同時に酸素を放出する「CO₂の還元反応」を行います。全ての生物は酸素を吸収し、二酸化炭素を放出する「酸化反応」によって生命を維持していますが、成長段階の植物は、生命を維持するために放出するCO₂量よりも、植物体を形成するために吸収するCO₂量の方が多いため、例えば樹木であれば、植林－育林－伐採－利用－植林の循環を進めることは、大気中のCO₂の固定化－削減と、それによる様々な環境問題の解決の一助になる可能性があります。従いまして、2050年までのカーボンニュートラルの達成、化石資源のみに依存しない循環型社会基盤の構築には、植物資源の質的・量的利用の拡大は不可欠です。

40年以上前に、農学部に進学したころは、石油系高分子科学の全盛期で、様々な高機能あるいは汎用高分子が合成・製造され、研究・解析され、利用されていました。そこで、植物の主成分であるセルロースという天然高分子から、合成高分子のような自由な化学構造変換とそれによる多種多様な機能発現を可能にすることで、セルロース科学に再び注目が集まることを期待してセルロースの化学反応と生成物の構造・特性解析に取り組みました。しかし、セルロースは風雨や重力、生物アタックから植物体を守るために長い年月を経て結晶性のセルロースミクロフィブリルというナノファイバーを生合成するしくみを構築しているために極めて安定で、その化学構造変換には、多量の有機溶剤と反応薬品、高温で長時間の反応が必要であり、対応して単離・洗浄・精製プロセスでは多量の処理すべき洗浄排液が発生することを実感しました。すなわち、セルロースは化学反応、



左より関正樹 関彰商事株式会社代表取締役社長、
受賞者、丸山清明 SAT 副会長

溶解－再生－成形、糖化－発酵等による変換には、プロセスの環境負荷、エネルギー負荷、変換効率の観点から不向きであるように当時は感じていました。

一方、1995年にオランダの食総研のグループが、水溶性デンプンに対する酸化反応の論文を発表しました。安定ニトロキシラジカルを触媒とする、水系、常温、常圧、短時間の反応で、デンプンのブドウ糖ユニットをほぼ全てグルクロン酸ナトリウムユニットに酸化できるという驚くべき論文でした。そこで、この酸化反応をセルロース、キチン等の水不溶性多糖類に適用することで、新しい多糖化学の基礎研究領域の拡大につながるのではないかという思いで、セルロースの触媒酸化反応に取り組みを開始しました。

その後の研究の過程で、2006年に植物セルロース繊維の触媒酸化と、酸化物の水中での軽微な解繊処理により、約3ナノメートルと超極細かつ均一幅、長さが数マイクロメートルに至る「セルロースミクロフィブリル単位」への完全ナノ分散化法を見出し、その機構を明らかにしました。また、新規セルロースナノファイバー表面の高密度カルボキシ基は、水系での効率的な対イオン交換の足場としての利用が可能であり、新規バイオ系ナノ素材として先端材料に利用可能な多彩な機能を有します。その結果、現在、国内の20社以上の企業が独自のセルロースナノファイバーのパイロットあるいは本格生産を開始しており、川下分野の自動車、電池、家電、建材、日用品、エレクトロニクス等多くの汎用および先端材料関連企業と連携することで、セルロースナノファイバーの実用化とそれによる量的・質的な利用拡大に向けた研究開発が進められています。

第33回つくば賞

放射光X線による分子動画計測法の開発

高エネルギー加速器研究機構 理事 足立伸一
同機構 物質構造科学研究所 准教授 野澤俊介

放射光X線を利用した分子動画計測法（動的X線構造解析法）の開発により、第33回つくば賞を受賞させていただきましたこと、大変光栄に存じます。この場をお借りして、多くの関係各位に深く感謝申し上げます。本件は、2003年から約20年間に亘って続けてきた研究開発の成果です。以下、受賞対象の内容についてご説明いたします。

「百聞は一見に如かず」の言葉の通り、ごく短い時間に分子の構造が時々刻々と変化する様を、あたかも動画を撮影するように原子レベルで精密に計測することは、化学者の究極の夢の一つであります。我々の研究グループでは、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光源加速器から得られる強力な放射光X線を活用して、従来の実験室のX線光源では実現不可能な分子動画計測法を実現し、広く物質科学の基礎分野の発展に資する技術として実用化することを目指して装置開発を進めて参りました。

X線はサブナノメートルの波長を有し、物質中での回折・散乱・吸収などの物理過程を利用することで、非破壊かつ原子レベルの精度で構造研究を行うのに適した光です。実験室で使用されるX線装置は連続的な定常光源であり、専ら物質の長時間にわたる平均構造を調べるための装置として利用されてきました。これに対して本研究では、従来の「静的な構造」に代わり、「動的な構造」を得るために、極短時間（ピコ秒～ナノ秒オーダー）で物質構造の変化を観測する分子動画計測法を開発・実用化しました。この測定手法開発について説明するために、まずは加速器中の電子から放射されるX線（放射光X線）の特徴について簡単にご説明します。

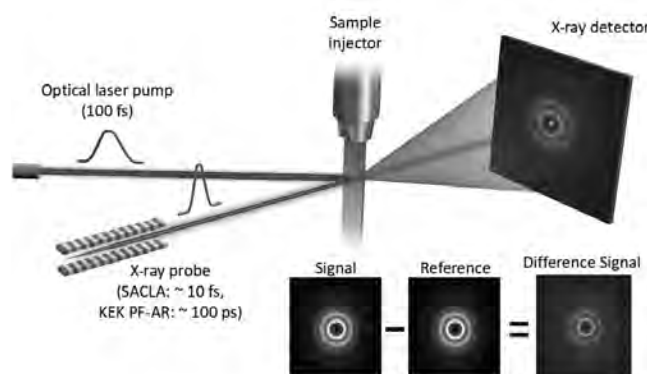
放射光源加速器の中の電子は、超高真空中ではほぼ光速まで加速されて周回しており、加速器リング内に配置された電磁石によって進路が曲げられると、その接線方向に非常に指向性の高い光を放射します。この光をシンクロトロン放射光（または、略して放射光）と呼びます。放射光は幅広い波長範囲をカバーし、特に波長の短いX線領域の光を放射光X線と呼びます。加速器中で周回する電子は、放射光を放出することによってそのエネルギーを失い、そのまま放っておけば真空容器内の壁に衝突して加速器リング内の周回軌道から消失して



左より、薄井秀雄 茨城県技術振興局長、
受賞者（野澤、足立）、丸山 SAT 副会長

しまうので、電子が放射光として失ったエネルギー分を補ってリング内で周回させ続けるために高周波電場を用いて電子を周期的に加速しています。この周期的な加速機構により、電子は「電子バンチ」と呼ばれる集団となってリングを周回し、電子バンチから得られる放射光は、その電子バンチの長さに応じた短い時間幅を持ったパルス状のX線となります。その結果、放射光X線の時間幅はおおよそ10ピコ秒から100ピコ秒程度となり、この時間幅が分子動画測定的时间分解能を決定します。

我々の装置開発においては、KEKの放射光源加速器PF-ARを利用できたことが鍵となりました。PF-ARは、通常の光源加速器より低い繰り返し周波数で放射光X線を発生させる世界的にも大変ユニークな運転を実施しており、「動的な構造」に対してより鮮明なX線ストロボ撮影が可能となります。したがって、本研究はKEKの特徴を活かした独自性の高い研究成果であるといえます。また本手法を人工光合成研究における光触媒反応など、さまざまな化学反応に応用するとともに、本手法を新たなX線光源であるX線自由電子レーザーにも展開して、さらに短時間（フェムト秒オーダー）の時間分解X線計測にも成功しました。今後は、放射光X線を利用した分子動画計測法の適用範囲をさらに拡大して、物質・材料科学や生命科学分野に幅広く貢献すべく、データ計測の高効率化、高精度化に取り組んで参る所存です。



放射光X線を利用した分子動画計測法（動的X線構造解析法）の実験模式図。

試料が励起レーザー光で照射される前後のX線散乱の差分信号から動的構造情報を取得する。

第32回つくば奨励賞 (実用化研究部門)

FePt-C 系熱アシスト磁気記録媒体の開発

物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点

磁気記録材料グループ グループリーダー 高橋有紀子
同機構 理事長 宝野和博



左より、五十嵐立青 つくば市長、
受賞者 (宝野、高橋)、丸山 SAT 副会長

AI やロボットが多用される超スマート社会では、あらゆる機器からのデータがクラウドを通してデータセンターに保存される。そのデータ量は近年爆発的に増加しており、データセンターに消費される電力は膨大になり、世界的な問題となっている。データセンターのメインストレージである HDD の記録密度の向上はデータセンターにおける電力量の削減に直結するため、HDD メーカーは現行の垂直磁気記録方式の限界を超える新記録方式への移行を目指していた。最も有望な新記録方式は 2000 年に Ruigrok ら⁽¹⁾が提案した熱アシスト磁気記録 (HAMR) 方式 (図 1(a,b)) であるが、実現するためには 6 nm サイズの高い結晶磁気異方性を持つ強磁性粒子を結晶方位を揃えて均一に分散した磁気記録媒体の開発が不可欠であった。

$L1_0$ の規則構造を持つ FePt 合金は高い結晶磁気異方性と優れた耐食性から、熱アシスト磁気記録媒体の材料として注目されていた。しかし、規則化には高温プロセスが必須であり、それが粒子の合体を引き起こすため、媒体で必要とされる均一なナノ粒子構造が得られなかった。我々は FePt と相分離を起こす材料系に着目し、FePt-C において均一なナノ粒子構造と高い磁気特性を得ることに世界に先駆けて成功した [図 1(c~f)]⁽²⁾。開発当初は産業的に実用性のない MgO 単結晶に成長させていたが、我々は当時普及し始めた耐熱ガラス基板に注目し、ガラス基板に MgO 下地層を強い結晶配向で成長させ、その上に強く (001) 配向したナノ結晶 FePt 粒子を C を分離相として均一に分散することに成功した⁽²⁾。この結果は、発表後、直ちに全 HDD メーカーにより追試され、企業における実用化研究が始められた。当初 600° C もの基板加熱が従来の媒体製造装置

で実現不可能とされていたが、FePt-C 系以外に有望な媒体が出ないなか、800°C 基板加熱を可能とする製造装置が開発され、現在では HDD メーカーにより FePt-C 系媒体の量産が可能となっている。これをプロトタイプとした改良媒体は Seagate により実用化され、2020 年 12 月にデータセンターへ出荷された (図 1(g,h))。

HDD は Society5.0 を下支えする基幹デバイスである。現在の市場規模は 2 兆円、今後 AI の活用とともにデータ量、マーケット規模はさらに増大すると予想される。今後はデータ科学を活用した研究を展開することにより更なる高密度化を目指し社会に貢献したい。

- (1) J.J.M. Ruigrok, R. Coehoorn, S.R. Cumpson, and H.W. Kesteren, *J. Appl. Phys.* 87, 5398 (2000).
- (2) A.Perumal, Y.K. Takahashi, and K. Hono, *Appl. Phys. Express*, 1, 101301 (2008).

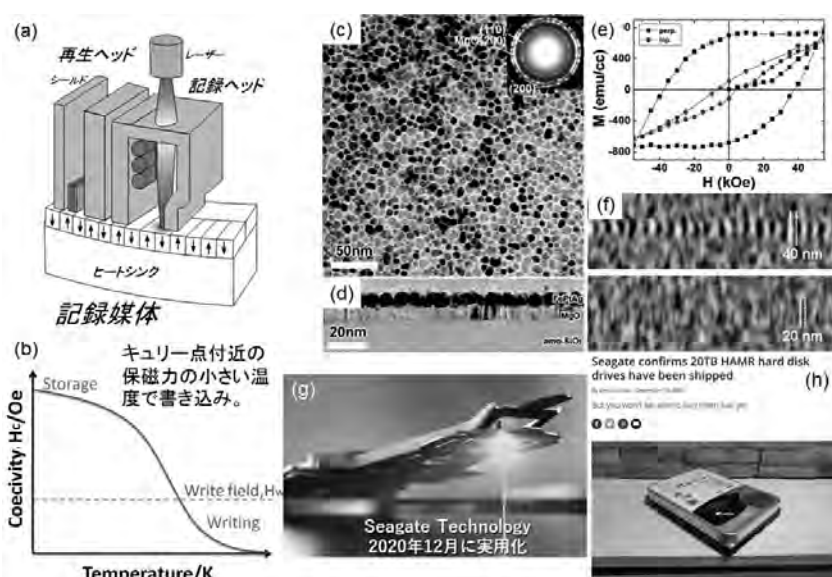


図 1 (a)HAMR の模式図、(b) 保磁力の温度依存性。媒体の温度を上げることにより保磁力を減少させ情報の書き込みを行う、(c)FePt-C グラニューラ薄膜の面内および (d) 断面の TEM 像、(e)FePt-C 薄膜の磁化曲線、(f) 書き込みを行った後の磁気像、550 Gbit/in² を達成。(g)HAMR のヘッド・媒体、(h)HAMR を搭載した HDD

第32回つくば奨励賞（若手研究者部門）

高機能性多結晶薄膜の低温合成とデバイス応用に関する研究

筑波大学 数理物質系 准教授 都甲 薫



情報化社会の発展にともない、私たちの身の回りの電子デバイス数は急速に増加しています。IoT（Internet of Things）や AI（Artificial Intelligence）の登場により、この傾向はますます加速するでしょう。そのような中、「ありふれたモノに対して電気・電子的機能を付与する技術」が求められています。例えば、軽くて丈夫でやわらかいプラスチックフィルムを基材とすることができれば、人、モノ、壁などあらゆる箇所に電子デバイス（ディスプレイ、太陽電池、センサー、バッテリー等）を貼り付けることができます。私たちの暮らしがより快適で安全になるほか、エネルギーを有効に活用することができ、持続可能な社会の一助となります。

電子デバイスの主要な材料である半導体は、「単結晶」の状態の高い機能を発揮します。しかし、汎用基板上に形成した半導体薄膜は小さな結晶からなる「多結晶」となるため、優れた性能は期待できません。また、一般に結晶状態の形成には高温熱処理が必要であり、プラスチックなどの低耐熱素材を基板とするには高いハードルがあります。

そのような中、私たちは半導体材料の多結晶薄膜を汎用基板上に低温合成するプロセス研究で世界をリードしてきました。特に、薄膜が非晶質状態から結晶に成長する過程について、「原子を動きやすくする」あるいは「必要な移動距離を短くする」など微視的観点から制御を図り、これまで世の中になかったユニークなプロセス技術を発信してきました。これらのプロセスを様々な半導体材料に適用することで、絶縁膜やガラス、プラスチックなどの上に低温で合成した多結晶薄膜でありながら、高温合成した単結晶に匹敵する性能を実現することに成功しました。「多結晶薄膜は低性能」

という、これまでの常識を覆す成果です。さらに合成膜の特徴に応じて、太陽電池、熱電発電、トランジスタ、二次電池など、創・省・蓄エネルギーの分野を横断した次世代エレクトロニクスに展開しており、各デバイス分野において世界初、あるいは世界最高の性能を実証しました（図）。これらの成果について約 100 件の論文を執筆し、公開しています。

半導体プロセスは比較的地味な研究分野ですが、昨今の半導体不足による諸問題に代表されるように、私たちの生活に密接した重要な分野だと考えています。この度、私の研究について過大な評価をいただきました審査委員の先生方に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。また、本研究の遂行に多大なるご支援をいただきました筑波大学の末益崇先生および熱意ある学生の皆様をはじめ、多くの共同研究者の方々に深く感謝します。世の中への役に立つ研究成果を発信していけるよう、今後も精進して参ります。

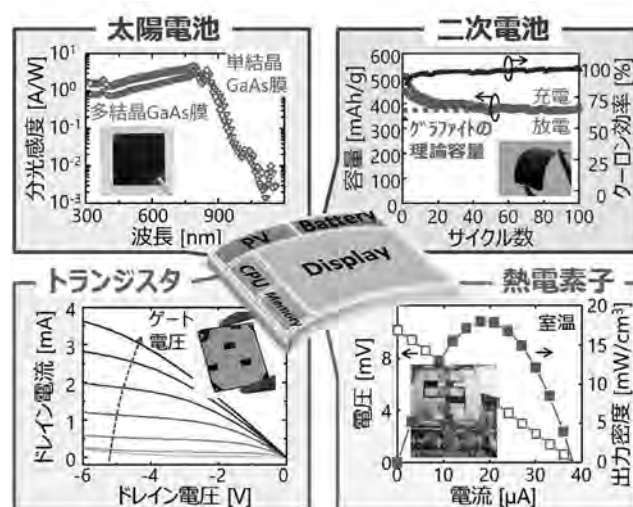


図 高機能性多結晶薄膜のデバイス応用例と革新エレクトロニクスの概念図。

第32回つくば奨励賞（若手研究者部門）

希少元素を用いない新規高性能 永久磁石材料の研究

物質・材料研究機構 磁性スピントロニクス材料研究拠点
主幹研究員 Hosein Sepehri-Amin



永久磁石は、再生可能なグリーンエネルギー技術に不可欠な材料であり、発電、エネルギー変換、輸送に重要な役割を果たしている。さまざまな永久磁石の中でも、Nd-Fe-B 系磁石（以降ネオジム磁石）は、最大の磁気エネルギーを保存できるため、高効率で小型化されたモーター、アクチュエータ、デバイスなどの幅広い用途に使われている。しかし、Nd-Fe-B を主成分とするネオジム磁石の室温保磁力（磁化反転に対する抵抗）はわずか1テスラ程度で、電気自動車の駆動モーターや風力発電機などの動作温度では減磁してしまう。この問題を克服するには、ネオジム磁石の室温保磁力を～2.5 テスラ以上に上げて、温度上昇時の特性劣化分を底上げする必要がある。室温保持力を高めるための産業的アプローチは、(Nd,Dy)-Fe-B 磁石での Dy の使用である。たとえば、エアコンコンプレッサー用の (Nd,Dy)-Fe-B 磁石には 4 wt.% の Dy が、ハイブリッド自動車のトラクションモーターには 8 wt.% の Dy が使用されている。しかし、Dy の天然資源の不足と供給の地政学的な不安定性により、高保磁力の Dy フリー Nd-Fe-B 磁石を開発するための広範な研究が必要とされている。これは、学術界だけでなく、我々の社会や日常生活で Nd-Fe-B 磁石を持続的に使用できるようにするため、産業界においても非常に重要な課題である。

そこで我々はまず、ネオジム磁石の微細構造と保磁力の因果関係を明らかにするために、マルチスケール微細構造解析とマイクロマグネティックシミュレーションを駆使し、長年の謎であった商用ネオジム磁石の低保磁力の原因を明らかにした（図1）。従来 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の結晶粒が非磁性の粒界相で分断されていると信じられて来たのに対し、この粒界相が強磁性であり、この強磁性粒界相を介した $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 結晶粒間の交換結合が低保磁力の原因であることを突き

止めた。この知見に基づき、我々は Nd-Fe-B 磁石の粒界改質のための低融点共晶合金拡散法を開発し、4wt.% の Dy 含有 Nd-Fe-B 焼結磁石と同等の保磁力とより高い最大エネルギー積を有する Dy フリー Nd-Fe-B 磁石の開発に成功した。この低融点共晶合金拡散法は、世界中の磁石研究者にフォローされ、その後の高保磁力 Dy フリー Nd-Fe-B 永久磁石の開発に繋がった。

さらに、我々は、既に資源的な制約が厳しくなっている Dy のみでなく、中長期的にレアアース資源を有効に活用するために非 Nd 系新規磁石開発にも挑戦している。 $\text{Sm}(\text{Fe},\text{Co})_{12}$ 化合物は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ を超える磁気物性値を持つが、高保磁力化が困難で、磁石としては実用化されていない。そこで我々は、これまでの基礎研究に基づき、合金設計と組織制御により SmFe_{12} 系磁石の保磁力が十分に大きいことを実証した。この SmFe_{12} 系磁石に関する研究は、資源的なリスクが少なく、高温特性に優れた次世代の高性能省希土類永久磁石の開発に新たな道を開くことが期待される。



図1 究極性能を有する Dy フリー Nd-Fe-B 永久磁石開発に対する独自の複合的アプローチ：微細構造解析、マイクロマグネティックシミュレーション、材料プロセス。

SATテクノロジー・ショーケース2023

2023 年 1 月 26 日 (木) 開催

つくばサイエンス・アカデミー最大のイベントである SAT テクノロジー・ショーケース 2023 を 1 月 26 日 (木)、国際会議場にて 3 年ぶりに対面で開催し、ポスター発表、特別シンポジウムをはじめ、企画展示や共催機関広報展示、などが行われました。

今回は 3 年ぶりに対面で開催できました。ポスターセッションを除く全て、すなわち中ホールにて行われた講演等の様子を 유튜브 配信しました。ユーチューブとポスターセッション資料は昨年と同様約 1 ヶ月、2/28 まで SAT ホームページに掲載して閲覧可能としました。アブストラクトは従来どおり期限を定めず、掲載しております。

江崎玲於奈会長の開会挨拶 (ビデオメッセージ)

皆さんおはようございます。お忙しいところ「SAT テクノロジー・ショーケース 2023」にご参加賜りましてありがとうございます。

テクノロジー・ショーケースは、このつくばサイエンス・アカデミーの大変重要なイベントの一つでございまして、筑波研究学園都市の研究機関のご協力をいただきながら、2002 年に第 1 回を開催しまして、今回で 22 回目を迎える事になりました。

去年は、新型コロナウイルス感染症の第 6 波の影響により直前の 6 日前に対面開催から、急遽オンライン開催に切り替えました。ポスター発表者の皆様や参加を予定されていた皆様には大変ご迷惑をおかけすることになりました。今回はこれまでの社会情勢等を踏まえ、感染症対策をとりながら対面で開催することといたしました。皆様方には、ご理解をいただき、インデクシング、ポスターセッション、特別シンポジウム、それぞれのイベントを楽しんでいただければ幸いです。

つくばには約 2 万人の研究者がおりまして、注目すべき研究成果、つまり素晴らしいシーズを創り出しておるわけですが、このシーズを如何にニーズに結びつけるかという事がこのショーケースの課題です。つまりどのように研究成果を役立たせるか、いかにビジネス化を図るかということ、これが大変重要なのです。

ショーケースは、シーズをニーズに結びつける役割を演じており、目的の一つとしております。本日は貴重な研究成果を知っていただくよいチャンスでございます。研究の成果を皆さんに知って頂き評価していただく、これが大変重要なことだと思います。

本日は、一般ポスター 105 件と、研究機関を代表する「つくば発注目研究ポスター」4 件、合わせて 109 件のポスターの発表がございました。

皆様にはこの後、1 分間の持ち時間でプレゼンテーションをしていただきまして、ポスター発表とあわせて参加者の皆様に評価していただきます。

すばらしい発表をされた方には、いろいろな賞を用意しておりますので、楽しみにして下さい。

午後には、ポスター発表のコアタイムや高エネルギー加速器研究機構様に企画いただいた、特別シンポジウム「加速器だから見える世界」をテーマに、4 名の先生方にご講演をいただくほか、その後、同機構理事の足立伸一 (あだち しんいち) 様とご講演をされた 4 名の先生方で、「SDGs カーボンニュートラルに関して加速器科学が貢献できること」と題したパネル討論がございました。

皆様には、最後までご参加していただけますようお願い申し上げます。

最後になりましたが、今回ご協力頂きました高エネルギー加速器研究機構の皆様と実行委員の皆様にお礼を申し上げて、開会のご挨拶と致します。



ポスターセッション

以下に研究機関からの推薦によるつくば発注目研究ポスター発表、プレゼン賞を受賞した一般ポスター発表、それらの概要を示します。標題の後の(P-1)(T-1)等はポスター番号、氏名は代表発表者のみを記しています。詳細はSAT ホームページに掲載しているアブストラクトをご参照ください。

つくば発注目研究ポスター発表

●「エアロゾル技術で実現する、疎水性粉体の分散剤フリーな水分散」(T-1) 水野耕平(産総研)

粉体材料を水と混合し均一に分散させることは工業的にごくありふれたプロセスであるが、疎水性の粉体の場合、厄介な課題となりうる。表面の親水化や界面活性剤などの分散剤の添加といった手段が用いられるが、機能低下、健康や環境への影響などが付随することが多い。これを解決するため、エアロゾル計測の分野で用いられる凝縮成長の技術を応用し、6種類の粉体に適用したところ、疎水性を維持したまま純粋に分散できた。

●「高活性電解液および高性能 Mg 金属負極による Mg 金属電池の動作実証」(T-2) 万代俊彦(物材機構)

Li 資源は一部の国や地域に偏在しているため、供給量やコストに懸念がある。そこで地殻中に多量に存在し、かつ海水からも採取可能な Mg を基幹材料とした電池が注目されている。Li イオン電池を凌駕するエネルギー密度も達成可能と期待されるが、課題は多い。Mg 金属は電解液との副反応で容易に不動態化しやすく、これに適した高活性電解液の開発が必要である。新たな合成法を開発し、コストを大幅に削減するとともに、世界最高性能の Mg 析出溶解効率を達成した。

●「エネルギー地産地消を促進する地域エネルギー計画・評価システム」(T-3) 平野勇二郎(国環研)

CO₂を削減するためには、太陽光や風力などの再生可能エネルギーなどの「地産地消」が重要である。一方再生可能エネルギーは、気象条件などにより発電量が変動するものが多く、コントロールが難しいという問題点もある。変動への対処も含め、地域条件に応じて最適なエネルギーシステムを提案するための計画・評価システムを開発した。

●「新しいリアルタイム分光分析法 ～水素製造メカニズム解明に貢献～」(T-4) 川波肇(産総研)

二酸化炭素を使って水素をギ酸として貯蔵する水素

キャリア技術の研究開発に取り組んでいる。実用のための課題のうち、触媒の改良のためには、ギ酸生成および逆過程の分光学的な解明が必要である。しかし、気体(気泡)が液体と混在している場合、プローブ光が、気泡により散乱されて信号強度が時間的に変動し、正確なスペクトルが得られない。溶液セルを高速で回転させると、気泡が中心部分に、液体が外周に集まることに気づき、これによりギ酸スペクトルの取得が可能となった。水素生成時のギ酸の減少から触媒回転速度を見積もることができた。

受賞一般ポスター発表

【総合得点賞】

●「納豆菌 S-903 株は魚類の水温負荷ストレスを緩和する」(P-86) 丹羽晋太郎(県水産試験場)

霞ヶ浦北浦で養殖生産される食用コイは全国1位の生産量を誇り、その全国シェアは36.1%に達する(令和2年)。一方、近年は地球温暖化等により高水温化する夏季湖水温の影響から、成長不良等の課題がみられる。納豆菌 TTCC903 株(S-903 株)を用い、水温負荷ストレス環境下における魚体への菌株投与効果を調べたところ、温度変化に対して体重が安定するなどの効果が見られた。

【ベスト産業実用化賞】

●「VR 技術を用いた河川水位予測情報の 3 次元表示に関する技術開発」(P-62) 諸岡良優(国総研)

国総研では、6 時間先までの洪水危険度等を提供する洪水予測システムを 2019 年から運用しているが、思い込み(正常時バイアス)により住民の避難行動に十分結びついていないとの指摘がある。災害の切迫感や臨場感をより分かりやすくするため、VR(仮想現実)技術を活用した河川水位予測情報の 3 次元表示技術を開発中である。

●「最先端加速器技術で産業を革新する超耐熱高靱性・高電気抵抗率タンゲステン合金」(P-77)

牧村俊助(高エネ機構)

開発を進めてきた超耐熱高靱性 W を半導体製造用の超高温ヒータなどの産業用途に応用するため、高電気抵抗率化を目指した開発を進めた。従来手法では、レアメタルであるレニウムが多量に必要であったが、レニウムの 20 重量% 固溶と同じ効果をわずか 1 重量% のルテニウムにより可能なことを見出した。



【ベスト新分野開拓賞】

●「機械学習を用いた多元 III-V 族化合物半導体のリチウムイオン二次電池負極特性実証」(P-6)

野沢公暉 (筑波大)

Li イオン電池の性能向上に向け、炭素に代わる高容量負極材料の研究が活発化しているが、充電時の体積膨張による容量劣化が課題である。他元合金系負極は体積膨張が緩和されるため期待が高まっているが、最適組成の探索が難しい。半導体工学の分野で長く研究されてきた多元系化合物半導体 (InGaAsSb) に着眼するとともに、ペイズ最適化を用いることで、リチウムイオン電池負極への応用可能性を調査した。ペイズ最適化の有効性の確認と、元素を増やすに従い、性能向上が可能なことがわかった。

●「気相コーティングを用いて簡便に作る撥水紙」(P-74) 戸川英二 (森林機構)

ほとんどのプラスチックは自然界で生分解されないため、問題を引き起こしている。そこで、水をはじく構造を持つ極少量の試薬蒸気で紙を撥水処理する方法を開発した。非常に簡便で、水も触媒も必要とせず廃液を出さないクリーンな方法である。紙の質感や強度はほとんど変化せず、気相コートされた紙は市販の酵素 (セルラーゼ) で分解されることを確認している。紙と同じくセルロースからできている綿織物やセロハンの撥水化にも適用できている。

【ベスト・アイデア賞】

●「ミールワームは発泡スチロールからエネルギーを得ることができるか」(P-3) 小森悠太 (緑岡高校)

鳥類などの餌として広く利用されているミールワームと同じ科には、ポリスチレンのみの餌で3週間生存し、さらに わずかな体重増加も確認されているものがある。ミールワームも同様に、ポリスチレンからエネルギーを得ることができるのではないかと仮説を立て、ポリスチレンを摂食させた場合の生存率、蛹化率の調査をした。体重が増加する結果を得たが、ふすまを与えた場合よりも少なく、エネルギーを得ているものの不十分と考えられる。

●「不安・うつモデルマウスに対する真珠層抽出成分の効果」(P-31) 大町知輝 (室蘭工大)

真珠は古くから生薬として利用されてきたが、その作用機構や有効成分は未だに不明な点が多い。また、真珠を作るアコヤガイの貝殻には真珠とほぼ同じ成分で構成された真珠層が含まれているが、年間 10 万トン以上が水産廃棄物として処理されており、その有効利用が強く求められている。以前、真珠層抽出成分が認知症モデルマウスの記憶障害を改善することを報告したが、今回は認知症による不安・うつ症状への効果を調べた。マウス実験では、これらの症状の抑制と、要因となる神経炎症や酸化ストレス、セロトニン受容体の異常の抑制も確認できた。

●「ベナールセルの水平構造 続 Dr. ナダレンジャーの対流実験教室」(P-106) 納口恭明 (防災科研)

熱対流により形成される細胞状のパターンを、その発見者の名前をとってベナール・セルという。熱い味噌汁の入ったおわんを置いておくと、中に熱対流によるベナール・セルらしき模様ができることはよく知られている。

しかし、そのおわんにふたをすると味噌汁とふたに挟まれた空気の層にもベナール・セルができることはあまり気づかれない。今回、空気とぬるま湯と容器のみで、空気層の熱対流をふたの裏面で結露した水滴で可視化する。

【ベスト異分野交流賞】

●「脳波によるロボット制御システムの開発とその脳トレ競技「b スポーツ」への応用」(P-98)

長谷川良平 (産総研)

重度の運動機能障がい者は認知機能低下のリスクも高い状態にさらされる場合が多い。このような障がい者や高齢者が取り組める脳トレシステムを開発中である。簡便な脳波計測用ヘッドギアを用いて注意の瞬間的な高まりを反映する脳波成分「事象関連電位」を少数試行で検出し、制御パソコン画面上の8種類の選択肢 (サッカーのシュートなど) から一つを選べるようにした。正しく選ぶと実際にロボットがその動作を行う。2人で対戦して正しく速く選べるかを競う。40ペア (半分は高齢者) で試行し、8割が成功 (正しい動作の選択) した。高齢者が若者に勝つことも多い。

【若手特別賞】

●「CXCL10 発現を指標としたウイルス感染モデルの開発と納豆菌体による抗ウイルス作用」(P-57)

藤井恵輔 (県産業技術イノベーションセンター)

納豆菌のような食物由来の抗ウイルス・抗炎症作用を安全かつ簡便に評価できるモデルが無い。コロナウイルス等の一本鎖ウイルスに感染した細胞で産生が誘導されるケモカインの一種、CXCL10 の高発現を特徴とする、安全性と簡便性を兼ね備えた一本鎖 RNA ウイルス感染細胞モデルの作製に成功した。さらにそのモデルによって納豆菌体の抗ウイルス作用を明らかにした。

【学生奨励賞】

●大学院生・大学生の部:「都市域河川水・下水処理放流水中レアメタルの潜在的な人為汚染調査」(P-26)

八井田朱音 (麻布大)

近年、レアメタルの使用量が著しく増加している。これまで ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析法) による直接測定で定量可能な 12 元素の潜在的な人為汚染が観測されていたが、今回有機物の分解を目的とした還流型加熱酸分解を併用したことにより、今まで正確な定量が困難だった希土類元素等の定量が可能になり、Co、Ni、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu の 8 元素についても潜在的な人為汚染が観測された。

●高校生の部:「Scratch を用いた脳トレゲーム「Fruit」の開発とその臨床応用の検討」(P-4)

越後谷芽以 (茗溪学園高校)

軽度認知障害 (MCI) の早期発見に貢献するため、従来の検査法の問題を克服した認知課題「Fruit」(フルーティ) を開発し、多様な年代の方々を対象に実証実験を行い、臨床応用の可能性を検討した。教育用プログラミング言語「Scratch」を利用してゲーム的要素を含めて課題制御を自動化し、健常者で実験したところ、新たに追加した難易度の高い課題では結果の個人差が大きく、軽度な認知機能の低下の検出に有効と期待される結果を得た。

SAT テクノロジー・ショーケース：特別シンポジウム

「加速器だから見える世界」 企画：高エネルギー加速器研究機構(KEK)

「見えないものを見る」ことを可能にする加速器の役割、魅力を取り上げて、物質の根源探索から産業・医療応用まで加速器が広げる世界を紹介するとともに将来の展望を語るシンポジウムを開催した。前半は足立伸一 KEK 理事を座長として4名の専門家にご講演いただいた。後半は勝田敏彦 KEK 広報室長をモデレーター、講演者4名に足立氏を加えた5名をパネラーとして「SDGs カーボンニュートラルに関して加速器科学が貢献できること」をテーマとしたパネル討論が行われた。



座長：足立伸一氏

特 別 講 演

「見えない素粒子を見る ～最先端素粒子実験～」

KEK 素粒子原子核研究所副所長 教授：花垣和則

加速器はサイエンスに「光」をもたらし、測定器はその「光」に対する「眼」の働きをしている。素粒子は物質を構成する最小単位であり、極めて小さく、肉眼で見ることはおろか、顕微鏡でも見えない微粒子である。加速器により「光」となる素粒子反応を引き起こし、最先端技術を駆使した測定器により、その「光」を捉える。宇宙の根源である素粒子の運動法則を理解することで、物質の根源の探索だけでなく、宇宙の成り立ちまで見通そうとしている人類の挑戦について講演が行われた。



「放射光X線顕微鏡を使って 宇宙の生命の起源を探る」

広島大学大学院先進理工系科学研究科

教授：藪田ひかる

小惑星と彗星に含まれる有機物は、約46億年前に太陽系が形成された歴史を記録している。これらは、最初の生命誕生に必要な材料として、生まれたばかりの地球にもたらされたと考えられている。地球外物質中のナノメートルサイズの有機物の組成と分布を明らかにすることができる放射光X線顕微鏡を用いることで、太陽系と生命の起源にどこまで迫ることができるかについての講演が行われた。



「加速器とは何か？ 加速器研究開発が 目指すもの、その面白さ ～今後の応用社会実装に向けて～」

KEK 加速器研究施設 応用超伝導加速器

イノベーションセンター長 教授：道園真一郎

加速器の原理・歴史と、最新の加速器開発の状況についての講演が行われた。

大型加速器から生まれた波及効果としては、超伝導電磁石やWEBなどが有名だが、世界の加速器研究では、今、超伝導加速技術が注目されている。電力効率に優れているだけでなく、大電流を加速できるという特徴を生かした様々な産業医療応用が提案されており、次世代の薄膜超伝導空洞が実用化されれば加速器のブレークスルーになることが期待されている。これらの技術開発の現状が紹介された。



「人工光合成のお手本となる天然の 光合成タンパク質の構造を見る」

名古屋大学 シンクロトロン光研究センター

准教授：梅名泰史

生物が行う光合成は、複数のタンパク質が精密に連携して、光と水から酸素ガスとエネルギー源を作り出す唯一の反応である。20億年前から存在するシアノバクテリアから陸上植物まで、普遍的に存在する完成された仕組みの光合成反応の仕組みが理解できれば、クリーンエネルギーとしての人工光合成の糸口が期待される。光で水を分解する光合成タンパク質の立体構造を、放射光X線を用いて解き明かした研究についての講演が行われた。



パネル討論

【モデレーター】KEK 広報室長 勝田敏彦

【パネリスト】前記特別講演者 4 名および座長



モデレーター： 勝田俊彦氏

前半の講演者 4 名と座長の 5 名をパネリストに迎え、KEK 広報室長の勝田敏彦をモデレーターとして“SDGs カーボンニュートラルに関して加速器科学が貢献できること”を主題としてパネル討論会が行われた。

会場には高校生や大学学部生の視聴者も多かったため、参加者の自己紹介と合わせて研究者として現在の研究分野を選んだ動機についての紹介があった。この時に紹介された飛躍的な成果が出るまでの研究苦労話に関しては、若手研究者にとっても参考になる話であるため、モデレーターが少し掘り下げてパネリストと議論が進んだ。研究を料理に喩えてレシピに沿った料理をしつつも何か一手間加えることですごく美味しい料理ができることがあるように、研究においても人と同じことをしては飛躍的な発見はできないが、基本を押さえた研究は必要であり、王道的な研究活動に加えて何か少し他と違う視点を入れることの重要性が述べられた。

次にモデレーターから「もしこの世に加速器がなかったらどんな研究や活動をしていたか」との質問が投げかけられた。素粒子物理学においては宇宙線を用いた観測などがあるが加速器に比べて非常に効率が悪く現在のような成果は出せなかっただろう、隕石やタンパク質の分析においても加

速器による放射光がなくても研究は進むが非常に効率が悪かっただろうとの意見が出された。

さらにモデレーターより「このような有用な加速器であるが、SDGs の観点からみてどうだろうか」との質問が出された。まずこれまでの議論の通り、研究において加速器を使うことで様々な計測が効率的に行われていることが指摘された。さらに加速器は多くのエネルギーを使う装置ではあるが、超伝導などの技術開発が進めばそのエネルギー効率は改善していくと述べられた。加速器を用いた研究で高機能材料の開発が進められており、例えば自動車部品として軽くて強度のある材料を用いることで自動車の燃費が向上することや、最近の電池材料の研究に加速器施設が使われていることなどが紹介された。さらには加速器の応用利用としてがん治療なども行われており、SDGs における健康の増進にも関わっているものであることが紹介された。

最後にネット経由での視聴者からの質問にいくつか返事を行い、終了となった。

SATテクノロジー・ショーケース2023を振り返って

実行委員長 金山敏彦

今年の SAT テクノロジー・ショーケースは、3 年ぶりに対面で開催することができました。多くの方が集うライブな臨場感は何物にも代えがたく、研究者・技術者間の交流を趣旨とする SAT の原点に戻れたと実感しました。コロナ感染がまだ完全には終息していない状況下で、ポスター発表が開催できるかどうか、気を揉んでいましたが、特に密集が発生することなく、時間いっぱいまで 100 件を超えるポスターに分散して議論が花開いていました。このイベントならではの幅広い分野と、高校生からシニア層に至る活動を一望できる機会となったと思います。参加者の方々も同感であったようで、その効果か、毎回実施しているプレゼンテーション表彰には、例年になく多数の投票をいただきました。

若手の活躍が目立ったのも、今回の特徴です。全ポスター発表から選ばれるベストアイデア賞を高校生が、ベスト新分野開拓賞を大学院生が受賞したことが、その証左です。受賞対象の他にも、

高校生や大学院生、若手研究者らが、自らの発想で研究を展開し、有望な結果を得ている発表が多く、頼もしく思った次第です。

特別シンポジウム「加速器だから見える世界」を担当していただいた KEK は、研究学園都市の源流を作ってこられた組織です。50 年以上に亘って、素粒子研究を目的とする加速器と言う最も基礎的な科学に軸足を置きながら様々な産業応用まで展開されている基本スタンスは、意義が大きいことを改めて認識しました。利用分野の拡大のみならず、新しい要求にこたえて加速器自体や構成材料・要素技術の進化を継続し、その普及や波及効果の拡大も追及されていることに感銘を受けました。

原点を踏まえながら進化を続けたいと願うのは、テクノロジー・ショーケースも同じです。これからも再確認した原点にとどまらず、オンライン開催で習得した ICT 手法の活用など、新しい交流の形を追及していきたいと思います。引き続き皆様のご参加を期待しています。

つくば賞その後-17

「単原子の分析を可能にする 超高感度電子顕微鏡技術の開発」

大阪大学 産業科学研究所 産業科学ナノテクノロジーセンター
教授 末永和知



2010年に、「軽元素を可視化する超高感度電子顕微鏡技術の開発」というタイトルで第21回つくば賞を受賞しました。このたび当コラムで執筆の機会をいただきましたので、当該研究のその後の展開について紹介させていただきます。

1. はじめに

私の専門分野は物質による電子線の散乱現象です。電子線は、光やX線と比べて散乱断面積が非常に大きいことが特徴です。それはすなわち、電子線は物質への透過能が低いということになりますが、逆に言うと電子線をプローブにした場合は、原子ひとつからの散乱であっても十分にとらえるだけの感度を得ることができます。つくば賞受賞当時は、軽元素原子ひとつひとつからのコントラストを捉えて可視化するための研究を行なっていましたが、その後は原子ひとつひとつの分析を実現する研究へと発展しました。

本稿では、私の研究グループが長年行ってきた原子ひとつひとつの可視化や原子ごとの分析、いわゆる「単原子スペクトロスコーピー」のお話をさせていただきますと思います。

2. 単原子スペクトロスコーピー

電子線を使って原子を可視化するだけであれば、電子の弾性散乱現象を用いるだけでことが足りります。原子ひとつひとつがつくるポテンシャルを、位相の揃った電子波を使って干渉像として取得した場合を一般に高分解能電子顕微鏡像（HRTEM像）とよぶのに対して、原子のポテンシャルによって比較的大きな角度に弾性散乱された電子線の強度をマッピングすることで原子像を得る場合を暗視野像（ADF像）とよびます。これに対して単原子の分析には、電子の非弾性散乱現象を用います。非弾性散乱には、大きく分けて内殻電子を非占有準位に遷移させる「内殻励起」と外殻電子を伝導帯に励起する「価電子励起」があります。入射した電子はそれぞれの励起に伴いエネルギーを失うので、試料の後方に分光器を置くことで電子線のスペクトルを得ることができます。これを電子線

エネルギー損失分光（EELS）といい、とくに1Å程度に細く絞った電子線を用いると局所的な分光が可能になります。

内殻電子スペクトルの吸収端は、X線吸収と同様に双極子選択則に則った遷移が支配的であり、元素同定や状態分析に用いられます。価電子スペクトルにおいては誘電応答が支配的となり、バンド間遷移や振動モードの情報が得られる点では可視および赤外分光と似ています。電子線を使った分光の利点は上述した様に、光やX線を使った分光に比べて、高い空間分解能と高い感度が得られることで、これにより1Å以下の精度で原子ひとつからの分光が可能になります [1]。

3. カーボン単原子の電子状態分析

内殻電子スペクトルの微細構造からは、注目する原子の元素種だけでなく電子状態も調べることができます。これはEELSの吸収端が非占有状態の状態密度を反映しているためです。一例としてカーボン原子の結合状態を高精度で特定した結果を紹介します。加速電圧60kVにおいて一枚のグラフェン層の観察を行う場合は、グラフェン端の原子が少しずつ取り除かれていき最終的にはカーボン原子が数個から数十個つらなったカーボンの単原子鎖ができることが知られています [2]。このように電子線によってカーボン単原子鎖を削り出す手法は、真空中にカーボン原子を担持する有効な方法であるだけでなく、その構造自体も正真正銘の一次元物質の代表として基礎科学的にもたいへん重要です。

図1には、カーボン原子が4つずつ連なった二本の単原子鎖を捉えたSTEM-ADF像を示します（図1a）。図に見られるようにカーボン原子鎖を構成するカーボン原子は強い二量子化（dimerization）を起こします [2]。有機合成されるcumulene($\cdots \text{C}=\text{C}=\text{C}=\text{C}\cdots$)やpolyynes($\cdots \text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}\cdots$)分子と比較して、強度のバイエルス歪みが起こっているようです。この構造は電子顕微鏡下でも安定に存在するので、カーボン原子鎖を構成する炭素原子ひとつひとつからEELSをもちいて炭素のK吸収

端微細構造を取得することが可能です。実験では、図1aの視野全体をSTEMを用いてプローブを走査しながら各ピクセル(13x10点)でK吸収端を測定します(図1b)。得られた130本のスペクトルは、 sp^2 炭素原子(緑)、エッジ炭素原子(青)、原子鎖(赤)の3種類に分類することができます(c)。三種のカーボン原子はそれぞれ異なるところに π^* ピーク位置を持つので、それぞれの電子状態ごとに空間マップを表示することができます。またカーボン原子鎖を構成する8つの炭素原子それぞれから得られたK吸収端構造を(d)に示しました。これらの吸収端は理論計算されたスペクトルととてもよく合います。

4. 遷移金属単原子のスピン状態分析

EELSの吸収端微細構造を用いると原子ひとつの

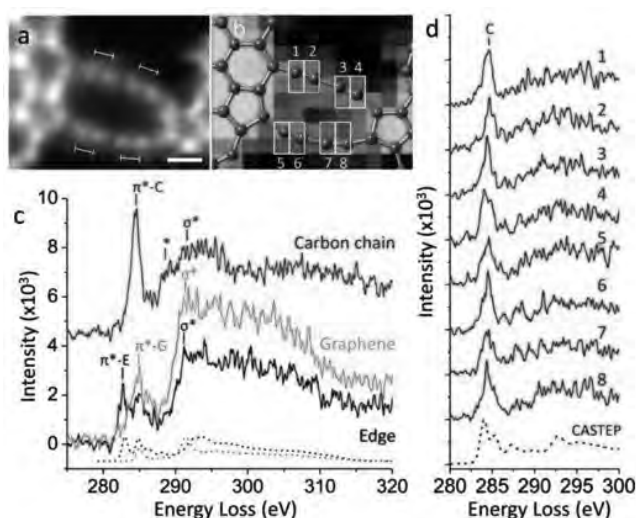


図1 (a) 二本のカーボン原子鎖のADF像。強い二量子化が起こっている。Bar=0.2nm。(b) 原子モデルに重ねたEELS微細構造のカラーマップ表記。13 x 10 ピクセルの二次元EELSマップから、異なるエネルギー幅の強度を重ねてある。 sp^2 カーボン原子鎖は赤(283.4 – 284.5 eV)、 sp^2 炭素は緑(284.6 – 299.6 eV)、エッジの炭素原子は青(281.4 – 282.9 eV)とした。各スペクトルの取得時間は0.2sである。(c) 3種類の電子状態を示す代表的なスペクトル。各々10点ずつ足し合わせである。 sp^2 とエッジの炭素K吸収端のシミュレーション結果が破線で同時に示されている。(d) はカーボン原子鎖を構成する8つの炭素原子ひとつひとつからのスペクトルである。理論計算はCASTEPを使って行われた。

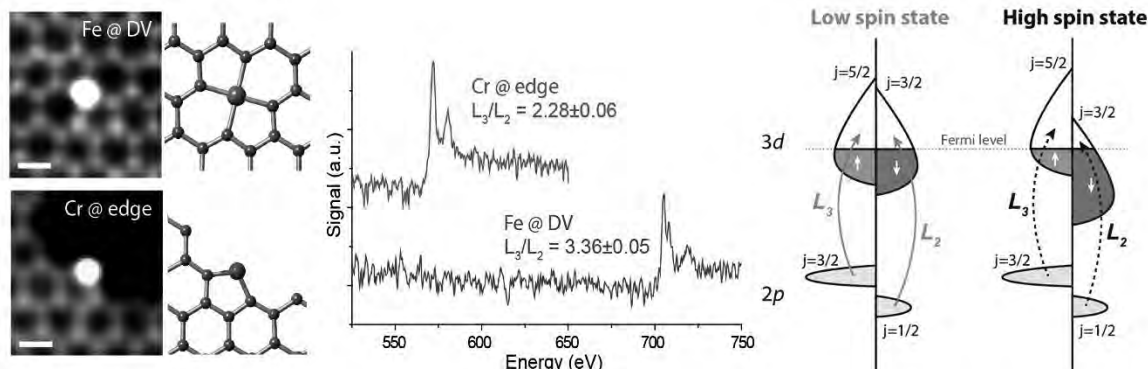


図2 単原子のスピン状態分析の例。(左)Fe単原子とCr単原子のADF像と原子モデル(支持体はグラフェン)。(中央) 各々の単原子から取得したCr L₂₃吸収端およびFe L₂₃吸収端。二つのピークはそれぞれdサブバンドの非占有状態を反映する。(右) 高スピン状態と低スピン状態における双極子遷移を図示したもの。

スピン状態を調べることも可能です[3]。これは例えば3d遷移金属のL(2p)吸収端が双極子遷移に支配されているため(L₂: 2p^{1/2} → 3d^{3/2}, L₃: 2p^{3/2} → 3d^{5/2})にL₃/L₂比が直接d軌道同士の混成状態を表すからです。図2の例では、グラフェンの原子空孔にトラップされたFe単原子およびエッジに吸着したCr単原子とそれらからのL吸収端を示しました。二つのピークの比を参照データと比べるとどちらも高スピン状態であることがわかります。このように遷移金属単原子のスピン状態まで観測が可能になりました。

5. 最後に

本稿ではつくば賞をきっかけにその後に発展した単原子スペクトロスコピーのお話を書かせていただきました。つくば賞受賞当時には考えも及ばなかったほど高精度な分析・分光が可能になってきました。当時から現在に至るまでサポートしてくださった多くの先生方にこの場を借りて感謝いたします。ここで紹介した研究は、つくば産総研の林永昌博士、千賀亮典博士と共同で行ったものです。

参考文献

- [1] K. Suenaga, et al., Science, 290 (2000) pp.2280-2282
- [2] Y.-C. Lin, et al., Nano Letters, 17 (2017) pp.494-500
- [3] Y.-C. Lin et al., Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 206803

著者略歴

- 1994年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 (工学博士)
 1994年 エコールデミン・パリ校(材料研究所) 博士研究員
 1997年 パリ南大学固体物理研究所 博士研究員
 1998年 科学技術振興事業団「ナノチューブ状物質」プロジェクト研究員
 2001年 産業技術総合研究所 主任研究員、研究チーム長を経て首席研究員
 2021年 大阪大学産業科学研究所教授、大阪大学名誉教授
 主な受賞: 日本顕微鏡学会瀬藤賞(2005)、英国大使館サー・マーティン・ウッド賞(2006)、文部科学大臣表彰科学技術賞(2007)、つくば賞(2010)、日本学術振興会賞(2012)、Highly Cited Researchers 2019 など

身の回りで進行する細胞内共生進化

筑波大学 計算科学研究センター 助教 中山卓郎



1. はじめに

本誌を愛読されている方は「細胞内共生説」についてご存知のことだろう。我々ヒトの細胞にも存在するミトコンドリアは α プロテオバクテリアが起源とされ、植物細胞に見られる葉緑体は光合成細菌であるシアノバクテリアが変化したものとされる。言わずもがな細胞内共生進化が生物に与えた影響は甚大である。ことにミトコンドリアの誕生は真核細胞の誕生自体と大きく関わっていると考えられているし、葉緑体が誕生しなければ現在地上に繁茂する植物は存在し得ない。細胞内共生を通じた細胞内小器官の獲得は、地球史の観点から見ても特筆すべき出来事であったといえる。ではバクテリアと真核生物という、細胞の仕組みや遺伝子の発現機構さえも異なるシステムがどのような機序で一つの生物へと統合されたのだろうか。その疑問の多くが未だに不明のまま残されている。その原因には、細胞内共生進化が起きた年代の古さが挙げられるだろう。ミトコンドリアや葉緑体の誕生は15億年以上も前に生じたとされ、現在の生物にはこれら太古の進化イベントの僅かな残渣しか残されていない。しかし近年、ミトコンドリアや葉緑体とは独立にバクテリアから細胞内小器官に進化したと考えられる例が複数報告されている。これらの多くは比較的「最近」進化したものであり、細胞内共生進化の手がかりを多く残していると期待されている。本稿ではその一部について私の研究内容を交えてご紹介したい。

2. *Paulinella* のクロマトフォア

アメーバといえば不定形の細胞を持つ単細胞の真核生物として有名だが、まるで貝のように殻を持つアメーバもある。*Paulinella*（ポーリネラ）もガラス質の透明な殻をもつアメーバの1属である。*Paulinella* は淡水から海水に広く分布する属で、つくば市内では私の知る限り少なくとも筑波大学構内の松美池や洞峰公園内の池に生息している。*Paulinella* 属のいくつかの種の細胞には非常に目立つ青緑色の勾玉のような形をした構造が見られる（図1）。この構造はクロマトフォア(chromatophore, シアネレとも)と呼ばれ、*Paulinella* の細胞の体積の多くの割合を占める。クロマトフォアを持つ*Paulinella* は餌を捕食せず、このシアノバクテリア由来構造が行う光合成を基盤として生きている事

が示唆されている。クロマトフォアは一見すると葉緑体に見える構造であるが、その微細構造は葉緑体よりもむしろシアノバクテリアの細胞そのものに酷似する。そのため最近まで細胞内に共生するシアノバクテリアであると考えられてきた。

細胞内に別の生物が共生するという現象自体は珍しいものではない。クロレラ（緑藻）を共生させるミドリゾウリムシもその例の一つである。ただし、ここでいう共生関係とは飽くまで「独立した生物」同士の間に成り立つ概念である。つまり「単なる細胞内共生」の場合は両者が独立して生存できる事が前提となっている。ミドリゾウリムシに共生するクロレラも、宿主と離れても増殖できる。しかし、著者らの研究等により *Paulinella* のクロマトフォアは、その構造を構成するタンパク質遺伝子のいくつかがアメーバ細胞の核ゲノムにあることが明らかとなった¹⁾。その一例に PsaE タンパク質がある。PsaE は光合成主要酵素の一部として機能するタンパク質で、もともとクロマトフォアの祖先であるシアノバクテリアが持っていたと考えられるタンパク質である。しかしこのタンパク質遺伝子はクロマトフォアのゲノムには存在せず、アメーバ細胞の核ゲノムに存在していた。この事実は、クロマトフォアが光合成を行うには宿主である *Paulinella* が持つ遺伝情報が不可欠であることを示している。もともと共生する側の生物に存在していた遺伝子が、宿主のゲノムに移動する現象はミトコンドリアや葉緑体の進化でも確認されており、この進化的な遺伝子の移動によって、共生バクテリアが細胞の一部として統合されたと考えられている。*Paulinella* とクロマトフォアの間でもこの現象が起きていることから、クロマトフォアは「第2の葉緑体」と呼べる構造であると考えられている。

3. Rhopalodia 科珪藻のスフェロイド体

珪藻は葉緑体を持ち光合成を行う微生物の一群で、約2万の種を擁する。その中の1科である Rhopalodia 科は淡水に普遍的に存在するグループであり、つくば市内では筑波大学構内を流れる水路や並木公園の池に多く見られる。この科には *Paulinella* のようにシアノバクテリア由来の構造を持つ種が含まれる（図1）。Rhopalodia 科珪藻の細胞に見られるこの構造はスフェロイド体と呼ばれていて、過去の研究からスフェロイド体

は珪藻細胞の外で生育できないとされていた。これは *Paulinella* のクロマトフォアと共通する特徴で、スフェロイド体も「単なる細胞内共生体」ではない可能性を示唆するものである。しかし一方で、明確な相違点も存在する。スフェロイド体の宿主である珪藻はもともと光合成を行う生物であるという点である。では光合成バクテリアに由来するスフェロイド体は珪藻の細胞内で何をしているのか？ 著者らはその機能を検証するために、Rhopalodia 科珪藻のスフェロイド体のゲノム解読を行った²⁾。その結果、スフェロイド体のゲノムからは光合成に関わる様々な遺伝子が消失しており、光合成を行えないことが示された。その一方、スフェロイド体には一部のシアノバクテリア系統が持つ窒素固定酵素が存在しており、窒素ガスを有機態窒素に変換して利用できる事が明らかとなった。窒素は全ての生物にとって必須な物質であるが、真核生物は環境中に大量に存在する窒素ガスを窒素源として利用することができない。それに対して Rhopalodia 科珪藻はスフェロイド体の窒素固定活動を介することで、他の真核生物が利用できない大気中の窒素ガスを利用していると考えられる。この関係はマメ科植物と根粒菌のそれに類似するといえるだろう。スフェロイド体の分裂や成長が珪藻細胞の厳密な制御下にあることを鑑みるに、スフェロイド体は細胞内小器官と評べるほどに珪藻細胞に統合されていると目される。「窒素固定を行うための細胞内小器官」という真核生物全体を見ても革新的な器官が、小さな珪藻の細胞の中で生じつつあるのかもしれない。

4. 複数の共生関係から探る細胞内共生進化の原理

本稿で紹介した共生シアノバクテリア由来の構造はいずれも葉緑体やミトコンドリアよりもずっと「若い」構造である。私はこの2つの例に限らず、現在進行中の細胞内共生進化と目されるものに幅広く着目し研究を進めている³⁾。これら「若い細胞内小器官」の観察の中から、我々を生んだ太古の細胞内共生進化の原理が浮かび上がることを期待している。

5. 若手支援の手を多様な分野へ

私が研究対象とする生物はいわゆる動物でも植物でもない、目に見えない生物たちである。病原性も持たないこれらの微生物は、非モデル生物どころか存在すら認識されていない生物たちと言っても良いかもしれない。これらを扱う学問分野も最前目に見ても大きいとは言えない。一方、そこで扱う生物の多様性には動物学や植物学といった既存の枠組みでは思いも寄らない不思議が満ちている。私はこの分野を日本の大学で体系的に学べたことを幸運に感じており、それを可能とした我が国の学術界の懐の深さに深く感謝するところである。しかし、今後も日本において生物学の分野

多様性を維持していけるか、不安に感じることも多い。昨今の若手研究者支援の拡充は一定の成果を実感できるものであり、優秀な若手のための研究支援も目に見えて増加している。しかしそれらの若手支援事業が、基礎研究を含めた多様な研究活動のサポートには繋がっていないように思われる。ポスト削減の潮流の中で、若手研究者が安定的な職を得るための生き残り競争は激しさを増している。そのような中ではより短期的な業績や成果の見通しが求められがちとなるが、画一的な評価基準は後の学術界を先細りさせる原因ともなり得ると考える。科学技術の発展は生物の進化と共通する部分が多い。大進化と呼ばれる進化的イノベーションも全ては豊かな生物多様性の中から生まれてきた。多様性の乏しい生物集団は環境の変動に対応する変化が生じにくく、結果として他の集団に対して脆弱となる。科学イノベーションの種も、多様な研究分野によって成り立つ肥沃な土壌に芽吹くものであると考える。先人たちが育んだ科学の多様性をさらに発展させる施策が、これからの日本を科学技術立国たらしめるに必要ではないだろうか。

参考文献

- 1) Nakayama and Ishida Curr. Biol. 19 (2009) R284-R285
- 2) Nakayama et al. PNAS 111 (2014) 11407-11412
- 3) Nakayama et al. PNAS 116 (2019) 15973-15978

著者略歴

2010 年 筑波大学生命環境科学研究科博士後期課程修了、博士（理学）
2010 年 国立環境研究所 NIES ポスドクフェロー
2011 年 JSPS 海外特別研究員 ダルハウジー大学（カナダ）
2013 年 筑波大学 計算科学研究センター 研究員
2016 年 東北大学 生命科学研究科 助教
2021 年 筑波大学 計算科学研究センター 助教

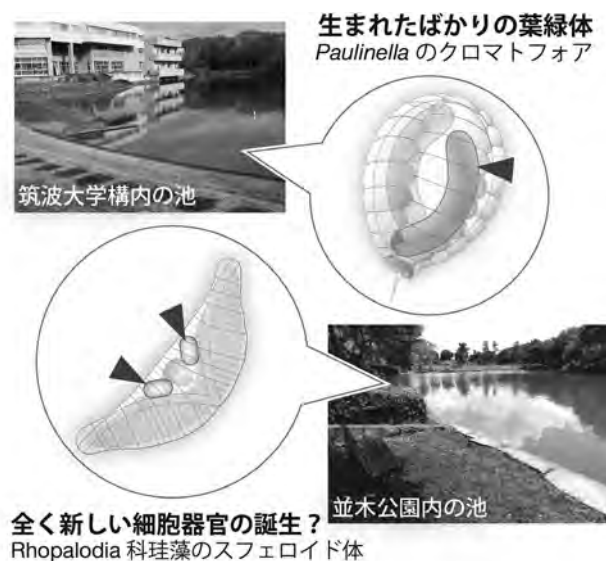


図1 身近な環境で進行する細胞内共生進化の例

つくば研究情報 ー外国人研究者の活躍ー

「私の研究交流活動および日本文化の体験」

国立環境研究所 地域環境保全領域 主席研究員 王 勤学



1. 研究交流活動について

私の故郷は、中国北西部のゴビ砂漠にある小さなオアシスです。その年間の降水量は僅か180mm程度、一方、蒸発量は2000mm以上なので、極端な乾燥地域です。子供の頃、毎日朝約1リットルの水で家族全員の顔を洗っていました。大学に入る前にはお風呂もシャワーも見ただけがありました。「水の大切さ」は幼い心に深く刻み込まれていました。運命かもしれませんが、大学の専攻は地理学、修士課程は気候水文学、そして博士課程は地球生態学でした。就職してからも気候変動や砂漠化、そして水環境の保全を中心に研究を進めてきました。

日本への留学も運命だと思っています。天安門事件のあった1989年に、私は北京師範大学地理学部の修士課程を卒業し、中国科学院地理科学・資源研究所に入所しました。そこで黄土高原の気候変動に関する研究を行っていました。1994年に中国・銀川で開催した国連環境計画（UNEP）の砂漠化防止に関する国際会議で、当時の東京大学名誉教授、日本学士院会員、文化功労者である田村三郎先生にお会いし、その後、先生のご紹介で日本に留学して博士号を取得することができました。その御縁もあって、田村先生の著書「地球環境再生への試み 一劣悪環境の現地に立って」（研成社・1998）を中国語に訳して中国で出版する機会を得ました（写真）。

田村先生のご著書の影響で、博士課程から今まで中国やモンゴルの脆弱な地域の環境問題を対象に国際共同研究に取り組んできました。北海道大学へ留学した時に、地球環境科学研究科の高橋英紀先生のご指導で黄土高原における地表面水不足指数の推定モデルを開発し、気候変動に伴う水不足指数の時空間的变化を解明しました。研究成果を気候・水文学のJ. Climateなどトップレベルの国際ジャーナルで発表することができました。

1998年に博士号を取得した後、国立環境研究所に就職することができ、当時の水圏環境部の大坪国順先生のご指導で土地利用・被覆変化に関する研究を始めました。主に地理情報システム（GIS）を用いた中国の土地生産性の評価や、食糧

需給バランスの現況把握および将来予測を行いました。さらに、同環境部の渡辺正孝先生のご指導で米国の地球観測衛星MODISデータの受信・解析システムおよび森林、草原、水田、畑地、砂漠など典型的生態系において地上観測システムを構築しました。これらの研究をベースに、2006年から中国科学院や長江水利委員会などの協力を得て、長江流域における水・物質循環評価モデルを開発し、気候変動や退耕還林、化学肥料の使用増大などが流域水環境に及ぼす影響を明らかにしました。そのうち、1980年から2000年までの農業生態系から三峡ダムに輸送された窒素負荷量の時空間変化や、1980年から2010年までの長江全流域の窒素負荷発生量の時空間変化やその主要要因の解明、および負荷削減対策に関する研究を実施し、その成果は中国国内で注目されました。これらの一連の研究交流活動を通じて得た私の提言は、新華社通信、中国国際放送をはじめ、多くの中国メディアで取り上げられました。

2001年にモンゴル国で開催された「温帯・中央アジア放牧地域の土地利用変化および持続性」に関する国際シンポジウムに参加するチャンスがありました。そこで見た「天蒼蒼、野茫茫、風吹草地見牛羊」という景色に感動し、「この美しい大草原は持続可能なのか」と言う純粋な疑問に誘惑され、モンゴルとの共同研究を模索し始めました。2006年から地球温暖化に伴う永久凍土の融解及びそれに伴う陸域生態系の脆弱性の評価に取り組みました。研究対象地域はモンゴル北部の森林、草原、湿地など様々な陸域生態系で、そこは永久凍土地帯でもあります。生態系を代表する地点で、地中の温度分布の観測を行い、これらの観測データか



ら永久凍土の温度や活動層の厚さなどの指標を算出し、永久凍土の融解スピードや変動幅を解析しました。その結果、草原域の永久凍土の退化が森林や湿地など他の地域より顕著であることが分かりました。また、広域の永久凍土の変動を把握するため、MODIS 衛星観測による地表面温度データを用いて、1 kmメッシュの永久凍土分布図を作成しました。これによって1980年代から永久凍土地域の面積が明らかに減少しつづけていることが判明しました。温暖化によって永久凍土が融解すれば、溶けた水が蒸発したり、川や湖に流れ込んだりと水の循環が変わってきます。結果的に、牧民の生活用水や家畜飲水、農地の灌漑用水や都市用水などに影響を与えます。

近年、モンゴルにおける二国間クレジット制度(JCM)推進のため、モンゴル全土の草原域の二酸化炭素吸収量を評価し、永久凍土地域は炭素の吸収源であることが分かりました。また、気候変動や人為的攪乱が草原生態系に及ぼす影響も評価しております。そのうち、牧畜の持続性を表す最も重要な指標の一つである牧草地の牧養力およびその脆弱性に及ぼす影響を定量的に評価・予測するため、水資源や飼料の需給バランスを考慮した評価モデルを開発し研究を行ってきました。このモデルを、半乾燥地域の都市地域(ウランバートル)と草原地域(アーガラント)、乾燥地域の鉱山地域(ハンボグド)と砂漠地域(マンレー)などモンゴルの四つの重点地域で適用しました。その結果、市場経済が導入された後、特に2000年以降、都市と鉱山地域では放牧圧が牧養力を大幅に上回っており、牧草地の脆弱性が一層高まっていることが明らかになりました。今後は、開発した評価モデルを用いた家畜頭数の適正管理や、水資源と飼料供給システムの構築などの適応策の効果を評価していきたいと考えています。

私の略歴と研究成果については下記のサイト <https://www.nies.go.jp/researchers/100189.html> をご参照いただければと思います。

2. 日本文化の体験

私が1994年に来日してからそろそろ30年が経ちます。時々自分は中国人なのか、日本人なのか、分からなくなっています。中国の友人達によく聞かれるのは、なぜ中国に戻らないのか、日本の魅力は何なのか、等々。これらの質問に対して、正直、一言では答えられません。思えば、日本の魅力はいっぱいあり、既に多くの外国人が指摘しています。例えば、清潔感にあふれ美しい環境、国民の素養の高さと礼儀正しさ、独自の伝統文化の継承、手厚いおもてなし、高い技術力や民主的な政治体制などです。特に、唐の時代にも謳った「夜不閉戸、

路不拾遺」(夜戸を締めず、道に遺を拾わず)の理想郷のように、日本はとても安全な国だと思っています。

ところで、私は一人の研究者として幾つかの文化的な違いを感じていました。まず、最初に来日した頃、今と違って日本と中国の研究者の収入差は数十倍もありました。私費留学生として、生活費や学費をアルバイトで賄うしか方法がありませんでした。しかし、日本語が話せない私は、あちらこちら仕事を探しても門前払いされていました。結局、言葉が要らない新聞配達や物運び、食器洗いなどの仕事で生活費を稼ぎながら勉学に励んでいました。メンツを大事にする中国では、博士号を目指すものがこのような肉体労働に従事していることを人に言うのはとても恥ずかしいことですが、日本では、誰もが恥ずかしいことだと思っていなく、逆に「よく頑張ってるね」と励ましてくれました。

もう一つは、学術に対する行政官や報道機関の意識の違いです。中国では、研究集会や学会、学術的国際会議の席でも、開幕式でまず行政幹部が演壇の上に座り、地位の高い順に挨拶をします。その後、彼らは退場してから研究者の発表が始まります。来場していた報道関係者もほぼ行政官と共に退場してしまいます。一方、日本においては、研究者主導の会議では行政官もよく参加されますが、皆さん目立たない席に座り、静かに聞かれて、最後に求められればコメントを述べられる程度です。新聞等の報道内容も、もちろん行政幹部の発言ではなく、研究者の新しい発見や提案などが中心となっています。

最後に、一人の環境研究者としてとても感銘を受けたのは、日本人の自然に対する敬意の心です。中国で勤めていた頃は、ちょうど経済の高度成長期の始まりでした。都市も農村もあちこちの地面が破壊され、道路や高層ビルの建設が始まり、大気も水も酷く汚染されていました。ゴミもあちこち散乱しており、多くの環境問題が顕在化していました。日本に来てから、何処に行っても、きれいな大気と水、そして緑にあふれ大地が広がっていて、自然破壊を全くというほど見かけませんでした。最初は、どうして経済大国の日本で、こんなにきれいな環境を守れているのか理解できませんでしたが、日本人の環境意識や土地所有制度、そして環境政策や法整備などの知識を学び、徐々に理解できるようになりました。日本で学んだことを中国だけではなく、発展途上国に伝えるため、2006年からほぼ毎年国際ワークショップやセミナー、そして学術交流会を開催し、各国の研究者や行政担当者を招き、環境管理の理念や技術対策などについて交流を深めてきました。

医工融合教育研究への挑戦

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 名誉教授・特任顧問
ユタ大学 細胞シート再生医療センター（薬学部・医学部連携）
センター長・併任名誉教授 岡野光夫



1. 高分子材料とその医療への応用に向けた取り組みの開始

半世紀前に、大学の高分子科学の講義で、シリコンフィルムで覆われた鳥籠を水の中に沈め、その中で長期に生きる鳥を見た。シリコンフィルムが水中に溶ける酸素を籠の中に透過させ、同時に二酸化炭素を水中に放出して籠の中の鳥は生き生きと活動している。この酸素透過膜技術を使えば海底都市も可能ではないかと一人で空想し、機能を持つ材料の革新性に感動したのを覚えている。

いろいろな機能を分子設計した材料の可能性に魅せられて大学院は高分子科学の道に進んだ。高分子の末端に反応性基を導入し、分子量を制御した高分子合成反応を目指した。親水性(A)と疎水性(B)の高分子の片末端あるいは両末端に反応性基を導入し、これらを反応させAB型、およびABA型ブロックコポリマーを合成し、溶媒でキャストしたフィルムの表面特性と表面微細構造の相関について調べた。ナノレベルの親水-疎水型の高島構造あるいは縞状の相分離構造の形と大きさをコントロールできる技術を作ることができた。この親水-疎水型の超微細構造で細胞接着を抑制することを発見し、血液適合性表面の研究開発を進めた。このように、ナノ微細構造と細胞、生体との相互作用の制御基盤が私の研究の始まりでその上にさらなる医療への発展を目指した。

2. 新領域での医工融合研究開発体制

人工材料を体の中で長期にその機能を維持して利用出来れば、診断・治療は画期的に飛躍すると考えられる。我々の体の人工材料への異物認識、血栓形成などの極めて複雑な反応のためその理解と制御法の確立は21世紀の今日まで未解決課題となっていて残っている。これを解決できるのは従来の縦型の専門領域の単なる延長でなく、医学と理工学を融合させた横断型新領域が必須である。私が研究を開始した1970年代は人工臓器、バイオセンサー、薬物放出システムの先端医療の黎明期であり、私は高分子化学で工学博士を取得後に医科大学に飛び込んでバイオマテリアルによる先端医療

実現に挑戦した。境界領域研究の重要性は誰もが訴えるものの、縦型の学問領域の出来上がった既存体制の中で、医学と理工学の組織を超えた共同研究の実践には研究者間と同時に制度的なギャップがあり、その限界を超えた挑戦が必須であった。私は研究をやりながら次々にぶつかる壁を乗り越え、新しい仕組みを模索、制度化した。従来の組織の横断型の集学的アプローチを可能にする融合型の教育研究体制の実現こそが重要であるとの強い信念で研究開発を推進した。治療や診断に使える人工材料を開発するために、医学・医療を学びながら道なきところに道を作る苦しみの連続の中でもがき苦しむ研究生活となったのは言うまでもない。医学を知らなければ材料・理工学的な開発は改善・改良に終わってしまうに違いない。この医工融合の挑戦からバイオマテリアル、再生医療の中で技術革新のプラットフォーム作りを目指した。

恩師の東京女子医大・桜井靖久教授が作り上げた医学部卒業生以外の医療産業界の人達への1年間の医学、先端医療の教育実習コース（BMC: バイオメディカルカリキュラム）を引き継ぎ、さらに医学研究科の大学院の中に先端生命医科学専攻を、医学部卒業生と同時に理工学部修士修了生を受け入れる博士課程を2000年に開設した。この取り組みは早稲田大学との壁なし一棟での医工連携教育研究拠点の形成（TWIns、2008年）に繋がり、今日まで多くの医学と産業界で活躍する新しいタイプの医師、研究者を養成し続けている。私と夢を共有する共同研究者、医師、学生に助けられ私の提案した細胞シート工学は世界に先駆けて7領域でのヒトの自己細胞シート再生医療を成功させ、さらなる治療の進展と普及が進められている。2014年、東京女子医大の定年後、米国ユタ大学に研究センターを開設し、他家細胞シート再生医療で多くの難病で苦しむ患者、障害者の救済を目指した挑戦が今日も続いている。日米の研究者と技術を融合させることの出来る再生医療の世界拠点を構想した取り組みを進め、技術革新を通したイノベーションを達成して行きたいと考えている。

3. 細胞シート工学の創出

細胞を増やす培養技術はバイオテクノロジーの発展と相俟って急速な進化を遂げて来ている。通常、培養細胞を培養後に回収するためには培養皿表面と強固に接着する細胞の接着タンパク質をトリプシンなどのタンパク質分解酵素で分解することが必要である。この酵素処理により折角増やした培養細胞の重要な膜タンパク質を分解・破壊するため細胞の培養皿からの剥離回収では培養細胞の構造と機能の低下が生じ、その利用、とくに細胞移植による再生医療を必ずしも十分なものできない。

外的刺激をスイッチとして材料の構造を変化できれば、必要な時に、必要な機能を発揮させることが出来る。高分子材料、バイオマテリアル、細胞培養、再生医療の知識と技術を知っている私だけが見える世界が広がったのである。すなわち、37℃で細胞を培養し、20℃で培養細胞を剥離・回収する酵素を使わない培養細胞の剥離方法である。ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド) (PIPAAm) を培養皿表面に修飾すれば良いと考えた。しかし実際には必ずしも単純な研究開発でなかった。多くの実験の繰り返しで表面を均一にしかもナノレベルの超薄膜表面で覆う新しい表面科学を理解しなければならなかった。プラズマ処理したポリスチレン製の培養皿にモノマー溶液を入れ、電子線を照射し、重合させてポリマーを生成させ同時に培養皿の表面とポリマーの間に共有結合を形成させることができた。培養液で温度変化させても表面のPIPAAmは溶け出すことのない安定なインテリジェント/スマート表面ができ、1990年に特許を取得できた。電子線を使う事、未反応のモノマーの洗浄が大変な事で製造コストが高くなってしまったが、セルシートがアップセルとして製品化し、多くの研究者に利用された。この温度応答性培養皿で細胞をコンフルエントに培養、細胞間の結合タンパク質を破壊することなく37℃の培養温度を32℃以下にする事で細胞シートを剥離・回収することができ(図1)、この一連の細胞シートの作製、マニピュレーション、移植の一連の方法を系統的に具体化・明確化させ、これを細胞シート工学と名付けた。長い間、次世代型のより高機能な温度応答性表面の実現と低コスト化を目指した取り組みによりSSCW (Smart Surface Culture Ware) を東京女子医大、細胞シート再生医療推進センターと(株)細川洋行の産学連携チームによって達成できた。ブロックコポリマーのナノレベルの超薄膜コーティングを実現させたのである。高性能化と低コスト化を実現させて上市出来た。

経歴

1994年 東京女子医科大学医用工学研究施設 教授
 1994年 ユタ大学薬学部 併任教授
 1999年 東京女子医科大学医用工学研究施設 施設長・教授
 2001年 東京女子医科大学先端生命医科学研究所 所長・教授
 2012年 東京女子医科大学 副学長
 2014年 東京女子医科大学 名誉教授
 2016年 ユタ大学薬学部 併任教授・細胞シート再生医療センター長

受賞歴

1992年 日本バイオマテリアル学会賞
 1997年 Clemson Award for Basis Research
 1997年 Fellow, American Institute of Medical and Biological Engineering
 1997年 高分子学会賞
 2000年 Fellow, Federation of Biomaterials Science and Engineering
 2000年 Founders Award, Controlled Release Society
 2005年 江崎玲於奈賞
 2009年 紫綬褒章
 2010年 Fellow, Controlled Release Society
 2013年 高分子科学功績賞
 2014年 バイオマテリアル科学功績賞
 2014年 Fellow, The Royal Society of Chemistry
 2018年 Excellence Achievement Award, Tissue Engineering and Regenerative Medicine International Society-Asia Pacific
 2021年 日本再生医療学会功績賞
 2022年 NIMS-Award, 2022 (物質・材料研究機構)

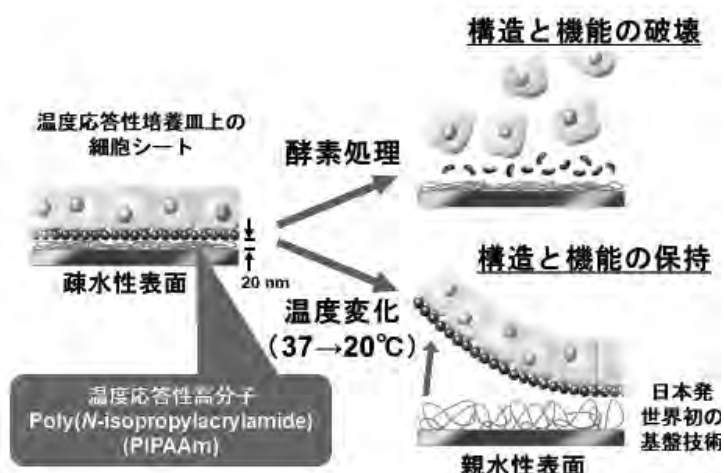


図1 細胞シート作製とその剥離法

温度応答性表面では細胞シートの底面に接着タンパク質を残したまま剥離できる。これを目的の臓器・組織に直接貼り付けて移植し、効率の良い細胞移植が実現され再生治療できる。従来の酵素処理では接着タンパク質が破壊され、同時に細胞間の結合タンパク質も破壊されるため生体への移植効率が極めて低い。

賛助会員最前線

(1) 日本エクシード株式会社

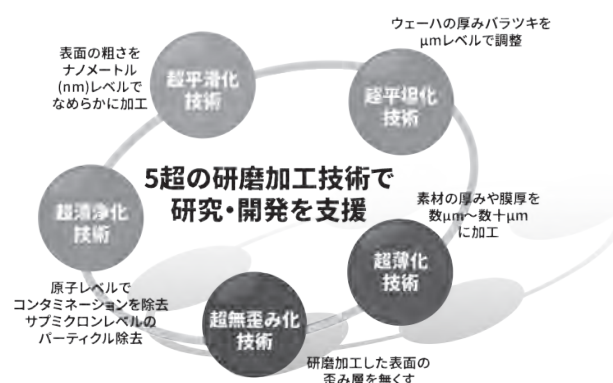
(www.nihon-exceed.co.jp)

“5超の技”を駆使した超精密研磨技術で世界をリード

弊社は創業以来、長年にわたる研磨加工の実務経験の上に、独自の研究開発を繰り返し、半導体・エレクトロニクス分野のほぼすべての半導体・電子部品材料を研磨する技術力を高次元で実現してきました。1960年代に増産を開始したシリコン(Si)ウエーハ、1970年代には中心周波数や帯域を決めるSAW(Surface Acoustic Wave)フィルター用酸化物単結晶、タンタル酸リチウム(LiTaO₃)ウエーハやニオブ酸リチウム(LiNbO₃)ウエーハ、1980年代にはガリウムリン(GaP)、ガリウムヒ素(GaAs)ウエーハ等の化合物半導体材料、1990年から2000年代にかけては、携帯電話や高機能スマートフォンに使用されるSAWフィルターの需要増大により、酸化物単結晶ウエーハのさらなる増産体制を構築いたしました。

また、シリコンに比較して優れた省エネルギー性能や物理的特性をもつパワー半導体ウエーハとして注目されている炭化ケイ素(SiC)や窒化ガリウム(GaN)といった各種ワイドギャップ半導体ウエーハの研磨技術に関しても、試作から量産レベルで独自のノウハウを構築しています。

今後、すべてモノやコトがインターネットでつながるIoT(Internet of Things)や、人工知能(Artificial Intelligence)を利用した超スマート社会の実現に向けて、素材や仕様はますます多様化し、お客様のニーズも刻々と変化していくことが予測されますが、弊社は5超の技術、すなわち「超平滑化」、「超平坦化」、「超薄化」、「超清浄化」、「超無歪み化」技術によって、研磨の世界を究め、常に自身を超えていくと同時に、お客様の期待を超える製品・サービスを提供してまいります。



(2) 荒川化学工業株式会社

(www.arakawachem.co.jp)

植物由来天然樹脂「ロジン」を用いた開発

当社は、植物由来の天然樹脂「ロジン」を中心としたロジンケミカル技術を有しています。それらの技術を活用した製品として、粘着・接着剤樹脂、サイズ剤、インキ用樹脂が広く利用されています。近年の環境問題よりバイオマス化が求められており、ロジンの高付加価値化として、新たな用途への展開を進めています。その一つに、プラスチック改質用途として流動性向上剤および相溶化剤として新規プラスチック添加剤「プラフィット(PLAFIT)」を展開しています。

表1に「プラフィット」の商品ラインナップを示します。様々な特徴を有する幅広いラインナップを揃えており、プラスチックの種類および性質に合わせた機能を発現することができます(R300、D400、H500シリーズはロジン系製品、それ以外は非ロジン系)。例えば、Rシリーズはポリマーの相溶化に寄与し、幅広いグレード構成であり、種々のプラスチックに配合することができます。D400シリーズは低極性ポリマーの流動性向上に適しており、また、優れたフィラー分散性を示します。H500シリーズは高耐熱性を有する相溶化剤として働き、加工温度が比較的高いエンジニアリングプラスチックの改質に適しています。耐熱性の指標である5%重量減少温度が380℃と高温であり、高耐熱性のプラスチック添加剤として差別化した製品です。

「プラフィット」はプラスチックの性質に合わせたグレード選定が可能であり、幅広いニーズに対応した製品です。

表1

品名	R100 シリーズ	R200 シリーズ	R300 シリーズ	D400 シリーズ	H500 シリーズ	E600 シリーズ
機能	ポリマー 相溶化	ポリマー 相溶化	ポリマー 相溶化	流動性向上	ポリマー 相溶化	流動性向上
	低	極性	高	フィラー分散	高耐熱	低誘電
製品形状	ペレット	ペレット	粉末～ザラメ状	粉末～ザラメ状	粉末～ザラメ状	ペレット

(3) 東京化成工業株式会社

(www.tcichemicals.com)

高品質な試薬製品と受託サービス

東京化成工業は、「試薬を通じて社会貢献する」を企業理念に、試験研究用試薬を製造、販売するメーカーで、国内外の研究機関に試薬を提供しております。70年以上におよぶ試薬ビジネスで培った多様な製造ノウハウ、蓄積された独自技術が3万品目以上の試薬を取り揃える技術的支えとなっており、汎用的な試薬から先端科学研究に用いられる試薬まで、幅広いニーズにお応えしてきました。

一方、近年の研究スピードの高まりは目覚ましいものがあり、先端科学研究に要求される試薬の品質はより高度化し、研究分野ごとに最適化された試薬への要望が高まっています。このような状況下、弊社では創薬研究、機能性材料研究、バイオロジー研究、糖鎖研究に特化した4つのR&D部門が対応し、各研究分野に求められる試薬製品の開発を進めております。

R&D部門の専門性を生かした「受託サービス」では、研究者が要望する品質にきめ細やかにお応えするサービス展開を図っております。例えば、創薬研究では、化合物ライブラリーの受託作成から代謝物合成、核酸医薬関連化合物の合成など、幅広い要望にお応えします。また、糖鎖の化学合成技術を基盤とした生理活性糖鎖や機能性糖鎖のカスタム合成も大きな特徴で、バイオロジ的手法による糖関連酵素や抗糖鎖抗体にも柔軟に対応します。さらに、材料研究では、独自の精製ノウハウによる低金属化、低水分化などを行うことで研究に適した高品質な試薬を提供しており、有機半導体材料の性能評価も可能です。

弊社の試薬製品とその製造技術を生かした「受託サービス」を、是非ともご活用ください。



(4) 株式会社 日立製作所

(www.hitachi.co.jp)

ドライバーの不安を解消する破壊的イノベーションに向けて

株式会社日立製作所は、久原鉱業所日立鉱山付属の修理工場として発足し、1910年に鉱山の電気部門から独立、創業製品の5馬力誘導電動機を始めとした電機品事業を拡大してきた。1924年にはED15形電気機関車を完成(大型の国産第1号)、1932年にエレベーターや電気冷蔵庫の第1号を完成させ、1959年にHITAC301電子計算機(トランジスタ使用)の開発にも成功しました。1984年には改良標準型BWR国産第1号機や256kビットDRAMの量産化を達成し、多岐に渡る技術分野をリードし日本の高度成長期を支えてきました。一方、最近では顧客の課題を解決するソリューションをいかに提供していくかという点を重要視し、プラネタリーバウンダリーやウェルビーイングの向上に向けた破壊的イノベーションにチャレンジしています。

プラネタリーバウンダリーでは、様々な分野で取り組みが進んでいますが、特にモビリティ分野を見ると電動化が急速に推進されています。日立グループでは、EVなどの電動車の利便性を高め普及の促進に向けて車両コンポーネントや地上の充電設備の研究開発を進めてきました。2019年には、世界に先駆けて自動車の電源電圧を800Vに高め、充電時間を半減しドライバーの充電に対する不安を軽減するEV駆動制御システムの提供を始めました。その特長は、(1)小型高出力密度化に向けた、モーターを回転制御するインバーターに内蔵したパワー半導体を冷却水に浸漬して冷却する、直接水冷型両面冷却パワーモジュール技術、および(2)高機能絶縁材として、薄膜化した絶縁層を導体箔と積層し、絶縁材に印可される高電圧を分圧することで、低熱抵抗でありながら高電圧に耐える薄膜絶縁層技術です。

本技術は、数多くの自動車メーカーに採用され世界中で100万台を超える車が走行しており、つくば奨励賞をはじめ、文部科学省文部科学大臣表彰、市村地球環境産業賞や大河内記念賞などを受賞、今後も多くの自動車に採用されプラネタリーバウンダリーへの一助として大いに貢献することが期待されております。



(a) 開発インバーター外観



(b) 直接水冷型両面冷却
パワーモジュール

2022年度SAT活動報告

新型コロナウイルス感染症蔓延の影響で、SAT フォーラムは2023年度に延期しました。年度後半に状況が好転してきたため、つくばスタイル交流会、テクノロジー・ショーケース、研究情報交換会、賛助会員訪問、サイエンス・カフェについては対面での開催を再開しました。以下に、実施した事業を列挙します。

■主催事業

開催日	開催内容	開催場所等
4月22日(金)	第1回総務委員会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
6月17日(金)	第2回総務委員会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
7月4日(月)	江崎玲於奈賞検討委員会	オンライン
7月12日(火)	ショーケース第1回実行委員会	つくば国際会議場
7月13日(水)	第1回運営会議、総会	(書面表決)
7月26日(火)	つくば賞予備審査会	つくば国際会議場
7月29日(金)	会誌40号発行	—
8月5日(金)	第3回総務委員会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
10月14日(金)	第4回総務委員会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
11月8日(火)	ショーケース第2回実行委員会	つくば国際会議場
11月9日(水)	研究情報交換会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
11月15日(火)	江崎玲於奈賞・つくば賞委員会	オンライン
11月23日(水祝)	第15回つくばスタイル交流会	つくば国際会議場
12月16日(金)	第5回総務委員会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
1月26日(木)	テクノロジー・ショーケース2023	つくば国際会議場(ハイブリッド)
2月17日(金)	第6回総務委員会	つくば国際会議場(ハイブリッド)
3月10日(金)	江崎玲於奈賞、つくば賞、つくば奨励賞授賞式・受賞記念講演会	つくば国際会議場
3月13日(月)	賛助会員訪問：オリエンタル技研工業	オリエンタル技研工業
3月17日(金)	ショーケース第3回実行委員会	オンライン
3月24日(金)	第2回運営会議(書面表決)	—
3月24日(金)	サイエンス・カフェ：太陽光発電のお話(現状と課題)	つくば国際会議場

■共催事業

つくば科学・技術産業イニシアティブ

第159回 4月14日(木)～第168回 3月20日(月)まで 10回開催 オンライン

編集委員

- 餌取章男/つくばサイエンス・アカデミー総務委員(編集委員長)
- 白幡直人/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
- 荒平正緒美/国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
- 角田方衛/元科学技術庁金属材料技術研究所
- 伊東洋行/アステラス製薬株式会社
- 平澤誠一/国立研究開発法人産業技術総合研究所

SAT編集事務局

- 板東義雄/つくばサイエンス・アカデミー総務委員長
- 大越勝男/つくばサイエンス・アカデミー事務局長
- 渡辺正信/つくばサイエンス・アカデミーコーディネータ

編集後記

2022年度はようやく、いくつかの会合の対面開催が可能になりました。まだやや及び腰ではありますが、つくばスタイル交流会、テクノロジー・ショーケース、サイエンス・カフェ等を、3年ぶりに対面で開催しました。3月下旬時点で、コロナ感染の第8波はかなり沈静化してきていますし、規制を緩和して社会活動の再開に重きが置かれる方向性になってきています。2023年度も引き続き、必要な感染対策は講じつつ、活動を再開していきたいと思います。

(渡辺記)

2	第19回江崎玲於奈賞・第33回つくば賞・第32回つくば奨励賞	
	●第19回江崎玲於奈賞 「植物由来の完全分散化セルロースナノファイバーの創製と応用に関する研究」 東京大学 大学院農学生命科学研究科 特別教授	磯貝 明
	●第33回つくば賞 「放射光X線による分子動画像計測法の開発」 高エネルギー加速器研究機構 理事 同機構 物質構造科学研究所 准教授	足立伸一 野澤俊介
	●第32回つくば奨励賞（実用化研究部門） 「FePt-C 系熱アシスト磁気記録媒体の開発」 物質・材料研究機構 磁気記録材料グループ グループリーダー 同機構 理事長	高橋有紀子 宝野和博
	●第32回つくば奨励賞（若手研究者部門） 「高機能性多結晶薄膜の低温合成とデバイス応用に関する研究」 筑波大学 数理物質系 准教授 「希少元素を用いない新規高性能永久磁石材料の研究」 物質・材料研究機構 磁性スピントロニクス材料研究拠点 主幹研究員	都甲 薫 Hosein Sepehri-Amin
8	SATテクノロジー・ショーケース2023 会長挨拶/ポスターセッション/特別シンポジウム/全体総括 (特別シンポジウムテーマ「加速器だから見える世界」)	
13	つくば賞その後－17「単原子の分析を可能にする超高感度電子顕微鏡技術の開発」 大阪大学 産業科学研究所 産業科学ナノテクノロジーセンター 教授	末永和知
15	つくば研究情報－若手研究者、外国人研究者の活躍－ 「身の回りで進行する細胞内共生進化」 筑波大学 計算科学研究センター 助教 「私の研究交流活動および日本文化の体験」 国立環境研究所 地域環境保全領域 主席研究員	中山卓郎 王 勤学
19	科学の散歩道「医工融合教育研究への挑戦」 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 名誉教授・特任顧問 ユタ大学 細胞シート再生医療センター（薬学部・医学部連携）センター長・併任名誉教授	岡野光夫
21	賛助会員最前線 日本エクシード株式会社 「“5超の技”を駆使した超精密研磨技術で世界をリード」 荒川化学工業株式会社 「植物由来天然樹脂「ロジン」を用いた開発」 東京化成工業株式会社 「高品質な試薬製品と受託サービス」 株式会社 日立製作所 「ドライバーの不安を解消する破壊的イノベーションに向けて」	
23	SAT活動報告、その他 （編集委員一覧、編集後記）	

表紙写真説明：

上左：第19回江崎玲於奈賞受賞式

上右：テクノロジー・ショーケース2023 ポスター発表会場風景

下左：テクノロジー・ショーケース2023 パネル討論

下右：テクノロジー・ショーケース2023 優秀ポスター賞受賞者

SAT

Science Academy of Tsukuba

つくばサイエンス・アカデミー®
発行：（一財）茨城県科学技術振興財団つくばサイエンス・アカデミー

事務局

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

■（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

〒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 Email:academy@epochal.or.jp

発行日：2023年4月

発行人：江崎玲於奈

編集人：餌取章男