

JST NEWS

Vol.7
2010

No.3
June

6 月号

Feature

02

JSTシンポジウム開催報告

グリーン・イノベーションへの国際協調とは？



Feature
01

さきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究から

スピントロニクスは シリコンデバイスを 超えられるか？



独立行政法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency



科学技術振興機構の最近のニュースから……

JST Front Line 03

Feature 01



さきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究から

スピントロニクスはシリコンデバイスを超えられるか? 06

電子がまるで地球の自転のように回る「スピン」。

その性質を利用した「スピントロニクス」というフィールドに、挑む若手研究者たちがいる。

彼らは互いに刺激し合いながら、シリコンデバイスを超える次世代デバイスへの道を拓くべく、火花を散らす。

Feature 02



JSTシンポジウム開催報告

グリーン・イノベーションへの国際協調とは? 10

2010年5月17日(月)、世界を代表するファンディング・エージェンシーが一堂に会し、現在もっともホットなテーマの1つである

「低炭素社会の実現」を論じ合うシンポジウム「低炭素社会を目指すグリーン・イノベーション促進のための国際協力」が開催された。

地球規模で解決すべきこの課題に、科学はどのように立ち向かうべきか、各国それぞれの立場から議論が進められた。



ようこそ、私の研究室へ 14

片浦弘道 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 グループ長



JSTの科学コミュニケーション事業

File 理科教材開発・活用支援事業 16

理 事 長 茶 話

(聞き手:研究開発戦略センター 嶋田一義)

——サイエンスコミュニケーションについて、考えをお聞かせください。

「サイエンスコミュニケーションはいま、新しい局面を迎えています。理科のおもしろさを伝えるにとどまらず、社会の課題解決に向けて、ポジティブな未来像を若い人たちと一緒に描いていくという新たな役割が生まれています。

鳩山政権が「二酸化炭素(CO2)を2020年までに1990年比25%削減」という目標を掲げました。「新エネルギーと資源リサイクルで夢の地球環境を実現しよう」と若い人たちに思ってもらいたいですね。

“科学技術は国の礎である”と無条件で受け入れられる時期が、一国の成長過程には必ずあります。いまの中国がそうですね。日本も1970年代まではそうでした。しかし、国が発展して豊かになると、忘れられてしまうようです。この傾向を適度にコントロールできた国を私はまだ見たことがありません。サイエンスコミュニケーションが挑戦する課題はとて大きいといえます」

——JSTは低炭素社会実現に向けてどのような役割を果たしますか?

「低炭素化に向けて社会を変革していくとする、さまざまなムーブメントのプロデュ

ーサーとしての役割を果たしたいですね。サイエンスコミュニケーションを通じて。JSTは研究開発資金を配分するだけの組織ではないのです。たとえば、低炭素社会戦略センターは、持続可能な明るい低炭素社会の姿を具体的に描き出し、社会にムーブメントを引き起こそうとしています。

こうしたムーブメント作りと並行して、研究開発投資も、世界の機関と協力しながら行っていきたいと思っています。先日(5月17日)の国連大学でのシンポジウムで、世界9カ国のファンディング機関が集まり、低炭素化研究で協力していこうと確認し合ったところです」



JST Front Line 6

月号

01

NEWS

企画展



日本科学未来館の企画展「ドラえものの科学みらい展」 6月12日(土)～9月27日(月)まで開催。

東京・お台場の日本科学未来館で2010年6月12日(土)から9月27日(月)まで、企画展「ドラえものの科学みらい展」を開催します。

ドラえもんは未来からやってきたネコ型ロボット。そのおなかについて四次元ポケットから奇想天外なひみつ道具を次々に取り出し、私たちに夢と希望を与えてくれる存在です。1970年の連載開始以来、約40年にわたって、世代や国を越えて人々を魅了し続けています。

いまやドラえもんに影響を受けて成長したロボット開発者や技術者が、現代の科学技術を支える有能な人材として活躍するまでになってきました。では、そんな研究者や技術者が活躍する現代の科学技術は、ドラえもんのような愛くるしいロボットの開



©藤子プロ・小学館・テレビ朝日・シンエイ・ADK

発や夢のようなひみつ道具にどこまで近づいているのでしょうか。

本展では、ドラえもんに登場するひみつ道具の夢に近づいてきた、現代の先端技術により生み出された数々のロボットや機械を紹介します。「ドラえもんくらす未来」

では、二足歩行ロボットや会話ロボットなどを展示。実際に動くロボットたちを間近で見ること、未来のドラえもんにつながる技術を知ることができます。ほかにも、ドラえもんの世界でおなじみの自由に空を飛びまわれる「タケコプター」や、どんな言語でもしゃべれるようになる「ほんやくコンニャク」といったひみつ道具を紹介しながら、夢のアイテムに近づきつつある先端技術の数々を紹介します。お父さん、お母さん世代と子どもたちの世代の共通の友だち、ドラえもんの夢の世界を通して、科学技術をご家族で体感するのはいかがでしょうか。

詳しい情報や企画展中のイベントなどは公式HPをご覧ください。

<http://www.doraemon-miraiten.jp/>



レモン果皮に含まれる豊富なポリフェノール成分を有効利用! 麹菌を利用した新たな機能性ポリフェノール製造技術の開発に成功。

近年、メタボリックシンドロームをはじめ、数々の生活習慣病が社会問題となっており、その対策の1つとしてさまざまな健康食品への関心が高まっています。

ポリフェノールは、赤ワインや植物の葉などに多く含まれ、抗酸化作用をはじめさまざまな機能性を持つといわれる成分で、動脈硬化など血管疾患に効果があると注目されていました。

以前からレモンの果皮にもポリフェノール成分が豊富に含まれることがわかっていました。また、名古屋大学の太田俊彦教授(現愛知学院大学)らの研究チームは、レモン果皮を醗酵させることで得られるポリフェノールが、処理前よりも高い抗酸化作用を持つことを明らかにしていました。

しかし、レモン果皮に含まれるポリフェ

ノールは、糖と結合した配糖体という構造をしています。この配糖体ポリフェノールは安定的に醗酵処理を行うことが難しいため、これまで製品としての食品素材に利用されることはありませんでした。



製造されたレモン果皮由来の新規ポリフェノール素材。果汁の搾りカスの廃棄資源有効活用方法としても注目されています。

そこで、株式会社ポッカコーポレーションは、独創的シーズ展開事業・委託開発の開発課題として、太田教授らの研究成果をもとに、2005年から4年間、レモン果皮からポリフェノールを製造する技術の開発を行ってきました。その結果、醗酵処理の前に酵素処理を行い、ポリフェノールから糖を分離する「アグリコン化」という工程を設定することで、高純度の新規ポリフェノール素材を効率よく生産することに成功しました。新規に生成されたポリフェノール素材は、試験の結果、機能性成分としての有効性が高く、安全性も高いことが確認されました。今後は、この新規ポリフェノール素材を活用した商品開発に着手し、1、2年後の実用化を目指して研究開発を続ける予定です。

NEWS

02

開発成功



戦略的イノベーション創出推進(S-イノベ)「フォトニクスポリマーによる先進情報通信技術の開発」
研究開発課題「高分子ナノ配向制御による新規デバイス技術の開発」

優れた色彩を表現できる究極のディスプレイ開発の最大の難関、 液晶レーザーの低エネルギー発振を、従来の20分の1の閾値^(*)で成功!

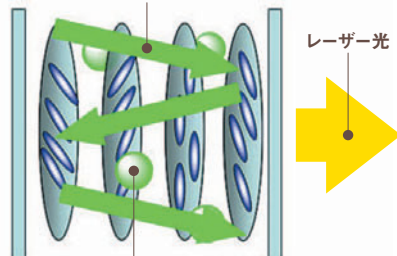
*レーザー発振に必要なエネルギーの限界値のこと。

カナブンは、コガネムシ科に分類され、鮮やかな金属光沢色の甲羅を持つ昆虫です。この昆虫が持つ不可思議な甲羅の光沢は、コレステリック液晶構造とよばれる構造が作り出すもので、可視光を選択反射することで生じています。

この構造を応用し、自然な色彩を忠実に表現できる、究極のディスプレイの開発

●コレステリック液晶レーザー

らせん周期に対応した光を選択的に反射

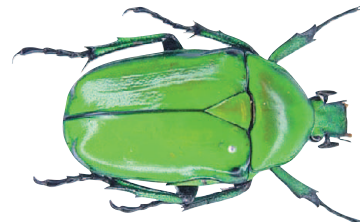


らせん周期構造内に発光色素を導入

が期待されています。カナブンの甲羅と同じように、可視光の波長と同程度のらせん周期構造のコレステリック液晶に色素を導入し、発光させると光の閉じ込めと増幅が起こり、レーザー発振します。このような液晶レーザーは、優れた加工性や小型化の可能性など、無機物化合物の半導体レーザーとは異なる多くのポテンシャルを持つことから、新しい発光デバイスとして期待が寄せられています。しかし、レーザーを発振させるために使用するエネルギーの閾値が高いことが、実用化を阻む壁となっていました。

東京工業大学の渡辺順次教授らは、

励起光がコレステリック液晶中に入り、発光色素が発光、増幅されて、レーザー光が出てきます。自然界に存在するカナブンの甲羅と同じコレステリック液晶構造を模倣することで、より自然に近い、優れた色彩再現性を可能にする液晶レーザーディスプレイの開発が期待されます。



カナブンの美しい金属光沢は、甲羅を覆っているコレステリック液晶のらせん構造による可視光の選択反射による発色です。

導入する発光色素の特性とレーザー発振との関係を詳細に解析し、効率的にレーザー発振させる色素の開発に成功、従来の20分の1という小さなエネルギーでのレーザー発振を可能にしました。渡辺教授らのグループは、さらに効率よくレーザー発振させるさまざまな技術をすでに提唱しており、今後はこれら複数の技術を複合化することで、画期的な次世代の液晶レーザーディスプレイの実現を目指します。



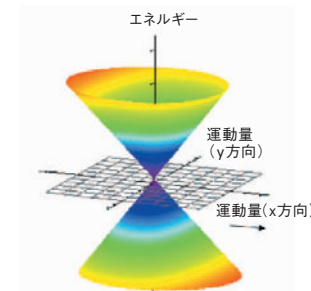
戦略的創造研究推進事業CREST「物質現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」
研究課題「バルク敏感スピン分解超高分解能光電子分光装置の開発」

鉄系高温超伝導体から電子を直接引き出して、エネルギー状態を高精度に測定。 「ディラックコーン」と呼ばれる特異な電子状態の観測に成功。

東北大学原子分子材料科学高等研究機構の高橋隆教授らの研究グループは、鉄系高温超伝導体に生じている特異な電子状態の観測に世界で初めて成功しました。

超伝導は、極低温状態で電気抵抗がゼロになるという現象で、新しいエネルギー送電技術として注目され、世界中で研究が行われてきました。鉄系超伝導物質は、2008年東京工業大学フロンティア研究センターの細野秀雄教授らにより、世界で初めて発見された超伝導物質で、銅酸化物を除いて現在もっとも超伝導に転移する温度が高いことが知られています。しかし、なぜ他の物質とくらべて高温で超伝導状態に転移するのか、詳しいメカニズムはわかっていませんでした。高橋教授たちは、独自に開発したキセノン放電管および高精度の分解能測定器を搭載した装置を使い、「角度分解光電子分光」という手

●ディラックコーン状態における電子のエネルギー関係の模式図



©Physical Review Letters 104,137001(2010)



電子は通常、有限の質量をもって運動していますが、ディラックコーン状態と呼ばれる特殊な状態になると、高速に近い速度で運動する質量ゼロのディラック粒子となることが理論的に予言されていました。右は、角度分解光電子分光の検出装置。物質に高輝度紫外線を照射し、光電子のエネルギー状態を精密に測定します。

法を用いて、鉄系超伝導体のエネルギー状態を調べました。その結果、「ディラックコーン」と呼ばれる状態が生じていることを明らかにし、これが、高温でも超伝導状態に転移可能にしていることを示しました。

この研究成果は、長時間安定的に紫外光を発光できるキセノンプラズマ放電

管と世界標準の5倍の分解能を持つ分析装置という世界トップクラスの技術により初めて得られたものです。今後はさらに改良を加え、高精度の分解能を持つ装置を開発することで、いまはまだわかっていない新規物質の性質や電子の振る舞いが解き明かされていくでしょう。



睡眠の質を客観的・定量的に計測できる携帯型装置と評価システムを開発! この成果をもとに、睡眠評価サービスを提供するベンチャー企業を設立。

24時間社会といわれる先進国では、人々は昼夜を問わず活動する姿が見られます。このような社会に暮らす人々の生活時間は、多様化、長時間化しており、睡眠障害に悩む人口も増加していることが報告されています。睡眠障害は、うつ病や循環器系の病気などの引きがねになると考えられていますが、日本では睡眠医学の

環境整備はまだまだ十分ではなく、病院などで行われる睡眠検査(終夜睡眠ポリグラフィ検査:PSG)では、大がかりな装置と多数の電極を装着して、脳波や眼球の動き、呼吸数といった多数のデータを計測しなければならず、患者に身体的、精神的ストレスを与えていました。

大阪バイオサイエンス研究所の裏出

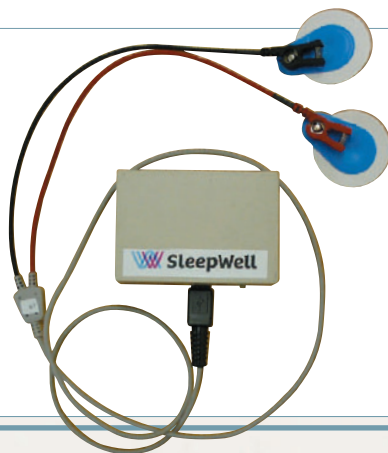
良博第二研究部長らの研究チームは、わずか一對の電極を用いて睡眠のリズムや深度を判定し、睡眠状況を評価できるシステムの構築に成功していました。これらの技術を応用して簡単に睡眠の質を測定できる機器を開発し、この成果をもとにベンチャー企業「スリープウェル株式会社」を設立しました。

裏出部長たちが、今回開発した携帯型脳波計「夢眠計(むみんけい)」は、重量が約60gと世界最小レベルの携帯型脳波計測装置で、一對の電極で計測した脳波をデータ化し、独自に構築したアルゴリズムで解析することで、睡眠の質を短時間で評価することができます。また、自宅や旅先など、個人のライフスタイルに合わせて脳波測定が可能となることから、本製品の普及が人々の快適な睡眠環境の獲得、ひいては生活の質の向上に寄与することが期待されます。

●携帯型脳波計測装置「夢眠計」



「夢眠計」は、電極を一對装着するだけなので、睡眠を阻害することが少なくなると期待できます。



NEWS 06

2010年チリ地震・津波災害のJST-JICA地球規模課題調査団による調査報告会を開催しました。

ペルーは、環太平洋地震帯に属する地震・津波の多発国として知られています。近年でも2001年および2007年に相次いで大きな地震が発生しており、これらの災害被害軽減のための研究には関心が高まっています。これを受けて、JSTと国際協力機構(JICA)が協力して実施している「地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)」では、防災分野における課題の1つとして、千葉大学の山崎文雄教授を中心としたチームが「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」を2010年から5年間の予定で実施しています。

本研究課題の研究者は、2010年2月に発生したチリ地震・津波災害についてペルー、およびチリの研究者と合同で被害調査を実施し、5月20日(木)に東京・キャンパスイノベーションセンターにて報告会を行いました。SATREPSの課題の対象地域はペルーですが、隣国のチリとは環境や自然・社会環境が似ており、チリの巨大地震を研究することはペルーにも適用できる部分が多く、中南米諸国への波及効果も大きいと考えられます。プロジェクトホームページ <http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/>

NEWS 07

平成22年度、研究成果最適展開支援事業(A-STEP)のFSステージの新規課題を公募中です(6月30日まで)。

研究成果最適展開支援事業(A-STEP)では、フィージビリティスタディ(FS)ステージを対象とした平成22年度の課題を募集中です。

A-STEPは、大学などで生まれた研究成果をもとにした、実用化を目指す技術移転支援事業です。大学や公的研究機関などに潜在しているシーズ候補を企業の視点から掘り起こして、実用化させるための仕組みで、「FSステージ」および「本格研究開発ステージ」の2つのステージから構成され、それぞれの研究開発フェーズや開発リスクの特性に対応できるよ

う、各ステージに複数の支援タイプを設定しています。

平成22年度からは、実用化を目指した研究開発フェーズのスムーズな移行を促進することを目的に、FSステージに「探索タイプ」を新設、研究開発の初期段階から企業化の視点で研究成果の底上げを図ります。応募要項などの情報はA-STEPのホームページをご覧ください。
<http://www.jst.go.jp/a-step/>

NEWS 08

吉村進氏(長崎総合科学大学理事)が市村産業賞、香取秀俊氏(東京大学教授)が市村学術賞を受賞しました。

平成22年度の市村賞において、長崎総合科学大学の吉村進理事が「柔軟性を有する結晶性グラファイトの開発と実用化」で市村産業賞(功績賞)を、東京大学の香取秀俊教授(当時准教授)が「光格子時計の提案・実証による新たな原子時計手法の確立」で市村学術賞(特別賞)をそれぞれ受賞、表彰されました。

これらの研究は、いずれも戦略的創造研究推進事業ERATOの成果として発表されたものです。ERATOは、未来の科学技術の源流となる新しい芽を積極的に生み出すために、卓越した研究者を支援することを目的としたJSTの事業です。

市村賞は、実業家・市村清氏の発案により創設され、財団法人新技術開発財団が主宰する賞です。創設者の趣旨により、日本の産業力の発展において、産業分野、ならびに学術分野での貢献が認められた研究者、またはグループが受賞の対象となっています。

今回の受賞は、ERATOの研究成果が実用化へ結びついたもの(産業賞)、実用化へ結びつつあるもの(学術賞)として評価されたものといえます。

* 産業賞は、パナソニックプロダクションテクノロジー(株)、パナソニックエレクトロニクスデバイスジャパン(株)と共同受賞です。

さががけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究から

スピントロニクスはシリコンデバイスを超えられるか？

電子がまるで地球の自転のように回る「スピン」。その性質を利用した「スピントロニクス」というフィールドに、挑む若手研究者たちがいる。彼らは互いに刺激し合いながら、シリコンデバイスを超える次世代デバイスへの道を拓くべく、火花を散らす。

Part 01 分子スピントロニクスへの挑戦

大学で学んだのは素粒子物理学。企業で担当したのは半導体レーザー。分野の壁を自ら飛び越えてきた若き研究者が、その先にたどり着いたフィールドで「分子スピントロニクス」という新たな鉱脈を探り当て、トップランナーに躍り出ようとしている。

電子のスピンをコントロールし分子材料に注入することに成功！

電子は負の電荷を持ち、それによって電流や磁界が生じる——中学校の理科でも学習する一般常識だ。人類はその電荷を中心に電子のふるまいを研究するエレクトロニクスを発展させ、さまざまな形で利用してきた。そして近年、電子の持つもう1つの性質であるスピン(*)を利用したスピントロニクス(**)が、新しい研究領域として注目を集めている。

* スピン

電子が有する自転のような性質。上向きと下向きの2つの状態があり、磁石の磁場の発生源でもある。

** スピントロニクス

電子の持つ「電荷」と「スピン」という2つの性質を利用して、これまでのエレクトロニクスでは実現できなかった機能を開発する研究領域。

2007年にノーベル物理学賞を授賞した巨大磁気抵抗効果の発見は、スピントロニクスの大きな成果であり、コンピュータのハードディスクドライブの容量の飛躍的な増大に貢献するなど、すでに実用化されている。しかし、それはスピントロニクスが秘める力のほんの一部を利用しているに過ぎない。眠っている未知の力を引き出すべく、世界中の研究者たちが意欲的に研究を進めている。その1人が、分子スピントロニクスの第一人者である白石誠司教授だ。

電子のスピンは、普段は上向きと下向きの2つの状態がバラバラに存在しているが、コントロールされた状態のスピンをある物質に注入することで、それを電子から電子へと波

のように伝え、「スピン流」を生み出すことができる(電子の電荷がコントロールされ、一定の方向に流れているのが「電流」)。白石教授は、2007年、分子スピントロニクス実現のための第一歩として、分子材料であるグラフェン(***)にスピン流を流すことに初めて成功したのだ。

*** グラフェン

炭素原子のシート。厚さが1原子分と非常に薄い。蜂の巣のような六角形格子構造を持つ。

研究者としてトップランナーになりたいとの思い

スピントロニクス研究では、これまで主に金属や半導体材料が用いられてきた。新たに分子材料を用いる意義について、白石教授はこう説明する。

「ある物質にスピンを注入したとき、その物質が重い(原子番号が大きい)ほどスピンの偏向性は損失を受けやすいという傾向があります。分子材料は水素や炭素など軽元素がほとんどですから、金属やシリコンなどとくらべてはるかに損失が少なくてすみます。以前からその点に注目し、分子スピントロニクスに取り組んだ研究者もいますが、確実にスピンを注入するにはいたっていませんでした。私自身、最初にグラフェンが筒状に丸まった状態といえるカーボンナノチューブで試みた

きは、なかなか芳しい結果を得られずにいましたが、グラフェンに切り替えたところ、うまく注入できたのです」

白石教授は分野の垣根を飛び越え続けてきた、ユニークな経歴の持ち主だ。学生時代には素粒子物理学を専攻したが、修士課程

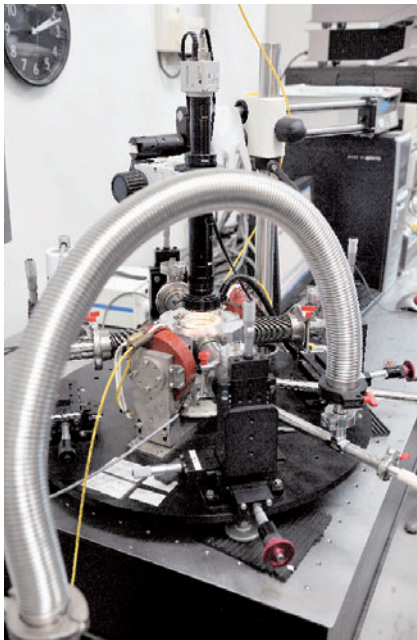
理論上の情報処理速度は10倍～100倍に！



白石誠司

しらいし・まさし

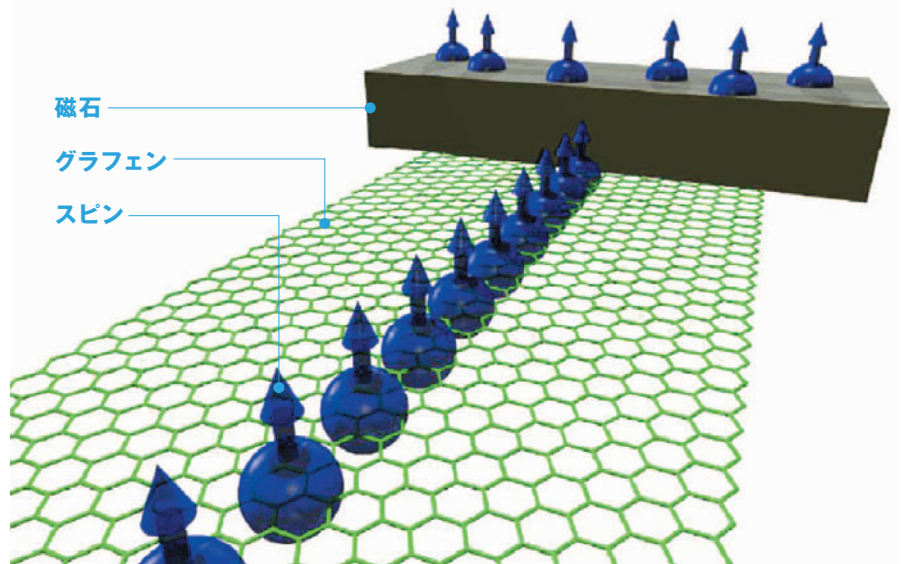
1968年生まれ。1993年、京都大学大学院工学研究科修士課程修了。ソニー勤務、マックスプランク固体研究所客員研究員などを経て2004年、大阪大学大学院基礎工学研究科に(2010年より教授)。2007年、さががけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域/研究課題「分子を介したスピン流の制御」採択(第1期生)。



電子の状態などを調べる観測装置。応用を見すれば、厳しい検査が欠かせない。「今後は、スピンの寿命などについても数値目標を決めて、厳しく検査していかなければいけません」(白石教授)

グラフェンにスピンを注入する

電子のスピンには上向きと下向きの2つの状態があり、通常は不規則に存在している。磁石のスピンには規則性があることから、古典的な表現では、スピン流とは磁石がさらさら流れているようなものともいわれている。白石教授は、これをグラフェンに注入することに成功した。



スピン損失の少ない分子材料でスピントロニクスを!

修了後に就職した企業ではまったく畑の違う半導体レーザーの開発や、カーボンナノチューブの燃料電池などへの応用に関する研究に取り組んだ。そして退社後、大阪大学の鈴木義茂教授のもとで、本格的に分子スピントロニクス研究に打ち込むようになった。

この転進の裏には、「トップランナーになりたい」という思いがあった。

「学生時代の素粒子物理学も、就職して取り組んだ半導体レーザーも、すでに研究分野として長い歴史があります。優秀な研究者もたくさんいて、私が第一線の研究者になるにはとても時間がかかると思いました。ある先生の言葉を借りれば、既存の成熟した研究分野に参入するのは、マラソンに途中から参加して真ん中あたりを走っているようなもので、先頭のランナーはまったく見えず、どのくらい離れているかさえわかりません。自分の能力では、いつになったら研究者としてトップに立つことができるのだろうと感じました」

新しいスポーツ競技のように、自分でもトップに立つ希望が持てそうな研究分野は何か——探し求めた末に、分子スピントロニクスと出会い、成果を挙げることができた。

ところが、その過程で大きな助けとなった

のは、じつは学生時代に身につけた素粒子物理学の知識だった。スピントロニクスからは遠い世界と思われるが、それだけに、「知の共通点」を見い出したときの驚きは大きかったという。

「グラフェン中の電子が従う運動方程式が、素粒子物理学で学んだニュートリノの運動方程式と同じ形をしていたんです。びっくりしたし、懐かしくもありました。おかげで、新たな分野に挑む心の壁が低くなりました。なんでも、やっておくものですね(笑)」

理論上の情報処理速度はシリコンデバイスの10~100倍

白石教授は現在、さきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究課題に取り組んでいる。この領域の目的は、間もなくやって来る「半導体デバイスの微細化・集積化」の限界を前に、現在、使われているシリコンデバイスの先を行く、エネルギーの消費を抑えながら高速な情報処理を可能にする、新材料、新プロセスのデバイス開発の道を見つけ出すことにある。スピントロニクスはその有力な候補の1つであり、白石教授の成果は応用化への1つの道筋を

切り拓くものと期待されている。

「グラフェンのデバイスが実現すれば、シリコンデバイスにくらべ、理論上、情報処理速度は10倍から100倍になります。今後は、グラフェン以外の分子材料にスピンを注入することを考えています。さまざまな分子材料でスピン注入が可能だとわかれば、共通法則が見い出され、理論がより確実になって、応用への道も見えてくるでしょう」

そのために白石教授が心がけているのは、実験結果を徹底的に検証することだ。

「グラフェンへのスピン注入に成功したときには、どうすれば確実に注入されたかと証明できるか、研究室で議論を重ねて厳しい条件を設定し、そのすべてをクリアさせました。そこが甘いままだと、分子スピントロニクスはいつまでも認めてもらえないでしょう。研究分野の先頭集団を走るなら、ただ思いつきが優れているだけではダメです。間違いのない検証を重ねて、確実に応用への道を拓きたいと思います」

そう意気込む白石教授が、同じスピントロニクスの分野の同年代の研究者として、「刺激になるし、尊敬できる存在」と語るのが、次に紹介する東北大学の齊藤英治教授だ。

さががけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究から

Part 02 絶縁体も電気信号を伝送することを発見!

研究意欲の核にあるのは、「原理を知りたい」という想いだ。ぶれることない視線で自然を見つめ、スピントロニクスの基本的な原理を、パズルのピースを埋めるかのように論理的に構築していく。そんなアプローチによって、スピントロニクスの応用へのたしかな道筋が示された。

電気信号を流せる絶縁体ならジュール熱による損失がない

電流を流すには金属や半導体が用いられている。しかし、金属や半導体に電流を流すと、必ずエネルギー損失が生じる。その原因となるのがジュール熱(*)だ。

*ジュール熱

金属や半導体に電流を流すときに、電気抵抗によって発生する熱。暖房器具や調理器具などに利用される反面、熱を必要としない機器や電線などでは、エネルギー損失となる。

シリコンなどの半導体デバイスもジュール熱と無縁ではなく、さらなる微細化・集積化を阻む障害となっている。極低温で電気抵抗がゼロになる超伝導現象は、画期的な解決策として注目されているが、室温での広汎な応用はまだ遠いのが現状だ。齊藤英治

教授は、この課題がスピントロニクスによって解決できると考えた。考え方はいたってシンプルだ。

「物質には電流を通すものと通さないものがある。それと同じように、スピン流を通すものと通さないものがあるはずだ。そして、電流は通さないけれどスピン流は通す物質があれば、ジュール熱の影響は受けずに電気信号を伝えられる——そう考えました」

齊藤教授はこのテーマを、さががけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究課題とした。ベースには、齊藤教授がこれまでの研究で培ってきたスピンホール効果(**)と逆スピンホール効果(***)という、スピンをエレクトロニクスに結びつけるための要素技術があった。

**スピンホール効果

試料に電流を流すことによって、それと垂直

通って出口の電極に伝えられ、そこで逆スピンホール効果により再び電流へと変わったのだ。これは、電気信号が、電流とスピン流という2つの形に必要に応じて変わりながら、金属から絶縁体、さらに金属へと伝わったといえる。

この成果は、これまでの常識を覆し、電子の移動もたらずジュール熱のない(スピンによる小さな損失はある)、飛躍的に効率や性能をアップさせたデバイスや電化製品の開発につながるものだ。これがコンピュータや通信技術に実装されれば、画期的な省エネルギー情報伝達手段となるだろう。スピントロニクスが従来のエレクトロニクスを大きく変えうる、たしかな道筋が示されたのだ。

物理的に突きつめれば何があるべきか見えてくる

齊藤教授は30歳代の若さだが、まだスピ

ジュール熱によるエネルギー損失を解決!

直向きにスピン流が生じる現象。

***逆スピンホール効果

スピンホール効果とは逆に、試料中のスピン流を電流に変換する現象。

この技術を利用して試行錯誤した結果、電気を通さない絶縁体に電気信号を流すことに成功した。この驚くべき発見は、絶縁体である磁性ガーネット結晶に2つの白金電極をつけ、一方の電極から流した電流が、磁性ガーネットを通過してもう一方の電極に伝わることを確認したものだ。入り口の電極ではスピンホール効果により電流がスピン流に変わり、そのスピン流が磁性ガーネットの中を

スピントロニクスという言葉がなかった10年前、20歳代の頃から周囲に先んじてスピンの研究を始めた。

「電荷とスピンという、電子の2つの性質のうち、電荷については研究し尽くされているのに、スピンについては基本的な物理法則が知られておらず、調べる手法もないに等しい。でも、周囲の状況には次の展開へのヒントがいろいろ見えた気がしました。ぜひとも解明してやろうと思ったんです」

事実、それから数年後、齊藤教授は逆スピンホール効果を発見し、電流からスピン流を生み出したり、スピン流を電流に変換したりすることが可能になった。齊藤教授はその技術の開拓者であると同時にこれを使いこなす第一人者として、次々と先駆的な成果をあげてきた。

そんな齊藤教授の研究心の核には、「原理を理解したい」という欲求がある。

「私は、ゼロから研究するのが好きなんです



パズルのピースを埋めるように物理を考える。

齊藤英治

さいとう・えいじ

1971年生まれ。2001年、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。慶應義塾大学理工学部物理学科助手などを経て、2009年より東北大学金属材料研究所教授。2007年、さががけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域/研究課題「誘電体スピントロニクス材料開拓とスピン光機能」採択(第1期生)

よ。何も無いところに、パズルのピースを1つずつ埋めて、空いている部分には何が入るのか、考えていくんです」

いかにも手強そうに思えるが、「自然をしっかり理解すれば自ずと答えは見えてくる」と齊藤教授は言う。

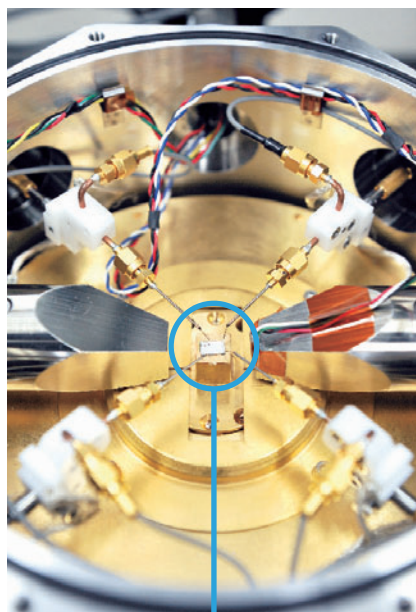
「スピノ流の物理の基礎となるのは、電流の物理です。たとえば、電流を流すとどうして磁場ができるのか、根底から理解していれば、スピノ流も理解できます。スピノに限らず、物理的に突き詰めれば、そこに何があるべきなのか、どうならなければならないのか、それをたしかめるためには何をすればよいかも見えてくるんですよ。その論理がたしかならば、考えたとおりの結果が出る。物理現象は自然現象です。自然はよくできている、美しいと思いますね」

相互に刺激し合う さきがけという場

すでに触れたように、白石教授も齊藤教授もさきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」領域の研究課題としてスピントロニクスの研究に取り組んでいる。さきがけとは、JSTの戦略的創造研究推進

絶縁体に電気信号を流す

絶縁体である磁性ガーネット結晶に2つの白金電極をつける。一方の電極から流した電流がスピノ流に変えられて磁性ガーネットを通り、もう一方の電極で再びスピノ流から電流に戻ることが確認できた。絶縁体に電気信号が流れたことが証明された。



があると語る。

「レベルの高い研究者が集まって、真剣にディスカッションする。領域会議に1回出れば、通常の学会に何回も出るよりもよほど得るものは大きいのではないのでしょうか。これをきっかけに問題解決ができたという人も少なくないと思います」

白石教授も、領域会議を通じて科学観が変わるほどの影響を受けたという。

「さまざまなバックグラウンドを持った同世代の最先端の研究者たちの話を聞くのは、優秀な先生の講義を連続で受けているようなものですから、本当に勉強になりますよ。わからなかったら、懇親会などで質問すればいい。そうして得た知識は、研究の壁をぶち破るヒントにもなります」

イノベーションを 生み出す土壌に

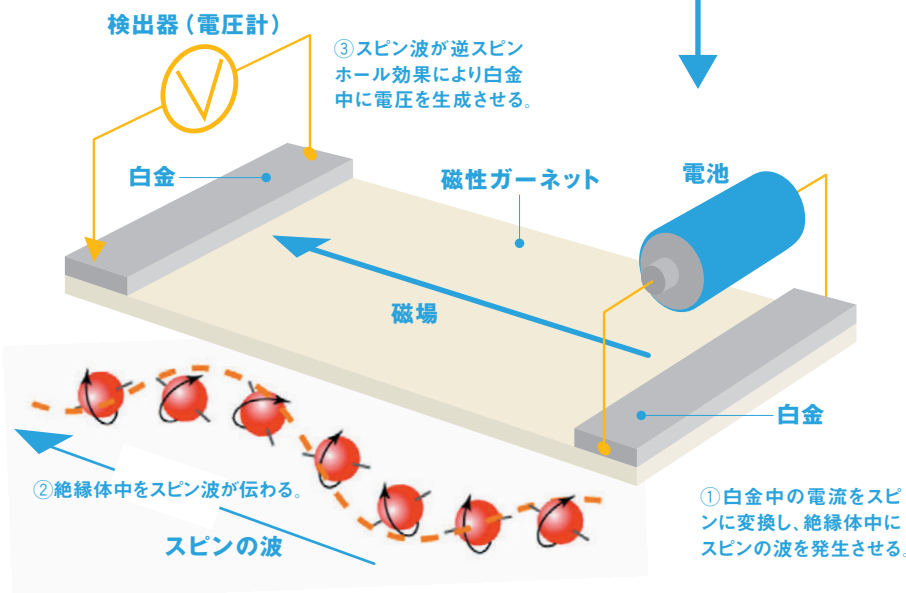
先ほど紹介した齊藤教授の研究成果は、領域内の評価にとどまらず、大きな反響を呼んでいる。そんな状況を横目で見て、白石教授は、「逆転ホームランを打ってみせます」と宣言した。

「齊藤教授がこの領域を引っ張ってくれているのは間違いありません。刺激を受けている人は私のほかにもたくさんいます。でも、彼だけに支えてもらっているのは申しわけないという想いや、自分も彼に負けたくないの気持ちでやらなければダメだという誇りもある。それがあんな言葉になって出たんですよ(笑)」

そんな若手研究者たちの姿を、領域総括である佐藤勝昭・東京農工大学名誉教授は、厳しくも温かく見守っている。

「チャレンジングなテーマだけに、3年間ではたしかな成果が上がらない人もいられるかもしれませんが。わずか2年でこれほどの成果を出した齊藤教授は、特別な例だと思います。しかし、さきがけの研究期間で、少なくとも次につながる何かは得てほしい。研究課題の採択にあたって、次につながるかどうかは、見極めるようにしました。新しい分野だけに、スピントロニクスのなかには盾唾ものの研究も多いといわれていますが、齊藤教授の物理の筋道を見通す発想力や、白石教授の自らの成果を厳しく吟味する真摯な姿勢は、きっと将来につながると信じています」

たしかな目を持つ先達のもとで、個性豊かな若手研究者が刺激し合い、競い合う。こうした場こそが、常識を超えた新たなイノベーションの芽を大きく育てるための、格好の土壌となることだろう。■



事業のなかでも「個人型研究」と呼ばれるもので、次世代デバイスのようにチャレンジングなテーマが設定され、それに挑戦できる素養を持った若手を中心とする研究者が採択されることが多い。研究総括と領域アドバ

イザーのもと、「領域会議」と呼ばれる年数回の合宿形式の研究発表などを通じて、研究者たちが互いに交流・触発しながら、3年間、または5年間の研究に取り組む。齊藤教授は、この領域会議にこそ、さきがけの大きな価値

JSTシンポジウム開催報告

グリーン・イノベーションへの国際協調とは？

2010年5月17日（月）、世界を代表するファンディング・エージェンシーが一堂に会し、現在もっともホットなテーマの1つである「低炭素社会の実現」を論じ合うシンポジウム「低炭素社会を目指すグリーン・イノベーション促進のための国際協力」が開催された。地球規模で解決すべきこの課題に、科学はどのように立ち向かうべきか、各国それぞれの立場から議論が進められた。

Speech Session

各国のグリーン・イノベーション促進に向けた取り組み

世界規模の課題に立ち向かうために

ファンディング・エージェンシー——一般には、決して耳になじみのある言葉ではないだろう。日本語にすると「公的研究資金配分機関」。つまり、JSTのように、公的な資金（原資は国民の税金）を、どのような研究者、研究機関にどれだけ配分するかを決定する機関のことだ。

税金を使うからには、無駄遣いは許されない。しかし、目先の実用化・産業化ばかりを追って基礎研究をないがしろにしていると、長期的な科学の発展には結びつかない。逆に、基礎研究ばかりに重きを置いて応用を軽んじれば、産業の発展は望むべきもない。この2つのバランスを取りながら、もっとも効率的と思われる資金配分を行うのが、ファンディング・エージェンシーの職務なのだ。

現実を見据えつつ、理想を追求。この、ある意味で二律背反するスタンスを持つファンディング・エージェンシーは、だからこそもっとも冷厳な眼で、現在の世界が直面する諸問題を考えるべき立場にあるといえるだろう。

低炭素社会への転換は新たな成長の出発点！

今回、「低炭素社会を目指すグリーン・イノベーション促進のための国際協力」シンポジウムが開催されたのは、東京・青山の国際連合大学内にあるウ・タント国際会議場だ。日本のほか、韓国、メキシコ、中国、フランス、ドイツ、スウェーデン、イギリス、アメリカ（発言順）代表の出席を得て、満場

参加組織および講演者（登壇順）



韓国研究財団 (NRF) 理事長

Chan Mo PARK
パク・チャンモ



メキシコ 国家科学技術 審議会 (CONACYT) 長官

Juan Carlos ROMERO-HICKS
ファン・カルロス ロメロ・ヒックス



JST 低炭素社会 戦略センター (LCS) センター長

Hiroshi KOMIYAMA
小宮山宏



中国 国家 自然科学基金 委員会 (NSFC) 副会長

Minghong HE
ホー・ミンホン



の参加者を前に午前10時に開会した。

シンポジウムは、JST北澤宏一理事長と中川正春文部科学副大臣の開会挨拶からスタート。二酸化炭素（CO2）削減を中心とする「低炭素社会」化を「新たな成長の出発点」と見なし、積極的に取り組んでいく姿勢をアピールした。続いて「基調講演」と、「スピーチセッション」が行われた。各国のファンディング・エージェンシーが、各機関の特徴を紹介し、それぞれのグリーン・イノベーションへの取り組みを発表した。

※日本の2度の発表は、JSTの「低炭素社会戦略センター（LSC）」の小宮山宏センター長が同センターについて紹介し、北澤理事長がJST全体としての取り組みを発表したもの。

新しいパラダイムで人の考え方に変化を

韓国：2008年にイ・ミョンバク大統領が「グリーン成長は韓国にとって、選択肢の1つではない。生き残る唯一の方策なのだ」と宣言。グリーン・イノベーションをエコという観点だけでなく、経済的な意味合いからも、国の持続的な発展のためには必須な戦略と位置づけた。

以来、大統領が直接指揮をとるグリーン成長委員会の強力なリーダーシップのもとで、さまざまな施策を実行。新たなテクノロジーの創成はもちろんだが、これまで過小評価されがちだった基礎研究の重要性を見直し、既知の技術を統合することで、新しい価値を持たせることにも力が注がれている。と同時に、人々の意識改革も重要視され、そのスローガンが「Me First（私か

ら)」。グリーン成長を単なる政策ではなく、新しいパラダイムとして、人々の考え方や行動にも変化をもたらすことを目標としている。

メキシコ: 途上国の1つだが、環境問題には意欲的で、1992年には早くも気候変動枠組条約に調印。国内の砂漠化や洪水といった具体的な問題に直面するなか、綿密なリサーチや目標設定をもとに、経済成長と低炭素社会両方の実現を目指しており、すでに実績も上がっている。

日本: 「2050年まで、時間はもうあまり残されていない」という前提のもと、1. エネルギー効率を3倍に 2. 再利用可能なエネルギーを2倍に 3. リサイクルシステムの確立、という3つの具体的な目標を提示。2050年に90億の人々が現在の先進国なみの暮らしを送るようになれば、3倍のエネルギーが必要となるが、それを効率化により相殺することができれば、22世紀には明るい未来が待っているだろうとの考えを示した。

その際に問題となるのは、投資の回収まで10年から15年かかる省エネ技術に、い



フランス国立
研究機構
(ANR)

持続可能エネルギー
環境部長

Philippe
FREYSSINET
フリップ
フレジネット

ドイツ
研究振興協会
(DFG)

副会長

Bernd
SCHOLZ-REITER
ベルント
ショルツ-ライター



スウェーデン
システム
イノベーション
開発庁
(VINNOVA)

チーフストラテジック
オフィサー

Jonas
BRANDSTROM
ヨナス
ブレンストロム

で、政府は持続可能な成長を最優先課題にあげ、グリーン・イノベーションの促進に力を入れている。ただし、まだリサーチ不足は否めず、そのためにも世界のファンディング・エージェンシー間の協力は大いに歓迎したい、とくに日韓との協力による、アジアベースの低炭素戦略が必要だと訴えた。

フランス: たとえば、情報技術 (IT) のような他の新興テクノロジーとくらべると、グリーン・イノベーションは単なる技術革新や性能だけでなく、政策や法規制、あるいは対価に左右される部分が多い。その意味では人々の「教育」が重要だし、国際的な世論の形成も必要になってくる。社会的、経済的な指標づくりを共同で行えば、そうした動きへの一助となるのではと提言した。

ドイツ: グリーン・イノベーションの「トレンドセッター」を自負し、材料からエネルギーまで、さまざまな分野で研究・開発を進めている。とくにエネルギー変換の分野に力を入れており、アメリカ、ロシア、インド、日本にもドイツ研究振興協会のオフィスを置くなど、国際協力にも積極的。

スウェーデン: 気候変動、資源の枯渇、経

グリーン・イノベーションが新たな社会的・経済的価値を生む

かに投資を向けさせるか。とくに、ものづくりにおける省エネがギリギリまで進んでいる日本の現状では、「日々の暮らし」で省エネを図るしかない。たとえば、エコハウスのような技術に対する初期投資の大きさが障害になってくるのだが、低炭素化は局所的に発生する公害と異なり、60億人全員がかかわる問題である。そのためには、各国がそれぞれの知識を再利用できるようにする「知識の構造化」と、社会と科学を結びつける、架け橋的な存在が重要だと結論づけた。

社会の変化を促しつつ 子どもたちに明るい未来を

昼食をはさんでの「スピーチセッション」では、世界での存在感を増す中国が口火を切った。

中国: なにしろ国土が広大で、人口が多く、地域によって気象条件も大きく異なるため、非常に問題が複雑化している。過去30年の急速な経済成長で、生活水準は大きく向上したものの、いまだに途上国レベルの地域も多い。このような困難な状況のなか

英国工学
物理科学研究会議
(EPSRC)

ディレクター
(ビジネスイノベーション)

Catherine COATES
キャサリン
コーツ



全米国立科学財団
(NSF)

東京事務所長

Machi DILWORTH
マチ
ディルワース

科学技術
振興機構
(JST)

理事長

Koichi KITAZAWA
北澤宏一



済危機を同根の問題と見なし、グリーン・イノベーションは、その3つに同時に挑むものと定義。研究によって新たなビジネスチャンスが生まれ、それがより明るい未来にもつながるという見方を示した。

イギリス: 政権交代の直後だったため、過去の政策と実績を中心に発表。「環境変化に応じた生活」「低炭素イノベーション・プラットフォーム」といったリサーチやプログラムが紹介され、新政権でもこうした方針の継続を望むと発言した。

アメリカ: 「低炭素社会の加速」が、オバマ大統領の最優先事項の1つであることを強調し、「持続性のための科学・エンジニアリング・教育 (SEES)」という新たな研究支援プログラムがスタートしたことを報告。加えて国際的な科学技術協力の重要性にも触れ、それが未来の基盤になると訴えた。

日本: JSTの低炭素社会実現に向けた取り組みとして、低炭素社会戦略センターの取り組みや、新たに立ち上げた先端的低炭素化技術開発事業などを紹介。社会の変化を促しつつ、子どもたちに明るい未来のビジョンを示すことが重要だと締めくくった。

グリーン・イノベーションへの国際協調とは？



Discussion Session ファンディング・エージェンシーの国際協力の在り方

基礎科学の分野では研究者のネットワークづくりが必須

各論については、全員参加によるパネルディスカッションが行われた。登壇者間の討議の前に、まず、会場から質問が募られた。

CO2をグローバルな経済にどう取り込んでいくべきか？

最初の質問は「ファンディング・エージェンシーが資本配分する研究テーマの選び方」。研究者サイドから研究テーマを提案する「ボトムアップ」方式と、政策立案側から研究テーマを提示する「トップダウン」方式に大別されるが、これは国によってまちまち。また、研究テーマによって、いずれの方式も取りうるという機関も多かった。グリーン・イノベーションに関しては、各国とも一丸となって取り組んでいることをアピールした。

これまでの発表を聞く限りでは、テクノロジーに重きを置きすぎていて、自然の治癒力を回復させてゆくという視点が欠けているのでは？ という質問には、「自然保護を押し

進めるために、いちばん重要なのは人間の考え方。だから技術だけでなく、心の価値観の面でもイノベーションを目指していきたい」（韓国）、「グリーン・イノベーションという名称自体、そうした姿勢の現われ」（日本）との答えが返された。

続いての質問は、イノベーションのためのテクノロジーには経済的な側面もついてまわる。その一例が特許だ。せっかく画期的な技術が開発されても、それを1国、1企業、1個人が独占していたら、十分に活かすことができなくなる。ならばどうすればその障壁を越えることができるのか？

フランス:CO2をグローバルな経済にどう取り込むか？ その点がまず問題だろう。コペンハーゲンの気候変動サミットでは、CO2削減の目標設定ができなかった。削減には各国が賛成しているが……。

スウェーデン:人々の意識を変えることが重要だろう。グリーンな製品を選びやすくする、動機づけを設けるとか、場合によっては法律で定めるとか。押しと引きの両方が必要

になると思う。

日本:国際協力が進めば、特許が各国の持ち合いになるケースも出てくるだろう。

日本の強みと弱み 欧米との意識の違い

ほかの国々から見て、日本の科学技術のどこが魅力的か？ 逆に課題は？ という質問も出た。

スウェーデン:強みはたくさんあるが、とくに技術を商品化する能力がすごいし、うらやましいと思う。

韓国:基礎科学に強い。ノーベル賞受賞者が13人も出ていることが、そのなよりの証拠だろう。一方で、国家プロジェクトとして実施された第五世代コンピュータは、一般市場向けの応用がないまま終わってしまった。このときは、日本が排他的だったためだろう。もっとオープンに国際協力をするべきだ。

日本:たしかに日本人があまり外国に行かなくなったという問題はあ

イギリス:日本には組織的な強みがある。具体的な課題を与えられると、一本化してことに臨むことができる。逆に既存の組織が原因で、柔軟に動けなくなる側面もあるが、それはわれわれ共通の課題でもあるだろう。

フランス:日本は国土がせまく、資源にも恵まれていないため、おのずとイノベーションへの意識が高くなっている。

さらに質問は続く。欧米とひとくちに言うが、こと低炭素社会に関するかぎり、ヨーロッパとアメリカでは、大きく意識が異なっているように思える。その理由は?

イギリス:もともと気象科学に強い国なので、こういった分野では先陣を切りたいという気持ちが高く、国全体にもそれをサポートする気運がある。

ドイツ:しばらく前まで、ドイツはエコロジーの伝統があり、環境政策を重視する緑の党が連立政権を組んでいた。このことから

海外の研究者にも資金を提供し、知識を交換し合うことも大切。また、途上国に対しては、技術援助を行っていききたい。

イギリス:社会的、経済的な分野での協力も重要。そのためには、研究者のネットワークづくりが必須となる。

中国:こういった場で学んだことを持ち帰ることが重要。とくにわれわれは先人の教訓を学び、それを活かしていく必要がある。それが世界に対する中国の責任だ。

ドイツ:基礎科学に関して、あらゆる分野で協力していききたいと考えている。

フランス:共通の指標を設け、それに向かって研究、開発を進めていけば、よりよい国際協調が可能になるだろう。

スウェーデン:この問題に関しては、ユニークな技術を持つ中小企業の力も無視できない。そうした企業が国際的に出会う場を作ることができたらおもしろいのでは。

知識を交換しあう ネットワークづくりを

わかるとおり、Think Greenという考え方が政権にも浸透している。

スウェーデン:ヨーロッパでは、地方自治体の力も大きい。各自治体が独自に環境破壊を食い止める努力を続けている。

フランス:アメリカに比べ、ヨーロッパはエネルギーのコストが高い。だから、おのずとエネルギーの消費には敏感になってくる。

アメリカ:現在の大統領は、この問題に積極的だ。科学に立脚したソリューションを見つけ出そうとしている。今後は政権が変わっても、一定したスタンスを保っていける体制づくりが重要だろう。それと同時に国民の意識改革を進めていく必要もある。

より効果的な研究に 必要な国際協力とは?

最後に今回のテーマである国際協力について、各国それぞれの立場から意見が表明された。

メキシコ:なかには、インフラが不足している国もある。人材教育に加え、サポートを他国から得られる体制づくりも重要だ。

韓国:すでに、さまざまな国際プログラムを進めているが、とくに重要なのは具体的なリサーチの分野。国ごとにプログラムを策定し、より効果的な協力を進めていくべきだ。



シンポジウムには約300人が集まり、発表を熱心に聞く耳を傾けた。質疑応答にも積極的に参加

アメリカ:基礎科学での国際協力が必要。そのために、予算面での優遇も考えている。また、日本と同様、海外に行く若者が減っているため、海外との交流を積極的に促進していききたい。

パネルディスカッションの締めくくりには、議長を務めた北澤理事長が、共同声明的な意味合いを持つ提言書を発表。それとともに5時間を超えるシンポジウムは幕となった。地球規模で解決すべき課題であるがゆえに、議論は尽きなかった。今回、各国のファンディング・エージェンシーが集結し、それぞれの立場から、それぞれの取り組みを紹介し、解決に向けて協調して臨む姿勢を打ち出せた意義は大きい。■

提言書(骨子)

2010年5月17日(月)、「低炭素社会を目指すグリーン・イノベーション促進のための国際協力」に参加した全9カ国のファンディング・エージェンシーの代表は、このシンポジウムでの議論を通じ、人類社会が直面する諸問題、とりわけ気候変動という問題に対処し、低炭素社会を実現するためには、グリーン・イノベーションを視野に入れた研究促進がきわめて重要であり、そのために各国のファンディング・エージェンシーが果たすべき役割の重要性を、次の通り確認し合いました。



5時間以上におよぶシンポジウムの締めくくりに、提言書が発表された。提言書の詳細は下記URLに掲載されている。
<http://www.jst.go.jp/report/2010/100524.html>

- 1) グリーン・イノベーションとは、環境・資源・エネルギーに関する科学的発見や技術的発明に基づいて、低炭素社会を構築するための挑戦です。この挑戦は、新たな社会的価値や経済的価値を生み出し、気候変動問題の解決と社会経済の持続的な発展を両立させ、世界の持続的成長の原動力となります。
- 2) グリーン・イノベーションを促進するためには、国や地域の特性にあった人々のライフスタイルの再検討を促す必要があること、異分野間研究協力による技術的革新が必要であることが確認されました。
- 3) いずれのファンディング機関も、従来以上にグリーン・イノベーションの重要性を認識し、その活動を一層強化していくことが確認されました。
- 4) グリーン・イノベーションを促進するためには、さまざまな関連国際協力に対する支援活動が重要であることが確認されました。
- 5) そのような活動を促進するため、今後、各ファンディング機関の専門家が協議を行い、ファンディング機関間の国際協力によって解決すべき具体的な課題や、方策について検討することに合意しました。

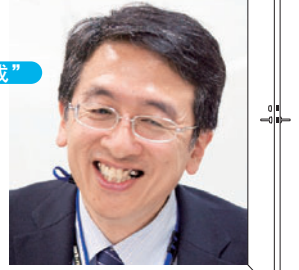


ようこそ 私の研究室へ 39

戦略的創造研究推進事業 CREST「ナノ科学を基盤とした革新的製造技術の創成」

「第二世代カーボンナノチューブ創製による不代替デバイス開発」
研究代表者

片浦弘道



カーボンナノチューブの本格的応用への道を拓く 金属型と半導体型などの分離技術、制御技術を開発します。

PROFILE

片浦弘道 (かたうら・ひろみち)

産業技術総合研究所
ナノシステム研究部門 グループ長

1959年、栃木県生まれ。87年、筑波大学大学院工学研究科修了(工学博士)。87～04年、東京都立大学(現・首都大学東京)理学部物理学科助手。04年に産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門(現・ナノシステム研究部門)に移り、05年より自己組織エレクトロニクスグループ長(現職)。首都大学東京客員教授、上海大学客員教授も務め

る。専門は物質物理学、カーボンナノチューブの合成と光物性。07年より戦略的創造研究推進事業CREST「ナノ科学を基盤とした革新的製造技術の創成」領域の研究課題「第二世代カーボンナノチューブ創製による不代替デバイス開発」の研究代表者。2009年、水内包カーボンナノチューブに関する論文により、第14回日本物理学会論文賞を受賞。



2種類が混在して合成される という応用への障壁をクリア

「カーボンナノチューブには金属型と半導体型の2種類があります。金属型は透明導電膜など、半導体型はトランジスタなどの画期的な材料となる可能性を秘めています。ところが、金属型と半導体型が混在した状態でしか合成されず、2種類を分ける効果的な方法は見つかっていませんでした」

片浦弘道さんは、この厄介な問題への画期的な解決策を示し、本格的応用への道を拓こうとしている。従来の密度勾配超遠心分離法を改良して、重力の20万倍ものGをかけることで、8時間程度の処理時間で2種類を分離させることに成功。そして、さらに画期的な方法の開発にも取り組んでいる。

「注射器に寒天を精製したゲルを入れ、カーボンナノチューブの分散液を注ぐと、金属型だけがゲルを通過して出てくるんですよ。半導体型はゲルの中に留まっているんですが、そこに別の液体を注ぎ込むと、半導体型を取り出せることも確認しました。これならずっと簡単に両者を分類できます」

片浦さんがこの研究に取り組んだきっかけ

は、2004年に産総研に入った際に書いたロードマップだったという。

「正直に言って、できると確信があったわけではありません。効果的な分離方法が求められているのは明らかでしたから、とりあえずそれをテーマに書いてみたのです。それをメンバーに見せたら、意欲的に取り組んで、思ったよりもずっと早く実現してくれました。だから、いちばん驚いているのは私じゃないですかね(笑)。ただ、ロードマップにウソは書きませんでした。実現のためにどんな問題をクリアする必要があるのか、その道筋や課題を、真摯に考えて書いたつもりです」

その裏には、研究生のなかで偶然訪れたカーボンナノチューブとの出会いと、濃密な付き合いの日々がある。



午前中に合成した材料を 午後分析する日々

「中学生の卒業文集に『早稲田大学の理工学部に進み、博士になる』と書いていたんで、その頃の夢を実現したことになります。大学は早稲田ではなくて筑波でしたけれど(笑)」

自然科学に興味を持ったのは、6歳上と3歳上の、2人の兄の影響が大きかったという。

「『絶対零度では体積がゼロになる』とかウソかホントかわからない話を吹き込まれ、そのまま学校で話すと友だちが感心してくれるものだから、理科が好きになりました」

こうして物理学者の道に進み、おもに光による物性研究に取り組むが、しばらくは研究にのめり込めずにいた。そんなとき、運命の出会いが訪れる。

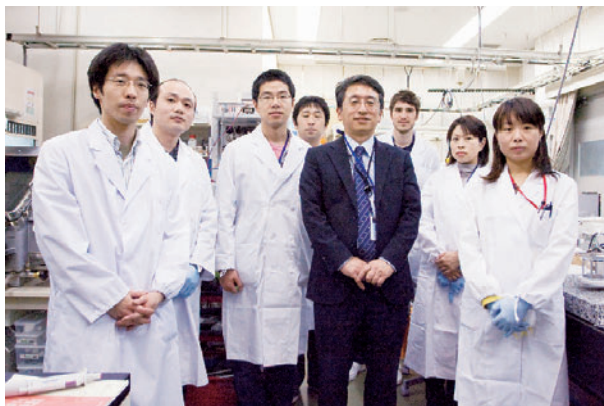


「カーボンナノチューブは当初、研究対象として見ていませんでした。物性研究には大量の試料が必要なのですが、当時、カーボンナノチューブの大量合成法はなかったんです。そんなとき、同僚の先生からカーボンナノチューブの共同研究を持ちかけられたんです」

機械を貸すくらいならいいかと思って始めたところ、しばらくして大量合成が可能になったのを機にのめり込んでいく。

「合成するとき、ススの塊にレーザーを当てると、ナノチューブがガラス管の中を流れてきます。そのとき、すすの表面では火の玉のようなきれいな光を放つんですよ。どうして合成するときこんなことが起きるんだろうと興味を持ちました」

一般に、物性研究者は、合成に関しては専門家に任せるものだが、片浦さんはものづくりが好きだったこともあり、合成も自ら行った。午前中に合成した材料の物性を、午後、光を使って調べる。その結果をもとに、翌日、新しい方法で合成してみる。夢中になってそんな日々を繰り返すなかで、誰にも真似できない高純度のカーボンナノチューブを合成できるまでになった。その過程で、ナノチューブの



さまざまな性質も見出していく。



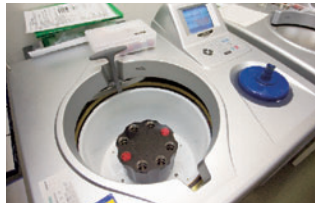
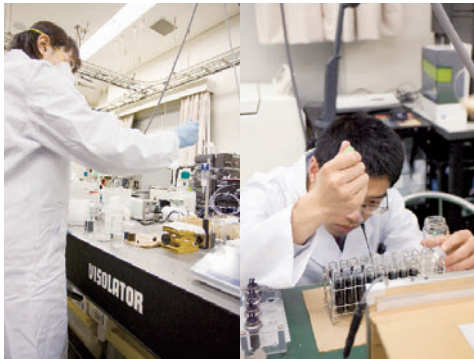
**勝手に分子が出たり入ったり
不思議な性質に魅入られて**

「カーボンナノチューブは蓋のついたチ」

広がる。カーボンナノチューブ薄膜の光吸収スペクトルを調べていた際には、チューブの直径による法則性があることに気づいた。それをもとに専門外の計算に挑んで作製した「片浦プロット」は、カーボンナノチューブの光学

特性を同定する際に有効なものとして高く評価されている。最新の研究成果の1つである「三原色を示す金属型カーボンナノチューブ分散液」（「研究の概要」参照）もこのプロットが発展して生まれたものだ。

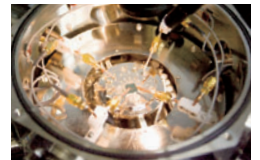
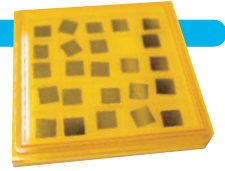
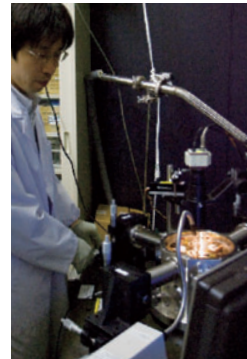
カーボンナノチューブを金属型と半導体型に分離



密度勾配超遠心分離法を改良し、分離の効率アップと直径による分離を実現。

カーボンナノチューブの分散液を特殊なゲルに注ぐだけのまったく新しい分離法。短時間での分離が可能になった。

電気特性の確認



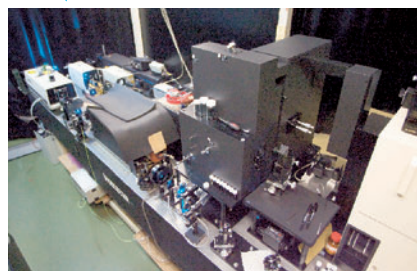
カーボンナノチューブの電気特性を調べ、金属型と半導体型に分かれているかなどを確認。



ューブ状をしています。蓋の部分の焼ききると、チューブの中に空気中の水分が勝手に入っていくんですよ。しかも、その水がおもしろい挙動を示すんです。チューブの中で自らチューブを作って凍ったり、温度や圧力を変えると、水が出てきて周囲の気体の分子が入ったり、また水が入ったりするんです」

こうした性質を利用して、カーボンナノチューブの中にフラーレンが入った新物質・ピーポッドの高品質試料の大量作製に成功。分子選択型のガスセンサ開発などの可能性も

ラマン分光装置による測定



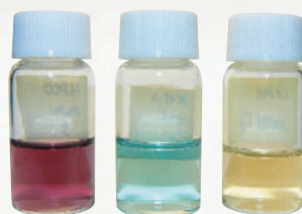
材料にレーザーを照射し、散乱する光を分光器に通して、カーボンナノチューブの質を評価する。

偶然出合ったカーボンナノチューブにのめり込み、その謎を追いつけて大きな成果を生み続けている片浦さん。しかし、過去には、研究者としてのやりがいを感じながらも、評価されずに悩んだ時期もあったという。

「国内での評価が低かったのですが、まず海外で高く評価され、自分のやってきたことは間違っていないと確認できました。常識にとらわれず、自由な感覚で研究をする。それが自分の研究スタイルですし、ライフスタイルそのものだと思います」

研究の概要

カーボンナノチューブには金属型と半導体型の2種類があり、それらが混ざって合成されることが実用化の大きな妨げになっている。そこで、新技術により金属型と半導体型を分離し、さらにカーボンナノチューブの内側の空間への異種分子の挿入などにより、電子状態の精密な制御が可能な「第二世代カーボンナノチューブ」を創製。高性能薄膜トランジスタなどのデバイス開発も目指す。



三原色を示す金属型カーボンナノチューブ分散液。直径0.8nm＝黄、1.0nm＝マゼンタ、1.4nm＝シアン。日本科学未来館に展示され、いつでも実物を見ることができる。(nm＝ナノメートル)

現在までの成果の1つに、三原色を示す金属型カーボンナノチューブ分散液がある(写真参照)。カーボンナノチューブ固有の色が、理論上、金属型か半導体型だけでなく直径によっても異なっていることに着目。直径による分離技術を開発し、実現させた。作製した薄膜がインクと同様の色を示し、極めて高い導電性を有することも確認している。また、ゲルを用いたまったく新しい分離法も開発。従来の方法にくらべて簡便で、金属型と半導体型の分離と同時に直径による分離も可能なため、応用に向けた重要な技術として期待されている。

02 科学技術・理科教育用デジタル教材を開発 理科教材開発・活用支援事業



事業の概要

JSTでは、小・中・高等学校の授業で使える理科教育用のデジタル教材集「理科ねっとわーく」をWebサイトで公開している。

実物を見たり、実験を経験したりすることで、より理解の深まる理科の授業。しかし、授業時間や実験器具の制約などでなかなか思うように実験ができない場合もあるし、そもそも火山の噴火のメカニズムなど、実物を見ること自体が大ごとだ。こんなときに、「理科ねっとわーく」の動画や静止画像が授業の役に立つ。

「理科ねっとわーく」には、現在129

理科ねっとわーく



<http://www.rikanet.jst.go.jp/>

本のタイトルが用意されており、それらを構成する動画・静止画像などのデ

ジタル素材は4万7000点を超えている。しかも、これらのデジタル素材は、授業計画に合わせて、学校の先生が自分で自由に加工・変更が可能だ。先生の工夫でオリジナルのワークシートも作れる。また、全国の先生による活用事例も収録されているので、授業計画の立案にも役立てることができる。

現在、約5万人の先生が授業で活用しているが、さらに大ぜいの先生方に利用してもらうために、JSTでは、大学の教育学部や教員向けに講義や研修会などを行っている。

活用支援事業より

●大学教育学部での講義

将来の理科の先生に「理科ねっとわーく」を

この講義は、これから教職を目指す学生たちに、「理科ねっとわーく」の存在を知ってもらい、教育の現場に出たときに、実際に役立ててもらおうという狙いで行われている。

これまでに、主に東北、北陸、関東地方の国立大学の教育学部を中心に20~30の大学で実施されてきた。通常、教育学部の授業の1コマとして行われるが、公開授業としてより多くの学生に開かれる場合もある。



「理科ねっとわーく」には、一般公開版も用意されている。児童・生徒や一般の方でも利用できるよう、現在118本のタイトルが公開されている。

<http://rikanet2.jst.go.jp/>

講義では、「理科ねっとわーく」が作られた目的、実際の使い方や、コンテンツ上の著作権、肖像権などの注意点がレクチャーされる。

とくに学生のみなさんが興味深く感じているのは、実際に活用している先生の事例紹介だ。講義終了後に、「自分も紹介されたような授業をやってみたい!」という感想が多く寄せられてきている。

この講義を受けた学生たちが、将来教育の現場に出て、「理科ねっとわーく」を使った効果的で興味深い授業を行い、それを受けた児童・生徒たちが「理科ってオモシロイ!」と思っ

てくれることを期待したい。

●教員研修会

先生向けは、パソコンでの実践的な実習も

現役で教育の現場にいる先生が抱く「日々の理科授業をどのようにやっていくとよいか」という悩みに対して、「理科ねっとわーく」の活用が有効であることをアピールすることを狙いとした研修会。

都道府県や市町村の教育センターと連携して、教員研修の一環として行われるほか、学校主催の校内研修としても実施されている。

講義内容は、「理科ねっとわーく」の内容や効果的な利用法など、学生向けのものとはほぼ変わらないが、現場の先生が参加者ということもあり、より実践的な内容として、パソコンを使ったワークシートの作り方に関する実習が行われ、好評を得ている。

TEXT：大宮耕一