

JST news

未来をひらく科学技術

10

October
2016

Focus

材料科学の英知を結集する



3 JST設立20周年 ◆ 濱口道成 理事長インタビュー
**未来の価値づくりに
 新たな挑戦を**

6 Focus
材料科学の英知を結集する

12 社会への架け橋 ~シリーズ2 地球の水を考える 第3回~
水利用は「使い捨て」から「繰り返し型」へ

14 NEWS & TOPICS
超高精度の光格子時計で東京と埼玉の標高差を測定 ほか

16 さきがける科学人 Vol.54
コドプロス ディミトリス (日本科学未来館 科学コミュニケーター)



表紙写真

マテリアルズインテグレーション(高分子材料)のイメージイラストが写った画面を手にした、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」プログラムディレクターの岸 輝雄 東京大学名誉教授/物質・材料研究機構名誉顧問。

編集長:上野茂幸/企画・編集:浅羽雅晴・安藤裕輔・菅野智さと・佐藤勝昭・月岡愛美・鳥井弘之・松山桃世・村上美江・山下礼士
 制作:株式会社エフピーアイ・コミュニケーションズ/印刷・製本:北越印刷株式会社

未来の価値づくりに 新たな挑戦を

JSTは今年10月で設立20周年を迎えました。「日本科学技術情報センター (JICST)」と「新技術事業団 (JRDC)」が1996年10月に統合し、科学技術振興事業団(当時)が誕生しました。

この20年は国内外ともに激動の時代でした。発足の年に第1期科学技術基本計画がスタートし、JSTは同計画に沿った科学技術政策の中核的な実施機関の役目を担ってきたのです。イノベーションの推進、科学技術外交や震災復興など、科学技術の成果を社会につなぎ、希望の持てる国づくりや、明日の科学者を

育てる事業など、ユニークな事業に取り組んできました。

人工多能性幹細胞 (iPS細胞) の作製と、青色発光ダイオード (LED) の開発と実用化を長期にわたって支援し、2つのノーベル賞受賞につなげました。昨年は、ロイター社の「Top25 グローバル・イノベーター:国立研究機関」の世界第3位に選ばれました。

世界的な潮流のイノベーションを推進し、科学技術を社会に役立たせ、生活を豊かにするために、JSTはこれからどのような貢献が求められているのでしょうか。濱口道成理事長が語ります。



- 1996 科学技術振興事業団 (JST) 設立
- 2001 日本科学未来館 開館
- 2003 独立行政法人化、科学技術振興機構 (JST) と名称変更 研究開発戦略センター (CRDS) 設置
- 2006 第1回サイエンスアゴラ開催
- 2011 JST 復興促進センター設置
- 2012 山中伸弥氏、ノーベル生理学・医学賞受賞
- 2014 赤崎勇氏、天野浩氏、中村修二氏、ノーベル物理学賞受賞
- 2015 国立研究開発法人化 「Top25 グローバル・イノベーター:国立研究機関」第3位選出
- 2016

**20th
 Anniversary**

社会から求められる科学で 希望の持てる社会に

—— JSTは20歳になります。まずこれからの方向性や役割についておうかがいできますか。

濱口理事長 ひと言でいえば、私たちの仕事は科学技術によるイノベーションを通じて人類社会に貢献することです。新しい価値を創造し、それによって仕事を生み出し、暮らしを豊かにするような収入をもたらす、未来に希望が持てる社会をつくることなのです。国連の目標にも掲げられている「持続可能な開発目標(SDGs)」の実現です。日本は資源がないながらも、科学技術によって持続可能な社会を実現してきました。いま改めて激動する社会の中で新しい価値づくりが求められています。

イノベーションの質は変化しつつあります。優秀な科学者が突然何か新しい発見をし、技術を開発したからといって、実現するものではありません。少々難しいですが、社会に求められる価値として、あるいはモノとして実現されるプロセスが必要なのです。

例えばノーベル賞を受賞された赤崎勇先生は、家電メーカーの研究所に在籍していたからこそ、社会が何を必要としているかを肌で感じ取っていました。大学に戻って研究を深めることで、苦労しながら窒化ガリウムによる

青色発光ダイオードを実用化し、電力の供給を受けにくい環境にある世界の15億人に光をもたらすことができたのです。つまり社会の求めているものを実感し、日々の研究に生かすプロセスを踏んでこられたのです。JSTの活動はこれまで科学者の発明を社会実装していくスタイルでしたが、現在は基礎研究、応用研究、社会実装が一体化して同時進行できるように研究を支援していく経営手腕が問われています。

もう1つ大事なことは、日本の研究力の急速な低下を食い止め、いかに回復させるかにJSTとしても独自に挑戦することです。27の分野で国際比較したところ、この10年間に日本の科学技術論文の被引用件数は急落しています。この現状を新たなファンディングのシステムをつくることで解決したいと、真剣に方策を練っています。

ドイツは、日本と違ってずっとトップ3を維持しています。その要因は国際共同研究が圧倒的に多いためと考えます。ドイツのフラウンホーファー研究機構やベルギーの研究機関であるIMECなどから学べるところを分析中です。わかってきたことは、イノベーションを起こすには新たなファンディングのスタイルをつくり、大学と産業界の中間的な組織としてつなぐことです。

新たな価値を生み出す 仕掛けづくりを

—— JSTの将来像を打ち出した「濱口プラン」をどのように実現していきますか。

理事長 「濱口プラン」の中で特に新しい点は、独創的な研究開発に挑戦する「ネットワーク型研究所」の確立と、地域の拠点をつくる「地域創生への貢献」です。前者はJSTが支援しているトップレベルの研究者とのつながりをネットワーク化し、新しい価値を生み出すような仕掛けをつくと同時に、研究力の低下にも歯止めをかけます。後者は、フラウンホーファー研究機構やIMECのように、日本各地の固有の文化や人材が持つ潜在的な能力を掘り起こし、新たな社会的価値につなげる拠点としていきたいと思っています。来年度予算に反映させるため、文部科学省、財務省に働きかけています。

—— 少子高齢化、環境エネルギー問題など、課題先進国として抱えている問題があります。JSTの成果や活動を通してどのように世界に発信していきますか。

理事長 単に科学技術の分野だけにとどま

らず、イノベーションで社会を変えるような、複雑多岐にわたる多くの課題を解決することが求められています。また、科学技術そのものが外交の主要課題にもなり始めています。JSTのすべての活動において国際的な発信に力を入れていきます。

科学の限界と可能性 よく整理して説明すべき

—— これから20年、30年先まで、JSTが社会から信頼され、国民に夢や希望を与えられるようにするには、どんな役割が求められ、どのようなことが必要でしょうか。

理事長 まず最も大事なことは、JSTの活動は国民の税金で支えられていることを常に意識することです。国民に信頼され、期待される組織にならなければいけません。そのためには透明性、公平性、そして説明責任が問われます。医療の現場で使われるインフォームド・コンセント(十分な説明と同意)を常に意識し、科学技術の未来を語るときに、夢や希望だけではなく、科学技術の現時点での限界や、解決できることとできないことを、きちんと整理して説明することが大切です。症状を正確に説明し、どういう治療法を選択するかを患者さん自身に判断してもらう時代です。科学技術も同じで、単なる新しい知識や技術力だけではイノベーションは起きません。社会がそれを支持して、その価値を理解してこそ、実現できるのです。

—— 難解な専門用語の多い科学技術です。多くの人にわかりやすく伝え、知っていただくのはとても難しいことです。どこに気を遣い、どのように語りかけたらよいのでしょうか。

理事長 ICTの発展によって、専門家でもなくても詳しい情報を簡単に調べられるようになりました。病気の診断や治療にしても、新米の医者よりも、患者さんの方が知識を持っていることがあります。対話の中で、短いフレーズに込められた相手の疑問や質問、思いを的確に読み取る能力が科学者には必要です。

同意を求めるには、論理だけでは通用しません。科学者の仕事は厳密な実験をし、正確なデータを出すという地道な作業ですが、相



手の気持ちに寄り添い、十分に真意が伝わるように説明することが必要なのです。この能力を身につけていく中で、自分の生きている意味や価値、喜びを深く実感できるのです。そこに人生の真実があるのです。研究者の道を選んだ人は、この価値をぜひとも実感していただきたいと思います。

復興支援に感動 どう寄り添うか考えよう

—— ではJSTの職員はどのように貢献できるでしょうか。

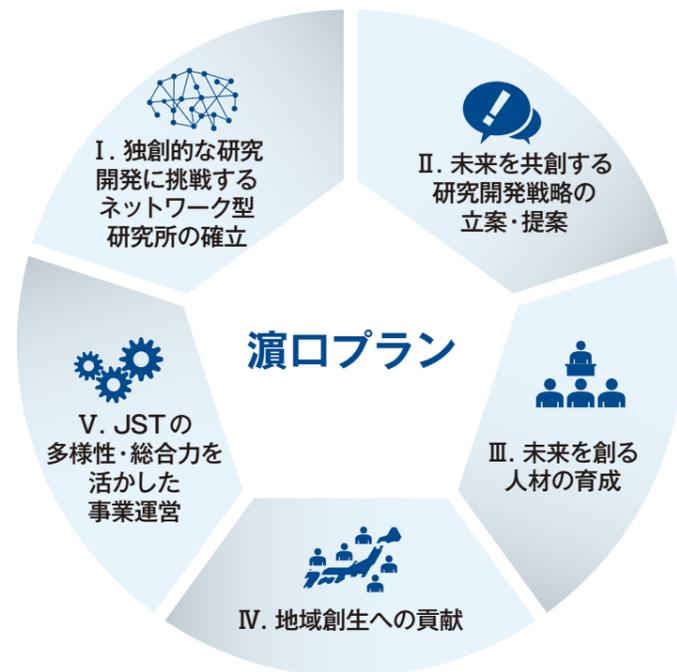
理事長 ナビゲーターとしての能力が必要です。幅広い分野の知恵が結びつかないとイノベーションは起きません。違う価値観や言葉を持った人を引き合わせるような場をつくることです。そこでうまく調整・運営し、両者が寄り添えるような社会をつくるのです。そのキーマンになれるのが他ならぬJSTの誇り高い仕事なのです。

—— 最後に、この10月で理事長に就任してまる1年になります。この間、強く印象に残ったことはどんなことでしょうか。

理事長 最も感動したのは東日本大震災に対するJSTの復興支援活動です。復興を科学技術の力で支援し、新たな企業を興し、地域に仕事を生み出すことができるのだと実感しました。この仕事を地道に黙々と苦労してきたJST職員がたくさんいることが嬉しかったです。

科学技術の課題とは人類社会の持続可能な発展に貢献することだと言ってしまおうと、とても難しく思うと思いますが、その原点は一人一人にどう寄り添うかです。どのように支援するのか、どうしたら希望が生まれるのか。それを科学技術のプロ集団として、常に問い続けることが大事だと思います。

—— 難しい問題を噛み砕いてお話しいただきました。ありがとうございました。



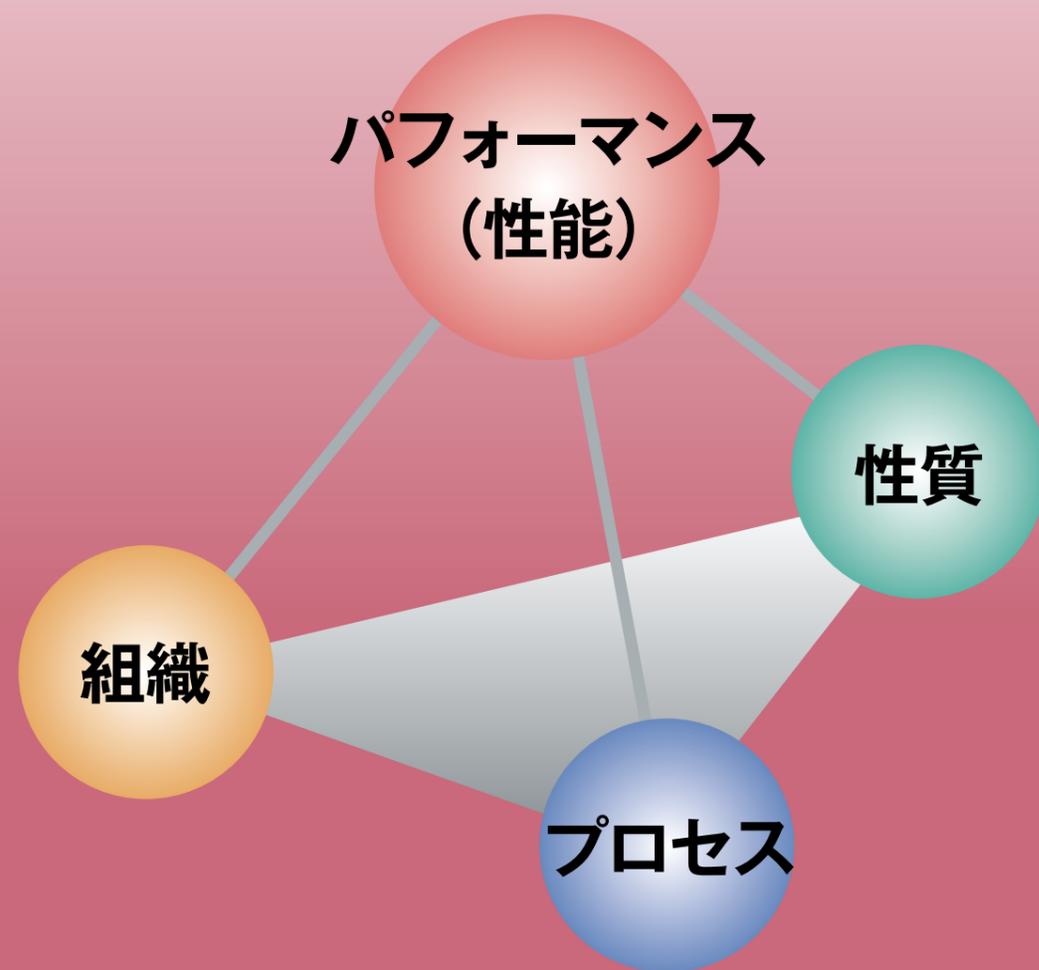
材料科学の英知を結集する

優れた構造材料を、より早く創出する開発手法「マテリアルズインテグレーション」

航空機や自動車、ビルや橋のような建築物まで、物の形を保つ素材が構造材料である。素材は、鉄やアルミニウムなどの金属、セラミックス、木材や高分子材料などさまざま。耐熱性、耐食性、高剛性、靱（じん）性を生かして、適材適所で活用されている。「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の課題のひとつ「革新的構造材料」では、航空機の性能を高める革新的な材料の

開発をめざす。ねらいの1つが、「マテリアルズインテグレーション」。材料開発の優れた経験や暗黙知、理論、実験の成果と、データ科学やシミュレーション、AI(人工知能)などの計算科学を融合することで、材料開発を飛躍的に効率化することをめざす。その挑戦的な取り組みを紹介する。

材料を構成する4要素



温めた「逆問題」で、航空機開発に新境地を



岸 輝雄 (きし てるお)

東京大学名誉教授／物質・材料研究機構名誉顧問
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」プログラムディレクター

1969年東京大学大学院工学系博士課程修了(工学博士)。74年東京大学助教授、88年同大学先端科学技術研究センター教授。95年同センター長。97年通商産業省工業技術院産業技術融合領域研究所所長。2000年東京大学名誉教授。01年物質・材料研究機構理事、03年日本物学会議副会長、07年日本工学会会長、13年新構造材料技術研究組合理事長、14年内閣府プログラムディレクター、15年外務省外務大臣科学技術顧問参与。

SIPの「革新的構造材料」は、強く、軽く、熱にも強い新しい構造材料を開発し、日本の航空機産業を成長させることをめざしている。「マテリアルズインテグレーション (MI)」という新しい材料開発手法の創出にも挑戦している。MIは材料科学をどのように変えていくのだろうか。

ターゲットを航空機の構造材料に

内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」は、2014年にスタートした。総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI) が司令塔となり、府省や分野の枠を超えて科学技術イノベーションを起こそうという意欲的な大型プロジェクトである。その課題の1つが、東京大学の岸輝雄名誉教授がプログラムディレクターとして統括する「革新的構造材料」だ。

500人前後の乗客を乗せて音速に近い速度で飛ぶ大型ジェット旅客機は、安全かつエネルギー効率の高い輸送が要求される。そのために、高い強度だけでなく、材料の軽さ、

そして耐熱をも両立する機体材料が求められる。一方、高層ビルは、頑丈さだけでなく地震の揺れにも耐えるしなやかさが構造材に必要だ。物にはそれぞれの役割を果たすために求められる性能や品質があり、それに深く関わっているのが構造材料である。

長大橋、柔構造の高層ビル、軽く丈夫な自動車などの開発で豊富な実績をもつ日本は、高性能な構造材料の開発で世界をリードしており、国内でも重要な産業となっている。「しかし、丈夫で軽だけでなく、耐熱性を求められる航空機の材料分野では、日本はなかなか世界をリードできていません。SIP革新的構造材料では主に、耐熱性に重点をおき、航空機用の革新的構造材料を開発することで、

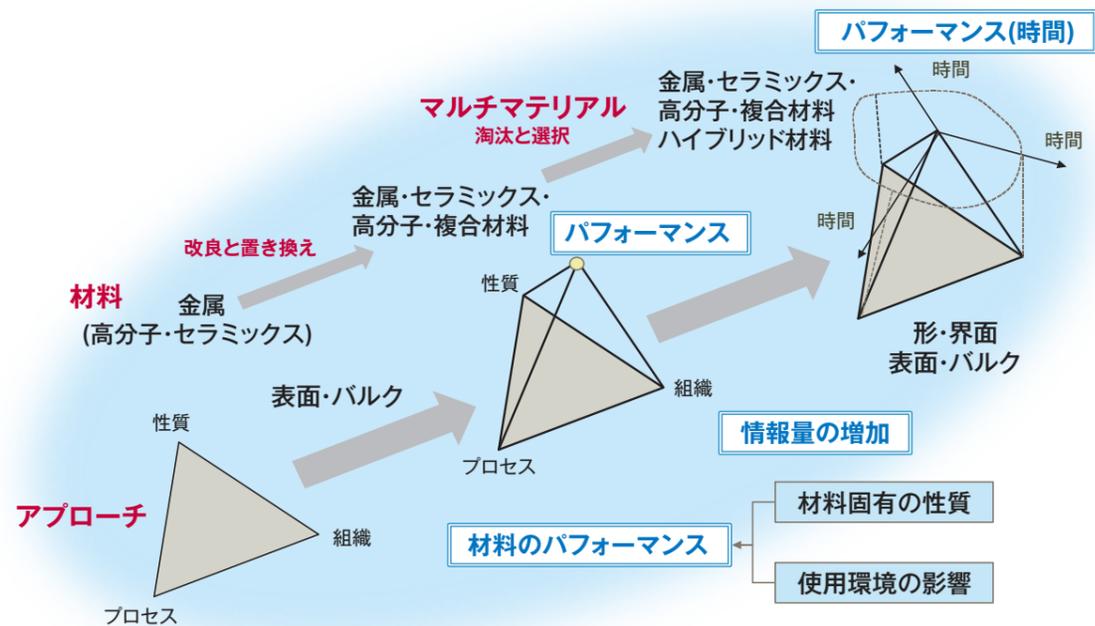
日本の航空機産業を盛り上げたいのです」と岸さんは語る。

そのためのテーマは4つ。航空機用樹脂の開発とFRP(繊維強化プラスチック)の開発、耐熱合金・金属間化合物などの開発、耐環境性セラミックスコーティングの開発、マテリアルズインテグレーション (MI) である。

耐熱性は3つのレベルに分け、300℃程度までに耐える樹脂複合材料、1000℃程度までの金属系材料、1300～1400℃までのセラミックス複合材料の開発をめざす。

4つ目のMIとは、材料の組織や性能(パフォーマンス)を予測するためのシステムや方法論を統合した開発支援ツールである。

ただし、岸さんのめざすMIは単なるシミュ



SIP革新的構造材料のマテリアルズインテグレーションでは、プロセス、組織、性質という従来の材料研究に加えて使用時のパフォーマンスを導入し、求められるパフォーマンスの実現・解決に必要な基礎基盤技術と結び付ける。材料種類の壁を超えたマルチマテリアル時代にも役立つことを視野に入れている。

レーションソフトではないという。「シミュレーション等の計算手法だけではありません。材料工学における既存の理論や、実験データ、そして研究者や技術者の『経験と勘』というもので取り込み、それをつなぎ、システム化していきます。そのシステムを用い、材料の開発や製造にかかる時間を短縮していきます。かなり挑戦的なことですが、取り組み意義は大きいと考え、材料開発である他の3テーマとは独立したテーマにしました」。

手間、時間、コストの効率化を

材料の研究開発では、組織、プロセス、性質、パフォーマンスという4つの要素がある。「組織」とは、材料の中の原子のつながりや結晶の構成のことである。実用材料は小さな結晶が複雑に組み合わさってできており、空間的に見ると、その原子や原子サイズの欠陥の並び方、元素の分布は均一ではない。これらも材料学では組織と呼び、他の物質科学にない着目点としている。組織は、目視で確認できるマクロなスケールから、光学顕微鏡、さらには電子顕微鏡で観察して初めて見えてくるミクロなもので階層的に構成されており、材料の特性に大きく影響を与える。素材をどう加工すれば目的とする組織をつ

ることができるのか、いわば料理のレシピにあたるのが「プロセス」だ。それらによって「性質」が決まる。例えば、10トンの引っ張りに耐えられる、ある力を加えたとどだけ変形するといった、材料固有の特性だ。その材料が実際に使われる際に発揮するのが「性能」だ。MIでは部材の実使用環境下での性能を「パフォーマンス」として、4つ目の要素としている。

構造材料は、建物や橋、発電所など、数10～100年という長い歳月で社会を支えるインフラに使用されるため、実際に長期間使われたときのパフォーマンスが問われる。例えば、湿度の多い環境に数万時間置いた場合、何万回も繰り返した力を加えた場合、パフォーマンスがどのように変化していくのか。1年は約9,000時間だから、10年使う製品では10万時間経ったときのパフォーマンスを確認しておかないと、安心して使うことはできない。

「そのため、特に構造材料の開発では、何年も、何十年もかけてパフォーマンスを評価する試験が行われてきました。しかし、4つの要素の関係は複雑で、『このプロセスでつくった構造の材料の性質がどのようなもので、別の材料と溶接したときにはどのようなパ

フォーマンスを示すか』といったことを評価するには、膨大な手間と時間、コストがかかっていました。優れた材料をより早く開発するには、そうした評価のための実験の回数を減らすなど、効率化を追求しなければなりません」と岸さん。

材料開発は、研究者や技術者の「経験と勘」に頼る部分が多い。理論や計算科学を導入しつつも、経験則に基づいて実験的に材料を合成する。その材料の構造やパフォーマンスをさまざまな角度から評価し、その結果をもとに次の実験に移り、また評価を繰り返しながら材料を探索していた。競争環境が厳しさを増す中では、そうした地道に実験を重ねる手法には限界がある。

MIでは、これまでに得られた材料科学の成果、理論、研究者の経験と知見、実験も活用しながら、データ解析やシミュレーション、人工知能(AI)などの最先端の情報技術を融合させ、材料開発を総合的に支援することで、材料開発の飛躍的な効率化をめざしている。「情報技術を活用するというと、コンピューターの中で簡単にできてしまうように思われるかもしれませんが、それほど簡単なことではありません。実験も計算科学も同じぐらい重要で、シミュレーションだけではなく、実験

データを取り込んだデータ科学としての構築を重視しています。データを中心に材料の性質を解析していくことで、実験を効果的に行うことができるようになり、開発効率は大きく上がると考えられます」と強調する。

新たな「逆問題」の発想で挽回

さらに、岸さんが中心となって進めるMIには、欧米にはない独自の発想がある。それは「逆問題」の発想だ。

「このような素材を使って、こういうプロセスでつくれば、こんな組織になり、特別な性質とパフォーマンスをもつ材料になる」と、素材を出発点に考えるのが「順問題」だ。逆に、「こういうパフォーマンスの材料がほしい」という目標を定め、「それにはどの素材を用いて、どんな組織にすればいいか、そのためのプロセスはどうするか」と、さかのぼって考えていくのが逆問題だ。熟練の材料研究者による暗黙知や勘による材料開発は、逆問題を解くような考え方で進められることが多い。

「逆問題の発想こそが、効率的、効果的な材料開発には重要であり、これを実現できるようにしたことが、われわれのMIの最も大きなポイントです。「材料のつくり方(プロセス)と組織」「組織と性質」「性質と最終的なパフォーマンス」というように、すべての要素を一つながりで扱うことをめざして、それが実現できれば、新たな合理的な方法が可能になります。将来は、逆問題の解析から新しい材料開発ができるようにしたいというのが、大きな目標です」。

この逆問題の発想や、プロセス・組織・性質・パフォーマンスを一貫通貫につなぐシステムの構築に挑んでいるのは、現在のところ日本だけである。これまでに蓄積してきた材料分

野の知見や、実験データの取得に欠かせないセンサー技術などの強みも生かしながら、MIを実用化することができれば、日本の材料科学は新たな境地を切り拓き、さらに強くなると期待できる。

計算科学が「逆問題」を進化させた

逆問題は、岸さん自身の研究とも大きく関係している。岸さんの専門は構造材料の非破壊検査だ。ものが割れるときには、内部で体積や形状が変化する弾性波が生じる。これをセンサーでとらえて、材料の内部の変形のタイプや大きさ、角度などを分析してきた。1980～90年代に取り組んだのが、構造材料の変形、破壊の際に生じる弾性波をとらえて定量評価する方法だった。

そのときも「この材料にこのような力を加えると、こう割れる」という順問題ではなく、「このような割れ方は、こういう力がこの材料に加わったときに起こる。ということは、このような割れ方をしない構造材料は、こういう材料でこう作るよ」という逆問題から切り込んだ。

以来、逆問題を解く手法の確立は長らく岸さんの大きなテーマとなった。しかし、逆問題は、順問題と比べて逆にたどっていくための選択肢の数がはるかに多くなるため、計算で解くのは簡単ではない。コンピューターが高速化した近年になって、ようやく大規模な形で実現できる可能性が見えてきたのだ。

「現在、MIの基本概念はほぼでき上がっており、個々のモジュール情報や、組織、力学的性質の情報をつなぐ作業も順調に進んでいます。ここに時間・空間を織り込んでモジュールをつなぎ、できた材料の寿命まで予測するところをめざしています」と、岸さんは成果に

一定の手応えを感じている。寿命の予測にはまだ壁もあるが、夢は着々と実現に近づいているようだ。

「とはいえ、MIはSIPの研究期間(5年)だけで完結できるものではありません。現在、『金属材料』『セラミックスコーティング』『高分子材料』という3つの領域で、それぞれパフォーマンス予測システムの開発を進めています。まずは航空機用の材料をターゲットに、プログラム終了時にはある程度の精度で予測ができることを示す計画です。それで終わらせることなく、継続的に研究に取り組み、航空機用材料以外への適用や、逆問題への挑戦を続けていかなければなりません」。

そのためには、研究を継続するための拠点の整備や、産業界との連携など、解決すべき課題もあるが、SIPを通して日本の産学官連携が本格化しつつあることにも、岸さんは手応えを感じているという。

「産学連携の重要性が叫ばれて久しいが、これまでは両者の間に壁があり、技術革新や新産業の創出につながるような成果を、最初から産学が一体となってめざす、ほんとうの意味での連携はなかなか実現できませんでした。SIPでは、実社会で役立つ成果に学術面でどう貢献できるのかが明確であることから、現場の研究者たちの意識も変わり始めています。産学間の壁に、ようやく風穴が開き始めたと感じています」。

この産学の研究者たちの意識の変化が、成果として形になるのはまだ先のこともかもしれない。この新しい連携のあり方は、今後確実に大きな技術革新を生み出していく力となるだろう。産学連携とMIの相乗効果により、航空機産業にとどまらず日本の産業全体を大きく変えていくに違いない。

TRLで研究開発の現状をつかむ

SIP「革新的構造材料」は、TRL (Technology Readiness Level: 技術成熟度レベル) による管理を導入していることも特徴的だ。TRLは、開発中の技術が実用化にどれだけ近づいているかを9段階で示し、異なるタイプの技術の成熟度を定量的に比較できることから、航空機産業の技術開発を管理する上で欠かせない指標となっている。おおむね、レベル1～3は基礎研究段階、4～6

が実証実験のできる段階、7～8で実用化レベル、9で実運用となる。導入のメリットは、現状技術の位置づけを明確にできることだ。目標に対して現実的に向かいやすくなり、研究開発が促進できる。「革新的構造材料」では、耐熱樹脂材料はレベル5～6をめざした開発を進め、耐熱セラミックス材料の開発はレベル3程度の到達を見込んでいる。すべての研究開発に

TRLが適用できるわけではなく、MIはTRLによる管理が適さない種類のプロジェクトだ。ただ、TRLの考え方は、複数の分野にまたがる研究開発を早く、着実に推進するためには有効であり、今後は航空機分野に限らず、広く適用されていくかもしれない。

インタビュー

新しい材料開発システム、MIの可能性を拓く

インタビュー1 計算とデータ、知を組み合わせた性能予測の基盤をつくる



東京大学工学系研究科 小関敏彦 教授

材料の進化が構造体や製品の性能を高める

構造材料の進化は、それを利用する構造体や製品の性能や信頼性を向上させます。例えば、強度と延性を高めた鉄鋼材料の開発は、軽量で低燃費、かつ衝突安全性の高い自動車の開発を可能にします。火力発電の効率を上げCO₂排出量の低減を可能にするのは、より高温に耐えられるボイラー管やタービンの材料開発です。

グローバルな競争力や社会の一層の安心・安全、環境対応が求められる中、より高性能で信頼性の高い構造体や製品をより早く実現するには、優れた材料を効率よく開発する必要があります。日本は産業でも学術でも材料分野が強い国ですが、今後も国際的な競争力

を保ち、新たな材料の開発を先行し続けるには、材料開発の革新が必要です。

マテリアルズインテグレーション (MI) は、まさにそれをめざす取り組みです。MIでは、これまで蓄積されてきた多様な実験データや知をデータベース化し、材料プロセス中の組織形成や使用中の材料挙動のシミュレーションと組み合わせ、材料の性能を予測することをめざします。近年、データ科学の急速な発展により、データを駆使した予測や数値シミュレーションとのデータ同化による予測の高精度化が可能になりました。また、大規模でマルチスケールの多様なシミュレーション技術が発展してきました。MIではこうした技術を積極的に活用し、様々な材料組成やプロセスに対応する材料の時間依存の性能予測

を可能にします。

さらに、経験を積んだ材料研究者やエンジニアが行う材料の選択やプロセス条件の決定などの材料設計の流れをシステム内で再現・学習し、最適な材料性能を達成するための提案までできるようにし、幅広く活用できるツールに育てていきます。これによって、少ない実験・コストで最大の効果を得るとともに、新しい材料、優れた材料プロ

セスの効率的な開発を支援します。

「溶接」を例題にシステムを構築

MIシステムは、材料の組成や製造プロセスの条件、材料の使われる環境や条件を入力し、材料の性能を予測する様々なモジュール群を選んでつなぎ、入力から性能まで一貫した予測を可能にします。材料の性能は組織や構造に大きく依存するので、材料の組織予測を行うモジュール群、組織予測を組み入れて材料の性能予測を行うモジュール群、組織や性能の予測を支援するデータ分析やデータ同化を行うモジュール群を開発する3つのユニットと、それらのモジュールをつないで自在なワークフローを可能にし、誰もが利用できるような入出力のインターフェースを備えた統合システムを開発するユニットの4ユニット体制で進めています。

例題として「鋼の溶接」を取り上げ、組織予測と性能予測のモジュール群を開発し、統合システム上で一貫して動作することをめざしています。その完成後、統合システム上に多様な材料やプロセスのモジュール群を搭載し、汎用性の高いMIシステムに成長させていくつもりです。鋼は構造材料の中で最も広く使われ、構造体へは多くの場合、溶接して使われます。鋼の溶接部の組織は溶けて固まる複雑な熱サイクル中の相変態・析出を経てつくられるため、その予測モジュール群は他の多くの材料プロセスに適用できます。多くの場合、鋼の溶接部は母材より性能が低いため、実用上も重要な性能予測モジュール群の開発となり、それらは他の材料の性能予測にも広く適用できます。またこれまで、鋼の溶接部の性能のデータの蓄積は豊富であり、MIシステムがうまく機能しているか検証しやすい面もあります。もちろんプログラム全体で取り組んでいるNi合金やTi合金などの航空機用材料の性能予測への展開も取り組んでいきます。

この開発は拡張性の高いMIシステムの基盤を構築するもので、日本中の材料にかかわる様々な企業や研究機関、研究者が知恵とデータを結集するプラットフォームとなるように進めていきたいです。

インタビュー2 「マルチマテリアル」でものづくりを変え、新たな学術を作る



東京大学工学系研究科 香川豊 教授

適材適所の材料選択を可能に

ものづくりの世界では、マルチマテリアル化が進んでいます。マルチマテリアルとは、鋼板、アルミニウム、チタン、FRP (繊維強化プラスチック) などの素材それぞれが持つ優れた特性を生かしながら、適材適所で使用するという考え方です。背景には、地球温暖化対策としての低燃費化や高効率化、そのための軽量化という大きな流れがあります。また、金属材料や高分子材料の製造技術、成型技術も高度化し、従来の技術では出せなかったような性質やパフォーマンスを実現できるようになったこともあげられます。

例えば、航空機では、アルミニウムが使われてきた部分にCFRPが、自動車では、鋼板が使われてきた部分に、軽量のアルミニウムやFRPが使われるなど、最適な材料を選択することが増えてきました。マテリアルズインテグレーション (MI) が、金属材料を基礎としながら、セラミックスコーティングや高分子材料にも適用することをめざしているのは、そのようなマルチマテリアル化の動きとかがわっています。

ある用途や求めるパフォーマンスに対して、どの材料を選ぶのがいいのか、材料の種類を超えて選択肢を示せるシステムが可能になると、ものづくりの現場が変わるでしょう。高度な専門知識を持たない人でも最適な材料が選択できるようになれば、開発を効率化する上

で大きな助けになるはずですよ。

また、学術面からも期待できることがあります。材料開発は工業的な側面からの発展が強く、金属とセラミックスと高分子を同じ学問体系で教えるようにはなっていないのです。MIの取り組みは、それぞれの材料に関する知識や理論をまとめ、固有の課題と共通する課題を整理することにもつながるため、学術的に体系化することにも貢献できると考えています。

異分野によるチーム編成

セラミックスコーティングとは、金属材料や高分子材料の表面にセラミックスの薄い膜を作ることで、熱、圧力、摩擦などの影響から材料を保護する、優れた表面処理技術です。主に航空機エンジンや発電タービンなど、高温・高圧にさらされる部品に使われます。このプログラムでも、航空機エンジン用部材の耐熱性や耐環境性を高めるコーティングのパフォーマンス予測を目標としています。将来の部材開発の国際連携を視野に入れて、アメリカ、イギリス、ドイツとの共同研究を取り入れています。

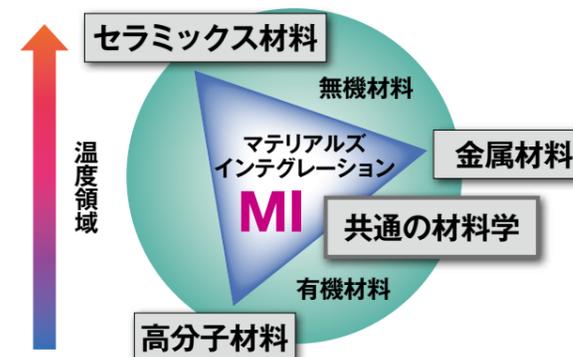
高分子材料には、たくさんの合成樹脂がありますが、まず航空機に用いられるエポキシ系樹脂をターゲットとしてパフォーマンス予測に取り組んでいます。特に、高分子材料のMIは、必要となる技術分野が広く、種類も多いため、化学だけでなく、数学、医学、物理、機械、計測など、さまざまな専門分野の研究者たちがチームを組んで連携しながら研究を進めています。

異分野の知を効果的に結びつけるチームを作るのは簡単なことではなく、プログラムの序盤はチーム編成に費やしました。しかし、そうした幅広い研究者を結集して1つの問題にチャレンジできるのは、SIPという大規模なプログラムだからこそ可能です。この取り組みがブレークスルーを生み出して材料科学に新しい風を吹き込み、新たな学問分野を生み出すことにつながるかもしれません。

構造材料は成熟分野とも言われていますが、取り組むべきテーマはまだたくさんありますし、MIという材料開発の新しい方法論を生み出していくことは、学術と産業の両面で日本の競争力を高めるはずですよ。MIによって優れた材料が早く開発できることは、より環境に優しく快適な社会へと向かう原動力になるでしょう。

SIPのプログラムが終わったのちも、MIの完成をめざした取り組みは続きます。個別の研究テーマを採択する際には、若手研究者に門戸を開くことを意識してきましたが、このプログラムを通じて若手研究者が育つのを期待するとともに、MIそのものが人材育成の場となることも願っています。

マテリアルズインテグレーションによる材料学の体系化



水利用は「使い捨て」から「繰り返し型」へ

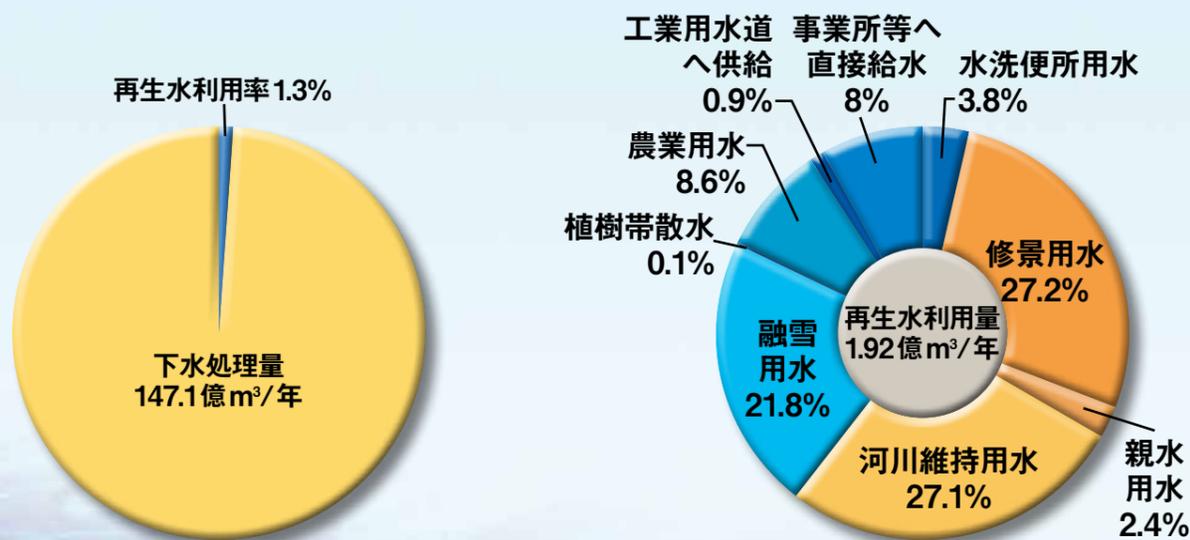
日本人はひとり当たり1日250リットル、4人家族で1トンの水を消費している。

都市で使われた水は、下水処理場で浄化され河川や海に放流される。下水道の普及は、環境の水質改善に大きな役割を果たした。しかし、生活レベルの向上とともに水の使用量が大きく増え、大量取水によって河川水量が減少し、下水を集めて処理するインフラ整備・運営費用がかさむなど、水の「使い捨て」にともなう課題が表面化している。

世界的に水資源の不足が重要課題となっている。従来の「使い捨て」の水利用から、貴重な水資源を繰り返し利用する「カスケード型」の水利用が求められている。

JSTのCREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域における「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」では、水資源を繰り返し利用する「カスケード型」水利用に向けて、下水の再生システムを開発するとともに、再生水システムの安全性やエネルギー効率などを多角的に評価し、新しい水利用を提案した。

日本の再生水利用率 全下水処理量の 1%強に過ぎない



修景用水：景観維持を主たる目的としており、人間が触れることを前提としない用途に用いる水
親水用水：レクリエーションとしての利用を主たる目的としており、人間が触れることを前提としている用途に用いる水

出典：国土交通省ホームページ「健全な水循環の構築」
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000138.html

沖縄県糸満市で実証プラントが動き出した

「岐阜県郡上市八幡町本町の名水である『宗祇水(そうぎすい)』が水利用のモデルであり、目標です」と語るのは、CRESTの研究代表者、田中宏明京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター教授。宗祇水では、湧水を三段の水舟で仕切り、上から順に飲み水用、食器洗い用、野菜の泥落とし・洗濯用と使い分けすることで、次の水利用を考えながら上手に利用している。これが「カスケード型水利用」の原点だという。

水の使い方と捨て方を根本から変える

田中さんにとって、「水利用」はライフワークだ。建設省時代には下水道の普及に向けて流域下水道施設などの整備に取り組んだ。しかし、下水道の普及につれて新たな課題が生じてきた。下水処理は微生物の力で有機物や窒素、リンなどを分解・除去する「活性汚泥法」が基本。近年、排水基準にないアンモニアや難分解有機物が放流先の水利用で問題となり、上水道の消毒用に投入される塩素と反応して生成される有害なトリハロメタンや、微量でも生物に影響をおよぼす環境ホルモン、塩素では死滅しない原虫やウイルスなどの処理がクローズアップされてきた。

田中さんは、土木研究所時代にこれらの対策について研究を進めた。

「英国の研究所と共同で、環境ホルモンによって淡水魚がメス化する現象を研究し、女性ホルモンや界面活性剤、残留医薬品の除去法を研究しました。ろ過膜処理やUV(紫外線)・オゾンによる酸化処理などを組み合わせた高

度処理を行うことで問題は解決できますが、大変なエネルギーとコストがかかります。それでも、水道事業はエネルギーの9割が水を運ぶのに使っています。発想を変えて、水の使い方と捨て方を根本から変えなければなりません。現状はどんな用途にも飲める水を使っていますが、カスケード的に繰り返し使えば、上水の取水量が減り、下水処理場の負担も小さくなり、エネルギーもコストも減らせます」

再生水を農業用水に利用する

2003年に京都大学に移った田中さんは、カスケード型水利用の研究に取り組んだ。その成果をもとに、2009年からCRESTで水再生技術の開発と評価を行ってきた。

カスケード型水利用では、ビル、工場、住宅の近くに水処理システムを設けて再生水をつくり、工業用水や冷却水、生活用水、公園の噴水などとして繰り返し使う。これにより、取水量や下水処理場に送る排水量が大幅に減るため、高度下水処理を行うにもエネルギーやコストを抑えることができ、河川や海の水環境の保全にもつながる。

CRESTでは、UF膜(限外ろ過膜)とUV処理によるウイルス除去技術の開発と省エネ性の評価、無機膜とオゾン処理によるウイルスと化学物質処理の運転条件の最適化、凝集・膜処理によるウイルス除去などの様々な水再生技術開発を行うとともに、安全性や環境負荷、エネルギー効率などに関する評価システムを

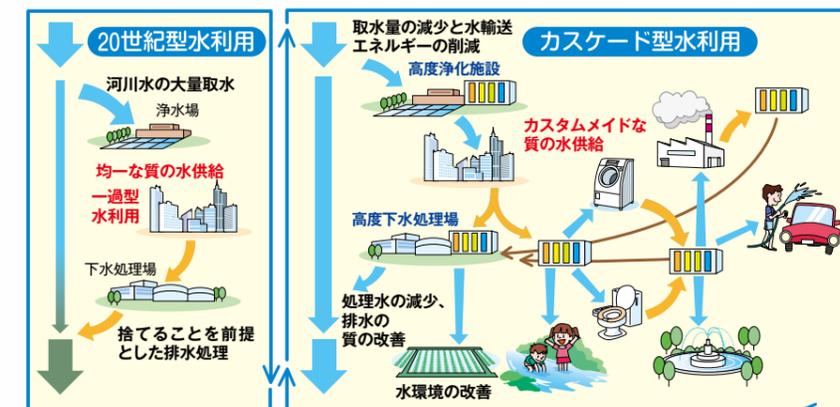
開発し、実証実験を通じて成果に結びつけた。

一連の研究に注目したのが、沖縄県の糸満市である。サトウキビから果樹や野菜、観賞用植物などの高収益型作物への転換をめざす同市では、灌漑用水の不足に悩んでいた。そこで、下水処理水から安全性の高い再生水をつくって供給するため、京都大学と糸満市などが共同研究体をつくった。共同研究は、2015年に国土交通省の下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)に採択され、糸満市浄化センターに1日1,000m³の実証プラントを建設して、実証実験が始まっている。

「再生水の利用は、離島や島嶼国、砂漠地域などでニーズがあります。日本が高度な水処理技術とともに安全性を確保する国際標準化をリードすることで、大きなビジネスに発展させることができます。将来は、都市の水資源問題を解決するカスケード型水利用システムを実現したいと思っています」と田中さんは力強く語る。



糸満市の実証プラント実験施設



カスケード型水利用 新たな水処理システム 再生水 排水 下水管橋渠網への汚泥投入



田中 宏明 (たなか ひろあき)

京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター 教授

1980年京都大学大学院工学研究科衛生工学専攻修士課程修了。博士(工学)。80年建設省採用。86年建設省土木研究所下水道部水質研究員、87年同主任研究員(90-92年カリフォルニア大学デービス校 JICA長期研修で留学)、93年同室長。2001年独立行政法人土木研究所水循環研究グループ上席研究員、03年京都大学大学院工学研究科附属環境質制御研究センター教授。09年より現職。

01

研究成果

戦略的創造研究推進事業 総括実施型研究 (ERATO)
香取創造時空間プロジェクト

超高精度の光格子時計で東京と埼玉の標高差を測定
地震や火山活動による地殻変動監視など、時計の新たな応用に期待

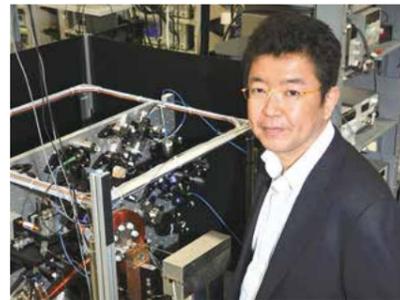
ダリの代表作「記憶の固執」に描かれた3つの柔らかい時計は、オリーブの木の枝など異なる高さに置かれ、それぞれ異なる時刻を指しています。単なる空想ではなく、アインシュタインの一般相対性理論では、地球の中心に近く重力が強い場所ほど、時計は遅れて時を刻みます。

東京大学大学院工学系研究科の香取秀俊教授らが開発した低温動作ストロンチウム光格子時計は、160億年に1秒しかずれない超高精度な時計で、極めてわずかな時間の遅れを捉えられます。国土地理院と共同し、光格子時計で標高差をセンチ単位で測定することに成功しました。

15キロ離れた理化学研究所(埼玉県和光市)と東京大学(東京都文京区)に設置した光格子時計の振り子の振動数を比べたところ、東大の時計は約0.7ヘルツゆっくり振動しました。これを標高差に換算すると東大が約1516センチ低く、国土地理院が水準測量で

測った約1512センチと、時計の誤差である5センチの範囲内で一致しました。

短い区間の測定を繰り返しながら標高差を求める水準測量は、測定距離が長くなるほど観測に時間がかかり、誤差も累積していきます。光格子時計ならば、距離にかかわらず、短時間で正確に測れます。さらに測定精度を高めて全国各地に設置すれば、地震や火山活動に伴う標高変化(地殻変動)をすぐに把握



香取教授と低温動作ストロンチウム光格子時計。詳しい仕組みはJST news 2015年6月号で紹介している。

できると期待されます。

時計の研究はこれまで欧米がリードし、あらゆる科学の礎となってきました。「日本のアイデアで生まれた光格子時計で、日本の国土に合わせた時計の新しい応用を考え、科学に貢献したい」と香取教授は力を込めます。時計の常識をはるかに超えた未来へと、「時計の針」は進もうとしています。



水準測量で標高の基準となる水準点に、光格子の模式図を載せた。将来は光格子時計が「量子水準点」になるかもしれない(国土地理院提供写真を加工して作成)。

02

研究成果

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST)
研究領域「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」
研究課題「超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築」

ダイヤモンドが省エネに貢献！究極のパワーデバイスの実現へ

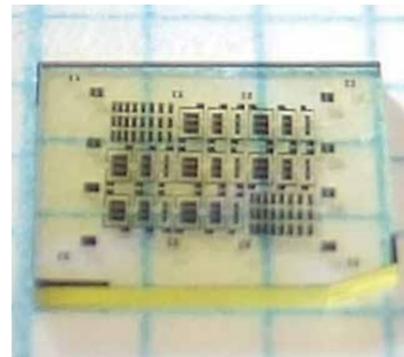
キラキラと輝き、いつの時代も人間を魅了してきた宝石の王者ダイヤモンド――。

地球内部の非常に高温高圧な環境で生成され、人の手により形を整えられきらびやかな姿へと変貌します。このダイヤモンドが装飾品としてではなく、私たちに身近なエネルギーの場で使われようとしています。

持続可能な社会の実現のため太陽光や風力など再生可能エネルギーの利用が求められていますが、その制御のための電子装置に広く利用されているシリコン半導体は性能限界が近づいています。シリコンに代わる半導体材料の1つとしてダイヤモンドが注目されています。ダイヤモンドは半導体の中で最も高い熱伝導率(シリコンの14倍)と高い絶縁破壊電界(シリコンの100倍)を持ち、省エネルギー化につながるものと期待されています。

産業技術総合研究所の山崎聡招へい研究員、加藤宙光主任研究員らの研究グループは、金沢大学理工研究域電子情報学系の松本翼助教、徳田規夫准教授、株式会社デンソー小山和博研究課長らとの共同研究により、世界で初めてダイヤモンドを用いた反転層MOSFETを開発し、その動作を確かめました。MOSFETとは、流れる電流のオンとオフを電界で制御するトランジスターで、ゲート金属・酸化膜・半導体からなる構造を持ち、低電力で安全に駆動できるのが特徴です。これまで、ダイヤモンドで良好な素子構造を作成することは困難とされてきました。山崎招へい研究員らは、高品質のダイヤモンド層と酸化膜を蓄積させることで、界面に良好なpn反転層をもつダイヤモンドMOSFETの作製に成功しました。

将来、ダイヤモンド半導体が自動車や新幹線、飛行機、ロボット、人工衛星、送配電システムなどに使われることで、省エネルギーや低炭素社会に貢献することが期待されます。



今回作製した反転層チャンネルダイヤモンドMOSFET。

03

イベント

サイエンスアゴラ2016

これからの社会と科学のあり方をともに考え、よりよい未来社会へ「サイエンスアゴラ2016」がいよいよ開催

今年で11回目を迎える「サイエンスアゴラ2016」が11月3日(木・祝)～6日(日)の4日間、日本科学未来館ほか、お台場地域でいよいよ開催されます。「つくろう、科学とともにある社会」をビジョンに掲げ、職業や年齢、性別、国籍の枠を越えて“科学とともにある社会”“社会とともにある科学”のあるべき姿を一緒に考えるフォーラムです。

開幕セッションは、国内外VIPからの基調講演と「震災復興5年」をテーマにしたパネル討論の2部構成です。科学者や企業経営者、高校生などバラエティーに富んだ登壇者が一堂に会し、科学をめぐるコミュニティーのあり方を語り合います。

6本のキーノートセッションの開催も決定し、よりよい未来社会に向けて取り組むべき

重要なテーマを扱う魅力的な企画が集まりました。ブースとポスター展示ゾーンには、科学者と一般の方が同じ目線で対話できる“共創テーブル”が登場します。

ますますパワーアップした「サイエンスアゴラ2016」を、ぜひ会場で体感してください!

●開幕セッション 「つくろう、科学とともにある社会」 ■11月3日(木・祝) 13:30～17:00

【基調講演】



“Chet Susslin/National Journal”

ラッシュ・D・ホルトさん
AAAS(全米科学振興協会: Science誌発行元)のCEOであり、米国下院議員を務めた経験もあるホルトさんが、米国の科学技術をめぐるアカデミアと政策のこれまでの動向と中長期的な展望を講演する。



南場 智子さん
社会に大きなインパクトを与えた株式会社ディー・エヌ・エーの創業者として培った、マルチステークホルダーとの信頼関係の構築方法や、新しい社会的価値の創出に向けた次世代人材育成への取り組みなどを講演する。

【パネル討論】

「復興後の未来に向かって(仮)」

福島と熊本の震災を経験した高校生と若手科学者が登壇する。

●その他主要セッション

■11月3日(木・祝)
「がん予防が切り拓く新しい社会」

■11月5日(土)
「人獣共通感染症へのチャレンジ」
「うちの子、少し違うかも… ～発達障害に対する適切療育支援のための研究開発～」

「INNOVATION BY DESIGN ―科学とデザイン」
「芸術、科学、技術、クリエイティビティ」

■11月6日(日)
「震災から5年～いのちを守るコミュニティー～」

■閉幕セッション
「サイエンスアゴラのこれまで・これから」

●サイエンスアゴラ2016ホームページ <http://www.jst.go.jp/csc/scienceagora/>

04

イベント

科学コミュニケーションセンター (CSC)、研究開発戦略センター (CRDS) 他

欧州最大の科学フォーラムESOF 2016にJSTブースを初出展
「科学技術外交」と「知のコンピューティング」セッションも主催

7月に英国・マンチェスターで開催されたESOF (EuroScience Open Forum) 2016に、JSTは初めてブースを出展し、2つのセッションを主催しました。ESOFは開催国・地域の政府などと協力して2年に一度開催する科学研究、イノベーション、科学政策に関する欧州最大の科学フォーラムです。科学者・研究者をはじめ、政府、企業、メディアなど、来場者数は86カ国3,580人に達しました。

JSTブースではSATREPSなどの国際共同研究プロジェクトの他、サイエンスアゴラ、世界科学館サミット、ジェンダーサミット10など来年にかけて日本で開催される国際的イベ

ントを紹介しました。ブース来訪者数は4日間で約500人となりました。科学コミュニケーションセンターが南アフリカ政府と共催した科学技術外交のセッションでは、JSTが国際事業で意識している対等な関係性や、多国間・マルチステークホルダーによる協働の新たなモデルの必要性について、研究開発戦略センター主催の「知のコンピューティング」セッションでは、人と機械の創造的協働を実現するための新しい研究開発の概念について活発な議論が交わされました。

また、JSTは世界の主要な科学機関の一員として、欧州委員会委員のカルロス・モエダス

氏(研究・科学・イノベーション担当)に対し「科学技術への長期投資の必要性」に関する共同提言書を手渡しました。さらに、世界各地の4科学フォーラムとともに共同記者会見を行い、11月開催のサイエンスアゴラを欧州のプレスに発信しました。



ESOFのJSTブース

さきがける 科学人

vol.54

コドプロス ディミトリス
Kontopoulos Dimitrios

日本科学未来館 科学コミュニケーター



プロフィール ギリシャ出身。アリストテレス大学で物理学・天文学を学ぶ。文部科学省の奨学金を受けて、2009年に大阪大学理学部に学士入学し、修士(宇宙地球科)を取得。12年より現職。趣味は日常で「美」を見つけること。

ギリシャ人物理学者、未来館で科学を演出

神社の色彩に魅せられ来日

昔から「美と冒険なくしては生きられない」気質なのです。ギリシャのアリストテレス大学で物理学を学んでいたある日、ふと手にした神社の写真に釘付けになりました。朱色の鳥居、青みを帯びた緑の瓦、境内を行きかう巫女さんの衣装。重苦しいギリシャの教会とはまったく違う、自然に近い神道の色彩に心を奪われました。

いったん興味を持つと、伝統ある京都の寺院から、原宿や渋谷の交差点のような乱雑なポップカルチャー、ファッションデザイナー山



来館者との会話から作品制作のヒントを得ることも。

本耀司が生む前衛的なファッションまで、日本に並び立つ異質で美しいものが次々と目に飛び込んできました。「収入の安定した公務員」という典型的なギリシャの成功者像を投げ打ち、刺激を求めて日本へ旅立ちました。

大阪大学で天文学を修めた後、未来館の科学コミュニケーターに就きました。科学を美しく描き出す仕事は、変化に富み刺激に満ちていました。映像や展示制作、世界中から来るアーティストや著名な科学者のイベント開催、テレビ出演、記事の執筆、海外出張など、さまざまな経験をしました。クリエイターとともに展示を制作する未来館だからこそ、挑戦できたのだと思います。

万物の理論をプラネタリウム映像に

最も思い入れがあるのは、4月に公開した3Dドーム映像作品「9次元からきた男」です。題材は専門の「万物の理論」。素粒子のミクロの世界をあらゆる理論と、宇宙のマクロの世界をあらゆる理論を統一する理論です。

宇宙はどのように誕生し、どこへ向かうのか。世界はどんな法則で成り立っているのか。そんな根源的な問いに人類は、ギリシャ時代の哲学者から最先端の巨大加速器による検証まで、3000年にもわたって挑戦してきたのです。こうした心躍る「知の冒険」のロマンも作品に込めました。

難しく抽象的になりすぎないように、理論物理学者の大栗博司先生の監修、ホラー映画界の第一人者である清水崇氏の演出で、時空間を自在に移動する男を追う科学者たちの物語として、実写とコンピューターグラフィックスを使って映像化しました。

この作品は6月に、プラネタリウム映像の国際フェスティバルで最優秀教育作品賞を受賞しました。これまでのプラネタリウム番組の概念を覆したことが、高く評価されたのです。

昨年の夏は生活のすべてを制作に捧げました。真夜中、仲間からの質問メールで起きることもたびたびありました。「無って何?」「素粒子ってどんな形?」。ギリシャ語ですら説明しづらい内容をおぼつかない日本語で懸命に説明しました。理論物理と格闘し、それを理解し表現しようとする仲間たちの力になると必死でした。

役者のオーディションや制作会社に泊まり込んでの作業、アフレコなど、どれも初めての経験ばかり。特に4日間で一気に取り組んだ撮影は過酷でした。朝8時からロケ地を回り、35度を超える暑さの中、屋外で撮影。汗だくで後片付けをした後も、未来館内で未明まで撮影は続きました。

作品を初めて通して見た時、鳥肌が立ちました。お客さんの感情を揺さぶることができたなら、もう言うことはありません。

日本に来て7年。そろそろ冒険心がうずき始めました。来年ロンドンにオープンするサイエンスギャラリーのように、芸術で科学を美しく彩る試みが始まっています。美を創造する仕事を求め、どこまでも冒険は続きそうです。

(JST広報課・松山桃世)

日本科学未来館

日本科学未来館は、触れて楽しむことのできる展示を始め、実験教室やトークイベントなど多彩なメニューを通し、日々の素朴な疑問から最新テクノロジー、地球環境、宇宙の探求、生命の不思議まで、さまざまなスケールで科学技術の今を体験できます。科学の役割を問い直し、さまざまな分野の「知」を集め、地球の未来に貢献しています。 ●東京都江東区青海2-3-6 電話／03-3570-9151



古紙/パルプ配合率80%再生紙を使用

JSTnews

October 2016

発行日／平成28年10月7日
編集発行／国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)総務部広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ
電話／03-5214-8404 FAX／03-5214-8432
E-mail／jstnews@jst.go.jp ホームページ／http://www.jst.go.jp
JSTnews／http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー