

NIMS NOW

NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE

No. 4
2016



NIMS × SIP

～イノベーション創造最前線～





NIMS × SIP

～イノベーション創造最前線～



イノベーションは、社会のあり方を変えてしまうほどの力を持っている。
自動車やコンピュータ、インターネットの登場前後を比べれば明らかだろう。
そのため、経済成長の原動力として、もしくはエネルギー問題などさまざまな課題の解決に向けて、
イノベーションにかかる期待は大きい。

イノベーションを生み出すために重要なこと。それは革新的な科学技術だけではない。
分野の壁を超えた既存技術の融合や、さまざまな企業・研究機関が
オープンな場で研究開発を進める環境もカギとなる。

そこで、府省間の縦割りを排除し、産学官が連携してイノベーションの実現を目指す
革新的な国家プロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」が進行中だ。
11の課題が採択され、強力なリーダーシップを持ったプログラムディレクターが選定された。
NIMSも「革新的構造材料」と「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の2課題を中心に、
イノベーションの実現に向けて産学官が連携した研究開発を進めている。

本号では、SIP関係者へのインタビューを通じて、NIMSを舞台に進むイノベーション創造の今に迫る。

日本の イノベーション戦略と、 SIPに込めた想い

久間和生

内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 議員



省庁や分野の枠を超え、産学官連携によって、基礎研究から実用化・事業化まで5年で一気に通貫で行なう。そんな「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」の指揮を執るのは、内閣府 総合科学技術・イノベーション会議である。日本のイノベーション戦略、そしてSIPについて、久間和生議員に聞いた。

——今後5年間の日本の科学技術に関する総合的な計画である「第5期科学技術基本計画」が2016年4月からスタートしました。その特徴をお聞かせください。

久間 「第5期科学技術基本計画」は、内閣府総合科学技術会議(CSTP)が総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)に改組されて初めて策定したものです。策定に当たっては、産業界が本格的に関与しました。そして、未来の日本の産業構造や社会システムのあるべき姿を想定し、それを実現するために科学技術イノベーションはどうあるべきかを示しています。これは、第4期までにはなかった大きな特徴です。

未来の日本のあるべき姿とは、ICT(情報通信技術)を活用して、経済成長と社会的課題の解決を両立し、その結果として、あらゆる人々が豊かに暮らすことが

できる「超スマート社会"Society5.0"」の実現です。この名前も産業界からの提案です。狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く新たな社会を生み出す変革を科学技術イノベーションが先導していく、という意味が込められています。

超スマート社会を構成するのは、現実のフィジカル空間と仮想のサイバー空間が融合したサイバーフィジカルシステムです。日本はフィジカル空間のハードウェアを中心とした産業は強いのですが、ソフトウェアを中心としたサイバー空間の産業は弱い。強みを活かしつつ、ICTを徹底的に強化し、科学技術イノベーションによって新産業を創出することが必要です。産業競争力強化と経済成長が、Society 5.0実現には不可欠です。

では、どのようにしてイノベーションを創出するのか。産業界と学界と政府の本格的連携が必須です。産学官それぞ

れの役割と権限を明確にして責任を持つこと、そして連携した研究開発を行なう際は、出口を明確に示すことが成功の鍵だと考えています。

——NIMSなど学界が果たすべき役割とは、どのようなことでしょうか。

久間 研究者一人一人が、ベクトルをSociety 5.0実現に向け、自分の研究によって産業や社会を良くするのだという強い意識を持つことです。ただし、直近の問題を解決する研究だけでなく、産業界ができないような先行研究や基盤技術の開発も必要です。次のイノベーションを起こすための種を蒔いておくことで、科学技術の成果がパイプライン的に途切れることなく社会に貢献することが期待されています。

—「第5期科学技術基本計画」に先立ち、省庁横断と産学官の連携を掲げる「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」が創設されました。SIP創設の背景などを教えてください。

久間 私が2013年にCSTP議員となつてまず感じたのは、省庁が縦割りであるということと、まだリーマンショックの影響が残っていて学术界も産業界も萎縮しているということでした。ほかの議員も同じように感じていたことから、2013年6月に2つのプログラムを立ち上げました。1つが、省庁横断と産学官連携によって基礎研究から実用化までを5年間で一気に通貫で行なうことを目指すSIPです。もう1つは破壊的な科学技術イノベーションの創出を目指す「革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)」です。

SIPは、2013年9月に10課題、2015年11月に1課題を選定しました。いずれも日本にとって重要な経済的・社会的課題です。11勝0敗。1つも失敗してはならないという意気込みで取り組んでいます。そのためにも、強力なリーダーシップを発揮していただけるプログラムディレクター(PD)を公募で選びました。自動走行システムやエネルギーキャリアなど産業界に直結する課題は産業界、インフラや防災・減災など社会的な課題は学术界の方がPDになっています。

—NIMSからは岸輝雄名誉顧問が「革新的構造材料」のPDを務めています。

久間 高強度、高耐熱、軽量という3条件が揃った革新的な材料を開発し、航空機や発電機に適用することを目指した課題です。その中で、材料科学における実験、理論、計算科学、データ科学を融合させたマテリアルズインテグレーションを活用した統合型材料開発システムは、注目を集めています。大型精密鍛造シミュレータもNIMSに設置され、学术界と産業界に通じている岸先生の強いリーダーシップのもと、順調に成果が出ています。

NIMSからは「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」にも参加し、腐食

に強い鉄筋やコンクリートの補修剤などの開発を行なっています。それらも重要な技術です。少し時間がかかるかもしれませんが、産業界で使われるインパクトの大きな成果を出してもらいたいと期待しています。

—各課題がスタートしてまもなく2年。これまでのSIP全体の評価をお聞かせください。また終了後は、どのような展開をお考えですか。

久間 全体的には非常にうまくいっています。PDの役割と権限、また5年後に実用化するという出口を明確にしたことがよかったのだと思います。少し遅れている課題はお尻を叩いて(笑)、11勝0敗を達成したいですね。

SIPの取り組みの中で、連携拠点や共用利用施設がつくられています。NIMSの鍛造シミュレータも、その1つです。それらを5年で終わりにしたらもったいな

い。拠点化して継続することが重要です。また、CSTIは省庁より一段上の立場にあることを活かして省庁横断の旗を振り続け、SIPあるいはそれに代わるプロジェクトを継続していかなければならないと考えています。

—NIMSのイノベーション創出への取り組みをどのようにご覧になっていますか。

久間 NIMSは、産業界への橋渡しを強力に推進されています。オープンイノベーションにもさらに力を入れていただきたいと思います。NIMSに企業から優秀な人材が派遣され資金が提供されることで、実用化に直結する成果が短期間で得られることでしょう。NIMSには優秀な人材がいて、優れた技術が蓄積されていますから。みんながアツと驚くような研究開発を期待しています。

(文・鈴木志乃/フotonクリエイト)

社会を良くする、
日本を強くする。
ぜひ、そういう意識で
研究を。



SIP「革新的構造材料」プログラムディレクター

岸 輝雄

東京大学名誉教授 物質・材料研究機構名誉顧問

強く、軽く、熱に耐える 革新的構造材料で、 日本の航空機産業の躍進を目指す



— SIP「革新的構造材料」の狙いと意義をお聞かせください。

岸 狙いは「強く、軽く、熱に耐える革新的構造材料を開発し、航空機など輸送、エネルギー産業への実機適用、エネルギー転換・利用効率向上を目指す」ということです。

私は、2013年度発足の「新構造材料技術研究組合 (ISMA)」の理事長も兼務していますが、ISMAでは経済産業省・NEDOから委託を受け、自動車や車両を出口に、強く軽い高比強度材料の開発を進めています。それに対し、内閣府が主導するこのSIP「革新的構造材料」では、航空機・発電を出口に耐熱性も併せ持つ材料及び製造プロセスの革新を進めているところです。これに文部科学省「元素戦略プロジェクト」(2012年度開始)の構造材料研究を加えた3つのプロジェクトで革新的構造材料開発として国が取り組むべき重点領域を網羅している構図です。SIP「革新的構造材料」はその中心として、府省連携・産学官連携を主導することを期待されています。

「先端材料を開発できる国こそが先進国である」という世界の共通認識があります。日本の輸出産業における工業素材の存在感は高く、近年では、自動車等輸送機器の輸出額を凌ぐほどです。一方で、新興国の追い上げが勢いを増しています。そういった中、革新的構造材料を他国に先駆けていち早く開発することは、日

本の国際競争力の強化に直結すると同時に、日本の産業全体を底上げすることにもなります。

— 革新的構造材料の中には「樹脂・FRP」「セラミックスコーティング」のほか、NIMSが特に大きな役割を担っている「耐熱合金・金属間化合物」「マテリアルズインテグレーション (MI)」という4領域があります。中でもMIは他の3領域にまたがるものであり、最大の特徴ともなっています。

岸 MIとは、材料科学における理論、実験、計算科学、データ科学を融合させたもので、従来のシミュレーションとは一線を画すものであり、その目的は、開発時間の大幅な短縮、開発の効率化・コスト削減です。2009年度に発足した「ナノ材料科学環境拠点 (GREEN)」での計算、計測、材料の3分野を融合させる取り組みが発想の基となっており、構造材料開発に不可欠な、溶接などの「プロセス」、粒径などの「組織構造」、強度などの「特性」、そして、疲労や腐食やクリープなどの時間や環境に依存する「性能」の4要素を強固に結びつける新たな概念なのです。米国の「マテリアルゲノムイニシアティブ (MGI)」など国内外で同様の取り組みが開始されていますが、MIではプロセスから性能までを結び付ける点が他にはない大きな特徴となっています。

— 一方、耐熱合金・金属間化合物領域では始動から2年目でNIMSへの1500トン級の大型鍛造シミュレータの導入を完了させました。

岸 鍛造などの塑性加工は材料科学における組織制御の王道であり、極めて重要です。日本が有する世界最大級の5万トン鍛造プレス機を最大限活用するために、今後この装置を使ってさまざまな材料データを取得していくことで、航空機用エンジンのディスクなどに使われるチタン系合金やニッケル基合金の鍛造技術など、新たな部材加工技術、材質制御技術が開発されるものと期待しています。

— 最後に、現在のプロジェクトの進捗状況、NIMSへの期待を聞かせてください。

岸 技術に関する課題解決の可能性を測る指標「テクノロジーレディネスレベル (TRL)」を導入し、開発段階を把握しながら進めています。現在は、採択から約1.5年が経過し、残り3年を切りました。いずれの領域も順調に進捗していますが、ここからが本当に大切なところです。NIMSにも、3年目のステージゲートに向け、開発が加速することを期待しています。そしてプロジェクト終了後には、構造材料における日本の中心的な研究開発拠点になってほしいと願っています。

(文・山田久美)



Special Interview 2

SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」プログラムディレクター

藤野陽三

横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授

インフラの高齢化に対応する “使いたくなる技術”を 生み出す

—SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」が採択された背景と特徴をお聞かせください。

藤野 日本の道路や橋、トンネルなどのインフラは高度経済成長期に集中的に建設され、50年近く経過しています。2012年に起きた笹子トンネルの天井板落下のような事故を防ぐため、高齢化するインフラを適切に維持管理、補修する技術が必要とされているのです。

インフラは国土交通省や農林水産省の管轄ですが、その維持管理に関する研究を文部科学省、経済産業省もまじえ、省庁の枠を超えて行なうプロジェクトは初めてです。インフラをつくる建設業界と、センサーや情報、材料など先端技術が得意とする企業や大学・研究機関が連携して取り組んでいます。これは画期的なことですが、難しさもあります。私は専門の橋梁に先端技術を取り入れようと、計測や情報などいろいろな分野の研究者と一緒に研究をしていました。その経験も活かして、ぜひ成功させたいと思います。

—5つの研究開発目標を掲げていますが、それぞれの具体的な取り組みを教えてください。

藤野 1つ目は、非破壊で速く低コストで効果的にインフラの状態を把握できる「点検・モニタリング・診断技術」です。2

つ目は、人では難しい高所や狭所、災害現場でも点検や補修が可能な「ロボット技術」です。人手不足を補うことも期待されています。3つ目は「情報・通信技術」。日本には橋が70万、トンネルが1万あり、それらを5年に1回点検することが義務化されました。得られた膨大な情報を収集、解析し、利活用する技術が必要です。4つ目の「構造材料・劣化機構・補修・補強技術」では、塩や凍害に強い材料や補修しやすい材料の開発、劣化機構の解明を目指します。そして5つ目が「アセットマネジメント技術」で、これが課題の成否を握っています。

—アセットマネジメント技術とはどのようなものでしょうか。

藤野 4つの研究開発で得られた技術を実際にインフラに適用し、予防保全を実現するシステムです。予防保全では、点検やモニタリングの結果から将来の劣化状態を予測し、壊れる前に効果的に補修します。それによって老朽化による事故を防ぎ、維持管理の負担を減らすことができます。

—NIMSからは構造材料研究拠点の土谷浩一拠点長が参加し、腐食に強い鉄筋や、コンクリートの表面に防水膜を簡単に形成できる補修剤、コンクリートのひび割れが色変化で分かる可視化シートなどの開発に取り組んでいます。

藤野 海の近くや凍結防止に塩をまく寒冷地では鉄筋の腐食によるコンクリートの劣化が大きな問題になっています。腐食に強い鉄筋の開発は、課題の中でも重要なテーマの一つです。NIMSは基礎的にかつ応用性の高い先端材料の研究に強く、素晴らしい研究基盤も揃っています。将来価値が高い材料の開発を大いに期待しています。ただし、私たちが目指すのは、研究者にとっての画期的な技術ではなく、腐食に強い鉄筋のようにユーザーが使いたくなる技術です。そのためには、ユーザーが現場で困っていること、欲しい技術を基礎研究者に伝え、目標を明確にして研究開発を進めなければなりません。NIMSに限らず基礎研究者の皆さんには、もっとインフラの実物を見て、触って、知っていただきたいですね。それも課題成功の鍵です。

—SIP終了時点での達成目標と、終了後の展開をお聞かせください。

藤野 目標は、開発しているすべての技術を現場で使える形で展開することです。欧米もインフラの高齢化の問題に直面しています。アジアは、インフラの建設が盛んですが、すでに維持管理の問題が出ています。現在、分野横断的にインフラ維持管理の技術開発に取り組んでいるのは世界的にも私たちだけです。SIPで培った技術を海外に展開することを狙っています。(文・鈴木志乃/フォトンクリエイト)

NIMS ×鍛造シミュレータ

世界最大級の 実験用鍛造シミュレータが完成！ 耐熱合金部材の加工技術に革新を起こす

岸輝雄PD率いるSIP「革新的構造材料」では、航空機のエンジン及び機体に用いられる部材を対象に、4つの研究開発領域を設けている。その中の1つ、「耐熱合金・金属間化合物等の開発」はNIMS構造材料研究拠点の御手洗容子副拠点長が領域長を務め、同拠点のSIP鍛造ラボが中心となって産学官参画機関を取り纏め、推進している。同ラボ長も併任する御手洗副拠点長にプロジェクトの目的と具体的な内容を聞いた。

世界の航空機数は中小型機を中心に、今後20年で倍増すると予測されている。また環境・エネルギー対策の観点から、航空機エンジンの燃費向上は最重要課題だ。高温で燃料を燃やすほど燃費が向上するため、より高温に耐える耐熱合金部材の開発が

必須だ。そのため、欧米を中心に各国で加工技術を含めた耐熱合金部材の研究開発競争が激しさを増している。

それに対し「耐熱合金・金属間化合物等の開発」では、「PRISM」プロジェクトと命名し、国際競争力のある航空機エンジン用耐熱合金部材を世界に先駆けて開発すべく、加工技術開発の革新に取り組んでいる。

航空機産業における 現状打開を目指す

「PRISMとはProcess Innovation for Super-heat resistant Metalsの頭文字をとったものです。航空機エンジン用の耐熱合金部材開発において、求められる特性を示す部材を効率良く開発するための革新的なプロセス技術の開発を目指しています」。御手洗はプロジェクトの目的をこう語る。

これまで日本では、耐熱合金部材の開発は各企業の技術者による長年の勘と経験に頼るところが大きかった。そのため、試行錯誤による開発が中心で、求められる特性を出すまでに長い年月を要していた。

また、特に航空機産業の場合、他産業とは異なり、部材はすべて国際認証が必要だ。要所は欧米の航空機メーカーが握っており、欧米では航空機メーカーと一体となって素材開発を進めている。一方、日本企業は開発を依頼してくる欧米企業に対して、より短時間で、所望の特性を有する部材を提供しなければならないという厳しい状況にある。

「このような状況を打開するには、部材を開発する際に重要な温度などの条件を厳密に制御できる大型鍛造実験装置、そこから得られた各種データで構成されるデータベース、そして、合金の組織や特性を高い信頼性で予測する計算ツールの開発を一体となっを行なう『鍛造シミュレータ』が不可欠だと考えました」と御手洗は語る。

鍛造条件と組織構造と特性を 関連づける

鍛造とは、金属を工具や金型を使って圧縮や打撃、鍛錬によって成形し、部材を作る加工技術のことだ。鍛造する際の温度、圧力、冷却時間などに

NIMSに導入された大型鍛造シミュレータ





御手洗容子

構造材料研究拠点 副拠点長
同拠点 SIP-鍛造ラボ ラボ長

よって金属組織が大きく異なってくる。それに伴い、引張特性、疲労特性、クリープ特性といった部材の信頼性に関わる特性に大きな差が出る。

現在、航空機エンジンなど大型金属部材の開発にも鍛造が使われているが、合金の強度が大きく向上するのに伴って、加工の難易度も増してきている。日本には、日本エアロフォージが持つ世界最大級の5万トン鍛造プレス機があるが、その能力を最大限発揮させるためには、所望の特性を有する部材を得る製造プロセスを短期間で見出すことが強く求められている。それに対し、威力を発揮するのが鍛造シミュレータだ。さまざまな条件の下、鍛造シミュレータで得られた各種データにより、鍛造条件と組織構造と特性を関連づけることができる。それにより所望の特性を得る鍛造条件を予測計算ツールも活用して割り出し、最適なプロセスを提案することができるというわけだ。その結果、技術者の勘と経験のみに頼ることなく効率的に開発を進めることができ、開発期間の短縮につながる。

NIMSを耐熱合金の中心拠点へ

そこでPRISMにおいて、御手洗らが最初に着手したのが、1500トン級の鍛造実験が行なえる鍛造シミュレータの開発だ。対象とする耐熱合金は、チタン系合金とニッケル基合金の2種類だ。

構想自体は8年前からあったが、SIPをきっかけに本格的な検討が始まった。そして2015年11月にNIMSの敷地内の整備後、装置の設置を開始。試行錯誤しながらも、2016年3月に無事完成にこぎつけた。「参画する企業それぞれが装置に対する要望が異なるため、仕様を固める作業は大変でした。さらにこれだけ大型の装置がNIMSへ導入される例はあまりなく、インフラ工事など設置作業を手探りで進めてきましたので、まずは完成したことに安堵しています」と御手洗は語る。

この鍛造シミュレータの特徴は、まず実験装置としては世界でも類を見ない大型機であるということ。それによって難加工性の素材も含め、より実用レベルに近い鍛造実験が可能となる。次に、合金素材の温度を1200°C

まで上げることが可能な上、高温の状態でも鍛造できることだ。そして、冷却速度を制御しながら、鍛造した部材を冷却できることである。さらに、プレス速度を低速から高速まで従来に無い広範囲で変えられるのも大きな特徴となっている。

今後はこの鍛造シミュレータを使って多くの鍛造実験を実施し、データベースの充実と予測計算ツールの開発を三位一体で進めていく。

「今後、ホンダジェットやMRJ（三菱リージョナルジェット）のような国産機や中小型機の製造が増えていくと予想されます。また、日本が世界に先駆けていち早く画期的な耐熱合金部材を開発できれば、欧米の航空機メーカーが採用してくれる可能性も高まります。そのため、PRISMでは、耐熱合金部材の革新的な加工技術の開発にまい進していくと同時に、プロジェクト終了後には、NIMSを、耐熱合金部材の研究開発に関する産官学連携の中心拠点にしていく計画です。それにより、日本の航空機部材産業の発展に寄与していきたいですね」。御手洗はこう語る。（文・山田久美）

理論、実験、計算、データの融合で 構造材料開発に パラダイムシフトを起こす！

「革新的構造材料」で掲げる4つの研究開発項目の中で、NIMSと東京大学が中心となって進めているのが「マテリアルズインテグレーション(MI)」だ。NIMS側の責任者を務めるSIP-MIラボの渡邊誠ラボ長にプロジェクトの目的と具体的な内容を聞いた。

耐熱性や耐久性など構造材料開発の難易度が上がる中、国際競争を勝ち抜いていくには、大幅な開発時間の短縮と開発の効率化・コスト削減が重要だ。そのための手段として「革新的構造材料」が注力しているのが「マテリアルズインテグレーション(MI)」だ。

MIは材料科学における理論、実験、計算、データの4つを融合させた新たな概念だ。現在、航空機産業向け構造材料を前提に、金属、セラミックス、高分子という3つを対象として、MIの構築とそれらを統合するMIシステムの開発に産官学を上げて取り組んでいる。

材料開発における4要素を 関連づける

MIの目標は、構造材料の開発に不可欠な「プロセス」「組織構造」「特性」「性能(パフォーマンス)」の4要素を強固に関連づけることだ。

金属を例に挙げると、鍛造や溶接と

いったプロセス、結晶の粒径や方位といった組織構造、強度や延性、靱性などの特性、そして、疲労や腐食、クリープなどの性能はすべて密接に結び付いている。しかしこれまでの構造材料開発は、技術者の勘と経験に頼るところが大きく、必ずしも4要素の定量的な連環に立脚したものではなかった。また構造材料の場合、安全性の担保が重要だが、疲労強度やクリープ強度などの性能を評価するには長時間にわたる実験が不可欠で、このことが実用化までの期間を長期化させる要因の1つになっていた。

それに対しMIでは、材料科学におけるこれまでの研究成果や経験知に加え、各種材料に関するデータベース、数値シミュレーション、さらには機械学習、人工知能(AI)といった最先端のデータ科学を融合することで、4要素の関連性の定量化と、性能が発現するメカニズムの解明を目指している。「それにより、構造材料の科学的で合理的な開発が可能になると考え

ています。最適な材料やプロセスの選択、これまで長時間を要していた性能の評価や予測がMIを使ってできるようになれば、大幅な開発時間の短縮や開発コストの削減につながります」と渡邊は話す。

NIMSを構造材料の 中心拠点へ

現在、NIMSと東京大学では「高強度鋼の溶接部」を具体例に挙げ、MIシステムの開発を進めている。「今回このテーマを選んだのは、溶接部が4要素に関する課題を幅広く網羅しているからです。これにより汎用性の高いMIシステムを構築できると考えています」と渡邊は語る。

開発を進めているMIシステムは「組織予測」と「性能予測」、そして、この2つの予測技術をデータ処理・解析によって支援する「特性空間分析」、さらにこれらを統合する「統合システム」の4つで構成されている。



渡邊 誠

構造材料研究拠点
積層スマート材料グループ グループリーダー
SIP-MIラボ ラボ長

組織予測と性能予測では、東大が中心となり、参画している他の大学や企業の研究者とともに、「フェーズフィールド法」や「有限要素法」などの数値シミュレーション手法を用い、溶接部の組織が温度など溶接条件や材料の種類によってどのように変化し、その結果どのような性能を示すかを予測するための各種モジュールの開発を進めている。

一方、特性空間分析では、機械学習などに使われている「スパースモデリング手法」や「データ同化手法」といったデータ科学を導入。材料データベースを基に2つの予測技術に不可欠な情報の提供を目指す。

さらに、これら組織予測、性能予測、特性空間分析のためのモジュール群、材料データベースを統合し、使う材料に応じて柔軟に組み合わせた“ワークフロー”を構築。そのワークフローを管理し、実行する統合システムの開発をNIMSが中心となって進めている。

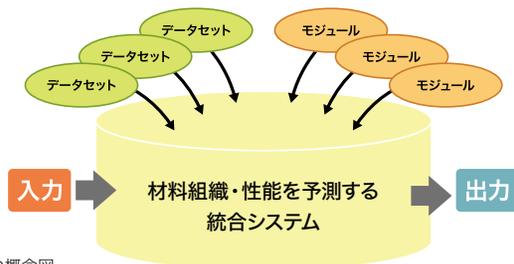
「MIの最大の特徴は、この統合システムにあります。MIでは、各専門分野の研究者がそれぞれ独自に開発したモジュールを、1つのプラットフォームを使って接続しています。その中で、例えば、『このような元素とプロセスで作った構造材料の性能を予測したい』といった場合、さまざまなモジュールの組み合わせ方、つまり“ワークフロー”を構築し、その解析結果を評価することで、MIシステム全体の性能向上を図っていこうと考えているのです」と渡邊は説明する。

加えて、NIMSがMI統合システム開発を統括している背景には、長年にわたりNIMSが蓄積してきた構造材料

データシート、物質・材料に関する世界最大級のデータベース「MatNavi」の存在がある。各モジュールといった解析手法の高度化とともに、これらNIMSが持つデータを核として、日本の構造材料関連のデータを集積していくことが今後重要である。

「SIP終了後は、NIMSが構造材料MIにおける日本の中心的役割を担っていかなければいけないと思います。MIによって構造材料開発におけるパラダイムシフトを起こすことができると信じ、今後もプロジェクトを強力に推進していきます」。

(文・山田久美)



統合システムの概念図

NIMS × 東大

官学連携の効果と期待すること

東京大学工学系研究科の小関敏彦教授を拠点長とするMI拠点では、NIMSと東京大学が中心となってMIシステムの構築を進めている。6人の若手メンバーに連携の効果や期待することを語り合ってもらった。

それぞれの役割と相乗効果

渡邊 まず、東大とNIMSが連携することの効果や意義について話したいと思います。NIMSには物質・材料に関するさまざまな研究者が揃っていますが、理論、実験、計算に次ぐ「第4の科学」と言われるデータ科学に精通した研究者はほとんどいませんでした。

門平 そうですね。そのため、MIシステムを構築する上では、最先端のデータ科学に精通した情報科学者や数学者などを幅広く擁する東大との連携は不可欠だったと思います。

井上 東大は組織予測、性能予測、特性空間分析の3つの研究開発を統括してい

ますが、東大だけですべてをカバーすることはできません。MIには北は北海道大学から南は鹿児島大学まで複数の大学の研究者が参画しており、私自身は、東大はあくまでも参画している大学の代表という位置付けだと捉えています。

出村 井上先生は長年にわたり、数値シミュレーションをベースに構造材料の研究に従事されてきましたよね。

井上 はい。しかし、いつも計算結果と実際の実験データとの齟齬が大きな課題となっていました。ですので、NIMSが得意とする実験との融合は非常に魅力的です。

渡邊 伊藤先生は元々材料の研究者ですが、計算科学や情報科学にも精通され

ています。NIMSとの連携をどのように感じていますか。

伊藤 私にとっても最大の魅力は、NIMSが蓄積してきた物質・材料に関する膨大な量の実験データを集めたデータベースを利用できることです。MIシステムを構築する上でデータベースは不可欠ですので、NIMSとの連携なしにMIシステムはありえませんね。

源 加えて、SIP終了後も実験データの蓄積やバージョンアップなどMIシステムの管理・運営を続けていく必要がありますからね。

井上 その意味でも、国の研究機関であるNIMSが、統合システムを統括するのは至極妥当ではないでしょうか。



(写真左から)

1 門平卓也

NIMS
構造材料研究拠点
SIP-MIラボ
主任エンジニア

3 渡邊 誠

NIMS
構造材料研究拠点
SIP-MIラボ
ラボ長

5 井上純哉

東京大学
先端科学技術研究センター
准教授

2 源 聡

NIMS
構造材料研究拠点
SIP-MIラボ
副チーム長

4 出村雅彦

東京大学
先端科学技術研究センター
特任教授
(兼務) NIMS構造材料研究拠点
拠点長補佐・SIP-MIラボ ラボ長補佐

6 伊藤海太

東京大学
大学院工学系研究科
マテリアル工学専攻
特任講師

出村 一方で、MIシステムを構成している各種モジュールを開発していくのは東大を中心として全国の大学、NIMSの研究者になります。従って、より高性能で使い勝手の良いMIシステムを実現していくためには、やはりシステム開発の初期段階からNIMSと東大が強く連携し、多くの議論を重ねながらブラッシュアップしていくことがとても重要なことなのです。

現在の状況と今後の目標

井上 さて現在の状況ですが、モジュールとしては組織予測、性能予測の研究開発に注力しているところです。構造材料の場合、実験だけでは内部の詳細な組織構造の解明が難しく、組織を予測し性能予測につなげることが非常に重要であると、認識を新たにしています。

伊藤 これらのモジュールをつなげていくことで、今後は従来とは異なるアプローチで、構造材料の研究開発を進めていくことができるようになると大いに期待しています。また、MIシステムを完成させることで、日本企業の国際競争力の向上に貢献したいですね。

源 一方、NIMSでは統合システムの開発を進めています。統合システムのゴールは研究者が開発した各種モジュール、

解析手法や数値モデル、データベースを統合して、その中からユーザーニーズに合致したワークフローを自動的に選び出すことができるようにすることです。それにより、開発しようとしている構造材料の寿命や性能の劣化要因を高い精度で予測し、提示できるようになると考えています。

門平 東大との連携を通して、各種モジュールを開発している大学の研究者の方々との情報交換や意思疎通を頻繁に行なえるというのは、非常に恵まれた環境であると実感しています。統合システムを構築していく上で、非常に有効的に働いていますね。

出村 現在はプロジェクト全体の3分の1が経過したところです。MIシステムの構築は世界でも類を見ないユニークな試みであり、最初は右往左往しましたが、ようやく目指すべき方向が定まりメンバー全員が1つの目標に向けて足並みを揃えて歩き始めてきていることに少しほっとしつつ、これから仕上げていく責務を考えて身が引き締まる思いでいます。

渡邊 日本企業にとって真に役立つMIシステムの構築に向け、今後も人材育成も含め連携を強化し、ともにプロジェクトを推進していきましょう。

(文・山田久美)

SIP「革新的構造材料」のもと、
以下のような研究も行なっています。

構造材料の未活用情報を取得する 先端計測技術開発

大久保忠勝

磁性・スピントロニクス材料研究拠点
磁性材料解析グループ グループリーダー

TIA（産総研、NIMS、筑波大、KEK、東大）の機関が有している世界的にもユニークな先端計測分析機器を活用して、従来技術では計測できなかった、性能予想、寿命予測、省エネ製造プロセスのための情報を取得します。さらに、材料の性能や寿命を決めているが見えていない劣化発生前の前駆段階などにおける情報を発見できる拠点構築を目指しています。

セラミックスコーティングの 耐久性評価

垣澤英樹

構造材料研究拠点
構造用非酸化物セラミックスグループ
主幹研究員

航空機のエンジン部材用に開発された耐熱・耐環境セラミックスコーティングの耐久性評価を行っています。高温に曝して剥離や亀裂がどのように進展するか解析するなど、化学的・熱機械的な損傷に対する耐久性を評価・解析するとともに、標準化された評価技術の開発も目指しています。

セラミックスコーティングの 内部変化の定式化

金 炳男

機能性材料研究拠点
外場制御焼結グループ グループリーダー

セラミックスコーティングは、高温に曝されると耐熱性の低下がみられます。その原因として、高温によって結晶粒が大きくなり、それに伴って気孔が消滅する可能性が指摘されています。そこで、セラミックスコーティング層内の組織の変化や気孔の移動について、実験データをもとにした理論式の作成を目指しています。

DISCUSSION MEETING



劣化しづらい鉄筋コンクリートの開発と劣化の診断技術で、国土の強靱化に貢献！

藤野陽三PD率いる「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」では、老朽化が深刻な道路・鉄道・港湾・空港などの社会インフラに対し、維持管理コストを軽減するための研究開発に取り組んでいる。5つの研究開発項目のうち、NIMS構造材料研究拠点の土谷浩一拠点長がラボ長を務め、同拠点のSIP-インフラ構造材料ラボが推進するのが、「構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発」だ。土谷浩一拠点長にプロジェクトの目的と内容を聞いた。

道路やトンネル、橋梁など高度経済成長期に集中的に建てられた社会インフラの老朽化が進み、深刻な問題となっている。しかし、財政状況や人材不足が厳しさを増す中、補修や建て替え工事は思うように進んでいないのが現状だ。短期間で一気に進めることができない以上、優先順位を決めて、倒壊の危険度が高い順に着手する必要があるものの、鉄筋コンクリートは置かれている環境や材料、製造方法によって老朽化の程度が異なる。そのため、築年数や外見だけでは判断がつかず、優先順位をつけるのがむずかしい。

そこで、NIMSが中心となり推進している「構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発」では、大学や企業、土木研究所とも連携し、鉄筋コンクリートをターゲットに、劣化のメカニズムの解明と、劣化しにくい材料の開発、維持管理コストを低減するための技術の開発を進めている。同時に、構造材料科学から土木までを幅広く俯瞰できる研究者、技術者の育成に取り組んでいる。

長寿命の鉄筋コンクリートの開発を目指す

鉄筋コンクリートが劣化する最大の原因はコンクリート内の鉄筋の腐食だ。コンクリート内にしみ込んだ海水や雨水、融雪剤によって鉄筋が腐食し、体積が膨張する。それによりコンクリートが内側から押され、ひび割れが生じる。さらにそのひび割れから海水や雨水が入り込み、鉄筋の腐食が助長されるのだ。

「コンクリートの中は元々アルカリ環境ですが、融雪剤や海からの飛来塩分によってコンクリート中の塩分濃度が高くなったり、中性化によってpHが下がったりすることで、鉄筋の腐食が進みます。これまでの我々の研究により、コンクリートの塩分濃度とpHが、あるしきい値を超えると一気に腐食が進むことがわかりました」と土谷は説明する。

そこで、NIMSではコンクリート内部の塩分濃度とpHを計測できるセンサーを開発。さらに、鉄筋の腐食の進行具合とコンクリートの塩分濃度、pHとの相関関係を解明した。そしてその結果を基に、低コストでありながら耐腐食性が高い鉄筋の開発に成功した。現在は京都大学などと共同で、この鉄筋を使った鉄筋コンクリート部材を試作し実証実験を行っている最中で、プロジェクト終了までには実用化を目指す。

加えて、劣化したコンクリートを補修するための「付着生物模倣型含浸補修材料」の開発にも取り組んでいる。この材料は、コンクリート中のアル



通常の炭素鋼(左)、開発した耐食鋼(右)を模擬鉄筋として用いたコンクリート供試体を伊良部大橋で2年間暴露試験した結果。炭素鋼鉄筋を用いたものは鉄筋腐食による体積膨張によりコンクリートにひび割れが入るが、耐食鋼を用いたものはひび割れが生じない。



土谷浩一

構造材料研究拠点 拠点長
同拠点 SIP-インフラ構造材料ラボ ラボ長

カリ成分と反応して硬化することで防水性を発揮し、内部の鉄筋の腐食を抑制するというもので、鉄筋コンクリートの長寿命化が期待できる。現在、複数の企業と連携し量産化に向けた検討と実証試験を進めているところだ。

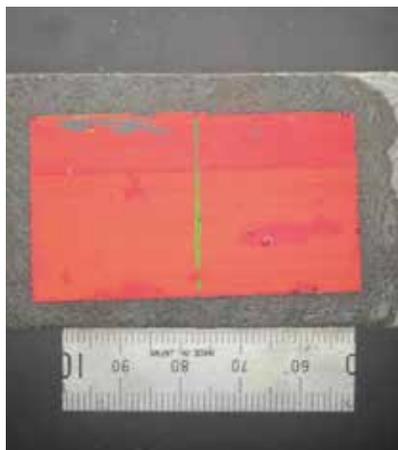
誰でも劣化診断ができるシートを開発

さらに、維持管理コストを低減する技術として、コンクリートのひび割れを簡単に検出できる「ひずみ可視化シート」の開発を進めている。ひずみ可視化シートとは、タマムシやカワセミなど自然界に見られる「構造色」の原理を利用したシートだ。構造色とはサブミクロンレベルの微細構造により、特定の波長の光のみが選択的に反射して金属光沢のある特定の色を示すというものだ。

NIMSではこの構造色を応用して、直径0.2ミクロン程度の微小なポリスチレンという高分子の粒子を薄いプラスチックシートの表面にコーティングしたものを開発した。ポリスチレンが規則配列することで微細構造が形成され、写真のような赤色の構造色を発色する。しかしシートを曲げたり引っ張ったりす

ると、ゆがんだ部分だけ粒子間の距離が変わるため、それに伴い反射する光の波長も変わる。このシートを鉄筋コンクリートの要所に貼っておけば、地震などにより亀裂が生じた場合、その部分だけが変色するので、亀裂した箇所が誰でも一目でわかるというわけだ（下の写真参照）。

「特に地方自治体では、インフラの維持管理にかけられる予算も人員も限られており、誰でも簡単にインフラの劣化診断ができることが求められています。その点でひずみ可視化シートは非常に有用だと考えています」と土谷は語る。



コンクリートひび割れを検出可能にする歪み可視化シート。緑色の部分で亀裂が生じていることが分かる。

NIMSをインフラ構造材料研究のハブ拠点に

さらにNIMSでは、「インフラ構造材料若手フォーラム」や「インフラ構造材料サマースクール」などの人材育成プログラムを開催することで、材料から土木までを俯瞰できる人材育成に取り組んでいる。

「NIMSが得意なところは、電子顕微鏡などの分析・評価装置などを使って、ナノメートルレベルで構造材料にアプローチできること。一方、土木分野は理論よりも勘と経験に基づく実績重視の世界です。このプロジェクトを通して、NIMSと土木分野がタッグを組むことで、長寿命かつ維持管理コストの低い社会インフラの実現が可能になると期待しています」と土谷は語る。プロジェクト終了後はNIMSを日本におけるインフラ構造材料の研究開発、人材育成のハブ拠点にしていく計画だ。（文・山田久美）

きみが思っているより
科学はもっとおもしろい



まちがいから生まれたナノ絆創膏

文・えとりあきお

イラスト・岡田文(vision track)

子どものころ、毎日のように原っぱや海岸を走りまわって遊んでいたのに、手や足に擦り傷の絶えたことがありませんでした。そのため、赤チン(マーキュロ……今は別のもの)に変わってしまいましたが)と絆創膏は、なくてはならない必需品でした。特に絆創膏は、傷口の出血を抑えたり、ガーゼをしっかりと肌止めたりするのに役立ちましたし、痛い注射のあとの止血にもしょっちゅうお世話になったものです。

この絆創膏、いまでも重宝されていますが、技術の進歩につれて、傷の治り具合が色でわかるものや、絆創膏型人工皮膚など、まったく新しいものがつくられるようになりました。なかでも注目されているものの一つが、「ナノ絆創膏」です。

ナノと名のついているように、この絆創膏の特徴は超「うすい」ことです。ふつうの絆創膏のなんと10万分の1、約60ナノメートルです。あまりに薄いため、一度皮膚に貼ってしまうと、印をつけておかないと、どこに貼ったか分からなくなってしまうほどです。

この絆創膏は生体に何の害も及ぼさない材料できているので、皮膚の表面に貼ったりするだけでなく、臓器の傷ついた部分に直接貼ることができます。日常生活にも応用可能で、たとえば化粧品や皮膚外用剤としての開発も進んでいます。将来的にはシートを折りたたむ、または細胞サイズまで小さく加工して薬をはさみ込むことによって、血液中に投与し、直接患部や病床部まで薬を運ぶこと

も考えられます。

さらに、材料を代えることで、電子ナノ絆創膏として、皮膚に貼り付けて生体電気信号を計測することもできるようになっています。体温やpHなどさまざまな生体情報を簡単に計測できるウェアラブルデバイスへの応用が現実味を帯びてきています。

このナノ絆創膏、早稲田大学の研究室で、ある研究者が人工血小板づくりをしていて、まちがって1センチ角の大きさのシート状の血小板をつくりあげてしまったことから生まれました。この若い研究者の名前は藤枝俊宣(ふじえとしのり)さん。

藤枝さんは東京生まれ。研究者としての腕を磨くために、イタリアへ修業に出かけ、帰ってきてからも東北大学、早稲田大学と移動しながら、バイオエレクトロニクスの研究に取り組んでいます。

直接お会いして話を聞く機会がありましたが、研究者としての先を見つめる心構えと研究に対する真摯な姿勢、科学者として社会にいかに関与すべきかというセンスとそれを形にする行動力(子供たちや一般市民にも積極的に科学の話の聞かせる等)……こうした若い研究者が続々とあらわれれば、科学立国日本の未来は決して暗くはないと確信させてくれる研究者でした。間違っつつあった血小板シートからナノ絆創膏というアイデアを生み出したのも、そういった資質ゆえと言えるかもしれません。

超高齢化社会がおとずれて、若年人口は減少の傾向にあります。そうしたなかで、科学や技術の力で解決をはかっていかなければならない世界的な課題は山積しています。今こそ、科学技術の研究開発に力を十分注がなければならないときであるにもかかわらず、研究予算、研究人材、研究設備などは日本全体として縮小の方向にあります。こうした事態を打破して、世界に貢献していくためには、失敗を恐れず、かつ真摯に研究に向き合う若い芽を見だし、育て、その活力と行動力に夢を託すしかありません。

藤枝さんのような人材が数多く輩出することを、社会全体で真剣に考えなければならぬのではないのでしょうか。



えとりあきお：1934年生まれ。科学ジャーナリスト。東京大学教養学部卒業後、日本教育テレビ(現テレビ朝日)、テレビ東京でプロデューサー・ディレクターとして主に科学番組の制作に携わったのち、『日経サイエンス』編集長に。日経サイエンス取締役、三田出版株式会社専務取締役、東京大学先端科学技術研究センター客員教授、日本科学技術振興財団理事等を歴任。