

計測・分析技術のさらなる発展へ、異分野の知見を

北川 宏

京都大学 理事補(研究担当) 大学院理学研究科 教授

牛木 辰男

新潟大学 教授 教育研究院医歯学系長・医学部長

杉山 昌章

大阪大学 大学院工学系研究科 特任教授

伊東 祐博

株式会社日立ハイテクノロジーズ 科学・医用システム事業統括本部 科学システム製品本部 本部長

多持 隆一郎

株式会社日立ハイテクノロジーズ 科学・医用システム事業統括本部 事業戦略本部 科学システム事業戦略部 部長

品田 博之

日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センタ 主管研究長

計測・分析技術は科学や産業を支える基盤であり、新素材開発、ライフサイエンス、エレクトロニクス、環境・新エネルギーなどのさまざまな分野で広く活用されている。

日立グループは、早くから物理計測装置、電子顕微鏡、分光分析装置などを手がけ、

計測・分析技術とその応用展開によって社会や産業の発展に貢献してきた。

今後もコア技術の強化と製品ラインアップの拡充を図るとともに、専門分野の顧客との協創、

オープンイノベーションを推進し、先端学術研究から生産現場まで、計測・分析技術を通じて幅広く支えていく。

動的観察への対応と、プラットフォーム化を

品田 科学や産業の基盤には、「見る」、「測る」、「解析する」ことが不可欠であり、さまざまな計測・分析技術が先端研究開発から生産現場まで広く活用され、社会を支えています。本日は材料開発や医学・生物学を専門とする先生方にお越しいただきましたので、まず、それぞれの分野における計測・分析技術の貢献や最近の動向について教えてくださいませんか。

北川 私が専門とする材料科学では、「その場観察」やオペランド測定[※]などの重要性が増しています。特に海外では、電子顕微鏡下で実ガスや水素を入れて触媒を反応させながら表面を観察する手法や、電池を実際に作動させながら材料の様子を観察する手法の開発が進んでいます。日本でも徐々に行われるようになっていますが、取り組みを強化していくべき分野です。

また、現在、NIMS(国立研究開発法人 物質・材料研究機構)を中心に、材料に関する情報をデータベース化し、データ解析技術を活用した材料設計を行う、マテリアルズインフォマティクスが推進されています。材料科学と計測技術との融合は、これまでも進められてきましたが、今後はこのようにデータ解析技術や情報処理技術の活用も欠かせないものとなるでしょう。高度測定技術とデータ解析技術が、これからの先端研究の鍵を握ると言えます。

もう1つ、日本が強化すべきなのはプラットフォーム化です。日本には、スーパーコンピュータ、放射光施設、中性子線施設、大型電子顕微鏡、強磁場研究施設、NMR

※) 実際の動作環境で半導体や電池などのデバイスの測定を行うこと。

(Nuclear Magnetic Resonance) 研究施設など、数多くの高度な共用研究施設があり、大学とともに先端研究や基礎研究の拠点となっていますが、科学や産業の国際競争力をより高めるには、拠点化とネットワーク化による研究プラットフォームの構築を推進する必要があります。

牛木 医学や生物学では、電子顕微鏡が細胞生物学の発展に大きく寄与してきました。ウイルス、細胞内のゴルジ装置やミトコンドリアの構造などは、電子顕微鏡の分解能によって初めて観察可能になったものであり、それなしに今の生物学はありません。一方で、最近では、電子顕微鏡が築いた細胞生物学の知識を土台としながら、光学顕微鏡で標識できる分子や遺伝子を扱う分子生物学などの分野が主流となっています。

では、今後、電子顕微鏡が使われないのかというと、やはり最後はきちんと形を観察する必要が生じます。電子顕微鏡の課題は、分解能が高い反面、形は見えても色や機能を見ることができない点です。最近では、レーザー光を使ったコンフォーカル顕微鏡や2光子顕微鏡などがよく用いられていますが、光学系顕微鏡は生きた細胞を動的に観察できるという利点があります。動くものを見るという課題を克服することが、医学・生物学分野における電子顕微鏡のさらなる活用につながるでしょう。

品田 北川先生のおっしゃったプラットフォーム化は、オープンイノベーションの観点からも重要です。日立グループも、大学や研究機関、他の企業との連携・協力を積極的に推進していますが、まさに産学連携の最前線にいらっしゃる杉山先生は、オープンイノベーションについてどうお考えですか。

杉山 私は2015年3月まで企業で鉄鋼材料の研究に携わり、現在は大阪大学で共同研究講座を受け持っています。鉄鋼事業というのは材料開発そのものであり、添加した合金元素が製品中にどのように分布し、結果として目的とする材料の機械的特性をどのように産み出しているのかを解明することが重要であり、電子顕微鏡をはじめ、さまざまな計測・分析装置がなければ成り立ちません。

近年は、材料開発においても新興国が台頭し、開発競争が激化しています。その中で、原料という同じ出発点から、最終製品でユーザーの目的とする機械的特性、物理的特性を実現するためには、材料科学の多様な知見が必要となり、従来以上に、企業と大学との共同研究も盛んになってきました。ただ、課題に対する解を早く確実に出すために、これまでのような委託型の研究から、より一体となって研究に取り組むという方向にシフトしています。もちろんオープンイノベーションと言ってもその中身が重要で、企業と大学と一緒に、短中期的に人材と技術を育てていく時代に入ったと言えるでしょう。私たちの共同研究では、材料基礎研究だけでなく、従来の計測・分析装置の課題解決をめざした装置技術に関連した研究も行う計画です。

品田 基礎科学だけでなく、装置開発という面でも産学の連携が重要になりますね。牛木先生は、JST(国立研究開発法人科学技術振興機構)の先端計測分析技術・機器開発プログラムの一環で、静岡大学工学部の岩田太教授や、株式会社日立ハイテクノロジーズ(以下、「日立ハイテク」と記す。)などと共同で、リアルタイムで3D観察が可能な走査電子顕微鏡[SEM(Scanning Electron Microscope)]と裸眼対応の高解像度3Dモニタを開発されました。こうしたコラボレーションが成功したポイントはどこにあると思われませんか。

牛木 私たちの専門分野の関心と、企業の開発目的は必ずしも一致するものではありませんから、互いの歩み寄りが大切です。高度に専門化した課題を解決するための計測・分析装置の開発というのは、いくつかのステップを踏みながら根気よく取り組む必要があります。その実現のためには、お互いにリスペクトできるような仲間を見つけて、共

通目標を持つことが必要です。異分野を理解する姿勢、あるいは異分野の橋渡しとなれる人材がいれば成功するはずです。

北川 おっしゃるように環境づくりは重要ですね。さきほどデータ解析や情報処理技術が必要と言いましたが、その専門技術者と材料科学の研究者の間には、大きなギャップがあります。そのように異なる領域をつなぐ分野を進展させ、両方を理解できる人材を育てるには、お互いの領域に興味を持つ人を集められるような仕組みが必要かもしれません。

装置からソリューションへ

品田 先生方から、計測・分析装置に関する最近の動向をお話いただきましたが、日立ハイテクの取り組みはいかがでしょうか。

伊東 北川先生のおっしゃったオペランド解析については、透過電子顕微鏡[TEM(Transmission Electron Microscope)]による対応をめざして開発を進めています。計測・分析装置全体で言うと、TEM、SEM、FIB(Focused Ion Beam)装置のラインアップ強化に数年前から取り組んできました。例えば、杉山先生がおっしゃる材料開発向けとしては、2014年にショットキーエミッション型電子銃を搭載したFE(Field Emission)-SEMを製品化して鉄鋼事業に貢献しています。また、牛木先生と一緒に開発に取り組んだリアルタイム3D-SEMは、その後、製品化(180台以上出荷)し、社会に貢献できました。ハイエンド製品だけでなく、誰でも使えるSEM、TEM、FIBの開発を進め、ユーザー層の拡大をめざしています。

また、今後は、装置だけでなく、ソリューションやシステムとしての提供も必要となってきます。大学・研究所などの先生方やユーザーと意見交換しながらニーズを探る取り組みも始めています。例えば、分子レベルの構造解析を可能にするバイオイメージング手法の一つとして、蛍光顕微鏡と電子顕微鏡を組み合わせたライブCLEM(Correlative Light and Electron Microscopy:光—電子相関顕微鏡法)



北川 宏

京都大学 理事補(研究担当)
大学院理学研究科 教授

京大大学院理学部卒業、同大学院理学研究科博士後期課程化学専攻単位取得退学。筑波大学化学系助教授、九州大学大学院理学研究科化学部門教授などを経て、2009年より現職。博士(理学)。錯体化学会理事などを兼務。



牛木 辰男

新潟大学 教授
教育研究院医歯学系長・医学部長

新潟大学医学部医学科卒業、同大学院医学研究科博士課程修了。北海道大学助教授などを経て、1995年新潟大学医学部医学科教授、2014年より現職。医学博士。専門は顕微解剖学。著書に『入門組織学』(南江堂)など。

も注目されていますが、より使いやすいシステムの実現に向け、理化学研究所と共同開発に取り組んでいます。

多持 ソリューション提供において大切なのは、前処理から測定、後処理までのトータルサポートです。そこで当社は、2011年2月に東京ソリューションラボを開設しました。お客様により近い場所で、主力製品のデモンストレーションや操作実習を行えるようにし、お客様の利便性向上や、国内外の大学・研究機関との連携強化を図っています。

当社は2012年に分析装置会社のエスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社を買収し、株式会社日立ハイテクサイエンスとしました。これによって、表面解析装置、SPM (Scanning Probe Microscope)、白色干渉計なども製品ラインアップに加わりました。そのシナジーを生かし、例えば、SPMとSEMを併用することで表面画像と局所的な物性解析を組み合わせた観察を可能にするシステムなどを提案しています。

日立ハイテクサイエンスはX線解析装置も持っており、この汎用技術を食品の異物混入検査や、リチウムイオン電池の品質管理などの専用機に転用することにも取り組んでいます。電子ビーム、イオンビーム、分光技術、X線解析技術といったコア技術を活用して、より多くのお客様にソリューションを提供し、計測・分析装置を通じたイノベーション創出に貢献していきたいと考えています。

北川 今の時代、海外の計測・分析装置メーカーとの競争に勝っていくためには、技術にこだわるだけでなく、ユーザーの声を取り入れていくことが大切です。

品田 そうした意味でも、オープンイノベーションを意識することが重要ですね。日立グループ全体としても、オープンイノベーションや協創をキーワードとして社会イノベーション事業、先端技術研究や製品・サービスの開発に取り組んでいます。そのために、グループの研究所を再編し、お客様との協創、お客様起点での研究開発を強化しています。

杉山 ユーザーの声を反映した製品開発は非常に重要である反面、これだけ技術が進歩してくると、次世代の技術のためのブレークスルーには、さまざまな研究者の持つ基礎

的な知見を共有することも必要になるでしょう。そのために、企業間のオープンイノベーションの重要性も増していると思います。特に同じ業種というよりは、むしろ異分野、異業種の知を融合・連携させることが鍵になると思いますし、そのための橋渡しを大学が担うこともできるのではないかと考えています。

異分野の知見も取り入れ、新たな課題に挑む

品田 革新的な計測・分析技術を創出するために、産官学の協創の必要性が増えていますね。

多持 計測・分析技術では、観察して取得したデータの解釈が最も重要な要素の一つです。観察対象が高度になればなるほど、データ解釈も高度になりますから、やはりその分野の専門の知見を取り入れることが必要になっています。

杉山 電子顕微鏡の場合、対象物がちょっと傾斜しただけでもまったく違う像に見えてしまうことがあります。求める解を早くつかむためにも、計測・分析技術の専門家と、ニーズを持つ材料開発側の専門家との一体感は重要です。また、ビッグデータの解析技術を取り入れて膨大なデータを別の視点から見れば、見えていなかったものが発見できるかもしれません。その際、見落としていたデータやノイズから新しいものを見つけられる人材の育成も必要であり、そのためにも拠点化やプラットフォーム化による人の集まる工夫が重要になります。

牛木 生物系では特に、画像が質的解釈に役立ってきたわけですが、最近、必要とされている統計的な解析、定量的な解析を電子顕微鏡の画像データに対して行う方法については、非常に遅れているように感じます。そういう意味では、計測・分析装置と言っても計測器的になっていない面も多いですね。

品田 日立ハイテクは、半導体検査装置として寸法を測ることのできる測長SEMを開発し、半導体製造に欠かせない微細計測を支えています。その中で積み上げてきたノウハウが、画像を定量的に分析する方法に役立つ可能性はあります。また、顕微鏡画像に対してビッグデータ解析や



杉山 昌章

大阪大学 大学院工学系研究科
特任教授

大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業、同大学院基礎工学研究科博士課程修了。新日本製鐵株式会社(現 新日鐵住金株式会社)に入社後、セラミックスの研究を経て、鉄鋼材料研究に従事。電子顕微鏡技術を中心に材料組織制御研究、技術企画に携わる。2015年より現職。工学博士。日本顕微鏡学会会員、日本金属学会会員、日本鉄鋼協会会員。



伊東 祐博

株式会社日立ハイテクノロジーズ
科学・医用システム事業統括本部
科学システム製品本部 本部長

1984年日立那珂精器株式会社入社、走査型電子顕微鏡の設計開発に従事し、現在、電子顕微鏡・集束イオンビーム加工装置の設計開発マネジメントに従事。日本顕微鏡学会会員。

AI (Artificial Intelligence) を活用するための突破口になるかもしれません。

北川 私が今、いちばん困っているのは、STEM (Scanning Transmission Electron Microscope) はとても便利な装置であるけれど、焦点がごく一部しか合わないことです。例えば、金属材料の分野では、多元素ハイエントロピー合金が注目されていますが、STEM-EDX (Energy Dispersive X-ray Analysis) を使って、1つのナノ粒子の中に複数の元素が分布しているのを三次元で見たいという場合に、STEMの焦点の問題と、EDXの特性X線が重なる問題によって、分析が難しくなっています。物理的に解決できるのか、多変量解析などのデータ解析技術を用いるのか、方法はあると思うのですが、ぜひ解決して下さるようお願いいたします。

牛木 焦点の問題は、フォーカスの違う画像を何枚も撮って、合っているところだけ積算するという方法が使えるのではないのでしょうか。

多持 そうですね。インレンズ方式のSEMに、自動的にピントをずらしながら撮影してシャープな部分だけ積算する技術を入れていましたので、それを応用できそうです。

伊東 EDXの感度の問題については、日立ハイテクサイエンスの技術を生かし、NIMSの原徹先生などと共同で、TES (Transition Edge Sensor) 型マイクロカロリメーターの開発を進めています。これが実用化できれば、従来のEDXよりもエネルギー分解能を大きく高めることができ、ナノスケールでの高精度組成分析に貢献できるのではないかと考えています。

北川 期待しています。また、材料科学では、分子レベルのミクロな世界と、目に見える結晶レベルのマクロな世界の間、メソスケールの領域の構造が材料特性に影響することが知られています。ただ、その領域を観察する技術には課題が多く、電子顕微鏡が活用できる可能性も高いと思っています。

品田 科学が進んでも解明されていない領域はまだあり、そうした課題に貢献するためにも、計測・分析の分野に多様な技術、知見、人材を取り入れていくことが必要ですね。

日立では、今は故人である外村彰フェローを中心に、以前からホログラフィー電子顕微鏡の開発に取り組んできました。2015年2月には、国の最先端研究開発支援プログラム「原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の開発とその応用」で、1.2 MVの加速電圧を備えたホログラフィー電子顕微鏡を開発し、世界最高の分解能43 pmを達成しました。これを今後、日立内部だけでなく、日本の先端機能材料開発などに活用していただくとともに、基礎科学の発展にも大いに貢献したいと考えています。先生方も、ぜひ研究テーマをご提案ください。

杉山 世界一を達成することは重要ですね。それによって注目されれば、人が集まり、自信につながります。世界最高を実現するためには必ず新しい技術革新が必要で、その過程で得られた知見は、本当に後々の役に立つことも多いはずですよ。

牛木 ほんの少しでも分解能が上がることで、今までは見えなかった部分が見えるようになるということは必ずあるでしょう。そういう点を生かす努力も必要ですね。

北川 日本の計測・分析技術自体は世界でもレベルが高く、ハイエンド化は継続的に進めていくことが大切です。その一方で、スペックを重視しすぎると、使いこなすことが難しくなる面があります。トップレベルの技術と、誰が使ってもある程度の性能が出せる、ユーザーフレンドリーな要素の両立が求められます。

伊東 おっしゃるとおりです。性能、品質、信頼性を追求し、新たな課題に挑むとともに、使いやすさの向上を図り、科学や産業の基盤となる計測・分析プラットフォームの発展に寄与していきます。

品田 日本人が得意とする、専門技術・分野を深く掘り下げることも大切にしながら、横のつながりを実現するスキーム、そして人材の育成が大切であることがよく分かりました。

日立グループの計測・分析技術をさらに発展させ、計測・分析を軸としたオープンイノベーションによって社会や科学の発展に貢献してまいります。本日はありがとうございました。



多持 隆一郎

株式会社日立ハイテクノロジーズ
科学・医用システム事業統括本部
事業戦略本部
科学システム事業戦略部 部長

1984年日立計測エンジニアリング株式会社入社、走査型電子顕微鏡の応用技術開発などを経て、現在、科学システム製品の事業戦略に従事。日本顕微鏡学会会員、日本表面科学学会会員。



品田 博之

日立製作所 研究開発グループ
基礎研究センタ 主管研究員

1985年日立製作所入社、中央研究所に配属後、電子顕微鏡技術を応用した半導体製造・検査装置および電子源・電子銃の研究開発などを経て、現在、ホログラフィー電子顕微鏡の開発と応用研究に従事。博士(工学)。日本顕微鏡学会会員、応用物理学会会員、計測自動制御学会会員。