科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査

第3回 ニーズ対応のナノ計測

㈱科学技術振興機構
研究開発戦略センターフェロー
永野智己氏

ナノメートルのオーダーで原子や分子を操作したり制御することで、ナノサイズ特有の物質特性・現象を利用し、またはそれらを組み合わせて応用することにより新たな機能を発現させる。その機能を情報通信や医療、環境、エネルギー、材料技術等の各応用分野へ用いて、新たなデバイスやシステム、素材を生み出す技術。これはナノテクノロジーの一般的な説明であり、まさに物質科学における先端研究を意味している。ナノ・物質科学の未解決問題へアプローチする際に求められる計測ニーズに関し、研究開発戦略センターでは俯瞰的な調査を実施している。調査から浮かび上がった未解決問題と、それに対する計測ニーズの例を表に示した。

ナノ・物質科学の計測はまさに物理計測と一体化しており、あらゆる原理・物理現象を応用して極限まで物質の存在・現象の解明を追究する「存在計測」とでも呼べるものだ。これは生命科学研究で求められるような「関係計測」と対照的である。

特に要請の高いものは、3次元計測、動的・リアルタイム計測、界面および内部計測等で、より現実に近い状態、すなわち使用環境下における「その場計測技術」が求められている。事実、複雑な使用環境下や多成分の物質などをその場計測する技術には高いニーズが存在している。例えば、半導体デバイスを作製する際、雰囲気下の影響を考慮するために、ガス雰囲気下で動作状態を計測したり、生体の細胞表面や細胞内部の3次元計測、触媒反応や電池の内部反応状態の解明などで、その場計測が求められている。

これらの計測には、解像度を極限まで高め、超短時間で計測する技術が求められている。近年進展の著しい有機半導体では、高い物性値と耐久性を兼ね備えた高純度の材料が求められているが、不純物を測定する手法や、高純度を規定する測定技術そのものがまだ存在していない。したがって、高純度を示すことのできる計測技術とセットで物質を標準化することが、この分野の熾烈な競争を勝ち抜くための必要条件といえるだろう。今後のさらなる課題は、原子・分子よりも、もう少し大きなサイズのもの、例えば物質が自己組織化して形成される凝集体や特殊な構造を持つ集合体など、数百ナノメートルから数ミリメートルにまたがるサイズの測定・可視化である。

物性の根拠を総合評価
「その場」に期待高まる

このように、計測のニーズは年々対象が変わってきているものの、その目的は物質のキャラクタリゼーションであるということには変わりない。キャラクタリゼーションは、単なるメジャーメントではなく、物質の示す性質の根拠を多面的に評価する総合技術であり、多くはこれまで数十年にわたってやってきたことと変わっていない。

一方、計測の現場では熟練技術者の不足が生じている。一例を挙げると、測定に際して重要な「試料の前処理技術」が国内からなくなりつつあり、消滅の危機にある測定手法もあるという。分析の専門家が不足し、また、分析を依頼する側のレベルも低下しているという声も聞こえる。

近年は、コストと時間、信頼性に対する要請が一段と高まっている。分析の手法がより多様化・複合化しているため、装置が高価で測定に時間がかかり、どうしても高コストになってしまう。これは計測・分析機器産業や分析サービスを担う企業、公的研究機関とも連動する問題であり、解決は簡単ではない。今後、海外分業が進み、基盤的な計測技術のいくつかが国内に残らなくなるということも想定される。

最後に、劣化の計測についても触れておかねばならない。今回、福島の原発があのような事態になった。原子炉を構成する材料の劣化度合いの測定や、加速試験による劣化予測は大きな課題である。高温・高圧下で放射線照射にさらされた場合、炉壁材料はどこまでの性能を備えておけば十分なのか、寿命は30年もつのか、50年もつのか。必要十分な材料を開発することは可能なのかどうか。「ニーズ対応のナノ計測」に課せられている役割が極めて大きいことは間違いない。

「ナノ・物質」科学における未解決問題に対する計測ニーズ

CRDS JST

科学における未解決問題	計測ニーズ
触媒反応機構を解明し、希少元素を用いない触媒や超高効率触媒を開発したい	触媒の反応状態、反応部位のリアルタイム測定。活性金属と担体の位置的関係の明確化。
耐久性と高い物性値を兼ね備えた有機半導体材料を創出したい	劣化の原因を解明する技術。研究現場でリアルタイム且つコンパクトに計測をおこなえるようにしたい。（グローブボックス内やパイロットプラント）に持ち込めるNMRなど、「小型機器」が求められる。
ナノ・マクロレベルの凝集体の機能を予測したい	原子・分子レベルと、ナノ・マクロレベルの凝集体の同時計測・可視化。現実の計測と共に、計算科学によるシミュレーションが解釈のためには必要 。
薄膜デバイスの界面に機能性を持たせるような新素材開発、数nmオーダーの素子を開発したい	機能発現させる素材表面構造や、素子サイズが今後数nmになると、空間・深さ分解能ともに原子レベルの分析手法が求められる。軽元素の拡散をナノレベルで解析する技術、定量化や元素同定。
使用環境下での動作状態を可視化したい	例：液体中における電気化学反応の高分解能観察、メモリデバイス（酸化還元系）の雰囲気下での計測。大気下で測定できるSIMSの開発。
生体物質や環境成分（混合・多成分系）を分離せず直接分析したい	10μmスケールの3次元計測技術。界面・表面の効果が極めて大きい。
ナノ構造体の材料特性を定量化したい	強度や熱物性の精密測定。弾性率、降伏強度、破壊強度、靭性、疲労特性の測定。親水性、疎水性計測。ナノマニピュレーション、微小引っ張り試験デバイス、熱伝導率測定デバイス。