

ナノ材料適正管理のための複合計測システムの開発

ナノ材料規制への該非判定を可能とするとともに、様々な物理化学特性を有するナノ材料の詳細分析のみならず、簡便な品質管理に資する複合計測システムの開発を行った。本稿では各個別技術開発内容について整理するとともに、開発された複合計測システムを利用したナノ材料の特性評価例を紹介した。

一村 信吾, 加藤 晴久, 堀池 重吉, 杉沢 寿志, 黒河 明,
熊谷 和博, 白川部 喜春, 重藤 知夫, 山口 哲司, 高橋 かより,
井上 信介, 稲垣 和三, 藤本 俊幸

1 はじめに

2004年頃から高まりを見せるナノ材料のポテンシャルリスク懸念とそれに付随したナノ材料規制・国際標準化の動き、ナノ粒子計測へのニーズの高まりに関しては、前号の展望に詳しく述べられている。ここでは、呼応する日本の動きとして、計測ソリューション開発コンソーシアム（Consortium for Measurement Solutions；以下COMS）の設立と関連活動を述べることにする。

COMSは、2020年3月現在で7法人（計測分析機器メーカー4社（島津製作所、日本電子、堀場製作所、日立ハイテク）、材料メーカー2社、産総研）を中核に活動している組織である。設立は2013年6月であるが、設立に至る活動はその数年前に始まった。ナノテクの産業化と共に必要な計測分析技術力が多様化し、高度な計測分析ニーズに応えるオープンな枠組み（計測分析プラットフォーム）が喫緊に必要なとなると想定したこと、さらに計測分析にかかわる国際競争力強化への思いが、その契機となっている¹⁾。

活動当初は、素部材産業界の共通の計測課題に対するソリューションを提供するプラットフォーム構築を目標に掲げた。しかし、計測分析技術課題は製造ノウハウと表裏一体の関係（競争力の源泉）であり、オープンな枠組みに提示するには時期尚早の意見が強かった。そこで素部材産業界の共通の課題に対するソリューションを提供するプラットフォーム構築に観点を移し、ナノ材料の粒子径評価手法および装置の開発を目標に設定した。欧米での規制の始まりに際して提示されていた計測分析手法群²⁾を、計測分析機器メーカー法人に（重複なく）個別分担の協力体制を構築できたことも特徴と言える。

COMSの設立後の2014年10月には、日本学術振興会に「イノベーション創出に向けた計測分析プラットフォーム戦略の構築に関する研究開発専門委員会」が設

Development of Combined Measurement System for Appropriate Management of Nanomaterials.

置され（活動期間は3年間）、関連する議論が連携・並行して行われた。その議論をもとに、COMSの中核メンバーを中心にNEDOの先導研究に応募し採択された（ビッグデータ適応型の革新的検査評価技術の研究開発：2017年1月から1年間）。先導研究では、COMSの装置群をモデルとして、多様な計測分析装置がサイバー空間で有機的に結合するCPS（Cyber Physical System）型複合分析の概念を提示・検証した。先導研究を踏まえたNEDOプロジェクト（省エネ製品開発の加速化に向けた複合計測分析システム研究開発事業：2018年4月から2年間）の推進や国際標準化の課題への展開（2020年4月から3年間）など、COMS活動が源流となる産学協力活動は現在も進展している。

〔早稲田大学 一村信吾〕

2 COMSにおけるナノ材料計測の高度化の試み

ナノ材料が有する物理化学的特徴で主なものには、粒子径、粒子径分布、凝集状態、形状、表面積、組成、表面化学特性、表面電荷、分散性、が挙げられる³⁾。本稿では2013～2018年度に渡りCOMSにおいて開発してきたナノ材料の粒子径分布の計測・評価手法・計測装置の開発：分級システムを中核としたナノ材料複合計測システムの開発について紹介する。

2.1 分級法・分級装置の開発

ナノ材料はかならず粒子径に分布を持ち、デルタ関数的な粒子径分布をとる材料は皆無である。このように粒子径分布を持つ材料は、例えば電子顕微鏡法（EM法）を使用して粒子径分布を評価しようとしても、観測視野に依存した粒子径分布を示すことから、アンサンブル計測の達成は非常に困難である。このような状況を打破するためにCOMSでは粒子径分布計測をEM法や動的光散乱（DLS: Dynamic Light Scattering）⁴⁾を用いて行う前段階としてサイズ分級という手続きを導入し、粒子径

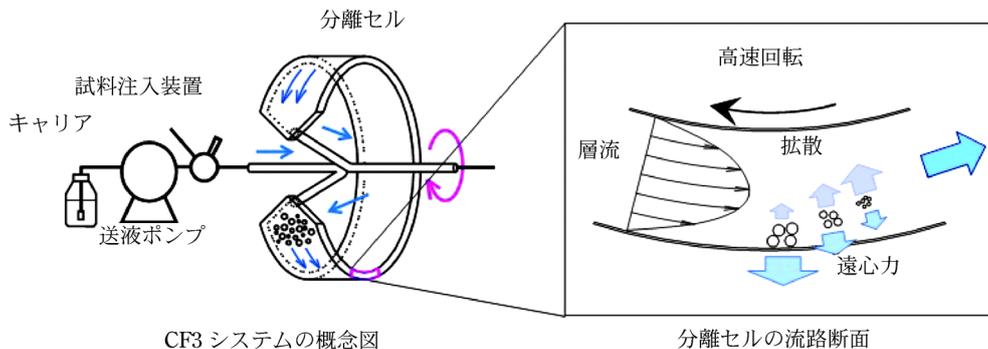


図1 遠心流動場分離法 (CF3) の概念図

分布を狭くすることで、観測視野の代表性を高めることとした。一般に分級というと高速液体クロマトグラフィー HPLC, やサイズ排除クロマトグラフィー SEC, を想像する読者は多いかもしれないが、これらの分級法は分級可能な粒子径範囲が数 nm~100 nm と非常に狭く、材料分析に適した方式とは言えない。COMS では、このような状況を鑑み、流動場分離法 (FFF: Field Flow Fractionation) をナノ材料分析のための分級装置として選定した。SEC 等のカラム分級法とは異なり、FFF は原理的に分離担体を必要とせず、広範囲の粒子径 (数 nm~10 μm) に適用できる。図1に示される遠心流動場分離法 (CF3: Centrifugal Field Flow Fractionation) は、高速回転する分離セルを用いて粒子径および粒子の比重に基づいて分級する。分離セルの法線方向に印加する遠心力で分離セルの基底に粒子を保持し、続いて自己拡散によって粒子が小から大の順に溶出する。

COMS では 10000 rpm を超える高速回転を実現し、微小粒子径の分級可能な CF3⁵⁾ を世界に先駆けて開発した。さらに装置開発に並行して FFF に係る国際標準技術文書 (ISO/TS21362)⁶⁾ を開発した。なお、本稿では COMS で実施した複合計測: CF3 と EM 法の複合計測⁵⁾ および CF3 と DLS の複合計測⁷⁾ のうち、後者の複合計測例について 2・6 にて紹介する。また、分級後段の粒子径評価モジュールとしての EM 法ならびに原子間力顕微鏡法 (AFM 法) については、計測法の最新の高度化検討結果を 2・2, 2・3 にて紹介する。

〔 島津製作所 堀池重吉, 産業技術総合研究所 加藤晴久 〕

2・2 電子顕微鏡評価法の高度化

高い空間分解能をもつ EM 法は精度のよい個別粒子径・粒子径分布計測法として期待されるが、その測定の信頼性は EM 用に調製した試料の品質に大きく左右される。これは EM 法が粒子の輪郭を撮影画像上で識別する方式のためであり、試料調製には粒子の重なりや著しい凝集を抑制することが求められる。ここでは粒子分

散液を基板の上に滴下し分散液を乾燥する試料調製法 (以下滴下乾燥法) の例を取り上げ、粒子径分布測定について述べる。

滴下乾燥法を用いた粒子径測定の工程の一例は、次のとおりである: ① 試料の粒子を溶媒中に分散, ② 分散液を基板に滴下, ③ 液滴中の溶媒の乾燥と粒子の基板表面への展開, ④ EM の視野選択と粒子画像の撮影および校正スケールの撮影, ⑤ 画像処理による粒子境界の判定と画素粒子径の取得, ⑥ 測定対象の選択とそれによる粒子径測定。いずれの工程も粒子径分布測定の精度を左右する重要な因子を含んでいる。

上記の ④ から ⑥ は EM 法による観察・解析の工程であり、特に走査型電子顕微鏡 (SEM) では次の因子が挙げられる。装置関連では、試料ステージやビーム照射位置のドリフト、画像の歪み、プローブ電子線の直径、校正スケールの不確かさ等がある。画像関連では、グレイレベルの設定、原子番号コントラストを考慮した電子線エネルギーの選択、検出器の選択と検出する二次電子のエネルギー分布の選択、チャージアップやノイズ、電子線照射誘起による表面汚染、測定対象画像に割り当てる画素数、画素分割に伴う量子化誤差、粒子境界位置に対応する像のグレイレベルの材料依存性等がある。これらの因子には測定に与える影響を定量的に評価できるものも多く、不確かさを評価して測定値の信頼性を表すことができる。

一方で ① から ③ の試料調製の工程は、材料ごとに最適解を検討する必要がある。EM 用の理想的な試料の要件には、粒子の輪郭が明瞭であり凝集せず孤立するように基板上で展開されていること (粒子の孤立性)、観察視野に基板の任意箇所を選んでも同様な粒子径分布であること (粒子分布の均質性)、有限の粒子数の観察で、母集団分布の推定を十分な精度で満たすこと (代表性)、が挙げられる。

滴下乾燥法の利点として、粒子個数濃度を SI 単位で表せることがある。例えば、滴下した液滴の質量と滴下した分散液に含まれる粒子数を測定すれば、個数濃度の単位を g^{-1} で現せる。単峰の粒子径分布をもつ金ナノ

粒子分散液を用いて滴下乾燥法で個数濃度測定した例を示す⁸⁾。まず、基板に滴下する分散液滴中に含まれる粒子数の測定を行う。ピエゾ式ディスペンサーを用いてSi基板上に分散液を定量滴下した後、溶媒を乾燥蒸発させ、基板上に残った粒子のSEM観察を行う。多くの粒子は孤立した球形であったが、それが複数凝集した二次粒子もあった。二次粒子は輪郭をもとに一次粒子に切り分けて計数した。その結果、液滴1射出あたりの平均粒子数は 4.64×10^3 個であった。また液滴の平均質量は、分散液を14万回射出しその総質量を射出回数で除し、 2.53×10^{-8} gを得た。個数濃度は粒子数と液滴質量の比で与えられ $1.84 \times 10^{11} \text{ g}^{-1}$ であった。また相対拡張不確かさも求められ3.8% ($k=2$)であった。不確かさの主要因は、アンプルに納められていた母分散液についてのアンプル間の個数濃度のばらつきであった。また本法の不確かさは、単粒子誘導結合プラズマ質量分析(spICP-MS)による不確かさ報告例⁹⁾よりも小さかった。

滴下乾燥法では、液滴乾燥時に液滴周辺部に粒子がリング状に集積(コーヒーリング)する現象¹⁰⁾が生じやすい。この現象を抑制しEM法に適した試料を得るには作製条件(基板のぬれ性、滴下条件、分散剤など)を材料毎に探索する必要がある。その探索を緩和するため、凍結乾燥を用いた試料調製法が水分散試料用に開発された¹¹⁾。本法では液滴を凍結して溶媒の流動を停止させることで液滴周辺部への粒子集積を抑制できる。また試料調製の自動化により試料作製の再現性も高めており、その実用化が期待される。ただ産業の実用材料では分散溶媒や個数濃度などが多種多様であるため、今後も各材料に最適な試料調製法の研究開発が必要である。

EM法では三次元形状の物体を二次元像に投影して測定している。試料形状が複雑な場合、粒子径評価には三次元の測定手法が必要である。その一つとして電子線トモグラフィー法があり、ナノ粒子の立体形状測定が可能

である。しかし試料調製には精密微細加工が必要で、時間と費用を要する制約がある。この制約に見合うナノ材料の計測ニーズがあれば今後適用が拡大する可能性があり、ISO/TC229ではその応用例を模索しながら規格化が検討されている¹²⁾。

日本電子 杉沢寿志,
産業技術総合研究所 黒河 明, 熊谷和博

2・3 原子間力顕微鏡の高度化

COMS複合計測システムの中でのAFMモジュールの高度化として、(1)粒子径を十分な精度で計測可能な試料調製法・粒子径解析法の確立、(2)簡易に三次元形状情報が得られる手法の開発、を実施した。

2・3・1 ナノ粒子基板展開法の開発

ナノ粒子懸濁液を基板に滴下乾燥させると、液滴外縁に環状に粒子が凝集(コーヒーリング)¹⁰⁾、顕微鏡法による粒子径分布計測を妨げる。堆積があると最上層の粒子しか計測できない。水平接触でも、粒界認識等の必要が生じデータの不確かさが増す。懸濁液の流動蒸発過程で、観察位置によらず試料の均一性が保たれる保証もない。顕微鏡によるナノ粒子の粒子径分布計測における最初で最大の課題は、粒子を均一で高密度かつバラバラに基板展開する手法の確立である。

開発した展開法の一つは「サンドイッチ凍結乾燥法」¹³⁾である。懸濁液中のナノ粒子は凍結時に急速に凝集するため、液体窒素温度で単純に凍結乾燥する程度ではバラバラに展開できない。そこで、熱伝導距離を極小化することで凍結の高速化を図った。2枚のシリコン基板で高濃度懸濁液を挟んで最大粒子径程度の薄膜とし、上下から低温熱源に接触させると、凝集する前に凍結する。凍結膜を真空中に露出させて低温のまま水分を昇華させれば高密度でバラバラの粒子が残る(図2左)。もうひとつの展開法は「基板化学修飾法」である。あらかじめシリコン基板に粒子種に合わせた化学修飾を施し、

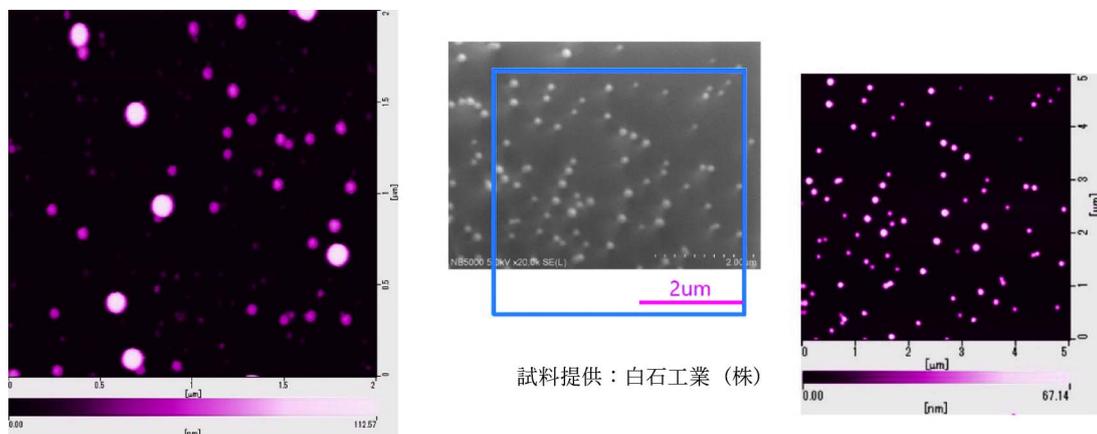


図2 (左) 3峰PSLのサンドイッチ凍結乾燥法展開試料、(右) リンケージホルダーを利用し、炭酸カルシウムナノ粒子化学修飾基板展開試料の同一視野をSEMとAFMで観察

コーヒーリング形成前に粒子をトラップする方法となる。前者の手法は粒子種によらず適応可能であり、後者には、あらかじめ数種類の基板を準備しておけば機器が不要という利点がある。

2.3.2 粒子認識法

AFMによる粒子径評価では、計測された形状像から粒子を切り出して形状を算出する必要がある。画像の領域分割を行うアルゴリズムとして、COMSでは閾値法（ある高さ以上の領域を粒子とみなす）とウォーターシェッド法（上下反転させた高さ像に仮想的に雨を降らせ、水たまりを粒子とみなす）を用いた。前者はバラバラに基板展開できた試料に、後者は粒子の水平接触が残る試料（探針が入り込めない粒界には高さが残って計測されるので閾値法での分割は難しい）に用いた。球形粒子の粒子径分布を求めるときには、粒子高さだけ求めればよい。FFFによる分級処理で得られた粒子径分布が狭い試料ならば、小粒子が大粒子の下に隠れる恐れもない。その場合、多少水平接触した方が粒子密度は高い。そこでウォーターシェッド法による領域分割を行えば、粒子径分布が得られる。

2.3.3 三次元形状計測

非球粒子では水平粒子径を含む三次元形状が重要となる。AFMは高さを正確に計測できるが、水平粒子径は探針の太さだけ過大評価するため、得られる水平粒子径はそのままでは使えない。

解決法の一つは、同一粒子の水平サイズをSEMで、高さをAFMで計測する複合計測である。異なる観察装置において同一視野を観察する為の位置合わせは非常に難しいが、位置合わせマーク付きのリンケージホルダーを用いてSEMとAFMの観察位置を図2右に示すように簡便に合わせることができた。

一方でAFM探針の形状に起因する誤差の補正による

AFMだけの計測も検討されている。学術的な補正法としては、探針形状をブラインド推定して、逆畳み込み演算から表面形状を再構成する手法（blind reconstruction）がある¹⁴⁾。しかし、この手法では非常に低ノイズの計測が要求され、容易に実施することができない。

そこで、ポリスチレンラテックス（PSL）粒子の統計的真球性を利用した簡易補正を行った。PSLの3峰分布試料（25, 50, 100 nm）をサンドイッチ法で基板展開したもの（図2左）を標準試料とする。非球粒子の計測直後にこれを計測し、各粒子径のPSLが球形に近づく補正関数を求める。この手順で、炭酸カルシウムナノ粒子のような非球粒子の三次元形状分布をAFM単独で計測可能となった。

日立ハイテク 白川部喜春、
産業技術総合研究所 重藤知夫

2.4 動的光散乱評価法の高度化

COMSでは、CF3から供給される分級粒子群についてオンライン粒子径計測可能なDLS⁴⁾モジュールの開発を行った。実施した開発のポイントは次にあげる①から④の4点である。①CF3では、分級時に試料濃度が3000倍希釈されることから、DLS計測では通常より高い感度が必要とされる。このため光学設計を最適化して高感度化を図った。その結果、NISTトレーサブルなポリスチレンラテックス（PSL）粒子20 nmの10 ppmの検出が可能となった。②デッドボリュームを最小化するフローセル構造を採用し、セル内での液の入れ替え性能を向上させた。その結果、1 mL/minの流速下で20秒以内にセル内の液が完全に入れ替わっていることが確認された。③オンライン計測の流れ場での対流影響を抑えるためにユニタウマルチビットコリレータ（UMC: uni-tau multi-bit correlator）を採用し、ブラ

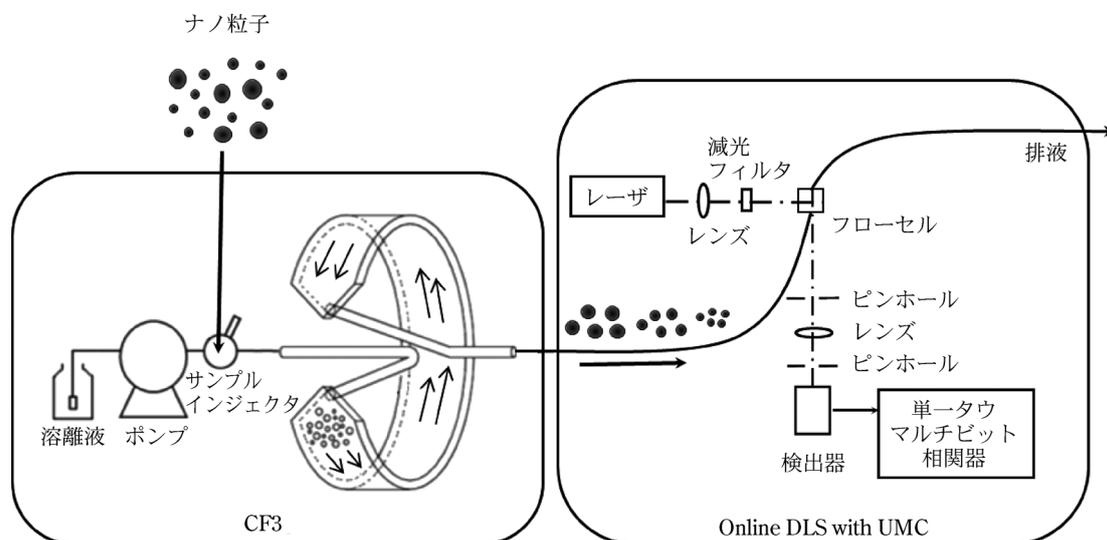


図3 CF3-online DLS with UMC ブロックダイアグラム

ウン運動が流れ場の流速より十分早い条件が成立する範囲で、測定・演算条件の最適化を行った。④ 試料に含まれる粒子群の正確な粒子径分布を測定するために、散乱光強度と粒子径から粒子径分布を算出する新しい演算プロトコルを開発した。この手法で得られた光強度基準粒子径分布は、Mie 散乱理論から求めた変換係数を使って、体積・個数基準粒子径分布に変換した。図3に複合計測システム CF3-online DLS with UMC のブロックダイアグラムを示す。当該開発された複合計測システムにおける評価例は2・6にて記述する。

堀場製作所 山口哲司,
産業技術総合研究所 高橋かより

2・5 ICP-MS の高度化

高感度元素分析装置である誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) は、定量性に優れた元素選択的な高感度検出器でもあることから、FFF 等の検出器としての利用も進んでいる。さらに時間分解能100 μ s 程度で1粒子から生成するイオンを逐次計測するシングルパーティクル (sp) モードによって粒子個数および概算サイズ分布計測へと応用されている。COMS では、① 定量性を確保した CF3-ICP-MS 結合システムの構築として、金ナノ粒子 (1~500 nm 程度) のオンライン質量濃度測定を可能とするインターフェイスの開発と、② spICP-MS システムの構築および性能評価として、spICP-MS 試作システムを構築し、金ナノ粒子のオンライン個数濃度計測による検証を行い、ナノ粒子定量測定 (質量濃度、個数濃度) が可能な ICP-MS システムを検討した。

2・5・1 CF3-ICP-MS 結合システムの構築

元素標準液を測定し作成する検量線を用いて粒子分画の物質量を定量するため、粒子分散液と元素標準液とで単位物質当たりでの ICP-MS の信号応答が一致する必要がある。白金、銀、ジルコニアでは問題はなかったが、金では粒子分散液と元素標準液で感度差が見られたため、ICP 導入前に CF3 からの液流に酸 (10% 王水) を混合し粒子を加熱溶解 (150 $^{\circ}$ C) するオンライン粒子溶解ユニットを追加した。金ナノ粒子分散液 (30 nm, 60 nm, 100 nm) の混合液 (各 18 ppm 相当) を測定した結果、CF3 の分画を維持した状態で、各粒子分散液濃度から想定される信号強度比率で測定でき、なおかつ測定信号の安定性 (測定信号強度の1秒積分10回繰り返し測定) の相対標準偏差を比較) を5倍程度改善できた。これにより、金ナノ粒子 (粒子径1~500 nm 程度) のオンライン質量濃度測定が可能な CF3-ICP-MS 結合システムを構築した。

2・5・2 spICP-MS システムの構築および性能評価

COMS では新たに開発したプラズマへの粒子導入効率 90% 以上となる高効率試料導入ユニットと、二次電

子増倍管検出器のパルスシグナルを FPGA (field programmable gate array) でカウントする高速信号読み取りユニットを ICP-MS に組み込み、粒子径および個数濃度既知の金ナノ粒子分散液 (30 nm と 60 nm) を測定し評価した。粒子サイズの測定結果は粒子分散液のメーカー成績書の値と一致した (メーカー成績書 31.1 nm / 61.5 nm に対し測定結果平均値 31.0 nm / 61.5 nm)。個数濃度は、メーカー成績書個数濃度より 10~15% 低値であったが、個数濃度計測の不確かさが同程度であり、この差分は有意でないことから、オンライン個数濃度計測が可能であることを確認できた。

島津製作所 井上信介,
産業技術総合研究所 稲垣和三

2・6 複合計測システムの実測例

図3で示した複合計測システム (CF3-online DLS with UMC) を用いて、シリカ水分散液 (1 wt%) の評価を実施した。図4に測定フローダイアグラムを示した。CF3によってサイズ分級され単分散化した粒子を DLS で測定する。30秒ごとに、散乱光強度 $N(t_i)$ と平均粒子径 $D(t_i)$ を測定する。平均粒子径は、対流影響が無視できる範囲とするため、自己相関関数の遅れ時間 0 から 50 チャネルを使用したキュムラント径とした (なお、全チャネル数は 500 チャネルである)。図4(a)が各流出時間に対する平均粒子径 $D(t_i)$ を、図4(b)が各流出時間に対する散乱光強度 $N(t_i)$ を示した。これら $D(t_i)$ と $N(t_i)$ のデータから、図4(c)は、 $D(t_i)$ を横軸に、 $N(t_i) - N(t_0)$ を縦軸にプロットすることにより光強度基準粒子径分布を算出したものである。図4(d)は、この光強度基準粒子径分布に、Mie 散乱理論を使って求めた散乱光強度から個数換算係数を使って個数基準粒子径分布に変換したものである。

図5(a)は、同シリカ分散液 (5 mg/mL, 20 μ L) を図4のフローに従い算出した個数基準粒子径分布である。平均径は 108.7 nm, 標準偏差 6.8 nm であった。図5(b)は 3370 個の粒子を AFM にて観測した個数基準粒子径分布である。平均径は 106.8 nm, 標準偏差 8.8 nm であった。両分布の比較から、極めて良い相関があることが確認された。

本複合計測システムを検証した結果、CF3-online DLS with UMC は、従来 DLS 単独での測定が困難であった粒子径分布幅が広い試料においても、小粒子径側の粒子を逃すことなくとらえることが可能となり、高い定量性も兼ね備えていることを画像処理法と比較し検証された。さらに、本システムは電子顕微鏡観察のような前処理は不要で、リアルタイム分析が可能である。このことから、今後の *in-situ* ナノ粒子の粒子径分布計測の標準的手法となることが期待できる。

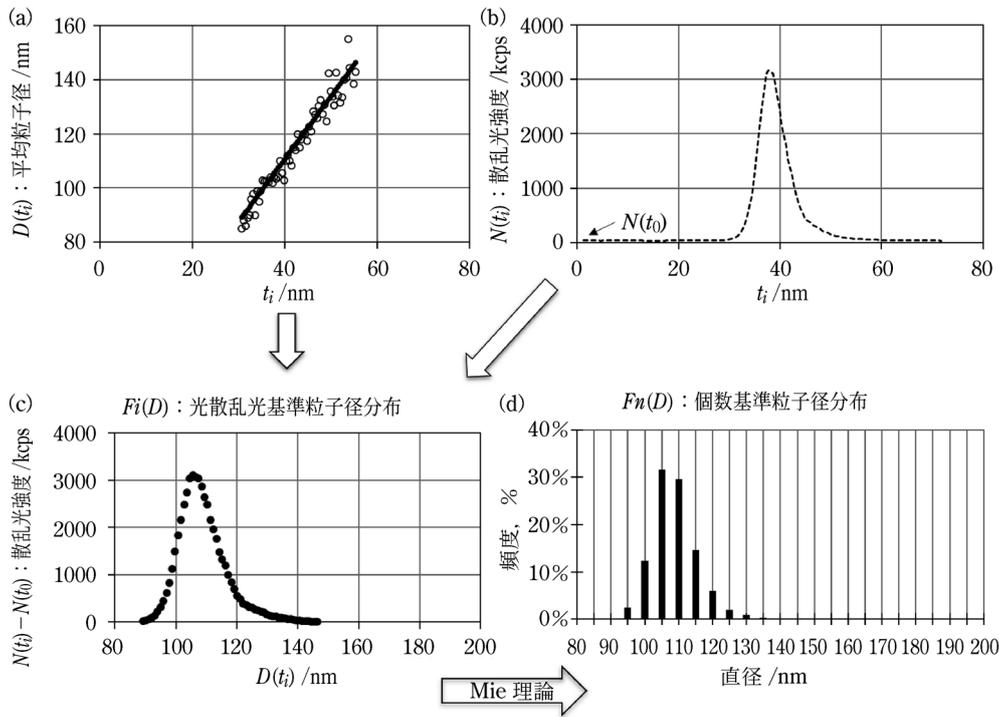


図4 測定フローダイアグラム

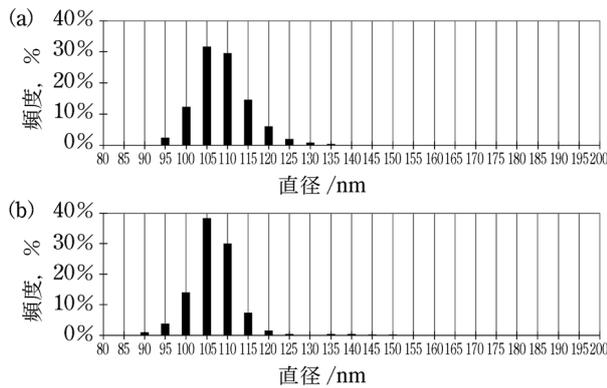


図5 (a) CF3-online DLS with UMCと (b) AFM 法により測定したシリカ分散液の個数基準粒子径分布

堀場製作所 山口哲司,
島津製作所 堀池重吉,
産業技術総合研究所 高橋かより, 加藤晴久

3 今後の計測プラットフォームにかかる展望

本稿では、欧州で導入が始められたナノ材料に関する規制への該非判定を可能とするとともに、ナノ材料製造現場に置いて簡便な品質管理にも利用できる複合計測システムの開発について紹介した。当該複合計測システムは、最初にナノ粒子を大きさによって分級することによって、その後の複数種の計測モジュールにおける原理の違いに起因した評価結果の偏差を解消したことに特長

がある。

持続可能な社会を実現するためには、ナノ材料の有する優れた特性を安全かつ適正に利用することが必要である。そのためには対象としているナノ材料が有する特性を正確に評価できる基盤構築が重要である。さらに地球規模での物質循環や物流の高度化等を考慮すると、評価結果は国を越えて共有できる国際同等性を有している必要がある。

計測評価した結果の国際的な受容性を高めるため、複合計測システムの開発に呼応して、主要モジュールにおける手続きの国際標準化も行った。さらに産総研においてナノ粒子径認証標準物質の開発も並行して行った。計測システム、国際標準、計量標準の同時開発により、信頼性および遡及性が担保された評価結果に国を越えた普遍性を与えることが可能となる。さらにデータフォーマットの統一等により、その評価結果の知財を保護しつつ適切に再利用できる環境を整備することは、データの独立可用性を向上させ、評価結果のさらなる有効利用を可能とするであろう。

今回の試みでは、ナノ材料の主要特性として粒子径を対象としたが、ナノ材料の適性管理に必要とされる物理・化学特性 (Physico-Chemical characteristics) のリストが複数の機関や組織から提案されている。これらの評価基盤が確立されることにより、ナノリスクの本質的な理解を通して、ナノ材料のさらなる安全かつ効果的な利用が実現されるものと考えている。

[産業技術総合研究所 藤本俊幸]

文 献

- 1) 日本分析機器産業の競争力強化について, 産業技術総合研究所調査報告書, AIST11-B00006-1 (2011).
- 2) T. Linsinger, G. Roebben, D. Gilliland, L. Calzolari, F. Rossi, N. Gibson, C. Kein: Requirements on measurements for the implementation of the European Commission definition of the term “nanomaterial”, JRC Reference report (2012).
- 3) ISO/TR 13014, Nanotechnologies — Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment (2012).
- 4) JIS Z 8828, 粒子径解析—動的光散乱法 (2019).
- 5) H. Kato, A. Nakamura, H. Banno: *J. Chromatogr. A*, **1602**, 409 (2019).
- 6) ISO/TS 21362, Nanotechnologies — Analysis of nano-objects using asymmetrical-flow and centrifugal field-flow fractionation (2018).
- 7) T. Yamaguchi, T. Mori, K. Aoki, R. Oda, M. Yasutake, A. Nakamura, K. Takahashi, T. Shigehuzi, H. Kato: *Anal. Sci.*, 印刷中 (2020).
- 8) K. Kumagai, A. Kurokawa: *Metrologia*, **56**, 044001 (2019).
- 9) A. Shard: Final Publishable Report Metrology for innovative nanoparticles (14IND12) (2018), (<https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/metrology-for-innovative-nanoparticles/>), (2020年7月7日, 最終確認).
- 10) R. D. Deegan, O. Bakajin, T. F. Dupont, G. Huber, S. R. Nagel, T. A. Witten: *Nature*, **389**, 827 (1997).
- 11) S. Akai, K. Kumagai, N. Handa, A. Kurokawa, Y. Sasaki, N. Kikuchi, S. Kitamura, H. Manabe: *Microsc. Microanal.*, **25** (suppl 2), 774 (2019).
- 12) ISO/CD TS 22292, Nanotechnologies — 3D image reconstruction of rod-supported nano-objects using transmission electron microscopy (2020).
- 13) T. Shigehuzi: *J. Chem. Phys.*, **147**, 084201 (2017).
- 14) J. S. Villarubia: *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, **102**, 425 (1997).



一村信吾 (Shingo ICHIMURA)

早稲田大学リサーチイノベーションセンター研究戦略部門 (〒169-8050 東京都新宿区西早稲田 1-6-1)。大阪大学大学院工学研究科博士課程。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》計測分析プラットフォームの構築。《主な著書》ナノ粒子計測 (共著), (共立出版株式会社), (2018)。《趣味》山歩き。

E-mail: s.ichimura@aoni.waseda.jp



加藤晴久 (Haruhisa KATO)

国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準総合センター (〒305-8565 つくば市東 1-1-1 つくば中央 5-2)。千葉大学大学院自然科学研究科博士課程後期課程修了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》高分子構造解析, ナノ材料計測, 計算機科学。《主な著書》“Nanomaterials: Processing and Characterizations with laser, Size determination of nanoparticles by dynamic light scattering”, (WILEY-VCH)。《趣味》旅行, 食べ歩き, お酒のコレクション, 映画鑑賞。

E-mail: h-kato@aist.go.jp



堀池重吉 (Shigeyoshi HORIKE)

株式会社島津製作所基盤技術研究所 (〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 3-9-4)。東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻。



杉沢寿志 (Hisashi SUGISAWA)

日本電子株式会社経営戦略室オープンイノベーション推進室 (〒196-8558 東京都昭島市武蔵野 3-1-2)。東京大学大学院理学系研究科相関理化学専攻課程博士課程修了。《現在の研究テーマ》オープンイノベーション手法による研究開発のブレークスルー方法と企業活動を通じた研究成果の社会実装のあり方について。

E-mail: sugisawa@jeol.co.jp



黒河 明 (Akira KUROKAWA)

国立研究開発法人産業技術総合研究所物質計測標準研究部門 (〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1 つくば中央第5事業所)。大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士後期課程。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》薄膜表面・ナノ構造の分析計測技術。

E-mail: a-kurokawa@aist.go.jp



熊谷和博 (Kazuhiro KUMAGAI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準総合センター 物質計測標準研究部門 ナノ構造計測標準研究グループ (〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1)。筑波大学数理物質科学研究科修了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》SEM によるナノ計測技術および関連標準物質開発。《趣味》遺跡調査, ベース演奏。

E-mail: quaz.kumagai@aist.go.jp



白川部喜春 (Yoshiharu SHIRAKAWABE)
株式会社日立ハイテクアナリティカルソリューション事業統括事業戦略本事業戦略部分分析グループ。(〒105-6409 東京都港区虎ノ門1-17-1 虎ノ門ヒルズ ビジネスタワー。芝浦工業大学工学部工業化学科修了。学士(工学)。《現在の研究テーマ》分析装置に必要な要素技術の開発・導入及び事業化戦略。《主な著書》“分析化学実技シリーズ 応用分析編・8 ナノ粒子計測”, (共立出版)。《趣味》登山。
E-mail : yoshiharu.shirakawabe.zf@hitachi-hightech.com



重藤知夫 (Tomoo SIGEHUZI)
国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準総合センター物質計測標準研究部門ナノ構造計測標準研究グループ (〒305-8565 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第5)。東京大学大学院工学系研究科修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》プローブ顕微鏡応用とそとのための試料準備法。《趣味》エスベラント。
E-mail : sigehuzi.tomoo@aist.go.jp



山口哲司 (Tetsuji YAMAGUCHI)
株式会社堀場製作所開発本部第2製品開発センター科学・半導体開発部 (〒601-8510 京都市南区吉祥院宮ノ東町2)。広島大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》科学機器製品の研究開発, 特に, ナノ粒子計測装置の開発・設計。《主な著書》“分析化学実技シリーズ 応用分析編 8. ナノ粒子計測”, (日本分析化学会編), (共立出版)。《趣味》カメラ修理, 山歩き, 寺社仏閣城郭巡り。
E-mail : tetsuji.yamaguchi@horiba.com



高橋かより (Kayori TAKAHASHI)
国立研究開発法人産業技術総合研究所 (〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3)。東京工業大学大学院理工学研究科高分子工学専攻博士課程修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》微粒子の光散乱計測, 高分子分子量標準物質開発。



井上信介 (Shinsuke INOUE)
株式会社島津製作所分析計測事業部技術部 (〒604-8511 京都市中京区西ノ京桑原町1番地)。九州工業大学工学部制御工学科修了。《現在の研究テーマ》複合計測分析システムでの共通データフォーマットおよびAI技術。《趣味》スポーツ観戦。



稲垣和三 (Kazumi INAGAKI)
国立研究開発法人産業技術総合研究所 (〒305-8563 つくば市梅園1-1-1 つくば中央3-9)。名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》高機能スプレーヤーの開発と化学分析への応用。《主な著書》“ICP発光分析・ICP質量分析の基礎と実際”, (分担執筆), (オーム社)。《趣味》散歩。



藤本俊幸 (Toshiyuki FUJIMOTO)
国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準総合センター (〒305-8563 つくば市梅園1-1-1 つくば中央3-1)。北海道大学大学院理学研究科博士課程後期課程修了。博士(理学)。《現在の研究テーマ》化学・材料に関わる計測・計量技術の開発。《主な著書》“最新ナノテクノロジーの国際標準化—市場展開から規制動向まで”, (分担執筆), (日本規格協会)。《趣味》釣り, 読書, 映画鑑賞。
E-mail : T.Fujimoto@aist.go.jp



—— 会員の拡充に御協力を !! ——

本会では、個人(正会員：会費年額9,000円+入会金1,000円, 学生会員：年額4,500円)及び団体会員(維持会員：年額1口79,800円, 特別会員：年額30,000円, 公益会員：年額28,800円)の拡充を行っております。分析化学を業務としている会社や分析化学関係の仕事に従事している人などがお知り合いにおられましたら、ぜひ本会への入会を御勧誘くださるようお願い致します。

入会の手続きなどの詳細につきましては、本会ホームページ (<http://www.jsac.jp>) の入会案内をご覧ください。下記会員係までお問い合わせください。

◇〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2 五反田サンハイツ304号 (公社)日本分析化学会会員係
〔電話：03-3490-3351, FAX：03-3490-3572, E-mail：mem@jsac.or.jp〕