

## ナノテクノロジー国際標準化動向

竹 歳 尚 之

### 1 はじめに

本稿では、国際標準化機関（以下 ISO）に設置されたナノテクノロジーに関する標準化を扱う第 229 技術委員会（以下 ISO/TC229）における最近の動向を、計測に関する規格を中心に紹介する。今回の特集のテーマである微量質量分析技術に関して、私自身は専門家ではないが ICP-MS を用いた計測技術はナノ材料の特性評価手段の一つとして、ISO/TC229 に規格提案されている。

ナノテクノロジーという横断的な分野では、測定対象も多様であり、対象に応じてどのような計測方法を用いるかも変わってくる。そのため、ISO/TC229 の中では計測・キャラクタリゼーションのワーキンググループ（JWG2）が組織され、世界の公的研究機関や民間の研究者が参集し、多くの規格提案を審議している。この JWG2 は、TC の設立以来 10 年間日本が主導しており、筆者もまた近年、同 JWG2 のセクレタリとして現在まで関わっている。本稿では特にこのワーキンググループにおける取り組みの概要と最近の動向について、筆者の主観も多分に入っているかもしれないが簡単に紹介したい。

### 2 ナノテクノロジーに関する規制動向

#### 2.1 ISO/TC229 発足の経緯

2000 年初頭にナノテクノロジーが大きく脚光を浴びたのは、カーボンナノチューブ（以下 CNT）の研究が大きく発展したことによる。欧米諸国においても様々な政策が打ち出された。と同時に、CNT を扱った物質の健康への影響の懸念もマスコミでも取り上げられるようにもなった。

ナノテクノロジーの健全な発展が風評により阻害されぬようにするため、科学的根拠に基づいて国際的に合意されたナノ材料の特性評価方法の必要性が高まったことから、英国の提案で 2005 年に ISO にナノテクノロジーを扱う第 229 技術委員会が発足した。日本は当時から CNT の製造技術ではトップランナーを走っていたこともあり、TC229 設立当初から主要なメンバー国として参加している。

#### 2.2 欧州発のナノ材料の定義

ナノテクノロジーの進展に伴い、製品がナノ物体を含

表 1 海外における主な規制

国名	規制内容
フランス	• ナノ材料の届け出制（2013.1 施行） （届け出を怠った場合は罰金あり）
ノルウェー	• ナノ材料の届け出制（2013.1 施行）
デンマーク	• 工業ナノ材料の届け出制（2014.1 施行）
ベルギー	• ナノ材料の届け出制（2016.1 施行） （混合物の届け出は 2017.1～）
スウェーデン	• 工業ナノ材料の届け出制（2016.1 施行）
EU	• ナノ材料を含む化粧品について表示を義務化（2013.7 施行） • ナノ材料を含む殺生物剤について表示を義務化（2013.9 施行） • 人工ナノ材料を含む（乳幼児）食品に関する情報提供の義務化（2016.1 施行）
米国	• 一部の工業用ナノ材料について TSCA（有害物質規制法）に基づく届け出。
カナダ	• 一部の工業ナノ材料の届け出制（2013.1 施行）
ニュージーランド	• ナノ材料を含む化粧品について表示を義務化（2016.1 施行）

むかどうかという問題は、日焼け止めを含む化粧品、エレクトロニクス、コーティング、食品、医薬品など広範な応用製品の多くの利用者にとって次第に懸念事項となってきた。それが、2011 年に欧州から示されたナノ材料に関する定義（2011/696/EU）と言える。

欧州では、疑わしきものは問題が大きくなる前に排除するような“予防原則”が働いたため、ナノ物体を含んだ製品や材料に対しては規制の動きが進んでおり、欧州では EU の定義を念頭においたナノ材料の登録制度がフランスで 2013 年にスタートした。登録を怠ったことが判明した際には罰則規定も設けられている。これを皮切りに表 1 に示すようにデンマーク、ベルギーでも、ナノ材料を登録する制度が近年開始されている。

#### 2.3 規制と技術のギャップ

ナノ材料に対して材料を「ナノ」と分類するのに使われる原則的な基準は一次粒子の大きさである。ナノ材料あるいはナノ物体についてはいくつかの国際的、国内的な定義がなされているが、ほとんどすべての場合、物理

的な寸法が少なくとも一つの次元において1 nm から100 nm の間にある物体として定義されており、ISO におけるナノスケールの定義もまた然りである。

ナノ物体の寸法特性を評価するには様々な測定方法が考えられる。しかし、これらのうち一つの方法のみで、どのようなナノ物体がどのくらいの量で材料や製品の中に含まれているかを十分高い信頼性でかつ合理的な費用対効果で測定可能な、理想的な方法はない。

これは、ナノ物体が極端に小さく、その形態や試料の状態、化学組成が非常に多様なことに起因する。現状では、材料や製品の中のナノ物体を同定する方法は国際標準として必要かつ十分に文書化されているとは言えず、専門家の力が一層必要とされる場所である。

ナノテクノロジーのTC設立から10年の節目を迎え、最新の技術動向と上記の規制とのギャップを踏まえ、TC229/JWG2では様々な取り組みを行っている。ナノ材料同定のための階層的アプローチに関するスタディグループによる検討、Strategy Study Group（戦略スタディグループ）では、規格整備の重点を見直すための検討が進められている。

### 3 計測に関する規格提案動向

#### 3.1 文書の種類

規格文書にはIS（国際標準）、TS（技術仕様書）、TR（技術報告書）の3種類があるが、ISO/TC229ではこれまでに合計48（2016年4月時点）の規格が整備されている。大半はTSとして整備されているのが本技術委員会で作成される規格の特徴である。ISは片手で数えるほどしかない。JWG2で審議された計測に関する規格もすべてTSかTRである。TSはISと同様にshall文で書かれており、規定として記述されている意味ではISと本質的に大差はない。違いはISに比べて審議プロセスが短く比較的速やかに出版に進む代わりに、定期見直しの周期がISの5年に比して、3年と短い点である。これはナノテクノロジー自身が発展途上であり技術の進歩が著しいことに起因しており、ISほどまで技術を固定するには至らないという判断が、規格提案に対し働くためである。更にTSがISと異なる点は、見直しの時点でISに格上げするか、TSのままにするか、廃案にするかの3択である点、仮にTSとして更に3年維持したとしても、次の3年目の見直しでは変更なしでTSとして存続させることはできず、IS化か、新規提案と手続が同じ大幅な改定、または廃案の判断が迫られる。

#### 3.2 最近の規格策定

表2及び表3に計測のワーキンググループにおいてこれまでに発行された規格、現在審議中の規格を示す。規格策定には大別して三つの流れがある。1) 初期に整備されたカーボンナノチューブの計測規格の改定、2)

先に述べたナノ材料の登録制度を意識した粒径分布計測技術に焦点を当てた規格、3) 新しい材料の特性を計測する規格、である。

1) に関しては、TC設置当時、関心の極めて高かったカーボンナノチューブの特性評価を優先的にTSとして整備してきた。その中で日本も積極的に規格提案を行い、規格の整備に貢献してきたが、その多くが昨年から定期見直しの段階に入っており、大半の規格がISは時期尚早だがTSとして継続するとして、現在改訂作業が進行している。

2) に関して言えば、例えば現在予備作業項目としてTEMやSEMを用いたナノ粒子の粒径分布測定方法の策定が進んでいる。これらの対象は、カーボンナノチューブではなく、チタニアやシリカ、金ナノ粒子といった、従来からある材料がナノスケール化した材料を対象とした計測方法の規格である。また、まもなく出版に向かう後述のICP-MSに関する規格提案もまた、カーボンナノチューブ以外のナノ粒子を念頭に置いた提案である。また、流動場分離法(FFF)を用いた粒径分布測定技術、光散乱法をベースにした規格も提案されている。

3) に分類できる新しい材料に焦点を当てた規格提案としては、特にTC229で目立つ材料は二つあり、グラフェン、もう一つはナノセルロースである。

グラフェンは炭素原子が六角形の網目状に結合したシートで炭素原子1個分の厚さしかない。グラフェンは優れた輸送特性が関心を集め、筆者が今更述べるまでもなく近年脚光を浴びている材料である。国際的には欧州を中心としたGraphene Flagship<sup>1)</sup>や米国中心のGraphene Council<sup>2)</sup>といった大学から民間企業まで参画したグループが形成され、研究開発プロジェクト、技術交流、情報発信等を通じて市場化への取り組みが精力的に進められている。

ISO/TC229ではグラフェン関連の用語を定義するTS、グラフェンの計測に関するTR、グラフェンの構造を評価する方法を規定するPWIが現在議論されている。また、ISO/TC229で審議する用語や計測の案件に関しては、国際電気標準会議(IEC)のTC113(ナノエレクトロニクス)と共同ワーキンググループを組んでいるが、IEC/TC113内の他のワーキンググループにおいても、近年数多くのグラフェンの特性に関する規格が提案されている。このため、IEC/TC113とISO/TC229の用語と計測のワーキンググループが参加する2016年5月の春季会合では、グラフェンに係る規格の審議を重点的に集めたGraphene Dayが企画され、ISOとIEC両側からグラフェンの専門家が集まり、活発な情報交換が行われた。

ナノセルロースは植物細胞壁の骨格成分で、植物繊維に化学的処理等を施してナノサイズまで細かくほぐすこ

表 2 計測 WG で審議され、出版された規格類

規格番号	規 格 名
ISO/TS 10797 : 2012 (Ed. 1)	Nanotechnologies—Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy (TEM)
ISO/TS 10798 : 2011 (Ed. 1) →改訂中	Nanotechnologies—Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis
ISO/TS 10868 : 2011 (Ed. 1) →改訂中	Nanotechnologies—Use of UV-Vis-NIR absorption spectroscopy in the characterization of single-wall carbon nanotubes (SWCNTs)
ISO/TS 10867 : 2010 (Ed. 1)	Nanotechnologies—Characterization of single-wall carbon nanotubes using near infrared photoluminescence spectroscopy
ISO/TR 10929 : 2012 (Ed. 1)	Nanotechnologies—Characterization of multiwall carbon nanotube samples
ISO/TS 11251 : 2010 (Ed. 1)	Nanotechnologies—Characterization of volatile components in single-wall carbon nanotube samples using evolved gas analysis-gas chromatograph-mass spectrometry
ISO/TS 11308 : 2011 (Ed. 1) →改訂中	Nanotechnologies—Characterization of single-wall carbon nanotubes using thermogravimetric analysis
ISO/TS 11888 : 2011 (Ed. 1) →改訂中	Nanotechnologies—Characterization of multiwall carbon nanotubes—Mesoscopic shape factors
ISO/TS 12025 : 2012 (Ed. 1)	Nanomaterials—Quantification of nano-object release from powders by generation of aerosols
IEC/TS 62622 : 2012 (Ed. 1)	Artificial gratings used in nanotechnology—Description and measurement of dimensional quality parameters
ISO/TS 13278 : 2011 (Ed. 1) →改訂中	Nanotechnologies—Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry
ISO/TS 16195 : 2013 (Ed. 1)	Nanotechnologies—Guidance for developing representative test materials consisting of nano-objects in dry powder form
ISO/TS 17466 : 2015 (Ed. 1)	Use of UV-Vis absorption spectroscopy in the characterization of cadmium chalcogenide semiconductor—Nanoparticles (Quantum dots)
ISO/TR 19716 : 2016 (Ed. 1)	Nanotechnologies—Characterization of cellulose nanocrystals

表 3 計測 WG で審議中の規格類

規格番号	規 格 名
ISO/TR 18196 →出版に向け準備中	Nanotechnologies—Measurement technique matrix for the characterization of nano-objects
ISO/TS 19590 →出版に向け準備中	Nanotechnologies—Size distribution and concentration of inorganic nanoparticles in aqueous media via single particle inductively coupled plasma mass spectrometry
ISO/TR 19733	Matrix of characterization and measurement methods for graphene
ISO/TR 20489	Separation and size fractionation for the characterisation of metal-based nanoparticles in water samples
ISO/TS 19805	Nanotechnologies—Guidelines for collection and sample preparation of airborne nanoparticles for microscopy techniques

\* 上記審議中の規格の他に新規作業項目 (New Work Item) 前の予備作業項目 (Preliminary Work Item) として、7 件の規格 (SEM, TEM, 光散乱, 作業環境中のナノ物体計測, 流動場分離法 (FFF), グラフェン構造評価法, セルロース原繊維の評価法) が NWI 化に向けて議論中。

とで得られる、直径がナノスケールの一次元形状の材料である。自然由来なので環境負荷が小さく、軽くて丈夫という優れた特性を有していることから、広い応用が期待されている。その研究に関して日本は北米や北欧と並んでトップランナーを走っている。

2011 年頃から全米紙パルプ協会の中で標準化が議論されており、カナダ提案のセルロースナノクリスタルに

関する TR が 2016 年 4 月に出版になったほか、米国提案による用語の TS の審議、日本提案によるセルロース原繊維に関する予備作業項目化など、活動が活発化している。日本国内ではナノセルロースの研究開発、事業化、標準化を加速するための、オールジャパン体制でのコンソーシアム<sup>3)</sup>が組織され、参加企業は 200 社近くに及んでいる。

### 3.3 ICP-MS に関する規格

ISO/TC229 では、現在 2 件の ICP-MS を扱った規格が審議されている。

一つは、ISO/TS 13278 “Nanotechnologies—Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry” であり、これは中国提案で、CNT 中の不純物濃度を ICP-MS で測定する方法について規定している。TS として 2011 年に発行となったが、3 年目の定期見直しの議論の結果、軽微な修正であるが、記載事項の正確性を期すための改訂作業が進められている。

もう 1 件はオランダ提案の、ISO/TS 19590 “Nanotechnologies—Size distribution and concentration of inorganic nanoparticles in aqueous media via single particle inductively coupled plasma mass spectrometry” で、特に液中無機ナノ粒子を測定対象とした、ICP-MS を用いたナノ粒子のサイズ分布測定方法の規格である。これは 2015 年秋に開かれたエドモントン（カナダ）会合でドラフトに対するすべてのコメントについて必要な修正が施され、出版へ進むことが合意された。本稿執筆の時点では出版まで至っていないが近日出版の見込みである。

また、Technical Report (TR) という技術報告書の形で、現時点でのナノ物体の特性別計測技術をまとめた ISO/TR 18196 Nanotechnologies—Measurement technique matrix for the characterization of nano-objects が米国の主導で作成され、まもなく出版プロセスに向かう。この中において ICP-MS も、ナノ粒子の濃度、サイズ測定方法の一つとして取り上げられている。

## 4 TC229 の審議体制

### 4.1 国際的な体制

ISO/TC229 は図 1 に示すように、用語・命名法 (JWG1)、計測とキャラクタリゼーション (JWG2)、環境安全、材料規格の四つのワーキンググループ (WG) で構成され、うち用語命名法と、計測のワーキンググループは IEC/TC113 (ナノエレクトロニクス) と合同ワーキンググループを形成しているため“J”がつく。これは、ナノの用語と計測は共通的に整備されるべきで、異なる標準化組織で別々に整備されると、無用な誤解や混乱を招く恐れがあるからである。日本は本 TC が設立された当初から、投票権を有する P メンバーであり、特に計測を扱う JWG2 のコンビーナシップを獲得し、計測に関する規格整備の取りまとめを主導している。

また、IEC/TC113 との関係のように、特別な合同ワーキングを作るところまで至らなくても、ISO/TC229 がカバーする技術領域そのものが広いために、多くの関連技術委員会や関係団体との情報の共有、連携が必要である。そのため、ISO/TC229 は多くの TC と

表 4 リエゾン関係にある技術委員会

委員会	名称
ISO/TC 6	紙、板紙及びパルプ
ISO/TC 24	粒子特定評価及びふるい
ISO/TC 24/SC 4	ふるい分け法以外の粒子径測定法
ISO/TC 35	ペイント及びワニス
ISO/TC 35/SC 9	塗料の一般試験法
ISO/TC 44	溶接
ISO/TC 45/SC 3	ゴム工業用原材料(ラテックスを含む)
ISO/TC 48	実験用装置
ISO/TC 61	プラスチック
ISO/TC 142	空気及びその他のガスの清浄装置
ISO/TC 146/SC 2	大気の状態—作業環境
ISO/TC 150	外科用体内埋没材
ISO/TC 184/SC 4	オートメーションシステム及びインテグレーション—産業データ
ISO/TC 194	医用・歯科用材料及び機器の生物学的評価
ISO/TC 201	表面化学分析
ISO/TC 201/SC 1	用語
ISO/TC 201/SC 2	一般の手順
ISO/TC 201/SC 6	二次イオン質量分析法
ISO/TC 201/SC 7	X線光電子分光法
ISO/TC 201/SC 9	走査型プローブ顕微鏡
ISO/TC 202	マイクロビーム分析
ISO/TC 206	ファインセラミックス
ISO/TC 207	環境管理
ISO/TC 207/SC 1	環境管理—環境マネジメントシステム
ISO/TC 209	クリーンルーム及び関連制御環境
ISO/TC 213	製品の寸法・形状の仕様及び評価
ISO/TC 215	保険医療情報
ISO/TC 217	化粧品
ISO/TC 256	顔料、染料及び体質顔料
ISO/TC 266	バイオミメティック
ISO/TC 276	バイオテクノロジー
ISO/REMCO	標準物質に関する委員会
IEC/TC 113	ナノエレクトロニクス

リエゾン関係を結んでおり (表 4)、その調整機能として、ISO/TC229 内に NLCG (Nanotechnology Liaison Coordination Group) を組織し、互いに重複を避け、効率的に規格が整備されるよう全体として注意が払われている (図 1)。

### 4.2 国内体制

日本は ISO の場での WG の構造に対応するため、同様な構造で分科会を組織し、各ワーキンググループで審

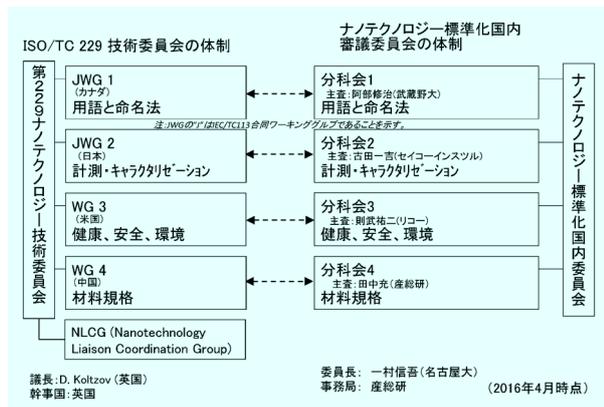


図1 ISO/TC 229 技術委員会と国内委員会の体制

議される海外提案規格に関して、日本としての意見を取りまとめている。事務局は国立研究開発法人産業技術総合研究所である。日本として規格を提案することも積極的に行っており、これまでISO/TC229全体として10件の規格が日本提案である。また、現在予備作業項目(PWI)の中には日本がリーダーまたは共同リーダーを務める案件が計測のワーキンググループだけでも4件ある。

## 5 おわりに

ISO/TC229 ナノテクノロジーで審議が進められている計測に関係する規格の動向を紹介した。設立の経緯を含め、より詳しく知りたい方には書籍<sup>4)</sup>も出版されているのでそれらを参考にされたい。

ナノ材料は多種多様であり、当面は関係者が必要とする特性と測定対象に応じて適切な方法を選択する以外にない。そういった中でICP-MSもまた、ナノテクノロジー標準化の場において重要なツールとしてしっかり位置付けられている。標準化には定期的なメンテナンスも含まれており、発行された/される見込みの規格もまた、技術の進展や周辺状況の変化とともに見直されていくので、本誌を購読される専門家の皆様のお知恵を借りてしっかりした規格整備にこれからも貢献してまいります。

## 文 献

- 1) Graphene Flagship, <http://graphene-flagship.eu/> (2016年5月2日, 最終確認).
- 2) Graphene Council, <http://www.thegraphenecouncil.org/> (2016年5月2日, 最終確認).
- 3) ナノセルロースフォーラム, 産業技術総合研究所, <https://unit.aist.go.jp/rpd-mc/ncf/> (2016年5月2日, 最終確認)
- 4) 田中正躬編著: “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”, (2013), (日本規格協会).



竹歳尚之 (Naoyuki TAKETOSHI)  
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 (〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1)。慶應義塾大学理工学研究科物理学専攻修士課程修了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》薄膜熱物性計測技術。

## 原 稿 募 集

### 創案と開発欄の原稿を募集しています

内容: 新しい分析方法・技術を創案したときの着想, 新しい発見のきっかけ, 新装置開発上の苦心と問題点解決の経緯などを述べたもの。但し, 他誌に未発表のものに限ります。

執筆上の注意: 1) 会員の研究活動, 技術の展開に参考になるよう, 体験をなるべく具体的に述べる。物語風でもよい。2) 従来の分析方法や装置の問題点に触れ, 記事中の創案や開発の意義, すなわち主題の背景を分かりやすく説明する。3) 図や表, 当時のスケッチなどを用いて理解しやす

くすることが望ましい。4) 原稿は図表を含めて4000~8000字 (図・表は1枚500字に換算) とする。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区五反田1-26-2  
五反田サンハイツ 304号  
(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会  
(電話: 03-3490-3537)