

ナノテクノロジーの国際標準化

— ナノ材料の試験規格の開発シナリオ —

小野 晃

ナノテクノロジーの国際標準化は2005年からISOで、2006年からIECで開始され、多くの参加国が協力して国際規格の開発が行われてきた。ISOのナノテクノロジー技術委員会 (TC 229) の規格開発活動の中で、ナノ材料の試験規格を開発するときに用いる開発シナリオを作成した。シナリオは標準化のための要素的活動の連鎖から成り、それらは最終的にナノ材料の試験規格に統合される。要素的活動は具体的には、関心を持つナノ材料についての情報収集、規格が対象とすべきナノ材料の決定、測定すべき特性とその測定法の抽出、最後に規格の要求事項や推奨事項の明確化とした。このシナリオを適用してISO/TC 229 でこれまでに開発した試験規格を報告する。

キーワード: ナノテクノロジー、ナノ材料、国際標準化、シナリオ、ISO、試験規格

International standardization of nanotechnology

—A development scenario for nanomaterial testing standards—

ONO Akira

International standardization of nanotechnology was started in 2005 by ISO and in 2006 by IEC under the collaboration of countries interested in the technology. A development scenario of nanomaterial testing standards has been established during the standardization activities of ISO/TC 229. The scenario consists of a sequence of elemental activities in standardization that will be finally integrated into nanomaterial testing standards. The sequence is specifically as follows; gathering information on nanomaterials of interest, taking a target nanomaterial to be specified, identifying nanomaterial characteristics to be measured and their measurement methods, and finalizing requirements and/or recommendations of the standards. Nanomaterial testing standards that have been developed in ISO/TC 229 based on the scenario are reported.

Keywords: Nanotechnology, nanomaterial, standardization, scenario, ISO, testing standards

1 はじめに

ナノスケールの新しい材料が多数製造され、それを詳細かつ簡便に計測できる技術が開発されたことでナノテクノロジーは大きく発展した。1980年代に炭素原子からなるサッカーボール状のフラーレンが、1990年代には筒状のカーボンナノチューブが発見された。2000年代には単層の炭素原子からなる平板状のグラフェンが発見された。計測技術としては1980年代に走査型トンネル顕微鏡 (STM) が発明され、さらに原子間力顕微鏡 (AFM) 等種々の走査型プローブ顕微鏡へと発展していった。産業化も進み、ナノ材料は多くが基礎研究から応用開発へと展開し、実験室段階から市場取引段階へと進んでいる。

標準化は特定の技術を社会や産業界で共有化・共通化することにより、技術の普及と市場の拡大を促進しようとす

るものである。1990年代からグローバル化が急速に進み国際標準の重要性が増した結果、各国が国際標準の開発に強い関心を持つようになった。また新しい技術に関しては開発段階から標準化に着手することで市場の早期拡大を図る傾向が強まった。

ナノテクノロジーは新しい技術の一つとして期待が高まり、2005年にISO (国際標準化機構) で、続いて2006年にIEC (国際電気標準会議) でナノテクノロジーに関する技術委員会がそれぞれ設立され、国際規格の開発が開始された。日本もナノテクノロジーで世界をリードする国の一つとして、経済産業省がいち早く国際標準化活動に取り組んだ。

著者は2005年にISOに設立されたナノテクノロジーに関する第229技術委員会 (ISO/TC229) に日本代表として

産業技術総合研究所 〒305-8560 つくば市東 1-1-1 中央第1
AIST Tsukuba Central 1, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8560, Japan E-mail: ono.akira@aist.go.jp

Original manuscript received June 14, 2021, Revisions received October 13, 2021, Accepted December 13, 2021

参加し、日本代表団の諸氏と共に戦略を練り、また各国との協力を行った。この研究論文では、標準化活動の中でナノ材料の試験規格の開発のために作成したシナリオを述べる。またそれを活用して ISO/TC 229 において開発した規格を報告する。

この論文で「試験規格」とは、ある材料に対して測定すべき特性を規定し、それを測定する方法を規定することで、材料を評価する方法を示す文書を指す。「材料規格」とは、ある材料に求められる特性値を規定した文書を指す。また「測定・特性評価規格」とは、特定の測定法に関してその手順を規定する文書を指す。また「規定する」という表現は、ある行為を実施することを要求ないし推奨することを意味する。規格に「準拠する」とは、規格が要求ないし推奨する行為を実際に実施したり考慮したりすることを意味する。

なお IEC/TC 113（電気電子分野のナノテクノロジー）でもナノ材料に関して一連の国際規格が開発されているが、そこで Blank Detail Specification と呼ばれている規格はこの論文でいう試験規格と同義である。

2 国際規格開発の動き

我が国にはすでに日本産業規格（(旧) 日本工業規格）、JIS がある。第二次世界大戦後の産業復興期の 1950 年代には多くの JIS が制定され、日本の工業製品の品質向上に大きく貢献した。一方、日本が技術レベルで世界のトップグループに並んだ 1990 年代は、国際標準が世界的に重視される時代となった。特に WTO（世界貿易機構）において、技術障壁を取り除いてグローバルな世界貿易を促進するために、国際標準を重視する TBT（Technical Barriers to Trade）協定が結ばれたことから、国際標準の位置づけが非常に高まった。

この時期に日本は新しい国際標準化の流れに乗り遅れていたことから、国際標準に準拠しない日本製品が国際市場から排除されて貿易上の損失を被る事例が顕在化した。そのため JIS を国際標準に合わせる動きが加速され、それと同時に技術開発の段階から標準化を視野に入れることが重要と認識された。公的研究資金の助成にも国際規格の提案と作成を取り入れる動きがなされた。

このような状況の中でナノテクノロジーの国際標準化が世界的に動き出し、日本は次のような対応方針を取った。

情報収集と体制整備

2004 年に経済産業省の基準認証ユニットが中心となってナノテクノロジーの国際標準化の世界動向を調査し、著者が日本の関連委員会の委員長となって情報収集に努め、

アメリカとの情報交換を進めながら国内の体制整備を進めた。

貢献の意思表明

2005 年初めにイギリスがナノテクノロジーに関する新しい技術委員会の設立を ISO に提案し、自ら幹事国となる意思を表明した。この提案に日本も賛成することとし、著者が当該技術委員会の議長候補者を訪問して意見交換し、また日本に招き研究現場を案内して日本が貢献できる分野とそのリーダーシップを担う意思を伝えた。

続いてナノテクノロジー国際標準化における日本の目標を次のように設定した。

リーダーシップの確保

ナノテクノロジーの研究開発で日本が優位にあり、かつ産業界もビジネスとして関心の高い分野（計測・特性評価）で国際標準化のリーダーシップを獲得すること。その分野の規格開発では日本がプロジェクトリーダーを務める等、応分の貢献をすること。

参加国との協力

社会的に重要と考えられる分野（環境・健康・安全）においては、信頼できるパートナー国のリーダーシップ獲得を支援すること。その分野で日本も規格開発に協力すること。

産業界の関与

規格の活用は産業界においてなされることから、規格の開発作業に日本の産業界が積極的に参加すること。

2005 年の 12 月にロンドンで第 1 回の技術委員会総会が開かれた。結果として 3 つのワーキンググループ、すなわち用語・命名法 WG、計測・特性評価 WG、環境・健康・安全 WG の設立が決定された。日本は計測・特性評価 WG のコンビーナ（議長）国に立候補し、欧州の 2 ケ国と競合関係になったが、幸い日本が選出された。またアメリカが環境・健康・安全 WG のコンビーナ国に立候補し、日本も賛成して選出された。用語・命名法 WG にはカナダがコンビーナ国に選出された。

その後 2008 年に ISO/TC 229 に材料規格の新規提案が提出されたことから、それを議論する場として材料規格 WG が新たに設立されることになった。この分野では日本に多くのナノ材料製造会社があることから、日本としても積極的に規格開発に関与していくこととした。当該技術委員会の議長の主導により、中国がコンビーナ国に選出された。

なおこの論文では ISO/TC 229 の活動のうちナノ材料の試験規格について述べるが、このタイプの規格は主として材料規格 WG で開発され、一部計測・特性評価 WG で開

発されたものである。

3 規格と市場の関係

国際規格を作成するに当たって、規格と市場との関係を次のように理解して進めた。

3.1 市場規模と規格

図1は基礎研究の結果新しい材料が開発され、応用開発と市場拡大期を経て成熟期に至る一般的な過程を、市場規模との関係において表したものである。ナノ材料もこのような過程をたどると想定した。

基礎研究の段階では新しいナノ材料の作成が種々試みられ、その特性が明らかにされる。この段階では標準化は必要でなく、むしろ異なる科学的試みを自由にするのが重要である。

基礎研究の中から産業的に有望な材料が選別され応用開発に進む。応用開発では市場での利用がさまざまな形で模索され、サンプル提供等の形で製造事業者と利用事業者（顧客）の間で試行錯誤が繰り返される。そしていくつかの候補材料が選別され、市場で取引が開始される。さらに複数の製造事業者が現れて特性の異なる材料が提供されるようになると、利用事業者は適切に調達先の選択を行う必要が出てくる。この段階で材料の試験規格が役立つ。材料の主要な特性を特定したうえで、製造事業者はそれを指定された方法で測定し結果を利用業者に報告することを求める。この段階で特性の違いから材料の差別化が公正かつ透明性のある形で行われ、利用事業者は自己の目的に最も適した材料を選択することができるようになる。また製造事業者の間でも材料の品質を巡って競争が起こり、市場は活性化する。この時期にもし試験規格が作られなかった場合には、粗悪品が横行したり、デファクトスタンダードが乱立したり、利用事業者の当てがはずれた材料が取引されたり等市場が混乱する。

材料が市場に相当程度受け入れられ、利用事業者が増えてくると市場の拡大期となる。材料が種々の応用に大量に使われ始め、それぞれの応用分野において特性値が保証された材料が望まれる。この段階で材料規格（いわゆる製品規格）が必要とされ、特性が一定のレベルを満たす材料が利用事業者の便益を増すことになる。この段階では品質の競争よりも、価格競争が激しくなる。その結果、材料規格の制定によって利便性の増した材料は、さらに広範な応用分野が開けて市場を拡大させ、成熟期に至る。鉄鋼材料の多くがすでにこの段階に至っている。

3.2 市場取引と規格

材料の試験規格は市場取引において図2のような形で活用されると考えられる。まず、材料の買い手（利用事業者）は自己が必要とする材料の調達仕様書を材料の売り手（製造事業者）に提示する。調達仕様書には買い手が望む材料の特性とその測定法が記される。売り手は提示された調達仕様書で材料の提供が可能と判断すれば、両者が合意して取引契約が成立する。この時材料の試験規格は調達仕様書のひな型を提供することになる。

売り手は調達仕様書を満たすべく材料を製造し、その特性を指定された方法で測定し、試験データを付して材料を買い手に提供する。試験データをまとめたものは試験成績書と呼ばれる。それが調達仕様を満たしていれば取引は完了する。必要な場合には、買い手は合意した測定法で材料の受入検査を行い、測定結果が妥当であることを確認することもできる。

3.3 規格の柔軟な運用

ある試験規格に準拠して材料の売り手と買い手が取引を行うことに合意した場合、売り手は当該規格のすべての要求事項を実施しなければならない。一方売り手と買い手が合意すれば規格の規定から逸脱することは可能である。図3(a)に示すように、他の特性項目を追加したり、一部の特

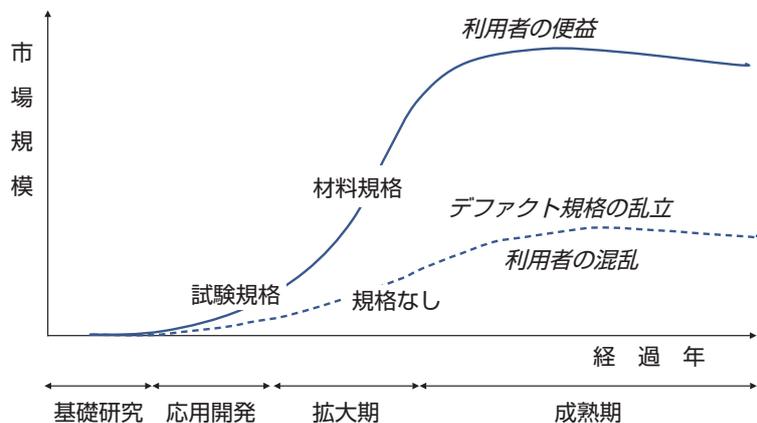


図1 市場規模と規格開発の関係

性項目を除外したりしてもよい。また測定法を当該規格から合意によって変えることも可能である。規格は法律と違って、売り手と買い手の当事者同士の合意によって柔軟に使いこなすことができる。しかしその時は当該規格に適合しているとはいえなくなる。

一方、規格の使い方の柔軟性をあらかじめ試験規格に組み込んでおくことも可能である。具体的には、測定が要求される特性「コア特性」と測定が推奨される特性「周辺特性」の2種類に分けて規定する。周辺特性の方は売り手と買い手の間の合意によって選択できるように規定する。このようにすれば、幅広い売り手と買い手が当該規格に適合したうえで柔軟に取引条件を合意して規格を利用することができる。

図3(b)はナノ材料の試験規格が存在しない場合を模式的に示す。売り手と買い手は取引契約を行う際に、ゼロベースから協議して取引契約書を合意しなければならない。測定すべき特性とその定義、そしてその測定法を改めて合意することになる。取引が市場で頻繁に行われる場合には、新たな契約のたびにそのような手間を掛けることはビジネス上の大きな損失になる。試験規格はそのような個別の協議を回避して円滑かつ確実な取引を可能にする効果がある。

以上の市場と規格の関係を念頭に置いたうえでナノ材料の試験規格の開発シナリオを作成した。

4 試験規格の開発シナリオ

この章ではISO/TC229においてナノ材料の試験規格を開発するために作成したシナリオを述べる。このシナリオは日本が提案した試験規格だけでなく、ISO/TC 229に提案されたすべての試験規格に対しても適用することを意図したものである。

4.1 シナリオの作成

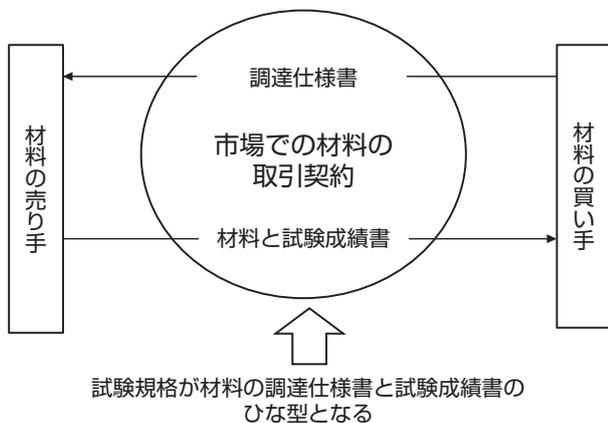


図2 材料の市場取引への試験規格の利用

作成したナノ材料の試験規格の開発シナリオを図4に示す。シナリオの目標は、市場で売り手と買い手がナノ材料を取引するときに合意可能で高品質のナノ材料の試験規格を開発することとする。

シナリオは(a)市場と文献の調査、(b)要素の選択、(c)骨格の構成、(d)仕上げ、(e)成果物の5段階からなる。規格の開発作業は時間的におおむね(a)から(e)へと向かうが、試行錯誤の中で時間的に戻って検討し直し、全体のバランスを調整することは適宜行う。

4.2 市場と文献の調査

図4(a)の市場調査では、先ずナノ材料のサプライチェーンを調査し、その中でナノ材料の売り手と買い手を明確にする。図5にナノ材料のサプライチェーンの一例を示す。図の一番上部にナノ材料を作るための原料があり、それは原料製造事業者が提供する。ナノ材料製造事業者は原料を調達して自己の商品であるナノ材料を製造する。ナノ材料を利用する部材製造事業者は、ナノ材料製造事業者からナノ材料を調達し、それを使って自己の商品である部材を製造する。部材は複合材、フィルム・コーティング、懸濁液等種々の形態を取る。部材はさらに製品製造事業者に手渡され、電気・電子部品、光学部品、化粧品、医薬品、食品添加材等として消費者に使われる。この研究論文では詳細に触れないが、必要な場合は、材料のベネフィットの側面とは別に、消費者や製造事業者従業員に与え得るリスクの側面から、ナノ材料の毒性と暴露の評価およびリスク管理が行われる。これらもナノ材料の標準化の対象となる。

このようなサプライチェーンにおいて、一般に、物品が事業者間で取引されるたびに、物品の仕様が取引契約の際に交わされる。そのとき図2に示したように、試験規格が調達仕様書と試験成績書のひな型として利用できることは3章で述べたとおりである。サプライチェーンの調査でナノ材料の売り手と買い手の実態調査を行うことが重要である。

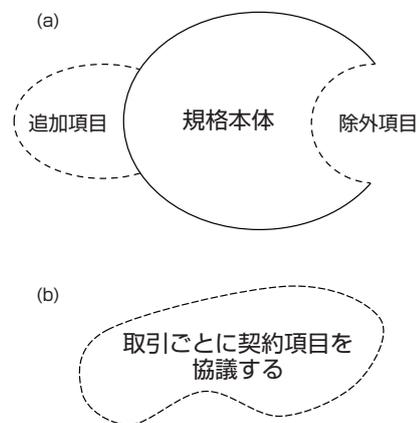


図3 規格の柔軟な運用

図4 (a) の文献調査では、当該ナノ材料の特性を測定するために適用できる既存の規格があるか、またそれがどの程度適用可能かを確認する。またナノ材料の場合には科学界がその特性や測定に関心を持ち、多くの研究論文や報告が存在する。規格の規定に対して科学的な根拠を与えるために、関連する研究論文や報告書の調査を行う。

4.3 要素の選択

図4 (b) の要素の選択は、図4 (a) の調査結果を受けて規格を構成する要素を選択する作業である。サプライチェーンの買い手がどのようなナノ材料を求めているか、また売り手がどのようなナノ材料を提供可能かを明確にする。ナノ材料のサイズや化学組成だけでなく、粉体か懸濁液か等取

引されるとききの形態も重要な要素とする。買い手がナノ材料を応用してどのような部材を作ろうとしているかも調査すべきである。部材によっては重視するナノ材料の特性が異なるからである。

文献調査の結果から、規格が引用すべき参考文献を選択する。特に既存の ISO/IEC 規格の中で、当該規格が引用可能な規格を注意深く選択する。また研究論文や報告書の中から当該ナノ材料に関するものを探して、注目されている特性や使われている測定法の事例を調べる。

4.4 骨格の構成

4.3 で選択した要素を論理的に組み合わせて図4 (c) に示すように、「測定すべき特性」、「特性の測定法と測定手

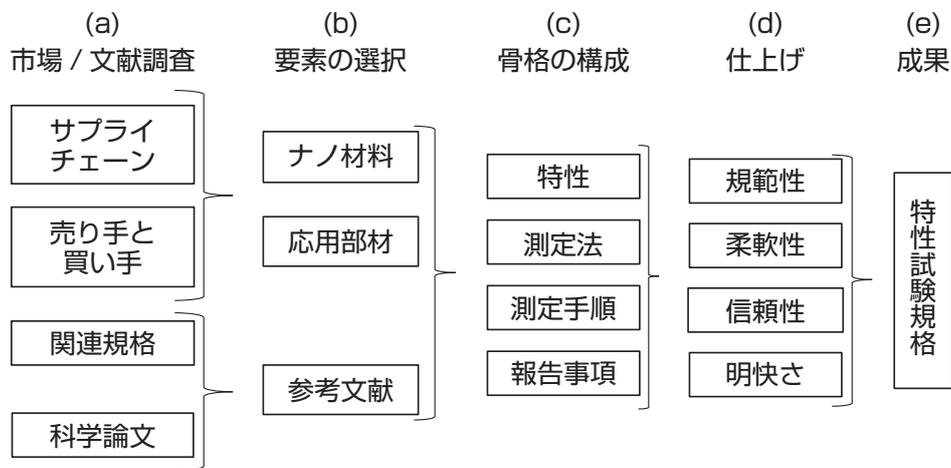


図4 ナノ材料の試験規格の開発シナリオ

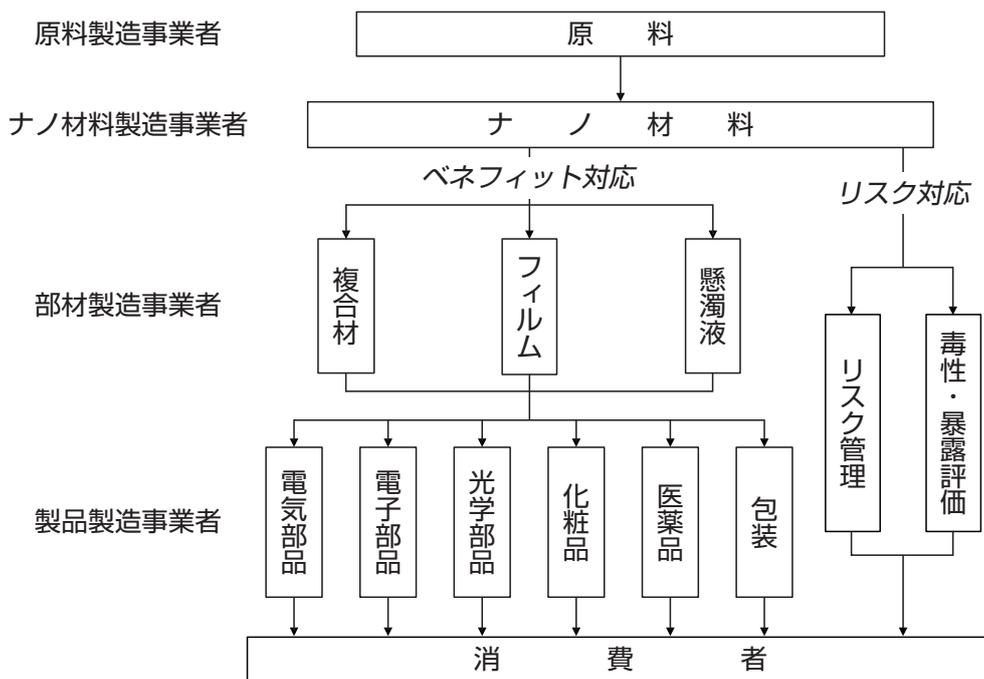


図5 ナノ材料のサプライチェーンの例

順]、「報告事項」等規格の骨格を構成する。ISO/IEC による規格の記述方法の手引^[1]を参照しつつ、ナノ材料の試験規格は基本的に次の目次を考慮する。なお下記の1条から3条、および引用文献の記述方法はISO/IECの手引きに従う。

- 1条 規格の範囲（スコープ）
- 2条 準拠すべき文献
- 3条 用語と定義、および略号
- 4条 測定すべき特性とその測定法、および利用可能な既存の測定規格の一覧
- 5条 測定すべき特性とその測定法の詳細
- 6条 報告事項
- 付属書 測定の手順
- 引用文献 参考とすべき文献

4.4.1 特性と測定法の一覧

目次4条の測定すべき特性に関しては通常、幅広い応用分野で共通的に必要とされるコア特性と、特定の応用分野において必要とされる周辺特性に分ける。4条の一覧で特性と測定法はそれらの名称のみを記載して簡潔な一覧表とする。利用可能な測定規格を主としてISOとIECの規格から選択しその番号を記載する。

4.4.2 特性と測定法の詳細

目次5条の「測定すべき特性」に関しては、まずその特性を当該規格が取り上げた応用上の理由を記したうえで、次にその定義を明確に記述する。特性の測定法の原理を規定するとともに結果に影響する測定条件を規定する。また測定結果を表すときの単位にも言及する。ISO/IEC等で測定手順が規定されている測定規格は参考情報として引用する。

4.4.3 報告事項

目次6条の報告事項では、ナノ材料の売り手が買い手に対して試験成績書の中で提供すべき事項を規定する。それらの事項は、当該ナノ材料に関する一般的な情報に加えて、測定した特性の名称と用いた測定法の名称、さらにその測定結果とする。また測定結果の不確かさに関する情報も記載することを要求する。この規格から逸脱して測定を実施した場合は、その理由と実施した方法およびその正当性を記述することを求める。

試験規格は材料の特性値を規定した材料規格ではないことから、材料の有効保存期間（シェルフライフ）は通常記載を要求しないが、もし要求する場合には特性を指定して、それが一定期間内において変化する許容範囲を記載することを要求する。

4.4.4 測定手順

測定手順は必要に応じて付属書に記述することとする。

表1 条項の規範性の表現

規範性	日本語表現	英語表現
要求	・ ・ しなければならない。 ・ ・ する。	shall, be required, 命令形
推奨	・ ・ することが望ましい。	should, be recommended
任意	・ ・ である。平叙文。	be, statement of fact

記述の仕方は3種類のやり方から選択する。第一は測定手順を記述してそのとおりに行うことを要求するものである。しかし今までに開発したナノ材料の試験規格にこの選択肢を当てはめた例はない。その理由はナノ材料の特性に関する測定手順の規格開発が現状十分でなく、また別途開発するには長い時間を要するからである。

第二は測定手順を参考情報として提供するもので、実際に行われている測定手順を実例として記載する。その手順に沿って測定を行ってもよいし、他の手順を用いてもよい。それは規格の利用者の裁量に任せられる。

第三は、測定手順は記載しないというものであり、これは、測定手順は規格の利用者の裁量に全面的に任せることを意味する。

4.5 仕上げ

図4(d)に示すように最終段階で規格開発の仕上げを行う。ここでは規格の各条項の規範性と柔軟性を決定し、規格の信頼性を評価し、記述の明快さに留意する。

4.5.1 規範性

試験規格の対象が材料の場合、規格は材料の売り手と買い手との間で交わされる合意書と見なすことができる。その時に合意内容の規範性が論点となる。規範性とは規格のそれぞれの条項を、行わなければならない「要求事項」か、行うことを勧める「推奨事項」か、あるいは参考のために提供される「任意事項」かの選択である。「規範的である」とは要求事項とされている状態のことをいう。

要求事項とは、材料の売り手と買い手が当該規格に準拠して取引すると合意した場合、必ず実施しなければならないものをいう。推奨事項とは、当該規格に準拠して取引する場合においても必ずしも実施する必要はなく、実施は両者の間での合意に任されるものである。任意事項とは参考情報として提示されるものであり、実施するかどうかは売り手と買い手のそれぞれの判断に任されるものである。

規格は文書の中にあるそれぞれの条項が要求事項か、推奨事項か、任意事項であるかを明確にする。英語の文体としては、それぞれ表1に示した表現を使うことになる^[1]。ナノ材料の試験規格もこのルールにしたがって規格の各条

表2 ナノ材料の試験規格のタイプ

タイプ	特性	特性値	測定法	測定手順
1	I	-	-	-
2	I	-	I	-
3	I	-	I	I
4	N	-	-	-
5	N	-	I	-
6	N	-	I	I
7	N	-	N	-
8	N	-	N	I
9	N	-	N	N
10	N	N	N	N

項の規範性を明確かつ一貫性をもって記述する。

ISOでは各国の標準化団体が規格開発の提案をするときは、国際規格 (IS)、技術仕様書 (TS)、技術報告 (TR) のいずれを目指すかを表明することになっている。そのとき作成する規格が全体として要求事項や推奨事項を含むかどうかをあらかじめ想定して提案する。規格全体の規範性に関しては、規格に要求事項あるいは推奨事項を含むものは IS あるいは TS とされ、任意事項のみを含むものは TR とされる。IS は正式の規格と位置づけられる一方、TS は将来国際規格に格上げされる可能性はあるものの現状ではその条件を満たさないものとされている。

ナノテクノロジーは発展途上の技術であり、必ずしも確定したものばかりではない。ISO/TC 229 では多くの規格を TS として開発してきた。技術が成熟したとみなせるものから順次 IS に格上げしていくであろう。

ナノ材料の試験規格の場合、記載されている条項の規範性をいろいろと組み合わせることにより多様なタイプの規格の選択が可能となる。規格のタイプを表2のように分類する。

表2の中で記号の N と I はそれぞれの条項が規範事項 (normative) であるか、任意事項 (informative) であるかを示す。この場合規範事項とは要求事項を含むことを意味し、任意事項とはそれを含まないことを意味する。

特性の欄が N (あるいは I) であるとは、その特性を測定しなければならない (あるいは、しなくてもよい) ことを示す。特性値が N であるとは、特性値が測定の結果規定された範囲に入ることを要求する。「-」とは特性値に言及しない、すなわち特性値を規定しないことを意味する。

測定法が N (あるいは I) であるとは、規定された測定法を使わなければならない (あるいは、使うことを推奨したり示唆したりするが、売り手と買い手の間の合意で他の方法を使ってもよい) ことを意味する。「-」とは、測定法に言及しない、つまりどのような測定法を採用かは規格の利

用者に任されることを意味する。測定手順の記号も、測定法と同様の意味である。なお N も I も、その内容を当該規格文書の中で直接記述してもよいし、他の規格文書を引用してもよい。

規範性はタイプ1からタイプ10に向かって順次強くなる。規範性が最も強い文書はタイプ10であり、材料規格というときは通常このタイプを指す。鉄鋼等市場規模が大きく技術が成熟している場合に多く用いられる。一方、ナノ材料のように市場規模がまだ小さく、技術も発展途上にある場合には、番号の少ない方のタイプが好まれる。規定を過度に規範的にすることで技術を固定化し、その発展を阻害しないように配慮する。ナノ材料の試験規格の開発においては、技術の成熟状況や市場の規模等を考慮して最も適するタイプを選択する。

4.5.2 柔軟性

規範的な「コア特性」に加えて任意の「周辺特性」という概念を導入することで規格の柔軟性が確保されることに3.3で触れた。一つの規格の中で必要に応じて規範事項とするか任意事項とするかを使い分けることで、規格全体としての柔軟性が増す。例えば、表2において、タイプ7の規格 (特性と測定法が規範事項) とタイプ2の規格 (特性と測定法が任意事項) を一つの規格に合体させる。実際 ISO/TC 229 で開発された試験規格のうちの相当数に見られるように、この合体したタイプを採用して売り手と買い手が状況に応じて選択の自由度を持つことができるようにされている。

4.5.3 信頼性

規格の信頼性とは、当該規格に準拠して特性を測定した場合に、測定結果がどの程度の不確かさを持つかを表したものである。測定値には通常 \pm を付けて不確かさを表示する。(信頼区間は 1σ の場合約 68%、 2σ の場合約 95% である。) 不確かさは、測定値の繰返し性、再現性、ロット内のバラツキ、ロット間のバラツキ、および測定器の不確かさを考慮する。特性の測定値は不確かさを付して試験成績書に記載する。

規格の規範性を高くすればするほど測定した結果の信頼性は高まるが、逆に測定のコストは上昇する。材料の買い手は測定結果に高い信頼性を求めがちであるが、一方売り手は過度な規範性を嫌う。両者の合意の下で規格の信頼性を決める。

4.5.4 明快さ

一般に規格を利用する人々は、例えば測定装置のオペレータ等、必ずしも当該材料の専門家とは限らない。その点でシナリオ(d)の文書の記述の「明快さ」は重要である。規格の条項は洗練された文章 (英文) よりも、むしろ無骨

表 3 ISO から発行されたナノ材料の試験規格

番号	ISO 規格番号	規格名称	発行年 提案国
①	TS 12805	材料規格—ナノ物体を規定するときのガイダンス	2011 英国
②	TR 10929	多層カーボンナノチューブ試料の特性評価	2012 日本
③	TS 11931	ナノスケールの粉体炭酸カルシウムの特性と測定の規定	2012 中国
④	TS 11937	ナノスケールの粉体チタニアの特性と測定の規定	2012 中国
⑤	TS 16195	粉体ナノ物体からなる代表試験材料開発のための規定	2013 日本
⑥	17200	粉体ナノ粒子の特性と測定の規定（初版発行時は TS）	2013 日本
⑦	TS 19807-1	磁性ナノ材料—第一部：磁性ナノ懸濁液の特性と測定の規定	2019 インド
⑧	TS 20660	抗菌銀ナノ粒子の特性と測定法の規定	2019 韓国
⑨	TS 21236-1	粘土ナノ材料—第一部：層状粘土ナノ材料の特性と測定法の規定	2019 イラン
⑩	TS 21237	高分子ナノファイバーを含む空気フィルター媒体の特性と測定法の規定	2020 イラン
⑪	TS 19808	カーボンナノチューブ懸濁液の特性と測定法の規定	2020 中国
⑫	TS 21412	電気化学的バイオ計測応用のためのナノ物体集積層の特性と測定法の規定	2020 韓国
⑬	TS 21975	バリア特性を持つ食品包装用高分子ナノ複合材の特性と測定法の規定	2020 イラン
⑭	TS 23362	自動車排気ガス制御のための触媒担持としてのナノ構造細孔アルミナの特性と測定法の規定	2020 中国
⑮	TS 21346	個別分散セルローズナノフィブリルの特性評価	2021 日本
⑯	TS 21236-2	ガスバリアフィルム応用のための粘土ナノプレートの特性と測定の規定	2021 日本
⑰	TS 19807-2	磁性ナノ材料—第二部：核酸抽出のためのナノ構造磁性ビーズの特性と測定法の規定	2021 中国、 ドイツ

でも明確な文章（英文）の記述とするべきであろう。

用語とその定義は、その用語が専ら当該規格のために使われるものであることに留意する。エンサイクロペディアのような一般的な定義を作るのではなく、限定された目的で使用されるように詳細に記述する。特性の定義は 4.4.2 で述べたように、該当する目次 5 条でこの規格の目的に合致するような明確な記述にして、規格利用者の誤解から意図せざる誤りが生じないように留意する。

5 発行された国際試験規格

ISO/TC229 は 2021 年 6 月までに 87 件の規格を発行し

表 4 試験規格番号⑯で要求される特性と測定法

特 性	測 定 法
鉱物成分含有量	XRD、偏光顕微鏡
化学成分含有量	ICP、AAS、XRF、SEM-EDX あるいは EPMA
陽イオン交換容量	シェレンベルガー法
粒子径	レーザ回折法あるいは動的光散乱法
強熱減量	重量法あるいは TGA

表 5 試験規格番号⑯で推奨される特性と測定法

特 性	測 定 法
メチレンブルー吸着能	ろ紙法あるいは可視近赤外法
アスペクト比	AFM、TEM あるいは SEM
フィルム形成能	懸濁液注型法
粘度	粘度測定法

ている。そのうちナノ材料の試験規格に関して発行された 17 件の規格を表 3 に示す。規格化の対象としたナノ材料はカーボンナノチューブから粘土ナノ材料まで多様である。また特定の応用分野に使われることを意図した規格から、一般用途に広く使われることを意図した規格までさまざまである。

表 3 の規格のうち日本提案のものは 5 件である。規格番号の先頭の記号から分かるように、5 件のうち IS（記号なし）が 1 件、TS が 3 件、TR が 1 件である。また表 2 の規範性については、タイプ 2 が 1 件（②）、タイプ 7 が 2 件（⑤、⑥）、タイプ 8 と 3 を合体したものが 2 件（⑮、⑯）である。なお発行年は初版のものを示している。

シナリオはこれらのすべての試験規格の開発に多かれ少なかれ適用されている。規格番号 ⑯の ISO/TS 21236-2 で測定が要求されるコア特性と用いるべき測定法を表 4 に例示する。同じく、測定が推奨される周辺特性と用いることが勧められる測定法を表 5 に例示する。2 種類の表を使うことにより、規格の規範性と柔軟性を両立させることができる。

表 3 で見るように、ISO/TC229 で開発されたナノ材料の試験規格のうちほとんどが TS である。ナノテクノロジーの進展は早いため、産業界に早期に規格を発信し、フィードバックを得て遅滞なく改訂していくことを意図している。改訂に際しては、この論文で論じたシナリオが一層効果的に使われることが期待される。

6 おわりに

4 章で述べたシナリオは、ISO/TC 229 の多くの試験規

格の開発に適用された。規格の審議過程ではシナリオの 図 4 (a) から (d) に掲げられている各論点が日本からしばしば提起され、それらが参加国によって熱心に議論されて高品質の試験規格への合理的な道筋を与えることに貢献した。

このシナリオは、日本が主導的に開発した 5 件の試験規格に適用できただけでなく、諸外国主導で開発した他のほとんどの規格にも適用できたことから、その妥当性と有用性が示せたものと考えられる。

謝辞

ISO/TC 229 に参加しナノ材料の試験規格の開発に当たってこのシナリオの適用にご協力いただき、日本提案の各プロジェクトをリードされた保土谷化学工業 宗兼史典氏 (②)、産総研 水野耕平氏 (⑤)、田中充氏 (⑥)、蛭名武雄氏 (⑩)、元産総研 小島鋭士氏 (⑮) に厚く感謝いたします。

参考文献

- [1] ISO/IEC Directives – Part 2 – Principles and rules for the structure and drafting of ISO and IEC documents

執筆者略歴

小野 晃 (おの あきら)

1969 年東京大学理学部物理学卒業、1974 年同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了 (理学博士)。同年工業技術院計量研究所入所。1981 年～1982 年パデュー大学熱物性研究所客員研究員。2001 年産業技術総合研究所計測標準研究部門長、同所理事・副理事長を経て 2012 年から同所特別顧問。2017 年から日本規格協会監事。国際度量衡総会日本代表、計量行政審議会基本部会長、計量士国家試験委員会委員長、ISO/TC 229 日本代表、IEC/TC 113 国際議長、計測自動制御学会会長、茨城新聞客員論説委員等を歴任。専門は計量標準・標準物質、温度計測、熱物性計測、リモートセンシング、標準化。計測自動制御学会、日本熱物性学会、応用物理学会等の会員。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント (赤松 幹之、岡崎 俊也: 産業技術総合研究所)

20 世紀末に発見され、応用が期待されたナノ材料は、21 世紀には産業化が進められている。研究開発から、市場での取引、そして利用者の拡大、成熟期へと展開することを見越して、その発展を促進するための国際標準化の戦略を構築して、それにしたがって標準を整備していった経緯が述べられている。明確な産業が確立していない段階での標準規格化は、製造メーカーおよびユーザー側ともに指針を得ることが難しいものである。この論文は、ナノ材料を例に、研究開発段階からの標準規格化に対する取り組みが具体的に述べられている。新材料の実用化を目指す企業や研究者にとって、さらには他の産業にも応用できる内容であり、大変参考になるものである。

議論2 開発途上にある材料の標準化

質問 (岡崎 俊也)

明確な応用が定まっていない材料の場合、規格に盛り込むべき特性あるいはその定量値が時間の経過とともに変化する可能性が高い。有用な規格であるためには最新の情報を取り込んだ改訂が必須であるが、それらは往々にして製造上のノウハウが含まれており、情報収集するのが難しいと考えられる。このような問題に対し、有効な仕組みがあるのでしょうか。

回答 (小野 晃)

時間経過とともに状況が変化し、規格がそれに対応する必要性に迫られることは十分あり得ることと思います。状況変化には二つのタイプがあると思います。一つは材料の特性に関する進歩で、特性が著しく向上したり、新たに重要な特性が認識されたりする時です。二つ目は市場の変化で、特定の応用分野で市場が急激に拡大した時です。

第一の材料特性の場合、特性が著しく向上した材料に対してはおそらく既存の試験規格で対応が可能と思われます。一方、重要と思われていなかった特性の重要性が急にクローズアップされたときは、周辺特性からコア特性に格上げしたり、規格を改訂して新たにその特性を導入したりして対応すると思います。

第二の市場の急拡大の場合、急拡大している応用分野で重要性が高まった特性の規範性を高めるなど規格の改訂を行ったり、あるいはその応用分野に特化した新たな試験規格を別途作ったりすることで対応する考えます。

いずれにしろ市場に新たに投入される材料の特性と市場動向に注目して、対応の必要性を判断すると思われます。

材料の製造上のノウハウについて指摘されていますが、規格開発との関係では重要な論点だと思います。製品規格 (材料規格も含めて) は一般に製品の性能や機能を規定しますが、製造方法は規定すべきでないと考えます。理由は製造方法を規定ないし限定してしまうと、規格が技術を固定化してしまい技術開発を損なう恐れがあるからです。また規格が製造方法の詳細な開示を要求すべきではないと思います。理由は、製造方法は知的財産としての特許やノウハウの領域で、標準化の対極にあるからです。

試験規格の長所は、どのような製造方法で作られた製品 (材料) であっても試験の対象に取り込んで、公平な形で直ちに評価できることと考えます。そのような状況の中で製造方法の工夫が自由になされ、材料の品質競争が活性化されると考えます。

議論3 コア特性と周辺特性

コメント (岡崎 俊也)

著者の主張する「コア特性」と「周辺特性」の 2 種類に分けることは、概念的には大いに賛成しますが、規格作成時に明確に両者を切り分けることは非常に難しいのではないのでしょうか。

回答 (小野 晃)

ご指摘のように試験規格を作るときコア特性と周辺特性の仕分けはいつも難しい問題です。コア特性とは広い応用分野で共通的に使われる特性と定義しても、議論に参加している利用事業者がどのような応用分野を想定しているかで優先順位が異なります。また製造事業者は測定コストが高い特性をコア特性にすることを敬遠しがちです。最後は妥協案を決めているのが実情です。定期見直しでの主要な論点になると思います。

議論4 各国の立場と活動

質問 (赤松 幹之)

TC229 のエキスパートメンバーは世界各国のメンバーから構成されていると思います。審議に参加している各国の関わり方の違い、さらには立場の違い、たとえば製造者の立場なのか利用者の立場なのかなどの違いがあるのでしょうか。

回答（小野 晃）

ナノテクノロジーの標準化は ISO だけでなく IEC でも行われていますので、表 3 のリストを含めて全体的な視点から回答します。

ISO/TC229 の議長と幹事は英国、ワーキンググループのコンビーナはカナダ、日本、米国、中国、韓国となっています。IEC/TC113 の議長は日本、幹事はドイツ、ワーキンググループのコンビーナはカナダ、日本、ドイツ、韓国、中国です。なお参加各国はナノテクの国際標準化へ国としての取り組み方針を正式に表明しているわけではありませんので、あくまでも外部から見た推測の範囲で以下回答します。

ナノ材料の国際標準化への関心は国ごとにさまざまですが、次のような動機があると推測します。

- ① ナノテクは新しい技術であるため、早期の産業化を促進したい。
- ② ナノテクは新しい技術分野でこれまで標準化が行われてこなかったため、基本的な枠組み（用語、特性の測定法・測定手順）を備えておきたい。
- ③ 消費者はナノ材料の健康への潜在的なリスクを懸念しているため、標準化（環境、健康、安全）によってリスクの透明化と適切な管理、さらにはナノテクの社会受容を促進したい。
- ④ 自己の国あるいは地域からノーベル賞級の研究成果（カーボンナノチューブやグラフェン）が出たので、標準化においてもリーダーシップを発揮し率先して産業化を進めたい。
- ⑤ ナノ材料は科学的にも興味ある研究課題であるため、ナノテク研究者としてその知見を標準化に反映させたい。
- ⑥ 国として国際標準獲得への関与を強めて国際的な存在感を示したいので、標準化が未開拓のナノテク領域は魅力的である。
- ⑦ 国際標準化においてプロジェクトが新規作業項目に採択されることで提案者は自国内で研究費が取りやすくなったり、昇進や報奨金に結び付いたりする。

- ⑧ 標準開発の作業では技術的に重要なポイントが議論されることが多く、先端技術開発の状況を知る上で情報源として役立つ。

上記のように国際標準化に参加する動機は多様で国によって力点が相当異なると見えています。

ナノテク分野で欧米のエキスパートが最も強く関与している標準化領域は用語と基盤的な測定技術、そしてリスクの評価・管理です。この論文が取り扱っている試験規格にはあまり関心が高くありません。欧米企業は有望なナノ材料に対する関心は高いと思いますが、材料規格や試験規格を提案したり、積極的にコメントしたりするまでには至っていません。これに対して、主としてアジア地域の国が高い関心を示しています。

ナノ材料の規格化において製造事業者と利用事業者の対比の構図は重要と思います。ナノ材料はまだ市場規模が小さいため、国際標準化への参加者は大学や国研の研究者、小規模な製造事業者（売り手）が主流で、利用事業者（買い手）は少数です。参加している国のほとんどのエキスパートが製造側の視点に立って発言します。このような事情ですので、規格開発の現場ではナノ材料の利用事業者の視点が軽視されがちです。その点を懸念し、この論文ではサプライチェーンや市場取引を強く意識し、シナリオではナノ材料の利用事業者の視点を重視する立場を取っています。

一方、ナノ材料のリスクの面では消費者や規制当局、製造事業者が主たるステークホルダーです。欧州と米国がリスク問題に関心が強く、新興国や発展途上国はあまり関心がありません。日本はその中間といった立場です。

将来ナノ材料の市場がもっと拡大した時には、製造国対市場国という対比が鮮明になる可能性があります。そのような状態にはまだ至っていないように思います。