

# 日本のものづくりにおけるナノ粒子・ナノ構造の活用に関する 研究開発動向と課題

(社)未踏科学技術協会 石垣 隆正

活動期間：平成23年10月～平成24年9月

## 1. 調査の目的

ナノ粒子はそれ自体製品として活用されることは少なく、ナノスケールの微細な構造を持つ素子、部材の製造の中間段階として利用されることが多い。そのため、精巧で機能性に富む微細構造を持つ製品の効果的な製造には不可欠な原料となる。ナノ粒子は、それ自身が様々な化学組成を持ち、サイズだけを基準にしても多種にわたるので、金属、無機化合物、ポリマー、生体関連物質など多彩な物質群のそれぞれに独自の産業分野が絡むという膨大な応用分野を背景に持つ。従ってその応用分野とその応用実態を把握することは重要であるが、それは産業技術の有効な展開を図るという面からだけでなく、化学物質の管理、静脈産業の位置づけと確保、ひいては将来の産業用エネルギーの有効活用にとって基本的に重要である。

本調査研究では、ナノ構造を製造するためのナノ粒子関連技術（ナノ加工技術）がどのような発展をしているか、それらのナノ構造がどのように利用されているかについて全体像を俯瞰することを目的とした。俯瞰は主として国内の状況を対象にするが、国際的な競争力の位置づけも明確化する。

## 2. 調査研究の実施内容および方法

国内の状況を対象にして、ナノ粒子関連技術がどのように発展しているか、ナノ構造がどのように利用されているかについて、次に示す調査分類を設けて調査した。上層階層としては、蛍光、磁性、導電、誘電、触媒、吸着、機械的機能（伸びる、縮むなど）の7分類とし、下層階層として、無機ナノ構造、炭素・有機ナノ構造、高分子・無機ナノ構造、多孔・高比表面積ナノ構造、バイオ関係ナノ構造、自然界のナノ構造、周期構造（自己組織化）、ナノ構造計測とした。また、国内動向の調査のため3回の公開講演会を開催した。現状調査から浮かび上がった問題点について、産業の国際競争力涵養の観点から対応策候補案の提案を試みた。また、今後の展開について、国内のものづくり産業にイノベーションをもたらすシナリオにどのようなことが期待できるかを評価した。さらに、その期待の中に、安全・安心と静脈産業、すなわち物質管理、リユース、リサイクルの考え方をどのように盛り込むべきかを考察し、その度合いも今後の技術進展に関する評価とした。

### 3. 調査に関わる研究者の氏名および組織名等

本調査は、一般社団法人未踏科学技術協会ナノ粒子・構造応用研究会内に大学、研究所、企業等の専門家からなる「ナノ粒子・構造応用の活用に関する検討委員会」を設置して調査を進めた。

委員長：石垣隆正（法政大学）、幹事：内田文生（富士化学株式会社）

委員：岡田清（東京工業大学）、岡村寛志（昭栄化学工業株式会社）、垣花真人（東北大学）、粕谷厚生（東北大学）、坂部行雄（東京工業大学）、芝崎靖雄（元産業技術総合研究所）、田中伸彦（株式会社 村田製作所）、平田寛樹（三菱マテリアル電子化成株式会社）、安富義幸（一般財団法人 ファインセラミックスセンター）、米澤徹（北海道大学）

### 4. 調査研究の背景

日本の産業の基盤であるナノテクノロジーの実用化事例として挙げられるナノ粒子の活用が着々と進展しているが、安全性などの課題も指摘された。同時にナノ粒子そのものよりは、関連して作られるナノ構造の活用の重要性がクローズアップされている。ナノ構造の技術開発動向は、エネルギー危機を克服するものづくり産業に影響が大と思われるものの、応用面が多岐にわたるため全体像が見えにくく、発展方向も明確ではない。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発の事故による放射性物質セシウムの広域汚染除去が緊急課題となっている。その除去方法の主たるものがセシウムの吸着除去であり、従来から多孔性物質として利用されている粘土物質や自然界の物質を利用した吸着が提案されている。これらは多孔性や微粒化のナノ構造の機能が使用されている事例の一つである。また、震災は、安全な太陽光エネルギーの開発を促進させる原動力にもなっている。さらに、火力、風力、地熱、集光などの利用が見直されつつあり、且つ、各種の電池材料にも粒子（担体、触媒など）、多孔膜などナノ技術を応用できる領域があることから開発が精力的に進められている。

世界環境の悪化と世界人口の爆発的な増加から、世界規模の水ビジネスが展開される中で日本の水処理技術の優位性が言われている。種々の人工膜が水処理をはじめ気体分離など多くの分野で使用されている。これらの人工膜と処理技術は、ナノ粒子からナノ構造（ナノシート）までの幅広い利用として捉えられる。

エレクトロニクス分野においても、印刷技術を応用した回路・センサー・素子製造の技術であるプリンテッドエレクトロニクス技術の早期実現をめざしている。ここでも、粒子作製技術、分散・凝集技術、インク化技術など様々なナノテクノロジー技術が関与している。

### 5. 公開講演会の開催

国内動向の調査のため、未踏科学技術協会の公開研究会であるナノ粒子・構造応用研究会が、3回の公開講演会を開催した。ナノ粒子・構造応用研究会第3回公開講演会「ナノ表面構造とナノ機能材料～未来への希望～」（平成23年10月13日）、第4回公開講演会「エネルギー・電池材料とナノ粒子の接点」（平成24年3月22日）、第5回公開講演会「電池材料とナノ粒子の接点」（平成24年9月10日）。

### 6. 課題の抽出と今後の展開に関する評価

ナノ粒子は、依然として、応用展開における原点として捉えられることができた。ナノ粒子の合成検討は、粒子作製技術からその制御技術およびナノ構造をいかに制御して目的の機能を発現させるかに技術の焦点は移りつつある。また、その機能を発現させる目的を探求する過程においてナノ粒子が持

つ性状たとえば粒子の大きさ、粒子形状と粒子分布、粒子表面の電荷あるいは細孔分布などの制御が必要になり、原点であるナノ粒子合成検討へ戻る。科学技術の発展の基礎である循環サイクルのモデルが構築されていることが将来の展開へ希望を与えてくれる。当然、そこにはすでに利用しているナノ粒子に対しても、新しく合成されるナノ粒子に対しても環境や人体に対する安全・健康面での配慮がなされつつある。以下に各調査項目の将来展望のまとめを示す。

- a. 蛍光：現在、ナノ粒子蛍光体は、照明用やEL素子用蛍光体としての他に、様々なバイオ関連蛍光体としての応用が期待されており、実用化を目指した研究・開発が精力的に進められている。ナノ粒子蛍光体は、有機蛍光色素に比べて非常に安定であり、また粒径を制御することで単一波長での励起に対し可視光領域での発光波長を調整できることから、基礎・応用の両面で非常に興味深い材料である。蛍光体分野におけるナノ構造形成技術として、母相内への微量の発光イオンの均一分散技術は蛍光体材料の高輝度化を進める上で重要な検討課題である。
- b. 磁性：磁性材料の開発は1900年台に遷移金属合金或いは化合物で始まり、後半には希土類が加わって格段に進展した。何れの材料においても内部にナノ構造を構築して特性を最大限に高めている。今後とも従来技術を更に発展させつつ新しい手法を開拓して行くことによって微粒子からナノ粒子、ナノ構造の視点による材料開発が大きく進展すると予測される。
- c. 導電：導電材としては金属粉、金属酸化物、炭素化合物、イオン伝導体があり、微粒化やナノ構造の制御を行うことで機能の向上や新規な機能の発現が期待される。ナノ構造制御の中でも周期構造を利用する量子ドットは太陽電池、レーザー、蛍光試薬など幅の広い応用化が期待される。また、今後発展可能性の高いプリントドエレクトロニクス技術の領域では微粒化技術と分散技術は必要不可欠な要素であるが、微粒化に伴う人体への安全性にも考慮を払う必要がある。
- d. 誘電：積層セラミックコンデンサーの小型化の進展に伴い、粒子の微細化ならびにその合成手法の研究が中心に行われてきた。また、得られた材料の組織化による機能付与の検討、さらには材料の平均的特性評価にとどまらず、一つ一つの状態の観察・評価方法の検討が進められてきている。これらの研究開発をとおして、誘電特性発現のための限界の見極め、新たな構造形成による誘電特性の改良などの技術革新が新たな電子デバイス創出に向けて進められている。
- e. 触媒：石油精製用触媒、自動車用触媒、食品用触媒をはじめ使用領域は多岐に亘るが、担体の微細化と同時に触媒粒子の微細化や微細構造制御の実現により、高効率を保ちつつ貴金属の低減化と卑金属を利用することで低価格化が進められている。光触媒では、可視光を吸収して水を水素と酸素に分解する新たな材料が見いだされた。触媒と分離膜を組み合わせた膜反応器で、従来法よりも低温で同等の転化率を得た。蒸留プロセスの代替、蒸留プロセスでは困難な異性体の分離、二酸化炭素を出さない化学反応プロセス等への適用は非常に有望な分野である。
- f. 吸着：物質表面に気相や液相中の分子やイオンが濃集し、平衡になること。この現象を活用して物質表面を改質することができる。水蒸気吸着、分子吸着、イオン吸着の現象を活用して今後も材料開発は進められている。吸着後、濾過乾燥、加熱拡散現象を加えれば新規な材料も創造できる。
- g. 機械的機能：ナノマテリアル、ナノコンポジットに代表されるようにナノテクを駆使した研究が盛んに行われてきた。従来は、強度やじん性などの機械的機能を高めるために微細化・均一化等のプロセス改善の研究が中心であった。最近では、ナノ構造解析技術・第一原理計算技術の進歩により、たとえば酸化物セラミックスの粒界での添加希土類元素が機械的物性に決定的な役割を果たすことが見いだされた。今後、新素材の機械的機能発現には、ナノ構造解析、計算材料設計、高度物性解析・評価等が果たす役割は益々重要となる。