

日本におけるナノパーティクルテクノロジーの最新動向

Recent Trend of Nanoparticle Technology in Japan

内藤 牧男

Makio NAITO, Dr.Eng.

大阪大学接合科学研究所 教授
Joining and Welding Research Institute,
Osaka University, Professor

1. はじめに

固体微粒子集合体としての粉体は、ほぼあらゆる産業において原料、中間品、あるいは製品として幅広く用いられている。これは、粉体の有する機能が、材料として活用する上で、極めて重要な存在形態であることを示している。特に、ナノテクノロジーに代表されるように、先端技術においてはナノ粒子、カーボンナノチューブ、フラーレンなど粉体のカテゴリーに入る微細な粒子が、キーマテリアルとして注目されている。これらのナノパーティクルの構造制御、ナノパーティクル集合体のプロセス、プロセス制御のための評価解析技術など、ナノパーティクルに関する学問体系を総称したものが、ナノパーティクルテクノロジーである。

この学問は、もちろん産業への展開のみならず、現在世界的に叫ばれているナノ粒子の環境や生体への安全性などの問題についても、ナノ粒子の正しい評価と制御という観点から貢献するものである。したがって、このような学問体系の上に科学的な視点に立ったナノ粒子のリスク管理ならびに、その制御が行われるものと期待される。このように、ナノパーティクルテクノロジーは、その基盤となる粉体工学を基礎としつつ、ナノレベルでの微細構造に伴う特異な機能など最先端の学問を融合させ、急速に発展する学問体系になりつつある。

このような発展を遂げる学問分野において、短期間のうちにその体系化を唱えることは極めて困難である。しかしながら、学問創成期の早い時点から先行的

な体系的アプローチを行うことは、この分野の研究者に対する「知の構造化」と専門分野の相互発展を図る上で重要な役割を果たすとともに、産業界に対しても迅速な産学連携や、学から産へのタイムリーなテクノロジー・トランスファーを促進し、我が国の産業競争力強化に資する基盤として、極めて重要な意味を持つであろう。

そこで、その第一ステップとして、2003年11月に入門書「ナノパーティクル・テクノロジー」が日刊工業新聞社より発行された。それを基礎として、今回、世界初の「ナノパーティクルテクノロジーハンドブック」が、ホソカワ粉体工学振興財団の助成を受けて刊行されることとなった。このハンドブックは、ホソカワミクロン(株)社長・細川益男氏が監修、大阪大学接合科学研究所長・野城 清氏が編集委員長として、日本におけるナノパーティクルテクノロジーの最新動向についてまとめたものであり、我が国の研究者・技術者約200名の知を結集して完成した。

2. ナノパーティクルテクノロジー

表1, 2に、ナノパーティクルテクノロジーハンドブックの概要を示すが、基礎編と応用編から構成されている。基礎編は、ナノパーティクルテクノロジーの体系化の観点から、まずその基本単位となるナノ粒子の基礎物性と測定法、ナノ粒子の構造制御についてまとめた後に、これらの集合体である分散系を制御する上で基礎となる特性と挙動についてまとめている。次に、ナノ粒子のプロセスによる材料のナノ構造形成に

表1 ハンドブックの構成 (基礎編)

第1章 ナノ粒子の基礎物性と測定法					
1.1 ナノ粒子によるサイズ効果と物性	1.2 粒子径	1.3 粒子形状	1.4 粒子密度		
1.5 融点, 表面張力, ぬれ	1.6 比表面積と細孔	1.7 複合構造	1.8 結晶構造		
1.9 表面特性	1.10 力学特性	1.11 電気特性	1.12 磁気特性	1.13 光学的特性	
第2章 ナノ粒子の構造制御					
2.1 ナノ粒子の構造制御と機能化					
2.2 粒子径	2.2.1 液相法	2.2.2 気相法	2.2.3 超臨界	2.2.4 固相法	2.2.5 粉砕法
2.3 粒子形状	2.3.1 気相法	2.3.2 液相法			
2.4 複合構造	2.4.1 気相法	2.4.2 液相法	2.4.3 超臨界	2.4.4 メカニカルプロセス	
2.5 気孔構造	2.5.1 気相法	2.5.2 液相法: (1)中空粒子, (2)メソポーラス構造			
2.6 DDS用ナノ粒子設計					
2.7 ナノチューブ (CNT)					
第3章 ナノ粒子およびナノ粒子分散系の特性と挙動					
3.1 ナノ粒子の特性, 挙動の特異性					
3.2 単一ナノ粒子の流体中における運動					
3.2.1 単一粒子の運動	3.2.2 泳動現象: (1)気相での泳動現象, (2)液相での泳動現象				
3.3 拡散現象					
3.4 ナノ粒子表面の濡れ性, 吸着性					
3.5 二粒子間相互作用					
3.5.1 気相中での粒子間相互作用とその制御法: (1)van der Waals力, 液架橋力, (2)静電気力, (3)固体架橋					
3.5.2 液相中での粒子間相互作用とその制御法					
3.5.3 粒子間相互作用の評価方法: (1)表面間力測定, (2)コロイドプローブAFM法, (3)粉体層法, 流動					
3.6 凝集と分散	3.6.1 気相中	3.6.2 液相中	3.6.3 その他媒質中での分散		
3.7 スラリーのレオロジー	3.7.1 レオロジーの基礎	3.7.2 ナノ粒子分散系のレオロジー特性			
3.8 粒子分散系のシミュレーション					
第4章 材料のナノ構造制御					
4.1 ナノ粒子の集合構造制御と機能化					
4.2 ナノ粒子配列構造					
4.2.1 フォトニックフラクタル	4.2.2 ナノバイオ技術によるナノ粒子パターンニング	4.2.3 液中粒子成膜			
4.3 ナノ多孔構造					
4.3.1 ナノ多孔質: ゼオライト	4.3.2 ドライブプロセスによるナノ多孔体の創製	4.3.3 ナノ多孔配列構造			
4.3.4 チューブ状ナノ多孔体					
4.4 ナノ複合構造					
4.4.1 触媒構造	4.4.2 パーコレーション構造	4.4.3 樹脂中粒子配向構造			
4.4.4 ポリマー-in-situ粒子重合	4.4.5 ECAP	4.4.6 合金ナノ構造制御			
4.5 ナノ粒子集合体の焼結, 接合による構造制御					
4.5.1 ナノ粒子の焼結	4.5.2 セラミックス低温焼結技術 (LTCC)	4.5.3 接合界面のナノ構造制御			
4.5.4 FSWによる微細粒接合	4.5.5 エアロゾルデポジション法によるナノ構造成膜				
4.5.6 ナノ粒子の遠心焼結	4.5.7 コロイド科学的手法によるナノセラミックス材料の創製				
4.6 自己組織化					
4.6.1 ナノ粒子自己組織化	4.6.2 粒子アセンブリ	4.6.3 有機・無機メソ多孔材料の創製			
第5章 材料ナノ構造の測定法					
5.1 ナノ構造と物性 (局所ナノ構造評価)					
5.2 結晶構造					
5.2.1 X線回折法 (リートベルト法)	5.2.2 X線小角散乱法	5.2.3 中性子回折法			
5.2.4 顕微ラマン分光法					
5.3 表面構造	5.3.1 AFM	5.3.2 STM	5.3.3 FT-IR	5.3.4 XPS	5.3.5 ぬれ性
5.4 ナノ気孔構造					
5.5 粒界, 界面	5.5.1 TEM	5.5.2 EELS	5.5.3 三次元電子線トモグラフィー		
5.6 薄膜構造					

第6章 ナノ構造体の特性評価法

- 6.1 ナノ構造体の機能性とその特性評価
- 6.2 機械的特性
 - 6.2.1 強度・破壊靱性・疲労特性
 - 6.2.2 弾性率・硬度特性
 - 6.2.3 クリープ・超塑性特性
 - 6.2.4 トライボロジー特性
 - 6.2.5 ナノインデンテーション
- 6.3 熱的特性
 - 6.3.1 熱拡散率, 熱伝導率, 界面熱抵抗
- 6.4 電気的特性
 - 6.4.1 誘電特性
 - 6.4.2 導電特性
 - 6.4.3 熱電特性
- 6.5 電気化学的特性
 - 6.5.1 電極反応特性
 - 6.5.2 センサー特性
 - 6.5.3 電気化学反応性
- 6.6 磁気的特性
- 6.7 光学的特性
 - 6.7.1 光透過性
 - 6.7.2 フォトニック特性
- 6.8 触媒特性
- 6.9 気体透過・分離特性

第7章 ナノ粒子と環境, 安全性

- 7.1 総論
- 7.2 環境とナノ粒子：
 - 7.2.1 大気環境とナノ粒子
 - 7.2.2 水域環境とナノ粒子
 - 7.2.3 排ガス中のナノ粒子
 - 7.2.4 排水中のナノ粒子
 - 7.2.5 室内環境中のナノ粒子
 - 7.2.6 製造環境とナノ粒子
- 7.3 ナノ粒子の環境・健康へのリスク
 - 7.3.1 ナノ粒子が引き起こすトラブル
 - 7.3.2 ナノ粒子の健康影響
 - 7.3.3 量子ドットとその安全性評価
- 7.4 ナノ粒子の除去
 - 7.4.1 除去原理
 - 7.4.2 気中ナノ粒子の除去
 - 7.4.3 液中ナノ粒子の除去

表2 ハンドブックの構成 (応用編)

1	アルコキシシランを用いたシリカ微粒子の分散と工業化
2	活性プラズマアーク蒸発法を用いた金属ナノ粒子の設計
3	金属ナノ微粒子中の局在表面プラズモン共鳴を利用したセンシング
4	金属ナノ粒子ペーストによるマイクロエレクトロニクス実装
5	ナノ粒子利用色素増感太陽電池
6	経口ペプチド・タンパク送達のためのナノ粒子の設計
7	結晶性微粒子ボンディング制御による電子セラミック圧膜の形成と応用
8	高機能分離膜の開発、複合機能化
9	高分子材料中への粒子分散プロセスによるポリマー/クレイナノコンポジットの開発
10	新規誘電材料の開発
11	新規蛍光体の開発
12	ゼオライトメンブレン
13	絶縁材料の高性能化
14	超臨界水熱法による正方晶BaTiO ₃ ナノ粒子合成
15	ディーゼル粒子捕捉用セラミックスフィルター
16	DNAのナノ粒子化 (クロスビュール化)
17	DNAを用いたナノ粒子パターンニング
18	電気化学リアクターの開発
19	デンドリマーとその応用
20	導電性CNT分散Si ₃ N ₄ セラミックス
21	ナノ化粧品の開発
22	ナノ粒子アSEMBL技術によるフォトニック結晶の開発

23	ナノ粒子液晶
24	ナノ粒子集積化プロセスによるコロイド結晶と構造色可変材料
25	ナノ粒子による新化粧品開発
26	ナノ粒子分散の実際
27	熱応答性磁性ナノ粒子開発とバイオ領域への展開
28	燃料電池の開発
29	脳へのデリバリー
30	ノズルフリーインクジェット技術
31	排ガス浄化触媒開発
32	半導体ナノ粒子を用いた光メモリーの開発
33	半導体ナノ粒子分散ガラスを用いた高輝度発光体の開発
34	光触媒チタニアナノ粒子を対峙した高機能複合粒子開発
35	表面改質による送電線のコロナ騒音低減対策
36	表面構造制御による二次電池の高性能化
37	ピンポイントデリバリー
38	フェムト秒レーザー加工を用いたナノ構造による光機能の発現
39	閉孔型ナノ発泡中空シリカ粒子
40	ポリマー中へのカーボンナノチューブ（CNT）の分散評価と応用展開
41	無機ナノ粒子の有機修飾とその応用
42	有機ナノ結晶の作製法と物性評価、材料化
43	量子ドットを用いたバイオイメージング
44	量子ドットによる医療診断技術

関する最新の情報についてまとめるとともに、創製された材料のナノ構造の測定方法とナノ構造体の特性評価法について、最新の情報をとりまとめた。そして最後に、ナノ粒子の環境、安全性について、工学的な視点を含む最新の情報をとりまとめた。

次に応用編においては、ナノ粒子とそのプロセスによる最先端の応用、並びに今後期待される応用例についてトピックスを紹介した。五十音順に並べてあるが、ライフサイエンス、情報通信、環境、エネルギー、材料、製造技術などに関して、我が国における最新の研究成果が報告されている。

3. 今後の展望

以上、ナノパーティクルテクノロジーハンドブックを例として、日本におけるナノパーティクルテクノロジーの最新動向について紹介した。今回発行したハンドブックは、この分野の学問体系化の第一ステップとなるものであり、今後その発展に対応して随時改訂版を発行していく予定である。また、国際的な貢献のた

めに、将来的には英語版の発行も計画している。

ハンドブック、便覧の発行は、学問の体系化には不可欠な要素である。今後、これを契機として、我が国におけるこの分野の発展に期待するものである。さらに、このような学問成果を迅速に産業界に応用していくためには、ハンドブックの整備も含む技術基盤（テクノインフラ）の構築が不可欠と思われる。例えば図1は、筆者が提案しているナノパーティクルテクノロジーを基礎として構築される技術基盤のコンセプトを示したものである。

ナノ粒子の構造制御並びにそこから形成される材料のナノ構造制御、いわゆるプロセス技術を確立するためには、各プロセス中間段階で形成されるナノ構造を評価する技術の開発が不可欠である。そして、これらの評価技術を活用して、ナノ粒子、ナノ構造形成プロセスが確立されるとともに、これらの生産プロセスの基礎となるデータベース、ハンドブック等が整備されることにより、研究成果の産業界への迅速な応用が可能になる。さらに、これらのデータベースとともに、開発された評価技術の標準化は、産業界におけるプロ

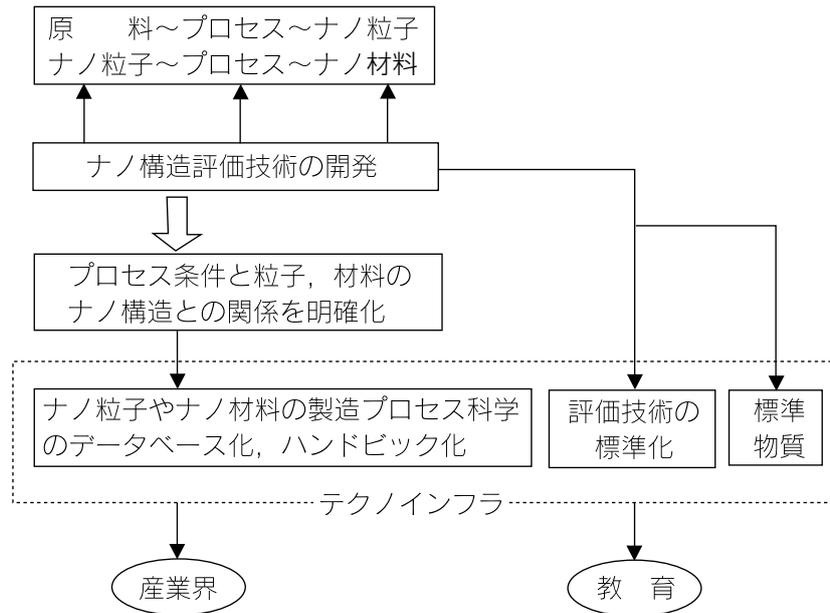


図1 ナノパーティクルテクノロジーを基礎として構築される技術基盤のコンセプト

セス技術開発のツールになるとともに、商取引などにも貢献するものと期待される。現在ナノテクノロジーに関する国際標準化（ISO）のTCが設置されているが、開発された評価技術の国際標準化などを通じて、世界のインフラ整備に貢献することが可能になる。

一方大学においては、このようなデータ、ハンドブック、評価技術などを通じて、生きた知識を学生に学ばせることが、産業界の将来を担う人材集団の育成に貢献することになる。今回刊行されるナノパーティクルテクノロジーハンドブックは、その一つの重要な役割を果たすものと期待される。

Caption

Table 1 Contents of the Nanoparticle Technology Handbook (Basic edition).

Table 2 Contents of the Nanoparticle Technology Handbook (Application edition).

Fig. 1 Concept of the technical infrastructure constructed on the basis of Nanoparticle Technology.