ホソカワミクロンのナノパーティクルテクノロジー

横 山 豊 和（よこやま・とよかず）
ホソカワミクロン㈱ 粉体工学研究所 フェロー

は じ め に

当社は，1916年の創業以来，常にハイレベルな粉体技術をベースとして，粉体を製造・加工する機械装置やシステムの開発，製造，販売を中心にグローバルな事業展開を図ってきた。戦前には早くも，サブシーブ領域（当時，篩で最も細かいとされていた40 μm程度以下）の微粉体を製造することができる画期的な微粉砕機を開発したことに始まり,「粉体」という言葉がまだあまり知られていなかった1958年には,独自の粉体工学研究所を設立し，粉体機器や技術の開発を進めてきた。微粒子を作る方法としては，粉砕のようにブレイクダウンによるものと，合成のようなビルドアップによる方法があるが，当社は粉砕を中心に研究開発を進めており，1980年台には，アークプラズマ法などによる1 μm以下のサイズの「超微粒子」の金属超微粒子製造装置を開発するなど，より細かい粒子への追求を続けてきた。

このような状況の中，2000年にクリントン大統領がナノテクイニシャティブを宣言したことから「ナノテクノロジー」がにわかに脚光を浴びるようになったが,当社ではその以前から「ナノパーティクルテクノロジー」を展開していた。本稿では当社のナノパーティクルテクノロジーの一端について紹介する。

1. ナノパーティクルテクノロジーとは

一般に，ナノパーティクル（ナノ粒子）は，100nm程度よりも細かい粒子とされることが多いが,可視光線の波長の下限である約400nm程度よりも細かい「自然光では見えない」,観察に電子顕微鏡が必要となるような粒子をナノ粒子と考え，それよりも大きな粒子と区別することができる[1)]。このようなナノ粒子は，ミクロン単位の粒子に比べて，比表面積が格段に大きくなり，様々な電磁気的，光学的，熱的，力学的，化学的などの諸特性が異なってくる。当社では，これらの特異な物性を利用して新しい優れた特性を持つ材料の開発を行っており,一部は実用化されつつある。

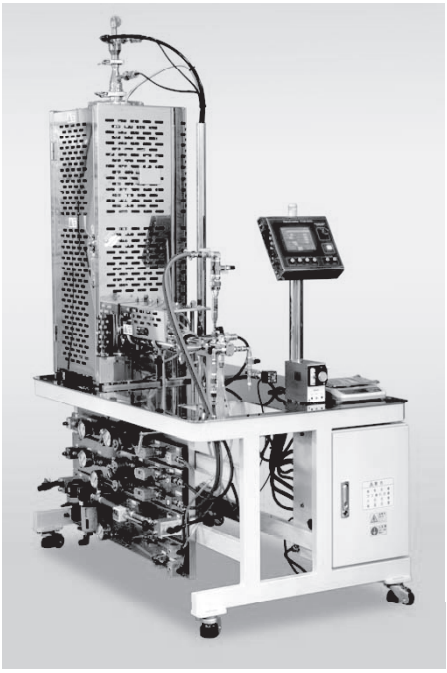
ナノパーティクルテクノロジーはこれらナノ粒子の製造，加工・応用，分析・評価等を扱う技術である。一方，ナノ粒子という言葉は大きさを規定しているだけで，材料を制限するものではないため，無数の材料とその組合せが対象となる。以下に，当社で最近開発し，実用化している三つの製品，技術の例を挙げる。

2. ナノパーティクルテクノロジーの応用例

2.1 FCM法による無機材料ナノ粒子の製造と応用

FCM（Flash Creation Method）と呼んでいる気相化学合成法は，液体原料を火炎やプラズマによって加熱，気化させ，化学反応によって微細粒子を生成するものである。ここでポイントとなるのは，生成した微細な粒子が，凝集や粒成長などによって粗大化するのを抑えながら回収することである。当社は，このための瞬間冷却機構を備えたナノ粒子製造装置「ナノクリエータ」を開発し，数g程度の少量サンプル作製用のFCM-MINI型（第1図）から，時間当たり数kgレベルの量産ができるFCM-800まで，装置のシリーズ化を図っている。

本装置は，通常100nm以下，材料によっては

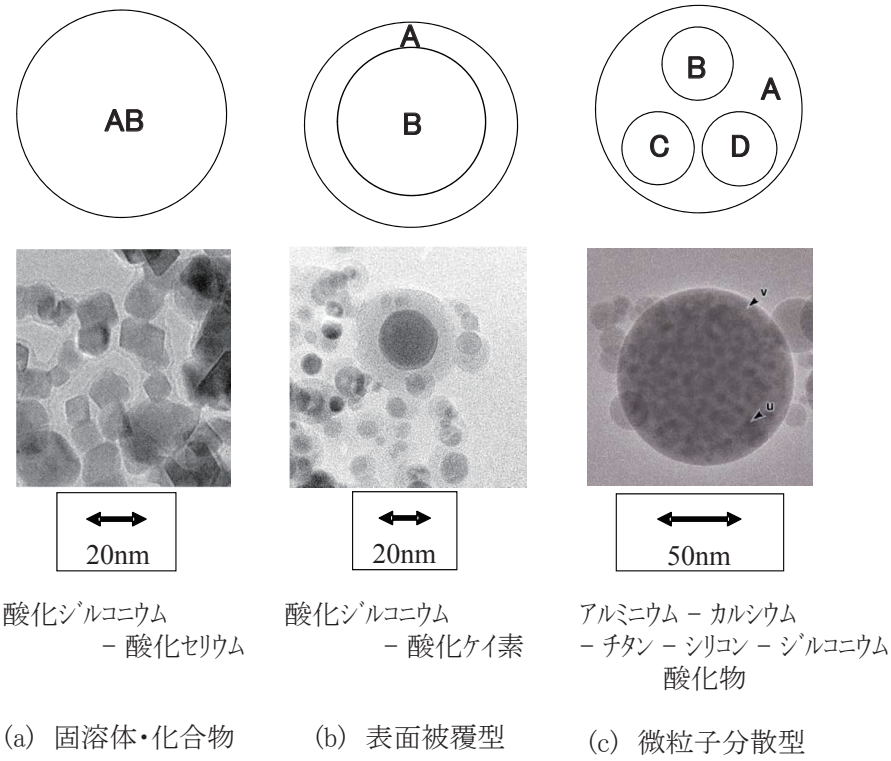


第 1 図　複合ナノ粒子の少量サンプル作製用 FCM‐MINI の外観
（奥行 1,300 x 幅 900 x 高さ 1,800mm）

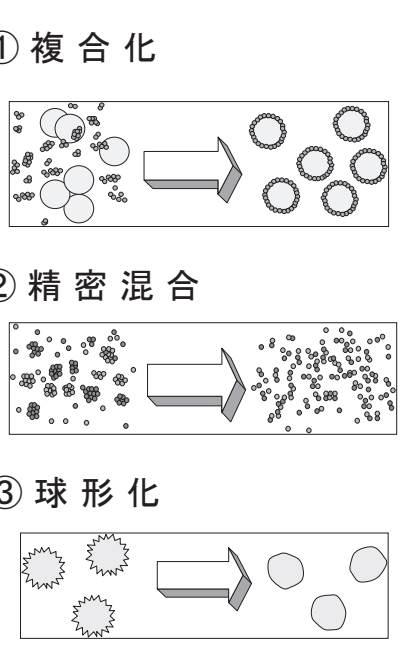
10nm 以下のナノ粒子を連続で製造することが可能である。液相法に比べると生産量は大きくないが，純度が高く，さらに原料の組合せの幅が格段に広いので複雑な組成の複合ナノ粒子を比較的容易に作製することができるという大きなメリットを持っている。この複合ナノ粒子は，材料の組合せによって，第 2 図に示すように，①固溶体・化合物粒子，②表面被覆型粒子，③微粒子分散型粒子などいくつかのパターンに分けられ，それぞれの用途に応じて使い分けられている。これらのナノ粒子は，従来法を用いたミクロン粒子材料に比較して，強誘電体などのセラミック材料の焼結温度の大幅な低下や蛍光体材料の励起強度の向上[2]，あるいは難焼結性圧電材料の高密度化や電磁気特性の向上[3] を実現するなど様々な効果が確認されている。

2.2　ナノ粒子の活用のための「メカノケミカルボンディング」と機械的粒子複合化装置「ノビルタ」

上述の通り，ナノ粒子は様々な優れた特性を持っているが，その強い粒子間付着力のために，通常大気中では凝集粒子を形成している。また，ナノ粒子の粉体は一般に流動性が低く取り扱いが



第 2 図　複合ナノ粒子の複合化パターン



第 3 図　粒子複合化装置による代表的な粒子加工例

難しい材料であることが多く，ナノ粒子は分散させることによって初めてその真価を発揮することができる。そこで実際の応用の際にはナノ粒子を単独で用いることは少なく，多くの場合，液体中に分散させたり，あるいはより大きなミクロン粒子に担持させて用いられている。

「メカノケミカルボンディング」とは粒子に強力な機械的応力を加えて粒子表面での化学的な結合により，粒子同士を複合化して新しい材料を生み出そうとするものである。ナノ粒子の場合，比表面積が大きく，一般に活性度が非常に高いためにこのような処理の良い材料となりえる。この目的のために開発された粒子複合化装置「ノビルタ」[4]は，水平円筒型容器内で，特殊な構造を持ったロータによって，粒子に衝撃，圧縮，剪断力が加わる構造となっており，第 3 図に示すように，①ミクロン粒子の表面にナノ粒子を被覆したり，②ナノ粒子同士を精密に混合したり，③あるいは粒子の形状を変えるような処理ができる。

この技術はリチウムイオン二次電池等の電極材料[5]やセンサー等の電子部品材料，さらには化粧品や医薬品まで種々の機能性材料の開発用途に応用展開されている。

2.3　PLGA ナノ粒子を用いた化粧品「ナノクリスフェア」と育毛剤「ナノインパクト」の開発

一方，有機材料のナノ粒子の実用化の一例として，PLGA（ポリ乳酸グリコール酸共重合体）ナノ粒子の作製とその応用がある。この PLGA は加水分解により最終的に炭酸ガスと水に分解されるという安全性の高い高分子であるが，晶析法を用いて大きさが 200nm 程度の球状の粒子を作製することができる。さらに，そのナノ粒子作製過程に種々の薬物や有効成分を溶解しておくことによって，PLGA ナノ粒子にこれらを封入したり，あるいはその粒子表面にこれらを被覆できる。このような有効成分を担持した PLGA ナノ粒子は，その微細な大きさから腸壁や肺胞，あるいは皮膚から体内に吸収され易く，さらに PLGA の加水分解特性により，担持している有効成分を徐々

第 4 図　PLGA ナノ粒子配合機能性化粧品の例（ホソカワミクロン化粧品）

に放出するコントロールリリースの効果があり，種々の用途への応用が進められている。

その一つは，化粧品や育毛剤で，保湿効果やアンチエイジング効果のある薬物を使った化粧品「ナノクリスフェア」（第4図）や育毛効果を持った薬物を使った育毛剤「ナノインパクト」を上市すると共にこの技術を用いた化粧品開発の受託試験やOEM生産も行っている[6)]。さらに最近では，そのDDS機能（薬物送達システム）が注目され核酸医薬などの薬物を封入したPLGAナノ粒子をバルーンカテーテルやステントなどの医療デバイスに塗布（積層）することにより，これらのデバイスを体内に留置した際に発生する血管の再狭窄を抑制する効果が動物実験でも確認されており，その応用範囲を広げつつある。

おわりに

このようにナノ粒子はミクロン粒子とは大きく異なった特性を有しており，その応用展開の可能性が大きく広がっているが，一方，付着・凝集性・反応性などが強く，粉体としての取扱いが面倒な側面を持ち，ナノリスクの対応を含めて安全性の確認，管理が重要である。ナノ粒子の今後のさらなる活用に向けて，材料の観点からの検討と共に粉体としても従来とは異なった粉砕，分級等々の単位操作手法や装置が要求されるようになってきており，これら両面からの開発によって，より機能性に優れた材料が創出されることを期待している。

引用文献

1）細川益男監修，ナノパーティクルテクノロジーハンドブック編集委員会編：ナノパーティクルテクノロジーハンドブック，日刊工業新聞社（2006）.
2）A.Watanabe,T.Fukui,K.Nogi,Y.Kizaki,Y.Noguchi,M.Miyayama, *J. Ceram. Soc. of Japan*, 114, 97-101 (2006).
3）H.Matsuo, Y.Noguchi, M.Miyayama, M.Suzuki, A.Watanabe, S.Sasabe, T.Ozaki, S.Mori, S.Torii, and T.Kamiyama: J.Applied Physics, 108, 104103 (2010).
4）猪木雅裕：機能材料，24 (7)，77-86 (2004).
5）横山豊和，井上義之：粉砕，No.55,38-47 (2012).
6）辻本広行，安武愛子，板東容平，三羽信比古，川島嘉明：COSME TECH JAPAN, Vol.1, No.1, 77-84 (2011).

■トピックス ■

新日鐵化学

国内最大コールケミカル事業の強化で中国拠点を新設

新日鐵化学は国内最大の規模をもつコールケミカル事業において，世界最大のコールタール蒸留企業である米国コッパース（本社・ペンシルバニア州）との戦略的提携を背景に，中国江蘇省での生産・販売拠点の新設を決定した。中長期的に成長が見込まれる新興国市場での需要増に応えるために，江蘇省邳州市において，コッパースから供給される原料をベースに，電炉用黒鉛電極の原料となるニードルコークス，自動車用タイヤなどの原料となるカーボンブラックの生産・販売会社をそれぞれ新設する。総投資額は約130億円，売上規模は約200億円を見込んでおり，設備の稼働開始は2014年6月頃を予定している。

ニードルコークス新会社は社名は未定で資本金3億人民元。ニードルコークス年産6万tの設備を建設する。総投資額は約100億円。また，カーボンブラック新会社も社名は未定。資本金は約1億人民元で，設備能力はカーボンブラック年産能力5万t。総投資額は約30億円。

今回の事業はコールタール蒸留による原料ピッチの調達を，コッパースと中国コークスメーカーの沂州グループが新設するJV会社が担当し，ニードルコークスおよびカーボンブラックの生産・販売を新日鐵化学グループが担当する構成となっている。

新日鐵化学の同事業最大のミッションは，新日本製鐵および住友金属工業の製鉄プロセスから副生される原料を有効活用し，その付加価値を高めることであり，今後とも10月1日に発足する新生「新日鐵住金」のグローバル戦略に沿って，強靱なコールケミカル事業をめざし，世界的なタールビジネスチャンスの可能性を追求していく。