



# ホソカワミクロンの粉体技術



ホソカワミクロン株式会社  
総務本部

理事 荒川 隆



(監修)  
ホソカワミクロン株式会社  
粉体工学研究所

執行役員 所長 猪ノ木 雅裕

## 1. はじめに

当社は、1916（大正5）年の創業以来96年余り、ほぼ一貫して「粉体技術の開発」に携わり、常に時代の変化を先取りした様々な新しい粉体処理機械・装置を世に送り出してきた。

粉体技術は、太古の昔から存在してきた古い技術であるが、その粉体技術がひとつの学問、ひとつの技術分野として体系付けられ始めたのは、戦後まもなくからである。

現在、専門の学会や「粉体」の名を冠した大々的な展示会等が行われており、また新聞等のメディアでも「粉体」の文字をよく見かけるが、最新版の「広辞苑」には「粉体」の言葉が載っていない。そうした古くて新しい、まだまだ若い夢のある技術である。

粉体技術はほとんどの産業で必要とされる非常に幅広い技術分野であるが、大別すると粉碎、分級（大きさ別に分ける技術）、混合、乾燥、造粒、捕集（集じん）、供給、排出、輸送、計測の技術がある。産業界における製品開発や生産の現場では、ほとんどの場合、上記のどれかの技術だけで足ることはなく、これら幅広い技術の一つひとつに高度な技術を持つと共に、それらをエンジニアリングする「総合的粉体技術」が必要とされる。当社はこの「総合的粉体技術」の開発に取り組んできた世界で唯

一の企業グループである。当社には、「粉体技術連峰の形成」という言葉があるが、これは幅広い粉体技術の一つひとつの技術を高い峰に例え、その周辺技術やノウハウ等を峰と峰をつなぐ裾野として、より多くの峰を加え、より高くより雄大な連峰を形成しようという考えを表現した言葉である。当社はこの発想を中心に、1960年代から積極的に「世界を舞台」にした雄大な「粉体技術連峰の形成」を目指してきた。

粉体技術は上記のように多岐にわたるだけに、これまで当社が開発してきた機械・装置も数多くあるが、ここでは粉体技術の基本ともいえる「粉碎技術」に関する代表的な機械・装置を取り上げた。

まず近年求められている省エネルギータイプの微粉碎機の紹介、次に現在の最先端技術といえるナノパーティクルテクノロジーの一部をご紹介します。

## 2. 新しい省エネルギータイプの微粉碎機

様々な製造業の現場における粉碎プロセスにおいては、粒子径はより小さく、粒度分布はよりシャープなものが要求される。しかし、粉碎操作に投入されるエネルギーはその99%以上が熱エネルギーになってしまうと言われており、より小さく、よりシャープな粒度分布を追求すればするほどより大きなエネルギーが必要になる。そこで、より省エネルギーでCO<sub>2</sub>を大幅に削減でき

るタイプの粉碎機の開発が求められている。ここでは、粉碎プロセスの中核となる粉碎機で大幅な省エネルギーを目標に開発を行った新たな2機種を紹介する。

(1) 分級機内蔵型微粉碎機「ACMパルペライザH型」の紹介

ACMパルペライザH型は、世界中で2,000台以上の納入実績をもつ分級機内蔵型衝撃式微粉碎機「ACMパルペライザ」を更に進化させた新世代の粉碎機である。分級機を内蔵していることによる製品粒度調整の容易さ及び過粉碎が少ないという従来からの特長に加え、高能力・省エネルギー・簡易分解・低騒音を実現した微粉碎機である。本機は、樹脂・金属・鉱物・農薬・食品等、様々な分野の粉碎に適用されている汎用性のある高性能な微粉碎機といえる。

① 概略構造

ACMパルペライザH型は、グラインディングディスクとライナからなる粉碎部とセパレータからなる分級部で構成され、粉碎部と分級部を区別するガイドリングが設置されている。まず、スクリュフイータによって粉碎部に投入された原料は、高速回転するグラインディングディスクとライナとの間で衝撃・剪断作用を受けて粉碎される。粉碎された原料は気流の流れに沿ったガイドリングによって分級部に導かれ、高速回転するセパレータの遠心力と吸引される気流の向心力とのバランスによって分級作用を受け、微粉はセパレータを通過して機外へ取り出され、セパレータを通過できない粗粉はガイドリングの内側から粉碎部に戻り、再度、粉碎される。このように、効率的な分級機構を内蔵した粉碎機であるため、ムダなエネルギーを消費する過粉碎が行われることなく、シャープな粒度分布の製品を効率的に得ることができる。また、分級セパレータの回転速度及び処理風量の調整によって容易に粒度調整ができる利点もある(図1参照)。

② 標準的フロー

図2にACMパルペライザH型とサイクロン、捕集機(集じん機)、ブロウを組み合わせた標準的なフローを示す。ACMで粉碎された粒子は、ブロウにより吸引されるエアに運ばれ、サイクロンあるいは捕集機で回収される。

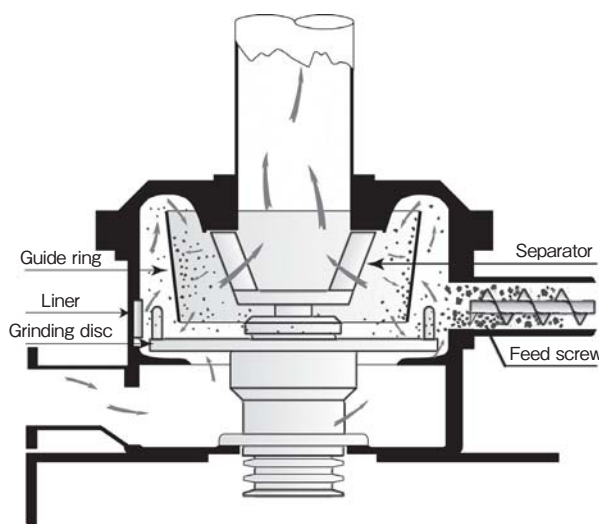


図1 ACMパルペライザH型の構造

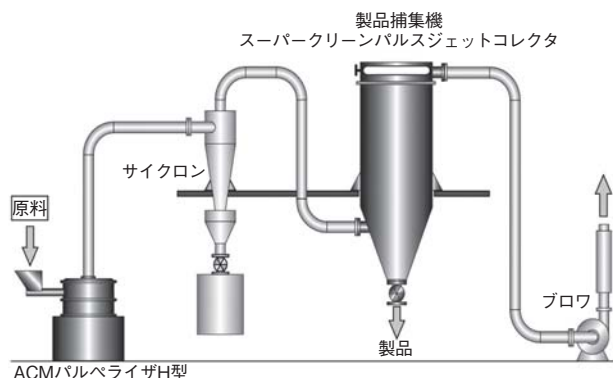


図2 ACMパルペライザH型の標準フロー

表1 ACMパルペライザH型の納入事例

電子・電気	黒鉛・炭酸リチウム・トナー・トナーキャリア・酸化アンチモン・炭化珪素・電池材料(酸化金属)
塗料類	粉体塗料・塗料滓・顔料
食品	α澱粉・キトサン・茶葉アルギン酸・ナトリウム・唐辛子
飼料	大豆蛋白・魚粉・脱脂大豆・米糠
鉱産物	軽質炭酸カルシウム・硝酸ストロンチウム・水酸化マグネシウム・消石灰
医薬	漢方薬(甘草)・ソルビット・ブドウ糖
樹脂	CMC・PET・PVC・ポリ乳酸・メラミン樹脂・シリコン・セルロース・フェノール樹脂・フッ素樹脂・吸水ポリマ
化学	アルミナ・活性炭・酸化セリウム・コークス・ワックス・発泡剤・木粉

③ 納入事例

表1にACMパルペライザH型の一般的納入事例を示す。本機は当初、粉体塗料用の粉碎機として開発されたものであるが、後にその優秀性と汎用性が広く認められ、各種原料の粉碎工程に採用されるよ

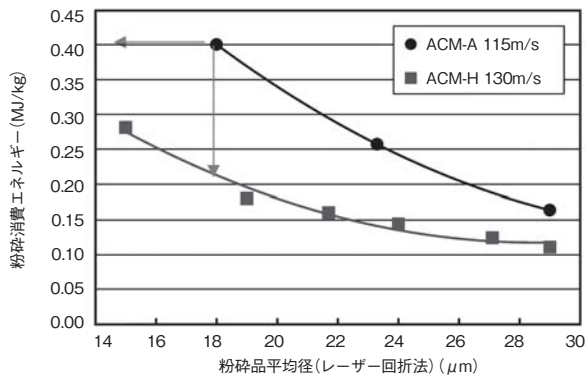


図3 粉体塗料の粉砕例

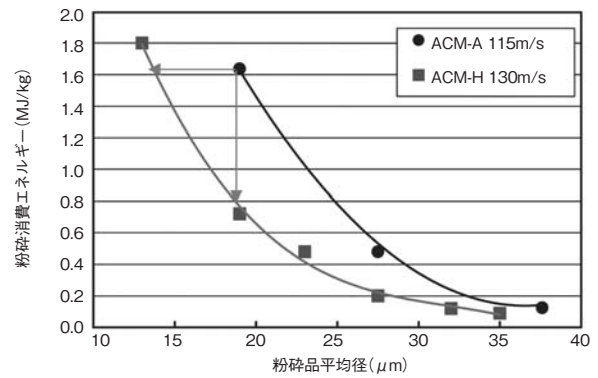


図4 カラートナーの粉砕例

表2 ACM-H型 標準仕様

形式	ACM-15H	ACM-30H	ACM-60H
スケールアップ比	1	2	4
粉砕動力 (kW)	11	22	45
分級動力 (kW)	1.5	5.5	11
粉砕回転速度 (130m/s) (rpm)	7,800	5,800	3,600
分級回転速度 (rpm)	7,000	5,400	3,600
標準風量 (Am <sup>3</sup> /min)	15	30	60
概略寸法 幅(W) (mm)	1,350	1,500	2,040
奥行(D) (mm)	750	850	1,240
高さ(H) (mm)	1,075	1,400	1,680

(注)表記した数値はお断りなく変更する場合がある。

うになった。また、開発後も多様なニーズに対応して随所に改良が行われ、現在では樹脂、農薬、化学製品、食品、鉱産物等、多方面に多くの納入事例を持っている。

④ ACMパルペライザH型の開発コンセプトと特徴、機種

ACMパルペライザH型は、ACMパルペライザ開発以降に発生した新たなニーズに基づき、次のようなコンセプトの下に改良開発されたものである。

a) 粉砕性能の向上

- ・微粉化要望に対応して粉砕力を向上させるため、粉砕ロータの周速を増加させた。
- ・従来と同じ消費エネルギーでより多量の製品を得るために粉砕部のハンマ、ライナのデザインの最適化を図った。図3に粉体塗料粉砕、図4にカラートナー粉砕時の従来機との消費エネルギー比較グラフを示す。

- ・多品種生産における効率的品種切替えを行えるよう、分解・清掃性を改善した。
- ・一般に粉砕機は比較的騒音が大きい装置であり、特に本機のような衝撃式粉砕機では高音域の発生音が大きいという欠点があったが、近年の作業環境及び周辺環境に対する改善要求の高まりを受けて本機も85dB以下を基準に騒音の低減を図っている。

⑤ ACMパルペライザH型の標準仕様ラインアップを表2に示す。

⑥ コンタミレスを実現したセラミックス型ACM-HCの開発

近年になって、リチウムイオン電池の電極材料やトナー原料等、極端に金属コンタミを嫌うケースや顧客の材料品質向上への要求等、優れた耐摩耗構造(コンタミレス)の微粉砕機の必要性が高まってきた。しかし、本機は通常、鉄またはステンレス製が

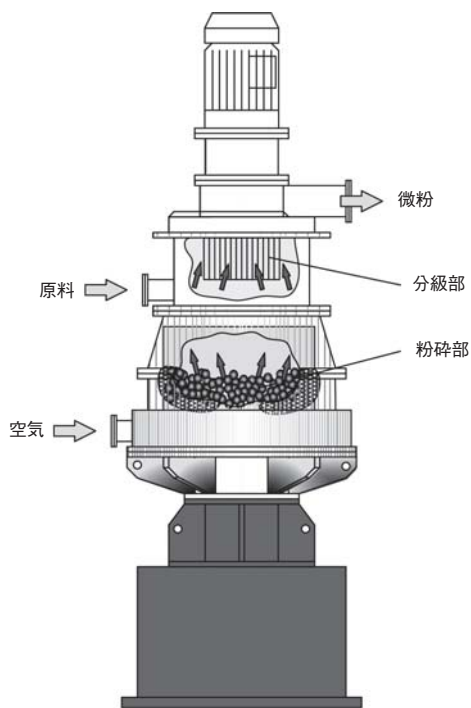


図5 プルビスの構造

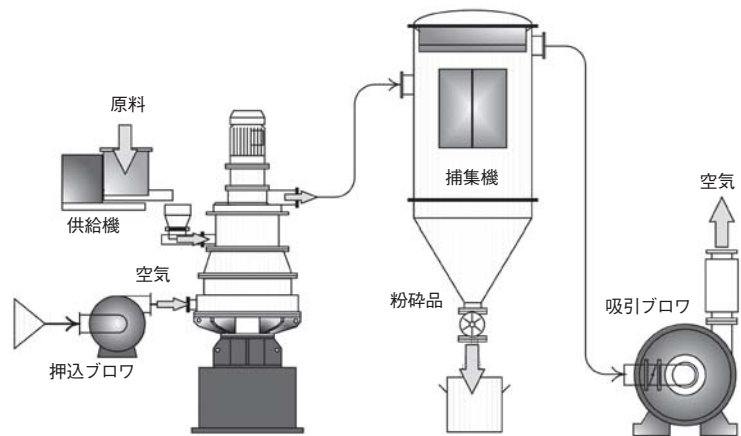


図6 プルビスの標準フロー

基本仕様となっているため、他の様々なタイプの粉砕機と同様に摩耗による金属コンタミネーションの問題を抱えていた。従来は、これら要求への対策として超硬度金属やゴム材、セラミックス板の貼り付け等が試みられてきたが、剥離や割れ、製作構造上の問題、なによりも粉砕性能が大幅に低下するため、ほとんど実用化されていなかった。

そこで我々は、ステンレス製のケーシングにセラミックス製の粉砕ロータ、分級ロータ、ライナ、ガイドリング及びミルカバーを組み込むと共に、構造上最も懸念される粉砕ロータ取り付け部分は接着剤を用いない分解組立構造を開発し、これまでの問題を解決した。

この新たに開発されたACM-HCは、オールセラミック製であるにもかかわらず、最大周速毎秒130mという高速回転にも十分耐え得る強度を持ち、かつ、その粉砕性能も従来のステンレス製と同様の優れた粉砕能力を保っている。

## (2) 乾式媒体攪拌型微粉砕機「プルビス」

当社が新たに開発したプルビスは、乾式の媒体攪拌方式と高性能風力分級機をマッチングさせることによって、従来法では困難であったサブミクロン領域（ $1\mu\text{m}$ （ナノメートル）以下）の微粒子を低エネルギーで連続的に生産することを可能にした。

### ① 構造

媒体ボール（通常、セラミックス）を攪拌する粉砕部が装置下部に設けられ、投入された原料は媒体ボールと共に強制的に攪拌されながら、衝撃力、圧縮力、せん断力、摩砕力の作用により微細化される。粉砕された粒子は、装置下方から流入する気流によって装置上部の高速回転型風力分級機に運ばれ、必要とする粒子径以下の微粉だけが分級ロータを通過し、製品として回収される（図5参照）。

### ② 標準的フロー

プルビスの標準的なフローを図6に示す。原料供給機、粉砕部への押込ブロウ、捕集機、吸引ブロウ

表3 プルビス 標準ラインアップ

型式	PV-150	PV-250	PV-450	PV-600	PV-800	PV-1000
粉碎モータ (kW)	0.75	2.2	11	18.5	37	75
分級モータ (kW)	1	1	3.7	7.5	15	30
媒体投入量 (L)	1	5	25	50	100	200
処理風量 (m <sup>3</sup> /min)	0.7	1~1.5	6~9	10~15	18~28	30~40

(注)性能の向上・改良等のため、予告なしに仕様・寸法等を変更させていただく場合がある。

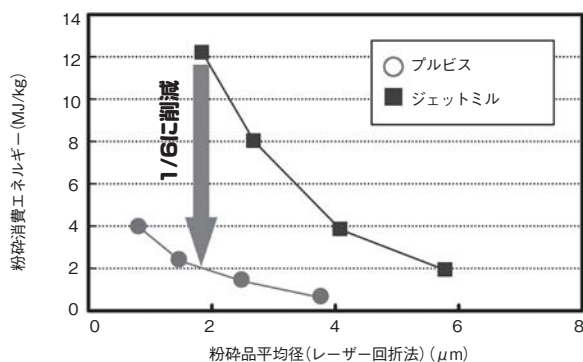


図7 シリカの粉碎例(PV-600)

等で構成されるが、不活性ガスや窒素ガスを使用した閉サイクル粉碎システムによる酸化反応を防止した粉碎システムを組むことも可能である。

③ ラインアップ

表3にプルビスの標準ラインアップを示す。プルビスの処理能力は媒体ボールの投入量に比例し、ラボスケールのPV-150 (標準0.7m<sup>3</sup>/min) から、生産スケールのPV-1000 (標準30~40m<sup>3</sup>/min) までの6種を準備している。耐摩耗仕様としては、セラミックス製の粉碎ロータ、粉碎ケーシング、分級ロータ等が装備されている。

④ プルビスの特徴

a) 圧倒的な省エネルギータイプ

乾式法で数ミクロンクラスの微粒子を製造する場合、これまではジェットミルが広く用いられてきた。しかし、ジェットミルは大量の圧縮空気を必要とするため、コンプレッサによる空気圧縮に多くのエネルギーを必要とする弱点を持っている。これに対し、プルビスはより少ないエネルギーで、より細かな微粒子を得ることを可能にした省エネルギーで高性能な装置といえる。一例として図7にシリカの粉碎例を示すが、プルビスの消

費エネルギーがジェットミルの1/6にまでに削減されていることが分かる。これは、媒体ボールの頻繁な衝突による効率的な粉碎と高性能分級機の組み合わせによるものと考えられ、多くの粉碎事例で同様の結果が確認されている。

b) サブミクロン粒子までの微粉碎における湿式法との比較

一般に湿式媒体ミルでは粒子の大きさをそろえる分級操作が難しく、また、次工程で乾粉にする必要がある場合等は粒子の再凝集が避けられない。一方、プルビスは高速回転型風力分級機を内蔵しており、しかも分級ロータの回転数を変えるだけで簡単に製品粒子径の調整が可能で、サブミクロンから1 μm程度の超微粒子を効率良く取り出すことができる。

c) 摩耗対策と分解・組立・洗浄の容易さ

耐摩耗処理が必要な原料の場合は、粉碎部・分級部共にオールセラミックス製にすることが可能である。また、分解・組立・洗浄が容易に行えるよう分級部の昇降装置が標準で設置されており、少量多品種の生産にも対応している。



写真1 複合ナノ粒子の少量サンプル作製用FCM-MINIの外観

### 3. ナノパーティクルテクノロジー

微粒子の作成方法としては、粉碎のようにブレイクダウンによる方法と合成のようなビルドアップによる方法がある。当社は幅広い粉体技術の中でも乾式法による開発を行っているが、早くも1980年台にアークプラズマ法等によって様々な金属から1 $\mu$ m以下の「超微粒子」を作成できる金属超微粒子製造装置を開発する等、より細かい粒子への追求を続けてきた。

当社がナノレベルの粒子の作成や加工に成功した頃は、まだナノテクという言葉は一般的でなくサブミクロンと表現していたが、2000（平成12）年にクリントン大統領が米国のナノテク・イニシア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。ここ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

ナノパーティクル（ナノ粒子）は、一般的に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400~500nm程度よりも細かく、自然光では目に見えないレベルの細かさとして表現すれば分かりやすいかもしれない。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、様々な電磁氣的、光学的、熱的、力学的、化学的等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が、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み合わせが対象となる。以下に、当社で最近開発し実用化している3つの製品、技術の例を挙げる。

#### (2) 複合ナノ粒子・多成分ナノ粒子製造システム「ナノクリエータFCM」

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システムである。ポイントとなるのは、いったん生成された微細粒子が、粒成長等によって粗大化するのを抑制しながら回収することにある。当社は、ナノ粒子製造装置「ナノクリエータ」を開発し、研究用の数グラム程度の少量サンプルを作製するためのFCM-MINI型（写真1参照）から、パイロットレベルの製造が可能なFCM-400Fまでを開発した。

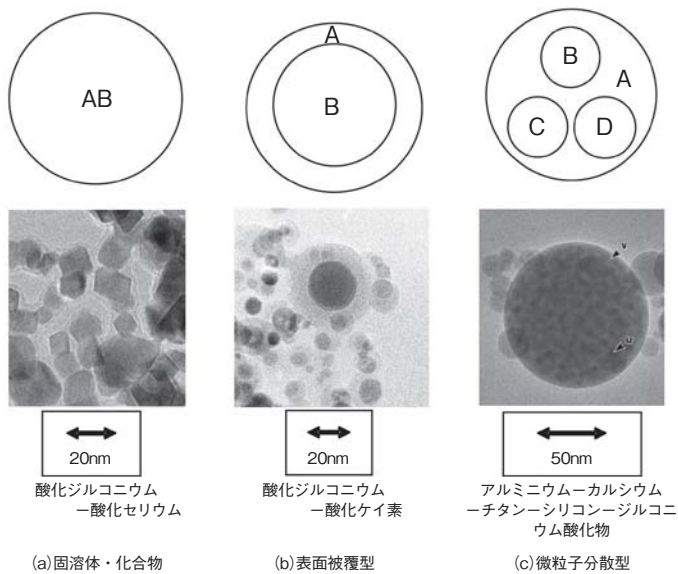


図8 複合ナノ粒子の複合化パターン

本装置は、通常100nm以下、材料によっては10nm以下のナノ粒子を連続で製造することができる。液相法に比べて生産量は大きくないが、純度が高く、更に原料の組み合わ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、材料の組み合わせによって、図8に示すように、①固溶体・化合物粒子、②表面被覆型粒子、③微粒子分散型粒子等、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と比較して、強誘電体等のセラミック材料の焼結温度の大幅な低下、あるいは蛍光体材料や難焼結性圧電材料の性能・特性の向上を実現する等、様々な効果を確認している。

### (3) 機械的粒子複合化装置「ノビルタ」と「メカノケミカルボンディング」

ナノ粒子は様々な優れた特性を持っているが、同時に粒子間付着力が強く、大気中では通常凝集体を形成している。また、ナノ粒子レベルの粉体は一般に流動性が低く、取り扱いが非常に困難な材料が多い。従って、ナノ粒子を実際に活用する場合には、凝集しないよう分散させることが重要であり、初めてその真価を

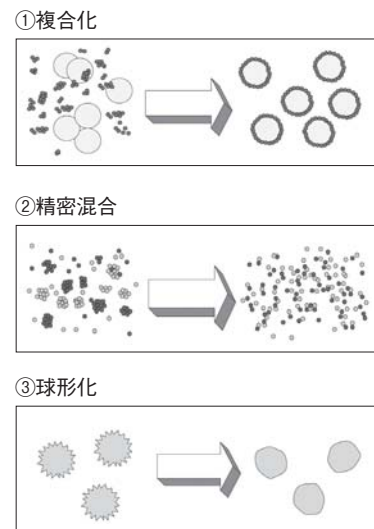


図9 粒子複合化装置による代表的な粒子加工例

発揮することができる。そこでナノ粒子を実際に取り扱う現場では、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。

当社が「メカノケミカルボンディング」と名付けた技術は、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をうながし、粒子同士を複合化して新しい物性を持った材料を生み出そうとする技術である。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、このような処理に適した材料となりえる。当社が開発したノビルタは、水平円筒型容器内で特殊な構造の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いる。図9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、あるいは③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2次電池等の電極材料やセンサ等の電子部品材料、更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されている。

### (4) 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」

当社は創業以来、粉体技術の開発、そして、そこから生まれてくる機械・装置の製造販売を行ってきたが、



写真2 PLGAナノ粒子配合 機能性化粧品例(ホソカワミクロン化粧品)

近年はナノマテリアルの開発と事業化にも力を入れている。これは、粉体技術を用いてこれまで世の中になかった機能、性質を持つ新素材を開発して、世の中に提供したいとの考えで行っているものである。

これまでも様々な新素材を産み出してきているが、ここでは有機材料のナノ粒子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を紹介する。

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160~200nmくらいの球状ナノ粒子を作製することができる。更に、そのナノ粒子作製過程で種々の薬物や有効成分をPLGAナノ粒子に封入したり、あるいはその粒子表面にこれらを被覆することできる（特許）。有効成分を担持したPLGAナノ粒子は、元来、生体適合性を持つと共に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やすく（浸透性）、またPLGAの加水分解特性によって、担持している有効成分を徐々に放出する（徐放性）コントロールリリースの効果が、種々の用途への応用が進められている。

そのひと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封入した化粧品「ナノクリスフェア」（写真2参照）や育毛効果を持った薬物を封入した育毛剤「ナノインパクト」を上市すると共に、この技術を用いた受託試験やOEMも行っている。一方、そのDDS機能（薬物送達システム）が注目され、核酸医薬等の薬物を封入したPLGAナノ粒子をバルーンカテーテルやステント等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、その実用化開発が進められている。

#### 4. おわりに

これまで、時代時代の流れの中で我々の粉体技術に対する要望も変化し、より高度になってきた。我々はこれからも当社が得意とする高付加価値分野で必要されるハイエンドな粉体技術の開発に力を注いでいきたい。

冒頭に述べたように、当社は創業以来、ほぼ一貫して粉体技術の開発を経営の基本において事業を進めてきたが、これからも「技術開発」「国際展開」、そしてそれを担う「人材集団の形成」を経営の基本において、世の中に貢献していきたいと願っている。