

微粉砕機「コボール・ミル」

FRYMA CoBall-Mill, the New Generation of Stirrer Ball Mill

技術開発本部

谷口 十一
Toichi Taniguchi

CoBall-Mill, the new generation of stirrer ball mills developed by FRYMA, will now be discussed. The CoBall-Mill's grinding chamber is in the form of a W-shaped gap, through which the suspended matter is forced to flow.

It generates very high energy density in the grinding zone, and is designed to allow the product to be moved from the inside in an outward direction. In addition, the shape of the grinding chamber provides an excellent ratio of grinding chamber surface to volume.

The application fields of CoBall-Mill are as follows: paints, pharmaceutical suspensions, pesticides, insecticides, chocolate, lipstick compounds, ferrite suspensions for magnetic tape, fine ceramics, and bio-industry.

FRYMA 社により開発された新しい形式の媒体攪拌ミルの一種、コボール・ミルについて紹介する。粉碎室をW形の狭いギャップで構成することにより、高いエネルギー密度が得られ、粒子のショートパスを防ぎ、大きな冷却面積を取れるため操作温度を低く抑えることができる。またメディアのミル内循環により、高粘度サスペンションにも使用可能である。

塗料、医薬、農薬、食品、化粧品、磁気テープ、セラミックス、バイオなど幅広い産業分野の微粉砕、分散に適用されている。

1. ま え が き

この数年来、微粉ないし超微粉が、産業界の各方面から注目を集めている。たとえば、ニューセラミックス製品のひとつであるエレクトロニクス素子を取り上げても、その素子寸法は年々小さくなっており、数十 μ 程度の厚さや幅が要求されるものが現われている。¹⁾ このような寸法を実現させるには、その原料粉末を微粒化することが必要となってくる。

また、オーディオあるいはビデオ用磁気テープの分野においても、長軸寸法で0.3 μ 程度の針状磁性体をビシクル中に分散する技術によって、そのテープの特性が大きく左右されるという。このように、微粉の製造およびその利用技術の両面にわたり、大きな技術革新の波が押し寄せて来ている。

微粉の製造プロセスには、各種粉碎機を用いる機械的粉碎プロセスや、アトマイズ法で代表される溶湯噴霧法、さらに真空蒸発法などによる粒子成長プロセスがある。粉碎プロセスでは、粒子成長プロセスによるようなオングストローム(\AA)単位で測定される超微粒子を生成することは不可能である。しかし、固体に物理的な外力を加えて細分化していく過程で、固体粒子に物理化学的な変化を与えることができる。このような、メカノケミカル反応とよばれる機械的な作用に対する物質変化が粉碎プロセスに期待され、たんに微粉を製造するだけでなく、その粉体物性を改質する目的で粉碎機が利用される場合も多い。

このたび弊社では、非常にユニークな発想に基づく、新しい形式の媒体攪拌ミル、スイス FRYMA 社のコボール・ミルを、そのsole agent たる Rieckermann(Japan)

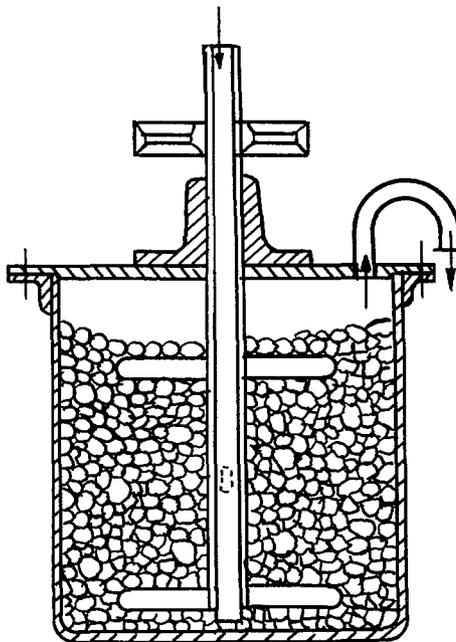
社と契約し、輸入販売ならびにエンジニアリング・サービスを行うことになった。本稿では、優れた微粉砕および分散性能を有するコボール・ミルについて、機構および特長を従来の媒体攪拌ミルと比較して説明し、その使用例を紹介する。

2. 媒体攪拌ミルの歴史

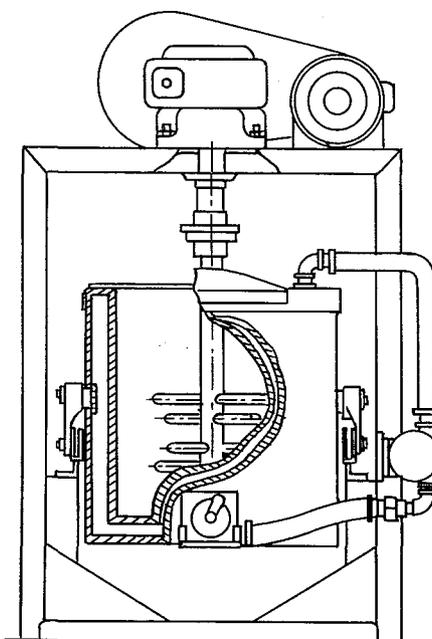
コボール・ミルについて述べる前に、簡単に、媒体攪拌ミルの歴史について振り返ってみる。

湿式粉碎機もしくは分散機のなかで、最も古い形式はボールミルである。2個のボールの衝撃により粉碎が生じその粉碎の程度は、ボールの衝突する回数と衝突エネルギーの大きさによることを利用し、回転する水平円筒内にボールを充てんして、そこに砕料を含むサスペンションを入れ、回分式により粉碎あるいは分散が行われて来た。

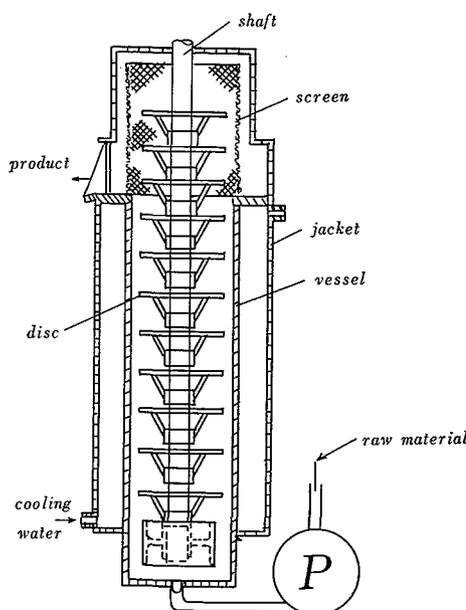
媒体攪拌ミルは、1928年 Klein および Szegvari により考案されたスイス特許による分散機²⁾に始まると考えられている。これは、第1図に示したように、中空の垂直攪拌軸により静置容器内のメディア（大きなボールと砂の混合物）を攪拌する。未分散サスペンションは、中空軸より



第1図²⁾
攪拌ミル (スイス特許)
Fig. 1
Agitator Mill
(Swiss Patent)



第2図²⁾
 攪拌ミル
 (米国特許)
 Fig. 2
 Agitator Mill
 (US Patent)



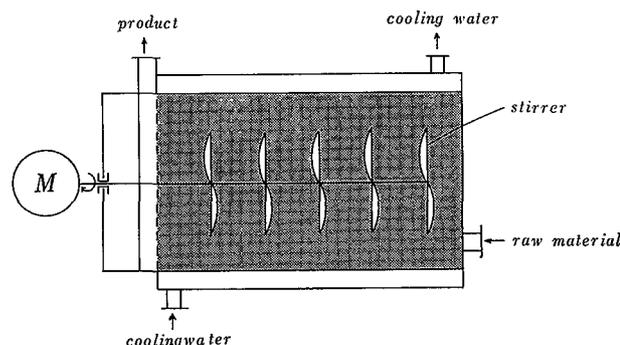
第3図
 サンド・グラインダー
 (米国特許)
 Fig. 3
 Sand Grinder
 (Du Pont)
 (US Patent)

ミル底部に供給され、分散製品は上部から回収される。メディアと製品は比重差により分離され、メディアは容器内に留まる。

Szegvari は、これをさらに発展させ、粉砕機として第2図に示す攪拌ミルを考案した。²⁾ 直径と高さの比がほぼ1であるミル容器内に、比較的大きなメディア(ボール)を充てんし、砕料を含むサスペンションを、ポンプを用い容器底部から引き抜き、再び容器上部からミル内にリターンする循環方式が採用された。ボールミルと比べて、攪拌軸回転により、メディアの回転加速度が増加されたため、粉砕効率は一時的に上昇した。しかし、回分式であることから、処理量はあまり増加しなかった。

近代的な高速媒体攪拌ミルの最初のもは、Du Pontにより1952年に発表された塗料製造用のサンド・グラインダーである。²⁾ サンド・グラインダーの名称は、メディアとして、従来のボールに代わり粒度の小さい砂、それも0.5~0.8 mm程度の Ottawa sand (砂)が使用されたことによる。第3図に示したように、メディアを充てんした容器内で、多段ディスクを高速回転させながら、未分散顔料サスペンションを連続的に供給する。サスペンション中の顔料は、ディスクの回転により攪拌されたメディア間に発生する摩擦、せん断力により分散される。容器上部に達したペースト状のサスペンションは、スクリーンでメディアと分離され、連続的に製品として取り出される。

このサンド・グラインダーの登場により、連続処理が可能になるとともに、メディア自体も小さなものが使用されたためメディア間隙も小さくなり、より微細に粒子を粉砕しながら分散できるようになった。ただし、メディアの質量が小さいことから、効果を上げるためにはメディアの回転速度を十分大きくする必要があり、攪拌軸を従来の数倍もの高速で回転するようになった。この後、媒体攪拌ミルは、このサンド・グラインダーの原理をそのまま適用しながらも、粉砕性能、分散性能を高めるため、種々の形状をしたディスクが工夫されるとともに、メディア攪拌による発熱現象をできるだけ抑える目的で、ミル容器のほか、



第4図 媒体攪拌ミル
 Fig. 4 Agitation Bead Mill

攪拌軸も冷却するタイプが考案され、さらに、従来のたて形だけでなく、横形のものも市場に出て来た。

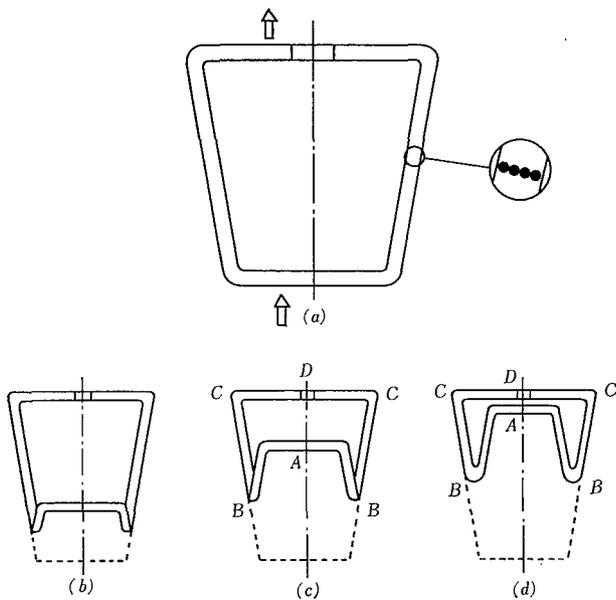
3. コボール・ミルの開発経過

以上に述べた媒体攪拌ミルの一例を第4図に示した。ディスクまたはピン状の攪拌翼を持つ、垂直あるいは水平の円筒状の粉砕室に、鉄、ガラス、セラミックなどの粉砕メディアが充てんされている。メディア径は、一般的に、0.5~3 mm、充てん率は70~90%の範囲にある。攪拌翼の回転によりメディアが運動させられ、このメディア間を、固体粒子を含むサスペンションが、軸方向にポンプにより送液される。

サスペンション粒子は、主として、メディア間の速度差によって生じるせん断力により、粉砕あるいは分散される。

従来タイプの媒体攪拌ミルでは、このせん断力が強く作用する領域は、攪拌翼のごく近傍に限られ、攪拌翼から少し離れると非常に弱くなり、ミル内のせん断力分布は極めて不均一であった。このため粉砕粒度がそろわず、製品の粒度分布が広がる欠点があった。

この欠点を解消するために考案されたのが、第5図(a)に示したアニュラー(環状)タイプのミルである。ミル内の



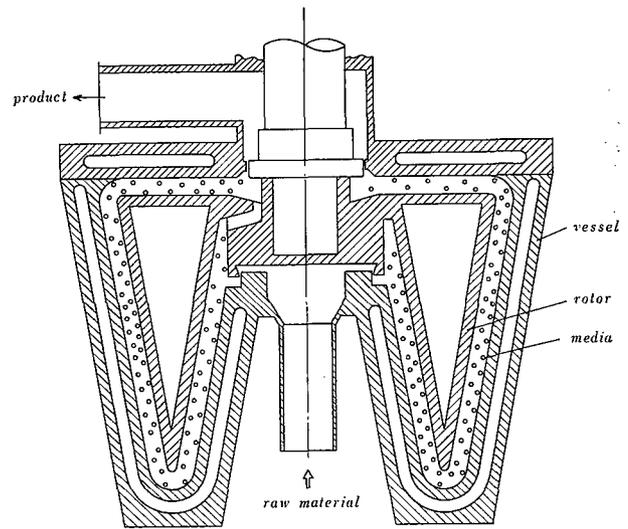
第5図 コボール・ミルの来歴
Fig. 5 Development of CoBall-Mill

せん断力をほぼ一様にするため、粉碎ゾーンを狭いギャップにしたものである。内側のコンカル状容器が回転し、外側が固定され、このロータとステータとの間のアンギュラー部に、従来タイプの媒体攪拌ミルと同様の大きさをした球形のメディアが充てんされ、粉碎室を形成している。ロータとステータとの間は、メディアが4個ならぶ間隔としている。1個もしくは2個のメディアでは摩擦のためロータが回転せず、3個ではメディアの動きが悪く、そのまん中にはさまれるメディアが割れたりするため、メディア配列として、フリーに動き得る最小のものとして4個が選ばれた。

しかし、この形状では、ミルに供給されたサスペンション粒子が、ミルの円周方向にまわりながら軸方向に動いていくスパイラル運動によりミル出口に達するだけでなく、ミル軸方向にショート・パスする可能性があった。従来の媒体攪拌ミルで、製品の粒度分布が広い理由として、ミル内せん断力の不均一分布のほか、攪拌軸回転によりメディアに生じる遠心力のため、ミル容器壁面付近のメディア濃度が高くなり、この結果、攪拌軸近辺ではメディアの存在が少なく、そこを粒子がショート・パスして十分な粉碎が行なわれないことが指摘されてきた。

このショート・パス現象を避けるため、第5図(a)の原形を(b)から(c)のように、中央で折り重ねた。ミル下部A点から供給された粒子は、B～Cの径路をへて出口D点に至り、ショート・パスが無くなった。また図(a)と比べて、同一の径路長さに対して、機器をコンパクトにすることができた。

さらに、図(d)の形状にすることにより、D点とA点を結び、メディアをミル内で循環することが可能になった。このため、サスペンション粘度が高いものでも、メディアの運動が拘束されることなく、処理できるようになった。



第6図 コボール・ミル概形図
Fig. 6 Schematic CoBall-Mill

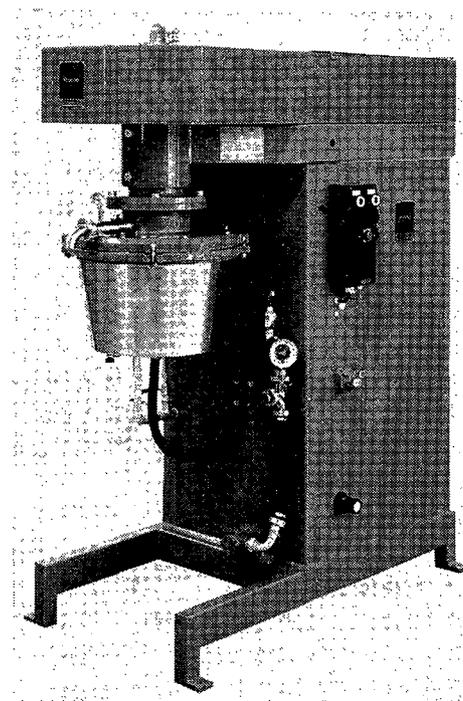
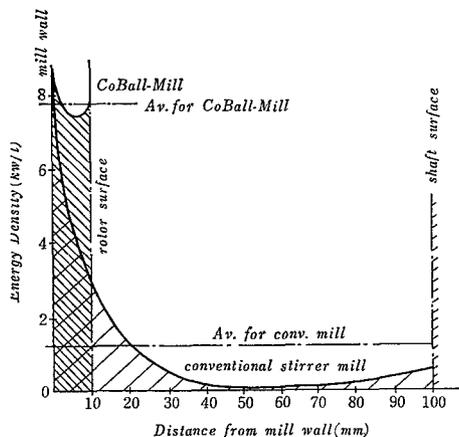


写真1
コボール・ミル
MS-32型
Photo. 1
CoBall-Mill
MS-32

このようにして、第6図に示したコボール・ミルが誕生した。

4. コボール・ミルの機構

写真1にコボール・ミルMS-32型を示した。第6図により、コボール・ミルの機構を説明する。断面が逆三角形をした環状の容器（ステータ）の内部で回転軸に取り付けられた同じ断面形状のロータが回転している。このロータの最大径における周速は、10 m/sec～15 m/sec程度である。ロータとステータとの間のギャップに粉碎メディアを装入し、このギャップが粉碎室となり、幅は前述のようにメディア4個分である。したがって、ギャップは選定した



第7図
ミル断面におけるエネルギー密度
Fig. 7
Energy Density in the Cross Section of Mill

メディアの大きさによって決められる。またメディアの充填率は、一般に50~70%の間で選ばれる。

サスペンションは、ミル下部の入口から、モノポンプまたはギアポンプで供給され、ユニカル形の粉碎室で粒子が粉碎、分散される。ミル入口より出口方向に向かって、ロータ周速が徐々に増加し、このため粉碎エネルギーも次第に高くなる。粒度が細かくなったものを、さらに粉碎することは、より高いエネルギーを必要とすることから、これは好ましいことである。

処理されたサスペンションは、回転軸に取り付けられた回転リングと、容器側に固定された静止リングからなるギャップ・セパレータにより、メディアと分離されて、ミルから排出される。このギャップ幅は、メディア径の約1/3である。

一方、メディアは、遠心力を利用してW形の粉碎室へ順次移動して行き、ロータのハブ部にあけられたメディア循環用の孔から再び出発点、すなわちミル内のサスペンション入口まで戻り循環して行く。

またコボール・ミルでは、ステータおよびロータが冷却できる。ステータ側はいわゆるジャケット構造であり、ロータ側の冷却は、回転軸からロータに2本のパイプを通して冷却水を供給、排出する構造となっている。

回転軸の軸封部は、メカニカル・シールを採用している。

5. コボール・ミルの特長

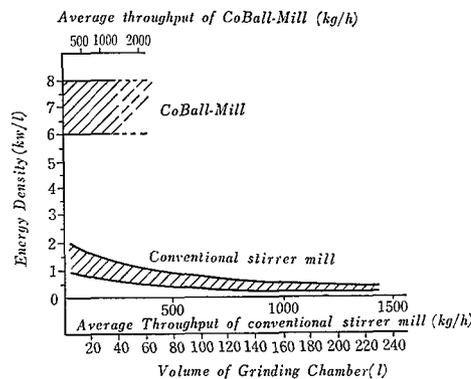
コボール・ミルの特長を、従来タイプの媒体攪拌ミルと比較して述べる。³⁾ コボール・ミルでは、粉碎室を狭いギャップで構成したことにより種々の利点が生じている。

1) エネルギー密度が高く、微粉碎が可能である

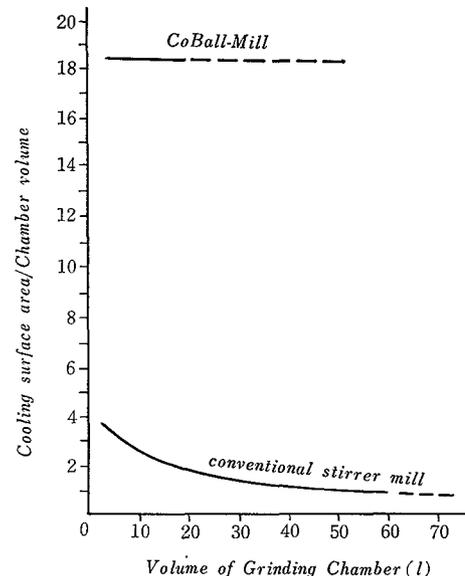
コボール・ミルは粉碎室容積が小さいが、モータ馬力は従来タイプの媒体攪拌ミルとほぼ同じ範囲に設定している。したがって、粉碎室におけるエネルギー密度は、その容積比に逆比例して、極めて高くなっている。第7図に、ミル断面におけるエネルギー密度を、コボール・ミルと従来タイプの媒体攪拌ミルで比較した。

ミル断面におけるコボール・ミルのエネルギー密度は、ほぼ一様で8kw/dm³程度であるのに対し、従来タイプのものでは、ロータの極く近傍のみが高く、ミル断面で見ると非常に不均一で、平均で1.5 kw/dm³にも満たない。

コボール・ミルでは、その粉碎エネルギー密度が一様に



第8図
ミル容積とエネルギー密度の関係
Fig. 8
Average Energy Density of Mill



第9図
ミル容積と比冷却面積
Fig. 9
Ratio of Cooling surface area to Chamber volume

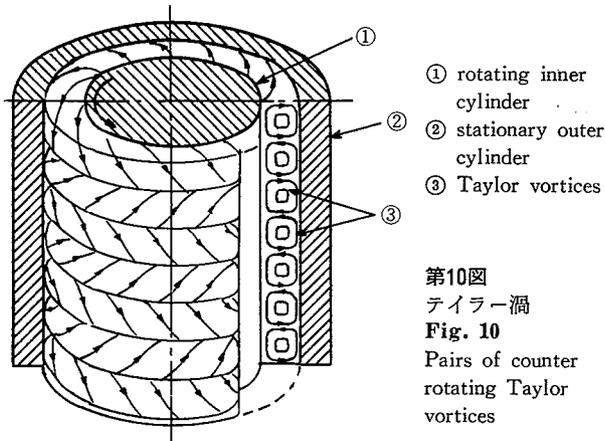
高いため、サスペンションに強いせん断作用を与え、粉碎および分散性能が非常に良くなり、サブミクロン域の粉碎や処理量の増加が期待できるとともに、製品の粒度分布がシャープになる。

第8図には、コボール・ミルと従来タイプのものについて、その平均エネルギー密度を、粉碎室容積に対して比較した。従来タイプの媒体攪拌ミルでは、処理量を増やすためミル容積を増加させると、エネルギー密度が低くなっていくのに対し、コボール・ミルでは、ミル容積に関係なくエネルギー密度はほぼ一定となり、従来タイプの4~10倍にとることができる。これは、コボール・ミルが、その粉碎強さを減らすことなく、スケール・アップできることを示している。

2) 冷却効果が極めて高い

一般に媒体攪拌ミルによる粉碎では、メディアの攪拌速度を上げ、その運動を盛んにすることによって、粉碎性能を上げることができる。しかし、このとき運動エネルギーの大部分が熱エネルギーに変化し、サスペンション温度を上昇させることから、その冷却方法が問題となる。コボール・ミルは、エネルギー密度が極めて高いにもかかわらず、従来タイプのものに比べて粉碎時の温度を低く保つことができる。これは第9図に示したように、粉碎室容積に対する冷却面積の比が、従来タイプのものよりかなり大きく、非常に効率の良い熱交換ができるためである。

したがって、製品の温度コントロールが容易であり、熱



① rotating inner cylinder
② stationary outer cylinder
③ Taylor vortices

第10図
テイラー渦
Fig. 10
Pairs of counter rotating Taylor vortices

敏感性の高いサスペンションや、低沸点溶剤を含むサスペンションの粉碎、分散に適する。

3) 高粘度のサスペンションが処理できる

コボール・ミルは、従来、3本ロール・ミルでしか処理できなかったような高粘度のサスペンションに対しても有効であり、かなりの実績を有している。従来タイプの媒体攪拌ミルでは、高粘度のサスペンション中でメディアが運動しにくく、そのためせん断力が働かず、粉碎、分散作用が不十分であった。しかしコボール・ミルでは、第6図に示したように、メディアがミル内で循環するシステムを採用しているため、メディアがサスペンションの粘度の大小にかかわらず自由に運動し、効果的な粉碎、分散が行われる。

4) 粒子のショート・パスが無く、シャープな粒度分布が得られる

コボール・ミルの粉碎室は、特殊な形状をしているため、サスペンションは、ミル入口からW形の径路を順に出口方向に進み、従来の媒体攪拌ミルに見られたような、サスペンション粒子がミル内でショート・パスして排出されるようなことは無い。したがって、製品の粒度分布を極めてシャープにできる。

さらにコボール・ミルでは、その狭い粉碎室で、テイラー渦⁴⁾とよばれるドーナツ状の渦を形成する。これは第10図に示したように、中心軸を共有する二つの円筒のうち、外円筒を固定し、内円筒をある範囲内の回転数で回転させた場合、この二つの円筒にはさまれた環状部にある液体が、内円筒を取巻くドーナツ状の渦を形成する現象である。このため、メディアも粉碎室内の渦流中で運動し、遠心力により粉碎ゾーン外周側に押しつけられて動きが拘束されることが無い。

また、テイラー渦が生じると、渦間の境界をこえる流体の交換、物質移動が非常に小さくなるため、サスペンションがピストン流れに近い状態となり、粒子のショート・パス現象を防ぐ。

そのうえ、粉碎ゾーン内外周での流速が大きくなり、境界係数が良くなり、熱伝導に寄与するため、冷却効果も促進される。

5) 洗浄が極めて簡単であり、製品ロスも少ない

コボール・ミルは、洗浄が非常に簡単で、多品種少量生

産に適する。この理由は、構造が簡単で、接液部が容易に着脱できるとともに、粉碎室の容積が小さく、その中に充てんされるメディアの量も少ないことによる。

たとえば、100~250 l/h程度の処理量をもつMS-32型の粉碎室容積は約3lであり、充てんに必要なメディア量は2l程度である。これを洗浄するには、約15lの溶剤があれば十分である。まずミル出口とミルへの供給タンクを配管で結び、約5lの溶剤を系内で循環させながらミルを洗浄する。次いで、その連絡配管を切換え、残りの10lの溶剤を用いて、ワンパスでミルのすすぎを行えば、別の製品を処理する程度にまで洗浄できる。このとき、クロス・コンタミを避けるには、処理開始時の5l程度を除外すれば、それ以降は製品として取り出すことができる。この洗浄に要する時間は、作業員1人で30分もあれば十分である。

またコボール・ミルの容器は、蓋板と接続している4本のボルトを外すだけで、水圧により、上下方向に昇降できる。

MS-32型に相当する従来タイプの媒体攪拌ミルの粉碎室容積はほぼ15~20l程度であり、メディア充てん量も12~17lほど必要となる。メディア洗浄も含め、品替え時の洗浄には時間がかかるだけでなく、洗浄のための溶剤量、クロス・コンタミを避けるための除外製品量ともにコボール・ミルの数倍必要となる。

したがって、コボール・ミルは、洗浄に必要な人手、時間のほか、メディア、洗剤の消費量も少なく、製品の歩留まりも良い、省エネルギータイプのミルと言える。

6) ミルおよびメディアの摩耗が少なく、製品へのコンタミが無視できる

一般に、攪拌翼を高速回転させる攪拌ミルでは、サスペンション粒子と接触するメディアおよびミル機械部分の摩耗は避けることができず、これを最小限に抑える工夫が必要となる。

コボール・ミルは、同様な駆動馬力を有する従来の媒体攪拌ミルと比べて、その粉碎室が4~10分の1の大きさであり、メディアの充てん量もその比率だけ少ない。粉碎室のエネルギー密度が高いため、コボール・ミルのメディア摩耗が大きいように考えられがちであるが、実際の運転経験から、被粉碎製品当りの摩耗量は従来の攪拌ミルと比べてかなり少ない。この理由は、次のように考えられる。⁵⁾

イ) 第5図に示したように、コボール・ミル内のエネルギー密度が均一であるため、ミル本体の機械部品やメディアの一部が選択的に摩耗することがない。

ロ) したがって、メディア摩耗も一様に生じるため、メディア径がほぼ一定のまま保たれる。メディア径が不揃いの場合には、メディアの接触点が多く、摩耗が早く生じる。

ハ) さらに、ミルの粉碎ゾーン中には、攪拌軸やディスク、ピンなど局所的にエネルギーが高くなり、摩耗を早める突出した部品が無く、また、ミルのロータ、ステータとも幾何学的に滑らかな曲面で構成されていることから、摩耗が少ない。

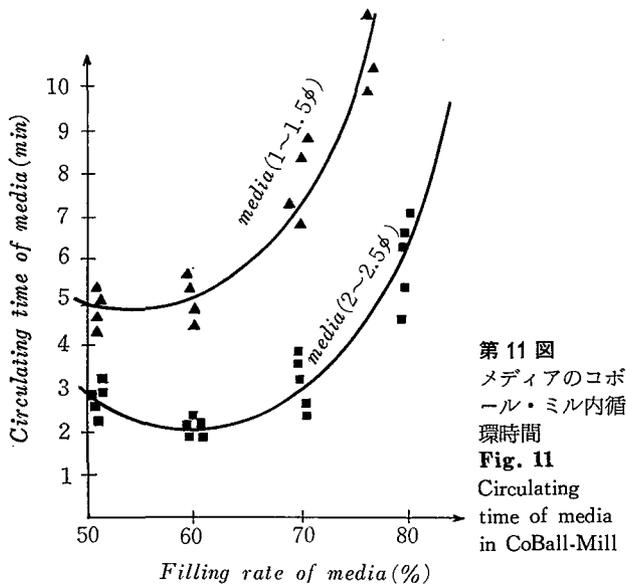
7) ギャップ・セパレーションの採用

攪拌ミルでは、容器内部でサスペンションとメディアが混合された状態にあるので、サスペンション製品の取出し

第1表 コボール・ミルの仕様

Table 1 Specification of CoBall-Mill

Type	MS-12	MS-18	MS-32	MS-50	MS-65
Driving power of rotor (kW)	1.5~2.2	4~7.5	15~22	30~55	55~110
Grinding chamber volume (ℓ)	0.5	1	3	6	12
Cooling surface (m ²)					
Vessel and lid	0.07	0.12	0.3	0.8	1.4
Rotor	—	0.06	0.2	0.6	1.1
Throughput (ℓ/h)					
Pesticides /pigments	15~30	30~80	120~240	250~500	600~1100
Paints /varnishes	10~20	20~60	90~180	180~360	400~800



こあたっては、メディアを容器内に残し、サスペンションのみ取出す分離操作が必要である。コボール・ミルでは、ギャップによるセパレーション機構を採用しているため、従来のスクリーンによる分離に比べ、目詰りが少なく、メンテナンスが容易である。

3. コボール・ミルの仕様

コボール・ミルには、第1表に示したように、ラボ・タイプのMS-12型から大容量処理を行なうMS-65型までの5機種があり、cmを単位としたロータの最大径によって、型式を表わしている。

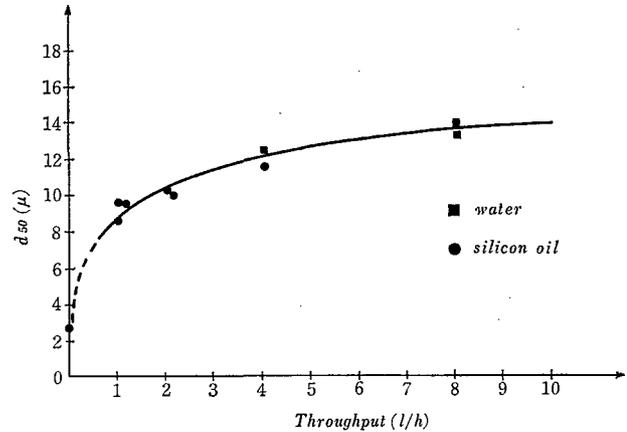
メディアは、標準として1~1.5mmのジルコニア・ボールを使用するが、用途に応じ、材質として、ガラス、スチールがあり、大きさも0.5~3mmの範囲で選択することができる。

7. コボール・ミルの二、三の研究例³⁾

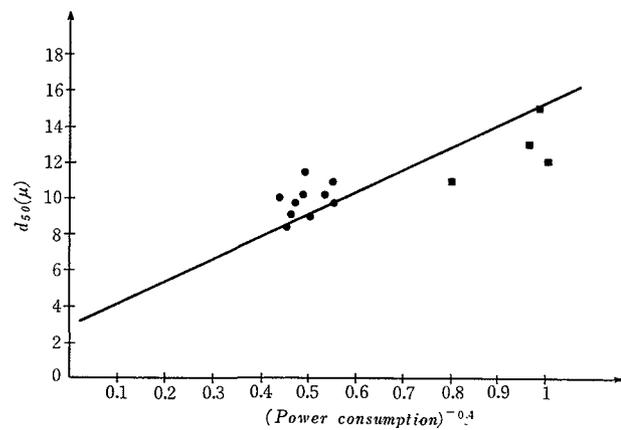
ETH Zurich (チューリッヒの工科大学) にて行なわれたコボール・ミルの研究結果のいくつかを紹介する。

1) メディアの循環時間

第11図に示したものは、MS-32型における、メディアのミル内循環時間を、メディア径およびメディア充てん率をパラメーターとして表わしたものである。粘度5,000cpのCMC水溶液を90 kg/hの割合で供給し、ロータ周速10 m/s, 600 rpmで運転した場合の実験結果である。メディ



第12図 平均粒径と処理量
Fig. 12 Effect of throughput on d₅₀



第13図 平均粒径と消費動力
Fig. 13 Effect of power consumption on d₅₀

アの循環時間は、ラジオ・アイソトープを使用して測定された。

図から、メディア径が小さく、充てん率が大きいほど、メディアのミル内循環時間が長くなることがわかる。

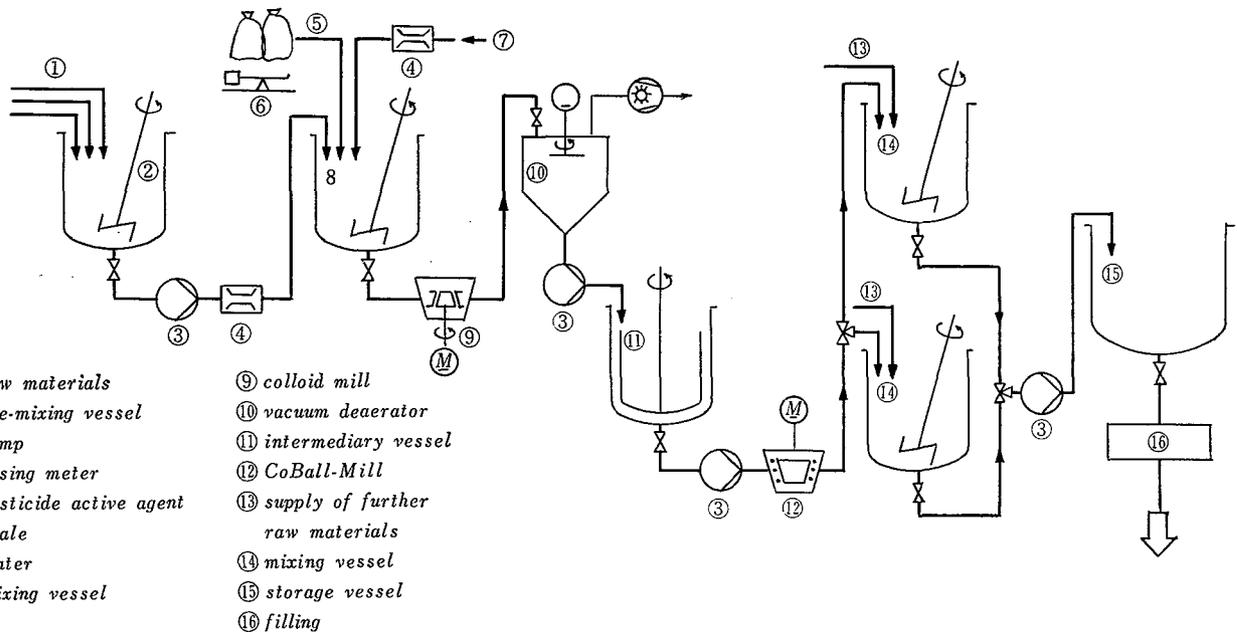
2) 粉碎粒度と処理量および消費動力の関係

MS-18型を用い、炭酸カルシウムをシリコン・オイル中にて粉碎した実験例を第12図および第13図に示した。砕料粒度はメジアン径でd₅₀=65μであり、粘度1,000cpのシリコン・オイルに固形分濃度40%にて前分散させたものをコボール・ミルで処理した。第12図は、処理量と製品の平均粒度d₅₀の関係を示した。処理量の大きい領域では、ビシクルとしてシリコン・オイルの代わりに水を用いたデータを併記した。処理量をしぼることにより、製品の粒度は小さくなる。

また第13図は、たて軸に平均粒径をとり、横軸にロータ回転数をとって、その相関を調べたもので、d₅₀は、ほぼ(回転数)^{-0.4}に比例している。

8. コボール・ミルの用途

コボール・ミルは広い範囲において、微粉碎や分散を目的として使用されている。微粉碎操作としては、ファインセラミックスやチョコレート製造工程におけるカカオ・マ



- ① raw materials
- ② pre-mixing vessel
- ③ pump
- ④ dosing meter
- ⑤ pesticide active agent
- ⑥ scale
- ⑦ water
- ⑧ mixing vessel
- ⑨ colloid mill
- ⑩ vacuum deaerator
- ⑪ intermediary vessel
- ⑫ CoBall-Mill
- ⑬ supply of further raw materials
- ⑭ mixing vessel
- ⑮ storage vessel
- ⑯ filling

第 14 図 農薬ゾル剤製造フロー
Fig. 14 Flow diagram of manufacturing pesticide compounds

スの粉碎に、分散操作としては、ペイントおよびワニス、インキ、顔料、染料、医薬品、農薬、磁気テープなど、さらに口紅、マスカラなどの化粧品、バイオ・ケミカル分野での菌体抽出にも利用されている。

以下に使用例をいくつか示す。⁶⁾

1) 高粘度の専門家用油絵具

高粘度の専門家用油絵具をMS-32型で処理している。まず油中に顔料を前分散しておき、コボール・ミルに通す。150~200kg/hをワン・パス処理して、顔料粒度が30 μ 程度になった。このとき製品温度は40~60°C。メディアは直径2.5~3mmのジルコニアを用い、粉碎室の幅は13mmで使用している。ユーザーによれば、従来は3本ロール・ミルを使用していたものであり、熱変性を起こさず使用できる攪拌ミルとしては、コボール・ミルだけであったと言う。

2) カカオ・マス

カカオ・マスの粉碎のため、コボール・ミルMS-32型を使用した。直径2mmのスチール製メディアを用い、約150kg/h処理し、このときの処理温度は55°C以下であった。バッチ式の攪拌ミルと比較すると、製品の粒度がシャープになった。

3) カオリン

コーティング紙に使用するカオリンの微粉碎をコボールミルMS-65型で行った。ユーザーの要求粒度は2 μ 以下45%であった。カオリンを水にとかし(カオリン濃度45%)ミル内に直径1~1.5mmのジルコニア・メディアを75%充填し、ロータ周速14m/sにて、約400kg/h処理した。この砕料および製品の粒度分布は次のようになった。

粒度範囲	砕料	製品
+20 μ	4 %	0 %
10~20 μ	21 %	0 %
6~10 μ	26 %	3.5 %
4~6 μ	13.5 %	6.5 %

2~4 μ	15.5 %	27 %
-2 μ	9 %	63 %

なおこのときの電力消費量は、ドライな状態でのカオリン処理量1ton当り160~180kWhであった。

4) 農薬ゾル剤⁷⁾

殺虫剤、除草剤などの製造にもコボール・ミルが利用されている。従来の粉末状での農薬に代わり、水中に農薬原体を分散しゾル化したものが欧米では実用されている。このフローを第14図に示す。まず⑧のタンクで、農薬原体、溶剤、水を予混合し、コロイド・ミル⑨で前分散する。これを脱気器⑩で連続的に脱気しながら、中間タンク⑪を経てコボール・ミル⑫で粉碎、分散する。タンク⑭にてさらに溶剤を添加した後、製品として⑯で充てんされる。

コボール・ミルで処理される時点でのサスペンションは、農薬原体の平均粒度として $d_{50}=30\mu$ 、濃度約50%で、粘度が約5,000cpである。これを農薬原体の平均粒度 $d_{50}<5\mu$ まで粉碎し、分散する。この場合のコボール・ミルのタイプ別の所要動力と処理量は次のようになる。

型式	モータ馬力	最大処理量
MS-12	2.2 kW	60 kg/h
18	5.5 %	100 %
32	15.0 %	300 %
50	37.0 %	600 %
65	75.0 %	1,200 %

9. 塗料生産におけるミルの比較⁵⁾

スイスのある塗料会社で、船用プライマー・ペイントを対象として、コボール・ミルと従来タイプの媒体攪拌ミルを比較実験したデータを第2表に示した。このペイントは、溶剤としてメチル・エチル・ケトンを用い、鉄系顔料、quartz fillerを分散させたものであり、粒度の要求は25 μ 以下99%というものであった。実験に使用したミルは、モータ馬力がほぼ等しいものを選んだ。また使用メディアなどの実験条件も、それぞれのミルに最適なものを選

第 2 表 ミル比較データ

Table 2 Comparative data of mills

Item	FRYMA	Competitor
Mill model	CoBall-Mill MS-50	×
Motor Power (KW)	36	37
Labour (operator works 2 machines)	1/2	1/2
Weight of grinding media filling (Kg)	14	186
Grinding media usage for grinding 1 ton of product (Kg/ton)	0.65	4.26
Throughput of the mill for the grinding of a primer paint (Kg/h)	290	200
Manufacturing time per ton of product (h)	3.45	5
Obtained fineness	99% < 23 μ	99% < 30 μ
Manufacturing costs per ton of product primer (円)	ca. 23,000	ca. 70,000

んで実験された。なお、表中の製品 1 ton 当りの生産コストは、電力費、人件費、維持管理費、機器の減価償却などを勘案して算出されたものである。

この結果、コボール・ミルによれば

- 1) 製品 1 ton 生産するのに必要な時間が 5 時間から 3.45 時間になり、約 30% 短縮できる。
- 2) 製品 1 ton 当りの生産コストが 70% 近く低減する。
- 3) 作業員を増やすことなく、生産量増加がはかれる。
- 4) 粉碎メディア摩耗量が少ない。

などのメリットがあることがわかった。

10. むすび

新しい形式の微粉碎および分散機として、コボール・ミルを紹介した。本文に述べたように、粉碎ゾーンを狭いギャップで構成することにより、メディア間に強いせん断力を生じるものであり、従来の媒体攪拌ミルのカテゴリーにとどまることなく、高粘度液体の混合など、新しい応用分野を期待される。

弊社本社工場技術開発センターに、テスト機として写真 2 に示した MS-18 型を設置しており、今後、各種データの蓄積に努め、稿を改めて紹介したいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 尾崎義治：工業材料，Vol. 31, No. 12, p. 21.
- 2) W. John: "From the drum mill to the annular chamber mill" (Netzsch 社資料)
- 3) G. Bühler: Chem.-Ing.-Tech., Vol. 54, No. 4, p. 371.
- 4) H. Schlichting: "Boundary-Layer Theory" (1968), McGRAW-HILL, p. 500
- 5) Fryma 社 技術資料, IS 131.
- 6) Fryma 社 Bulletin 2/82.
- 7) Fryma 社 技術資料, IS 129

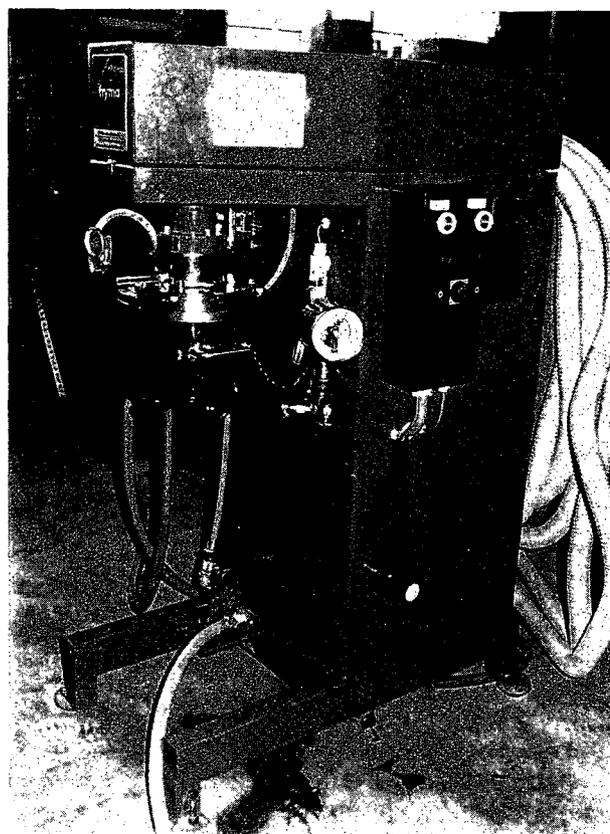


写真 2 テスト用コボール・ミル MS-18 型
Photo 2 CoBall-Mill MS-18