

Recently the powder mixing technique plays an important role as basic technique in various field of new technology. Our newly developed "Rocking Mixer" performs a diffusive mixing by rotating and a convective mixing by oscillating simultaneously to make a complete and uniform blend in a short operation time. Our mixer can be used widely in any industrial fields such as medicines, cosmetics, industrial chemicals, ceramics, electronic materials, etc. We are pleased to introduce the motivation of our development, the status of mixer and general information on mixing together with the construction and characteristics of our mixer and the direction of our research activity in the future as follows.

1 まえがき

気体、液体、固体につづく第4の物質と呼ばれるようになった粉体は、最近の技術革新を支えている新素材のファインセラミックス、高分子材料、複合材料及びアモルファス、形状記憶合金などの新金属にも不可分な関係をもつもので、医薬品、食料品をはじめほとんどの工業製品に何らかのかかわりを持っている。

現在我が国に於けるこれら粉体の使用量は、1年間で6億トン、1人当たり5トンになると推定されている。粉体の利用分野と粉体処理技術は、図1に示すように、新しい素材の開発により拡大され、粉体産業はここ2・3年、急速に台頭し脚光を浴びてきた。その端的な現れとして、昭和51年以来、隔年に開催されている「粉体工業展」が、第1回目の出品社数108社、来場者数2万人に対し、第4回目の昭和60年には159社、7万人にも達

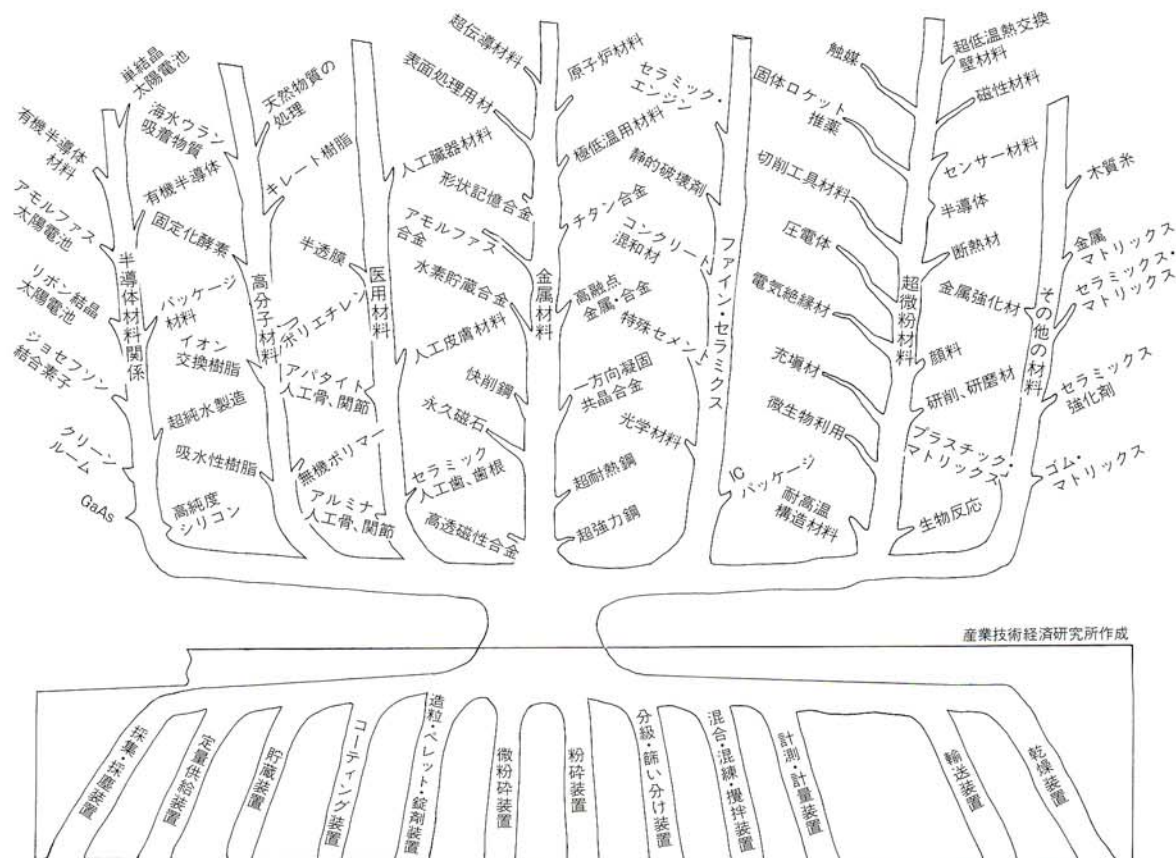


図1 / 粉体の利用分野と粉体処理技術
Fig. 1 / Utilizable field and processing technique of Powder

(週刊ダイヤモンド'85/3-23特大号より転載)

し、また昨年、名古屋で開催された「ファインセラミックスショー」には23万人もの入場者を記録した。

「21世紀は粉体の時代」ともいわれており、当社ではこのような粉体市場の未来性に着目し、粉体機器製造への参入を決め、第1段階として、当社独自の回転・揺動式の乾式粉体混合機〔ロッキングミキサ〕(図2)を開発、商品化したので、ここに紹介する。

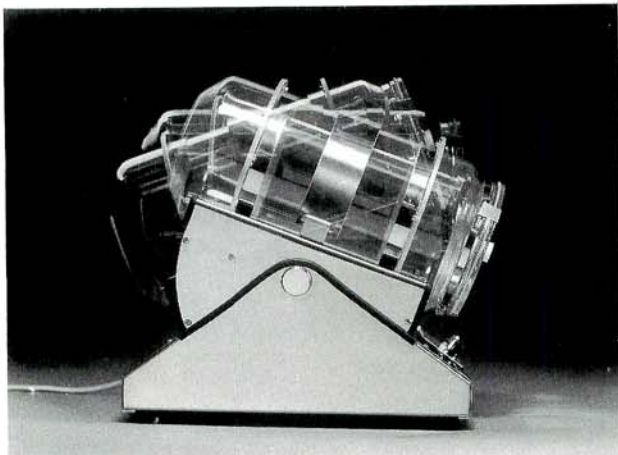


図2/ロッキングミキサ(RM-10G)
Fig. 2/ Rocking Mixer

2 粉体プロセス装置

表1/粉体プロセス装置例

Tab. 1/Examples of Powder processing equipment

単位操作	区 分	装 置 例
(1) 粉 砕 破 砕 磨 砕	粗 砕	ジョウクラッシャ、ジャイレトリークラッシャ、インパクトクラッシャ
	中 砕	ロールクラッシャ、ハンマクラッシャ
	微 粉 砕	ボールミル、ロッドミル、エッジランナ
	超微粉砕	ジェットミル
(2) ふるい分け		ジャイロシフタ、バイブレーティングスクリーン
(3) 流体分級	慣 性	エアークレパレータ、ルーバセパレータ、ファントングレン
	遠 心 力	サイクロンエアークレパレータ、ミクロンプレックス
(4) 集 塵	慣性・衝突	ルーバー形
	遠 心 力	サイクロン形
	濾 過	バッグフィルタ
	電 気	コットレル
(5) 固液分離	沈 降	シクナ
	濾 過	フィルタープレス、ディスクフィルタ
	遠 心 分 離	デカンタ、遠心濾過機
(6) 混 合 捏 和 混 練	容器回転形	V形混合機、二重円錐形混合機、マラー
	容器固定形	流動層混合機、スクリュウミキサ
	複 合 形	かくはん翼付V形混合機
(7) 輸 送 供 給	輸 送	バケットコンベヤ、スクリュウコンベヤ、ベルトコンベヤ、振動コンベヤ
	供 給	スクリュウフィーダ、ベルトフィーダ、振動フィーダ
(8) 造粒・コーティング		ドラム形造粒機、皿形造粒機、流動造粒機
(9) 乾 燥		ロータリードライヤ、流動層乾燥機、スプレッドライヤ

粉体は物性面において、まだ不明なことが非常に多く、液体や気体に比較し、扱いにくい。そのプロセスには粉体特有の流動性、フラッシング、偏析、付着、固結、摩耗の現象を考慮せねばならず、したがって粉体プロセス装置は多種多様にわたっている。

粉体プロセス装置を大きく分類すると次の7種類になる。

- (1) 粉砕機
- (2) 分級機
- (3) 集塵機
- (4) 混合機
- (5) 供給機
- (6) 造粒機
- (7) 乾燥機

また、粉体プロセス装置をプロセスの単位操作別にまとめると、表1のようになる。

3 粉体混合機

3.1 粉体混合機の分類

粉体混合は2種類以上の不均質な成分からなる粉体に適当な操作を加えることにより、各粉体の分布を均一にする操作であり、工業的には単なる混合だけでなく、反応・乾燥・造粒・コーティングやロット調整などの、複合目的をもっている。

粉体粒子は流体と異なり、自己拡散の性質を持たないため、外力を加えて混合する必要がある。したがって粉体混合機は粉体に外力を加える方法により、

- (1) 容器回転形—混合容器自体が回転する。
- (2) 容器固定形—かくはん翼または気流で混合する。
- (3) 複合形—上の両者を組合せたもの

に分類される。

図3に粉体混合機の分類(混練機は除く)を示す。

当社のロッキングミキサは水平円筒形に揺動機構を付加した容器回転形である。

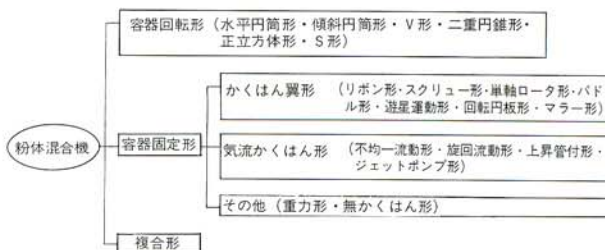


図3/粉体混合機の分類

Fig. 3/Classification of Rocking Mixer

3.2 混合の3機構

粉体の混合は大別すれば対流(移動)混合、せん断混合、拡散混合の三つの機構から成り立っている。

対流(移動)混合は混合容器やかくはん翼などの回転によって粒子群が大きく位置を移動し、循環流を形成する混合機構で、この機構は混合物全体としての巨視的な混合に寄与し、回分(バッチ)混合に対し有益である。

せん断混合は粒子相互のすべりや衝突、あるいはかくはん翼の先端部、容器壁面などで解砕される作用も含む混合機構であり、準微視的な混合に寄与し、回分及び連続混合の両方にとって望ましい作用である。

拡散混合は近接した粒子相互の位置交換や、新しくできた表面への粒子の散布による、局所的な混合機構であり、混合進行速度は小さいが、組成の均質化には不可欠な微視的混合作用である。

4 ロッキングミキサ

4.1 構造

ロッキングミキサは大きく駆動部と容器に分れる。

駆動部は揺動機構部と回転機構部とで構成され、揺動機構部の動力は揺動用モータから減速機に、更に減速機の出力軸に固定されたクランクに伝わり、揺動台と連結されたロッドを上下させる。

回転機構部の動力は揺動台の下面に吊り、固定された回転用ギヤードモータから回転車輪にチェーンで伝達さ

れ、回転車輪上の容器を回転させる。

容器の片側には投入用大ふた、もう一方には排出用小ふたが装着されている。内部には固定翼が3枚軸方向に溶接され、デッドスペースがなくまた隅角部、溶接部には丸味を持たせ粉の離脱を良くしている。

容器と駆動部は独立しており容器の取付け、取はずしが容易にできる構造となっている(図4)。

4.2 混合機構

ロッキングミキサでは図5(a)に示すように、回転・揺動による巨視的な対流(移動)混合と、固定翼によるせん断混合及び持ち上げられた粉が新しくできた表面へ散布される拡散混合、あるいは粒子の酔歩に起因する微視的な拡散混合が同時に進行している。

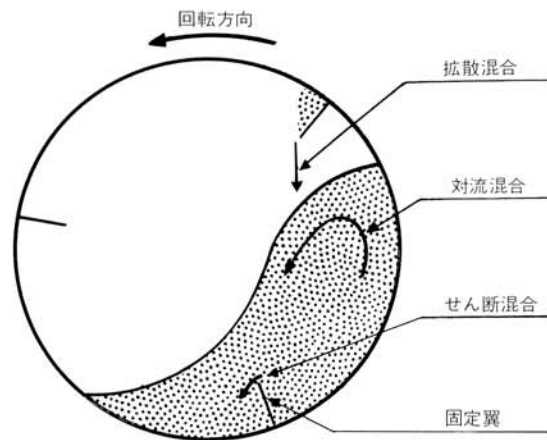


図5(a)/ロッキングミキサ水平状態での混合機構
Fig. 5(a)/ Mixing mechanism in horizontal condition of Rocking Mixer

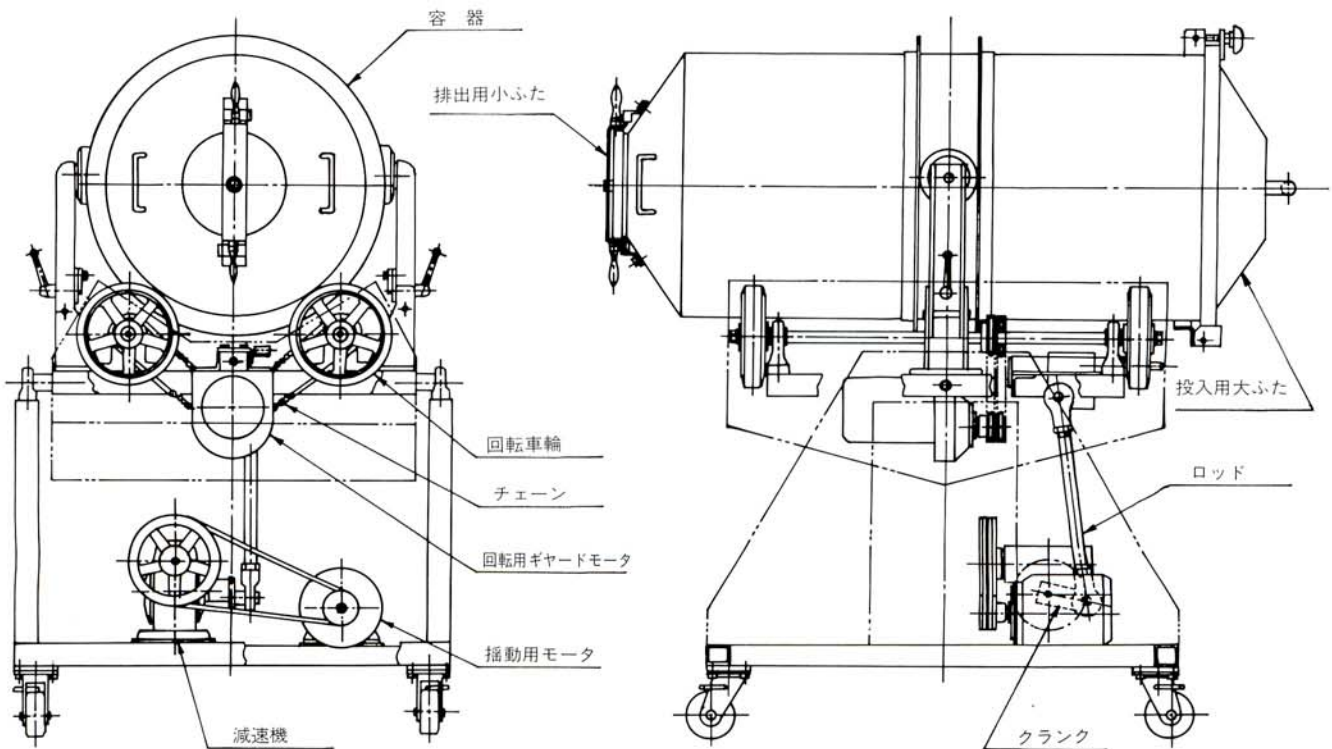


図4/ロッキングミキサ構造図

Fig. 4 Construction of Rocking Mixer

このようにロッキングミキサは水平回転円筒形混合機と比較してせん断混合・拡散混合が助長され、軸方向の混合が速い。

固定翼の効果は揺動が加わることにより顕著になる。水平回転状態では持上げられた粉は安息角以上で対流粉体表面に落下するが、左右への移動は酔歩運動だけで混合が遅い。図5(b)に示すように、容器に角度を付けることにより、持上げられた粉粒は固定翼上をころがらないと仮定すれば、粉体移動距離は、

$l = h \sin \theta$ (l : 移動距離 h : 落下距離 θ : 揺動角度) で表され、この粉体移動により軸方向の混合が促進される。

この効果は粉体排出時にも利用され、図6のように揺動を停止させ、回転を与えることにより小さな排出口からの完全排出を可能とし

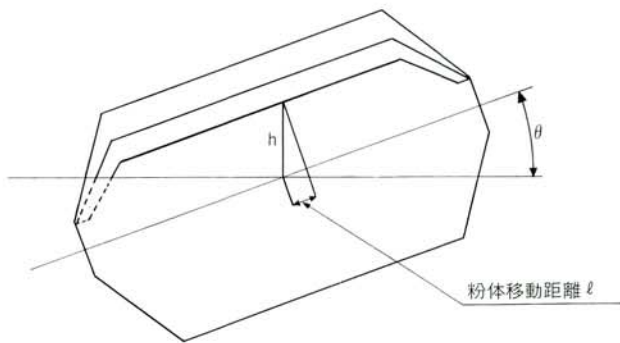


図5(b)/固定翼の混合効果
Fig. 5(b)/ Effect of mixing plate

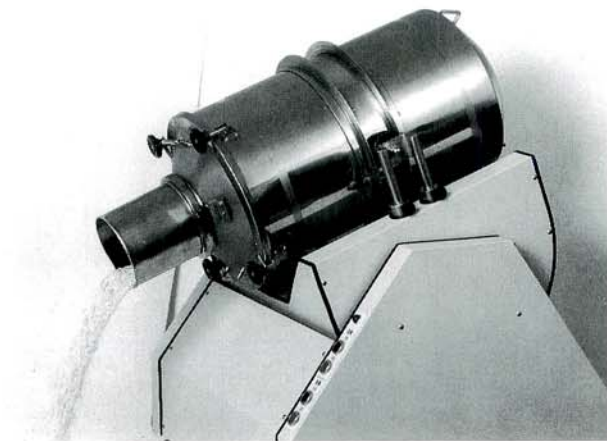


図6/粉体排出方法
Fig. 6/ Method of taking out powder

4.3 性能評価

混合機の性能評価方法として最終混合度と混合速度が考えられる。

混合状態は統計的数値として標準偏差 σ (または不偏分散 σ^2) で表現できる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_s)^2}$$

ここで

$$\bar{x}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

N : 採取したサンプル数

x_i : 着目成分の濃度

\bar{x}_s : サンプル濃度の平均値

縦軸にサンプルの標準偏差 σ の対数、横軸に時間を取ってプロットした曲線を混合特性曲線といい、前半の直線部の傾きを混合速度係数、後半の混合と分離の両作用が動的平衡状態に対する時の混合度を最終混合度 (σ_f) という。

図7(a)にロッキングミキサ RM-300 (容器容量300 l) での粉体そう入率をパラメータとした混合特性曲線を示す。

図7(b)に容器回転形混合機の中では適応範囲が広く、最も一般的であるV形混合機(容器容量10 l)とロッキングミキサRM-10(容器容量10 l)との混合特性の比較を示す。

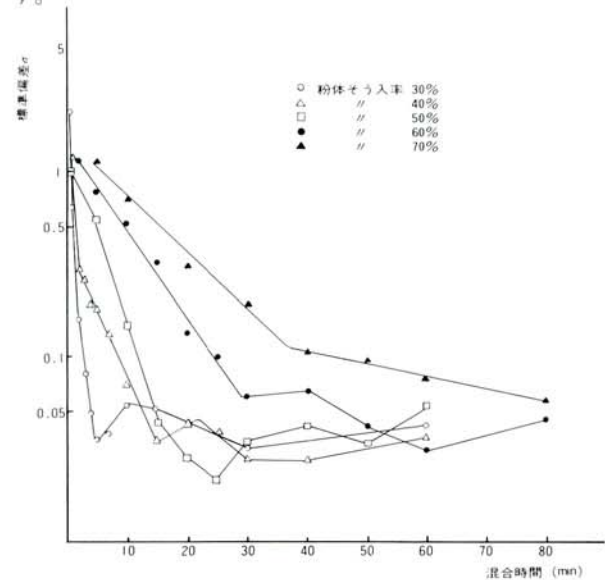


図7(a)/RM-300混合特性曲線
Fig. 7(a)/ Characteristic of RM-300 Rocking Mixer

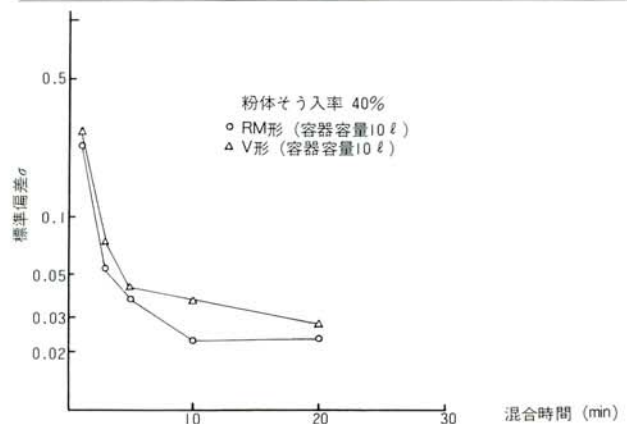


図7(b)/ロッキングミキサとV形混合機の混合特性比較
Fig. 7(b)/ Comparison of mixing characteristic between Rocking Mixer and V Type Mixer

図7(a)では $\sigma=0.03\sim0.05$ 近辺で混合と分離を繰り返している。最終混合度は $\sigma_r=0.05$ である。

そう入率70%では、前半の $\sigma=0.1$ までは対流混合で混合が進行しているが、後半は拡散混合作用で徐々に $\sigma_r=0.05$ 近辺まで混合が進むと推定される。

図7(b)からV形混合機よりロッキングミキサの方が混合速度・最終混合度とも優れていることが分る。

4.4 容器回転速度

水平円筒形混合機などでは、回転数を上げていくと粉体が容器壁面に押付けられて回転するようになる。この時の回転数を臨界回転数といい次式で示される。

$$N_{cr} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R_{max}}}$$

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

N_{cr} : 臨界回転数 (r.p.m)

R_{max} : 容器の最大回転半径 (m)

容器回転速度が過大になると粉体層に不動部を生じ混合効果は低下する。逆に回転速度が小さすぎても混合効果は劣る。したがって一般的には容器回転速度は N_{cr} の50%~80%とされている。

ロッキングミキサRM-300($R_{max}=0.28m$)の容器回転数は $N=21$ (r.p.m)で、臨界回転数 N_{cr} の37%の回転速度となり、非常に遅いといえる。しかし混合速度、最終混合度とも他の容器回転形混合機に比し優れているのは、揺動による混合効果のためである。

回転速度を遅くすることにより、機械寿命を延ばし、所要動力を減らし、また混合粉体の物性変化も抑えることができる。

4.5 基準仕様

(1) 容器形状 (図8参照)	$\frac{L}{D} = 1.65$ 、円錐部35°
(2) 回転数	$\frac{0.6 \times 60}{\pi D}$ (r.p.m)
(3) 揺動数	回転数 1.8
(4) 揺動角	±20°

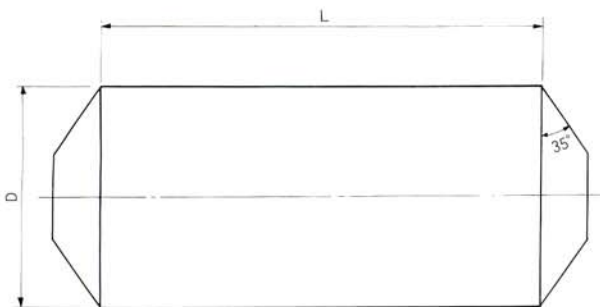


図8/容器形状
Fig. 8/ Shape of container

4.6 特徴

- (1) 混合速度が速く、混合比・比重差・粒径差などにあまり影響されないため、それらの混合条件に対し適用範囲が広い。
- (2) 粒子の性状を損わないソフト混合であるため、造粒物や顆粒などの混合及び医薬品などの柔らかい結晶質の混合に適する。また、セラミックなどの摩耗性のある粉体の混合にも適する。
- (3) 固定翼の粉体持上げ効果を利用した排出機構であるため、排出が迅速で完全排出ができる。また容器の回転速度をコントロールすることにより、排出量の制御もできる。
- (4) 混合容器に複雑な羽根が無いいため、洗浄が容易である。
- (5) 混合容器が本体より簡単に取外しができるため、運搬容器、貯蔵容器にも利用できる。したがって容器の多目的利用、複数個利用により、投入・排出・洗浄に要する時間軽減、並びに粉体プロセスのシステム化、省力化を図ることができる。また容器を特定することによって、交差汚染(cross contamination)の防止にも効果がある。
- (6) 処理能力に比し、運転が静かであり、安全で設置面積が小さく、据付も簡単である。

4.7 種類及びオプション機構

(1) 解砕機能付混合機(RMD形)

容器内にかくはん翼を装置したロッキングミキサは、せん断混合により混合速度を増加させるだけでなく、凝集性粉体の解砕や多少の液添加混合にも適応できる。

かくはん翼は容器の軸方向に取付けられ、容器回転方向と逆方向に高速回転している。

(2) 加熱装置付混合機(RMH形)

電磁誘導、遠赤外線ヒータなどで容器を加熱することにより、粉体の乾燥・ばい煎・加熱造粒・反応に適応できる。

(3) 容器着脱装置付混合機(RM-CD形)

この装置により、容器を多目的に使用した無人混合システムが構築できる。

(4) 高比重タイプ(RM-HD形)

(5) 高傾斜簡易投入装置付混合機(RM-EC形)

(6) サニタリータイプ

主として医薬品に使用され、容器内面は特殊加工を施したものである。

(7) 耐圧防爆タイプ

発火しやすい粉体では粉塵爆発の危険があり、安全増防爆形(eG3)・耐圧防爆形(d2G4)が要求される。

(8) その他

容器にロータリージョイントを取付け、混合中のガス

置換や真空引きを可能にした装置、例えば粉塵爆発の危険があり、空気接触を嫌う場合、このような機構が付加される。また洗浄ノズルを取付けて定置洗浄を容易にしたものなどがある。

4.8 適用例

ロッキングミキサは汎用性に富んだ混合機であるため、いろいろな分野で使用されている。適用例の一部を表2に示す。

特に性状を損わないソフト混合が要求されるニューセラミックス、新金属、エンブラなどの新素材業界、及び家庭用の「スープの素」などの食品業界や容器洗浄機能の簡便性から薬品業界にも数多く利用されている。

表2/ロッキングミキサ適用例

Tab. 2/ Application of Rocking Mixer

食 品	スープの素、ダシの素、お茶漬け、おむすびの具、漬物塩、粉チーズ、食品添加物、粉末ジュース、ドリンク剤の素、お菓子のコーティング、砂糖の結晶に色素コーティング
薬 品	かぜ薬、解熱鎮痛剤、胃腸薬、抗性物質、肝臓用抗性物質、アミノ酸系薬品、鮮度保持剤
セラミックス	アルミナの調湿、アルミナ+他のセラミックスの混合、ICパッケージ用セラミックス、ナトリウムランブ用硝子、カメラ・ビデオのレンズ材料、耐火材、耐火レンガの混合造粒
金 属	銅粉、酸化マグネシウム、金属粉末+樹脂+フィラーの混合、磁性粉末、焼結金属用粉末、プレーキシュー用粉末
化 学・他	火薬、石灰、砥粒、ダイヤモンド工具の粉、トナー、化粧品、石鹼、溶接用フラックス、樹脂安定剤、可塑剤、土壌改良剤、肥料、木の粉末

5 今後の開発方向

- (1) 定量排出機能付混合機、加湿機能付混合機などの新商品開発による商品群の拡大化。
- (2) 原料投入から混合・計量・分級・排出・包装・運搬までの各機能を有機的に結合するためのシステム化、自動化。
- (3) 計量・混合度・含水率などのコンピュータによるオンライン計測制御化。

図9(a)に「自動混合システム」の例を、図9(b)にそのシステムフローを示す。

6 あとがき

以上粉体装置全般からその一部である混合機に関しての一般技術及び当社で開発した混合機につき述べた。

今後もユーザーニーズに応える新機種の開発、混合機を中心としたシステム化のため一段の研究を重ねたい。

最後にロッキングミキサの開発にあたり、多大な御支援をいただいた愛知電機商事(株)をはじめ関連部署の各位に謝意を表する。

7 参考文献

- (1) 矢野武夫著 混合混練技術 日刊工業新聞社

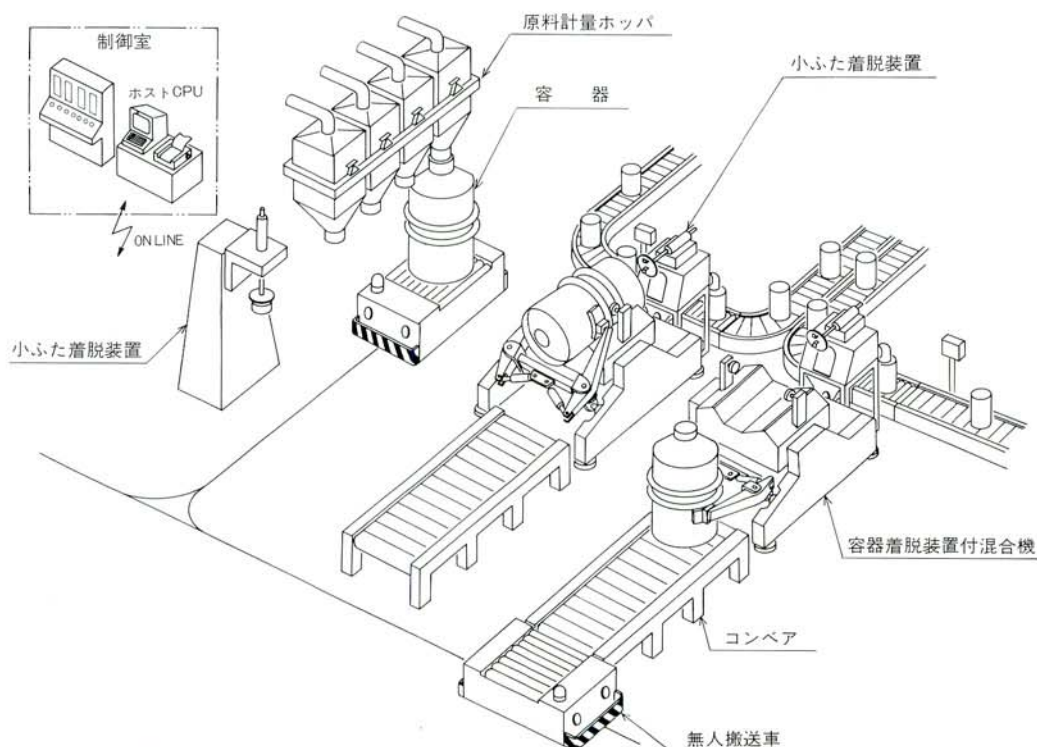


図9(a)/自動混合システム

Fig. 9(a)/ Automatic mixing system

