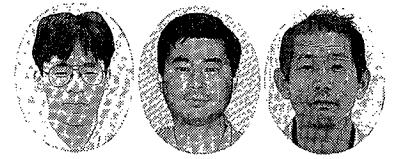


PS ミキサーの性能

Introduction of PS MIXER



技術開発本部 粉体技術室
半田裕利
Hiroto Handa
田中英美
Hidemi Tanaka
谷口十一
Toichi Taniguchi

PS MIXER has been developed to realize precise mixing of powder by strong shear force which a combination of impeller and chopper produces. In this paper, the feature of PS MIXER is introduced as a mixer under vacuum or a mixer for disintegration, and in the field of granulating and drying.

Mixing ability of PS MIXER is shown by using color difference for the mixing test of CaCO_3 and Red Iron Oxide.

Power characteristics is also studied and shown the relationship between power consumption of impeller and mixing chamber volume.

まえがき

近年、粉末成形品の機械的性質の向上、機能性複合材料の製造、ファイン化に伴う微粉砕物質の混合などのニーズから、より精密で高分散が可能な混合機が望まれている。

PS ミキサーは、高速回転する攪拌翼とチョッパーによる複合作用により数種の粉体を短時間で、精密な混合を行うことができる高速剪断型の混合機として開発された。

微量成分の均一混合、比重差のある粉体の高速混合のほか、微量液体添加物の均一分散、フィラーなどの開繊混合、凝集物の解砕混合などに適している。さらにPS ミキサーの機構を活かして、造粒操作や真空乾燥も行うことが可能である。

1. PS ミキサーの機構

第1図にPS ミキサーの概略図を示す。混合槽内に投入された数種の粉体は、槽底部に設けられた高速で回転する攪拌翼により、旋回運動を与えられ槽内壁に沿って掻き上げられる。押し上げられた粉体は球形の槽上部内壁に沿って槽の中心部へ反転し、全体として対流運動を繰り返す。粉体と攪拌翼および槽壁、粉体相互間の相対速度差によって、粉体には強い剪断力が与えられ混合が促進される。

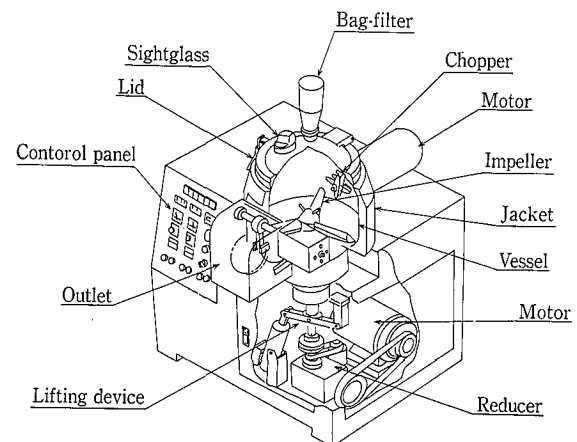
さらに、槽側壁に設けられたチョッパーが、凝集した粉体を解砕しながら粉体に複雑な三次元運動を与え、より精密な混合を行うことができる。また、槽上部が球形であるため混合槽内にデッドスペースがなく、槽壁が常に流動する粉体で更新されていく。攪拌翼のシール部には、粉体の噛み込みを避けるためエアシールを採用している。

PS ミキサーは、第1図に示すように攪拌翼昇降機構を備えることが可能なため、槽内の洗浄時に攪拌翼を取り外すことなく、攪拌翼および槽底の清掃を容易に行うことができる。

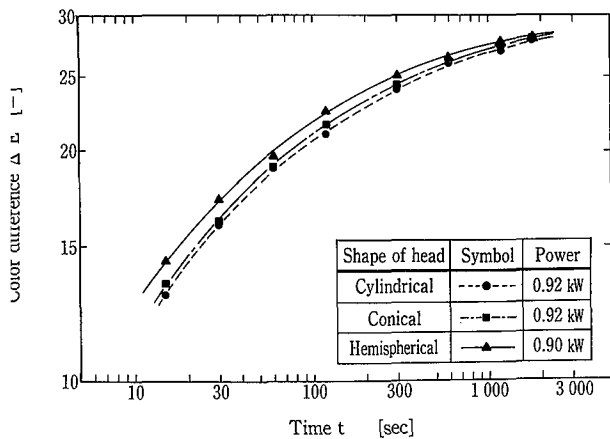
2. PS ミキサーの混合特性

2.1 半球形槽の効果

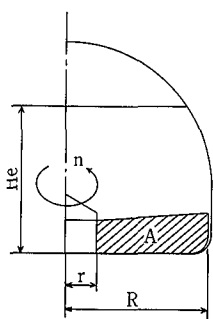
PS ミキサーは槽内上部でのデッドスペースを無くし、混合性能を向上させるため半球形槽を採用している。槽上部の形状の違いによる混合性能を着色度により比較した。混合槽上部の形状を円筒形、円錐形、半球形とした場合の着色度の経時変化を第2図に示す。着色実験は軽質炭酸カルシウム（白色）に1 wt%の弁柄（赤色）を加え、攪拌翼として60°傾斜パドルを用い、翼回転数 960 rpm (≈ 14.6 m/s) で運転した。時間経過とともに混合が進むにつれ、炭酸カルシウム中に散在する赤色の弁柄が均一に分散され、赤色が濃くなっていく。所定の時間毎にサンプリングし、混合開始前の炭酸カルシウムに対する各サンプルの色



第1図 PS ミキサー概略図
Fig. 1 PS MIXER



第2図 着色度比較テスト槽上部形状の影響
Fig. 2 Coloring test; Effect on configuration of upper head



第4図 PSミキサー
Fig. 4 Schematic PS MIXER

差を着色度と定義し色差計（スガ試験機製）を用い色差を測定した。

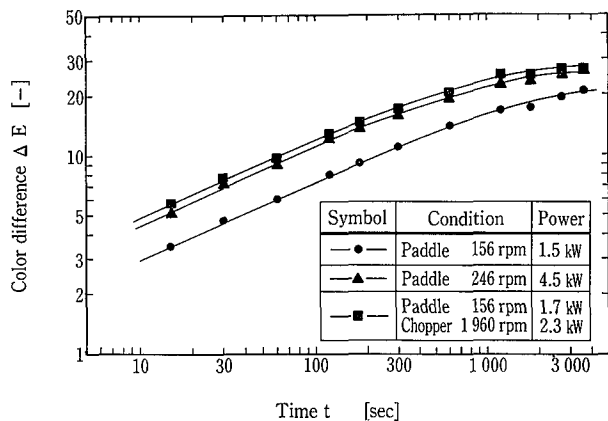
第2図から半球形が着色度も良く、また所要動力も低いことがわかる。なお、槽底部の形状について皿形鏡と半球とを比較したが、差異はみられなかった。これらの実験結果より、PSミキサーの形状を底部を平皿形、上部を半球形にした。

1.2 チョッパーの効果

PS-30型(全容量340 lt)のPSミキサーを用い、攪拌翼のみの場合とチョッパーを併用したときの着色度を比較した。試料としては2.1と同様に炭酸カルシウムと弁柄を用いた。チョッパーの混合性能に対する効果を見るために攪拌翼は、同一回転数(156 rpm)で運転し、チョッパー無しの場合とチョッパーを1960 rpmで回転させた場合の着色度を比較した結果を第3図に示す。なお、参考に攪拌翼を高速回転(246 rpm)で運転したときの結果も併記した。この結果から、弁柄のような凝集性が強い粉体に対する混合操作には強い剪断力が必要であり、チョッパーの効果は極めて大きいことが判る。

今まで行った種々の実験結果から、攪拌翼を低速で運転し、チョッパーを高速で運転することにより

- (1) 攪拌翼モータの小型化を図る。
- (2) 攪拌翼だけでは高剪断を与えられない物質を混合する。
- (3) チョッパーによって与えられる発熱は、攪拌翼に比べ、非常に少ないので、熱に敏感な物質を混合する。などの場合にチョッパーの効果が発揮される。



第3図 着色度比較テスト チョッパーの影響
Fig. 3 Coloring test; Effect of chopper

3. PSミキサーの動力特性

一般に容器固定型混合機の動力は剪断力、慣性力および重力の項から成り立っているが、重力の項は他の2項に比して無視でき、動力推算式は無次元式として(1)式の形でまとめられる¹⁾。

$$N_P = K_1 \cdot N_M^{-1} + K_2 \quad (1)$$

いま第4図に示すPSミキサーで考えると、(1)式における動力数 N_P とレイノルズ数に相当する無次元数 N_M は

$$N_P = P g / \rho n^3 R^2 A \pi (R+r) \quad (2)$$

$$N_M = n^2 R^2 / g \mu H_e \quad (3)$$

で定義される。

また(2)、(3)式で使用した文字は

- P: 攪拌動力 (kg・m/sec)
- ρ : 試料嵩密度 (kg/m³)
- A: 翼投影面積 (m²)
- R: 翼半径 (m)
- r: ボス半径 (m)
- μ : $\tan \phi$ ϕ : 安息角
- H_e : 仕込高さ (m)

である。

テストに用いたミキサーは、PS-02型(全容量23 lt)、PS-05型(全容量50 lt)、PS-30型(全容量340 lt)で、いずれも形状相似の60°傾斜3枚パドル翼を使用した。試料としては

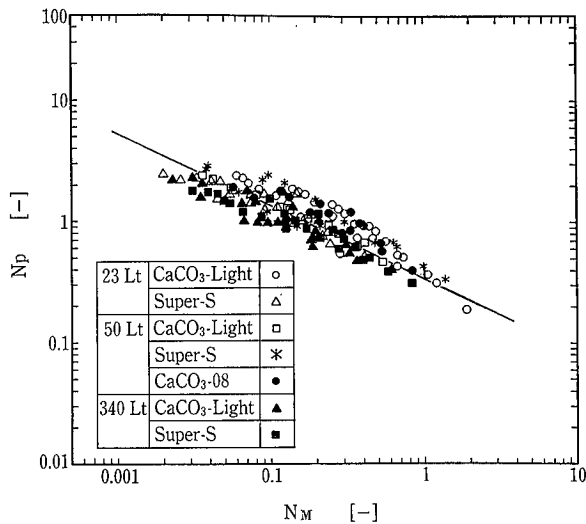
- 軽質炭カル ($\rho=0.42$, $d_{50}=2 \mu$)
- 08重炭 ($\rho=1.37$, $d_{50}=5.5 \mu$)
- スーパーS ($\rho=0.64$, $d_{50}=4 \mu$)

を用いた。これらは一般市販用の炭酸カルシウム(丸尾カルシウム製)である。試料の投入量と攪拌翼回転数を変化させ、攪拌動力を測定した。実験値から N_P , N_M を計算しプロットしたものを第5図に示す。

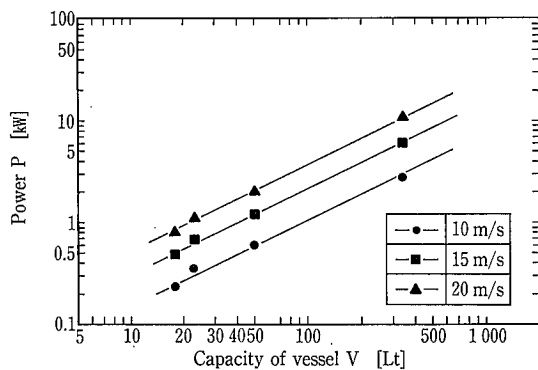
図より、

$$N_P \propto N_M^{-0.6} \quad (4)$$

の相関関係がみられる。



第5図 動力数 N_p と撹拌レイノルズ数 N_M の関係
Fig. 5 Relationship between N_p and N_M



第6図 槽容量と動力の関係
Fig. 6 Relationship between capacity of vessel

試料物性は同一で、周速一定、幾何学的に相似である条件でスケールアップを考え、(4)式を変形すると、

$$P \propto R^{2.6} \quad (5)$$

さらに槽容量 $V(m^3)$ を用いて変形すると

$$P \propto V^{0.87} \quad (6)$$

となり、モータ動力は槽容量の0.87乗に比例することになる。

この関係を確認するために代表的粉体として、軽質炭酸カルシウム($\rho=0.42$)を用い、槽容量18 Lt, 23 Lt, 50 Lt, 340 Ltの各機種で周速を10 m/s, 15 m/s, 20 m/sとして運転したときの槽容量と所要動力の関係を第6図に示す。これより、

$$P \propto V^{0.87} \quad (7)$$

となり、式(6)と同様の結果となった。

4. PSミキサーの適用例

4.1 混合

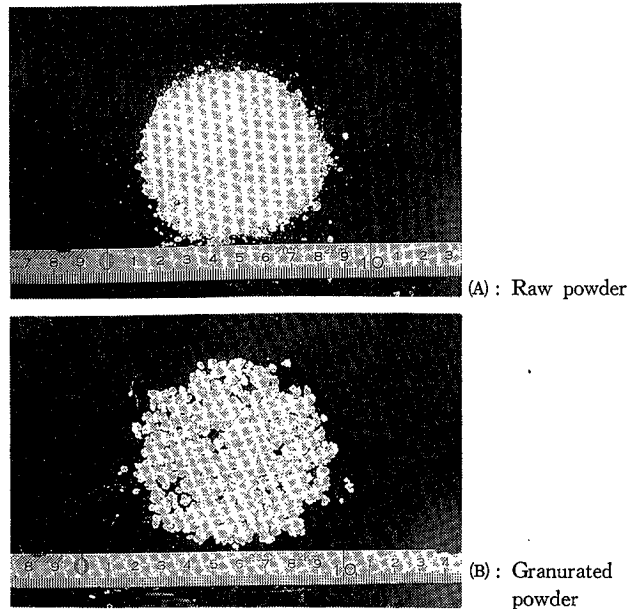


写真1 PSミキサーでの造粒テスト
Photo. 1 Granulating test on PS MIXER

PSミキサーは、微量添加剤の混合、コンパウンド原料などの単なるミキシングだけでなく、繊維状物質の開繊、微粒子凝集物の解砕混合、真空下での混合などが可能である。

1) 真空混合

空気酸化性のある物質または粉塵爆発の恐れのある物質等の混合においては、槽内を減圧し、真空下で混合することが有効である。

また、非常に嵩密度が小さく、撹拌動力をかけにくい粉体は、真空下で混合することにより粉体層中の空気を取り除くため見掛けの嵩比重が大きくなり、混合に必要な剪断力を有効に与えることができる。さらに、ポーラスな物質に対する顔料等の含浸にも有効である。

2) 解砕混合

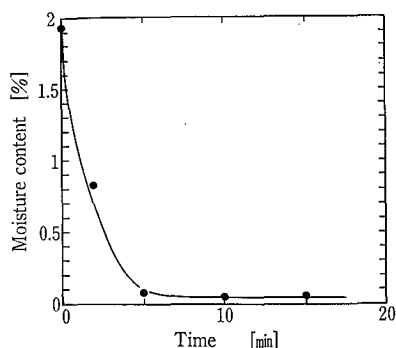
微粉になればなるほど一般に凝集性は大きくなる。このため剪断力の弱い混合機ではだまになったり、完全に混合できず未分散のまま残り所望の混合物が得られない場合がしばしば見受けられる。PSミキサーにおいてはチョッパーを高速で回転することにより、凝集性粉体の解砕を行い、良好な混合物を生成することができる。

4.2 造粒

PSミキサーは、その機構を利用して造粒機としても使用できる。一例としてPS-05型(撹拌翼:60°傾斜3枚パドル, 回転数250 rpm, チョッパーなし)により、試料として軽質として軽質炭酸カルシウム6 kg, バインダとしてPVA 2.5%水溶液2 kgを用い、造粒テストを行った際に得られた生成物を写真1に示す。PSミキサーでは一般的に重質の球形造粒物が得られる。混合後の偏析防止、ハンドリング時の粉立ち防止等に造粒操作が適用される。

4.3 乾燥

PSミキサーを乾燥機として利用した例を紹介する。第1表に示す条件で、炭酸カルシウムの乾燥を行ったところ、第7図に示すように約5分の運転で初期値2%の含水



第7図 PSミキサーでの乾燥テスト
Fig. 7 Drying test on PS MIXER

が0.1%以下になった。これは、外套からの加熱と攪拌[の回転による攪拌熱の発生に加え、槽内の粉体が高速で循環しているため、伝熱効率が極めて良いことによる。

PSミキサーの用途

PSミキサーの実施例を分野別に分類すると次のようになる。

食品分野：香料の分散，食品添加剤の混合

医薬分野：薬品添加剤，安定剤の混合および造粒

化学分野：酸化チタン，炭酸カルシウムなどの混合および乾燥

窯業分野：建材原料，ガラス原料，セメント材などの混合，混練，造粒

第1表

Table 1

Test equipment	PS-05
Test sample	Super-S
Sample capacity	23.0 kg
Impeller revolution	500 rpm
Pressure in vessel	410~110 torr
Temperature of jacket	130 °C (Steam)
Mixing power	3.5~6.5 kW
Purge air	20 lt/min

樹脂分野：コンパウンド原料の混合・カラーリング，顔料の分散，フィルターを開織し樹脂中に分散，樹脂のゲレーション造粒

金属分野：アトマイズ粉，アルミ粉，その他重金属の混合

むすび

PSミキサーの混合・動力特性とその適用例についていくつか紹介させて戴いた。これらの例が読者各位の目に止まり何らかの参考とならんことを期待している。同時にPSミキサー PS-05型を弊社技術研究所内粉体実験室に設置しており，各位の新たなる用途開発や，技術チャレンジに御協力させて戴ける機会が与えられんことを希望している。

〔参考文献〕

- 1) 宮南啓：化学装置，23，(1)，75 (1981)