

PSミキサーのスケールアップ

Scaling up of the PS MIXER



(化)技術部 設計第2課
半田裕利
Hirotoishi Handa

The PS MIXER is a high-speed shearing type mixer which can mix several types of powder substances in a short time, using its powerful force.

This paper describes the scaling up of the PS MIXER. A calculation formula for estimating the agitation force is presented, using the ratio of the blade's peripheral speed, the amount of powder fed, and the vessel capacity.

The mixing characteristics are also examined by performing the coloring test to indicate that the scaling up is possible with the peripheral speed kept constant.

まえがき

PSミキサーは第1図に示すような構造をもち、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の出来る高速剪断型の混合機である。また、単なるミキシングだけでなくその幾構を活かし、凝集物の解砕混合、繊維状物質の開織、攪半造粒、真空乾燥も行うことが出来る。

PSミキサーの混合機構、特長については既に紹介した¹⁾が、本稿ではPS-100型(全容量1060Lt)で攪拌動力、混合性能のテストを実施する機会を得たのでその実験結果とあわせてPSミキサーのスケールアップについて紹介する。

1. 攪拌動力

1.1 主翼の攪拌動力

パドル型混合機の動力推算式は(1)式の形でまとめられることが報告されている²⁾。

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

ここで、 N_P は液体攪拌における動力数、 N_M はレイノルズ数に相当する無次元数である。

$$N_P = P g / \rho B R^4 N^3, \quad (2)$$

$$N_M = N^2 R^2 / g \mu H_0 \quad (3)$$

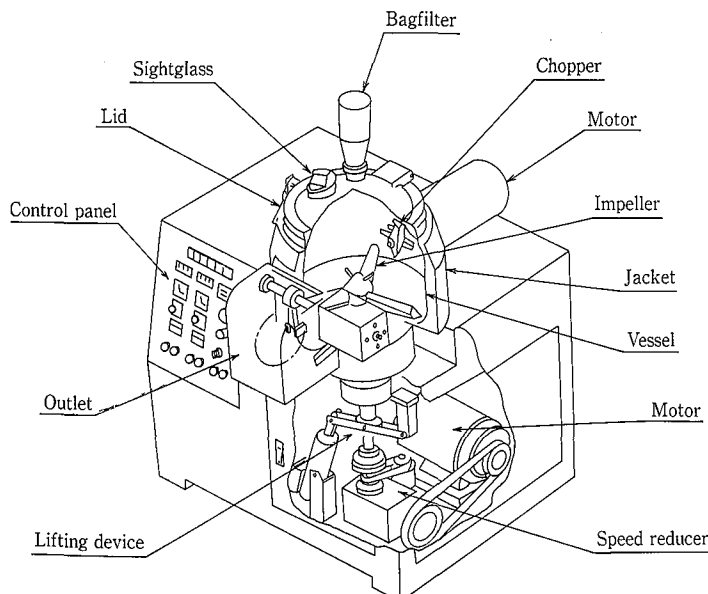
PSミキサーでは N_P 、 N_M を(4)、(5)のように定義し、比較的粉体物性の似かよった試料について実験したところ

$$N_P = P g / \rho R^2 A \pi (R+r) N^3 \quad (4)$$

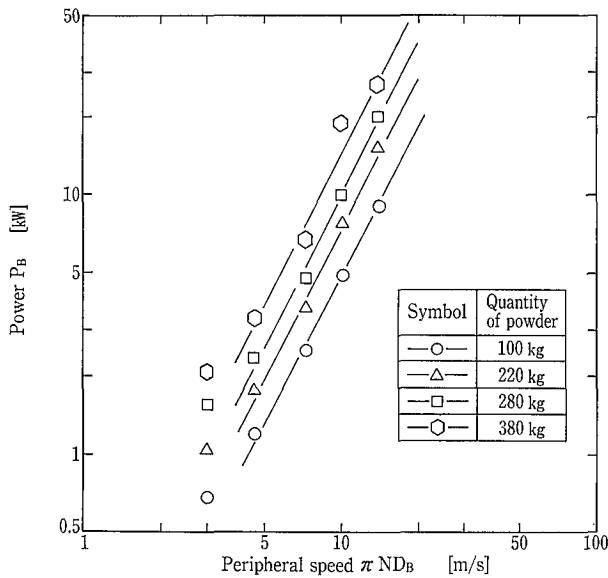
$$N_M = N^2 R^2 / g \mu H_0 \quad (5)$$

$$N_P = K_1 N_M^{-0.6} + K_2 \quad (6)$$

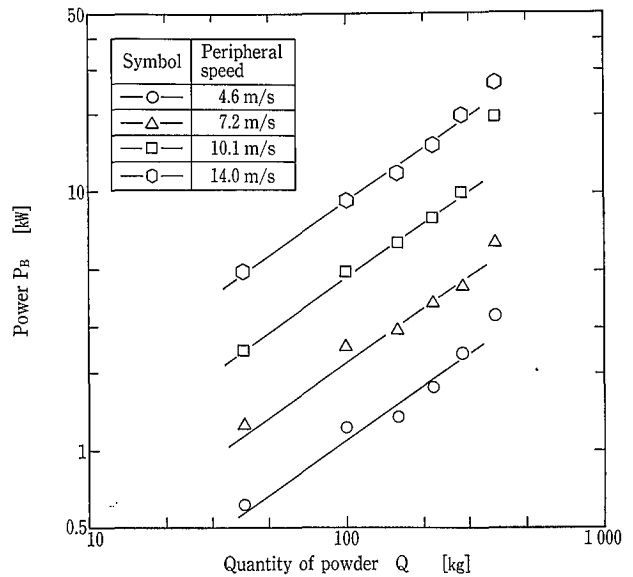
で関連されることが分かっている¹⁾。



第1図 PSミキサ概略図
Fig. 1 PS MIXER.



第2図 周速と動力の関係
Fig. 2 Relationship between peripheral speed and power.



第3図 投入量と動力の関係
Fig. 3 Relationship between quantity of powder and power.

前述の式で使用した文字は次の通りである。

- P : 攪拌動力 (kg・m/sec)
- N : 翼回転数 (1/sec)
- ρ : 試料かさ密度 (kg/m³)
- A : 翼投影面積 (m²)
- R : 翼半径 (m)
- r : ポス半径 (m)
- μ : $\tan \phi$ ϕ : 安息角
- H₀ : 仕込高さ (m)
- μ_1 : 粉体の静止摩擦係数
- B : 翼幅

しかし現実には高速回転型の粉体混合機の内部流動状態はとくに粉体物性(粒径, 粒子形状, 流動性等)により大きく異なり上式で一概に取り扱うことは困難である。

本稿では, あくまで装置を幾何学的相似条件でスケールアップし, 所要動力は少容量の実験装置により確認することを前提として攪拌動力の推定を行なうものとする。

1. 1. 1 攪拌翼周速の関係

実験に用いた試料は一般市販用の軽質炭酸カルシウム($\rho=0.42$, $d_{50}=2\mu$)で攪拌翼の回転数を変化させ主翼の所要動力 P_B を測定したものを第2図に示す。

これより先端速度が5 m/s以上で(7)式の関係が得られた。

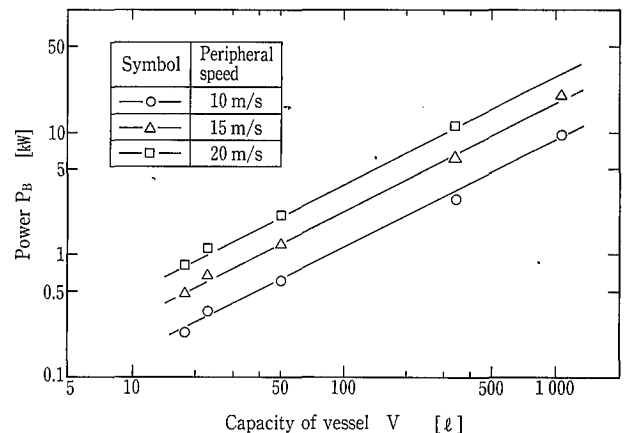
$$P_B \propto (ND_B)^{1.8} \quad (7)$$

式中のDは翼スパン, 添字Bは主翼を意味する。

これは各サイズのPSミキサー, 槽容量18 Lt, 23 Lt, 50 Lt, 340 Ltでも同様の関係が得られている。周速が5 m/sより小さい場合, 容器内の粉が乱流状態にならず特に投入量の多い場合は粉体層上面がうまく流動しないことが目視で確認された。

1. 1. 2 投入量の関係

同様に投入量Qを変化させ所要動力を測定したものを



第4図 槽容量と動力の関係
Fig. 4 Relationship between vessel capacity and power.

第3図に示す。

充填率が70%以下で(8)式の関係が得られた。

$$P_B \propto Q^{0.7} \quad (8)$$

試料の物性及び翼回転数により異なるが粉の投入量が約70%を越えると粉体が移動し得る空間がなくなり十分な対流混合を行なうことが難しくなる。

1. 1. 3 槽容量との関係

槽容量Vが各18 Lt, 23 Lt, 50 Lt, 340 Lt, 1060 LtのPSミキサーで軽質炭酸カルシウムを60%充填し, 周速を10 m/s, 15 m/s, 20 m/sで運転したときの槽容量と所要動力の関係を第4図に示す。

これより(9)式の関係が得られた。

$$P_B \propto V^{0.9} \quad (9)$$

1. 1. 4 主翼所要動力の推定式

以上より小容量の実験装置で得られた所要動力をもとに、スケールアップした場合の所要動力は(10)式で推定される。

$$\frac{P_{BS}}{P_{BT}} = K_B \left(\frac{V_S}{V_T} \right)^{0.9} \left(\frac{N_S D_{BS}}{N_T D_{BT}} \right)^{1.8} \left(\frac{Q_S/V_S}{Q_T/V_T} \right)^{0.7} \quad (10)$$

添字のS, Tはそれぞれスケールアップ装置の場合と小容量実験装置の場合をあらわす。

1. 2 チョッパーの攪拌動力

チョッパーについても主翼と同様に回転数, 投入量, 槽容量の関係を実験的にもとめると次のようになる。

式中の添字Cはチョッパーを意味する。

1. 2. 1 先端速度の関係

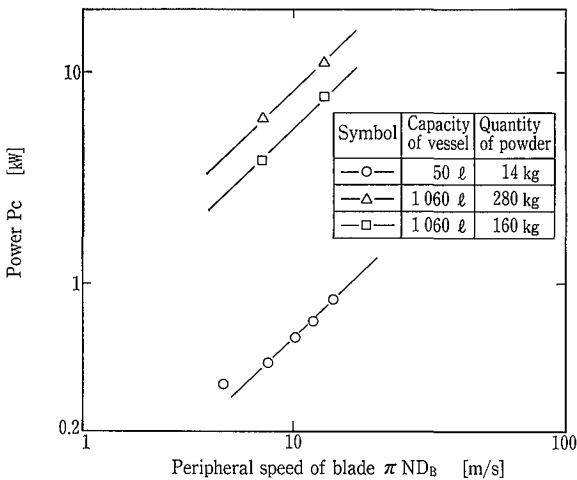
$$P_C \propto (ND_C)^{1.8} \quad (11)$$

1. 2. 2 投入量の関係

$$P_C \propto Q^{0.7} \quad (12)$$

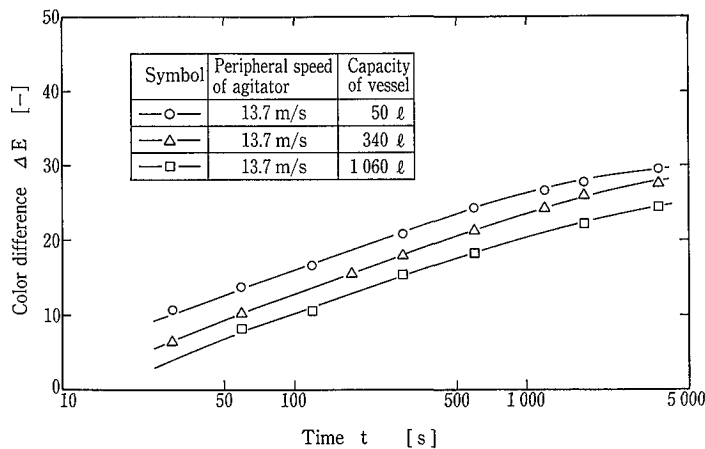
1. 2. 3 槽容量との関係

$$P_C \propto V^{0.6} \quad (13)$$



第5図 主翼周速のチョッパー動力への影響

Fig. 5 Effect of peripheral speed of blade on chopper.



第6図 着色度比較テスト 槽容量の影響 (周速一定)

Fig. 6 Coloring test: effect of vessel capacity at constant peripheral speed.

1. 2. 4 主翼先端速度との関係

チョッパーは主翼が槽内の粉体を全体的に対流混合させるのに対し, 局部的に剪断力を粉体を与え混合を促進させる役目をする。主翼の攪拌動力がチョッパーの回転数にあまり影響されないのに対し, チョッパーの攪拌動力は主翼の回転数の変化による槽内の流動状態の違いに大きく作用され変化する。チョッパーの回転数は固定で主翼の回転数を変化させたものを第5図に示す。

これより(14)式の関係が得られた。

$$P_C \propto (ND_B)^4 \quad (14)$$

1. 2. 5 チョッパー所要動力の推定式

以上より小容量の実験装置で得られた所要動力をもとに, スケールアップした場合の所要動力は(15)式でまとめられる。

$$\frac{P_{CS}}{P_{CT}} = K_C \left(\frac{V_S}{V_T} \right)^{0.6} \left(\frac{N_S D_{CS}}{N_T D_{CT}} \right)^{1.8} \left(\frac{Q_S/V_S}{Q_T/V_T} \right)^{0.7} \left(\frac{N_S D_{BS}}{N_T D_{BT}} \right) \quad (15)$$

添字のS, Tはそれぞれスケールアップ装置の場合と小容量実験装置の場合をあらわす。

2. 混合特性

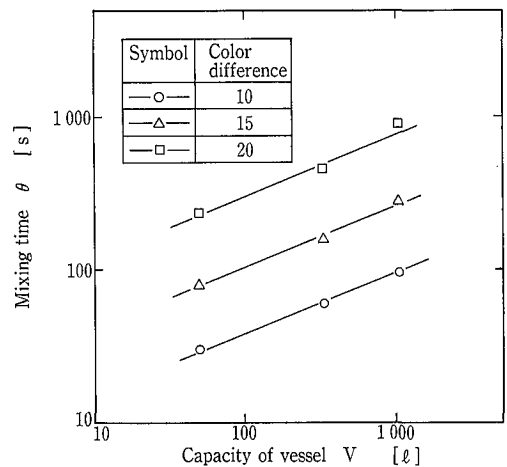
2. 1 実験条件

装置をスケールアップした際, 満足すべき混合状態が小容量実験機と同じように得られるかどうかの問題となる。混合度の目安として炭酸カルシウム (白色) に1wt%の弁柄 (赤色) を加え運転し着色度の時間経過を測定した。弁柄が炭酸カルシウム中に分散されていくにしたがって赤色が濃くなっていくが, 混合開始前の炭酸カルシウムに対する各サンプルの色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。

2. 2 主翼周速一定の場合

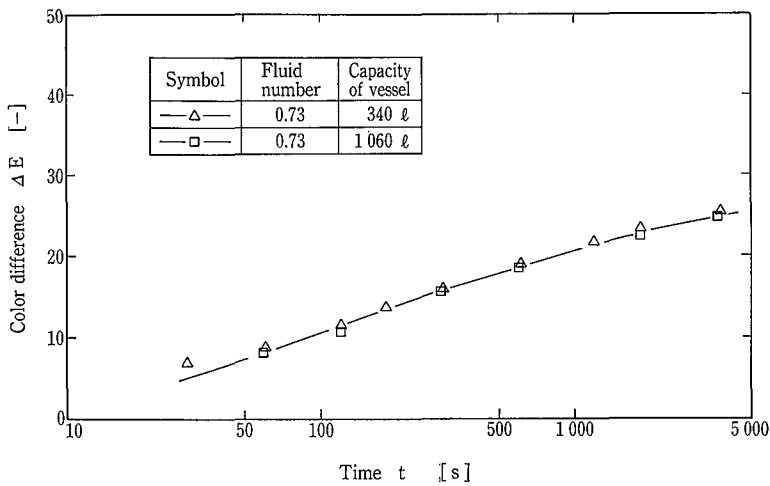
チョッパーを用いずに主翼のみで攪拌し, 周速を一定にした場合, 各槽容量 50 Lt, 340 Lt, 1 060 Lt での着色度の結果を第6図に示す。

装置が大型になるほど所定の着色度に到達するのに時間を要していることがわかる。

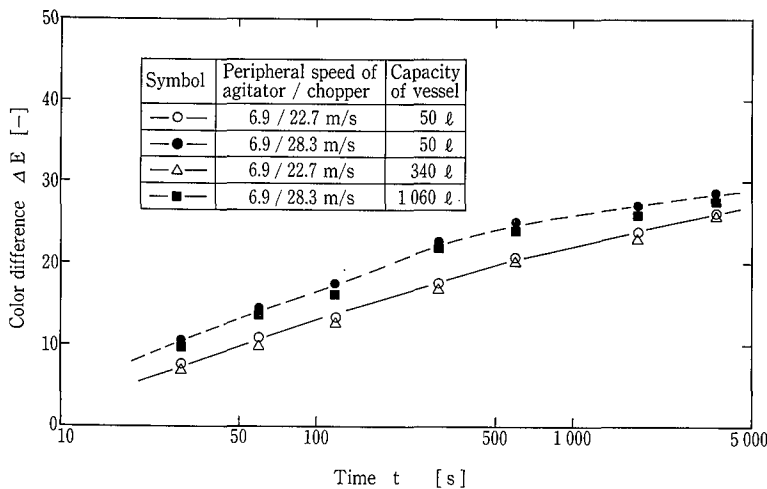


第7図 槽容量と運転時間の関係

Fig. 7 Relationship between vessel capacity and mixing time.



第8図 着色度比較テスト 槽容量の影響 (Fr 数一定)
Fig. 8 Coloring test: effect of vessel capacity at constant fluid number.



第9図 着色度比較テスト 槽容量の影響 (周速一定)
Fig. 9 Coloring test: effect of vessel capacity at constant peripheral speed.

ただし、槽内の着色度のバラツキはいずれも1分程度混合すればなくなっていた。

第6図より色差が10, 15, 20のポイントで槽容量Vと運転時間 θ との関係をプロットすると第7図のようになり、その関係は(16)式であらわされる。

$$\theta \propto V^{0.4} \quad (16)$$

2.3 主翼フルード数一定の場合

チョッパーを用いずに主翼のみで攪拌し、フルード数を一定にした場合、槽容量340 Lt, 1060 Ltでの着色度の結果を第8図に示す。

フルード数は(17)式で定義される。

$$Fr = N^2 R / g \quad (17)$$

フルード数を一定にすれば同程度の混合性能は得られるが、動力の観点からモータを大型化しなくてはならず非現実的となる。

2.4 主翼、チョッパー周速一定の場合

主翼、チョッパーともに周速を一定にした場合、各槽容量50 Lt, 340 Lt, 1060 Ltでの着色度の結果を第9図に示す。

これよりチョッパーを用いた場合、周速を一定にスケールアップを行えば、大型機でも同程度の混合性能が得られることがわかった。

むすび

PSミキサーを混合機として使用した場合のスケールアップの一例を実験データをもとに紹介させて戴いた。前述のように粉体の物性によって動力特性、混合特性は異なり定量的に取り扱うことは難しく、さらに経験を積む必要があると考える。また、PSミキサーを攪拌造粒機、乾燥機として使用した場合のスケールアップについても今後検討をしていきたい。

〔参考文献〕

- 1) 半田裕利, 田中英美, 谷口十一: 神鋼パンテック技報 Vol. 36, No. 2, 1992
- 2) 宮南啓: 化学装置 23, (1), 75 (1981)