

PV ミキサーの紹介

Introduction of the PV MIXER



(化)エンジニアリング部
半田 裕 利
Hirotohi Handa
戸 嶋 大 輔
Daisuke Tojima

新しい粉体混合乾燥機としてPV ミキサーを開発した。PV ミキサーは当社のSV ミキサーとは異なり、缶内に駆動部を有しないため、高圧下、高温下での運転が可能である。また、特殊攪拌翼により槽内全体を循環混合するため効率の良い混合乾燥が行える。本稿では、炭酸カルシウムをテスト試料に用い、PV ミキサーとSV ミキサー、ダブルリボン翼との比較検討を行い明らかになったPV ミキサーの特長を紹介する。

We have developed the PV MIXER that is the new equipment for powder mixing or powder drying. The SV MIXER has the gear unit inside the vessel, but the PV MIXER is mounted with the drive unit outside the vessel. Therefore the PV MIXER is able to operate under high pressure condition and/or high temperature condition. And, raw material is circulated in vessel for strong mixing of the special impeller, so to be possible good mixing or drying.

We have compared the efficiency of PV MIXER with SV MIXER and double ribbon impeller to use calcium carbonate powder, we show the result in this paper.

Key Words :

混	合	Mixing
乾	燥	Drying
S V ミキサー		SV MIXER
ダブルリボン翼		Double ribbon impeller
パドル翼		Paddle impeller

まえがき

当社では粉体混合乾燥機としてSV ミキサー、コニカルドライヤ、フィルタドライヤがあり、医薬中間体、化成品をはじめ幅広い分野で使用されている。特に粉体機器の主力製品であるSV ミキサーは、自公転の遊星運動によりマイルドに粉体を混合するため、粒子破壊が少なく壊れやすい物質の混合や攪拌熱の発生が少ないため熱に敏感な物質の混合乾燥に

有効である。しかし、より短時間での精密な混合や乾燥時間の短縮、高温、高圧下での処理に対しての混合機構、構造上の制限から対応が困難な場合が少なくない。また缶内に有する駆動部への製品の侵入を防ぐため、缶内圧力より常に駆動部圧力を高く保つように圧力バランスの制御が必要である。真空中ブレーク時の客先操作ミス、乾燥初期の急激な圧力上昇等の理由からシール部の製品の侵入のトラブル

発生し、さらにはオイルシールの破損によるオイル漏れをおこす可能性は皆無とは言えない。

これらのSVミキサーの弱点を補完し、より幅広い客先のニーズに応えるための高効率な混合乾燥機が望まれていたが、この度「PVミキサー」を開発してきたので紹介する。

構造

PVミキサーの概略を第1図に示す。

攪拌翼はパドル翼を多段に配置した形状とし、回転軸に補助翼（垂直羽根）を設けた構造とする。また攪拌翼下部にはセンターシャフトを有しないリボン翼を配置している。

容器はSVミキサーと同様の逆円錐形状とし、外殻を設けることで加熱、冷却することができる。

特長

1 PVミキサーの特長

一般的な特長としては次の点があげられる。

(1) 駆動部が缶内になく、コンタミがない。

摺動部での摩耗粉はゴミ受けを設けることが可能で製品に混入する可能性がない。

シールユニットはドライシールを標準採用している。用途に応じメカニカルシールを装着することも可能であり、高真空、高圧の処理の対応ができる。

(2) 内容物を全体に循環混合するため、短時間に混合乾燥が行える。また、缶壁での流動状態が良いため、缶壁での付着が少なく外套からの伝熱特性に優れている。

(3) 回転軸に設けた補助翼により、槽中心部の混合不良を解消し回転軸やサポート部での付着が抑えられる。さらに周速の遅い下部にはセンターシャフトを有しないリボン翼を配置し凝集性の強い粉体でも槽底部でのブリッジを軽減し良好な排出を行うことができる。

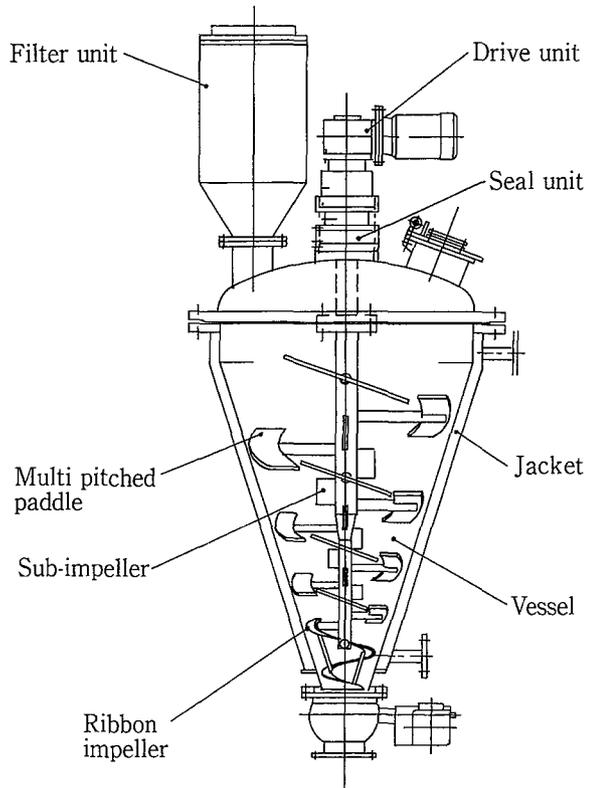
さらに、同様の混合、乾燥用途に使用されることの多いSVミキサーおよびダブルリボン翼とを3、4、項に述べる動力テスト、混合テスト、乾燥テストにて比較検討した場合のPVミキサーの特長を列挙する。

今回の比較テストに用いたテスト装置を第2図に、それぞれの攪拌翼の概略を第3図に示す。

2 SVミキサーとの比較

(1) 混合スピードが早い

内容物を全体的に循環混合するPVミキサーは、スクリュウ近傍のみ混合するSVミキサーに比べ、混合時間は短い。



第1図 PVミキサー
Fig. 1 PV MIXER

(2) 全容量に対する投入量が多い

SVミキサーは缶内に駆動部を有しており、仕込量は全容量の40%程度となり空隙率が大きい。

PVミキサーの最大仕込量は全容量の60~70%が可能である。SVミキサーよりモータ動力が大きいいため駆動部分が大型化するが、全高はSVミキサーと同等もしくは低くすることが可能である。

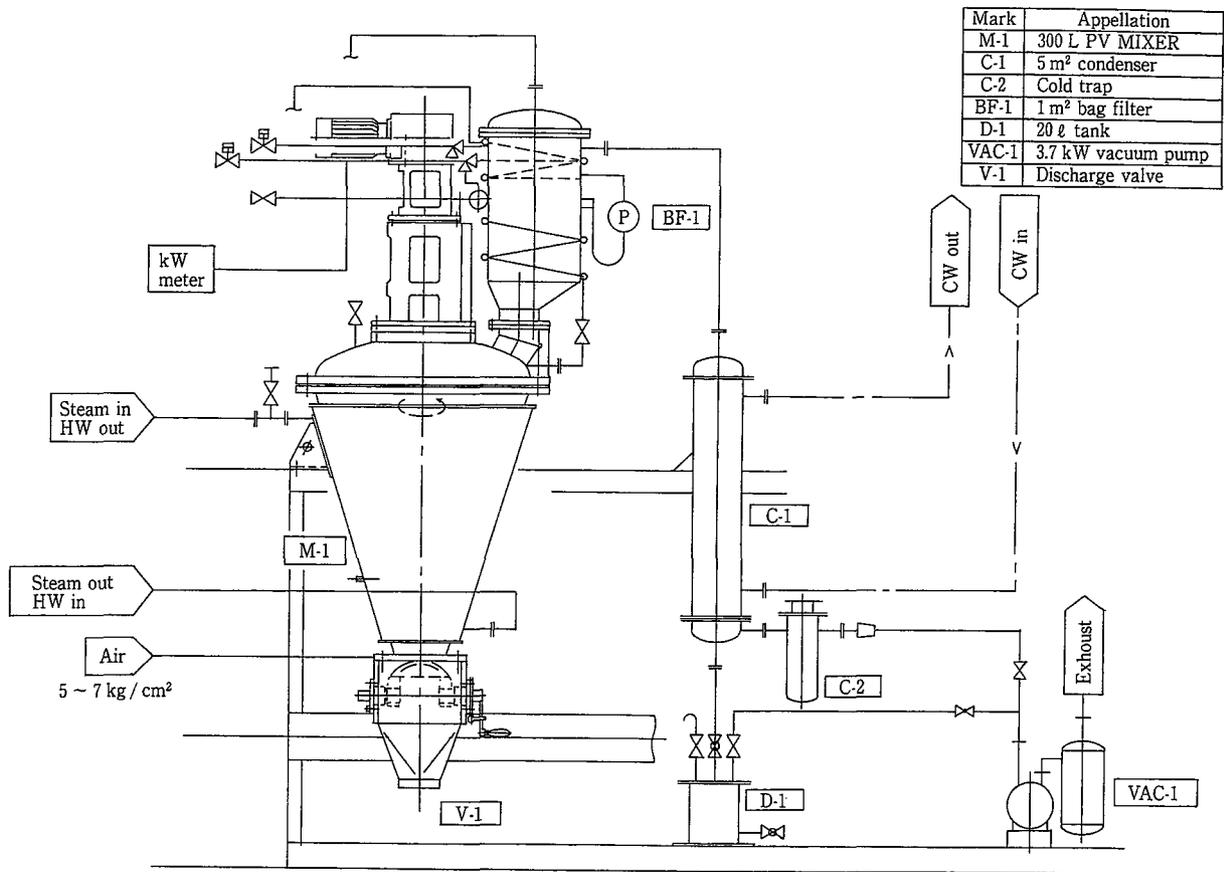
(3) 缶壁での付着が少ない。

PVミキサーは粉体を缶内全体で循環混合するため壁面での粉体の動きが速く缶壁に内容物が付着しにくい。SVミキサーではスクリュウと缶壁との間のクリアランス部で粉体層を形成し伝熱効率が低下するケースが多い。

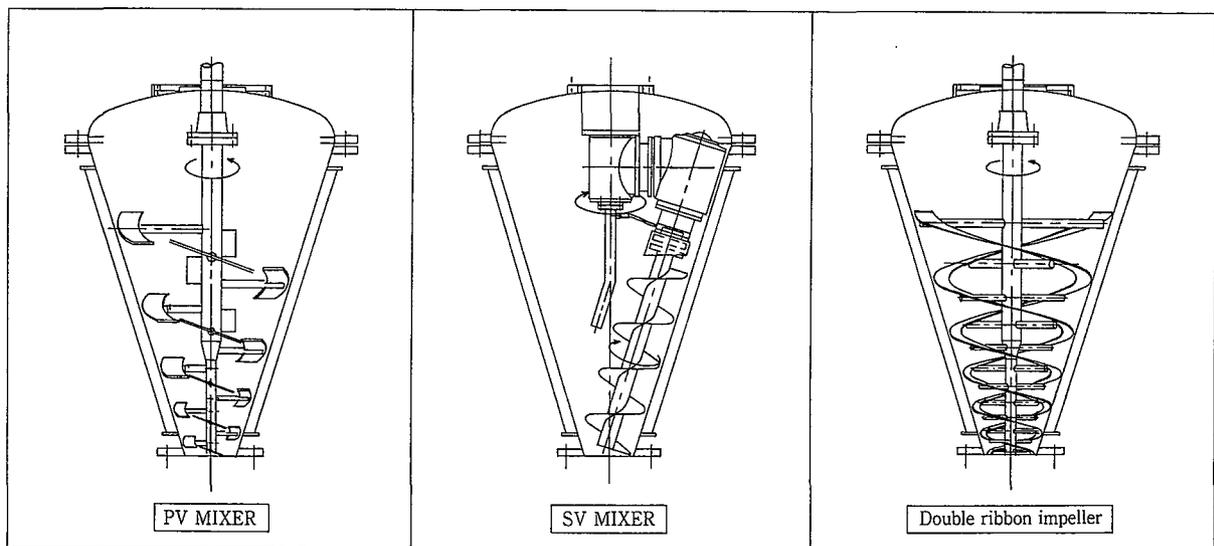
(4) 洗浄性は悪い。

SVミキサーは攪拌機の占有面積が少なく洗浄が比較的容易であり、缶内に人が入れることから洗浄後の確認が可能である。

PVミキサーは、内部に作業員が入ることはできるが下部まで十分確認することは困難である。しかし、満液に近い状態で洗浄が可能のため溶剤



第2図 300Lテスト装置
Fig. 2 300L PV MIXER test unit



第3図 各種テスト翼
Fig. 3 Test impeller

や水張り洗浄には適している。また、翼が連続していないため停止時に翼と翼との間から洗浄装置をある程度下部まで挿入が可能である。

(5) 粉体に与える剪断力が強い。

パドルのエッジ部での剪断力が強く、凝集物を解砕し均一な混合が行える反面、製品によっては粒子破壊の恐れがある。

2.3 ダブルリボン翼との比較

(1) 動力が小さい

同一条件下（軽質炭酸カルシウム $\rho_B=0.6$ ）で、ダブルリボン翼の約60～80%の消費動力である。

(2) 混合性能は同等以上

同一回転数での混合性能はダブルリボン翼と同等であった。動力一定で考えるとダブルリボン翼より優れている。

(3) ボルテックスの形成が少ない

粒径差、比重差の大きい粉体を混合する場合、ボルテックスが大きいと偏析を生じるためボルテックスの形成を防ぐためのバッフルを設けることがある。PV ミキサーは、翼が不連続であるためボルテックスが生じにくくバッフルを設ける必要がない。

(4) 少容量から均一な混合ができる。

少容量の場合、ダブルリボン翼では混合物のほとんどが翼上に乗る混合できない場合があるが、PV ミキサーは少容量から良好な混合状態を得ることができる。

(5) 総括伝熱係数が高い。

炭酸カルシウムでの乾燥テストで推定総括伝熱係数 $U \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ を比較するとダブルリボン翼128に対しPV ミキサーは158と良好な伝熱特性を示した。但し、攪拌熱により与えられる熱量はダブルリボン翼の方が大きく結果としては同等の乾燥性能となった。

(6) 攪拌熱による粉体の温度上昇がダブルリボン翼より小さく、製品温度の制御がし易い。

(7) ダマの発生が少ない。

連続したダブルリボン翼は、転動作用が強くダマが発生しやすく、乾燥ムラが生じやすい。

一方、PV ミキサーは、パドル翼のエッジ部でダマを解砕し未乾燥物の発生が抑えられる。

(8) 残粉量（缶内付着量）が少ない

炭酸カルシウムの乾燥テストにおいて、通常排出時（正回転+逆回転）での残粉量を比較するとダブルリボン翼は投入量の55%の残粉量に対し、PV ミキサーは11%とSV ミキサーの8%と同等の残粉量であった。

3. 動力テスト

3.1 テスト方法

缶内の翼をダブルリボン翼、PV ミキサーの2種類に変え、各翼にかかる動力を測定した。

テスト試料として、炭酸カルシウムを用い、比較的凝集性が強く流動性の悪いスーパー1500と流動性の良いNo.A 重炭（いずれも丸尾カルシウム(株)製）について検討してみる。試料の物性を第1表に示す。

3.2 テスト結果及び考察

3.2.1 粉体混合時の消費動力

粉体が混合される要因は、

- ① 攪拌翼と粉体とのすべり、剪断作用による混合
- ② 粉体と容器内壁とのすべり、摩擦による混合
- ③ 粉体同志の速度差によるすべり、摩擦による混合に分類でき、これらの相互作用によって混合が進行していく。

攪拌翼の回転速度が遅い場合、掻き上げられた粉体は、翼と粉体とのすべりは少なく、翼上に乗った状態となり攪拌翼と共回りする。特に流動性の悪い粉体の場合、主として前記②の運動が支配的となり、動力の多くは、缶壁との摩擦により消費されると考えられる。さらに回転数を上げると遠心力により翼上に静止していた粉体は缶壁へ移動し缶壁に沿って押し上げられ、粉体層上面付近で槽中心部へ折り返

第1表 テスト試料
Table 1 Test materials

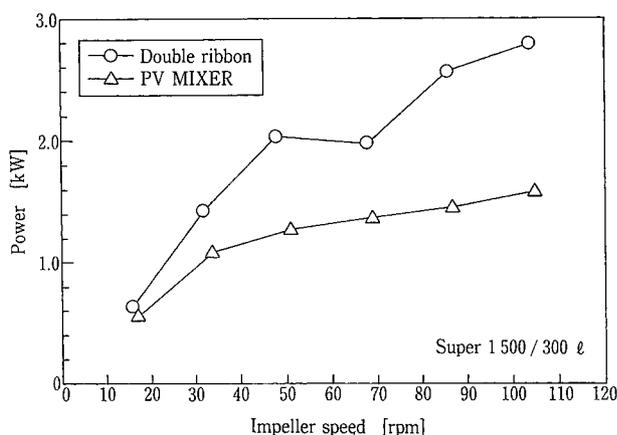
Test materials	Bulk density $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Angle of repose	Average particle diameter μm	Water content wt %
Super-1500	620	56°	2.3	0.19
No.A heavy calcium carbonate	1420	36°	200	0.04

し、全体的な循環混合を形成する。この際は、①～③の混合状態となるが、回転数が早いほど前記①の翼と粉体との剪断混合に動力の多くは消費されることになる。

3.2.2 動力値の比較

第4図に仕込容量300 L，試料粉末をスーパー1500とした場合における回転数と動力の関係を示す。同図より，PV ミキサーはダブルリボン翼と比較して動力値は小さい値を示している。PV ミキサーの消費動力は回転数により異なるがダブルリボン翼の約60～80 %である。

これは，PV ミキサーでは粉体と翼が接触している面積がダブルリボン翼より小さく攪拌翼にかかる負荷が小さくなっていること，また，粉体をパドルで断続的に掻き上げているので翼と粉体の相対速度はダブルリボン翼に比べ速く，翼に接している粉体の流動がよい，すなわち粉体の摩擦係数を減少させていることから，ダブルリボン翼より動力値が小さくなったと考えられる。

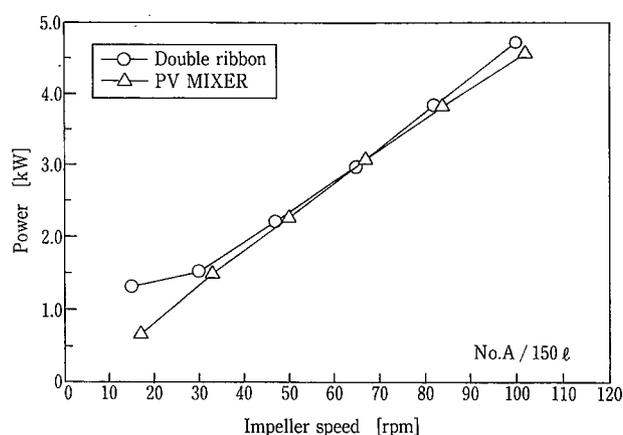


第4図 動力値と回転数の関係
Fig. 4 Relation between power and impeller speed (Test material: Super 1500)

また，ダブルリボン翼においては40～60 rpm 付近で顕著な動力のピークが認められた。¹⁾ これは粉体層が静止状態から運動状態に変化する際，粉体の摩擦係数が減少し攪拌動力が減少する領域，すなわち共回り状態から循環混合状態に移行する範囲である。PV ミキサーではダブルリボン翼に見られた極端なピークは見られなかったが，目視確認からも約30～40 rpm 付近が移行範囲と考えられる。

以上より，ダブルリボン翼とPV ミキサーを比較すると，PV ミキサーの方が低回転数からの循環混合が可能であり，かつ低動力で混合することができることが分かった。

第5図に仕込容量150 L，試料粉末をA重炭とした場合における回転数と動力の関係を示す。同図ではダブルリボン翼，PV ミキサーともにほぼ同じ動力値を示している。これは，A重炭はスーパー1500と比較して流動性が良いため，前記①の翼と粉体との剪断混合が支配的となり，ダブルリボン翼とPV ミキサーとの動力の差が大きく生じなかったと



第5図 動力値と回転数の関係
Fig. 5 Relation between impeller speed and power (Test material: NO.A)

第2表 動力値の推定表

Table 2 Presumption of mixing power

Capacity of vessel V L	100	300	500	1 000	2 000	3 000
Powder upper level H mm	640	1 067	1 338	1 776	2 347	2 739
Impeller speed N rpm	62	45	40	36	32	30
PV MIXER Power kW	0.46	1.06	1.55	2.55	4.14	5.41
Double ribbon Power kW	0.70	1.66	2.43	4.11	6.81	9.01

考えられる。

3.2.3 動力値の推定

ここで、ダブルリボン翼、PV ミキサーについて、回転数と動力値との関係について検討する。

回転数、仕込量および装置容量の増加に比例して動力値は大きくなり、動力値を P [kW]、回転数を N [rpm]、粉面高さを H [m]、係数を K とすると $P \propto K \cdot H^\alpha \cdot N^\beta$ の関係式で表される。

テストデータより K 、 α 、 β を求め、一般的に標準粉体として扱われることの多いスーパー1500において実機ベースの動力を推定すると第2表のようになる。ただし乾燥用途の実機においては上記の2～3倍の値を考慮しモータ動力を決定する必要があると考えられるが、今後客先テスト等の実粉でより多くデータを取得し確認していく必要がある。

4. 混合テスト

4.1 テスト方法

缶内の翼をダブルリボン翼、PV ミキサー、SV ミキサーの3種類に変え混合テストを行った。テスト試料としてスーパー1500を使用し、弁柄(トダカラー140 ED: 戸田工業(株)製)と重量比95:5で混合した。なお、混合が進行するに従い弁柄が分散し試料は白から赤に着色される。所定の混合時間毎に缶内の上部、中部、下部の3カ所をサンプリングし、色差計を用いて明度を測定し最終到達度を求めた。

4.2 テスト結果及び考察

第6図に着色テストの結果を示す。なお、²⁾ 最終到達度 η は、混合度の指標の一つであり、軽質炭酸カルシウム95:弁柄5の割合で完全混合した場合を基準粉体とし、混合度1とするものである。

同図より、PV ミキサーが180分間において最終到達度 η の値がより1に近い値を示している。ダブルリボン翼と比較すると回転数(50 rpm)、仕込量(300 L)の運転条件が同一下での結果であり、PV ミキサーの消費動力はダブルリボン翼の約60%

であることからPV ミキサーの回転数を上げ動力一定とした場合その差はさらに大きくなると考えられる。従って、ダブルリボン翼よりも混合効率の良い攪拌翼といえる。

SV ミキサーと比較するとPV ミキサーは槽内を全体的に循環混合するため、はるかに混合速度が速いことがわかる。仮に到達度が0.5に達するまでの時間を比較すると、SV ミキサーが116分かかっているのに対しPV ミキサーは20分と約1/5の混合時間となっている。

5. 乾燥テスト

5.1 テスト方法

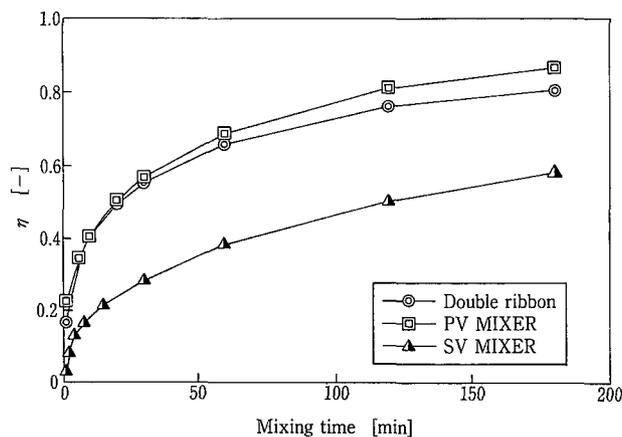
炭酸カルシウム スーパー1500に水道水を加え約5分間混合し湿潤粉体とした後、缶内を減圧、外套を加熱して乾燥テストを実施した。詳細な乾燥条件を第3表に示す

5.2 乾燥性能の比較

第7、8、9図に乾燥テスト結果を示す。

真空加熱乾燥機の場合、乾燥に必要なエネルギーは

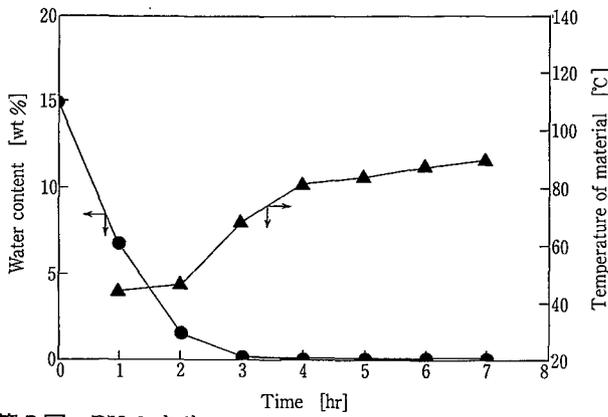
- (1) 外套に熱媒を流すことによって試料を間接的に



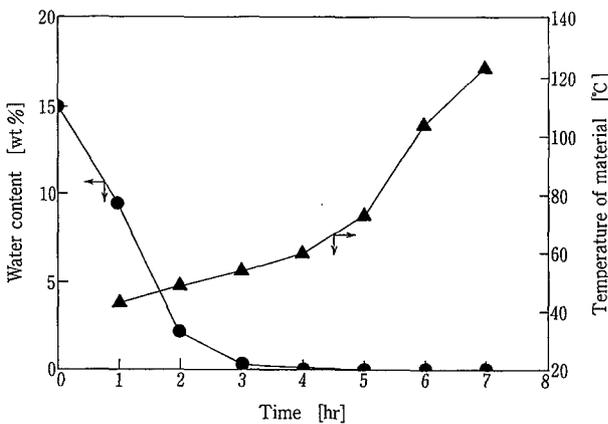
第6図 最終到達度と混合時間の関係
Fig. 6 Relation between the degree of attainment, η and mixing time

第3表 テスト条件
Table 3 Test conditions

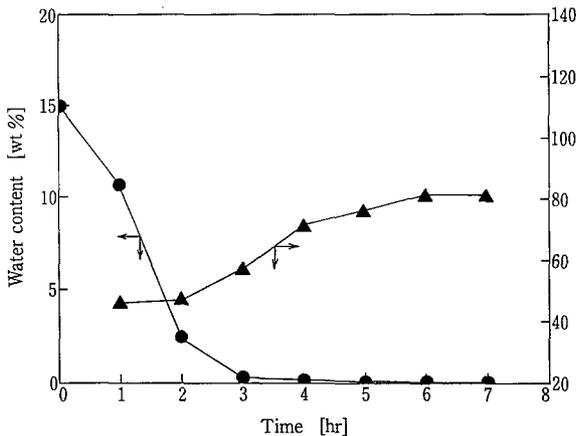
Impeller	Volume of powder L	Impeller speed rpm	Jacket temp. °C	Test materials	Water content wt%	Overall coefficient of heat transfer $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
PV MIXER	300	50	80	Super1 500	15	158
Double ribbon	300	50	80	Super1 500	15	128
SV MIXER	150	63/1.6	80	Super1 500	15	99



第7図 PV ミキサー
Fig. 7 PV MIXER



第8図 ダブルリボン翼
Fig. 8 Double ribbon



第9図 SV ミキサー
Fig. 9 SV MIXER

加熱する

(2) 攪拌機そのものの発熱

の2つの方法で与えられる。

次に外套からの入熱（伝熱）と攪拌熱の二面から乾燥性能の比較を試みた。

5.2.1 外套から与えられる入熱の特性

伝熱特性を表す指標の一つとして、総括伝熱係数 U を比較してみると、ダブルリボン翼は缶壁への

付着が多く外套からの伝熱が悪いため PV ミキサーに比べて U 値が低いという結果になった。

しかしダブルリボン翼の見かけの乾燥特性は PV ミキサーと同等であった。これはダブルリボン翼が最も消費動力の高い翼であり、攪拌による発熱が乾燥に大きく寄与した結果と考えられる。

SV ミキサーは、伝面が常に更新する PV ミキサーに比べ、自公転するスクリー近傍のみ伝面の更新が行われるため、伝熱量が小さいと推測される。

試算した U 値も一軸乾燥機に比べると小さく、伝熱性は悪いという結果になった。

また、攪拌動力も小さく攪拌熱が乾燥に寄与することも無いため、乾燥時間は長くなる。

5.2.2 攪拌動力・攪拌熱

蒸発熱が減少する減率乾燥域において品温の上昇が観察されるが、通常 SV ミキサーの乾燥では品温は外套温度以下である。PV ミキサーやダブルリボン翼の場合は攪拌熱が大きいため、連続運転を行うと品温が外套温度を上回る。PV ミキサーは乾燥時間約4時間で外套温度より10°C高い90°Cで品温が安定した。しかし、ダブルリボン翼は乾燥時間7時間で品温が120°Cを越え、さらに温度が上昇する傾向にあった。

これらの攪拌熱は製品の乾燥に寄与し乾燥性能は向上すると考えられるが、攪拌動力が大きいほどモータの大型化につながるばかりか、乾燥終了後の冷却時間がかかるという欠点が生じる。

特にダブルリボン翼の場合、攪拌熱による製品の昇温が激しいため、品温のコントロールが困難である。すなわち、低融点物質への対応が困難となる。

一方 PV ミキサーは、品温の上昇は外套温度+10°C程度（製品により異なる）で安定しており、外套温度を下げることで品温のコントロールが可能であると考えられる。

5.3 ダマの発生

乾燥過程でダマが発生すると凝集物中の湿分は蒸発しにくくなるため、乾燥時間の延長、乾燥ムラの発生などの問題を生じる原因となる。

今回のテスト条件は初期含水率が15%と、乾燥途中にダマを作りやすい条件である。もっともダマが多かったのはダブルリボン翼で、特に乾燥開始1時間で野球ボール程度（径で50~60mm）のダマを生じた（写真1）。ダブルリボン翼は翼幅が広く連続しているため、試料に強い転動作用を与えダマを作りやすい。このダマは乾燥中に割れて小さくなったがそのまま数mmから10数mmの固形物になり、



写真 1 ダブルリボン翼，乾燥中のダマの生成状況
Photo.1 Granulate material on drying operation by double ribbon impeller



(a) PV MIXER

最後まで残った。

一方 PV ミキサーは翼が連続していないため転動作用が小さく，ダマの発生が少ない。また，パドルのエッジ部でダマを解砕するため凝集物は小さく，ほとんど完全に乾燥していた。

5.4 付着・排出状況の比較

乾燥を行う上で付着は大きな問題の一つである。壁面への付着は伝面の障害に繋がり，乾燥時間を長くする原因となる。また，付着物は十分な乾燥が行われないことも多々あるため，製品の品質劣化の原因ともなる。

写真 2—(a), (b), (c)に，乾燥テスト後，試料を排出した後の缶内付着状況を示す。

PV ミキサーもダブルリボン翼も翼を支えるために中央から支柱を出す構造となっている。中心軸付近は粉の流動が遅いため剪断力が弱く，一度付着するとそのまま最後まで付着として残る。また，その支柱と軸あるいは支柱と翼部分でブリッジを作り，より付着し易くなる。特に槽径が小さくなり，構造が複雑になる下部において顕著となる。

ダブルリボン翼は特に槽底部で軸・支柱・翼を巻き込んだ塊を形成し，翼上にも多くの付着物が見られた。これらの付着物は熱源に接していないので乾燥に時間がかかる。特にブリッジから固化した試料は内部が十分に乾燥されていない。付着物の中心部は，10%以上の湿分を持っていた。

PV ミキサーにおいても，軸，サポート部での付着を完全に無くすことはできないが，中心軸に取り付けた補助翼が，軸周辺の試料を流動化させるため付着を抑えることができる。なお，壁面での付着は

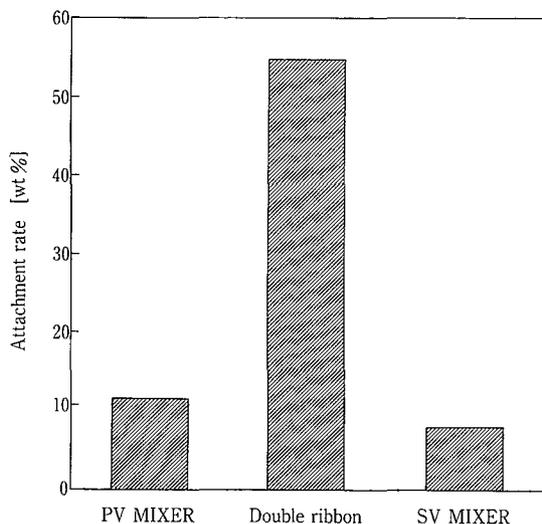


(b) Double ribbon impeller



(c) SV MIXER

写真 2 (a) (b) (c) 排出後の付着状況。
Photo.2 (a) (b) (c) Attachment state in vessel after discharge dry powder.



第10図 付着量比較
Fig. 10 Quantity of attachment for each impellers

ない。槽全体に広がる多段パドル翼によって試料は断続的に移送されるため、停滞しがちなクリアランス部分の試料も効率よく流動するためと考えられる。

SV ミキサーは内部中心軸が存在していないため、付着は壁面中心に行われる。今回採用した試料では槽下部の缶壁に付着物が残った。付着物は外套からの熱によって十分に乾燥されていたが、一度付着す

ると最後まで壁上に滞積するため、伝面効率の面から非常に不利となる。

付着及び排出の結果を第10図に示す。

各種翼を検討した結果、もっとも付着が少なく、排出性の良い翼は、SV ミキサーであり次いでPV ミキサーであった。ダブルリボン翼は排出口を閉塞したため、固着物を取り除き、高速回転(約100 rpm)で回転させたときの排出結果である。

6. むすび

本稿では、テスト試料に炭酸カルシウムを用い、PV ミキサーの攪拌動力、混合性能、乾燥性能について紹介したが、実際に取り扱う粉体は様々な挙動を示し、一概に本稿で述べた結果と一致しない場合も多い。今後、客先テストを通じ数多くのデータを蓄積し、技術の向上を目指していきたい。

PV ミキサーはその特長を活かし混合、乾燥、反応、熱処理、滅菌などの用途に使用できる汎用的な機器であり、化成品、食品、医薬、さらには窯業、汚泥分野などで、ユーザー各位の生産性向上に寄与できることを望んでいる。

[参考文献]

- 1) 混合混練技術, 日本粉体工業協会編, 日刊工業新聞社, p.109,
- 2) 佐藤宗武ほか, 粉体工業会誌, Vol.30, No.6 (1993)

連絡先

半田 裕利 化工機事業部
エンジニアリング部

TEL 0794 - 36 - 2517
FAX 0794 - 36 - 2542

E-mail h.handa@pantec.co.jp

戸嶋 大輔 化工機事業部
エンジニアリング部

TEL 0794 - 36 - 2517
FAX 0794 - 36 - 2542

E-mail d.tojima@pantec.co.jp