

翼加熱型 SV ミキサーの開発

Development of SV MIXER with the heated screw impeller
[実用新案登録第2001073号]



(化)技術部装置グループ
戸嶋大輔
Daisuke Tojima
山崎忠成
Tadashige Yamasaki

SV ミキサーは現在、化学薬品・合成樹脂などの化学工業をはじめ、医薬品・食品・ファインケミカルなど幅広い分野で粉体の混合乾燥機として使用されている。特に、乾燥機として使用されるSV ミキサーは、缶内を減圧することによって低温乾燥機として使用されており、その乾燥時間の短縮は重要な課題の一つである。スクリュウ翼軸部を温水で加熱できる翼加熱型 SV ミキサーを開発した結果、乾燥時間を約30%短縮することができた。

SV MIXER is used as the equipment for powder mixing or powder drying in a wide range of fields such as chemical, pharmaceutical, food, fine-chemical industry, etc.

In particular, in case that SV MIXER is used as the drying equipment, products can be dried at low temperature by reducing the internal pressure of vessel. And in this drying process, the reduction of drying time becomes one of the most important subject.

So, we have developed a new SV MIXER with a screw impeller that can be heated by circulating hot water. As the results of some drying tests, the impeller heating was confirmed to shorten the drying time by 30%.

Key Words

SV ミキサー
翼加熱型
低温乾燥

SV MIXER
Screw heating type
Low temperature drying

まえがき

当社の粉体混合乾燥機の主力製品としてSV ミキサーがある。SV ミキサーは、逆円錐型容器内に自公転するスクリュウを有し、粉粒体に三次元的な対流運動を与えて混合する構造であり、現在では、混合機及び乾燥機として幅広い分野で使用されている。

特に、SV ミキサーの特長である自公転の緩やかな混合は粒子破壊等の問題を生じにくく、柔らかい結晶物の混合、乾燥を可能としている。

また、SV ミキサーは、マイルドに粉粒体を混合するため消費動力も小さく攪拌熱が発生しにくい。従って、融点が低く熱影響の受け易い粉体において、

減圧乾燥することにより比較的低温で乾燥することが可能である。

しかし、攪拌熱の生じにくいマイルドな混合と温水などの低温の熱媒によって緩やかに乾燥をするため、乾燥時間が比較的長くなる傾向がある。

したがって、比較的低い温度で乾燥時間を短縮することは、重要な課題の一つである。

乾燥時間を短縮するためには、外套温度の上昇、伝熱面積の増大、伝熱面における粉体の更新が有効な方法の一つである。

そこで、常に表面が更新されている自転スクリュウ翼及び軸部を加熱して伝熱面積を増加させ、乾燥時

間の短縮を試みた。

1. テスト装置

翼加熱型 SV ミキサーの概略を第1図に示す。

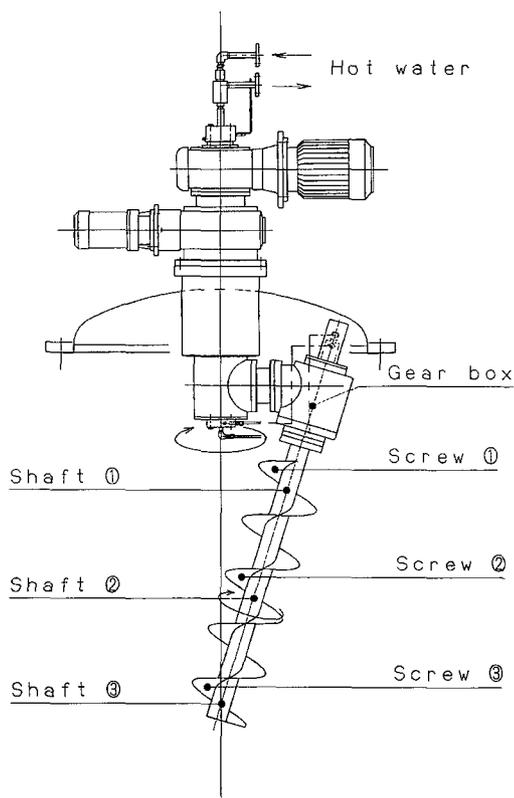
翼加熱型スクリーに流入する温水は、ドライブユニット上部中央よりロータリージョイントを通して90°ギアボックス下部に達する。その後、73°ギアボックス上部に連結されたロータリージョイントを通して自転軸内に入り、スクリー軸部および翼部に温水が流れ込む。なお、各回転軸駆動部内、スクリー軸内部及びドライブユニット内の配管は何れも二重管構造になっており、内管側から翼及び軸部に温水が入り、外管側から缶外にでる構造である。

2. 翼軸部昇温テスト

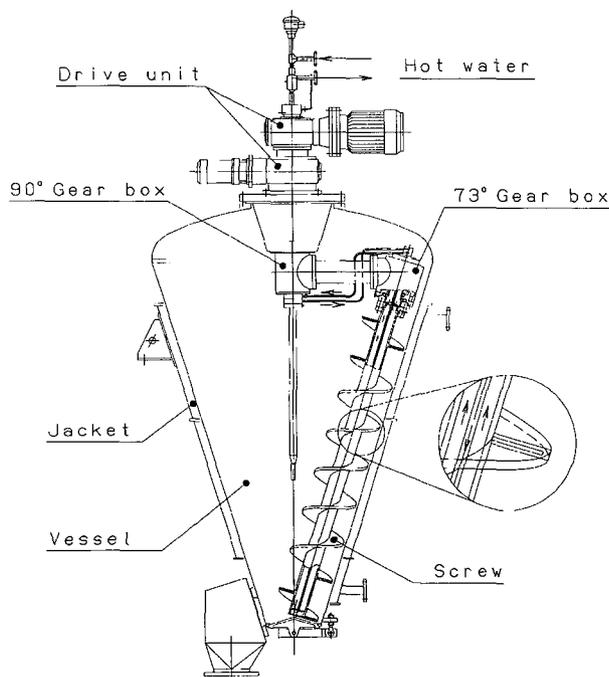
スクリー翼内に温水を通して翼加熱テストを実施し、スクリー各部での温度分布及び昇温時間を測定した。

温度測定位置を第2図に示し、測定結果を第3図に示す。翼加熱温度は40℃、80℃の二条件で行った。

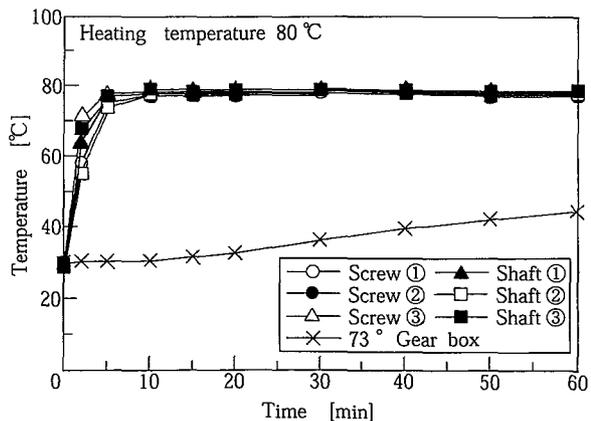
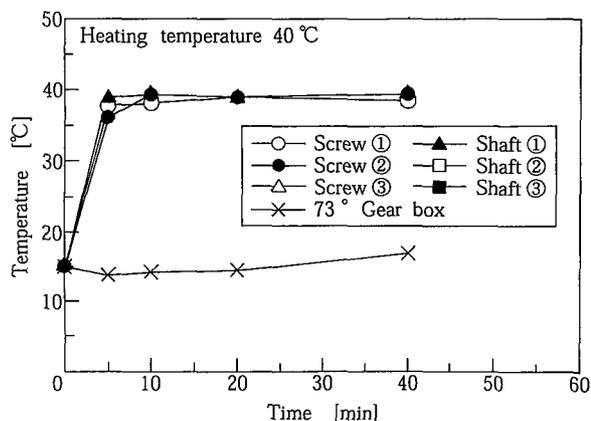
第3図より、温水温度が何れの場合であっても温水を通水後約5分間でスクリー部及び軸部全体の温度がほぼ均一になった。したがって、スクリー内に温水が滞留することなく循環し、伝熱面の一つとして有効であることが確認できた。



第2図 温度測定位置
Fig. 2 Points of measuring temperature



第1図 翼加熱型SVミキサー
Fig. 1 SV MIXER with the heated screw impeller



第3図 温度曲線
Fig. 3 Temperature curve

3. 乾燥テスト

翼加熱型 SV ミキサーの翼部に温水を通水し缶壁面と翼部の両方から粉体を加熱し乾燥した場合と缶壁面のみから加熱し乾燥した場合のテストを行い、翼加熱が乾燥に及ぼす影響について検討した。また、回転数、加熱温度を種々に変えて乾燥テストを実施した。

3.1 テスト方法

200 L 翼加熱型 SV ミキサーを用いて乾燥テストを行った。第4図にテスト装置の概略を示す。

テスト試料である炭酸カルシウムと水を缶内に所

定量投入し、湿分を15 wt% に調整した。その後、湿粉体を5分間混合して湿分濃度を均一にし、恒温槽にて加熱した温水を本体外套及び翼部に通水し缶内を減圧して乾燥テストを実施した。操作条件は、第1表に示す。

乾燥中は所定時間毎にサンプリングを行い、粉体の含水率及び品温を測定した。なお、含水率の測定にはケット水分計及びカールフィッシャ水分計を用いた。

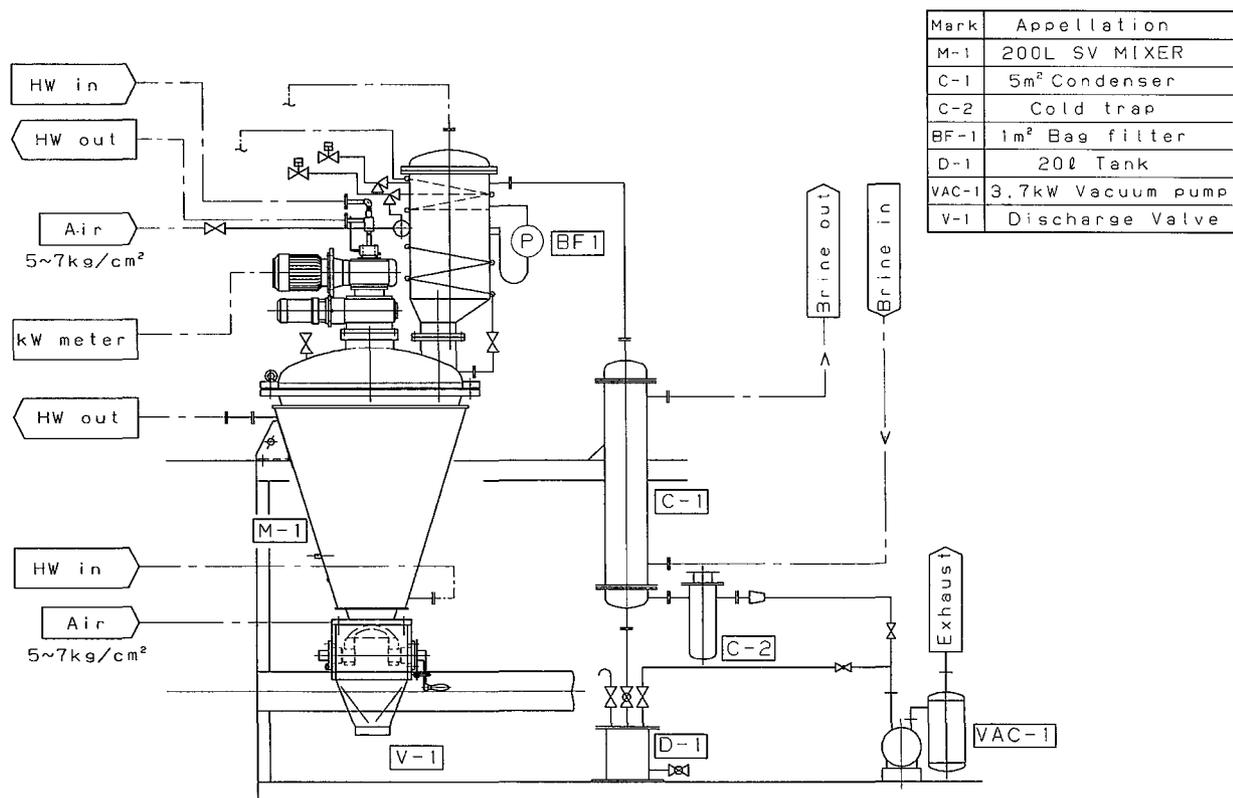
3.2 テスト結果及び考察

第5図に乾燥テスト結果を示す。

第1表 操作条件

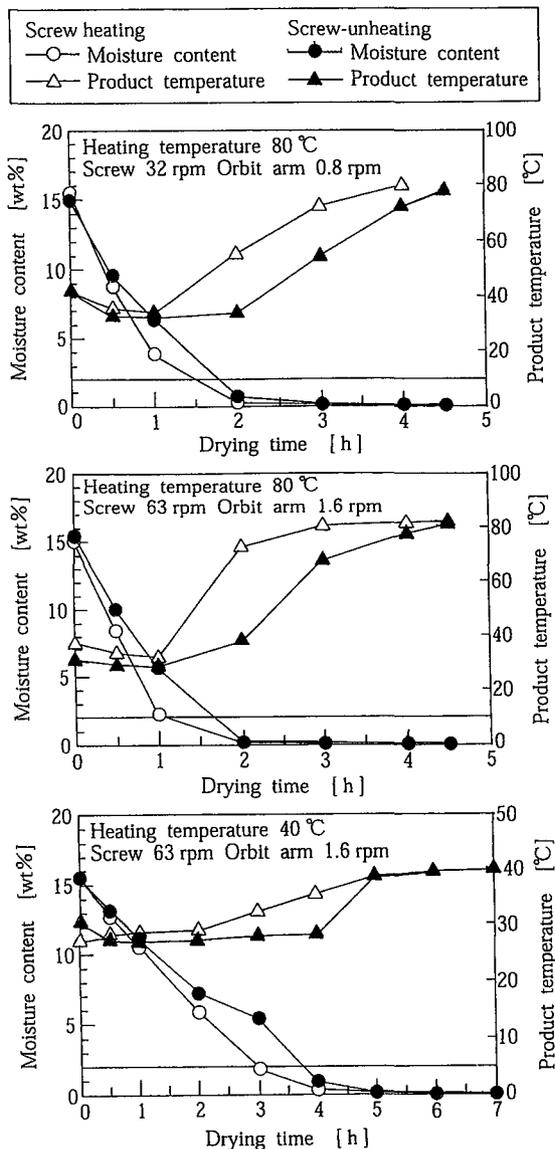
Table 1 Operating condition

Screw heating	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Jacket temperature °C	40	40	80	80	80	80
Rotational speed, screw rpm	63	63	32	32	63	63
Rotational speed, orbit arm rpm	1.6	1.6	0.8	0.8	1.6	1.6
Operating Pressure kPa abs	2.7 - 8.0					
Condenser temp. °C	0 - 4					



第4図 200 L テスト装置

Fig. 4 200 L SV MIXER test unit



第5図 乾燥テスト結果
Fig. 5 Results of drying tests

第2表 総括伝熱係数
Table 2 Overall coefficients of heat transfer
200L SV MIXER

Jacket temp. °C	Impeller speed rpm	Drying criteria	Overall coefficients of heat transfer W/(m ² ·°C)	
			Jacket	Screw
40	Screw 63 Orbit arm 1.6	Constant rate period	169	257
		Falling rate period	41	84
80	Screw 32 Orbit arm 0.8	Constant rate period	109	184
		Falling rate period	43	64
80	Screw 63 Orbit arm 1.6	Constant rate period	130	203
		Falling rate period	49	91
100L SV MIXER				
80	Screw 100 Orbit arm 3.0	Constant rate period	108	—
		Falling rate period	31	—

同図より、何れの外套温度、回転数においても翼加熱型の方が従来型より含水率の高い乾燥初期では水分の乾燥速度が速く、また、含水率の低い乾燥終期では品温の上昇速度が速くなることが確認できた。

ここで、翼加熱が乾燥に及ぼす影響を検討するため、その伝熱性能を表す指標である総括伝熱係数(U値)で乾燥性能の比較を行った。

恒率乾燥域と減率乾燥域の境界は含水率2.0 wt%とし、含水率0.1 wt%で乾燥終了として、それぞれの乾燥域における壁面及び翼部のU値を求めその比較を行った。

第2表に各操作条件における恒率乾燥域、減率乾燥域での壁面及び翼部のU値を示す。なお、U値の算出は、湿粉体の水分を蒸発するために要した熱エネルギーから攪拌による熱量を差し引いた値より求め、攪拌動力が及ぼす影響を除外して求めた。攪拌動力は各操作条件で測定した値の平均値を採用した。

また、壁面の伝熱係数は翼加熱無しの値を採用し、翼の伝熱係数は翼加熱有りの熱量から無しの場合の熱量を差し引いて算出した。

同表より、壁面と翼部のU値を比較した場合、恒率乾燥域、減率乾燥域ともに、翼部のU値の方が大きくなっている。

これは、スクリーアの回転運動によってスクリーアで搬送される粉体に有効に熱を与えることができ、常に伝熱面が更新されているため、スクリーアの近傍のみ伝熱面を更新している壁面に比べ、乾燥性能が良好になったと考えられる。

ここで、通常テストをおこなっている100 LSV ミキサーの壁面のU値と200 L 翼加熱型 SV ミキサーテスト機のU値を比較すると、200 L 機の壁面のU

値の方が100 L 機より大きい値となっている。これは、缶内径とスクリー径の比率の違いによるものと考えられる。第3表に示すとおり200 L 機の方が100 L 機より缶内径に対するスクリー径が大きく翼の占有面積が大きいため、缶内の粉体の流動状態が良好となり、伝熱面の粉体の更新が促進されるので、200 L 機のU値が大きくなっていると考えられる。

4. スケールアップ

テストの結果をもとに実機（500～5000 L）の乾燥時間の推定を試み、翼加熱型が及ぼす乾燥時間の影響を検討した。乾燥時間の推定では、缶内径に対するスクリー径が実機にはほぼ等しい100 L 機の壁面のU値を用い、スクリー翼のスパンと周速が実機に近い200 L 機のスクリーのU値を用いて計算をおこなった。乾燥時間の推定は次式による熱量計算をもとにおこなった。

$$\text{恒率乾燥域} : \theta = \frac{\lambda \cdot W}{U \cdot A \cdot \Delta t + q}$$

$$\text{減率乾燥域} : \theta = \frac{M \cdot C_p \cdot \Delta t_m + \lambda \cdot W}{U \cdot A \cdot \Delta t_m + q}$$

- θ : 乾燥時間 (h)
- λ : 水の蒸発潜熱 (kJ/kg)
- A : 伝熱面積 (m²)
- C_p : 内容物比熱 (kJ/kg・°C)
- M : 内容物乾燥物 (kg)
- q : 攪拌熱 (kJ/h)
- Δt : 温度差 (°C)
- Δt_m : 対数平均温度差 (°C)
- Δt_m : 内容物温度上昇 (°C)
- U : 総括伝熱係数 (W/m²・°C)
- W : 蒸発物質重量 (kg)

実機運転では、粉体の乾燥後にその粉体を冷却して排出する。この冷却工程における冷却時間の推定では、乾燥における減率乾燥域でのU値を採用して計算を行った。なお、冷却は、外套に30°Cの冷水を通水することとし、品温を80°Cから60°Cまで冷却するものとした。上記の計算に基づき実機における乾

第3表 スクリュー径と缶径の比率
Table 3 The ratio of screw diameter to tank diameter

100L SV MIXER (test unit)	0.19
200L SV MIXER (Heating type test unit)	0.34
2000L SV MIXER (actual machine)	0.18

燥時間と冷却時間の推定結果を第6図に示す。

その結果、乾燥時間は翼加熱型の方が実機500 Lでは約32%、5000 Lでは約29%短縮できると推定できる。また、冷却時間は40%程度短縮可能であると推定できる。したがって、総運転時間は、実機でスクリー翼加熱型を使用することによって25～36%程度短縮可能になると推定できる。

大容量の方が小容量より時間の短縮割合が小さくなるのは、壁面の伝熱面積に対するスクリー翼の伝熱面積の割合が小さくなるためである。

5. 翼加熱型 SV ミキサーの用途

翼加熱型 SV ミキサーが粉体の乾燥時間および冷却時間の短縮に大きく寄与できることから、その用途について検討する。

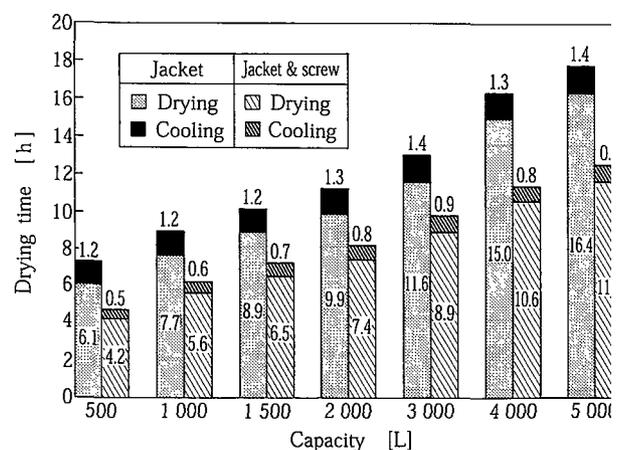
1) 低温乾燥の乾燥時間短縮

低融点の粉体など熱の影響を受けやすい粉体に低温で乾燥する必要がある。低温乾燥では、比熱的外套温度が低く、蒸発物の回収等の設備コストの問題から高真空にできないような場合、乾燥に必要な温度差を大きくとれず、乾燥時間が長くなることがある。

翼加熱型を使用した場合、伝熱面積が大きくなりスクリー翼軸面より効率よく熱伝達をおこなうことができるため低温乾燥の乾燥時間短縮に有効である。

2) 付着しやすい粉体の乾燥

本テストでは、壁面に粉体が付着しなかったが、実機では粉体が壁面に付着する場合がある。付着しやすい粉体は、スクリーと缶壁のクリアランス部に付着し、壁面からの伝熱が悪くなり乾燥時



第6図 実機の乾燥冷却時間予測
Fig. 6 Drying- and cooling-time prediction of actual machines

間が長くなる場合がある。

缶壁に付着しやすい粉体であっても、自転軸は常に回転運動しているためスクリー部には粉体は付着しにくい。そのため翼加熱型では、スクリー面から粉体に熱を有効に加えることができる。したがって、翼加熱型スクリーは、付着しやすい粉体に対して有効に熱量を加えることができ、乾燥時間の短縮に寄与する。

3) 粉化、破碎しやすい粉体の乾燥

SV ミキサーは攪拌動力が小さくスクリーのせん断力も比較的小さいため、粉粒体を破損することがほとんど無いが皆無ではない。翼加熱型は乾燥時間を短縮することにより粉粒体に与えるせん断時間を軽減することができるので、粉粒体の破損がより少なくなる。

4) 粉体の冷却

通常、粉体排出時には、粉体温度を60℃以下にする必要がある。乾燥過程で60℃以上に昇温された品温を下げる際、翼軸内に冷却水を通水することにより効率良く冷却することができる。

6. 実機の製作範囲

翼加熱型スクリーを実機に適用するにあたっての製作範囲を次に示す。

- ① ラジアルローケータ（スクリー下部軸振れ防止装置）無しの場合にのみ使用することができる。
- ② 品温測定は、従来型と同様にドライブユニット中央から粉体内に温度計を差し込む構造とした。
- ③ 従来型のSV ミキサーを交換して翼加熱型に改造できる構造とした。ドライブユニット、公転軸部の大部分は従来型と互換性をもたせ、新規取付部分以外ではスクリー翼及び73°ギアボックス内の軸等の交換のみとした。

むすび

翼加熱型SV ミキサーを製作し、従来型SV ミキサーと乾燥時間の比較をおこなった。その結果、加熱型は従来型と比べ乾燥時間が30%程度短縮できる。

今回のテストでは、乾燥時間の短縮を主としておこなったが、翼加熱型SV ミキサーは、付着しやすい粉体、熱劣化を懸念する粉体、粉化、破碎の軽減など多くの可能性を有している。今後は、客先テストを通じて数多くのデータを蓄積し、技術の向上を目指し客先要望に答えていきたい。

連絡先

山崎 忠成 化工機事業部
 技術部装置グループ
 装置グループ長
 TEL 0794 - 36 - 2517
 FAX 0794 - 36 - 2578
 E-mail t.yamasaki@pantec.co.jp