

# SV ミキサーのテスト事例報告 (その1)

## The Test Report of the SV MIXER (No.1)



(化)技術部

太田 幹子

Mikiko Ohta

中村 公彦

Kimihiko Nakamura

SV ミキサーは粉体の混合機及び乾燥機として幅広い分野で使用されている。最近では医薬品・食品・ファインケミカル分野の用途が増え、それに伴い GMP 対応や低温乾燥機としての対応がユーザーより望まれている。

当社ではユーザーの要望に沿って様々なテストを行っている。本稿ではそのテスト結果の一部を紹介する。

The SV MIXER has been widely used in powder handling equipment such as for mixing and drying. Recently, the application of the SV MIXER in the field of pharmaceutical, food and fine chemical industries is on the increase. Therefore it is necessary to be suitable to the severer specification of GMP (Good Manufacturing Practice) and low temperature drying. We perform various tests to satisfy the customer's desire. This paper shows some results tested using the SV unit.

### Key Words

S V ミ キ サ ー  
G M P  
低 温 乾 燥

SV MIXER  
GMP  
Low temperature drying

#### まえがき

SV ミキサーは、逆円錐形容器内に自公転するスクリューを持ち、粉粒体に三次元的な対流運動を与える構造で、その独自の混合機構を有効に利用した混合・乾燥機である。上市以来ユーザー各位に好評を得て、納入実績を着実に積み重ねてきた。

近年、医薬品、医薬中間体、食品、ファインケミカル分野では、GMP 対応がより一層志向されている。

GMP の要求事項として

① 滅菌

② 乾燥効率の向上によるコンタミの低減

などが上げられる。

また、医薬品や食品には熱的に不安定な物質を取り扱う

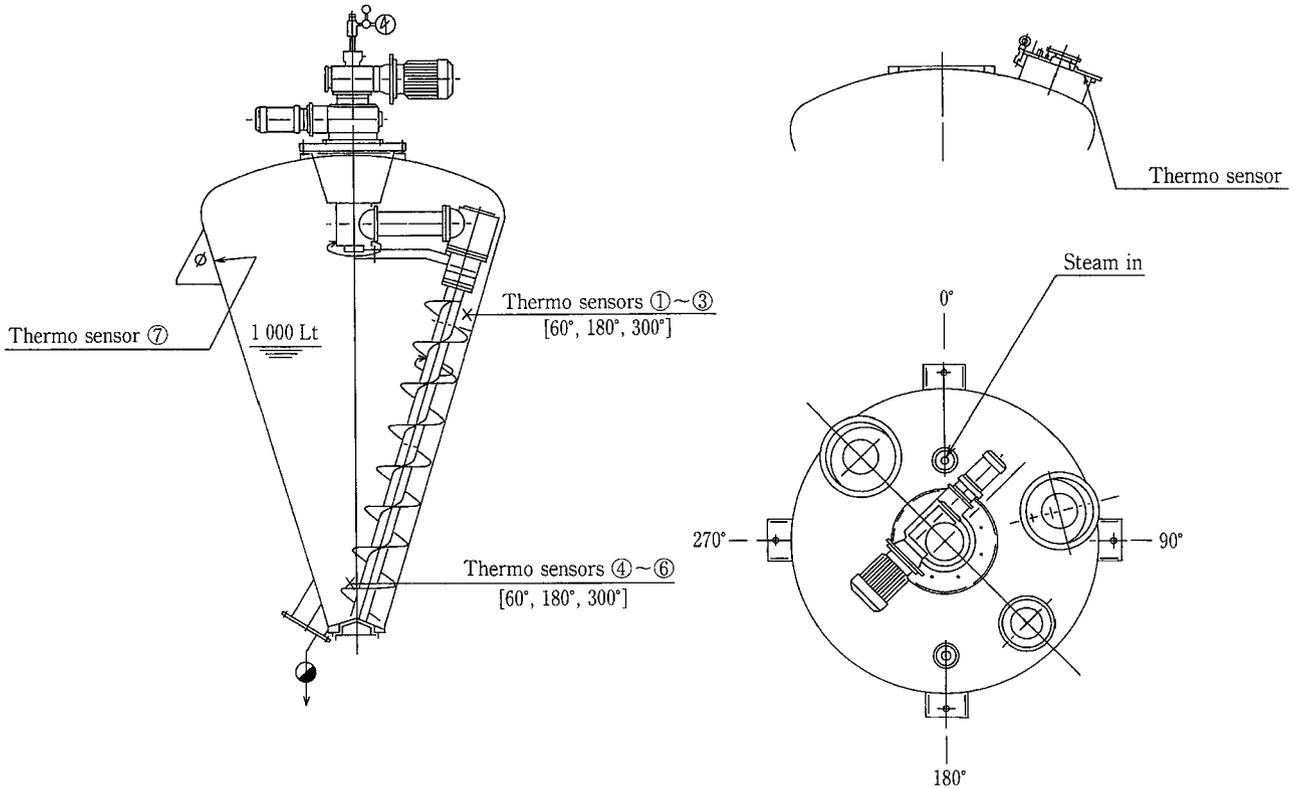
場合があり、SV ミキサーのような機械的攪拌による乾燥機では、攪拌による摩擦熱によって装置内の粉体接触部の温度が粉温より高くなり、変質を生じることがある。

これらの課題を解決するための1手段として、ここに当社でのテスト事例を紹介する。

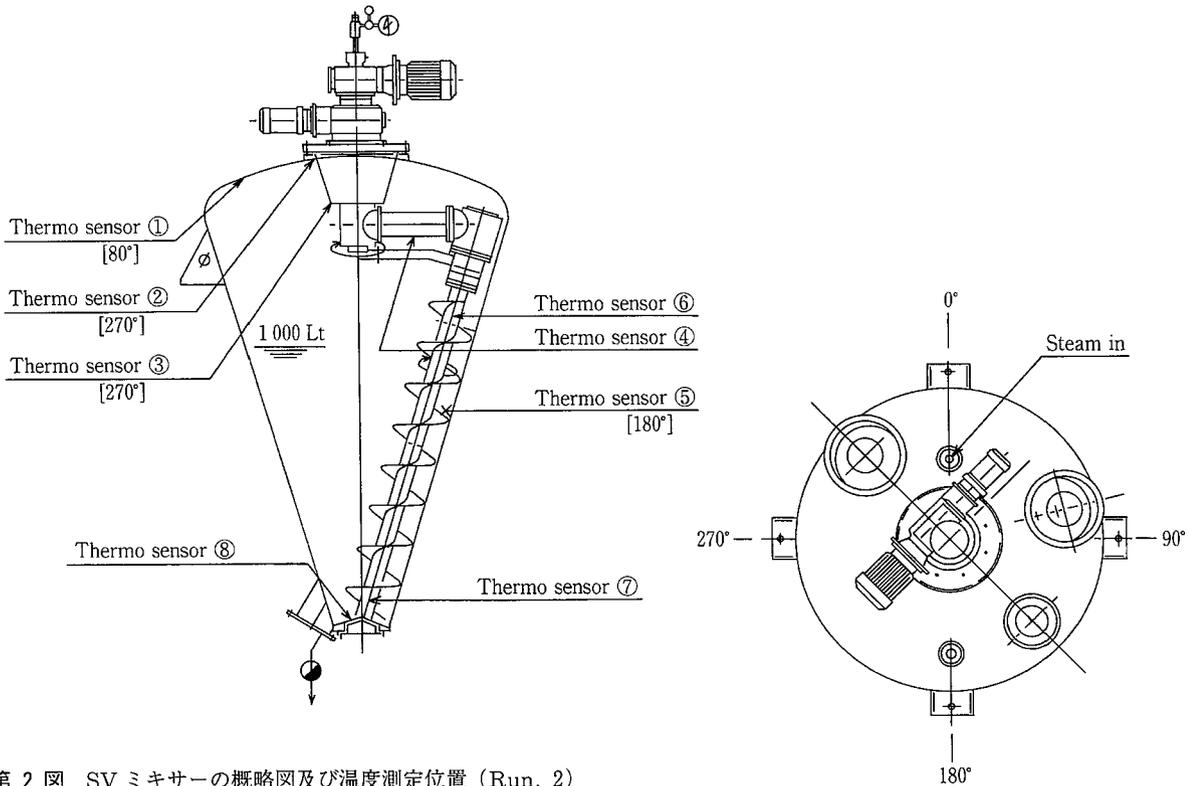
#### 1. SV ミキサー昇温テスト

食品・薬品業界等で GMP 対応が急務となっている近年、洗浄後のスチーム滅菌、あるいは原料そのものを滅菌するケースが増えている。SV ミキサーにおいても、装置内滅菌の要望がある。

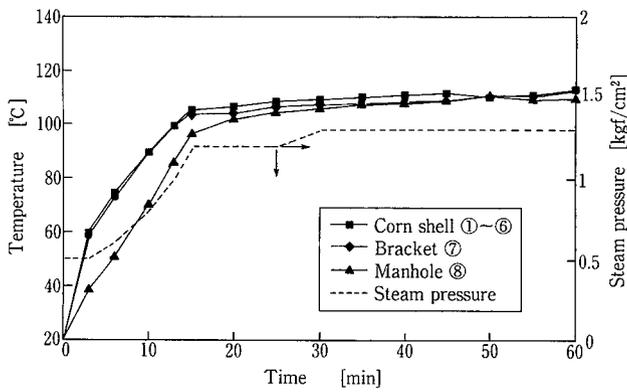
そこで SV ミキサー内にスチームを吹き込み、槽内を均一に昇温可能か、また昇温後温度の保持が可能かを確認した。さらに昇温時間を推測した。



第 1 図 SV ミキサーの概略図及び温度測定位置 (Run. 1)  
 Fig. 1 Schematic of the SV MIXER and thermo sensor position (Run. 1)

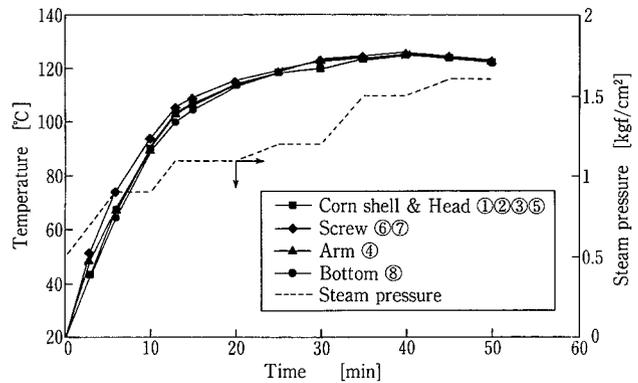


第 2 図 SV ミキサーの概略図及び温度測定位置 (Run. 2)  
 Fig. 2 Schematic of the SV MIXER and thermo sensor position (Run. 2)



①～⑧ : Sensor No.

第 3 図 温度曲線 (Run. 1)  
Fig. 3 Thermo curve (Run. 1)



①～⑧ : Sensor No.

第 4 図 温度曲線 (Run. 2)  
Fig. 4 Thermo curve (Run. 2)

### 1. 1 テスト方法

第 1, 2 図に使用した 1000 LtSV ミキサーの概略と、スチームの吹き込み口及び温度測定位置を示す。

温度は熱電対で測定し、打点式の記録計で記録した。

使用したスチームは元圧が 1.8 kgf/cm<sup>2</sup> であるが、使用に当たっては変動を伴った (1.0～1.5 kgf/cm<sup>2</sup>)。

自・公転を停止して測定を行い、装置下部にトラップを設けた。

また、このときの外気温は約 16 °C であった。

### 1. 2 テスト結果及び考察

測定結果を第 3, 4 図に示す。

- 1) 第 3 図より、槽壁は方位及び測定高さに関係なく一様に温度が上昇する。スチームによって槽内に循環流が生じ、雰囲気温度が均一になったためと考えられる。
- 2) ブラケット部分は放熱が大きいので、他の槽壁よりも 1～2 °C 温度が低かったが、差は小さなものであった。
- 3) マンホールは昇温開始初期は 20 °C 近く温度が低かった。これは測定位置が装置上鏡から突出した位置にあり、エア溜まりができやすいためであるが、20 分後には温度差は 5 °C 以下になり、最終的に槽壁とほぼ一致した。
- 4) 第 4 図より、スクリューの温度は槽壁よりも 1～2 °C 高めであったが、これは今回のテストではスクリューに直接スチームが当たったため、温度上昇は槽壁と等しいと言ってよい。
- 5) 公転軸、鏡、槽底についても温度は槽壁と一致しており、SV ミキサー槽内はほぼ均一に加熱されていることが確認された。
- 6) Run. 1, Run. 2 ともに 20～30 分で加熱が行われ、以降は平衡状態が続く。Run. 1 についてはテスト時の蒸気元圧の供給不足により滅菌温度に達しなかった。スチーム圧力が 1.4 kgf/cm<sup>2</sup> を越えた Run. 2 の場合、SV ミキサー槽内の温度は 121 °C を越えて安定しており、SIP (定置滅菌) が可能である。
- 7) 昇温時間の推定

本テストにおけるスチームは、25 A の配管で供給しており、供給可能なスチーム量は 85 kg/hr、配管等の熱量損失を 30 % と考えると、SV ミキサー昇温に供給され

た熱量は

$$Q_0 \approx 31\,000 \text{ kcal/hr}$$

SV ミキサー本体の加熱に必要な熱量は

$$q_1 = cW \Delta t_1$$

$$\approx 9\,100 \text{ kcal}$$

$c$  : 材料比熱 (SUS304) 0.12 kcal/kg°C

$W$  : SV ミキサー加熱部重量 720 kg

$\Delta t_1$  : 上昇温度 105 °C

本テストで使用した SV ミキサーは断熱していないため昇温中の放熱等の熱損失を 35 % と仮定すると、昇温時間  $\theta \approx 27$  min となり、本テストにおける実測値 (25～30 min) とほぼ一致する。

本体胴を断熱構造にした場合には、放熱等による熱的損失が 10 % と仮定すると、 $\theta \approx 19$  min となる。

SV ミキサーは、耐熱ベアリング、ドライシールを用いることで、121 °C、1.4 kg/cm<sup>2</sup> の圧力に耐える設計が可能である。

## 2. SV ミキサー乾燥テスト

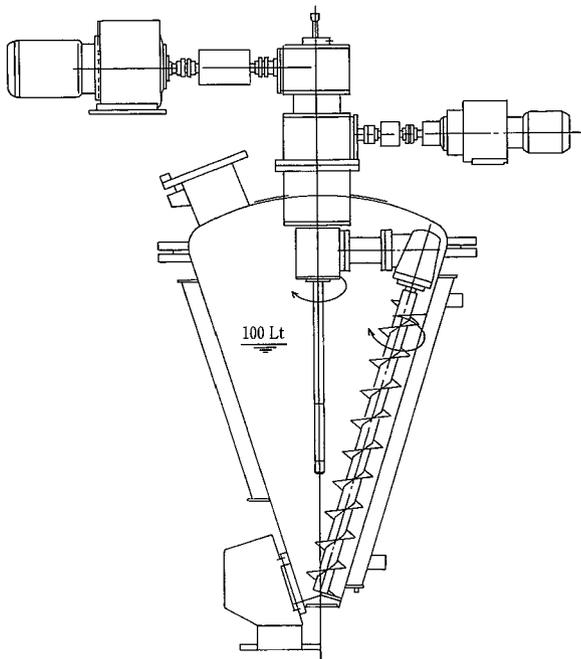
これまでにも SV ミキサーの乾燥性能については紹介してきた<sup>1), 2)</sup>が、本項では今までに紹介できなかった SV ミキサーの乾燥性能について紹介する。

### 2. 1 回転数の影響

SV ミキサーの回転数は標準仕様では固定であり、原則として変速は行わない。しかし、性状の異なる品種を取り扱う場合には、自・公転回転数を可変速にすることがある。

SV ミキサーは、自・公転の働きによって槽内が部分的に流動化し、伝熱面積が更新されることで乾燥が促進する。従って、自・公転の回転数が速いほど乾燥効率も向上すると考えられる。

そこで、SV ミキサーの自・公転回転数が乾燥性能に与える影響を知るためにテストを行った。また、乾燥に最適な回転数を検討した。



第5図 SVミキサー (100 Lt) 概略  
Fig. 5 Schematic of the SV MIXER (100 Lt)

### 2. 1. 1 テスト方法

第5図に使用した100 Ltテスト機の概略を示す。

試料として軽質炭酸カルシウム ( $\rho_B = 0.56 \text{ kg/cm}^3$ ) 42 kgに精製水4.71 kgを添加し、湿分を15 wt%に調湿したものを使用した。

操作条件を第1表に示す。

### 2. 1. 2 テスト結果及び考察

テスト結果を第6図に示す。

- 1) 自・公転回転数がそれぞれ34~100, 1.1~3.0 rpmの範囲では回転数が速くなると乾燥時間は短く、最終含水率も低い。
- 2) 本テストにおいては自転回転数100 rpm, 公転回転数3.0 rpm以上では最終含水率は回転数による優位性が認められなかった。また、乾燥時間は自転回転数100 rpmの方が短かった。

目視での観察では、自・公転回転数が速くなるとスクリーウ翼外周に空隙が生じていた。自転の回転数が100 rpmを越えると、スクリーウ翼と周囲の粉の間に滑り現象が生じるため流動性は向上しない。よって乾燥効率も向上しない。

### 3) 最適回転数の検討

単位時間当たりの搬送量が多いほど乾燥効率が良いと考えると、スクリーウ翼周辺に空隙を生じず、かつ、最高の回転数が、もっとも乾燥に適した回転数という事になる。

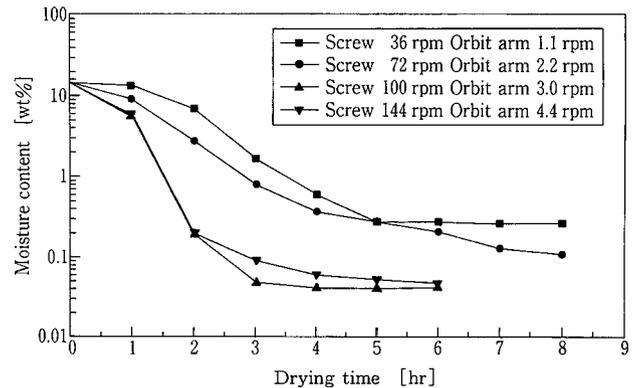
本テストにおいて、もっとも乾燥に適した条件は自転回転数100 rpm, 公転回転数3.0 rpmであった。

SVミキサー内の粉体には重力による下向きの力が働いており、スクリーウの回転に伴って生じる空隙に粉が流れ込む事によって連続的な粉の流動が行われる。しかしスクリーウによって与えられる遠心力が、粉が空隙に

第1表 操作条件

Table 1 Operation Conditions

Run. No.	1	2	3	4
Screw [r. p. m.]	36	72	100	144
Orbit arm [r. p. m.]	1.1	2.2	3.0	4.4
Conveying capacity [m <sup>3</sup> /hr]	2.1	4.2	5.8	8.4
Operating Pressure [Torr]	30			
Jacket temperature [°C]	80			
Sampling time [hr]	1, 2, 3, 4, 5, 6			



第6図 乾燥曲線 (1)

Fig. 6 Drying test (1)

潜り込もうとする重力よりも大きくなると、スクリーウ周辺に空隙が生じる。

スクリーウ翼周辺より与えられる遠心力によって滑り現象が生じると仮定し、遠心力を一定としてスケールアップを考えると、

$$F = mr\omega^2 / gc$$

m: 質点の質量, r: スクリュー半径,

$\omega$ : 角速度, gc: 重力加速度

ここで、m及びgcが等しいとして

$$r_{\text{TEST}} \omega_{\text{TEST}}^2 = r_s \omega_s^2$$

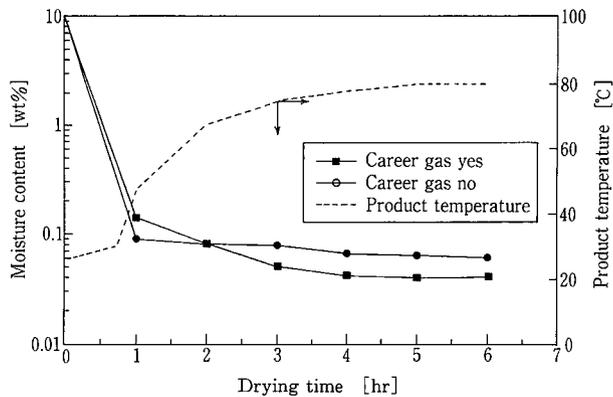
$r_{\text{TEST}}$ : テスト機スクリーウ半径, 60 mm

$\omega_{\text{TEST}}$ : テスト機角速度,  $(100 \times 2\pi) / 60 \text{ rad}$

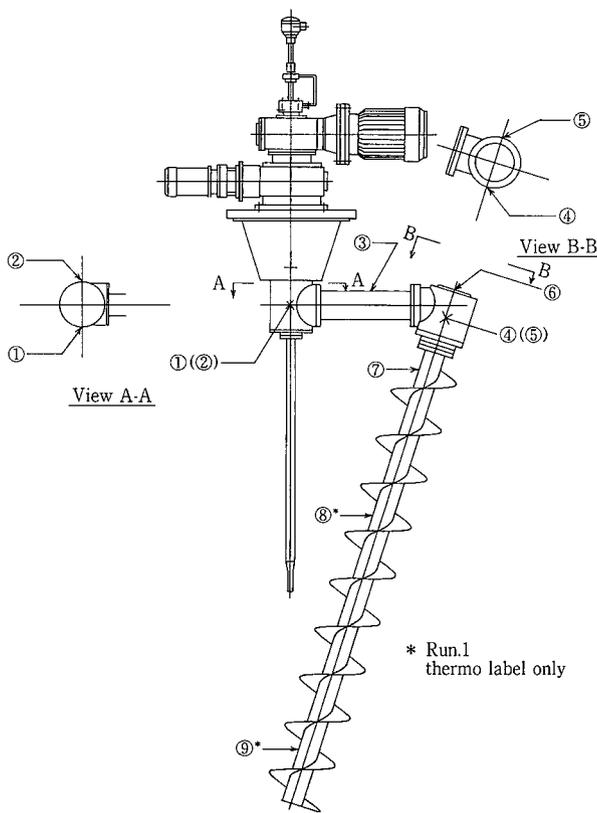
$r_s$ : 実機スクリーウ半径,  $\omega_s$ : 実機角速度

第2表に計算の結果と当社の標準回転数をまとめた。粉体の性状によって粉体圧や流動挙動は大きく変化するため、個々の粉体には固有の最適回転数が存在すると考えられるが、当社の標準回転数は本テストの粉体系においては適正であるといえる。

なお、本テストにおいては自公転を変化させてテストを行ったが、実機には機種毎に適正な自公転回転数の組み合わせがあり、自転回転数の変速に伴い公転回転数も変速させる必要がある。不適正な回転数の組み合わせは、機器の損傷をまねく恐れがあるので、注意が必要である。



第 7 図 乾燥曲線 (2)  
Fig. 7 Drying test (2)



第 8 図 温度測定位置  
Fig. 8 measurement position (thermo label and contact thermometer)

## 2. 2 窒素ガス吹き込みの影響

一般に、乾燥を行う際にキャリアガスとして不活性ガスを吹き込むと、乾燥時間を短縮し最終含水率を低くすることが出来る。これは水蒸気蒸留と同様に操作圧力の一部を不活性ガスに分圧として担わせ、溶媒の蒸気圧を低くすることによって、見かけの操作真空度より高真空の乾燥を行っていることになるためである。高真空での乾燥や不活性ガスの供給は、乾燥率の向上に有効である。

そこで、キャリアガス吹き込み効果を確認するテストを行った。

第 2 表 計算結果 (スクリー回転数)

Table 2 Results of Calculation (rotational frequency of screw)

Screw diameter [m]	0.12	0.30	0.36	
calculation [r. p. m.]	100	63	58	
Standard (1) [r. p. m.]*	100	70	73	67
Standard (2) [r. p. m.]**	84	60	61	56

\* Frequency : 60Hz

\*\* Frequency : 50Hz

第 3 表 操作条件

Table 3 Operation Conditions

Run. No.	1	2
Screw [r. p. m.]	100	
Orbit arm [r. p. m.]	3.0	
Operating Pressure [Torr]	25	
Jacket temperature [°C]	80	
Carrier gas	yse*	no
Sampling time [hr]	1, 2, 3, 4, 5, 6	

\* N<sub>2</sub> gas 4 NLt/min (0.5kg/cm<sup>2</sup>G)

第 4 表 操作条件

Table 4 Operation Conditions

Run. No.	1	2
Screw [r. p. m.]	71	
Orbit arm [r. p. m.]	1.6	
Operating Pressure [kgf/cm <sup>2</sup> ]	ATM	
Operating temperature [°C]	Room temperature	
Contents	Powder*	None
Measurement time [hr]	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	

\* Calcium Carbonate 500 [kg]

### 2. 2. 1 テスト方法

テスト装置として、100 Lt の SV ミキサーを用いた (第 5 図)。

また、試料として重質炭酸カルシウム ( $\rho_B=0.92 \text{ kg/cm}^3$ ) 60 kg に精製水 6.6 kg を添加し、湿分を 10 wt % に調整したものを使用した。また、キャリアガスとして窒素ガスを採用した。

操作条件を第 3 表に示す。

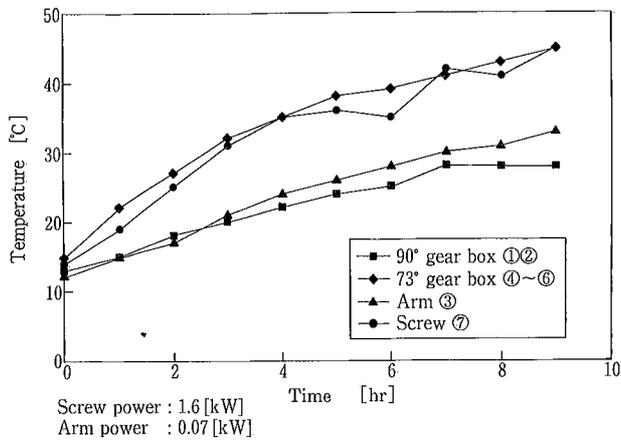
なお、窒素ガスは底部より、乾燥開始直後から吹き込んだ。

### 2. 2. 2 テスト結果及び考察

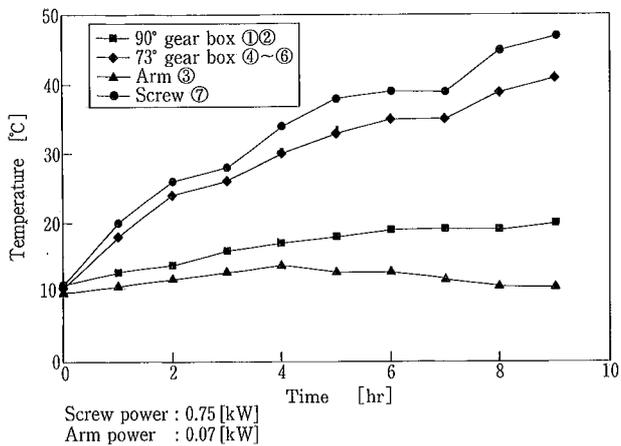
結果を第 7 図に示す。

1) 一般に乾燥は、恒率乾燥を経て減率乾燥を行う。恒率乾燥時は、与えられた熱量はすべて試料付着湿分及び缶内湿分の蒸発に使用されるため、製品温度は湿分の沸点温度を示す。従って、乾燥開始後約 40 分の間は恒率乾燥を行っていたと考えられる。

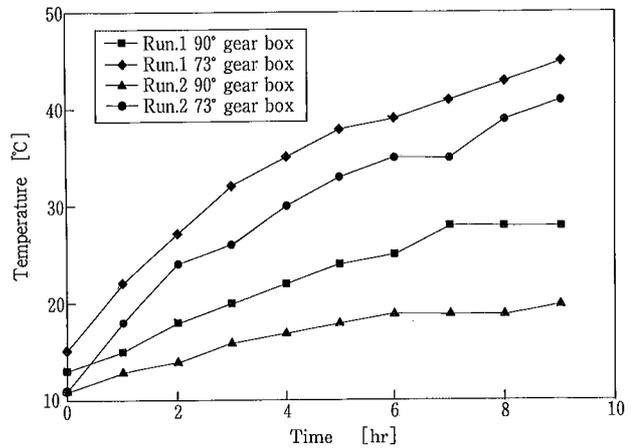
2) テスト開始約 1 時間の間は Run. 2 (N<sub>2</sub> ガス吹き込み無) の方が乾燥が速かった。また、テスト開始 2 時間以



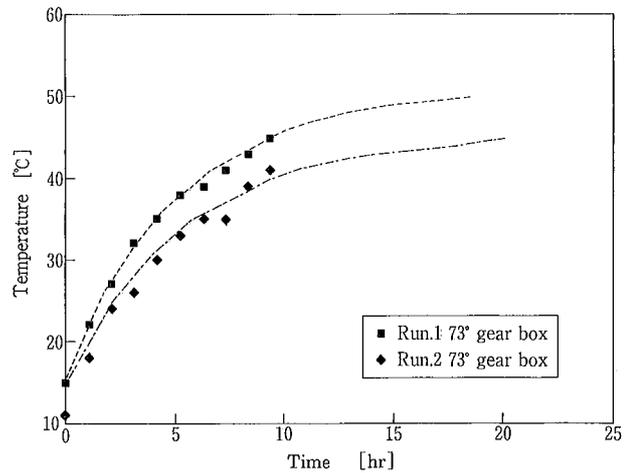
第9図 駆動部温度曲線 (Run. 1)  
Fig. 9 Run. 1 Thermo curve



第10図 駆動部温度曲線 (Run. 2)  
Fig. 10 Run. 2 Thermo curve



第11図 ギヤボックス温度曲線  
Fig. 11 Thermo curve of the gear boxes



第12図 温度曲線 (仮想曲線)  
Fig. 12 Thermo curve (imagination line)

降は Run. 1 (N<sub>2</sub> ガス吹き込み有) の方が乾燥が速かった。

キャリアガス吹き込みは減率乾燥時には効果があるが、恒率乾燥時はキャリアガス吹き込みによる効果はあまり期待できない。逆にキャリアガスによって真空度が低下し、乾燥性能が悪化する恐れがある。

3) Run. 1, Run. 2 とともにテスト開始後4時間以降の含水率はほぼ横這い状態となり最終含水率に達したが、Run. 1 の方が含水率は低かった。

4) 乾燥を開始し、品温が上昇し始めた時点(減率乾燥)でキャリアガスを吹き込むことは、乾燥時間を短くし、かつ最終含水率を低くすることに対して有効である。

しかしキャリアガスの吹き込みは溶剤回収設備、真空排気設備のコスト増となる要因を含んでおり、注意が必要である。また、乾燥が迅速に行われる試料の場合、キャリアガス効果が現れないことがあるので確認が必要である。

### 3. 駆動部温度データ

許容温度の低い物質(低融点物質、温度により変質を伴う物質等)を取り扱う場合、駆動部及びスクリー翼の局

所的な温度上昇により、製品劣化を伴うことがある。

1500 Lt SV ミキサー実機を用いて連続運転を行い、駆動部の温度を測定し、温度上昇データを取得した。

#### 3.1 テスト方法

SV ミキサーを9時間連続運転し、1時間毎に駆動部を接触式温度計で測定した。また、各部所にサーモパルを張り付け、最高温度の確認を行った。

測定位置を第8図に示す。また、操作条件を第4表に示す。

#### 3.2 テスト結果及び考察

第9~12図によりテスト結果を示す。

1) 第9, 10図により、Run. 1, Run. 2 とともに攪拌熱、摩擦熱により運転開始後徐々に温度が上昇する。

測定部位としては、73° ギヤボックス及び自転軸の取付フランジ付近(第8図部位⑦)が高い温度を示した。

2) 73° ギヤボックスの発熱は、スクリー翼の回転によりギヤボックス内のベアリングに摩擦熱が生じているものと思われる。

3) 自転軸は73° ギヤボックスで発生した熱の伝熱により、温度が上昇する。

しかし、スクリューの中段よりも下部においてはサーモラベルの変色は認められず、温度は常に40℃以下であった。Run. 2において9時間運転終了後自転軸の各部の測定を行ったところ、スクリュー中段以下の温度は、テスト開始からまったく上昇していなかった。

- 4) 本テストにおいては90°ギヤボックスがもっとも低い温度であった。90°ギヤボックス内でも公転軸の回転により73°ギヤボックスと同様の現象が生じているはずであるが、回転が遅いことや、ギヤボックスのカバーが大きい為ベアリングの摩擦熱が伝わりにくく放熱も大きいことなどが原因となり、温度の上昇が抑制される。
- 5) 公転軸部には発熱体は存在しないが、公転軸内のオイルが90°及び73°ベベルギヤの双方で発生した熱の伝熱によって温度が上昇する。
- 6) テスト日の大気温は10℃前後であったが、Run. 1の槽内温度は18℃であり、駆動部の温度上昇によって雰囲気温度が8℃上昇した。
- 7) 第11図より90°及び73°ギヤボックスは、負荷を与えたRun. 1の方がいずれも約5℃高い温度を示した。
- 8) 本テストは9時間で終了したが、73°ギヤボックスの温度はまだ上昇する傾向があった。

発熱によって生じる熱量と温度に以下のような関係があると仮定する。

$$Q = M \frac{dT}{dt} + UA (T - t_0)$$

Q: 発生熱量	[kcal/hr]
M: 熱容量	[kcal/℃]
t <sub>0</sub> : 雰囲気温度	[℃]
T: 外表面温度	[℃]
θ: 時間	[hr]
U: 総括伝熱係数	[kcal/m <sup>2</sup> hr℃]
A: 表面積	[m <sup>2</sup> ]
但し、M, T, U, Aはすべて73°ギヤボックス近傍	

の値とする。  
式より

$$\theta = \frac{M}{UA} \ln [Q - UA (T - t_0)] + C$$

(但し  $Q \geq UA (T - t_0)$ )

変数はθとTのみであるので、実測値より、UA, M, Qを次のように仮定し、仮想曲線を示した(第12図)。

UA: 4 kcal/hr, M=20 kcal/℃,

Q: Run. 1: 140 kcal/hr, Run. 2: 112 kcal/r

またこの時、計算上の73°ギヤボックスの最高温度は、Run. 1: 51℃, Run. 2: 42℃であった。

- 9) 乾燥工程においてはジャケットより外部加熱を行うので、さらに温度は上昇すると考えられる。

ジャケット温度を50℃と考え、槽内雰囲気温度は本テストRun. 1の18℃から50℃に上昇する。雰囲気温度と駆動部の温度差Δtが変わらないと仮定すると、Run. 1における73°ギヤボックスの最高温度は約80℃となる。しかし、駆動部が高温になり、外気との差が大きくなれば放熱量も多くなるため、実際には80℃まで温度が上昇することはないと考える。

熱的に不安定な製品を取り扱う場合には、駆動部を冷却できる構造にするなどの対策が必要となるため、今回のデータを元にさらに伝熱面での理論的な裏付けを行う。

#### むすび

SVミキサーのテスト結果の一部について簡単に紹介した。今後も医薬品・食品分野での需要が見込まれる中で当社はGMP対応技術のより一層の向上を目指しており、各種の社内テストを行いデータを集積するなど、エンジニアリングサービスを充実させ、ユーザー各位のご要望に応じていきたい。

#### [参考文献]

- 1) 神鋼パンテック技報 Vol. 36, No. 1 (1992), P. 24
- 2) 神鋼パンテック技報 Vol. 38, No. 1 (1994), P. 15

#### 連絡先

太田 幹子	化工機事業部 技術部	中村 公彦	化工機事業部 技術部 課長
TEL 0794 - 36 - 2517		TEL 0794 - 36 - 2517	
FAX 0794 - 36 - 2542		FAX 0794 - 36 - 2542	
E-mail m.ota@pantec.co.jp		E-mail k.nakamura@pantec.co.jp	