

## ジャイレトリ・シフタの性能に関する研究\*

(第1報, 実験)

佐藤 勇一<sup>\*1</sup>, 上原 一之<sup>\*2</sup>  
安井 昭夫<sup>\*3</sup>, 坂田 康朗<sup>\*3</sup>Performance of a Gyrotory Sifter  
(1st Report, Experimental Study)Yuichi SATO, Kazuyuki UEHARA,  
Akio YASUI and Yasuo SAKATA

Experimental study of gyrotory sifters, which are used to remove aggregate or alien substances, is presented. The effects of operating conditions, such as the bed depth of powder, the sieve revolving speed, and the size and shape of the sieve, on sifting capacity or sifting rate are investigated. The motion of the powder bed on a screening surface is also observed. Experimental results show that the sifting rate is very sensitive to the bed depth. There is an optimum bed depth at which the sifting rate is maximized. The sifting rate of a circular sieve is higher than that of a rectangular sieve. The sifting capacity increases with the revolving speed.

**Key Words:** Whirling, Forced Vibration, Frictional Vibration, Gyrotory Sifter, Sifting Rate

## 1. ま え が き

ふるいのうちでその運動が水平面内の円運動とみなしうるものをジャイレトリ・シフタと呼ぶ。このタイプのふるいは構造や機構が簡単なこともあり、多くの分野で古くから使用されてきている。しかしながら、ふるい分けのメカニズムは複雑で明らかにされていないことが多い。ふるい分けに関するこれまでの研究は文献(1)~(4)などにまとめられているが、大きく二つに分類できる。その一つは粒子がふるいの網を通過するメカニズムに関するものであり、ほかは網上の粉体量と網を通過した粉体量に関するものである。通常、網上の粉体層は、網面を通過できないような大きな粒子と小さな粒子によって構成されている。このため、大きな粒子が網目に引っかかり、小さな粒子が網を通過するのを妨げるなどの、大きな粒子と小さな粒子との関係が、ふるい分けのメカニズムをさらに複雑化させている。

本研究では粉体内に混入しているかもしれない異物を取り除くことを主たる目的としたいいわゆる全通シフタを考察の対象としている。すなわち、取扱う粒子の粒径に比べて、網目の目開きは十分大きい。これまでのふるいの処理能力に関する研究では、網上の残留率の減少を目的としているが、本研究では網上に存在するすべての粉体がふるい網を通過することを前提とした全通シフタの処理速度の向上をはかるため、処理速度を決定する主たる要因を明らかにすることを目的としている。

まず、処理能力に及ぼす運転条件の影響を実験的に検討し、次いで、粉体層の運動および処理量について考察している。

## 2. 実験装置および実験方法

図1にジャイレトリ・シフタの概略構造図を示す。モータで駆動され、Vベルト、クランクを介して、樹脂性の柱で支えられた台上のふるいが回転円運動をする。ふるいの垂直方向の振動は水平方向の振動に比べて5%程度である。ふるいの回転半径は20mm、回転速度は250, 279, 319rpmとして実験した。ふるい網はナイロン・ホルティングクロス(目開き149 $\mu$ m)を使用した。表1に示すように形状がほぼ正方形(3種類)

\* 原稿受付 平成4年12月15日。

\*<sup>1</sup> 正員, 埼玉大学工学部(☎338 浦和市下大久保255)。\*<sup>2</sup> 埼玉大学大学院 [現:(株)花王(☎131 墨田区文花2-1-3)]。\*<sup>3</sup> 日清製粉(株)生産技術研究所(☎354 埼玉県入間郡大井町鶴ヶ岡5-3-1)。

と円形(1種類)のふるい容器を用いた。く形ふるいBと円形ふるいDはほぼ同じ面積である。供試粉体には小麦粉(平均粒径約25 $\mu$ m)を使用した。ほとんどすべての粒子が網目よりも小さいために網面を通過し、混入異粒子や凝集粒子のみが網面上に残る。しかし、実験では測定前に供試粉体をふるいにかき、凝集粒子がほとんどないものを使用した。粉体の湿度はほぼ大気の湿度と考えられる。温度は20~23 $^{\circ}$ C、湿度40~50%であった。

ふるい容器に粉体(小麦粉)を入れ、シフタを作動させ、30秒ごとに粉体の層厚の測定と、網面を通過し排出口から出てくる粉体を捕集した。これを層厚がゼロになるまで行った。そして、層厚と単位時間当たりの処理量(処理速度)の関係を求めた。この実験をふるい容器の大きさ、形状、および、旋回速度を変えて行った。粉体層厚を直接測定することはできないので、基準面から粉体表面までの距離を測定し、ふるい面までの距離との差から層厚を求めた。粉体の表面は作動中1mm程度の振幅で上下振動をしているので、平均値を層厚とした。測定はふるい容器の中央で行った。

3. 実験結果および考察

3.1 処理能力 図2はふるいB、旋回速度279rpmの場合についての実験結果の一例である。経過時間に対する層厚の変化は図2(a)に示すように、はじめほぼ一定の割合で緩やかに減少するが、ふるいを作動してから約5分30秒後、層厚が約70mmに達すると急激に層厚の減少量が増加する。層厚がゼロに近づ

くと再び層厚の減少は緩やかになる。

これを処理速度に関して示したものが図2(b)である。ふるいの作動後5分30秒までは処理速度Qはほぼ一定であるが、その後急激に増加し再び減少している。1分当たりの処理速度についてみると作動後6分では処理速度は4.3kg/minに達し、これは5分以前の処理速度に比べて約5~6倍である。さらに層厚が薄くなると処理速度は減少し、層厚が1~2mmになると処理速度はほとんどゼロになる。ふるいA、CおよびDについても定性的に同様な結果が得られる。

図3は図2を層厚hと処理速度Qの関係に整理し直したものである。ただし、ふるいA、CおよびDの結果もあわせて示してある。時間は層厚hが厚いほうから薄いほうへと経過している。図3でふるいBの実験結果についてみると、層厚hが70mm以上では、処理速度Qは毎分約0.8kgであるが、層厚が70mm

表1 ふるいの形状と大きさ

SIEVE NO.	SHAPE	DIMENSION (mm)	AREA (m <sup>2</sup> )	AREA RATIO
A	RECTANGLE	532×472	0.247	2.83
B		438×386	0.169	1.94
C		316×276	0.087	1.00
D	CIRCLE	φ467	0.171	1.97

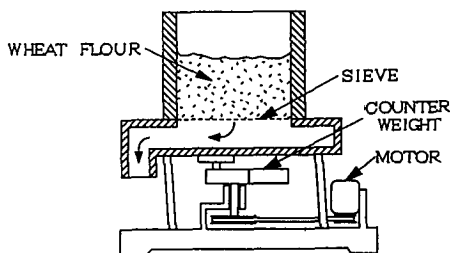
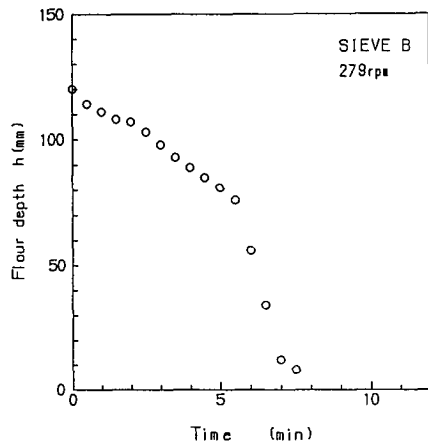
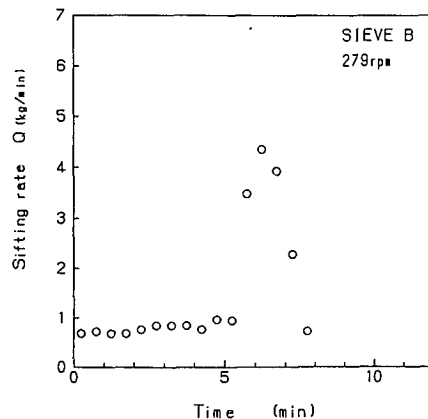


図1 ジャイレトリ・シフタ



(a) 層厚hと時間の関係



(b) 処理速度Qと時間の関係

図2 層厚hと処理速度Q

以下では処理速度が増加し、層厚が約 40 mm で処理速度は最大値(4.3 kg/min)となっている。これからふるい B では層厚が 15~60 mm の範囲でふるいの処理速度が高いことがわかる。このように処理速度の大きい範囲の層厚のことを以下では『最適層厚』と呼ぶことにする。

ほかのふるい A, C および D についても図 3 からわかるように実験結果は定性的にふるい B とほぼ同じ傾向を示す。ただし、最適層厚の上限はふるい A が大きいほど厚い。すなわち、ふるい A では 20~80 mm、ふるい C では 10~50 mm、円形ふるい D では 10~60 mm が最適層厚である。

粉体が網面を通過するには網面上にある粉体粒子に加わる垂直方向の圧力は大きいほうが好ましいと考えられる。層厚が薄いとこの圧力が小さく粉体粒子は網面上をはねてしまい、通過できないと考えられる。しかし、図 3 からわかるように、粉体層が最適層厚以上に厚くなると処理能力は減少する。これは粉体層の網面に対する相対運動と関係していると考えられるが、この点に関しては後で考察する。

次にふるいの回転速度の処理速度  $Q$  に及ぼす影響を調べた。図 4 はふるい B を用いた場合の例で、実験の範囲内では回転速度が高いほど処理速度が高く、最適層厚も厚いことがわかる。すなわち、ふるい面から粉体に与えられる振動が大きいほど、高い処理能力がえられる。最適層厚の上限が高いことは、網面上の粉体に加わる圧力も高くなり、処理速度をさらに増加させているものと考えられる。

図 5 は各ふるいの単位面積当たりの最高処理速度  $q_{max}$  をふるいの面積  $S$  に対してまとめたものである。ふるい容器の大きさの影響がないように、最高処理速度  $Q_{max}$  をふるいの面積  $S$  で割り単位面積当たりの最高処理速度  $q_{max}$  が示されている。円形ふるい D はふ

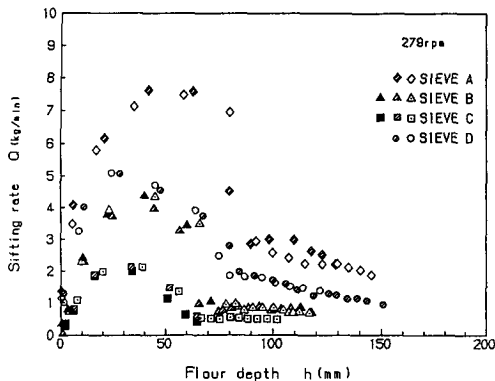


図 3 処理速度  $Q$  と層厚  $h$  の関係

るい B と面積がほぼ等しいので、ふるい B と区別するため各印をぬりつぶしている。

図 5 からわかるように回転速度が同じであれば、実験の範囲内ではふるいの面積が大きいほど、単位面積当たりの最高処理速度  $q_{max}$  は高い。また面積のほぼ等しいく形ふるい B と円形ふるい D では、円形ふるい D のほうが最高処理速度  $q_{max}$  は高い。

すなわち、大きいふるいのほうが粉体の運動を妨げず、形状的にはく形よりも円形容器のほうが、粉体の運動を妨げないため、大きいふるいほど処理速度が高く、く形よりも円形ふるいのほうが処理速度が高いと考えられる。なお、一番大きいふるい A は 319 rpm において処理速度が多過ぎて排出しきれないため図示していない。

図 6 は単位面積当たりの最高処理速度  $q_{max}$  を旋回角速度  $\omega$  の二乗に対して示したものである。図 4 から回転速度は高いほうが好ましいことがわかったが、図 6 より、ふるいの大きさ、形状によって若干差はある

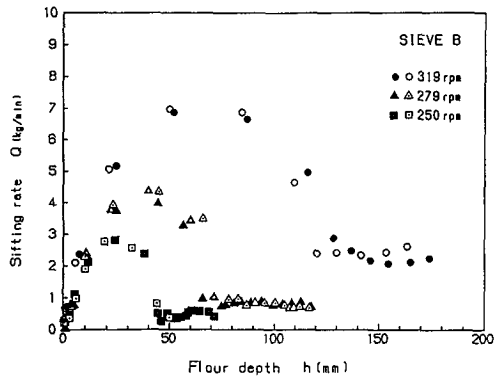


図 4 処理速度  $Q$  に及ぼす回転速度の影響

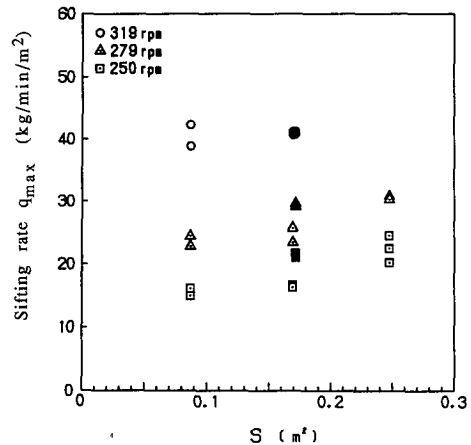


図 5 単位面積当たり最高処理速度  $q_{max}$  とふるいの面積  $S$  および形状の関係(■, ▲, ●:ふるい D)

ものの最高処理速度  $q_{max}$  は  $\omega^2$  の関数, すなわち, 旋回の加速度の関数になっていることがわかる。

**3・2 粉体層の運動** シフタ運転中, 容器内の粉は, ふるい容器とともにふれまわりながら, ごくゆっくりではあるが自転していることが目視で確認できる。そこで, 紙製のマーカを粉体層表面にさして粉全体の自転の様子を, 運転を開始してから数秒後, マーカが  $1/8 \sim 1/2$  回転するのにかかる時間を測定し, 自転速度を求めた。この実験をく形ふるい A と円形ふるい D について行った。

層厚  $h=100$  mm としたとき円形ふるい D の自転角速度  $\Omega$  と 旋回角速度  $\omega$  の関係を図 7 に示す。旋回角速度  $\omega$  が高くなるほど, 粉体の自転角速度  $\Omega$ /旋回角速度  $\omega$  は小さくなっているが, その値は 3% 未満である。また, 最適層厚の範囲内である  $h=50$  mm とした

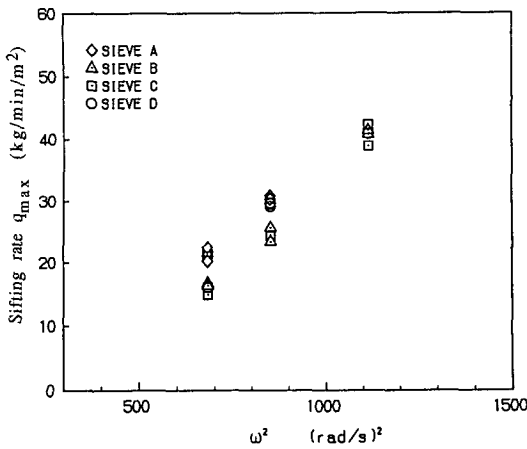


図 6 単位面積当たり最高処理速度  $q_{max}$  と 旋回速度  $\omega$  の二乗の関係

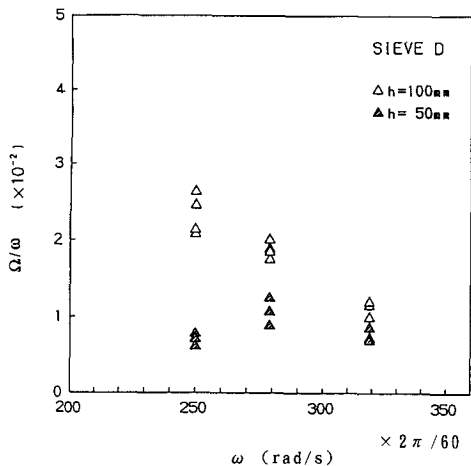


図 7 粉体層の自転角速度  $\Omega$ (ふるい D)

ときは, 旋回速度の変化に対してあまり変化せず  $\Omega/\omega$  は約 1% である。一方, く形ふるい A の場合, 粉体の自転角速度比  $\Omega/\omega$  は, 円形ふるいに比べてさらに低く 1% 未満であった。

粉体層の網面に近い部分の挙動は観察できなかったが, 網面との摩擦があるため粉体層の下層のほうが上層より自転しやすいとは考えにくく, 粉体層は自転せずに, 網面とともにふれまわり運動(公転)をしているとみなすことができる。

粉体と容器の相対的な位置を調べるため, 粉がなめらかに運動している円形ふるい D を用い, 粉の動きを上から写真撮影することにより調べた。図 8 は粉体層が傾いて容器壁からはがれてみえる角度範囲を示したものである。角度  $\theta$  はふるい容器がふれまわって変位した位置から旋回方向に測っている。測定は各層厚に対して 10~15 回行い, 各角度位置におけるはがれの頻度を % で示した。図 8 より, 運転条件によらず, 容器の変位した位置から前方  $0 \sim 180^\circ$  の範囲ではがれている。つまり, 粉体層は全体としてはふるい容器の変位と  $90^\circ$  遅れた方向に倒れ込むようにしてふれまわっていることになる。

表 2 は壁から最もはがれている位置の粉体層と壁の距離  $a$ , および, はがれの深さ  $b$  をまとめたものである

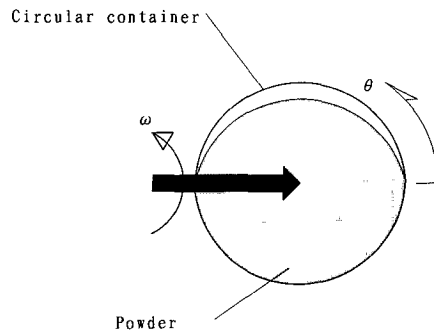
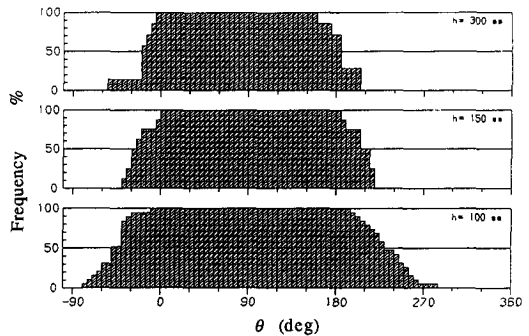


図 8 ふるい容器から粉体層上部がはがれている角度範囲とその頻度

る。ふるい内壁に5mmおきに付けた目印をもとに測ったので結果も5mm単位に丸めてある。\*印は層厚が最適層厚の範囲内であることを示している。これからわかるように、最適層厚の範囲では、はがれは網面まで達している。しかし、層厚が最適層厚以上に厚くなると、はがれは網面まで達していない。

これから、最適層厚の範囲内では、粉体は網面と相対的な滑り運動をしていると考えられる。一方、最適層厚以上では粉体層は、網面に接した部分は動かず、粉体層上部のみ振動していると考えられる。このため、粉体と網面の相対運動がほとんどなく、網面上の粉体に加わる圧力は十分高いが、処理速度は少ないと考えられる。

**3.3 摩擦係数およびかさ密度** 粉体層の運動をマクロ的にみたとき、計測可能な量として粉体層のみかけの密度(かさ密度)とふるい面と粉体層底面の摩擦係数がある。かさ密度については、粉体層の深さに対する変化はわからないが、実験で捕集した処理速度と層厚の変化量から求めた。その結果を表3に示す。得られた結果にはばらつきがあるので、ばらつきの範囲を示してある。

単に粉を容器に入れたときのかさ密度はおよそ500 kg/m<sup>3</sup>であるから、振動によって高められていることになる。く形ふるいA, B, および, Cでは回転速度が

増すと、かさ密度は増加する傾向がある。しかし、円形のふるいDではかさ密度は回転速度にほとんど依存していない。また、ふるいC, B, Aの順にかさ密度は増加しており、ふるいが大きくなるほどかさ密度は高くなる傾向にある。また、く形ふるいA, B, Cと円形ふるいDを比較すると明らかに円形ふるいのほうがかさ密度が高い。円形ふるいでは回転時に粉体層がなめらかにふれまわるのに対し、く形ふるいでは回転時に容器壁面に衝突し、粉体層が壊されてしまうためと考えられる。

表3からふるい大きいほど、単位面積当たりの処理速度 $q$ が高いのは、粉体層のかさ密度にも起因していると考えられる。すなわち、ふるい大きいほど、粉体層が容器壁面に衝突して壊される部分の粉体層全体に占める割合が少ないためと考えられる。円形ふるいの処理速度が高いのは、く形ふるいに比べて粉体層が容器壁面に衝突することがなく、粉体層のかさ密度が高い状態で、網面上を運動するためと考えられる。表2の結果を考えあわせると、網上を粉体層が、あたかも、下ろし金で大根がすり下ろされるように回転する状態がジャイレトリ・シフタの望ましい運転条件と考えられる。

運転状態における小麦粉と網面の摩擦係数を測定することは困難なので、ふるい面と小麦粉の静摩擦係数を傾斜法により測定した。供試粉体を700 kg/m<sup>3</sup>になるように内径72mmの円筒容器にいれ、網面上で粉体を崩さないように静かに容器を取り去り、ゆっくりと網面を傾斜させていって、試料が滑り出したときの平面の傾斜角度を求めた。この測定により得られた静摩擦係数はばらついたが、ほぼ静摩擦係数は1.0、付着力は0.02Nであった。また、かさ密度が増すと静摩擦係数、付着力はともに小さくなる傾向があった。

#### 4. 結 論

ジャイレトリ・シフタについての処理速度の実験結果、および、ふるい内の粉体の挙動の観察から以下のような結論を得た。

表2 はがれ幅  $a$  と深さ  $b$

revolving speed (rpm)	bed depth h(mm)	a (mm)	b (mm)
319	150	45	95
	95	40	90
	45	40	45
279	150	35	55
	100	35	65
	35	40	35
250	100	25	45
	50	25	30
	30	30	30

\*

\*

\*

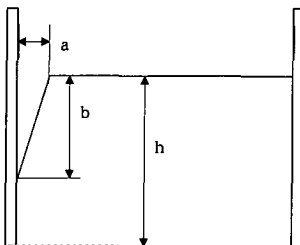


表3 処理量より求めた粉体層のかさ密度

SIEVE	REVOLVING SPEED		
	250 rpm	279 rpm	319 rpm
A	600-640	730	730-740
B	580-620	600-640	680-690
C	530-590	580-590	580-610
D	710-760	710-730	720-730

(kg/m<sup>3</sup>)

(1) 処理速度を最大にする粉体層厚が存在する。粉体層の厚さがその最適層厚より厚いときには、処理能力は数分の一に低下する。ふるいの面積、旋回速度が増加すると単位面積当たりの処理速度は増加し、最適な粉体層厚の範囲は広がる。

(2) 粉体層は一方のふるい内壁に倒れ込むように接し、180°反対側では壁からはがれて、ふるいと同じ振動数で旋回運動をしている。

(3) 最適層厚の範囲内では粉体層全体が網面と相対運動を行い、最適層厚以上では網面に接した部分は相対運動をせず、上層部のみ振動している。

#### 文 献

- (1) 三輪, 粉粒体工学, (1972), 207, 朝倉書店.
- (2) 三輪, ふるい分選統体, (1974), 124, 産業技術センター.
- (3) 三輪, 粉体のフルイ分け, (1965), 171, 日刊工業新聞.
- (4) 粉体工学会編, 粉体工学便覧, (1986), 529, 日刊工業新聞.