

論 文

UDC 661.935 : 622.723 : 621.926.34 : 621.928.6 : 622.723

新型エアセパレータの分級性能および分離機構について*

今西 信之**・亀岡 義文**・田中 俊行***

Classificating Properties and Separating Mechanism of the
New-type Air Separator

Nobuyuki IMANISHI, Yoshifumi KAMEOKA, and Toshiyuki TANAKA

Synopsis:

The effects of rotational speed of selector blades, number of selector blades, and circulating flow rate of air on classification properties and separating mechanism of a new type air separator (casing dia. 320 mm) have been investigated.

The main results obtained are as follows:

(1) It is observed that selector blades of the rotor bring about a dead zone of air current in separating many particles and it is recognized that the classification of this air separator is carried out in the range where Allen's law holds.

(2) Cut size: over 20 (90% passing size of fine powder),
separating efficiency: 70~80% (lime stone)
60~70% (iron ore),
pressure drop: max. 320 mm H₂O.

(3) The observed values, both cut size (d) and $\bar{U}_r/\bar{U}_\theta^{4/3}$, change in a good agreement with theoretical equations developed for the separating mechanism, that is

$$d=109 \bar{U}_r/\bar{U}_\theta^{4/3} \text{ (lime stone)}$$

$$d=79.5 \bar{U}_r/\bar{U}_\theta^{4/3} \text{ (iron ore)}$$

(4) An enlarged air separator (casing dia. 1 800 mm) similar to the experimental one shows the same separating mechanism and classification properties better than those of other large-scale air separators.

1. 結 言

工業的規模で用いられる乾式の大型分級機はとくにセメント工業を中心に発達してきた。中でもスターテバント型エアセパレータはセメント工業における実績も多いため各工業分野で採用され、鉄鋼業もその例外ではない。従来から多くの実績を有するスターテバント型エアセパレータは通常次のような点で問題を有すると言われている。

(1) 運転中の粒度調整はコントロールバルブの開閉によるだけで粒度調整範囲が狭い。

(2) 分級粒度を大きく変更するには運転を中止して補助ブレード枚数を変更する必要がある。

(3) 分級効率が比較的低い⁴⁾ (ミルへの負担および過粉碎を招く)

しかし最近では分級性能、粒度調整あるいは大型化の

面で特徴ある型式の分級機が開発されつつある^{1)~13)}。

鉄鋼業ではエアセパレータはボールミルとともにペレタイジングプロセスにおける造粒に用いる原料の粒度調整に用いられる。エアセパレータの分級性能は乾式閉回路粉砕ミルの性能に大きく影響を及ぼし、かつペレットの品質管理に重要な役目を果たすものである。このような点からペレタイジングプロセスにおいて鉱石の過粉碎を避けるため、鉱石銘柄に合った粉砕・分級が必要になる。したがって造粒用原料の粒度の安定化を計るために新しい型の分級機を試作し、鉄鉱石および石灰石を用いてその分級性能および分離機構について種々検討する。

2. 実 験 装 置

2.1 フローシート

粉砕・分級用実験プラントは多目的利用のために製作したもので、Fig. 1 に示すような回路を有する。

* 昭和 50 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 51 年 12 月 22 日受付 (Received Dec. 22, 1976)

** (株)神戸製鋼所中央研究所 (Central Research Laboratory, Kobe Steel Ltd., 1-3-18 Wakinohama-cho Fukiai-ku Kobe 651)

*** (株)神戸製鋼所(重機)設計部 (Engineering Department, Heavy Industrial Plant, Kobe Steel Ltd.)

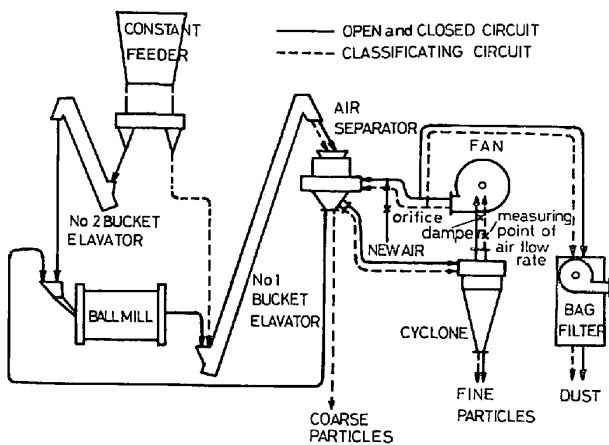


Fig. 1. Flow sheet of 1 t/d grinding pilot plant.

粉碎・分級用実験プラントの特徴は、i) 分級実験単独 ii) 開回路粉碎 iii) 閉回路粉碎 など目的に応じた実験を実施することが可能である。分級実験単独の場合、試料は図中の点線で示されるように、定量供給機から切り出され、No. 1 バケットエレベーターにより持ち上げられ、エアセレータに供給される。エアセレータによつて分離された粗粉は系外へ排出され、細粉はサイクロンへ送られ回収される。極微粉はサイクロンでは捕集されず、ファンを経て循環され、一部はバッグフィルタによりダストとして捕集される。一方エアセレータへの送風量の調整にはバルブを3カ所に設置し、ファン送風量、バッグフィルタ排気量および外気導入量を調整することができる。

圧力損失はエアセレータ入口、出口およびサイクロン出口の3カ所にて測定することができる。外気導入量はオリフィスを用いて測定し、循環風量の測定には双頭型ピトー管を使用し、サイクロンとファンとの中間に測定位置を設けている。

エアセレータ用無段変速機は出力 1.5kW で 300~1200rpm の間で可変速である。送風機は出力 1.5 kW, 27.6m³/min まで送風可能であり、ファンダンパの開閉によつて送風量を調整することができる。

2.2 新型エアセレータの特徴

Fig. 1 のフローシート内に示した新しい型のエアセレータの構造を Fig. 2 に示す。

新しい型のエアセレータは次の特徴を有する。

- i) 分配盤を最上部に設け、供給口と粗粉出口との距離が小さい。
- ii) 分級部は遠心力と内向流のバランスによる。
- iii) 分離効率の向上を計るため分級部と捕集部に分離。
- iv) 回転翼の外径が小さく、消費動力が小さい。
- v) 摩耗部分の大幅な減少。

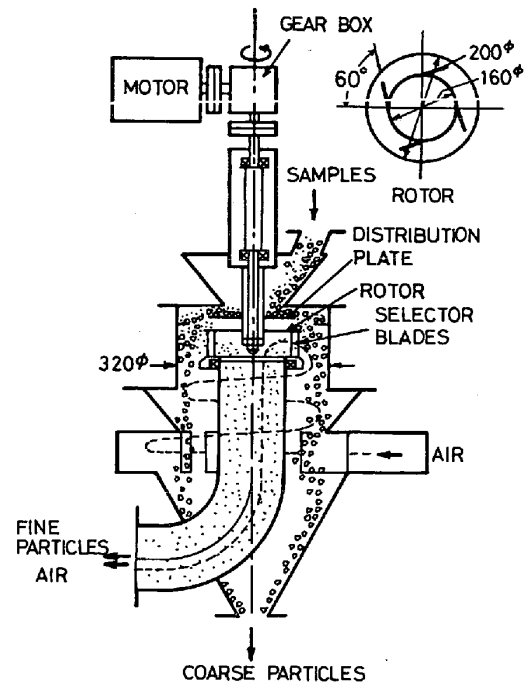


Fig. 2. Cross section of the experimental air separator.

これらの特徴を有するエアセレータの分離粒度は主に i) 回転翼回転数 ii) 羽根の枚数, iii) 送風量の調整 (ファンダンパの開閉) などの操作により広範囲にわたつて調整でき、また遠隔操作も容易である。

ファンからの気流は下部ケーシングへ導入され、旋回上昇しながら主分級室内に入る。一方粉体はエアセレータの供給口から供給され、分散盤により分散されて分級室に入る。気流に分散された粉体は遠心力と内向流のバランスにより分離され、さらに回転翼により分離される。遠心力あるいは回転翼に関係なく通過した細粒子は円筒管を通じてサイクロンへ送られ、抽集されて細粉溜に貯えられる。サイクロンのオーバーフローは循環流になつてファンへ入り、一部はバッグフィルタによつてダストとして捕集される。一方粗粒子は分級室周端に沿つて落下し、エアセレータから排出される。

3. 試料および実験方法

3.1 試料

実験に使用した試料は石灰石(津久見産)、Hamersley (豪州, BHQ 型堆積鉱床) および Brazil (ブラジル, 被変成鉱床) の3種類である。これらは 14mesh (1.19 mm) にてふるい分け、-14mesh のものを実験に供した。供給試料の化学分析値を Table 1 に示す。

試料の粒度は石灰石では3種類、Hamersley および Brazil では各2種類あり、その粒度分布を Table 2 に示す。

Table 1. Properties of raw materials.

Properties Kinds of ore	Chemical composition (%)									Specific gravity
	T.Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CW	LOI	
Lime stone	—	—	—	—	—	55.73	—	—	—	2.72
Hamersley	59.39	83.80	0.11	6.98	4.34	0.14	0.05	3.25	3.31	4.34
Brazil	63.49	90.66	0.11	7.12	1.13	0.11	0.08	1.00	1.06	4.75

Table 2. Size analysis of raw materials.

Size(mesh) Kinds of ore	Size distribution (%)						
	-28	-48	-70	-100	-145	-200	-350
Lime stone	76.2	50.3	40.9	34.2	28.4	25.6	22.6
	95.5	82.0	72.7	62.7	56.2	49.5	44.7
	99.4	96.1	91.5	83.9	76.0	66.3	60.4
Hamersley	83.4	66.6	58.9	51.0	43.3	37.4	30.2
	97.8	92.9	90.4	83.4	74.1	65.1	50.4
Brazil	96.3	86.7	83.5	76.4	67.9	58.9	42.0
	99.9	99.1	98.6	95.9	91.0	81.4	56.8

試料の粒度を区別するために -350 mesh の重量割合にて表示し、以後この形式により表示する。

3.2 実験方法

新しい型のアセパレータの性能を調べるためにエアセパレータの操作因子として、i) 回転翼回転数、ii) 羽根の枚数(4, 8, 16枚)、iii) 循環風量(0.1~0.4m³/s)をそれぞれ変化させる。一方試料因子として i) 試料の種類、ii) 試料の粒度、iii) 供給量、をそれぞれ変化させ、エアセパレータの操作因子と組み合わせ、分離粒度、分級効率および圧損との関係について調べる。

4. 実験結果

無負荷時の循環風量を測定するため双頭型ピトー管¹⁸⁾を使用し、JIS B 8330-62 に準じてエアセパレータの回転翼回転数、羽根枚数およびファンダンパの開閉を行なって平均流量を求めた。ピトー管の位置を一定(壁面から4cmの位置)に定めたときの動圧は平均流量の2乗にほぼ比例し、通常示されている結果とよく一致する。負荷時にも同様にして平均流量を求めた。

4.1 回転翼回転数の影響

羽根枚数4枚、粉体処理量1000kg/h(粉体濃度 $m_f = 0.72 \text{ kg/m}^3$)、ファンダンパ全開なる条件のもとでエアセパレータ回転数が分級点に及ぼす影響を Fig. 3 に示す。

各試料とも回転数が増加するとともに90%通過粒子径は小さくなる。回転数1100rpmの場合、分級点は石

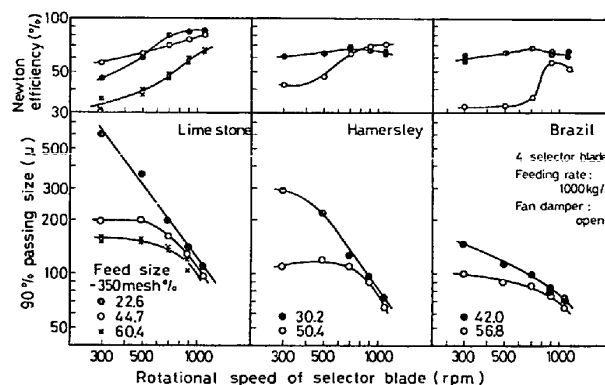


Fig. 3. Effect of rotational speed of selector blades on cut size and Newton efficiency. (4 blades, feeding rate: 1000 kg/h, fan damper: open)

灰石では約100μ、HamersleyおよびBrazilでは約70μである。低速回転では試料粒度が細くなるにしたがい分級点はほとんど変わらず、回転数の増加とともに分級点は小さくなる。

分級効率は回転数の増加に伴い向上するがほぼ変わらないものもある。回転数1100rpmにおいて石灰石では70~80%、HamersleyおよびBrazilでは60~70%の分級効率を示す。高速回転で分級効率が向上するのは回転翼のファン効果による粉体の分散が一層良好になることに基づくものと考えられる。

分級点の表示法には90%通過粒子径、平衡粒子径^{*15)}、

* 試料のふるい上積算分布が粗粉回収率 R/F に等しくなる粒子径

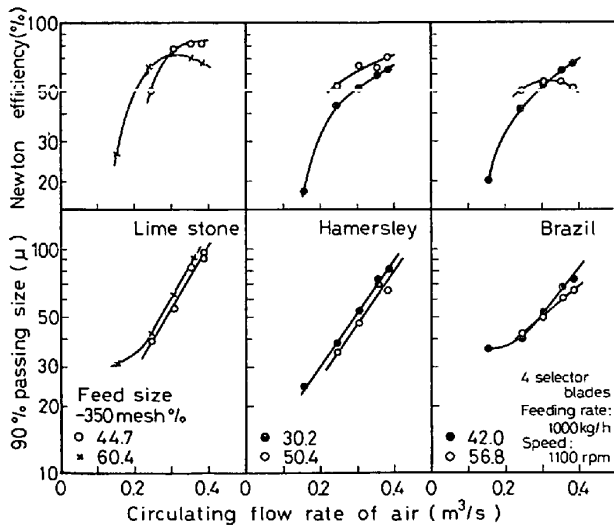


Fig. 4. Effect of flow rate of air on cut size and Newton efficiency. (4 blades, feeding rate: 1000kg/h, speed : 1100rpm)

50%分級粒子径* など各種の方式があるが検討した結果細粉の 90% 通過粒子径は量的な要因を含まないため本実験では 90% 通過粒子径を用いる。

4.2 循環風量の影響

エアセパレータの性能が風量に著しく影響されることは多くの文献^{15)~17)}に示されている。羽根枚数 4 枚、回転数 1100rpm および粉体処理量 1000 kg/h なる条件のもとで循環風量が分級点および分級効率に及ぼす影響を Fig. 4 に示す。

各試料とも循環風量が低下するとともに 90% 通過粒子径は著しく小さくなるが試料の粒度による差はあまり大きくない。一方分級効率は循環風量の低下とともに低下するが約 0.24m³/s 以下では急激に分級効率が低下する。これは粉体処理量が一定 (1000kg/h) であるためエアセパレータの分級室内における分散が不十分になり一種の閉塞限界に達した状態である。

4.3 粉体処理量の影響

エアセパレータの処理能力は次のような場合を最大処理能力と考えることができる。

- (1) 粉体濃度の増加による分級点の遷移が著しく、分級点を一定に保つ調整が不可能になったとき
- (2) 粉体濃度の増加による効率低下が著しく製品としての品質を保ちえなくなるとき
- (3) 供給シュートまたは粉体の通過部に閉塞を生じるとき

羽根枚数 4 枚、回転数 1100rpm およびファンダンパ全開なる条件のもとで粉体処理量が分級点に及ぼす影響を Fig. 5 に示す。

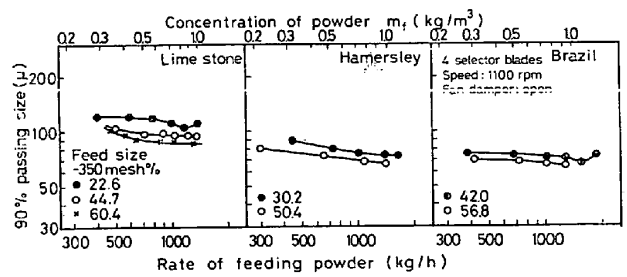


Fig. 5. Relation between rate of feeding powder and cut size. (4 blades, speed : 1100rpm, fan damper : open)

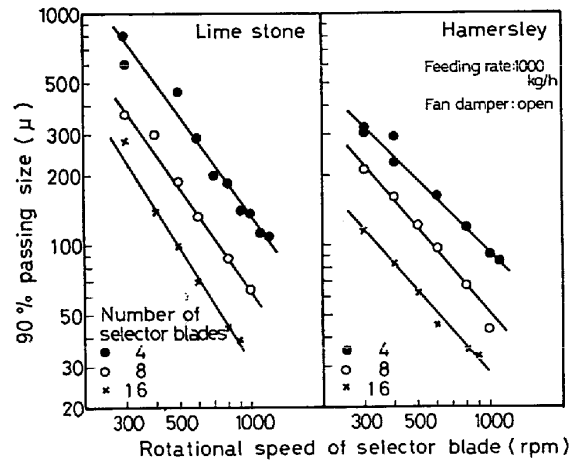


Fig. 6. Effect of number of selector blades and rotational speed on cut size. (Feeding rate : 1000kg/h, fan damper : open)

粉体処理量が増加するに伴い 90% 通過粒子径はやや小さくなるにすぎず、閉塞現象はいずれも生ずるに至っていない。

4.4 羽根枚数の影響

エアセパレータの分級範囲は回転翼の回転数および循環風量によつてほぼ決まるが分級範囲をさらに拡大するためには羽根の枚数が著しく関係する。試料に石灰石 (-350 mesh 22.6%) および Hamersley (-350mesh 30.2%) を用い、粉体処理量 1000 kg/h およびファンダンパ全開の条件のもとで、羽根の枚数および回転数が分級点に及ぼす影響を Fig. 6 に、羽根の枚数および循環風量が分級点に及ぼす影響を Fig. 7 に示す。

Fig. 6 において各試料とも羽根の枚数にかかわらず回転数の増加とともに 90% 通過粒子径は直線的に低下する。一定回転数では羽根の枚数の増加とともに 90% 通過粒子径も直線的に小さくなる。

Fig. 7 において各試料とも羽根の枚数にかかわらず循環風量を少なくすれば 90% 通過粒子径は小さくなる。いずれも羽根の枚数に比較して回転翼回転数の方が分級

* 部分分離効率が 50% を示す粒子径

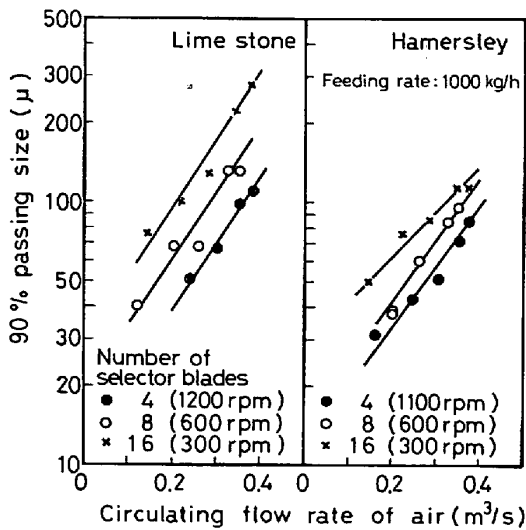


Fig. 7. Effect of number of selector blades and flow rate of air on cut size. (Feeding rate : 1 000kg/h)

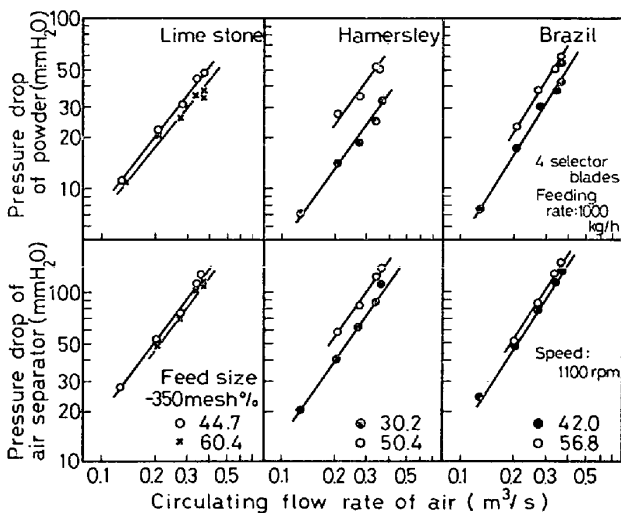


Fig. 8. Relation between flow rate of air and pressure drop. (4 blades, feeding rate : 1 000kg/h, speed : 1 100rpm)

点に及ぼす効果が大きいことを示している。

4.5 エアセパレータの圧力損失について

エアセパレータの性能には分級効率、分級点の他に所要動力も必要で、所要動力は風量×圧力損失で示される。羽根枚数4枚、回転数1100rpm、粉体処理量1000kg/hの条件のもとで循環風量がエアセパレータの圧力損失に及ぼす影響を Fig. 8 に示す。

循環風量が低下するに伴いエアセパレータ本体の圧損は低下し、同時に粉体のみの圧損も低下する。石灰石ではエアセパレータの圧損は流量の1.54乗、Hamersleyでは1.55乗、Brazilでは1.72乗に比例し、一般に圧損は流量の2乗に比例するという結果に比較して、本エアセパレータの圧損の増加割合は小さい。これは循

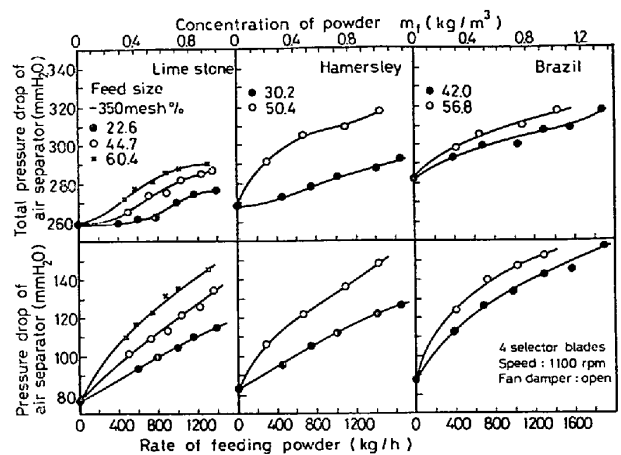


Fig. 9. Relation between rate of feeding powder and pressure drop. (4 blades, speed : 1 100rpm, fan damper : open)

環風量が変わると回転翼の羽根のファン効果による気流の乱れが異なるためであると推定される。

粉体処理量が1000kg/h (m_f : 0.77~2.14 kg/m³)の場合、エアセパレータ本体の圧損(含粉時)は最大140~150 mmH₂O、粉体による圧損は最大70 mmH₂O程度である。またサイクロン(含粉時)は最大160~170 mmH₂O、粉体による圧損は最大40 mmH₂Oである。

羽根枚数4枚、回転数1100rpm、ファンダンパ全開の条件のもとで粉体処理量がエアセパレータの圧損に及ぼす影響を Fig. 9 に示す。

粉体処理量の増加とともにエアセパレータ本体の圧損は著しく増加し、試料粒度が細くなるほど大きくなる。一方サイクロンでは逆に圧損が低下するが、エアセパレータとサイクロンの圧損を加えた総圧損は粉体処理量とともに増加する。石灰石では粉体処理量1300kg/h (m_f =0.94)で290 mmH₂O、Hamersleyでは1400kg/h (m_f =1.01)で320 mmH₂O、Brazilでは1750kg/h (m_f =1.26)で320 mmH₂O程度である。これらの結果からファンの所要動力を求めることができる。

5. 考 察

5.1 エアセパレータの分離機構について

5.1.1 回転翼部の気流速度

エアセパレータの分離粒子径は含粉気流が回転翼部を通過するさいの気流の状態によつて決定される。すなわち気流は回転翼の外から内へ渦流状に流れ込むため、粗粉は遠心力で外へ飛び出し、細粉は気流とともに内側へ吸い込まれる。この際回転翼は気流を強制的に旋回させる作用をするとともに羽根と羽根の間で気流をカットしようとする。羽根の枚数によつて気流のカットのされ方

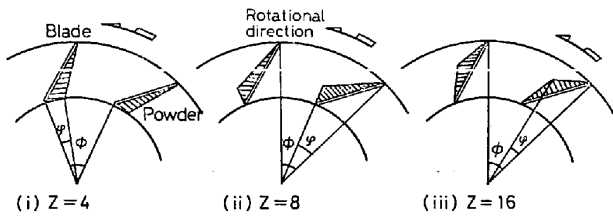


Fig. 10. States of selector blades to which powder attached.

が異なり、羽根の数が多いほどカットされやすい。同一気流速度であつても羽根の数異なれば分級点が異なるのもこれらの現象に基づいている。しかし気流をカットするため羽根の間の一部に気流の死んだ部分 (dead zone)が生ずる。この部分には粉体の付着が生ずるため、粉体の付着状況から気流の分布が推定できる。

分級実験において羽根に付着した粉体の状況をFig. 10に示す。

羽根の枚数が少ない場合、気流は羽根の表面に沿つて侵入し、羽根の裏側に気流の剝離を生じ(i)のようなデッド・ゾーンを生ずる。羽根の数が増えると間隔が狭くなり気流は羽根によるカットを受けやすく、羽根の表側に気流の剝離を生じ(ii)のようなデッド・ゾーンになる。さらに羽根の数が増えると羽根の表側にデッド・ゾーンを生ずるが前の羽根の影響を受け、気流が曲げられ(iii)のようになる。

以下分離機構の展開には(i)の場合を例として考察するがその他についても同様の考察が成立する。気流の縮小状況が羽根の枚数によつて異なることを考慮して一般的に分離機構を考察する。

エアセパレータの回転翼における粒子の運動状態をFig. 11に示す。

いまエアセパレータの回転翼の外周部の羽根と羽根の間aにある粒子が内周部bに至るまでの回転角を θ とすると次式が成立する。

$$\theta = \omega \cdot T + \alpha + \frac{\phi - \varphi}{2} - \frac{\pi}{Z} = \omega \cdot T + \alpha - \frac{\pi}{nZ} \dots (1)$$

- ここに、 ω : 羽根の回転角速度 (rad/s)
- T : 粒子が a から b に至る時間 (s)
- Z : 羽根の枚数 (-)
- α : 羽根の傾きを見込む角度 (rad)
- ϕ : $2\pi/Z$ (rad)
- φ : $2\pi/n \cdot Z$ (rad)
- n : 縮小係数 (-)

回転翼の外周半径を R_o 、内周半径を R_i とする気流の平均内向分速度 \bar{U}_r は次式にて定義される。

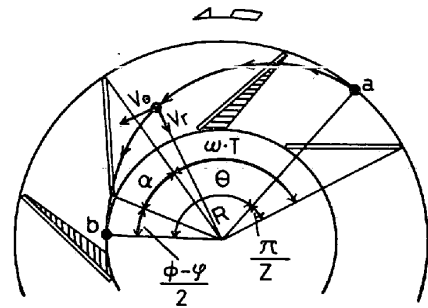


Fig. 11. Separating mechanism of selector blades.

$$R_o - R_i = \int_0^T \bar{U}_r \cdot dT \quad \therefore \bar{U}_r = (R_o - R_i) / T \dots \dots \dots (2)$$

一方任意の半径 R における気流の通過面積 A は羽根の高さを H とすると気流の死んだ部分だけ狭くなり、実験に用いたエアセパレータでは $R_i = (4/5)R_o$ であるから

$$A = H \left(2\pi R - \frac{2\pi}{n} \cdot R_i \cdot \frac{R_o - R}{R_o - R_i} \right) = 2\pi H \left\{ \left(1 + \frac{4}{n} \right) R - \frac{4}{n} \cdot R_o \right\} \dots \dots \dots (3)$$

したがつて半径 R の位置の内向流速 U_r は風量 Q とすると、

$$U_r = Q / A = Q / 2\pi H \left\{ \left(1 + \frac{4}{n} \right) R - \frac{4}{n} \cdot R_o \right\} \dots \dots \dots (4)$$

一方 $U_r = -\frac{dR}{dT}$ であるから、

$$T = - \int_{R_o}^{R_i} \frac{1}{U_r} dR = \frac{2\pi H}{Q} (R_o - R_i) \left\{ \frac{(1+4/n)}{2} (R_o + R_i) - \frac{4}{n} R_o \right\} \dots \dots \dots (5)$$

(2)および(5)式から平均内向流速 \bar{U}_r は

$$\bar{U}_r = Q / 2\pi H \left\{ \frac{(1+4/n)}{2} (R_o + R_i) - \frac{4}{n} R_o \right\} \dots \dots \dots (6)$$

次に気流の周方向速度成分の平均値 \bar{U}_θ は回転翼の平均半径 \bar{R} における値と考えることができる。すなわち $\bar{U}_\theta = \bar{R} \cdot \theta / T \dots \dots \dots (7)$

いま $U_r = \bar{U}_r$ なる時の回転翼の平均半径 \bar{R} は(4)および(6)式から

$$\bar{R} = (R_o + R_i) / 2 \dots \dots \dots (8)$$

(1), (2), (7)および(8)式より

$$\bar{U}_\theta = \bar{R} \cdot \omega + \left(\alpha - \frac{\pi}{nZ} \right) \times \frac{(R_o + R_i)}{2(R_o - R_i)} \cdot \bar{U}_r \dots \dots \dots (9)$$

本エアセパレータでは $\alpha = 0.15$, $R_o = 100$ mm であるから

$$\bar{U}_\theta = \bar{R} \cdot \omega + \left(0.15 - \frac{\pi}{nZ}\right) \times 4.5 \bar{U}_r \dots \dots \dots (10)$$

以上によつて縮小係数 n を設定すれば \bar{U}_r および \bar{U}_θ が求められ、羽根の角度および枚数との関係が求まる。ここで縮小係数 n の設定は次のように行なつた。羽根への付着粉の状況 (Fig. 10に示す) を観察した結果、 $Z = 4$ の場合 n はほぼ 4 に相当することが測定される。同様にして $Z = 8$ ではほぼ $n = 3$ 、 $Z = 16$ では $n = 2$ が測定される。一方 $Z = 4$ のとき $n = 4$ として $\bar{U}_r / \bar{U}_\theta^{4/3}$ を求めておき、 $Z = 4, 8, 16$ の分離粒子径 d が等しくなる $\bar{U}_r / \bar{U}_\theta^{4/3}$ の値からも観察値に近い n が求まる。又 1800 mmφ の大型化したエアセパレータの場合も同様に求まる。以上により n は羽根間の間隔 $\pi D / Z$ (D : 回転翼の直径) の値により、 $\pi D / Z > 8$ では $n = 4$ 、 $8 \geq \pi D / Z > 4$ では $n = 3$ 、 $\pi D / Z \leq 4$ では $n = 2$ の値をとるパラメータである。 n はまた羽根の角度などの因子によつても変りうるパラメータである。

5.1.2 粒子の運動

エアセパレータの分級室に分配された粒子の運動状態を Fig. 11 に示す。

粒子の半径方向の運動方程式は次のようになる。

$$m \cdot \frac{dV_r}{dt} = F_K - m \cdot \frac{V_\theta^2}{R} \dots \dots \dots (11)$$

ここに $m = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\pi d^3}{6}$ (kg·s²/m)

d : 粒子径 (m)

V_r : 粒子内向分速度 (m/s)

V_θ : 粒子周方向分速度 (m/s)

U_r : 気流内向分速度 (m/s)

U_θ : 気流周方向分速度 (m/s)

F_K : 粒子が受ける抵抗力 (kg)

γ : 粒子比重量 (kg/m³)

ここに分級点は $\frac{dV_r}{dt} = 0$ のときの粒子径である。

平衡状態にある粒子は $R = \bar{R}$ において円運動を行ない、粒子の周速が気流の周速に一致すると仮定すれば、

$$F_K = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\pi d^3}{6} \cdot \frac{\bar{U}_\theta^2}{\bar{R}} \dots \dots \dots (12)$$

粒子の受ける抵抗力 F_K は粒子径および流速により、それぞれの法則にしたがう。すなわち、

Stokes 領域 $F_K = 3\pi\mu d \cdot \bar{U}_r \dots \dots \dots (13)$

Allen 領域 $F_K = 1.25\pi \sqrt{\frac{\mu\gamma a}{g}} \cdot (d \cdot \bar{U}_r)^{1.5} \dots \dots \dots (14)$

Newton 領域 $F_K = 0.055\pi \frac{\gamma a}{g} (d \cdot \bar{U}_r)^2 \dots \dots \dots (15)$

ここに、Stokes-Allen の境界 $d \cdot \bar{U}_r = 5.76 \frac{\mu g}{\gamma a}$

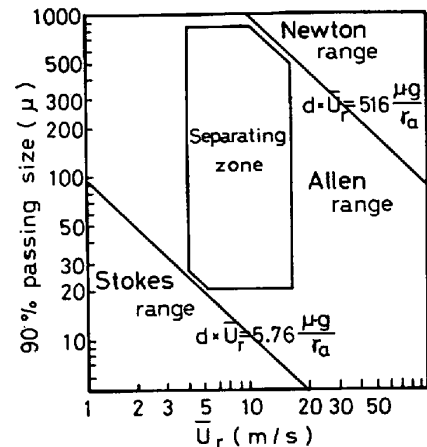


Fig. 12. Separating zone of particles.

$$\dots \dots \dots (16)$$

Allen-Newton の境界 $d \cdot \bar{U}_r = 516 \frac{\mu g}{\gamma a} \dots \dots \dots (17)$

ただし γa は空気の比重量である。

(16)および(17)式から温度 30°C におけるそれぞれの領域を求め、Fig. 12 に示す。

図に示すごとく本エアセパレータは完全に Allen の領域にて分級が行なわれている。したがつて Allen の領域について検討を進めることができ、(12)および(14)式から

$$d = \left(\frac{15}{2} \cdot \frac{\bar{R}}{\gamma}\right)^{2/3} \cdot (\mu g \gamma a)^{1/3} \cdot \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_\theta^{4/3}} \dots \dots \dots (18)$$

ここで空気の温度を 30°C とすれば $\bar{R} = 0.09m$ 、 $\gamma a = 1.13 \text{ kg/m}^3$ 、 $\mu = 1.9 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{s/m}^2$ 、 $\gamma = 2.72 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (石灰石)、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ を代入すると

$$d = 109 \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_\theta^{4/3}} \dots \dots \dots (19)$$

Hamersley では $\gamma = 4.38 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ として

$$d = 79.5 \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_\theta^{4/3}} \dots \dots \dots (20)$$

(6)および(9)式から \bar{U}_r 、 \bar{U}_θ をそれぞれ求め、 $\bar{U}_r / \bar{U}_\theta^{4/3}$ と分離粒子径 d との関係を実験データから示し、(19)および(20)式の理論式を実線にて Fig. 13 に示す。

90%通過粒子径と $\bar{U}_r / \bar{U}_\theta^{4/3}$ との関係は比較的良好で、実線の理論式と一致することが認められる。石灰石および Hamersley はいずれも $300\mu > d > 30\mu$ の範囲での一致性は良好で、分離粒子径の大きい部分にて若干はずれるのは回転翼が非常に低速の場合(10)式の第2項の効果が第1項に比べて大きくなりすぎるためである。しかし通常のエアセパレータはこのような大きな分離粒子径のところにおいて使用することは稀で、実際に使用する分離粒子径では十分によく成りたつといえる。この理論

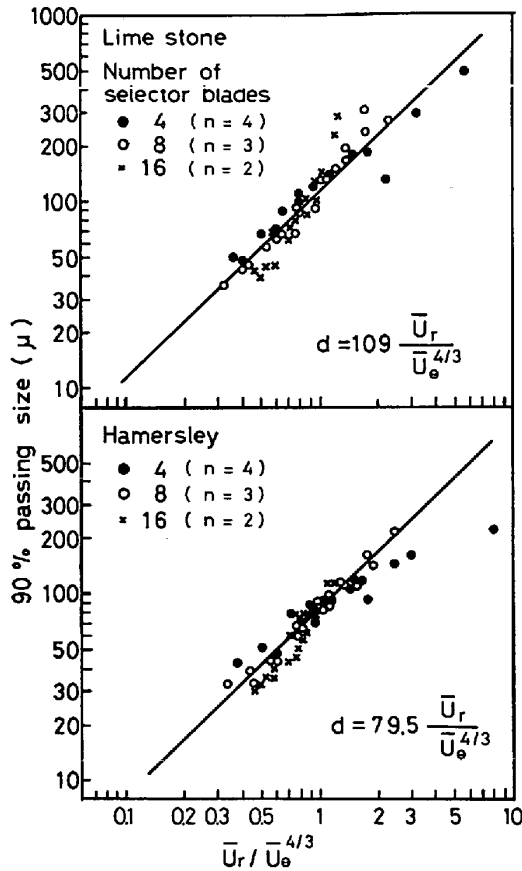


Fig. 13. Comparison of theoretical values with observed values.

値と実測値がよく一致するという事は $\bar{U}_r / \bar{U}_e^{4/3}$ を求めておけば分離粒子径を推定できるので実際における粒度管理が容易に行なえる。

羽根の枚数が増えるにしたがい羽根による空気抵抗が大きく、羽根による気流カットの割合も多くなる傾向にある。新しい型のエアセパレータの分離機構は気流の剝離による空気のデッドゾーンが存在するという事により十分に説明できることが明らかになった。

5.2 スケールアップについて

新しい型のエアセパレータのケーシング内径を 320φ から 1800φ へ大型化した場合にも小型のものと同様の実験結果を示す。分級も同様に Allen 領域にて行なわれ (18) 式から次式が求まる。

$$d = 318 \bar{U}_r / \bar{U}_e^{4/3} \dots \dots \dots (21)$$

Fig. 14 に (21) 式および実験値を示す。

小型エアセパレータと同様に理論値と実験値との一致性はきわめて良好で、大型化した場合でもまったく同様の分離機構に基づいている。

一方他機種エアセパレータと分級状態を比較した結果を Fig. 15 に示す。

石灰石を用いて 50% 分離粒子径が比較的近い値のも

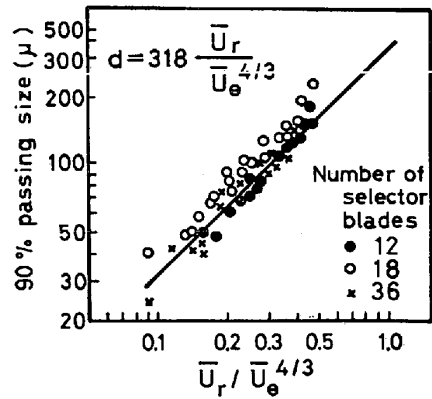


Fig. 14. Relation between theoretical values and observed values (1800mmφ type).

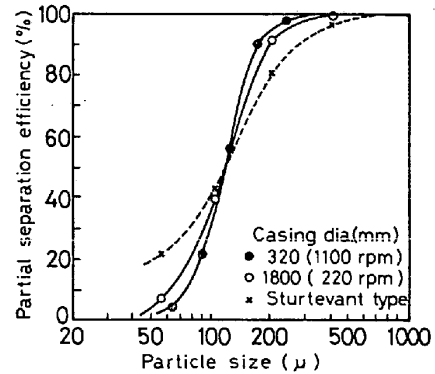


Fig. 15. Partial separation efficiencies of various air separators.

のを比較した結果、新しい型のエアセパレータは従来型のエアセパレータよりも部分分離効率曲線の傾きが大きく、したがって分級効率が良好であることが認められる。

6. 結 言

新しい型のエアセパレータの性能について回転翼回転数、循環風量、羽根枚数が分級点、分級効率、圧力損失に及ぼす影響およびその際の分離機構について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 分級性能は次のとおりである。
 - 分離粒度：20 μ 以上（細粉の 90% 通過粒子径）
 - 分級効率：70~80%（石灰石）
 - 60~70%（鉄鉱石）
 - 圧力損失：最大 320mmH₂O

2) エアセパレータの分級室内に分配された粒子の運動状態から、Allen の法則が成立する領域において分級が行なわれている。したがって分離粒子径 d と平均内向分速度 \bar{U}_r 、平均周方向分速度 \bar{U}_e との関係は次のようになる。

$$d = 109 \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_e^{4/3}} \text{ (石灰石)}$$

$$d = 79.5 \frac{\bar{U}_r}{\bar{U}_\theta^{4/3}} \quad (\text{Hamersley})$$

3) 回転翼の羽根が気流をカットする際に気流の剝離を生ずる現象を用いて、 \bar{U}_r および \bar{U}_θ は羽根の角度、羽根の枚数、角速度、縮小係数により示すことができる。

4) 石灰石および Hamersley の実験による d とそのときの実験条件に基づく $\bar{U}_r / \bar{U}_\theta^{4/3}$ との関係性を求めた結果、上式とよく一致する。すなわち本エアセパレータの分離機構は気流の剝離現象を導入することにより十分説明できる。

5) 内径 320φ のエアセパレータを内径 1800φ に大型化した結果、小型のものと全く同様の分離機構が成立することが認められ、分級性能も小型のものと同程度遜色のないことが判明した。また従来型のエアセパレータと比較して良好な分級性能を有していることも確認された。

文 献

- 1) H. J. JARICH: Zement-Kalk-Gips, (1969) 12, p. 566
- 2) R. BUCCHI and E. PESCALI: Zement-Kalk-Gips, (1965) 11, p. 565
- 3) S. SCHAUER: Zement-Kalk-Gips, (1968) 9, p. 381
- 4) W. KAYSER: Zement-Kalk-Gips, (1962) 11, p. 469
- 5) H. JÄGER: Zement-Kalk-Gips, (1962) 11, p. 479
- 6) K. FLECK: Zement-Kalk-Gips, (1960) 11, p. 501
- 7) F. KAISER: Chemie. Ing. Techn., (1963) 4, p. 273
- 8) H. RUMP and F. KAISER: Chemie. Ing. Techn., (1952) 3, p. 129
- 9) 川崎正直・田中善之助・井伊谷鋼一: 粉体工学研究会誌, 8 (1971) 6, 412
- 10) 古森信夫: 粉体工学研究会誌, 8(1971) 6, p. 430
- 11) 野田 保: 粉体工学研究会誌, 8(1971) 6, p. 436
- 12) 池田研吾, 佐々木惇, 藤原邦久, 向井富二男: 三菱重工技報, 8(1970) 3, p. 127
- 13) 井伊谷鋼一: 粉体工学研究会誌, 5(1968) 4, p. 1221
- 14) 北浦嘉之: 化学工学, 23(1959) 11, p. 778
- 15) 田中善之助, 井伊谷鋼一: 粉体工学研究会誌, 8 (1971) 6, p. 443
- 16) 田中達夫, 桑野 健, 川合清一: 化学工学, 21 (1957) 12, p. 798
- 17) 上田 康: 化学工学, 28 (1964) 4, p. 317
- 18) 井伊谷鋼一, 増田弘昭: 粉体工学研究会誌, 7 (1970) 4, p. 290