スクリーンミルの粉碎生成物粒度に及ぼす 空気と粒子の排出口の位置の影響[†]

空閑良壽・古閑二郎^{*}・井上一郎

理化学研究所 粉粒体工学研究室^{††}

空気流量および粒子排出口の位置がスクリーンミルの生成物粒度に及ぼす影響を粒径 500～1000 μm の相馬砂を用いて実験的に検討した。ミルのハンマーの衝撃速度は 32.3, 47.1, 61.6, 91.0 m/s に設定した。ミルの中央から空気とともに排出される生成物の粒径は約 10 μm であり、スクリーンから排出される生成物の粒径の約 1/3～1/10 であった。

この結果は、ただ一回の衝撃による粉碎の粉碎確率と分配関数に基づいた速度論的解析によって考察できた。前者のミル内でのみかけの衝撃粉碎頻度は約 800～5300 であり、後者の場合の約 10～40 倍であった。

緒 言

スクリーンミルはたかだか数秒の滞留時間で数 10～200 μm 程度の粉碎生成物を得ることのできる連続式の高速衝撃型粉碎機である。この粉碎機でより微細な生成物を効率よく得ることができればその適用範囲はいっそう広がるであろう。著者らは、同ミルによる粉碎における選択関数・破碎関数と同ミルと同一衝撃速度でのただ一回の衝撃による粉碎（以下、単一衝撃粉碎と呼ぶ）における粉碎確率・破碎関数との類似性を実験的に明らかにした⁵⁾。また、後者を用いた同ミルの粉碎過程のシミュレーションと実験結果の一致から、みかけ上、ミル内ではある衝撃頻度で単一衝撃粉碎が生じていると考えられることを示した⁵⁾。ハンマーの回転速度にはモーターの性能やミルの機械的強度の制約から限界があり、微粉碎のためには粒子が受ける衝撃の頻度を大きくすることおよびミル内粒子中の微粉を速やかに排出させること⁶⁾の二つが考えられる。これには、ミル内の通過空気流れと粉碎生成物の粒度に関する研究が必要であるがその報告⁷⁾は非常に少ない。

そこで本研究では、空気および粒子の排出口の位置、流れの方向、ミル内通過空気流量を変化させた 3 種類の粉碎実験からそれらの操作条件が粉碎生成物の粒度分布に与える影響を検討する。次に、単一衝撃粉碎の粉碎確率・破碎関数⁴⁾を用いて、測定した生成物の粒度分布か

らミル内での粒子のみかけの衝撃粉碎頻度を推定し、それと微粉碎化との関係を明らかにする。

1. 衝撃粉碎頻度の決定法

粒径区間を粒径の大きいほうから 1, 2, 3, ... と通し番号をつけ離散化する。粒径区間 j なる粒子が単位時間に粉碎される割合を選択関数 S_j 、粒径区間 j なる粒子が破碎後その粒径が i となる確率を分配関数 b_{ij} とする。本スクリーンミルによる粉碎においては、同一衝撃速度でのただ一回の衝撃による粉碎の粉碎確率 P_j 、分配関数 b_{ij} ⁵⁾ との間には近似的に次の関係が成立することを実験的に明らかにした⁵⁾。

$$S_j = \lambda P_j \quad (1)$$

$$b_{ij} = b_{ij}^s \quad (2)$$

ただし、 λ はミル内での粒子の単位時間当たりのみかけの衝撃粉碎頻度である。Eqs. (1), (2) を連続式粉碎における離散型の物質収支式¹⁾に代入すると次式となる。

$$w_{Fi} = w_{Fi} + \lambda T \left(\sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} P_j w_{Mj} - P_i w_{Mi} \right) \quad (3)$$

$$T = W/F \quad (4)$$

ここで、 F , W , T はそれぞれ粒子の供給速度、ホールドアップ、平均滞留時間を、 w_{Fi} , w_{Mi} , w_{Pi} はそれぞれ砕料、ミル内粒子、粉碎生成物の粒径区間 i の粒子の重量分率を表す。単一衝撃粉碎における P_j , b_{ij} が既知であれば、粉碎生成物とミル内粒子の粒度分布を実験的に決定すると Eq. (3) を用いてミル内での衝撃粉碎頻度 λT を算出できる。

既報において実験的に確認したように、ミル内粒子の運動が完全混合流れでありスクリーンに分級機能がない

[†] 1987年3月6日受理；粉体工学会昭和61年度秋期研究発表会（東京，1986年11月）にて一部発表

^{††} 〒351-01 和光市広沢2-1

^{*} 埼玉大学工学部 環境化学工学科

とみなせる場合⁵⁾には、 w_{Pi} と w_{Mi} との間には

$$w_{Pi} = w_{Mi} \quad (5)$$

なる関係が成立し、Eq.(3)は行列、ベクトルを用いて次式に変形できる*

$$w_P = [I - \lambda TBP + \lambda TP]^{-1} w_F \quad (6)$$

ここで、 w_P 、 w_F は粉碎生成物、供給粒子の粒度分布ベクトル、 B は分配関数 b_{ij} を要素とする行列、 P は P_j を対角要素とする対角行列、 I は単位行列である。 B 、 P が既知であれば、Eq.(6)より任意の衝撃粉碎頻度 λT に対応する生成物粒度分布 w_P を算出できる。

次に、後述する実験Ⅱのように異なる粒度分布の生成物が2方向 (Top側, Bottom側と呼ぶ) から排出される粉碎を考える。Top側での排出速度、区間 i の重量分率を F_T 、 w_{Ti} 、Bottom側での排出速度、区間 i の重量分率を F_B 、 w_{Bi} とする。ミル内粒子の区間 i の重量分率 w_{Mi} がTop側生成物のそれに等しく

$$w_{Mi} = w_{Ti} \quad (7)$$

が成立する場合には速度論的物質収支式は次式となる。

$$\eta_T w_{Ti} + \eta_B w_{Bi} = w_{Fi} + \lambda T \left(\sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} P_j w_{Tj} - P_i w_{Ti} \right) \quad (8)$$

ただし、 η_T 、 η_B はそれぞれTop側、Bottom側での生成物の回収率であり次式で表すことができる。

$$\eta_T = F_T / F, \quad \eta_B = F_B / F \quad (9)$$

$$F = F_T + F_B \quad (10)$$

Eq.(8)はEq.(3)と同様に変形できて、Top側での生成物の粒度分布ベクトル w_T は

$$w_T = [\eta_T I - \lambda TBP + \lambda TP]^{-1} [w_F - \eta_B w_B] \quad (11)$$

で与えられる。ただし w_B はBottom側生成物の粒度分布ベクトルである。Eq.(7)が成立し、 P 、 B が既知であれば、 w_B 、 η_T 、 η_B を実験的に決定し、任意の λT に対してEq.(11)を用いて w_T を算出することができる。これを実測の w_T と比較すれば、 λT を決定できる。

2. 実験装置・方法

実験Ⅰとして、ミル側壁中央部に空気吸入口を設け、空気をミル内に吸入しながら粉碎する実験を行った。装置の概略をFig. 1(a)に示す。ミルの粉碎室内径0.2 m、幅 4.4×10^{-2} mであり既報^{3,5)}で用いたミルと同一である。

* Eq.(3)を行列・ベクトル表示すると次式となる。

$$w_P = w_F + \lambda T (BPw_M - Pw_M)$$

Eq.(5)の関係を代入すると次式となり、

$$w_P = w_F + \lambda T (BPw_P - Pw_P)$$

w_P について整理すると次式となる。

$$[I - \lambda TBP + P] w_P = w_F$$

両辺に $[]$ の逆行列を左からかけるとEq.(6)が得られる。

(a) experiment I

(b) experiment II

(c) experiment III

Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

微粉碎を行うため、スクリーン⑨は目開きの小さな1.0 mm ϕ 、開口比0.146、および目開き1.4 mm ϕ 、開口比0.228の2種類を用いた。ホッパー④には蓋を取り付け粒子装填後密閉した。粒子はホッパー④からスクリーフィーダー⑤によってミル内に供給され、高速回転するハンマー①とライニングプレート②と衝突し粉碎されスクリーン⑨からミル外に排出される。空気は内径 4.0×10^{-2} mの吸入口③よりミル内に取り込まれスクリーン⑨を通過してミル外に排出されサイクロン⑦で粒子と分離される。ミル内通過空気流量 Q はサイクロン⑦の下流に取り付けたブローで調節した。ここで Q の値は、吸入口に取り付けた内径 10×10^{-2} m、長さ1.5 mのダクトの端より1.0 mの位置でダクト中心線上の風速を熱線流速計

⑥を用いて測定し、その値をダクト内の空気流の平均流速とみなして算出した。砕料は粒径 $x_F=500\sim1000\ \mu\text{m}$ が99wt%, 密度 $\rho=2.67\times10^3\text{ kg/m}^3$ の相馬砂である。

実験Ⅱでは、Fig. 1(b)に示すように実験Ⅰとは逆にスクリーン下部に取り付けたT字型の内径 $10\times10^{-2}\text{ m}$ のダクトの水平方向からブローⅠを用いて空気を送風し、ミル側壁中央部の空気・粒子排出口からサイクロンを通してブローⅡによって吸引する状態で粉碎実験を行った。スクリーンからミル側壁中央部の空気・粒子排出口へ流れる空気流量Aは実験Ⅰと同様にサイクロンの下流側にダクトを取り付け熱線流速計によって測定した。粉碎生成物はスクリーンとミル側壁中央部の2方向から排出されたので、スクリーン下部の捕集箱Ⅰ（以下、Bottom側と呼ぶ）とサイクロン下部の捕集箱Ⅱ（以下、Top側と呼ぶ）により全捕集し、それぞれの重量を秤量した。

実験ⅢではFig. 1(c)に示すように、実験Ⅱの装置においてスクリーンを完全に塞ぎ、粒子を開放にしたホッパーの上部からマイクロフィーダーによって供給し、粉碎後、空気とともにミル側壁中央部（Top側）のみから排出した。ミル内通過空気量Aは実験Ⅰ、Ⅱと同様にして測定した。粉碎時の消費電力が安定になった後、数分間粉碎を続け、粒子の供給、ハンマーの回転、空気の吸引を同時に止めて、ミル内粒子、Top側粒子を全捕集しその重量を秤量した。

以下の方法は実験Ⅰ～Ⅲを通して共通である。ハンマーの衝撃速度は軸の回転数を非接触式デジタル回転計で読み取り、その値から求めた周速 v を用いた。粉碎所要電力 E は、粉碎時の消費電力を電力安定後にクランプ式電力計を用いて測定し、その値と空転時の消費電力との差から求めた。粉碎生成物の粒度分布は音波フレイとX線透過法による沈降式粒度分布測定装置により測定した。実験条件の詳細は一括してTable 1に示した。

3. 結果と考察

実験Ⅰの粉碎生成物のフレイ下粒度分布 $D_F(x_i)$ の一例（衝撃速度 $v=61.6\text{ m/s}$ ）をFig. 2に示す。ミル側壁中央部からスクリーン方向への通過空気流量 $Q=0.47, 0.93\text{ m}^3/\text{min}$ 時はハンマーの回転のみによる自然吸引の場合、 $Q=1.70, 1.86\text{ m}^3/\text{min}$ 時はブローで吸引した場合、 $Q=0\text{ m}^3/\text{min}$ 時は空気吸入口を塞いだ通常の粉碎である。図より本実験の空気流量の範囲では生成物の粒度分布はほとんど変化しないことがわかる。この傾向は他の実験条件でも同様であり、Fig. 3には、空気通過流量 Q が粉碎生成物の50%通過径 x_{P50} に及ぼす影響を示した。スクリーン $1.4\text{ mm}\ \phi$ の場合には $Q=0\sim2\text{ m}^3/\text{min}$ の範囲で x_{P50} の値はほとんど変化していない。スクリーン 1.0 mm

Table 1 Experimental conditions

Experiment I	Experiment II	Experiment III
Impact velocity [m/s]		
32.3/47.1/61.6/91.0	32.3/47.1/61.6/91.0	32.3/47.1/61.6/91.0
Opening size of screen used $\times 10^3$ [m]		
1.0/1.4	1.0/1.4	—
Feed rate $\times 10^3$ [kg/s]		
1.73~3.46	0.36~1.15	0.15~0.27
Air flow rate [m ³ /min]		
0~2.17	0~1.65	0.23~0.79

Fig. 2 Cumulative distribution under size x_i of products (experiment I, $v=61.6\text{ m/s}$)

ϕ の場合には、 $Q=0.2\sim0.5\text{ m}^3/\text{min}$ において x_{P50} の値はわずかに小さくなっているが、ほぼ一定値を示している。これより、空気をミル側壁中央部から吸入し、スクリーンから排出する方式の粉碎では空気通過量を変化させても生成物の粒径はほとんど変化せず、鈴木ら⁷⁾の同形式のミルによる粉碎結果と一致しており、微粉碎化は困難であることがわかる。

$Q=0\text{ m}^3/\text{min}$ の通常の粉碎の場合は既報⁵⁾で報告したように近似的にEq. (5)が成立し、Eq. (6)を用いて、ミル内でのみかけの衝撃粉碎頻度 λT を算出できる。本

Fig. 3 Effect of flow rate of air, Q to 50%-passing size of products, x_{P50} (experiment I)

実験でも生成物粒度分布が変化していないため衝撃粉碎頻度の値も同様と考えられる。その値は Table 2 に示した。

実験 II における Bottom 側から Top 側への空気流量 A と Top 側での粒子の回収率 η_T との関係を図 4 に示した。スクリーン 1.0mm ϕ , 1.4mm ϕ のいずれの場合も η_T と A との関係は同様であり, η_T はハンマーの衝撃速度 v , および A が大きくなるにつれて大きくなった。

Fig. 5 には Top 側, Bottom 側の粉碎生成物のフルイ下粒度分布 $D_T(x_i)$, $D_B(x_i)$ の一例 ($v=61.6$ m/s) を示した。図中には参考のために, 実験 I の $Q=0$ m³/min における $D_P(x_i)$ も示した。実験 I の結果と比較して Top 側生成物の粒径は非常に小さく, 一方 Bottom 側生成物の粒径は大きいことがわかる。この傾向は他の実験条件でもほぼ同様であり, Fig. 6 にはミル内通過空気流量 A が Top 側, Bottom 側生成物の 50% 通過径 x_{T50} , x_{B50} に及ぼす影響を示した。図より, x_{T50} は A にはあまり依存せず, 衝撃速度 v が大きくなるにつれて小さくなる傾向がある。一方 x_{B50} は, A が大きくなるにつれて大きくなっている。これは, Fig. 6 で示したように A が大きくなると η_T の値が大きくなりミル内の微粉がより多く Top 側に排出され, その結果残りの粗粉が Bottom 側に排出されるためであろう。Fig. 6 の x_{T50} の値と Fig. 3 に示した実験 I の x_{P50} の値とを比較すると x_{T50} は実験 I の x_{P50}

Table 2 Apparent frequency of impact crushing in mill, λT (experiments I and II)

Screen 1.0mm ϕ			Screen 1.4mm ϕ		
v [m/s]	A [m ³ /min]	λT [-]	v [m/s]	A [m ³ /min]	λT [-]
32.3	—	270*	32.3	—	110*
32.3	0.91	1020	32.3	0.88	700
32.3	1.41	1040	32.3	1.21	800
32.3	1.65	1100			
47.1	—	250*	47.1	—	70*
47.1	0.58	940	47.1	0.57	1320
47.1	1.00	1400	47.1	0.83	1260
47.1	1.22	1400			
61.6	—	250*	61.6	—	75*
61.6	0.47	1000	61.6	0.34	680
61.6	0.60	1220	61.6	0.58	620
61.6	0.86	1500			
91.0	—	110*	91.0	—	70*
91.0	0.39	1000	91.0	0.23	800
91.0	0.51	800	91.0	0.32	740

* Experiment I ($Q=0$ m³/min)

Fig. 4 Relationship between ratio of weight of top-particles to weight of feed particles, η_T and air flow rate, A (experiment II)
(○, △, □, ◇ : screen 1.0 mm ϕ ,
●, ▲, ■, ◆ : screen 1.4 mm ϕ)

の約 1/3 ~ 1/7 となっており, Top 側生成物のみに着目すれば微粉碎化が可能であることがわかる。

そこで, Bottom 側粒子はスクリーンから速やかに排出され, ミル粒子の粒度分布 w_{Mi} は Top 側粒子の粒度分布 w_{Ti} に等しいとみなし, 既報で求めたただ一回の衝撃粉碎における粉碎確率 P_j , 分配関数 b_{ij}^s が適用できるとして, Eq. (11) よりミル内でのみかけの衝撃粉碎頻度

Fig. 5 Cumulative distributions under size x_i of top-particles and bottom-particles, $D_T(x_i)$, $D_B(x_i)$ (experiment II, $v=61.6$ m/s) ($\circ, \triangle, \square$: top-particles, $\bullet, \blacktriangle, \blacksquare$: bottom-particles) ($\circ$: experiment I, $v=61.6$ m/s, $Q=0$ m/s)

λT を推定した。Fig. 7にはその一例($v=61.6$ m/s)を示す。計算値(図中の実線)と実測値の $D_T(x_i)$ とは比較的良好に一致していることがわかる。他の条件でも同様にしてミル内でのみかけの衝撃粉砕頻度 λT を推定した。その結果をTable 2に一括して示す。表より、実験IIの λT とミル内通過空気流量 A との関係は明確ではないが、実験Iの $Q=0$ m³/minの粉砕の λT と比較するとおよそ4~19倍になっていることがわかる。この結果より、実験IIでは実験Iの粉砕と比較して平均滞留時間内の衝撃頻度が増大して微粉砕が可能になったと考えられる。

次に実験IIIの結果について考察する。Fig. 8にはハンマー衝撃速度 $v=61.6$ m/s時のミル内粒子と粉砕生成物のフルイ下粒度分布の一例を示した。生成物の粒径はFig. 2の実験Iのそれと比較すると非常に小さくなっていることがわかる。また、ミル内粒子のそれと比較しても小さくなっている。この傾向は他の実験条件でも同様であり、Fig. 9にはミル内通過空気流量 A が生成物とミル内粒子の50%通過径 x_{P50} , x_{M50} とに及ぼす影響を示し

Fig. 6 Effect of air flow rate, A on 50%-passing size, x_{T50} , x_{B50} of top-particles and bottom-particles (experiment II) ($\circ, \triangle, \square, \diamond$: screen 1.0 mm ϕ , $\bullet, \blacktriangle, \blacksquare, \blacklozenge$: screen 1.4 mm ϕ)

Fig. 7 Comparison with cumulative distribution under size x_i of top-particles measured and calculated one (experiment II, $v=61.6$ m/s)

た。図より、ミル内粒子の粒径は本実験範囲では空気流量 A にはあまり依存せず、衝撃速度の関数とみなせる。一方、生成物の粒径は逆に衝撃速度にはあまり依存しないが、空気流量が増大するにつれてやや大きくなる傾向

Fig. 8 Cumulative distribution under-size x_i of products and particles in mill (experiment III, $v = 61.6 \text{ m/s}$) ($\circ, \triangle$: products, $\bullet, \blacktriangle$: particles in mill)

Fig. 9 Effect of air flow rate, A on 50%-passing size, x_{P50} , x_{M50} of products and particles in mill (experiment III)

があることがわかる。また、 x_{P50} をFig. 6に示した実験IIのTop側粒子の x_{T50} と比較すると、高速衝撃粉碎($v = 61.6 \sim 91.0 \text{ m/s}$)時にはほぼ同じ値、低速衝撃粉碎($v = 32.3 \sim 47.1 \text{ m/s}$)時にはかなり小さくなっている。さらにFig. 3に示した実験Iの x_{P50} の値と比較すると実験IIIのそれは1/10以下になっている場合もあることがわかる。

Fig. 10には、粒子のただ一回の衝撃粉碎結果⁴⁾とミル内粒子の w_{Mi} を用いてEq. (3)より実測の w_{Pi} と一致するようにミル内でのみかけの衝撃粉碎頻度 λT を推定して算出した生成物のフルイ下粒度分布 $D_P(x_i)$ を実線で示した。粒径が小さいところでは計算による $D_P(x_i)$ の値はやや小さくなるが実測値と計算値とは比較的良好一致しているといえる。他の条件でも同様な結果であり、求めた λT の値を一括してTable 3に示した。表中には平均滞留時間 T と単位時間当たりのみかけの衝撃頻度 λ

Fig. 10 Comparison with cumulative distribution under-size x_i of products measured and calculated one (experiment III, $v = 61.6 \text{ m/s}$)

Table 3 Apparent frequency of impact crushing in mill, λT (experiment III)

v [m/s]	A [m ³ /min]	λ [1/s]	T [s]	λT [-]
32.3	0.23	22	242	5320
32.3	0.58	20	233	4660
32.3	0.78	20	202	4030
47.1	0.24	14	267	2690
47.1	0.57	15	239	2630
61.6	0.24	10	224	2240
61.6	0.55	9	181	1630
91.0	0.24	4.3	171	740

の値も示した。 λ の値は、実験Iの $Q = 0 \text{ m}^3/\text{min}$ の実験条件に相当する既往の実験で求めた値⁵⁾、 $14 \sim 28 \text{ s}^{-1}$ と比較すると少し小さい程度($4 \sim 22 \text{ s}^{-1}$)となっている。これは、実験IIIではミル内の粒子滞留量が多く、ハンマーあるいはライニングプレートと個々の粒子との衝突確率が小さくなっているためであろう。このときのハンマーの回転数は約50～150 Hzであることから、ミル内では粒子は大部分が激しく循環しており、その一部が時々粉碎される機会をもつ状態と考えられる。一方、 λT の値はTable 2に示した実験Iのその10～40倍であり、低衝撃速度($v = 32.3 \sim 47.1 \text{ m/s}$)時には実験IIのそれよりもかなり大きいことがわかる。このことは、表中に示したように平均滞留時間が171～267 sであり、実験Iの $Q = 0 \text{ m}^3/\text{min}$ の実験条件に相当する既往の実験で求めた値⁵⁾、1.2～5.7 sと比較すると数10倍程度大きくなっているため、およびFig. 9に示したように低衝撃速度の粉碎においても生成物の粒径が高速衝撃粉碎のそれとほぼ同程度に小さくなっていることによると考えられる。

Fig. 11には、平均滞留時間内の衝撃粉碎頻度と粒子のもつ運動エネルギーの代表値との積、 $(1/2)v^2 \lambda T$ と単

Fig. 11 Relationship between power consumption for crushing, E/F and energy for crushing calculated with apparent frequency of impact crushing in mill and kinetic energy of particles, $\lambda T(1/2)v^2$

位処理量あたりの粉砕所要電力量 E/F との関係を示す。図中には実験 I ~ III の結果、およびスクリーン 3.0 mm ϕ 、4.5 mm ϕ の実験 I で $Q=0$ m³/min に相当する粉砕の結果³⁾も示した。図より、 $(1/2)v^2 \lambda T$ と E/F とはよく対応しており、前報³⁾で報告した関係が本実験でも成立していることがわかる。実験 III では、 $(1/2)v^2 \lambda T$ と E/F の比は実験 I、II のそれと同等あるいはわずかに大きくなっており、粉砕所要電力量あたりの衝撃粉砕頻度は若干増大していると考えられ、実験 III の粉砕の効率がよいことがわかる。

さらに Fig. 12 には、粉砕生成物の 50% 通過径 x_{P50} と単位処理量あたりの粉砕所要電力量 E/F の逆数、 F/E (処理能力に相当する) との関係を示した。図より、バラツキはあるが、 x_{P50} は F/E の約 0.63 乗に比例していることがわかる。図中には、横山²⁾が求めた炭酸カルシウムを種々の粉砕機で粉砕した場合の F/E の値に対して x_{P50} の値が最も小さかったときの x_{P50} と F/E との関係も示した。横山の結果は、 x_{P50} が F/E の約 0.40 乗に比例していることを表している。横山の結果と本実験結果とは、砕料、ミルの種類ともに異なるので直接の比較は難しいが、本実験においては通常の粉砕機の場合よりも処理能力の小さな減少によって微粉砕化が可能であると考えてよいであろう。

結 言

ミル内通過空気流量、流れの方向、排出口の位置を変

Fig. 12 Relationship between 50%-passing size of products, x_{P50} and efficiency of crushing F/E

化させた粉砕実験を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) ミル側壁中央部からスクリーン方向へ通過する空気流量の変化は粉砕生成物の粒度にほとんど影響を及ぼさない。
- 2) ミル側壁中央部から粒子と空気を排出させることにより、スクリーンから排出する通常の粉砕の約 1/3 ~ 1/10 の粒径の生成物を得ることができ微粉砕が可能である。
- 3) その結果をただ一回の衝撃による粉砕の粉砕確率、分配関数を用いた速度論的解析によって説明した。
- 4) そのときのミル内でのみかけの衝撃粉砕頻度は約 800 ~ 5300 であり、通常の粉砕のその約 10 ~ 40 倍に増加していた。
- 5) 生成物のフルイ 50% 通過径は処理能力の約 0.63 乗に比例した。

Nomenclature

- A = air flow rate in experiments II and III [m³/min]
- B = matrix with elements b_{ij} [-]
- b_{ij} = distribution function [-]
- b_{ij}^s = distribution function of single impact crushing [-]
- $D(x_i)$ = cumulative distribution under size x_i [-]
- E = electric power consumption in crushing [W]
- E/F = electric energy consumption in unit weight of material [J/kg]
- F = feed rate [kg/s]
- I = identity matrix [-]
- P = diagonal matrix with elements P_i [-]

P_i = impact breakage probability of particle in i -th size interval	[-]	in experiment II
Q = air flow rate in experiment I	[m ³ /min]	F = feed
S_i = selection function of particle in i -th size interval	[1/s]	i, j = interval of particle size
T = mean residence time	[s]	M = particles in mill
v = impact velocity of hammer	[m/s]	P = product
W = hold-up in mill	[kg]	T = top particles collected in collector I in experiment II
w = size distribution vector	[-]	
w_i = weight fraction of particle in i -th size interval	[-]	
x_i = particle size	[m]	
x_{50} = 50%-passing size	[m]	
η_B = ratio of weight of bottom-particles to weight of feed particles	[-]	
η_T = ratio of weight of top-particles to weight of feed particles	[-]	
λ = apparent frequency of impact crushing in mill per unit time	[1/s]	
<Subscripts>		
B = bottom particles collected in collector II		

Literature cited

- 1) Austin, L. G. and P. T. Luckie : *Powder Technol.*, 5, 215 (1971/72)
- 2) Jinbo, G. : "Chobiryushi-Kagaku to oyô", Nippon Kagakukai (ed.), p.96, Gakkaishuppan senta, Tokyo (1985)
- 3) Kuga, Y., J. Koga and I. Inoue : *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 13, 717 (1987)
- 4) Kuga, Y., J. Koga, K. Yamaguchi and I. Inoue : *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 11, 13 (1985)
- 5) idem : *J. Chem. Eng. Japan*, 18, 270 (1985)
- 6) Ouchiya, N., T. Tanaka and Y. Nakajima : *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 15, 473 (1976)
- 7) Suzuki, T. and Y. Aki : *Funsai (Micromertics)*, 11, 68 (1972)

Effects of Position of Discharge of Air and Particles on Size of Products Comminuted by a Screen Mill

Yoshikazu Kuga, Jiro Koga* and Ichiro Inoue

Powder Tech. Lab., The Inst. of Phys. and Chem. Research, Wako 351-01

Key Words : Size Reduction, Impact Crushing, Screen Mill, Size Distribution, Breakage Probability, Distribution Function

The effects of the flow rate of air and the discharge position of particles on the size of products of a screen mill were investigated experimentally by use of Soma sand of size 500 to 1000 μ m. The impact velocity of the mill hammers was set at 32.3, 47.1, 61.6 and 91.0 m/s. The size of products discharged from the center of the mill with air was about 10 μ m, which was about one-third to one-tenth the size of products discharged through the screen.

This result could be analyzed by the theory of kinetic analysis based on the breakage probability and the distribution function of single-impact crushing. The apparent frequency of impact crushing in the mill in the former case was about 800 to 5300, which was about ten to forty times that of the latter case.

* Dept. of Environ. Chem., Saitama Univ.