研究報告

粉碎速度式によるスクリーンミルの解析*

An Analysis of a Laboratory Hammer Screen Mill Based on a Grinding Rate Equation

八 嶋 三 郎**
Sburo YASHIMA

荒 井 豊***
Yutaka ARAI

佐 野 茂****
Shigeru SANÔ

1. 結 言

ハンマーミルなどで代表される衝撃粉碎機の多くはスクリーンなどの分級機構を内蔵して、自己分級型粉碎の型式をとっている。これらの粉碎機は感熱性物質の粉碎に適しており、加えてチューブミルよりはるかに短かい滞留時間で粉碎を行なうためにシステムの応答性がすぐれているという利点も兼ねそなえており、広い領域にわたって用いられている粉碎機の一つである。しかしながら、その広い用途の割にはこの種の粉碎機の粉碎機構はまだよく解明されていない状況にある。特に、この種のミルの粉碎速度論に基づく実験的検討は少なく、Austin^{1,2)}、Trezeck^{3,4)}、古閑⁵⁾によって行なわれているにすぎない。

本研究ではスクリーンミルの粉碎機構の検討を行なう目的で、この種の粉碎機での物質収支より得られる各粉碎パラメータと試料供給速度または平均滞留時間との関係を石油コークスなどの粉碎実験から求めて考察を行なった。

2. 粉碎速度式

スクリーンミルでの連続粉碎においてはミル内の粉体の流動状態は完全混合状態とみなすことができる。この場合定常状態における物質収支をとると Eq.(1) となる⁶⁾。

$$FP(x) = FF(x) + W \int_{y=x}^{x_{\max}} S(y) B(x, y) \left[\frac{dM(y)}{dy} \right] dy \quad \dots\dots(1)$$

ここに F は試料供給速度、 W はミル内滞留量、 x およ

び y は粒径、 $P(x)$ 、 $F(x)$ 、 $M(x)$ はそれぞれ粉碎産物、供給試料およびミル内滞留物の粒径 x 以下の質量分率、 $S(y)$ は選択関数、 $B(x, y)$ は分布関数である。Eq.(1) を x について微分して、平均滞留時間 $\tau = W/F$ とすると、Eq.(1) は Eq.(2) のようになる。

$$\frac{dP(x)}{dx} = \frac{dF(x)}{dx} + \tau \int_{y=x}^{x_{\max}} S(y) \left[\frac{dB(x, y)}{dx} \right] \left[\frac{dM(y)}{dy} \right] dy - \tau S(x) B(x, x) \left[\frac{dM(x)}{dx} \right] \quad \dots\dots(2)$$

ここで $B(x, x)$ はその定義から 1 である。また

$$\begin{aligned} [dP(x)/dx] dx &= p_i, \quad [dF(x)/dx] dx = f_i, \\ [dM(y)/dy] dy &= m_j, \quad [dB(x, y)/dx] dx = b_{i,j}, \\ S(y) &= S_j \end{aligned}$$

とにおいて離散型であらわすと Eq.(2) は Eq.(3) のようになる。

$$p_i = f_i - \tau S_i m_i + \tau \sum_{j=1}^{i-1} S_j b_{i,j} m_j \quad \dots\dots(3)$$

ここに p_i 、 f_i 、 m_i はそれぞれ粉碎産物、供給試料、ミル内滞留物の粒度区間 i における質量頻度、 S_i は選択パラメータ、 $b_{i,j}$ は分布パラメータである。

Eq.(3) がスクリーンミルの粉碎速度の基本式であるが、つぎにスクリーン前後での物質収支を考える²⁾。分級速度パラメータ Tr_i を考慮することによってスクリーン前後での物質収支は Eq.(4) のようにあらわされる。

$$F p_i = Tr_i W m_j \quad \dots\dots(4)$$

ここで $i < i_c$ (i_c はスクリーン開口径の粒度区間) では $p_i = 0$ となり $Tr_i = 0$ である。理想分級が行われている場合には $i > i_c$ において $m_i \approx 0$ となり $Tr_i \approx \infty$ となる。

Eq.(3) と Eq.(4) からスクリーンミルの粉碎速度式は Eq.(5) のようになる。

$$p_i = \left(f_i + \sum_{j=1}^{i-1} S_j b_{i,j} m_j \tau \right) / (1 + S_i / Tr_i)$$

昭和58年4月11日受付

*化学工学協会第48年会にて研究発表 (1983. 4 京都)

**東北大学選鉱製錬研究所 (〒980 仙台市片平 2-1-1)

TEL 0222-27-6200

***富士石油(株)油ヶ浦製油所

(〒299-02 千葉県君津郡油ヶ浦町北袖1)

****一関工業高等専門学校 (〒021 一関市萩荘字高梨)

Table 1 試料の工業分析結果

		Delayed coke	Fluid coke	Eureka pitch
Specific gravity	[-]	1.36	1.52	1.32
Softening point	[K]	—	—	455
Ash	[wt%]	0.6	0.5	0.3
Volatile matter	[wt%]	12.0	3.9	40.1
Fixed carbon	[wt%]	87.4	95.6	59.6
Calorific value	[J/kg]	3.48×10^7	3.09×10^7	3.77×10^7
Ultimate analysis				
C	[wt%]	84.4	92.9	84.4
H	[wt%]	4.0	2.1	5.2
N	[wt%]	2.8	2.2	1.4
S	[wt%]	3.9	2.5	5.4

or(5)

$$p_i = \left(f_i + \sum_{j=1}^{t-1} S_j b_{i,j} p_j / Tr_i \right) / (1 + S_i / Tr_i)$$

Eq.(5)を構成する $b_{i,j}$, S_i および Tr_i の3つのパラメータを知ることから定常状態におけるスクリーンミルの粉碎産物の粒度分布を求めることができる。それぞれのパラメータのうち Tr_i はEq.(4)から、 S_i はEq.(5)を変形して導かれたEq.(6)から p_i , f_i , m_i , F , W を実験的に求めることで決定することができる。

$$S_i = \left\{ \left(f_i + \sum_{j=1}^{t-1} S_j b_{i,j} m_j \tau \right) / (m_i \tau) \right\} - Tr_i \quad \text{.....(6)}$$

しかしながら $b_{i,j}$ についてはEq.(5)から一意的に決定することはできない。分布関数は基本的には単一粒子の破碎によって生じた碎成物の粒度分布であるから、粉碎機構に変化がない限りにおいては操作条件などによって変化しないものと考えられる。ただし、ハンマー回転速度などの衝撃速度の変化によって分布関数は変化するものと考えられる⁷⁾が、本研究においてはハンマー回転速度を一定とするのであれば上記の仮定が成立するものと考えて、ミル滞留量を変化させた回分式粉碎実験から、AustinらのB-II法⁸⁾を用いて $b_{i,j}$ を求めることとした。

3. 実験方法の概要

実種に供した試料は石油減圧残渣炭素材料である石油ピッチのユリカピッチと石油コークスのディレードコークとフルードコークの計3種類であり、これらの試料の工業分析結果をTable 1に掲げる。またユリカピッチの粉碎実験では粉碎助剤としてカーボンブラックを0.5, 1.0および2.0 wt%と添加し、これをあらかじめ碎料と簡単に混合した試料を用いて助剤の粉碎に及ぼす効果に

についての検討⁹⁾も行なった。

実験に用いた粉碎機は東京アトマイザー製造特製、TASM-I型ハンマースクリーンミルである。ハンマー回転速度は7,750 rpm, 周速度50.3 m/secの一定条件である。回分粉碎実験はスクリーンは無孔のものを用い、所定量の試料を供給し、ミルをごく短時間運転して粉碎産物を回収した。連続粉碎実験は開口径1 mmφ, 厚さ0.8 mm, 開口率25%のスクリーンを用い、可変速モータによって定速回転させたスクリーフィーダーを用いて一定速度で試料を供給した。粉碎状態が定常に達するまでミルを運転した後、試料供給モータとミルモータを同時に停止させ、粉碎室内滞留物とスクリーン通過産物を採取した。このときの粉碎室内滞留物質量をもってミル内滞留量とした。

碎成物の粒度分析は公比 $2^{1/2}$ 系列の標準フルイによる湿式フルイ分け法によって行なった。また粉体物性をパウダーテスターを用いて測定した。

4. 実験結果と考察

4.1 分布パラメータに関する検討

回分粉碎法により求めたスクリーンミルの累積分布パラメータ $B_{i,j} \left(= \sum_{k=n}^i b_{k,j} \right)$ の一例としてディレードコークの場合をFig. 1に示した。また比較として内径25 cm, 内容量15 lのステンレスボールミル粉碎におけるディレードコークの $B_{i,j}$ をFig. 2に示した。 $B_{i,j}$ は同一試料であっても粉碎機が異なることによって著しく異なる。スクリーンミルの場合ではボールミルよりも微粉生成量が多く、また初期粒径の違いによる分布パラメータの変化も大きい。ボールミルの場合、粒子の破碎の際の衝撃速度は数 m/sec 以下と考えられるのに対し、スク

Fig. 1 累積分布パラメータ
(スクリーンミル粉砕)

Fig. 2 累積分布パラメータ
(ボールミル粉砕)

リーンミルの場合のそれが 50 m/sec である。広範囲に衝撃速度(正確には荷重速度)を変えた八嶋らの単粒子破砕の研究^{10, 11)}によると荷重速度(衝撃速度)が速くなるほど生成比表面積量は増加することが知られており、衝撃速度の違いがスクリーンミルとボールミルの $B_{t,j}$ の違いとなっているものと考えられる。スクリーンミルなどの衝撃粉砕機での粒子の破壊は第 1 に粒子とハンマーが衝突した時点、第 2 に粒子が衝撃板に衝突した時点、第 3 に粒子と粒子が衝突した時点の 3 通りが考えられる。第 2 の破壊の場合、粒子の飛行速度は空気の抵抗のために粒子径の 2 乗に反比例して減速する。そのため粒子径が小となると衝撃速度が遅くなり、荷重速度も低下する。また、Timoshenko 〔らの理論¹²⁾ から粒子相対速度が同じであるならば衝突によって生じる最大荷重は粒子径の 2 乗に比例することが知られている*。このため

*) 最大衝撃応力は Hertz の接触理論¹³⁾ から粒子径の 3/5 乗に比例することが知られている。

Fig. 3 分級速度パラメータ (ディレドコーク)

Fig. 4 分級速度パラメータ (フルドコーク)

Fig. 5 分級速度パラメータ (ユリカピッチ)

粒子径が小となるに従い衝撃の際の荷重は低下し、荷重速度も低下する。総じて粒子径が小となるに従い荷重速度は減少し微粉生成量が減少する。このことはスクリーンミルの $B_{i,j}$ が初期粒径によって変化する現象と一致している。またボールミル粉碎では粒子の破碎の際の衝撃速度および衝撃荷重はおもに粉碎媒体の運動状態によって決定され、粒子径の影響は少なく、初期粒径による $B_{i,j}$ の変化が少ないものと考えられる。

4.2 分級速度パラメータに関する検討

Eq. (4) から実験的に求められた分級速度パラメータ Tr_i を Fig. 3 にディレードコーク、Fig. 4 にフルードコーク、Fig. 5 にユリカピッチの場合を示した。各試料とも供給粒径が 590~1680 μm の範囲ではその変化は少なく平均滞留時間または試料供給速度によって大きく変化する。分級径 $x_{ic}=1,000 \mu\text{m}$ において、 Tr_i の最大値を与える粒径 x_{imax} はディレードコークで 100~150 μm 、フルードコークで 180~220 μm 、ユリカピッチで 50~70 μm と試料によって異なる。

Tr_i の値の粒径による変化は、 x_{ic} から x_{imax} の範囲では粒子径が小となるに従い粒子のスクリーン通過確率が大きくなるために、この範囲では粒子径が小となるに従い Tr_i の値も大となるものと考えられる。これに対し、 x_{imax} より小さな粒子では付着、凝集の影響がスクリーン通過確率の増大よりも強くなり粒径が小となるほど Tr_i の値が減少するものと考えられる。また Table 2 に掲げた粉体物性によると凝集性はディレードコークの場合、著しく小さな値となっているが、この傾向は x_{imax} より小さな粒子で他の 2 試料よりも Tr_i の値の減少が小さいという現象にあらわれている。また石炭の振動スクリーンによる分級試験から得られるトロンプ分級曲線が、石炭の水分が高く凝集性が強くなると本実験で得られた Tr_i と同様な曲線となるという報告がある¹⁴⁾。

ユリカピッチにカーボンブラックを添加すると Fig. 6 に示すようにミル内滞留量は減少して Tr_i は著しく大となる。これはカーボンブラックの添加によってユリカピッチの凝集性が低下し分散性が向上した結果⁹⁾ による

Fig. 6 分級パラメータに与えるカーボンブラックの影響 (ユリカピッチ)

ものである。

4.3 選択パラメータに関する検討

選択パラメータ S_i は Eq. (6) を用いて実験的に求めることができるが、Eq. (6) では実験誤差を大きく含み、その値はかなりばらつく。しかしながら傾向としては S_i には Eq. (7) の関係が認められた。

$$S_i = S_{840} (840/x_i)^\alpha \quad \dots\dots(7)$$

ここに S_{840} は粒径が 840 μm における選択パラメータの値、 α は定数である。そこでこの S_{840} と α について最確値を求め考察を進めることとした。

砕料が異なることによって α の値も異なるが、同一試料であれば本実験の範囲内では同一の値となり、ディレードコークで $\alpha=2.0$ 、フルードコークで $\alpha=1.0$ 、ユリカピッチで $\alpha=1.4$ となった。なおユリカピッチにカーボンブラックを添加した試料も $\alpha=1.4$ となった。これらのスクリーンミル粉碎で得られた α の値は内径 25cm、内容量 15 l のボールミル粉碎で得られた α の値の 1.4~2.5 倍となり、ボールミルに比べてスクリーンミルでは微粒子部分の選択性が著しく低下することがわかる。

各試料における試料供給速度 F または、平均滞留時間 τ と S_{840} の関係を Figs. 7~9 に示した。どの試料の場

Table 2 粉碎産物の粉体物性値

Kinds of samples	Aerated bulk density [kg/m ³]	Packed bulk density [kg/m ³]	Working bulk density [kg/m ³]	Compressibility [%]	Angle of repose [°]	Cohesion [%]	Dispersibility [%]
Delayed coke	399	695	525	42.6	53	8.4	46
Fluid coke	614	1034	784	40.6	50	31	47
Eureka pitch	390	656	500	40.8	41	55	20

Fig. 7 選択パラメータ値と供給速度、滞留時間の関係（ディレドコーク）

Fig. 8 選択パラメータ値と供給速度、滞留時間の関係（フルードコーク）

Fig. 9 選択パラメータ値と供給速度、滞留時間の関係（ユリカピッチ）

合にも τ が小または F が大となるほど S_{840} の値は大となる。

ユリカピッチにカーボンブラックを添加した場合は、同じ試料供給速度であってもカーボンブラック無添加の場合よりも S_{840} の値は大となることがわかった。また添加量が 1 wt% と 2 wt% とでは両者間での有意差が認められないことから、カーボンブラックの添加量は 1% 以下で良いものと推察される。

4.4 粉砕操作に関する若干の考察

本実験で得られた各パラメータを用いて計算される粒度分布と実測結果との比較の一例を Fig. 10 に示した。両者は良く一致しており、先に求めた粉砕速度式ならびに各パラメータの妥当性が検証される。

粉砕産物の粒度分布は操作条件の違いによる変化は少なく、本実験の範囲では供給粒径が 590~1680 μm の間では変化はみられなかった。また試料供給速度の変化に対しては、粒度は一定かまたは供給速度の増加に伴い粒度は粗くなったがその変化はわずかであった。80% 通過粒径であらわすとディレドコークで 100~110 μm 、フルードコークで 170~210 μm 、ユリカピッチで 37~46 μm 、カーボンブラックを添加したユリカピッチで 47~

Fig. 10 計算と実測による粒度分布（ディレドコーク、 $F=0.287 \text{ kg/min}$ ）

Fig. 11 ミル内滞留量と供給速度の関係

49 μm であり、ほぼ $x_{i\text{max}}$ に等しい。

試料供給速度とミル内滞留量との関係を Fig. 11 に示した。供給速度が3倍ほど増加してもミル内滞留量は1.5倍程度の増加である。これはスクリーンがミル内滞留量を一定に保つ作用を有するためと考えられ、このため供給速度の増加に伴い選択パラメータおよび分級速度パラメータの値も大となる。しかし両パラメータとも有限値であるから、供給速度がある限界速度以上になるなら、ミル内で粉末が閉塞状態になると考えられる。これらのことから、効率が最大となる操作条件は閉塞状態となる限界供給速度よりもわずかに小さな供給速度であると考察される。

ユリカピッチに粉碎助剤としてカーボンブラックを添加することにより、Fig. 11 でわかるようにミル内滞留量は大きく減少し、1 wt%の添加によって無添加の場合の30~40%のミル内滞留量となる。このことは限界供給速度を高めるものと考えられ、カーボンブラックの添加によって粉碎機の処理容量を増加させ、粉碎効率の改善も図ることが可能になると考えられる。

5. 結 言

衝撃粉碎機であり、自己分級機構を持つスクリーンミ

ルの粉碎機構の検討を行なう目的で、粉碎速度論に基づき3種類の石油減圧残炭素材料を用いて実験的検討を行なった。その結果、本実験から以下の結論を得た。

- 1) スクリーンミルの定常状態における粉碎速度式は、選択パラメータ、分布パラメータ、分級速度パラメータで構成される Eq. (5) の物質収支式であらわされる。
- 2) 分布パラメータは衝撃速度が大きいために、ボールミルのそれに比べて微粉生成量が多く、また初期粒径によって分布パラメータの値は著しく異なる。
- 3) 供給速度が大となるほど選択パラメータと分級速度パラメータの値はともに大となり、粉碎効率が向上する。
- 4) 粉碎助剤としてカーボンブラックを添加することによってミル内滞留量は減少し、選択パラメータと分級速度パラメータの値はともに大となり、粉碎処理容量は増大し粉碎効率が向上する。

謝 辞

本研究を行なうに当りご支援をいただいた富士スタンダードリサーチ㈱に謝意を表する。

使 用 記 号

$B(x, y)$: 分布関数	[-]	S_i : 選択パラメータ	$[\text{min}^{-1}]$
$B_{i,j}$: 累積分布パラメータ	[-]	S_{840} : 粒径 840 μm での選択パラメータの値	$[\text{min}^{-1}]$
$b_{i,j}$: 分布パラメータ	[-]	Tr_i : 分級速度パラメータ	$[\text{min}^{-1}]$
F : 試料供給速度	$[\text{kg}/\text{min}]$	W : ミル内滞留量	$[\mu\text{m}]$
$F(x)$: 供給試料の粒径 x 以下の質量分率	[-]	x_i, x_{ic}, y : 粒子径	$[\mu\text{m}]$
f_i : 供給試料の粒度区間 i での重量ひん度	[-]	x_{ic} : スクリーン開口径	$[\mu\text{m}]$
$M(x)$: ミル内滞留物の粒径 x 以下の質量分率	[-]	$x_{i\text{max}}$: Tr_i の最大値を与える粒径	$[\mu\text{m}]$
m_i : ミル内滞留物の粒度区間 i での質量ひん度	[-]	x_{max} : 最大粒子径	$[\mu\text{m}]$
$P(x)$: 粉碎産物の粒径 x 以下の質量分率	[-]	α : Eq. (7) 中の定数	[-]
p_i : 粉碎産物の粒度区間 i での質量ひん度	[-]	τ : 平均滞留時間 ($=W/F$)	$[\text{min}]$
$S(x)$: 選択関数	$[\text{min}^{-1}]$		

引 用 文 献

- 1) Jindal, V.K. and L.G. Austin: *Powder Technol.*, 14, 35 (1976)
- 2) Austine, L.G., V.K. Jindal and C. Gotsis: *Powder Technol.*, 22, 199 (1979)
- 3) Obeng, D.M. and G.J. Trezek: *Ind. Eng. Chem., Proc. Des. Dev.*, 14, 113 (1976)
- 4) Shiflett, G.R. and G.J. Trezek: *Ind. Eng. Chem., Proc. Des. Dev.*, 18, 437 (1979)
- 5) 古閑二郎, 空閑良寿, 山口賢二: 化学工学論文集, 8, 750 (1982)
- 6) Klimpel, R.P. and L.G. Austin: *Proc. 3rd European Zerklenern*, p. 449 (1971)
- 7) Kerlin, H.P.: *Chem-Ing-Tech.*, 51, 316 (1979)
- 8) Austin, L.G. and P.T. Luckie: *Powder Technol.*, 5, 215 (1971/72)
- 9) 八嶋三郎, 山本泰二, 堀田浩充, 荒井 豊: 化学工学論文集投稿中
- 10) 八嶋三郎, 神田良照, 佐々木享, 飯島正義, 斎藤文良: 化学工学, 37, 1218 (1973)
- 11) 八嶋三郎: 第5回破砕, 粉碎の新技術に関するシンポジウム, p. 124 (1982)
- 12) Timoshenko, P.S. and J.N. Goodier: "Theory of

Authors' Abstract

An Analysis of a Laboratory Hammer Screen Mill Based on a Grinding Rate Equation

by

Saburo YASHIMA*, Yutaka ARAI** and Shigeru SANO***

(* Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku Univ.
** Sodegaura Refinery, Fuji oil Co., Ltd.
*** Ichinoseki Technical College)

The dry grinding mechanisms of a laboratory hammer mill with an internal classifier were investigated by using three kinds of cokes and pitch which are byproducts in the manufacture of petroleum. Progress of the comminution of the byproducts in the mill was analyzed on the basis of the grinding rate equation.

The experimental results are summarized as follows: 1) The quantity ratio of fine powder to daughter fragments produced from the screen mill was larger than that produced from a ball mill. This may be thought to be due to the higher impact speed of the grinding media of the mill to the ground material. 2) The grinding rate equation was expressed under the stationary state grinding condition by the mass balance equation which is composed of the breakage parameter, selection parameter and specific rate of separation. 3) The value of the breakage parameter was increased with increase of the feed size of the ground material. On the other hand, the values of selection parameter, the specific rate of separation and grinding efficiency were increased with increase of the feed rate. 4) The addition of a small amount of carbon black to the pitch in the mill increased the values of the selection parameter, the specific rate of separation, the capacity of the mill, and it improved the grinding efficiency remarkably. Therefore, carbon black is expected to be a useful grinding aid for the comminution of ground materials like the pitch even by the use of the hammer screen mill.

List of Figures and Tables

Fig. 1 Cumulative breakage distribution parameter for Delayed coke ground by a laboratory screen mill

Fig. 2 Cumulative breakage distribution parameter for Delayed coke ground by a laboratory ball mill

Fig. 3 Variation in the specific rate of separation for Delayed coke ground various residence times

Fig. 4 Variation in the specific rate of separation for Fluid coke ground various residence times

Fig. 5 Variation in the specific rate of separation for Eureka pitch ground various residence times

Fig. 6 Variation in the specific rate of separation for Eureka Pitch ground various residence times and various carbon black conditions

Fig. 7 Relations between residence time, τ or feed rate, F and selection parameter value, S_{840} for Delayed coke

Fig. 8 Relations between residence time, τ or feed rate, F and selection parameter value, S_{840} for Fluid coke

Fig. 9 Relations between residence time, τ or feed rate, F and selection parameter value, S_{840} for Eureka pitch with carbon black

Fig. 10 Comparison of computed and experimental

size distributions of Delayed coke ($F=0.287 \text{ kg/min}$)

Fig. 11 Relation between feed rate, F and hold-up, W for materials studied

Table 1 Industrial analysis of materials studied

Table 2 Powder characteristics of materials studied

研究報告

平行平板間帯電エアロゾル流からの壁面への粒子沈着*

Deposition of Charged Aerosol Particles Flowing through Parallel Plates

生 三 俊 哉**
Shunya IKUMI

伊 藤 貴 志**
Takashi ITO

増 田 弘 昭**
Hiroaki MASUDA

緒 言

気流中に浮遊する帯電エアロゾル粒子の壁面への沈着は、粒子群の作り出す電界の効果（空間電荷効果）による静電拡散現象により促進され、集じん操作などへの利用が可能と思われる。たとえば、通常の電気集じん装置による高抵抗ダストの捕集に関しては、逆電離による捕集効率の低下が問題となっているが、あらかじめ帯電させた粒子を空間電荷効果により壁面に捕集する方法をとれば、逆電離に起因する問題は解決され、捕集効率も推定可能となるであろう。

空間電荷効果による単分散帯電粒子の円管内壁への沈着については Wilson¹⁰⁾が解析的な検討を、Kasper⁹⁾、足立ら¹⁾および筆者ら⁷⁾が実験的な検討を行なっているが、いずれも Wilson の解析解とはほぼ一致した結果を得ており、足立らは電気影像力の影響についても考察を加えている。平行平板間での帯電エアロゾル流の壁面沈着については Ingham⁵⁾と Chen²⁾が空間電荷効果と分子拡散について、Yu ら^{11,12)}が電気影像力について理論的な検討を行なっており、この他にも重力の影響を調べたもの^{3,9)}もあるが、これらを総合的に評価した研究は不十分である。

本研究では、平行平板間帯電エアロゾル流について、空間電荷効果、電気影像力、粒子慣性力および気流の速度分布を考慮し、粒子の運動方程式を数値積分すること

により限界粒子軌跡を求めて粒子沈着率の理論計算を行なった。また単極荷電したフライアッシュを用いて粒子捕集実験を行ない、理論計算結果と比較検討した。

1. 理論計算

流れをプラグフローと仮定して Fig. 1 のように座標軸をとり、長さ L 、幅 $2Z_1$ 、間隔 $2X_1$ の平行平板モデルを考える。これに単極性帯電エアロゾルを流入させると、平板入口の座標位置 X_0 における X 方向の電界強度 E は Y および Z 方向の空間電界を無視するとポアソンの式より次の(1)式で与えられる。このとき粒子に作用する空間電界による力（以下クーロン力と略記する） F_e は(2)式となる。

$$E = N_0 q X_0 / \epsilon_0 \quad \dots\dots(1)$$

$$F_e = qE = N_0 q^2 X_0 / \epsilon_0 \quad \dots\dots(2)$$

ここで N_0 は単位空間体積当りの粒子数、 q は粒子 1 個当りの帯電量、 ϵ_0 は空気の誘電率である。

流入粒子を単分散と仮定すると、ある着目粒子に作用するクーロン力 F_e は常に一定であり、粒子の X 方向への移動速度 v はストークスの流体抵抗力とのつり合いに

Fig. 1 Adopted coordinates in the calculation of particle trajectories

昭和58年5月12日受付

*化学工学協会第16回秋季大会にて一部発表 (1982.10.4)

**広島大学工学部化学工学科 (〒724 広島市西条町大字下見)

TEL 0824-22-7111