

粉 碎

THE MICROMERITICS

NO.21 AUTUMN 1976

細川粉体工学研究所

“粉 碎” 21号 昭和51年(1976) 秋季号 目 次

- 【巻 頭 言】 粉体技術への回帰……………静 岡 大 学 狩野 武……(2)
- 【研究報告】 攪拌流動層における所要動力と混合効果……………信 州 大 学 佐納 良樹……(4)
 本山 安訓
- 【研究報告】 2次元ホッパー内の粉体応力測定……………日 本 鋼 管 ㈱ 橋本 啓治……(10)
 細川粉体工学研究所 福井 雄二
 横 浜 国 立 大 学 網川 浩
 青木 隆一
- 【研究報告】 皿型造粒機による最小ペレット生成の操作
 条件について……………九 州 工 業 大 学 上滝 具貞 ……(17)
 山 口 大 学 早野 延男
 山中 久人
 坂口 玉雄
- 【解 説】 湿式球形造粒……………岐 阜 薬 科 大 学 川島 嘉明……(26)
- 【参考資料】 カプセル輸送用インゼクションフィーダ……………新 日 本 製 鉄 ㈱ 上滝 洋一……(34)
 九 州 工 業 大 学 富田 佑嗣
 上滝 具貞
- 【総 説】 菌体の破壊……………東 京 大 学 中村 厚三……(36)
- 【総 説】 微粉体の粒度測定技術……………山 形 大 学 高坂 彬夫……(40)
- 【説 解】 粉碎技術の考古学……………同 志 社 大 学 三輪 茂雄……(50)
- 【製品紹介】 ラミマックスシステムについて……………ホソカワ環境エンジニアリング㈱ 環境事業部……(57)
- 【文献紹介】 セメント粉碎プロセスにおける省エネルギー
 化の問題……………ブ タ ベ ス ト 大 学 B. Beke……(64)
 名 古 屋 大 学 浅井 信義(訳者)
- 【随 筆】 粒度, 粒径, 粒子径……………富 山 大 学 沢畠 恭……(74)
- 【新製品紹介】 粉体流量制御における“フローマスタ”の
 性能……………細川粉体工学研究所 横山 藤平……(76)
 浦山 清
- 【技術紹介】 湿式電気塵機ホソカワ/マイクロ エレクトロ
 フィルの特性とその応用……………㈱ 細 川 鉄 工 所 第1環境シス
 テム事業本部……(84)

【製品紹介】	トーラスディスク.....	関 細 川 鉄 工 所	化学システム 事業本部	(88)
【新製品紹介】	中庄空型パルスエアーおよびユニフィルタ.....	関 細 川 鉄 工 所	第二環境シス テム事業本部	(90)
	ホソカワ ニュース.....			(94)
	粉碎 総索引 No. 1—No. 21		編 集 部	(97)

豆 ニ ュ ース

第10回粉体に関する講演討論会開かる 一連続自動化へのアプローチ.....	(56)
粉体輸送機 ホソカワ/クインケンベルグ ディスク エレベータ (新製品)	(83)
火粉検知器 ホソカワ/ミクロン ルミアラーム (新製品)	(89)

Original Reports:

- Correlation of Power Requirements and Mixing Effect
in the Stirred Fluidized BedY. Sano and Y. Motoyama..... (4)
- Measurement of the Stresses at the Wall of a
Two-Dimensional HopperK. Hashimoto, Y. Fukui, (10)
H. Tsunakawa and R. Aoki
- Generation of the Minimum Size Pellet of Pan-type Granulator (17)
T. Jōtaki, N. Hayano,
H. Yamanaka and T. Sakaguchi
- An Injection Feeder for Carrying Capsules (34)
Y. Jōtaki, Y. Tomita
and T. Jōtaki

【表 紙】 湿式電気集塵機 ホソカワ/マイクロ エレクトロフィル
(関連記事が84頁に掲載されています)

粉体技術への回帰

狩 野 武*

Takeshi Kano



それは粉碎に始まる。穀類をくぐりて食料とした石器時代の昔に、人と粉体とのえにしが始まったという。技術の始まりでもあろう。

それから後は、より安易に生きることを可能にするものに価値を認め、ひたすらにその手だてを探ね、求め、選り、運び、衡り、砕き、混ぜ、溶かし、練り、固め、乾かし、あるいは積上げて来た幾千万年であった。石器から土器へ、それから銅、鉄、軽合金、さらに現在では、食料をはじめほとんどすべてのものは、粉粒あるいはそれを再加工したものからなっている。遠い昔から時の流れにつづりつづけて来た数々の物語りは、人間えい智の叙事詩でもあり、粉体工学の発達史でもあるといえよう。諸先輩の苦勞をしのび謹んで敬意を表したい。

ばく大な量の物質を少なくとも一度は粉粒の形で扱うのは、その性状が取扱い再加工、あるいは使用に便利のためであることはいうまでもない。しかしそれは人の恣意のままに常に取扱いを許すほど便利なものではなく、また現在の技術はそれを常に可能にするほどには進んでいない。そこに粉体工業に課せられた制約と同時に可能性がひそんでいる。本文ではこの問題を技術と経営の両面から再検討してみたい。

まず技術的には、取扱いあるいは再加工しやすいという特性は、そのまま扱いにくさ加工のしにくさにつながる。粒子の一つ一つは独立した固体であるが、全体としては連続体でもある。そのために両方の性質が同時に現われ、いずれが支配的になるかはそのときどきの条件によって異なる。しかも結果として現われる性質は条件の程度に比例しない。さらに問題を複雑にしているのは、取扱いや再加工にあたって、当然のことながら品質と効率の維持、向上が要求されることである。特に連続プロセスあるいは熱と圧力をともなう加工では、ただでさえ

複雑な性状はさらに複雑さを加える。これらのことが従来、粉体技術者の悩みの種であり、必ずしも理想的な取扱いや加工のプロセスが採られていない理由の一つでもある。もし粉体物性を的確に予測して制御する方法あるいはそれを可能にする機器が開発されれば、品質と効率の向上はもとより、ばく大なエネルギーの節減を図ることができよう。そのためには当面する問題についての研究だけでは不十分で、関連した諸分野の研究を進めてその成果を体系的に集積し、それを応用することが必要である。ところが現代では価値の体系が多様化して細分され、それぞれの部分が主張を持つので、それらを強力に管理統制することはきわめてむずかしい。ある意味で真の問題は相互に結び付ける調整機能が崩れかけていることであり、真に必要なのは新しい価値体系の生れ出ずる悩みの克服であるともいえる。この解決を粉体工業分野に期待したい。

つぎに経営的には、従来当然のこととしてとりつづけて来た業績拡大策をつづけることの成算があやしくなり、根本的に修正を迫られることである。資源をほとんど持たず、食料も過半を輸入にたよるざるを得ない日本が、原料を入れ、製品として送り出すことによって経済収支を図る方策を採ったのは、それなりによい選択であった。それによって現在の繁栄をもたらしたことは事実である。年を追って必然的に労働集約型からプラント志向高付加価値型へと移行して行き、先進国の形態をとるようになった。しかしその間に、原料から製品をとった残りの物質は廃棄物として、風土を変貌させる一要因になった。では世界の廃棄物処理場を兼ねれば工業立国が可能であるかということ、事態はそのような容易なものではない。

各企業がとりつづけて来た施策は、世界経済が高度成

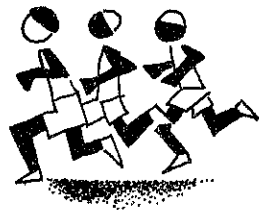
長の段階でこそ可能であったし、また効果的でもあったが、この先当分続くであろうと見られる低成長時代では不可能であるばかりか、過去に作られた体質は根本的な脆弱性を持ち、経営上の苦しさは一段と深刻さを加えていると見るべきであろう。すなわち、ほとんどの企業は借入金に依存しながらも、設備と人員の増加をあえてした業績の拡大策をとった。それはそれなりに効果を挙げたが、必然的に自己資本率の低下、採算分岐操業率の上昇を来した。そこへ突然襲った原料とエネルギーの高騰は、ようやく保つかのように見えた経済収支の平衡を末端までゆさぶった。資源を持たないことの悲哀を痛切に思い知らされ、やむを得ずとった物価抑圧とインフレ回避のための総需要抑制策は世界的な同時不況と相まって、高原価、低操業度、高売価、輸出難というきわめて苦しい事態を招くことになったといえよう。これらについては経済専門家によっていろいろ論じられているの

* 静岡大学工学部化学工学科
(〒432 浜松市城北3丁目5番1号)
Tel (0534) 71-1171(代)

で、ここでは多くは繰返さない。

ただ、今となっては歴史を逆行することも、いたずらに廃棄物処理場になることもできないし、一步ゆずってそれに甘んずるとしても製品が売れないとあれば、従来とりつづけて来た施策の誤りをただし、生きる方策を改めて考え直さなければならない。そして結論的にただ一つの途は、本来の趣旨に立脚した技術開発を進めることであることをいいたい。技術とは本来、洞窟で穀類を砕いて食料に供した昔にその始まりを見るように、物資を有効に活用し、自然とともに生きて行くうえの才覚であるとする。いたずらに好都合なものを安易に得ることの手でただけを巧利的に得ようとすることは、自然に対する人間の甘えにすぎないと見るべきであろう。

石油ショックの後遺症からようやく脱け出ようとしながらも、なお流動的で安定を欠くとき、低成長でも健全な経済収支を図るためには、まず虚飾を棄て実をとり、それによって得たわずかの余力も蓄積して本来の技術開発に投入し、製品の基盤を強固にする地道な努力をつづける以外には方法はないと考える。歴史は一つしかないが、未来は選択できると思う。(以上)



攪拌流動層における所要動力と混合効果

Correlation of Power Requirements and Mixing Effect in the Stirred Fluidized Bed

佐納 良樹* 本山 安訓*
Yoshiki Sano Yasunori Motoyama

Abstract

Recent years, a few studies have been reported on new applications of the fluidized beds such as slugging fluidized bed, vibrating fluidized bed which have been regarded as rather abnormal or undesirable beds. The agitating fluidized bed is also one of them.

Nevertheless, there are very few investigations for the power requirements and mixing performances in this bed.

In present paper, the correlations were studied between torque for agitating beds and reduced fluidizing velocity u^* , between coefficient of mixing velocity and u^* as well as mixing performance and total energy consumption.

It seems that, the total energy consumption has a minimum value in the range of $u^* = 1.4$ to 2.0 .

This conclusion may be also applied for fine powder such as talc.

著者摘録

近年、流動層の利用範囲を拡げる目的で従来の流動層概念では異常状態であるとして、むしろ避けて来た現象を積極的に活用する試みがいくつかなされている。攪拌流動層もその一つであるが、所要動力および全所要エネルギーと混合効果に関連して、攪拌作用および流動化の寄与がそれぞれどのようなかを解析することは興味のある事柄である。

本報では攪拌パドルの回転と粒子の流動化に要する総エネルギーと混合速度、混合度の関係について調べた。

空気流速を種々に変えて実験をおこなった結果、攪拌所要動力と流動化に要する動力の和すなわち全所要動力のみならず、混合が最良の状態に到達するまでの所要時間をも考慮に入れた全消費エネルギーにも最小値が存在することが明らかになり、そのときの空気流速は $u^* = 1.4 \sim 2$ 程度であると推定した。

1. 緒言

近年、流動層の新しい応用分野の開拓を目指してスラッグ流動層、振動流動層など、従来の流動層の概念からすればむしろ異常な状態を積極的に活用しようと

する試み¹⁾がなされている。流動層内に機械的攪拌装置を付設した攪拌流動層^{1), 2)}もそのような新しい試みのうちに入るが、反応装置としての性能、特性については古く永田ら³⁾の有機硅素化合物の合成実験にまで逆上る。

しかし攪拌流動層の物理的、力学的特性例えば装置内粒子混合特性や攪拌流動層を操作するための所要動力などに関する検討は少ないようである。さらに所要動力に

* 信州大学繊維学部
(〒386 上田市常田3-15-1)
Tel (0268) 22-1215

についてはもう一步論議を進めて攪拌流動層の混合効果に対する攪拌作用ならびに流動化の寄与がそれぞれどのようなものであるかを知ることは興味深い。

本研究では、2, 3の種類の粉体について攪拌消費動力、流動化のための空気送風動力ならびに両者を合計した全所要動力と混合度、混合速度の関連性を検討した。

2. 実験装置、試料および実験方法

2.1 実験装置

攪拌流動装置の概略を Fig. 1 に示した。流動層本体は高さ340 mm, 内径120 mmφの透明塩化ビニル製円筒である。層底部には多孔板(孔径3.5 mmφ, 開口率41.6%)に木綿布を張ったものを層支持板として設置した。さらにその下部に相馬標準砂(670~750 μm)を約13 cmの層高に充填して整流部とした。

攪拌パドルは Table 1 にその主要寸法を示した平板2枚羽根である。

トルクメーターの出力を、動歪計および直流増幅器を経てペン書きオシログラフ上に記録させ、別に求めた校正線によって攪拌トルクを求めた。

流動化に要する空気はブロワーから調圧タンクを経て0.1 kg/cm²Gの圧力で流動層本体へ供給した。

Table 1 Dimensions of the paddle stirrer and fluidized bed

記号	寸法(mm)
H ₁	340
D ₁	120φ
D	115φ
b	45
b ₀	45
H	130°

*層高比 H/D₁=1.1

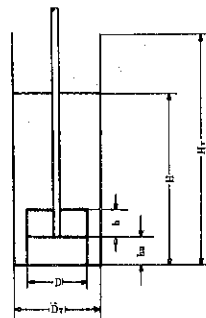


Table 2 Physical properties of powders

物性	粉体	豊浦砂	ソーダ灰	相馬砂	タルク
粒子径(μm)		105~297	297~350	650~750	~100
真密度(g/c.c.)		2.64	2.53	2.64	2.7
見掛け密度(g/c.c.)		1.32	1.00	1.58	0.46
実測 U _{mf} (cm/sec)		4.2	5.0	22.0	—
複合 U _{mf} (cm/sec)	4.5	{豊浦砂(1895g) とソーダ灰 (155g)の混合 物}			—

2.2 試料

供試粉体の主な物性を Table 2 に示した。使用した粉体はタルクを除き、いずれも比較的粒度が粗かつ流動性の良好な豊浦標準砂、相馬標準砂およびソーダ灰である。ただし相馬砂は後述の実験(I)でのみ用いた。これらの粉体につき、表に付記した混合比に保つことにより複合 U_{mf}⁽⁴⁾を決めることが出来た。

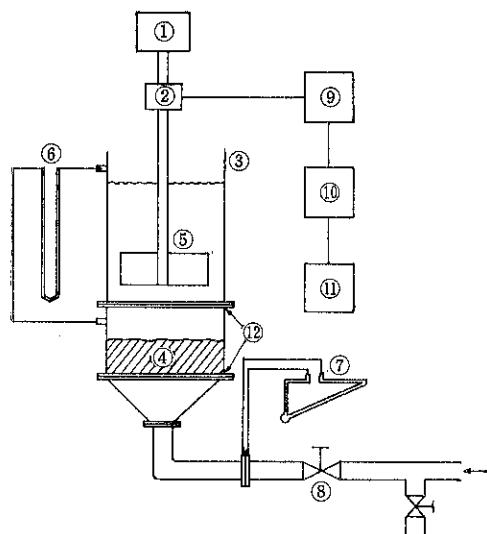
2.3 実験方法

(1) 攪拌トルク測定実験(実験I)

まず、流動層本体が空のまま所定の回転速度で攪拌パドルの運転を始め、次に所定量の豊浦砂または相馬砂を徐々に投入した。記録計のフレ幅が一定になるのを待ってブロワーから所定の流速で空気を送入した。この状態で攪拌トルクと流動層内圧力損失をそれぞれ測定した。

(2) 混合実験(実験II)

実験(I)と同様に空運転のところへ所定量の豊浦砂またはタルクを徐々に投入するとともに所定の流量で空気の送を開始した。さらに予め設定した供給位置から所定量のソーダ灰を出るだけ短時間に投入し、同時に計時した。所定の混合時間後、攪拌パドルの回転ならびに通気を同時に停止し、底面からの高さがそれぞれ25, 65および110 mmの3層からそれぞれ28ヶづつ、合計84ヶ



- ①無段変速器付モーター
- ②トルクメーター
- ③攪拌流動層
- ④整流部
- ⑤パドル(平板2枚羽根)
- ⑥圧力損失測定用
マンメータ(水)
- ⑦流量測定用傾斜マンメータ(メタノール)
- ⑧流量調節用バルブ
- ⑨動歪計
- ⑩直流増幅器
- ⑪ペン書きオシログラフ
- ⑫多孔分散板

Fig. 1 Outline of the experimental apparatus

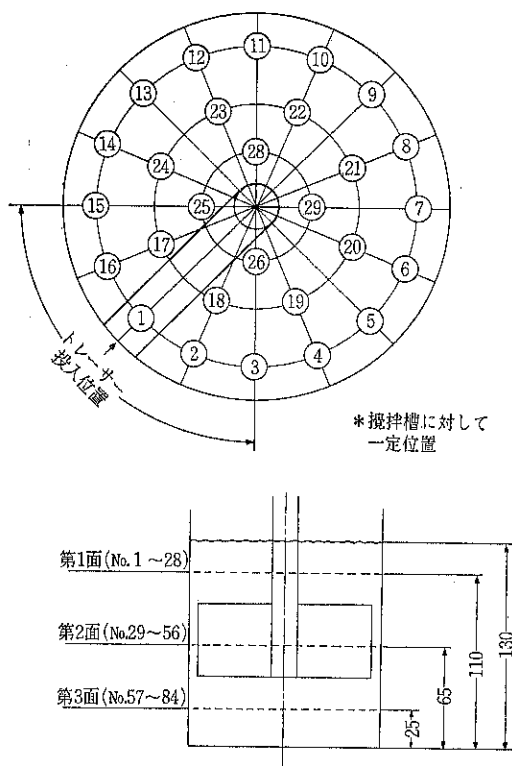


Fig. 2 サンプル位置

のスポットサンプルを採取（サンプリング採取位置を Fig. 2 に示す），秤量した後，サンプル中のソーダ灰をメチルオレンジ-キシレンシアノールFFを指示薬として0.1 N HCl で滴定，定量した．なお空気吹き込み流速は全実験を通じて $u^* (\equiv u/u_{mf}) = 0 \sim 1.8$ である．また，実験Ⅱにおいても同時に撹拌トルクの測定をおこなった．

2.4 所要動力の算出

(1) 空気送入動力 E_A

流動層本体に設置したU字管マンオメータで実測された圧力損失 Δp （整流部の圧損は補正する）と空気流量 Q より，流動層内で使われた空気消費動力 E_A は次式によって与えられる．

$$E_A = Q \cdot \Delta p \quad (1)$$

(2) 撹拌動力 E_s

n rpm で回転する撹拌パドルに発生する撹拌トルクを T とし，角速度を ω_0 とすると撹拌動力 E_s は(2)式で与えられる．

$$E_s = T \cdot \omega_0 = \frac{2\pi n}{60} \cdot T \quad (2)$$

(3) 全所要エネルギー

全所要エネルギーは，最終混合度に到達するまでに要

した全所要動力（空気送入動力と撹拌動力の和）と考えられるから，混合完了までに消費された全エネルギーは（全所要エネルギー）=（全所要動力）×（最終混合度への到達所要時間） (3)

3. 実験結果および考察

3.1 撹拌トルクと u^* の関係

豊浦標準砂および相馬標準砂について撹拌トルクに対する空気流速の影響を調べた結果を Fig. 3 (a)および(b)に示した．すなわち粉体の種類，粒子径および回転速度が変わっても u^* が約1以下の範囲では撹拌トルクは u^* の増加に対して直線的に， u^* が約1以上ではべき関数的に減少した．牧島・白井ら²⁾は，これと同様の実験結果について，

$$\text{固定層に対し } T = T_{fix} - u^*(T_{fix} - T_{mf}) \quad (4)$$

$$\text{流動層に対し } T = T_{mf}(u^*)^{-\alpha} \quad (5)$$

(4)および(5)式を与えたが，著者らの結果もこれとよく一致した．

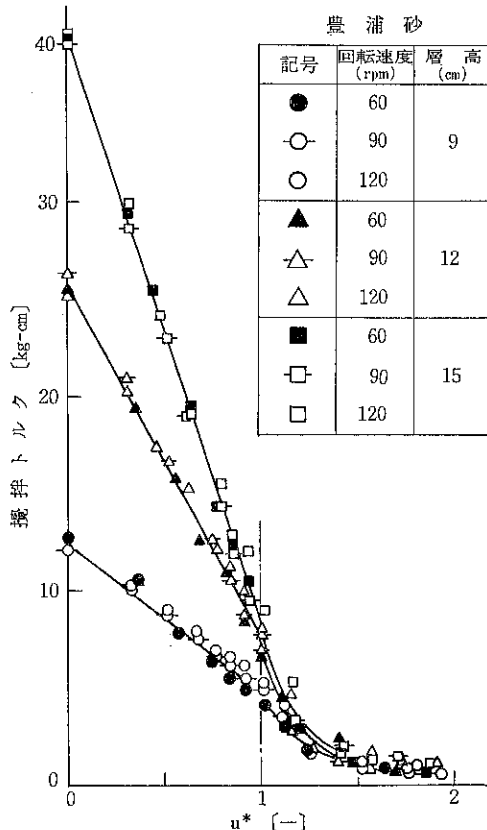


Fig. 3(a) Effects of u^* on the the stirring torque (Toyo-ura sand)

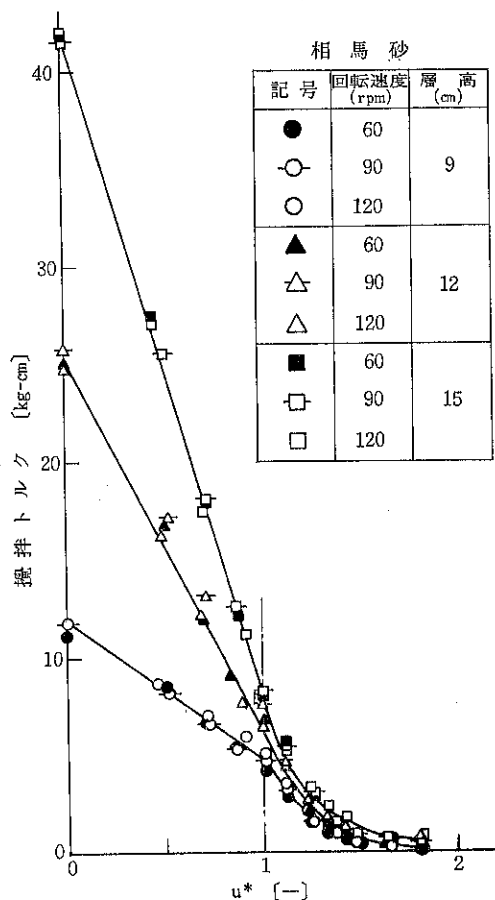


Fig. 3 (b) Effects of u^* on the stirring torque (Sōma sand)

3.2 攪拌所要動力と空気送風動力

(2)式で算出される攪拌所要動力を(1)式で与えられる空気送入動力に対し両対数点描した結果を Fig. 4 に示した。当然のことながら送入空氣の動力消費量が大きくなるにつれて攪拌動力は減少した。そして特に u が u_{mf} に対応する点で攪拌動力は急激に減少し、それ以後は空気送入動力が増大しても攪拌動力は一定になると推定された。また豊浦砂と相馬砂では当然のことながら流動化させるに必要な空氣の動力消費量は大きく違っていた。そして粒径が大きくなる程流動化に要する動力消費量と攪拌に要する動力消費量の差が縮まるという興味ある結果がえられた。

3.3 混合速度係数

豊浦砂—ソーダ灰系について攪拌速度一定の条件の下に、 u^* の変化に伴う混合速度係数 ϕ の変化を調べた結果を Table 3 に示した。また u^* 対 ϕ の関係を図示した結果を Fig. 5 に示した。

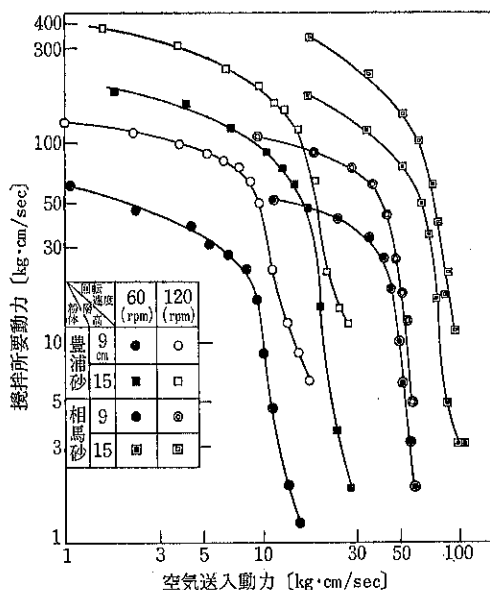


Fig. 4 Relations between power requirements for the stirring paddle and for sending air

Table 3 Mixing velocity coefficient ϕ

U^* [-]	混合速度係数 $[\text{min}^{-1}]$	
	30 rpm	60 rpm
0	0.212	1.222
0.5	0.211	1.301
0.8	0.198	1.301
1.0	0.161	0.813
1.2	0.381	1.236
1.4	1.287	2.763
1.8	3.267	4.812

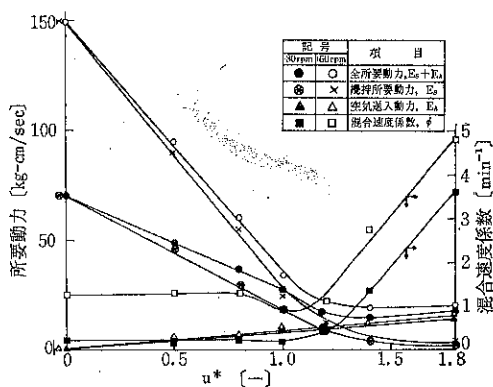


Fig. 5 Effects of u^* on E_A , E_S , total power requirements and ϕ

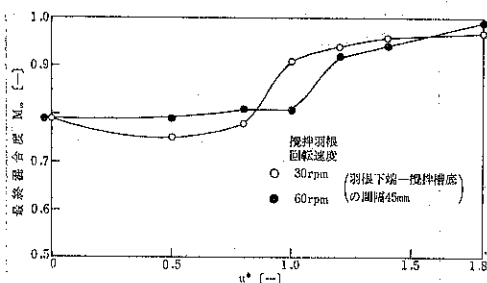


Fig. 6 Effect of u^* on final degree of mixing M_∞

攪拌速度が異っても $u^* < 1$ の範囲では大勢として一定であるといえるが、もう少し詳しく見ると $0.8 < u^* < 1.0$ で ϕ の値はやや小さくなり $u^* > 1.2$ では u^* の増大につれて混合速度係数はかなり急激に、しかもほぼ直線的に増加した。 $u^* > 1.2$ で ϕ が顕著に増大するという事実、著者の一人が以前に報告した結果⁵⁾とよく一致する。 $u^* < 0.8$ で ϕ の値がほぼ一定であるのはこの流速領域では粉体はまだ流動化されておらずパドルの攪拌作用によってのみ混合がなされるためである。また $u^* > 1.0$ で流動化がはじまりパドルによる混合が促進されるとともに流動化による粒子運動の活発化で急激に混合速度係数が大きくなるのであろう。そしてこの領域では u^* が増す程、パドルによる混合効果よりも流動化によるそれが重要性を持つと考えられる。

3.4 最終混合度

混合度 M ($\equiv 1 - \sigma/\sigma_0$) 対時間の関係からえられる最終混合度 M_∞ ⁶⁾ を u^* に対して点綴した結果を Fig. 6 に示した。 M_∞ の値はほぼ $0.8 \sim 0.97$ 程度であり従来の各種機械的混合機の例⁷⁾に比べて特に良好ということはない。 u^* が $0.8 \sim 1.0$ 程度から M_∞ の値の上昇が見られるがこれは ϕ の値が $u^* > 1.2$ で急激に増大したのに比べてやや早い。しかしこのような値の顕著な変化はいずれも攪拌パドル下端より下の層底部粒子が移動し易くなり、パドル下端より上部の混合領域に混入し始めたからであると考えられる。さらに流動化開始以後も、徐々にではあるが M_∞ が増加しているから流動化状態でもなお、攪拌の効果が残っていると考えねばならない。

3.6 所要動力と u^* の関係

u^* と攪拌所要動力 (E_s)、空気送入力 (E_A) ならびに全所要動力 ($E_A + E_s$) の関係をまとめて Fig. 5 に示した。攪拌所要動力対 u^* の関係は Fig. 3 に示した、攪拌トルク対 u^* の関係と全く同様に u^* がほぼ 1 以下では u^* の増加につれてほぼ直線的に攪拌動力が減少し u^* が 1 を越えるときべき関数的に減少した。そしてこの傾向は回転速度が異なっても同じであった。

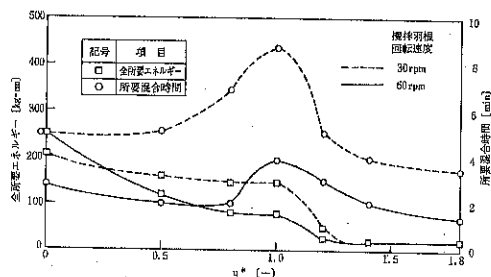


Fig. 7 Relations between total energy requirements or mixing time required and u^*

これに対し空気送入力 u^* の増加とともにほぼ直線的に単調に増加した。しかしその増加割合は攪拌動力の減少割合に比べて極めて緩やかであった。さらに E_s および E_A を合計した全所要動力対 u^* の関係は Fig. 5 に示したごとく大勢は攪拌所要動力の推移と同じであるが、 $u^* = 1.2 \sim 1.3$ で全所要動力はほぼ一定値を示した。しかし u^* を図示の値以上に増加させれば空気送風動力は増大するのであるから全所要動力はそれに伴って増加することになる。すなわち全所要動力には最小値が存在することになる。また、攪拌のみの場合に比し、流動化を併用することによって全所要動力が $1/5$ 以下に減少することは注目値する。

3.7 全所要エネルギーと混合効果

Fig. 7 に、(3)式から求める全所要エネルギーおよび所要混合時間（混合度 M の値が最終混合度 M_∞ に到達するまでの時間を所要混合時間とする）を u^* に対して点綴した結果を示した。所要混合時間は u^* が約 1 のときに一旦増大しそれ以上の u^* では再び減少するという特異な関係を示したが、これは攪拌パドルより下部の粉体がこの程度の空気流速で可動化して、その上部の領域へ混合しはじめるが流動化がまだ十分でないために混合に時間を要したものと考えてよいであろう。

全所要エネルギーは流動化空気流速の低い範囲では u^* が増加してもほとんど変化しないか或はやや減少するが $u^* = 1.0 \sim 1.2$ で比較的顕著に減少し再び平らになった。しかし、本実験範囲以上の u^* では全所要動力が増加すること、所要混合時間の短縮にも限度があると考えるのが妥当であることから全所要エネルギーについても最小値が存在すると推定される。

3.8 微粉体（タルク）の攪拌流動化

供試微粉体では最小流動化速度を決定しえなかったの、本報では u^* の代りに u をもちいることにする。本実験における空気流速は $1.3 \sim 3.4$ cm/sec である。

タルク—ソーダ灰系でえられた空気流速対攪拌所要動力、空気送入力、全所要動力ならびに混合速度係数の

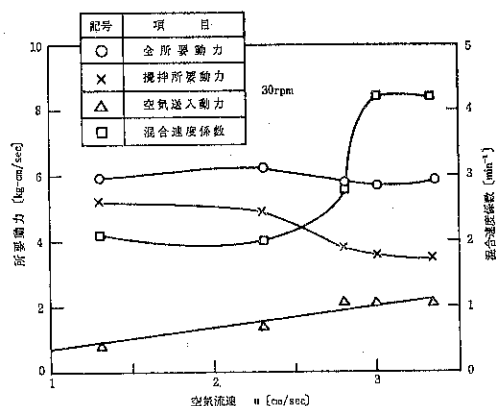


Fig. 8 Power requirements and mixing velocity coefficient vs. superficial air velocity (for fine powder)

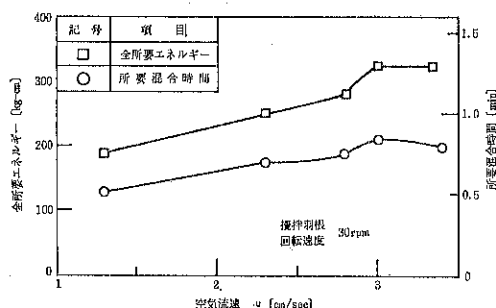


Fig. 9 Relations between total energy requirements or mixing time required and superficial air velocity

関係を Fig. 8 に示した。また u と所要混合時間および全所要エネルギーの関係を Fig. 9 に示した。Fig. 8 および Fig. 9 の関係は Fig. 7 までの、比較的流動性に富む粗い粉体でえられた結果とは、一見大きく異なっている。すなわち流速の増加とともに空気送込動力がほぼ直線的に増大するのは粗粉の場合と同じであるが空気送込動力が粗粉に比べ微粉では著しく小さかった。他方攪拌所要動力は u の増大とともに徐々に減少し、特に $u=2 \sim 3$ cm/sec の間で大幅に減少したことが、ならびに混合速度係数 ϕ の値が攪拌所要動力の場合同様 $u=2.5 \sim 3$ cm/sec の間で著しく大きくなったことから $u=3$ cm/sec 付近がこの場合の粒子運動開始流速と推定しうる。これを仮りに u_{mf} とすれば微粉でも粗粉の場合と本質的には同様であるといえる。

4. 総括

攪拌翼つき流動層は処理すべき粉体が付着性や凝集性

のある微粉の場合でも流動化が可能であることからその利用が見直されている。

本研究はこのような背景の下に攪拌流動層における所要動力と混合効果の関連づけを試みたものである。

攪拌パドルおよび流動層底の分散板などの条件が一定の下では全所要エネルギーは u^* が $1.4 \sim 2$ 程度のときが最も少なくて済むことがわかった。そしてこのことは粗粉であるか微粉であるかにかかわらず基本的には同様である。

使用記号

E_A : 空気送込動力	[Kg-cm/sec]
E_S : 攪拌所要動力	[Kg-cm/sec]
M : 混合度 ($\equiv 1 - \sigma/\sigma_0$)	[-]
M_∞ : 最終混合度	[-]
n : 回転速度	[rpm]
Δp : 流動層内圧力損失	[Kg/cm ²]
Q : 空気流量	[cm ³ /sec]
T : 攪拌トルク	[Kg-cm]
T_{fix} : 固定層の攪拌トルク	[Kg-cm]
T_{mf} : u_{mf} における攪拌トルク	[Kg-cm]
u : 空塔速度	[cm/sec]
u_{mf} : 最小流動化速度	[cm/sec]
u^* : u/u_{mf}	[-]
α : (5)式中の定数	[-]
σ : 標準偏差	[wt %]
σ_0 : 混合前の標準偏差	[wt %]
ϕ : 混合速度係数	[min ⁻¹]
ω_0 : 角速度	[sec ⁻¹]

引用文献

- 1) 神保元二編集：化学工学 38, 2, “最近の各種流動層技術” 特集 (1974)
- 2) S. Makishima, T. Shirai : J. Chem. Eng. Japan 1, 168 (1968), 2, 224 (1969)
- 3) 永田進治, 松山卓蔵, 橋本尚人, 長谷治雄：化学機械 10, 301 (1952)
- 4) Rowe, P. N., Nienow, A. W. and Agbin, A. J. : Trans. Instn. Chem. Engrs, 50, 310, 324 (1972)
- 5) 佐納良樹, 猪爪孝一, 樋口照雄：化学工学協会第5回秋季大会講演要旨集, p. 65 (1971)
- 6) 矢野武夫, 佐納良樹, 富永徹, 宮田紀夫：化学工学 20, 1001 (1965)
- 7) 佐納良樹：学位論文, 大阪府立大学 (1965)

2次元ホッパー内の粉体応力の測定

Measurement of the Stresses at the Wall of a Two-Dimensional Hopper

橋本 啓治* 福井 雄二** 綱川 浩*** 青木 隆一***
Keiji Hashimoto Yuji Fukui Hiroshi Tsunakawa Ryuichi Aoki

Abstract

Although equations proposed for representing the vertical stress distribution in a hopper are resulting in the same form as $\sigma_v = \frac{\gamma H}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right]$, the value of c , which is a function of frictional properties of the bulk solids filled in the hopper, differs according to each formula.

In this study, a two-dimensional hopper equipped with two inclined side walls of variable angle was used to measure the stresses at several positions of the wall.

The conclusion arrived at was that,

(1) the stress condition during filling is a elastic state, and the stress distribution is represented by Walker's formula

(2) in the mass flow state, the stress condition remains at a plastic equilibrium and the stress distribution is represented by Walters' equation.

著者摘録

ホッパー内の粉体応力に関する式は、円筒容器における Janssen の式の導出の場合と同様に水平要素面に働く鉛直方向の力の釣合から

$$\sigma_v = \frac{\gamma H}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right]$$

の形になるが、 c の値を粉体の力学的特性値より決定するに当たって既に提案されている各式の妥当性は検討されていない。 c はホッパー角 θ の関数でもあるため、 θ の種々な値に対して上式が統一的に成立することを確認する必要がある。本研究では同一装置で種々のホッパー角における壁面の粉体圧を測定するために2次元ホッパーを用いて実験を行なった。その結果、充填時の粉体応力分布に関しては Walker の提案が少なくとも定性的には実状を最も良く説明できることが認められた。一方、流動時ではマスフローの範囲では Walters の式が最も良く、またファネルフローの場合は充填時の静的な値と変わらないということを見出した。

1. 2次元ホッパー内の粉体圧に関する理論

1.1 Janssen の応用理論¹⁾

非付着性 Coulomb 粉体層内の応力状態は、重力場において主動応力状態と受動応力状態の二つの塑性平衡状態にあると考えて2次元ホッパー内の任意高さにおける鉛直方向の力の釣り合いを考える。(Fig. 1, 2)

$2h \tan \theta [(\sigma_v + d\sigma_v) + \gamma dh] = 2h \tan \theta \sigma_v + 2\tau_{vw}$ (1)
ここで τ_{vw} は、 σ_v と σ_h の力の合成関係から求めた σ_w に壁摩擦係数を乗じた値である。Eq(1)を $h=H$ で $\sigma_v=0$ の条件で解くと、鉛直応力 σ_v は、次式で示される。

* 日本鋼管㈱ ** 徳細川粉体工学研究所

*** 横浜国立大学工学部

(〒233 横浜市南区大岡 2-31-1)

Tel. (045)741-3541 内 351, 353

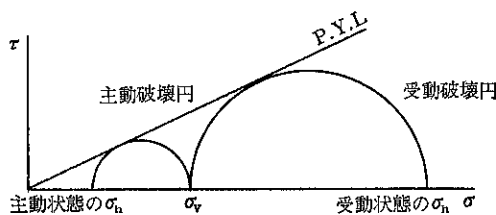


Fig. 1 限界応力状態の主応力の関係

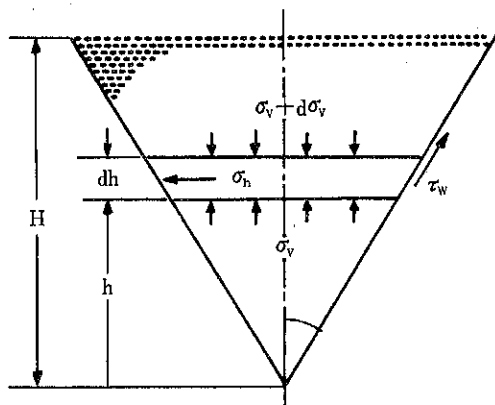


Fig. 2 Janssen の鈎合

$$\sigma_v = \frac{\tau H}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right] \quad (c \neq 1) \quad (2)$$

ホッパー壁面の法線方向に働く応力 σ_w は、次式となる。

$$\sigma_w = (k \cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \frac{\tau H}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right] \quad (3)$$

$$c = \cot \theta \cdot \mu_w (k \cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \quad (4)$$

$$\text{主動(静圧)状態} \quad k = k_s = \frac{1 - \sin \delta}{1 + \sin \delta} \quad (5)$$

$$\text{受動(動圧)状態} \quad k = k_D = \frac{1 + \sin \delta}{1 - \sin \delta} \quad (6)$$

1.2 半径方向に鉛直応力分布がある場合²⁾

粉粒体をホッパーに投入する際、水平要素面に働く鉛直応力 σ_{vr} は最大主応力、水平応力 σ_h は最小主応力になる傾向がある。しかし粉体層は、自重による圧縮が生じて壁方向に行くに従い大きな剪断力が発生して水平応力 σ_h は要素内で一定であるが最小主応力とはならない。また鉛直応力もこの剪断応力と釣り合うため半径方向に減少してくる。同様にホッパー内を粉粒体が流動する際の粉体層は、受動応力状態の傾向を示し、充填時の現象と同様に要素内の水平応力は壁付近において最大主応力とはならない。そして鉛直応力 σ_{vr} は、この剪断力

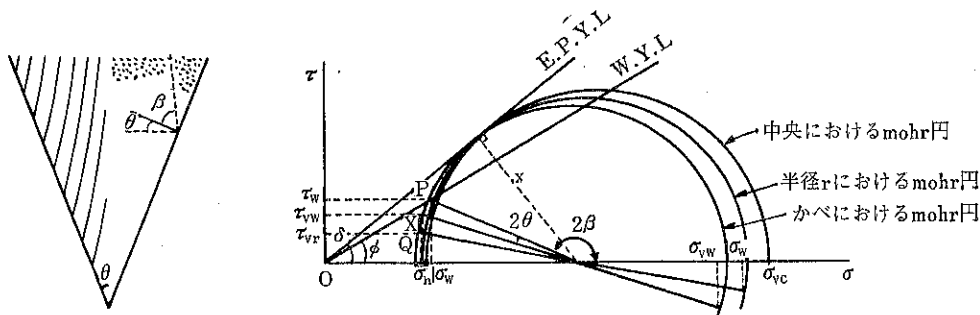


Fig. 3 静圧時における応力関係

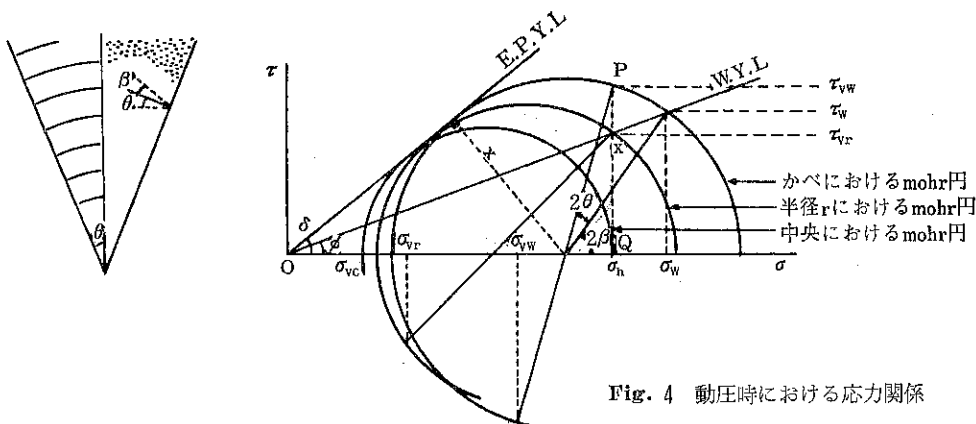


Fig. 4 動圧時における応力関係

ホッパー壁面法線と最大主応力の方向とのなす角 β

但し $0 < \sin^{-1} \left(\frac{\sin \phi_w}{\sin \delta} \right) < \frac{\pi}{2}$

$$B = \frac{\tau_{vw}}{\sigma_{vw}} = \frac{\sin \delta \cdot \sin 2(\theta + \beta)}{1 - \sin \delta \cos 2(\theta + \beta)} \quad (9)$$

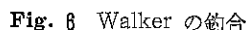
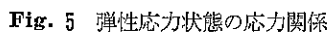
$$D = \frac{\sigma_{vw}}{\bar{\sigma}_v} = \frac{k'}{(1 + 2 \tan^2 \delta) \pm |k' B \cos \delta| \times z} \quad (10)$$

{ 十：充填時
一：流動時

(1) Walker の理論²⁾

$$\sigma_w = \sigma_v \frac{\cos \phi_w \cdot \sin 2\theta}{\sin(\phi_w + 2\theta) + \sin \phi_w} \quad (11)$$

流動時の粉体圧は、ホッパー内の任意面における鉛直方向の力の釣り合いから求まる。(Fig. 6)



$$\bar{\sigma}_v = \frac{\gamma_H}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right] \quad (13)$$

$$\sigma_w = \frac{D(1 + \sin \delta \cdot \cos 2\beta)}{1 - \sin \delta \cdot \cos 2(\beta + \beta')}$$

$$\frac{\gamma^H}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right] \quad (14)$$

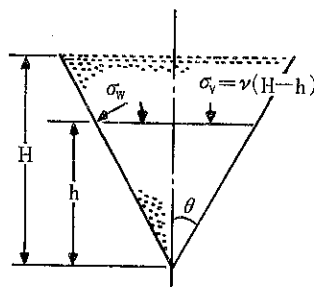
$$c = BD \cot \theta \quad (15)$$

(2) Walters の理論³⁾

考え方は、Walker と類似しているが、Walters は充填時においても壁方向への応力分布 τ_w を考慮している。また鉛直方向の力の釣り合いにおいて、壁からの反力 σ_w 、微小高さ dh を考慮している点が Walker と異なる。(Fig. 7)

$$2(h + dh) \tan \theta [(\bar{\sigma}_v + d\bar{\sigma}_v) + \gamma dh]$$

$$= 2h \tan \theta \bar{\sigma}_v + 2\tau_w \left(\frac{dh}{\cos \theta} \right) \cdot \cos \theta$$



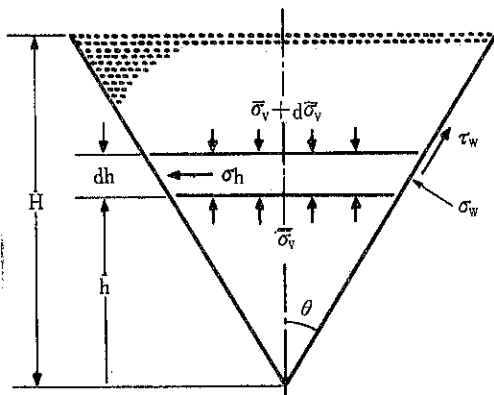


Fig. 7 Walters の釣合

$$+2\bar{\sigma}_w \left(\frac{d\theta}{\cos\theta} \right) \sin\theta \quad (16)$$

(dh)², (d σ_v)(dh) の項を無視して Eq (16)を変形すると

$$\frac{d\bar{\sigma}_v}{dh} = \frac{\bar{\sigma}_v}{h} [BD \cot\theta + (D-1)] - r \quad (17)$$

Eq. (17)を $h=H$ で $\bar{\sigma}_v=0$ の条件で解くと

$$\bar{\sigma}_v = \frac{rH}{c-1} \left[\left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^c \right] \quad (c \neq 1) \quad (18)$$

$$\sigma_w = \frac{D(1 + \sin\delta \cos 2\theta)}{1 - \sin\delta \cos 2(\theta + \beta)} \bar{\sigma}_v \quad (c \neq 1) \quad (19)$$

$$c = BD \cot\theta + (D-1)$$

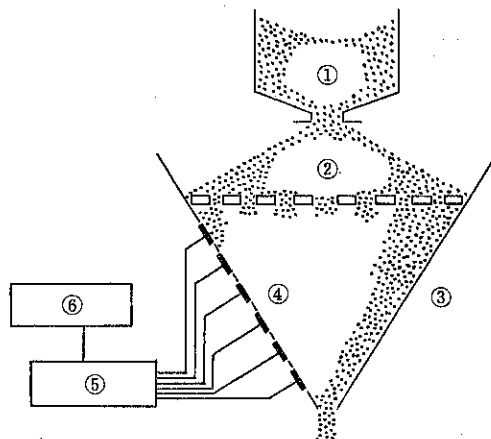
2. 粉体圧測定値との比較

本研究における測定値 σ_w は, Fig. 8 の装置において充填, 流動時ともに surcharge (粉体層上表面にかかる付加荷重) のない条件下で測定した. また流動時には, トレーサー挿入によるフローパターンと σ_w の関係を検討した.

本研究で用いた試料 (豊浦砂 S_T , ポリエチレンペレット PEP) の内部摩擦角 δ , 壁摩擦角 ϕ_w の測定法はいろいろあるが, ホッパー内粉体層の現象と類似していると考えられる直接剪断試験より決定した. (Table 1)

Table 1 試料粒体の諸特性

	Toyoura Sand	Polyethylene Pellet
d_p [cm]	0.02	0.40
γ_b [G/cm ³]	1.520	0.575
ϕ_i [°]	32.3	23.0
μ_i [—]	0.633	0.424
ϕ_w [°]	22.0	10.0
μ_w [—]	0.404	0.176



- ① 試料供給部 ④ 土圧計
- ② 多孔板 ⑤ 動歪測定器
- ③ ホッパー部 ⑥ 記録計

Fig. 8 実験装置

2.1 充填時の比較

Fig. 9 ~ Fig. 12 より surcharge のない供給時の充填時測定値は, 再現性のないことがわかる. 定性的には, ホッパー角 θ が大きくなるにつれて測定値も大きくなっているが, 測定値のピーク位置がどこに存在しているのかははっきりしていない. このような測定値のばらつきの原因は種々考えられるが, (1)充填時の衝撃による残留応力の影響, (2)充填後の自重による圧密の影響, (3)鉛直壁貯槽 (サイロ) に観察されるように供給速度が大きいと鉛直応力 σ_v が小さくなり, 水平応力 $\sigma_h = \sigma_w$ が大きくなる (粗充填). また供給速度が小さいと σ_v が大きくなり, 水平応力 $\sigma_h = \sigma_w$ が小さくなる (密充填). 同様に

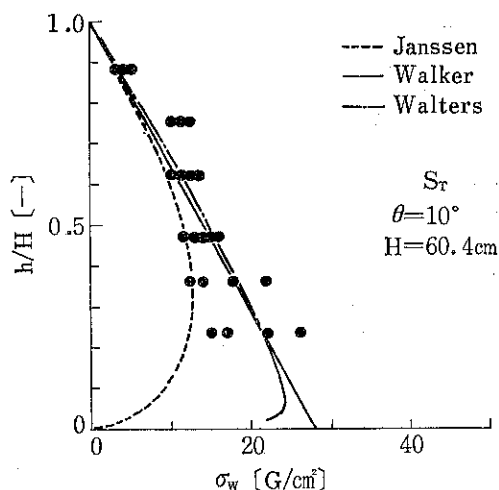


Fig. 9 充填時 (静的状態) の粉体応力

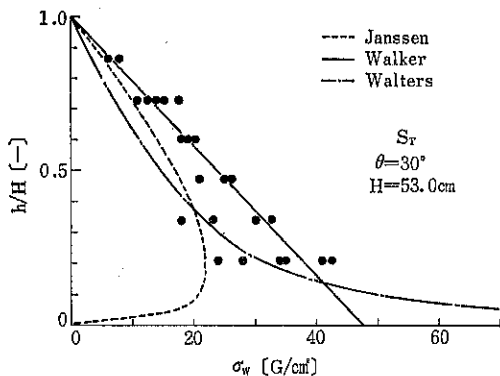


Fig. 10 充填時の粉体応力

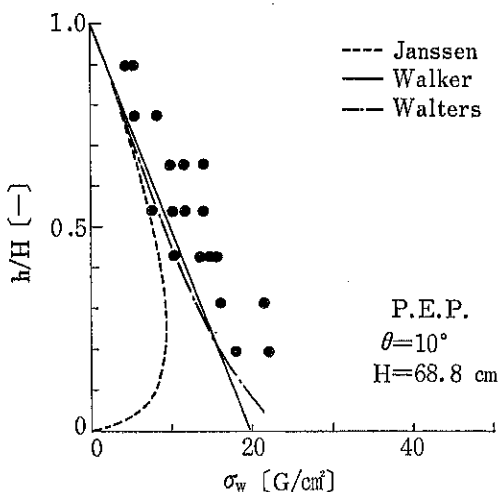


Fig. 11 充填時の粉体応力

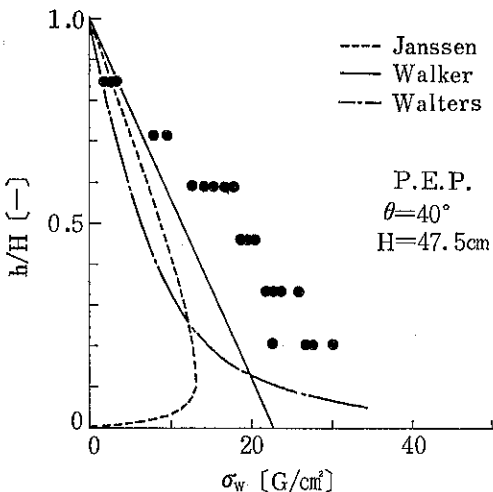


Fig. 12 充填時の粉体応力

σ_v と σ_h の関係より求まるホッパー壁面に働く σ_w も供給速度の影響が現われていると考えられる。

各計算値と測定値を比較すると、Janssen の計算値は測定値より小さく推算され、Walker の弾性状態と考えた計算値は測定値と大体一致している。Walters の計算値は、ホッパー角 θ の範囲に問題があり、 $0 < 2\theta < \pi - 2\beta$ 、すなわち豊浦砂の場合 θ は、 $0^\circ \sim 11.2^\circ$ ポリエチレンペレットの場合 θ は、 $0^\circ \sim 8.2^\circ$ の範囲において計算値は測定値と一致しているがその範囲を越えた場合、鉛直応力 σ_v は、流体圧 ($=r_h$) より大きくなり物理的に問題が残る。

以上のことから、測定圧に影響を与える因子の多い充填時の粉体圧 σ_w は、複雑な塑性応力状態のモデルを考えるより、単純に鉛直応力 σ_v は流体圧に等しいと考えた Walker の弾性応力状態のモデルから推定できるのではないかと考えられる。

2.2 流動時の比較

(1) surcharge のない定常流動 (すなわち流出した量だけ粉体層上面に均一供給して層高を一定に保った流動) 時における壁面法線方向に働く粉体応力 σ_w の測定値は、充填時と比較して供給速度、排出速度などによる影響をあまり受けなくて再現性のあるものが得られた。(Fig. 13~16)

比較した三つの理論のうち、Walker と Walters の σ と τ の関係は、モール円から一貫して求めている。しかし力の釣り合いに関して、Walters は、微小高さ dh 、壁からの反力 σ_w を考慮している点が Walker と異なる。

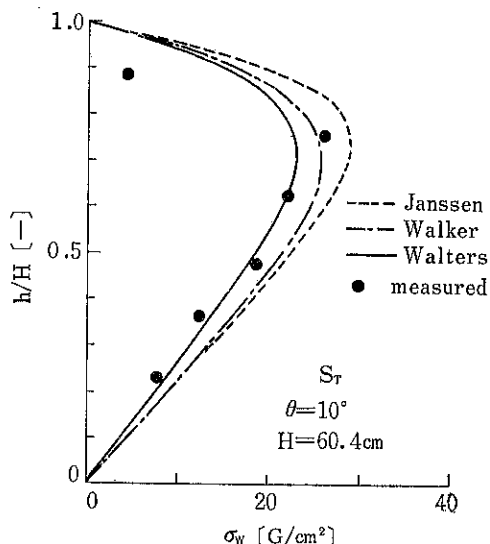


Fig. 13 流動時の粉体圧

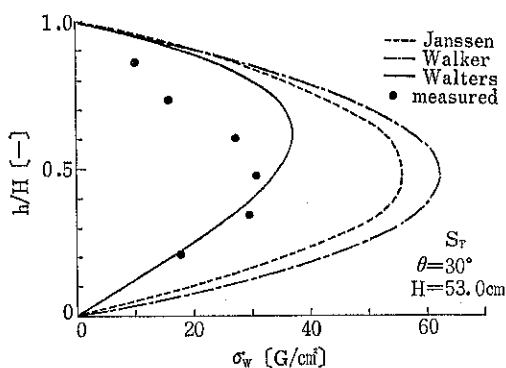


Fig. 14 流動時の粉体圧

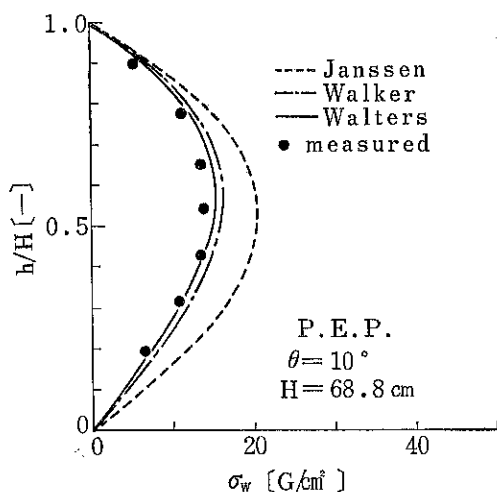


Fig. 15 流動時の粉体圧

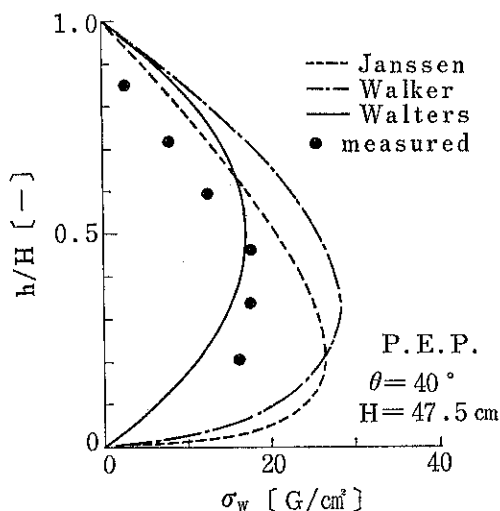


Fig. 16 流動時の粉体圧

る。Janssen の応用理論の場合、 σ と τ の関係について、剛体の方の合成関係と、モール円の関係を用いて求めており理論が一貫しておらず問題が残る。

得られた S_T , P. E. P. 粉粒体の測定値から、 σ_w は Walters の計算値によって大体予測されることがわかる。ホッパー角 θ が小さい場合には、Walker の計算値と測定値が大体一致しているが θ が大きくなるにつれて計算値は測定値より大きく予測されてくることわかる。同様に Janssen の応用計算値も、測定値よりかなり大きく予測されている。これらの理論計算値は基本的には同形式の式であり $\sigma_w = f(\delta, \phi_w, \theta)$, すなわち δ , ϕ_w , θ の関数となり、 δ , ϕ_w の値の取り方次第によっては、Walker, Janssen の計算値と一致するはずである。言いかえると δ , ϕ_w の値の精度が問題になるわけだが、粉体における δ , ϕ_w の絶対値というものは、決定できず、あくまで δ , ϕ_w を現象説明値として把握せねばならないと考える方が妥当な故、直接剪断試験法の ϕ_w , δ を用いたことは適当であると思われる。

(2) フローパターンと σ_w との関係

粉粒体流動時のフローパターンは、壁付近に死領域の存在せぬマスフローと死領域の存在するファネルフローの二つに分けられる。この時ファネルフローを発生させる臨界ホッパー角 θ_c を知ることはホッパー設計に重要である。 θ_c は、モール円から滑り線が応力の不連続となる時という定義⁴⁾から求めると Fig. 17 の $\angle SOQ$ に等しく次のようになる。

$$\theta_c = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi}{2} + \delta - 2\beta \right] \quad 2\beta = \phi_w + \sin^{-1} \frac{\sin \phi_w}{\sin \delta}$$

$$\theta_c < \theta : \text{ファネルフロー}$$

S_T , P. E. P. について求めた θ_c は

$$\text{P. E. P.} \quad \theta_c = 38.3^\circ$$

$$S_T \quad \theta_c = 27.96^\circ$$

となる。

トレーサー挿入によるフローパターン観察から、 $\theta = 15^\circ$ の S_T , P. E. P. では、マスフローと観察され測定

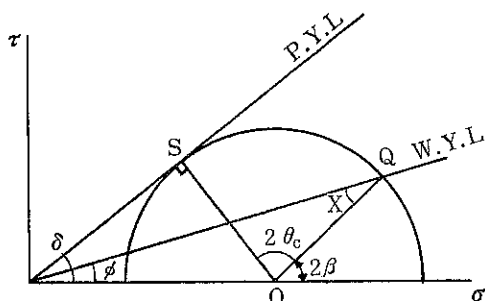
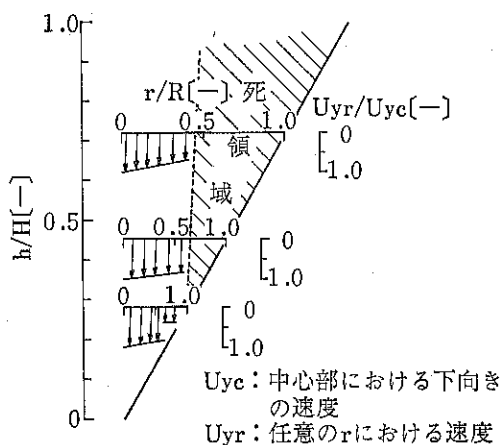
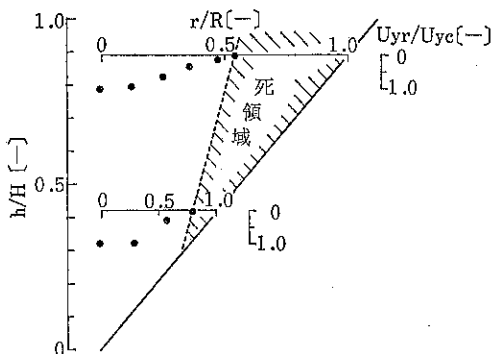


Fig. 17 θ_c の求め方



S.T. $\theta=30^\circ$ $H=53.0\text{cm}$

Fig. 18 流速分布とフローパターン



P.E.P. $\theta=40^\circ$ $H=47.5\text{cm}$

Fig. 19 流速分布とフローパターン

値 σ_w は, Walters の計算値と一致している. $\theta=30^\circ$, S.T. と $\theta=40^\circ$, P.E.P. の場合, 壁付近に死領域が観察されその死領域発生位置は, Fig. 17, 18 に示すように測定値 σ_w の最大値発生位置よりわずかに下がった壁面から発生していたのが観察された. その発生位置より下の壁面の粉粒体はマスフローと同様な挙動を示し, σ_w は Walters の計算値と一致している. しかし, 発生位置より上の死領域における $(\sigma_w)_D$ は Walters の計算値より小さく充填時の応力 $(\sigma_w)_S$ と大きく変化していないことが観察された.

3. まとめ

ホッパー表面に surcharge のない場合のホッパー壁面に働く粉体圧を測定して, 各計算値と比較検討を行なった. その結果, 充填時の σ_w は, 供給条件の影響を大変受けて測定値のばらつきは大きい, Walker の計

算値により大体推算できる. 定常流動時の σ_w は, ホッパー壁面に死領域の存在せぬマスフローホッパーにおいて, Walters の計算値で十分推算できる. しかし死領域の存在するファンネルフローホッパーにおいても壁面で粉粒体が流動している低い位置に働く σ_w は, Walters の計算値で推算される. 死領域の存在する高い位置の σ_w は, Walters の計算値より小さく充填時の σ_w と大きく変化していないことがわかった.

付着性のない粉粒体 (特に粒体) の δ , ϕ_w の値は, この S.T. と P.E.P. の δ , ϕ_w の中間に存在するものが多いと予測できるので, 充填時は Walker, 流動時は Walters の計算値により σ_w は推算されると考えられる.

使用記号

θ	: hopper 角 (鉛直方向から)	[$^\circ$]
h	: hopper 頂点から任意面までの高さ	[cm]
H	: hopper 頂点から hopper 表面までの高さ	[cm]
δ	: 粉粒体有効内部摩擦角	[$^\circ$]
μ_i	: 粉粒体有効内部摩擦係数	[—]
ϕ_w	: 粉粒体—壁摩擦角	[$^\circ$]
μ_w	: 粉粒体—壁摩擦係数	[—]
σ_v	: 鉛直応力	[G/cm 2]
$\bar{\sigma}_v$	: 平均鉛直応力	[G/cm 2]
σ_{vr}	: 中心軸から r 離れた場所での鉛直応力	[G/cm 2]
σ_{vw}	: 壁面における鉛直応力	[G/cm 2]
σ_{vc}	: 中心軸における鉛直応力	[G/cm 2]
σ_w	: 壁面法線方向に働く応力	[G/cm 2]
σ_h	: 水平方向に働く応力	[G/cm 2]
τ_w	: 壁面に沿って働く剪断応力	[G/cm 2]
τ_{vw}	: 鉛直方向に働く剪断応力 (壁面)	[G/cm 2]
K	: 最大主応力と最小主応力の比	[—]
K_s	: 静圧時の K	[—]
K_D	: 動圧時の K	[—]
β	: 壁面法線と最大主応力方向のなす角	[$^\circ$]
k'	: σ_{vw}/σ_h	[—]
B	: τ_{vw}/σ_{vw}	[—]
D	: $\sigma_{vw}/\bar{\sigma}_v$: 応力分布関数	[—]
γ	: 粉粒体のかさ比重量	[G/cm 3]

引用文献

- 1) Aoki, R. Tsunakawa, H., J. Chem. Eng. Japan, 2, 126 (1969)
- 2) Walker, D. M., Chem. Eng. Sci., 21, 975 (1966)
- 3) Walters, J. K., ibid, 28, 13,779 (1973)
- 4) 高橋洋志, 柳井 弘, 化学工学, 38, 746 (1974)

研究報告

皿型造粒機による最小ペレット生成の操作条件について

Generation of the Minimum Size Pellet of Pan-type Granulator

上滝 具貞* 早野 延男** 山中 久人** 坂口 玉雄**
Tomosada Jōtaki, Nobuo Hayano, Hisato Yamanaka, Tamao Sakaguchi

Abstract

In the process of Pan-type granulator, it is said that the position of sprinkler (of the binder liquid) and the throwing down position of raw materials affect greatly to the size of the pellet, nevertheless up to this time, these two factors have been determined empirically without special concern.

In this experiment, we could find that i) the locus of the sprinkler in the transient state of granulation has the important function to make the smaller size of pellet. (usually, Pan-granulator, minimum size is said over 2~3mm ϕ)

ii) Optimal operating condition for Fe_2O_3 powder ($\text{dp}_{50} \cong 1.2\mu$) was $N \cong 20 \sim 22 \text{ rpm}$ and θ (inclination angle of Pan) $\cong 50^\circ \sim 54^\circ$.

At the above condition, the period of growth of pellet was the shortest and the compression strength of pellet was the largest,

著者摘録

一般に皿型造粒機の操作条件の中で、原料の投入場所や撒液部は経験に基き定位置で操作しており、これら2つの要素が粒径に及ぼす影響については明らかにされていないようである。また、常にある大きさのペレットを造粒する目的をもって操作したという報告も見当たらない。

本研究では、原料の投入場所は従来の経験に基いて設定し、常に最小のペレットが生成されるように撒液部を過渡的な運転状態より操作した。試料に Fe_2O_3 粉末を使用した結果、以下のことが明らかとなった。

- i) 皿型造粒機では限界に近いといわれている最小クラスのペレットを生成することができた。
- ii) その主なる要因はフロー・パターンに追従させた撒液部の操作である。
- iii) ペレットの成長と圧潰強度より評価される造粒機の良い運転条件は、傾斜角 θ は $50^\circ \sim 54^\circ$ 、回転速度 N は $20 \text{ rpm} \sim 22 \text{ rpm}$ である。

1. はしがき

皿型造粒機に関する組織的な検討が始まったのは1950年以降で、これまでの報告をまとめると i) 造粒機構に

関するものと ii) 造粒装置の操作条件に関するものに大別される。

造粒機構については a) 単一の凝集体に注目する立場と b) 皿内のすべての凝集体に注目する立場がある。乾燥粉体へ撒液しながら転動させると、気-液-固体系で構成される小さな凝集体(核)が生成され始める。この凝集体(核)はさらに転動作用を受けることにより内部の水分が表面に押し出され、その水分でさらに乾燥粉体を付着させて雪達磨式に肥大する(ペレットの成長)。

* 九州工業大学 (〒804 北九州市戸畑区仙水町)

TEL (093) 871-1931

** 山口大学工学部 (〒755 宇部市常盤台)

TEL (0836) 31-5100

凝集体の充填構造に余分な水分がなくなったとき (Funicular域)¹⁾、凝集体の成長は停止する (ペレットの完成)^{2), 3)}。このような過程を辿って粉体からペレットに造粒されるわけであるが、このとき各段階の凝集体が皿内部に混在している。皿型造粒機内の造粒機構に対する考え方として、河野⁴⁾は皿内部の流動状態を3つの領域に分けて造粒機構を解明することを提案している。

造粒装置の操作条件としては、イ) 装置の大きさ (皿の径、深さ)、ロ) 装置の運転条件 (傾斜角、回転数)、ハ) 撒液量、撒液位置、原料投入場所などが挙げられる。イ)、ロ) についてはいくつかの半定量的な報告⁵⁾があるが、ハ) については定量的に把握することが困難なためにあまり検討されていないようである⁶⁾。

皿型造粒機で生成されるペレットの大きさは2, 3mm ~ 15, 20mm 前後といわれ、粒径は造粒の目的に応じて選定される。したがって、ペレットの大きさに及ぼす試料の物性や操作条件の影響が充分に解明されておれば、希望する大きさのペレットを造粒することができる。たとえばフェライト製造工程で行なわれる造粒のように焼成を目的とする場合には、ペレット内部まで均一に焼成されることが必要なので小粒の方が望ましい。

今回は、バリウム・フェライト原料の主成分である Fe_2O_3 粉末を使用して、最小のペレット生成のための運転条件 (傾斜角、回転数) について検討を行なった。今回の実験では撒液位置と撒液量は常に最小のペレットが生成されるように調節し、他の操作条件 (傾斜角、回転数) を種々変化させて実験を行なった。なお、造粒物に対する運転条件の良否については、ペレットの大きさと圧潰強度を用いて評価を行なった。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験に使用した造粒機は Fig. 1 に示すように直径が1 m、深さが20 cm の皿を傾斜させたいわゆる傾斜皿型

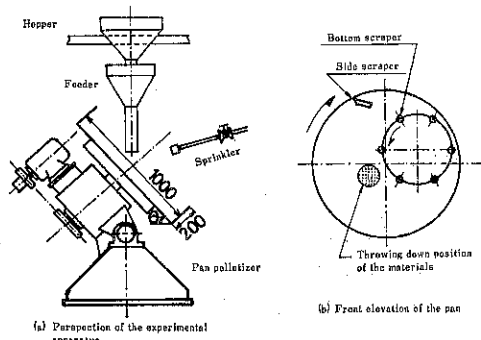


Fig. 1 Experimental apparatus

造粒機 (ロッシェ造粒機 G T-10 型) で、実用機種では最小のクラスのものである。

皿の傾斜角 θ は $40^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で変えることができ、材料の物性あるいは造粒の目的に応じて調整される。

皿の内面に適度な原料のコーティング層を形成させるために底面の掻き取りはボトム・スクレーパーで行ない、皿の回転方向とは逆向きに回転させている。また、皿の内縁に形成される付着層はサイド・スクレーパーによって掻き落される。

原料の投入は造粒機の上部に設けられたフロートロンで行ない、結合剤には水を使用しスプレー・ノズルによって撒布した。

2.2 実験方法

実験方法について述べる前に、造粒過程のフロー・パターンについて記述する。

1) 造粒過程 (過渡状態) のフロー・パターン

Photo. 1 は造粒し始めて完成ペレットが連続して排出し始める (定常状態に達する) までのフロー・パターンを示したものである。始めに、原料 (Fe_2O_3) のみを供給し(a)、ある程度の滞留量に達すると撒水し始めて造粒を開始する(b)。同時に皿内部には原料のコーティング層が形成され始め、スクレーパーによって適度の厚さに保たれると、核化およびペレットの成長が順調に行なわれる(c)。この状態がさらに進行しているのが(d)の状態である。(e)の状態は造粒機の分級作用によって完成されたペレットがいまや溢出せんとしており、(f)では完成ペレットが連続して排出されている状態 (すなわち、定常状態) を示している。この状態では撒水の位置は定位置に、撒水量は一定量に保たれる。このように、乾燥粉体が完成ペレットとして排出されるまでかなりの時間を費しており、その間の撒水場所および撒水量は生成ペレットの大きさに重大な影響を与えることになる。

造粒開始初期 (過渡状態) と定常状態における撒液部はモデル的に Fig. 2 のように示され、その位置は定常状態では河野モデル⁴⁾というところの α 、 β 部の頂点付

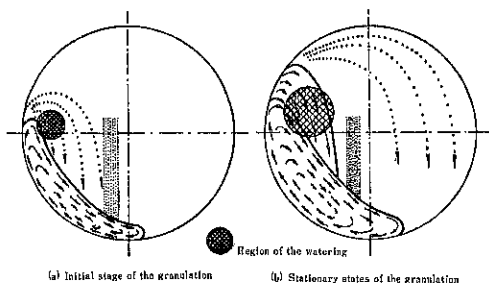


Fig. 2 Movement of the particles in the pan

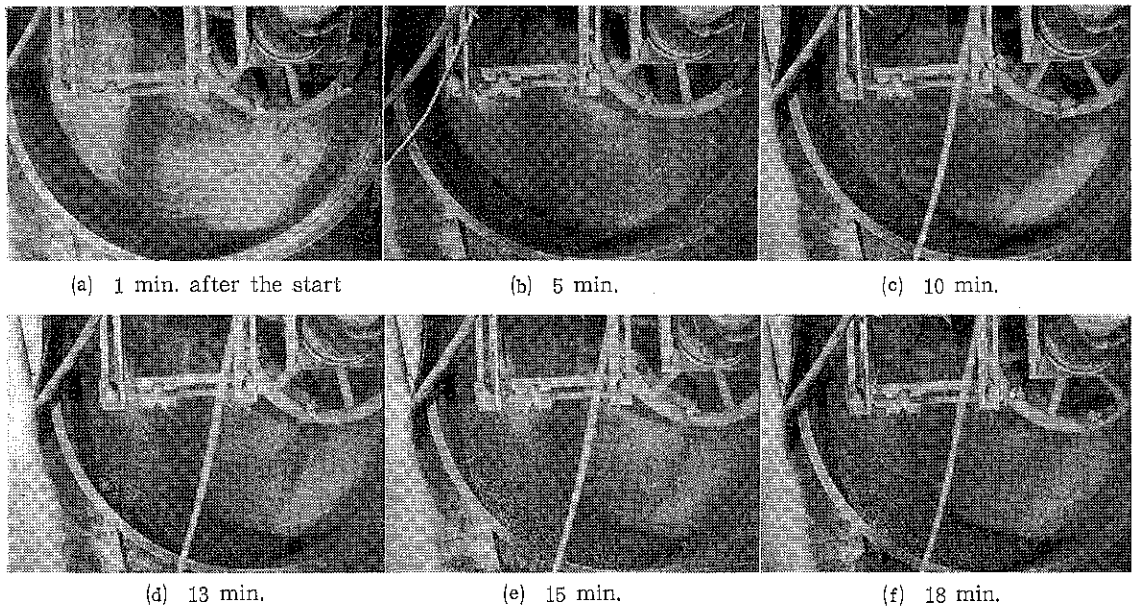


Photo. 1 Flow-pattern of the granulation ($\theta=58^\circ$, $N=22$ rpm)

近に設定されている。定常状態に達するまでは時間の経過とともにフロー・パターンが変化するので α 、 β 部に相当する領域の上部に撒水できるようにその位置は操作される。また、撒水量も造粒状態を観察しながら大きなペレットが造粒されないように常に調節された。このように過渡状態で、撒液位置を移動させる操作は経験的なもので、フロー・パターンの観察より得られたものである。

繰返し実験を行なった結果、過渡的な造粒過程では撒水位置や撒水量の微妙な操作が重要であることが認識された。したがって、皿型造粒機において目的のペレットを造粒する過程を自動化するためには撒水位置と量の2つの要素の定量的な把握が必要である。今回は、生成ペレットを乾燥させてその水分量を測定することにより撒水量を間接的に求めたが、一方撒液位置についてはFig. 2のようにフロー・パターンとの関係から、どのような位置に設定すれば良いかという経験的な結果しか得られなかった。

2) ペレットのサンプリング

Photo. 1-(f)の状態では造粒機の分級作用によって連続的に排出されるペレットを容器に受け、容積にして10 lのものをその条件下で生成されるペレットの標本とした。

3) 平均粒子径 dp_{50} の測定法

10 l ほどサンプリングされたものを目開きが1000 μ , 2000 μ , 2830 μ , 4000 μ , 4760 μ , 5660 μ , 6730 μ , 7930

μ の8段階の標準篩で篩分けして累積分布で表わし、これより50%径を求めて夫々の操作条件下で生成されるペレットの代表径 dp_{50} とした。

4) 圧潰強度Pの測定方法

ペレットの機械的な強度を評価する簡単な方法として圧潰試験がある。この方法はペレットに荷重をかけて破壊するときの荷重を測定するものであり、篩分けされた各ペレット群の中から任意に10個のペレットを取り出して圧潰試験を行ない、それらの平均値をその大きさにおける圧潰強度Pとする。

5) 傾斜角 θ および回転速度Nの実験範囲

造粒機の回転速度Nは通常、臨界速度 N_c の0.4~0.65倍程度で運転されている⁷⁾。この臨界速度 N_c は平滑な斜面を転動落下する球に作用する重力と遠心力の平衡から導びかれ

$$N_c = 42.3 \sqrt{\frac{\sin \theta}{D}} \quad (1)$$

N_c : 臨界回転数 [rpm]

D : 皿の直径 [m]

θ : 皿の傾斜角 [deg]

となる。

今回は皿径Dが一定であるので、造粒機を運転する際には傾斜角 θ と回転数Nは、どちらか一方を変えても皿内のフロー・パターンに直接影響を与えることになる。後述するように傾斜角 θ が小さくなると生成ペレットは大きくなる傾向にあり、最小ペレットを生成するという

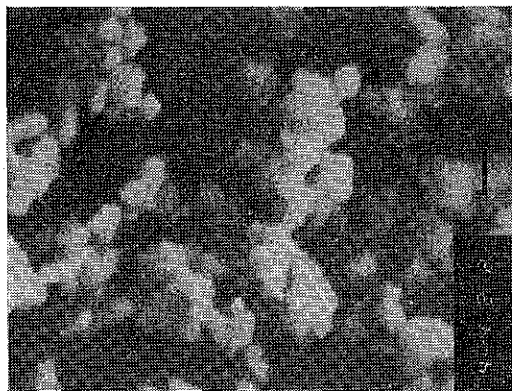


Photo. 2 Samples before granulation (S.E.M.)

今回の目的から本機の運転調整範囲 ($\theta=40^\circ\sim 60^\circ$) をさらに縮小して θ は 48° から 60° まで 2° 間隔で変化させて実験を行なった。

このような θ の範囲に対して、回転数の方は経験的に求められている $N/N_c=0.4\sim 0.65$ より実用回転数 N を算出すると $N=14.6\sim 25.3$ rpm となるので N は 15, 18, 20, 22, 25 rpm の 5 段階に変えて実験を行なった。

6) 試料の物性および供給方法

実験に使用した試料は 99.2% の Fe_2O_3 を含む乾燥粉末で、比重が 5.0 で水分は 0.2% であった。粉末粒子の形状は Photo. 2 に見られるように卵型をしている。空気透過法により測定された平均粒子径は 1.2μ で、電顕写真から求めた個数基準の平均径は 0.34μ であった。

試料は常に一定量で供給されるようにフオートロンで行ない、流量は 1.2 kg/min に設定された。

3. ペレットの大きさ

3.1 生成ペレットの大きさと再現性

前述のように操作して得られた粒径分布の一例 ($\theta=54^\circ$) を Fig. 3 に示す。いずれの回転数においても分布曲線はほぼ相似であることが認められるので、ある条件下で生成されるペレットの大きさは累積分布より求めた 50% 径で代表させることにする。また、いずれの場合も分布の状態は 4 mm 前後の範囲に納まっているので、比較的分布の幅は狭いものと考えられる。

次に、今回の実験の再現性について考察する。Fig. 3 に示されるように $N=25$ rpm については 2 回の実験を行なった。図より曲線を 1 mm 程度平行移動すれば 2 つの分布曲線はほとんど一致する。傾斜角 θ を変えたときの生成ペレット粒径の再現性の程度を 50% 平均径で表わ

Table 1 Reproducibility of the pellet size in $dp_{50}(\text{mm})$

$\theta(^{\circ}), N(\text{rpm})$	1st. Test	2nd. Test	Variation
$\theta=56, N=25$	3.2	1.7	1.5
$\theta=54, N=25$	1.6	2.8	1.2
$\theta=52, N=25$	1.8	2.5	0.7
$N=22$	5.5	1.8	3.7
$N=20$	5.0	3.5	1.5
$N=18$	2.1	1.8	0.3
$\theta=50, N=22$	3.8	3.9	0.1
$\theta=48, N=25$	2.5	3.5	1.0

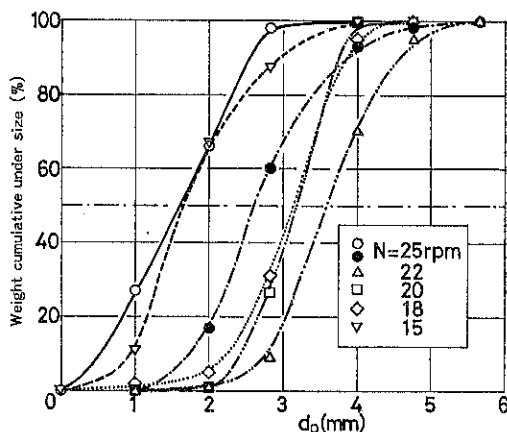


Fig. 3 Size distribution of the pellet ($\theta=54^\circ$)

すと Table 1 のようになる。 $\theta=52^\circ, N=22$ rpm のとき最大の変動が見られるが、他の場合では変動は 1 mm 前後に納まっている。また、すべての変動の平均値は 1.25 mm となるので得られた結果は 1 mm 前後で再現性があるものと思われる。

3.2 平均ペレット径 dp_{50} と傾斜角 θ との関係

回転数 N をパラメーターとして、傾斜角 θ と生成ペレットの平均径 dp_{50} の関係は Fig. 4 のようになる。 $N=20, 22$ rpm の場合には傾斜角 θ によって平均粒径 dp_{50} はあまり変動することなく、 θ の増大につれて dp_{50} は小さくなっている。一般に回転数 N の最適値は $N_{opt}=(22\sim 23)/\sqrt{D}$ といわれているので⁸⁾、この値に近い回転数では θ が変化しても常に安定した造粒状態が得られるものと考えられる。これに対して、 $N=15, 18, 25$ rpm などは最適回転数より離れており、特に $N=15, 25$ rpm では各傾斜角における下限、上限の回転数に一致するために造粒状態が不安定になり易く、 θ の変化とともに生成されるペレットの大きさは激しく変動するものと思われる。しかし、再現性に 1 mm 前後の幅があることを考慮すれば、やはり傾斜角 θ の増大につれて dp_{50} は

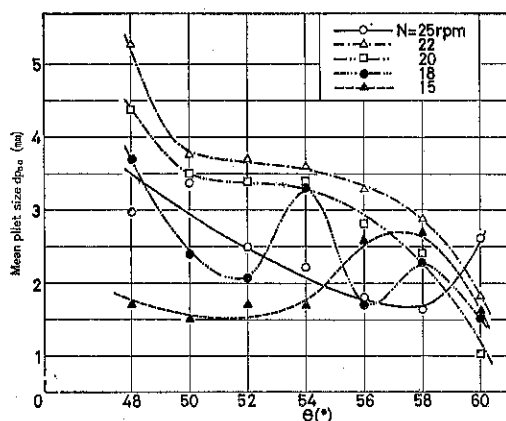


Fig. 4 θ (inclination angle of pan) versus dp_{50}

小さくなる傾向を示している。

ペレットの成長は、凝集体が転動落下することによって行われる。すなわち、その過程で凝集体の理想的な充填構造に過剰な水分を表面に押し出し、浸出した水分により新しい原料粉末を付着させて雪達磨式に肥大する。したがって、凝集体（ペレット）が転動する期間が長ければペレットは大きくなる。このような観点から傾斜角 θ と平均径 dp_{50} の関係について、まず現象面から考察してみる。Photo. 3 は回転数 N および傾斜角 θ を変えたときの代表的なフロー・パターンを撮影したものである。これから観察されるように θ が大きくなると同じ N では核および成長途中の粒子が落下し始める位置が次第に低下し、転動する距離が短くなる。したがって、それだけ粒子の成長が抑制されるために θ が大となるとペレット径 dp_{50} は小さくなる。また、 θ が 58° 付近よりも大きくなるとペレットはもはや“ころがり”ながら落下するよりも滑り落ちる状態となり、ペレットの成長は抑えられる。

次に定性的な立場から θ と dp_{50} の関係について考察する。造粒物の転動落下する距離が長くなることは皿内に滞留している粉粒体の総量が增大していることを意味しているので、この滞留量を ϕ で表わすと $N=15$ rpm と $N=25$ rpm における θ と ϕ の関係は Fig. 5 の実線で示されている。したがって、 $15 \leq N \leq 25$ の間の回転数における滞留量 ϕ は 2 本の実線で囲まれる範囲に存在し、 θ の増大に比例して減少する。また、図より $N=20, 22, 25$ rpm における dp_{50} も θ の増大に比例して減少していることが認められる。したがって、滞留量 ϕ とペレットの大きさ dp_{50} の間には密接な関係があるものと思われ、 ϕ が多いほど（滞留期間が長いほど）ペレット径 dp_{50} は大きくなる。以上より、傾斜角 θ が増大すると生成さ

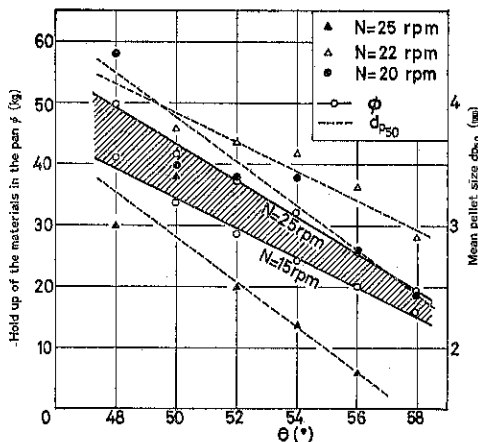


Fig. 5 θ versus ϕ and θ versus dp_{50}

れるペレットは小さくなる。この傾向は Grönder らの報告⁹⁾と一致している。

一般に、生成されるペレットの大きさと機械的な操作条件の間には次のような関係があるといわれている¹⁰⁾。

$$d_p = \frac{k}{\theta^a} \frac{H^c}{N^b} \quad (2)$$

d_p : ペレット径 [cm], H : 皿の深さ [m],

N : 回転数 [rpm], θ : 傾斜角 [deg],

k, a, b, c : 定数

今回は、 H は固定 (20 cm) されているので

$$d_p = \frac{K}{\theta^a N^b} \quad (3)$$

(K : 定数)

と表わされる。 N をパラメーターとして上式より傾斜角 θ と平均ペレット径 dp_{50} の関係を

$$dp_{50} = \frac{K_n}{\theta^a} \quad (4)$$

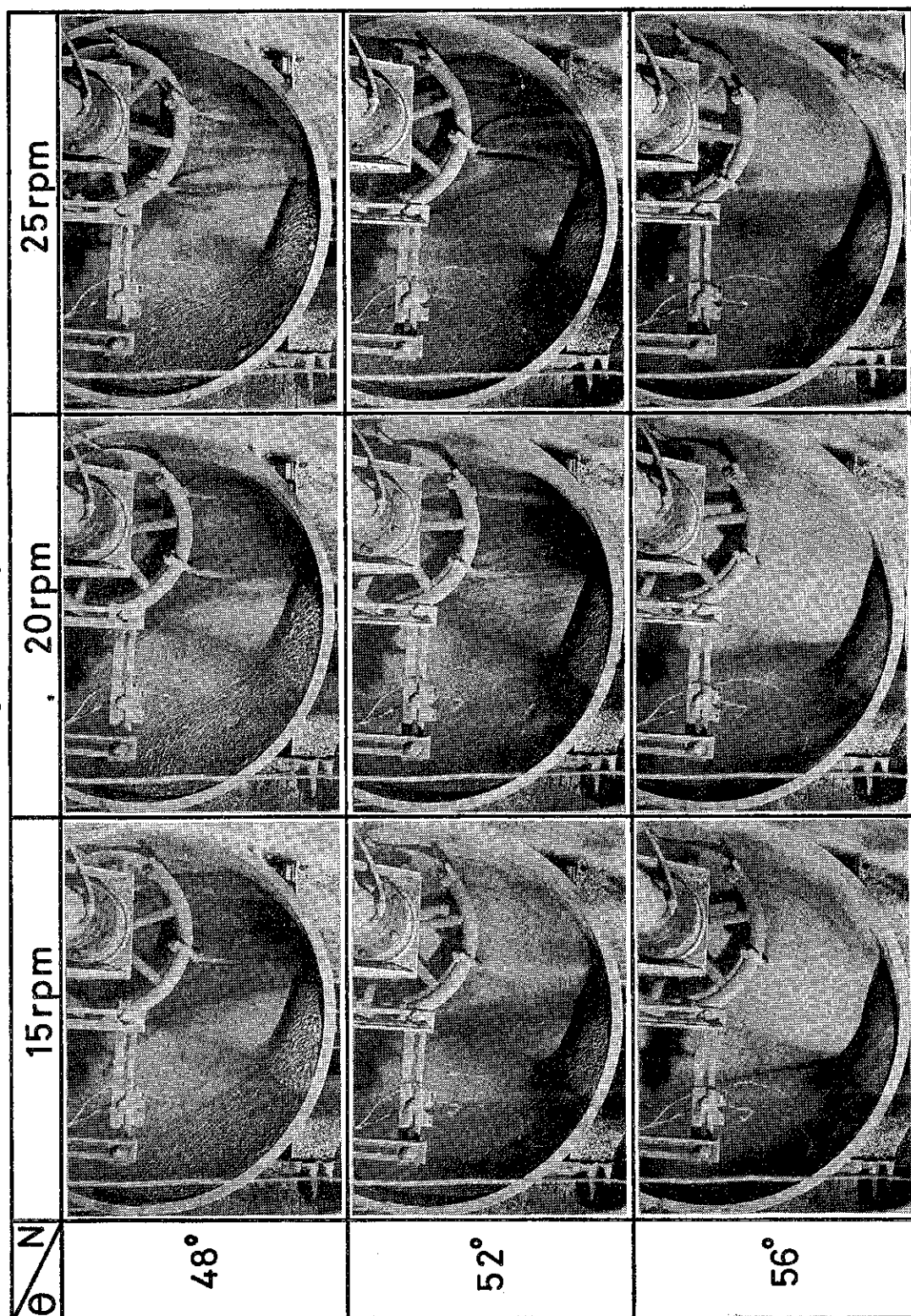
(K_n : N の効果を含む定数)

として求めると Fig. 6 が得られる。Fig. 6 より dp_{50} は $1/\theta^a$ に比例することが確かめられたわけであるが、回転数 N が大きくなるにつれて θ の指数 a は大きくなっている。これは N が上昇すると角度 θ の変化によるフロー・パターンの変化割合が大きくなることを示しているものと思われる。

また、図中に示される実験式の定数は $N=22$ rpm のときが最大となっている。この定数 K_n には (4) 式で示されるように回転数 N の効果が含まれているので、このときの回転数においてペレットの成長が最も良好に行なわれることを示唆しているものと考えられる。このことは、経験的に求められた最適回転数 ($N_{opt} = (22 \sim 23) / \sqrt{D}$) と一致している。

3.3 ペレットの平均径 dp_{50} と回転数 N との関係

Photo. 3 Flow-pattern of the granulation



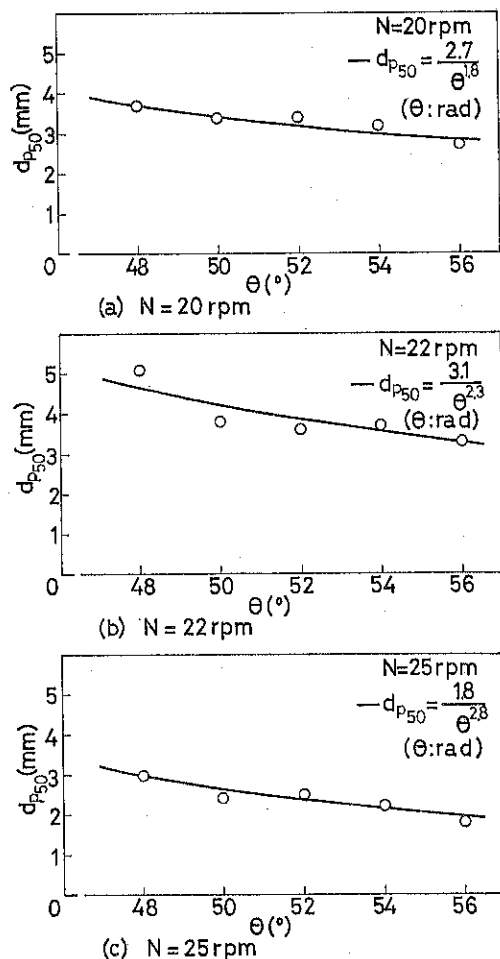


Fig. 6 Relationships between dp_{50} and θ at the three different revolutions

皿の回転数 N と生成されるペレットの大きさとの関係は Fig. 7 のようになる。Fig. 5 では回転数 N が大きくなれば滞留量 ϕ が増加し、ペレットの成長期間が長くなるためペレット径が大きくなることが示された。一方、Fig. 7 では $22 \leq N$ になると生成されるペレットは急激に小さくなっている。一見、矛盾するようなこれらの事実はモデル Fig. 8 によって説明することができる。すなわち、ある回転数よりも大きい所では再び転動・落下距離が減少し、したがって粒の成長が抑制されるものと考えられる。また、Fig. 7 で $\theta = 56^\circ, 58^\circ$ のとき実用回転数の下限は $N = 0.4 N_c$ より 16 rpm 位なので、これ以下の回転数 N では異なった造粒状態となり dp_{50} が若干増大するものと思われる。しかし、いずれの θ においても 22rpm 付近でペレット径が最大となっており、この点は Fig. 6-(b) の結果と一致している。

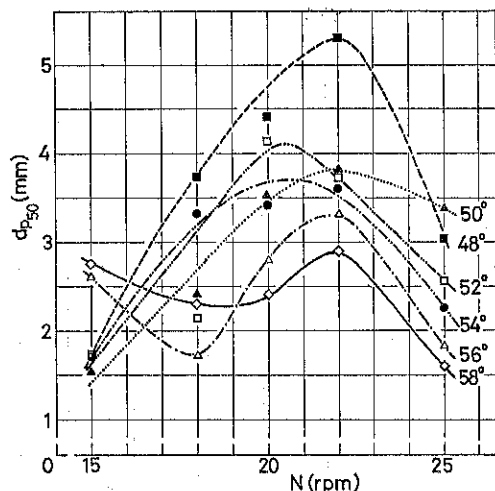


Fig. 7 Relation between dp_{50} and N

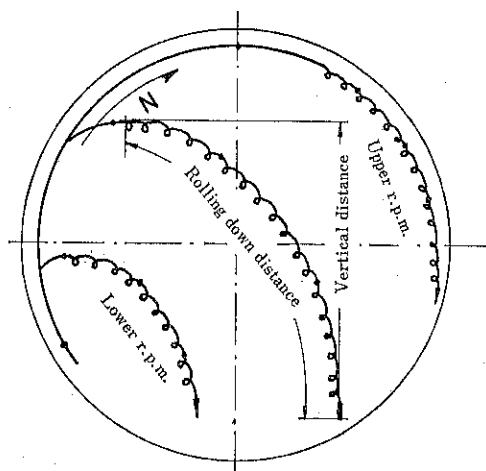


Fig. 8 Relation of the loci of particles with the various revolutions of pan

4. ペレットの圧潰強度 P

4.1 圧潰強度 P とペレットの大きさ d_p との関係

ペレット径 d_p が大きくなるとペレット 1 個の重量が増加するので、それだけ転動・落下による圧密度が進み強度 P は大きくなる。 d_p が比較的大きい範囲で

$$P = K_p d_p^2 \quad (5) \quad (K_p: \text{定数})$$

の関係があるといわれている^{11), 12)}。しかし、Fig. 9 に示されるように今回の吾々の実験では $P \sim d_p^2$ とはならず、 $P \sim d_p^{(0.62 \sim 1.50)}$ の関係式が得られた。このように経験則から外れる理由については、さらに多くの実験を行ないペレットの充填構造などから考察する必要があるものと思われる。

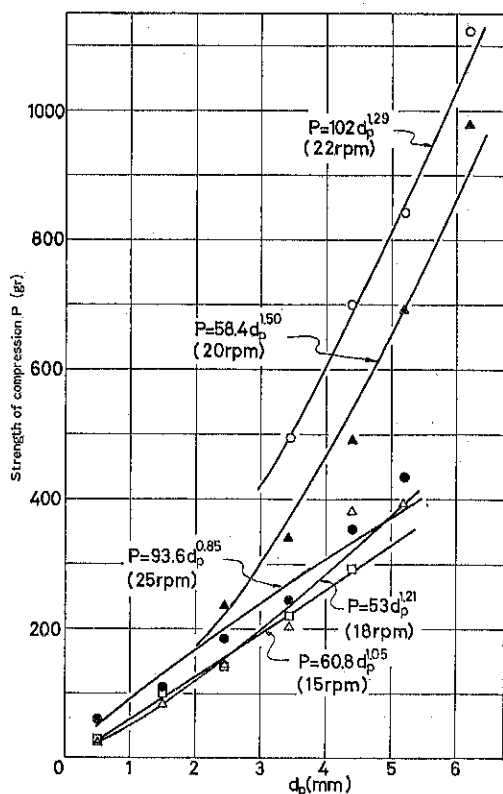


Fig. 9 Compression strength P versus pellet size d_p (mm)

4.2 圧潰強度 P と回転速度 N との関係

P と N との関係は Fig. 10 に示されている。実用速度の下限以下 ($N/N_0 = 0.4 \sim 0.65$ より, $\theta = 48^\circ \sim 50^\circ$ では $N = 15$ rpm) を除くと、各傾斜角において回転数 N が上昇すると Fig. 8 のモデル図で示されるように、それだけ粒体の落下距離、転動距離が長くなり落下による圧密化が促進するために強度 P が増大する。しかし、前述したように $N = 22$ rpm を越えると実用速度の上限 (25 rpm 近傍) に近づき、Fig. 8 のモデル図からも分るように成長粒子の落下・転動距離が短くなり圧密作用が抑制されて強度 P は減少するものと考えられる。

このように、実用回転数の範囲では N の上昇にほぼ比例して P は増大するが、傾斜角 θ による強度 P の明瞭な差は認められない。

5. 造粒過程における水分量 w_t

造粒時における水分量はペレットの気体-液体-固体系の充填構造に対して極めて重要な役割を果しており、水分の調節次第でペレットの大きさが決定される。また、充填構造に関与する因子であるので造粒物の強度 P

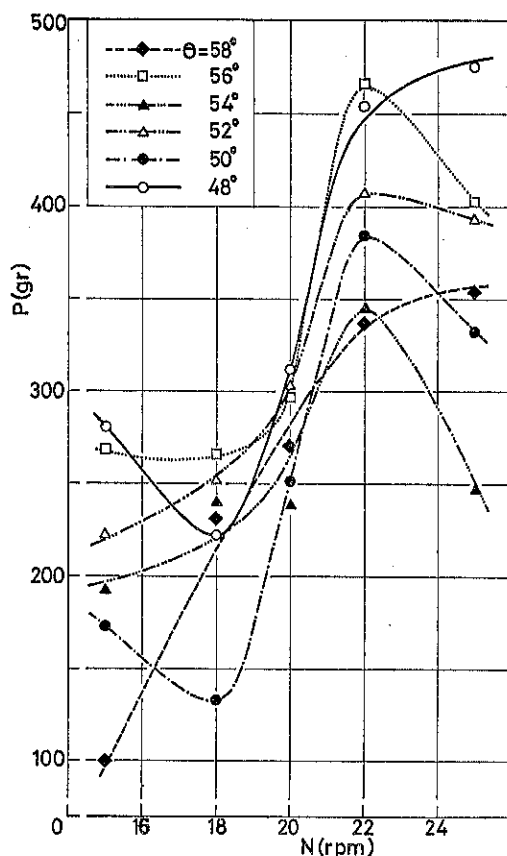


Fig. 10 Relation of N and P

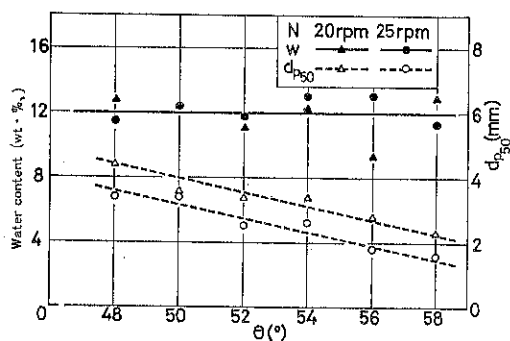


Fig. 11 Water content of the pellet

にも大きな影響を与えることになる。フェライト原料の場合造粒可能な水分の範囲は 8～15% 程度で、希望する造粒物の強度、粒子の大きさを満足させるためには $\pm 1\%$ 以内に操作する必要があるとされている¹⁸⁾。

今回は、各造粒過程における水分量 w_t はペレット生成直後に 100°C で 10 時間乾燥させることにより間接的にペレットの含水量を測定した。その結果は Fig. 11 に示されている。回転数 N によって、あるいは傾斜角 θ によ

って生成されるペレットの大きさは異なっているにもかかわらず、水分量 w はいずれの条件でも常に一定値を示しており、その値は $w_t=12\%$ 前後であった。

6. まとめ

今回の実験では機械的操作条件を変化させ、最小サイズのペレットを作ること为目标としたが、以下の事柄が明らかとなった。

1) 皿型造粒機で下限に近いといわれている大きさのペレットを造粒することができた。(3 mm~4 mm)

2) 最小サイズのペレットを作るには、過渡状態での撒水位置と量の調節が極めて重要な因子となる。

3) さらに、フロー・パターンと撒水位置及び粉の物性の相互の関係の検討が必要と考えられる。

4) すべての水分量はほぼ一定であることから、粒の大きさや強度の差異は傾斜角 θ と回転数 N の変化によるものと考えられる。また、皿型造粒機における粒の成長機構から考察すると、粒の成長が促進されることはそれだけ圧密化が進行しており強度が大であることを示している。今回の目的からは粒はあまり成長しない方が好ましいわけであるが、強度的に弱いという問題が残る。したがって、目的に応じて θ 、 N を決定すれば良いことになるが、造粒状態の安定性および強度を重視すると、

$$50^\circ \leq \theta \leq 54^\circ$$

$$20 \text{ rpm} \leq N \leq 22 \text{ rpm}$$

となる。尚、このときに生成されるペレットのほとんどは 3~4 mm の大きさであるので、上記の運転範囲でも今回の目的は十分に達成されたものと思われる。

最後に、実験に際し装置の提供を頂いた宇部興産粉機械事業部宇部鉄工所ならびに試料提供に尽力頂いた西海工業粉小野田工場に厚くお礼申し上げる。

記 号

a }
b } 定数
c }
D : 皿の直径

d_p : ペレット径
 d_{p50} : ペレット平均径
 H : 皿の深さ
 K }
 K_n } 定数
 K_p }
 k } 定数
 N : 皿の回転数
 N_c : 臨界回転数
 N_{opt} : 最適回転数
 P : 圧潰強度
 w_t : 完成ペレットの水分量
 α }
 β } 河野モデルで示される皿内の流動状態の領域
 r }
 θ : 皿の傾斜角
 ϕ : 滞留量

引 用 文 献

- 1) 梅屋, 岩尾: 化学工学, **24**, 230 (1960).
- 2) 河野, 山本: 化学工学, **28**, 709 (1964).
- 3) 森脇: 造粒便覧, 東畑編 p. 101 (1975), オーム社.
- 4) H. Kono: Zement-Kalk-Gips, **12**, 549 (1959).
- 5) 外山, 他 3 名: 粉体工学研究会誌, **4**, 713 (1967).
- 6) 東畑, 関口: 粉体工学研究会誌, **7**, 133 (1970).
- 7) 名和田: 工場操作シリーズ No. 18 造粒, p. 37 (1968) 化学工業社
- 8) 宮沢: 工場操作シリーズ No. 18 造粒, p. 138 (1968) 化学工業社
- 9) W. Gründer, H. Hildenbrand: Chemie-Ing. Techn., **33**, 749 (1961).
- 10) 東畑: 粉体工学バンドブック, 井伊谷編 p. 532 (1965) 朝倉書店
- 11) D.M. Newitt, J.M. Conway-Jones; Trans. Instn. Chem. Engrs., **36**, 422 (1958).
- 12) 東畑, 他 3 名: 粉体工学研究会誌, **3**, 576 (1966).
- 13) 佐藤: 造粒便覧, 東畑編 p. 615 (1975) オーム社

湿 式 球 形 造 粒

Wet Spherical Agglomeration

川島 嘉明*

Yoshiaki Kawashima

現代の文明や価値観が、必ずしも、産業や生活水準の向上では論ぜられなくなったのは、それが著しい環境汚染を来たしたことに因る。その意味において、上下水、産業廃水処理における、汙過、沈降分離操作の比重は重い。懸濁粒子の汙過及び沈降分離をより効果的に行なうために、予め懸濁粒子を凝集させる試みは古くから行なわれている。しかし、この操作は、沈降粒子の圧密化には逆効果となることが多い。最近、この課題をも克服した湿式造粒法が確立され始め、各方面で注目を集めるようになった。そこで本稿では、初めに、凝集剤添加方式による湿式造粒を概観し、次いで、“spherical agglomeration”とも呼ばれている湿式球形造粒法について、その歴史、造粒に及ぼす諸因子の影響、応用例や造粒器などを中心に解説したい。

1. 凝集剤添加方式による湿式造粒

湿式造粒は、懸濁液中の粒子を凝集させ、その凝集体の成長と圧密化を同時に行なう操作といえよう。湿式造

粒法を、凝集体の生成方法から分類すると2大別される。第1の方法は、凝集剤を添加する方法であり、固-液系で行なわれる。第2の方法は、本主題の湿式球形造粒法であり、懸濁溶媒とは混和せず懸濁粒子と親和性を有する架橋剤（液体）を添加し、固-液系で行なわれる。以上二つの湿式造粒法と凝集機構との関係を Table 1 にまとめた。

凝集剤添加方式の造粒法で使用される凝集剤が、無機凝集剤や、界面活性剤ではなく、高分子凝集剤である点は注目に値する。未だ、その造粒機構は十分には明らかにされていないが、高分子凝集剤の凝集機構が、粒子の電位の低下よりはむしろ、粒子間の架橋にあることと、深い関係があるように思われる。本造粒法の先駆的研究は、遊佐と Gaudin^{1), 2)} のカオリナイトの高分子溶液サスペンションのレオロジー的研究であろう。この研究の斬新性は、サスペンションに機械的エネルギーを与えた後、そのレオロジー的性質を測定し、機械的エネルギーの与え方との関連性を明らかにした点である。以

Table 1 湿式造粒と凝集機構との関係

凝集剤又は架橋剤	種 類	化 合 物 名	凝 集 機 構	造 粒 作 用
凝 集 剤	無 機 塩	NaCl, BaCl ₂ , AlCl ₃	電位の低下	高分子凝集剤と組み合わせて相乗作用有
	界面活性剤	ドデシルアミン塩酸塩 アニリン塩酸塩	“	?
	高分子凝集剤	ポリアミン ポリアクリルアミド ポリアクリル酸	電位の低下 高分子架橋	有
架 橋 剤	有機溶媒	ベンゼン, オイル	液体架橋	有
	無機塩水溶液	NaCl, CaCl ₂	“	有

* 岐阜薬科大学

(〒502 岐阜市三田洞東5-6-1)

Tel. (0582) 37-3931 (内) 234

下にその実験結果の一部を紹介する。水素カオリナイト (0.67 μ) の水性懸濁液 (濃度 1.63v.%) に、凝集剤として、部分的に加水分解したポリアクリルアミド (HPAM) を添加して (4.44mg/カオリナイト 1 g), サスペンションが調製された。このサスペンションを共栓付きメスシリンダにとり、回転又は振とうミキサーで攪拌した。振とうは、メスシリンダの軸方向に、振幅 9 cm, 振とう速度 5 sec⁻¹ で行なわれた (強振とう)。回転ミキサーによる方法 (弱混合) は、メスシリンダの軸と回転軸が直角で、転倒運動 (r 回転) をする場合と、両軸が平行で転動運動 (p 回転) をする場合の 2 方法で、その回転速度は、34rpm であった。以上の方法で一定時間サスペンションを攪拌した後、沈降実験がなされた。沈降体の相対空隙体積 (空隙の体積/固固体積) を攪拌時間に対しプロットすると、弱混合よりも強振とうの方がその値を減少させた。また、攪拌時間が長い程、その傾向は増大した (Fig. 1)。攪拌時間が長く、強い程、凝集体は

破壊、分散され、その結果沈降体積が減少すると考えられた。一方、同じ実験で、沈降速度が測定された。r 回転の結果は予想に反して、攪拌時間が長い程、沈降速度が増大した (Fig. 2)。p 回転でも同じ結果が得られた。彼らはサスペンションに弱い回転運動を与えると、凝集体は破壊されるよりはむしろ、緻密化されると考えた。メスシリンダ中の空気を懸濁溶媒で置きかえ同様な実験を行なった。凝集体は、より規則的な回転運動を与えられ、緻密化したペレット状の造粒体を形成した。その予想は見事に的中し、ここに劇的な発見を生んだ。その後遊佐³⁾は、この凝集体の造粒挙動を凝集現象の一環としてとらえ、従来の凝集理論を拡張した第 2 凝集理論を提案し、新しい展開を続けている。

この方式による湿式造粒法は実用化され、連続造粒脱水装置⁴⁾を生んだ。最近、無機凝集剤単独では造粒効果を発揮させがたいが、高分子凝集剤との併用で、相乗的效果を著わすことが見つけられた⁴⁾。この事実は、凝集及び造粒機構を考える上で興味深い。凝集攪拌条件、新しい凝集剤、装置構造などの開発による、本造粒法の実用面の発展が期待される。

2. 湿式球形造粒の由来

本造粒法に関係のある凝集現象は古くから知られていた。特に、有機溶媒中のサスペンションの安定性が、溶媒中に混入する微量の水分によって著しく変化するという報告は、その代表例であろう。サスペンション中の微粒子がある条件下で球形粒子に成長することを初めて報告したのは、Stock⁵⁾であろう。その実験は、乾燥ベンゼンに乾燥硫酸バリウムの微粉を分散させ、これを共栓付き試験管にとり、振幅 2 in, 振とう速度 5 sec⁻¹ で振とうを続けるという簡単な操作であった。24時間後には、分散粒子はすべて凝集し、直径 0.5~1.0mm の球形粒子に成長した。この粒子の沈降体積は小さく、球の最密充填状態に近いことを示した。この試験管を手で無秩序に激しく振とうすると、球状粒子は破壊し、凝集状態となった。続いて先と同様に、規則的な振とうを 30 分間加えると、再び球状粒子が生成された。彼はこの現象を、お互いに混和しない液体を振とうする時、どちらかの液体が他の液体中に分散し液滴を形成するのと同様、硫酸バリウム粒子が単位体積当たりの表面積が小さくなるように、球形化するものと考えた。

8 年後、この研究は、凝集粒子の沈降体積が著しく減少するという結果に着目した Puddington⁶⁾らによって顧みられ、新しい局面が開かれた。彼らの実験は Stock のそれと同じであったが、系内の水分にはひどく神経を使った。懸濁溶媒のベンゼンは、予め脱水剤で十分に乾

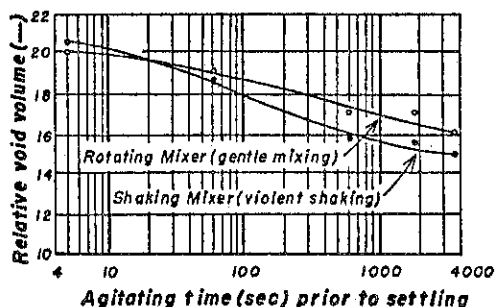


Fig. 2 Relation of relative void volume of sedimented beds for a hydrogen kaolinite pulp flocculated with partially hydrolyzed polyacrylamide to the time of agitation prior to settling.¹⁾

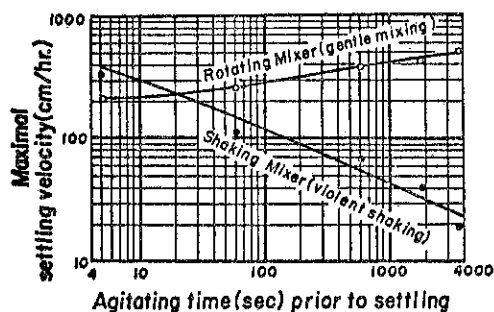


Fig. 3 Relation of maximal settling velocity for a hydrogen kaolinite pulp flocculated with partially hydrolyzed polyacrylamide to the time of agitation prior to settling.¹⁾

燥後蒸溜し、使用時再蒸溜し直接実験装置に導入した。硫酸バリウム（径0.2~1 μ ）は、200°Cで一夜乾燥し減圧デシケーター内で冷却した。以上の如く調整したベンゼン20m/に硫酸バリウム4gを懸濁し、Stockと同様な実験を行なった。12時間以上規則的な振とうを続けても系内には何ら変化が生じなかった。しかしながら、微量の水分を添加すると、Stockの報告どおり、緻密な球形粒子が形成されることが確かめられた。以上の実験結果から、Stockが行なった実験の系は、実は完全な乾燥状態ではなかったこと、硫酸バリウム粒子個有の表面特性によって造粒現象が起きたのではないことの2点が明らかになった。Puddingtonらは、この凝集及び造粒現象が粒子間の液体架橋に因ると考えて、系全体を-17°C~-20°Cの低温下で実験を行ない球形粒子が形成されないことを確かめた。系の温度を-2°C付近まであげると、室温時と同様造粒現象が見られた。従って、造粒現象を引き起こさせるためには、懸濁溶媒中に微量の水分が液体状態で存在し、粒子間に液体架橋が形成されねばならぬと結論した。次に水の添加濃度を変化させて実験を行ない、ベンゼン中の水分を定量し、粒子間に取り込まれた水分量を計算した（Table 2）。この取り込み水分量と凝集又は造粒粒子の沈降体積との関係を調べた（Fig.

Table 2.⁶⁾

Benzene used, ml	Total water added, g	Water in benzene, % w/v	Water with BaSO ₄ , g/100 g	Water in benzene Total water
18.35	0.0049	0.013	0.0033	0.020
18.10	0.0069	0.017	0.0053	0.023
35.25	0.0110	0.016	0.1333	0.015
16.52	0.0097	0.019	0.1033	0.020
30.01	0.0210	0.041	0.1095	0.019
34.27	0.0235	0.040	0.3258	0.016
17.61	0.0231	0.046	0.3743	0.020
17.53	0.0236	0.041	0.4083	0.017

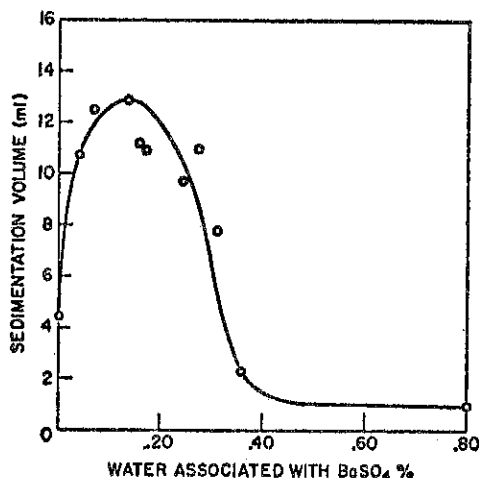


Fig. 3 The effect of water on the sedimentation volume of barium sulphate⁶⁾.

3). 初め極少量の水分を添加すると、粒子は凝集してブロックを形成し沈降体積が増大した。さらに水分を添加すると、球状粒子が生成し始め、沈降体積は減少し始めた。添加濃度を0.3125g/100g粒子まで増すと、完全な球形造粒体が形成され、沈降体積は最少となった。この水分量は、水分子の面積を10.5Å²とすると、硫酸バリウムの比表面積が18m²/gであったので、粒子表面の約60%を単分子層で包む濃度に相当する。懸濁溶媒としてベンゼンの代わりに、トルエン、ニトロベンゼン、ジエチルエーテル、クロロホルム、四塩化炭素、n-ヘキサン、シクロヘキサンなどを用いても、適当な水分量を含ませれば同様な造粒現象が生じることがわかった。又、サスペンション容器の搅拌方式によって造粒体の粒径が著しく異なることも明らかにされた。以上の研究によって、高分子凝集剤を添加する方式とは異なった新しい湿式造粒法の扉が開かれた。彼らはこの方法を“spherical agglomeration”と名づけた。

3. 湿式球形造粒に影響を及ぼす諸因子

本造粒法は、前節の研究からも示唆されたように、操作条件に敏感で、最適造粒条件を見つけるのに相当な予備実験と経験が必要である。しかしながら、造粒条件が一度確立されると、再現性は良好なので安定な操作が期待できる。又、適当なパラメータを選び、それを変化させるだけで、同じ造粒器を使用して造粒体の物性をかなり任意に調節することができる。従って、造粒に影響を及ぼす因子の的確な把握は重要である。以下にCapesや筆者の実験結果を紹介しながら、造粒速度や造粒体に影響を及ぼす諸因子について説明する。

3.1 架橋剤の添加濃度

架橋剤の添加濃度は、造粒過程に最も著しい影響を及ぼす因子の一つであろう。このことは、系内の極微量の水分の有無が本造粒法の発見の鍵となったことに端的に示されている。

CapesとSutherland⁷⁾は砂を被造粒粉体を選び、レシプロ振とう造粒器（後述）でモデル実験を行なった。砂（-44+53 μ ）10gを四塩化炭素75m/に懸濁し、架橋剤（水）の添加量を種々変化させ造粒に及ぼす効果を詳細に検討した。造粒器の振とう速度は300sec⁻¹で、2時間振とうした。Puddington⁶⁾らの実験結果と同様、最初極少量の水を添加すると配位数が2に近い鎖状のブロックが形成され、沈降体積は急激に増大し、ある添加量で最大となった。さらに水の添加を続けると沈降体積は減少し始め、ブロックと共に比較的緻密な造粒体が形成され始めた。沈降体積がほぼ一定値を示すになると、ブロックの生成は認められず、砂はすべて緻密な球

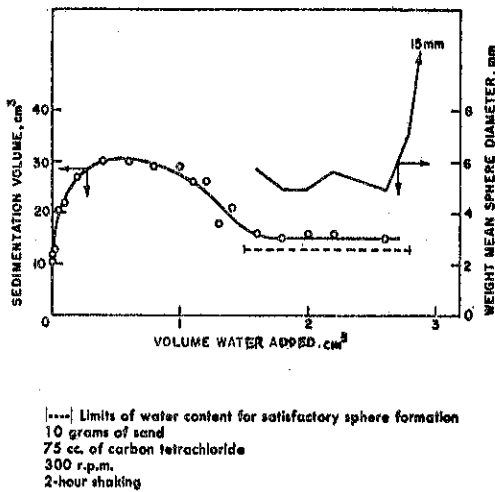


Fig. 4 Effect of water content on agglomeration of -44 to +53 micron sand⁷⁾

形粒子に変化した (Fig. 4). Fig. 4の横軸の点線は、粒径の均一な球形造粒体を得るために必要な水の添加濃度の範囲を示している。水の添加量がある臨界濃度まで増すと、造粒体の平均径が急激に増大し始めた。この水の添加量は造粒体を形成させる上限値で、これ以上の添加は水層と有機溶媒層の2層分離を引き起こした。

著者ら⁸⁾は、造粒速度の解析を目的として、砂 (76, 89, 106 μ) や炭酸カルシウム (3.8 μ) を円筒タンク (後述) 内で攪拌して造粒した。懸濁溶媒、架橋剤には各々、四塩化炭素、塩化カルシウム水溶液を選んだ。造粒

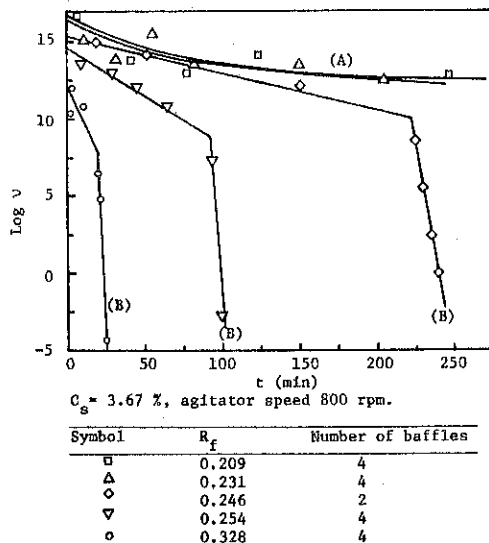


Fig. 5 Population density of agglomerates as a function of mixing time for smallest particles, CaCO_3 particles

速度を、懸濁液中の粒子の個数濃度 (population density, ν) の減少速度で表わした (Fig. 5). population density (p. d.) は、式(1)で定義される。

$$\nu = \frac{W}{\frac{\sum \pi D^3 \rho (1-\epsilon) n}{6 \sum n}} \times \frac{1}{V} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 D は造粒粒子の粒子径、 n は粒子個数、 W は造粒体重量、 ϵ は造粒粒子の空隙率、 ρ は粒子真密度である。1) 造粒過程が、任意の時間の p. d. と平衡時の p. d. との差 ($\nu - \nu_e$) を推進力とする一次過程であること、2) 初期 p. d. は仕込んだ原料粉体の粒子数から算出されるのではなく、造粒条件によって決まる造粒初期に形成されるフロックの p. d. (ν_f) であることを考慮して、造粒速度を(2)式で表わした。

$$\ln \frac{\nu - \nu_e}{\nu_f - \nu_e} = -kt \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 t は造粒時間、 k は造粒速度定数で、粒子の衝突頻度と衝突粒子の凝集確率の関数である。また、架橋剤の添加濃度を、添加量 (m) ではなく(3)式で示される、 R_f 値で表わした。 R_f は、原料粉体が空气中で適当な衝撃 (タッピング) を受けて最密充填体を形成した時の内部空隙を、添加された架橋剤が占める割合を表わしている。

$$R_f = V_{B.L.} / V_{void} \quad \dots\dots(3)$$

造粒速度定数は、Fig. 6に示される如く、架橋剤の添加濃度 (R_f 値レベル) の増加とともに指数関数的に増大

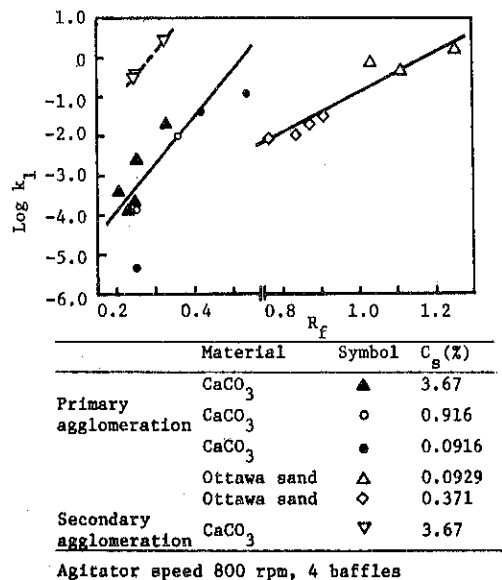


Fig. 6 Effect of amount of bridging liquid on agglomeration rate constant

した。R_F 値レベルが増大すると、架橋剤が造粒粒子内にトラップされ難くなり、造粒粒子間の架橋や凝集に有効に使われ、衝突粒子の凝集確率は高くなるであろう。

3.2 懸濁液の搅拌方法与速度

湿式造粒と系に与えられる剪断力とのかかわりは深い。湿式造粒法確立の基礎となった、遊佐、Stock 等の発見の動機がいずれもサスペンションの規則的な搅拌であったことは興味深い。真球度が1で、密度の高い緻密な球形造粒体を得るには、懸濁粒子に適度な衝撃力と回転運動を与えることが必要である。

Capes と Sutherland⁷⁾は、いくつかの予備実験の後、上記条件を満足した振とう造粒器を製作した (Fig. 10)。造粒器はテフロン製の内径 2.25in. 高さ 5in. のカプセル容器で、両端は半球型をしている。この容器には、ストローク 4in. のメトロノーム様の振子運動が与えられる。この運動によって容器内の粒子は、容器の両端に衝突し圧密され、続いて半球の曲面に沿って回転し、ピストン運動と転動運動を繰り返す。振とう速度を 150 ~ 550sec⁻¹ に変化させて実験を行なったところ、Fig. 7

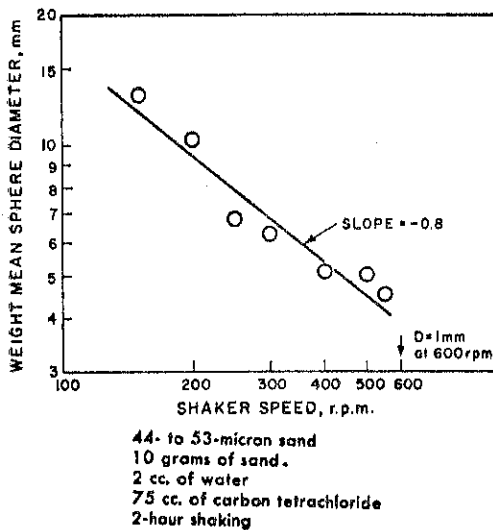


Fig. 7 Effect of shaking speed on sphere size⁷⁾

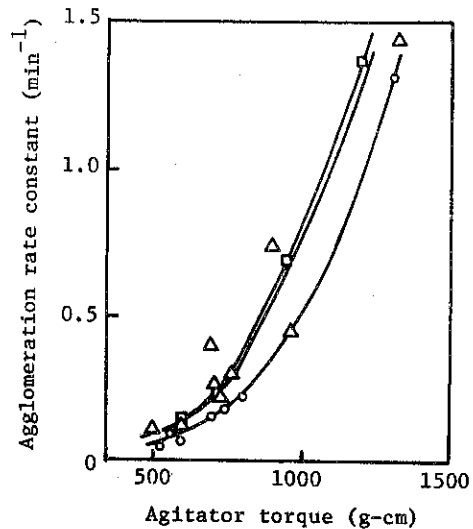
に示される如く、造粒体の平均粒子径は、振とう速度の増大とともに減少した。振とう速度を 600sec⁻¹ にすると、平均粒子径は急激に減少し 1mm にまで落ち込んだ。

著者らの使用した円筒タンク造粒器は、直径 8.25in のポリエチレン製で、内壁に沿って突起幅 0.75in の邪魔板を 1 ~ 4 枚有している。懸濁溶媒を深さ 8.25in まで導入し、直径 2.5in の 6 枚羽根タービン型搅拌翼を底面の中心上 1.4in の高さに置き、700 ~ 1,000rpm で搅拌

した。懸濁粒子の搅拌状態は、搅拌機の回転速度と邪魔板の枚数によって決まる。そこで、搅拌状態を搅拌機にかかるトルクで表わすことにした。搅拌トルク (T) は、主に搅拌速度 (N) と邪魔板の数 (N_b) の関数で、(4)式で表わされた。

$$T = 5.71 \times 10^{-4} N^{2.03} \cdot \exp(0.129 N_b) \quad \dots (4)$$

造粒速度定数を、搅拌翼にかかるトルクで整理した。その結果、造粒速度定数は懸濁液に与えられた搅拌エネルギーの増加とともに指数関数的に増大した (Fig. 8)。また、(4)式から推測される如く、邪魔板の数が少ない程



△ Sand No. 1, R_F=0.731; □ Sand No. 2, R_F=0.763; ○ Sand No. 3, R_F=0.873

Fig. 8 Effect of mixing intensity on agglomeration rate constant

造粒速度は遅くなった。搅拌速度が速い程粒子間の衝突頻度は高くなり、造粒速度は増大するであろう。搅拌エネルギーの増加は、造粒粒子に働く遠心力を増大させるが、架橋剤による粒子間凝集力には何ら影響を与えない。遠心力による粒子間分離力と凝集力がバランスする時造粒の進行が止まると考えると、搅拌エネルギーの増加は、造粒粒子の粒径がより小さな時点で平衡を成立させるであろう。従って、搅拌速度を速くし邪魔板の数を増すと、造粒速度定数は増大し、造粒体の粒子径は減少する。

3.3 被造粒粉体の粒子径及び粒度分布

著者ら⁸⁾の四塩化炭素-砂-塩化カルシウム水溶液系の造粒においては、砂の粒子径が大きい程造粒速度定数は増大した。粒子径が小さい程粒子間凝集力は増大するが、搅拌によって与えられる遠心力は弱く、分離力は減少す

る。従って粒子径の小さな砂程、平衡に到達するのに長時間を要するであろう。予期された如く、粒子径が小さな砂程、平均径が大きく、かつ球形度の高い造粒体を生成した。

微粉体（炭酸カルシウム、 3.8μ ）の造粒においては、粗粉体（砂 $>75\mu$ ）には見られない造粒現象が現われた⁹⁾。第1に、架橋剤の添加濃度（ R_F 値）が粗粉体にくらべ著しく低レベルで造粒が可能なことである（Fig. 6）。例えば、 R_F 値が0.6付近では、砂の場合にはフロック状造粒体が得られたが、炭酸カルシウムの場合には、造粒体がペースト状になったり、2層分離が起きてしまった。第2の現象として、微粉体の仕込み濃度（ C_s ）が高く（ $>3.67\%$ ）、架橋剤濃度が高い（ $R_F > 0.24$ ）と、造粒初期には p. d. が造粒時間とともに単調減少をする（Fig. 5(A)）通常の造粒過程をたどるが、ある期間を経過して造粒速度が急激に増大する第2の造粒過程が現われた。前者の、造粒速度のゆるやかな造粒過程を第1造粒過程、後者を第2造粒過程と呼ぶことにする（Fig. 5(B)）。造粒過程が第1から第2過程に移行すると、懸濁粒子、特に微小造粒体の消失は劇的で、濁度が急激に減少し、懸濁溶液は透明になった。この固液分離状態が起きる際には、搅拌翼にかかるトルクの若干の減少が観察された。第2造粒過程の造粒速度は、第1造粒過程の速度の15~25倍であった（Fig. 6）。

この微粉に特有な造粒特性を利用して、粗粉体の造粒過程の改善を試みた¹⁰⁾。粗粉に微粉を適量混合すると、造粒体は緻密化し、造粒速度が増大することがわかった。しかしながら、微粉を過度に添加すると、造粒速度が減少したり、第2造粒過程が出現した。粗粉の造粒速度定数に対する混合系の第1造粒過程の速度定数の比（ k_1/k_0 ）を、微粉の混合濃度に対してプロットして Fig. 9 を得た。微粉の添加効果は、混合濃度が10~20%の時最大で、造粒速度定数は粗粉体の速度定数の10~30倍にもなった。この微粉の添加濃度は、混合粉体が粗粒子間に微粒子を取り込み、最密充填体を形成する時の微粉の混合濃度と一致した。以上の結果は、架橋剤の添加量（ $V_{B.L.}$ ）が同じでも混合粉体にすれば、その充填体の空隙率（即ち V_{void} ）が変化するので R_F 値も変化する、それに見合った造粒挙動の変化が生じることを意味している。

Capes と Sutherland⁷⁾ は、平均径はほぼ同じであるが、粒度分布が広い場合と均一な場合の2種類の粉体を用いて造粒を行なった。同じ造粒効果を得るのに（造粒体の平均径や緻密化度がほぼ同じ）、粒度分布幅の広い粉体では、均一粒子の場合よりも架橋剤の添加量が少量ですんだ。この実験結果も、上記の造粒体の空隙率の

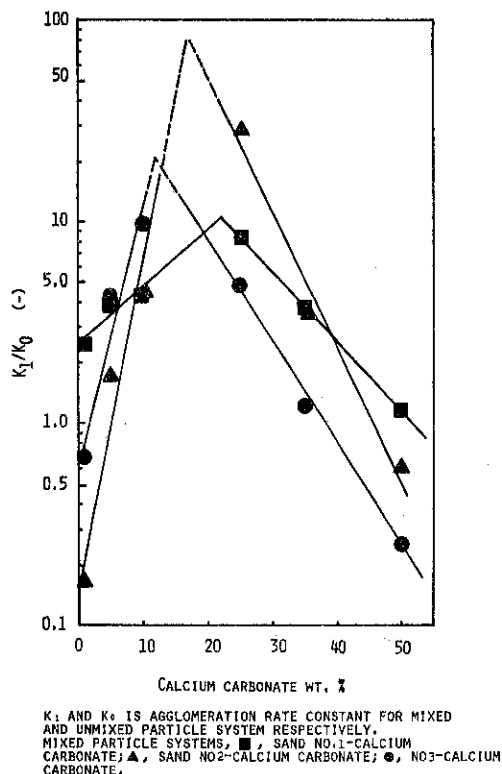


Fig. 9 Effect of calcium carbonate addition to sands on agglomeration rate

減少によって説明することができるであろう。

3.4 懸濁液の濃度（ C_s ）

懸濁粒子の粒径が小さく、懸濁液の濃度が低いと、粒子の運動空間が狭がり粒子は容易に運動しうるので、造粒過程は2次になると予想される¹¹⁾。そこで筆者らは、懸濁粒子の濃度（ C_s ）を、0.092~3.7%まで変化させて、炭酸カルシウムを造粒した。懸濁液濃度が0.092%でもその造粒過程は3.7%と同様、1次であった。この濃度では、系がまだ十分には“稀薄”という条件を満たしていないのかもしれない。しかし、その主因はこの造粒系に特有な、懸濁粒子の凝集構造に因ると思われる。即ち、造粒初期や特に微粒子系に顕著に見られる、架橋剤による粒子のフロックや“cross-linking”構造の形成が、粒子の運動を強く規制し造粒過程を1次に導くのであろう。懸濁液濃度が高い程、造粒体の平均径が大きくなるという報告もあるが、著者らの実験では、造粒体に及ぼす、その効果は顕著でなかった。砂（76~106 μ ）の造粒においては、造粒速度定数は、主に搅拌エネルギー（ T ）、粒子径（ d_{vs} ）、架橋剤濃度（ R_f ）によって決まり、これらのパラメータ間には、実験式(5)が成立した。

$$k = 7.51 \times 10^{-18} \cdot T^{9.34} \cdot d_p^{3.83} \cdot R_f^{5.21} \dots (5)$$

3.5 架橋剤の物理化学的性質

このパラメータは、粒子間の凝集及び造粒機構を探る上で最も重要なパラメータである。現在のところ、架橋剤のどの物性が粒子間の凝集を律するかは、十分には明らかにされていない。この点が解明されれば、より有効な架橋剤の開発が可能であり、興味ある課題として今後の研究が待たれる。

4. 湿式球形造粒の応用と造粒器

本造粒法の応用研究は、Puddington, Capes などを中心に、カナダ国立研究所 (N. R. C.) において活発に続けられている¹²⁾。その代表例は、石炭の親油性を利用した、選択造粒であろう。この方法によって、石炭の水性懸濁液から固形炭化水素のみを石油エーテルで選択的に捕集し、ペレット化することができる。例えば18~23%もの灰分を含有した石炭を、硫黄・灰分の含有率が6%という高品質石炭に変化させることができた。この操作の成否の鍵は、造粒操作の前に行なわれるジャーミルによる湿式粉碎である。即ち、石炭を微粉化して、灰分を水で洗い出すと同時に、新しい親油性面を作り出すことである。懸濁溶媒 (水) の pH を高めることによ

って品質はさらに向上した。その他の応用例として、燐鉱石を硫酸で処理して燐酸を製造する際に生じる、硫酸カルシウムの沈澱の造粒がある。この沈澱は非常に細かく、沈降法や汙過法では取り除くことができない。その他、鉄鉱石から鉄分のみを選択的に造粒し、高品質化したペレットの生成にも成功している。下飯坂¹³⁾も本法を応用して赤鉄鉱の造粒を行ない、その有用性を高く評価している。本造粒法の特長として落してはならない応用例に、油状物質の回収が挙げられる。次代のエネルギー資源のホープとして注目を集めている、タールサンドからのピチューメン (タール状炭化水素) の抽出分離¹⁴⁾はその好例であろう。この分離操作の詳細は別誌¹⁵⁾に紹介した。

これらの応用研究途上、種々の造粒装置が考案された。造粒器は使用目的によって、主に三つのグループに分類することができる (Fig. 10)。

球形度はそれ程要求されないが、ミクロ (<1 mm) な造粒製品が望まれる時には、マイクロペレタイザーとして、高速ブレンダーやコロイドミルが使用される。この装置は造粒器としてよりはむしろ、ドラム型造粒器などに、原料粉体や架橋剤を仕込む際の混合機として用いられることが多い。懸濁溶媒の一部に、予め被造粒粉体や

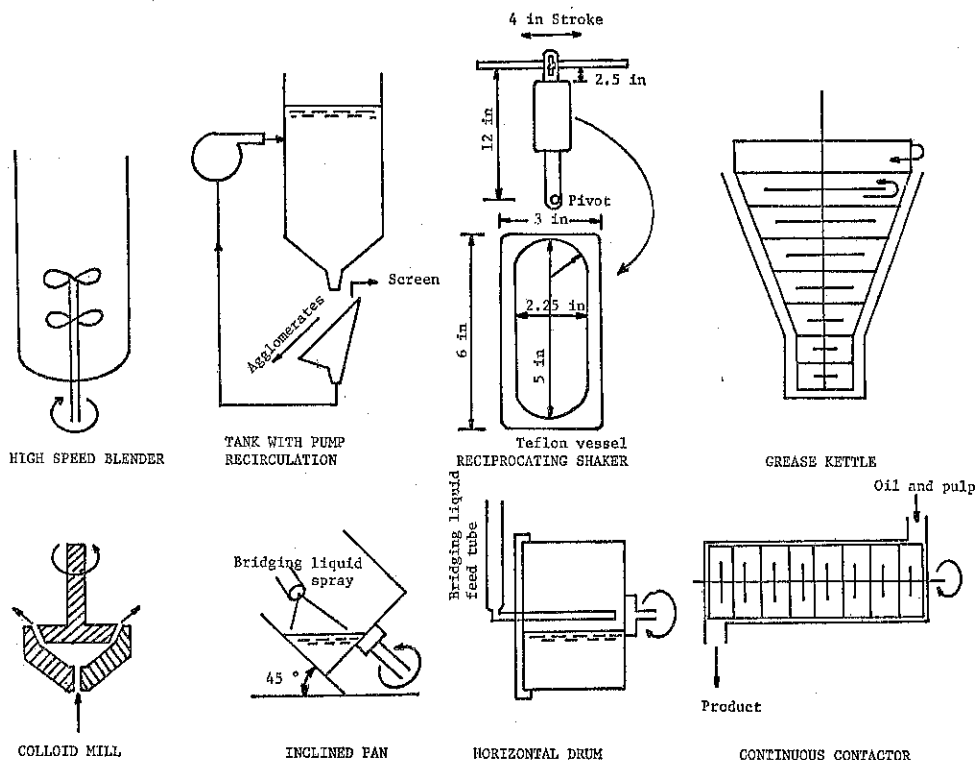


Fig. 10 Agglomeration equipment¹²⁾

架橋剤をこれらの装置で均一に分散させ、これを造粒器に導入し造粒器内での粉体や架橋剤の分散を助長する。

製品粒子に高度の球形度が要求される場合には、循環用ポンプを備えたタンク型造粒器、傾斜パン型造粒器、水平ドラム型造粒器、前述の振とう型造粒器が適する。循環ポンプ付きタンク型造粒器は、ポンプによる循環液でタンク内に渦を作り、造粒体に回転運動を与える。タンクの底面より懸濁液を排出し、必要な粒径の造粒体を傾斜スクリーン上に採取する。篩下造粒体は、懸濁溶媒とともにポンプでタンク内に返される。この装置で作られた造粒体は、水平ドラムやパン造粒器による製品にくらべ球形度がやや劣る。傾斜パン型造粒器は、通常のパン造粒機にくらべ、パンが深い。N. R. C. の化学工学研究室で製作されたパンを例にとると、パンの直径、8 in、深さ4.25 in、傾斜度45度である。架橋剤は、エアゾルスプレーで添加された。前述のブレンダを使用して予備造粒をしたり、パンの内側に4枚のフライトを等間隔で取りつけると、造粒操作は改善された。以上の装置では連続操作も可能である。振とう型造粒器は先に説明した如く、造粒製品に高い球形度と粒子密度が要求される場合に最も適したバッチ型造粒器である。

多量の架橋剤を添加して、懸濁粒子を懸濁溶媒から架橋剤液層に移す場合（一種の抽出）とか、懸濁油状物質（ペースト状）を回収する場合には、グリスケトルとか連続接触装置が用いられる。グリスケトルは、同心上で互いに反対方向に回転する二つの攪拌翼を内蔵している。タールサンドからのビチューメンの抽出には、連続接触装置が改良されて用いられた。

以上、Capesや筆者の実験結果を中心に、湿式球形造粒法について解説した。本造粒法の将来性を応用面からみると、現在の実績は主に鉱物の造粒であるが、懸濁液中の粒子や油状物質を取り扱っている分野は広範で、思わぬ分野での“造粒”の域を脱する発展が期待さ

れる。基礎研究面からは、粒子の凝集現象というマイクロケミストリー、凝集粒子の成長機構とそのレオロジーの解析に興味ももたれる。

引用文献

- 1) M. Yusa & A. M. Gaudin : Am. Ceramic Soc. Bull., 43, 402 (1964).
- 2) 遊佐美津雄 : 学位論文「サスペンションのレオロジー的研究」
- 3) 遊佐美津雄 : 日本鉱業会昭和50年度春季大会講演要旨集, p. 88.
- 4) 荏原インフィルコ K. K. 資料 : 遊佐美津雄博士よりの私信.
- 5) D. I. Stock : Nature, No. 4323, 423 (1952).
- 6) H.M. Smith & I.E. Puddington : Can. J. Chem., 38, 1911 (1960).
- 7) C. E. Capes & J. P. Sutherland : Ind. Eng. Chem. Proc. Design & Develop., 6, 146 (1967).
- 8) Y. Kawashima & C.E. Capes : Powder Technol., 10, 85 (1974).
- 9) Y. Kawashima & C.E. Capes : Powder Technol., 13, 279 (1976).
- 10) 川島嘉明, C. E. Capes : 材料, 25, No. 274, 637 (1976).
- 11) K.V. S. Sastry & D.W. Fuerstenau : Ind. Eng. Chem. Fundam., 9, 145 (1970).
- 12) A.F. Sirianni : C. E. Capes & I.E. Puddington, Can. J. Chem. Eng., 47, 166 (1969).
- 13) 下飯坂潤三, 坂本宏, 鴻巣彬, 高橋信博 : 鉄と鋼, 59, 693 (1973).
- 14) B. D. Sparks, F. W. Meadus & I. E. Puddington : C. I. M. Transactions, 74, 169 (1971).
- 15) 川島嘉明 : 粉体工学研究会誌, 12, 397 (1975).



カプセル輸送用インゼクションフィーダ

An Injection Feeder for Carrying Capsules

上滝 洋一* 富田 侑嗣** 上滝 具貞**
Yōichi Jōtaki Yūji Tomita Tomosada Jōtaki

1. まえがき

インゼクションフィーダは、粉粒体を吸引・圧送する簡単な空気輸送装置の混入機として一般に知られている。しかし、ここで扱うインゼクションフィーダは、粉粒体の代わりにプラスチック容器などの比較的軽量のカプセル型固形物の輸送を目的とするものである。このようなインゼクションフィーダでは、吸引能力を増すために、ノズル直後の輸送管に空気の抜き孔を設ける。本報では、抜き孔を設けた場合の空気流に対するインゼクションフィーダの特性を実験的に調べ、最適抜き孔位置を定めた。

2. 実験装置

Fig. 1 に実験装置を示す。輸送管には 内径 80 mmφ

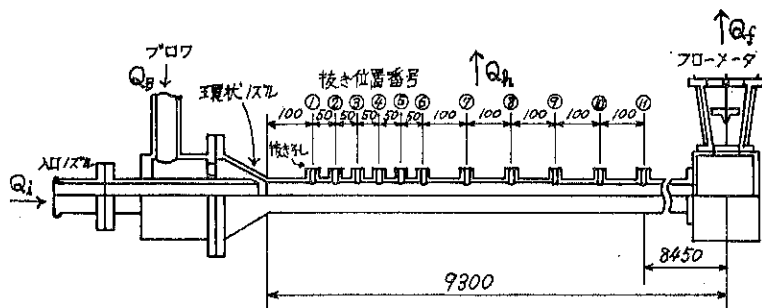


Fig. 1 実験装置

の引抜き鋼管を使用し、入口近くに環状ノズルを設けて送風機からの空気を吹き込んでいる。環状ノズルから輸送管終端までの長さは 9.3m で、環状ノズル後に図に示すような空気の抜き孔を設け、各位置には内径 22 mmφ の孔を円周上等間隔位置に 3 個づつあけている。環状ノズルからの吹き出し風量 Q_B は送風機の後に設けた 4 分

円ノズルで、輸送管入口から吸引される風量 Q_i は入口ノズルで、また輸送管出口の風量 Q_f はフローメータで、それぞれ測定し、抜き孔からの抜き風量 Q_h は、空気を非圧縮と仮定して他の測定値から計算で求めた。（ただし、ここで言う風量とは、空気の体積流量を意味する）また、輸送管内の空気圧力は、各抜き孔位置を含めて、入口から終端までの間で 20ヶ所を測定した。

3. 実験結果と考察

以下はすべて、環状ノズルからの吹き出し風量 Q_B が一定の場合について述べている。

Fig. 2 は、輸送管に沿う空気の圧力分布を示している。横軸の原点は、環状ノズルの吹き出し口であり、管軸方向距離 l を管径 D で割った値で示している。縦軸の圧力 P は、ゲージ圧をとっている。

図の a は、抜き風量 Q_h が零の場合で、環状ノズルからの噴流によって輸送管入口から空気が吸引されるため、入口から環状ノズル直後までは負圧となる。その後は、ディフューザ効果のために圧

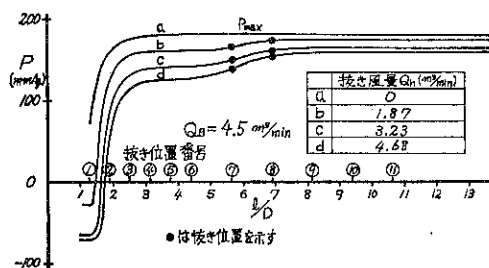


Fig. 2 輸送管内空気圧力分布

* 新日本製鉄 K K
** 九州工業大学
(〒804 北九州市戸畑区仙水町1の1)
Tel (093) 871-1931

力が急上昇し、環状ノズルから輸送管径Dの6倍程度離れた点で最高回復圧力 P_{max} になり、それから先はほぼ直線点に降下する。b, c, dは、抜き位置番号⑦, ⑧で、抜き孔数を2, 4, 6個と増加させた場合の圧力分布で、抜き風量 Q_h は図中の表に示す通りである。b, c, dの順に環状ノズル直後の負圧の絶対値が増大しているのは、輸送管入口からの吸引風量 Q_i が増加していることを示している。その後、それらの圧力は負から正となって、ある値で一定になった後、また抜き孔のすぐ後でさらに圧力が僅かに上昇する。しかしながら、 $Q_h = 0$ の場合の圧力までは達しない。

ここで、各種のプロフ風量に対する流量比 i , f , h を次式で定義する。

$$i = Q_i / Q_B, \quad f = Q_f / Q_B, \quad h = Q_h / Q_B$$

Fig. 3 は、抜き位置が⑦, ⑧の場合に、 h を変化した場合の i , f , P_{max} の変化を示している。抜き孔で空気を抜いた場合の P_{max} は、抜き孔後になることに注意していただきたい。図より、 h にほぼ比例して i は増加し、 f , P_{max} は減少することがわかる。 $h = 1$ のとき、すなわち、 $Q_h = Q_B$ のとき、 $f = i$, すなわち、

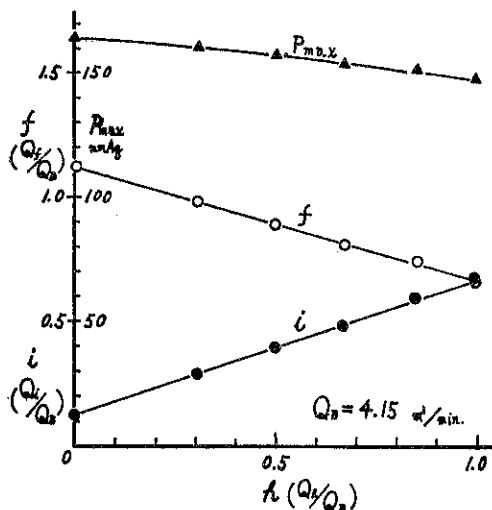


Fig. 3 抜き風量の影響

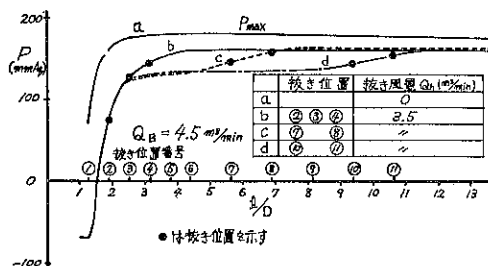


Fig. 4 抜き位置を変えた場合の輸送管内空気圧力分布

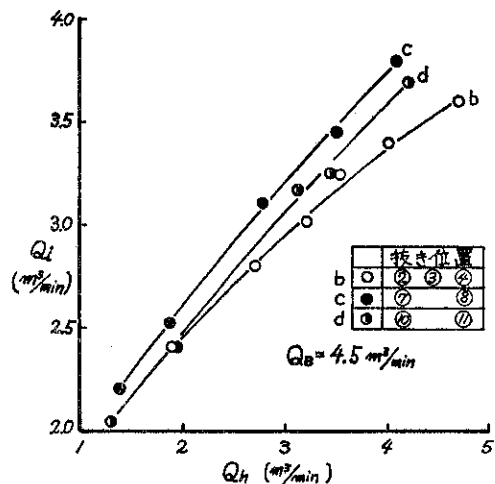


Fig. 5 抜き位置を変えた場合の抜き風量と吸引風量の関係

$Q_f = Q_i$ となるのは、空気を非圧縮とすれば、当然の結果である。このとき、輸送管内は、入口から終端まで空気速度がほぼ一定となる。

Fig. 4 は、 Q_h を一定にして、抜き位置を変えた場合の輸送管内の圧力分布を示す。座標軸は、Fig. 2 と同じである。図の a は、 $Q_h = 0$ の場合の圧力分布で、この場合の P_{max} 点は、前に述べたように、環状ノズル後の約 6 D 離れたところになる。b は、抜き孔②③④から、c は、⑦⑧から、d は、⑩⑪から空気を抜いた場合の圧力分布を示す。いずれも抜き孔直後で再び圧力が上昇するが、これは、抜き孔後、輸送管内風量が抜き風量だけ減少するので、風速が落ち静圧が上昇する一種のデューザ効果が現われるものと考えられる。抜き孔の平均圧力は、b, d に比べて c が若干高く、抜き孔後の各々の P_{max} を比べても、c が若干高くなっている。ここで、c の場合の抜き孔⑦⑧は、環状ノズルから約 6 D 後方にあることは注目される。

Fig. 5 は、抜き位置を Fig. 4 の b, c, d と同様に変化させた場合の、 Q_i と Q_h の関係を示している。この図において、同じ Q_h に対して b, c, d の Q_i の値を比較してみると、c が最も大きくなる。つまり、環状ノズル後の 6 D 離れた点、すなわち、 $Q_h = 0$ の場合の P_{max} 点で空気を抜けば、最も吸引効率がよくることがわかる。

以上の結果より、ある吸引風量を実現するには、 $Q_h = 0$ の場合の P_{max} 点、本実験の場合は環状ノズル後の約 6 D 離れた点で空気を抜けば、最も抜き風量が少なくて済むことがわかる。この場合、抜き孔後の輸送管内風

(39頁へつづく)

菌 体 の 破 壊

Disintegration of Microorganisms

中村 厚三*

Kōzō Nakamura

微生物学者や生化学者は微生物の示す不思議な挙動や機能を明らかにするため、19世紀末以来種々の菌体破壊法を用いて菌体成分の分離・精製およびその存在場所の確認を行ってきた。また近年単細胞生物が食用蛋白源として注目されるようになってきたが、この単細胞蛋白(SCP)の製造に際しては基礎研究の場合とは比較にならない大量の菌体を破壊して細胞壁を除去し、蛋白を分離精製する必要がある。以下では菌体破壊に関する既往の研究報告を基にして、菌体の破壊法、破壊速度および問題点について述べることにする。初めに破壊材料である微生物について簡単に説明しておくことが適切である。

1. 微生物細胞

微生物と分類される生物にも細菌類、藻類、原生動物、カビ類などがあり、このうち醗酵生産や食品製造において良く利用されるものは細菌類とカビ類とである。細菌類の大きさは1μ以下であるのに対し、カビ類の大きさは大部分3~4μ以上の直径ないしは幅を有している。両者は大きさの点以外に細胞構造の点でも異なっ

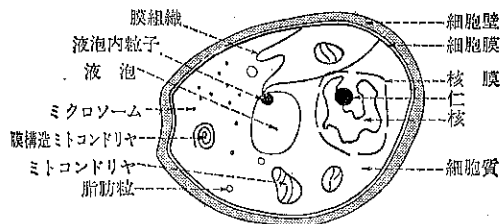


Fig. 1 真核細胞 (酵母, カビなど) の構造¹⁾

おり、細菌類はカビ類に比し下等な構造をしている。Fig. 1にカビ類に属する酵母の細胞構造¹⁾を示すが、細菌類では核部位に膜がなく、膜構造のミトコンドリアや葉緑体がない。細胞の含水率は通常70~85%であり、乾燥菌体を構成する主要成分は、炭水化物、蛋白質、脂肪、キチン質および灰分である。

微生物細胞は20気圧の浸透圧に耐え²⁾、赤血球などの動物細胞に比べて破壊されにくいのは、多糖類、蛋白質、脂肪の複合体からなる細胞壁が存在するためである。微生物細胞はその生物的功能を取捨して考えると、非ニュートン性の液滴が丈夫な薄膜でおおわれたような構造の物体と見なすことができようか。微生物細胞は凍結した状態では結晶性の固体として、乾燥状態では粘弾性体としての挙動を示すものと考えられている³⁾。

2. 破壊方法

単細胞あるいは細胞の連なった微生物菌体の破壊方法には種々あり、それらはTable 1のように分類整理されている²⁾。大きく分けると力学的方法と非力学的方法となるが、前者においては液滴の細分化の方法や固体粒子の粉碎方法が用いられ、後者では乾燥、菌体内の圧力を高める方法、そして薬品、酵素による細胞壁・細胞膜の溶解法が用いられる。菌体内の不安定な活性成分の分離に際しては、できるだけ穏和な破壊方法が望ましく、

Table 1 菌体の破壊方法²⁾

力学的な方法	液体剪断	超音波
		機械的攪拌
	固体剪断	圧力
		粉砕
非力学的な方法	乾燥	
	溶解	物理的方法
		化学的方法
		酵素的方法

* 東京大学農学部農芸化学科食品工学研究室
(〒113 東京都文京区弥生1-1-1)
Tel. (03) 812-2111 内線 2817

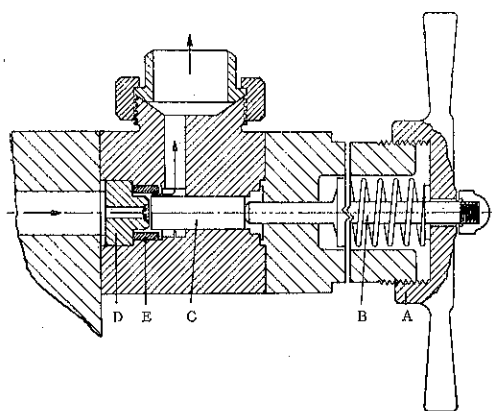
酵素を用いる方法などが良いことになるが、大量処理には現在のところ経済的に採算が合わない。

力学的破壊方法としては超音波、ガラス球などの媒体を用いた攪拌、狭い流路を利用した剪断 (Manton Gaulin-APV ホモジナイザー, French プレスなど) および凍結菌体の押し出し (Hughes プレス, 'X' プレスなど) などの方法がある。これらのうちで大量処理に向いているとされているのは攪拌および狭い流路形式の方法である。Fig. 2~Fig. 4 に菌体破壊機のいくつかを示してあるが、菌体破壊法の全般については文献 3 に述べられている。

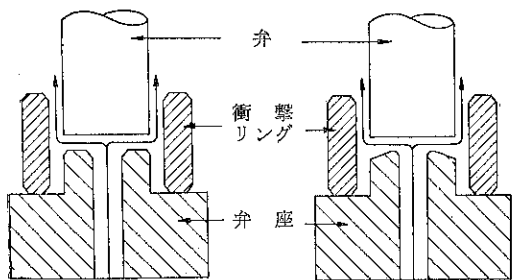
3. 破壊速度と所要動力

菌体破壊の工学的研究は Fig. 2 に示した Manton Gaulin-APV ホモジナイザーについて比較的良くなされているので、この破壊機を中心に破壊速度などについて述べることにする。

この破壊機では菌体の破壊は、手車によって調節される弁と弁座間の狭い流路を高圧で菌体懸濁液が押し出さ

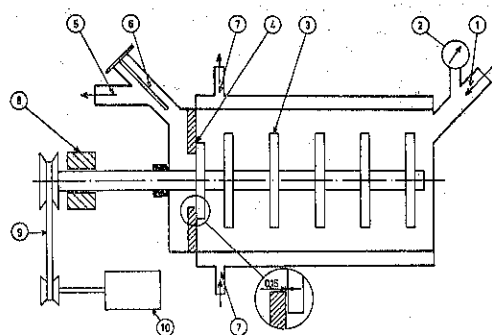


A. 手車 B. スプリング付き弁軸棒
C. 弁 D. 弁座 E. 衝撃リング



A 平型弁座 B ナイフエッジ型弁座

Fig. 2 Manton Gaulin-APV ホモジナイザーの弁部構造⁴⁾



1. 懸濁液入口 2. マノメーター 3. 回転板
4. ガラス球分離用スリット 5. 懸濁液出口
6. 温度計 7. 冷却水入口・出口 8. ベヤリング 9. Vベルト 10. モーター
円筒寸法: 内側長さ 33cm; 内径 14cm

Fig. 3 Dyno-Mühle KD 5 概略図⁵⁾

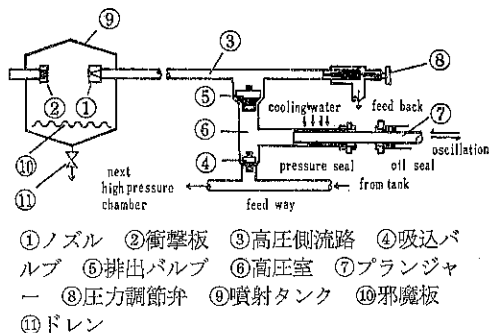


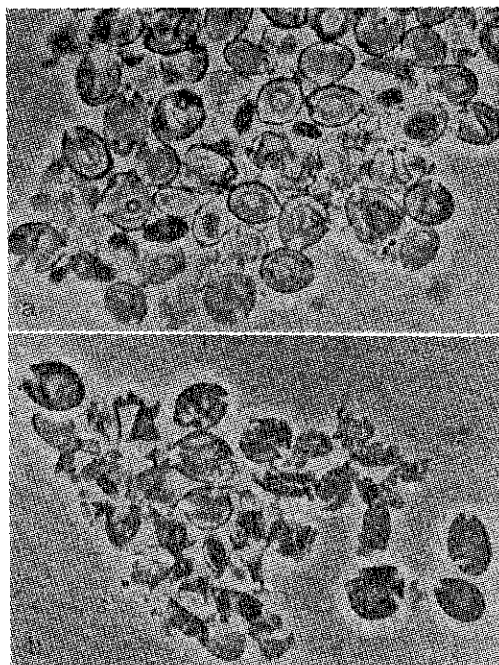
Fig. 4 Impact-Cell Mill⁶⁾

れる時に起こる。弁と弁座との間隔は 20~200 μ 程度に調節されるようであり⁸⁾、処理量は機種によって異なるが基礎実験に用いられるものでは 56~280 l/hr、操作圧の範囲は 0~560 kg/cm² である。処理液はプランジャーポンプによって押し込まれる。

ところで菌体の破壊速度を求めるには、菌体の破壊程度を表わす尺度が必要となる。尺度としては染色法あるいは電子顕微鏡を用いて測定される破壊菌体 (Fig. 5 参照) の計数値ないしは溶出蛋白量が用いられる。菌体内成分の溶出量は破壊の程度その他に分離法にも依存するから、蛋白溶出率によって破壊程度を評価することはやや厳密さを欠くが、測定が容易なためによく用いられる。蛋白溶出率 R は通常試料菌体 (未乾燥) 単位重量当たりの溶出蛋白重量として表わされる。

パン酵母を用いた実験結果によれば⁴⁾、菌体の破壊は一次の速度過程と見なすことができ、実測される蛋白溶出率 R は次式で整理できることが示されている。

$$\log(R_m/(R_m-R)) = KNP^{2.9} \quad \dots\dots(1)$$



(a) 1分間破壊 (b) 6分間破壊

Fig. 5 横型攪拌式破壊機における酵母細胞壁の破壊状態⁷⁾

ここに R_m は蛋白の最大溶出率 (パン酵母の場合 96mg/g), N は菌体が破壊機内を循環する回数そして P は入口圧 [kg/cm^2] である。定数 K は温度の影響を受け、高温の方が大きい、菌体濃度の影響は 0.60 [g/m^3] 程度まではない。しかし菌体濃度が 0.75 [g/m^3] 以上では、菌体内成分の溶出に伴って処理液の粘度が増加し、破壊速度が低下する。(1)式を用いて入口圧 550 [kg/cm^2], 温度 30°C の場合に最大溶出蛋白量の約90%が溶出するに要する循環回数 N を求めてみると約 2, 3 回となる⁴⁾。

Manton Gaulin-APV ホモジナイザーにおける菌体の破壊機構については未だ充分に解明されていないが、狭い流路を高速で液が流れる時に生ずる乱流運動によって菌体内の溶液にも振動運動が生じ、その運動エネルギーが細胞壁の強度以上になると菌体が破壊されるものとして操作圧 P と破壊限界の菌体径 d_m との関係を導びいている研究報告がある⁹⁾。

$$d_m = k \{ (r/\rho_a)/P \} \quad \dots\dots (2)$$

上式において r は細胞壁表面エネルギー、 ρ_a は菌体比重である。(2)式とコールタカウンターなどによって実測される菌体粒径分布とを用いて、ある操作圧 P における蛋白溶出率を計算することができるが、その結果は実測された溶出率をうまく説明している。

菌体の破壊が一次の速度過程として表現できることは、超音波¹⁰⁾や攪拌^{5), 11)}を用いた破壊法についても報告されている。なお菌体の破壊に要するエネルギーは破壊後の乾燥酵母 1 kg 当たり 0.3 kWh であるとの報告がある⁵⁾。

4. 機械的破壊法の問題点

菌体内から不安定な活性成分、例えば酵素を溶出分離する目的のためにはできるだけ穏和な菌体破壊法が望ましいことを先に述べた。Manton Gaulin-APV ホモジナイザーによって菌体を破壊して得られる溶出液中の各酵素の活性を調べた報告¹²⁾があるが、それによれば処理液温度が 30°C 以下に維持されるならば失活の程度は少なく、力学的破壊法が菌体内酵素の溶出法としても充分使用できることを示している。

しかし力学的菌体破壊法には、破壊機の材料の摩耗や媒体として使用されるガラス球などの破碎に伴う処理液の汚染の問題がある。Fig. 3 に示した Dyno-Mühle の場合回転板の回転速度は 1,600~3,000rpm で、この時回転板の周辺速度は 10~20m/sec となる。この内容積 5 l の破壊機に 0.5~0.7mm のガラス球を 2.2 l 充填して、前記の回転速度で菌体懸濁液の供給速度 180 l/hr で 1 回処理した時、懸濁液中の 1 μ 以下のガラス破片の含有率は 0.1% であったと報告されている⁵⁾。また Fig. 4 の Impact-Cell-Mill の場合には直径 0.4mm のノズルから圧力 800kg/cm² で約 360m/sec といった高速で菌体懸濁液が噴射されるので、ノズル内面や衝撃板の摩耗が生ずる。比較的耐久性の良い焼結超硬合金のノズルを用いた場合でも、1,500 l の菌体懸濁液を処理するとノズル直径が約 4.4% 増加したと報告されている⁶⁾。菌体から食用蛋白を得るような場合には、このような摩耗に伴って金属などが混入することは極めて由々しい問題となる。

なお狭い流路形式のホモジナイザーで繊維状の菌体懸濁液や汙過助材を含む液を処理する場合には流路の目づまりが生ずることがあると報告されている¹¹⁾。

以上固体の粉碎現象と多少の関係があるものと思ひ、現在筆者が専攻している食品工学に関係した話題の中から菌体の破壊を選んで御紹介致した次第である。微生物は生命現象解明のための貴重な実験材料であるばかりでなく、その代謝生産物は私共の日常生活に欠かせないものとなっている。代謝生産物のある物は菌体外に排出されるが、菌体内に残る物を利用する場合には菌体の破壊が必要となる。農産物廃棄物を基質として生産される単細胞蛋白が食糧化されるまでには、安全性の問題の解決が残されているが、その製造に際しては大量の菌体の破

壊が行われることになる。菌体破壊の工学的研究が重要になっているわけであるが、今後菌体の破壊機構がより一層解明されて破壊方法の改良などが行われることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 山口和夫・山口辰良：最新応用微生物学入門(1965) 技報堂。
- 2) J. W. T. Wimpeny : Process Biochemistry, 2 (7), 41 (1967).
- 3) D. E. Hughes, J. W. T. Wimpeny, and D. Lloyd : Chapter 1 in Methods in Microbiology 5B edited by J. R. Norris and D. W. Ribbons (1971) Academic Press.
- 4) P. J. Hetherington, M. Follows, P. Dunnill, and M. D. Lilly : Trans Instn Chem. Engrs, 49, 142 (1971).
- 5) H. Mogren, M. Lindblom, and G. Hedenskog : Biotech. Bioeng., 16, 261 (1974).
- 6) 早川功・稲神馨：日本食品工業学会誌, 19, 1 (1972).
- 7) J. Reháček, K. Beran, and V. Bıcık : Appl. Microbiol., 17, 462 (1969).
- 8) J. S. G. Brookman : Biotech. Bioeng., 16, 371 (1974).
- 9) M. S. Doulah, T. H. Hammond, and J. S. G. Brookman : Biotech. Bioeng., 17, 845 (1975).
- 10) C. J. James, W. T. Coakley, and D. E. Hughes : Biotech. Bioeng., 14, 33 (1972).
- 11) J. A. Currie, P. Dunnill, and M. D. Lilly : Biotech. Bioeng., 14, 725 (1972).
- 12) M. Follows, P. J. Hetherington, P. Dunnill, and M. D. Lilly : Biotech. Bioeng., 13, 549 (1971).

(35頁のつづき)

量が最大になるので、回復圧力も最大になる。従って、実際にカプセルを吸引して圧送する場合を考えてみても、この状態が最も有利であると予想される。

4. 結 論

本実験の結果、次のことがわかった。

- (1) 輸送管内風量や圧力は、抜き風量を増しても吸引風量が増すので、さほど減少しないが $Q_h = Q_B$ が限度である。
- (2) 最適抜き孔位置は、抜き風量零の場合の最高圧力回復点である。

微粉体の粒度測定技術

The Particle Size Determination Techniques of Fine Powders

高坂 彬夫*

Ayao Takasaka

1. はじめに

粉体の粒子の大きさおよび分布は、気体および液体の吸着、溶解度、化学的反応性、光学的性質、スラリーの特性などに著しい影響をあたえる¹⁾。

現在、粉体の粒度測定を必要とする分野は、建設、鉱業、繊維、化学、製薬、窯業、機械、電子、原子力、ガスなど産業のほとんど全般にわたっている。

粉体の粒度測定に関する研究および技術は、ここ数年間進歩がみられ、数種の著書^{2)~4)}および総説^{5)~7)}が発表されている。

本誌においてはすでに菅沼による粒度に関する試論⁸⁾があるので、最近の粒度測定の研究と装置を主体とする進歩の状態について報告する。

2. オンライン粒度測定

微粉体の粒度分布測定法を大別すると、プロセスとオンライン方式とオフラインのものになる。

オンライン粒度測定は、プロセス中で温度、圧力、流量のように短時間で精度良く容易に測定でき、粉碎、分級、濃縮などのプロセスで粒度の制御を可能にする方式である。

現在まで研究または開発されたオンライン粒度測定装置は乾式法と湿式法に分類することができる。

2.1 乾式法

- 1) 空気分級機を用いたオンライン粒度測定装置⁹⁾
¹⁰⁾ (Fig. 1)
- 2) プロセス用粒度アナライザー OPA 1000形¹¹⁾
(Fig. 2)

2.2 湿式法

- 1) オンストリーム粒度測定装置 S P A 2000形¹²⁾
(Fig. 3)

- 2) 自動微粒子計測器¹³⁾ (Fig. 4)

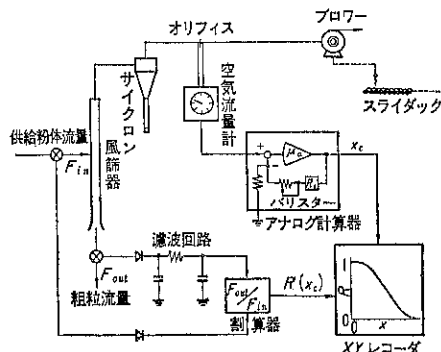


Fig. 1 空気分級機を用いた粒度測定装置

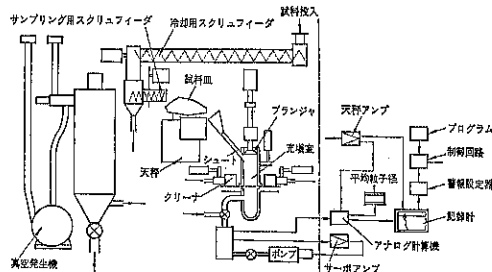


Fig. 2 プロセス用粒度アナライザー OPA 1000 形

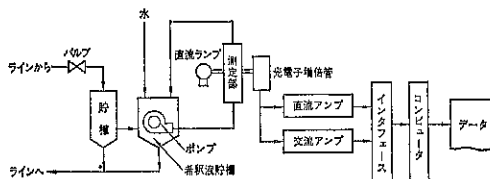


Fig. 3 オンストリーム粒度測定装置 S P A 2000 形

* 山形大学工学部
(〒992 米沢市城南4-3-16)
Tel (0238)22-5181

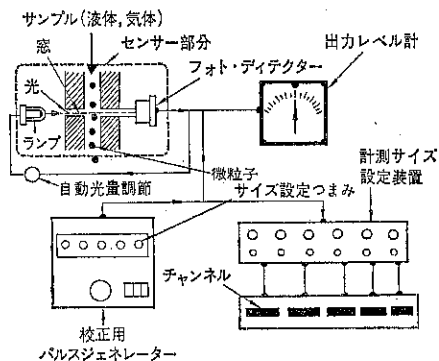


Fig. 4 自動微粒子計測器

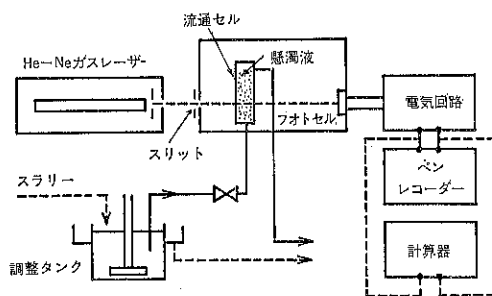


Fig. 5 Stopped flow 法を利用した粒度分布測定装置

3) Stopped flow 法を利用した He-Ne ガスレーザー透過法による粒度分布装置¹⁴⁾ (Fig. 5)

などがある。

これら、プロセスとオンライン化した粒度測定装置は産業界からその必要性が認識されているにもかかわらず装置が高価である、十分な使用実績がないなどの理由から、わが国ではほとんど普及していないのが実状である。

しかし、オンライン粒度測定法は、プロセスの省力化にともなって今後急速に普及していくものと考えられる。

3. オフライン粒度測定

オフライン粒度測定法は、プロセスから粉体またはスラリーをサンプリングし、プロセスの外、たとえば研究室、試験室で粒度分布を測定する方法である。装置の費用は一般にオンラインのものにくらべると安価であるが、サンプリング、測定、計算などに手数がかかることが多い。

オフライン粒度分布測定法は、従来から広く用いられている大部分の測定法が含まれる。これを大別すると、Table 1 のようになる。以下、順をおってこれらの測定法についてのべる。

Table 1 オフライン粒度測定法の種類

測定法	粒径範囲* [μ]
1. ふるい分け法	>40
2. 顕微鏡法	
1) 光学顕微鏡法	0.2~100
2) 電子顕微鏡法	0.01~5
3. 沈降法	
1) アンドレアゼンビペット法	1~50
2) ケリー・チューブ法	1~150
3) 沈降天秤および比重天秤法	3~50
4) 遠心沈降法	0.05~10
4. 風篩法	15~40
5. 水ひ法	5~40
6. 流体透過法	0.2~50
7. 吸着法	0.01~20
8. 光透過法	0.2~100
9. 光散乱法	0.05~10
10. X線透過法	0.2~50
11. その他の測定法	
1) コールターカウンター法	0.4~800
2) ミクロセルカウンター法	1~25
3) ホログラム法	3~70
4) 水銀圧入ポロシメーター	0.0075~7.5
5) 気体吸着ポロシメーター	0.001~0.06
6) カスケードインパクト	0.2~10

* 粒径範囲は目安である。

3.1 ふるい分け法

ふるい分け法は、基礎概念、装置、測定の手順が簡単のため、現在最も普及している粒度分布測定法である。

一般に乾式ふるい分け法¹⁵⁾が広く用いられているが、湿式のふるい分け装置も開発されている¹⁶⁾。

従来、金属網目を使用する方法の下限は約 37μ であったが、マイクロシブの普及によって 5μ 程度のものまで市販されるようになった。乾式の場合は音波法、湿式の場合は超音波法（例えば $50\sim 55\text{ KHz}$ ）などが用いられている。また、 $14\sim 0.025\mu$ の微粒子については、メンブランによるマイクロ逬過が有効であろう¹⁷⁾。

3.2 顕微鏡法

光学顕微鏡を用いて、その視野に存在する粒子の大きさを直接測定するか、光学または電子顕微鏡の写真について粒径を測定して、個数を数えて粒度分布を求める方法である。

検鏡試料の作成法については他書⁴⁾にゆずるが、試料の3次元的な形状を知るために、真空中で斜方向から金属などを蒸着して陰影をつける（シャドウイングする）必要がある。近年、走査電子顕微鏡の普及により、粉体

の立体像が容易に観察撮影できるようになった。

光学顕微鏡では接眼マイクロメーターを使用して粒子の大きさを直接測定するか、投影装置によってスクリーンに投影して測定する。粉体の粒度分布幅が広い場合は、分級した後粒度分布を測定しないと誤差が大きくなる。

電子顕微鏡の場合は、その倍率決定に 1) 光学的回折格子 (グレーティング) が主として用いられているが、2) Dow 社のポリスチレンラテックス 3) けい藻その他光学顕微鏡と比較できる試料による方法も用いられている。

なお、電子線の照射法、試料のサンプリング、支持法など十分考慮する必要がある。

これらの方法は直接測定法であるため、測定結果が正確のように思われるが、測定の際個人差があり¹⁸⁾、電子顕微鏡法の場合は電子線、真空などの影響で試料の種類によってはその大きさが減少することがあるので十分注意しなければならない¹⁹⁾。

顕微鏡法の場合、定方向径を測定するのが普通で、粒度分布が広い場合は 10,000 ケ以上、せまい場合は 1,000 ケ程度で十分である。顕微鏡法は多くの労力を要するため、走査法による自動粒度分布測定法が考案されている。

機械的走査法も一部用いられているが、測定時間が長くなるため、電気的走査法が普及し始めてきた。

現在、実用装置としては、Cambridge Metals Research 社の Quantimet (QTM)²⁰⁾、Leitz 社の Classimat²¹⁾、Zeiss 社の Micro videomat、Baush & Lomb 社の Omnicon²²⁾ などがある。

わが国では、装置の実用化が外国にくらべて遅れたが、日本レギュレーター KK から画像情報処理システムの一環として粒子アナライザ Luzex シリーズ²³⁾ が開発されている。

これらはいずれもシステムが類似している。π MC 粒度測定コンピューターシステムを例にとると Fig. 6 のようになる。これらのビデオ信号を利用した走査形の粒度測定は、コンピューターとオンライン化することにより瞬時測定を終了するメリットがあるが、サンプリング

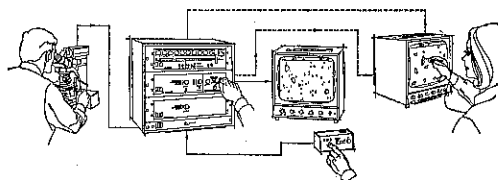


Fig. 6 粒度測定コンピューターシステム

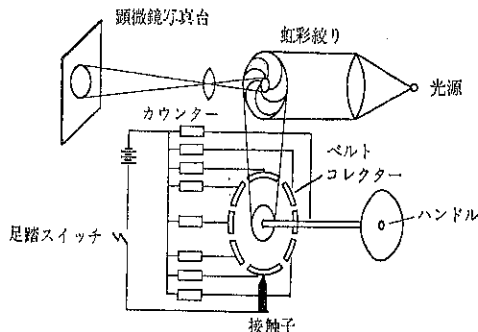


Fig. 7 微粒子分析器 TGZ-3

および検鏡試料の分散に留意しないと大きな誤差をもたらす²⁴⁾。

走査法による自動粒度測定装置は、1,000~5,000 万円もする高価なものが多く、国内での使用は特殊な分野に限定されている。このため、半自動の測定装置が開発されている。例えば、Zeiss 社の微粒子分析器 TGZ-3²⁵⁾ (Fig. 7)、国産のものとしては、顕微鏡用粒度分布解析装置 SF シリーズ²⁶⁾ などがある。

なお、映像処理法による粒度分布測定についての全般的な解説は神保によってなされている²⁷⁾。

3.3 沈降法

液体中に良く分散された微粉体が重力によって沈降する場合は、有効径 d_e [cm] と終末速度 v [cm/sec] との間には、Stokes の法則が成立する。

$$d_e = \sqrt{\frac{18 \mu v}{(\rho_s - \rho_L)g}} \quad (1)$$

上式で、 μ は液体の粘度 [g/cm・sec]、 ρ_s は粉体の密度 [g/cm³]、 ρ_L は液体の密度 [g/cm³]、 g は重力の加速度 [cm/sec²] である。

この液体沈降法を利用したものに次の諸測定法がある。

1) アンドレアゼンピペット法⁴⁾

本法は、現在最も信頼し得る粒度分布測定法とされている。微粉体の粒度分布測定には長時間かかるため、沈降液の温度を均一に保つことは困難であり、測定結果には常に対流の影響が含まれると考えられる。沈降距離を短くした改良型も考案されている。装置はガラス製で安価であるが、熟練および労力を要する欠点がある。

2) ケリー・チューブ法²⁸⁾

沈降管の下部に細い側管をつけ、側管には分散媒のみを入れておくと、その位置以上の粒子の沈降による試料の濃度変化によって圧力が変わる。その量を側管の液面のメニスカスの動きから測定する。装置は簡単であるが濃度をあまり低くできない欠点がある。アンドレアゼン

ピペット程度普及していない。

3) 沈降天秤法および比重天秤法

水渡、荒川らにより考案され、島津製作所より発売されているSAシリーズは沈降天秤、RSシリーズは比重天秤を利用したものである²⁹⁾³⁰⁾。その原理をFig. 8に示す。

また、その他比重法を利用した装置も市販されている³¹⁾。気相沈降法としては、マイクロメログラフがある。

4) 遠心力沈降法

自然沈降法による微粉体の粒度分布測定は長時間を要するので遠心力沈降法が考案されている。(Fig. 9)

湿式法としては、Slater および Cohen の遠心沈降法ICI法³²⁾、Kaye の光透過遠心沈降法³³⁾、Whitby 法、沈降電位を検出する方法³⁴⁾、筆者らの考案した遠心ピペット法³⁴⁾などがある。

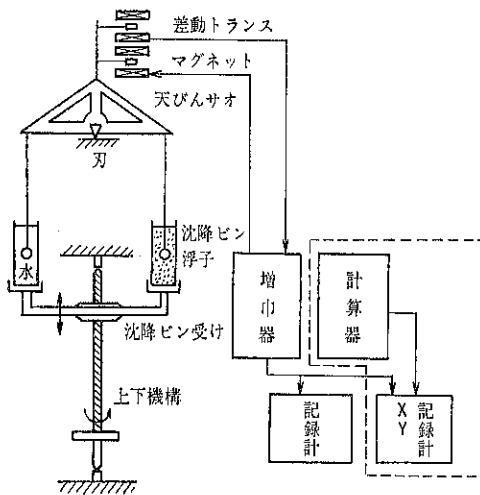


Fig. 8 粒度分布自動測定装置

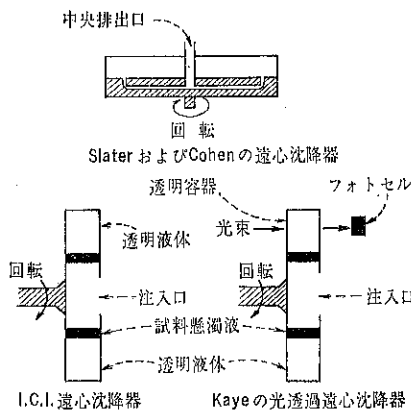


Fig. 9 遠心力沈降法による粒度測定装置

乾式法としてはバーコー法⁴⁾がある。

3.4 風篩法

風篩法は気流によって粉体を分級し、粒度分布を測定する方法である。外国では、Roller, Hughes 型などの風篩装置があるが、わが国においては日本セメント技術協会型風篩器³⁵⁾が普及している (Fig. 10)。本測定装置は、セメントの40, 30, 20, 15 μ のふるい下またはふるい上重量百分率を測定することができる。他の粉体の粒度分布測定にも応用できるが、気体中で分散性の悪い微粉体では、凝集、付着のため測定値が不揃いとなり、見掛け粒度が大きい方へ移動する傾向がある。

3.5 水ひ法

水ひ法は水流によって粉体を分級し、粒度分布を測定する方法である。水ひ法による実用装置としては、サイクロサイザーがある³⁶⁾。その原理をFig. 11に、限界粒子径をTable 2に示す。

筆者らが研究報告した、小型、超小型液体サイクロン³⁷⁾³⁸⁾、マルチ液体サイクロン³⁹⁾や水ひ式液体サイクロン⁴⁰⁾は工業規模における湿式分級機である。

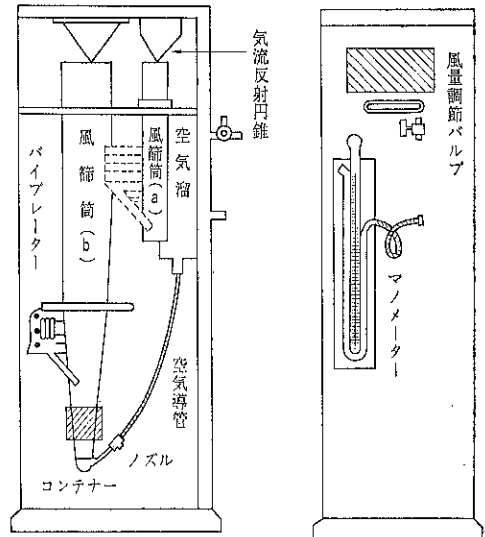


Fig. 10 日本セメント技術協会風篩器112 B型

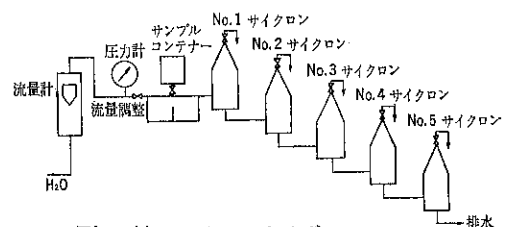


Fig. 11 サイクロサイザー

Table 2 サイクロサイザーの限界粒子径

サイクロン No.	ストークス径 [μ]		
	石 英 (比重 2.7)	黄 鉄 鉱 (比重 5.2)	方 鉛 鉱 (比重 7.5)
1	44	27	22
2	35	22	18
3	23	14	11
4	15	9	8
5	9	6	5

3.6 透過法

粉体の充てん層を通過する空気の透過性から、粉体の平均粒子径を測定する方法である。

装置の種類としては、Blaine 法、Lea-Nurse 法、恒圧通気法などがあるが、わが国においては後者がかなり普及している⁴¹⁾。これらは、Kozeny-Carman の式によって比表面積を求める。測定にあたっては試料を密に充てんし、空隙率を少なくすることが好ましい。

3.7 吸着法

吸着法は低温で粉体の表面へ気体（一般に窒素）を吸着させ、気体分子の粒子表面上に占める面積から粉体の全表面積を求める方法である。種々の粉体表面積測定法のうち精度が高いものとされている。

測定の際、気体の吸着量と圧力の関係については、BET の式

$$\frac{P}{Q(P_0 - P)} = \frac{1}{Q_0 C} + \frac{C - 1}{Q_0 C} \cdot \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

を利用する。

上式で、 P は気体の圧力、 P_0 は気体の飽和蒸気圧、 Q は吸着量、 Q_0 は単分子層形成に要する吸着量、 C は

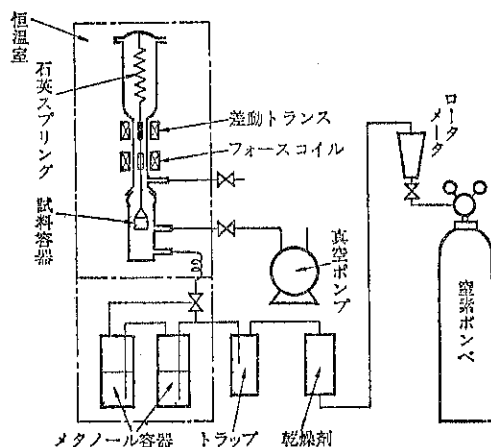


Fig. 12 メタノール吸着法を利用した比表面積測定装置

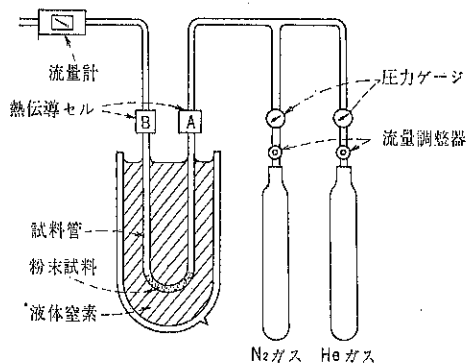


Fig. 13 ガスクロマトグラフを利用した吸着量測定装置

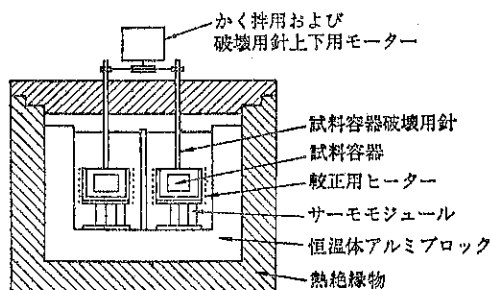


Fig. 14 浸漬熱法による比表面積測定装置

定数である。窒素吸着法は従来多点法で行なわれてきたが、近年操作を簡単、迅速化するため1点法の装置⁴²⁾、比較法⁴³⁾なども普及してきた。なお、低温の窒素の代わりに50°C付近でメタノールを吸着させて比表面積を測定する方法も用いられてきた⁴⁴⁾。(Fig. 12)

吸着量の測定方法としては、(1)容量法、(2)重量法、(3)ガスクロマトグラフの利用法などがある。(Fig. 13)

また、粉体を液体と接触させ発生する微小熱量を測定して比表面積を測定する装置も開発されている⁴⁵⁾。

(Fig. 14)

3.8 光透過法

光透過法を使用して微粉体の粒度分布を測定しようとする試みは40数年前から行なわれている。米国においては、1933年 Wagner の Turbidimeter がセメントの比表面積測定のために ASTM に取り入れられた。英国においては、光透過法による粒度分布測定の理論および測定装置は Rose⁴⁶⁾により1951~1953年に研究されている。

1961年秋、東京で行なわれた化学工学協会の第25周年大会に出席された Rose は、光透過法の欠点の一つである計算のわずらわしさをコンピューターを使用すること

により解決していると話された。

わが国の光透過法による粒度分布測定装置は、現在、静興貿易K K、セイシン企業K K、日立製作所、柴山科学器械製作所、島津製作所、ユニオン技研などから発売されている。

光透過法による粒度分布測定の理論は、Rose⁴⁶⁾、森⁴⁷⁾、森谷⁴⁸⁾、菅沼⁴⁹⁾、牟田⁵⁰⁾、高坂⁵¹⁾⁵²⁾などによって紹介されているように (1) Lambert-Beer と (2) Stokes の法則に基づいている。

光透過法により微粉体の粒度分布を測定する場合は、次の諸点に留意しなければならない。

- (1) 分散媒と粉体とは化学的に反応しないこと
- (2) 粉体は分散媒中によく分散すること
- (3) 粉体が適当な沈降速度で分散媒中を沈降するような粘度の分散媒を選ぶこと
- (4) 分散媒の屈折率と粉体の屈折率とは相当違っていること
- (5) 分散媒は粉体を溶解せず無害であること

また、粉体の分散を良くするために分散剤を使用することや、機械的かくはん、超音波をかけることも有効であろう。

上述のように、近年、わが国においては光透過法による粒度分布測定法が普及し、装置も 1,000 台以上が実動している。これらの装置は (1) 測定試料が少量 (数 10 ~ 数 100 mg) でよい、(2) 測定精度が高い (3) 比較的安価であるなどの利点があるが、試料懸濁液を自然沈降させ、沈降に伴う懸濁粒子群の濃度変化を光学的に測定しているため、試料の密度が小さく、粒径が 2 μ 以下のような微粉体になると測定が長時間かかる。また、セル中の懸濁液の温度を一定に保つことがむずかしく、懸濁液が対流を起こし測定が困難になることが多い。

測定時間の短縮をはかるため、遠心力の場で光透過法による粒度分布測定を試みることが M. J. Groves ら⁵³⁾、清水ら⁵⁴⁾、高坂ら⁵⁵⁾⁵⁶⁾ によって行なわれている。

Fig. 15 は筆者らの遠心式光透過法による粒度分布測定装置を示した。本測定法と自然沈降法を組合わせた装置が市販されている⁵⁷⁾。(Fig. 16)

遠心式光透過法によると、従来、アンドレアゼンピペット法で数日を要するような微粉体の粒度分布測定が数分~数十分で終了するばかりでなく、自然沈降法による光透過法で測定困難であった微粉体の粒度分布が良好な再現性のもとで測定できるようになった。

光透過法では、Rose⁴⁶⁾の提出した式

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = K \cdot C \cdot l \sum_{\phi} K_x \cdot n \cdot d_x^2 \quad (3)$$

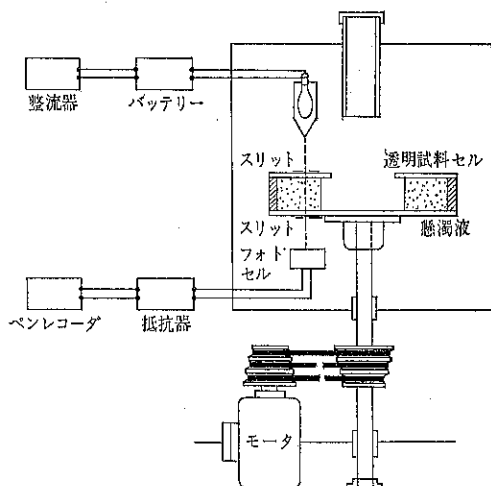


Fig. 15 遠心式光透過法による粒度分布測定装置

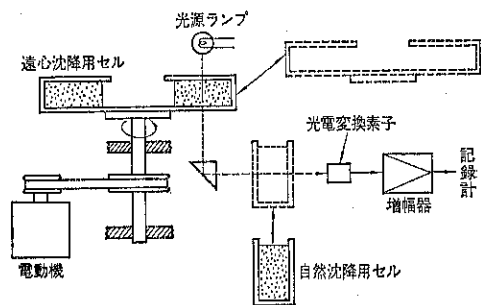


Fig. 16 遠心沈降式粒度分布測定装置 C P-50形

の K_x (粒径 d_x の粒子の光を遮る能力に関する係数) が粒径の複雑な関数であることが知られており、近年理論的解析も行なわれている⁵⁸⁾。また、実用装置についても測定値が付加されるようになった⁵⁹⁾⁶⁰⁾。

これら光透過法の光源としてはタングステン電球が用いられている。筆者らは、He-Ne ガスレーザーを光源に用いる方法について研究した⁶¹⁾⁶²⁾。透過法を用いるとレーザーを用いたメリットはあまりないが、将来、受光部、信号処理装置を工夫することにより、レーザードップラー法やホログラム法による粒度測定の可能性もあるように考えられる。

3.9 光散乱法

煙霧体粒子の個々の散乱光を個別に計数して、その強度分布から煙霧体の粒度分布を測定する方法である。この光散乱粒子カウンタは大別して、入射光レンズと光軸、集光レンズ光軸が同軸上にある前方光散乱形と両軸が交差している測方光散乱形がある。前方光散乱形は、粒子より前方の散乱光を大きな割合で集光する光学系幾

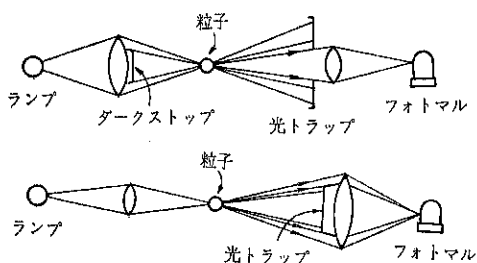


Fig. 17 光散乱法による粒度測定原理

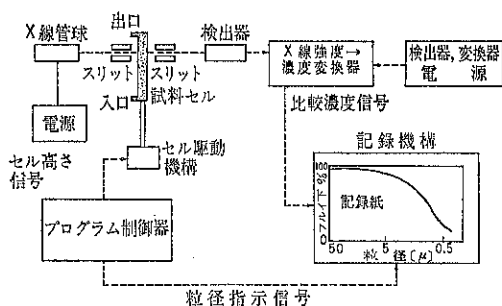


Fig. 18 X線透過法による粒度分布測定装置

何条件をもつもので、遮光板および光トラップの位置によって、中空円錐入射光形と中空円錐集光形がある⁶³⁾。(Fig. 17)

また、国内のメーカーからこれら原理を応用した粒度測定装置が市販されるようになった^{64) 65)}。

3.10 X線透過法

X線透過法による粒度分布測定装置は⁶⁶⁾、光透過法の光源のかわりにX線源を用いたもので、測定の原理、データの解析法は、両者で若干異なる⁶⁷⁾。測定粒径範囲は50~0.2 μmで測定に要する時間は約50 minである。測定結果はコンピューターを介しX-Yレコーダーにより記録される。(Fig. 18)

測定時間を短縮化するための遠心力下でX線透過法を用いた装置が試作されている⁶⁸⁾。

3.11 その他の測定法

1) コールターカウンター法⁶⁹⁾

Fig. 19 に示すように電解質溶液などの電気伝導性のある液中に分散された懸濁液を細孔を通じ、懸濁した粒子一つ一つが細孔を通過する際に細孔の両側に置いた電極間の抵抗が瞬間的に増加するから、その電圧降下のパルスを計数する。

もし、細孔の直径が最大粒子径の2倍以上のときは、抵抗変化は粒子径の3乗、すなわち、粒子体積に比例する。したがって、粒子体積による粒度分布が得られる。

コールターカウンターは測定精度が良く、測定に要す

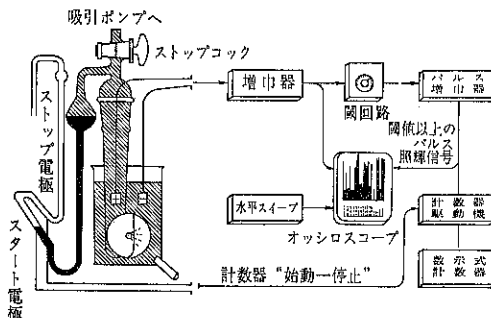


Fig. 19 コールターカウンター

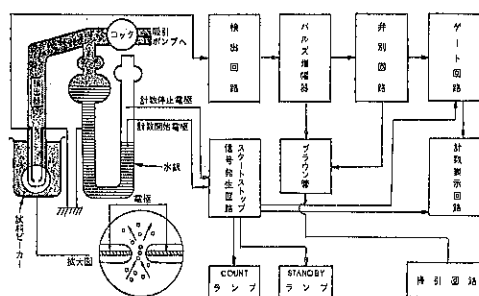


Fig. 20 ミクロセルカウンター

る時間が短い特徴を有するが高価なため、その利用範囲が制限されている。最近、エレクトロニクスの進歩に伴って、計算機とオンライン化したより高度の形式のものが市販されている。粒径測定範囲は 0.4~800 μm である。

2) ミクロセルカウンター法⁷⁰⁾

コールターカウンターの抵抗変化検出部のかわりに、Fig. 20 に示すように静電容量検出方式のものである。これは、病院や研究所などで主として血球の計数測定に利用されている。この方法はコールターカウンター同様検出器細孔中に粒子群を通過させる方法であるため、粒度分布のひろがりの大きい試料の測定には比較的不便であり、粒径のそろった試料の際は特に有効である。

また、粒径の大きさによって検出器の細孔の大きさを適当に選択し、大きな粒子による細孔のつまり、小さな粒子の検出漏れを防がなければならない。細孔部がガラスであるので、研磨剤などの粉末を試料とするとときには、検出器の摩耗を考慮する必要がある。

3) ホログラム法⁷¹⁾

多くの場合、粉体試料を採取後粒度分布を測定している。したがって、静的な粒子の分布を測定しているため、必ずしも環境下の粒度分布を示しているとは限らない。

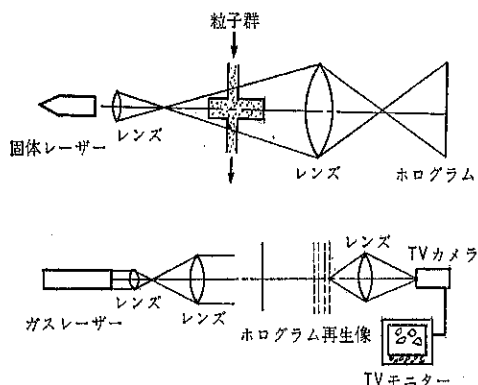


Fig. 21 ホログラム法による粒度分布測定装置

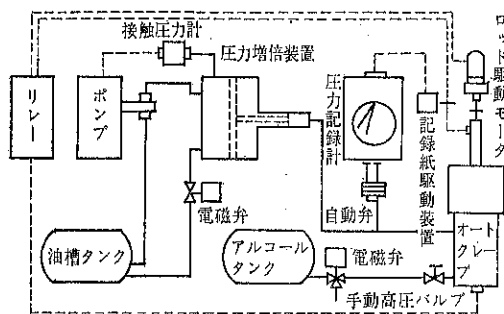


Fig. 22 水銀圧入ポロシメーター

固体レーザーおよびガスレーザーを使用してホログラム法によって気相中の動的微粉体の粒度分布を測定することができる。(Fig. 21)

4) 水銀圧入ポロシメーター法

被検体の微細孔に浸透する水銀を容積膨張計で測定し、それを圧力の関数として自動的に記録する。

加える圧力 P [kg/cm²] と微細孔 r [Å] との間には次のような関係がある。

$$r = 75,000/P \quad (4)$$

Fig. 22 に Carlo Erba 社の水銀圧入ポロシメーターを示した⁷²⁾。

この他、島津—Micromeritics 社のポロシメーターも国内で使用されている。測定の実例については、諸橋⁷³⁾、高坂⁷⁴⁾⁷⁵⁾などによる報告がある。

5) 気体吸着ポロシメーター

細孔分布を窒素のかわりにメタノール吸着法を用いて測定する装置が開発されており⁷⁶⁾、主として活性炭の細孔分布測定に利用されている⁴⁴⁾。また、天然ゼオライトについての測定も試みられている⁷⁴⁾。

6) カスケードインパクト

粉じん気流をノズルから吹出させ、平板に衝突させる

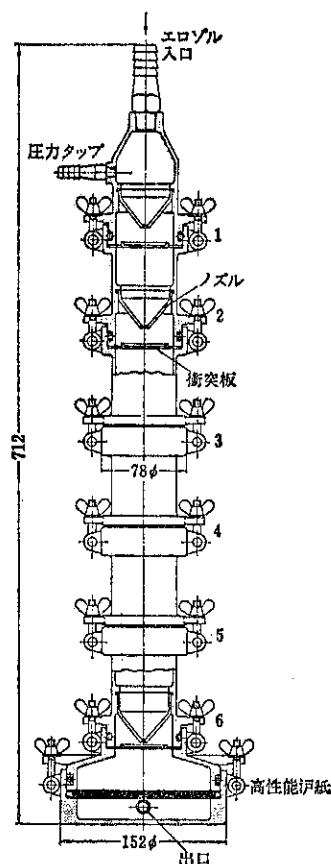


Fig. 23 カスケードインパクト

とある粒径より大きい粒子は平板に衝突して付着し、細かい粒子は気流とともに衝突することなくそれてしまう。

この原理を利用し、順次小さくしたノズルと平板からなる幾組かのインパクトを直列に重ねて使用すれば、0.2~10 μ 程度の大気じん粒度分布を測定することができる。最近、付着粒子を重量法で測定する国産のカスケードインパクトが市販されている⁷⁷⁾。(Fig. 23)

4. あとがき

最近の粉体粒度分布測定法を主として測定装置を中心に論じた。これらの測定装置はそれぞれ特徴があるので、利用者は充分検討の上目的にあった機種を選択しなければならない。

粉体を取り扱う研究者、技術者にとって、粒子の形状、大きさ、粒度分布はきわめて重要な特性であり、今後この方面の研究、特にプロセスおよびコンピューターとのオンライン化が進み、さらに、粒度のコントロールへと発展することを期待する。

本稿は限られた紙面であり、記述が広範囲にわたるので、詳細については引用文献などを参考にいただきたい。

参 考 文 献

- 1) R. D. Cadle : Particle size determination, 2~12, Interscience (1955).
- 2) T. Allen : Particle size measurement, Chapman and Hall (1974).
- 3) Z. K. Jelinek : Particle size analysis, Ellis Horwood (1974).
- 4) 粉体工学研究会編：粒度測定技術，日刊工業新聞社 (1975).
- 5) 高坂彬夫：最近の粒度測定法，材料科学，7，[3] 159~172 (1970).
- 6) 高坂彬夫：微粉体の粒度測定，セラミックス，8，[8]，599~604 (1973).
- 7) 荒川正文：粉体粒子の大きさを測るには，化学，30 [1]，28~35 (1975).
- 8) 菅沼 彰：粒度に関する試論（第1回）粉碎，[17] 76~80 (1972).
- 9) 中島耀二，後藤圭男，田中達夫：粉体粒度のオンライン測定について，化学工学，31，[7]，687~691 (1967).
- 10) 中島耀二，田中達夫，後藤圭男：粒度分布のオンライン自動装置の試作，化学工学，31，[11]，1120~1124 (1967).
- 11) 島津製作所：プロセス用粒度アナライザー OPA 1000形カタログ.
- 12) 島津製作所：オンストリーム粒度測定装置 SPA 2000形カタログ.
- 13) 野崎産業株式会社：ハイアック自動微粒子計測器カタログ.
- 14) 高坂彬夫，松田良弘：He-Ne ガスレーザ透過法によるカオリン鉱物の粒度分布測定，材料，24，[262] 600~603 (1975).
- 15) 島津製作所：ふるい分け式粒度測定装置 BS-50A 形取扱説明書.
- 16) 細川粉体工学研究所：試験室用湿式篩分機，粉碎，[17]，108 (1972).
- 17) 日本ミリボア・リミテッド：ミリボア精密ろ過システム，ミリボア・テクニカル・ニュース (1976).
- 18) I. F. Nathan, M. I. Barnett, T. D. Turner : Operator error in optical microscopy, Powder Technol., 5, 105~109 (1971/72).
- 19) G. C. Claver, W. H. Farnham : Polymer particle damage in the electron microscope, Powder Technol., 6, 313~316 (1972).
- 20) Metals Research Ltd : Quantimet カタログ.
- 21) シュミット：ライツ・クラシマート カタログ.
- 22) 福田克雄，丹羽 猛：パターン認識機能を持ったイメージ解析システムについて，島津評論，32，[3-4]，243~250 (1975).
- 23) 東洋インキ：Luzex 画像情報処理システム カタログ.
- 24) 荒川正文：顕微鏡法による粒度測定の検討，第13回粉体に関する討論会要旨集，25~27 (1975).
- 25) H. Schluge : The particle size analyzer after Endter, Zeiss Werkzeitschrift, 33, 68~71 (1959).
- 26) 島津製作所：顕微鏡用粒度分布解析装置 SF-20 形取扱説明書.
- 27) 神保元二：影像処理法による粒度分布測定，粉体物性グループ会資料，1~16 (1974).
- 28) 大山義年，伊藤四郎：分離および混合，5~9 (1954).
- 29) 三島秀雄，矢野省三，岡本信幸：島津粒度分布自動測定装置，島津評論，20，105~110 (1963).
- 30) 水渡英二，荒川正文，矢野省三，石田昇平，林田和弘：比重天びん法による粒度分析，島津評論，27，[1]，55~59 (1970).
- 31) 丸東製作所：自動粒度試験装置 SF-82 カタログ.
- 32) Joyce Loebl : Disk centrifuge for particle size determination.
- 33) 柳本製作所：柳本粒度分布測定装置 PSZ-2 カタログ.
- 34) 高坂彬夫，渡部武憲，大門芳雄：遠心ピペット法による微粉体の粒度分布測定，化学工学協会，第34年会要旨集，295~297 (1969).
- 35) 東京理化精機製作所：日本セメント技術協会型風篩器取扱方法説明書.
- 36) Warman International Pty. : Particle size analysis in the sub-sieve range (1964).
- 37) 篠崎平馬，高坂彬夫，中村操，京極恒由，佐藤幸作：小型液体サイクロンの濃縮および分級性能，化学工学，25，[5]，329~333 (1961).
- 38) 高坂彬夫，佐々木正芳，篠崎平馬：超小型液体サイクロンの原液の処理能力，化学工学，28，[11]，952~956 (1964).
- 39) 高坂彬夫，遠藤二男，木村義行：カオリン鉱物の湿式遠心分級，材料，20，[213]，706~710 (1971).
- 40) 高坂彬夫，青木孝史：水ひ式液体サイクロンの性能，化学工学協会，第35年会，要旨集II，113~115 (1970).

- 41) 三島秀雄, 矢野省三, 渡辺金之助, 富安 浩: 粉粒体計測の実験, 化学工場, 14, [9], 32~45(1970).
- 42) Micromeritics instrument: Orr Surface-area pore-volume analyzer.
- 43) 柴田化学器械工業株式会社: 柴田迅速表面積測定装置, カタログ.
- 44) 浦野紘平, 水沢博士, 清浦雷作: メタノール吸着等温線による細孔分布測定法, 工業化学雑誌, 73, [9], 1911~1915 (1970).
- 45) 東京理工: 双子型伝導微小熱量計カタログ.
- 46) H. E. Rose: The measurement of particle size in very fine powders, Constable, (1953).
- 47) 森芳郎: 粉体工学, 26~28 日刊工業新聞社(1958).
- 48) 森谷太郎: 粒子系の性質とその適用, 93~95 窯業協会, (1960).
- 49) 菅沼 彰: 光透過法による粒度分布測定, 粉末冶金技術協会超微粉体分科会資料, (1962).
- 50) 幸田明徳: 粒度分布測定とその問題点, 化学と工業, 21, [3], 315~324 (1968).
- 51) 高坂彬夫, 篠崎平馬, 遠田保彦, 井上達也, 遠藤二男: 光透過法による微粉体の粒度分布測定, 材料, 13, [133], 819~824 (1964).
- 52) 高坂彬夫: 光透過法による粒度分布測定, 粉体工学 2, [6], 1225~1231 (1965).
- 53) M. J. Groves, B. H. Kaye and B. Scarlett: Size analysis of sub-sieve powders using a centrifugal photosedimentometer, British. Chem. Eng., 9, [11], 742~744 (1964).
- 54) 清水康男, 木村 勤: 計測と制御, 2, 881 (1963).
- 55) 高坂彬夫, 安部保志: 遠心式光透過法による粘土鉱物の粒度分布測定, 材料, 17, [177], 570~573 (1968).
- 56) 高坂彬夫, 姜 義清: 遠心式光透過法によるカオリン鉱物の粒度分布測定, 材料, 18, [189], 526~530 (1969).
- 57) 島津製作所: 島津遠心沈降式粒度分布測定装置 CP-50 カタログ.
- 58) 中島耀二, 田中達夫: 回折理論に基づいた吸光係数の算出法について, 化学工学, 38, [4], 316~320 (1974).
- 59) セイシン企業: 光透過式粒度分布測定器カタログ.
- 60) 島津製作所: 島津遠心沈降式粒度分布測定装置 CP-50 取扱説明書.
- 61) 高坂彬夫, 大門芳雄: He-Ne ガスレーザー透過法による微粉体の粒度分布測定, 化学工学協会第37年会要旨集, II, 183~185 (1972).
- 62) 高坂彬夫, 北村雅幸: He-Ne ガスレーザー透過法によるプロセスでの粒度測定, 化学工学協会第39年会要旨集, 245~247 (1974).
- 63) 金川昭: 前方光散乱粒子カウンタの理論的考察, 化学工学協会第34年会要旨集, II, 307~309 (1969).
- 64) 島津製作所: エアゾール式ダストカウンタ.
- 65) ダン産業: ダストカウンタ.
- 66) 島津製作所: 島津マイクロメリテックス 粒子径解析装置(セディグラフ) 5000形取扱説明書.
- 67) 増田弘昭, 井伊谷 鋼一共訳: サブミクロン域における自動粒度測定, 粉体工学研究会誌, 7, 415~423 (1970).
- 68) T. Allen, L. Svarovsky: Proc Soc Analyt. Chem., 9, [2], 38~40 (1972).
- 69) 日科機: コールターカウンター自動粒度分布測定装置 TA II型カタログ.
- 70) 東亜医用電子: トーアマイクロセルカウンタ資料.
- 71) B. J. Thompson, J. H. Ward and W. R. Zinky: Application of hologram techniques for particle size analysis, Applied Optics, 6, [3], 519~526 (1967).
- 72) Carlo Erba: Information.
- 73) 諸橋昭一, 長谷川哲夫, 兜山康広: 水銀圧入ポロシメータによる多孔性物質の細孔分布について, 粉砕 [19], 106~111 (1974).
- 74) 高坂彬夫, 菊池正志, 長谷川二男: 板谷産ゼオライトの諸特性, 材料, 23, [250], 515~519 (1974).
- 75) 高坂彬夫: 板谷産ゼオライトの特性と利用, 粉砕, [20], 127~142 (1975).
- 76) 田中科学器械製作所: 自動吸着測定装置 AS-702 取扱説明書.
- 77) 島津製作所: カスケードインパクト カタログ.

粉 碎 技 術 の 考 古 学

Archaeology of Grinding Mills

三輪 茂雄*

Shigeo Miwa

1. まえがき

人類にとって粉碎技術はなくてはならないことはいまでもないが、太古から現代にいたるまで、そのためにエネルギーの主要部分を消耗してきたといっても過言ではない。採集生活の時代から食品加工のためにミルストーンを使っていたが、1人分の食品をつくるのに費した体力は想像以上のものであった。現代は直接、食品加工のためにエネルギーを消耗しているという実感はないが、われわれをとりまく大部分の製品について、その製造過程で直接間接に消費されているエネルギーは莫大のものであろう。

さらに一般産業での粉碎エネルギーは、セメントや鉄鉱、鉱山、砕石などと数えあげてみても、想像を絶するものがある。しかも粉碎のエネルギー効率は極めてひくく、正味エネルギーは1%を割ることを考えると、エネルギー危機の本質は何かという大課題にぶつかってしまう。(筆者は新エネルギー開発反対論者である)

しかしここではそのようなエネルギー論をのべるのではなく、粉碎という面から人類の文化史をみる一つの試みについて、現在考えていることをのべてみることにしたい。工学は必ずしも前向きのものでなくてはならぬというきまりはない。ときには後を照らしてみることも、大変面白いことに気づいた筆者のバックミラー工学である。

2. ブランクの学問分野

さいきんは歴史ブームといわれ、歴史書といえど何でも売れる。食物史にかぎっても、数えきれないほどの本が出ている。たとえば近藤弘著「日本人の食物誌」(毎

日新聞社刊)などは日本列島をまたにかけて全国を足でかけめぐって、現代に伝わる食習慣のなかに古代日本人、縄文人までさかのぼって、その食生活を求めようとした、まさに執念の書である。筆者は白を追って全国を旅しているが、この本をみると、まだまだとてもかなわない気がするが、それだけにまた、旅することによる学問のむずかしさと労力が身にしみてわかるような気もする。この本のなかには奈良、平安時代に中国から渡来した麵のことが出てくる。私は目を皿にしてこの本を読み、電車を何区間かのりすごして、本誌の出版元、細川鉄工所のある枚方の近くまできてしまったものである。

「小麦粉一石五斗と米粉六斗を麦縄料と記録している」という『延喜式』(927年)のことも書いてある。しかし、どのようにしてこれらの粉をつくったのかについては何もかかれていない。「石臼で挽いたのさ」とは簡単にはいえない。石臼が日本に入ったのは、日本書紀によると710年というから、石臼でもよいことになるが、その決め手は全くない。物的証拠がないのである。別の書物によると、石臼の普及は江戸時代も中期とされている。あるいはわが国は米食が主であったから粉食は発達しなかったとある。それなのにソーメンはうどんよりも前に完成していた。ソーメンといっても今のような細いのではなく、縄のような太いものであったらしいが。

中国文明が興った華北は小麦地帯であったから、そこで発達した粉食が中国文化とともに日本に早くから入ってきていても何のふしぎもない。しかし、それなら当時使われた石臼がどこに残っている筈だ。石だから、残らない筈はないし、破片になっても、見分けがつかないのである。ところが、今までのところ、石臼片の発見はきわめて少ない。というより注目されなかったから、みつかったも石ころとして扱われていたというのが正しいのかも知れない。日本には粉食はなかったという先入観がそれに拍車をかけたのであろうか。

従来の考古学といえば、武器と土器と装飾品が主とな

* 同志社大学工学部 粉体工学研究室
(〒602 京都市上京区今出川通烏丸東入)
Tel (075) 251-3849 (直通)

っていた。金目のもの、高価なものには目がつきやすい。土器はかわらけで金目のものではないが、縄文土器とか弥生式土器といって、後世の焼物趣味とむすびついていて、これも注目された。しかし考えてみれば、いくら土器を追っても、空っぽのいれものにすぎないではないか。中に何が入ったのか、どういう径路を経てそれを食べたのかこそ問題ではないのか。食べ物のことをいうのは、わが国ではいやしいこととされてきた風習がある。また食物の調整や、さらにその道具をつくることについては、はるかに下層階級の仕事であり、支配者の歴史のはるか下積みのものである。そんな歴史はあとまわしにされてきたのかも知れない。

しかし、強大な権力が生まれ、直接食品の生産に従事しない人間が成立するためには、それを支える莫大な人間のエネルギーが存在しなくてはならないし、支えることを可能にする「技術」の成立が前提になることにまちがいない。それは一体何だったのか。権力の成立には、武器の発達も勿論必要だが、いくらおどかされても、ないものは出てこない。生産に余裕ができるための道具の発達がここで当然考えられる。それは農耕用具の発達であり、米の生産が権力を支えたことはいうまでもないが、米のほか雑穀の加工についても、その加工方法の変革があったことであろう。そこに各種の臼が登場してくるのは、全く自然であるように思う。臼が粉碎機の先祖であることはいうまでもない。Fig. 1 は筆者が臼の行脚を

はじめてから今までにぶつかった学問的ひろがりを示したものである。人類文化の基本的な技術であるだけに、この糸をたぐると、文化史全体がゆらぐのである。そしてそれは末路の学問分野でもある。

3. 臼のいろいろ

臼というのは、ものの粉碎と摺和の手段として用いられた各種の道具にその名がつけられている。臼とはいわぬが関連するかあるいは同様の機能をもつものをあげると次の如くである。

1) 石皿 (saddlestone)

古代世界全般にひろがり、わが国でも縄文時代の遺跡から出土する。(Fig. 2)

2) 小型の石製つき臼 (nortar)

Fig. 3 の臼にはいい名前が見当たらないが、現在では実験室で使う乳鉢。石皿と同じくらい古くから使われた。かなり大きいものもあり、大型石製つき臼に発展してゆく。かまぼこをつくるのには、さいきんまで使われていた。またもちつき用としては現在も使われている。

3) 木製のつき臼

これがいわゆる臼。木製なので遺跡からの出土はのぞめないが、これも極めて古くからあったのであろう。(西洋ではエジプトにあった。) 形態は歴史的、地域的に著しいちがいがあ。中央部がくびれた Fig. 4 の形はわが国では古い時代のものに属し、現存するのは新潟お

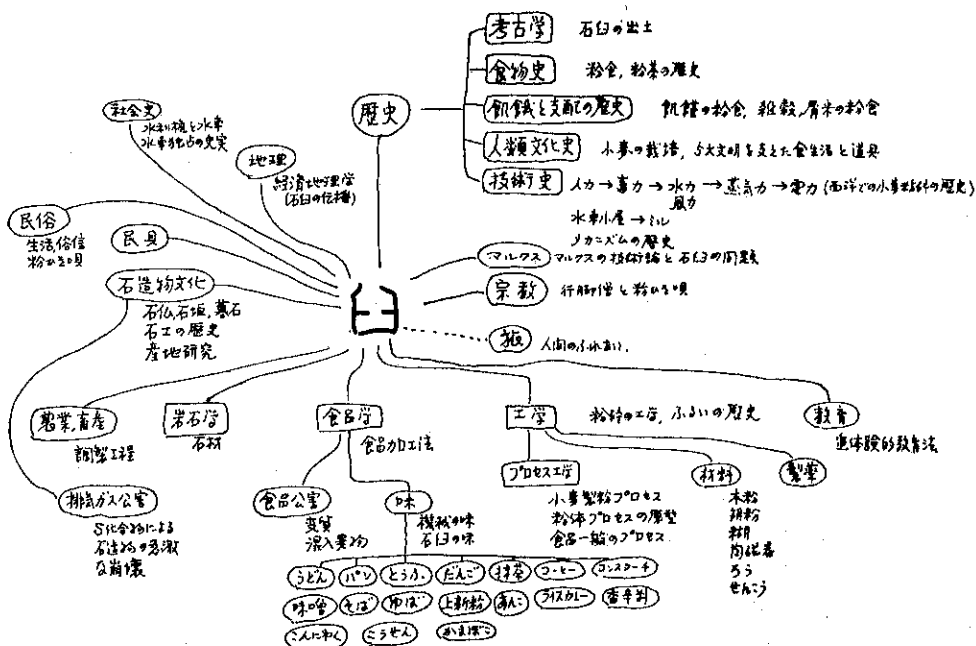


Fig. 1 臼の研究につながる学問のひろがり

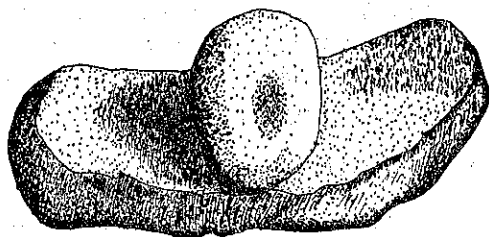


Fig. 2 石皿 (サドルストーン)

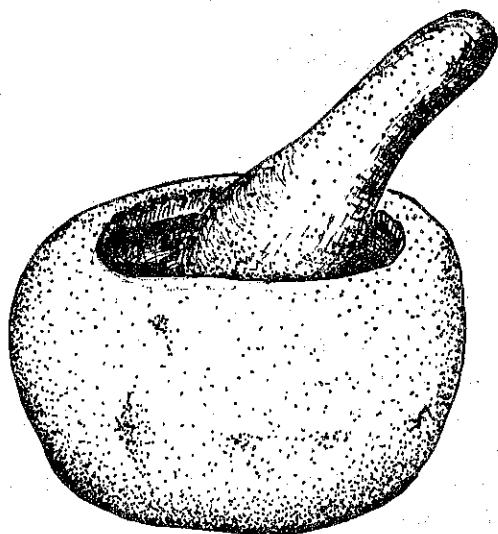


Fig. 3 小さい石製つき臼と杵

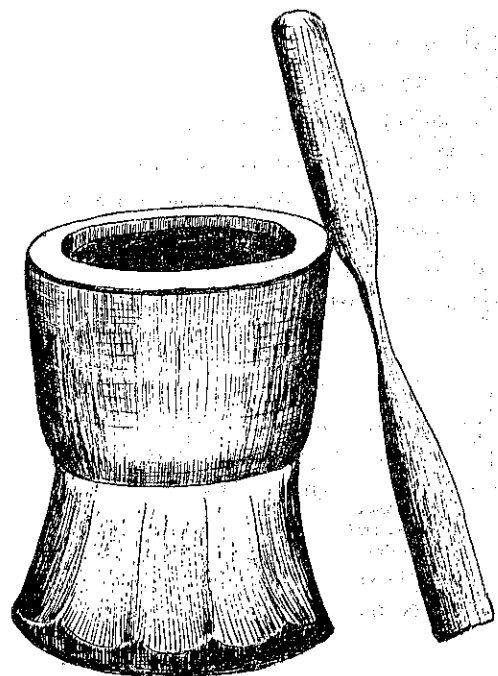


Fig. 4 木のつき臼と杵

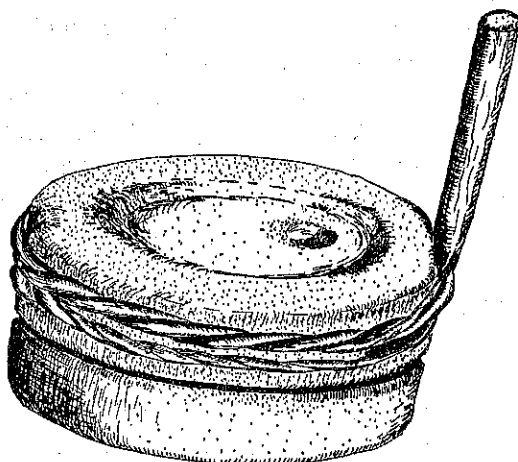


Fig. 5 石臼

および東北地方全般と沖縄である。しかし近畿圏でもその昔はこのようなくびれ形であったのである。(京都の方広寺にある秀吉時代の大黒様は、くびれた臼に坐っている)

4) 石臼 (石製の挽き臼, 石磨)

単に石臼というと、目をたてた上石と下石を重ねてまわす Fig. 5 の形式をいうことが多い。しかしいちいち念を押さないと、石製のつき臼を指すこともしばしばなので注意を要する。(中国では石磨あるいは磨という) 地方によっては「挽き臼」ということもあるが、木の挽き臼もあるから、これもまぎらわしい。回転石臼というべきか、筆者の著書「石臼の謎」(技術書院刊) では専ら Fig. 5 のをさしている。くわしくみると、これも種々の形式がある。

5) 土臼 (とうす)

もみすり専用のすり臼で、粘土を塩で固めたものの中に、カシの木や竹製の板が埋めこんである。(Fig. 6) 目は石臼に準じている。

6) 木臼 (木搗臼)

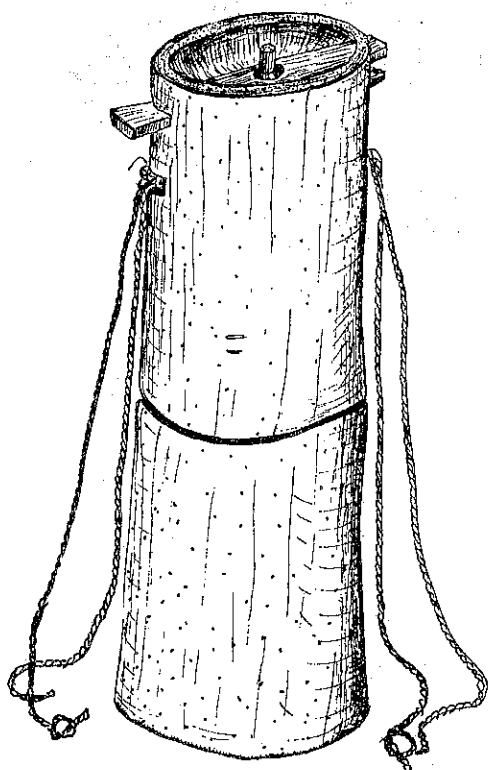
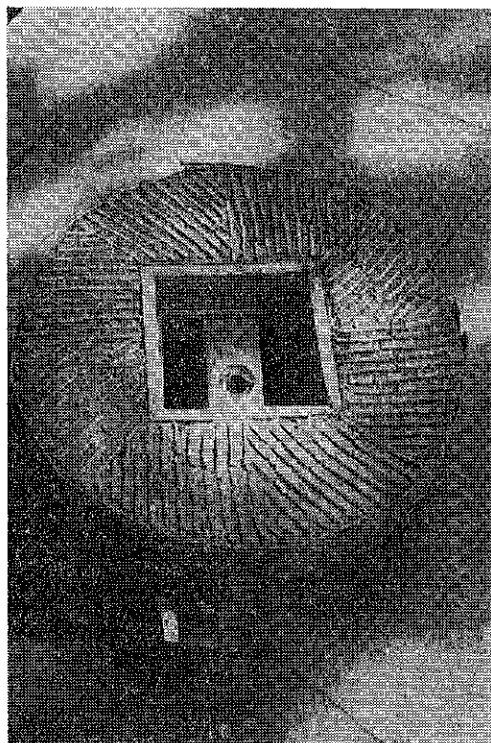
もみすり用の木製の臼で、現存するものは少ない。Fig. 7 (a) は沖縄や小笠原、および東北地方にあるもので、目は放射状になっており回転はひもを両手で交互にひくことにより与えるので、定方向回転ではない。沖縄ではシリウーシといい、山形県ではコンズルスという。定方向回転のものもあり、その場合は目は石臼と同じことが多い。Fig. 7 (b) は津和野の民俗資料館に保管されているもので、筆者が現在までにみたもののうちの最高傑作である。



(a) 外 観 (上)

(b) 白 の 目 (右)

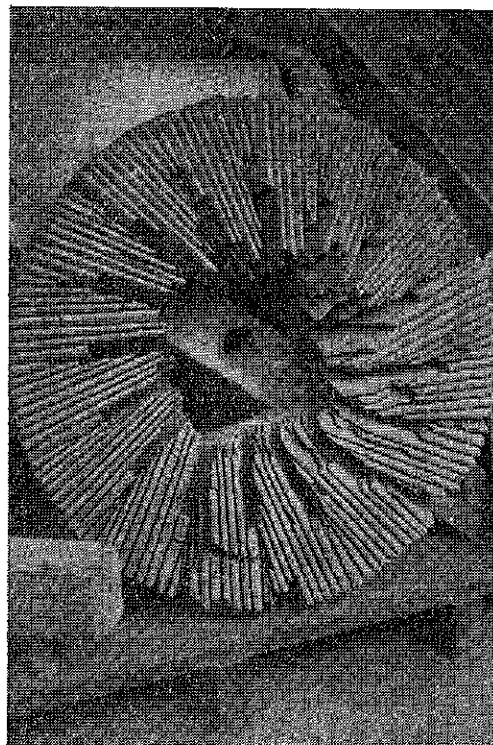
Fig. 6 土白 (とうす)



(a) シリウーシ (沖縄) (上)

(b) 木白の目 (津和野) (右)

Fig. 7 木 白



7) 唐臼 (からうす) あるいは踏臼 (ふみうす)

Fig. 8に示すように左の方の鳥居に人がつかまって、横木の一方を踏むと、杵が上り、足の力を抜いて杵を落す仕かけである。人が踏む代わりに、水だめをおいて水力でやるものもある。東北ではこれをバツラとよんでいる。

8) 碾 (てん)

わが国では実例をみていないが、中国ではひろく使われ、韓国でも多く、済州島にもたくさんあると聞いている。Fig. 9のように一輪の石車があり、畜力でまわす。

9) すり鉢

かたいものは臼でつくが、比較的やわらかいものは、

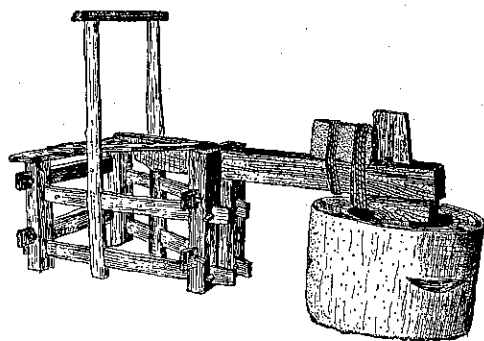


Fig. 8 唐臼 (からうす) または踏臼

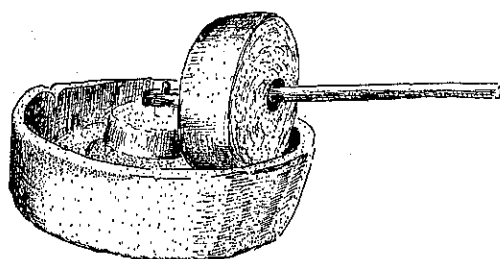


Fig. 9 碾 (てん)

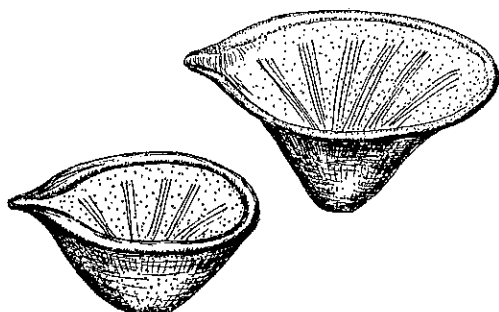


Fig. 10 すり鉢 (沖縄, 読谷村)

すりつぶす方がよい。すり鉢はそのような目的につくられたもので、焼物製である。現存するものは刻み目が多いが、あれは備前焼で発達した独特の型式である。中世以前の遺跡から出土するすり鉢では、刻み目が3~4本まとめて、放射状についているだけである。面白いことに沖縄では、この古い型式のが現存している。Fig. 10は沖縄本島の読谷歴史民俗資料館でみたもの。

10) やげん (薬研)

薬や香辛料、お茶などの粉碎に使われたもので、木製、陶製および鉄製がある。(Fig. 11)

11) 茶臼

中世のお寺や武士の館跡などから、茶臼が出土することが多い。粉ひき臼はなくても茶臼が出るのは、当時の上流階級のお茶の風習がいかに広く普及していたかが推察される。Fig. 12は現存の抹茶臼で、これはいわゆる

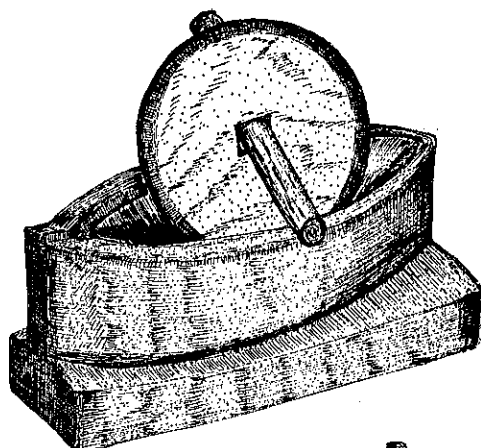


Fig. 11 薬研 (やげん)

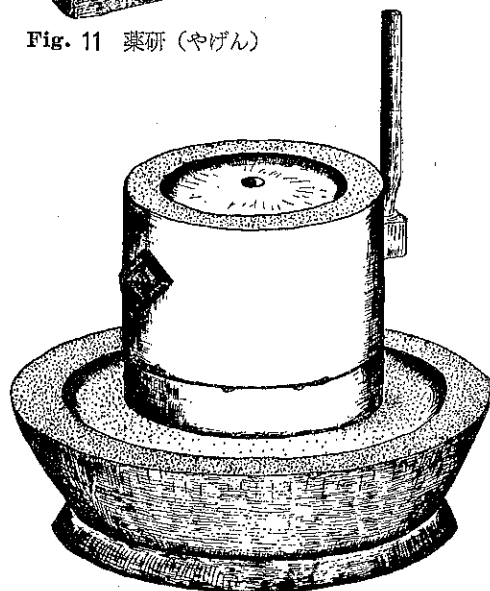


Fig. 12 抹茶臼

宇治石でつくられ、非常にきれいに磨かれている。もともと中国から伝わったものであるが、宇治で大量につくられたものらしく、全国的にこの種のもが発見される。お寺や、お大尽のもちものだったらいい。Fig. 13 はさいきん甲府市の大泉寺でお目にかかったもので、信玄愛用のものであると伝えられている。その作風がいかに武士らしくて興味をもった。

前述の遺跡から出土する茶臼は、抹茶臼ほど精巧なものでなく、団茶に使ったものらしく、目はあらく、石質も砂岩など粗末なものが多い。なお、茶臼は受鉢が必ずつくりつけになっているが、これは直径が小さいので下臼に重みをもたせて安定化させるための必要から自然にこの形になったものであろう。

12) 受鉢つくりつけ石臼

Fig. 14 のように、受鉢つくりつけの石臼もみられる。これは、とうふやあんこ、味噌などのどろどろのものを挽くときに便利ようになっているが、粉挽きにも使うことができる。一種のぜいたく品とみるべきであろう。一般に茶臼と同じく、小型にすると下臼が軽くて動いてしまうから、こうして下臼に重量をもたせたもので、この種のもは直径が 200 mm 前後のもが普通である。直径 300 mm (1 尺臼) 以上でつくりつけのものは

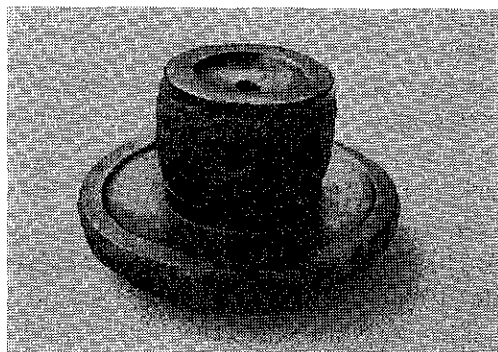


Fig. 13 武田信玄愛用の抹茶臼

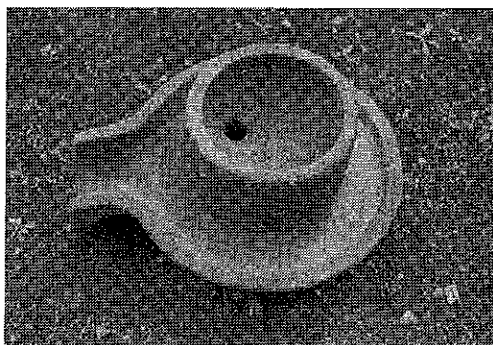


Fig. 14 受鉢つくりつけの石臼

きわめて稀である。のり臼といって、障子紙用ののりをつくるとき使ったものは小形のものがあつた。上記の茶臼かと思われる中世館跡の小型の臼は、のり臼かも知れない。館や寺院などのたくさんの障子をはるのに使うのりのために、専用の臼を使つたことも充分考えられるからである。

13) アワーグラスミル (ポンペイの臼)

わが国にはないが、ポンペイの遺跡で見つかったローマの臼として有名な Fig. 15 の臼をかかげておく。コーヒーミルの原型を見るようだが、大型で、ローマでははじめはどれい、後には畜力で挽いたといわれている。しかしこの形式は調節がむずかしく、石の加工も高度の技術を要するのですたれた。

14) 西洋の小麦製粉用石臼

ヨーロッパ諸国では、主食の小麦粉砕の必要から、石臼は巨大化する傾向にあつた。そして技術的にも高度化した。Fig. 16 は代表的な小麦製粉用の石臼で、石材としては北フランスの Marne Valley に出る多孔質石英が使われており、目の形もちがっている。

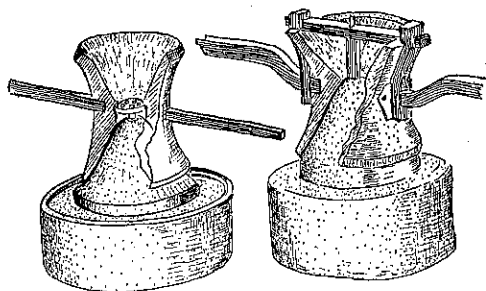


Fig. 15 アワーグラスミル (ポンペイの臼)

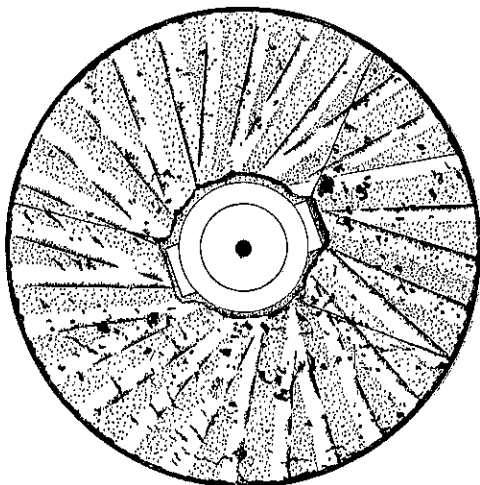


Fig. 16 ヨーロッパの石臼

4. 白研究の発展

筆者はふとした機会に石臼にとりつかれたのがきっかけで、石臼から白全体にわたっても研究の手をのびさなければならなくなった。目下の大課題は白の編年であるが、全く五里霧中である。縄文時代の遺跡からは石皿が出土するが、弥生時代になると白が全く姿を消してしまいうらしい。木臼が出現して使われたが、腐ってしまったので残っているのは少なく、登呂遺跡から出土したほ

か、2, 3しかない。紀元0年頃にもう朝鮮半島に出現している回転石臼が日本に渡ってこなかったというのは、考えにくいことであるが、目下のところ出土した例は全く聞かない。ほんとうに江戸時代中期まで一般に普及しなかったのであろうか。鎌倉時代には石工の技術が著しく向上し、各地に石仏などの石造物がたくさんつくられている。そのとき石臼もつくられ普及したことも考えられないではない。「石臼の謎」の霧はますます深くなるばかりである。

豆ニュース

第10回粉体工学に関する講演討論会開かる

去る8月20日、恒例の「粉体工学に関する講演討論会」が粉体技術談話会主催のもと細川鉄工所枚方事務所5階会議室において、テーマ「連続化プロセスへのアプローチ」と題し盛大に開催された。

まだ厳しい残暑の中を、午前10時より午後5時まで約80名を越える多数の出席者が熱心に各講師の講演に耳を傾け、講演内容の質疑応答、本テーマに係る身近な問題点、疑問点についての討議も活発に行なわれた。

プログラム

開会挨拶	京都大学名誉教授 粉体技術談話会々長 中川 有三氏
講演司会	京都大学教授 吉岡 直哉氏
講演 粉体プロセス連続化の現状と問題点	大阪府立大学教授 矢野 武夫氏
講演 粉体輸送プロセスの自動化と粉体物性	山口大学教授 早野 延男氏
講演 粉体プロセスの連続化に対する速度論の役割	北海道大学教授 田中 達夫氏
講演 粉体流量制御における“フローマスタ”の特性	細川粉体工学研究所々長 横山 藤平氏
講演 粉体プロセス自動化の将来	京都大学教授 井伊谷鋼一氏
総括討論	司会 大阪府立大学教授 吉田 哲夫氏

開会に当中川先生より、実際に問題意識を持っている人が集い、そのテーマの分野における専門家が広くまとめたものの知識を話し、共に討議するという本講演討論会のような会は他に例を見なく、この会を通じ問題点

を総合した見地より判断する機会が与えられるという点において本会の存在意義があると強調され、挨拶にかえられた。

吉岡先生の名司会のもと講演が始まった。

矢野先生の講演は“連続プロセスに関するアンケート調査”結果を分析し、粉体プロセスの自動化、連続化の現状と問題点を先生の体験談をまじえて話され、先生の研究成果である連続混合装置にも言及された。

早野先生の講演は、粉体プロセスの自動化のネックとなる供給、輸送系の自動化を推進する幅広い基礎研究の結果をまとめて報告していただいた。

田中先生の講演は、粉体プロセスの連続化に対する速度論の役割を粉碎系の設計と粉塵爆発の予測を例にして講演され、従来の粉碎装置およびそのプロセスの設計が粉体流れメカニズムと速度理論から設計がなされないと、遂には行きずると指摘され、プロセス設計にどのように速度論を応用させるかが問題であると結ばれた。

横山藤平研究所長の講演は、電磁式供給装置フロートロンの特性について述べた後、新しく開発した粉体流量制御機フローマスタの構造および特性について話をされた。詳細については本誌76頁を参照されたい。

井伊谷先生の講演は、粉粒体プロセスにおける計測と制御の実態について、アンケート調査結果をもとに分析された後、今後の方向について言及され、粉体物性をはじめとする基礎研究の進展に期待すると結ばれた。

次に吉田先生の独特のユーモアをまじえた司会のもと総括討論に入り、活発な議論に花が咲いた。

細川社長の講師の先生方、参会者への謝辞があり、午後5時すぎ、今年の講演討論会は拍手と共に終了した。

ラミマックスシステムについて

Laminar Flow Modules Air Conditioning Systems

ホソカワ環境事業部*

1. はじめに

建物内の人を対称にした環境確保は「建築基準法施行令」や「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」で条件づけられている。しかしこれらの法律は、健康人に対する保健用環境基準であり、病院特にその中の手術室、抵抗力の減弱した患者や新生児などを対称の医療分野、またこのような人に投与する医薬品の製造過程では、感染防止や品質確保のためさらに精度の高い無菌に近い室内環境の清浄化と均一な温湿度分布が重要視されてくる。現在医薬品の製造に関しては厚生省がGMP（医薬品の製造と品質に関する基準）を制定し、53年度より実施が決定している。この製造環境の清浄化と精密な温湿度制御、均一な空気分布の必要性は当然医薬品分野だけにとどまらず、食品工業・電子工業・精密機械工業などの産業分野において生産製品の品質確保と向上の点からも必要視されてきている。このような状況下、ホソカワ環境エンジニアリング㈱がこれらの要求に応えるべく開発したクリーンルーム・パイオクリーンルーム精密空調システム「ラミマックスシステム」(Laminar Flow Modules Air Conditioning Systems)について、その概要と有用分野、特徴などを中心に述べてみる。

2. ラミマックスシステムの概要と 応用分野

ラミマックスシステムとは、ラミナーフロー（層流）クリーンルームシステムに精密な温湿度制御装置を取入れた空調システムで、多年に亘る設計から施工そして維持管理まで経験豊富な空調技術者達の手により開発された新しいシステムであり、従来のシステムと比較して下記の特徴をあげることができる。

- (1) 室内清浄度、温湿度条件など要求に応じて幅広いシステムの提供が可能。

システムの構成は、要求される各清浄度に合わせてラフな条件からクリーンルーム米国連邦基準 No. 209 a, b, パイオクリーンルーム米国 NASA 規格で定められているクラス 100 まで、清浄な区域を無駄なく提供すべく現場に適応した空気の流れを基盤に設計し、必要に応じた合理的なシステムの提供が容易に可能な構成となっている。システムの構成は独自に開発され工場にて規格化製作された各機器ユニットを条件にそって選択採用し、現場施工の合理化をはかっている。

- (2) 独自の層流空気分布装置（ラミベント）の採用で室内風速、室内温湿度分布の均一化が実現。

システムに採用されている空気分布装置は、垂直層流、水平層流を問わず HEPA フィルター (high efficiency particulate air filter) を内蔵した層流空気分布ユニット（ラミベント）で構成されている。ラミベントの HEPA フィルターの空気入口側に空気調節弁を内蔵して風速風量の設定が容易な機構となっているため、HEPA フィルターの出口側に取付けられた拡散装置の働きと相俟って室内吹出パネル全面に亘っての均一な吹出風速が容易に実現している。

- (3) フィルターの取替など保守管理が簡単で、全自動制御運転で要求によっては各室ごとに精密な温湿度制御が可能。

HEPA フィルターの取替は、ラミベントの空気調節弁を全閉にして装置内への汚染空気の拡散を防止しユニットごとに取り替作業が可能である。ラミベントの多孔吹出パネル、空気拡散装置などは、特殊蝶番で下方に開く構造となっていて取替作業を容易にし、取替後の気密は特殊ガスケットで完全にシールされる。また室内をどのような消毒液で消毒されても HEPA フィルターへの影響は防止される構造となっている。

温湿度制御は全自動制御になっていて、希望の室内温湿度を設定し、あとは運転の起動停止の押しボタン

* ホソカワ環境エンジニアリング㈱
(〒573 枚方市招提田近1-9)
Tel (0720) 55-2221

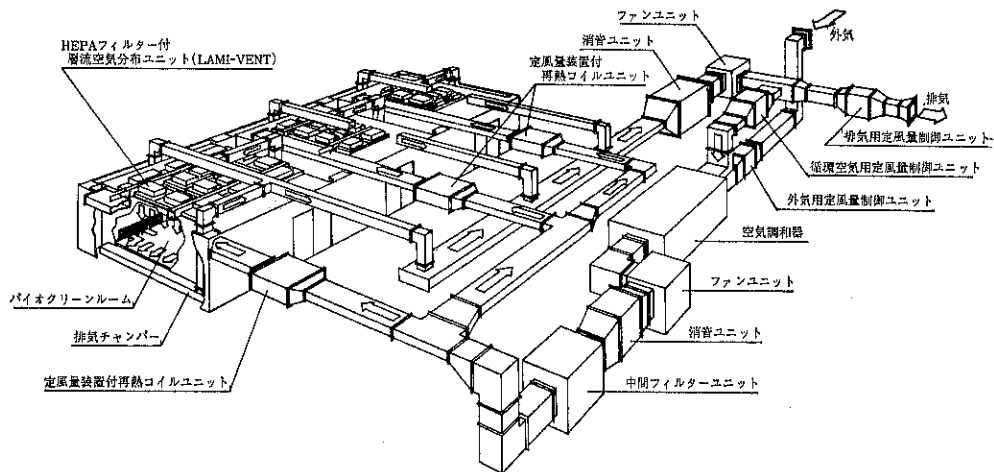


Fig. 1 ラミマックスシステム垂直層流方式説明図

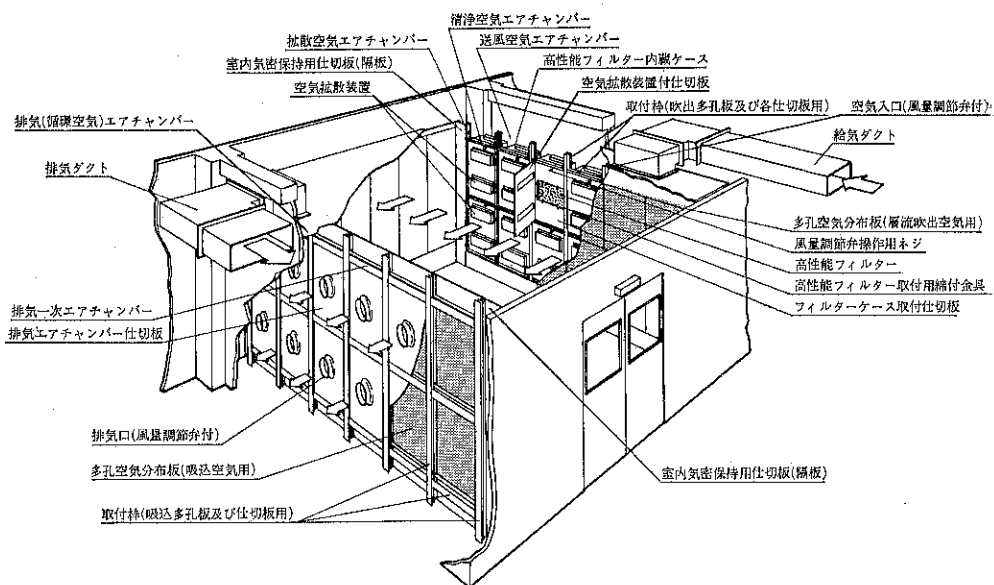


Fig. 2 ラミマックスシステム水平層流方式説明図

操作のみとなっている。室内温度は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $\pm 5\%$ の精密制御を基準としている。

- (4) 常時均一な室内環境を保持するため必要箇所に定風量制御ユニットを採用。

フィルターの塵埃捕集による空気抵抗の増加に伴う送風量の変化に対処して、定風量制御ユニットを必要箇所に設置し、室内供給空気量の変動を防止している。また必要に応じて空気調和器に導入する外気量と循環空気量、それに関係する排気量の割合を容易に変更可能にするためそれぞれに定風量制御ユニットを採用している。

- (5) 運転時の騒音防止を配慮

室内での運転騒音をNC40~45以下に維持するように、独自の消音器を開発し消音ユニットとして送風機ユニットの出口側及び排気ファンユニットの入口側に採用している。また本システム採用のファンは、特殊防震装置と高効率の遮音材で形成したケーシング内に格納し、ファンユニットとして設置、遮音に留意している。

- (6) 機器設置スペース（機械室）の縮小化

システムを構成している各機器ユニットは各機能を発揮するだけでなく、現場設置及び保守管理の容易性

Table 1 ラミマックスシステムの応用分野

分類	区 分	対 称	内 容
医 療	手 術 室	整形外科	人工関節置換手術など高度の技術を要する手術の感染防止
		脳外科, 心臓外科	高度の技術を要する手術の感染防止
		移植手術	"
		一般外科	感染の防止
	特 殊 病 室 治 療 室	術後回復室	手術後の感染防止
		I C U, C C U	感染の防止
		急性白血病	白血球減少による感染防止
		重症火傷	体表面からの感染防止(開放治療が可能となり回復が短縮)
		ガン治療室	強力薬品投与により抵抗力が低下するための感染防止
		アレルギー性呼吸器疾患	清浄空気の供給が必要
		新生児, 未熟児室	抵抗力が弱い菌による感染防止
	検 査 室 研 究 室	臨床検査, 細菌実験室	菌, かび組織の培養検査(雑菌の混入を防止) 心臓カテーテル, 心臓血管造影などを行う検査室
		放射能研究室, R I 関係	放射能被曝防止のため清浄空気の供給が必要(排気にも浄化装置を要す)
	血液センター	血液, 血清, 菌	雑菌の混入防止
	動物飼育室	S P F, 感染, R I 動物	飼育, 繁殖及び研究室の無菌化
医 薬 品	注 射 薬 点 眼 剤 散 膏	調合, 充填	雑菌, かびの混入防止
		秤 量	"
		洗浄滅菌	"
		乾燥室, 検査室	"
	抗 生 物 質	培養, 充填, 検査	培養工程による菌, かびによるコンタミネーション防止及び変質防止
	内 服 固 定 剤	倍散, 粉碎, 分粒, 秤量	菌, かびによる品質低下の防止
		混合, 練合, 造粒	"
		打錠, 糖衣	"
		乾燥, 検査	"
		包装	"
	包 装 材 料	アルミ箔, ポリエチレン等のラミネート, 印刷工程	菌, かびその他異物混入の防止
	医 療 器 具	ディスプレイ製品(注射針, 筒, 血液パック, ガーゼ)	製造, 検査, 包装工程の汚染防止
	化 粧 品	秤量, 調合, 充填, 乾燥, 検査包装等	雑菌, かびの混入防止, 品質低下の防止

も重視して開発されている。限定されたスペース内での立体的な配置や、既設建物の場合の屋外設置にも対応できるユニットとなっている。また、クリーンルームの天井面または壁面に設置のラミベントの設置スペースは、HEPA フィルター内蔵の各型番共奥行は355 mm であり、背面のエアチャンバーを含めても 60 cm (最低 50 cm) あれば充分で、これは従来方式に比して約 $\frac{1}{2}$ に近い設置スペースといえよう。

(7) 経済性

要求に合わせての独自のシステム設計で、ムダのないシステム構成が可能のため、従来システムより経済的といえよう。設備費だけでなく、運転維持費に関しても合理的な本システムは、動力の節減に寄与し、必要に応じての大量外気導入から、大量再循環まで制御可能なラミマックスシステムは、省エネルギーの面においても経済性に富んだシステムといえる。

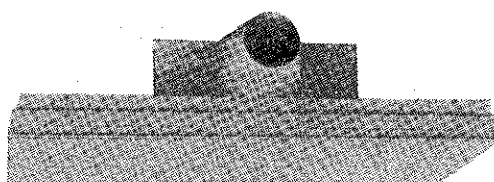
ラミマックスシステムは以上の如く、建物の新設既設を問わず希望される清浄区域を容易に実現すべく開発しているが、この計画に当たっては経験豊富な空調技術者の手により、建物内の無駄のない空気管理、すなわち空気の流れ、室内圧の保持、汚染塵埃の浮遊拡散の防止、局所的な高度の清浄度維持、清浄作業場の生産設備改善に伴っての異動の可能性や、将来の清浄度の変更の対応性など、要求にそっての慎重な計画設計により、その要求に対しての期待に応える実現を大きい特徴としている。

ラミマックスシステムの構成の一例を Fig. 1, Fig. 2 に示す。Fig. 1 は垂直層流方式、Fig. 2 は水平層流方式（クリーンルーム外の構成については Fig. 1 に同じ）の構成概要説明図である。

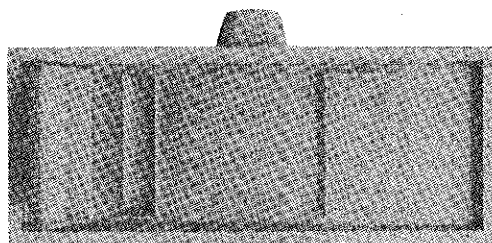
Table 1 にラミマックスシステムの応用分野の概要を示す。勿論、目的用途条件などに応じて慎重な計画設計によりシステムを構成し、構成機器ユニットは自由に選択が可能であるが、いずれもラミベント（層流空気分布ユニット）の採用によって、他方式に比し目的が容易に達成される。

3. ラミベント (LAMI-VENT) について

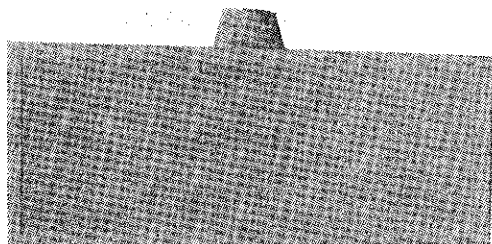
ラミベントは、垂直層流又は水平層流方式のクリーンルームあるいは所定のクリーンゾーンに、清浄な大量の空気を絶えず均一な低風速で目的に沿って送り込むように設計されている。クリーンルーム、バイオクリーンルームにおける空気汚染率を最少限にし、製造そして生産性の質を高める目的で、本ラミベントは米国 Precision Air Products Co. で開発され、技術提携によりホソカワ環境エンジニアリング㈱で生産されている。室内空気



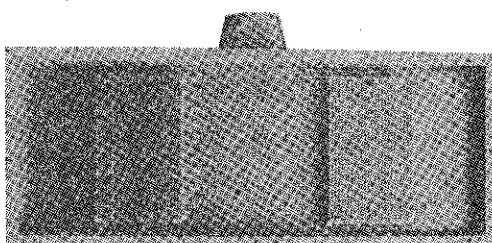
外形



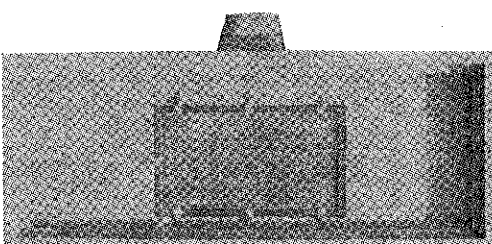
拡散装置



多孔吹出分布パネル

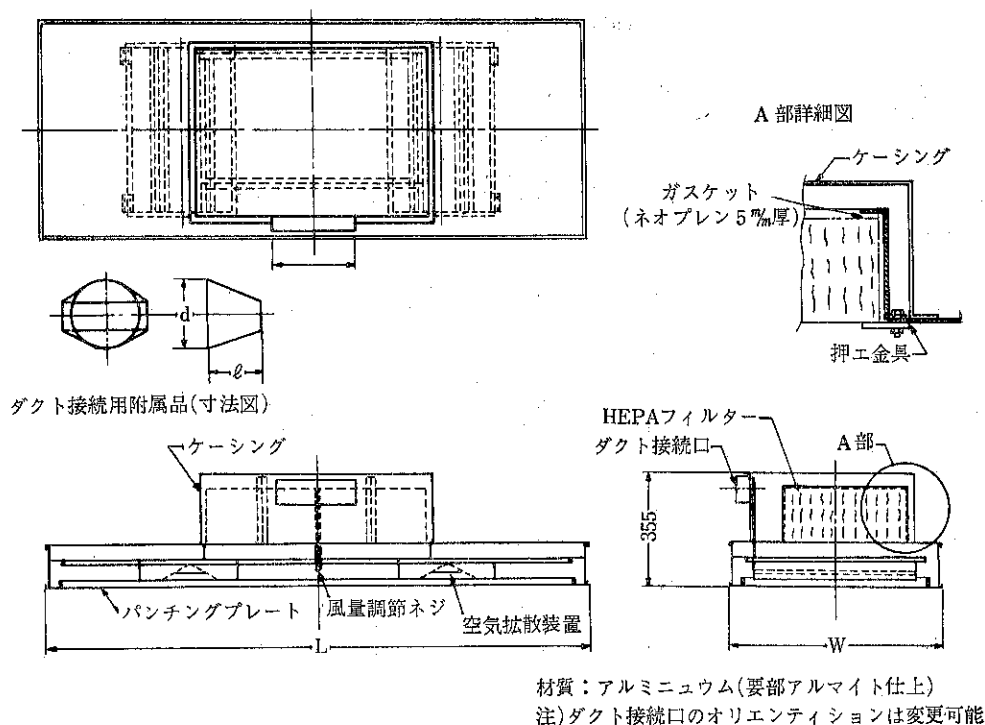


拡散装置



HEPAフィルター取付パネル

Fig. 3 HEPA フィルター付ラミベント (PATF型) の構造写真



寸 法 表

形 番	寸 法 mm			
	W	L	d	l
PATF-1248	303	1,212	125	200
PATF-1260	303	1,515	125	200
PATF-1272	303	1,818	150	200
PATF-2448	606	1,212	150	200
PATF-2460	606	1,515	175	200
PATF-2472	606	1,818	200	200
PATF-3648	909	1,212	200	200
PATF-3660	909	1,515	225	200
PATF-3672	909	1,818	225	200

注) 寸法・仕様については予告なしに変更する場合があります。

Fig. 4 HEPA フィルター内蔵ラミベント (PATF 型) の構造

の均一な流れを形成し、室内温湿度、清浄度、吹出騒音など製造環境の精密な制御に非常に適した層流空気分布ユニットといえる。

なお、大量空気の供給による均一な空気分布のみの目的で、HEPA フィルターを内蔵していない製品 (PAT, PATS 型) も製作されている。Fig. 3 は HEPA フィルター付 (PATF 型) の外形写真、Fig. 4 は同構造図、Fig. 5 は HEPA フィルターなし (PAT, PATS 型) の

構造図を示す。

ラミベントの特徴として下記の点をあげることができる。

- (1) 独自の風量調節弁を空気入口側に内蔵していて、ユニットごとの風量調整、風速調節の設定が自由で、均一な吹出風速の調整が容易に可能である。
- (2) 多年の経験と実験の結果、吹出パネル全面に亘って均一に供給する拡散装置を開発内蔵し、室内露出の吹

Table 2 ラミベントの性能表

型番 (吹出パネル寸法)	吹出パネル面積 m ²	吹出温度差(室温-吹出温度)によるパネル当たりの冷房最大風量					パネル当たりの暖房最大風量
		3°C	5.5°C	8.5°C	11°C	14°C	
PAT-1248	0.37	250m ³ /h (4.17m ³ /min)	240m ³ /h (4.0m ³ /min)	205m ³ /h (3.42m ³ /min)	155m ³ /h (2.58m ³ /min)	122m ³ /h (2.03m ³ /min)	255m ³ /h (4.25m ³ /min)
PATF-1248	HEPAフィルター	A	A	A	A	A	A
PAT-1260	0.47	315 (5.25)	300 (5.0)	255 (4.25)	195 (3.25)	152 (2.53)	383 (6.40)
PATF-1260	HEPAフィルター	B	B	A	A	A	B
PAT-1272	0.56	378 (6.30)	355 (5.92)	305 (5.08)	235 (3.92)	184 (3.07)	383 (6.40)
PATF-1272	HEPAフィルター	B	B	B	A	A	B
PAT-2448	0.74	475 (7.90)	410 (6.85)	300 (5.0)	245 (4.09)	176 (2.94)	510 (8.50)
PATF-2448	HEPAフィルター	C	C	B	A	A	C
PAT-2460	0.94	590 (9.80)	510 (8.50)	390 (6.50)	305 (5.09)	220 (3.67)	590 (9.80)
PATF-2460	HEPAフィルター	C	C	C	B	A	C
PAT-2472	1.12	710 (11.6)	600 (10.0)	450 (7.50)	365 (6.09)	265 (4.42)	710 (11.6)
PATF-2472	HEPAフィルター	D	D	C	B	B	D
PAT-3648	1.12	710 (11.6)	570 (9.5)	365 (6.09)	265 (4.42)	205 (3.42)	710 (11.6)
PATF-3648	HEPAフィルター	D	D	C	B	B	D
PAT-3660	1.41	880 (14.6)	700 (11.6)	460 (7.68)	330 (5.50)	255 (4.25)	880 (14.6)
PATF-3660	HEPAフィルター	E	E	C	B	B	E
PAT-3672	1.68	1,050 (17.5)	840 (14.0)	510 (8.50)	359 (6.59)	305 (5.09)	1,050 (17.5)
PATF-3672	HEPAフィルター	F	E	C	C	B	F

(注) 1. 天井高2.4m以上のパネル当たり許容最大風量を示す。(天井高2.4m以下は10%減)。上記記入の風量は天井下1,200mmで0.3m/sの風速となっている。

2. LAMI-VENTへの接続ダクトの風速は7.5m/s以下にすること。

3. HEPAフィルター寸法(PATE型)。厚さは全て150mm。

A. 130×720mm

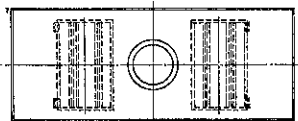
B. 130×1,100

C. 350×610

D. 350×740

E. 650×500

F. 650×600



寸 法 表

形 番	寸 法 mm		
	W	L	D
PAT PATS-1248	303	1,212	150
PAT PATS-1260	303	1,515	150
PAT PATS-1272	303	1,818	180
PAT PATS-2448	606	1,212	180
PAT PATS-2460	606	1,515	200
PAT PATS-2472	606	1,818	225
PAT PATS-3648	909	1,212	225
PAT PATS-3660	909	1,515	250
PAT PATS-3672	909	1,818	250

注) 寸法・仕様については予告なしに変更する場合があります。

Fig. 5 ラミベント構造図 (PAT型・PATS型)

出パネルは層流吹出パネルとして送風量、発生騒音など最も理想的な穿孔有効面積を有し、吹出全面に亘って均一な吹出風速を実現している。

- (3) 内蔵の HEPA フィルターの取替作業が容易な構造となっている。取替えに当ってユニットのダクト接続口 (HEPA フィルターの空気入口側) に空気調節弁を内蔵しているので、これを閉鎖することにより通風が遮断され汚染空気の拡散を防止する。さらに、多孔吹出パネル、空気拡散装置などが特殊蝶番で下方に開いて HEPA フィルターは簡単に取替が可能で、取替後の気密は特殊ガスケットで厳密にシールされる構造となっている。

- (4) HEPA フィルターは多孔吹出パネル、空気拡散装置などの背面に取付けているため、室内をどのように消毒液で消毒されてもフィルターに飛沫がかかったの汚損は発生しない。

- (5) 作業台や手術台の上部など、限られた位置の天井に取付けられる際、天井材や照明器具にマッチした取付が可能な構造となっている。また建築仕上材料の寸法を基準にした外形寸法で規格化しているのでレイアウトが単純化できる。

材質は標準品としては全アルミ製アルマイト加工またはエポキシ樹脂塗装で表面の腐蝕と汚染の防止を配慮しているが、要求に応じて鋼板製耐蝕塗装要部エポキシ樹脂塗装も全ステンレス製も製作可能となっている。

Table 2 はラミベントの各型番における性能表である。

Fig. 6 は PATF 型の吹出風量に対する静圧変化の実測結果を示し、Fig. 7 は吹出風量の変化に伴っての発生騒音の関係を示している。室内天井高 2.7 m で室内吸音効果 N.c 15 db の減衰状態で、測定位置は吹出パネルより 1 m、ユニット内蔵の風量調節弁は全開の状態となっている。

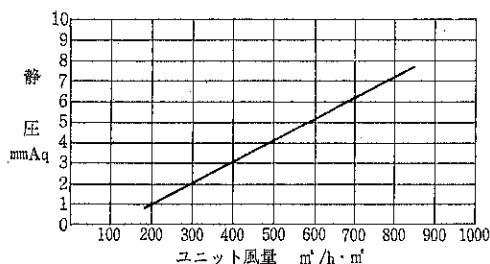


Fig. 6 静圧特性 (HEPA フィルターの空気抵抗は含まず)

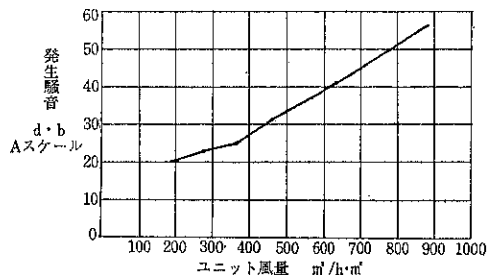


Fig. 7 騒音特性

セメント粉砕プロセスにおける 省エネルギー化の問題

Energy Saving Problem in Cement Grinding Process

著者 B. Beke*

訳者 浅井 信義**

Nobuyoshi Asai

1. 粒度分布とセメントの硬化について

セメントの強度と硬化速度は、ある一定の鉱物学的な化学組成のもとでは、粒度分布によって決まる。最適粒度分布が、多くの研究者によって実験的にもとめられてきたが、粉砕プロセスは特性が複雑なため最適粒度分布を見つけることは困難であった。著者らは、広範囲にわたる文献調査ならびに著者自身の実験と理論の両方から、最適強度のセメントを作るには、 $3\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ 粒径区間の割合すなわち QCF で表わされる“品質調整フラクション (quality control fraction)”が非常に重要な要素であるという結論を導いた。すなわち非常に小さい粒子は短時間で水和されてしまうからである。このことは、コンクリート調製前にでも起きてしまう。このことは普通、クリンカーでは好ましくないことである。これに反してあまりにも大きな粒子は硬化中に粒子表面だけが水和されそして内部では水和が起きないという現象が生ずる。QCF 値を $3\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ という粒径区間にしたのは任意的なもので $3\mu\text{m}$ のかわりに $2\mu\text{m}$ あるいは $5\mu\text{m}$ が下限であってもまた上限が $30\mu\text{m}$ のかわりに $20\mu\text{m}$ あるいは $50\mu\text{m}$ であっても以下で述べることには影響を与えないであろう。我々の研究において、早強セメントを得るには、QCF の最小値が70%である必要があると主張している、しかし普通セメントを得るには、45~50%で十分であろう。

水和は粒子表面で起きる、よって早く硬化させること

は大きな比表面積を必要とすることを意味する。表面積は粒度範囲 $0\sim 3\mu\text{m}$ に存在する微粉の割合で支配される。それゆえに、この粒度フラクションは次のような議論において問題となる。そして、そのようなフラクションは E S F と呼ばれ“初期強度フラクション (early strength fraction)”の意味である。

しかし、セメントの最終的な強度は一般に広く認められている意見と反して、比表面積の絶対値では決定できない。そしてこのことは簡単に証明できる。すなわち、ある比表面積以上では、(それは約 $5000\text{cm}^2/\text{g}$ Blaine であるが)、28日強度が減少し、また $3\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ 粒径区間の割合も減少する。

これらのことを明らかにするために次のグラフに注目しよう。グラフには我々の実験結果とともに他の研究者による実験結果も示してある。

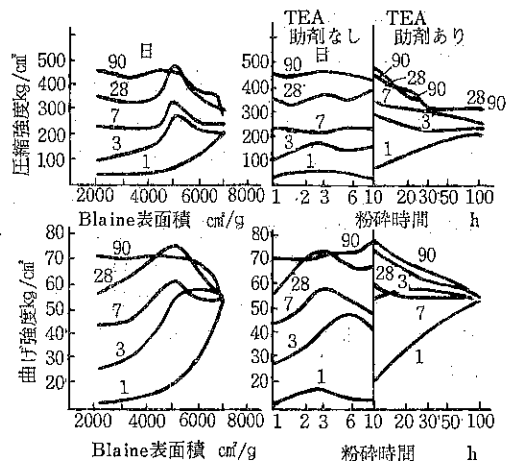


Fig. 1 実験室でクリンカーを湿式粉砕した場合の圧縮強度と曲げ強度について

* ハンガリ・ブタペスト大学教授

** 名古屋大学工学部化学工学教室

(〒464 名古屋市千種区不老町)

Tel (052)781-5111

Fig. 1は、ハンガリーでおこなわれた実験室スケールの湿式クリンカー粉砕実験の結果を示している。比表面積を大きくするために、表面活性剤であるTEAを粉砕助剤として添加するとよい結果が得られる。グラフにおいて横座標は Blaine 表面積を示し、粉砕助剤添加と無添加での粉砕時間である。縦座標は連続的に変化する硬化時間での曲げ強度と圧縮強度を示している。

Fig. 2には、湿式と乾式のそれぞれでクリンカーを粉砕した場合のクリンカー強度が Blaine 表面積の関数で示されている。

Fig. 3は、モスクワにある NIIT セメントで3種類のセメントを用いて同様な研究をした実験結果を示している。グラフには比表面積を関数としての28日強度値が示されている。また、Fig. 4には次式で示される Anselm の式より計算上とめられた比表面積を関数としてQC F値が示されている。

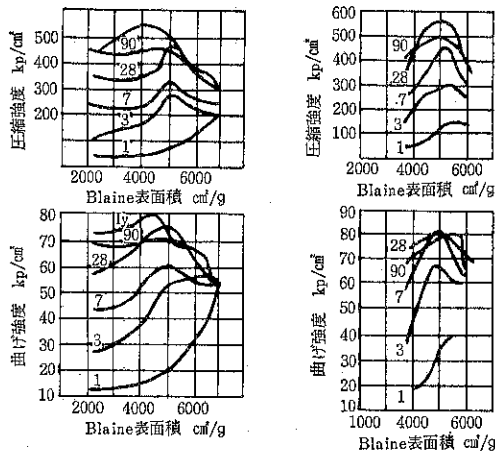


Fig. 2 セメントクリンカーを湿式と乾式の両方で粉砕した場合の圧縮強度と曲げ強度の比較 (左—湿式、右—乾式)

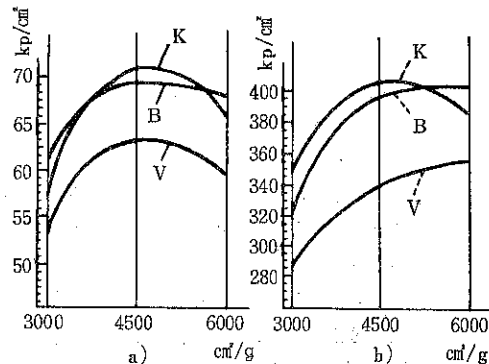


Fig. 3 3種類のセメントの強度

$$S = \frac{36.8 \times 10^4}{x_0 n \delta} \quad \text{cm}^2/\text{g} \quad (1)$$

ここで、 x_0 は粒径、 n はRosin-Rammler 粒度分布式での均等数であり、ここでは $n=1.2$ 、 δ は密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ である。

Fig. 1~3 と Fig. 4 との類似性は明らかである。

さらに詳しいことは、デュセルドルフにある Institute If Z で研究されている。比表面積が $2600 \text{ cm}^2/\text{g}$ である市販セメントを研究室スケールミルで4200、6150 $[\text{cm}^2/\text{g}]$ の2段階に仕上げ粉砕をした。その時得られた粒度分布と圧縮強度が Fig. 5 と Table 1 に示されている。このグラフより、凝集体の生成を示す均等数 n の減少と同じように、過粉砕の結果、強度が減少することがわかる。しかしそれにもかかわらず初期強度は比表面積とESF値をもって影響される。

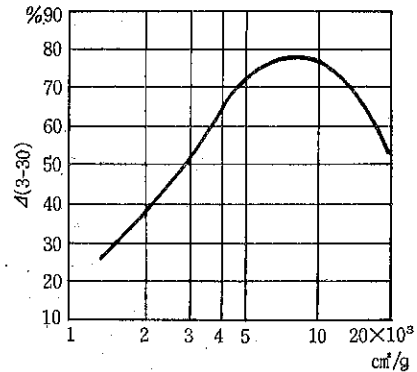


Fig. 4 比表面積とQC F値の関係

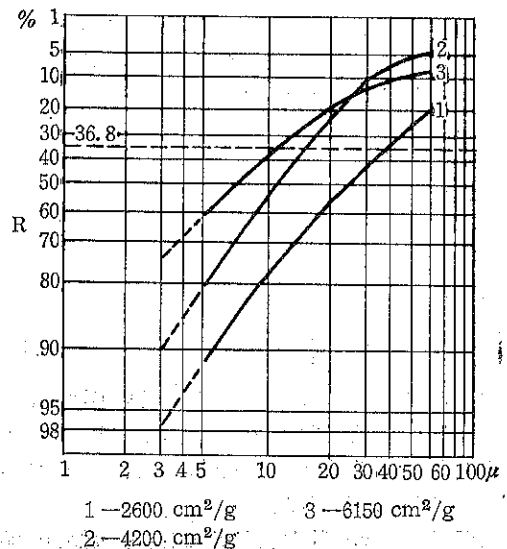


Fig. 5 市販セメントの仕上げ粉砕

Table 1 Institute If Z で研究されたセメントの性質

Blaine 表面積 cm ² /g	3-30 μ %	x ₀ μ	n	圧縮強度 kg/cm ²			
				1	2	7	28日
2600	51	38	1.05	78	173	276	387
4200	78	15	1.3	146	294	370	513
6150	65	10	0.7	257	329	367	414

これらの考察をまとめるにあたって、Venuat の考えを引用してみよう。彼の研究によると、1日あるいは2日強度については 5 μm~7 μm, 7日強度については 20 μm~25 μm, そして28日強度については 25 μm~30 μm の粒度区間の存在割合によって強い影響をうけ、そして 40 μm より大きい粒子については数年経過した後硬化に寄与するであろうと報告されている。

つぎに、セメントの粉砕技術における研究目標について述べる。すなわちそれは QCF の最大値に達することである。これに反して、粒度分布の自然な変化によって E S F の十分な量がいつも得られる。

2. 粉砕プロセスと粒度分布

我々はいろいろな粉砕プロセスで得られる粒度分布について研究しなければならない。

一般に知られているように、粉砕は、外見上は単純なプロセスでも、粉砕装置の特性ならびにフィードの特性に依存する多くのファクターによって影響される。よって、一般の効率式について時代をさかのぼって研究することは不可能であるが、それほど実用に際して複雑ではない。しかし、多くの研究者が立証しているように、工業的に使用できる近似的ではあるが2つのパラメーターだけをもつ粒度分布式を見つけることができる。

一般に使用されている分布式には次の3種類がある。

• Gaudin-Schuhmann 式

$$D = \left(\frac{x}{k} \right)^m \quad (2)$$

• Rosin-Rammler 式

$$R = 1 - D = e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (3)$$

• 対数正規分布式

$$D = \Phi \left[\ln \left(\frac{x}{d} \right) \right] \quad (4)$$

ここで、Dは粒径xの通過分、Rは粒径xの残留分、kとx₀とdは特性粒径を示す定数、mとnとpはそれぞれ分布の分散と関係する無次元数、そしてΦ(u)はGaussの誤差積分である。

3種類すべての関数は特別な座標系をもつ線図上で直線として表わされる。その座標系は、横座標がln xで、

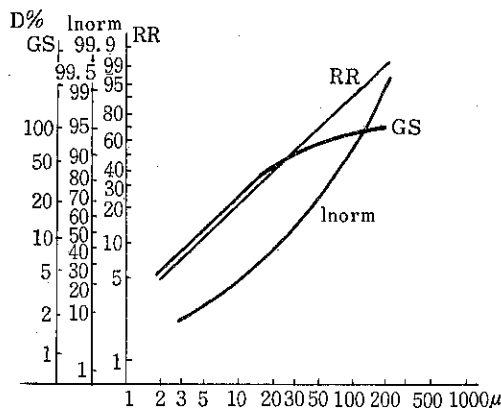


Fig. 6 Gaudin-Schumann, Rosin-Rammler それに対数正規のそれぞれの線図に示されたセメントの粒度分布

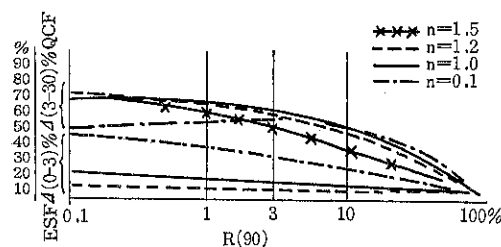


Fig. 7 R₍₉₀₎ と QCF 値と E S F 値との関係

縦座標はそれぞれ ln D, ln(ln 1/D), それに Φ(u) である。そして m と n と p はそれぞれ直線の傾きである。

数人の研究者による実験と同じように、我々自身の実験からも、セメント粉砕では Rosin-Rammler 分布式がもっともよい近似を与えるということがわかった。

普通セメントの粒度分布を3種の粒度分布式でプロットした Fig. 6 に注目してみよう。グラフより明らかに Rosin-Rammler 分布式のみが直線となっていることがわかる。

しかし次のような有名な公式でもって比表面積を計算するにあたって役に立つ式は一つもないということを強調することは重要であると思われる。

$$S = \frac{6}{\delta} \int_0^{\infty} \frac{D'(x)}{x} dx \quad (5)$$

以下に述べるように、重量基準による分布だけでもって解析することは好ましくない。ヨーロッパでは普通であるが、特性パラメーターとしては 90 μm オーバーサイズ R₍₉₀₎ を選び、それについてはグラフで以下に示す。QCF 値と E S F 値は、後に均等数として引用される Rosin-Rammler 分布式のパラメータ n によって主に影響される。

Fig. 7 には、QCF 値と ESF 値がいろいろな n に対して $R(90)$ の関数でもって示されている。開回路粉碎では普通であるが、3~10% 残分では、もし $n=1$ ならば、最適状態が得られる、そして普通その状態が実操業ミルでは目標とされている。しかし、もし超微粉化を目標としているなら、もっとも高い QCF 値はより大きい均等数で得られる。いわゆる $n=1.2$ である。

同様なことが Fig. 8 でも明らかである。このグラフでは横座標に均等数 n をとり、そして曲線は $R(90)$ の値をパラメータとして描かれている。Fig. 9 には、QCF 値が、いろいろな n に対して、表面積を考える時臨界値である ESF 値の関数として示されている。QCF 値は n の増加とともに増加する。いかえれば均等数が大きい場合表面積の比較的小さい早強セメントができると

いうことである。一方、表面積だけを大きくすることは不可能である。なぜならば、均等数が大きいということは、同じ粉碎時間において、大きい表面積の原因となる非常に細かい粒子が少ないということ意味するからである。

均等数の明確な特徴を確立するためには、次に、均等数の公式化について研究する必要がある。

Fig. 10 には、粉碎媒体として 20 mm ϕ のシルベップをもちい研究室スケールミルで普通の砂を粉碎した時の実験結果が示されている。直線の傾きは、粉碎初期では増加し、粉碎後期 (11~13 時間後) になると減少しはじめる。そして、23 時間粉碎すると、直線は粗粉粒子の方へ移っていく。Fig. 10 において右の方には、ふるい残分が粉碎時間の関数で示されている。Rittinger 則と

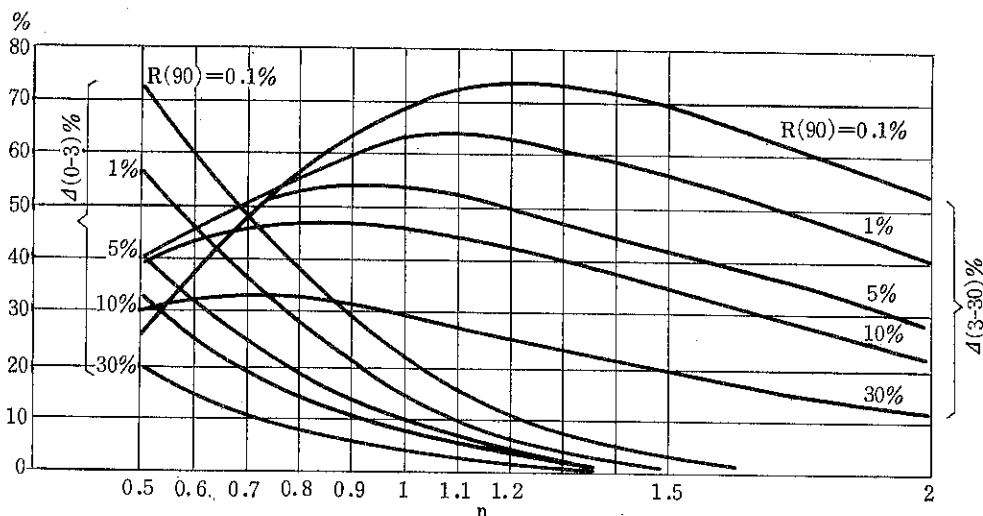


Fig. 8 n と QCF 値それに ESF 値の関係

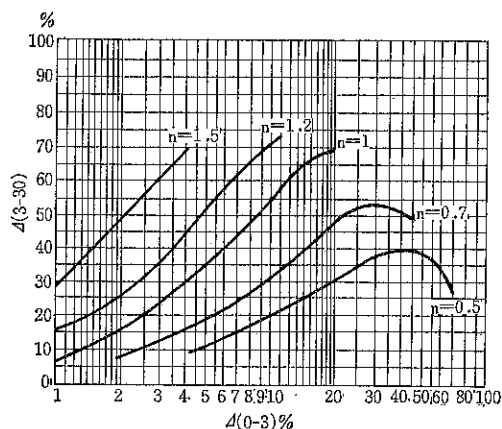


Fig. 9 ESF 値と QCF 値の関係

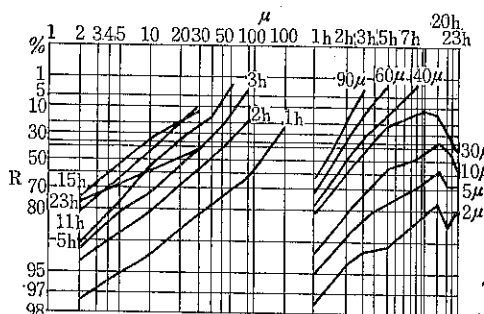


Fig. 10 実験室スケールミルでの砂の粉碎

Rosin-Rammler 則の両方の有効性を認めると理論的には直線となる。このような粉碎速度表示は、ソ連の科学者 Alyavdin-Tovarov による公式に基づいている。

$$\frac{R}{R_0} = -e^{-ct^n} \quad (6)$$

$\ln t$ を横座標にもつ Rosin-Rammler 線図をもちいると初期において直線となる。

我々は、日本の科学者である中条がまったく同じ形の式を導びいたことに注目すべきである。

Fig. 10 でわかるように、連続粉碎ではある値以上のエネルギーを加えると有害な影響をもつということがわかる。すなわち、粉碎がしだいに凝集へと移っていく。このことは、すべての微粉碎操作では好ましくないことである。Fig. 10 において左の方は、非常に重要である凝集化の開始点を示すグラフである、すなわち均等数の減少を表わしている。

凝集化という悪化影響の数値的な限界を明らかにするために、Papadakis はファクター A の導入を提案している。すなわち、このファクターは表面積増加の消失を表わしている。そして、そのことは Rittinger 則によるエネルギー入力に比例し、次式で示される。

$$A = 1 - e^{-bDd^m} \quad (7)$$

ここで、 b と m は定数、 D はミル径、 d は粉碎媒体径である。

著者の研究室スケールのミルと実操業スケールのミル両方をもちいて実験した我々の初期の研究によると、均等数は分数型の関数で表わされる。すなわち、分子が粉碎衝撃数で、そして分母が粉碎衝撃エネルギーである。

$$n = f\left(\frac{N}{D^2 G}\right) \quad (8)$$

ここで、 N は粉碎機内での粉碎媒体による衝撃回数である。P は定数であり約 2 である。

式(8)については Fig. 11 に示されている。式(7)と式(8)

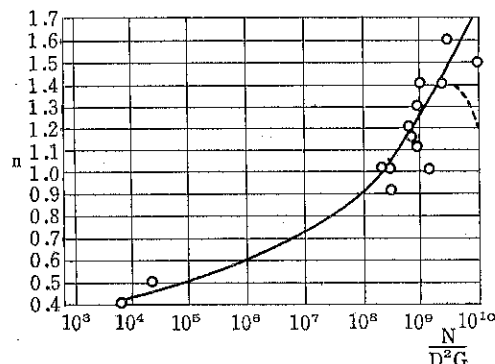


Fig. 11 $\frac{N}{D^2 G}$ と均等数の関係

は同じパラメータでもって関係づけられ、 Dd^m あるいは Dd^p は単一衝撃の粉碎エネルギー量である。それゆえ、過剰エネルギーは凝集化を促進することになる。経済的な粉碎は技術を必要とする。すなわち、不十分なエネルギーでは粉碎できないし、過剰エネルギーでは凝集化が起きる。よって本当に必要なエネルギーだけを作用させることはできないであろうか？ しかし、不幸にもこのことは、ほとんどのボールミルでは“No”である。

セメント工業で主要な装置であるボールミルでは、粉碎エネルギーは粉碎媒体の衝撃によって与えられる。粉碎媒体であるボールの大きさは Bond あるいは Bombléd による公式で決定される。

• Bond による式⁴⁾

$$d = \sqrt{\frac{x_{80}}{K}} \sqrt[3]{\frac{\delta W_i}{c_s \sqrt{D}}} \quad (9)$$

ここで、 d と D はインチの単位で表わされ、 x_{80} はミクロンの単位であらわされる。 W_i は Bond の仕事指数 (約13.5) $c_s = n/n_k$ [r.p.m. パーセント]、 δ は比重 (3.1) である。カッコ内の値はセメントクリンカーの場合である。なお K は乾式粉碎で粉碎媒体がスチールの場合335である。

• Bombléd による式⁵⁾

$$d = 93 \sqrt[3]{\frac{x_{80}^4}{B D}} \quad (10)$$

ここで、 x_{80} は80%ふるい下となる粒子径、 d は粉碎媒体径 (両方ともミリメートルの単位であらわす)、 D はミル径 [m]、 B は物質の grindability (50~100 [cm²/joule] の範囲) である。

他の文献によると、大きな粉碎媒体では grindability はもっと小さい値であると言われている。

Bond の式では $d^3 \sqrt{D}$ 、Bombléd では $d^3 D$ である。すなわちこのことは、Bond の式ではミル径の増大が大きな影響を与えないということを意味している。

実際には、次のような公式が広く使用されている。

$$c x_{80} = d^2 \quad (11)$$

すなわち、ミル径には無関係となる。ここで、 c の値はセメントクリンカーでは約625であるから、式(11)は

$$d = 25 \sqrt{x_{80}} \quad (11a)$$

となる。ここで、 d と x_{80} はミリメートルの単位で表わされる。粉碎媒体に対するこの経験式は、式(9)、式(10)よりもわずかに大きい値を与える。1例として、もし $D = 2$ [m] で、クリンカーのフィード径 x_{80} が10 [mm] であるとするとそのそれぞれの式から求めた粉碎媒体の大きさは次のようになる。

• Bond の式 55 [mm]

• Bombléd の式 50 [mm] ($B = 50 \text{ m}^2/\text{Joule}$)

・最後の経験式 80 [mm]

ミルの排出口における x_{80} を 0.03 [mm] としてそれぞれの式をもちいて粉砕媒体の大きさをもとめると、3, 5, 4 [mm] となる。

これらの大きさの粉砕媒体は、粒子を破壊するのに丁度十分なエネルギーをもつ大きさの限界を表わしている。すなわち、粉砕媒体の最小径である。普通の構造をもつミルでは、排出口に対して計算した粉砕媒体は使用できない。なぜならば、ダイヤフラムスロットの幅が 12 ~ 14 [mm] であるからである。

もし、粉砕媒体の大きさが計算値よりも大きいと、結果として何が起こるであろうか？ これは明らかに粉砕効率を悪くする凝集化が起きる。

我々の考えをまとめてみると次のようになる。粒度分布の標準偏差の小さいもの、すなわち同じ意味であるが均等数の大きいものは二重の有利性をもつ。なぜならば都合よい硬化プロセスを増進できるし、また同時に、凝集化も防ぐことができる。

均等数を大きくするには、次の 3 つの可能性が考えられる。

- 小径ミルの採用。
- 小径粉砕媒体の採用。(エネルギー的に考えて要求される最小値よりもわずかに大きいもの。)
- 粉砕時間の短縮。

a 項はミルの処理量を減少させる。b 項は明らかなように普通のダイヤフラムスロットでは実現不可能である。そして、C 項は超微粉化の可能性を阻止する。これらの矛盾を解決することが今日の粉砕技術の目標である。

凝集化を阻止したりあるいは遅らせたり、また超微粉を得るのに表面活性剤である粉砕助剤添加が欠くべからざる要素となってくることを挙げて言うべきである。しかし、ここでは、この粉砕助剤についてはふれないことにする。

3. 都合のよい粒度分布を得る方法

上で概要を述べたように、ミル径を減少させることは、現代の大容量処理ミルの場合をのぞけば理論的に可能である。

b 項すなわち粉砕媒体径の減少は実操業ミルでは不可能である。なぜならば、標準のダイヤフラムスロットを使用した時、最小粉砕媒体は 15 ~ 20 mm と限定される、これは $x_{80} = 0.36 \sim 0.64$ mm に相当し、セメント特性粒径より大きい、よって凝集化は避けがたい。このことは、今までのボールミルを開回路系で使用すれば、普通セメント以外のセメントを製造することができないとい

うことを意味していることになる。

最近導入された “mini-pebs” ミルにおいては、排出は特別な方法でおこなわれる。そして排出口では細長いみぞのついたダイヤフラムが取りはずされているので 4 ~ 8 mm の小さな粉砕媒体を使用することができる。この装置をもちいるとふるい残分を非常に小さくできる。

F. L. Smidth の好意によって、幸運にも我々は同じクリンカーでそして異なった粉砕機で粉砕された 2 種類のセメントを研究することができた。すなわち 1 つは閉回路粉砕、もう 1 つは “mini-pebs” ミルである (どちらも定常状態で運転されている)。粉砕されたセメントはどちらも同じ性質をもっている。すなわち、 $R_{(90)} = 0.2\%$, 0.02% , QCF 値は 76.1%, 75.7%, $n = 1.28$, 1.26 であり、強度値は測定誤差内である。(それぞれ最初の数字が閉回路粉砕の場合である)

均等数の正確な読みは測定にばらつきがあるから不可能である。よって以下に示す公式でもって計算した。

$$n = 1.282 / \sqrt{\sum \ln^2 x \Delta R - (\sum \ln x \Delta R)^2} \quad (12)$$

この式は著者が誘導したものである。

c 項すなわち粉砕時間の短縮とは、衝撃回数が少ないので、ほとんど粗い製品となる。しかし、もし閉回路系粉砕システムを使用するなら、製品の微粉部分は分離され、粗粉部分はミルへ再循環されるので凝集化は微粉を除くことでされ得る。この場合、粉砕生成物は分級機から得られる。よって前のようにミル排出口から直接には得られない。このことは明らかに粒度分布に影響を与える。すなわち、もはや Rosin-Rammler 分布には従わないであろう。そして、その粒度分布の形は、粒径の関数として粗粉を得る確率によって得られるトロンプ

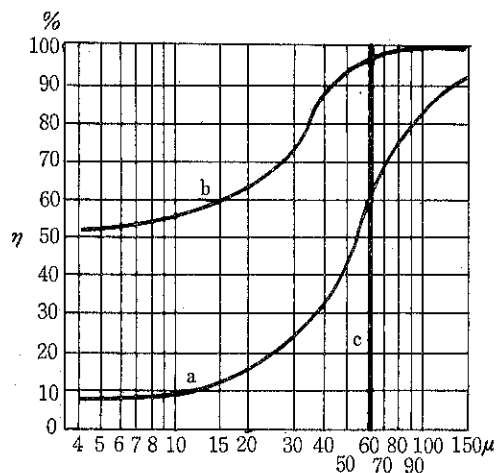


Fig. 12 エアーセパレーターのトロンプ曲線
(a : 低負荷, b : 高負荷, c : 完全分級)

曲線の形に依存するであろう。

Fig. 12 に、すぐれた分級機のトロンプ曲線が示されている。曲線 a はより小さい負荷を、曲線 b はより大きな負荷を、曲線 c は $60\mu\text{m}$ の理想分級をそれぞれ表わしている。

Fig. 13 には、計算された分級製品の粒度分布がプロットされている。粉碎生成物は $n=1$, $R_{(90)}=30\%$ をもって特徴づけられている。すなわち、凝集化のおきる

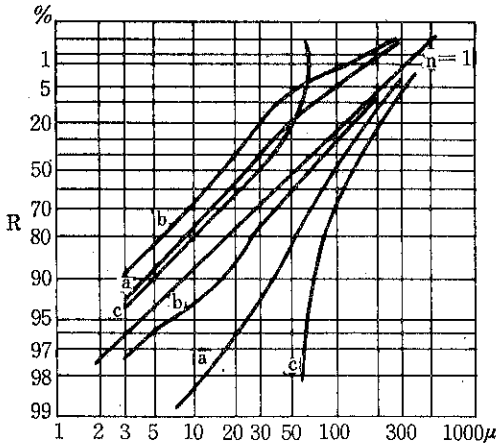


Fig. 13 $n=1$, $R_{(90)}=30\%$ での粉碎製品
(a, b, c は Fig. 12 でのトロンプ曲線である)

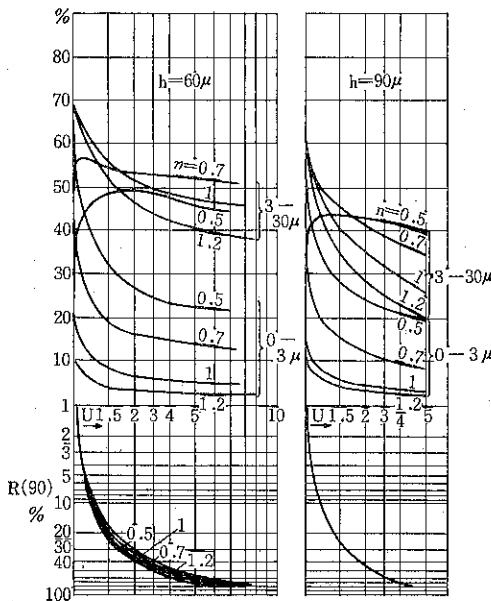


Fig. 14 $R_{(90)}$ の関数での循環係数(U), QCF, ESFの関係
(60μ と 90μ での完全分級の場合)

範囲をさけるように粉碎され、Fig. 12 で示される曲線 a, b, c を調節することでもって分級される。

分級曲線 a をもちいと

$$n=1.01, \text{QCF}=51\%, \text{ESF}=8\%$$

そして、分級曲線 b によると

$$n=1.10, \text{QCF}=75\%, \text{ESF}=12\%,$$

となる。

分級曲線はもはや直線でなくなり、均等数は対数標準偏差の逆数として式(2)でもって計算される。

分級によって均等数が大きくなり、QCF は好ましい値とならないのは明らかである。

次に、好ましい QCF 値になるような分級の効果について調べてみよう。

Fig. 14 において、分級機供給量と分級製品量との比である循環比 (U) が、分級機供給量中の $R_{(90)}$ の関数で示されている。すなわち、分級機供給量とさらに QCF 値と ESF 値が U の関数で示されるということである。完全分級は Fig. 12 での直線 C のように仮定される。ここで意外なことに完全分級プロセスでは早強セメントとしての十分な QCF 値にならないということである。

これに反して、Fig. 12 での a と b で表わされる実際の分級プロセスをもちいと大変よい結果が得られる。もっとも分級の不完全な b では非常によい結果が得られた。(Fig. 15). 価格はもちろん循環負荷の増加とそれ

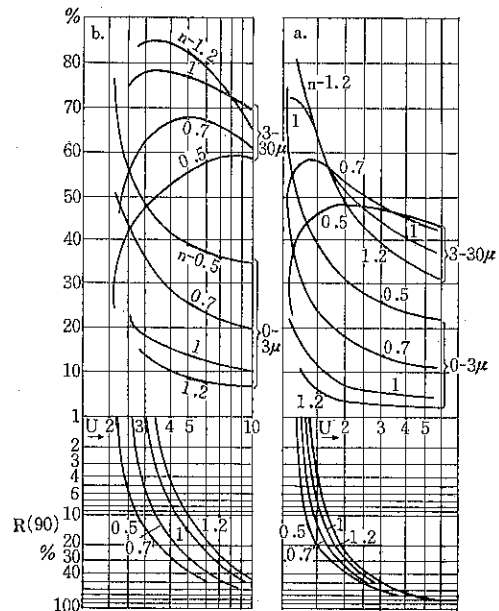


Fig. 15 $R_{(90)}$ の関数での循環係数(U), QCF, ESFの関係
(Fig. 12 で示されるトロンプ曲線 a, b の場合)

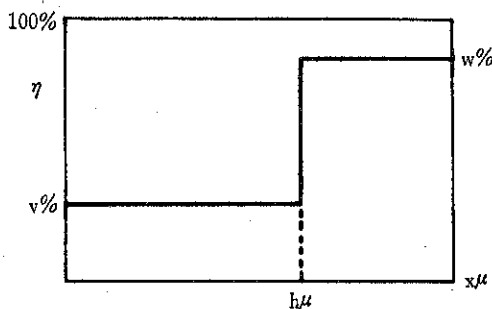


Fig. 16 直線で近似されたトロンプ曲線のシミュレーション

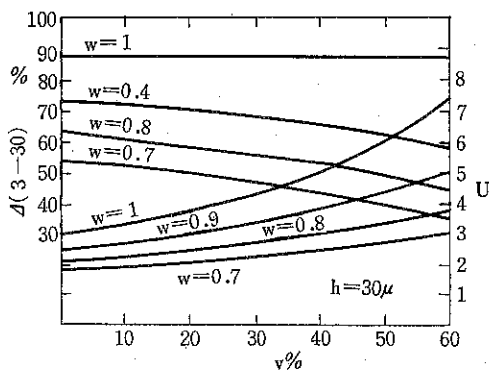


Fig. 17 QCF値と循環係数
(Fig. 16 で示されるトロンプ曲線の場合)

にともなうエネルギー消費による。

この興味ある結果を説明するために、Fig. 16 で表わされるようなステップ状のトロンプ曲線をシミュレートする。ここで、 h を仮の分級限界（分離径）、 v を微粉中の分級量、そして w を粗粉側の分級量と定義する。Fig. 17 は分級効果を示している。すなわち QCF 値はまったく w のみで決定される、粗粉域での分級効率である、 v は循環比に直接影響を与える。分離径は、Fig. 12 での曲線 b のように $h = 30 \mu\text{m}$ 近くにちがいない。

一般的な結論は Fig. 12 と Fig. 15 でもって立証される。粗粒子を分級する方が微粉子を分級するより簡単である。このことは分級を考える時非常に重要なことである。

微粉粒子の再循環は系の循環負荷を増加させる。すなわち、設備の能力を減少させると同時に分級機への大きい負荷は分級性能を悪くすることになる。以上のことは、循環比を大きくしたからであり、その結果幾分高いエネルギー消費となる。

ここで再び均等数の役割が強調される。すなわち、小さい n は循環負荷を小さくすることができるので、エネ

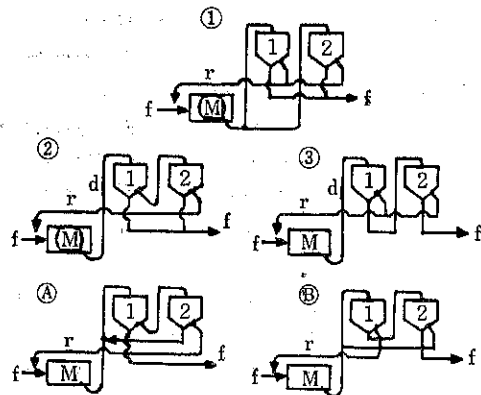


Fig. 18 2つの分級機の組合せについて

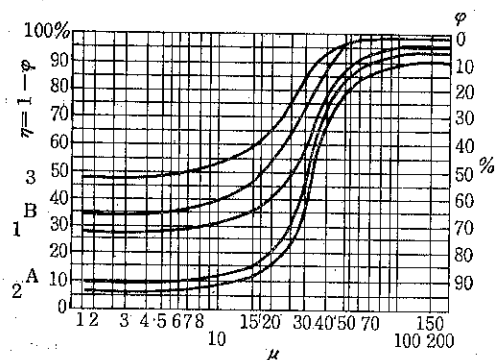


Fig. 19 Fig. 18 で示される分級機の組合せのトロンプ曲線について

ルギー消費を改善することができる。均等数が小さいことは、粒度分布の観点から不利であるが、しかし循環負荷すなわちエネルギー消費の観点からは有利である。しかしながらこのエネルギー消費はそれほど大きくない。

循環負荷をできるだけ大きくすること、すなわち、ミル内の滞留量を大きくするには、大きな空隙体積をもつボール充填を採用することである。

粉砕プロセスに大きく影響を与えるトロンプ曲線の形は、普通並列にならべられた2つの分級機のいろいろなレイアウトによって左右され得る。分級機はシリーズにレイアウトされ、2番目の分級機で分離された微粉あるいは粗粉部分が1番目の分級機にもどされることさえある、そして、レイアウトとして考えられる例が Fig. 18 に示され、その結果得られたトロンプ曲線については Fig. 19 に示す。

グラフより明らかのようにレイアウト2の排出量が一番大きい。レイアウト3は早強セメント製造に適しているし、レイアウトBではもっとも経済的なものが得られる。なお、ここでの計算はマトリックス手法によってお

こなったものである。このような分級装置がセメント粉碎では現在のところ普通である。また、石灰石粉碎にはレイアウト2がしばしば適用される。

Fig. 12 で示されるトロンプ曲線は高性能分級機のものである。普通の分級機のトロンプ曲線は微粉域で幾分上方へ曲がる、このことは微粉粒子をむだに再循環していることになり、循環負荷を大きくし、好ましくないQCF値となるであろう。

我々の考えをまとめるにあたって、エネルギー消費についての結論を引き合いに出す必要がある。いろいろなそしてある程度の矛盾を考慮しなければ、一般に有効性ある定理を確立することはできない。

以下に述べるように、Fig. 15 に示されている内容について調べるべきである。グラフは $n=1$ と $n=0.7$ についてであり、そして閉回路操作と比較している。また、セメントの品質の比較も含んで、比エネルギー消費がもっとも実際の粒径区間の割合QCF値と関係づけられるであろう。

比較のベースとして $n=1$, $R_{(90)}=8\%$, プレーン表面積約 $2800\sim 3000\text{ cm}^2/\text{g}$, そして $QCF=49\%$ の場合約 35 kWh/t のエネルギーを必要であるとした。

Fig. 20 に、閉回路粉碎でのQCF値が $R_{(90)}$ の関数で示されている。そして比エネルギー消費量がQCF値と循環比 U とで関係づけられている(s と定義され単位は kWh/t である)。なお、数値は分級前の粉碎生成物の均等数 $n=1$ と $n=0.7$ に対してのものである。比較として、開回路粉碎でのQCF値と s 値が示されている($n=1$)。

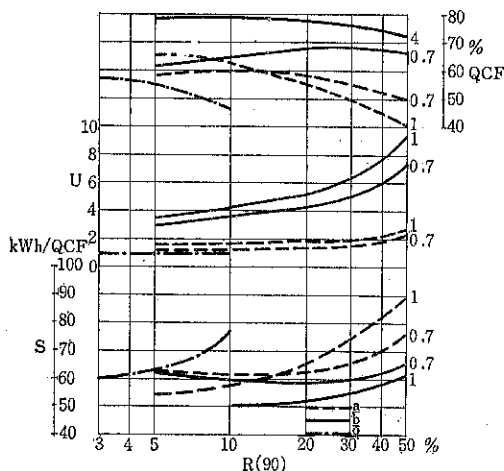


Fig. 20 未分級粉碎生成物の 90μ ふり上と循環比; QCFそれに S との関係について (aとBはFig. 12と同じ, cは開回路の場合)

閉回路粉碎プロセスでは次のような2つのエネルギーを必要とする、すなわち、1つは粉碎に必要なエネルギーであり、製品量あるいは循環負荷によって変化しないように保たれている。そしてもう1つは再循環に必要なエネルギーである。製品量はまた細かさを変化させても一定となるように保たれ、そして循環負荷でもって調整される。再循環するのに必要なエネルギーは次のような2つの部分からなっている。それは空運転に必要なエネルギーと循環比を大きくすることによって増加するエネルギーである。簡単化のため現象をゆがめることなく、我々は循環負荷に関して 1 kWh/t で計算しなければならない。そしてそれは $U\text{ kWh/製品量 (t)}$ に相当する。経験によると、粉体の沈降に必要なエネルギーを除いているこの単純化は十分に実際の値に達し得る。

ここで、閉回路粉碎プロセス特有なエネルギー消費は次式でもって計算できる。

$$s = \frac{35 + U}{QCF} \quad [\text{kWh/t}] \quad (13)$$

開回路粉碎操作でも、粉碎機に必要なエネルギーは一定に保たれている。しかし、製品量は微粉量を増加させるにしたがって減少する。ここで、Tovarovによって導びかれた変換公式を適用できる、その式はRittinger則とRosin-Rammler則の有効性にもとづいている。すなわち

$$q = \frac{1}{n \sqrt{\log R_0/R}} \quad (14)$$

ここで、 $n=1$, $R_0=100\%$ とすると

$$q = \frac{1}{\log 100/R} \quad (14a)$$

ここで、 R_0 と R はフィードおよび製品のふるい上残分である、 q は任意のふるい目開において $R=10\%$ と関係づけられる製品量である。この場合 q は1に等しい。

開回路粉碎プロセス特有なエネルギー消費は、再び、QCF値と上のように仮定されているものと関係づけられる。 90μ ふるい上残分 8% での比エネルギー消費量は 35 kWh/t となる。

$$s = \frac{35}{QCF} \cdot \frac{q_R}{q_g} \quad (15)$$

Fig. 21に、閉回路と開回路との比較が示されている。グラフには、循環比(U)と特性エネルギー消費量(s)がQCF値の関数で示されている。

早強セメント製造では、閉回路にすることによって、エネルギーが節約できることは明らかであり、数値的にはトロンプ曲線の形に關係する。

開回路粉碎では、限界は $QCF=65\%$ まで広げられる。粉碎生成物の粒度は、普通の構造をもつ粉碎機では

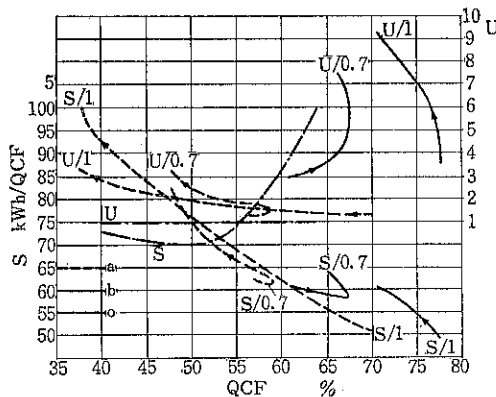


Fig. 21 QCFの関数で定義されるSとUの関係
(記号a, b, 0はFig. 20と同じ)

目標粒度に達しない。しかし、前述の“mini-pebs”ミルでは、多くの工場で報告されているように、望ましいエネルギー消費量でもって早強セメントを製造できる。

品質のよいセメントを製造する場合、なぜ閉回路粉砕の方が開回路粉砕よりも効率がよいのかを説明する必要がある。

開回路粉砕プロセスでは、製品量を減少させることで微粉化できるが、しかし閉回路粉砕プロセスでは、製品量が一定に保たれていて、微粉化は適度な分級と循環負荷とで調節される。よって、循環システム（分級と輸送）の十分な能力とミル内の高い通過性が必要となる。循環負荷の大きい通過量にするには、空隙体積の大きい粉砕媒体を充填しなければならないし、幅の広いダイヤフラムスロットそれに分級機ライニング等を必要とする。このプロセスは異なった結果となった。そしてセメント硬化において好ましい粒度分布とは、ESF値が必要以上でないことを意味する。たとえば、60%のQCF値が開回路粉砕では12%満し、トロンプ曲線がaである閉回路粉砕では8%だけ満すこととなる。

しかし、開回路粉砕で“mini-pebs”をもちいるとなぜ好ましい結果が得られるのか？非常に軽い粉砕媒体の使用で凝集化をさせることができるが、しかし上で述べたことを否定するには十分ではない。しかし、非常に大きな表面積をもつ粉砕媒体を多く充填することで有効粉砕衝突効率を増加させることができ、通例の粉砕法則にもとづく規則性を変えることができる。数値的には“mini-pebs”をもちいた粉砕では50%の比表面積増加が達せられる。粉砕媒体の表面積(20mmと6mmシルベップと比較して)は20:6=3.3増加するし、同体積中のシルベップの数を増加させる。そしてたぶん $3.3^3=37$

倍衝突数が増加する。しかし、著者は個人的に“mini-pebs”をもちいての粉砕実験の経験はない。

普通セメントの場合で、特にFig. 20とFig. 21で示されるような製品量が少ないのなら、もっと簡単な開回路プロセスが優先されるであろう。

4. 結 論

我々の研究と文献による考察とから、次のような結論が得られた。

1. セメントの硬化特性において、QCF値で表わされる $3\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ 区間に存在する粒子割合が決定的な役割をする。
2. 実際の計算では、粒度分布はRosin-Rammler則によく一致する。我々がもとめたものすべては、この法則にもとづいている。
3. 普通のミル構造で、QCF値をすくなくとも70%にするには、閉回路粉砕システムが必要である。
4. 閉回路粉砕操作の効率というものは、ほとんど分級機のトロンプ曲線の形によって決まる。
5. トロンプ曲線の $30\mu\text{m}$ 以上の粗粉域は、QCF値が大きいということで100%に近づかなければならぬ。
6. 高品質セメント粉砕で消費エネルギーを節約するのにもっともよい方法は、上で指摘したように、エアークセパレーターをそなえた閉回路粉砕操作にすることである。
7. 普通セメントは効率のよい開回路粉砕プロセスで製造できる。
8. また、閉回路粉砕で効率よく高品質セメントを製造するには、非常に軽い粉砕媒体をもちいる新しい方法がある。
9. 表面活性剤である粉砕助剤をもちいて粉砕効率を高める方法があるが、この報告では、この問題については省略する。

引 用 文 献

1. Ivanoff-Gorodoff, A. N.: Institute for Scientific Informations in Building Industry. Moscow (1960).
2. Venuat, M.: Revue des Matériaux de Construction 550-553 (1961).
3. Papadakis, M.: Revues des Matériaux de Construction 295 (1960).
4. Bond, F. C.: Mining Engineering 592 (1958).
5. Bombled, J. P.: Dechema Monographien 57 633 (1967).
6. Cleemann, J.: Zement-Kalk-Gips 25 63 (1972).

粒 度, 粒 径, 粒 子 径

Particle, Size or Diameter

沢 島 恭*

Yasushi Sawahata

ある会合の席上「粒度分布という言葉はちょっとおかしいのではないか」という意見が出た。

粒子の大きさを適当な方法で測定して、相当直径とか等価直径あるいは有効直径などの一次元的寸法、すなわち粒子径として表わすならば、さまざまな大きさの粒子がいろいろな割合でまざり合って構成する一団の粉体粒子群には、最大粒子径から最小粒子径までの範囲で粒子径に分布がある訳で、この場合、粒子径分布とか粒径分布とかの言葉は確かに妥当なものとなろう。この粒子径は英訳して particle diameter, 逆の和訳も粒子径で異存はない。

これに対して、粒度という言葉は英語の particle size と対応されるだろう。size には寸法という意味があるのだから粒度は粒子の寸法を表わしてはいるのだが、その寸法が直径という言葉ほど明確ではない。粒子の寸法を、先の一次元的寸法としての相当径や等価径あるいは有効径といった意味にとれば、これに分布があって粒度分布という言葉を使って問題はないことになるが、この size と称される寸法や大きさの中に、比表面積や分布の代表値あるいは平均値としての各種の平均粒子径を含めたとすると、一群の粒子集団にとってそれらの値はそれぞれの定義によって一つの値に限定されるから、粒度分布という言葉は妥当性を失なうことになる。だから、分布というなら粒子径をかぶせ、粒度と称するならば分布をはずした方がよいのではないかということに、その場の大方の意見は要約されたように覚えている。

しかし、直径 diameter の方に平均径 mean diameter があるように、size の方にも mean size という用法があって、これを平均粒度とするならば、単なる粒度は粒子の大きさとして粒子径に対応することになり、粒度分

布という言葉が使われてもおかしくはないことになる。

事実、JIS Z 2500 粉末冶金用語の規格でいう粒度とは「フルイ又は他の適当な方法で決定された個々の粉末粒子の大きさ」と規定されており、個々の粒子の大きさである以上はそれらの集団においては大きさの分布すなわち粒度分布があつて良いことになり、その規格では「試料粉末の分級物の重量または個数の百分率で示す粒度」すなわち「粒度にしたがつて粉末をある階級に分けること」によってえられた階級別の割合を粒度分布と称しており、粒子径の分布と全く同義として差支えないことになる。

JIS でも別の規格、たとえば Z 8901 試験用ダストでは粒径および粒径分布が本体冒頭の用語の意味の項で定義され、粒径はフルイ目の開きもしくは沈降法によるストークス径で、いずれもマイクロメートル (μm) で表わし、粒径分布は粒子群を構成する粒子の粒径に対応する分布として、度数 f あるいは残留率 R もしくは通過率 D などで表わすこととし、この定義にしたがつて本体および解説が通して記述されている。

JIS にして粒径分布と粒度分布があるからには、一般の書物で両方が現われて来るのは当然至極、定評ある専門成書にしてからが、粒子径分布の大見出しの次にゴシックの小見出しで粒度分布曲線が出てきて、顕微鏡計測の結果としてえられた粒子径とそれに対応する粒子個数の総括表を粒子径分布、それを頻度および積算量として図面化したものを粒度分布曲線と記している。これはきつと、粒子径や粒度の定義以前に慣用された一つのまとまった言葉として粒子径分布や粒度分布曲線というものがあつたものと解釈され、それならばそれなりに良ろしかりうと思われる。

粒子の大きさを表わす言葉としては、相当径や有効径といった定義の明確なものを使って粒子径とした方が、確かにすっきりはしている。それに対して、粒度という言葉はその“度”の意味を size とせず、どあいとかほど

* 富山大学工学部化学工学科
(〒933 高岡市中川園町 1-1)
Tel. (0766) 21-2510 (代)

の意味の degree に拡張しても通用する言葉とも受けとめられる。分散度や凝集度といった粒子集団のもつ二次的特性の度合いはさておいて、たとえば粒子の形状という一次特性に関して粒度を粒子であることの特性の度合いとしてみるならば、Heywood の長短度や偏平度をはじめ Wadell の円摩度や球形度、さらには体積形状係数や面積形状係数から Carman の表面係数まで粒子の形状の度合、球形からの偏倚の度合いとしての粒度と呼んでも差支えあるまいという拡大論も、必ずしも失当とはいえないことになり、それらの形状特性が粒子個々について計測されることから、粒子群ではそれらの分布すなわち粒度分布があつて当然ということになる。もしもこうした拡大解釈に抵抗があるとするならば、それは、これまでにそういう意味で使つてなかったとか、そうした内容を包含させていなかったからということが一番最初の反論として出てきそうである。なじみがなかったからということでもあろうか。

こうした問題を取り上げてつづけばつづく程甲論乙ばくが生じて早急なまとまりがつきそうになくなり、何となく従来の慣習通りになると、どこかの大学の教授会の結論のようにあいまいな結果になるのがオチかも知れない。そうでなくても、これらの言葉がこれまで比較的丈夫で長持ちしてきたものだけに、これからを考えて良いものを作つてゆくのにそれ程せっかちになる必要もあるまいという意見もあることだろう。確かに、江戸時代に作られた顕微鏡なる言葉や、寅彦先生が記述された物質の第4の状態としての粉体という言葉など、学ぶべき先例はいくらでもあるに違いない。

こんなことを考えているうちに、粒径と粒子径も違う面があるのではないかという気になった。この場合、粒は大きく粒子は小さいと考えれば、粒径として表わされる数値は粒子径のそれより大きなものとなり、また、大は小を兼ねるという考え方から粒径と粒子径とを合わせて粒径と呼ぶことにすれば、粒子径分布は粒径分布でまかなうことができることになる。

確かに粒は粒子より大きい筈である。漱石の三四郎にも出てくるように雲は氷の particle (小片) からできており、我々の日常いうところの粒子である。物理学の世界の particle は素粒子のことと、もっともっと小さくなる。どうやら粉屋の世界では、大きな粒の子供として

生成した小片として粒子が考えられていると見るのが妥当であろう。ここに薬剤粉体があつたとして、その大きさは粒子径であるが、これが圧密成形されて円形錠剤となつた時には、その大きさは粒径であつても粒子径とはいわなくなる。そして英訳されれば pellet や tablet の diameter や size となり、決して particle diameter や size とはいわれない筈である。砂粒や麦粒とセメントや小麦粉とでは、その大きさの表現が粒径と粒子径とに分けられていてもいっこうにおかしきはなく、むしろ使い分けることが時によっては重要なことになりそうである。中ピ連の攻撃が、すねに傷をもつ誰かさんに大きなダメージを与えるのも、それが pellet (小弾丸) ではなくて pill (砲弾) であるからだというのは冗談としても、大小の区別はやはり大切であろう。しかし、細かい粒や粗い粒子といわなければならない場合が多い現実の世界が問題をややこしくしている源の一つでもあろうか。

百聞は一見にしかざるがごとく、目は口ほどに物をいう。元来、言葉などというものは、ことに日本の言葉というものはあいまいにでき上がつているものなんだし、第一、言語学者でも文学者でもない素人供がそんなことをいってみたつてはじまるものでもあるまいなどと、いわれることは覚悟の上、我々の世界で、我々の日常の仕事とその内容を的確明快に表現して誤解を生じないようにするためには、その世界の住人一人一人が言葉を大切にしてくることが必要であろう。御先祖様から受けつぎ語りついできた日本語の中の、粉体工学の世界における標準的な言葉の選択と定義づけは大事なことはあるが、また一朝一夕ではできない仕事でもある。差当たつては、一人一人の中で、1冊の書物の中で、粒度でも粒径でも粒子径でも、それがそれなりに統一されて使われているならば良しとする以外はあるまいであろうし、事実これまでに、それが原因で大論争やひどい誤解が生じたということもなく、人々それぞれお互に理解し合つてきたことなのだから、あわてることはないのかも知れない。

ゆっくり時間をかけるのは、単に今夜の食事だけではなさそうである。

(粉体工学研究会用語専門委員会世話人)

新製品紹介

粉体流量制御における“フロースタ”の性能

横山 藤平* 浦山 清*
Tōhei Yokoyama Kiyoshi Urayama

1. はしがき

従来、粉粒体の供給装置には数多くの種類があり、夫々の用途に応じて最適の機種が用いられているが、粉体供給に当って先づ第一に要求されるのは、取扱う材料の連続均一な流れ、すなわち定量性の問題であろう。

しかし、供給機にはその構造上、また取扱う材料の複雑な性質や、使用条件などにより、その定量性の度合には大きな巾があり、液、気体のような均一な流れを求めることはむずかしい問題である。また供給機自体は積極的に流量をコントロールしようとする機構は持っていないのが普通である。

昭和36年に当社において開発された「フロートロン」は、シンプルな構造の粉粒体供給装置として、現在広い

分野で使用されているが、取扱う粉体の性状によっては定量性を十分に満足することはできなかった。

今回、当社でこの「フロートロン」の特長であるところの振動円板周辺から粉粒体が流出するという独得の機構を利用して、これに瞬間流量の検出部を一体化して組込むことにより、積極的に流量の自動制御を行い、同時に指示、記録ができるようにしたコンパクトな定量供給装置を開発した。

これを「フロースタ」と名付けて商品化することになったので、ここに概要を説明する。

2. フロートロンの供給特性と使い方

「フロースタ」の説明の前に先づ電磁振動式粉粒体供給装置「フロートロン」の特性についてのべる。

その構造は Photo 1 に示すようにホッパーに直結される内筒があり、これに同心的に振動円板が設けられており、これの上に安息角をもって静止する粉体は円板の振動によって流動状態となりホッパー中の粉体の圧力と重力により流出するものであり、最もシンプルな構造のものである。振動円板は中心を軸として斜め上下の振動をし、このため粉体は円板上を巡回する状態で円板周辺より落下する。円板は半波整流された脈流によって電磁振動し、電圧の変化によって振巾をかえることにより流出量が調節できる。また円筒下端と円板との間隔も外部から調節することができ、これも流量を変える要素である。

供給（排出）能力〔C〕（重量/時間）と電圧〔V〕の関係は Fig. 1 にその数例を示したが、取扱う粉粒体の性状によって大きく異なることが分る。これは円板上における流動の形態が材料によって異なるためである。これについては後に説明する。

一般的には粒度の比較的大きい粒の揃った粒状材料では $C \propto V^{1 \sim 2}$ となり定量性も良好で $\pm 2 \sim 3$ % の範囲で供給できるが、数 100 メッシュ程度の微粉では $C \propto V^{3 \sim 5}$ 位となり、1 分間のサンプリングで $\pm 5 \sim 10$ % のばらつきが起ることがある。またフラッシングし易い微粉では

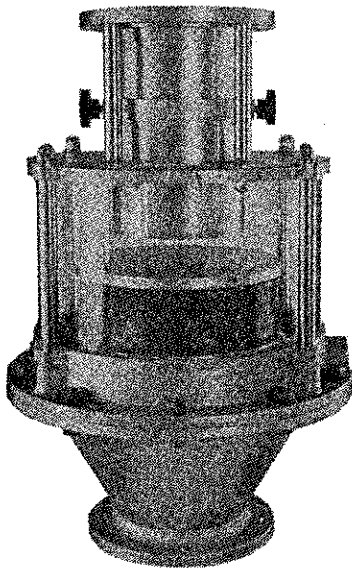


Photo. 1 「フロートロン」本体

* 細川粉体工学研究所
(〒573 枚方市招提田近 1-9)
Tel (0720) 57-3721

Table 1 各種粉粒体の標準排出能力

粉体名	粒度	見掛比重 (g/cc)	付着 凝集性	架橋 現象	安息 角 (度)	電圧 指数 (α)	標準排出量 at $\ell=25$ mm $V=100V$	ℓ の 使用 限度	誤差の 程度 (%)	備 考	グループ
ポリエチレン ペレット	4mm円柱状	0.48~ 0.55	なし	なし	35	0.87	kg/h 1700	mm 30	$\pm 2\%$	球形でころがる ため ℓ をあまり 大きくできない	A
"	4mm球状	0.60~ 0.64	"	"	30	1.64	$\ell=20$ mm 3800	20	3		
米	5×3×2mm	0.86~ 0.92	"	"	36.5	1.8	3800	30	3		
P. V. A	100M 98P 200M 23P	0.31~ 0.37	"	"	72	2.4	190	25	6	$\ell=20$ mmの場 合100V以上で は flashing $\ell=15$ mmの場 合100V以上で は flashing 60Vでは誤差 20~30%になる	B
タルク	4~6M 不定形	1.49~ 1.69	"	"	47	2.8	4400	30	10		
ポリエチレン パウダー	40~80M	0.33~ 0.39	"	"	54	3.0	650	30	3		
消石灰 $Ca(OH)_2$	100M 94P 200M 88.5P 300M 34P	0.59~ 0.64	"	"	31	3.0	$\ell=20$ mm 70	20	5		
デキストリン	200M.A.P.	0.80~ 0.85	"	"	45	3.7	$\ell=10$ mm 110	15	5		
タルク	6M.A.P. 100M 29P	1.23~ 1.41	"	"	45	3.8	3000	30	100V 4		
$CaCO_3$	40M.A.P. 300M 17P	1.51~ 1.64	"	"	45	4.0	850	25	8		
硅砂	80M.A.P. 100M 95P 200M 33P	1.11~ 1.44	"	"	40	4.1	1400	25	5		
タルク	5~10mm 不定形	1.47~ 1.59	"	"	32	4.2	2500	30	4		
$CaCO_3$	10~40M 不定形	1.56~ 1.68	"	"	38	4.4	4000	30	8		
"	2~8mm 不定形	1.47~ 1.62	"	"	35	4.5	4000	30	10		
硅砂	325M 91P	1.05~ 1.13	"	"	44	4.5	1000	25	5		
硫酸カリ	100M.A.P. 200M 57P 300M 25P	1.27~ 1.45	"	"	38	4.8	$\ell=20$ mm 550	20	9	60V $\ell=16$ mm の場合誤差 10% 程度	C
ジルコン サンド	80~200M	2.73~ 2.88	"	"	28	4.85	9000	25	3		
タルク	300 M.A.P.	0.50~ 0.56	あり	あり	45	6.1	2000	25	10		
酸化鉄	100M 92P 325M 35P	0.71~ 0.82	"	"	38	6.9	200	25	15		
酸化チタン	1 μ 以下 凝集体	0.72~ 0.79	甚だし い	顕著	42	7.0	1000	25	40		
$CaCO_3$	300 M.A.P.	0.74~ 0.95	あり	あり	60	8.5	4300	25	9		
セメント	200M 90P	1.13~ 1.5	"	顕著	40	11.5	$\ell=15$ mm 120	25	30		
ジルコン サンド	300M 85P	1.94~ 2.16	"	"	45	12.0	4000	25	20	60V $\ell=15$ mmの場合誤差 13%位	
$CaCO_3$	300M 70P	1.26~ 1.43	"	"	37	13.0	3000	25	6		

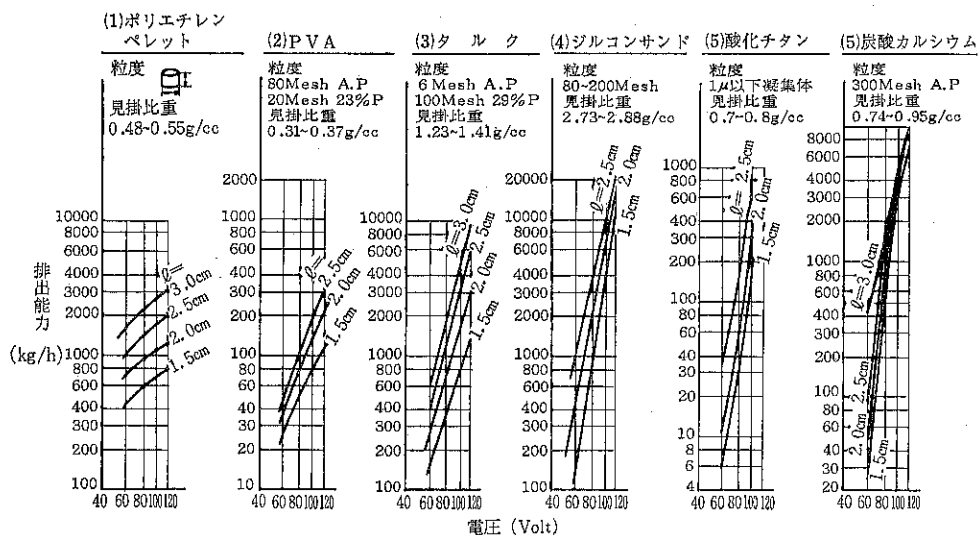


Fig. 1 排出能力と電圧の関係

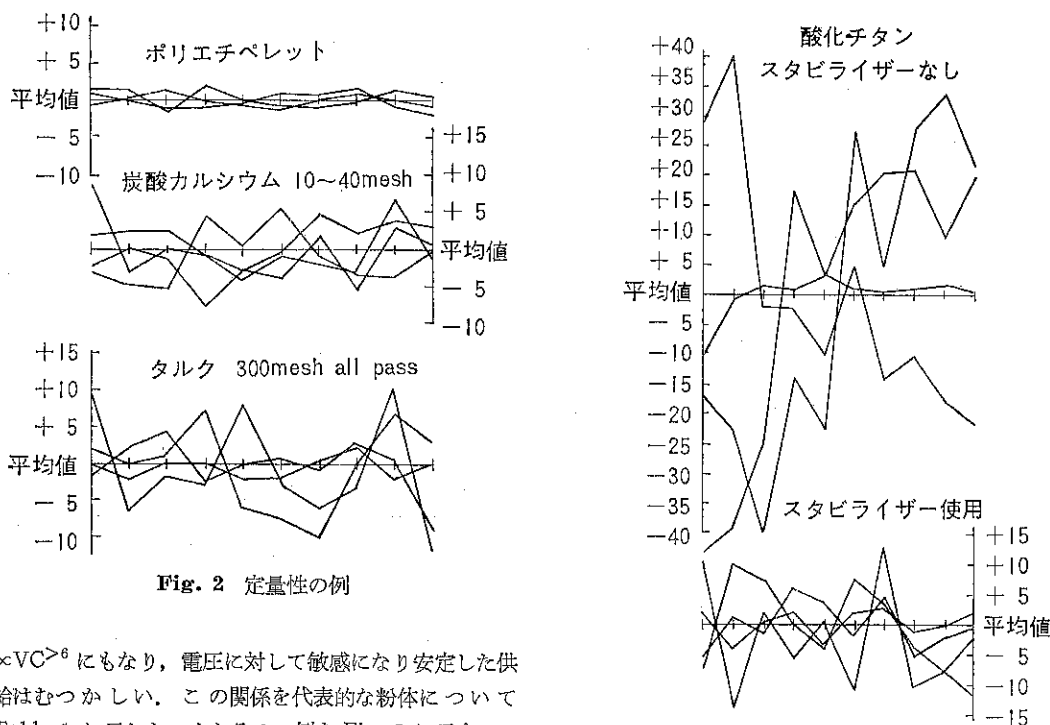


Fig. 2 定量性の例

Fig. 3 フィードスタビライザーによる定量性の向上

$\propto VC^{>6}$ にもなり、電圧に対して敏感になり安定した供給はむづかしい。この関係を代表的な粉体について Table 1 に示した。またその一例を Fig. 2 に示す。

一般的に供給操作においては、取扱う粉体の架橋現象またフラッシングは定量性を悪化する最大の原因であり特に構造の簡単なフロートロンではこの影響を直接受け易いが、これを改善する方法としてブリッジブレイカーの使用やフィードスタビライザーが考案されており、これの併用によって定量性をかなり向上させることができる。フィードスタビライザーの効果例を Fig. 3 に示す。

フロートロンは構造の固定した装置ではなく、シンプルな機構だけに、千差万別の材料に対して振動板と内筒についてそれに合った色々の工夫ができ、これがまたフロートロンの一つの大きな特長である。この数例を Fig. 4 に示す。

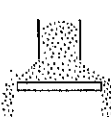
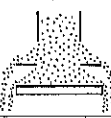
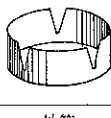
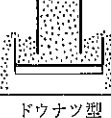
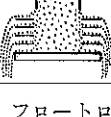
原 型			
能 力 増 大			
微 量 供 給			
フラッシング防 止			
定量性 向 上			

Fig. 4 フロートロンの各種アクセサリー

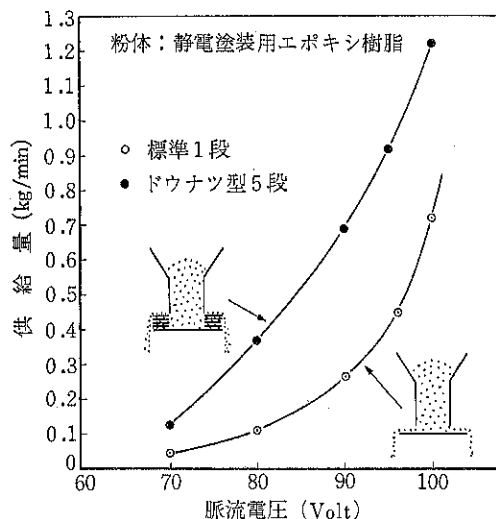


Fig. 5 ドーナツ板の効果

数年前、粉末塗装機用の供給機としてフロートロンの連続供給性、瞬時停止のできること、調節の容易なこと等のメリットが買われてその採用が積極的に検討されたが、その際定量性の向上対策としてドーナツ状円板を数枚振動円板上に固定する方法が考案された。これは排出間隙の上方にある微粉体が流出の際、自由流動すること

を防ぎ、円板の振動によって強制的に流出するようにしたものであり、この方法によって微粉体の定量性を大きく改善することができた。ドーナツ板を使用した場合の効果を流量対電圧曲線で示したのが Fig. 5 である。

現在、この型フロートロンは微粉用の標準型として広く使用されている。

3. 「フローマスタ」の原理と構造

従来、粉体流量の連続瞬間値測定法としては、ベルト上の粉体の荷重を測る方法や、傾斜板の受ける衝撃力を測る方法（インパクトライン）、コリオリの力を利用したマソメーター、振動円錐板からの流出粉体の衝撃力を利用したドライフローメーター等があるが、何れも検出部として使用されるものである。

「フローマスタ」は上述フロートロンと流量検出部を一体化することにより、従来の粉体供給機にみられない積極的な自動制御機能をもったコンパクトな装置として価値づけられると思う。（Photo 2～4）

その原理および構造は Fig. 6 および Fig. 7 に示すもので、フロートロンの振動円板の周囲より流出する円筒状の粉粒体の流れを、フロートロンの下部に同心的にセットされた可動円筒の周囲に設けられた数個の傾斜板で

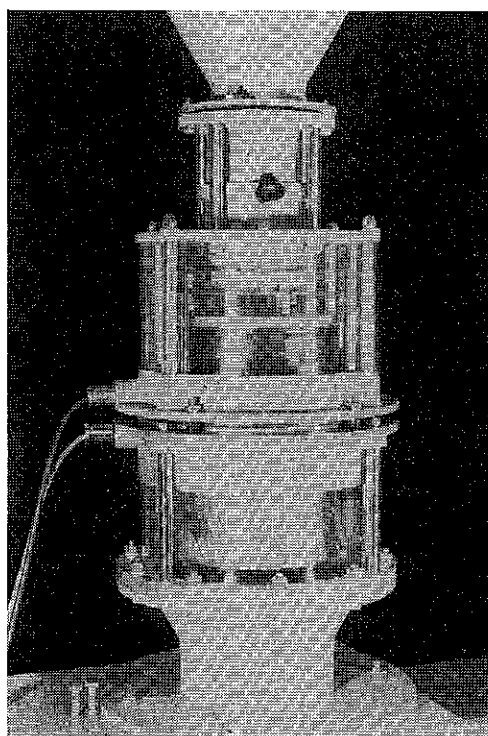


Photo 2 フローマスタ

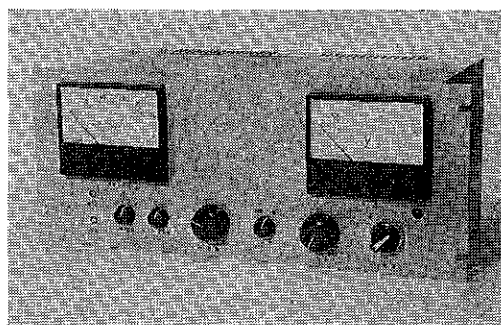


Photo. 3 指示ならびに制御部

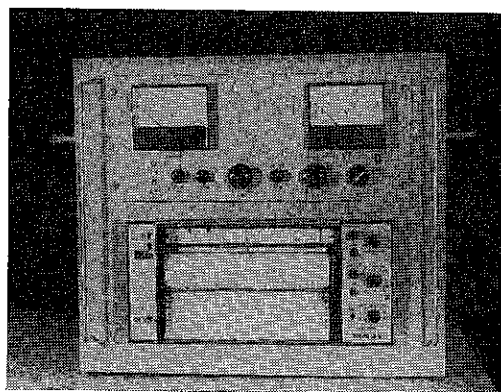


Photo. 4 記録計を組込んだ制御函

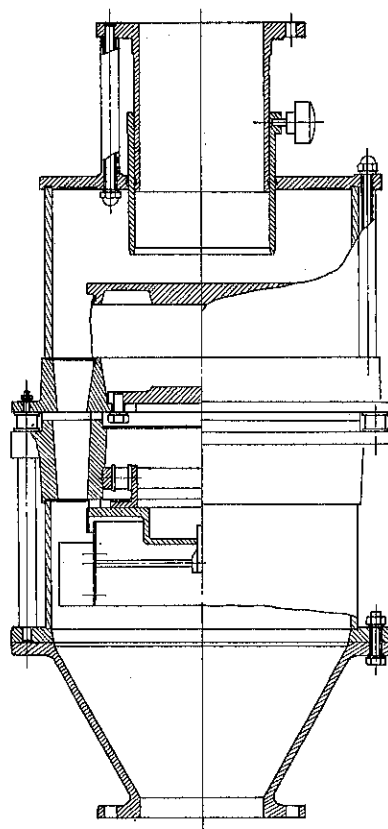


Fig. 7 フローマスタの構造

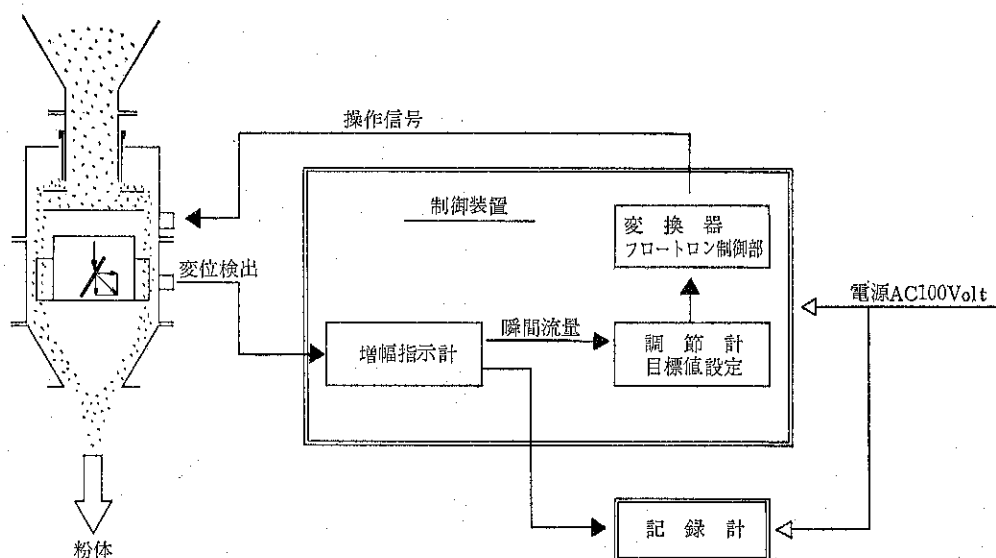


Fig. 6 フローマスター流量制御フローシート

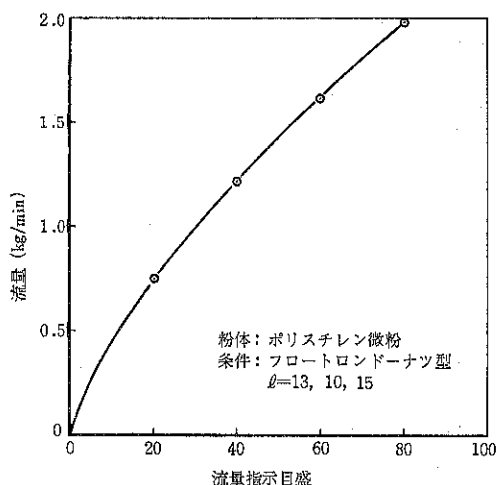


Fig. 8 指示計の目盛と流量

受けることにより、円筒は回転力を受ける。この円筒は水平分力のみが取出せるよう板パネにより取付けられており、この板パネの僅かな変位をストレインゲージで電気量として取出すようになっている。粉体の流量は円筒の受けるトルクに比例し、トルクを電気的に計測することにより瞬間流量を指示することができ、またこれを制御系を経てフロートロンの電源にフィードバックすることにより流量を設定値に制御することができる。

ストレインゲージの感度は良好で応答性も敏感である。またダンピングの防止にはオイルダンパーを使用した。

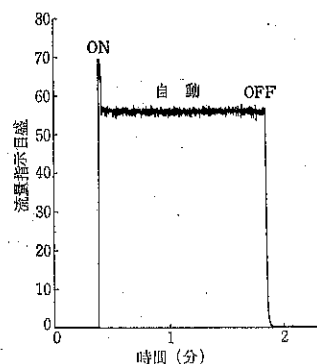


Fig. 10 始動、停止時のフローチャート

制御系は増巾度の調節が可能で少量供給(約30 kg/Hr程度)から最大 1 ton/Hr 程度まで測定でき、また構造上円筒に設けられた傾斜板の個数を変えることにより流量範囲を巾広くカバーできる。極少量供給の場合はフロートロンの振動板に工夫して、傾斜板の真上のみより粉体が流出するようにすれば可能である。

4. 検 定

先づ操作条件を一定とし、制御系の設定を定め、手動によりフロートロン電圧を順次調節して、その時の流量指示値と流量 (kg/min) を実測し、この関係を Fig. 8 のように求める。これは一定指示目盛において各15回測った平均値をプロットしてある。この検定はときどき行いゼロシフトがないことを確かめる必要がある。

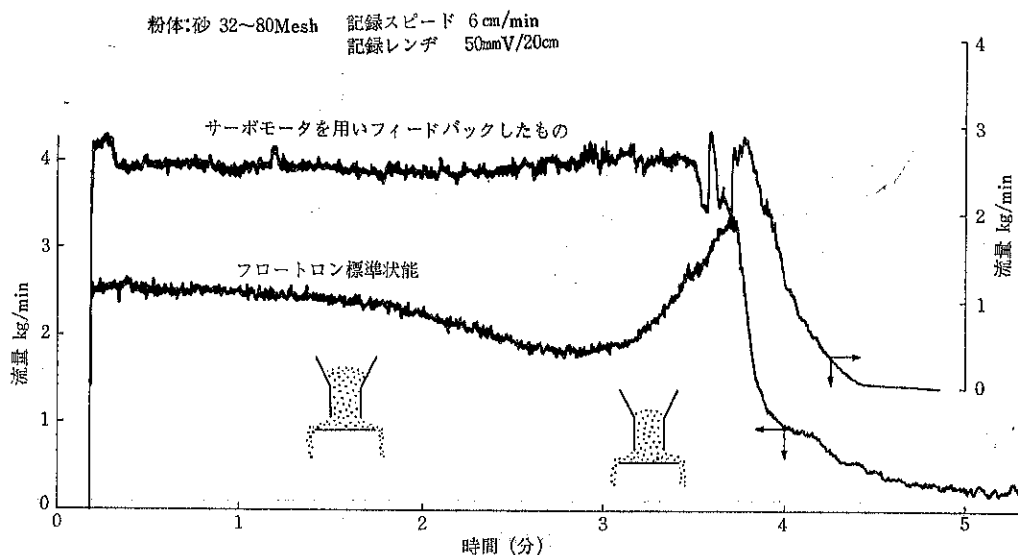


Fig. 9 フローマスターによるフロートロン最終排出状態

5. 制御特性

現在のところ多くの種類の粉粒体についての実績はないが、データーの数例をあげると、

Fig. 9 はフロートロンのホッパーが空になるまでの経過を流量制御した場合と、自然排出した場合について示したものである。粉体は80メッシュ程度の砂を用いた。

Fig. 10 は、供給量0からスタートして供給を開始し一定供給になるまでの過渡現象を記録したものである。これは感度の設定を変えることで変化するが、あまり感度を上げると波打ち現象が起り、かえって安定する迄の時間が長くなる。

Fig. 11 はポリスチレン微粉を用い、制御した場合(上)としない場合(下)の供給特性を比較したものである。

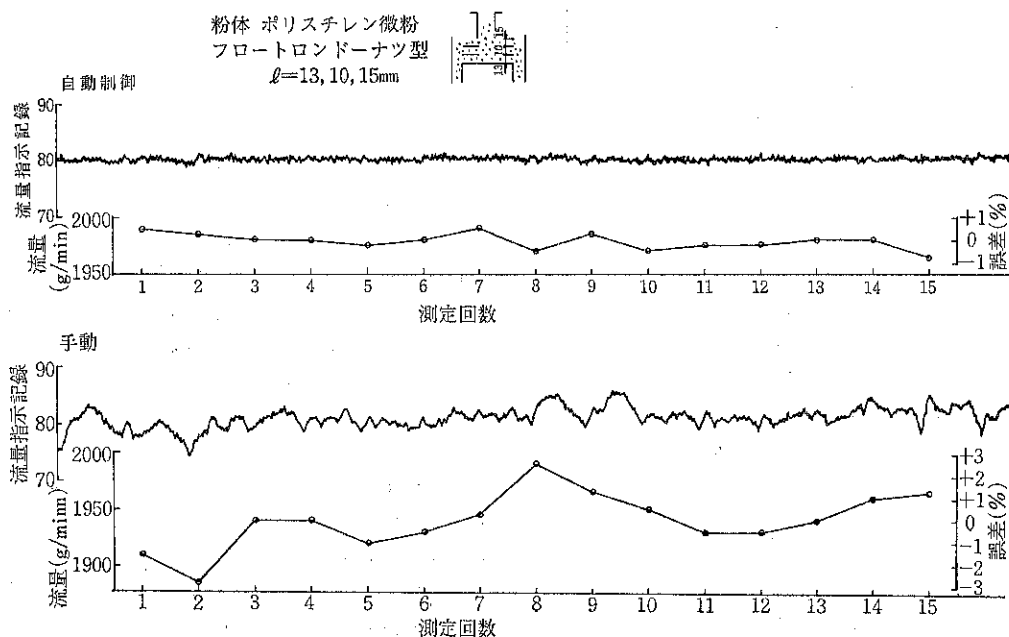


Fig. 11 供給特性の比較

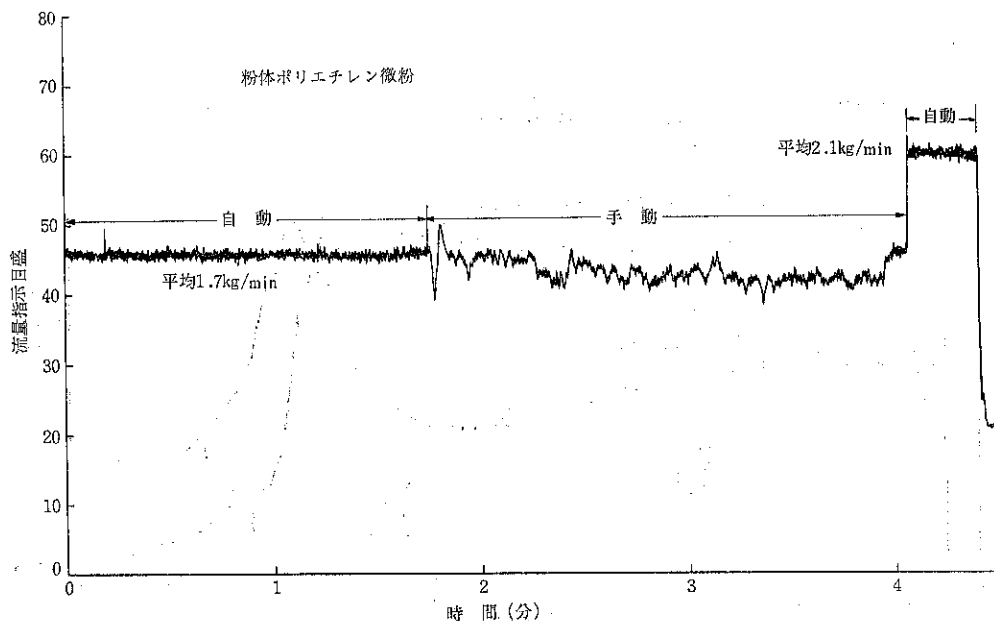


Fig. 12 フローチャートの1例

Fig. 12 は供給量の設定値を変化させた場合の応答性能の1例である。

6. 誤差の程度

誤差については、供給粉体の性質、流量などにより変化するが、現在までのテストでは、1分間毎の採取秤量値のばらつきは何れも $\pm 1 \sim 2\%$ 以内に入っている。しかしこれは全排出量の実測値から1分間当りの平均値を求めこれに対する1分間当り排出量実測値のばらつきである。

今後は、検定による計器指示値の積算値と全排出量の関係を調べて全量に対する誤差を検討する必要がある。

7. あとがき

粉体の取扱いはその対象の多様性のため万能の装置を完成することは極めて困難で、これを求めるとすると長い期間を必要とし、かえって非効率なものになってしま

う。流量の測定においてもあらゆる条件に合致した装置はまだ開発されていない。しかし、粉体プロセスの省力化をすすめる上では適用範囲は限定されても簡単で取扱い易い制御装置の開発は粉体工業に大きな意味をもつものと思う。

「フロースタ」も凝集性や付着性の強い粉体、またフラッシングし易い微粉には適用できないものもあるが、粉碎、分級、混合等一連のプロセスへの組込みに十分使用の可能性がうかがえる。特に連続混合機のフィーダーとして複数個を用い比例供給することも可能である。

開発直後でまだ十分の実績はないが、今後、更に積算回路の組込みなどの検討をすすめ適用範囲の拡大に努めたい。

〔昭和51年8月20日、第10回粉体工学に関する講演討論会にて講演〕

新製品ひとこと

粉末輸送機

ホソカワ/クインケンベルグ ディスクエレベータ

本機は、粉粒体を積み上げるための縦型連続コンベアで、駆動装置と吐出口を有するヘッド部、吸込口のある底部と上昇と下降の2本の輸送管で構成されています。

粉粒体はスチールケーブルに固定されている多数のディスクで輸送され、このケーブルはヘッドに納められている駆動装置によって駆動されます。

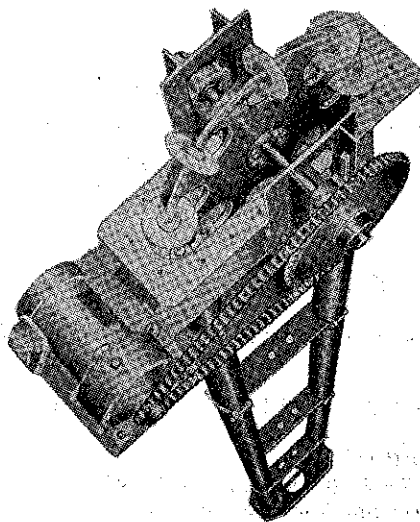
ディスクは標準ポリウレタン製を使用しており、用途によっては他の材質も使用できます。ディスクはケーブルに簡単な方法でセットされていますので、ディスクの取替えは容易に行えます。また、ディスクエレベータには逆転防止用の安全装置が施されています。さらに、つかみ装置、コンベア・スクリーンによる直接強制吸込口、又はエレベータの上昇部に設ける吸込口のような特殊装置も追装することができます。

当社試験室にテスト機を用意しておりますので、性能をお確かめ下さい。（テストする場合は25ℓの試料を提供して下さい）

特長

- ・密閉式のため、発塵や異物の混入がありません。
- ・所要動力が小さくすみずみ。

- ・自浄性のため、粉粒体の堆積がありません。
- ・粉粒体の損傷が殆んどありません。
- ・非常に高い所への輸送が可能です。
- ・据付が簡単です。



湿式電気集塵機 ホソカワ／マイクロ エレクトロフィルの特性とその応用

第一環境システム事業本部*

集塵機は大気汚染公害の規制強化に伴い、急速に進歩してきた。そして多くの種類の粉塵の捕集が可能となった。しかし、なお一部の粉塵及びガスに対して未解決の分野が残っている。

この分野を満たすために近年湿式の電気集塵機が脚光を浴びてきた。

上記の未解決の分野とは粉塵の分類から見れば、

- 1) 潮解性のある粉塵
- 2) 可燃性の粉塵
- 3) タール状のミスト
- 4) 電導性が高い、又は極めて低い粉塵

等であり、ガスの性状より見れば、

- 1) 腐食性のあるガス
- 2) ガスの吸収、除去を必要とする場合

が主として問題となってくる。

この何れか、または両方の要求のある場合、湿式のEPが使用される。

銚子川鉄工所は既にバッグフィルター業界においてトップメーカーの地位を獲得しているが、更に長年の友好関係のある米国U. S. フィルターコーポレーションの開発した湿式集塵機「マイクロ エレクトロフィル」を技術導入し、これに細川鉄工所の技術を加えて改良し、日本の国内事情に合致される様に設計し、新しく「ホソカワ／マイクロ エレクトロフィル」として発売したもので、既納入分について極めて好評を博している。

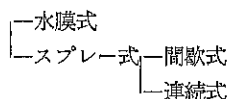
従ってここで、本誌にその内容を紹介する次第である。

1 構造と特長

一般に乾式のEPにおいては集塵板に付着した粉塵は間歇的に「ハンマーリング」を行い払落しを行う。

湿式EPとはこの「ハンマーリング」に替えて、水で

洗浄して粉塵を落す方式を採る。この方式は次の通りに分類される。



水膜式とは極板の上部から水を流下させて洗浄する方式である。この場合、集塵板の形状は円筒型となり、かつ水膜の分布を一樣にする為、上部の径を下部径のより大きくした逆円錐型とし、その中心に放電極を設ける。

スプレー方式においては一般的に平板型の集塵極を用い、ノズルよりスプレーした水により集塵板を洗浄する。この場合、必然的に放電極も洗浄されるので、放電極に何らかの理由で付着した粉塵も除去されて放電極を清浄に保つ。

このスプレーを間歇的に行う方法と連続的に行う方法と二種類ある。

間歇スプレー方式とは、筆者の推定では、乾式EPにおいて間歇的に「ハンマーリング払落し」を行っている点より連想して、主として洗浄水量を減少する目的で考案されたと考えられる。

しかし、現実的には、間歇的にスプレーする場合スプレーしていない時点でノズルがガスに直接さらされるため、洗浄水中の溶解分、懸濁分が乾燥付着し、ノズル詰りを発生する事が多い。

また、非スプレー時に集塵板に付着した粉塵は凝固して、必ずしも洗浄されるとは限らない。

以上の欠点のためにこの方式は廃れつつある。

連続スプレー方式とは上記と異なり常時スプレーしている。この方式は使用水量を少くするためスプレー即ち洗浄水を絶えず循環させるが、液中の溶解分、粉塵量を一定値以下に押えるため、循環水槽より、適当水量を排出させる。

当社においては、循環回数で20～200回と状況に応じて設計し、流水の使用量を抑制するとともに排水処理量を減少せしめている。

* 銚子川鉄工所
(〒573 枚方市招提田近1丁目9)
Tel (0720) 55-2221(代)

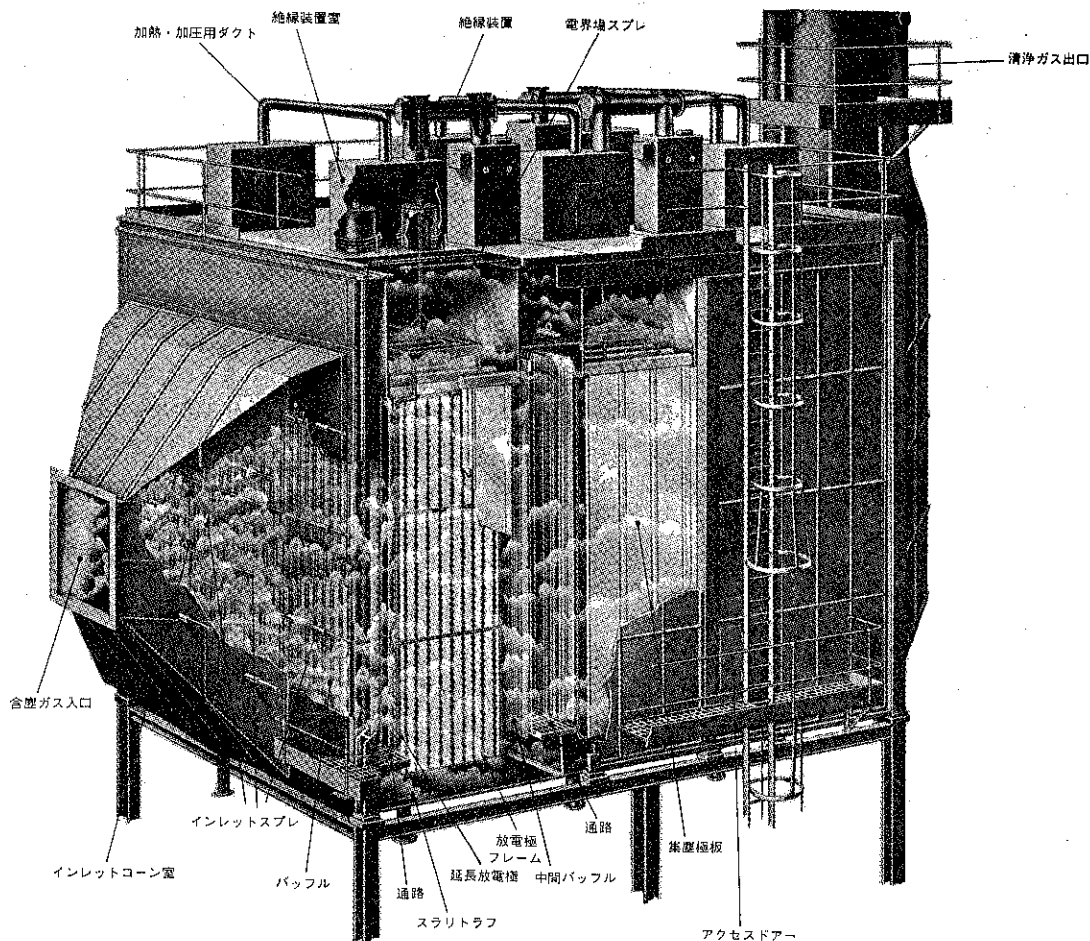


Fig. 1 ホソカワ/マイクロ エレクトロフィルの構造

1) スプレー方式

当社としては目詰りを発生しない特殊なノズルを設計使用している。

この場合、集塵板の表面は絶えず洗淨水によって覆われ、この水膜に乗って粉塵は下方へ流下してゆく。一般に汙過式集塵機（バグフィルター）にしても電気集塵機にしても運転を部分的に停止することなく連続的に付着粉塵の払落しを行うことは技術者、設計者にとって一つの夢、理想であるが、本方式は水を使用することによりこの夢を実現したものといえる。

従って所謂 Deutsh の式

$$\eta = 1 - e^{-\frac{AW}{Q}}$$

η : 集塵効率

A : 集塵板面積 (m^2)

Q : 処理ガス量 (m^3/sec)

W : 見掛け粒子移動速度 (m/sec)

においてWを乾式及び間歇スプレー方式に対して大きく

設計できる利点がある。

すなわち、払落し中放電を停止するために生ずる効率の低下が全くないためである。

また、水膜方式と異り、放電極も洗淨されるので、その汚染もきわめて少くなり安定した運転が可能となる。現在までの使用実績より見て、「メンテナンス」にほとんど「フリー」といってさしつかえない。

2) 放電方式

高圧発生装置は一般的なEPに使用されているものと同一のものを使用している。使用電圧は37~55 kVである。ただし、この方式では、絶えずスプレーしているため火災又は粉塵爆発の危険性がないため「コロナ放電」より高い火花放電を越す範囲で使用できる 特長を有する。従って集塵効率の向上に寄与している。

この火花放電の頻度（スパークレート）は20~90回/分程度で使用している。

3) 放電極の形状

過去において電気集塵機のトラブルの40%を占めると

いわれた、「放電線の切損事故」を避けるため、当社ではパイプで構成された枠に固定された細長い平板に突起を有する放電極を使用している。このため切損事故の発生は全くない。

4) 支持碍子の方式

支持碍子は円筒形碍子を使用し、内面に粉塵及び洗淨水の付着を防止するために加熱減湿した空気を吹込む方式を採用している。

後述するが、湿式EPではガスを飽和状態にして使用するので、ガス温度は、50~80°Cと冷却されている。碍子は一般に考えられているより耐熱温度は低く、標準のもので120°C、特殊なジルコン碍子で200°Cが使用限界とされている。従って、電気集塵機のトラブルの第二の要素である「碍子の破損」も上記の様に使用温度が低いため発生しない。

5) 整流方式

電気集塵機において、機内の流速分布を一様にする必要がある。このため多孔板その他の整流機構を設けているが、当社では可能な限り圧力損失を減少するよう、特殊なチャンネル状のバップル板を組合せて使用している。

このため機内の圧力損失は10~20 mmAqと極めて低く抑えられ、使用するブロワの動力費の低下に寄与している。

なお、当社の「エレクトロフィル」において、この整流バップルにも放電させ、集塵板としての効果を持たせている。このため、集塵板面積で10~20%減少させることに成功した(特許)。

6) ミストエリミネーターの採用

最終段の後に「ミストエリミネーター」を整流板と兼ねて設け、これにも放電させている。

前述の特殊に考慮されたノズルの採用とあいまって、スプレーされた水滴及びミストはほぼ完全に除去され、実測値としても1 mg/m³以下となっている。

2 設計上の注意

1) ガスの水分

湿式電気集塵機においては集塵板が絶えず水膜に覆われていなければならない。

すなわち乾燥状態にならないようにするために、機内を流れるガスは水分飽和の状態とする必要がある。塔内に流入するガス温度が50°C以下の場合には電気集塵機入口コーン部に設けられたスプレー装置で充分であるが、入口ガス温度が高い場合に機前に飽和塔を設置する必要がある。

2) サイクロニックスクラパーの使用

前記飽和塔として当社では「サイクロニックスクラパー」を使用している (Fig. 2)。

これは図の様に円筒状の容器の下部より切線方向にガスを導入させ、施回させながら上部より流出させていて、且つその機内に滞留している間、液をスプレーし、ガスを飽和させる方式である。

従って、所謂「サイクロン効果」によって集塵も行う。この効率は粉塵の種類によるが、50~80%と大きくはないが、電気集塵機を多少小型にする利点を有する。この圧力は40~70 mmAqを基準として考えている。

従って、サイクロニックスクラパーとエレクトロフィルの組合せにおいて、配管を除く全圧力損失は、50~80 mmAqとなり、ランニングコストはきわめて低い。

3) 腐蝕の問題(材質の選定)

水を使用する関係上、腐蝕に対する考慮が必要である。ガスの成分により、かなりの吸収性能を有する反面にその溶解も考慮して材質を選定しなければならない。材質としては、

- a) SS 41
- b) SUS 304

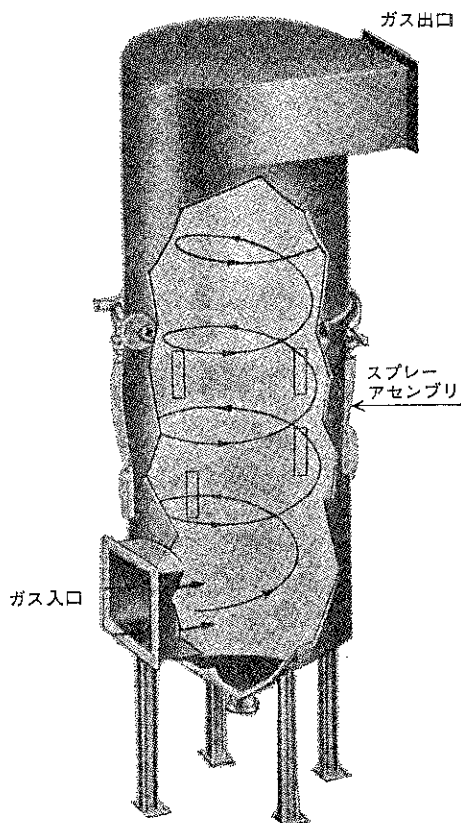


Fig. 2 サイクロニックスクラパー

- c) SUS 316
- d) SUS 316 L
- e) FRP
- f) SS 41+ライニング

等が用いられる。

一般にガス吸収のためにアルカリ溶液を使用する場合、SS41で充分であり建設費も安価となる。逆に酸性の洗浄水（吸収液）を使用する場合その濃度により材質を選定する必要がある。

特に連続24時間使用でない場合の材質は少くともSU S 304が好ましいが、この点留意されたい。

4) 排水水量及びその利用

循環水槽よりの排水量は特にその排水が前工程に還元、再利用される場合に考慮する必要がある。

一般的に使用する水量は

- a) 冷却のために必要な蒸発水分
(流入ガス温度湿度により計算される)
- b) サイクロニックスクラパーに使用する水量
 $0.5 \sim 1.0 \text{ l/m}^3$
- c) 電気集塵機に使用する水量
 $0.5 \sim 1.0 \text{ l/m}^3$

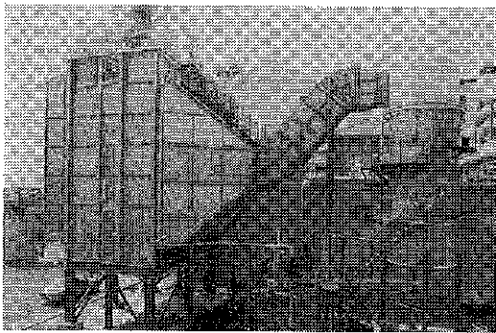


Photo. 1 納入例 1

の合計である。すなわち循環水槽に流入する水量は上記 a) を除き $1.0 \sim 2.0 \text{ l/m}^3$ であるが、前述したように循環回数は20～200回であるので、排水量は

$$0.005 \text{ l} \sim 0.1 \text{ l/m}^3$$

となるが、粉塵濃度、ガス成分、使用アルカリ、酸の濃度によりその都度慎重に設計する必要がある。

3 今後の方向

文頭に記述した如く、集塵機技術の急速な進歩によって大多数の粉塵の処理は可能となったが、なお多くの他の方式では困難なものが残存している。この捕集のために今後湿式の電気集塵機が普及してゆくであろう。特に従来湿式集塵機またはベンチュリースクラパーが使用されてきた分野において規制の強化に伴い、高い圧力損失が必要となり高価なランニングコストが必要となってくる。

しかも、公害規制基準値に達しない場合が多く、湿式電気集塵機にとってかわると思う。特にランニングコストが低い点以上にメンテナンスが殆ど不要という点が今後の労働事情により脚光を浴びるであろう。

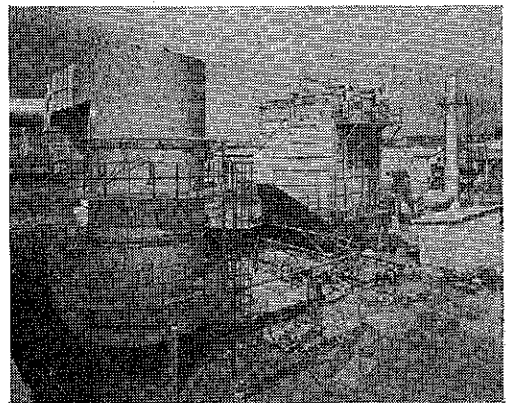


Photo. 2 納入例 2

製品紹介

トラスディスク

化学システム事業本部*

1. はじめに

弊社は、さきに米国のストロングスコット社から伝導加熱型乾燥機ソリッドエアー、コンテニューエーターの技術導入をし、食品、有機薬品、合成樹脂、顔料等各方面でご採用頂いている。

ソリッドエアーはパドルのついたロータの高速回転によって原料を加熱ジャケット面に展開分散させて、比較的短時間に加熱、乾燥を進行させるものであり、コンテニューエーターは低速回転のローターで原料をゆるやかに攪拌し、充分な滞留時間のもとに乾燥を進行させるものである。

伝導加熱型乾燥機は熱風加熱型乾燥機に比して一般に高価とされているが、外気遮断ができ、排気量が少く、ガス側の閉回路システムが容易に組めるなどの利点が見直されてきている。

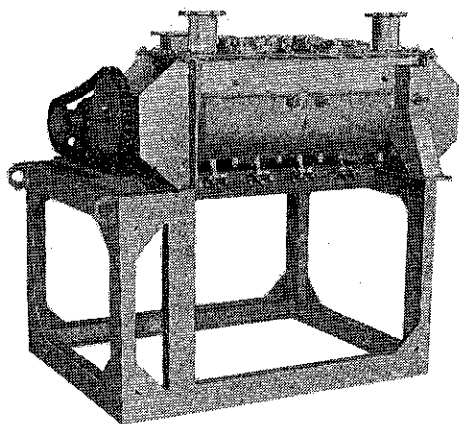


Photo. 1 トラスディスク

この時期にあたって弊社は上記2機種の間的特性をもった、トラスディスクの技術を導入し、既に社内テストに入っているもので、その概要を紹介したい。

2. 概要

本機は、ジャケット付の水平U型トラフ内で伝熱ディスク付のローターが低速回転するもので、ローターは蒸気、温水などの熱媒体を通ずる伝熱ディスクで構成されており、原料はローターの軸方向（伝熱ディスクと直角方向）へ移動する間に、伝熱ディスクと接触して加熱、乾燥されて、他端から通常オーバーフローして機外へ排出される機構になっている。

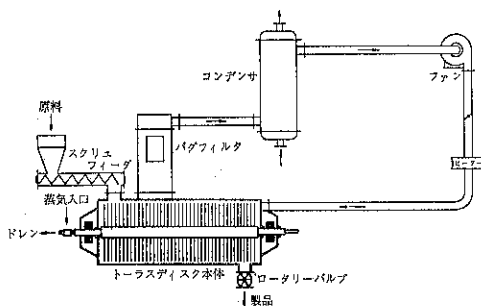


Fig. 1 フローシート

伝熱ディスクはスムーズな表面からなり、伝熱ディスク相互間には、粉粒体が伝熱ディスクと共廻りをしないように固定バーを設けてあり、又伝熱ディスクの円周部にはアジャスタブルペンをとりつけて、原料の攪拌、搬送と共に、ジャケット面との伝熱の向上をはかっている。

3. 特長

1) 小容量でも大きな伝熱面積がとれる。

ローターはトラフの中と殆ど同一の伝熱ディスクの積層であるから、外型寸法に比して大きな伝熱面積をもつ

* 嵯峨川鉄工所

(〒573 枚方市招提田近1-9)

Tel (0720) 55-2221 (代)

本体標準型式仕様

仕 様		型 式	26-5	26-7	26-10	26-14	48-5.5	48-7.5	48-11	48-15	60-12	60-17	84-13	84-18	84-25.5
概 略 寸 法	伝 熱 面 積	m ²	7.4	10.4	14.8	20.8	25.5	34.8	51.1	69.6	83.6	118.4	172.8	239.1	338.6
	容 量	m ³	0.28	0.40	0.56	0.79	1.02	1.38	2.04	2.77	3.54	5.01	7.53	10.5	14.7
	動 力	kW	0.75~2.2	0.75~3.7	1.5~5.5	1.5~7.5	2.2~11	3.7~19	3.7~22	5.5~37	5.5~37	11~55	15~75	19~110	30~150
概 略 寸 法	全長	mm	915	3074	4 14	5334	3201	3683	4852	6249	5385	7138	5817	8001	10440
	巾	mm	788	788	788	788	1372	1372	1372	1372	1677	1677	2286	2286	2286
	高さ	mm	1093	1093	1093	1093	2058	2058	2058	2058	2617	2617	3480	3480	3480

ている。又このディスクの伝熱面積はジャケットを含めた本機の全伝熱面積の約80%以上をしめている。

2) 熱移動量が大きい

総ての伝熱面と原料が接触するような構造になっていることと、伝熱面と原料とが摺動接触するので熱伝導係数が高いことなどから熱移動量を大きくとれる。

3) 滞留量の調節が容易である

排出口はオーバーフローを原則としているので、このノ

ツチの高さを調整するだけで滞留量の調節ができる。

4) 冷却操作も可能である

5) 本機の適用分野その他

食品、顔料、合成樹脂、無機有機薬品等の乾燥速度の遅いものの、回分又は連続型乾燥として適している。

なおトーラスディスクの最小機 TD 12-3 をテスト機とし試験室へ常設致しましたので、テストにより性能御判断頂きたいと存じております。

新製品ひとこと

ホソカワ/ミクロン ルミ・アラーム (ダクト中における火粉検知装置)

(特許 No. 592234)

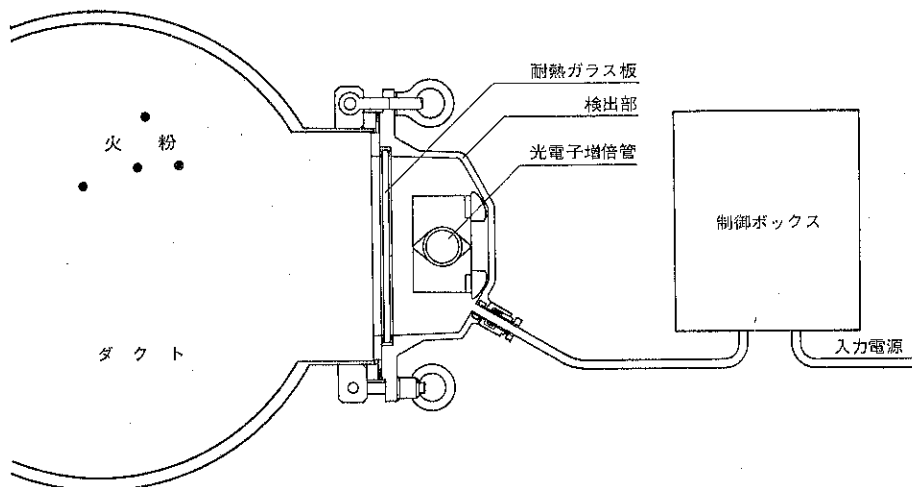
ダクト中を空気輸送される物体中の微弱な火粉 (点光源) を検知する画期的な製品です。

高感度の光電子増倍管を検出素子とした検出部を有し、継続時間が極めて短い可視全域の火粉 (点光源) を捉えることができます。

制御部は検出部からの検出信号により、消火ガスの噴送、ダクト切換装置の作動、装置の運転停止等に必要な信号を送ると同時に警報を発することができます。

仕 様

入力電源	AC100/110V, 200/220V, 50/60Hz
消費電力	50VA
検出波長	可視全域
受光時間	0.003 sec (mini.)
ガス温度	150°C (max.)



中圧空型パルスエアーおよびユニフィルタ

第2 環境システム事業本部*

中圧空型パルスエアー

1. はじめに

ホソカワ/マイクロパルスエアーは発売以来既に10余年が経過し、その性能の優秀性は広く知れわたっています。その間にわれわれホソカワの技術陣が蓄積し育成してきた豊富な技術を駆使して、従来からのSPタイプ（スクウェアタイプ）・CPタイプ（シリンドリカルタイプ）・Pタイプ（パネル構造タイプ）に加えて、JTPシリーズ（ジャンボタイプ）・TPシリーズ（トップリムーバタイプ）・ミニパルスエアー（小型タイプ）を近年次々に開発してきました。

そして今ここで、われわれが新製品として御紹介しますのは、工場圧空**を利用できる中圧空型パルスエアーMPシリーズです。これは、従来のタイプが圧空源を7 Kg/cm² Gを標準にしていたのに対して、より広い範囲の圧空源を利用できるように改良を加えたもので、SP・CP・Pタイプのパルスエアーに応用できます。即ち、これらのパルスエアーは、一般的に7 Kg/cm² G圧空からいわゆる工場圧空（場合によっては3.5 Kg/cm² G）まで広い範囲で使えるようになりました。

2. 逆洗のメカニズム

従来からパルスエアーの圧空標準仕様を7 Kg/cm² にしていたのは、その優秀なパルスジェット方式による逆洗機構の性能を維持しなければいけないという配慮からでした。その逆洗機構とは如何なるものかを次に説明します。

Fig. 1 にパルスエアーの逆洗機構を模型的に示したが、その機構は、0.1秒程度のわずかな噴射時間で、ブロー

チューブのノズルからベンチュリー部に向かって高压空気が噴射され、その際にエジェクター効果によって多量の2次空気を誘引して汜布内圧を高め、そのショックによる振動と汜布外面に向かって逆流する空気、汜布に付着している粉塵層を瞬間的に払い落とす機構です。

その払い落としの際に汜布内圧を高める目的で、織布ではなくフェルトの汜布を使用していますが、フェルト内部に浸透した粉塵によって形成される1次汜布層のために、圧力損失の変動もほとんどなく、安定した集塵効率を得られます。また、他の払い落とし機構に比較して短時間に効率よく行なうので、連続運転が可能であり、汜布を損傷しない、故障が少ない、処理風量を大きくとれる等々、よく知られているパルスエアーの特徴は、この独特の逆洗機構から生まれたものです。従って、このパルスジェットによる逆洗機構が、パルスエアーの生命であるといえましょう。

3. ベンチュリー性能

一般に、パルスエアーにおける逆洗の効果（すなわち、ベンチュリー部のエジェクター効果）というものは、ベンチュリーの形状、圧縮空気の制御用電磁弁、ダイヤフラム弁、ブローチューブの容量、ヘッダーパイプの容量、圧縮空気噴出ノズルの個数と径、電磁弁を作動させるためのタイミングパルス発生装置（タイマー）、圧空源の圧力等々の多くの要素が複雑にからみ合っており、われわれがベンチュリー性能と呼んでいる総合的な性能を形成しています。

われわれは、これらの諸要素を最適な状態にして、汜布圧損が200～250 mmAqまで連続運転で使用可能であるように設計されたパルスエアーを、標準機種としています。その標準機種の7 Kg/cm² G圧空におけるベンチュリー性能を基準として、それと同等もしくはそれ以

* 細川鉄工所

(〒573 枚方市招提田近1丁目9)

Tel (0720) 55-2221

**この文章では、工場圧空の範囲は4～5 Kg/cm² Gとして表現しています。

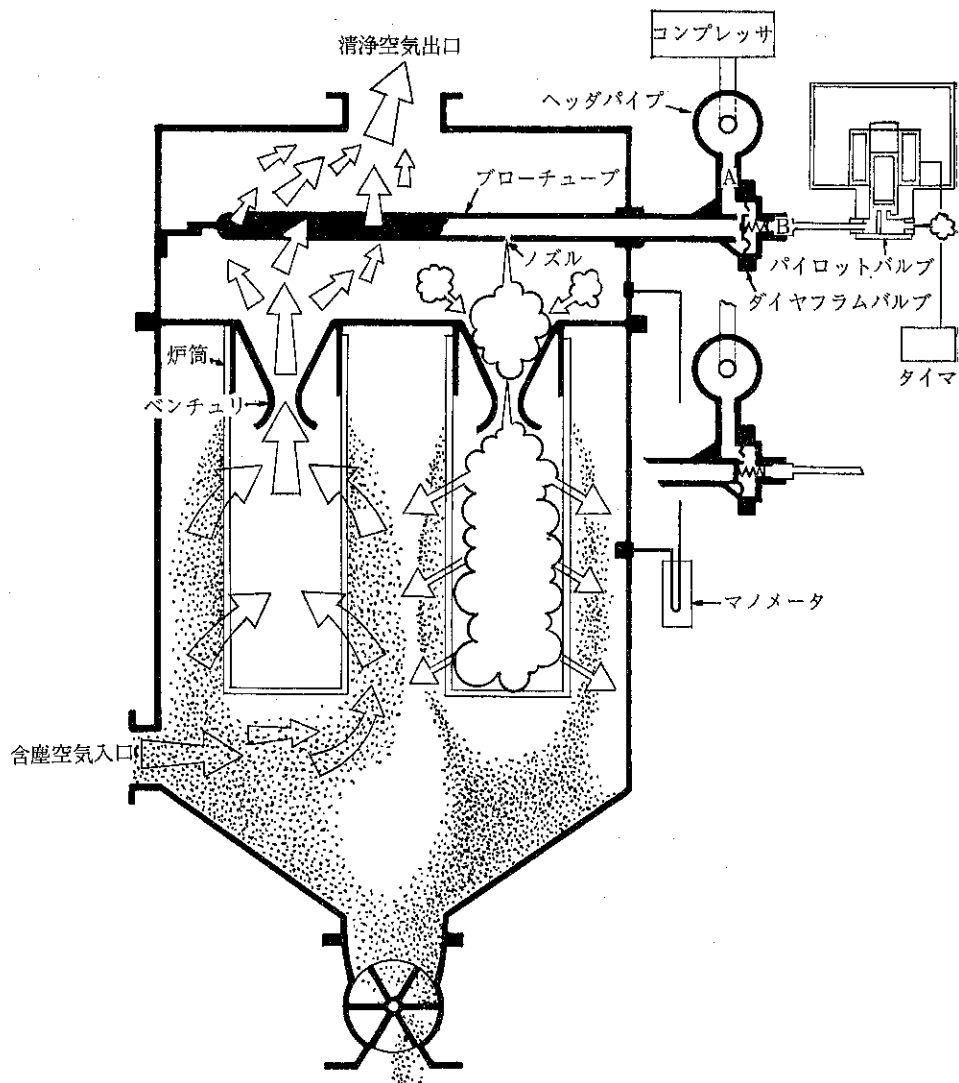


Fig. 1 パルスエアーの逆洗機構

上の性能が出るように設計の際に留意しています。近年開発されたJTPシリーズ、TPシリーズ、ミニパルスエアーも、すべてこの思想で設計されテストを繰り返されたものです。

4. 中圧空におけるベンチュリー性能

パルスエアーは、前述の逆洗のメカニズムの項の後半で述べたように、その特殊な逆洗機構に負うところの種々の特徴があるわけですが、その特徴を生かしながら、なお、圧空源の圧力が広い範囲で使用できるようにという目的のもとに、多角的なテストと検討を重ねた結果、満足すべき性能を引き出すことに成功しました。その一

例を、Fig. 2 及び Fig. 3 に示します。

ここで Fig. 2 の見方を説明します。一般にパルスエアーにおける汚布洗浄のエネルギーは、(汚布内圧) × (風量) で表わされます。従って、性能曲線が上に位置する方が洗浄エネルギーが大きいの、ベンチュリー性能（すなわち、払い落とし性能）が良いわけです。この性能曲線の、どのポイントで、そのパルスエアーが運転されるかということは、主に汚布に対する粉塵の付着状態と通過風速によって変化します。

以上、Fig. 2 の見方に関して述べましたが、中圧空型A、Bともに標準機を上回る性能曲線であることがわかります。

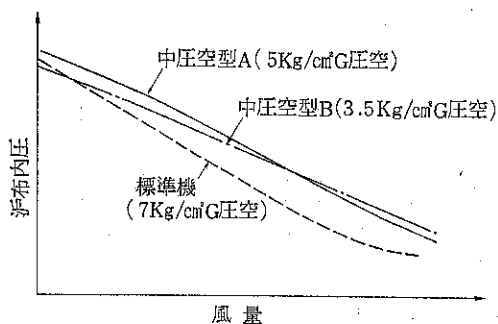


Fig. 2 ベンチュリー性能

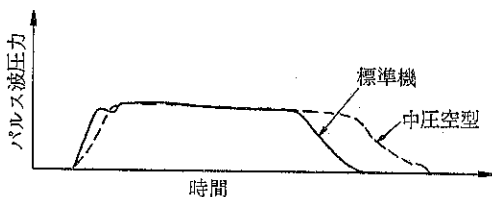


Fig. 3 パルス波形

次に、Fig. 3 では、逆洗時に発生させるパルスジェット噴流の波形を、標準機種と比較しています。この波形もほとんど相似形です。

従って、Fig. 2, Fig. 3 の結果を合わせて考えると、中圧空型は標準機種と同等以上の逆洗効果があることが納得いただけると思います。

また、元圧が低くなったので、電磁弁から放出される圧縮空気による騒音の問題も低減されます。

パルスジェット噴射に伴う圧空の消費量については、標準機種よりもタイマーの通電時間を長くしたこともあって、ノルマル換算で標準機種より若干増加しています。

5. おわりに

これで、SP・CP・Pタイプのパルスエアーについては、7Kg/cm² G圧空から工場圧空（場合によっては3.5Kg/cm² G圧空）までの広い範囲の圧空源で使用可能となりました。

しかし、われわれホソカワの技術陣は、これで満足したわけではありません。現在も、産業界の多様なニーズを満足すべく新機種の開発を目指して奮闘しています。

ユニフィルター (UFシリーズ)

このたび新製品として『ユニフィルター』というパグフィルターが完成したので、ここに紹介いたします。

Fig. 1 にユニフィルターの構造図を示しました。インレットをトップインレットとする事により、インレットより入ってきた含塵空気中の粒径の大きいダストは自然沈降させ、できるだけ濾布への負担を軽くしています。濾布は織布を使用しています。自然沈降しないダストは、濾布により濾過、捕集され、清浄空気はアウトレットより排出されます。ダストの払い落しは、ハウジング内、負圧を利用し、大気との差圧により濾布に空気を逆に吹き込んで払い落とす切換ダンパによる大気導入方式により行なっています。ダンパの作動はタイマーを用いて一定間隔の通電によりエアーシリンダを作動させて行ないます。

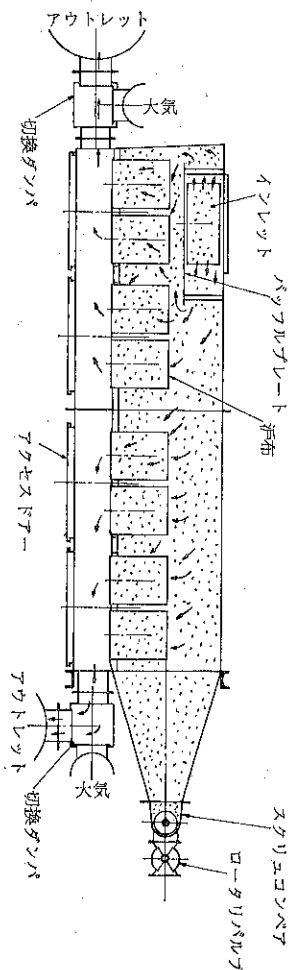


Fig. 1 ユニフィルターの構造

なお、Fig. 2 に適用機種例としてUF-411S型の外形図を示し、併せて各型式の仕様を Table 1 に示した。

ユニフィルターの特徴

- (1) 払い落しは一部分づつ順次行ないますので連続運転が可能です。
- (2) 圧力損失が一定です。

- (3) 構造が簡単で、保守点検が容易。
- (4) 濾布の取換えが機外より行なえますので、環境衛生上からも良好です。
- (5) 小さな設置面積に対して、大きな濾過面積がとれます。
- (6) 騒音があませりん。

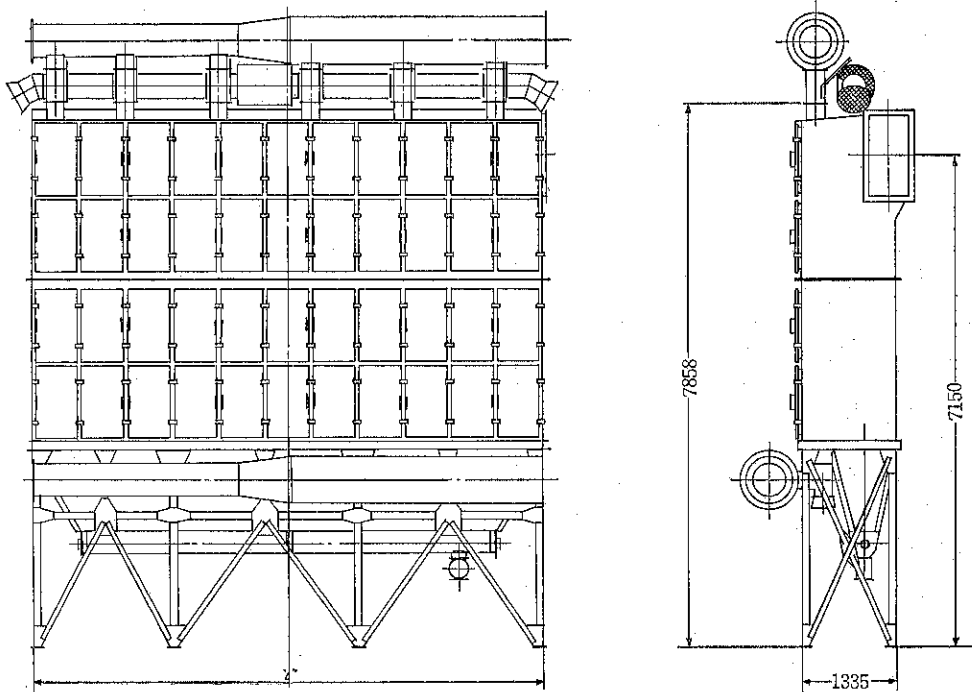


Fig. 2 ユニフィルターUF-411S型外形図

Table 1

型 式	UF-402S	UF-403S	UF-404S	UF-405S	UF-406S	UF-407S	UF-408S
仕 様							
濾 布 枚 数	48	72	96	120	144	168	192
濾過面積 (㎡)	120	180	240	300	360	420	480
切換ダンパ数	4	4	4	6	6	8	8
“L” 寸法 (mm)	1,360	2,040	2,720	3,400	4,080	4,760	5,440

型 式	UF-409S	UF-410S	UF-411S	UF-412S	UF-413S	UF-414S	UF-415S
仕 様							
濾 布 枚 数	216	240	264	288	312	336	360
濾過面積 (㎡)	540	600	660	720	780	840	900
切換ダンパ数	10	10	12	12	14	14	16
“L” 寸法 (mm)	6,120	6,800	7,480	8,160	8,840	9,520	10,200

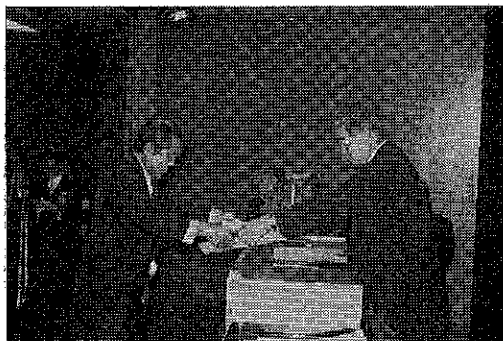
ホソカワ ニュース

○ホソカワ環境エンジニアリング㈱

昭和50年9月に米国 PRECISION AIR PRODUCTS 社と空調機器の技術提携契約を締結しました。

○細川益男社長、紫綬褒章を受章

昭和50年11月20日㈱細川鉄工所細川益男社長は長年に亘るミクロンセパレータの開発とその実用化の業績を柱に、数々の粉料体化学装置の発明開発に尽された功績により紫綬褒章を受けられました。



紫綬褒章は我国の科学文化の発達に功績のあった個人に与えられる最高の荣誉で、さきに故細川永一会長がミクロンミルの発明により同褒章を授与されたのに引続き二代にわたる受章は細川社長のみならず細川鉄工所の名誉であり、まことに同慶にたえません。

○機構改革

昭和50年12月21日、従来の事業本部を生産・技術・営業を一体とした組織に改め、各事業本部の機能を統括する統括事業本部を新設しました。

○ホソカワ・インターナショナルの設立

細川鉄工所は、1960年(昭和35年)貿易部(1971年海外事業部に改組)を設置以来、ホソカワ製品の直接輸出、海外企業との技術交流、ホソカワ・ヨーロッパの設立、他社製品の輸出入など多面的な海外活動を展開してきました。このたび(昭和51年5月)一段と国際化を推進するため、海外事業部を発展的に改組して下記の通り、株式会社ホソカワ・インターナショナルを設立しました。

新会社はホソカワグループの世界政策を担当すると共に、技術知識を基盤とした特色ある貿易商社としてホソカワ製品のみならず広く内外の輸出入業務を行うことを目的としています。

尚、9月下旬予定の通り新事務所を大阪市内に開設し

ました。

社名：株式会社 ホソカワ・インターナショナル

所在地：大阪市東区南久太郎町2丁目10

TEL 06-261-5141(代)

役員：取締役社長 細川 益男

専務取締役 間嶋淳一郎

取締役 細川 明彦

監査役 横山 茂

○ホソカワ環境エンジニアリング㈱

米国トリット社と折半出資で設立していた小型集塵機の販売会社「ホソカワ・トリット㈱」は、昭和51年8月「㈱ホソカワ・ユニフィルター」と名称変更を行いその業務全般をホソカワ環境エンジニアリング㈱が引き継ぐことにしました。会社は9月21日より従来の精密空調関連を環境事業部、さらに小型集塵機関連をトリット事業部として運営する事になりました。

社名：ホソカワ環境エンジニアリング㈱

所在地：大阪府枚方市招提田近1丁目9番地

TEL 0720-55-2221(代)

0720-55-2411(トリット事業部直通)

0720-44-6255(環境事業部直通)

役員：取締役社長 細川 益男

専務取締役 納 泰二

常務取締役 森本 益弘

取締役 細川 明彦

間嶋淳一郎

藤井 博

監査役 横山 茂

○昭和51年9月に臨時株主総会を開催して役員の改選を行い、下記の通り選任されました。

代表取締役社長 細川 益男

代表取締役副社長 細川 明彦(統括事業本部長)

常務取締役 東門 栄一(第一環境システム事業本部長)

〃 丹羽 久雄(化学システム事業本部長)

取締役 田中 昭夫(粉体システム事業本部長)

〃 (新任) 藤井 博(統括事業本部営業部長)

〃 (新任) 太田鉄之助(第二環境システム事業本部長)

〃 (新任) 横山 茂(経理部長)

監査役 伊藤晋三郎

〃 (新任) 間嶋淳一郎(㈱ホソカワ・インターナショナル専務取締役)

○細川粉体機器サービス㈱を設立

昭和51年10月、細川鉄工所の子会社で空気輸送装置を取扱っている「ミツミエンジニアリング㈱」と粉体機器の製造・販売を行っている「エイハウ工業㈱」を合併して、新たに細川粉体機器サービス㈱を設立しました。新会社はミツミとエイハウの業務を引き継いだほか、細川鉄工所製品の関東地区における部品販売やサービス業務を代行します。

社 名：細川粉体機器サービス株式会社

所在地：千葉県柏市十倉二丁目4

TEL 0471-31-6612

役員：取締役社長 細川 益男

専務取締役 田中 昭夫

取締役 細川 明彦

取締役 森本 大蔵

監査役 横山 茂

○'75化学プラントショー

と き：昭和50年10月6日～10月11日

ところ：東京、晴海、国際見本市会場

小間数：6小間

出品機種

①鋳物砂混合機、サンドターボ

②小型集塵機、ダウンドラフトベンチ

○第10回近代窯業機械展

と き：昭和50年10月11日～10月13日

ところ：岐阜県、瑞浪市々民会館

小間数：1小間

集塵装置のパネル展示

○第4回京都公害防止機器展

と き：昭和50年10月15日～10月17日

ところ：京都、岡崎、勧業会館

小間数：1小間

集塵装置のパネル展示

○第88回講演大会

と き：昭和50年10月21日～10月23日

ところ：九州、長崎、NBC別館

小間数：1小間

出品機種：鋳物砂混合機、サンドターボ

○'75大阪国際公害防止ショー

と き：昭和50年11月5日～11月10日

ところ：大阪国際見本市会場

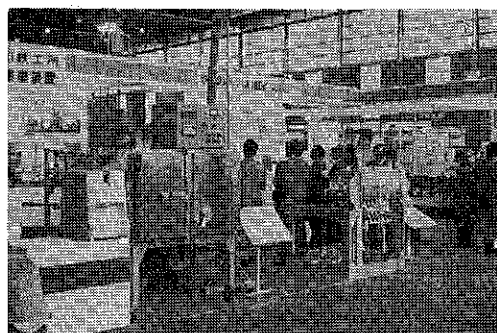
小間数：1小間

集塵装置のパネル展示

○'78粉体工業展

と き：昭和51年9月27日～10月1日

ところ：晴海、東京国際貿易センター



小間数：10小間

出品機種

①超低温粉碎装置 リンレックスミル LX-0

②輸送機 ディスクエレベーター DI-10

③粉粒体流量制御装置 フローマスター

④乾燥機 トーラスディスク TD12-3

⑤戸過式集塵機 パルスエアー SP-12A 6 B

⑥ " ミニパルスエアー FTP12-2

⑦小型集塵機 コンビコレクター DC-80j

粉体工業展は、わが国初の専門展示会として注目され、日本粉体工業協会など4団体共催で行われました。

展示規模は107社250小間でこの種の展示会としては国際的にも最大規模となり、弊社小間にも2000人を超える来会社があり非常に盛況であった。

○ACHEMA '76に出品

アヘマは今更説明を要しないほど世界的に著名な化学機器の展示会ですが、当社では先回に続き本年6月に開催された「ACHEMA '76」にもホソカワ・ヨーロッパを通じて参加しました。乾燥機マイクロドライヤーMD-1型、微粉碎機ファインビクトリーミルFVP-1型、その他を出品、好評を博しました。



○北京、環境保護・油圧空気圧工業技術展

日本国際貿易促進協会の主催で、昭和51年10月5日～10月18日まで開催された。当社は東京貿易㈱と共催でパルスエアーP-12A 6型を出展、期間中は当社東京支店上田課長が参加しました。



○海外出張

渡航年月	渡航者名	出向地	用務
昭和50年9月	増田, 渡辺(直)	台湾	販売促進
51年3月	増田	東南アジア	販売促進
4月	中野課長	タイ, フルオスパー社	M502 他試運転
6月	七条	フィリピン	亜鉛ヒューム集塵の打合せ
7月	岩城係長	北朝鮮	パルスエアー組立指導
8月	細川社長	英国, 独国, ホソカワ・ヨーロッパLTD.	
9月	上田課長	中国	北京環境・油圧展
11月	川上	豪州, タイ, 香港	販売促進
12月	間嶋専務	ヨーロッパ, ホソカワ・ヨーロッパLTD.	



粉 碎 総 索 引 No. 1~No. 21

(ゴチック数字は頁, () 内は掲載号数)

<巻頭言>

紫綬褒章受章の光栄に浴して

細川鉄工所…細川 永一…… 1 (1)

細川粉体工学研究所の開設にあたって

細川鉄工所…細川 永一…… 1 (2)

3号発行に当たっての御挨拶

細川鉄工所…細川 永一…… 1 (3)

粉碎機の特性と粉体の粒度分布

京大工…中川 有三…… 1 (4)

技術と世界市場…細川鉄工所…細川 益男…… 1 (5)

細川鉄工所と私 (挨拶にかえて)

G. S. Sale…… 1 (6)

創立46周年を迎えて

細川鉄工所…細川 永一…… 1 (7)

技術尊重の良心…細川鉄工所…細川 益男…… 2 (8)

粉碎雑感……大阪府大工…矢野 武夫…… 1 (9)

故細川永一会長の死を悼む…… 1 (10)

暗中の粉体工学

大阪市大工…吉田 哲夫…… 1 (11)

粉体とその応用

日本電池㈱…岡田 辰三…… 1 (12)

粉体工学の進むべき道

京大工…井伊谷鋼一…… 2 (13)

何でも粉碎……京大工…吉岡 直哉…… 1 (14)

粉碎機こぼれ話…細川鉄工所…細川 明彦…… 1 (15)

ヨーロッパの粉体工学の新しい動き

名大工…神保 元二…… 1 (16)

「粉碎」編集委員会の発足

大阪府大工…矢野 武夫…… 1 (17)

みち……富山大工…沢島 恭…… 1 (18)

リサイクリング技術について思うこと

大阪府大工…吉田 哲夫…… 1 (19)

粉碎を見直す……中川 有三…… 2 (20)

粉体技術への回帰

静岡大工…狩野 武…… 2 (21)

<前 説>

細川粉体工学研究所の創設を祝して

京大工…亀井 三郎…… 2 (2)

細川粉体工学研究所の開設を祝う

京大工…亀井 三郎…… 3 (2)

細川粉体工学研究所の使命

細川鉄工所…細川 益男…… 1 (13)

編集委員会の発足に当って…… 2 (17)

“粉碎”20号によせて “粉碎”誌と時のきざみ

北大工…田中 達夫…… 3 (20)

<研究報告, 研究速報>

ジェット粉碎機の粉碎機構について

東大工…森 芳郎, 神保元二…… 4 (2)

MICRO SIZER の試作について (第1報)

細川鉄工所…細川 益男…… 8 (3)

細川粉工研…松山卓蔵, 森本益弘

ルーバー式分離機の分級特性

名大工…井伊谷鋼一, 木村典夫……18 (3)

微粉碎乾燥機に関する研究 (第1報)

細川粉工研…松山卓蔵, 森本益弘……11 (4)

粉碎粒度分布に関する若干の考察

東大工…森 芳郎, 神保元二……17 (4)

ねじコンベアーの動力と設計方法

阪大工…植松時雄, 中村貞男……28 (4)

ベビーサイクロンの集塵性能

阪大工…新津 靖……32 (4)

衝撃粉碎における材料の破壊抵抗について

京大工…奥田 聡…… 2 (5)

新しい自動粒度測定器について

京大化研…荒川 正文……14 (5)

粉体の円錐状堆積層内の応力分布について

横浜国大工…青木 隆一……18 (5)

微粉碎乾燥機に関する研究 (第2報)

細川鉄工所…細川 益男……22 (5)

細川粉工研…森本益弘, 松山卓蔵

振動ミルに関する研究

細川粉工研…森本益弘, 松山卓蔵…… 3 (6)

細川鉄工所…細川 益男

スクリーコンベアーの混合作用

大府大工…佐納良樹, 中野 敏…… 8 (6)

矢野武夫

粒体の空気輸送における直管部及び曲管部の圧力降下

阪大工…植松時雄, 森川敏信……11 (6)

円筒槽における粉粒体の流速分布について

阪大工…大竹伝雄, 東稔節治……9 (7)

黒田博之

Y型連続混合機

細川鉄工所…細川永一, 細川益男……13 (7)

細川粉工研…横山藤平, 中本正弘

福本史郎

空気透過法による新しい直示式平均粒度測定装置

京大化研…荒川 正文……17 (7)

粉粒体の力学……九工大…上滝 具貞……3 (8)

福岡学芸大…早野 延男

酸化ウラン黒鉛系核燃料における両者の混合条件と核分裂生成物の挙動との関係

日本原研…矢島聖使, 渋谷敏夫……15 (8)

オリフィスおよびノズルによる粉体の流出量の測定

阪大工業教員養成所…森川 敬信……3 (9)

垂直面をもつ非対称型ホッパーの長方形流出口の形状が流出速度に及ぼす影響

金沢大工…川合 清一……7 (9)

円環状オリフィスからの粉体の流出

阪大工…大竹伝雄, 東稔節治……3 (10)

粉砕用各種媒体の摩耗比較

名工試…山内 史朗……6 (10)

振動スクリーフィーダーの試作と性能

細川粉工研…松山卓蔵, 中本正弘……16 (10)

アラジンバッグのテスト

細川粉工研…松山卓蔵, 鈴木昭明……20 (10)

高速衝撃粉砕における粉砕能

同大工…奥田 聰, 森田洋二……2 (11)

空気流中への粉体の分散法とその大きさの測定

大阪市大工…森島 直正……6 (11)

試作回転充填層型スクラバーの装置特性

京大工…吉岡直哉, 江見 準……10 (11)

ミクロンウルトラシフター

細川粉工研…中本正弘, 松山卓蔵……16 (11)

造粒の研究 (第1報)

細川粉工研…松山卓蔵, 鈴木昭明……20 (11)

ミクロンセパレータによるフライアシュの分級試験について…関電フライアシュ㈱…谷口 一昭……4 (12)

パーコ型分級機によるセメントクリンカー分級粒子群のSO₃の挙動……名工試…山内 史朗……7 (12)

三菱セメント㈱…柳 正光

微粉炭燃焼灰超微粒子群の Microtopography に関する研究……中村 喜義……11 (12)

非等速吸引によるパイジン量の誤差について

九工大…上滝具貞, 金原 清……25 (12)

造粒に関する研究 (第2報) — グラニューライザーによる造粒機構の解析

大阪市大工…向阪 保雄……29 (12)

細川粉工研…豊立 勝二

充填流動層における粒子混合

横浜国大工…青木隆一, 山崎量平……3 (13)

パルスエアーコレクターにおける汙布試験装置の試作と二, 三のテスト

細川粉工研…横山藤平, 浦山 清……8 (13)

試作ヘリカル型ミクロンセパレータの分級特性

細川粉工研…中川 文雄……20 (13)

粉砕条件から粉砕量を予測する (衝撃圧縮粉砕と定常運転ボールミル粉砕)

群馬大工…松井 国夫……2 (14)

粉砕効率の基礎的考察

名大工…神保 元二……10 (14)

小型閉回路粉砕の一実験 (ミクロンセパレータの分級性能について) ……金沢大工…川合 誠一……18 (14)

異粒径球状粒子のタッピングによる分離

信州大…佐納良樹, 清水明夫……26 (14)

各種サイクロン分離器の比較実験

九工大…上滝具貞, 金原 清……30 (14)

永田製作㈱…若菜宏啓, 紫原昌宏

顕微鏡法による粒子径測定値の偏りについて

菊水化学工業㈱…山内 史朗……40 (14)

ボールミルによるフライアシュの粉砕実験およびその品質について

関電フライアシュ㈱…谷口 一昭……44 (14)

固体分散エーロゾルの発生に関する二, 三の実験

鈴鹿工専…木村典夫, 野村英司……50 (14)

桑名三雅

粉体層内における液状水移動

富山大工…若林嘉一郎, 山口信吉……62 (14)

ミクロンセパレータ新型ロータの特性

細川粉工研…横山藤平, 中川文雄……68 (14)

甲盛直博

湿式汙布集塵機について

細川粉工研…南 孝和, 鈴木昭明……74 (14)

サイクロン分離器の最小分離粒径について

九工大…上滝具貞, 金原 清……2 (15)

九州産大…北村 敦

✓ 粉体の動的流動性指数の測定法

同大工…三輪茂雄, 竹内 和……8 (15)

公害と粉砕……塵肺研…中村 喜義……12 (15)

風力分級器のシミュレーション

北大工…中島耀二, 田中達夫……2 (16)

ZrOCl₂・8H₂O, ZrOH₄の熱処理によるZrO₂粒成長と相転移……菊水化学工業㈱…山内 史朗……8 (16)
回分式堅型リボン混合機の混合特性

大阪府大工…矢野武夫, 佐藤宗武……18 (16)
立石享司

エジェクターフィーダによる粉体の分散
静大工…渡辺 始, 中田好洋……24 (16)
高橋和士

閉回路粉砕プロセスの解析
大府大工…宮南 啓, 矢野武夫……26 (16)

流動層からの小粒子の飛び出し
九大工…篠原 久, 田中勇武……33 (16)
中原俊輔, 鶴 泰

貯槽内の粉粒体の流下現象
九工大…上滝 具貞……50 (16)
山口大…早野延男, 山中久人

日本電気㈱…河内山茂
粉体および粉体混合物の流動性指数の測定とそれらの粉体混合への応用

大府大工……矢野武夫, 寺下敬次郎……96 (16)
山崎利夫

✓ 粉体の動的流動性指数の測定法(続)
同大工…三輪茂雄, 清水慎一… 103 (16)

スクリューコンベアの輸送量について
信州大繊維…佐納 良樹… 112 (16)

低融点物質の粉砕機, ビクトリーミルの開発とその性能
細川粉工研…鈴木 昭明… 117 (16)

逆噴射圧からみたパルスエアコレクターの特性
細川鉄工所…谷口 浩… 124 (16)

細川粉工研…鈴木昭明, 豊立勝二
誘電特性を利用した粉体の水分測定
北大工…中島裕夫, 倉前正志……2 (17)
田中達夫

攪拌型粉体混合機内の粉体の流動と混合に関する実験的研究……大府大工…矢野武夫, 佐藤宗武……10 (17)

二次元水平円筒型混合機を用いた粒体混合における密度による分離偏析の研究

大府大工…矢野武夫, 寺下敬次郎……22 (17)
細川粉工研…武者孝敏

色素吸着法による表面積測定
富山大工…諸橋昭一, 川口初男……34 (17)

空気圧による粒子充填層の体積変動
信州大…佐納良樹, 矢ヶ崎孝彦……40 (17)

粉末と包装材質—包装材質面における粉末の滑り易さの検討……東大病院…篠崎 勲……46 (17)

水ガラス系硬化体における白華の検討

菊水化学工業㈱…長谷川勝, 山内史朗……50 (17)
モデルビン壁面における粉体圧の測定

細川粉工研…中川文雄, 島谷敏久……57 (17)
鈴木昭明, 横山藤平

単粒子破砕に及ぼすふんい気中の水分の影響
山形大工…八嶋三郎, 神田良照……2 (18)
斎藤文良

粉粒体のかくはんフローパターンについて
同大工…三輪茂雄, 阪上雅保……10 (18)

ナウタミキサー内の粉体の運動と混合過程
大府大工…矢野武夫, 寺下敬次郎……14 (18)

不均一流動化における粒子の挙動
信州大繊維…佐納 良樹……23 (18)

流動層組み込み風力分級機の研究
細川粉工研…中川文雄, 島谷敏久……28 (18)
鈴木昭明

遠心排出型バケットエレベーターの特性について(実験結果の解釈)……九工大…上滝 具貞……37 (18)
山大工…早野延男, 山中久人

藤本俊介, 藤井康博
振動ミルのボールの運動の電算機によるシミュレーションの試み……東大工…井上外志雄……50 (18)

ロータリフィーダの閉塞特性
九工大…上滝具貞, 富田侑嗣……61 (18)
伊達木新三, 森畠正文

粉体用連続混合システムの開発
細川粉工研…横山藤平, 浦山 清……66 (18)

水ガラスの白華の検討—温度の影響に関して
菊水化学工業㈱…長谷川勝, 山内史朗……71 (18)

Carr の流動性指数に関する考察
細川粉工研…鈴木昭明, 丸子 修……80 (18)

粉砕方程式の解析解について
北大工…中島耀二, 田中達夫……2 (19)

ボールミル粉砕による石英砂の粒度分布変化に対する試料挿入量およびボール挿入量の影響

昭和大…金庭延慶, 池川昭子……12 (19)
新田伸子, 飯島寿子

実験用連続ボールミルにおける粒子の滞留時間分布について……東大工…富田美穂, 太田 元……28 (19)
井上外志雄, 今泉常正

着色粒子を用いた薬剤粉体の混合研究—色差論的考察—
神戸女薬大…松田芳久, 林 信一……35 (19)

京大薬…岡田寿太郎
密度差による偏析を伴う粉粒体混合過程のモンテ・カルロ・シミュレーション

大府大工…矢野武夫, 荒谷敏朗……42 (19)

寺下敬次郎, 知福博行	
リング式剪断試験器による測定値と Carr の流動性指数との関連……………細川粉工研・横山藤平……51 (19)	
中川文雄, 彼谷憲美	
エアスライドにおける粉粒体の流動特性について	
北大工…篠原邦夫, 斎藤和男……64 (19)	
田中達夫	
流動層における粉体の混合および分離—気泡の効果—	
信州大繊維…佐納良樹, 猪爪孝一……49 (20)	
秋葉育朗	
流動層における粒子—流体間の伝熱係数について	
九大工…田中勇武, 篠原 久……56 (20)	
吉原紀幸	
粉体の壁面付着強度について	
北大工…篠原邦夫, 花崎芳朗……62 (20)	
単粒子破碎に及ぼす媒液の双極子モーメントならびに金属蒸着膜の影響について	
東北大選鉱製錬研…八嶋 三郎……70 (20)	
斎藤 文良	
カスケードインパクトの捕集性能—付着量と再飛散量の効果について—…九工大…上滝 具貞……82 (20)	
山口大工……早野延男, 原田敬男	
電磁式振動円盤型粉粒体供給機 (フロートロン) を用いた連続定量供給装置の試作およびその性能	
大府大工…矢野武夫, 佐藤宗武……92 (20)	
エジェクター・フィーダによる凝集粉体の分散	
静大工…渡辺 始, 松野孝好… 106 (20)	
中田好洋	
攪拌流動層における所要動力と混合効果	
信州大繊維…佐納良樹, 本山安訓…… 4 (21)	
2次元ホッパー内の粉体応力の測定	
日本鋼管㈱…橋本 啓治……10 (21)	
細川粉工研…福井 雄二	
横浜国大工…綱川 浩, 青木隆一	
皿型造粒機による最小ペレット生成の操作条件について……………九工大…上滝 具貞……17 (21)	
山口大工…早野延男, 山中久人	
坂口玉雄	
<特集> 粉体の単位操作と粉体物性	
粉体物性測定上の諸問題—粉体の物性は本当に測定できるようにになったのだろうか—	
名大工…神保 元二…… 4 (20)	
国気混相流装置計画上の諸問題	
静大工…狩野 武……11 (20)	
貯槽と粉体物性…横浜国大工…青木 隆一……21 (20)	
粉体物性と集塵技術	

大府大工…吉田 哲夫……33 (20)	
粉粒体混合機の混合性能	
大府大工…矢野武夫, 寺下敬次郎……39 (20)	
<技術報告>	
ミクロンセパレータの理論と実際	
細川鉄工所…森本 益弘……13 (1)	
スーパーミクロンミルM502NC型について	
細川鉄工所…井上貞敏, 田中昭夫……15 (2)	
パーチカルコーンミル解砕 (中砕) 機	
細川鉄工所…細川 永一……17 (2)	
粉碎機の無人操作運転について	
細川鉄工所…細川 益男…… 6 (4)	
細川粉工研…松山卓蔵, 横山藤平	
砂を造るの記……東邦電化㈱…早坂 幹夫……38 (5)	
ガス吸収および集塵用スクラパーの選択	
大阪市大工…吉田 哲夫……41 (5)	
ホソカワ/マイクロ パルスエアーの実際	
細川粉工研…鈴木 昭明……12 (9)	
ビクトリーミルの汎用化—スリットライナーの適用について—	
細川粉工研…鈴木昭明, 安芸良明……68 (17)	
低温粉碎について	
大阪ガス㈱…中西 英治……94 (18)	
細川粉工研…豊立 勝二	
大型貯槽における貯槽形状と粉体圧	
清水建設㈱…杉田 稔……58 (19)	
高濃度空気輸送装置の試作	
細川粉工研…浦山清, 北村 隆……73 (19)	
試作流動乾燥機「エスカレート・ドライヤー」の特性	
細川粉工研…横山藤平, 中川文雄… 100 (20)	
彼谷憲美	
<技術資料, 参考資料, 技術紹介, 寄書>	
ミクロンミルの歴史	
細川鉄工所…細川 益男…… 2 (1)	
ミクロンミル改造の過程	
細川鉄工所…井上 貞敏…… 3 (1)	
粉碎機の型式選定	
細川鉄工所…松山 卓蔵…… 9 (2)	
ヨーロッパでみた粉体粒度測定法	
京大化研…水渡 英二…… 2 (3)	
ハイスイングボールミルについて	
名工試…山内 史朗……33 (3)	
Micromeritist in U.S.A.	
金沢大工…田中 達夫…… 2 (4)	
整粒粉碎について	
京大工…中川有三, 松居国夫…… 4 (4)	

微量粉末のX線分析

大市大理…斎藤 喜彦……16 (4)

粉体混合に関する一、二の知見

松下電工㈱…蟹瀬 巖……23 (4)

粉体空気輸送に関する二、三の知見—水平管路につ

て—……大府大工…北浦嘉之, 長瀬洋一……25 (4)

ミクロンセパレータの操作因子が分級に及ぼす影響につ
いて……………細川鉄工所…技 術 部……43 (4)

高圧静電気による粉碎と分級

電気塗装㈱…納 五平……25 (5)

ヨーロッパの粉体技術管見

細川粉工研…松山 卓蔵……26 (5)

化学工業と粉碎機

細川鉄工所…営 業 部……55 (5)

オートパルバーの特性とその応用

細川鉄工所…技 術 部……58 (5)

異物質分離装置としてのスーパーミクロンミル

細川鉄工所…細川益男, 森本益弘……34 (7)

ミクロンドライヤーの実際について

細川鉄工所…丹羽 久雄……47 (7)

有機化学への振動ミルの応用

細川粉工研…松山 卓蔵……22 (7)

欧州粉体機器のいろいろ

大市大工…吉田 哲夫……29 (9)

ナウタミキサーについて

細川粉工研…松山卓蔵, 鈴木昭明……12 (10)

粉碎の選択性と粒度分布の先天性

関大工…中川 有三……31 (11)

ホップ中における粉体の架橋現象とその対策

細川鉄工所…横山 藤平……34 (11)

石炭乾燥粉碎分級プラント

細川鉄工所…田中昭夫, 鈴木泰弘……57 (12)

ナウタミキサーよりの連続排出法についての実例

細川鉄工所…田中昭夫, 大坪 勲……59 (12)

パルスエアークレクター性能試験

細川粉工研…鈴木 昭明……61 (12)

微粉末の少量定量供給装置

……同大工…奥田 聰, 伊藤勇吾……32 (13)

井口高行

高速度写真—主として照明用光源について—

大市大工…森島 直正……48 (13)

化工機メーカーにおける專業化およびエンジニアリン

化の諸問題……細川鉄工所…間島淳一郎……57 (13)

ナウタミキサーによる「重油煤着減し」について

東電フライアッシュ㈱…築 尚……97 (14)

粉体特性綜合測定装置の試作

細川粉工研…横山 藤平……102 (14)

見掛密度について…法政大工…津々見雄文……46 (15)

攪拌型乾燥機ソリッドエアについて

細川粉工研…鈴木 昭明……54 (15)

パウダーテスターについて

細川粉工研…P. T 係……58 (15)

パウダーテスターの測定における計算のノモグラフ化

名大工…神保元二, 羽多野重信……61 (15)

浅川貞雄

圧縮における Bockstiegel 式と川北式について

法政大工…川北公夫, 池田正明……66 (17)

混合偏析しやすい粉しにくい粉

北大工…田中 達夫……93 (19)

タッピング圧密に関する二、三の考察

法政大工…川北公夫, 池田正明……100 (19)

水銀圧入法ポロシメータによる多孔性物質の細孔分布に
ついて

富山大工…諸橋昭一, 長谷川哲夫……106 (19)

宛山康広

低温粉碎—リフレックスミルについて—

大ガス中研…阪本 有右……116 (20)

細川粉工研…豊立 勝二

容器内粉粒体層の底圧について

福岡教育大…森山 龍一……122 (20)

丸工大…上滝 具貞

板谷達ゼオライトの特性と利用

山形大…高坂 彬夫……128 (20)

標準粉体の紹介……機械技研…山下 憲一……144 (20)

カプセル輸送用インゼクションフィーダー

新日本製鉄㈱…上滝 洋一……34 (21)

丸工大…富田 侑嗣, 上滝 具貞

湿式電気集塵機ホソカワ/マイクロ エレクト

ロフィルの特性とその応用

細川鉄工所…第1環境システム(事)……84 (21)

<総説>

超微粉碎について

細川鉄工所…松山 卓蔵……7 (1)

✓工業用篩機, 特に微粉域篩機について

細川鉄工所…細川永一, 横山藤平……10 (1)

粉碎物の粒度測定法

京大化研…荒川 正文……4 (3)

乾式分級機の特性……名工試…上田 康……14 (3)

乳化装置について

武田薬品㈱…美間博之, 大貫延雄……22 (3)

最近の注目すべき粉碎機

細川粉工研…松山 卓蔵……36 (3)

医薬品工業と粉体

武田薬品㈱…神沢得之助……39 (3)

半均質核燃料の再処理

日本原研…矢島聖使, 岩本多美……36 (4)

沈降法による最近の粒度測定装置について

名大工…井伊谷鋼一, 木村典夫……6 (5)

標準フルイについて…粉工研…三輪 茂雄……30 (5)

粉碎の基礎法則に関する2, 3の提案

東大工…神保 元二……3 (7)

粉体急速混合機について

細川粉工研…松山 卓蔵……21 (7)

最近の食品工業における粉碎と粉碎機

武田薬品㈱…美間 博之……23 (7)

粉体オリフィスの設計

粉工研…三輪 茂雄……25 (8)

医薬品と粉体工学…神戸薬大…林 信一……88 (14)

微粒子の性質に関する二, 三の問題

昭和大薬…金庭 延慶……48 (15)

有機粉末の機械化学的变化

昭和大薬…金庭延慶, 池川昭子……40 (16)

粉粒体の密度測定

法政大工…川北公夫, 池田正明……81 (17)

粉碎の話Ⅲ—粉碎理論は役に立つか—

北大工…田中 達夫……87 (18)

流動層からの小粒子の飛び出し—飛び出し速度係数につ

いて……九大工…篠原 久, 田中武男… 100 (18)

沈降速度補正係数について

富山大…沢皇 恭… 106 (18)

細川粉工研…彼谷 憲美

粉体の充填とカサ密度

法政大…川北 公夫… 112 (18)

サスペンションのレオロジー

東北大工…梅屋 薫……80 (19)

川北粉体圧縮式の特性定数

法政大…川北 公夫… 112 (19)

粒子層内における熱と水分の同時移動現象に関する諸問

題……北大工…倉前 正志… 136 (20)

菌体の破壊……東大農…中村 厚三……36 (21)

微粉体の粒度測定技術

山形大工…高坂 彬夫……40 (21)

<解説, 講義, 講座>

分級装置概論……京大工…吉岡 直哉……17 (6)

湿式集塵装置 (スクラパー)

大市大工…吉田 哲夫……24 (6)

フィルター集塵…細川粉工研…松山 卓蔵……36 (6)

流動浸漬塗装法について

大工試…堀内 光……31 (8)

細川粉工研…松山 卓蔵

化学者のための Micromeritics 入門 (第1回)

武田薬品㈱…美間博之, 北森信之……35 (8)

化学者のための Micromeritics 入門 (第2回)

武田薬品㈱…美間博之, 北森信之……18 (9)

化学者のための Micromeritics 入門 (第3回)

武田薬品㈱…美間博之, 北森信之……35 (10)

化学者のための Micromeritics 入門 (第4回)

武田薬品㈱…美間博之, 北森信之……46 (11)

✓ 粉粒体のふるい分け機

細川粉工研…鈴木 昭明……46 (12)

化学者のための Micromeritics 入門 (第5回)

武田薬品㈱…美間博之, 北森信之……28 (13)

化学者のための Micromeritics 入門 (第6回)

武田薬品㈱…美間博之, 北森信之……90 (14)

粉碎理論……徳島大工…松居 国夫……68 (16)

粒度に関する試論 (1)

東大工…菅沼 彰……76 (17)

粒度に関する試論 (2) —平均粒度の意義と名前につい

て……東大工…菅沼 彰… 126 (18)

統計的推定 (第1回)

東大工…菅沼 彰……96 (19)

統計的推定 (第2回)

東大工…菅沼 彰… 111 (20)

湿式球形造粒……岐阜薬大…川島 嘉明……26 (21)

粉碎技術の考古学……同大工…三輪 茂雄……50 (21)

<文献紹介, 紹介>

乾燥粉碎装置に関する熱精算…亀井 三郎……39 (4)

最近の粉碎と粉碎機

武田薬品㈱…美間 博之……45 (5)

東大物性研究所について

東大物性研…斎藤 喜彦……12 (7)

粉碎法則と粒度計算…粉工研…三輪 茂雄……30 (7)

流路内壁における微粉末の附着について

金沢大工…田中 達夫……37 (7)

衝撃粉碎の応力理論

金沢大工…田中 達夫……53 (8)

ソ連における粉碎研究

粉工研…三輪 茂雄……24 (9)

集塵用布フィルター使用の最近の傾向

大市大工…向阪 保雄……23 (10)

ソ連における粉碎研究

粉工研…三輪 茂雄……30 (10)

原料性質の変化する場合の粉碎過程の制御について

北大工…中島 耀二……27 (11)

食品エーロゾルについて

光岡幸恵, 井伊谷鋼……………35 (12)

固体混合機における解混合の原因と対策

細川粉工研…講崎 元清……………39 (12)

固体混合に関する最近の研究

大府大工…佐藤 宗武……………80 (14)

貯槽内粉体圧……………細川粉工研…鈴木 雅之……………21 (15)

石炭粉砕過程

九大工…上滝 具貞, 富田侑嗣……………86 (17)

セメント粉砕プロセスにおけるエネルギー省力化の問題

名大工…浅井 信義……………84 (21)

<特許紹介>

粉体の空気輸送に関する最近の特許発明について

特許庁…安達 功……………43 (6)

粉砕機械に関する最近の特許発明について

特許庁…安達 功……………43 (7)

粉砕機械に関する最近の特許発明について

特許庁…安達 功……………59 (8)

粉砕に関する最近の特許発明について

特許庁…安達 功……………41 (10)

<製品紹介, 新製品紹介, 技術ニュース>

粉砕機案内……………17 (1)

微粉域用篩機二種

細川鉄工所…細川永一, 横山藤平……………13 (2)

ミクロンミル MoG 型について

細川鉄工所…井上貞敏, 柴田恒静……………18 (2)

粉砕機案内(2)……………細川鉄工所…営業 部……………29 (3)

製品案内(3)……………49 (4)

新製品紹介(1) オート・バルバー……………51 (4)

(2) 密閉型パイプ・フィーダー……………52 (4)

製品案内(4)……………81 (5)

Y型連続混合機……………55 (7)

微粉砕乾燥機ミクロンドライヤー……………56 (7)

マイクロ製品の展望

細川鉄工所…細川益男, 森本益弘……………44 (8)

ホソカワ/マイクロ バルペライザー S型……………39 (9)

ホソカワ/マイクロ モニターについて……………44 (10)

ライブピンスクリューフィーダー, ピンアクチベータ,

ヘビーデューティ フィーダー

細川粉工研…鈴木 昭明……………62 (13)

ホソカワ/ストロングスコット・ソリッドエアー, コン

ティニューエータ, タービュライザー

細川鉄工所…営業本部……………101 (14)

ミクロンビクトリーミル, ミクロンフィーダー D型

……………62 (15)

ホソカワ/マイクロ エアトロン

細川鉄工所…谷口 浩……………127 (16)

ジャンボパルスエアー, ホソカワ/マイクロ エレクト
ロフィル, マリタイム

細川鉄工所…集塵機(事)……………100 (17)

湿潤粉体の供給機

細川鉄工所…化学機器(事)……………109 (17)

試験室用湿式篩分機……………108 (17)

ホソカワ/ミクロン ファインミクロンミル, ホソカ
ワ/カータノブリッジングホッパー, ホソカワ/カ
ータ デンシファイヤー, ホソカワ/カータ バッグ
フィルター, ホソカワ/カータ ドラムフィルター

細川鉄工所…粉体機器(事)……………132 (18)

バッグフィルターによる高温ダスト集塵

細川鉄工所…集塵機(事)……………136 (18)

乾燥装置……………細川鉄工所…化学機器(事)……………122 (19)

ホソカワ/マイクロ ACMバルペライザー

細川鉄工所…粉体機器(事)……………124 (19)

ホソカワ/ダイガス リンレックスミル……………27 (19)

ホソカワ/トリット ダウンドラフトベンチ……………50 (19)

カラコーダ (Colocorder)……………63 (19)

トーラスディスク ドライヤー……………95 (19)

ジャンボパルスエアー (大型ホソカワ/マイクロ パル
スエアー JTP シリーズ)

細川鉄工所…第2環境システム(事)……………152 (20)

混合機……………細川鉄工所…化学システム(事)……………158 (20)

ラミマックシステムについて

ホソカワ環境エンジニアリング株

…環境(事)……………57 (21)

粉体流量制御における“フローマスタ”の性能

細川粉工研…横山 藤平……………78 (21)

トーラスディスク

細川鉄工所…化学システム(事)……………88 (21)

中圧空型パルスエアーおよびユニフィルター

細川鉄工所…第2環境システム(事)……………90 (21)

<随筆, 紀行>

粉体は魔物?……………京大工…吉岡 直哉……………11 (2)

マニラのハイアライ

細川鉄工所…細川 益男……………31 (3)

もくひろい……………大府大工…北浦 嘉之……………32 (3)

会話雑感……………上田 敏之……………21 (4)

ヨーロッパの乞食と泥棒……………細川 益男……………22 (4)

無題……………細川 明彦……………47 (4)

粉の囁き……………日本大…池森 亀鶴……………45 (6)

シカゴと東部の見学旅行から

名大…井伊谷鋼……………46 (6)

ヨーロッパの Micromeritists

金沢大…田中 達夫……48 (6)	
The Spirit of Christmas	
HOSOKAWA Ins…J. Robinson……7 (6)	
英国で私が出会わせた珍談	
HOSOKAWA Ins…佐藤 功……50 (6)	
H. E. Rose 教授の思い出	
金沢大…田中 達夫……63 (8)	
P. M. C. の一日	
細川鉄工所…谷口 浩……64 (8)	
「粉体化学」に対する熱烈なファンの声援	
大府大工…矢野 武夫……40 (9)	
ヨーロッパの粉砕・粉体工学研究	
東大工…神保 元二……42 (9)	
オーストラリアの粉砕工場	
細川鉄工所…横山 藤平……46 (9)	
水車は廻る……武田薬品㈱…大貫 延雄……51 (9)	
NAUTAMIX. N. V. を訪れて	
細川鉄工所…丹羽 久雄……47 (10)	
粉砕法則に対するある期待	
北大工…田中 達夫……45 (11)	
セイロン印象記 “エカイ、デカイ、トウナイ”	
細川鉄工所…森本 益弘……54 (11)	
粉砕の話 (1) ……北大工…田中 達夫……40 (13)	
ずいひつ……日本電池㈱…岡田 辰三……79 (14)	
粉砕の話 (2) ……北大工…田中 達夫……40 (15)	
働くよろこび……日本電池㈱…岡田 辰三……44 (15)	

公害問題の一面…日本電池㈱…岡田 辰三……67 (16)	
倉敷にて一新浚園の石臼群—	
富山大工…沢島 恭……67 (17)	
椿の花と寅彦先生と	
富山大工…沢島 恭……89 (19)	
粒度, 粒経, 粒子径	
富山大工…沢島 恭……74 (21)	

<座談会, お説拝聴>

新日本化精工工業株式会社をたずねて……43 (3)	
備北粉化工業株式会社をを尋ねて……45 (4)	
赤穂海水工業株式会社をを尋ねて……52 (5)	
粉砕あれやこれや……51 (6)	
粉とびある記……51 (7)	
海外出張よもやまばなし……49 (10)	
P. M. D. 社 E. L. Timm 技術本部長を囲む	
細川粉工研…松山 卓蔵……57 (11)	

<グラビア>

P. M. D. 社, ナウタ社のセールスカンファレンスとロンドンにおけるホソカワフィルムショー	
細川鉄工所…横山 藤平……66 (12)	
写真で見る細川粉体工学研究所……34 (13)	
細川鉄工所枚方工場竣工記念アルバム……56 (14)	
ルーマニア向タルクおよびベントナイト粉砕プラント	
……34 (15)	
枚方建設計画完工記念アルバム……34 (18)	



“粉碎”誌編集委員会

編集委員会査読委員

査読委員長	大阪府立大学教授	矢野 武夫氏
査読委員	京都大学名誉教授	中川 有三氏
“ ”	大阪府立大学教授	吉田 哲夫氏
“ ”	京都大学教授	井伊谷鋼一氏
“ ”	京都大学教授	吉岡 直哉氏

(御年令順)

“粉碎”誌投稿規定抜萃

1. 原稿の種類

1.1 研究報告

粉体工学に関連する完結した研究で、他誌に未発表のもの、和文の著者摘録と英文要旨をつけて下さい。図表の説明は英訳して下さい。査読があります。

1.2 技術報告

粉体工学に関連する工業化試験、工業装置の運転あるいは設計法等に関する研究成果をまとめたもの、なお技術報告にも査読があります。

1.3 総説(解説および講義も含む)

粉体工学に関連あるいは寄与する分野の解説的記事、この場合特に著者の意見や見解を盛り込んだ入門的のわかり易く説明したもの。

1.4 参考資料

粉体工学に関連する研究や調査などのメモ、記録、あるいは装置の設計、運転、測定等に必要と思われる内容をもつもの、粉体工学に関連する問題に対する意見あるいは討論、本誌に発表された研究論文に対する補遺あるいは意見を記述したもの。

1.5 文献紹介

粉体工学に関連する文献の紹介、紹介者の意見や批判を適当におりませたもの。

1.6 随筆

2. 原稿の書き方(省略)

3. 原稿の編集

3.1 研究報告および技術報告につきましては、査読委員の査読結果に従って訂正を求めることがありますので御協力下さい。

3.2 原則として年1回発行します。

3.3 抜刷を御希望の場合は編集事務局へ御連絡下さい。実費にて預けいたします。

3.4 掲載済の原稿は返却いたします。

3.5 掲載しました原稿に対しては若干の稿料を送らせていただきます。ただし研究報告および技術報告は原則として抜刷100部を贈呈し稿料にかえさせていただきます。

編集後記

編集部

* 予定より約2カ月も発行が遅れ、投稿いただきました諸先生方および御熱心な読者諸兄には心よりお詫び申し上げます。

* オイルショックに続く長い不況によりやくほのな明かりが見えるとはいえ、なお流動的な現在、この低成長時代下における技術のあるべき姿について、本号の巻頭言において狩野先生から非常に含蓄のある、時宜を得たお言葉をいただきました。編集子も全く同感であり、本誌の編集もその主旨に沿った内容にすべく心がけるつもりであります。

* 長らく懸案でありました“粉碎”誌索引をようやく本号の巻末に掲載いたしました。何かの参考になれば望外の喜びでございます。

* “粉碎”誌の原稿を募集しております。粉体に関係する内容のものは何でもかまいませんので、どしどし奮ってご投稿ください。

“粉 碎” No.21 1976年 秋季号

昭和51年11月30日 印刷

昭和51年12月6日 発行

編集発行責任者 横 山 藤 平
(非売品)発行所 細川粉体工学研究所

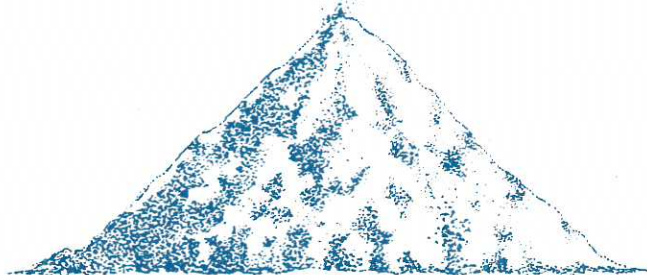
大阪府枚方市招提田近1丁目9

印刷所 ナニワ印刷株式会社
大阪市北区川崎町38

粉体はホソカワの原点

粉体処理 への努力

その成果が粉体技術連峰へ



創業60年、ホソカワの歴史は、そのまま粉体を取り扱う機械装置と、その技術に専門化してきた歴史です。いわば、一粒一粒の粉体に対する、たゆみなき努力の積み重ねです。ホソカワは、各種粉碎機、分級機、混合機、乾燥機、集塵装置、輸送装置など、粉体処理

に関する単位装置からシステムエンジニアリングまで、あらゆる産業の発展に幅広く貢献し、さらに、この粉体の分野を中心として技術開発に尽力。今後も、主力製品の峰々と、それをとりまく周辺技術の裾野を広げ、粉体技術連峰の形成を目指しています。



粉体処理機器とシステムエンジニアリング

ホソカワ

株式会社 細川鉄工所

〒573 大阪府枚方市招提田近1丁目9番地
電話 / 枚方(0720)55-2221・東京(03)503-2231