

粉 碎

THE MICROMERITICS

細川粉体工学研究所新築記念号

NO. 13 SUMMER 1968

細川粉体工学研究所

“粉 碎” 第 13 号 昭和43年 夏 季 号 目 次

	細川粉体工学研究所の使命	株式会社 細川鉄工所 社長 細川粉体工学研究所 所長	細 川 益 男...	(1)
【巻 頭 言】	粉体工学の進むべき道		井伊谷 鋼 一...	(2)
【報 文】	充填流動層における粒子混合	横 浜 国 大 工 学 部	青 木 隆 一 山 崎 量 平	(3)
	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 体 工 学 研 究 所	横 山 藤 平 浦 山 清	(8)
	試作ヘリカル型ミクロンセパレータの 分級特性	細 川 粉 体 工 学 研 究 所	中 川 文 雄	(20)
【講 座】	化学者のための Micromeritics 入門 (5)		美 間 博 之 北 森 信 之	(28)
【グ ラ ビ ア】	写真で見る細川粉体工学研究所			(34)
【随 筆】	粉 碎 の 話 (1)	北 海 道 大 学 工 学 部	田 中 達 夫	(40)
【技 術 資 料】	微粉末の少量定量供給装置	同志社大学工学部化学工学科	奥 田 聡 伊 東 勇 井 口 高 行	(32)
【寄 書】	高速度写真 一主として照明用光源について	大 阪 市 立 大 学 工 学 部	森 島 直 正	(48)
	化工機メーカーにおける専門化 およびエンジニアリング化の諸問題	細 川 鉄 工 所 営 業 本 部 長	間 島 淳 一 郎	(57)
【紹 介】	ライブビンスクリューフィーダー ビンアクチベーター	細 川 粉 体 工 学 研 究 所	鈴 木 昭 明	(62)
	ヘビーデューティーフィーダー ホソカワニュース			(67)



細川粉体工学研究所の使命

株式会社細川鉄工所 社長 細川 益 男
細川粉体工学研究所 所長

細川粉体工学研究所は昭和32年10月に、株式会社細川鉄工所の前社長、細川永一が、超微粉碎機「ミクロンミル」の発明に対して「紫綬褒章」を受賞したのを記念して、細川鉄工所40数年の粉体技術の蓄積を基礎とし別組織として設立せられたものであります。この研究所の使命とするところは、粉体処理に関する工学の研究、調査、ならびにその工業化研究を実施し、広くわが国の粉体工学、粉体技術の向上に資する事を目的としたものであります。その事業内容として、

1. 粉体工学に関する調査、研究
2. 粉体工学に関する発明および考案とその助成。
3. 研究成果の工業化をはかること。
4. 粉体工学に関する研究者、技術者を養成すること。
5. 粉体工学に関する知識の普及をはかること。
6. 粉体工学に関する図書、資料の蒐集および機械器具、測定器等の備付およびその利用
7. 一般の調査、研究の依頼に応じると共にその設備を利用させること。
8. 調査、研究の成果を公にするため印刷物の刊行、または講習会等を開催する事
9. その他粉体工学粉体技術の向上に資すべき事項の9項目をあげてきました。

わが国に於ける10年前のその頃は、粉体工学、粉体技術というものは、その研究が緒についたところでありました。未解決な問題、困難な問題の山である「粉体」というものに取り組むこのユニークな研究所の発足は、当時学界、業界の粉体に関係されていた皆様方から非常な激励と御期待を寄せられ、折にふれて有益な御指導を仰いで参ったものであります。

また一方この研究所の発足とともに、機関誌「粉砕」を発行、当時日本に於いて唯一の粉体専門雑誌として重宝がられたものであります。

以来10年と少し、まだまだ学問として、技術として、

他の一般工学の水準には程遠いではありませんが、日本の粉体工学、粉体技術は非常な勢で発展してきました。もともと未開拓な分野であり、しかも粉体に関聯する分野に活躍する人の層は実に広汎であります。多くの分野で研究がなされ、技術は進歩改善されてきました。粉体に関する専門雑誌もいくつか世に出て、それぞれに版を重ねて参っております。このような世の趨勢をみるにつけ細川粉体工学研究所もいまや大きく脱皮成長すべきであることを痛感し、昨年来枚方市に新しい研究所の建設を始めたのであります。新しい建物、新しい設備、粉体工学の研究に焦点を絞って色々な工夫を取り入れた研究所が昭和43年6月に完成しました。仏の形は完成して後は魂を入れなければなりません。研究所の魂とは何であるか？それは研究の成果を生み出す魂である筈です。すぐれた成果を上げる魂とは研究者一人一人の能力もさる事ながら研究にとりくむ根性がなければなりません。この能力と根性が新しい研究所の設備を土台にしてすぐれた研究の成果をあげ得てこそ初めて細川粉体工学研究所に魂が入ったと申せましょう。私達は研究の方角として、粉体関聯の基礎研究、粉体装置の改良研究、粉体装置の新製品開発の三つを指向しています。そして模倣を排し世界に通用する技術、世界に売れる技術を生み出す事をその指針としております。新しい研究所の建物、設備が比較的新しい間に、新しい研究成果を上げて、皆様に魂の入った細川粉体工学研究所の落成披露パーティーの御案内が出来るようにと楽しみにしています。

また、この研究所は広く粉体に関係される皆様方の御役に立てる研究所として技術相談、各種試験等精々御利用賜りますよう。また皆様方よりの有益な御指導を戴きともどもに日本のみならず世界の粉体工学、粉体技術の進歩向上に資する事が出来れば幸これに如くはなしと存する次第であります。

粉体工学の進むべき道

井伊谷 鋼 一

粉体工学という体系が確立しているとは思われないが、わが国では可成り広く使われている言葉である。粒子の集合体を粉体あるいはもう少し広い範囲を含めて粉粒体とよぶのが普通であるが、気体あるいは液体中に粒子が分散した状態、すなわちエアロゾル（煙霧質）や懸濁液の問題も粉体工学に含まれるであろうし、一個粒子の挙動も基礎として含めてよいであろう。一方これに対する英語としては Powder Technology がよくつかわれるが、Particulate Technology (Orr による) あるいは Particle Technology (Whitby による) という用語もつかわれる。日本で耳なれた本誌の別名 Micromeritics は故 Dalla Valle 教授の作られた新語で、その著書名にもなっているが、海外では Orr 教授の研究室で用いられている程度で他ではあまり聞かれない。

粉粒体の物理化学的な各種基礎特性から始まって、その工学的な性質をへて、実用上の複雑な現象までを一貫した理論と実験によって裏付けてゆくことが、これからの粉体工学研究者に与えられた長期計画の課題であろう。経験や勘のみによる装置の設計と建設および運転、あるいは純科学的で工学的現象と結びつかないような研究は、現状としては止むをえないとしても、工学研究者としてはさけるべき方向であろう。理論解析は困難なことが多いと思われるので、まずスケールアップを含めて実験式や無次元相関関係をなるべく早急に各種の粉体操作に対して検討整理することが目先の研究課題であろう。その上でその数式モデルを極力少い仮定の上に求めてゆく努力も必要となろう。

粉体工学は化学工学とオーバーラップする所が多く、その一部と考えてもよい位であるが、昔の化学工学が手を

つけなかった分野である。したがって化学工学が一昔も二昔も前に経験した困難を今丁度味わっており、五里霧中の状態にあると言えよう。実際面からの要求は数多く出されており、現場からの関心は高い分野であるが、一般にその質問に対して答えられる内容は甚だ貧弱なものである。それで現在は事実の集積を出来るだけ多数多方面からあつめて整理するのが大事な仕事であろう。その上で一般的な法則性や再現性を見出して解析を試みるのが順序かと考える。ただ少数の実験結果から早急に結論を出したり、実験式を提出することはしばしば混乱をまねくので控目にしてほしいと思う。むしろ生のデータを条件を詳細に明示して与えて頂いた方が、斯界のためにも有効ではないだろうか。もっともそのような報告は学会の論文としてはひとめられないことが多いし、学位論文とはなりにくいので、無理矢理見かけ上立派にみえる結論をでっち上げるのが趨勢であるが、一寸と困ったことのように思う。幸い粉体工学には本誌や粉体工学研究会誌のように気楽に投稿できる雑誌があるので、大に研究者の方々に利用して頂いたら如何かと思う。

私は細川粉体工学研究所の内容については接触が少ないのでよく知らないが、比較的小規模の企業でこのような開発研究の仕事にとりくんでいる所はわが国では少いように思う。日本ではまだまだ独自の技術開発に対する努力のむくわれることが少い現状にかんがみて、当研究所のような組織が全国的に多数できて、お互に各分野の特色を発揮し、努力して日本の粉体工学技術に関するノウハウをどんどん世界に輸出できるようにして頂きたいと念願する次第である。

(京都大学工学部教授)

充填流動層における粒子混合

横浜国大工学部

青 木 隆 一
山 崎 量 平

1. 緒 言

従来、流動層に関する研究として、粒子混合、熱及び物質移動などの研究が多数なされてきた。しかし同じ流動条件で実験を行っても研究者によって結果がバラバラであることも珍しくない。これは流動条件に関する因子が極めて多く、実験条件を厳密に定めることが困難であ

るということと、特に気泡の挙動に関する因子（気泡径、上昇速度、頻度、層内分布状態など）を適確に把握することがむづかしいということに起因すると考えられる。

一方、この複雑な流動層の挙動をより容易に把握しようという目的で、流動層内部に充填物を挿入した、いわゆる充填流動層 (Packed fluidized bed) に関する研究

¹⁾²⁾も多数なされてきた。この充填流動層は通常の流動層に比して充填物の効果によって流動状態が規格化されるという利点がある以外に、反応装置において流動化粒子を伝熱媒体として反応熱の処理を行なうという利点がある。

本報では充填流動層において層膨張、粒子混合、及び流動層内の伝熱を扱い、これらの現象が気泡の性状とどのような関係があるかを論じた。

2. 実験装置及び方法

層本体は内径83mm ϕ 、高さ400mmのアクリル製円管で、気体整流部は高さ100mm (6mm ϕ のガラス球を充填)。層内に使用した充填物は陶器の球形充填物 (12, 15, 20mm ϕ)。流動化粒子としては陰イオン交換樹脂 (ダイヤイオン) (球形、平均粒径 0.6mm ϕ 、比重1.21) を用いた。Fig. 1 は実験装置の概略図である。実験はまず充填物を必要な高さまで充填し、あらかじめ秤量した非追跡粒子を仕込み、流動化開始速度程度

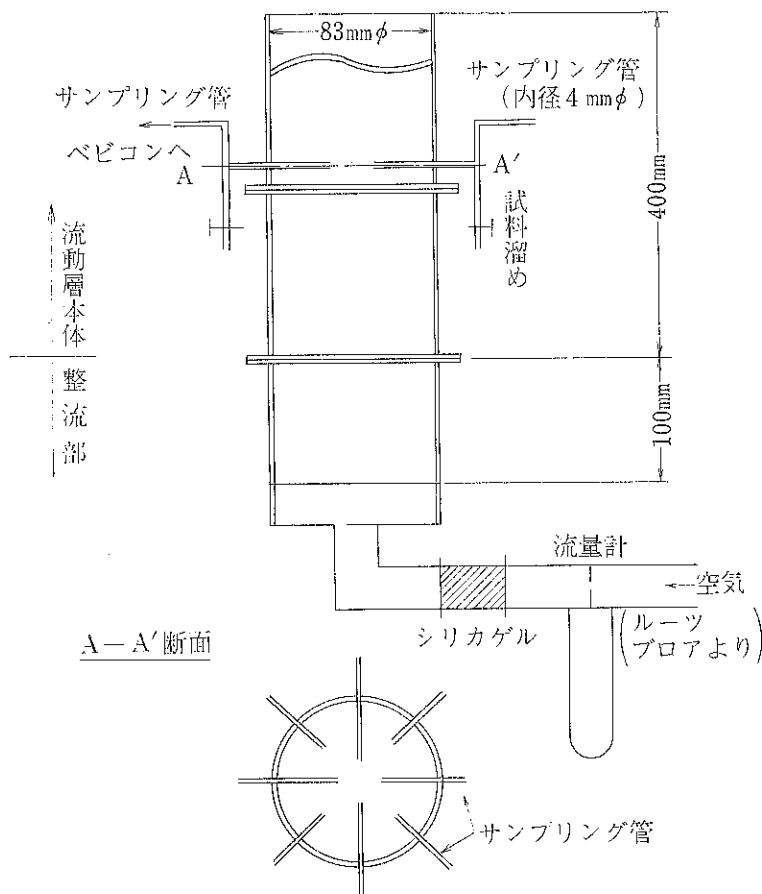


Fig. 1 実験装置説明図

で通風する。その際、サンプリング管からの粒子の流出を防ぐため、サンプリング管から層内とほぼ等しい圧で空気を圧入する。その後、追跡粒子を層断面に一樣に投入して風量を増し実験を開始する。開始後、ある時間間隔でサンプリング管側をわずかに減圧して試料を採取する。8本のサンプリング管からの試料の濃度は計数法によって算出し、層断面の平均濃度は8個のサンプルの濃度の算術平均値を用いた。1個のサンプルの粒子個数は約600個。用いた追跡粒子はイオン交換樹脂を苛性ソーダ水溶液でOH⁻型にしてフェノール・フタレインで着色したもの(紫色)で、一方、非追跡粒子は前記樹脂を塩酸でCl⁻型にしたもの(黄色)である。伝熱の実験では、層内に気体分散板より上方5cmの位置に銅コンスタンタンの裸熱電対を挿入し、その点における温度を実測した。層の軸方向熱拡散率実測の実験では、加熱した樹脂(大体60°C前後)を層高が6~7cm位になるように仕込み流動化開始速度程度で通風し、その後、室温に近い温度の樹脂を投入して風量を増し、実験を行った。温度検出用計器として、Electronic Galvanometer (Model AD-7)、及び記録計として Model E.P.R-2 T (共に東亜電波 K. K. 製)を用いた。

3. 層膨張の一般的関係式と実験式

(i) 層膨張に対する一般的関係式

充填流動層に二相モデルを適用すると、流体は気泡として層内を上昇する部分(気泡相)と、気泡以外の粒子の懸濁しているところ(分散相)に存在する部分とに分けることができる。流動化開始時の風量より過剰な空気量が気泡として上昇すると考えるのが二相モデルであり、次式で表わされる。

$$Q_B = (U - kU_{mf}) A \dots\dots\dots (1)$$

$k=1$ のとき、厳密に二相モデルが成り立つ。この k に対しては、Davidson, Harrison⁹⁾ らによる次の関係がある。 $k=1+2\epsilon_b$ ($\epsilon_b < 0.4$) $\dots\dots\dots (2)$

ϵ_b は層内の気泡の存在割合を表わし、次式で与えられる。

$$\epsilon_b = \frac{L - L_{mf}}{L} = \frac{e - \epsilon_{mf}}{1 - \epsilon_{mf}}$$

今、気泡径 D_B は層内で均一で、気泡上昇速度 U_B は分散板直上以外では一定であり又、気泡頻度 n_B は層の高さ方向に変化がないと仮定する。充填物の効果によって気泡の成長が抑えられるという理由から、この仮定は妥当なものと考えられる。すると、気泡が層の下部(分散板)に発生してから層上面に到るまでの平均時間は次式の様になる。

$$\tau_B = L/U_B \dots\dots\dots (3)$$

層内に存在する気泡の全体積 V_B は、

$$V_B = n_B \cdot \tau_B \cdot \phi_v \cdot D_B^3 = n_B \cdot \frac{L}{U_B} \cdot \phi_v \cdot D_B^3 \dots\dots (4)$$

又、二相モデルによって、分散相中の空隙率が流動化開始時の空隙率 ϵ_{mf} に等しいと考えると、分散相の流体の全体積 V_C は、

$$V_C = (AL - n_B \cdot \frac{L}{U_B} \cdot \phi_v \cdot D_B^3) \epsilon_{mf} \dots\dots (5)$$

層全体の空隙率を ϵ とすると、(4)式と(5)式より

$$\begin{aligned} AL\epsilon &= n_B \cdot \frac{L}{U_B} \cdot \phi_v \cdot D_B^3 \\ &+ (AL - n_B \cdot \frac{L}{U_B} \cdot \phi_v \cdot D_B^3) \epsilon_{mf} \\ \therefore A(\epsilon - \epsilon_{mf}) &= n_B \cdot \frac{1}{U_B} \cdot \phi_v \cdot D_B^3 (1 - \epsilon_{mf}) \\ &= \frac{1}{U_B} \cdot Q_B \cdot (1 - \epsilon_{mf}) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

(1)式と(6)式より

$$\begin{aligned} \epsilon_b &= \frac{1}{U_B} \{ U - (1 + 2\epsilon_b) U_{mf} \} \\ \therefore \epsilon_b &= \frac{U - U_{mf}}{U_B + 2U_{mf}} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

充填流動層において、流速がある程度大きくなると、気泡径は充填物間の単一の空隙の大きさ程度になって、それ以上大きくならないと考えられ、通常の流動層で観察されるスラッグの状態に似た挙動をするものと考えられる。このスラッグ状態における気泡の上昇速度は Nicklin らによって次式で与えられている。

$$U_B = U_{B0} + K(U - U_{mf})$$

$$U_{B0} = 0.35\sqrt{gD_B}, K \approx 1.2$$

今、便宜上、 $D_B \doteq D_p$ (充填物径) とすると、

$$U_B = 0.35\sqrt{gD_p} + 1.2(U - U_{mf}) \dots\dots (8)$$

よって(7)式は

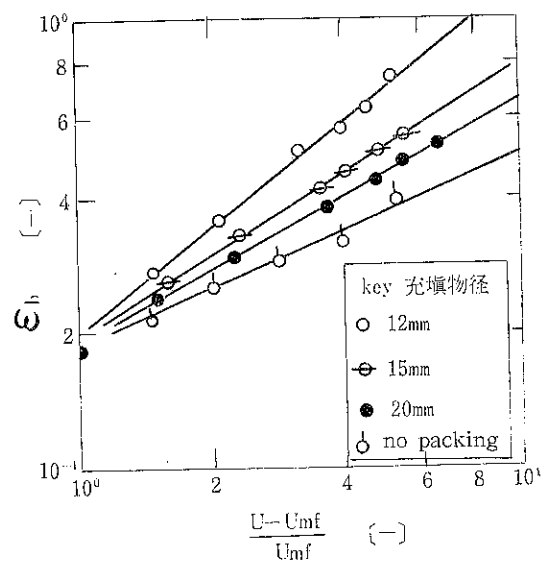


Fig. 2

$$\epsilon_b = \frac{U - U_{mf}}{0.35\sqrt{gD_p} + 1.2U + 0.8U_{mf}} \dots\dots (9)$$

(ii) 層膨張の実験式

通風時の層高 L を実測することによって ε_b を求めた。

Fig. 2 は実験結果であり、次式で整理されることが分かった。

$$\varepsilon_b = a \left(\frac{U - U_{mf}}{U_{mf}} \right)^b \quad (10)$$

$$a = 0.2$$

	12mm球	15mm球	20mm球	no packing
b	0.735	0.602	0.477	0.397

4. 層内粒子の軸方向混合

従来、この層では流動化状態が比較的均質であるという理由から簡単な拡散モデルを適用して解析している。

本報でも、同じ理由から軸方向一次元拡散モデルを適用して解析を試みた。

(i) 粒子混合拡散係数の実測

混合拡散に関する基礎式

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \theta} = D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} \quad (11)$$

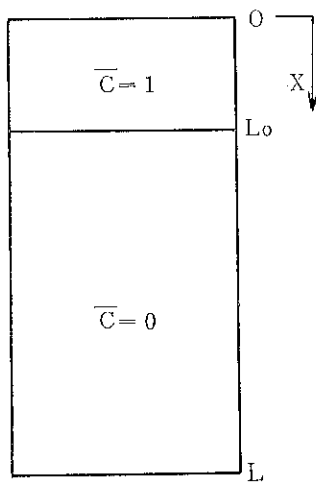


Fig. 3

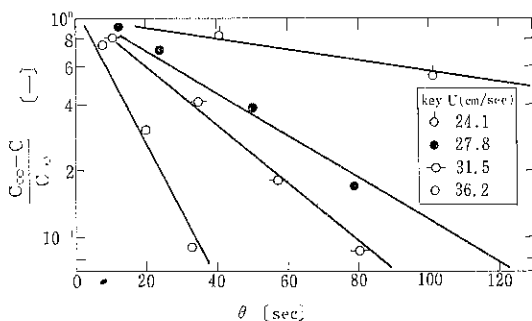


Fig. 4

初期条件及び境界条件

$$\left. \begin{aligned} \theta = 0, \quad 0 < x < L_0; \quad \bar{C} = 1 \\ \theta = 0, \quad L_0 < x < L; \quad \bar{C} = 0 \\ \theta > 0, \quad x = 0, \quad L; \quad \partial \bar{C} / \partial x = 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(12)の条件下で(11)を解くと、

$$\bar{C} = \bar{C}_\infty + \left(\frac{2}{\pi} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \left(\frac{n\pi L_0}{L} \right) \cos \left(\frac{n\pi x}{L} \right) \cdot \exp \left(- \frac{n^2 \pi^2 D \theta}{L^2} \right) \quad (13)$$

ここで $\bar{C}_\infty = L_0/L$

$\bar{C}$ の時間的変化を実測し、(13)式と対比させて混合拡散係数 D の値を算出した。 $\bar{C}$ の時間的変化の実測の一例を

Fig. 4 に示した。

(ii) 実験結果とその整理

<Cell-Model>

Fig. 5 の様に層内を等容積で、等しい逆混合速度をもつ連続した完全混合槽に分割して考えると、 i 番目の槽について物質収支をとって、

$$\frac{\partial C_i}{\partial \theta} = \frac{q \cdot \Delta x}{A \rho} \cdot \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} \quad (14)$$

(11)式と(14)式とを比較して、

$$D = \frac{q \cdot \Delta x}{A \rho} \quad (15)$$

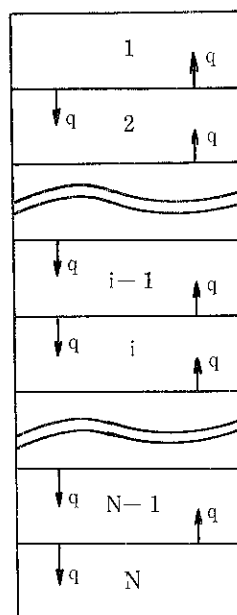


Fig. 5

q : 粒子逆混合速度(g/sec), Δx : セルの大きさ(cm),
 A : 横断面積 (cm²), ρ : みかけ密度 (g/cm³)

粒子の混合は分散相を通過する気泡によって起るものと考えられ、粒子は気泡の周囲を流れて気泡の下部に達し、一方、気泡内の wake は気泡と共に上昇し、周辺粒子をまき込みながら、その一部を剥離してゆく。又、

この wake 内では、粒子は完全混合していると考えられ、最近の研究によると、気泡が気泡径分、上昇する間にはほぼ気泡の体積の $\frac{2}{3}$ 倍の粒子が置換される。これらのことから、

$$q = \left(\frac{2}{3}\right) n_B \cdot V_B \cdot \rho_C \dots\dots\dots (16)$$

$$\Delta x = D_B \cdot \varepsilon_b \div D_P \cdot \varepsilon_b \dots\dots\dots (17)$$

(15), (16), (17)より

$$D = \left(\frac{2}{3}\right) \frac{D_P n_B \cdot V_B \cdot \varepsilon_b \cdot \rho_C}{A \rho}$$

ここで(1)と $\rho \div \rho_C \cdot \varepsilon_{mf}$ を用いると、

$$D = \left(\frac{2}{3}\right) \frac{D_P (U - k U_{mf}) \cdot \varepsilon_b}{\varepsilon_{mf}}$$

又、上式の ε_b に層膨張の実験結果からの(10)式を代入して $k \div 1$ とすると、

$$D = \left(\frac{2}{15}\right) \frac{1}{\varepsilon_{mf}} \cdot D_P \cdot U_{mf} \left(\frac{U - U_{mf}}{U_{mf}}\right)^{1+b} \dots\dots\dots (18)$$

Fig. 6 は実験結果で $D : (U - U_{mf})/U_{mf}$ で整理している。

実線は(18)式による計算値であり、実測値はこれにほぼ適合している。

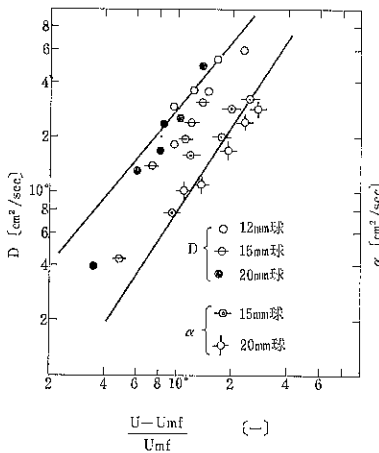


Fig. 6

5. 層内軸方向熱拡散率の実測

層内軸方向の熱伝導に対して次の仮定を用いる。

- ①層内を均質な媒体と考える。②輻射による伝熱の影響は無視する。③流動化粒子、充填物、流体間には温度差がない。④流体が層から奪ってゆく熱は無視する。

これらの仮定の下に基礎式を立てると、

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} - \alpha' \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \dots\dots\dots (19)$$

$$\left. \begin{aligned} \theta = 0; 0 < x < L_0; T = T_0 \\ L_0 < x < L; T = 0 \\ \theta > 0; x = 0, L; \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19')$$

(19')式の条件下で(19)式を解いて

$$T = T_0 \left\{ \left(\frac{L_0}{L} \right) + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \left(\frac{n\pi L_0}{L} \right) \cos \left(\frac{n\pi x}{L} \right) \exp \left(- \frac{n^2 \pi^2 \alpha' \theta}{L^2} \right) \right\} \dots\dots\dots (20)$$

$$\alpha' = \frac{K}{\rho_s C_s}, \quad \rho_s C_s' = \varepsilon_p \cdot \varepsilon \cdot \rho_s \cdot C_s + (1 - \varepsilon_p) \rho_p \cdot C_p$$

$$\alpha = \frac{K}{\varepsilon \rho_s C_s} = \frac{\alpha' \{ \varepsilon_p \cdot \varepsilon \cdot \rho_s \cdot C_s + (1 - \varepsilon_p) \rho_p C_p \}}{\varepsilon \rho_s C_s} \dots\dots\dots (20')$$

ε_p : 充填物間空隙率 ε : 粒子間空隙率

ρ_p, C_p : それぞれ充填物の密度及び比熱

ρ_s, C_s : それぞれ粒子の密度及び比熱

$\rho_p C_p \div \rho_s C_s \div 0.53$ が本実験の場合に成り立つ。

実測値の一例を **Fig. 7** に示した。この実測値より(20'), (20')式を用いて α を計算し、**Fig. 6** にプロットすると、粒子混合の実験より得られた $D : (U - U_{mf})/U_{mf}$ に傾向においてほぼ一致している。

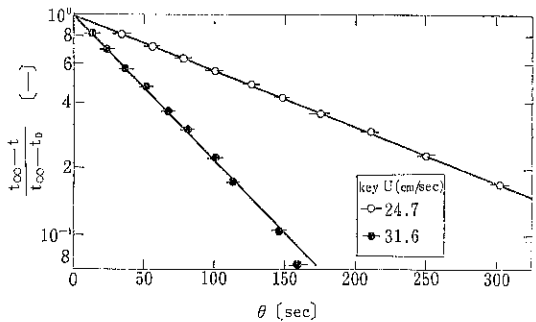


Fig. 7

6. 考察及びまとめ

層内軸方向熱拡散率の実測で、設けた仮定について検討する。仮定②について；60°C以下で実験を行っているので許されると考えられる。仮定④について；充填物の熱伝導性が良く、又その径が小さくなると粒子—充填物間の熱移動は無視できなくなる。この場合、高温部の充填物は発熱体、低温部の充填物は吸熱体のようにふるまう。この為に、粒子—充填物間に熱移動がない場合よりも小さい熱拡散率を得ることになる。熱拡散率の値が粒子混合拡散係数より小さくなるのはこの為であろうと思われる。この事を考慮すると熱拡散率 α と混合拡散係数 D とはほぼ同一の値になると考えられる。

以上をまとめると、(1)層膨張の式としては、気泡の挙動などに関して理論的に根拠のあるものが望ましいが、未だ気泡に関する知見が十分でないので、実験結果は次式で整理した。

$$\varepsilon_b = a \left(\frac{U - U_{mf}}{U_{mf}} \right)^b$$

(2) 粒子混合拡散係数の一般式として, Cell-Model を適用して次式を得た.

$$D = \left(\frac{2}{15} \right) \frac{1}{\varepsilon_{mf}} D_p U_{mf} \left(\frac{U - U_{mf}}{U_{mf}} \right)^{1+b} \quad [\text{cm}^2/\text{sec}]$$

上式ではば実測値を説明できることが分った.

(3) 層内軸方向熱拡散率の実測値は傾向において粒子混合拡散係数の実測値と一致した.

記号

$\bar{C}$: 追跡粒子濃度 (追跡粒子数/全粒子数) (—)

C_s : 粒子の比熱 (cal/g·°C)

C_p : 充填物の比熱 (cal/g·°C)

D : 粒子の軸方向混合拡散係数 (cm²/sec)

D_p : 充填物径 (cm)

D_B : 気泡径 (cm)

L : 層高 (cm)

n_B : 気泡頻度 (1/sec)

q : 粒子の逆混合速度 (g/sec)

T : 層の温度 (°C)

U_B : 気泡上昇速度 (cm/sec)

U : 空気速度 (空塔基準) (cm/sec)

U_{mf} : 流動化開始速度 (cm/sec)

α : 軸方向熱拡散率 (cm²/sec)

ε : 層の空隙率 (—)

ε_{mf} : 流動化開始時の空隙率 (—)

ε_b : 層内の気泡の存在割合 (—)

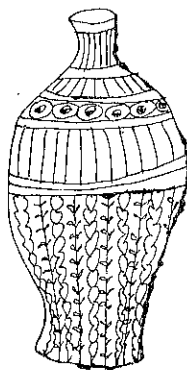
ε_p : 充填物間空隙率 (—)

ρ_s : 粒子の真密度 (g/cc)

ρ_p : 充填物の密度 (g/cc)

文 献

- 1) Kubota, H. et al: Chem. Eng. (Japan) **30**, 748 (1966)
- 2) Sutherland, J. P., Wang, K. Y.: Can. J. Chem. Eng. **42**, 163 (1964)
- 3) Harrison, D. et al: Chem. Eng. Sci. **8**, 1059 (1967)



パルスエアークレクターにおける 汙布試験装置の試作と二、三のテスト

細川粉体工学研究所

横 山 藤 平
浦 山 清

I, はし が き

パルスエアークレクターにおける清掃効果および粉体との適性を多種の汙布について調べる研究を一昨年の初めより着手した。試験装置としてパルスエアークレクターの小型機(P12A-6, 6.8m²)を用いて実験を初めたが、実装置を用いたのでは、1種類の汙布についても非常に長期間を要し、この間同一運転条件を保つことは不可能に近く、当初の目的を達することはできなかった。昨年以来実験方法を再検討し、専用実験装置を製作し、同一雰囲気内で多種の汙布を同時に測定しなければ有用なデータは得られないと判断して、この目的に沿う試験装置を試作した。

この装置は一つの粉塵浮遊槽の中に8種類のテストピース汙布を同時に取付け、一定速度で汙布に粉塵を吸引付着せしめて、汙布の圧力損失を測定した後、パルスエアークレクターと同じように圧搾空気のジェット噴射を汙布の裏側から与えて付着した粉塵を剝離せしめ、このときの汙布の圧力損失を測定して清掃効果の目安とすることにした。これを数10回繰返すことにより各汙布の圧力損失の上昇曲線の観察から、試験粉塵に対する各汙布の特性を判断することができる。この装置では捕集効率を測定することはできないが、試験終了後、汙布裏面への粉塵のにじみだし(Seepage)度合の観察によって、各汙布間の捕集性の比較判定ができる。この装置の使用によって試験期間が非常に短縮できた。

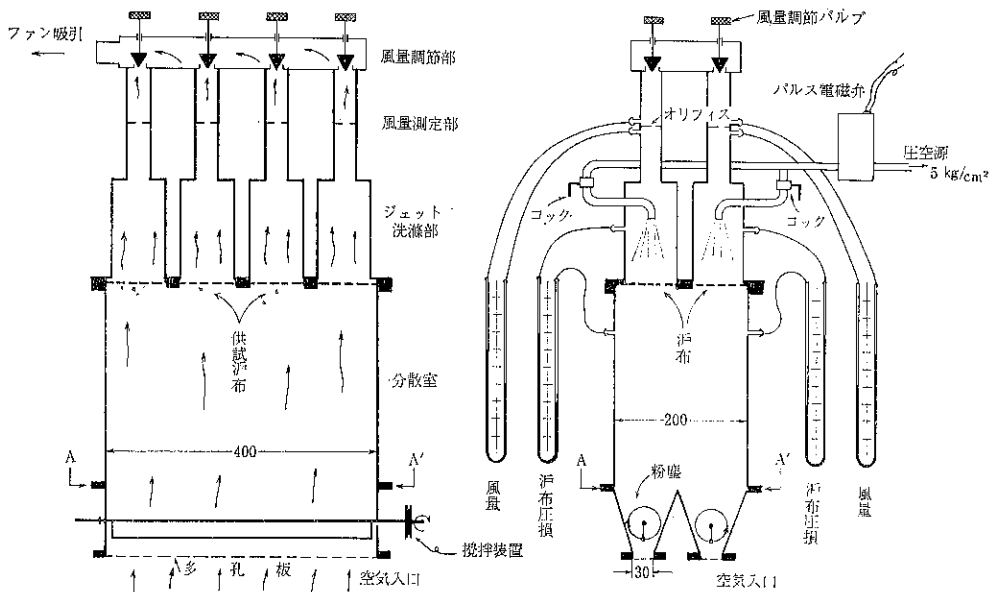


Fig. 1 パルスエアークレクター実験装置

ここに報告したPVC, タルク, ポリプロピレンの3種の粉体(何れも数 μ 程度の超微粉)についての測定は実際にユーザーからの依頼によって行なったものである。

II 装置の概要と測定方法

1. 測定装置

試作した測定装置の概略を Fig. 1(写真1)に示す。

ファンによって吸引された空気は装置最下端の多孔板部を通して噴出し, 2列のV型粉体溜め(写真2)を

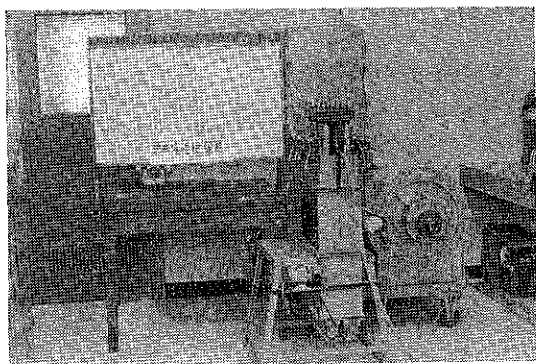


写真1 測定装置

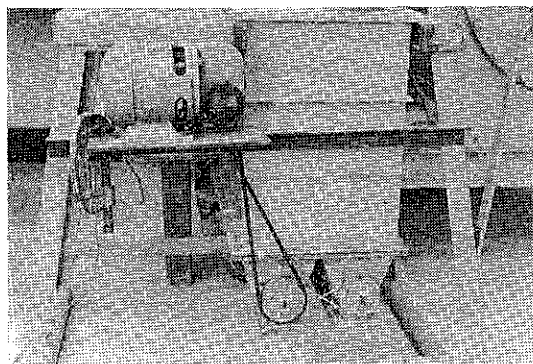


写真2 2列のV型粉溜と攪拌機 上部は分散室

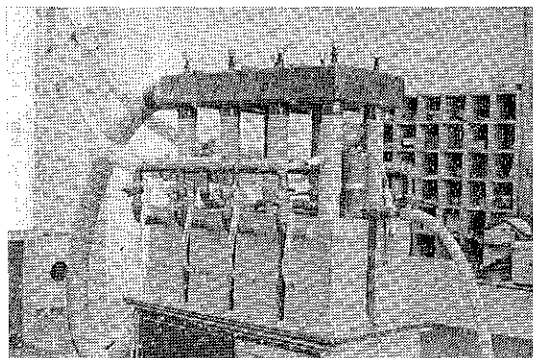


写真3 ジェット洗滌部風量測定部 風量調節部

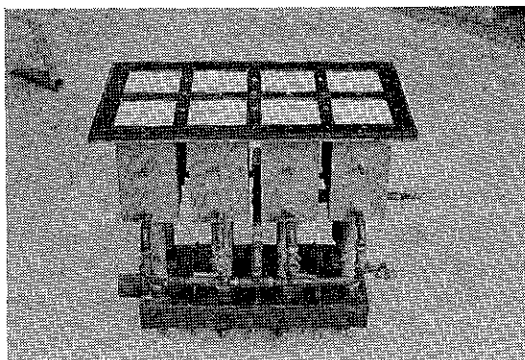


写真4 テストピース汙布の取付面

通って分散室を上昇し, 供試汙布を通してジェット洗滌部, 風量測定部を上昇し, 風量調節部(写真3)から装置外に出てファンに吸引される。

供試汙布は8.8cm角に切って8ヶの取付フランジに洩れないように固定する,(写真4)

汙布を通してから風量調節部までの空気は8ヶの各独立した部屋を通ることになる。

各汙布の汙過面積は $8 \times 8 \text{ cm} = 64 \text{ cm}^2$ である。

各室のジェット洗滌部には中央に銅管を配し, 噴射口は管径(10.5mm)をそのまま用いた。この8本の銅管は夫々コックを通して1ヶの電磁弁にまとめコンプレッサに接続した。使用圧は 5 kg/cm^2 である。夫々の銅管にコックを設けたのは汙布の圧力損失を測定するときこのコックがないと, 各部屋が連通して個々の圧損が測定できないためである。

風量はオリフィスを用いてマノメーターで圧力損失を

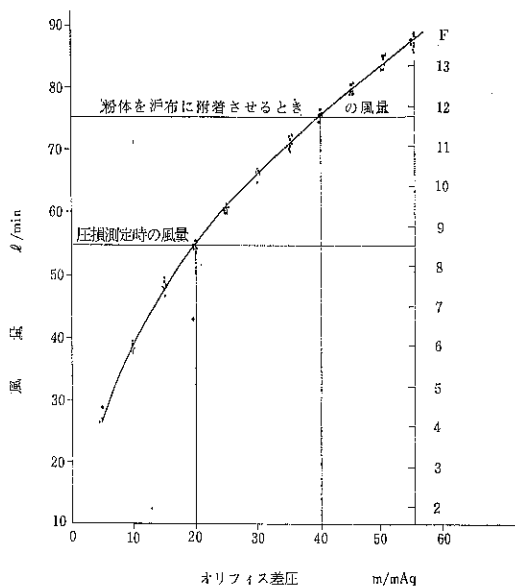


Fig. 2 オリフィス差圧と風量の関係

測定し、そのときの風量を乾式ガスメーターで測定して求めた。この関係を Fig. 2 に示す。

8ヶのオリフィスについて別々に測定したが、図示のように殆んど近似しているので平均線によって求めることにした。

汙布の圧力損失の測定は各部屋毎に1ヶのマノメータを設けて測定した。ファンは $3\text{ m}^3/\text{min}$, 500 mmAq のものを使用。

試料粉体は2列のV型粉溜めに入れたが、均一な流動をさせるためバー型の攪拌機を装入して約 $1/2\text{ R.P.M.}$ で回転せしめた。

2. 通過風量と粉体の流動、浮游

粉体が適当に流動浮游する風量の設定は、汉布を通過する際のF値 [=通過風量 (m^3/min)/通過面積 (m^2)] の問題もあり、この実験中最も苦心した。最初、底面 ($30\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 2$) に 200 mesh の網を貼り、空気を流したが、底面の開口が大きいため充分の風速が得られず粉体が均一に浮游しなかった。あまり風量を多くすると汉布の圧損が極端に大きくなるし、また圧損が小さすぎると測定誤差が大きくなる。そのため汉布の圧損が 40 mmAq になる風量を測定風量 (Fig. 2 より 75 l/min) として、この風量で粉体が適当に流動浮游するよう種々工夫した。結論的には底部の開口部に $1\text{ mm}\phi$ のスクリーンを貼り、これの孔を一つのV型開口について2列のみ残してビニール、テープでスクリーンの孔をつめ、その上に 200 mesh の金網を貼った。

1枚の汉布に 75 l/min を通したときの各部の平均通過風速は次のようになる。

1) 全体の通過風量 $75 \times 8 = 600\text{ l/min}$

2) 多孔板 $1\text{ mm}\phi$ の孔を通過する風速

孔の合計数 $130 \times 2\text{ 列} \times 2\text{ 開口} = 520\text{ ヶ}$

$$\text{孔の総面積} \left(\frac{0.1}{2} \right)^2 \pi \times 520 = 4.08\text{ cm}^2$$

通過風速 $600,000/4.08 \times 60 = 24.5\text{ m/sec}$

3) 分散室 (断面積 $20 \times 40 = 800\text{ cm}^2$) を上昇する平均速度 $600,000/800 \times 60 = 15.6\text{ cm/sec}$

4) 汉布を通過する見掛けの風速

$75,000/64 \times 60 = 19.5\text{ cm/sec}$

この場合のF値

$$F = 0.075 \times \frac{10,000}{64} = 11.7\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ min}$$

F値11.7は実際のパルスエアーの運転からみると、かなり高い値であるが、適当な粉体の浮游状態と、測定に必要な汉布の圧力損失を得るために、この値を採用することにした。

3. 測定方法

粉体を2つの粉溜めに入れて攪拌機を回転せしめてからの測定は次の順序で行なった。

1) ファンを廻して風量バルブを調節し、各汉布の通過風量が 75 l/min . (マノメーター 40 mmAq) になるようにする。この場合は装置のA—A'部のフランジを外して、この部分から空気を入れ粉が吹き上らないようにする。

2) ファンを止めてからA—A'フランジを之に戻す。

3) ファンのスイッチをonしてから15秒後にoffにする。モーター起動時の定常風量になる迄の遅れと、電流切断後の惰力等は総ての実験について同じと看なした。

また、運転時間の15秒は、あまり長い時間吸引すると各汉布を通る風量に変化するので、できるだけ短い時間で測定可能な圧損上昇が得られる時間を15秒に選んだものである。

4) A—A'フランジ部を外してからファンを廻し、一つの汉布の通過風量が 54.5 l/min (マノメーター差圧 20 mmAq) になるように風量バルブを調節して、そのときの各汉布の圧力損失 (ΔP_1) を測定する。

5) 次に電磁弁のスイッチを押してタイマーで設定された0.15秒間のジェット噴射を1回のみ行なう。

6) 再びファンを廻し、1汉布の通過風量が 54.5 l/min . になるように風量バルブを調節して、そのときの各汉布の圧力損失 (ΔP_2) を測定する。

7) 1)と同様の操作で各汉布の風量が 75 l/min になるように風量バルブを調節し、2)以下を繰返す。

これを40回繰返し、各回の粉体付着時の圧損 (ΔP_1) および清掃後の圧損 (ΔP_2) を測定した。

4. 取付場所の影響の検討

装置は一つの粉体浮游槽の上部に8枚のテストピース汉布を取付けるので、取付位置による影響や粉塵の浮游むらによる影響がある傾向をもってあらわれるのではないかと思いこれについて、同一種類の汉布を用いて9回の繰返し実験を行なったが、特に取付場所による影響はあらわれなかった。

III PVC微粉末による測定

測定に用いたPVC粉末の粒度は、テトラクロンの逃散品を用いたので 10μ 以下75%というかなり超微粉であった。

1. 供試汉布の種類と無負荷の通気抵抗

供試汉布は Table 1 に示す9種類を用いた。

測定は新品汉布を用いて4回行なったが、テترونTW-5は圧損が極端に大きくなったので1回のみで止め、2, 3, 4回にはこれの替りに標準テترونフェル

Table. 1 供試汙布の種類 (PVC)

汙布番号	汙布の種類		
1	ウールフェルト	HCE(3.9%)	毛焼あり (標準品)
2	"	HCE(11.7%)	毛焼なし
3	"	なし	なし
4	"	なし	あり
5	"	なし	毛焼前に起毛
6	テトロン	TW-5	
7	テトロン	TW-3	
8	テトロン	NF-S	
9	テトロン	フェルト(標準品)	

註, HCE は High Collecting Efficiency の略で, 捕集効率を高めるため, 汙布にシリコン樹脂加工を施したものを。

トを用いた。

一般に汙材の圧力損失は次式であらわされる。

$$\Delta P = R \mu v^n / g \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに

ΔP : 汙布の圧力損失 [mmAq=kg/m²]

R : 抵抗係数 [1/m]

μ : 空気の粘度 [kg/m·sec]

v : 見掛けの通過速度 [m/sec]

n : v の指数 [-]

g : 重力の加速度 [m/sec²]

このうち n は供試汙布について圧損が 20~200mmAq 程度の範囲では 1 になることを確かめ, また μ については測定温度範囲では無視できるので, 便宜的に

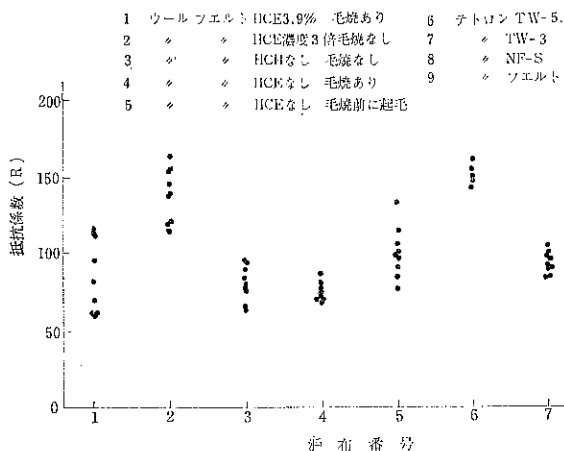


Fig. 3 新品汙布通過抵抗測定

$$R = \Delta P / v$$

.....(2)

として, R を抵抗係数としてあらわし, 汙布自体の通気抵抗を比較した。

Fig. 3 はこれを示したもので縦軸に抵抗係数 (R) を, 横軸の数字は汙布番号を示したものである。

1 種類の汙布について 9 点を測定しているが, これは 1 本のパルスエアー用汙布筒から適当に 9 カ所を選んで切り取ったものについての測定値である。

これで見るとウールフェルトの場合, 1 本の汙布の中でもかなり部分的なばらつきがあるが, テトロンフェルトでは比較的ばらつきは少ない。また, ウールフェルトよりもテトロンフェルトの方が抵抗は小さい。ウールフェルトでは HCE 処理を標準の 3 倍行なったもの (汙布番号 2) は最も圧損が高くなっている。

4 回の実験において各種汙布の取付位置は, 各回次回図のように位置をかえて取付けた (数字は汙布番号)。

第 1 回

5	6	7	8
1	2	3	4

第 2 回

8	1	2	3
4	5	9	7

第 3 回

7	8	5	9
3	4	1	2

第 4 回

2	3	4	1
9	7	8	5

2. 測定結果

1) 圧力損失の上昇曲線

Fig. 4 は 15 秒の吸引によって粉体を汙布に付着せしめた後の圧力損失 (ΔP_1) について 40 回の測定値を連続したものである。新品の汙布を用いているので漸増し大

体 20~25 回位から平衡してくる。

この圧損上昇曲線を観察すると P V C 微粉を汙過するときの各種汙布の特性が理解できる。テトロン汙布とウール汙布の大きな特徴は, テトロンの場合は初期圧損は低い, 急速に上昇し, 粉体付着による圧損は高くなるが, ウールの場合はテトロンに比し, 初期圧損は高いが粉体付着による圧損はテトロンより低い。

汙布個々の特性については 40 回目の圧損を比較して後に述べる。17 回目~21 回目の間に不規則な部分があるがこれは測定日が変り約 20 時間装置を放置したためであるが, 測定を

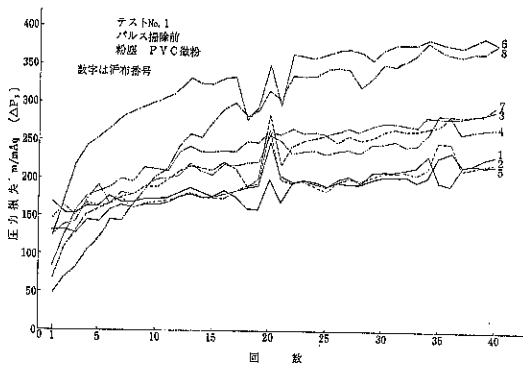


Fig. 4 パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

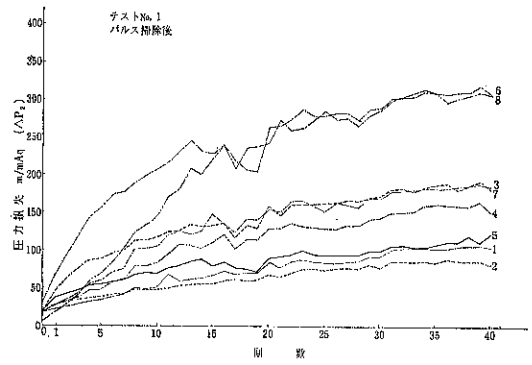


Fig. 4' パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

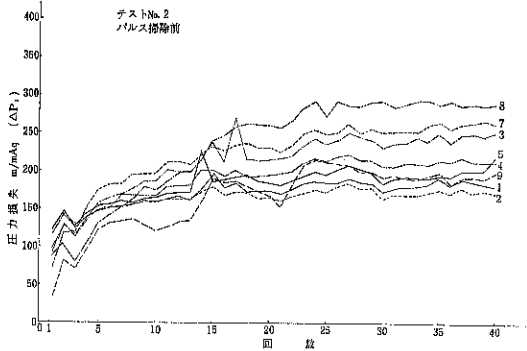


Fig. 5 パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

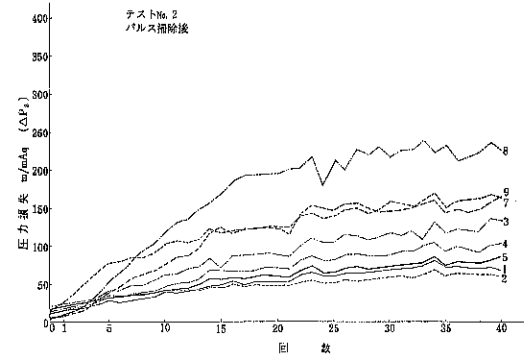


Fig. 5' パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

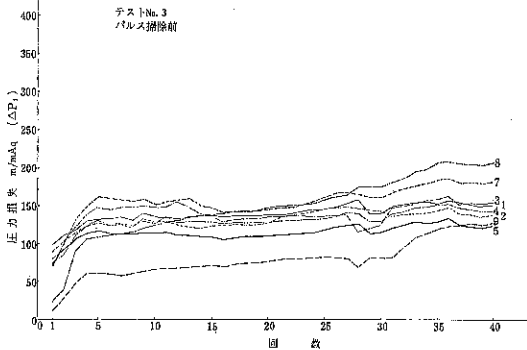


Fig. 6 パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

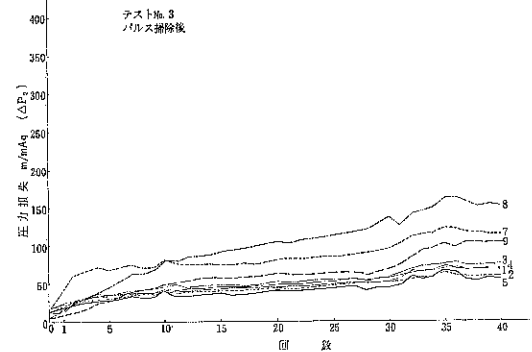


Fig. 6' パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

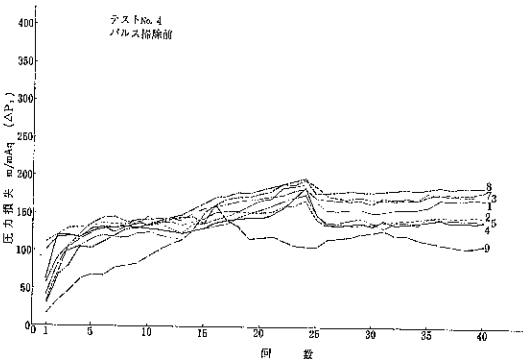


Fig. 7 パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

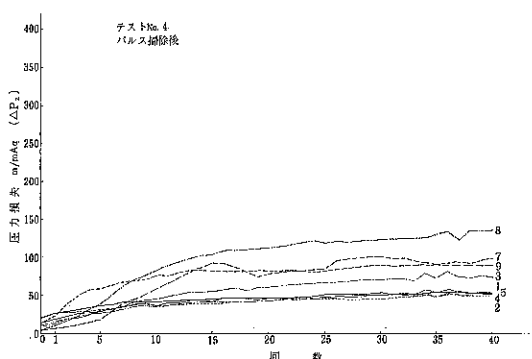


Fig. 7' パルスエアー 汙布実験装置テストデーター

再び継続すると大体一様な圧損を保つ。

Fig.4' は Fig.4 の各回の測定後ジェット噴射を1回行った後の圧力損失 (ΔP_2) を各測定回について連続したものである。Fig.5 と Fig.5' は汙布を新品に取替えて上記と同様の測定を行ないその測定結果をあらわしたものである。(第2回目)

Fig.6, 6' は第3回目, Fig.7, 7' は第4回目の測定結果である。この場合回を重ねるに従って全体の圧力損失が低くなっていくが、これは使用する粉体を毎回新しいものと入替えず、1回から4回の測定まで同じものを使ったので、数 μ 程度の超微粉が汙布についたり飛散したりしてかなり減少したためと思われる。

この4回の繰返実験は昨年5月23日から6月26日まで約1ヵ月間を要した。1回の連続測定期間は4~5日間、夜間の休止時間が数回ある。

2) 掃除前と掃除後の圧力損失の変化

40回目の圧力損失を一応平衡に達したものと考えて、これの掃除前 (ΔP_1) と掃除後 (ΔP_2) について、各汙布の圧力損失の変動状態を調べてみた。その結果をFig.8に示す。

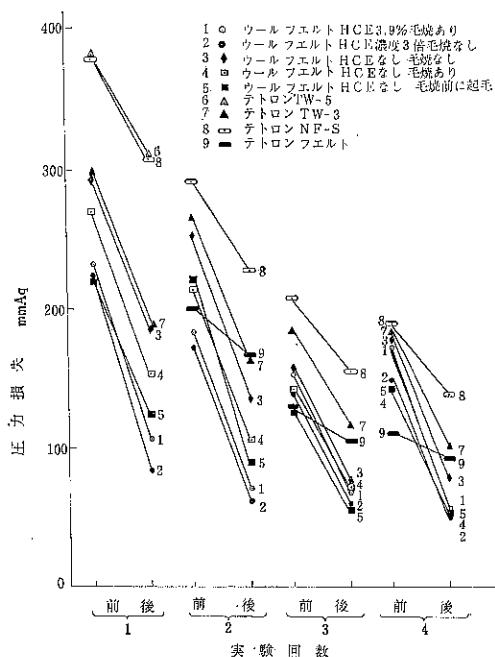


Fig. 8 パルス掃除による圧力損失の低下グラフ

横軸の各実験回数において左側が ΔP_1 で右側が ΔP_2 である。この線の傾斜が急なものはほどジェット噴射による粉体の剝離効果がよい、9番のテトロンフェルトは特にこの効果が悪かった。

回を重ねるに従って圧力損失が減少しているのは前記

の事情によるものと思われるが、この場合標準のウールフェルトでは、 ΔP_2 が106mmAq から 56 mmAq まで 50mmAq の差があるのに対し、標準のテトロンフェルトでは166mmAq から 92mmAq まで 74mmAq の差がある。また一番差の大きいものは、8番テトロンNF-S 306-137=169mmAq であり、これは微粉の混在が圧力損失に大きく影響することを示している。反対に2番ウールフェルト、HCE 11.7%毛焼なしのものは、83-49=34mmAq で微粉の影響が少い。

また同じウールフェルトについても、処理方法の異りがこの点にどのように影響するか、小さいものから並べてみると、

汙布番号	汙布	1回目と4回目の ΔP_2 の差
2	HCE 11.7%, 毛焼なし	83-49=34mmAq
1	" 3.9%, " あり	106-56=50 "
5	" なし, 毛焼前起毛	124-53=71 "
4	" なし, あり	153-53=100 "
3	" なし, なし	185-78=107 "

となり、HCE の濃度が濃い程超微粉に対して圧損が安定しているといえる。毛焼の効果は HCE 程ではないが、毛焼した方が幾分良好といえる。

3) 各種汙布の圧力損失の比較

ジェット噴射掃除後の40回目の圧力損失 (ΔP_2) の比較を各汙布について、4回の測定値をまとめてみたの

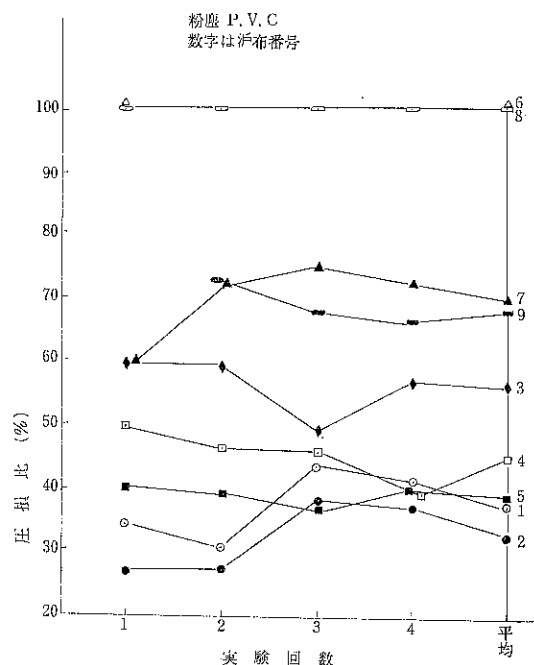


Fig. 9 パルス掃除後テトロンNF-Sの汙布圧力損失を100%とした時の各汙布との比較

が、Fig. 9 である。圧損の最も大きかった 8 番のテトロン NF-S の圧損を 100 として、その比率を縦軸にあらわした。最右端の点は各 4 回の測定値の平均値である。4 回の繰返し実験では各汚布共大きなばらつきはなく一応の傾向を示している。

圧損の小さいものから順に並べると次のようになる。

順位	汚布番号	汚布	圧損比
1	2	ウールフェルト HCE11.7%, 毛焼なし	0.326
2	1	" " 3.9%, " あり	0.375
3	5	" " なし, 毛焼前起毛	0.39
4	4	" " なし, " あり	0.45
5	3	" " なし, " なし	0.565
6	9	テトロンフェルト (標準品)	0.68
7	7	" TW-3	0.70
8	8	" NF-S	1.0

この場合もウールフェルトの方が、テトロンよりも良好で、同一空気量を処理する場合、ウールフェルト (標準) の方が、テトロンフェルト (標準) の約 1/2 近い圧損である。ウールフェルトの順位は前記した、超微粉の影響の場合の順位と一致している。

また、HCE と毛焼処理をしたものの方が、しないものよりも圧損は低い。

4) 掃除効果 (払い落とし効果)

ジェット噴射による清掃効果を調べるため、Fig. 6 から各 40 回目目の ΔP_1 と ΔP_2 を求め、次式により清掃効率を各汚布について計算した。

$$\text{清掃効率}(\eta_c) = \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1} \times 100[\%] \dots\dots\dots(3)$$

この結果を図示したのが Fig. 10 である。

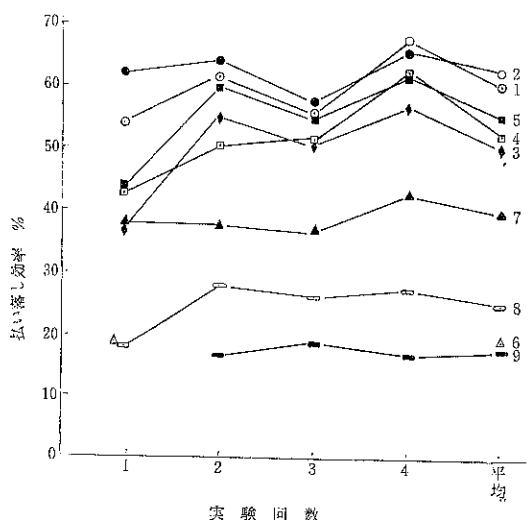


Fig. 10 払い落とし効果

この図によるとウールフェルト 5 種のうち多少の交錯

があるが、4 回の平均値をとって最右端にプロットした。

ウールフェルトについては前回の圧力損失の順位と全く同じ順位となり HCE と毛焼処理は清掃効果にも有効であるといえる。

テトロン汚布はウールフェルト汚布よりも清掃効果が全体的に悪いが、圧力損失の場合と順位が異なり、テトロンフェルト (標準品) の清掃効果が最も悪く 20% 足らず圧損が低下するのみである。ウールフェルトの標準品では 60% 余り付着時の圧損よりも低くなる。

5) 汚布裏面への粉体のにじみ出し (Seepage)

上記の実験では各種汚布の圧力損失、清掃効果等を判定したが、汚布集塵にとって最も重要な捕集性能については測定していない。しかしいくら圧損が低く、清掃効果が良くても捕集性が悪くは汚布として適当とはいえない。そのため、実験終了後、装置から汚布のテストピースを外して裏面の状態 (粉のにじみ出しの程度) を観察することによって、捕集性を間接的に判断することにした。これは数的に表わせないので写真撮影した。これを写真 5 に示す。その結果をまとめると次のようになる。

汚布番号	汚布	にじみ出しの程度
1	ウールフェルト, HCE3.9%, 毛焼あり	部分的な斑点あり
2	" " 11.7%, " なし	全くなし
3	" " なし, " なし	全面に小さな斑点あり
4	" " なし, " あり	全くなし
5	" " なし, 毛焼前起毛	全くなし
7	テトロン TW-3	全面に斑点あり
8	" NF-S	にじみ出しの痕跡あり
9	" フェルト (標準品)	全面に非常に多くのにじみ出しあり

写真によっても分るように HCE11.7% (標準の 3 倍) 処理をしたものおよび毛焼のあるウールフェルトは全くにじみ出しはない。しかし、標準汚布 (HCE3.9%, 毛焼あり) が部分的ににじみ出しがあるのは原因不明である。

テトロンフェルト (標準品) では全面に多くのにじみ出しがあり、一寸見ると表裏の区別が分らない位である。

3. PVC 粉による測定のまとめ

PVC 微粉の捕集において使用汚布は

1) 圧力損失、清掃効果、超微粉に対する安定性、汚布裏面への粉のにじみ出しの程度のすべてにおいて、テトロン汚布よりもウールフェルトの方が優れている。

2) HCE 処理は従来いわれているにじみ出し防止のみでなく、圧損低下、清掃にも明瞭な効果がある。

3) HCE 処理は標準よりも濃度の高いものの方がよ

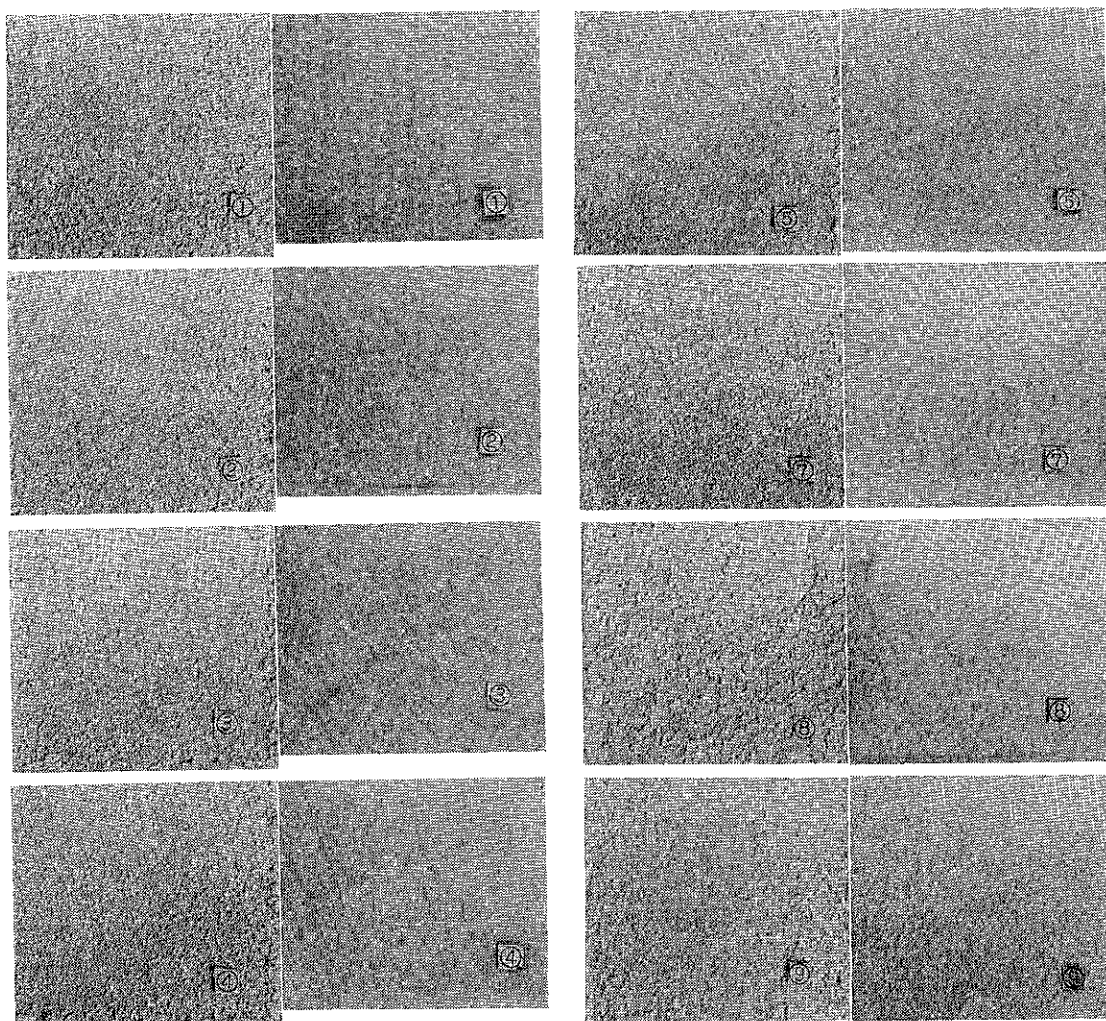


写真 5 汙布面への粉体の附着状態 (P.V.C.) (数字は汙布番号, 左側は表附着面, 右側は裏にじみ出し面)

い。

4) 毛焼処理の効果は HCE 程ではないが, 圧損低下, 清掃効果に効く。

5) テトロン汙布はウールフェルトに対し, 圧損, 掃除効果, にじみ出し等が劣り, 特に標準のテトロンフェルトは清掃効果が極めて悪く, 多くの粉がにじみ出して P.V.C 用の汙布としては適当でない。

IV タルク微粉による測定

平均粒径 3μ 程度のタルク超微粉を使用して各種汙布の特性を測定した。

1. 供試汙布の種類と無負荷の通気抵抗

供試汙布は Table. 2 に示す 8 種類のものを使用した。汙布番号 No.1 は標準として前回用いたパルスエアー用標準ウールフェルトを用いた。

Table. 2 供試汙布の種類 (タルク)

汙布番号	汙布の種類			
1	ウール	フェルト	HCE3.9%	毛焼あり
9	テトロン	フェルト		
10	ナイロン	9A-100		
11	ナイロン	9A-200		
12	ナイロン	2020		
13	テトロン	9A		
16	PMC	パルシエク汙布		
17	綿	#2000-5		

その他のものは No.9 テトロンフェルトを除いて全部織布である。No.16 はパルペライジング・マシンリー社より送られてきたパルシエク用の木綿織布である。No.17 はこれと同等品で中尾汙布製 #2000-5 である。

測定機への汙布の取付位置は次の通り配置した。数字は汉布番号である。

9	1	16	17
10	11	12	13

各汉布の無負荷における通気抵抗を測定した。その結果圧損の低いものから順に並べると次のようになる。

汉布番号	汉布	抵抗係数(R)
9	テトロンフェルト (標準)	40.
11	ナイロン 9 A-200	50.6
1	ウールフェルト (標準)	80.
13	テトロン 9 A	119.
17	綿#2000-5 (中尾汉布)	187
10	ナイロン 9 A-100	197
12	ナイロン 2020	238
16	綿布 (PMCパルシェク用)	330

2. 測定結果

前回のPVCの実験では同じ測定を4回行なったが、各回共、同傾向の結果を得たので、今回は1回のみ行なった。

1) 各種汉布の圧力損失の比較

Fig.11 は15秒の吸引によって粉体を汉布に付着せしめた後の圧力損失 (ΔP_1) について20回の測定値を連続

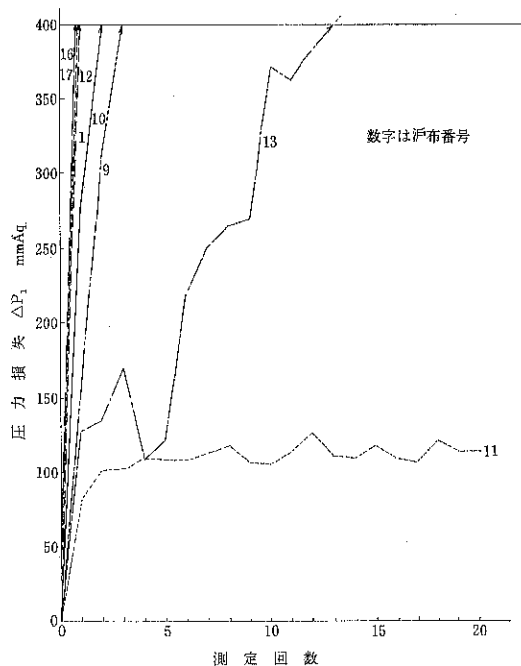


Fig. 11 パルス掃除前圧損 (ΔP_1)

したものである。No.1, 9, 10, 12, 16, 17の汉布は数回目に目詰りが甚しくマノメーターはオーバースケールして測定不能になる。

前回PVC粉の場合はNo.1 (ウールフェルト), No.9 (テトロンフェルト) は最高でも200mmAq程度であったが、今回のタルク微粉では汉布への粉体付着によって急激に圧損が上るようである。これは試料粉体中に含まれる、数μ程度の超微粉によるものと思われる。

No.13はテトロン9 Aで12回目にオーバースケールする。No.11はナイロン9 A-200で110~120mmAqで一定となりあまり圧損は上らない。

Fig.11' は Fig.11 の値を測定後、ジェット噴射を1回行なって付着粉体を剝離した後の圧力損失 (ΔP_2) を各測定回について連続したものである。

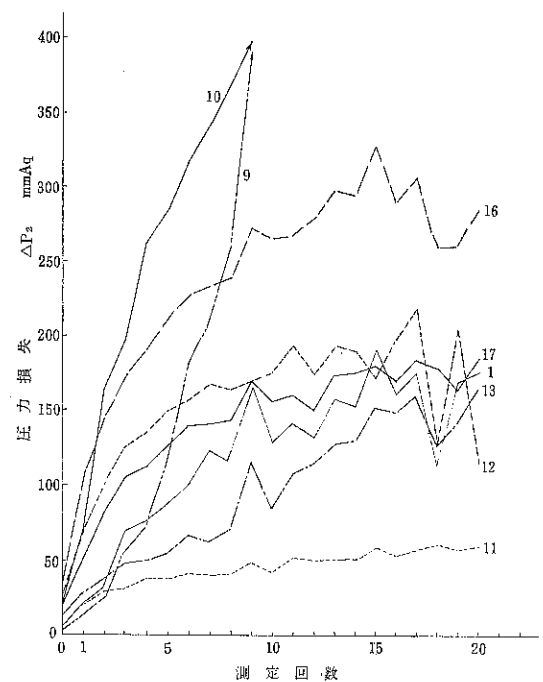


Fig. 11' パルス掃除後圧損 (ΔP_2)

No.10 (ナイロン9 A-100) および No.9 (テトロンフェルト) は噴射清掃後も尚400mmAqを超え測定不能となる。

その他の汉布は大体平衡に達すると考えられ、これを圧力損失の小さいものから順に並べると次のようになる。

順位	汉布番号	汉布名
1	11	ナイロン 9 A-200
2	13	テトロン 9 A

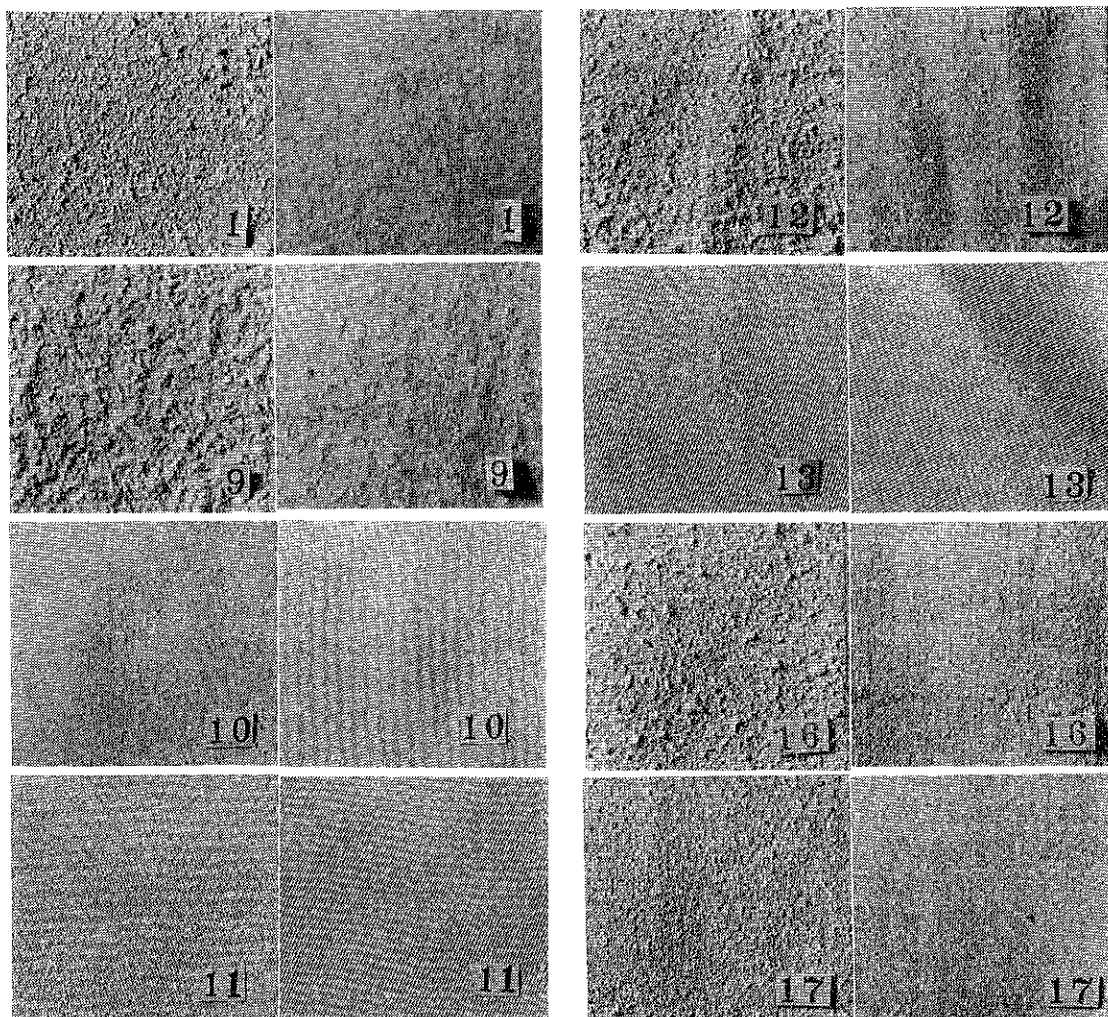


写真 6 汙布面への粉体の附着状態（タルク）数字は汙布番号、左側表附着面、右側裏にじみ出し面

3	1	ウールフェルト（標準）
4	17	綿布 #2000—5（中尾汙布）
5	12	ナイロン 2020
6	16	綿布（PMC）

2) 粉体のにじみ出し

前回のPVCの項でも説明したように捕集効果の関接的な判定方法として、今回も測定終了後、テストピースを装置から取外して汙布の表裏の粉体の付着状態および吸引室に付着した粉の状態を観察した。

写真6はNo.1～17まで8枚のテストピースの表および裏の粉体付着およびにじみ出しの程度を示している。

写真7は装置吸引室内に逃げ出して付着した状態を示すものである。

個々について観察の状況を示すと、

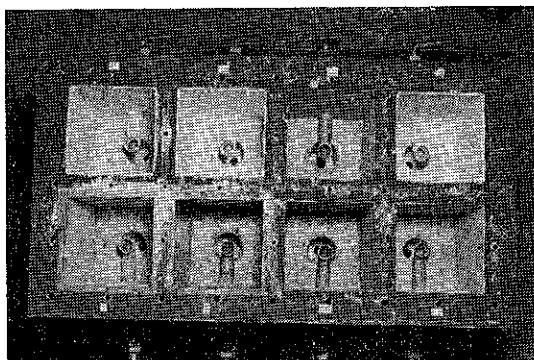


写真 7 吸引室内へもれ込んだ粉の附着状態

汙布番号	汙布名	表	裏	吸引室の附着状態
1	ウールフェルト	附着あり	全くなし	附着みられず
16	綿（PMC）	附着あり	殆んどなし	"
17	綿（#2000—5）	あり	"	僅かに附着がみとめられる
9	テトロンフェルト	あり	僅かににじみ出し	附着あり
12	ナイロン2020	あり	"	"
10	ナイロン9A—100	僅かにあり	附着あり	附着多し

- 11 ナイロン 9 A—200 僅か " 附着甚だし
13 テトロン 9 A " " " "

となり、No.10, 11, 13 の汙布はもれ出し激しく汙布として適当でない。

3. タルク微粉による測定のため

1) ナイロン9 A—200およびテトロン9 Aは圧力損失は低いが、もれだしが多いため使用不適である。

2) テトロンフェルトはもれ出しはかなり小さいが、圧力損失が極めて大きくなるため使用は適当でない。

3) ナイロン9 A—100は圧損も高くもれだしも大きいため適当でない。

4) ウールフェルトは圧損も低く、もれ出しは全くみられず一番適当している。

5) ナイロン202, 綿#2000—5はもれだしは僅かであるが、圧損上昇はウールフェルトより高い。

6) 綿(PMCパルシェク用)は圧損はかなり高くなるが、もれ出しは少く、捕集効率は高いと思われる。

結論的にはタルク微粉の捕集においてはウールフェルトが最適である。

V ポリプロピレン微粉による測定

粒径数μ程度のポリプロピレン超微粉を使用して、ウールフェルトと、テトロンフェルトの2種の汙布について同様の測定を行なった。

1. 無負荷の通気抵抗

無負荷における抵抗係数は次の通りで、テトロン汙布の方がウールフェルトに比べて $\frac{1}{2}$ の抵抗となる。

標準ウールフェルト R=80

" テトロンフェルト R=40

測定汙布の取付位置は次図の通りで2種の汙布を4枚ずつ交互に配した。

テトロン	ウール	テトロン	ウール
ウール	テトロン	ウール	テトロン

2. 測定結果

今回は汙布が2種のため1回の実験で4ヶのデーターが得られるので繰返しは行なわなかった。

1) 圧力損失の比較

Fig.12 は15秒の吸引によって粉体を汙布に付着せしめた後の圧力損失(ΔP_1)について25回の測定値を連続したものである。この図にみるようにウールフェルトの場合は圧損が急激に上昇し、300mmAq程度まで上る。前回のタルクの場合はオーバースケールして測定不能となり、前々回のPVCの場合は200mmAq程度であった。通過風速は何れも約14cm/secである。テトロンフェルトの場合は付着時の圧損は約100mmAqで止まる。

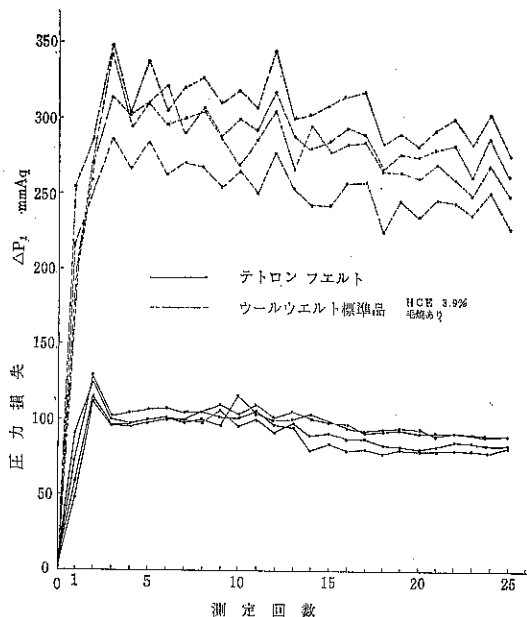


Fig.12 パルスエアー汙布実験装置テストデーター
パルス掃除前圧損 (ΔP_1)

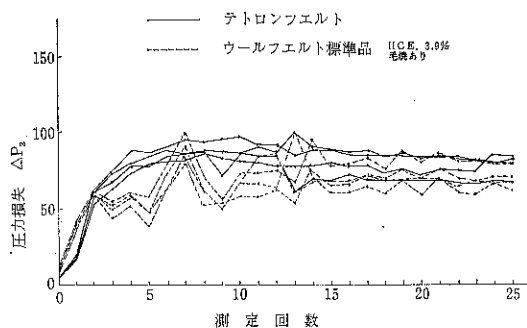


Fig.12' パルスエアー汙布実験装置テストデーター
パルス掃除後圧損 (ΔP_2)

Fig.12' は上記 Fig.12 の値を測定した後ジェット噴射を1回行なって付着粉体を剝離した後の圧力損失(ΔP_2)を各測定回について連続したものである。

この場合はウールもテトロンも平均圧力損失は70~80 mmAq程度になる。

ウールの場合はジェット噴射による払い落しの効果はよいが、15秒間の吸引で300mmAqまで上昇することは変動が大きい。テトロンの場合は15秒の吸引とジェットによる掃除で ΔP は100と70mmAqの間を変動し、ウールに比べて低い圧損で安定している。

2) 粉体のもれ出し

前回の報告でも説明したように捕集効果の判定方法として、今回も測定終了後テストピースを装置から取外し

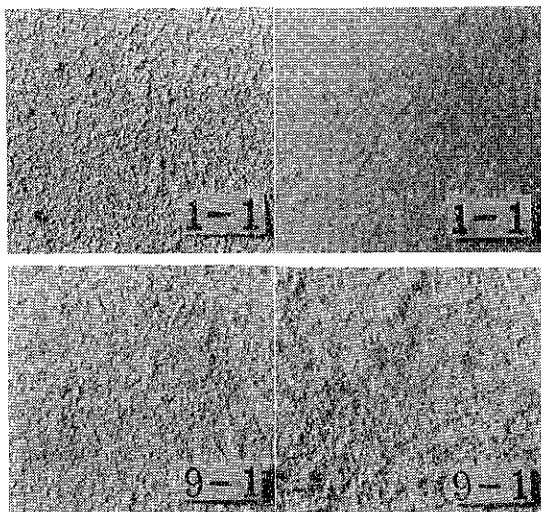


写真8 汙布面への粉の附着状態（ポリプロピレン）左側表附着面，右側裏にじみ出し面

て汙布の表裏の粉体の附着状態および吸引室内にもれ込んで附着した粉の状態を観察した。（写真8）

その結果，PVC，タルクの場合と同様にウール汙布では裏面へのにじみ出しはないが，テトロンフェルトでは多くの微粉が裏側へにじみ出て附着していた。また，吸引室内部もテトロン汙布を取付けた箇所が粉体の附着により白くなっていた。（写真9）

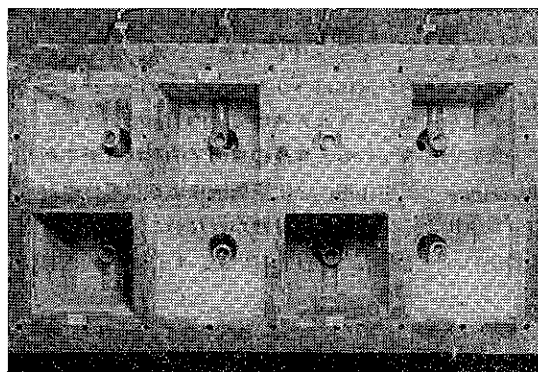


写真9 吸引室内へもれ込んだ粉の附着状態（P.P.）

3. ポリプロピレンによる測定のみとめ

1) ポリプロピレンの汙過においてもテトロン汙布の使用は適当でない。ウールの方が捕集性能がよく清掃時の圧損は低くなる。

2) しかし短時間の吸引で圧損が急激に上昇するので噴射間隔はできるだけ短かくした方がよい。

VI あとがき

PVC，タルク，ポリプロピレンという限られた粉体についてはウールフェルトが最適であるという結論になったが，これをもって総ての粉体に上記の結論が適用できるとはいえない。例えば過去にビタミンCの中間物である有機薬品の捕集においてはフェルトでは数cmの厚みの粉体ケーキが汙布に付着して使用不能となり，ナイロンの長繊維織布を用いてようやく運転可能となった場合もある。また100°C程度の熱風の処理ではウールは使用できず，止むなくテトロンフェルトを使用することもある。このような場合幾分捕集効率を犠牲にしなければならない場合もある。

またこの測定装置は万能ではなく使用できない粉体もあった。たとえば炭カルの微粉について同様の実験を行ったが，4回の繰返しテストの結果には再現性がなく，PVC粉等のようにまとめることはできなかった。これは炭カルのように比較的重く，凝集性の強い粉体では，装置の分散室に均一な流動状態がつかれなかったことが原因で，また，実際に汙布に付着するのは数 μ 以下の超微粉で，炭カルの場合は凝集によって，このような超微粉が浮遊しなかったことも原因であると思われる。

何れにしても捕集する粉体の性質により最適の汙布が選定されるべきで，総ての運転条件と要求条件を考慮して選ばねばならないが，その一つの選定基準を得る上でここに報告した試験方法も一手段として利用できると思う。

試作ヘリカル型ミクロンセパレータの分級特性

細川粉体工学研究所

中 川 文 雄

1. 緒 言

遠心力利用風力分級機一種であるミクロンセパレータの分級部への原料供給方法は、周知の如く原料粉体を空气中に懸濁させロータの中心に向けて下方から吹上げて供給する垂直上昇 body center feed 方式をとっている。装置をスケールアップする際、このような供給方法を用いる限り垂直方向の巨大化は避けられなく、例えばMS-6（ミクロンセパレータの1型式）の場合、胴径約2.5mに対し高さは約7m（架台なしの状態）となっている。

ミクロンセパレータ分級室内の気流および粒子の流れについては、高速度写真撮影による粒子の挙動の観察、流体力学的考察からの類推等によってある程度定性的には解明されていたけれど、最近大阪市大吉田、森島ら¹⁾による分級室内の気流測定によって、かなり定量、定性的にはっきりとフローパターンが測定、解析されている。この研究報告によると分級室内は、いわゆる“限界粒子径一定室”となっていないでロータ羽根面での分級が支配的であると述べている。この研究は粉体を含まない空気の流れについて測定されたものであり、実際の分級操作における気末混合流体にも同様な流れを示すとは思われないけれど、気末混合比の小さい範囲ではほぼ同様の流れを示すものと考えられる。

そこで原料供給方法、および分級室内のフローパターン等を考慮して、気末混合流体を分級室全円周から等流入速度で分級室へ供給されるよう設計したヘリカル型ミクロンセパレータを試作した。このテスト機の分級特性を調べるため運転上および装置構成上の変数、4因子を選び出し実験計画法に基づいてテストを行ない、分析を試みた。詳細なるテスト条件、実験結果およびその考察については原報²⁾を参照していただくとして、この稿では試作分級機の代表的な特性を調べると共に、分級室内のフローパターンに重点をおいて標準型ミクロンセパレータとの分級特性の比較を行ない、考察してみよう。

2. 実験装置および実験方法

1) 実験装置

Fig. 1 にテストの flow diagram を示した。ホッパー中の分級原料（炭酸カルシウム）はスクリュウフィーダーによって1次送風管に送り込まれ、ファンによって圧送されてきた1次空気中に分散して気末混合流となる。この気末混合流体はヘリカル型ミクロンセパレータの分級室全円周から等流入速度で案内羽根の角度に応じて分級室内に導かれる。装置の幾何学的形状（蝸牛形）、ファンによる吸引作用、2次空気流による風節作用およびロータによる遠心効果で分級が行なわれ、粗粉は下部粗粉出口へ、微粉は気流に同伴してサイクロンに運ば

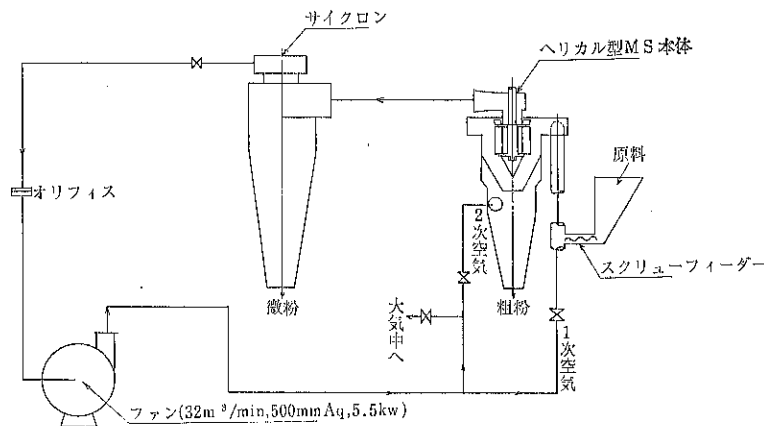


Fig. 1 分級のテストフローダイアグラム

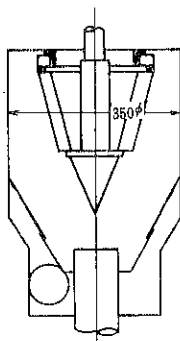


Fig. 2 標準型ミクロンセパレータ (MS-1) 胴体主要部

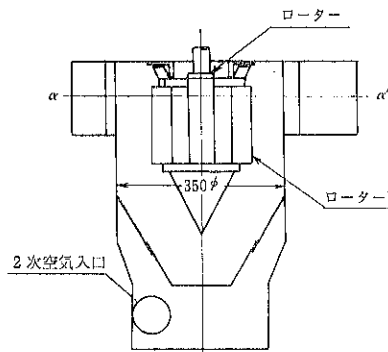


Fig. 3 ヘリカル型ミクロンセパレータ胴体主要部

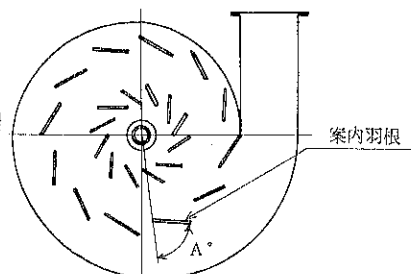


Fig. 4 ヘリカル型ミクロンセパレータα-α'断面図

れ、サイクロンで分離、捕集される。

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 に標準型およびヘリカル型ミクロンセパレータの胴体主要部の形状を対比して掲げた。装置形状の相異点および類似点のおもなものを列記すると、

相異点

- (1) 分級室への原料供給方法
- (2) ロータの形状 (コニカル型⇔シリンドリカル型)
- (3) 粗粉排出部の形状
- (4) 案内羽根の有無

類似点

- (1) ロータ羽根部の流入面積
- (2) 分級室径
- (3) ロータの高さおよびロータ径 (標準型の平均ロータ径)
- (4) 羽根巾
- (5) 中子による風篩機構

2) 実験方法

ヘリカル型ミクロンセパレータの分級特性を調べるため、運転上および装置上の変数として、ガイドベーンの角度、処理量、1次空気と2次空気量の比 α 、中子径の4因子を選びL27の直交表にわりつけた。すなわち、

A) ガイドベーンの角度 (Fig. 4の案内羽根のAの角度) …因子A

- | | |
|-----------------------------|-------|
| 半径方向に対して90°……A ₁ | } 3水準 |
| 半径方向に対して45°……A ₂ | |
| 半径方向に対して0°……A ₃ | |

B) 処理量……因子B

- | | |
|-----------------------------|-------|
| 80kg/hr 程度……B ₁ | } 3水準 |
| 160kg/hr " ……B ₂ | |
| 350kg/hr 程度……B ₃ | |

C) 1次空気と2次空気量の比 α ……因子C

- | | | |
|-------------------------------|-------|---|
| $\alpha=0.5$ ……C ₁ | } 3水準 | 但し $\alpha=\frac{2\text{次空気量 } Q_2}{1\text{次空気量 } Q_1}$ [-] |
| $\alpha=1.0$ ……C ₂ | | |
| $\alpha=1.5$ ……C ₃ | | |

D) 中子径……因子D

- | | |
|--------------------------|-------|
| 中子径 180φ……D ₁ | } 3水準 |
| 中子径 150φ……D ₂ | |
| 中子径 120φ……D ₃ | |

である。なお一定条件として

- ① テスト原料……重質炭酸カルシウム
- ② Total air Volume……約15m³/min 程度
- ③ Rotor 回転数……1010r.p.m
- ④ ロータ羽根数……12枚

等である。

3. 遠心力分級原理

1) “一定限界粒子径分級室”的考え方

旋回運動を行なう気流中の単一粒子の受ける遠心力 $F \cdot g_c$ は粒子がほぼ気流と同じ回転速度を有すると仮定すると、

$$F \cdot g_c = \pi D_p^3 (\rho_s - \rho_f) V^2 \omega_p / 6r \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1)式で現される。また、回転の中心に向う流れがあると、この気流による粒子の受ける抗力 $R \cdot g_c$ は次式で示される。

$$R \cdot g_c = C \cdot \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot \frac{\rho_f V_r^2}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

抵抗係数Cはレイノルズ数(Re)の関数であり、ストークスの法則が成立すれば、 $C=24/Re$ を(2)式に代入することによって

$$R \cdot g_c = 3\pi \mu D_p V_r \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3)式が得られる。 $F \cdot g_c$ と $R \cdot g_c$ が等しいとき、粒子は

半径 r の円運動を行なう。従って(2)式と(3)式とを等置する事によって、分級径 D_p は次式で求まる。

$$D_p = \frac{1}{V_{\theta p}} \sqrt{\frac{18\mu r V_r}{\rho_s - \rho_f}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

また粒径が十分小さく、粒子加速期間がその滞留時間に比較して十分小さい場合、気流と粒子の相対速度は無視でき、(4)式は次式に近似できる。

$$D_p = \frac{1}{V_{\theta}} \sqrt{\frac{18\mu r V_r}{\rho_s - \rho_f}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

(5)式より半径 r に関係に一定限界粒子径となるためには

$$V_{\theta}^2 = krV_r \quad \dots\dots\dots(6)$$

(6)式が成立すればよい。

回転気流の接線方向速度 V_{θ} の半径方向の速度分布は一般に

$$V_{\theta} \cdot r^n = \text{const.} \cdot (K) \quad \dots\dots\dots(7)$$

で表わされ $n=1$ のとき自由渦流 (Free vortex) といひ、 $n=-1$ の場合強制渦流 (Forced vortex) という。

一方半径方向の流入速度 V_r についてみると、軸方向の流れが一定で半径方向に一樣に流入すると考えると、

$$V_r = \frac{Q}{2\pi rh} \quad \dots\dots\dots(8)$$

(5)(7)(8)式より

$$D_p = (r^n / h^{1/2}) (1/K) \{9\mu Q / (\rho_s - \rho_f) \pi\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

(9)式が誘導され、 Q が一定とすると、 $(r^n / h^{1/2})$ が一定となるような形状を与えることによって、一定限界粒子径分級室が得られる。

また(6)、(7)式より一定限界粒子径分級室となるための半径方向の流入速度分布が求まり、(10)式で示される。

$$r^{2n+1} V_r = \text{const.} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Fig. 5 に n の値をパラメータとして r/R と V_r との関係を図示した。

2) ミクロンセパレータ分級室内の流れ

吉田、森島ら¹⁾による分級室内の flow pattern 測定結果によると、軸方向の流速分布は **Fig. 6** に示した如く、上昇気流はロータ近傍を非常に早い速度で上昇しロータ内に吸引されると共に、一部は循環流となって下向の流れを派生する。また **Fig. 7** に分級室内の旋回流の強さを無次元化して表わした。 **Fig. 8** において、ミクロンセパレータ分級室内が一定限界粒子径分級室となっていると仮定した場合、(6)式で計算される内向流れの流速分布 (実線で示している) と実際の測定から計算され

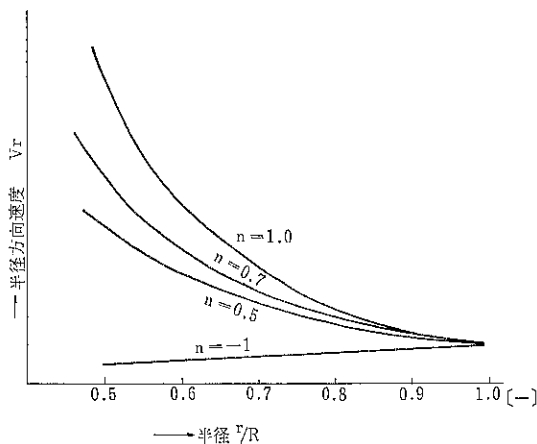


Fig. 5 半径位置での半径方向速度分布

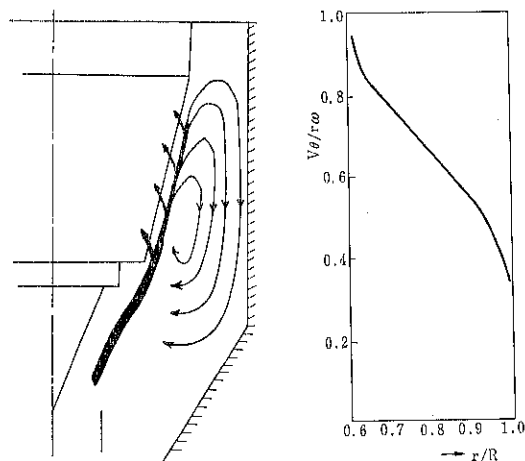


Fig. 6 ミクロンセパレータ分級室内軸方向流動様式

Fig. 7 ミクロンセパレータ分級室内旋回流の強さ

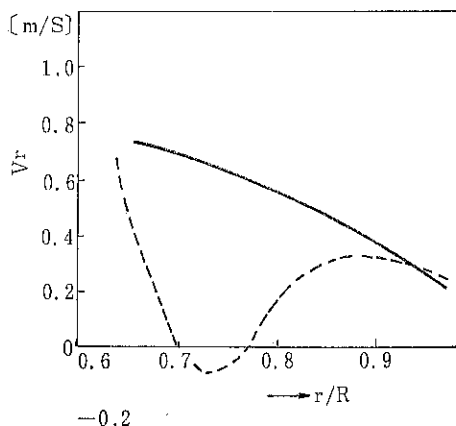


Fig. 8 ミクロンセパレータ分級室内半径方向速度分布

る（内向流れは実測されていない）流速分布（点線）を示した。

Fig. 6, Fig. 7, および Fig. 8 よりミクロンセパレーター分級室内はいわゆる“一定限界粒子径分級室”でなく、気流はロータ付近でロータ周速に近い速度で旋回しながら急速上昇し、ロータ内に吸引され一部は循環流となっている。従って分級原料は気流によってロータ羽根およびその近傍で5式で現されるような関係で分級され、細粒は気流と共にロータ内部に、粗粒は遠心力で胴壁に沈降する。

3) ヘリカル型ミクロンセパレーター分級室内の流れ

R.B. Bird⁸⁾ の回転二重円筒内のニュートン流体の非定常流れの研究および篠原、田中⁴⁾ の回転集塵機内の気流の flow pattern 研究論文等を参考にしてヘリカル型ミクロンセパレーター分級室内の流れを考えてみよう。

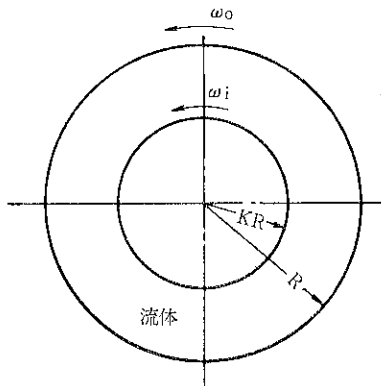


Fig. 9 回転同心二重円筒

R.B. Bird によると、Fig. 9 に示した 同心二重円筒が回転した場合、その中に充填された非圧縮性ニュートン流体の層流流れにおける接線方向速度は次式によって与えられるとしてその解を与えている。

$$\rho \frac{\partial V_{\theta}}{\partial t} = \mu \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r V_{\theta}) \right\} \dots \dots (11)$$

または無次元化を施して次式を得る。

$$\frac{\partial \phi}{\partial \tau} = - \frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ \frac{1}{\xi} \frac{\partial}{\partial \xi} (\xi \phi) \right\} \dots \dots (12)$$

$$\text{ここで } \xi = \frac{r}{R} \quad \tau = \frac{\mu t}{\rho R^2} \quad \phi = \frac{V_{\theta}}{R(\omega_0 - \omega_1)}$$

Fig. 10 に内外筒同一角速度で回転する場合について解き、グラフに示している。しかしこの場合実際のヘリカル型ミクロンセパレーター分級室内の流れと異なり、内向流、上昇流が存在しないときの流れであることを注意する必要がある。

また篠原、田中は Fig. 11 に示した回転集塵機内部の

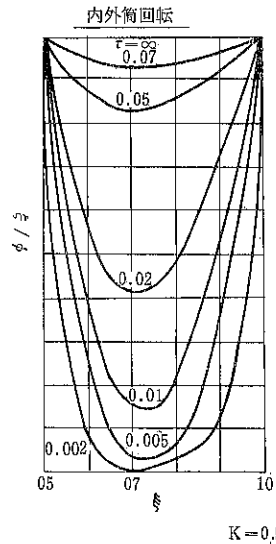


Fig. 10
内外筒回転する場合の周速度分布

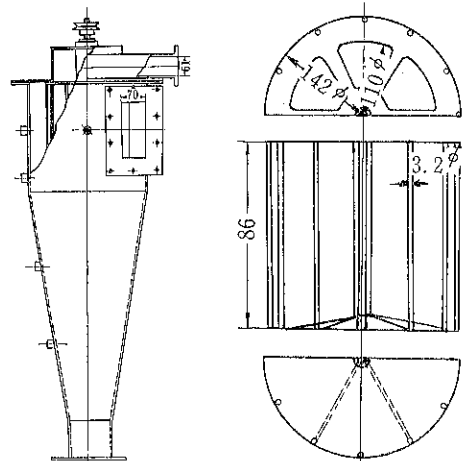


Fig. 11 回転集塵機の構造

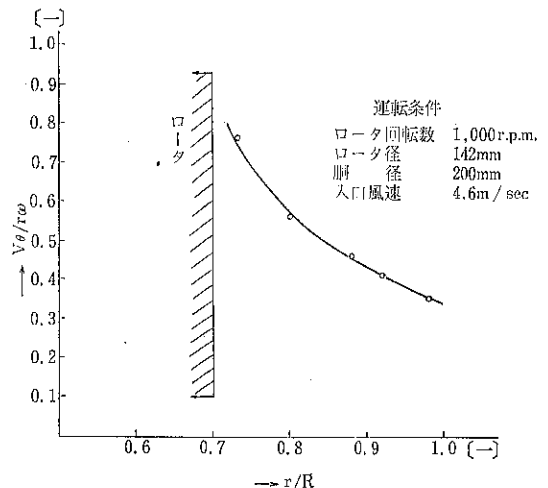


Fig. 12 回転集塵機内の旋回流の強さ

風速分布を操作条件およびロータの形状寸法を変えて測定している。その測定結果において、比較的ヘリカル型ミクロンセパレータの操作条件に類似している条件での接線方向の気流の流速分布を **Fig.12** に掲げた。ヘリカル型ミクロンセパレータと回転集塵機とは構造上よく似ているけれど、原料導入方法—（すなわち接線式導入法と全円周同一速度導入法）—および二次空気流の有無の点で両者は全く異っている。

以上の諸点を考慮してヘリカル型ミクロンセパレータ分級室内の流れを類推してみたのが **Fig.13** である。

4. 実験結果

L₂₇の直交表へのわりつけとそのテスト条件における結果を **Table I** に示した。但し分級効率 η_N は部分々級効率50%点（実際の分級点）におけるニュートンの分級効率で、次式によって与えられる。

$$\eta_N = \frac{(P-F)}{F(100-F)} \omega_p \dots\dots\dots (9)$$

ただし P；微粉中の分級径以下の通過率[%]

F；原料中の分級径以下の通過率[%]

ω_p ；微粉収率[%]

また微粉回収率とは微粉中の分級径（実際の分級点）以下の細粉の重量パーセントであり次式によって算出される。

$$\text{微粉回収率} = \frac{P}{F} \omega_p \text{ [%]} \dots\dots\dots (10)$$

A, B, C, D, 4 因子の効果を微粉収率、実際の分級点、分級効率および微粉回収率に対して分散分析を行ない、**Table II** に示すような結果を得た。この結果より実際の分級点については、案内羽根の角度(A)、処理量(B)および α の値(C)の要因が5%の危険率で有意差ありと認められ、その効果を **Fig.14** に図示した。次に分級効

Table I—L₂₇のわりつけ表およびテスト結果

Run No.	わりつけ る変数 No.	A	B	C	D	微粉収率 [%]	実際の分 級点[μ]	分級効率 [%]	微粉回収率 [%]
H— 2	1	1	1	1	1	44.6	21.5	74.6	87.5
13	2	1	1	2	2	62.2	31.5	76.0	92.0
15	3	1	1	3	3	72.0	34.5	56.5	92.0
11	4	1	2	1	2	42.3	20.5	77.5	88.0
17	5	1	2	2	3	61.6	30.6	75.5	91.3
4	6	1	2	3	1	54.0	29.0	68.0	84.4
19	7	1	3	1	3	39.3	19.5	73.9	84.0
6	8	1	3	2	1	45.5	22.5	67.0	82.0
9	9	1	3	3	2	51.5	23.5	70.5	89.6
21	10	2	1	1	3	71.5	40.0	82.1	91.5
36	11	2	1	2	1	74.3	43.0	65.5	90.6
27	12	2	1	3	2	79.3	43.5	50.6	92.0
34	13	2	2	1	1	53.6	24.0	67.5	88.6
30	14	2	2	2	2	66.7	33.0	66.0	91.4
23	15	2	2	3	3	65.5	36.1	64.8	86.3
32	16	2	3	1	2	45.2	23.5	63.5	90.4
40	17	2	3	2	3	58.5	30.5	65.2	85.4
38	18	2	3	3	1	54.6	26.0	70.2	90.3
48	19	3	1	1	2	78.0	55	81.4	90.4
42	20	3	1	2	3	87.3	62.5	58.0	94.2
54	21	3	1	3	1	74.5	45.0	76.9	93.0
44	22	3	2	1	3	62.8	29.0	55.5	85.9
56	23	3	2	2	1	68.5	38.0	67.0	89.0
50	24	3	2	3	2	66.2	34.0	66.5	89.9
58	25	3	3	1	1	51.0	24.5	69.6	87.3
51	26	3	3	2	2	52.2	26.0	61.5	82.5
46	27	3	3	3	3	61.5	34.0	61.0	82.9

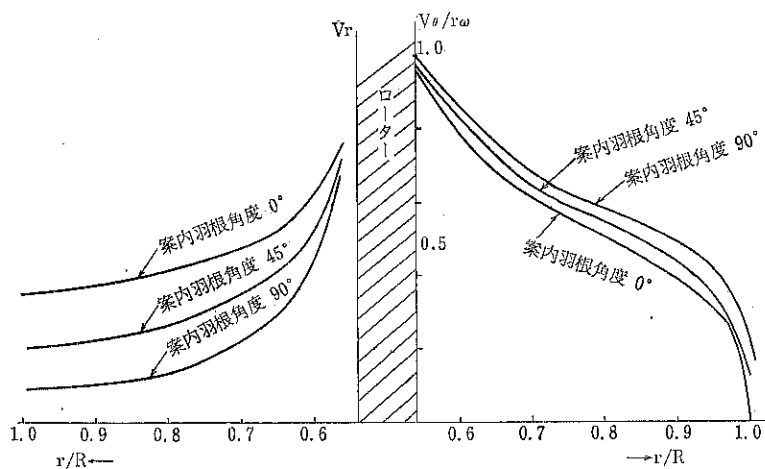


Fig. 13 ヘリカル型ミクロンセパレータ分級室内の旋回流および半径方向速度分布

Table II—分散分析の結果

要 因	微 粉 収 率		実 際 の 分 級 点		分 級 効 率		微 粉 回 収 率	
	判 定	寄与率[%]	判 定	寄与率[%]	判 定	寄与率[%]	判 定	寄与率[%]
案内羽根の角度 (A)	◎◎	23.9	◎◎	23.8	×	—	×	—
処 理 量 (B)	◎◎	46.1	◎◎	41.9	×	—	◎◎	48.9
α の 値 (C)	◎◎	13.9	○	5.8	×	—	×	1.3
中 子 の 径 (D)	○	4.1	×	—	×	—	×	—

但し ◎印：1%の危険率で有意差あり

○印：5%の "

×印：5%の危険率で有意差ありとはいえない

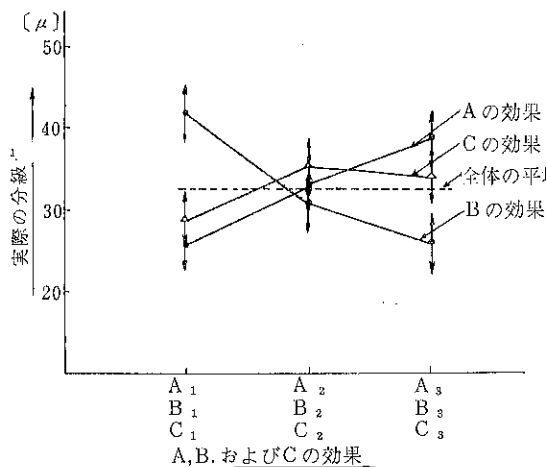


Fig. 14 実際の分級点に影響する各要因の効果

率についてみると、これら4つの要因の影響をうけないで55~80%の広い範囲にバラついていることがわかる。また微粉回収率に影響を与える要因として処理量(B)が1%の危険率で有意差ありと判定され、その効果を Fig. 15に示した。

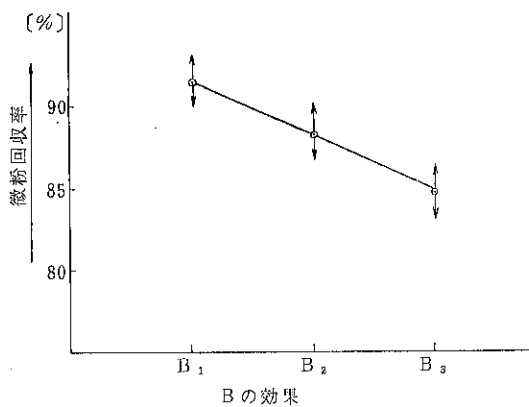


Fig. 15 微粉回収率に影響する各要因の効果

テストの目的がヘリカル型ミクロンセパレータの分級特性を調べることにあったので、標準型ミクロンセパレータと分級性能の面で直接比較できないけれど、比較的運転条件の似ているものをピックアップし、Fig.16に部分々級効率曲線にそれらを対比して示した。このグラ

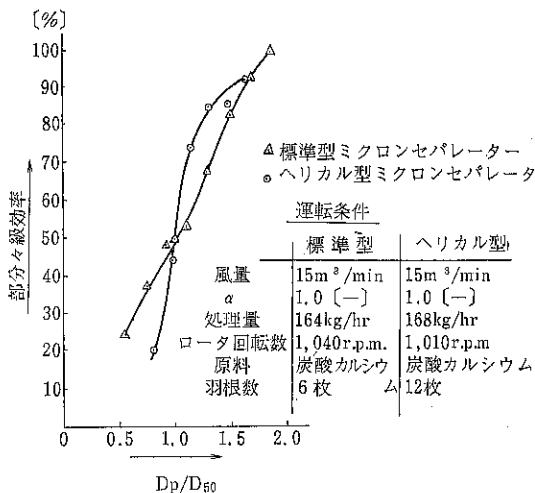


Fig. 16 標準型とヘリカル型ミクロンセパレーターの部分々級効率曲線の1例

フより標準型およびヘリカル型ミクロンセパレータ共にシャープな分級をしていることがわかるが前者は分級径以下の細粒部での分級はあまりよくなく粗粉中かなりの細粒が存在していることを示している。

5. 考 察

Fig. 13 に示したヘリカル型ミクロンセパレータ分級室内の流れが分級結果とどのような関係にあるか考察してみよう。

分級室内の流動様式の影響は実際の分級点に大きく現れると考えられるので、その分級点に注目して流れを取扱ってみる。Table II より分級点に影響する因子として、ガイド羽根の角度(A)、処理量(B)および α の値(C)の3因子を挙げその効果を Fig. 14 に示している。以下個々の因子について考察してみる。

1) ガイド羽根の角度の要因について

ガイド羽根の角度によって半径方向および接線方向の速度が変化する。すなわち分級室流入速度を V_i とすると、分級室流入部の $V_{\theta 0}$ 、 $V_{r 0}$ はそれぞれ近似的に

$$V_{\theta 0} = V_i \sin A \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$V_{r 0} = V_i \cos A \quad \dots\dots\dots (16)$$

但しAは Fig. 4 に示した角度で表わされる。従ってAの要因の各水準における $V_{\theta 0}$ 、 $V_{r 0}$ の値は Table III の如く計算される。Table III および Fig. 14 より $V_{\theta 0}$ の値が $V_{r 0}$ に比較して大のとき分級点は小さく $V_{\theta 0}$ が大きいときは分級点が大となっている。すなわち旋回流と内向流の力の強弱により分級点は移動している。なお内向流は分級室全円周からの流

Table III—案内羽根各角度における $V_{\theta 0}$ と $V_{r 0}$

	A_1 (90°)	A_2 (45°)	A_3 (0°)
$V_{\theta 0}$	V_i	$\frac{\sqrt{2}}{2} V_i$	0
$V_{r 0}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} V_i$	V_i

入作用による流れとファンによる吸引作用による流れとが相まって1つの流れを構成しており、ガイド羽根の角度の変化によりそれが変るものと考えられる。

2) 処理量の要因について

このテストでは処理量の大小は分級室内の含塵濃度に直接関係しており、含塵濃度が増すにつれて分級点は低くなっている。この原因として次の諸点が考えられる。

① 含塵濃度が増すにつれて分散の程度が悪くなり、粒子同志の凝集が起り、見掛上大きな粒子となって沈降する。従って Fig. 15 に示した如く濃度が増すにつれて微粉回収率は減少している。

② 濃度が増加するとロータ近傍に分級径に近い粒子群によるカーテンができその緩衝作用および分級済粉体と気流との衝突による内向流の減速作用により分級点は小さくなる。

3) 1次空気と2次空気量の比 α の要因について

分級室流入速度 V_i は α の値によって次のように変わる。

$$\alpha = 0.5 \text{ のとき } V_i = 1.01 \text{ m/sec}$$

$$Q_1 = 10 \text{ m}^3/\text{min} \quad Q_2 = 5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\alpha = 1.0 \text{ のとき } V_i = 0.76 \text{ m/sec}$$

$$Q_1 = 7.5 \text{ m}^3/\text{min} \quad Q_2 = 7.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\alpha = 1.5 \text{ のとき } V_i = 0.61 \text{ m/sec}$$

$$Q_1 = 6.0 \text{ m}^3/\text{min} \quad Q_2 = 9.0 \text{ m}^3/\text{min}$$

V_i および2次空気量 Q_2 は旋回流の強さに大きく影響していることは当然考えられる。2次空気量が大になれば V_i は相対的に減少する関係にあるので旋回流に与える影響も相対的關係にある。

Fig. 16 に示した標準型とヘリカル型ミクロンセパレータの分級特性比較の1例を分級室内の flow pattern の立場から考察してみよう。

図に示した如く両者共に sharp な分級を行なっているが、粗粉中に含まれる細粒子の分率は標準型ミクロンセパレータの方が大きいことを示している。この原因として、Fig. 6～Fig. 8 より明らかになった循環流の存在があげられよう。すなわち未分級の細粒が循環流に伴って壁面に沈降し粗粉と共に排出される場合が考えられる。しかしロータ羽根面での分級が支配的であるので微

粉中の粗粒は比較的少い結果となっている。一方ヘリカル型ミクロンセパレータの分級室内の流れは軸方向の流れ成分はあまり強くなく、半径方向の速度成分がかなり大となっていて、循環流はほとんどないものと考えられる。しかし分級室はいわゆる“一定限界粒子径室”でなく羽根面での分級が支配的であることに変わりはない。

構造的な面で問題となったものの現象の1つにガイド部への粉体の堆積がある。この原因は原料粉体に強制的に遠心力を加える結果、その部分で予備的な分離が起こり、堆積するものである。従ってガイド部の水平面をコニカルな面にするとかの設計的手段によって解決できる問題であると考えられる。

6. 結 論

ヘリカル型ミクロンセパレータは分級原料粉体を分級室全円周から等流入速度で供給し、気末混合流体に強制的な回転力を与えて良好な分級を行なわせしめようと意図したものである。この分級機に分級特性についてテストを行ない、分級室内の流れを2～3の文献^{1), 3), 4)}を参考にして類推し、そのテスト結果との関連について考察した。また標準型ミクロンセパレータとの比較を分級室内の flow pattern の立場から併せて検討してみた。

(1) ヘリカル型ミクロンセパレータの操作上および装置上の要因、4因子の分級特性に与える影響を Table II Fig. 14, Fig. 15に示し、分級室内の流れが分級点の移動に大きな関連のあることを認めた。すなわち分級室内の内向流と旋回流の強さに大きく関係する因子として、ガイド羽根の角度、処理量および α の値があげられ、内向流と旋回流の相対的な強さ関係で分級点が移動している。しかしその分級点における効率（ニュートン分級効率）は55～80%の広い範囲にバラついてこれら4つの因子の影響を受けていない。

(2) 分級室内の気流の流れについて標準型とヘリカル型とを比較すると、両者の間にかんがりの相異がある。すなわち前者は軸方向の流れが強力であるのに対し、後者は内向流の影響が著しい。しかし両者共“一定限界粒子径室”をつくる流れではなく、羽根面での分級が支配的である。従って分級性能の面で飛躍的な向上は認められなかった。

(3) 原料供給方法が変わったことによって分級機本体の上下方向の寸法が縮少できた。従ってこの型の構造は特に大型ミクロンセパレータに有効であろう。

Notation.

- C ; 抵抗係数
- h ; 気流々入高さ
- D_p ; 粒子径
- r ; 回転半径（又は中心からの距離）
- g₀ ; 重力単位換算係数
- t ; 時間
- R ; 分級室半径
- V_θ ; 気流の周速度
- Re ; レイノルズ数($D_p V_{op} \rho_f / \mu$)
- V_{op} ; 粒子の周速度
- Q ; 風量
- $V_{\theta 0}$; 分級室流入時の接線方向分速度
- Q_1 ; 1次空気量
- Q_2 ; 2次空気量
- V_r ; 半径方向の気流速度
- $V_{r 0}$; 分級室流入時の半径方向分速度
- V_i ; 分級室流入速度
- ρ_s ; 粒子密度
- μ ; 流体の粘度
- ρ_f ; 流体の密度
- ω_0 ; 外筒の角速度
- τ ; 二重円筒における時間成分
- ω_i ; 内筒の角速度
- ξ ; 二重円筒の任意の半径と外筒半径の比
- ϕ ; 二重円筒における接線速度成分

参 考 文 献

- 1) 吉田, 森島, 大音, 中村 ; 大阪市立大工学部卒業論文 (1968)
- 2) 中川, 徳井 ; 細川鉄工所研究報告書—研4306(1968)
- 3) R.B. Bird ; Chemical Engineering Science 11, 108—113(1959)
- 4) 篠原久, 田中安彦 ; 旭硝子工業技術奨励会誌10, 133—146(1964)

化学者のための Micromeritics 入門 (5)

美 間 博 之
北 森 信 之

第6章 粒子表面の性質

微粒子を扱う場合に最も重要な問題がこの粒子表面の性質に関するものである。これは微粒子がその重量、又は体積当りの表面積が非常に大きいことによるものである。

粒子表面の性質として先ず表面エネルギーを考えなければならぬであろう。これと関連して、吸着、濡れなどの問題があり、いずれも実的な現象と対応している重要である。

6-1 表面エネルギー

表面エネルギーとは簡単に、次のように説明することができる。「表面を1cm²で1cmの長さだけ剥いだ場合になされる仕事である。」

表面を1cm²だけ広げるために使われたエネルギーであってこれは表面に貯えられていると考えられる。すなわち表面にある分子は内部の分子よりもよいエネルギーを持っているわけである。

液体の場合には、表面エネルギーは表面張力と数値的に全く等しいが、固体の場合には一般に表面エネルギーと表面張力とは等しくない。これは固体の場合には液体の場合とちがって表面の原子が内部のそれよりも密になっていることによる。又固体は流れないので表面エネルギーの異なる二点が近接していても一般にはエネルギーの均一化は起らない。すなわち固体の表面には非常にエネルギーの高い状態の場所が点在しており、これが触媒

の活性中心などの存在と対応している。温度が高くなり、固体が溶融して流れるようになると固体の角が丸くなって行くことから表面エネルギーの存在及びその極を知る事ができる。

さて、ここで表面エネルギーを熱力学的に考えてみよう。固体又は液体の表面にある分子は他の分子に半面だけしか囲まれていないので内部に引き込まれるような力が働き、従って表面は常に収縮しようとする。(Fig. 6-1) これに逆らって表面積をdAだけ広げるには外からdGなる仕事をしなければならないがこれはdAと表面自由エネルギー(表面張力) γ の積である。

$$dG = \gamma dA \quad (6-1)$$

また等温的に表面を広げるには外から熱を与えなければならない。

$$\theta = -T \frac{d\gamma}{dT} dA \quad (6-2)$$

従って、単位面積当りのエネルギー(表面エネルギー)はこれらの和

$$u = \gamma - T \frac{d\gamma}{dT} \quad (6-3)$$

となる。この式からわかるように表面エネルギーuは γ とTの関係を実験的に求めることにより算出することができる。しかし固体の場合、直接 γ を測定することは困難なため他の方法が工夫されている。

液体は水銀を除くと水が最大で七十数 ergs/cm²であるが、固体は一般に液体よりも大きく数百から数千 ergs/cm²の値が理論的、実験的に求められている。

6-2 濡れ

今水にガラス板を垂直に入れたと仮定しよう。水はガラス板の両面にそって上がる。そのことは水がその表面張力に逆らって表面積を増加したことを示している。

これはガラスに水よりも大きい表面張力があるためである(Fig. 6-2)。ガラス/空気の界面張力(ガラスの表面張力)を γ_{GA} 、ガラス/水の界面張力を γ_{GW} 、水の表面張力を γ_{WA} とすると

$$\gamma_{GA} = \gamma_{GW} + \gamma_{WA} \cos \theta \quad (6-4)$$

なる関係がある。これを書き替えて

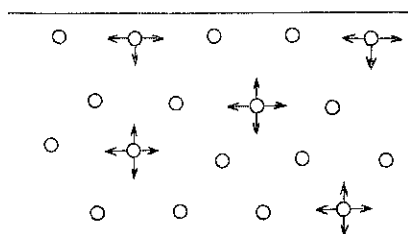


Fig. 6-1 表面近くの分子(又は原子)間に働く相互作用

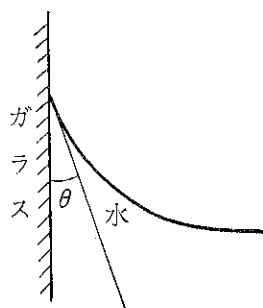


Fig. 6-2 ガラス面への水の付着

$$\gamma_{GA} - \gamma_{GW} = \gamma_{WA} \cos \theta \quad (6-5)$$

とした時、左辺を付着張力 (adhesion tension, A) という。また θ を接触角 (contact angle) といい、これらは濡れの尺度として用いられる。例えば θ が小さい程よく濡れるということになる。ただし $\theta = 0$ の場合は注意を要する。この場合には固体面に液が丁度接触角 0 で止まっている場合と、どこまでも液が固体面上を拡がっていつてしまう場合とがあるからである。すなわち θ が零以外の有限の値をとる場合のみ (6-4) 式、(6-5) 式は成立するのであって零の場合には成立しない。

固体が液体によって濡れるということはこれまで固一

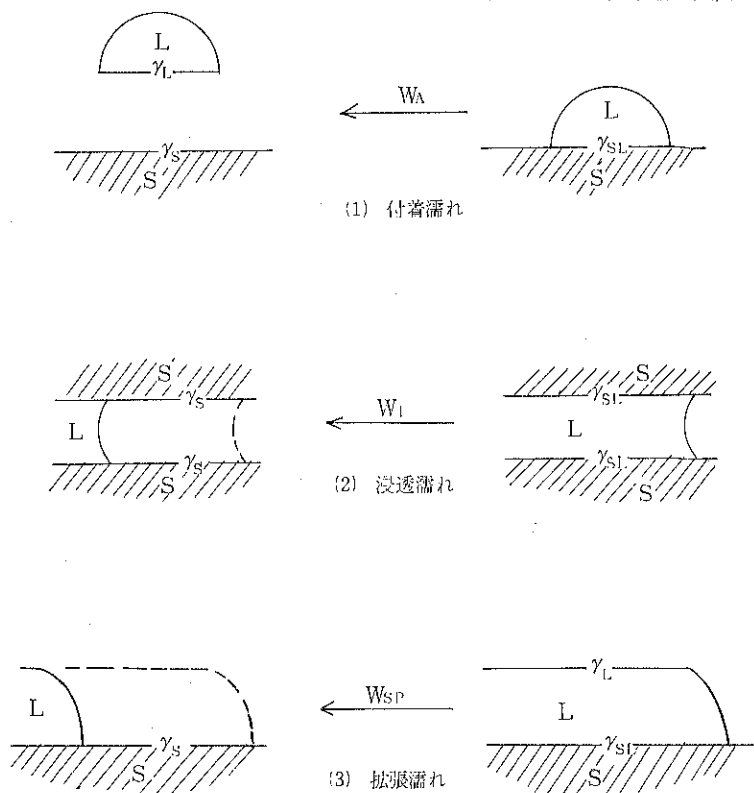


Fig. 6-3 濡れの三つの型

気界面であったところが固一液界面に変わることであり、その過程で仕事が行なわれる。濡れ方によってなされる仕事異なるが、一般に次の三つの型に分類されている。

(1) 付着濡れ (adhesion wetting)

$$W_A = \gamma_S - \gamma_{SL} + \gamma_L = \gamma_L (\cos \theta + 1) \quad (6-6)$$

(2) 浸透濡れ (immersional wetting)

$$W_I = \gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cos \theta \quad (6-7)$$

(3) 拡張濡れ (spreading wetting)

$$W_{SP} = \gamma_S - \gamma_{SL} - \gamma_L = \gamma_L (\cos \theta - 1) \quad (6-8)$$

濡れることにより変化する表面または界面に注目すると例えば付着濡れでは固体の表面 (γ_S) と液体の表面 (γ_L) がそれぞれなくなつて、固一液界面 (γ_{SL}) ができるのでこの差 $\gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL}$ がこの場合の濡れの仕事となる。他の型についても同様に容易に求められる。

よく表面張力の小さい液体はよく固体を濡らすといわれるがこれは上の式からも分かるように拡張濡れについてのみいえることであつて、浸透濡れでは全く関係なく、付着濡れにいたっては逆に作用する。

6-3 濡れの測定

(1) 毛管上昇法

内径 1 cm 前後のガラス管に粉体を適当な方法で充填し、下端をろ紙などでふさぎ測定液表面に触れさせて垂直に立てる。液が上昇して平衡に達した時の高さを求めて、次式により付着張力を求める。

$$A = \gamma_L \cos \theta = r \rho g h / 2 \quad (6-9)$$

ここで r は圧縮した粉体粒子間の空隙を毛細管と見なした場合のその毛管の半径、 h は液の上昇した高さ、 ρ は液体の密度である。 r は接触角既知の液体であらかじめ実験を行ない適当に評価しておかなければならない。接触角既知といっても粉体に対して接触角を知ることが難しいので実際には種々の液体 (r 既知) に対して測定を行ない $\cos \theta$ の一番大きくなるものを接触角が零であると見なすことが行なわれる。実験装置は Fig. 6-4 に示すように最も簡単である。

(2) 圧力変位法

粉体を金属容器に前と同様に適当な方法で充填し、一端から液体を浸入させて、この浸入を阻止するに必要な圧力 P を他端において測定する

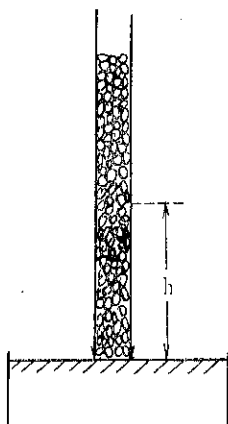


Fig. 6-4 毛管上昇法

(Fig. 6-5).

$$A = r_l \cos \theta = \frac{r \cdot p}{2} \quad (6-10)$$

この場合も r を前と同様に評価しておく必要がある。

(3) 浸透速度法

垂直に立った毛管中を液が毛管上昇する時の関係式は Poiseuille の法則から次のように導びかれる。

$$dl/dt = r r_l \cos \theta / 4\eta l - r^2 \rho g (l - l_0) / 8\eta l \quad (6-11)$$

ここで η は液体の粘度、 l は液の移動距離である。

(6-11) 式より明らかなように $dl/dt \sim 1/l$ の間に直線関係がある。この直線の勾配が $rr_l \cos \theta / 4\eta$ であるから r , η 既知であれば $r_l \cos \theta$ すなわち付着張力が求められる。

また (6-11) 式において、浸透初期 ($l \approx l_0$) や毛管が非常に細い場合は第二項が省略できて

$$dl/dt = \frac{r r_l \cos \theta}{4\eta l} \quad (6-12)$$

これを積分すると

$$l^2 = \frac{r r_l \cos \theta}{2\eta} \cdot t \quad (6-13)$$

となり、従ってこの場合 $l^2 \sim t$ に直線関係が得られる。

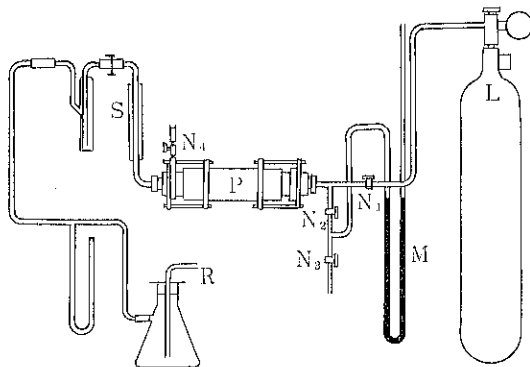


Fig. 6-5 圧力変位法の装置

これらの測定も特別な装置は必要でなく Fig. 6-4 に示した装置で充分である。

(4) 湿潤熱の測定

固体が液体に濡れる時、化学反応や溶解が起らなくとも一般に発熱する。これを湿潤熱という。湿潤熱は粉体の表面エネルギーと粉体が濡れた場合の界面エネルギーの差である。すなわち

$$\Delta Q_1 = u_s - u_l \quad (6-14)$$

これを熱力学的に考えると次のようになる。Gibbs-Helmholtz の式

$$(\Delta H)_{T,p} = (\Delta F)_{T,p} - T \left[\frac{\partial (\Delta F)}{\partial T} \right]_p \quad (6-15)$$

において

$$\Delta F = -A$$

$$\Delta H = -\Delta Q_1$$

であると考えられるので

$$\Delta Q_1 = A - T \left(\frac{\partial A}{\partial T} \right)_p \quad (6-16)$$

となり、固体面上で有限の接触角を持つ場合には

$$\Delta Q_1 = r_l \cos \theta - T \left[\frac{\partial (r_l \cos \theta)}{\partial T} \right]_p \quad (6-17)$$

と表わすことができる。

ΔQ_1 の大きい程濡れ易いということになる。ただしこの場合湿潤熱に影響する因子を考慮することが重要である。たとえば親水性の粉体の非極性液体中への湿潤熱を測定する場合にはその液体中の微量の水分が影響することなどは有名である。その一例を示す

Titanium dioxide in	heat of immersion (cal/g)
dried benzene	0.39
undried benzene	1.15
water	1.15

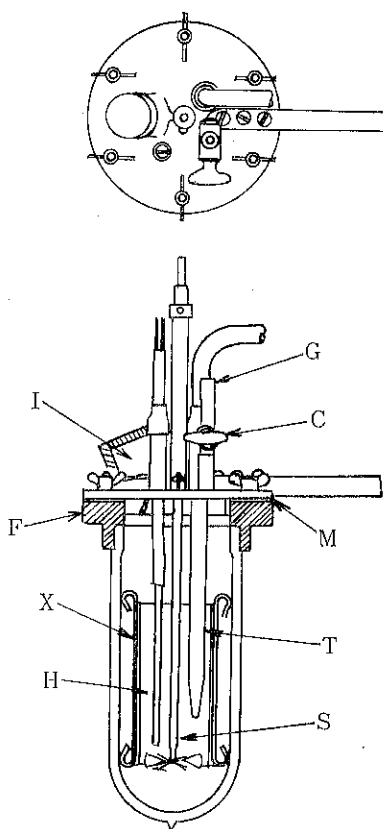
その他に

- ・ 固体表面に吸着した空気やその他の気体
- ・ 液体中に存在する不純物
- ・ 粉体の粒度
- ・ 粉体の液体への溶解熱
- ・ 測定温度、その他の測定条件

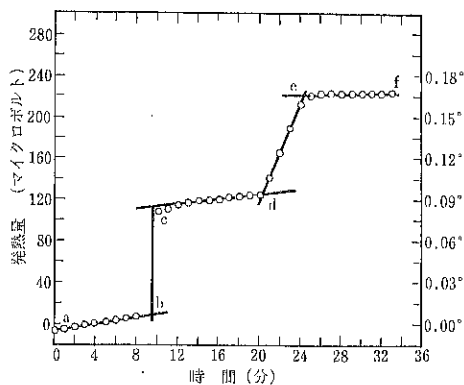
が測定結果に影響することが知られている。

湿潤熱の測定は Fig. 6-6 に示すような装置を用いる。ジュワービン中に液体があり、熱容量を測定するためのヒーター、攪拌器、温度計（温度検出器）が備えられている。測定結果はたとえば Fig. 6-6 (b) のようになる。この結果より (6-18) 式で湿潤熱 Q_1 を求めることができる。

$$Q_1 = Q_2 \frac{\bar{bc}}{de} \quad (6-18)$$



(a) 粉体の湿潤熱測定装置



(b) 発熱曲線

bc→湿潤熱 de→ヒーターによる発熱

Fig. 6-6 粉体の湿潤熱測定装置及び測定例

ただし $Q_2 = I^2 R$ で既知である。

6-4 濡れの調節

固体、特に粉体の表面の濡れの調節は実際面と関係が深い。ハンダ付け、メッキ、接着剤、顔料の吸油量、顔料の分散、帯電防止など、濡れの調節に関連する問題は沢山ある。次に二三の方法について見よう。

(1) 固体面からよごれを除く

主に親水性の固体が油などの親油性物質でよごれている場合が多い。

ガラスは本来水に大変よく濡れるが又油によってよごれ易く、よごれると水に濡れにくくなる。ガラスは普通油でよごれているものと考えた方がよい。清浄なガラス面には息をかけても曇らない。また清浄なガラス面は水が完全に拡張して薄膜状に広がる。従ってきれいに洗えたガラス器具は非常に乾くのが速い。

(2) 面の粗度の調節

同一物質でもその面の粗度によって濡れが異なる。これは粗面では見かけの接触角が真の接触角と異なるからであろう。真の接触角が 90° より小さい場合は粗度を増すと見かけの接触角が小さくなり濡れ易くなる。また真の接触角が 90° より大きいものではその逆となる。

(3) 吸着物質による調節

濡れ易くするのに界面活性剤が用いられるのはあまりにも知られすぎている。水への分散すなわち固体面を親水性にするにはこの他にサポニン類、アラビアゴム、ヘキサメタリン酸ソーダなどがよく用いられる。粉体を親油性にするにはステアリン酸などの有機酸が最もよく使われる。フライパンに油をぬるのも金属面を疎水性にしてこげつきを防ぐため最近ではフッ素樹脂をコーティングしたフライパンが普及し一々油をぬる手間がなくなった。

6-5 濡れに関連した現象

(1) 粉体の二液中への分布

有機液体と水の共存する中に粉体を入れて、振とうすると有機液体の種類および粉体の種類によって粉体は有機液体中に分散したり、水中に分散したり、界面に集まったりする。これは粉体はその濡れ易い方の液体中に分散するためである。この場合粉体をどちらの液体で先に濡らすかによって結果が全く異なることもあるのでその点注意しなければならない。この現象は多油選鉱として、鉱石の分離に利用されている。Table 6-1 に二液中への粉体の分布の様子を観察した結果を示す。

(2) 粉体の液中分散

一般に粉体はそれをよく濡らすような液体中ではよく分散し、濡らさない液体中では凝集する。たとえばガラス粉末——ガラスは水にも有機液体にも濡れるので例としてはあまりよくないが——のような極性粉体は無極性液体中では凝集して沈降容積が大きくなる。これは無極性液体は一般に水の溶解度が小さく、そのわずかに溶けている水が極性粉体に吸着して、そのために粒子が凝集することが確かめられている。従ってこの場合、充分に脱水した無極性液体中では極性液体中の沈降容積とほと

Table 6-1 二液中への粉体の分布

水と接する液体				パラフィン油	アミルアルコール	四塩化炭素	ベンゼン	エチルエーテル
固体粉末								
カ	オ	リ	ン	W	W(S)	W(S)	W	W(S)
フ	ッ	化	カルシウム	WS	WS	W(S)	W(S)	W(S)
せ	っ	こ	う	W	WS	W	SW	WS
硫	酸	バ	リウム	W(S)	WS	WS	SW	WS
マ	グ	ネ	シウム	WS	WS	WS	WS	WS
一	酸	化	鉛	S	S	SW	S	SW
マ	ラ	カ	イ	SO	S	S	S	SW
硫	化	亜	鉛	S	S	S	S	SW
硫	化	第一	水銀	SO	SO	S	S	S
ヨ	ウ	化	第一	SO	S	S	S	S
炭			素	SO	S	S	S	S
セ		レ	ン	SO	SO	SO	S	S
イ		オ	ウ	SO	SO	O(S)	SO	S
硫	化	第二	水銀	S	S	—	S	S
酸	化	第二	水銀	S	S	—	S	S
ヨ	ウ	化	鉛	S	OS	—	S	S
ヨ	ウ	化	銀	OS	S	—	S	S

W：水中移行，O：油中移行，S：界面移行，粉末ははじめ水で濡らす

Table 6-2 水と自由に混合する液体及び有機液体中でのガラス末（15.2ミクロン）の沈降容積

。水及び水と自由に混合する液体

液 体	沈降容積 (ml/g)	液 体	沈降容積 (ml/g)
水	0.73	メチルアルコール	0.74
アセトン	0.73	エチルアルコール	0.75

。有機液体

液 体	沈降容積 (ml/g)		
	水を飽和した場合	市販品	充分に脱水した場合
トルエン	3.55	1.88	—
ニトロベンゼン	2.80	0.78	0.75
ベンゼン	2.73	1.18	0.79
アニリン	1.50	0.74	0.75

んど等しくなる。（Table 6-2参照）

(3) 固体表面への気体の凝結

われわれは液体を沸とうさせる場合に突沸を防ぐために沸石を用いる。これは沸石の毛細管中の空気が気泡の核となり、気泡の発生を容易にするため突沸を防ぐことになると考えられている。すなわち気泡は疎水面に付着し易い。筆者は昔「水を満したビーカーの中にセルロイドの切片を沈め、この切片に触れることなくビーカーの中央に持って来て、さらにこれを水面上に持って来る方法如何？」というクイズのような実験を実演したことが

ある。これは水に先ず重曹を少々加えてガラス棒で攪拌しうずを作って切片をビーカー底面の中央に持って来る。次に酢を二三滴たらすと炭酸ガスの泡を発生するがセルロイドの切片は疎水性で泡が付着し易く、付着した泡の浮力でみごと切片を水面上に浮かび上がらせることができる。

一般に水は一気圧の下で 100°C で沸とうするが Kenrich 等は水中のゴミを充分に除き、容器を充分になめらかで水によく濡れるようにして静かに加熱し、270°C まで水が一気圧下で沸とうしなかったと報告している。固体の表面に蒸気が凝結する場合も全く同様で濡れ易いところに蒸気は凝結し、濡れにくいところには凝結は起りにくい。

6-6 固体表面への吸着

固体表面への吸着は固体表面が複雑なために溶液表面の吸着のように厳密な研究は困難であるが実用的見地からして重要である。固一液界面吸着の実用的な重要性は次の四つに大別できよう。

(1) インジケーター又は分析手段として

- 。吸着量から固体の表面積を求める。　。クロマトグラフィーによる分析手段として繁用されている。
- 。吸着は滴定の際の終点を知ること*に用いられる。

(注) *例えば NaCl 溶液を AgNO₃ 溶液で滴定する場合、例えばフルオレセシンを少量入れておくと Cl⁻ が過剰な限り色素は溶液中にあり、Ag⁺ が過剰になったとたん色素はほとんどすべてが沈澱に吸着されてしまい溶液の色は消える。

(2) 固-液界面の形成として

。固-液界面性に反応活物質の界面層が形成されることが触媒には必要であると考えられている。 。電気的酸化、還元は電極-液体界面層において電子の授受が行なわれる。

(3) 固体表面の修飾として

。濡れの項で述べたように固体表面の濡れを変化させるために吸着が利用される。 。染色は固体への色素の吸着である。

(4) 溶液組成の修飾として

。溶液中にある不要な物質を取り除くために吸着が利用される。例えば溶液中の着色物質を活性炭で除くのはこの典型的な例である。 。溶液中に少量含まれる有用な物質を回収するためにも吸着が利用される。

同様に固-気界面における吸着も重要である。たとえば防湿（水蒸気を吸着して）のための乾燥シリカゲル、脱臭のための活性炭、工業的には溶媒等の回収などに吸着が利用されている。吸着には大別して二つある。

(1) 物理吸着 (physical adsorption)

主に低温での吸着で固体と吸着質との相互作用はファ

ンデルワールス力による。吸着の速度は一般に速く、可逆的でまた吸着熱は小さく 3~5 Kcal/mol である。

(2) 化学吸着 (chemisorption)

固体と吸着質との間に化学的反応を起す場合で、従ってこの吸着は不可逆的である。吸着の活性化エネルギーは小さく吸着は速い。吸着熱は物理吸着よりも大きく数十~数百 Kcal/mol にもおよぶ。

今固体を気体または液体中に置くと一定温度のもとで気体の圧力、または溶液の濃度に応じて一定の吸着量を示すまで吸着が起る。これを（等温）吸着平衡という。吸着量と気体の圧力、または溶液の濃度との関係を吸着等温線という。吸着等温線には Fig. 6-7 に示すように五つの型がある。I 型は単分子吸着のみを考慮したもので Freundlich の式、Langmuir の式で表わされる。多分子吸着を考慮したものの代表は B. E. T. の式である。これらの式についてはすでにこの講座の(1)で示したので省略する。

6-7 毛管凝縮

液体の蒸気圧はその表面の曲率によって異なる。凹面上の蒸気圧は平面上の蒸気圧よりも小さい。従って大体同程度の粒子径であれば不規則粒子は球形粒子よりも水分がより凝縮する。

蒸気圧と曲率半径との関係は J. J. Thomson (Lord Kelvin) によって次のように示された。

$$\rho_0 RT \ln \frac{p}{p_0} = -\frac{2\gamma}{Rc} \quad (6-19)$$

ここで ρ_0 は液体の密度、平面上での蒸気圧が p_0 、曲率半径 Rc の面上での蒸気圧が p 、 γ は液体の表面張力である。

固体表面の吸着が溶液表面の吸着に比べて複雑なのはこの毛管凝縮のためである。すなわち一般に上に示した (6-19) 式に従って固体表面ではその凹面に凝縮が起り、固体表面が均一な吸着を示さない。

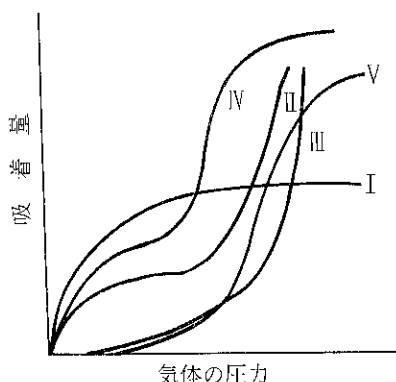
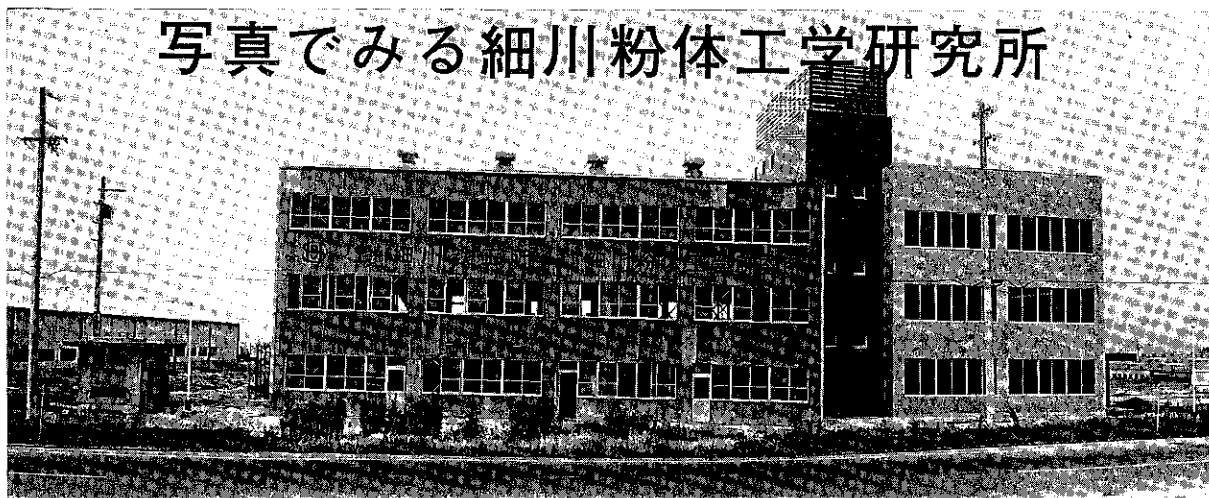


Fig. 6-7 吸着等温線の型

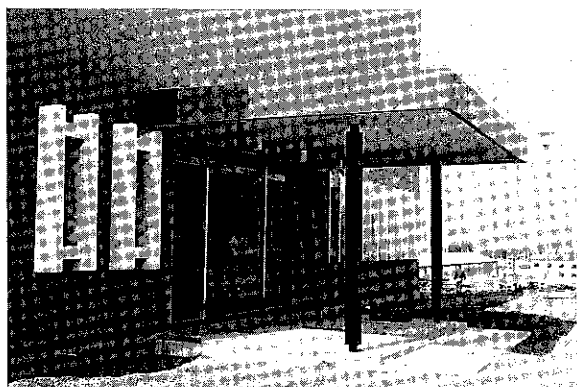
写真でみる細川粉体工学研究所



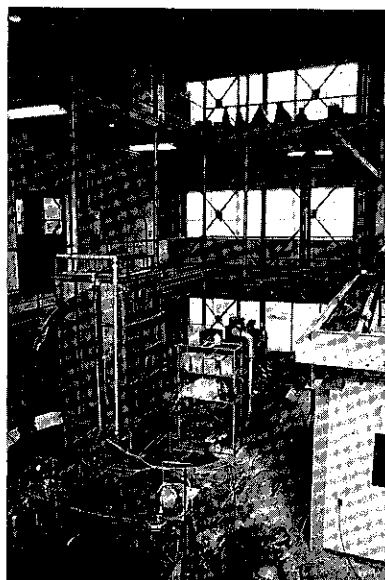
↑ 研究所全景

大阪府がモデル工業団地として計画、ホソカワが6ヶ年長期計画として進めてきた枚方企業団地への一部移転計画により、先ず研究所がその先発の任を担って昭和43年3月竣工した。

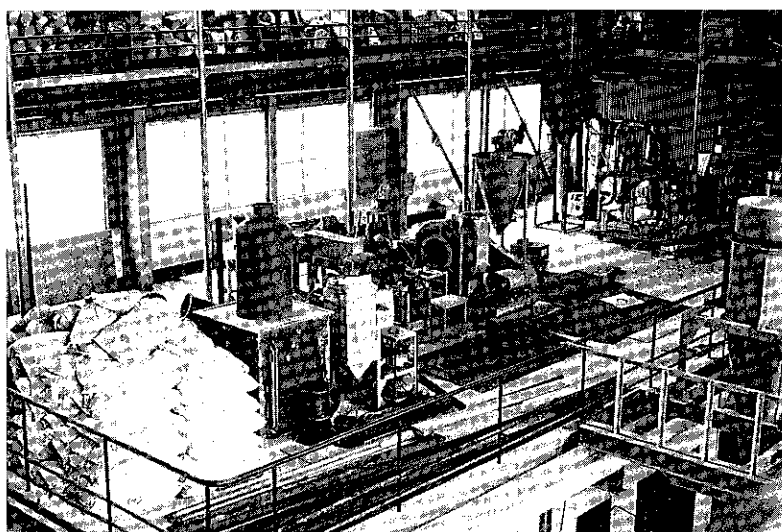
研究所の規模は工場用地約17000m²の内約660m²の面積を占め3階建の建物（延べ面積約1500m²）で、実験棟、研究棟よりなる。部屋別にみると、静的測定室、動的測定室、精密測定室、研究員室、工作室、No.1およびNo.2の各実験室、防音実験室、1階および2階実験場、約70名を収容できる大会議室、応接室、図書室などを有し空気調節、防塵、換気、防音にも意が払われている。特に実験場は独創的な構造をもち、実験設備の組立取外しが自由に能率よく行えるように工夫されている。



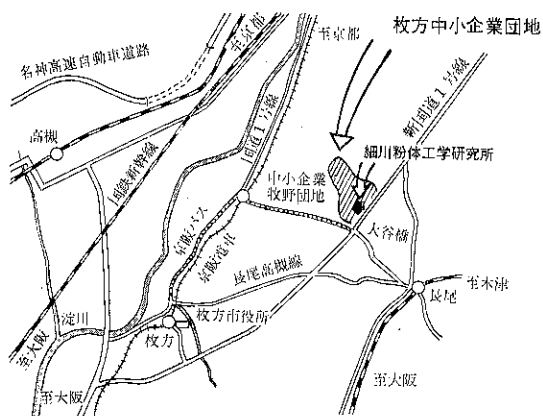
↑ 研究所玄関



↑ 研究棟に続く実験場



↑ 2階実験場

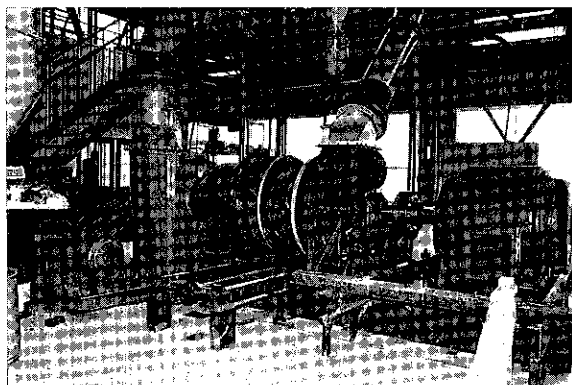


↑ 研究所所在地の略図

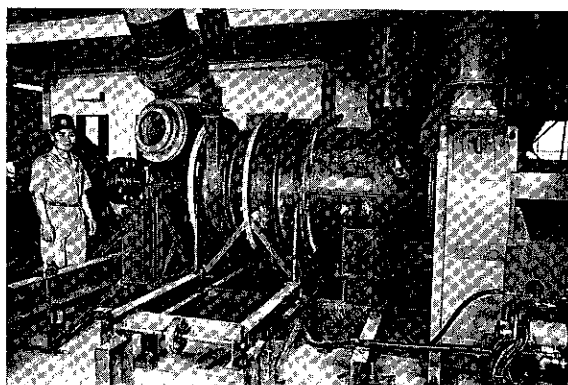
京阪電車枚方市駅または枚野駅下車，バス（大谷橋行）にて15分，左前方に広がる中小企業団地の国道沿に位置している。



↑ 大型ミクロンミル実験装置の全体
実験場の空間をうまく利用して立体的に構成している。

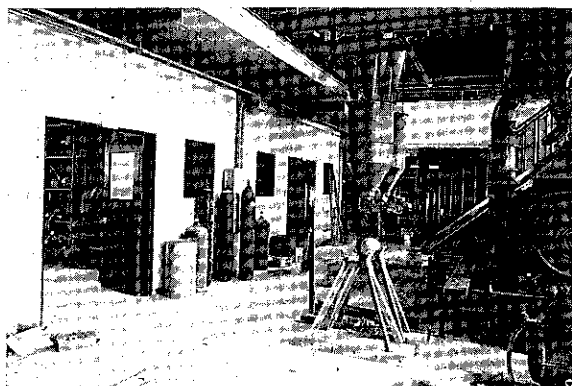


↑ 大型ミクロンミル実験機
高性能大容量粉碎を目的として開発



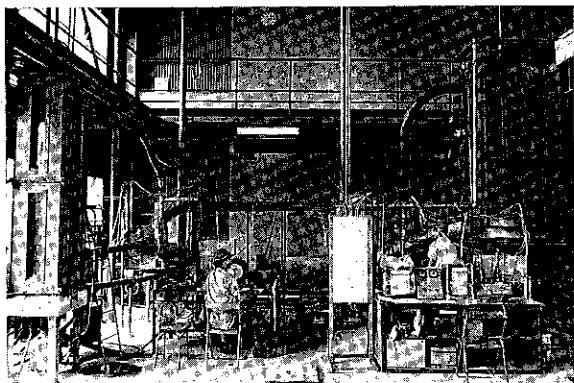
↑ 大型ミクロンミル実験装置の一部

↓ 1階実験室 (No.1 および No.2), 工作室



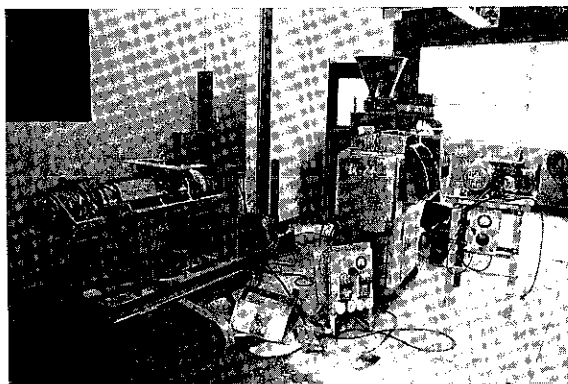
ミクロンセパレータ実験装置
ミクロンセパレータ基礎性能テスト
および改造型ミクロンセパレータ性能テストを行なう。





↑ 湿式集塵実験装置

科学技術庁補助金を得て、新型式集塵装置の
企業化のための基礎テストを行っている。



↑ 連続混合実験装置および造粒機
(実験室 No.1)



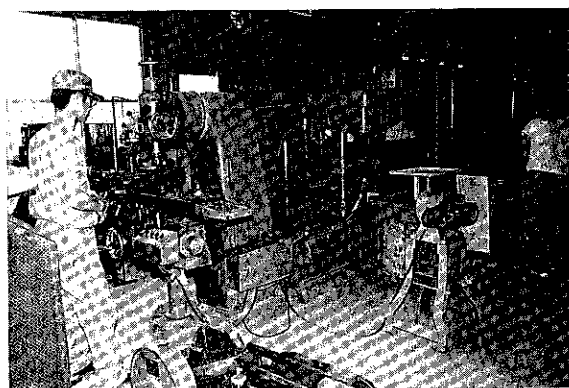
← 工作室機械加工場

旋盤（8尺1台 5尺2台）
フライス盤（No.1）ボール
盤（3台）その他各種の工
作機械を設置している。

機械開発研究が主体となるため特に工作関係を充実し、装置の改造、
製作が早く行なわれるよう留意された。

工作室板金加工場

↓ 電気およびガス溶接器、切断器を常設している。

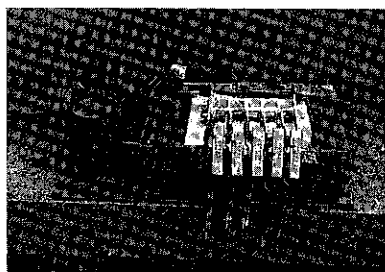


↑ 工 作 室（機械加工）

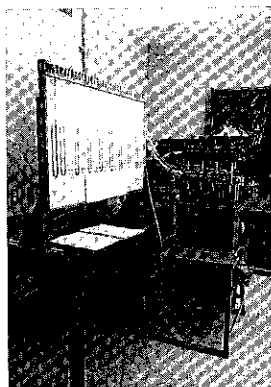
簡単な工作は研究員各自がどしどしやっていくけれど、工
作的に高度の技術を必要とするものは工作担当者が責任を
もって製作加工する。



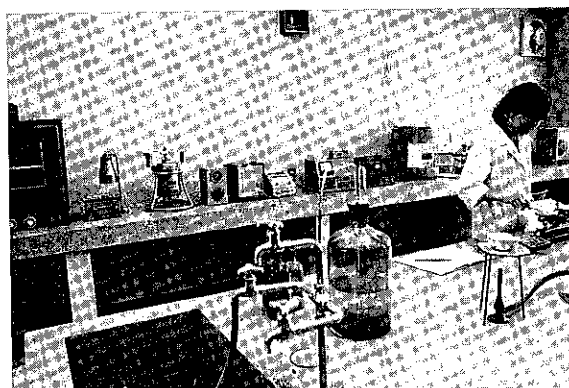
↑ 動的測定室
篩、見掛け比重測定等の粉塵の発生するおそれのある測定を行う。



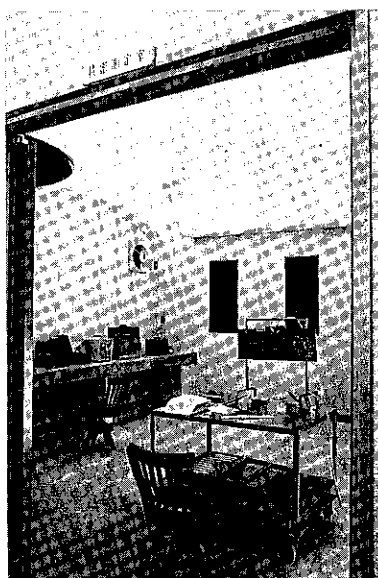
↑ 粉体中における金属摩耗試験機



↑ 汙布特性試験機
乾式バグフィルターの機構を単純化すると共に操作条件を一定に保てるよう特に工夫をこらしてある。一度に8種の汙布を測定できる。



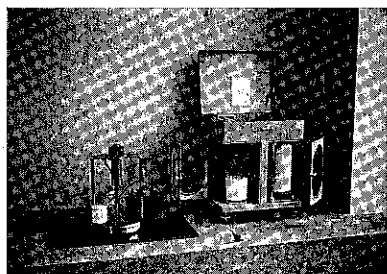
↑ 静的測定室
粒度測定、水分測定、白度測定、乾燥および秤量、化学分析等を行なう。



← 精密測定室
部屋全体が一つの暗室となるよう工夫されており撮影および現像が自由にできる。

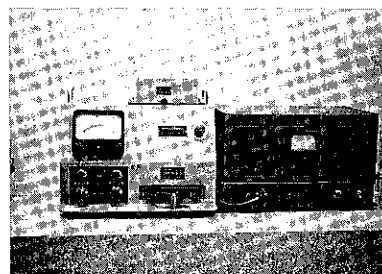
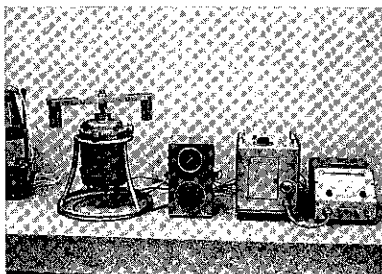
拡大投影器
精密測定室に付設されており、Max. 700倍まで拡大撮影できる。





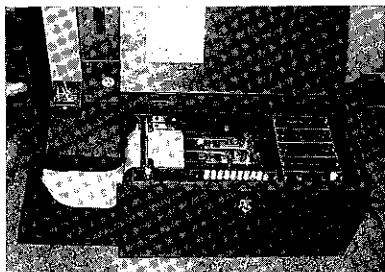
↑ 沈降天秤式(島津式)
自動粒度測定器

↓ 沈降光透過式粒度測定器
(ミクロンフォートサイザー)

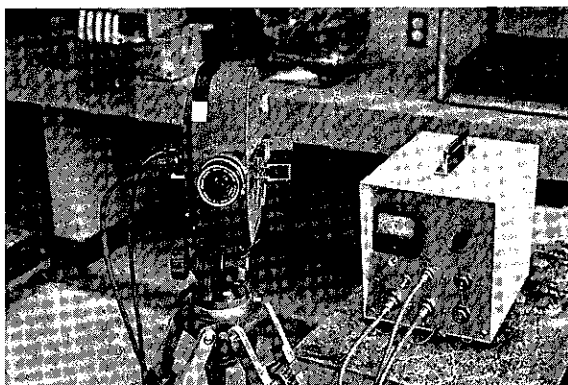


↑ 光電白度計

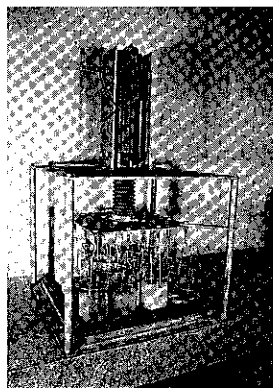
↓ ペン書きオシログラフ



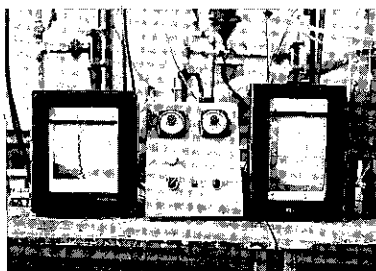
↓ 高速度カメラ



→ 腐蝕試験器



← 測定器
6点式記録計
2点ペン式記録計



↓ 湿式篩分



空調による室温調整と相まって独自の換気装置を備えている。各種測定機器類は直ちにその場で能率よく測定できるよう常置されている。

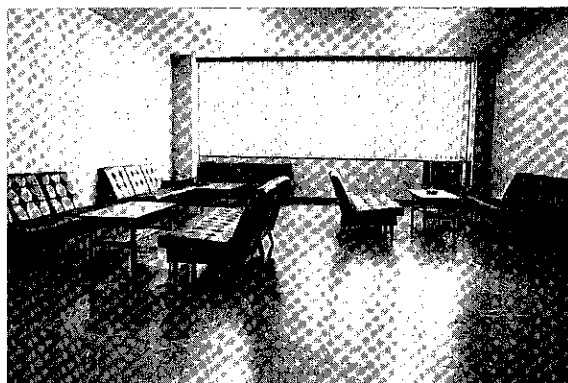
↓ 静的測定室





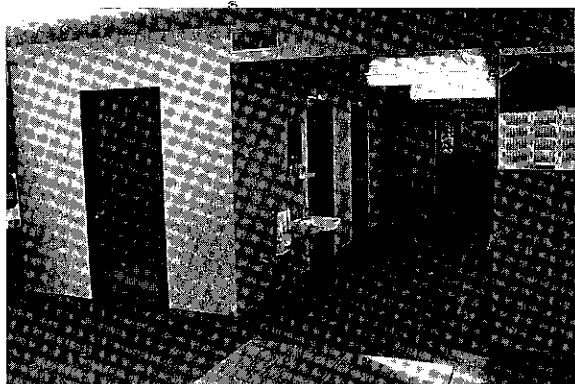
↑ 大会議室

70名の収容人員にて、空調、遮光ブラインド、映写等の設備を有し、会議、講演、講習会等に利用出来る。



↑ ロ ビ ー

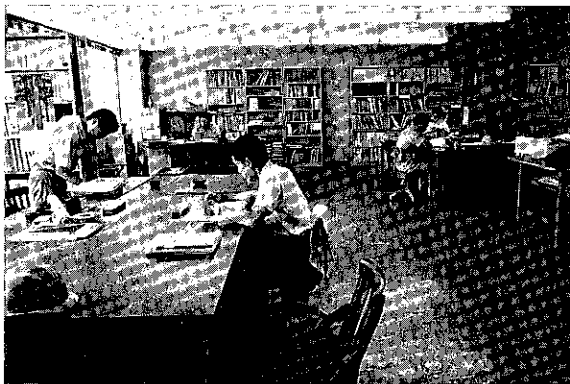
大会議室に隣接して休息、談話の場が設けられている。



↑ 研究員室より所長室、応接室を望む



↑ 応 接 室



↑ 研 究 員 室

この室では実験計画の立案および検討、図面の作成、データの整理、報告書の作成、その他事務的な業務を主として行なっている。



↑ 研 究 員 室

粉 碎 の 話 (I)

北海道大学工学部

田 中 達 夫

筆者が粉碎の研究にとりかかったのは昭和26年であるからもう17~18年も前のことである。大山義年先生に会うごとに、先生もお若いときに粉碎に興味を持たれたこともあったが、“これをやると必ず泥沼にはまると思ひ、ついに粉碎には手をつけなかった。君は仲々勇気があるヨ”と冷かされている始末である。よく人にも聞かれるのであるが、どうして粉碎をやるようになったかというとは全く他愛ない話で、当時京大の特研究生で充填塔の研究をしていた私が、金沢大に移った途端、長谷川先生に“キミ粉碎の講義を早速学生にやってくれぬか”と押つけられてしまった。粉碎なんて亀井先生の講義で1時間ばかり出てきたような気もするが、あるいはサボってききもらしたかも知れない。何れにしても全く五里霧中で何を話してよいか判らない。判らぬ話が学生に判ったらこんなフシギなことがあろうかと小さな胸を痛め、ママヨどうせやらされるなら、古今の文献を少し調べてみて、あわよくばこの方面に首をつっこんでやろうかと当時の青二才は考えたのである。これこそ盲蛇におちずの粉碎版で、筆者が大山先生の前で頭を掻いているのは、恥多き青春へのノスタルジアでもある。

さて果てなき荒野の真中に1人淋しく胸をすすめようとしたが素人の悲しさ、やること為すことピント外ればかりで空しく10数年を過してしまった。他の分野ではドンドン花々しい業績が発表されてゆくのに、粉碎の仕事はいつまでたっても隔靴搔痒、ピシリと決め業がない。柔道のように併せ技というもおかしなものである。当時 Bond の出した第3法則というのが学会を席捲し、Work Indexが実験的に決められ、物質の粉碎能という概念を大成したかのごとき観があった。しかし、どんな粉碎機でこわしても粉碎効率は同じであろうか、何故粉碎機はこんなに沢山種類があるのだろう。その選択は経験とか、カンという名人芸によるべきか、大体その物をこわしてみなくちゃ粉碎特性が出てこないというのは学問じゃない、等々数えたら切りのないほどフシギなことだらけで、こんなことを続けていたら一生カラ舞イだからと何度もサジを投げようと思った。だがサジならぬサ

イはすでにルビコンに投げられている一。

北大に移ってから、むしろ粉体の流れや粉体の連続計測などに興味に移ったものの、心のかたすみで昔の恋人の面影がちらつき、そちらとの交渉を細々とつづけてきた。しかし始めから出直しである。粉碎機とは物を砕くものという考えを否定し、砕かないものという考えにたったらどうであろう。これが初めの着想である。もしも砕かれるとしたら、それはごく一部であって、その割合は確率という概念でおきかえられる。その確率は実は総合的に今までの粉碎効率として理解されるものであり、一方その確率は種々の操作変数や粉体粒子物性の関数でなければならぬ。

ここで大胆な考察を行なってみよう。粉碎が起るためには粒子が物に衝突せねばならぬ、またたとえ衝突しても固体内に発生した応力が、その固体の強度を越えぬ限り粉碎は起らぬ。この二つの独立事象確率の積が0でない限り粉碎は起らねばならぬ。

さて粉碎が起るべく運命づけられた1箇の粒子は、その粒子の固体の構造によって一定の有効なエネルギーを吸収して表面積を生じ、また一定の粒度分布を生ずる。もし発生した応力が大きければ吸収エネルギーも大きく、従って表面積増加も大きいし、粒度も細かい。ただし粒度分布の形(たとえば Rosin-Rammler プロットの勾配)は一定と考える。こう考えると、単一粒子の破碎のメカニズムと粉碎機のメカニズムとは全く切りはなして考えられるではないか。後者の問題は最近 Rumpf や Gilvarry によって単一粒子粉碎のメカニズムとして取扱われ、とくに Gilvarry による粒度分布の確率論的取扱いは惺眠をむさぼっていた筆者のネムケをきれいに払ってくれた美しい仕事である。

さて粉碎機工学に戻ろう。敢て“機”を入れたのには理由がある。私たちはこれまで一つの粉碎機の中で起った現象をそのまま粒子の粉碎という風に錯覚し、常に混同して来たようである。粉碎機という一つのフィルターを通して出てきた“碎製物”の姿から、中で起っている様々の現象を一つのものとして認め、それを粉碎のメカ

ニズムであると考えようとした。たとえばボールミルで石炭を粉碎し、表面積を測定してミルの総回転数または所要仕事とをプロットし、直線関係があって Rittinger の法則が正しいとか何とかを結論とするがごときである。あるいは砕製物の Rosin-Rammler Plot を行ない、その直線群の勾配 n を決定して、ヤレ n が立って来たから粒径が揃う傾向にあるとか何とか……などである。確かにこれらは大切な“結論”ではあるが、何となくムナしい響きがあり、スカッとしはないではないか。

それにしても Rittinger の法則が出て丁度100年、坂本竜馬が河原町で殺されたところに Rittinger が粉碎法則を提出した。チョンマゲ人間の社会はものすごい発達をとげたのに、相もかわらず同じ人間の子孫が日本刀ならぬハンマーをふり上げ石を叩いてこわしているスタイルはこつけいを通り越して悲壮でさえある。だが、100年という年月は粉碎の研究にとってむだではない。いろいろの人がいろいろな“事実”を沢山残しておいてくれる。100年後に、私たちが彼らと同じように“同じような事実”をさらに後世に残しておくことはそれ自体無駄ではない。がしかし、いま先人が残してくれたあらゆる事実を、あるいはあらゆる経験を、とにもかくにもすべて納得のゆく説明してくれる基本的な考え方で統一したいというのが100年後の研究態度であらねばならぬ。それには一つ一つの細かい事実にふりまわされことなく、いっそ目をつぶってそれらを向うへ押しやり、粉碎機の中に自らを投入し、そんなことをしたら粉碎されてしまうのではないかといわれるが、想念をである。そして粉碎機をバラバラに粉碎してしまえばよいであろう。歴史的な事実は多すぎる。これらにふりまわされてはならぬ。正直に、大胆に、先ず粉碎機の模型を頭に描くことであろう。そしてこれを土台に、先人の残した事実をフンドンとして角力をとればよろしい。

ごく最近、粉碎速度論という一派が粉碎学を支配するようになった。くわしいことは筆者ら¹⁾が別に述べたのでここには省略するが、このモデルを正直に記述しようとした点でたしかに革新的である。が、選択関数とか破碎関数で代表される特性と、実際の粉碎機の結びつきがばやけている。筆者はしかし、この速度論が初めて粉碎理論と、粉碎機の工学との間のかけ橋の役を果たしているものと思う。

もし速度論のようにスマートでなくとも、更にその奥に立ち入った考え方が出てきて、この速度論をも先人の残した事実の1つと考えられるようになれば、その概念の応用はもっと広いであろう。それが Underlying

Theory というやつであろう。

さて脱線が長すぎた。本論に戻る。当分の間、粒径 x が一定であるような粒子群がある粉碎機の中へ放りこまれて単純衝撃を受けるとし、出て来た砕製物の比表面積増加を $\Delta S_v(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ とする。1箇の粒子がこわれて表面積増加に貢献する項は $x^{-\beta}(P_\sigma)$ である。ただし P_σ は発生した固体内の応力 σ_m が固体強度 σ_a を越えるかどうかの程度である。むろん、 $\sigma_m \leq \sigma_a$ では粉碎は起りようがない。

一方その粒子が撃体に衝突するかどうかの確率を P_c としよう。当然ねばむろん $P_c=0$ である。粒子が全部当れば $P_c=1$ となる。すると、砕製物の ΔS_v は明らかにこれらの値に比例すると考えてよからう

$$\Delta S_v \propto P_c \cdot P_\sigma \cdot x^{-\beta} \quad (1)$$

β は何か、とにかく固体の構造によって定まる定数で、したがって粒度分布の形をも決定するであろう。この辺りに Charles の実験結果がチラリと頭をかすめる。

P_σ は粉碎機内のメカニズムによってケース・バイ・ケースに考えてゆけばよい。 P_σ を1と0の間にする関数は

$$P_\sigma = (1 - \sigma_a / \sigma_m)^m \quad (2)$$

というふうにおいてみよう。 $\sigma_a = \sigma_m$ なら $P_\sigma = 0$, $\sigma_m \gg \sigma_a$ なら $P_\sigma \rightarrow 1$ である。 m は実験値から決める定数としよう。もし m がきまれば、 σ_a は固体に対し与えられる物性であり、 σ_m は操作変数たとえばボールが粒子に衝突する速度などから与えられるものであり、いろいろの粉碎機に対して解析が可能となろう。

1箇の粒子が衝撃体におつかつて発生する応力 σ_m については Rumpf も引用している Hertz の式がある。

$$\sigma_m \propto \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{1/2} v \% \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{3/2} \left(\frac{1 - \nu_1^2}{Y_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{Y_2} \right)^{-1/2} \quad (3)$$

m_1, m_2 は衝突する物体の質量、 v は衝突速度、 r_1, r_2 はそれぞれ衝突点における曲率半径、 Y_1, Y_2 はヤング率、 ν_1, ν_2 はポアソン比である。もし一方が他に比較して ∞ と考えられるならば

$$\sigma_m \propto x \% \cdot \rho \% \cdot v \% \cdot r^{-3/2} \cdot Y \% \quad (4)$$

となる。 x は粒径、 ρ は密度である。

一方 σ_a は固体の物性とを考えてもよいが、破碎理論の基礎である Griffith の長さ C_r を用いると

$$\sigma_a \propto \sqrt{\gamma Y / C_r} \quad (5)$$

で与えられる。 γ は表面エネルギーである。 C_r はほぼ $1 \sim 2 \mu$ のオーダーであるといわれる。 γ というのは測定法によって統一的でないらしいので、厳密な意味で γ ではないが、筆者の恩師でもある Pirret 教授の粉碎に関する

1) 粉体の物性と工学、化学同人 (1967)

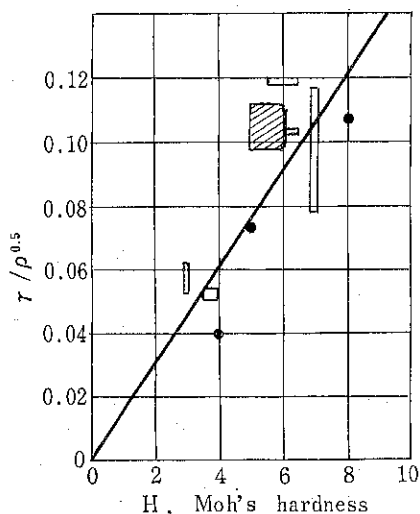


図 1

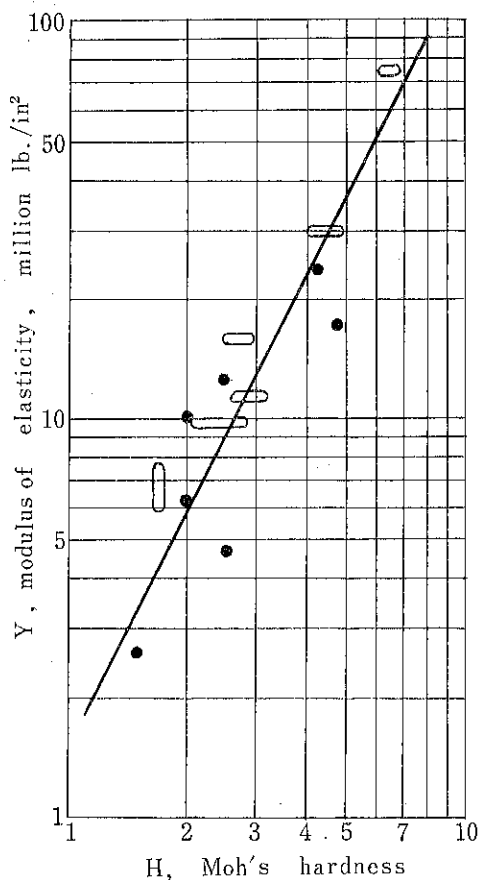


図 2

データを用い、固体の密度 ρ とモース硬度 H との関係を調べてみると第1図のように直線関係がえられる。ついで

* 脆性材料に対してこの関係が正しいかどうかは疑わしいが、

でモース硬度 H とヤング率 Y の間の第2図のような関係*から、これらの実験的關係を(4)式と(5)式に入れ(2)式における σ_a/σ_m を求めると近似的に次式がえられる。

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_m} \propto \frac{1}{x^{0.6} v^{0.4}}$$

これは全く強引なやり方であるが、衝撃粉碎メカニズムを大づかみにしたいわけである。したがって(2)式より

$$P_{\sigma} \approx (1 - \text{const}/x^{0.6} v^{0.4})^m \quad (6)$$

この式の const は一応カルサイトの衝撃実験で $\Delta S=0$ になる x と v とから計算して 1.8 という値をえた。

すなわち一定粒径 x の粒子群を連続的に一定周速の羽根でふりとばし (約 80m/sec), 周囲にジグザク状においた一定巾の衝撃板にぶつけて粉碎実験を行うのである。

衝突する確率が0でない条件において $\Delta S(\text{cm}^2/\text{cm}^3) = 0$ ならば、それは $P_{\sigma}=0$ となる条件である。

一方衝突確率 P_{σ} については慣性集塵その他の項で引用されるところの分離数 ψ と衝突効率 η_T の関係を用いて求めることができよう。すなわち衝突体の巾 D , 粒子の速度 v , 粒径 x の他は1気圧の空気を考えれば定数であるから基礎式(1)は衝撃粉碎機について次のように書ける。

$$\Delta S_v \propto \frac{P_{\sigma}(D, x, v) \left(1 - \frac{1.8}{x^{0.6} v^{0.4}}\right)^m}{x^{\beta}}$$

粉碎効率すなわち単位エネルギー当りの表面積増加は、粒子に与えた運動エネルギーが速度の2乗に比例するから

$$\eta = \frac{\Delta S_v}{E} \propto \frac{P_{\sigma}(D, x, v) \left(1 - \frac{1.8}{x^{0.6} v^{0.4}}\right)^m}{v^2 x^{\beta}} \quad (7)$$

D, x, v を与えれば P_{σ} は図の上で判るから、判らない

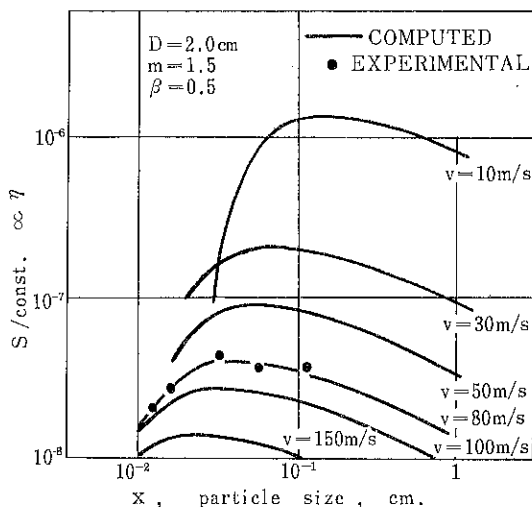


図 3

のは m と β である。そこで m と β とをいろいろセッとし、 η をコンピュータで求めておき、前述の D , v , x をかえた実験の η と一番よく合う m と β を求めればよい。その 1 例を第 3 図に示す。横軸は粒径、縦軸は $\Delta S/E$ である。パラメータは v である。この結果、一番よい fit をえたのは $m=1.5$ でありカルサイトにつき $\beta=0.5$ であった。ゆえに荒っぽいやり方ではあるが

$$\eta = \frac{\Delta S}{E} \propto \frac{P_c(x, D, v) \cdot (1 - 1.8/x^{0.6} v^{0.4})^{1.5}}{v^2 \cdot x^{0.5}} \quad (7')$$

をまずインパクト粉碎の基本式と考えて、いろいろの過去の知見、事実、経験などをフンドシとして角力をとってみよう。

速度 v を変えて…とはいったものの実は装置の都合で v は変えられなかった。図 3 で $v=80\text{m/sec}$ 以外の v の

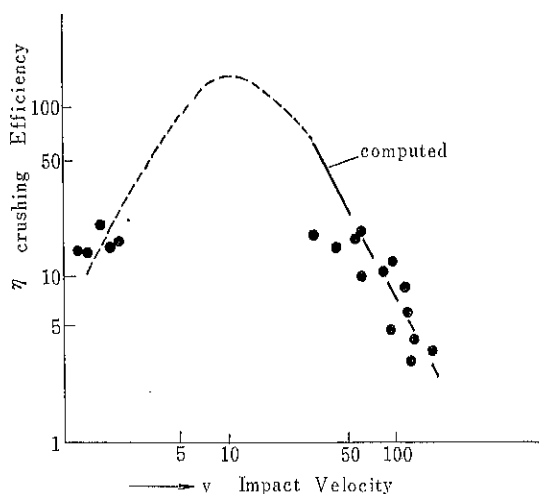


図 4

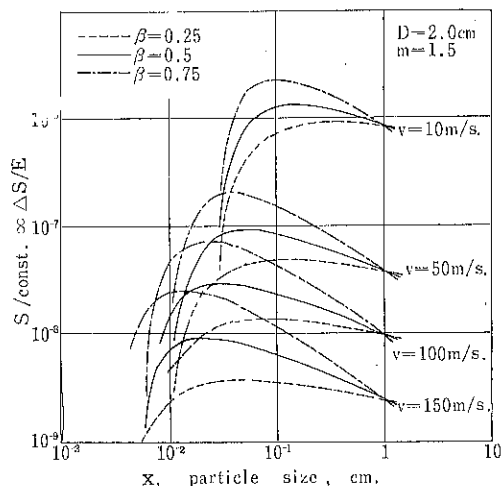


図 5

プロットがないのはそのためである。では実際に v が変ればこのように粉碎効率は大きく変化するかどうか。

幸い奥田教授のガンを使った高速衝撃粉碎の実験結果が手元にある。縦軸は任意軸であるが横軸に v (m/sec) をとり、奥田氏のデータをプロットする (図 4)。 $v=100\text{m/sec}$ 以上から段々減るにつれて粉碎効率が增大している。これを図 3 のある一定粒径で切ったとき (殆ど平行だから) の v と $\Delta S/E$ の関係を同じ図上に曲線として示す。

あきらかによい一致である。左端にチョココンとあるのは Rumpf によるデータであるが、これは奥田氏のとは粒径も異り、かつ図 3 から判るように v が余り小さくなると曲線が x の大きい処でピークに達し、粉碎効率は逆に下ってくることがわかる。惜しいことに低速と高速はあつて $5 \sim 50\text{m/sec}$ のデータがない。どこかにこのようなデータがあつて然るべきだし、効率自体は高い筈だが……と思われる。

さて (7') 式を用い、 x のベキ $\beta=0.25, 0.5, 0.75$ にかえて計算した結果を図 5 に示す。カルサイトでは $\beta=0.5$ であった。しかし $\beta=0.5$ がすべてであるとは思えない。もし Rittinger の理想法則なら $\beta=0$ であり、Kick の理想法則なら $\beta=1$ である。念を押すがこの 2 つの法則は単一粒子に対してのべられたもので、本質的に粉碎機内の集合粉碎とは関係がない。Bond の法則のような“ヌエ”的存在とはわけが違い、格調の高いものである。

図 5 によると面白いことがわかる。どの曲線も必ずピークがある。つまりここでは $\Delta S \propto E$ であり、みかけ上 Rittinger の法則が成立つと錯覚される領域である。当然 β の小さいもののほどこの領域はひろいが、たとえ単一粒子で Kick の法則に近い (β の大きい) ものでも、立派にみかけ上 Rittinger の法則が成立つ領域がどのような衝撃速度に対してもあることである。あえて“みかけ上”といった真意は Rittinger の法則とは無関係であることを強調したかったのである。

同様に右端の方へ行くとマイナスの勾配をもつ直線で近似される。そして Kick の法則に近い β の大きいものほど、直線の勾配がその β に早く一致する傾向にある。

1937年版の“Principle of Chemical Engineering”に粉碎理論は

$$dE = -C \frac{dx}{x^n} \quad (8)$$

で表わされ、 $n=1$ のときが Kick、 $n=2$ として積分すれば Rittinger の法則を与えると記されている。この式はもともと単一粉碎に対する型を示したもので粉碎機とは無縁のものだが、いつの間にか粉碎機内の粉碎に転

用されているので、一先ずそれによろう。もし $x \propto 1/S$ として計算すると上の式は

$$dS/dE = C'x^{n-2} = C'x^{-\beta} \quad (8')$$

となるから $\beta = 1$ は $n = 1$ すなわち Kick である。だが、 C' の中に x が入っていることを昔の人は気付かなかったようである。 $n = 3/2$ すなわち $\beta = 0.5$ が Bond の法則であるが、それは集合的粉碎では、図にみるようにみかけ上は広い適用範囲とそ持っているが、かといって単一粒子の破碎メカニズムの $\beta = 0.5$ というのとは何の関係もない。 $\beta = 0.75$ でもみかけ上勾配が 0.5 である領域はかなりひろい。

これが 100 年間、Rittinger と Kick の間を、研究者の 1 人 1 人が自分の用いた特定の物質、特定の粉碎機、特定の操作条件による実験結果のみから右往左往せざるを得なかった、粉碎研究の歴史のいわば一つの盲点ではなかったろうか。蹴ったり (Kick) 蹴られたり、果ては折中案 (Bond) が出来たり、歴史は皮肉でもあり外国人の名前はときにユーモラスでもある。

ついでに図 5 のピークの左側をみよう。曲線は弱々しく垂れ下り $dS \rightarrow 0$ に近づく。これが粉碎限界である。筆者が昭和 29 年頃に一寸した思いつきをまとめて報告した処意外に問題となって田中説とか田中の法則などという人も現われ、私自身びっくりし大いに赤面した次第であるが、説とか法則などは私自身当時から一言も申上げたことはないのでこの機会に弁明させていただく。ある事実を指摘したにすぎない。もはや、カビの生えた話でムシ返えすつもりは毛頭ないが、しかしこれがこの計算にもはっきりあらわれている。しかもインパクトミルの粉碎限界は、どんなに v を上げててもせいぜい 50 μ くらいであろうことは図から明白である。細川社の横山藤平氏の講演によれば、実際にインパクトで碎かれるのは粒径が 40 μ くらいのものだそうで、まずは計算値とのよい一致である。現場技術者の経験との一致の一例である。

少し強引な話で気が引けるので、もう一度元へ戻って (2) 式をみよう。Bond が衝撃粉碎強度というものを定義している。一定大の試片に一定重量のハンマーの落下高さを少しづつ増し、ついに試片が割れるときの高さからポテンシャルエネルギーを計算し、これを試片の厚みで割った値 (Feet-pound/inch) で与えられている。これをメートル・キログラム・センチメートルに換算し、そして材力の知識を借りて、

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{2Ymgh}{Al \text{ gc}}} \quad (9)$$

にあてはめる。 m は落体質量、 h は落高、 A は試片の面積、 l は厚みである。すると Bond の値は (mgh/l) である。 A はきまった値 ($2'' \sim 3''$)² であるから、その碎料

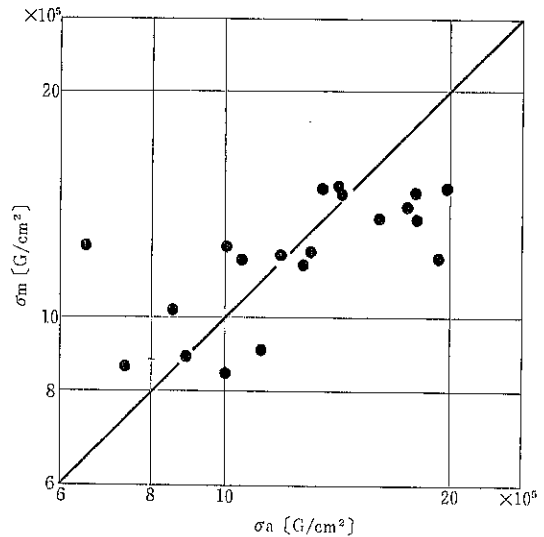


図 6

のヤング率 Y がわかれば σ_m は求まる。しかも先述の条件は、丁度 $P_\sigma = 0$ 、つまり $\sigma_m = \sigma_a$ の臨界条件になくなくてはならぬ。従って同じ碎料の σ_a と (9) 式による σ_m とが等しければ (2) 式の仮定の正しい証明にもなり、しかも研究者としても実際家としても経験豊かであった Bond のデータを利用して一石二鳥となるであろう。それにスリルもある。第 6 図はこのように計算した σ_m と与えられた σ_a を両対数紙上にプロットした結果である。多少の散乱はむしろ当然であるが、 $\sigma_m = \sigma_a$ は充分に満足されているとみなすべきであろう。

ここに大切なことがある。何種類もの物質のグラインダビリティを、あるいはインデックスを、何故確たる論理的根拠なしに人工的に決めなければならないのか。図 6 には物質のヤング率と圧縮強度のみを使った全く種類の異なる多くの物質が一つの基礎概念にまとめられ、行儀よく並んでいる。ヤング率と圧縮強度は問題の物質についてもっと正確に測れる筈である。わざわざ勝手な基準を作り、面白くもない粉碎実験を繰返してグラインダビリティと称するものを測る必要があるのだろうか。

Bond の Work Index というのがある。石灰石の Work Index を使ってミルを設計したら半分の能力しか出なかった。日本とアメリカの石灰石の違いによるものである…などとノンキな事をいう前にせめてヤング率と圧縮強度位は“日本の、いや”テメエの石灰石について測っておきたかったところである。

— (付記) —

横山部長にお許しをえて、少し気楽に書かせていただき、いささか筆がすべったきらいがある。お許し願いた (56 頁に続く)

微粉末の少量定量供給装置

同志社大学工学部化学工学科

奥 田 聡
伊 東 勇 吾
井 口 高 行

1. 緒 言

定量粉体供給装置としては、すでに市販されているものも数多くあるが、その多くは多量の粉体供給の装置としてのものである。本研究室においては、新たに少量の微粉体を定量的に供給する必要から本装置を考案製作した。ここにその性能について報告する。

2. 装 置

本体を Fig. 1 に示す。本体は #32 ローレットでヤス

リ目状に鉄円筒に溝を切ったものが本体となっている。この上部にホッパーおよびバイブレーターを取り付け、連続的に溝に粉体を均一に充め、円筒を減速機 (1~9 r. p. m.) で定速回転をさせる。バイブレーター部はこの字形の薄い振動板が粉体中にさし込まれた形で振動するようになっている。そして溝につまんで出てきた粉体を吸引ノズルで吸いとり、吸引ノズルの幅は回転円筒の幅に等しく、吸引ノズルはエジェクター (吸引管) に連結している。

減速機回転数 (N) と供給機円筒回転数 (n) は、 n

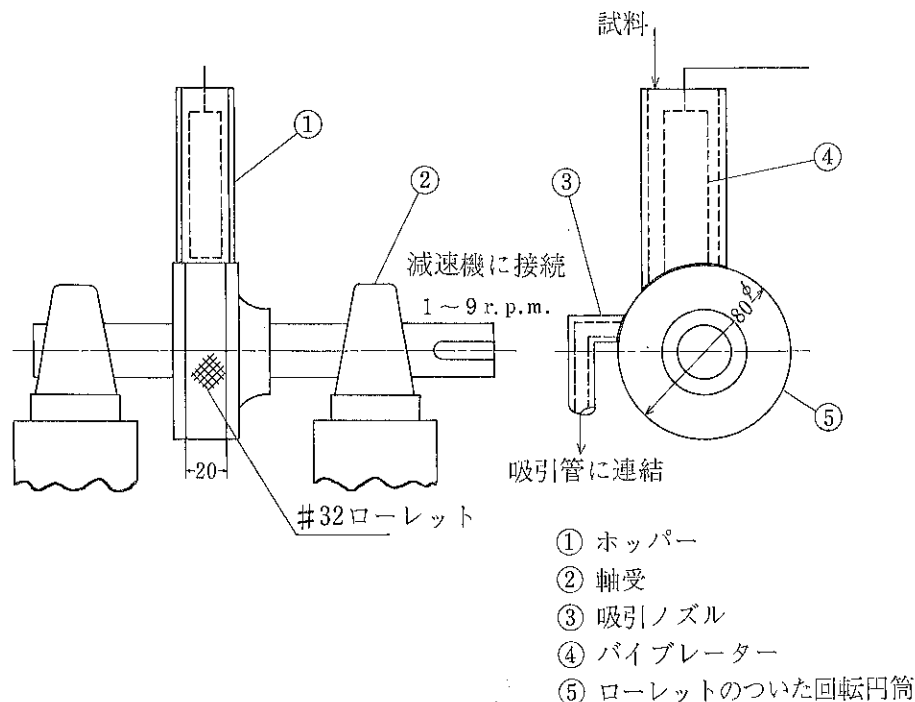


Fig. 1 定量粉体供給機本体

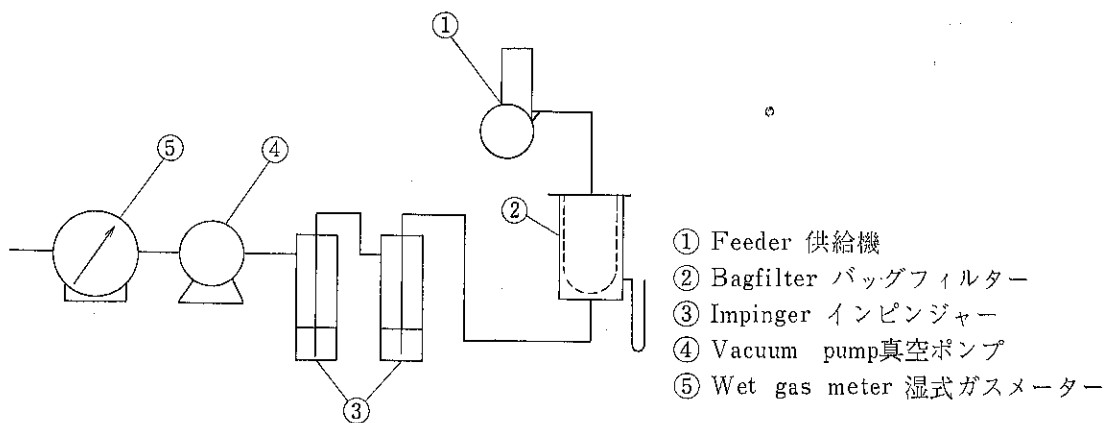


Fig. 2 性能試験フローシート

=1.61Nである。

3. 性能試験方法

操作のフローシートを Fig. 2 に示す。試験のために真空ポンプで吸引した、粉体の捕集はバッグフィルター方式を用い、バッグとして家庭用電気クリーナーの収塵袋を用いた。バッグを微粉が通過することを想定して、インピンジャー2本を用いて真空ポンプへの微粉の流入するのを防いだ。水銀マンオメーターはバッグに粉体が堆

積し、目盛りによって圧損が増大するので、常に一定圧で吸引できるように真空ポンプを操作するに取り付けた。

4. 実験結果および考察

試料として次の2種類を用いた。

石灰石粉 (NZ) 平均粒子径 7.0μ

石灰石粉 (当研究室ジェット粉碎機による粉碎粉)
200mesh以下

はじめに回転数一定での定量供給試験を行った。Fig. 3に減速機回転数 6 r. p. m. で試料がジェット粉碎粉の場合の結果を示す。時間と供給量との直線関係より「定量

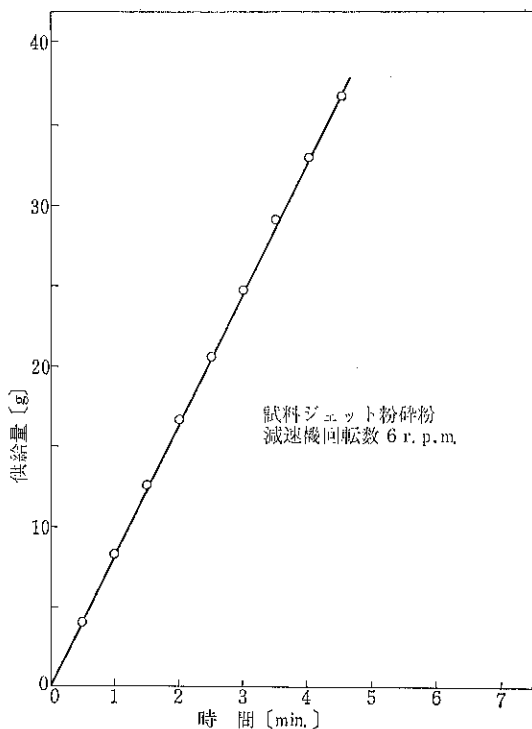


Fig. 3 時間と供給量の関係

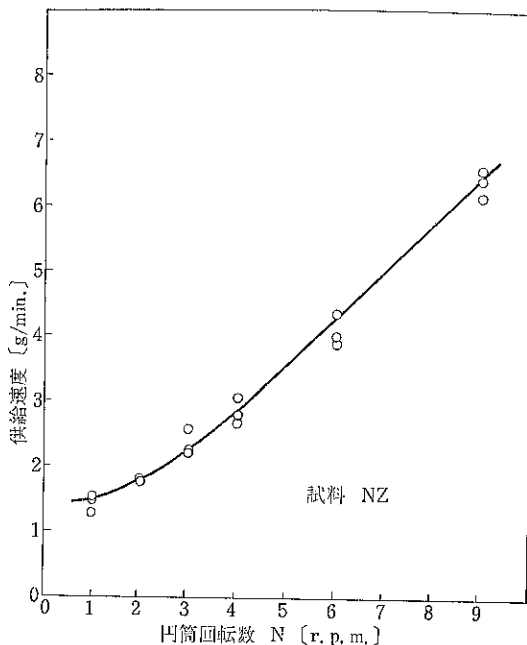


Fig. 4 回転数と供給速度の関係

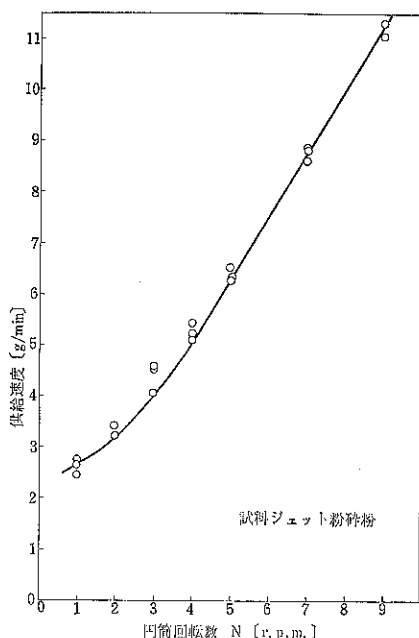


Fig. 5 円筒回転数と供給速度の関係

的に粉体が供給されていることがわかる。測定は30sec.ごとに秤量している。つぎに、回転数と供給量の関係をFig. 4, 5に示す。NZ (Fig. 4), ジェット粉砕粉 (Fig. 5) でともに減速機回転数が4~9 r. p. m. であれば供給量は回転数に対して直線的に比例する ($G \propto N$)。しかし、4 r. p. m. 以下ではその直線よりはずれ、曲線となってくる。これは4 r. p. m. 以下になると円筒のホッパー下での滞留時間が長くなるため、4 r. p. m. 以上の回転数のときより以上に粉体が多く円筒に供給されるからであろうと思われる。

ここで、粉体供給量を G [g/min], 円筒回転数 m [r. p. m.], 粉体のかさ密度 ρ_b [g/cm³], 円筒上のヤスリ部容積 V [cm³] とすると、

$$G = \rho_b V n$$

V も含めた装置定数 K を用いると、

$$G = K \rho_b n$$

であらわされる。かさ密度はホッパーより円筒の溝にバイブレーターで充てんされる程度の充てん程度で測定した。すなわち2試料については下記の値であった。

NZ : $\rho_b = 0.889 \text{ g/cm}^3$, ジェット粉砕粉 : $\rho_b =$

1.067 g/cm^3

また、2試料 (NZ, ジェット粉砕粉) について K を求め次の値を得た。ただし、直線部分の $N \geq 4$ についてに限る。

NZ	ジェット粉砕粉
$K = 0.801$ (4 r. p. m.)	$K = 1.23$ (4 r. p. m.)
0.779 (6 ")	1.18 (5 ")
0.799 (9 ")	1.18 (7 ")
	1.15 (9 ")

K の平均値が NZ で $0.793 \text{ [cm}^3]$, ジェット粉砕粉で $1.185 \text{ [cm}^3]$ となる。当然この値は装置定数として一致しなければならない。ここでかさ密度の測定方法が問題になってくるものと思われる。ここではバイブレーターで充てんされる度合に近似するように一定方式のタッピングを与えて測定した。しかし、バイブレーターによる充てん度合は複雑で、タッピングによる度合とは相当異なるものと思われる。今後このバイブレーターによる充てん度合のかさ密度の測定が解明されれば、本装置の定数 K を明確に表わすことができるものと思われる。

5. 結 言

以上の結果より、粉体を取り扱う装置、特に集塵機等の性能試験で常に粉体の定量供給が問題となっている現段階において、試作した供給機は高精度の供給機であると思われる。

高 速 度 写 真

—主として照明用光源について—

大阪市立大学 工学部

森 島 直 正

現象の定量的な測定には、スチール写真が多く用いられるが、映画は眼球網膜上の残像を利用してあたかも動いているかのごとく見せ、目の錯覚を応用したもので、ただ定性的な観察にはよいが、定量的な測定には不適当な場合が多く、かつ定量し得ても多数の画面を解析するには多大の労力を要した。しかし最近では優秀な解析装置も売り出され、かつ高速度撮影機も種々のものが市販されるようになって、その利用も追々拡がっていくものと考えられる。

高速度写真は大きくわけて1)瞬間光源または高速シャッターによる瞬間写真の一枚撮りと、2)極く短時間の間隔をおいて多数の写真を短時間の間に連続して撮影する高速度連続写真(映画)とにわけられる。前者については菅沼氏¹⁾が化学工学誌上に最近詳しく解説しておられるので、本文ではおもに後者について述べてみたい。しかし何んの経験もない筆者が、これから高速度シネカメラを使用しようとして調べた2, 3の文献の紹介と、おもに照明について知り得たことについてのみ書いたもので、貴重な粉砕誌の記念号を汚し、紙数を徒食したことを始めにお詫び申し上げておく。

1. 高速度シネカメラ

毎秒コマ数(F. P. S.)にして64コマまでは普通のカメラに装着されているものもあるので省略し、それ以上のコマ数を撮影できるカメラの市販されているものを第1表に示した。普通のシネカメラに装置されている回転円板式シャッターでは、せいぜい500~600 F. P. S. までであるが、それ以上のコマ数では4面以上の回転プリズム形式を持つものが多い。表の最後に掲げたニコン植村式カメラは、回転ミラーとフィルムを装着した回転ドラムの高速相対回転の間で撮影される型式で、通常のカメラとは趣きを異にし、フィルム容量は小さく35mm

フィルムの有効撮影長さは1mで最高600コマが撮影できるものである²⁾。

2. 光 源³⁾

高速度写真で最も重要なものは被写体の照明であり、その良否が撮影の可否を決めるポイントとなる。普通白熱電球が最も一般的に用いられているが、その他の光源も種々開発されている。

被写体の明るさは、照明光が被写体を照らす明るさと被写体の反射率によって定まる。光源の光度 I (cd) と被写体までの距離 l (m) によって被写体の照度 E (lux) が求まるから、被写体の反射率がわかれば露出が求められる。光源に向って垂直な面の照度 E は

$$E = \frac{I}{l^2} \quad (1)$$

であり、これはその面における入射光束の面積密度に相当し、入射光式露出計は結局この照度を測っていることになる。通常光源から発する光のエネルギー量として全光束が用いられる。あらゆる方向へ1cdの光度を有する光源から単位立体角 π へ流れる毎秒の光束を1ルーメン(lm)といい、ある時間に流れた光の総量をルーメン・秒(lm-s)であらわされる。したがって中心の光度1cdの光源から、全球面を通る光束(全光束)は4 π ルーメンとなる。現在多く用いられている写真電球は内面に反射鏡を有しており、ある角度の範囲内に光束を集中するようになっており、フラッド型で約60°, スポット型で約25°以上となっていて、全光束で与えずビーム光束で与えているものもある。すなわちビーム光束は、照射ビーム内を単位時間に流れる光束であるから、同一光束の電球でも反射鏡を内蔵するスポットタイプの電球で照らす方が、明るい照明が得られる。

人間の眼に感ずる明るさと、写真感光材料に感ずる明るさには、フィルム等の感光材料によっても異なる(第1図)が、波長によって相違がある。光源から放射され

* 半径1cmの球面上にとった1cm²の面積が、中心にみこまれる立体角のことで、中心線を含む平面で測った角度は約65°となる

第1表 各種高速度撮影機

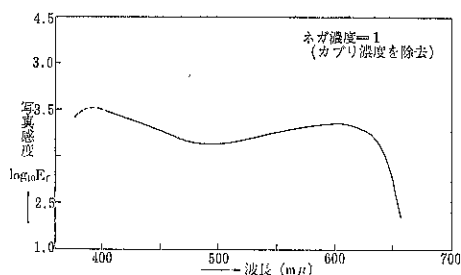
名 称	日立高速度カメラ 16M	" 16HM	島津高速度カメラ KS-16A	ミリケン高速度カメラ D.B. M-5D	ファスタックス高速度カメラ	ハイカム高速度カメラ	フォト・ソニック 16-1B	マグニフックス高速度カメラ	ニコンー植村式高速度カメラ UHF-500
シャッター	4面プリズム回転式	4面(および8面)プリズム回転式	6面プリズム回転式	回転円板(角度7½°~160°)騒落し式	プリズム回転式	8面(16面)プリズムおよび円板式併用	4面プリズムおよび開角度可変シャッター	平面プリズム回転式	回転反射鏡とドラム回転式
撮影コマ数/秒	100~2,000	500~10,000 (1,000~20,000)	500~12,000	4~500	150~16,000	10~10,000 (20~20,000)	12~1,000	1,000~3,200	最高500,000
フィルム容量	16mm 100呎	16mm 100~400呎	16mm 100呎	16mm 400呎	16mm 100呎	16mm 100~400呎	16mm 100~1,200呎	16mm 100呎	35mm 2m
レンズおよびマウント	ニコンF用バヨネット	同 左	ライカマウント	Cマウント	特殊マウント	Cマウント	特殊マウント	コダックマウント, シネエクター	特殊レンズ組込み
駆動源	D. C. 5~25V 10A	D. C. 20~200V	A. C. 100~200V	D. C. 28~115V	A. C. モーター	A. C. モーター	D. C. モーター	A. C., D. C. モーター	A. C. および N ₂ ガスタービン
ファインダー	フィルム面直視式およびフレーム式	同 左	同 左	フィルム面直視式	光学ファインダー	フィルム面直視式	拡大ファインダー	フィルム面直視式	
焦点合わせ	レンズ目盛フオーカシングリーダーフィルム	同 左	同 左	レンズ目盛, ボアサイトツール	レンズ目盛フオーカシングリーダー	同 左	レンズ目盛, ボアサイトツール	レンズ目盛, フオーカシングリーダー	
その他	A. C. 電源用レクチファイヤあり, タイミングマーカ一, 途中停止用ブレーキ付, 手持ち撮影可能	A. C. 電源用レクチファイヤ, タイミングマーカ一, タイムスロップ装置付, プレーキマジンあり	タイミングランプ自動停止スイッチ	レジストレーション, ピンでフィルム固定, タイミングマーカ3方向25Gまで耐える, その他形式多種, 回転プリズム式もあり	タイミングマーカ一, その他に8, 35mm形, 400呎容量のものもある	一軸光学機構開角度可変, 二重タイミングマーカ一, オッシロ撮影用, 流し撮り用, アタチメント可	2種類のタイミングマーカ一, 途中停止スイッチ, 防寒用ヒーター付, その他1C~1F 35mm, 70mm用あり	オッシロ撮影装置付, タイミングマーカ一, タイムスイッチ, 速度調節器内蔵	フィルムドラム, ミラー, 回転用タイピン, 制御装置付

る光のエネルギー量をあらわす光束は、放射束でなくて視感度を基準にとりてあり、先に述べた光束の単位であるルーメンは、単位立体角を通過する各種波長の光のエネルギーに視感度を乗じて得られたものである。視感度は波長 555m μ に極大を有する第2図の如き分光分布を示している。ただしこの値は極大値を100とした比視感度で、その前後は急激に低下している。フィルムの感度が比視感度と一致しないときは、たとえば視感度が小さくとも写真感度の大きい波長部分に、放射エネルギーの

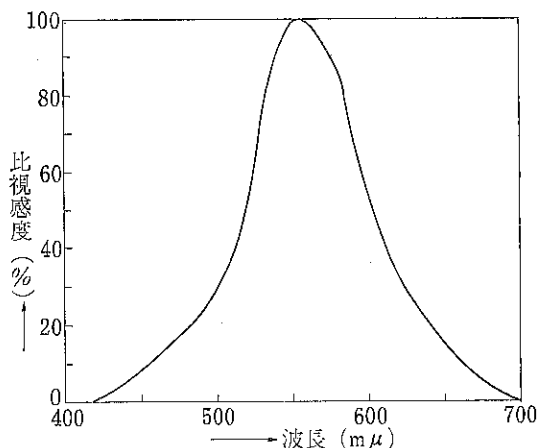
大きい値を有する光源では、写真的に明るい光源といえる。写真感度を基準にした光量と、視感度を基準にした光量との比を写真効率といい、光源とフィルムの双方の種類によって第2表のように異なってくる³⁾。

2.1 白熱タングステン電球

電気エネルギーを光エネルギーに変換する光源の効率は、一般に単位電気入力(ワット)に対する光束(ルーメン)で lm/W であらわされるが、白熱タングステン電球の効率は10~30 lm/W 程度である。白熱タングス



第1図 高感度16mmネガフィルムの分光感度曲線 (K社製タイプ6162)



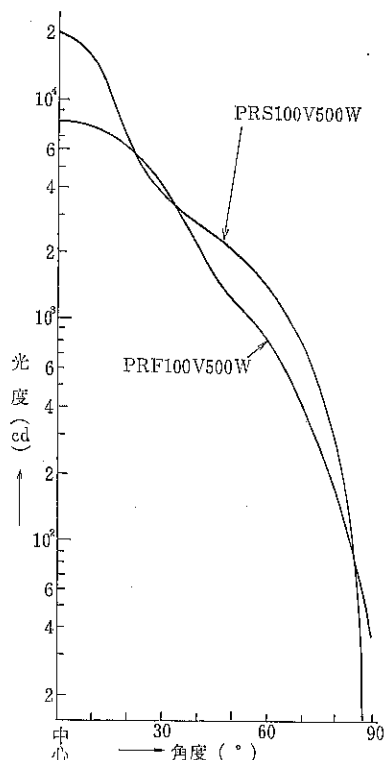
第2図 比視感度曲線

デン電球の一般特性は、基準点灯電圧 V_0 における値との比で表われ、例えば光束 F_0 、寿命 L_0 の場合電圧が基準値より $\pm 10\%$ の範囲内で変動したときの光束 F 、寿命 L は

$$F = F_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{3.5}, \quad L = L_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-13} \quad (2)$$

で与えられる。

a) 写真照明用電球 内部に銀メッキを施した反射



第3図 反射型写真電球の配光特性曲線 (I社製)

型電球は、フラッド型とスポット型があることは先に述べたが、これらの電球は色温度を高く (約 3200°K) するために一般に寿命は短い。1例として第3表に市販のランプの特性値を、第3図にそのうちの2種類についての配光曲線を示した。白熱電球は普通多くの赤外線を出すので、照射面が加熱されそのためのエネルギー消費により効率が悪くなっている。反射面に特殊のコールド・ミラーを使用することによって可視光のみを反射するク

第2表 各種光源の写真比効率の測定値^{a)}

光 源	写 真 効 率		
	非彩色	オルソ	パナクロ
1. 感度測定用標準光源 (2353°K+D. G. フィルター)	1.00	1.00	1.00
2. 天頂の青空	7.00	2.85	3.00
3. タングステン電球 (色温度2353°K)	0.21	0.42	0.58
4. 写真用500W タングステン電球	1.25	1.20	1.05
5. " フラッド・ランプ (青色光)	0.95	0.90	0.85
6. 蛍光灯, 昼光色 (6500°K) 40W	1.25	1.50	1.20
7. 水銀灯 260W Cooper-Hewitt (蒸気圧0.0003気圧)	3.30	2.55	1.75
" 1000W H-6(75気圧)	3.40	2.45	1.60
8. アルゴングリチ放電灯 2.5W	200.00	60.00	40.00

第3表 各種反射型写真電球の例（I社製）

形式	消費電力	長さ	特 性				
			ビームの開き	0~90°に含まれるビーム光束	軸光度	寿命	色温度
	W	mm	(1/4)	lm	cd	hr	°K
集光形	150	125	30	2,000	3,500	25	3,100
	250	135	"	4,800	7,400	"	3,200
	300	150	"	5,400	8,000	100	"
	500	500	"	9,000	20,000	"	"
	500 (カラー用)	"	"	3,500	5,500	10	5,900
散光形	150	125	60	2,400	1,500	25	3,100
	250	135	"	5,000	3,600	"	3,200
	300	150	"	5,200	3,750	100	"
	350 (シネ用)	170	50	7,400	6,000	25	"
	350 (シネカラー用)	"	"	3,000	2,000	10	5,900
形	500	"	60	10,000	8,000	100	3,200
	500 (カラー用)	"	"	4,000	2,500	10	5,900

ール・レイ照明電球が報告されている⁴⁾。被写体の温度上昇はその物体の熱の吸収特性によって異なるが、普通電球に比して同じ熱効果を与えるクールレイ・ランプの照明は、約3~4倍まで明るくできるとされている。

b) 一般の照明用電球ではないが、平行光線や小さい部

分を明るく照らしたい時などは、映写機またはスライド用電球が簡単に利用できる。小型映画、およびスライド映写機用として JIS, C-7511 が定められており、映写方向の垂直な面に輝度が一樣になるようにフィラメントが配置されている。その他特殊用として劇場、映画撮影用スタジオ等の照明に用いる投光機用電球 (JIS, C-7512) があるが、電球の寿命が長いかわりに色温度は低下する。大きいものは10KW位のものまである。

2.2 水銀灯

水銀蒸気中の放電を利用した光源で、スペクトルは紫外から可視光にまでわたっているが、輝度、スペクトル等は水銀蒸気の圧力によって変わり、 $10^{-2} \sim 10^2$ 気圧の範囲のものが実用に供されている。一般的な特徴として青味がかった色で、赤色光が不足し、それを補うために色々の方法がとられている。

a) 低圧水銀灯 蒸気圧を 0.01mmHg あるいはそれ以下に保ち、可視効率良くなく 253.7mμ の紫外線が多く放射される。殺菌灯はそのままを利用した水銀灯である。ガラスの内面に種々の蛍光物質を塗った蛍光灯は低圧水銀灯の一種である。白色蛍光灯 (色温度 4500°K) の効率は 40Watt で 80lm/W をこえ、真天然昼光色 (50lm/W) では平均昼光に近い演色性を有している。蛍光灯の特色は高い効率、分光分布の任意性、光の拡散性、長寿命等にあつて、集中光を得るには適しないが、15W/ft から 25W/ft の高出力型もある。

b) 高圧水銀灯 常温における水銀蒸気圧は極めて低いので、放電管の温度をほぼ 600°C に高め、水銀蒸気

第4表 高圧水銀灯の定格の一例（I社製）

	電力 W	全長 mm	光中心 距離 mm	始動 電流 A	ランプ 電圧 V	ランプ 電流 A	全光束 lm	効 率 lm/W	平 均 寿 命 hr	そ の 他
透明水銀灯	40	130	92	0.8	90	0.53	1,300	32.5	6,000	定格電圧 200V 始動電圧 180V 以下 始動時間 8 分以下 再始動時間 10 分以下
	50	"	"	1.0	95	0.62	1,600	32	"	
	100	175	115	1.6	115	1.00	3,900	39	12,000	
	200	245	160	3.0	120	1.9	9,000	45	"	
	400	290	185	5.7	130	3.3	21,000	52.5	"	
	1,000	390	245	13.7	"	8.3	58,000	58	"	
蛍光水銀灯	40	130	92	0.8	90	0.53	1,200	30	6,000	普通蛍光形 } 定格電圧 200V 反射 } 蛍光形 }
	100	175	115	1.6	115	1.00	3,800	38	12,000	
	400	290	185	5.7	130	3.3	21,000	52.5	"	
	1,000	390	245	13.7	"	8.3	57,000	57	"	
セル水銀 フリン ガラス ランプ	450	315	203				12,300	27.4	9,000	
	750	"	208				22,000	29.4	"	
	450	"	203				8,000	17.8	"	
	750	"	208				15,000	20.0	"	

圧を1気圧程度にし、2重管の200V用高圧水銀灯が用いられている。放電管を石英で作り横向きの点灯ができるものもあり、起動用補助電極を設けて放電が容易に起るようにしてある。第4表に高圧水銀灯の1例を示した。通常の水銀灯では一旦消灯すると約10分位冷却してからでないと再点灯できないが、最近では瞬時点滅のできる水銀灯も売り出されている。

透明管球を用いた水銀灯では、演色性がよくないので庭園、道路照明等に使用されるが、二重管として外管の内側に蛍光物質を塗付して、演色性を改良した蛍光水銀灯や、内部に反射鏡を有するリフレクター型のもの、安定器が不用で白熱電球と同様に手堅に使用できるセルフパラスト水銀灯も売り出されている。第4表にそれらの諸特性を同時に示した。

c) 超高圧水銀灯 水銀蒸気圧が数十気圧以上で、空冷、水冷式のものがあるが、空冷式のものを使い易い。直流点灯用では陰極で電子を放出するときに冷却作用があり、陽極では電子が衝突するので発熱しやすく、普通陽極を上にして使用する。

蒸気圧が高くなる程連続スペクトルに近くなるが、なお赤色部が不足するので、カドミウムまたは亜鉛等を水銀に混入して整色するが、効率(通常約400Wで50lm/W)は約10~20%低下する。このように補色した水銀灯はそのままカラー映画用照明にも用いられる。

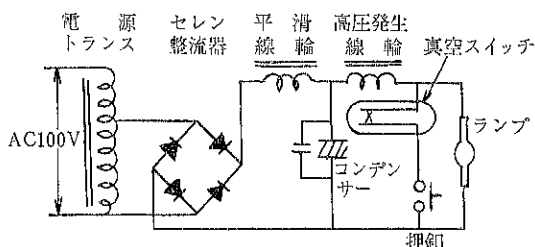
超高圧水銀灯のもう一つの特徴は、電極間隔を小さくして電流を多く流し、点光源に近い発光部が得られることである。これは平行光線や集光を作るレンズやミラー系の設計が極めて容易になり、光束を有効に利用できる。製品の1例を第5表に示したが、光源の平均輝度が極めて高く、第4表に比してアークの寸法が非常に小さくなっている。

以上水銀灯はすべて放電管であり、蛍光灯に安定器が付属しているように、低圧から超高圧まで安定器が必要である(ただし第4表のセルフパラストラップは灯内に内蔵)。1例として超高圧水銀灯の構造を第4図に、安定器と点灯回路を第5図に示した。

2.3 クセノン放電灯

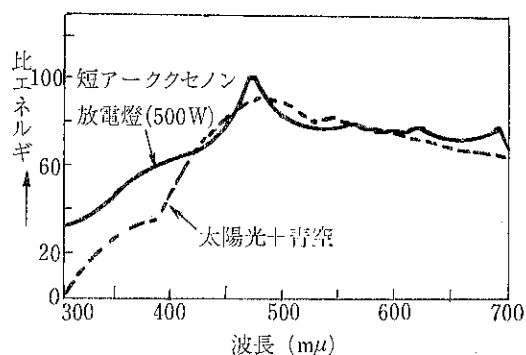


第4図 超高圧水銀灯の構造



第5図 超高圧水銀灯の安定器回路の1例

構造は超高圧水銀灯と同じであって、水銀蒸気のかわりにクセノンを3~15気圧封入してあり、点灯中はこの2~3倍のガス圧となる。最高10万cd/cm²以上の輝度を有し、分光分布は第6図に示したように自然光に極めて近い演色性を有している。ランプの定格の1例を第6表に掲げたが、効率は約30lm/W程度であるが、数10KWの高出力のものも作られているので、劇場、スタジオ等の照明や、大型映写機またはスクリーンプロセス用の光源に使用されている。放電開始には10~50KVのパルスで電極に加電する必要があるが、電源装置が高価となり取り扱いにやや難点がある。



第6図 クセノンショートアーク放電灯の分光特性

第5表 超高圧水銀灯の定格の1例(U社製)

定格ランプ 入力 W	ラ ン プ		全 光 束 lm	水平光度 cd	効 率 lm/W	平均輝度 cd/m ²	アーク 寸法 (高さ×巾) mm	平均 寿命 hr	許容角度 (垂直に対し)
	電 圧 V	電 流 A							
100	20±4	4.5~6.5	2,200	280	22	170,000	0.25× 0.25	200	45°
250	40±6	5.0~8.0	12,500	1,250	50	31,000	2.0×1.0	600	15°
500	60±7	7.0~ 10.0	25,000	2,850	50	30,000	4.1×1.4	600	15°

第6表 クセノンショートアーク放電灯の定格の1例 (U社製)

入 力 W	電 圧 V	電 流 A	使用可能 電 流 A	水平光度 cd	全 光 束 lm	輝 度 cd/cm ²	アーク 巾×長さ mm	標 準 色 温 °K	冷却方法
75	15	5.0	4.8~6.2	160	1,600	8,000	0.2×0.9	6,000	オープン・ タイプのと きは自然
150	20	7.5	7.0~8.0	350	3,500	14,000	1.2×1.8	"	空 冷
300	20	15	14~16	800	7,600	22,000	1.3×2.3	"	"
500	20	25	17~25	1,400	13,500	25,000	1.4×3.5	"	"
1,000	24	45	32~45	3,300	31,000	32,000	2.0×4.3	"	"
2,100	27	80	56~80	7,500	75,000	40,000	2.8×5.5	"	強制空冷
2,600	29	90	80~100	10,000	95,000	46,000	2.8×6.4	"	自然空冷
4,200	30	140	100~160	18,000	180,000	66,000	3.6×6.2	"	強制空冷
6,500	40	165	140~200	30,000	325,000	92,000	3.4×8.0	"	"

第7表 100呎16mmフィルムのFPSと撮影時間

1秒間のコマ数	24	64	100	200	400	1,000	2,000	4,000	10,000	20,000
100呎の撮影時間(秒)	94	62	40	20	10	4	2	1	0.4	0.2

2.4 閃光電球

連続撮影のシネカメラに閃光電球は不必要かと考えられるが、高速度写真では撮影時間が極めて短いので、閃光電球の種類を選べば極めて手軽で安価な光源となる。いま100フィートのフィルムの撮影時間とコマ数を示すと第7表の如くである。フォーカルプレーン・シャッター用閃光電球(FPクラス用)は、 $\frac{1}{2}$ ピーク間の閃光継続時間(duration)が約50ms程度であり、数個の電球の閃光時間を順次つなぎ合わせるように発光させるなら、高速写真の照明として使用可能と考えられる。

とくに高速度カメラ用として開発された東芝 No. 33 閃光電球は、duration を長くするために発光材料をリボン状として端から順次燃焼させるようにしてあり、発光材料厚さと封入酸素純度が適当に選ばれている⁶⁾。発光特性とガイドナンバー等を第7図と第8表に示したが、その明るさは反射型フラッドランプの500W 7~8 灯に相当し、duration 1.4秒では第7表から約2000 F. P. S. 以上のコマ速度で100フィートフィルムの撮影をカ

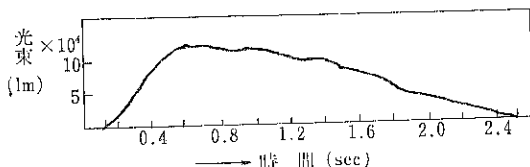
第8表 長時間閃光電球の特性値 (東芝製No. 33)

通電後 $\frac{1}{2}$ ピークに達する時間(秒)	0.3
平均 光 束 (lm)	100,000
有効発光時間 (秒)	1.4
全 光 量 (lm-sec)	140,000
色 温 度 (°K)	3,800

ガイドナンバー、距離(cm)×絞り(F)

撮影速度 (コマ/秒)	フィルム感度(ASA)	
	50~100	250~300
400	271	520
1,000	171	329
3,000	99	190
5,000	77	147
8,000	61	116

(7.5吋反射灯使用)



第7図 東芝 No. 33 の発光特性曲線

バーできる。

なお閃光放電灯、いわゆるストロボ・フラッシュは、回転数測定用にしても、たかだか数100回/秒(最高4万回/分)の連続発光であり、たとえ映写機側からの信号によって同期発光ができたとしても、光量の点でも現在のところでは無理であろう。

3. 露 出

写真の露出を決定する要因は(1)被写体に達する光量あるいは光源からの照度, (2)被写体の反射率, (3)フィルムの感度, 特性, 現像等フィルム面上に再現される像の濃淡の程度および(4)撮影機特性(シャッター, レンズの明るさ, 透過率等)などである。第3項のフィルム面に再現される像の濃淡の程度は, 感光材料と現像処理などによって種々の因子が影響するが, ここではフィルムの露光指数(ASAまたはJIS)で代表できるものとし, 標準現像処理をおこなうものとする。第2の反射率は, 粉体の撮影にあたってとくに注意されるべきで, 細い粉体の照明は半逆光でできる限り明るいほうが望ましい。

いま被写体の平均輝度を B (cd/m^2), フィルムの感度を ASA 露光指数で S , レンズの口径比を F , レンズの透光率を T であらわすと, 露出時間 t (秒) は,

$$t = \frac{6.1F^2}{SBT} \quad (3)$$

で与えられる。ここに透光率 T は, レンズの空気に触れる面の数を n とすると, コーテッドされたレンズでは $T = (0.97 \sim 0.99)^n$ で与えられる。被写体の輝度 B は, 光源によって輝らされた照度 E (lux) と反射率 R とから

$$B = \frac{ER}{\pi} \quad (4)$$

で求まるから, 露出時間とレンズの口径比(絞りの値) F との関係は

$$\frac{t}{F^2} = \frac{6.1\pi}{STRE} \quad (5)$$

となる。

シャッター倍率 シネカメラのシャッター機構は始めに述べたように円板シャッターとフィルム駆き落し機構とから成るのが普通の型で, このときの露光時間 t は, フィルムのコマ数 N とシャッター羽根の開角度 ω ($^\circ$) の関数で

$$t = \frac{\omega}{360 \times N} \quad (6)$$

となる。一方レンズの光軸に対して θ なる角度の方向に運動する被写体を, 許容錯乱円の直径 d (いわゆるピントの精度で, 通常 0.025mm にとられる) の範囲内で写し止めるに必要な露出時間 t は

$$t = \frac{Dd}{fX \sin \theta} \quad (7)$$

より求まる。ここに D は被写体とレンズとの距離, f はレンズの焦点距離, X は対称被写体の移動速度である。高速度シネカメラのシャッターは, 回転プリズム式や回転反射鏡式が用いられるが, シャッター羽根開角度に相

当する値として, 一コマ分の撮影所要時間のうち実際一コマが露光される時間に対する比をシャッター常数 k とし, 先の $360/\omega$ にあたり, (6)式から

$$t = \frac{1}{Nk} \quad (8)$$

で露出時間を求める。またレンズの焦点距離のかわりに撮影倍率 $M = f/D \sin \theta$ であらわせば(7)式は

$$t = \frac{d}{MX} \quad (9)$$

となり, M, X が大となるとそれに反比例して露出時間を小さくしなければならない。また $1/M \leq 16$ の近接撮影では, 露出時間を

$$\left\{ \frac{2M+1}{M^2} \right\} \times 100\%$$

だけ延長する必要がある。顕微鏡的な拡大撮影をするとき, 照明は入射光束の面積密度を大きくするように明るくしなければならず, さらに速く移動する物体ではシャッター速度を早くしなければならず, 結局拡大倍率の3乗以上の強力な照明が必要となって, この点から早く運動する小さい粉粒体の撮影は極めて困難となる。

4. フィルム

高速度写真には, 一般市販のフィルムのうち, できる限り高感度であることが望ましい。感光膜上の照度 I_f と露光時間 t は, 露光量 E_f と $E_f = I_f t$ なる関係があって, I_f, t の値如何にかかわらず E_f が一定なら同一濃度のネガが作成されるという“相反法則”が成立する。しかし I_f や t が極めて大きい小さいときにはこの法則が成り立たず, 露光時間が数千分の一秒以下で感度が低下していくようである。この感度が低下する割合は, フィルムの種類によって同じでなく, 極く短時間露光では, 低感度フィルムのほうが高感度フィルムより高感度となり得る場合もある。

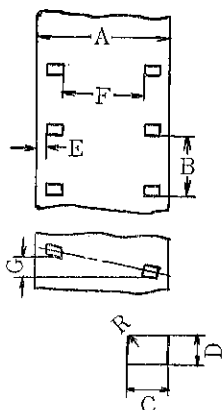
16mmフィルムは, パーフォレーションの間隔によって, ロングピッチフィルムとショートピッチフィルムとがあり, またその各々に両孔と片孔とがあるが, 標準品はロングピッチの両孔式で, その規格(JIS, K-7553-1965)を第8図に掲げた。図のようにJISにはそれぞれ許容誤差が許されているが, 高速度写真では短時間に長尺のフィルムを高速で巻き取るのであるから, フィルムの加工精度はJISの範囲内でも, より誤差の小さいことが望ましい。

5. 画面の解析時における誤差の程度

フィルム面上に撮影された像を定性的に観察するのであれば, スクリーン上に映してみればよいが, 定量的な値を得るにはフィルム上で計測するか, 拡大映写された

第8図

日本工業規格 16mm映画用生フィルムの寸法
JIS-K7553-1965



各部の寸法

A=15.95±0.03
B=7.620±0.015
C=1.83±0.01
D=1.27±0.02
E=0.90±0.05
F=10.49±0.03
G≤0.025
L=100B(連続)
=762.0±0.8
R=0.25

1. 適用範囲

この規格は、16mm映画用生フィルムの裁断およびせん孔寸法について規定する。

2. 寸法

16mm映画用生フィルムの寸法は、加工直後の試料ではかり、上の図による。ただし許容誤差のないものは基準値を示す。

備考 1. フィルムの収縮 試料は包装して、6箇月後はかつたとき、さらに指定の現像処理を行なって30日以内にはかつたとき、加工直後の寸法に対して、いずれも0.2%をこえる収縮があつてはならない。

2. 保存および測定条件 包装した試料および現像処理の終った試料は、温度 20±5°C、湿度 65±5%の空气中に保存し、この条件に平衡させて測定する。

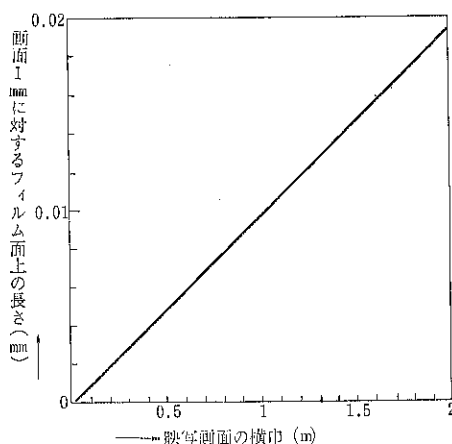
スクリーン上で計測する必要がある。

映写された画面の安定度は撮影、映写時双方のフィルム面上の像と被写体との関係位置が問題となる。すなわち撮影時におけるカメラの安定性、撮影機内におけるフィルムの位置の変動、また映写時におけるそれらの変動が精度に影響する。解析時にこれらの影響をさけるために最も普通に用いられるのは、基準となるべきスケールおよび定点を同時に写し込むことである。このようにすれば、あとで印画紙に引き伸して解析することも可能である。

もしかかる基準スケールが写し込めないときは、精度は次のような値を考慮して決められねばならない。すなわちフィルムのパーフォレーションの精度は、JISによると1コマ分として 7.620±0.015mm で、撮影機側では位置のズレが 0.025mm以下で、同一機種のカメラおよび異なる機種の間でも公差 0.076mm以下が望ましいとされている。回転羽根と騒き落し機構のカメラには、フィルムを定位置に確実に停止させるためにレジストレ

イションプレートが備えられているものもあるが、回転プリズム式カメラではそのような機構をもたず、プリズムとスプロケット、スプロケットとフィルムの関係位置によってズレが生じてくる。

レンズの解像力は通常100本/mm以上で、フィルム乳剤粒子も同程度であるが、露出の過不足によってピン트가悪くなる。シャッター速度を、錯乱円の直径が 0.025mm以下になるように定めても、結局測定精度は前述のフィルムと機器の間のズレによって左右される。16mm映写機のアパーチャ規格 (JIS-B 7164-1964) からそ



第9図 映写画面の大きさと測定精度

の横巾を9.65mmとしたとき、フィルム面上の誤差の映写拡大による長さを、映写画面の横巾と画面上で1mmの精度で測定したときのフィルム面上の長さで示したのが第9図である。例えばフィルム面の精度を0.02mmとしたとき、画面上で0.5mmの精度で読みとるには、映写画面の巾を1m以下の拡大にしなければならない。精度の評価に対する例として「大量爆発の高速度写真」の報文から引用して、参考とした。

水島容二郎「大量爆発の高速度写真」応用物理, 32, No. 10, 760 (1963)

使用カメラ: Wollensack (U. S. A.) 製 Fastax

レンズの集点距離 } f=35.5, 50, 101, 150mm

フィルム: Eastman Kodack, XXX

フィルム速度: 2000~5000 FPS

光源: 太陽光のみ

a) フィルム乳剤粒子による分解能を 1/60mm とすると、35mmレンズ使用の場合、300m 離れた被写体位置で約 10cm に相当し、それより長焦点のレンズではそれ以下となる。

b) カメラが回転プリズム式のため、特に縦方向の分

解能が悪く、フィルム上で $\frac{1}{20}$ mm とすると実物で 25 cm に相当する。

c) 解析時、撮影像の寸法測定の変差は 0.5~1 mm の程度で、原寸の大きさにもよるが 1~10% 程度であった。

最後に照明に関する例題を述べておく。

例題 300W スポットランプ 3 灯がそれぞれ被写体から 3 m 離れ、45° の角度から照らしているとき、シャッター時間とレンズの口径比との関係を求めよ。ただし被写体の反射率は平均 18% (灰色板法による標準反射率) とし、フィルムの ASA 感度は 250 とする。

第 3 表のランプを用いると軸光度は 8,000 cd であるから、被写体の照度は (1) 式より照明角度を考慮して

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta = \frac{8000}{3^2} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{4\sqrt{2}}{9} \times 10^3 \quad [\text{lux}]$$

パンクロフィルムに対する写真効率は 1 とすると、3 灯では $E = \frac{4\sqrt{2}}{3} \times 10^3$ となる。レンズの透光率 T は、コーテッドやレンズの材質、光の波長などによって異なるが、ニッコール F 2 (f=50mm) の場合 $T \approx 0.99^8 \approx 0.9$ とされ、(5) 式より

$$\frac{t}{F^2} = \frac{6.1\pi}{250 \times 0.9 \times 0.18 \times \frac{4\sqrt{2}}{3} \times 10^3} \approx 2.5 \times 10^{-4}$$

となり、t と F との関係は第 9 表のごとくなる。なおもし露出計で測定したときも表と同じ値が得られたとする

と、シャッター常数 $k=5$ の高速度カメラでのコマ数は、(8) 式から $N=1/kt$ (FPS) であるから、絞りを開放 (F 2) にしたとしても 200 コマとなる。

第 9 表

絞り (F)	2	2.8	4	5.6	8	11	16
時間 (秒)	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{15}$

参 考 文 献

- 菅沼彰：“粒子移動速度の写真測定”，化学工学，**32**，13 (1968)
- 植村恒義他：“超高速カメラの試作 (第 3 報)”，第 8 回応用物理学学会予稿集，2 p-VII-7 (1961)
- 菊池真一他：科学写真便覧，丸善 (昭和 35 年)
- 森礼於：“クール・レイ照明用電球”，第 8 回応用物理学学会予稿集，2 p-VII-4 (1961)
- 同上：“技術ノート，可視光源”，応用物理，**36**，216 (1967)
- 後藤栄三，宮本浩：“高速度カメラ用長時間閃光電球の特性”，第 8 回応用物理学学会予稿集，2 p-VII-4 (1961)
- 水島容二郎：“大量爆発の高速度写真”，応用物理，**32**，760 (1963)

(44 頁より続く)

い。次回には同じ考え方をボールミル，振動ミルの解析に向け，併せて仕事指数とは何だろうという疑問を解いてみるつもりである。

至らぬ点お詫びするとともに御叱正御忠告をお待ちす

る次第である。また本稿の内容の詳細については Ind. Eng. Chem., Process Design Develop [Oct (1966); April (1968)] に掲載，もしくは同誌以降に掲載決定] を御参照下さい。(43 年 5 月 20 日)

化工機メーカーにおける専門化および エンジニアリング化の諸問題

徳細川鉄工所 営業本部長

間 島 淳 一 郎

1. 化工機メーカーの現状

製造プラントとくに化学装置においては、幾つかの製造工程、幾十の単位操作、そして恐ろしく幾百の部分品・附属品から成立つ。一つの製品が出来上るまでに化学工学上の単位操作の多くが駆使され、一つのプラントは、例えば、オートクレーブ、遠心分離機、フィルタープレス、蒸溜装置、乾燥機、粉碎機、分級機、等々……と非常に多種の化工機の集積である。

これらの化工機のメーカーは、その機能機種が多様性の故に自然に分業化し各単位操作毎に、数社あるいは十数社を数え、いわゆる化工機メーカーといえは全国で数百企業を数えると思われる。このことはまたそれらメーカーの大部分が中小経営規模で占められていることを意味する。

それら多数かつ小規模の機器メーカーがいかんして近時ますます大型化、高度技術化しつつあるプラントの構成単位の製作供給者として資格化されるかが問題となる。その資格化の方途として、とくに資本、設備、技術、人材等に制約を受ける中小企業にとっては、経営規模に応じ、経験技術に徴して、自から得意とするある機種、技術に専門化することによって生産性の向上、技術の高度化を図ることが唱道される。

普通製造業において専門化 (Specialization) という場合、主として生産性の向上面から“市場状況と自社の製造条件”を勘案して、自社にふさわしいかつ品種を限定した製造規格を定め、できるだけ製品の種類を少なくして能率的生産供給体制をとることと定義される。

機械メーカーにおいても、その専門化の意義を同様に、機種を整理限定して標準化と完成化 (品質、性能) を計り、その能率的生産 (量産) ひいてはコスト減速におかなければならぬことは当然である。

だが、プラント建設に関連してメーカーの専門化とい

う場合、特に化学装置における化工機メーカーの現状は、上述の専門化、合理化の定義や動向といささか異なった姿勢となる場合が多い。すなわち化工機の実際販売においては、需要家よりその機器が工場で実際に使用される諸条件が示され、メーカーはその仕様を充足する機種型式を自社の責任において選定あるいは設計して納入するケースが多い。すなわち該機の使用適用に関してその責を負う。そのためには自社の標準製品についてさえ大幅な設計変更を行ったり、あるいは主機前後の附属関連器を併わせて設計納入したりして、およそ標準化、単純化に逆行して多機種少量生産の形態にならざるを得ないことが多い。それはいわばメーカーにおけるエンジニアリング化 (適用技術化) である。

このエンジニアリング化なくしては、プラント業者から自己の機器の見積に関して発せられる複雑な見積仕様の理解すら困難を伴う。すなわちプラント建設 (製造プラントとくに化学装置) に関して機械メーカー (産業機械とくに化工機) の専門化には、機械製作の生産性の向上面とともにエンジニアリング (適用技術) 化の両面が要件となる。

2. 専門化、エンジニアリング化の条件と 問題点

かかる現状に対して中小経営規模の化工機メーカーとしていかなる態度で進むべきかなるべく具体的に述べて見たいと思う。

ここでは少なくともそのメーカーの主観では、過去5年にわたって特定技術への専門化を志向し、また近時プラントとの関連においてエンジニアリング化の方向を辿る一化工機メーカーの実例において問題をとらえてみる。なるべく具体的、実例的にわたろうとすれば自然筆者の属する細川鉄工所の事例が多くなるが、これは企業宣伝の意ではなく、一つのケーススタディとして見てい

ただきたい、そのために簡単に業態を画しておく。

細川鉄工所は、1915年故人前細川社長の微粉碎機の発明を以って個人企業として発足し、その後約40年間に粉碎機のための専門メーカーとして経過したが、1949年株式会社に改組、1951年現社長細川益男氏が経営に参加してより順次粉体処理に関する他の化工機に拡張、現在は各種粉碎機の外、分級機、篩分機、混合機、乾燥粉碎機、集塵機等の製造販売に従事している。従業員数約260名、年売上高15億円、わが国機械工業ではまず中堅クラスのメーカーの一つである。

2-1 秀れた技術にうらづけられた優秀な商品

メーカーが専門化するためには、専門化できる中心の商品がなければならないことは当然である。又その中心の商品は自他共に認める優秀なものであることも言をまたない。その優秀な商品を生み、かつその優秀性を保持するのが秀れた技術である。

ここに一つの具体例を紹介する。米国ニュージャージー州に Vibra Screw Feeder Inc なる会社がある。企業の規模は当細川鉄工所と同程度と考えても大差はない。

この会社の商品はその社名の示す通り、振動を利用して定量性を高めたスクリュウフィーダ、とビンアクチベーターと称する同じく振動を利用して貯ビン、ホッパー等の下部からの粉体の排出を容易にする排出器のみである。彼等の市場への呼びかけ文句は“如何なる製造工程においても供給排出操作でトラブルをお持ちの向きは当社へ御相談を！”という。去る一月末この会社より細川へ呼びかけがあった、“自社は世界市場を編成中であるが、このたび西独 Alpine 社へ欧州市場への製造販売権を許可したが、アジア地区においては貴社を適当と認めるが交渉しないか？”との意であった。われわれもかねてからこの商品には関心をいだいていたが、イニシアルペイメント、ロイヤリティー等の提携条件に不満を見せると、彼等は“それではある一定期間独占販売代理権を許可するから、その間製品を輸入販売して先ず製品の優秀性を評価してくれ”と誠に合理・自信的な回答に接した。

この会社についてわれわれが学んだ事は供排出という化工操作上のほんの一小部に専門化し、特殊技術を身につけ、難問なら何でも当社へと需要家へ呼びかけ、世界市場対策を講じて海外との交渉に当るや“先ず当社製品を試みよ”という自信満々の経営態度である。

日本でもあるフィルターのメーカーで“M社はこれしかやれない！”というキャッチフレーズで数種の製品を上げて広告をしているものがある。実にその専門化とその数少ない製品に対する技術的な自信のほどがうかがえ

る。

2-2 技術尊重の精神

優秀な商品は優秀な技術のうらづけにより生まれ、それを維持される。細川の場合、前社長が微粉碎機ミクロンミルを発明したときには、歴史上の有名発明家に共通する熱狂、執心、耐貧の物語りがあった。爾来この企業では社是の第一に「秀れた技術を売る特色ある企業」をかかげている。このことは技術が重要視されるこのごろ営業政策上からもまた社内教育上からも重要なポイントとなる。技術尊重の精神とは単に自社の技術を大切にすることのみでなく、他社の技術も尊重することである。この精神なくしては自社の技術の高揚もあり得ない。最も排除さるべきは、単に商業利益のみを求めた模倣・構造である。他者の刻苦の創造を盗用してイーゾーに利益が行われなくなれば、業界の過当競争を避け、またメーカーの研究への投資を促進する。

自己の苦心研究の成果は、堂々と国法や国際協約に定められた工業所有権を主張したい。特許は、その権利擁護であるとともに、市場に対する新技術・新製品たる主張である。製品の販売に当って独占的な技術料を附加できる有利性とともに、顧客によるその技術性に対する信頼感の面が重視される。同様にそのメーカーの販売員に与える自信が、顧客への説得力となって売上増加につながる。世界技術としての主張は、外国特許の取得である。経費がかかるが、中小企業による海外特許取得には国家の補助金制度がある。

細川は現在、日本特許36件、実用新案11件、出願19件と、外国特許については、米国2件、英国3件、西独2件の外フランス、カナダ、スイス合せて8件、出願中のもの5箇国6件がある。

2-3 世界の商品、世界の技術

われわれ機械メーカーが、比較的用途が制限された特定生産財でもって専門化に対処しようとするならば、市場の拡大による量産の道をたどることは自明の理である。当然、われわれ機械工業（生産財）メーカーも世界市場を認識して世界に出せる商品、世界に通用する技術たることを目指さなければならない。

世界市場対策として最も肝要なことは、メーカー自身の心構えであろう。先ず自社製品の技術水準が世界の先進工業国のそれに遜色ないという自覚認識が必要である。その認識のもとに、各メーカーが、国内市場だけを目当てせず、世界市場に通用するものを作って売り出すという心構えである。残念ながら、わが機械メーカーでは、地理的、歴史的、言語的条件に禍されて、初めからその意志がなかったごとくである。その点欧米メーカーはそうでない。例えばオランダやベルギーのメーカーが

ある機械を発売するとき、初めから欧州大陸、狭くともEEC圏を念頭において生産販売計画を樹てるであろう。このことは比較的用途が制限された特定生産財であっても、ある量産を可能としそれだけ国際競争価格を可能とする。細川はここ10年来“世界のホソカワ”を標語にしている。このことは過去半世紀にわたるわれわれの先輩の特定技術への一筋の研鑽成果が、そうそう他国の技術に劣るはずがないという自覚より先行して、次に他国の同種機械との比較考量においてその通りであったという認識から出発している。

産業機械とくに化学機械の輸出は種々の困難を伴うものである。われわれの場合、国内販売においてでも引合—成約に普通2〜3カ月を要し、納入—代金回収を入れると短くて半年はかかる。また数量販売できる性質のものでない。このことは輸出の商社への依存度を少なくする。商社ではそれだけの面倒をみてくれない意である。自然メーカー自身でFacility（能力、設備）を持ち、自力でPromotionや商談Followを行なわなければならない。

細川では57年に本社に貿易部を設置し、爾来10年たゆみない輸出努力をつづけている。また近年では海外各所の約10社の直轄の現地代理店を強化し、海外ユーザーとの結びつきを密にしている。現在輸出比率約20%、進行中の第三次長期計画の終期（70年）には30%を目標にしている。

価格の面では、安売りをしないことで絶対に国内販売価格を下廻らないことを原則として需要家渡し標準定価を設定している。この意味は、われわれの製品が欧米製品の品質、価格に対して十分競争的であることの理解とともに、かかる生産財は値引きを以てよりも、一段厳格な製品検査、美観向上、必要部品や工具の追加、あるいは出張技術サービスの面で、需要家に奉仕することを本筋と考えるからである。

一般的な問題としてはBrandの重視である。すでにキャノンやソニーやホンダが成功しているごとくわれわれのミクロン商標も近時国内、海外ともに知名度を向上している。

2-4 研究・改良・開発

いかなる優秀な技術も、不断の研鑽がなければ容易に陳腐化する。技術革新の現況ではとくにそうである。メーカーにとって研究に2面がある。一つは製品の改良ないし完成化であり、他は新製品の開発である。自社製品について、構造、機能、材質等の諸面において不断に改良を加えて完全化の努力が要求されるとともに、基礎研究から出発して在来製品の枠を一步踏み出した新製品の開発が要請される。

細川では10年前細川粉体工学研究所を創設した。粉体工学の基礎理論の研究とともに、現製品の改良、新技術の創出、新製品の開発を目的とした。社内の適性技術者を選び、学界・産業界の権威者を顧問に迎えて、組織的には社長直属の機関として、研究者が企業の日常活動と離れて研究活動に専念できる体制とした。この研究所では数々の発明がなされ、多くの特許を取得して企業の業績に寄与している。しかしここでつくづく考えられることは新技術の実用化、商品化がいかに大きい労力と長い時間を要する困難な路であるかということである。ことにこの企業におけるがごとく取扱製品が多機種に及ぶとき、各機種各型式の改良完成化だけでも際限がない。

また組織上は日常業務と分離の形をとっていても、現実には企業の繁忙な技術業務がなかなか研究陣の安住を許さず、他面研究者自身の眼もつい多忙な業務活動面へ向けられることになって地道で苦難忍耐を要する基礎研究や新技術の開発面への精力集中が阻害される傾向を招く。

この対応策として、在来機種に関するクレーム対策や部分改良は、工場所属の生産技術部や製造部・設計課へ移管した。また現に4カ年計画を以て集行中の枚方新工場建設に当り、その第一着手として鉄骨3階建1,500㎡研究設備を完備した独立建物の研究所を3月に完工し、新製品の開発のみに専念できる組織を充実した。

2-5 技術導入、及び技術輸出

戦後20年間に、わが国民経済がなかんづく工業生産が、これほどの発展成長を遂げた大きい要因として、積極的な海外技術の導入があげられる。また直ちにそれを消化吸収したわが国技術水準の高さ、素地の良さも諸外国間によく評価されている。

メーカーにとって、自己技術の開発が理想であるに違いないが、ある機械について、基礎研究から出発して、その設計、試作、改良、商品化、順次大型へのスケールアップ、さては標準化、完成化がいかに困難を伴い期間を要するかについてはすでに触れた。

細川では、62年に米国P. M. (Pulverizing Machinery)と技術提携し、彼等の全製品の製造権を獲たが、主には彼等の微粉砕機マイクロパルペライザーと、集塵機マイクロパルスエアーを製造販売している。また63年にはオランダのNautamix N. V.より混合機ナウタミキサの導入契約を結んだ。今ではどの製品も完成化された商品の強味を発揮して大きい売上を示し業績に寄与している。

ここで、P. M.、ナウタ両社の専門化ぶりをみることは興味深い。P. M.は社歴約40年、従業員300名、売上年50億円位、社名の示すごとくパルペライザーの専門メ

メーカーで、その製品は Perry のハンドブックにも載っていて世界的に著名である。数年前パルスエアー集塵機を開発して一段に飛躍した。英国、西独、カナダ、メキシコ、アルゼンチン、オーストラリア、南阿に製造ライセンスを持ち World Net を形成している。ナウタ社も約40年前前社長ナウタ氏が、農機具用ハンマーミルの製造から出発して、今のミキサーを開発、専業化するに至り、従業員200名、売上年30億円位、米国、英国、オーストラリアに製造ライセンスを持っている。近年新製品として流動槽混合機 Vometric を開発した。両社いずれも、経営規模は小さいがみごとと専業化—世界商品化を達成している。社歴、業態が細川と似ていることも奇妙である。

ここで日本側メーカーとして、特に独創的自己技術を企業生命とするメーカーにとって、外国技術の受入れをどう受けとめるかという問題にぶつかる。この点細川社長の考え方は、外国技術の導入の意義は、新技術の開発完成には相当期間を要するにかかわらず企業は一ときの停滞も許されないこと、また自己技術の練磨のため他者の長所は学びとるという企業必要や合理精神にもとづくもので、それはあくまで一つの経営方便として、自己技術の完成を持つ間の“つなぎ”であることを強調する。

事実、いずれの提携条件においても、自己技術の誇りのもとに、当方が持たない先方の技術と、先方が持たない当方の技術を交換するクロスライセンス原則に立ち、受入れに当っての支払対価はローヤルティのみとし、1ドルのイニシャルも図面料を支払わなかったことは、日本側メーカーの節を保ったものと思っている。

上述の経緯で63年米国 P. M. へ細川の分級機ミクロンセパレーターの技術輸出契約を結んだ。彼等は MIKRON Separator の呼称で製販し、Chemical Engineering 誌にもしばしば1頁大広告が出されているから日本の読者のお目にとまっていることだろう。

オランダのナウタ社とは、63年彼等の混合機受入れ時、技術交換契約した。ここでは HOSOKAWA/NAUTA Classifier の名で欧州市場を地域として製販されている。65年には、やはりナウタ社に対して、細川の粉体供給機フロートロンの技術輸出契約をした。この契約は上記技術交換とは別のものとしてローヤリティ以外にイニシャルを受領した。また67年は米国 Cincinnati の著名な化工機メーカー J. H. DAY Co. へ対し同じくフロートロンの技術輸出契約に合意した。イニシャル \$ 8,000、ローヤリティ、7.5%、地域南北アメリカ州、期間13年の条件は、該機の小型かつ簡単な機構から見て、日本側にとり、そう不利な条件でないと思っている。これら技術輸出を可能とする条件が、上述の世界の商品、

世界の技術の目標の基に得た外国特許に基づくことは論を俟たない。

2-6 販売動向

ここでは、一メーカーが、技術化、専業化を目ざすときその販売面に現われる動向や特色あるいは困難について述べる。これらのことは、多くの生産財メーカーに共通部分があることと思う。

販売の技術化：たとえ1～3 HPの粉碎機の単機販売においても、その機構や材質やまた客先指示の原料ごとに、粒度、処理能力、磨耗程度等について、直ちに顧客の質問に答えられなければならぬ。販売員はセールスエンジニアとして教育される。世上往々営業員と技術者の争烈磨擦が問題となるが、細川ではハナから技術知識を備えないセールスはあり得ないとの判然たる教育方針を打ち出しているから問題は少い。従って大学文科系卒者も最短6箇月の社内教育を要し、その後も自身による不断の技術修得の努力が要求される。

機械の大型化：化学機械販売上の特色として一度に何台も売れることは少い。需要家における要求能力が大であれば、その管理や操業コスト上、当然大型機が要求される。また供給側からいえば、3 HPの機械でも50 HPのものでも販売経費はそう変わらないから、メーカーとして金額の上る大型機の製販に向うことも自然である。

細川においても、5～7年前より大型化を標榜し、例えばハンマーミル (150 HP)、ミクロンミル (200 HP)、ミクロンセパレーター (胴径3,000 mmφ、風量1,300 m³/min)、ナウタミキサー (15,000 l)、パルスエアー (戸布面積1,120 m²、処理風量2,500 m³/min) のごとく実現し、今では現工場設備の狭少をかこっている。

システム販売：細川ではやはり5～7年前、大型化とともにこの販売方策を打ち出した。当時システムの語は知らず、プラント化と呼んだが、実態はシステムと呼ぶに適わしい。例えば粉碎機を売るとき、その前の輸送機、供給機、その後の捕集機、袋詰機等を合わせて売る方式である。この方式は今では細川の最も大部を占める販売形態となった。すなわち昨年度の売上金額面でみると、単機販売30%、システム販売54%、プラント販売16%となっている。ここで、単機およびシステム販売は主として需要家向けであり、プラント販売とは、更に大きい装置の一部としてプラント業者向けである。

エンジニアリング化：かかるシステム販売の場合、通常需要家との間に技術的仕様打合せを伴う。粉碎機を例にとれば、原料の品名、物性、フィードサイズ、粉碎処理上の注意事項 (温度、異物混入等)、製品の粒度、カサ比重、捕集取出し方法、操業時間、処理能力、さては前後機器との接続関係のごとくである。かかる技術相談

(Consultation)にあずかって、設計、見積、納入する装置は、当然供給者による仕様の充足、運転性能の保証を伴い、納入装置全般に関するエンジニアリングの責を負わなければならない。

さらに業務を複雑にするのは、据付工事、試運転、アフターサービスの問題である。需要家としては機器の一括購入であるから、性能保証の責も含めて、それら機器の据付、試運転を供給者の工事区分に入れることが普通である。メーカーとしては普通のアフターサービスを行う係の外に、工事係を持ち、建設業者登録も受けなければならない。ここでは、設計—調達—節成—納入据付—試運転—保証にわたるプラントメーカー業務の縮図が単位機器メーカーの中に存在する。

プラントメーカーへの納入：上述のごとく、メーカーがその製作機器の適用技術に通じて、化学工学上のあるいは数プロセスのエンジニアリング能力を備え、その納入機器の運転性能の責に任じられることは、プラントメーカーにとっても便利有用のことである。またそのメーカーの製品に知名度があれば、需要家からその単位機器の指名があったり、またプラントメーカー自身も銘柄商品組込みを心がける。煩雑な書類呈出任務を課さなければならないし、またプラント納入後の保全に関して部品補給の配慮もなされるからである。

上記売上傾向でも見たごとく、細川の売上においてプラント業者への納入割合は急速に伸びつつあり、特にそれはプラント輸出において多く、われわれが望んできたところである。

2-7 生産上の問題、多機種少量生産

販売面の問題は、同時に生産上の問題である。一面において特定機種への専門化を志しながら、実態は正に多機種少量生産方式の見本の観を呈する。試みに細川が標準機種として型録、定価表を持つ機器は、粉碎機—15機種、64型式、篩分・分級機—5機種31型式、混合機4機種40型式、集塵機—4機種114型式、附属機器類—4機種24型式であり、合わせて32機種273型式に及ぶ。かくなれば、これら機種の単機販売であっても、設計、資材、在庫、製作、販売後の部品供給等相当の難作業である。その上へエンジニアリング化したシステム編成がくる。システムの中心をなす主機械にさえ標準仕様の部分変改を伴い、まして関連附属機器に至っては一受注単位毎に千差万別である。この場合先ず設計部分が隘路となるのは他メーカーと同様であろう。しかもこの生産方式の間に、ユニット機器メーカーとして、標準化、合理化、コスト減を併わせ努力しなければならない。

細川においては、かく輻輳する生産面を調整し交通整理を行なう間に一步でも合理化を任務として生産技術部

をおく。また製品の多様化対策として工務課内に、機種別分担を定め、資材発注、下請出し、社内加工、組立を縦に工程管理するディレクター制をとってかなりの効果を挙げている。

またかかる生産方式は、いわばメーカー自身が選んだ途であり、自社の企業特質と割切って、目下進行中の枚方工場建設に当り、細川社長は「粉体技術専門メーカーとしての多機種少量生産方式に独創的工夫をなし、特色ある製品の合理的生産方法に合致する」工場設備を行なう方針を指示している。

3. 結 語

以上、中小経営規模の化工機メーカーにおける諸問題について論じて来た。ここに終まよめの意で繰り返せばかかるメーカーが今後発展する礎となるものは、ある限られた分野で専門化された卓越した技術、製品を持つこと、その製品を中心としたエンジニアリング化を進めることにある。卓越した技術はあくまでも自社開発技術を中心にしたゆまぬ努力を払うべきであり、技術輸入は自社開発技術の時間的な穴うめ、又は自社技術との交換として考えるべきである。諸般の状況から見てもわが国においても今後は今までのような安易な外国技術の導入は少なくなり、クロスライセンス方式か、そうでなければ資本とだき合せ（合弁会社の設立）の方式に向かうものと思われる。したがって世界を対称とした技術と製品の開発をもって、専業化した製品の市場を拡大し量産を可能ならしめることに努力を払うべきである。

一方いかに専業化を進めようとも多機種少量生産の形態はさけがたく、いかに合理的な生産形態でこれをさばくかが問題である。技術、製品の開発、高揚とは別に、会社組織上、生産管理、材料の購入、工程、倉庫、出荷に至るまでの管理を抜本的な形態の変換を持って行なわねばならない。

紹介

ライブビンスクリューフィーダー ビンアクチベーター ヘビーデューティーフィーダー

細川粉体工学研究所

鈴木 昭 明

はじめに

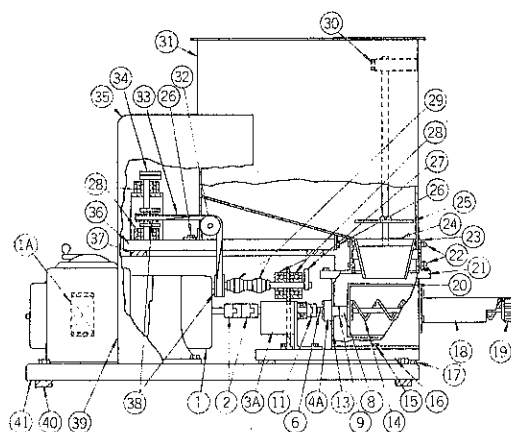
粉体をあつかうプロセスの中でたえずわれわれが注意を必要とするのは粉体の輸送の問題である。新しいプラントが立案、設計、製作されて、いざ運転する段階に至って非常に問題が出やすいのが貯槽における架橋現象、各単一機械への粉体の供給の問題であろう。

これらの問題に対し弊社では従来からたえず研究に留意して、その成果としてすでにフロートロン、ブリッジブレイカー等の独創的な商品を生みだして来た、さらにこの分野の強化をはかるため過日 米国の Vibra Screw Feeders, Inc と表題の三製品について、販売提携を結んだ。

V.S.F 社は米国 New Jersey にあり、その規模も日本で云えば中小企業といわれる会社であり、製作している商品は社名の示す通り振動を利用した供給機数種にすぎない、しかしながら企業の規模に比してその著名度が高く、米国内において優秀な企業として繁栄しているのは実にその商品が独創性に富み、優秀な技術の基礎の上に立っているからだと考えられる。現に粉体機械では著名な西独の Alpine 社をはじめ世界各国に技術提携、販売提携を結んでその商品の性能が世界で高く評価されている。弊社においても、V.S.F 社の製品については粉体機械メーカーの立場から注目していたが本年3月、ライブビンスクリューフィーダー、ビンアクチベーター、ヘビーデューティーフィーダーの3種について販売提携の契約を締結した。本誌では V.S.F 社より得られたデータを合せて上記3機種について説明する。

ライブビンスクリューフィーダー

この供給装置はスクリューフィーダーに振動機構を組合せた新しい型式のもので、その構造を図1、に示す、特徴はホッパー部とスクリュー部が別々の振動源で駆動されていることである。



①無段変速機、②減速機、③スクリュー軸カップリング、④トラフ、⑤コイルスクリュー、⑥スクリュー部ベース、⑦防振ゴム、⑧排出用パイプ、⑨複折羽根(特殊用途)、⑩スリーブクランプ、⑪フレキシブルスリーブ、⑫コニカルパイプ(特殊用途)、⑬アジャストパッフル(特殊用途)、⑭偏心軸、⑮フレキシブルカップリング、⑯ホッパー、⑰Vベルト、⑱偏心軸、⑲ホッパーベース、⑳防振ゴム

図1 ライブビンスクリューフィーダーの構造

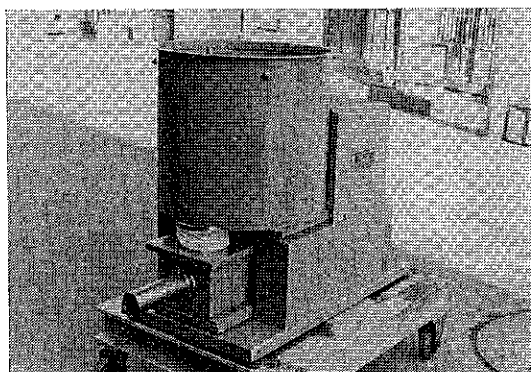


写真1 ライブビンスクリューフィーダー

まずスクリーウの回転機構から説明すると、モーター軸の回転は無段変速機(1A)を通して減速機①で減速されカップリングで結ばれたシャフトに伝えられ、さらにチェーンでつながれたスクリーウ軸④を回す、無段変速機の調速範囲はスクリーウ軸で15rpm~150rpm まで10倍に変速できる。

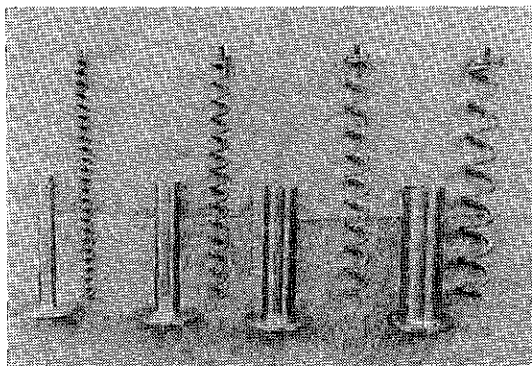


写真2 交換用スクリーウと排出パイプ

スクリーウはコイル状で中心軸がない、スクリーウの根本から簡単に取外しができ、供給能力に応じて直径のことなるものと交換できる(写真2左から $\frac{3}{4}$ "、1"、 $\frac{1}{2}$ " 2") スクリーウと同時にシリンダー(排出用パイプ)⑤も交換する。スクリーウ部は防振ゴム⑦を介して取付けられたベースに載っており、このベースはフレキシブルカップリング⑧を通してモーター直結の軸および軸承⑨が載っている。この回転軸には偏心錘⑩が固定されているため、高速回転によってスクリーウ部は垂直面での円振動を起す。ホッパーは防振ゴム⑦を介して取付けられたベース⑥に載っており、このベースにはモーター軸からベルト③によって回転される垂直軸とその軸承がある。この回転軸には偏心錘⑩が固定されているため回転によってホッパーは水平面での円振動を起す。

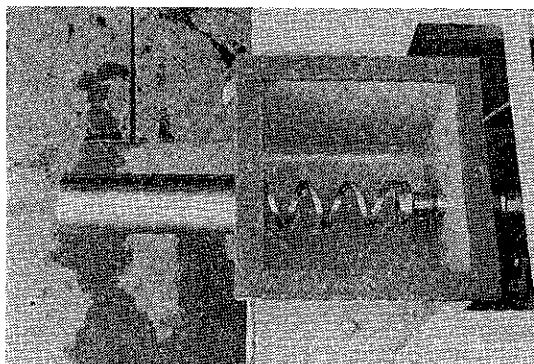


写真3 箱型のトラフとスクリーウおよび排出パイプ

このようにスクリーウ部とホッパーはまったく別個の振動源によってそれぞれ垂直方向と水平方向の振動を起すことになる。ホッパー容量は80lで振動のため粉体は架橋を起すことなく排出口へ流れて、下部のトラフ⑬の中に入り(写真3)、スクリーウの回転によってパイプ⑬の先端から流出する、アジャストバツクル⑭はホッパーの中の粉体圧の変化による流量の変動を防止するのに役立っている。(写真4)

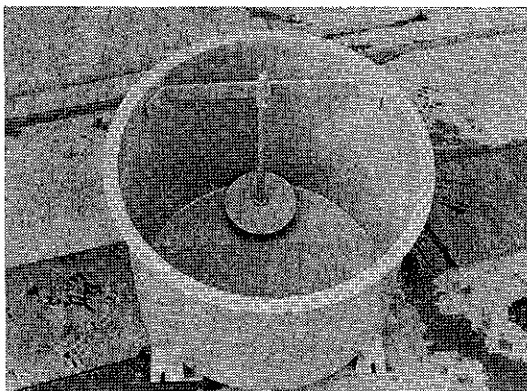
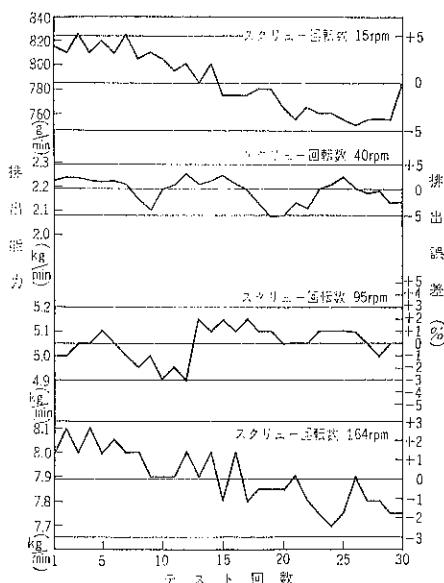


写真4 ホッパー中のアジャストバツクル



定量性測定 (粉体: 亜鉛華微粉, 見掛け比重: 0.61 g/cc, スクリーウ径: 2"φ)

図2 ライブピン・スクリーウフィーダ

図2は亜鉛華を使用して定量性を測定した一例である。いずれも1分間当りの排出量を30回測定したもので上からスクリーウ回転数15, 40, 95, 164rpmと変化したものである、亜鉛華は非常に凝集付着性の強い微粉で、

表1 ライプビンスクリーフィーダー適用例

原 料 名	見 掛 比 重	スクリー 一 寸 法	能 力 (kg/Hr)	精 度 (%)	原 料 名	見 掛 比 重	スクリー 一 寸 法	能 力 (kg/Hr)	精 度 (%)
ア ル ミ ナ	0.98	2" F	544	0.5	炭 酸 カ ル シ ュ ム	0.31	2" F	2,177	2.0
画 鉛 末	2.97	1" F	326	0.5	テ フ ロ ン (粉 末)	0.45	2" W	231	1.3
鑄 物 砂	0.67	2" F	400	1.2	ビ タ ミ ン 剤	0.69	2" F	1,143	0.8
カーボンブラック	0.44	2" W	270	1.0	P. V. C.	0.48	2" F	270	1.0
ガラス繊維	0.12	1½" W	16	3.0	フ ラ イ ア ッ シ ュ	0.99	4" W	13,608	1.5
カ オ リ ン	0.78	2" F	270	1.3	ベ ン ト ナ イ ト		2" F	408	1.5
グ ラ ニ ュ ー 糖	0.91	4" W	2,993	0.5	ベ ン ガ ラ	1.06	1½" W	430	0.5
黒 鉛	1.15	2" F	1,088	1.0	ポ リ エ ス テ ル (フ レ ー ク 状)	0.34	2" W	326	1.5
小 麦 粉	0.67	4" F	3,810	1.1	ポ リ エ チ レ ン	0.09	1" F	73	1.8
酸 化 チ タ ン	0.6	4" W	2,776	2.1	ポ リ ゾ ー ル ア ル コ ー ル	0.59	3" F	1,496	0.6
ステアリン酸バリウム	0.19	¾" W	2.7	1.2	木 粉	0.17	3" W	255	2.0
スパイス (香料)	1.01	3" F	1,905	0.7	ユ リ ヤ 樹 脂		⅝" W	8.1	2.0
セ メ ン ト	1.25	4" F	5,715	1.2	紺 青	0.27	⅜" W	2.7	2.0
ゼ ラ チ ン		2" F	353	1.0	トリポリリン酸ナトリウム	0.74	2" F	3,402	0.9
染 料		1" W	46	2.6	ブ ド ウ 糖	0.62	2" F	326	1.0

どの種の供給機を使用しても20~40%程度のバラツキはさけがたいが、この供給機では非常に高い定量性を得ている。スクリー回転数が低いときは5%程度のバラツキであるが排出量が多くなると3%程度に減少して来る。本機は一般粉体の定量供給機、また特にホッパーでブリッジを生じがちな粉体、かかる粉体は供給機でも定量性が悪いのが普通であるが、それに対して無閉塞ホッパー付きの安定性の高い定量供給機として適用範囲が広い、表1、にその適用例を示した。

ビンアクチベーター

ビンアクチベーターは大きな粉体貯びんの底部に取りつけ貯びんからの粉体の排出をスムーズに行なう目的でつくられたものである。構造は図に示すごとく、びんに

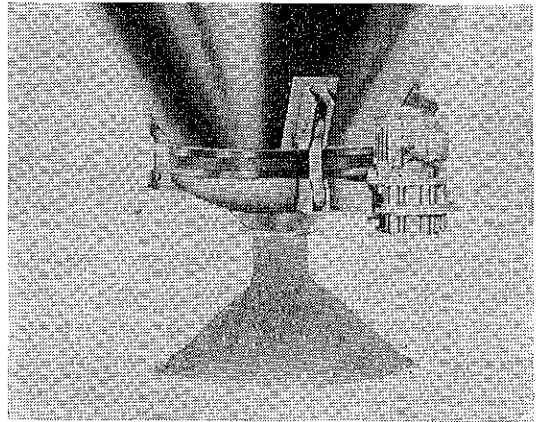


写真5 ビンアクチベーター

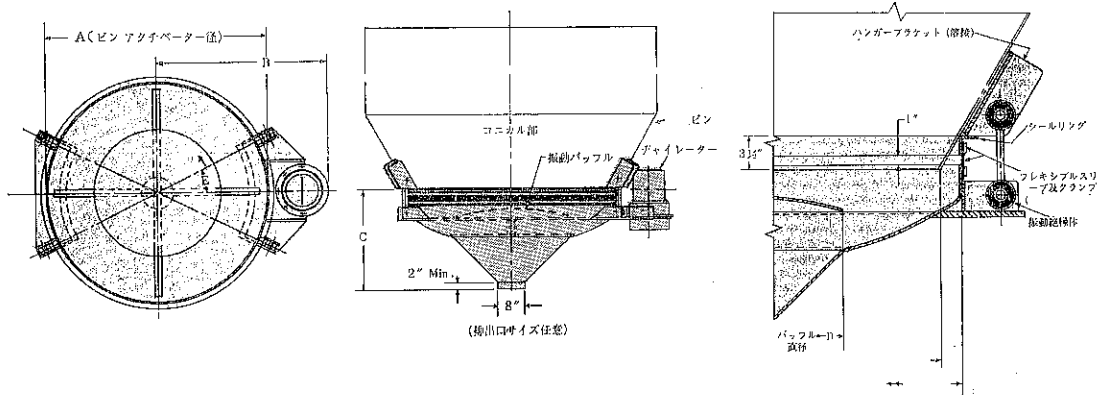


図3 ビンアクチベーターの構造

とりつけられた時、その底部となるもので振動源 (Gyrator) により直接振動が与えられる。

図3、について説明すれば、排出シュートの役目をなすケーシングの内側に球面の振動バッフルが4本の足で支えられる、ケーシングは防振ゴムを介してホッパーに吊下げられ、ホッパーとケーシングの間はフレキシブルなスリーブでシールされる、ケーシングの側部につけられた振動源 Gyrator によりビンアクチベーターはケーシングごと全体が水平面で円振動を行なう。ホッパー中の粉体には振動バッフルの振動が加えられ、振動バッフルとケーシングの間を流れて、排出口に集められて流出する。

ホッパーの底部で広く粉体を受けているのでブリッジを作る第一の条件であるしぼられた排出口が無い点、振動する広い底面による粉体への振動の伝達が効率的である点が特徴である。

適用は安息角の大きい粉体、付着凝集性の粉体、湿った粉体等のブリッジを作りやすい粉体をためるホッパー

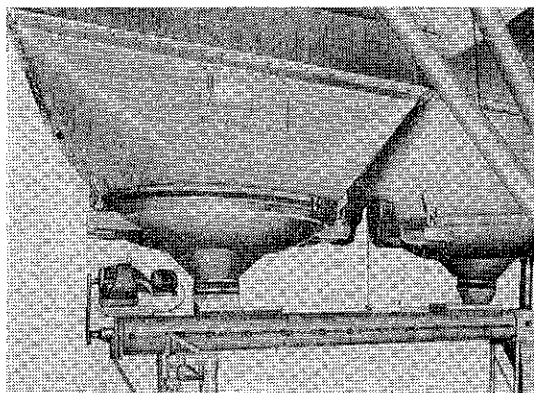


写真6 約50Tのコンクリート貯ビンからの飼料のスクリーンコンベアーへのスムーズな排出に

の排出である。本機はスムーズな排出だけを目的としたものである。排出速度に定量性を要する時は別に定量性を有する供給機との組合せにより行なう。即ち後にの

べるヘビーデューティーフィーダー、あるいはフロードロン、ベルトフィーダー等と接合される。

米国における適用の具体例について説明すれば、Pigment & Color Division, Glidden Company.

ここでは5基の酸化チタンの貯蔵ビンの下に全てビンアクチベーターがとりつけられている。精製した酸化チタンは非常に凝集性、付着性の強い粉体でどここの工場においても排出、供給には苦難がある。ここでは見掛け比重0.8、平均粒径 0.5μ の酸化チタンの袋詰め機への供給にトラブルが多かったがビンアクチベーターをつけることにより全面的に解決ができた。貯びんは1,800kgの酸化チタンが入るが、いっぱい満して2日間放置した後でも容易に連続排出ができています。

Dow Chemical Company.

ここでは黒鉛炉用の耐火材の製造原料として湿ったおが屑をコークスと砂に計量して混合する工程があったが湿ったおが屑の自由流出を維持することは困難であり、たえず棒でつついたり、容器をたたいたりする作業が行なわれていたが、ビンアクチベーターを設置し、その下に流出量を制御する調節ゲートを付加することにより解決し、湿ったおが屑が連続的に排出できるようになった。

Crossett, Division, Georgia Pacific Corporation.

ここではユリア樹脂が高さ13m、直径3.3m、容量50 tonの貯蔵ビンから排出される、ユリア樹脂粉末は水分を吸収したり、容易にケーキ化する傾向があり、湿りやすい原料の為に凝集したり、固まったり、ブリッジを起したりする傾向がある。そのために排出停止、排出遅滞となる。しばしばハンマーでホッパーの壁をたたいたり、原料を長い棒でかきまぜることが要求された。その原料の見掛け比重は0.63である。この場合貯蔵ビンの下に直径5ftのビンアクチベーターをつけそれから下のスクリーンに排出することにより解決した。

ヘビーデューティーフィーダー

ヘビーデューティーフィーダーは一言で言えば先のライプビンスクリーンフィーダーのホッパー部をのぞき振

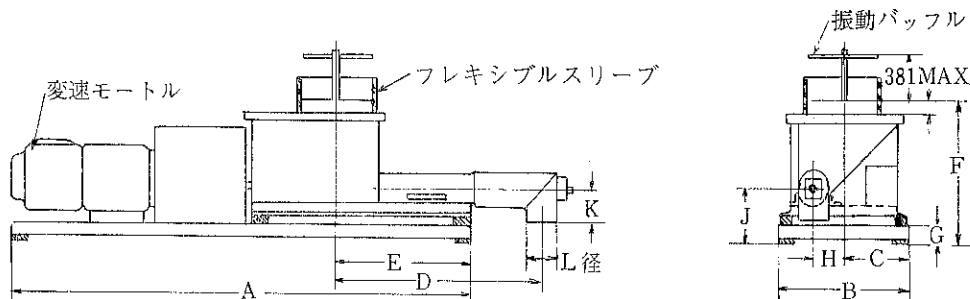


図4 ヘビーデューティーフィーダー

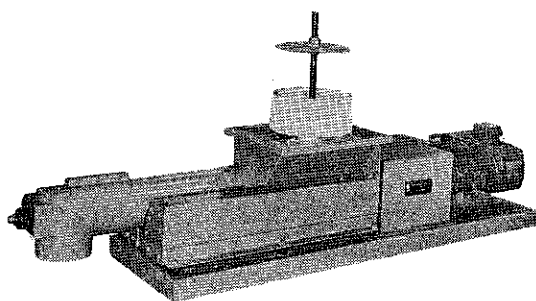


写真7 ヘビーデューティーフィーダー

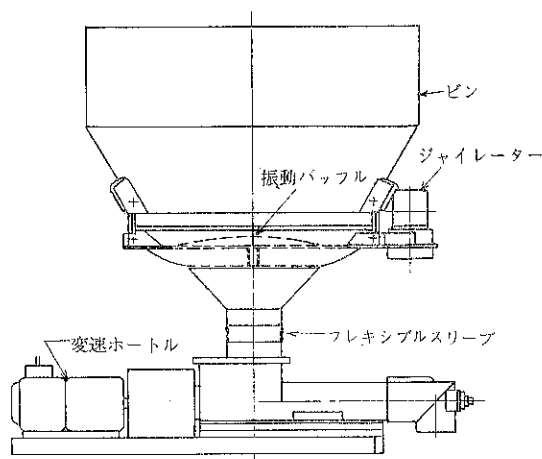


図5 ピンアクチベーターとヘビーデューティーフィーダーの併用

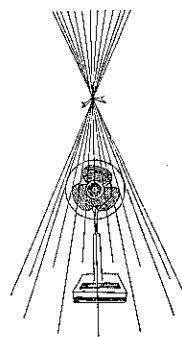
動スクリー部を拡大したものである。

構造は投入口のついたスクリー全体と振動源であるアンバランスウェイトのついた振動軸とを防振ゴムで支持した台の上にのせ、固定されたモーターよりフレキシブルカップリングを介して振動軸に高速回転を与えるとスクリーは垂直面内で円振動を行なう。スクリー軸はモーターの回転を一度無段変速減速機を通して適当な回転を与えて供給量を調節する。

本機は単にスクリーフィーダー部のみで適用に関しては当然ホッパー、貯ビンの排出口につけられることが多い。この際、振動ビン、あるいは、さきに述べたビンアクチベーターとの併用がのぞましい。安定した供給を行なうためには、ホッパーや貯ビンから原料がスムーズにフィーダーに連続的に流れることが肝要だからである。

このように振動ビンあるいはビンアクチベーターとの接合は先にのべたライブビンスクリーフィーダーと同機構になることを意味している。即ち、この組合せにより、ライブビンスクリーフィーダーよりも大容量でかつ実際の工場生産むきに作られたものと云える。標準として毎時60t から最大 117m³まで処理可能な各種の型式がある。変速比は小型機で10:1、大型機で7:1でその範囲内での供給量の変更が容易である。

供給精度は殆んど原料について数%以内でほぼ先のライブビンスクリーフィーダーと同程度である。



ホソカワ ニュース

☆ホソカワ史上空前の受注高を示した

—昭和42年度—

昭和41年度春先より活発化した機械受注は、同年151%（昭和40年比）の受注成長率を見ることが出来たが、更に昭和42年度は各業界の粉体処理システム—プラントの大型受注の増加等により、168%（昭和41年比）と飛躍的な受注成長率を示すことが出来た。

もちろん、化学工業を初めホソカワ製品需要分野における設備投資の気運が極めて旺盛であったことが第1の原因にあげられようが、下記に示すように粉体処理システム—プラント受注の激増は、各需要分野におけるホソカワの粉体処理技術の優秀性と、豊富な適用経験が更に広く深く認められた結果であるとし、且今後の研鑽と努力をユーザー各位にお誓いするものである。

昭和42年度上半期実績比

受 注 区 分	割 合
単 機 販 売	24%
シ ス テ ム 販 売	58%
プ ラ ン ト 販 売	18%
合 計	100%

（註） 単機販売とは、単能機のための受注で、システム販売とは、ホソカワで2機種以上の粉体処理システムを、また単能機でも集塵装置、分級装置として、エンジニアリングを必要としたものを区分した。

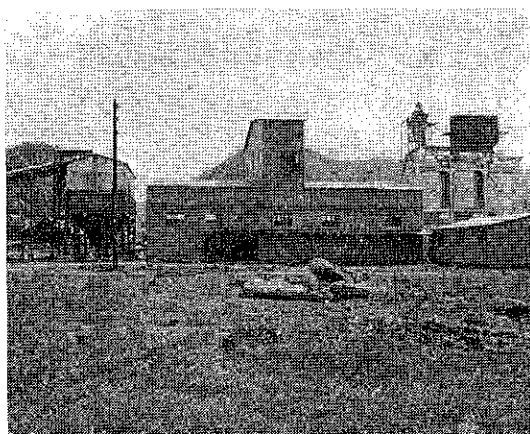
これを機種別に見ると、画期的なのは混合機ナウタミキサーの受注成長であり、昨年比240%を示して、NAUTAMIX N.V.との技術提携5年未満にして、混合機市場において可成りのシェアを確保し、適用分野の拡大と適用メリットの多い機種として、今後の一層の成長が期待されるものである。続いて昨年同様集塵機ホソカワ／マイクロパルスエアーの昨年比206%の成長は、毎年倍々成長機種として、集塵機マーケットでは最早押しも押されもしない真価を発揮し得たと云えよう。同様、微粉碎機、ホソカワ／マイクロパルベライザーはその汎用性によって設備投資気運の客観情勢の好転から、同様昨年比、168%と大きく伸長した。

超微粉碎機スーパーミクロンミル、分級機ホソカワ、ミクロンセパレーター、粉体乾燥機ミクロンドライヤー其他は、前機種程の伸長率はなかったが、各々地道にシェアと知名度をあげることが出来たと見ている。特にスーパーミクロンミルは本年末の200 HP、300 HPの大型開発、ミクロンセパレーターは研究所の新型改良研究、昨年MS-7迄スケールアップしたものの更に大型への設計化、開発後2年を経過し、愈々本年夏過ぎより販売路線参加を予定される造粒機ミクロン—グラニユライザー、枚方研究所で覆面開発中の数機種と、ホソカワ、ミクロンラインの製品の前途は洋々たるものと云えよう。

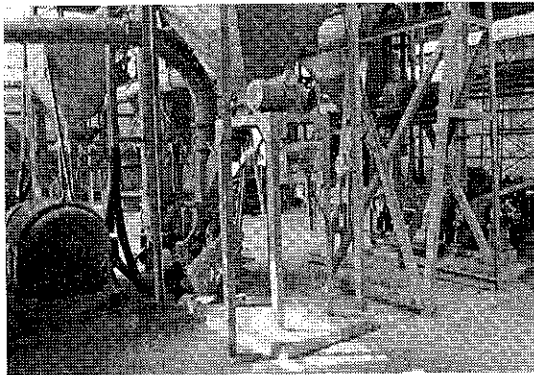
昭和42年度における主だったプラント—システムの受注を受注高1,000万程度の数例を列記する。（系統的に調査していないので脱落あり）

- 〇〇〇 鉱業 ベントナイト粉碎、分級プラント
- 〇〇 電池 鉛粉製造プラント
- 〇〇 電気 鉛粉製造プラント
- 〇〇 鉱業 石炭粉碎・分級プラント
- 〇〇 コークス カルサインコークス分級プラント
- 〇〇 工業 弁柄粉碎・混合プラント
- 〇〇 化学工業 レジン粉碎分級プラント
- 〇〇 工業 ユリヤ樹脂分級プラント
- 〇〇 化成 農薬混合プラント
- 〇〇 農薬 農薬粉碎・分級プラント
- 〇〇 油脂 金属石鹼乾燥プラント
- 〇〇 電気工業 シリコン粉碎分級プラント
- 〇〇 飼料 養鰻用魚粉粉碎・捕集プラント
- 〇〇 飼料 飼料粉碎・空輪プラント

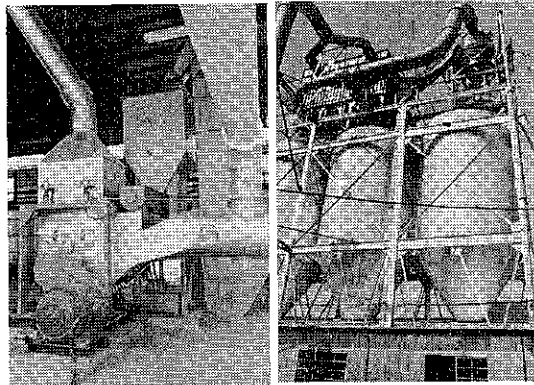
但集塵装置については多くのエンジニアリング適用があるも略す。



ベントナイト乾燥粉碎分級プラント
(1) 同プラント新工場主景



(2) 同プラント粉碎系列 (M502×4台)



(3) 同プラント乾燥系列 (4) 同プラント分級挿集系列

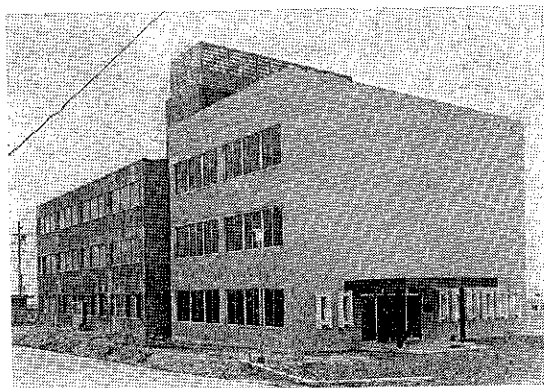
☆大阪府枚方企業団地への進出

—既に粉体工学研究所新築移転—

昭和44年度完工を目指して

新工場建設着工

大阪府がモデル工場団地として計画、細川鉄工所がその6カ年長期計画の中心計画として検討を進めてきた一枚方企業団地への進出移転計画は既に昭和41年度



昭和43年3月新築なった新枚方研究所

工場用地 16,820m² (約5,100坪)

居住用地 4,795m² (約1,500坪)

(従業員の独身寮家族寮其他福利施設)

の土地取得を終えて着工に入り、昭和43年3月第一期工事としての細川粉体工学研究所を完工、研究所員全員移転業務を完了し、今や第二期工事計画としての製罐工場並びに独身寮建設に暫次着工の運びとなっている。

新枚方研究所所在地 大阪府枚方市招提田近1丁目
電話 枚方 (57) 3 7 2 1 番

☆週5日就労制を目指して

本年度より第1, 第3土曜有給制休暇え

“粉碎”12号既報の通り、一昨年より第一土曜日休日実施のところ、本年6月度より、第一土曜日、第三土曜日の有給休暇制の運びとなり、愈々6カ年計画最終年の来年度週5日制完全実施を目指して、全員能率の向上にハリ切って就労している。

■ 大阪府合理化機械展

(昭和42年3月24日～4月29日)

大阪府中小企業設備合理化協会の月販制度説明会をかねて、開催され、弊社も同協会指定メーカーの為出品

場 所 大阪国際見本市港会場

出品小間 1小間 (3m×3m)

出品機種 ホソカワスーパーミクロンミルM52NC型

ホソカワ/マイクロパルベライザーAP-1型

フェザーミル FM-1型

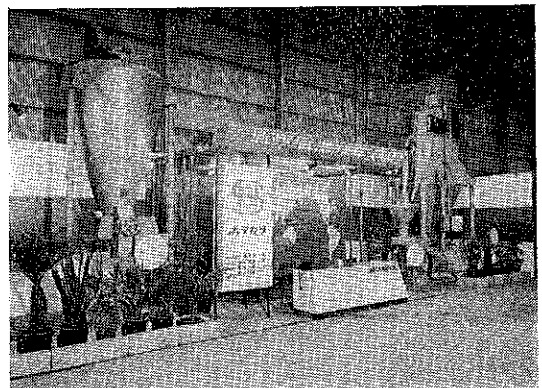
ホソカワミクロンパイプシフターVSB型

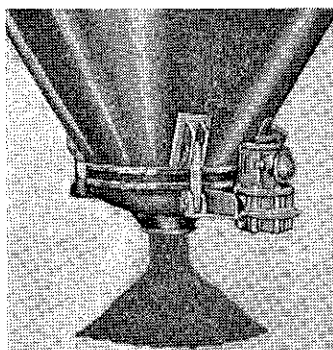
フロートロン AV-2型

■ 第7回東京国際見本市

(昭和42年4月18日～5月7日)

場 所 東京晴海会場





Vibra 社販売提携製品のつピンアクナベーター

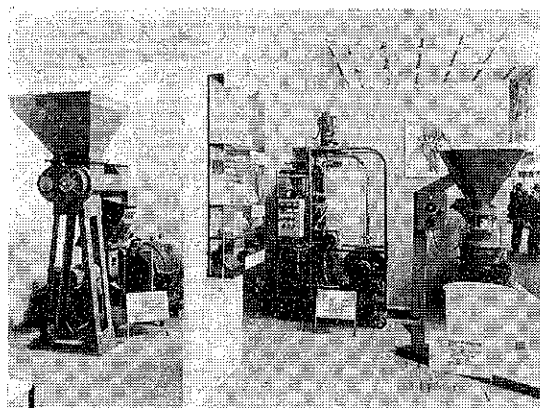
期待される。

☆ 技術提携交渉のかずかず

- 昭和42年11月 フランスネールピック（アルストム）ローバル、グログライン他技術導入の契約を締結。
- 昭和42年12月 アメリカ J.H. DAY 社えフロートロンの技術輸出契約締結
- 昭和42年12月 アメリカ TORIT Cop. との小型集塵機に関する技術提携交渉も順調に進展し、基本的条件については、ほぼ合意点に達している。
- 昭和42年12月 アメリカの化学機械メーカーである Strong Scott Mfg. Co. より技術交換の呼びかけを受けた。

☆ 海外よりの来客関係

- 昭和42年6月 韓国——信産業株式会社 除徳竜専務他来社 M 502×2 MS—4×2 受注下交渉
- 昭和42年8月 韓国——中央粉体株式会社社長来社約一カ月に亘る視察の上約\$100,000の当社機器を購入決定。



昭和42年9月 メキシコ Carson Chemical. Mr. Ropez
テストのため来社

昭和42年10月～12月 韓国——金星貿易公司丁東白技術
部長約1カ月強技術研習のため滞在。

☆ 展示会関係

- Victam Fair（ユトレヒト）
ナウタミックス N.V. フロートロン出品
- Achema Fair（6/21～29）
- インド “Japan Machinery Fair”（2/20～4/8）
M52NCを出品、多大の反響を得た。

編集後記

- * 毎号とも発行が遅れがちになりましてお詫び申し上げます。
- * 本号では井伊谷先生から巻頭言をいただきました。その中で“少数の実験結果から早急に結論、実験式を提出することはしばしば混乱をまねくので控目にしてほしいと思う。むしろ生のデータを条件を詳細に明示して与えて頂いた方が、斯界のためにも有効ではないだろうか”と述べられている。
- * “粉碎”の編集子一同も全く同感であり、今後とも実際にそくした編集、内容にすべく心がけるつもりであります。
- * 井伊谷先生の文中にもありますように、本誌は気楽に投稿できるとゆう事をモットーとしております。粉体に少しでも関係のあるものでしたら何でもお待ちしております。
- * 至らぬ点は多々ございますが、今後とも御愛顧の程お願い致します。

≪粉碎≫ No. 13 1968年 夏季号

昭和43年7月20日 印刷

昭和43年7月25日 発行

編集者 鈴木 昭 明
（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
印刷所 ナニワ印刷株式会社
大阪市北区川崎町38

ホソカワ

粉体処理機械装置

■【特許】超微粉碎機

スーパーミクロンミル

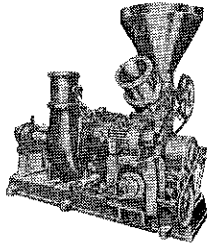
(特徴)

- (1) 平均粒径3~5ミクロンの超々微粉碎。
- (2) 特殊ノズル式分離機により鋭敏な分級効果を示すと共に異物の除去排出をして粒度の均一、製品の純度向上に卓越した性能を示す。
- (3) 粉碎室の2段階合による粉碎効果の増大、その他。

(型式) M52NC, 7.5HP

M202NC, 20~30HP

M502NC, 50~75HP



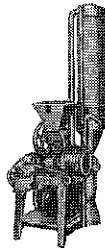
1957年 紫綬褒章受賞
1955年 発明賞受賞
日、米、英、仏、特許

■【特許】小型微粉碎機

ミクロンミルMon型 (1HP)

- 1 300 メッシュ以上の超微粉碎可能。
- 2 金網を使用せず粒度調節自由。
- 3 特殊ノズルを備え分級異物の除去可能。

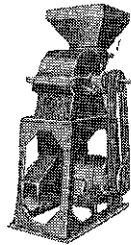
(型式) Mon (1HP)



■ 粗・中碎機ハンマーミル

- 1 粗・中碎を目的とした鉱石、肥料、食糧品、薬品など広い範囲に用いられる。
- 2 処理能力著しく大、粒度調節可能。
- 3 構造堅固で取扱容易である

(型式) H-8 (1HP) H-12 (3HP), H-15 (5HP)
H-18 (10HP) H-24 (20~30HP)

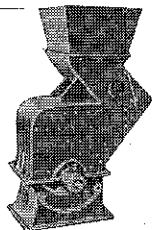


■ 破・粗碎機

ハンマーブレイカー

- (1) ハンマーミルでは投入困難な大塊の原料用で粉碎比が大
- (2)(3) 上記ハンマーミルと同様

(型式) 上記ハンマーミルと同様

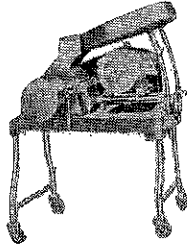


■ 中碎機

フェザーミル

- 1 医薬品、食品の造粒用に最適。
- 2 粉体接触部はステンレス製で異物が入らない。
- 3 取り扱いと調節が簡単。
- 4 処理能力が大きく、所要動力が少ない。

(型式) 3~5HP用



■【特許】湿式ミル

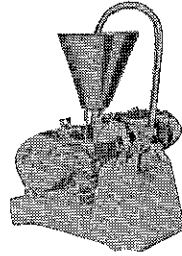
ミクロンニューコロイドミル

ミクロンミルの機構を取

入れた湿式粉碎機で、

- 1 固体粒子と液体の混合懸濁及び微粉碎。
- 2 液体と液体の混合懸濁反応の促進。
- 3 ペイント、顔料、飲料、化粧品などの薬品工業用。
- 4 ステンレス製

(型式) NC-1 5HP.

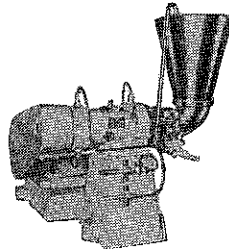


■ 乳化機 ディスパーミル

- 1 取扱分解掃除基が容易。
- 2 反復循環可能。
- 3 発熱気泡少ない、分散乳化機である。
- (4) ステンレス製。

(型式) D-1 (5HP)

D-2 (7½~10HP)



■【特許出願中】微粉用篩機 ミクロンウルトラシフター

- (1) 48~200 メッシュの微粉用専用シフター
- (2) 強力な振動と回転拡散翼の効果により従来不可能な粉体のフルイも可能
- (3) 最高の篩分効果で処理能力も従来の数倍以上の高性能発振、工業用フルイに最適

(型式) US-0, US-1, US-2



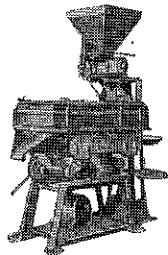
■【特許】篩機

パイプシフター (A型)

- 1 凝集性大なる粉状、粘着性のものも可能。
- 2 金網面の閉塞がない。
- 3 高性能で小型、所要馬力小
- 4 創意の垂直旋回運動1段式及2段式有り。

(型式) VSA-1 (½HP)

VSA-2 (1HP) VSA-3 (2HP)

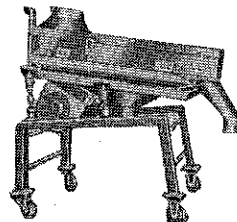


■【特許】篩機

パイプシフター (B型)

- 1 2 3 は上機と同様。
- 4 振動は本機内部に吸収されるので基礎不要
- (5) 伝導用モートルは不要で可搬型である。

(型式) VSB-1 (½HP)



■【特許出願中】特殊型粉碎機

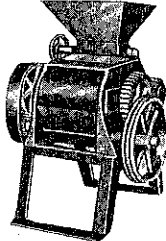
ニューカッターミル

- 1 軟質、低融点物質の微粉碎に最適（1回掛8〜80メッシュ）。
- 2 完全剪断粉碎のため発熱僅少。
- 3 固定刃回転刃は超硬質特殊鋼使用。
- 4 原料供給容易、清掃容易。（型式）NK-1（5〜10HP）



■粗 碎 機 ロールミル

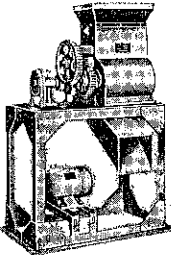
- 1 1/4〜9/16 程度の粗砕40〜60メッシュの中砕用。
- 2 特に水分、油分を含む各種粉碎機には困難なものに便利、粒度の調節自由。
- 3 粉塵が立たず、掃除に便利。
- 4 低速回転で故障少なく安全（型式）2〜20HP



■粗 碎 機

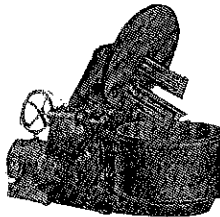
アイスクラッシャー

上機ロールミルの機構に鋭利な錐状突起がついている、化学工場の氷の割砕、レヂンその他大塊の中砕機として好適。（型式）1HP〜4HP



■混 合 機 ポニーミキサ

- 1 特に高比の粉体の混合用として
- 2 又、粉体に少量のペースト状のものの添加混合に極めて、卓越せる性能を示す。
- 3 混合翼、スクレーパーとタンクが逆転し変速可能にして、取出し容易。
- 4 ステンレス製。（型式）20, 30, 50, 60 ガロン用



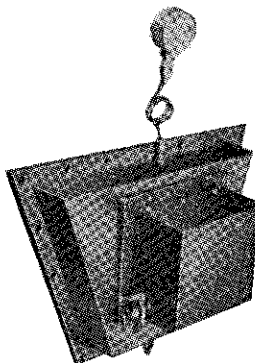
■ブリッジブレイカー

【実用新案出願中】

（粉体架橋現象防止装置）

貯蔵、ホッパー等から粉体を連続的に排出するとき、粉体の架橋現象を防止するためのコンパクトな装置です。特殊多孔質合成樹脂板を分散板として、少量の瞬間的コンプレッシャーにて効果的にブリッジを防止します。

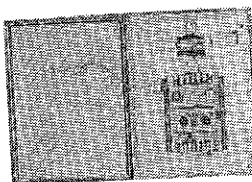
（型式）BB-1型
（噴射面積により3種）



■ホソカワ／マイクロ モニター

この装置はメインモーターのロードに応じてフィードモーターをコントロールし、自動的にオーバーロードを制御する装置です。

- 原料の連続的流量を保証
- 自動粉碎による増産への寄与
- コンパクトキャビネットによる取付簡易

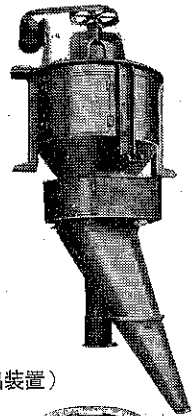


■【特許】分 級 機

日・米・英・仏・特許
独・加・瑞・特許出願中

ミクロンセパレーター

- 1 分級範囲が広い、0.8mm から2μ迄自由。
- 2 分級精度がシャープで回収率が高い。
- 3 構造簡単で運転と調節が容易。
- 4 各種粉碎機への附設が容易（型式）MS-0〜MS-7 各種

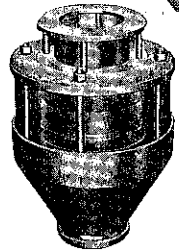


■ フロートロン（粉粒体供給排出装置）

英・仏・特許

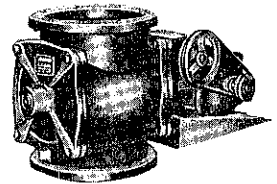
日・米・独・特許出願中

- 1 モーターを使用する事なく粉体の供給排出用として珍しい機構を有している。
- 2 簡単な機構で巾の広い調節可能。
- 3 摩擦部分がなく粒体を破壊する事なく排出出来て粘着もなく円滑な排出が出来る（型式）AV-2・AV-3 2種



■ ロータリーエアー ロックバルブ

- 1 気密を要するホッパー、サイクロンなどの粉粒体の定量の取出し供給用として、用途が広い。
- 2 空気の漏洩がなく故障が少ない。
- 3 取扱い簡単。（型式）各種あり

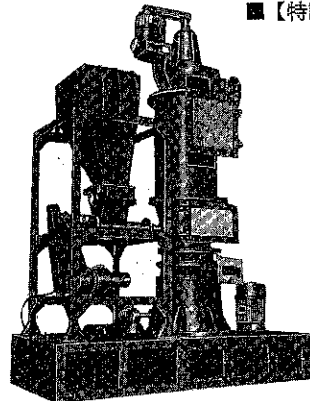


■【特許】粉碎乾燥機

ミクロンドライヤー

- 1 粉碎、分級、乾燥を一工程で処理。
- 2 卓越した乾燥効率を有し均一な乾燥が出来る。
- 3 極めて大きい能力を有しながら掘付面積が小さく簡潔になっている。

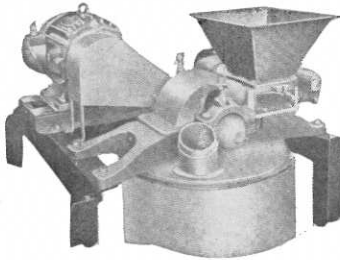
（型式）MD-1〜MD-5



粉体工学の

トップコンサルタント

米国 Pulverizing Machinery
社技術提携マイクロ製品



■ 微粉碎機 ホソカワ/マイクロ パルベライザー

- 1 据付面積小さく能力大。
 - 2 容易に分解組立出来る。
- (型式) #1 SH #2 DH #3 TH
#4 TH その他

■ 低融点微粉碎機

ホソカワ/マイクロ パルベライザー S型

- 1 軟化低融点、靱性物質の微粉碎用、特殊型。
 - 2 標動水冷型
- (型式) 5 HP~75 HP



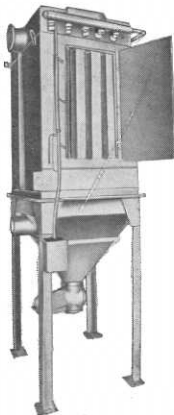
■ 小型微粉碎機 ホソカワ/
マイクロ バンタムミル

- 1 粉塵が立たず組立掃除容易
 - 2 自動フイダー
- (型式) 1 HP (3相)



■ 実験用微粉碎機 ホソカワ/
マイクロ サンプルミル

- 1 研究所、試験室用。
 - 2 運転容易、掃除簡単。
 - 3 ステンレス製
- (型式) 1 HP (3相)



■ ジェット集塵機 ホソカワ/
マイクロ パルスエアー

- 1 捕集効率99.99%。
- 2 可動部分なし。
- 3 含塵濃度が高くとも使用出来る。
- 4 所要濾過面積は他種に比して最少。

(型式) 12A-6 20A-6 30A-6
48-6 1C1その他各型式



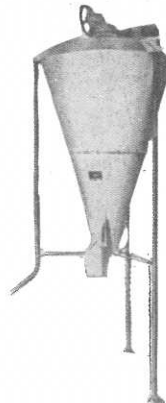
株式会社 細川鉄工所

ホソカワ

技術提携製品

オランダナウタ社技術提携

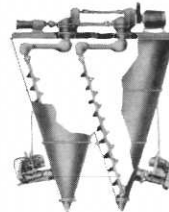
■ 高性能混合機 ホソカワ/ナウタミキサー



自転するスクリーが円錐型容器の壁に沿って公転し、ミキサー全体にタテとヨコの流れを生じさせる、いわゆる交叉流混合効果により、極めて完全かつ迅速な混合を行なう。

- 1 交叉流効果により、極めて小さい動力消費で能力が大 (2000lで5HP)
 - 2 大容量回分混合が可能なため、少ない時間で大量の精密分散が出来、広い用途を持つ。
 - 3 水冷、加熱、液体添加容易
 - 4 機構簡単、取扱、掃除容易
 - 5 安全運転。
- (型式) 30l~10000l

■ 複合型混合機 ホソカワ/ナウタ コンビミキサー



- 1 高混合比および混合時間の短縮に最適。
 - 2 連続投入方式も可能
- (型式) 400l~6000l

細川粉体工学研究所試験室の開放

当社には別に上記研究所を設け学界、実業界の権威者を網羅し、粉体工学部門の開拓、研究に我国最高の智脳を結集して、各位のご相談を承っておりますがまた、多数の実験機を設備してご遠慮なくご利用を願っております。

絶えずご需要家のご便益に奉仕し緊密な接触を保てることが当社の念願であります。

“あらゆる粉体処理の機械・装置の
ご相談はホソカワへ”

本社・工場 大阪市港区三ツ樋町13番地
電話 (572) 5371 (代表)
東京支店 東京都中野区松ヶ丘町2丁目
電話 (386) 1156 (代表)
細川粉体工学 大阪府枚方市招提田近1丁目
研究所 電話 枚方 (57) 3721

技術提携製品

ホソカワ/マイクロ

マイクロ アトマイザー
マイクロ パルベライザー
マイクロ パルスエアー
米国 P. M. D 社



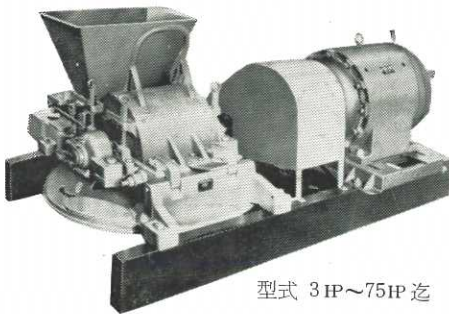
スーパー ミクロンミル
ミクロン セパレーター
粉体処理専門メーカー
細川鉄工所

微粉砕機

ジェット集塵機

パルベライザー

ホソカワ/マイクロ パルベライザーは取扱いが簡単で、運転費が安く、機械的には堅牢であらゆる種類の原料の混合、造粒、微粉砕に用いられます。更にこのホソカワ/マイクロパルベライザーは、粉砕と混合、分散が一度に出来ると共に、熱に敏感な物質、粘着性のもの、引火性物質等の粉砕を乾式、湿式いずれの方法でも能率よく出来る特徴をもっています。低融点、靱性、繊維状物質には、特殊型パルベライザー S 型があります。



型式 3HP~75HP迄

(詳細お問合せは
機械第2部化工機械課まで)

販売総代理店

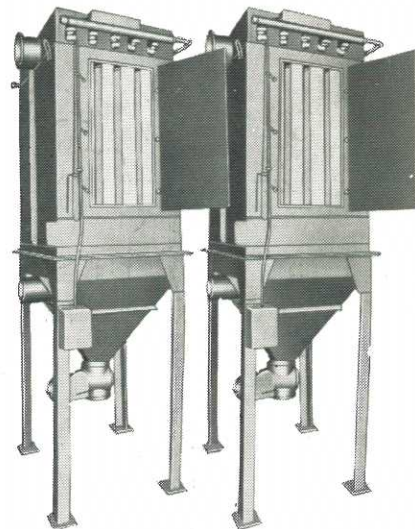
 住友商事株式会社

本店 大阪市東区北浜5丁目15
TEL (203) 1221 (大代表)
支社 東京都神田美土代町1 (住商ビル)
(294) 4111 (大代表)
支店 名古屋・札幌・福岡・神戸・仙台・横浜・
富山・京都・広島・宇都・高松・八幡・
長崎・新居浜
出張所 室蘭・釜石・新潟・千葉・和歌山・広畑・
岡山・徳山

パルスエアー

すばらしいジェットアクションによる完璧な自動清掃機構を備えた集塵機です。

ジェット噴流→溜過面積小、処理風量大
ベンチュリー効果→所要圧縮空気量他種の $\frac{1}{10}$
機械的可動部分なし→寿命半永久的
圧損一定→安全操業
集塵効率 99.99%
型式 $1\text{m}^3/\text{min}$ から無限大迄



(詳細御問合せは神鋼商事機械部迄)

販売総代理店

 神鋼商事株式会社

本社 大阪市東区北浜3丁目5
TEL (202) 2231 (大代表)
東京支社 東京都中央区八重洲4丁目3
(272) 6451 (大代表)
名古屋支店 名古屋市中村区広井町3丁目98
(561) 1271 (大代表)
広島支店 広島市八丁堀
(28) 2336 (代表)
北九州支店 北九州市小倉区米町151
(53) 8981 (代表)
札幌支店 札幌市北四条3丁目1
(26) 2571
出張所 呉・富山・新潟・仙台

製造元

株式会社 細川鉄工所

大阪・東京