

新 碎

THE MICROMERITICS

NO. 15 AUTUMN 1970

細川粉体工学研究所

“粉 碎 機 こ ぼ れ 話”

株 細 川 鉄 工 所

代表取締役副社長

細 川 明 彦

終戦前後の頃である。米は云うに及ばず酒も煙草も大変な貴重品であった。40才を超えた人はとくにご承知のはずである。勿論、バケツ一杯の石炭、軍手、靴下の一足に至る迄、ありとあらゆる物質は欠乏して「闇市」が繁昌した頃がある。従ってその頃は、衣よりも住よりも「食う」と云う事が最大の関心事であった。配給の一握りの米では生きてゆけない。麦、豆等雑穀類から芋、そして遂には芋の葉まで粉碎して満足な味付けもないままで胃袋を満たさざるを得なかった。粉にして食ったら原型がわからぬから、又、食べ易いからなのか粉食が大流行した。そこで取扱いが容易で、且つ、万能型の「衝撃式粉碎機」が粉食用として農村にも町の米屋さんにも据付けられた。“何でも粉にします”の張り紙で客は賑わい結構生計が維持出来たのである。粉碎賃は現物で何%か貰う。しかも客の帰った後は丁寧に機械の中を掃除する。取り出しホッパーの四隅には特に厚い層になった超微粉がゴッソリ残っていてその良い粉も頂戴するの

である。従って粉碎機の内側はおこぼれを取る意図もあって常に入念に掃除されて客を待っていたはずである。当然、粉屋さんは結構な商売で、その中には同じ町内に何軒も親譲りの“暖簾”を捨てて粉屋を開業する者が現われ、遂に自然の成り行きとして過当競争におちこむ時が遠からずやって来たのである。時代の寵児、「粉碎機」華やかなりし頃の話である。

当社は戦前から戦時中一貫して粉碎機を作り続けて来た数少ないメーカーの一つであり、当然作る粉碎機は片っ端から羽が生えて飛ぶように売れ、世相混乱の時期に一躍巨万の富を築く——はずであった。所が買手はワンサと来てくれても、売ろうにも売物が作れない。精々5馬力用から小型の1馬力用までとり混ぜ10台も出来たら上の部である。時には朝早くから、間口3尺のすすけた工場の玄関から電車道の方へ電信住何本か向う迄現金を持った客が行列して買いに来られて目を丸くした事がある。誰かが「細川さんで粉碎機が買える」と噂したから

“粉 碎” 第 15 号 昭 和 45 年 秋 季 号 目 次

粉 碎 機 こ ぼ れ 話	株式会社細川鉄工所副社長 細川 明彦	(1)
【報 文】 サイクロン分離機の最小分離粒径について	九 州 工 大 上 瀧 具 貞	(2)
	金 原 清	
	九 州 産 業 大 北 村 敦	
【報 文】 粉体の動的流動性指数の測定法	同 志 社 大 工 学 部 三 輪 茂 雄	(8)
	竹 内 和	
【報 文】 公害と粉碎	塵 肺 研 究 所 中 村 喜 義	(12)
【文 献 紹 介】 貯槽内粉体圧	細 川 粉 体 工 学 研 究 所 鈴 木 雅 之	(21)
【グ ラ ビ ア】 ルーマニア向タルクおよびベントナイト粉碎プラント		(34)

【表 紙】 粉体分級捕集プラント

である。ところがその細川さんには先述の様に数台の製作途中のものがあるだけだ。今から考えると全く嘘のような話である。ところがソーメン、うどんの機械屋から、パン、菓子の機械屋、いわゆる食糧加工機のメーカーの中には統制の網をくぐって闇資材を入手し売りまくる、笑いがとまらないのが多かった。ところが当社はそのチャンスを逃がした。父の寡慾と天災からである。そして四苦八苦の素寒貧のえらい目にあったのである。

戦争直後の台風による水害で、40日に亘り軒迄水没し放し、漸く水が引いてみると旋盤も半製品も泥をかぶって錆だらけ、ベアリングもモートルもアウト、マシン油は流失し、ウエスを買いに走らねばならない。完全にパーだ。こうして120日は何の生産も行なわれずブームを他所に復旧作業にあげられた。

ある大会社が時流にのって粉碎機を量産しようとして父にその技術の提供を頼みに来た事がある。しかしもっと性能の良い機械を作ってやろうという父はそんな事にかかわりあっていられない。父はこれを断わった。数ヶ月後、当社の粉碎機と寸分違わぬものが50台、100台と巷に流れ出したのである。しかし父は見向きもしなかった。こんなものはいつ迄も売れるものではない、もっと高級なものを作るのが僕の仕事だと言って、結局、半年足らずの内にその模倣品は売れなくなり残った粉碎機を専門の細川で売ってくれと云われて引き取った事を覚えている。父は相変わらず試験室で何でもかんでも粉碎してはしゃがみ込んで考えている。最早、誰でも作れる粉食用の粉碎機に見切りをつけて高性能性の微粉機の改造し

か頭になかった。研究に熱心の余り商売は不熱心で下手くそであった。ブームの末期である。慾の深そうな粉屋が一番上等の粉碎機を売ってくれと云って来た。もとより粉食用の粉碎機にあきたのである。もっと細かい微粉が出来る化学工業用、化粧品用のミクロンミルを売ろうとした。これなら値段も2倍以上だが飛びきり超微粉が出来る。百円札の束を積み上げて値段の話聞いた時である。粗末な応接室だから事務所から話が丸聞である。私の商談を聞いていたのであろう。「この機械はあんたなんかには売れる機械と違う」と云って父が入って来た。元来云い出したら後へひかない頑固一徹者、しかも、口下手の父は「売れん」それだけである。勿論、私は情無い思いをし、客はカンカンに怒って帰った。

あとで父はこう云った。「使い道が間違っている。ミクロンミルでは2升や3升の客相手の粉屋では商売にならぬ。もっと大きい仕事をする機械や、あの人に売ったら、いずれ機械を放り出すだけで可哀想やないか、一生懸命苦勞して作った機械や、恨まれるような使い方はさせとうない。苦勞のしがいが無いやないか」父は機械を売る時常に相手の立場を考える情があった。意の足りぬつたない表現乍ら口下手な父が一生懸命になって言った。しかしその顔には人情を知る暖かい技術屋の誇りがあった。父は機械の虫であった。結局、粉食用の新鋭機は間にあわなかった。しかし、数年後に農薬、化学工業用のスーパーミクロンミルとして開花結実し、当社にとって大きい大きい飛躍を成しとげる素地を作ったのである。歴史の一コマである。

—以上—

【随 筆】	粉 碎 の 話 II	北海道大学工学部 田中 達夫…(40)
【随 筆】	働くよろこび	日本電池株式会社 岡田 辰三…(44)
【寄 書】	見掛密度について	法政大学工学部 津々見雄文…(46)
【総 説】	微粒子の性質に関する二、三の問題	昭和大学薬学部 金庭 延慶…(48)
【技術資料】	攪拌型乾燥機ソリッドエアについて	細川粉体工学研究所 鈴木 昭明…(54)
【資 料】	パウダーテスタについて	細川粉体工学研究所 P T 係…(58)
【技術ノート】	パウダーテスタの測定における 計算のノモグラフ化	名古屋大学工学部 神保 元二…(61) 羽多野重信 浅川 貞雄
【新製品紹介】	ミクロンビクトリーミル・ミクロンフィーダーD型	(62)
	ホソカワニュース	(66)

サイクロン分離器の最小捕集径について

九州工大 上 瀧 具 貞
金 原 清
九州産業大 北 村 敦

1. 最小捕集径と最大排出径

サイクロン分離器の最小捕集径はそのサイクロン分離器で完全に捕集できる粉体の中の最小径を意味し、最大排出径は排出される粉体の中の最大径を指すから、定義の意味からは両者は同じ値でなければならない。

このような捕集粒径は、サイクロン分離器に流入した粉体が遠心力によって半径方向に飛び出し、外筒壁に到達すると捕集されるという仮定のもとに理論が進められている。従って外筒壁から最も遠い内筒壁面近くにある粒子は運動距離が最も大きいので捕集され難いことになり、この部分の捕集条件から最小捕集径が理論的に求められ、これよりも外筒壁面に近い位置に流入した粒子は半径方向の飛行距離が短いので、もっと小さい粒子まで捕集されるわけで、捕集粉体中には当然最小捕集径以下の粒子も含まれる。

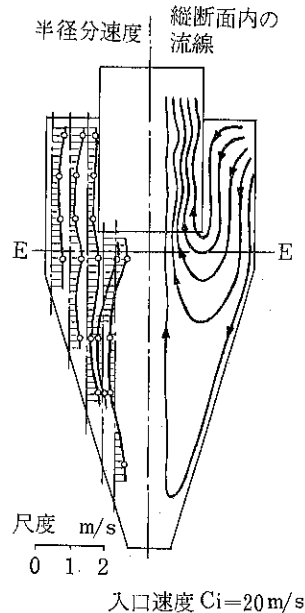
これらの理論の中にはサイクロン分離器内のガスの内向き流れが全く考慮されていないが、この内向き流れのために、逆に排気筒へ吸込まれる粒子も当然なければならない。ところで、サイクロン分離器縦断面内のガスの流れは図1のようになり、一般に考えられている外側下降流から内側上昇流になるのは大体全流量の20%前後であって、大部分のガスは図のE E断面附近の内向き流れが最大になる部分から内筒へ流れ込む。したがって、小さい粒子はこの部分で内向き流れによる抵抗のために内筒へ押し流されることになる。この場合の粒子の抵抗がStokesの法則に従うものとする、内向き流れ v_a を考慮しない場合、粒子の半径方向の分離速度 v_f は

$$v_f = \frac{\rho_s \delta^2}{18\mu} \cdot \frac{u_a^2}{r} \quad (1)$$

であり、内向き流れがある場合は

$$v_f' = \frac{\rho_s \delta^2}{18\mu} \cdot \frac{u_a^2}{r} - v_a \quad (2)$$

となる。ただし、 ρ_s は粒子の密度、 δ は粒子の直径、 μ はガスの粘性係数、 u_a はガスの円周分速度、 v_a はガスの内向き速度、 r は半径位置である。なお、サイクロン分離器内の旋回気流は一般に $u_a \cdot r = k$ (一定) で

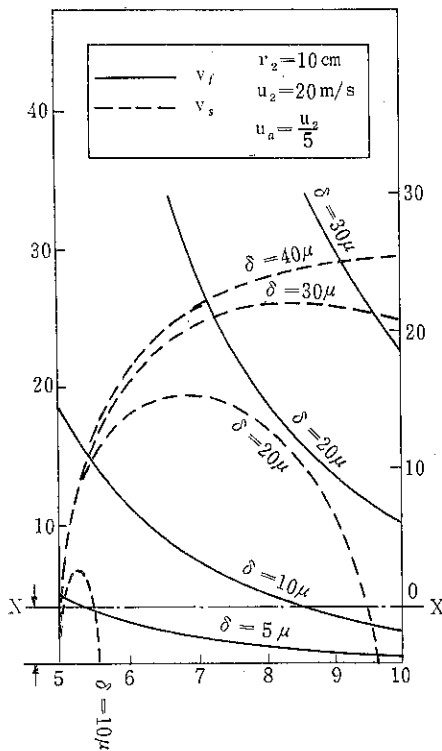


図一1 サイクロン分離器内の縦断面内の流れ

表わされるので、これを式(1)に代入すると

$$v_f = \frac{\rho_s \delta^2}{18\mu} \cdot \frac{k^2}{r^3} \quad (3)$$

となり、 $r_2=100\text{mm}$ 、 $u_2=20\text{m/s}$ 、 $v_a=u_2/5$ (r_2 は外筒壁の半径、 u_2 は外筒壁におけるガスの円周分速度) におけるサイクロン分離器の v_f の計算値は $\delta=5\sim 30\mu$ のとき図2の各実線のように外筒壁に近づくにつれて小さくなり、内向き流れを考えた場合、 v_a が一定となると、横軸に平行な XX' 線上で $v_f'=0$ になる。このとき、粒子に働く遠心力とガスの内向き流れによる抵抗力とが釣り合った状態であるから、図の各粒径の v_f 線から XX' 線までの距離がその粒径の v_f' を示し、 XX' 線上の各粒子はその半径位置で釣り合い状態になったまま旋回をつづけることになる。これらの釣り合い粒子は図で明らかなように外筒壁に近づくほど大きくなるので、最大径は外筒壁の粒子であって、これよりも大きい粒子はも



図—2 分離浮遊速度の粒度および半径位置による変化

もちろん全部捕集される。反対に釣合い粒子の中で最小径は内筒壁近くの粒子で、これよりも小さい粒子は当然排出され、その中間の粒子は筒内で旋回をつづけ、次第に下降して一部は捕集され、一部は v_a の変動によって排出されることになる。従って排出される可能性がある最大の粒径は外壁面上で釣合い状態になる粒径であって、これが最大排出径に相当する。

要するに遠心力だけを考慮して完全に捕集可能な粒子の最小径を求めたのが最小捕集径であり、遠心力と内向き流れによる抵抗力によって釣合い状態になる粒子の中で最も大きいものが最大排出径と考えるわけである。

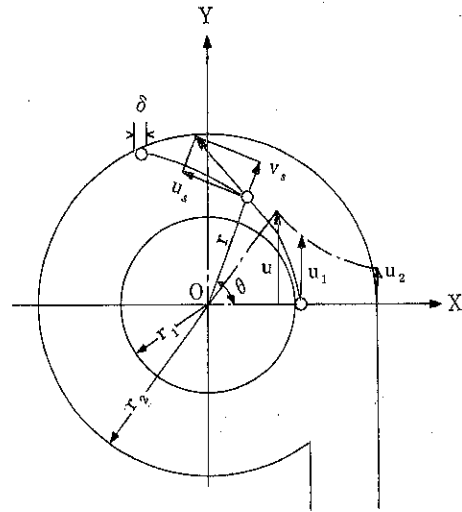
2. サイクロン分離器内の粒子の半径方向の運動と最大排出径

旋回気流中の粒子の半径方向の運動方程式は符号を図3のように決めると、

$$\rho_s \frac{\pi \delta^3}{6} \frac{dv_s}{dt} = (\rho_s - \rho_a) \frac{\pi \delta^3}{6} \frac{u_s^2}{r} - 3\pi \mu \delta (v_s + v_a)$$

$$\therefore \frac{dv_s}{dt} + \frac{18\mu}{\rho_s \delta^2} v_s - \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s} \frac{u_s^2}{r} + \frac{18\mu}{\rho_s \delta^2} v_a = 0 \quad (4)$$

となる。ここで、 $\lambda = \frac{18\mu}{\rho_s \delta^2}$ 、 $\rho = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s}$ とおくと、 $v_s = \frac{dr}{dt}$ であるから、式(4)は



ρ_s = 粒子の密度
 ρ_a = ガス(空気)の密度
 μ = ガスの粘性係数
 v_a = ガスの内向き速度

図—3 筒内における粒子の運動

$$\frac{d^2r}{dt^2} + \lambda \frac{dr}{dt} - \rho \frac{u_s^2}{r} + \lambda v_a = 0 \quad (5)$$

となる。式(5)は非線形である上に u_s の値が正確には未知であるからこのままでは解き難いので、第1近似として $u_s = u_a$ 、 $\rho = 1$ とし、さらに $\frac{d^2r}{dt^2} = 0$ 、 $v_a = 0$ 等の仮定を入れると、式(5)は簡単な釣合式になり

$$\frac{dr}{dt} - \frac{1}{\lambda} \frac{u_a^2}{r} = 0$$

となる。このときの $\frac{dr}{dt}$ が v_f であって、上式から

$$v_f = \frac{dr}{dt} = \frac{1}{\lambda} \frac{u_a^2}{r} = \frac{\rho_s \delta^2}{18\mu} \cdot \frac{u_a^2}{r} \quad (6)$$

である。式(6)は半径方向の粒子の終末速度で、一般に分離浮遊速度または単に分離速度などと呼ばれ、重力下における浮遊速度に相当する。なお式(6)に $u_a \cdot r = k$ 関係を代入すると式(3)となり、各粒径に対する v_f の r による変化は前述のように図2の実線で表わされる。

いま気流の半径方向の内向き速度 $v_a = \text{一定}$ とすると、サイクロン分離器内での釣合い状態は前述のように、図2の XX 線と v_f との交点で表わされ、半径 r の位置で釣合い状態にある粒径 δ_E は $v_f = 0$ から求められ

$$\delta_E = \left\{ \frac{18\mu \cdot v_a \cdot r^3}{\rho_s k^2} \right\}^{1/2} \quad (7)$$

となり、このサイクロン分離器の最大排出径 δ_{0E} は式(7)で $r = r_2$ とおいた値になる。

次に式(5)を解くさいに必要な仮定をより实际的にするために、第2近似として $u_s = u_a$, $\rho = 1$ とすると、式(5)は

$$\frac{d_2 r}{dt^2} + \lambda \frac{dr}{dt} - \frac{u_a^2}{r} + \lambda v_a = 0 \quad (8)$$

となり、式(8)の逐次近接解は

$$v_s = \frac{dr}{dt} = \left\{ \frac{k^2 X^2}{r^2} - 2\lambda k(X - \tan^{-1} X) - 2\lambda v_a(r - r_1)^{1/2} \right\} \quad (9)$$

となる⁸⁾。ただし、 $\frac{dr}{dt} = v_s$, $X = \frac{\sqrt{r^2 - r_1^2}}{r_1}$ である。

式(9)の v_a および δ がわかると各半径位置における v_s がわかり、前の計算例と同じ条件における v_s の変化は図2の点線のようになり、前述の v_f とは全く違った速度変化になる。図から各粒子は初め加速されるが、ある範囲の粒子はある半径位置になると $v_s = 0$ の釣合い状態になることがわかる。この粒径は式(9)に $v_s = 0$ を代入して求められ

$$\delta_s = \left\{ \frac{36\mu \{k(X - \tan^{-1} X) + v_a(r - r_1)\} r^2}{\rho_s k^2 X^2} \right\}^{1/2} \quad (10)$$

となる。したがって式(10)で $r = r_2$ のときが最大排出径 δ_{0s} に相当する。

3. 最小捕集径

サイクロン分離器の最小捕集径は First¹⁾ および Rosin²⁾ らの式が有名である。これらの式は内筒壁上の粒子が外筒長さだけ下降する間に、遠心力によって式(6)の速度 v_f で外筒壁まで到達できる粒子をこのサイクロン分離器で完全に捕集できる最小捕集径と考え、 δ と r との関係を求めたものである。すなわち半径 r の位置にある粒子 δ が半径方向に外筒壁まで到達する時間 t_r は

$$t_r = \int_r^{r_2} \frac{dr}{v_f} \quad (11)$$

であって、一方粒子の軸方向の下降時間 t_z は、外筒端まで到達する間の粒子の旋回数を N とすると、近似的に

$$t_z = \frac{2\pi r_2 N}{u_2} \quad (12)$$

で表わされ、 $t_r = t_z$ になる粒子が半径 r の位置における最小捕集径であり、 $r = r_1$ のときの粒径がそのサイクロン分離器の最小捕集径になる。

t_r の計算に際して Rosin は $u_a = u_2 = \text{const}$ とおき

$$v_f = \frac{\rho_s \cdot \delta^2}{18\mu} \cdot \frac{u_a^2}{r} = \frac{\rho_s \delta^2}{18\mu} \cdot \frac{u_2^2}{r}$$

として式(11)の積分を行った。すなわち

$$t_r = \frac{18\mu}{\rho_s \delta^2 u_2^2} \int_r^{r_2} r dr = \frac{9\mu}{\rho_s \delta^2 u_2^2} (r_2^2 - r^2) \quad (11 \cdot a)$$

であるから、この場合の $t_z = t_r$ における δ を δ_R で

表わすと

$$\delta_R = \left\{ \frac{9\mu(r_2^2 - r^2)}{2\pi N \rho_s k} \right\}^{1/2} \quad (13)$$

となる。これが Rosin 最小分離径の式である。

また First は式(6)の v_f を

$$v_f = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{u^2}{r} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{u_2^2}{r_2} = \text{const}$$

とおき

$$t_r = \int_r^{r_2} \frac{dr}{v_f} = \frac{18\mu}{\rho_s \delta^2} \frac{r_2(r_2 - r)}{u_2^2} \quad (11 \cdot b)$$

として前と同様に δ を求めた。これを δ_F とすると、

$$\delta_F = \left\{ \frac{9\mu(r_2 - r)}{\pi N \rho_s u_2} \right\}^{1/2} \quad (14)$$

となる。これが First の最小分離径の式である。

つぎに v_f に Rosin, First のような仮定を使わずに、 $u_a r = k$ の関係を適用して、 $v_f = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{k^2}{r^3}$ とすれば、式(11)の積分は

$$t_r = \int_r^{r_2} \frac{dr}{v_f} = \frac{\lambda}{k^2} \int_r^{r_2} r^3 dr = \frac{9\mu(r_2^4 - r^4)}{2\rho_s \delta^2 k^2} \quad (11 \cdot c)$$

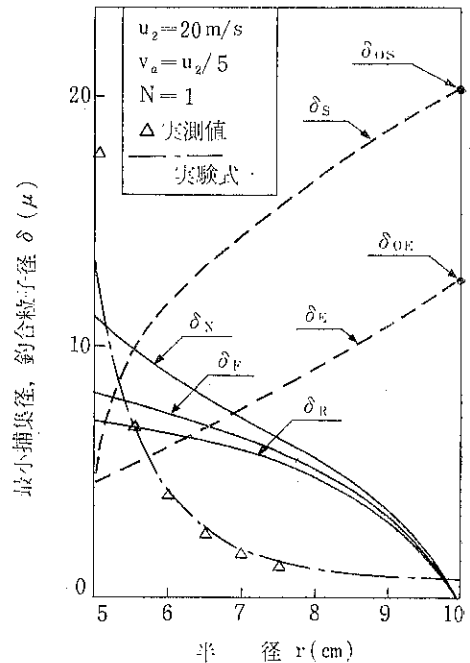
となる。さらに軸方向の運動時間を

$$t_z = \frac{2\pi r N}{u_a} = \frac{2\pi r^2 N}{k}$$

として、 $t_r = t_z$ のときの δ を δ_N とすると

$$\delta_N = \left\{ \frac{9\mu(r_2^4 - r^4)}{4\pi N \rho_s k r^2} \right\}^{1/2} \quad (15)$$

となる。



図—4 最小捕集径および釣合い粒子の半径位置による変化

式(7), (10)はサイクロン分離器内における粒子の釣合から求めた最大排出径の式であり, 式(13), (14), (15)は粒子の遠心力による半径方向の分離速度から求めた最小捕集径の式である。これらを前記計算例と同一条件のもとで比較すると図4の $\delta_R, \delta_F, \delta_N, \delta_E, \delta_S$ の各曲線のようになり, 最大排出径と最小捕集径は半径位置による変化が全く逆になり, 最大値も前者の方が大きくなる。

4. 捕集粉体の図式解法

前記各式から明らかなように最小捕集径はサイクロン分離器内における粒子の半径位置すなわち外筒までの距離によってきまるから, 粒子が流れ込んだサイクロン分離器内の半径位置によって, 完全に捕集できる粒径と, 同時にその粒径の粒子の捕集, 排出される割合とが求められる。従ってサイクロン分離器に流入する粉体の粒度分布および流入位置がわかると, 捕集量, 排出量およびそれらの粒度分布は計算または作図によって求めることができるわけである。

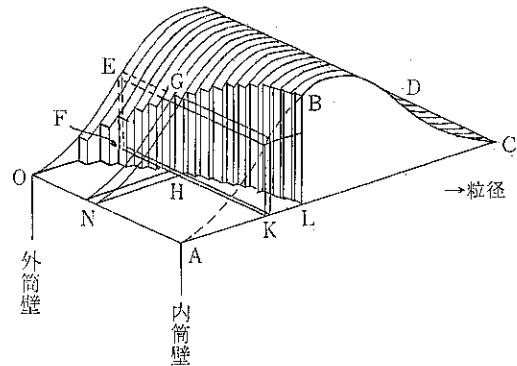
いま, 図5のABCのような粒度分布をもった粉体が内外筒間に一様の濃度で流入したと仮定すると, 図の山形の体積ABCDEOは単位時間に流入する粉体量を示す。一方このサイクロン分離器の最小捕集径が半径位置によって図のNHのようにきまり, これを各半径位置について求めたものが曲線OHLのようになるとすると, 粉体は流入位置によって捕集分離される粒径および量が図のように変わり, 排出される粉体は山形の切片OGBLHOALのようにならねばならない。これらの関係を立, 平面に投影して展開すると図6のようになる。図の(R)面が流入および捕集粉体の粒度分布を, (D)面が外筒壁からの各距離における最小捕集径を, (P)面が各粒径における流入全量と捕集または排出される比率を示すことになる。従って図のように任意半径 r の位置における最小捕集径 δ の粒子について考えると, (P)面の全量 $E_1J_1K_1A$ のうち $E_1G_1H_1A$ が捕集されることになるから,

$$\frac{\text{捕集量}}{\text{全量}} = \frac{E_1G_1H_1A}{E_1J_1K_1A} = \frac{AH_1}{AK_1} = \frac{AH_1}{AE_1} = \frac{S_1A}{E_1A}$$

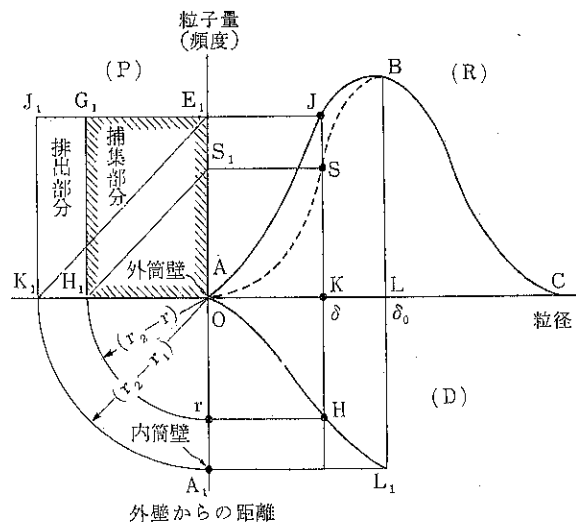
が粒径 δ の粒子全量に対する捕集比率を示すことになる。故に S_1 を通り横軸に平行な線と垂線JKとの交点をSとすると

$$\frac{S_1A}{E_1A} = \frac{SK}{JK}$$

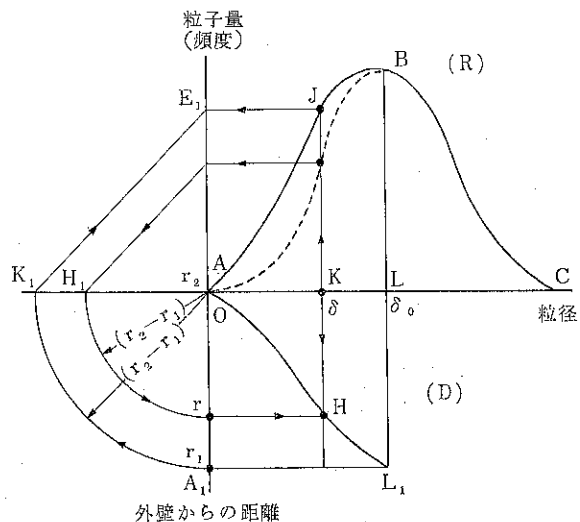
となり, SKは粒径 δ の粒子の捕集量を示す



図一5 粒子の粒度と最小捕集径との関係



図一6 粒子の粒度と最小捕集径との関係



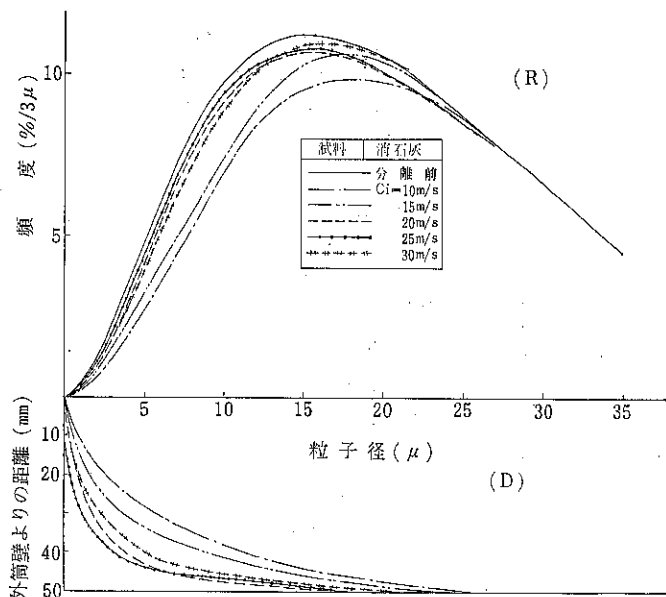
図一7 実際の最小捕集粒径の求め方

ことになる。従って同様な作図を繰返すことにより、最小捕集粒径AHL線に対するサイクロン分離器の捕集量ASBCが求められる⁴⁾。

5. 実際の最小捕集径

つぎに、今度は逆に図7の(R)面の実線を流入した粉体の粒度分布とし、点線をサイクロン分離器で実際に捕集した粉体の粒度分布とすると、任意粒径 δ におけるこのサイクロン分離器の最小捕集径は図6の解析を逆に行って、図7の矢印のように作図することにより、 r および r と δ との関係を求めることができる。

図8の(R)面は直径200mmの標準型サイクロン分離器による消石灰の捕集実例で、これから前記の作図法によって最小捕集径を求めると図の(D)面の各曲線のようになる。図の各線は流入速度を変えた場合で、実際の最小捕集粒径は図4の理論値とは相当違った形になることがわかる。これらの線から半径位置をパラメータとした δ と入口速度 C_i との関係を求めると図9のようになる。これらの図から C_i が大きくなると δ は小さくなるが、25 m/s以上では一度分離した粒子が内側上昇流によって再浮遊するため、この傾向が逆になる。なお内筒壁に近いほど流入速度の影響が大きくなるが、



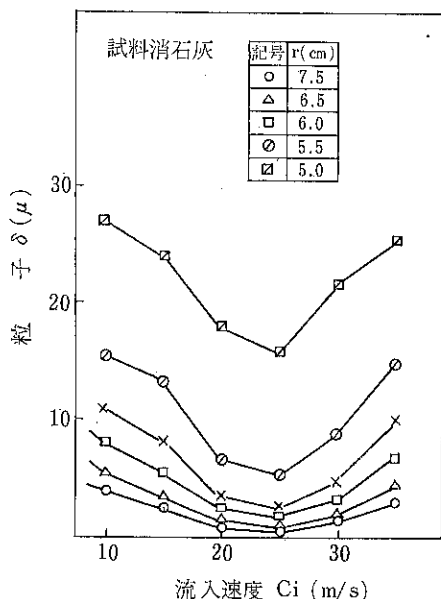
図—8 標準型サイクロン分離器による捕集例

これは遠心力が r に反比例して大きくなるためと、内側上昇流の影響は r が小さいほど大きくなるからである。

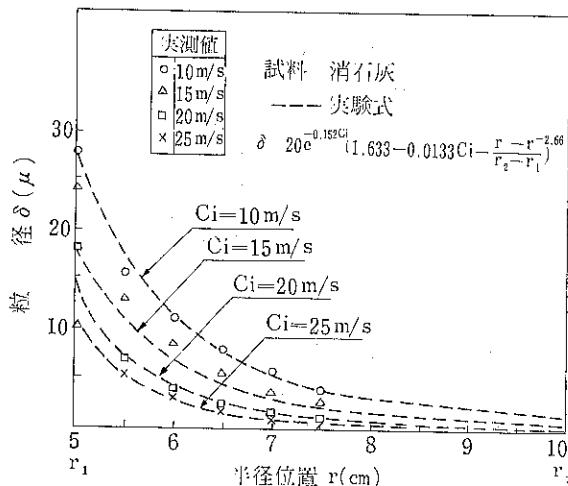
$C_i > 25$ m/sにおける再浮遊量はサイクロン分離器の形および入口速度などによって変わるので、この部分を除いたサイクロンの実用範囲で消石灰の最小捕集径の実験式を求めるとつぎのようになる⁵⁾。

$$\delta = 20 \cdot e^{-0.152 C_i} \left(1.633 - 0.0133 C_i - \frac{r_2 - r}{r_2 - r_1} \right)^{-2.66} \quad (16)$$

ただし、 δ ミクロン、 C_i は m/s の単位である。



図—9 最小分離径の流入速度および半径位置による変化



図—10 最小分離粒径の実験式と実測値の比較

06式の解と実測値を示すと図10のようになり，若干誤差はあるがその差は理論式よりも小さく数%にすぎないので実用上差支えないものと思われる．なお図4に $c_1 = 20 \text{ m/s}$ における実測値と実験式を示したが，図からも前記各理論式と実測値が違うと同時に全く逆の傾向になることがわかる．

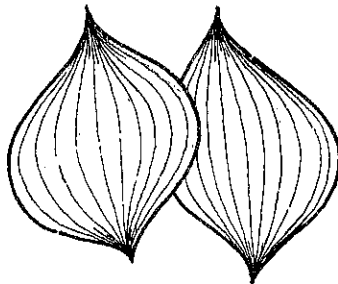
6. む す び

図4で明らかなように最小捕集径の各種の理論値はサイクロン分離器の内外筒の中間部でいずれも実測値の2倍以上になり，内壁近くでは逆に1/2位になる．また半径位置による捕集径の変化は図4で明らかなように実測値と逆の傾向になっている．なお δ_E ， δ_S などから求め

た最大排出径は δ_R ， δ_F ， δ_N 等の最小捕集径よりかなり大きくなるが，実測値には近くなっており，また δ_R ， δ_F よりも本文で求めた δ_N の方が合理的であり実際にも近いことがわかる．（終）

参 考 文 献

- 1) A.S.M.E., 49~A~127, Dec. (1949)
- 2) V.D.I., 76~433, Mar. (1932)
- 3) 上滝：機械学会論文集23—133（昭23—9）
- 4) 上滝：J.C.M. 6—1（昭35—6）
- 5) 北村，上滝，金原：日本機械学会九州支部講演論文集 No. 708—1（第23期総会講演会）



粉体の動的流動性指数の測定法

同志社大学工学部

三 輪 茂 雄
竹 内 和

1. は し が き

最近、粉体の流動性論議がとみに盛んになった感じである。とくに大学や研究所の人達の間で口角泡をとばす議論がなされているのが特徴的で、会社関係の人達は、どちらかといえば沈黙勝ちである。どうせ今の段階では設計上に関係してくるようなものは少なく、いわばひま人たちの議論の域を出ていないという評価が当たっているかどうか、ともかく体ごとぶっつけて問題と取り組んでいる現場の人達とは、まだまだ断絶がありそうである。

そもそも流動とは、多数の粒子が相互位置の変化をとる現象すべてに関連しており、そこで扱うべき課題の内容や性質は極めて多岐であって、その全貌は容易に把握することができない。ところが議論している各人それぞれ関心の対象がちがっていて、それぞれの対象の中に首までつかって話し合うから、話は噛み合いそうもない。

粉体の流動性が問題となる現象を、次のように大別してみることはどうであろうか。

① 閉および開放容器内流動

静止容器、振動容器、回転容器

② 流出現象

容器から、フルイ網目から、スリットから（したがって逆に粉体シールの問題を含む）

③ 粉体かくはん

④ 充填、圧縮（造粒を含む）

⑤ 浮游現象

流動層、フラッシング、エーレーション

これらのそれぞれが含む流動現象における粒子の運動形態は著しくちがっており、それらを区別することが必要であるが、現在ではまだその区別の視点は明確にはなっていない。

そこで筆者は、その一つの視点として、粒子の運動速度をとってみることを考えた。そして粒子の運動速度が

非常に大きいものの一例として、フルイ網の上で運動する粉体をとって、その流動現象を調べてみることにした。そして、粒子自身の運動速度が殆んどゼロの状態から起る典型的な流動現象として、非常によく研究されているオリフィスからの流出現象と、運動状態で起るフルイ網目からの流出現象とを比較することを試みた。

2. 網面上での粒子の運動¹⁾

フルイ網の運動は、フルイ機の型式によっていろいろあるが、解析的に比較的簡単であり、定常性のあるものとして、水平面内で円運動あるいは楕円運動するジャイロシフターあるいはロータップシユーカーをとり上げた。円運動する場合については、粒子の運動半径、および網面と粒子との相対速度は次式で示される。

ω : 網面の旋回運動の角速度 [radian/sec]

r_s : 網面の回転半径 [cm]

r_p : 粒子の回転運動の半径 [cm]

μ : 網面と粒子の摩擦係数 [—]

v_{sp} : 網面と粒子の相対速度 [cm/sec]

として

$$r_p = \frac{\mu g}{\omega^2} \quad (1)$$

$$v_{ps} = \sqrt{r_s^2 - r_p^2} \cdot \omega \quad (2)$$

例えば回転数 290 rpm, $r_s = 14$ mm, $\mu = 0.6$ の場合 $r_p = 0.6$ [cm], $v_{sp} = 38$ [cm/sec] となる。これはロータップシユーカーの場合も、楕円運動であるが、オーダーとしてこの値からそうちがっていない。

すなわち、フルイ網面上で運動している粉体は、粒子の運動速度がかなり大きく、したがって粉体が示す流動性も、静的な場合とはかなり違うことが予想される。そこでこれを動的流動性となづけた。動的流動性にはこのほかにもいろいろの場合があるので、もっと具体的にはフルイ流動性指数とでもいうべきであろう。

3. フルイ網目のオリフィスモデル

オリフィスからの粉体の流出速度については、多くの研究があるが²⁾、一般に次の形に書ける。

W_o : オリフィスからの重量流出速度 [tons/hr]

ρ_p : 粒子密度 [tons/m³]

α_1 : 試料粉体によってきまる定数

D_o : オリフィス径 [mm]

n : 指数 (2.5~3.0 位で2.7のことが多い)

として

$$\frac{W_o}{\rho_p} = \alpha_1 \cdot D_o^n \quad (3)$$

一方、フルイ網は、沢山のオリフィスが集まったものと考えることができ、オリフィス径の代りに網目開きをつかっても、上式に類似の式が成立するものと考えうる。

D_s : フルイ網の目開き [mm]

W_s : 一定面積の網からの重量通過速度 [tons/hr]
として

$$W_s \propto D_s^{2.7} \quad (4)$$

筆者は、研磨材、ケイ砂、ポリエチレン、塩ビ粉、でんぶんなど多くの粉体について実験した結果、次式をえた。

$$\frac{W_s}{\rho_p} = r \cdot D_s^n \cdot D_p^{-2}, \quad n=2.7 \quad (5)$$

r : フルイ流動性指数 (sieve flowability index)

すなわち、オリフィス径 D_o の代りに網目開きを D_s をつかって、オリフィスからの流動と類似の式が成立する。

4. フルイ流動性指数の意味と測定法

このような指数を考えたのは、もっと具体的な目的、すなわち、工業用スクリーンのフルイ処理能力推定に結びついた実験を通じてであった。いわゆる全通フルイというのがある。供給した粉体がすべて網目を通過する場合である。100%通過するのであったら、網を使う理由がないように思えるが、網を通過させることによって、凝集塊をほぐしたり、次のプロセスでの粉体の性質すなわち流動性や、充填状態を改善するとか、瞬間混合や混合促進（とくに微粉）など、各種の目的に使われる。また、100%パスではないが、ほんの僅かの混入異粒子を除去する場合も、極めて多い。フルイ機の実用例を調べてみると、こういう全通フルイというのは極めて多い。

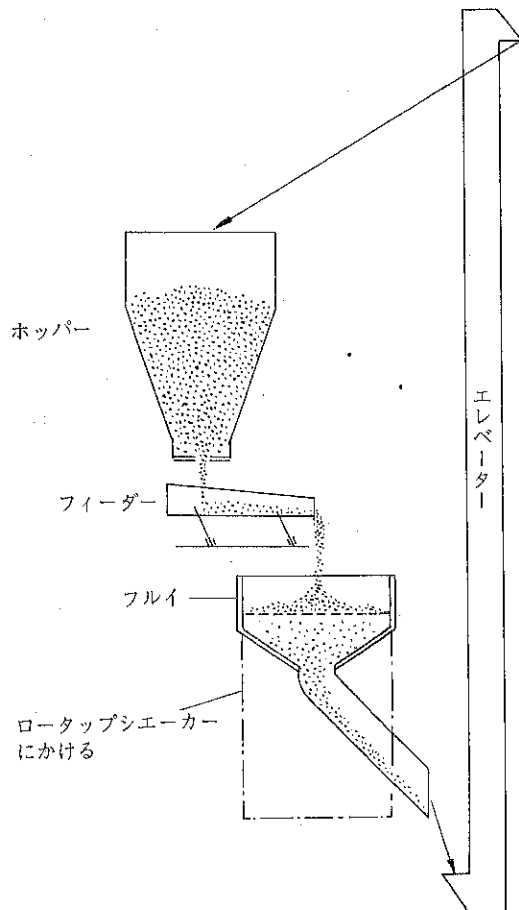
ところが、このような場合の処理能力、すなわち、単位時間の全通過量を推定する方法は確立していない。すべて実用機による実験結果に頼っているのが実情である。なるべく少量の試料を用いて、(フルイ機メーカーに提供されるサンプル量は少ないことが多いので)、正しい推定をしたい。そのための研究からスタートした。

フルイ機の運動形式は種類が多いので、当然、機種に

よっても通過速度はちがうから、このことは別に扱うこととして、まずフルイの運動形式として一番誰にもなじみ深く、特定のメーカーに偏らないものとして、粒度測定用の標準機たるロータップ・シェーカーを用いることにした。機種の問題は要すれば、これとの比較の問題として別に考えればよい。

したがってフルイ網の大きさも、標準フルイの 200 mmφ を使わざるをえないが、これも各種の網目が揃っていて便利であると考えた。そして、次のような測定法を決定した。

図1に示すように、ホッパー、フィーダー、フルイ、エレベーターを配置し、フルイはロータップ・シェーカーにかけて運動させておく。フルイに粉体を供給しはじめ、次第に供給量を増してゆく。供給量が少ない間は、供給しただけの粉体が全部通過するが、供給量が多くなるにしたがい、網面上の滞留量が増す傾向が生じ、ある供給量に達すると、急激に滞留量が増大する。この直前の、網面上に滞留してはいるが定常的に、供給しただけ



図一1 フルイ流動性指数測定装置

の粉体が通過する状態における重量供給速度を、臨界点における最大重量流出速度とし W_s [ton/hr] で表わす。

この W_s と、そのとき用いたフルイ網の目開き D_s との間に(5)式の関係が成立するときには $\log\text{--}\log$ 紙に D_s にたいして W_s をプロットすれば直線関係になるから、 $W_s=1$ [ton/hr] に対応する D_s の値を求めることができる。これを D_{s1} で表す。

この場合、200 mm ϕ したがって 0.0314m² のフルイ網を用いたので、1 m² 当りの流量に換算すれば

$$\frac{1}{0.0314}=31.8 \quad [\text{ton/hr}\cdot\text{m}^2]$$

この値を用いて(5)式をかくと、 r の値は次式で示される。

$$r = \frac{31.8}{\rho_p \left(\frac{D_{s1}}{D_p} \right)^2 D_{s1}^{0.7}} \quad (6)$$

ただし D_{s1} は [mm] 単位

この値を、フルイ流動性指数として使う。

5. 測定例と評価

現在までに測定したデータと、流動性に関連する特性値を表1に示した。

ここで Carr の流動性指数および噴流性指数は、細川粉体工学研究所で開発された測定器によって測定した。また Scott 円よりの μ_s というのは、(1)式の関係を用いて、 r_p を測定し、 μ_s を測定し、 μ_s すなわち粉体とフルイ網面との摩擦係数を求めたものである。

また粒子径 D_p は、平均粒子径の理論⁴⁾より体積長さ平均径を用いた。すなわち

$$\text{定義関数 } f(d) = K \cdot D_p^{-2} = K \cdot d^{-2}$$

重量分布について

$$f(d) = \Sigma(wKd^{-2}) = K \Sigma(wd^{-2})$$

表一1 フルイ流動性指数と関連特性値

粉 体 名	ρ_p	D_p [mm]	D_{s1}	r	(Scott 円 よりの μ_s)	Carr 流動性 指 数	Carr 噴流性 指 数	安定角 [度]
炭化ケイ素 SiC # 20	3.2	1.00	1.88	1.78	0.42	83	69	43
# 30	3.2	0.59	1.28	1.76	0.50	84	60	40
# 46	3.2	0.35	0.86	1.83	0.59	86	64	42
# 60	3.2	0.25	0.75	0.45	0.60	85	79	38
#100	3.2	0.125	0.35	2.60	0.60	81	70.5	38
溶融アルミナ Al ₂ O ₃ # 24	3.95	0.71	1.39	1.65	0.50			
# 30	3.95	0.59	1.06	2.38	0.60			
# 60	3.95	0.25	0.66	1.54	0.61			
# 80	3.95	0.177	0.58	1.14	0.66			
#150	3.95	0.074	0.32	0.96	0.71			
#180	3.95	0.062	0.26	1.18	0.75			
ポリエチレンビーズ	0.93	0.489	0.92	10.3	0.46	98	87	25
粒 状 尿 素	1.34	1.00	1.55	7.3	0.19			29
ケ イ 砂 (GG26~58)	2.5	0.406	0.91	2.71	0.71			
" (-149 μ)	2.5	0.074	0.29	1.97	0.61			
馬 鈴 薯 で ん ぶ ん	1.4	0.030	0.196	1.66	0.63	44	55.5	48
粒 状 ブ ド ウ 糖	1.6	0.292	1.17	1.10	0.60			
P V C 粉 末	1.0	0.15	0.92	0.89			0.293 0.32	39
消 石 灰	2.0	0.049	1.02	0.037	0.97	41	81	51
石 英 粉	2.5	0.053	0.90	0.044	0.79	49	58.5	64
タ ル ク	2.75	0.143	6.60	0.00056	0.94			75
シリカコーティング馬でん						55	78.5	32
アルファルファ				0.085		73	50	44
フェライト						55	54	49
石 膏						28	59	49

基本式 $\Sigma(wd^{-2}) = \Sigma(wD^{-2}) = D^{-2} \Sigma w$

$$D = \sqrt{\frac{w}{\Sigma(\frac{w}{d^2})}} = \sqrt{\frac{\Sigma(nd^3)}{\Sigma(nd)}} \dots (\text{体積長さ})$$

次に、フルイ処理能力の実用計算例を示す

〔例〕馬鈴薯でんぷんの粒子径は 30μ であるとし、これを面積 $3.6 [m^2]$ のジャイロシフターで、網目開き 98μ を用いてフルイ分けたい。処理能力はいくらか。ただし、安全係数は 2.0 とする。

〔解〕馬鈴薯でんぷんの粒子密度 $\rho_p = 1.4$ である。また $r = 1.66$ であるから (5) 式より

$$W_s = \rho_p \cdot r \cdot \left(\frac{D_s}{D_p}\right)^2 \cdot D_s^{0.7}$$

$$= 1.4 \times 1.66 \left(\frac{0.098}{0.030}\right)^2 \cdot 0.098^{0.7} = 4.9$$

[ton/hr·m²]

安全係数 2.0 として

$$2.45 \quad [ton/hr \cdot m^2]$$

実績値は、寿ジャイロシフター（徳寿工作所）の C 6 型の場合 $3.6 [m^2]$ で、 $2.5 [ton/hr \cdot m^2]$ であった。

6. あとがき

流動性の研究方向として、筆者は粉体を構成する粒子の運動速度、したがって、運動エネルギーに着目して整

理することが必要ではないかと考えている。その点で、フルイ網面上の粒子は、他の場合に比べて、運動速度が比較的大きく、前述のように $38 [cm/sec]$ あるいはそれ以上であり、速度の値も決定しやすいので、この面での研究を進めることは有意義であろう。未だ設備の点で不備な点があり、各種の試料と、それに関連する実績データを集めることにもなかなか困難な事情があって、本報は甚だ不完全なものとなってしまったが、何らかの参考になれば幸である。

なお、本研究遂行にあたって、Carr の流動性測定について、測定器を貸与されまた測定上の御指導をいただいた、細川粉体工学研究所の方々、および、フルイ分けの実績データについて資料を提供していただいた徳寿工作所に深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 三輪茂雄：“粉体のフルイ分け” p. 245 (1965)
(日刊工業新聞社)
- 2) 三輪茂雄：“粉碎” No. 8, 25~30, 34 (1962)
- 3) Miwa, S.: Preprint of Particulate Technology Seminar, Oct. 1969 in Kyoto.
- 4) 井伊谷, 三輪著：化学工学通論Ⅱ（朝倉書店）(1969)



公 害 と 粉 砕

塵 肺 研 究 所

中 村 喜 義

1. ま え が き

昨今、公害問題が国家的課題の一つとして登場し、その対策が焦眉の急を告げていることは、今更改めて指摘するまでもない。

文明の背面に伴って発生する公害を防止して安全で、清らかな、住みよい環境を維持することが現代社会における重要課題である。

公害対策基本法の第1条に「……もって国民の健康を保護するとともに、生活環境を保全することを目的とする」とある。

工業生産の増大、工業都市への人口の集中化に伴い、有害ガスと塵肺鉱物（浮遊粉塵）による大気汚染は、国民の健康を損ない生活環境を悪化しつつある。従って、排ガスと塵肺鉱物との発生防止対策技術の確立が緊急を要することはいうまでもない。

公害を解決するためには、もちろん優秀な発生防止技術の開発ならびに財政投資などの裏付けが必要であるが、その根底にはやはり、共有的な環境資源（水、空気など）を最大限に平等に利用するために「汚染されたものは必要なレベルまでに綺麗な環境に戻し、綺麗なものは汚染されないようにする」というきわめて単純な道理の実践が強調されねばならない。

鉱物科学の発展に伴い塵肺鉱物（浮遊粉塵）は人類生活上不離有害なることは、今さういうまでもない。しかるにその発生度はますます上昇し、これに反し発塵に対する防止対策は現状維持すら困難な状態である。学問の進歩につれ防塵学上その発生状態、理工学上の性質、Topochemistry, Topomineralogy, Biomineralogy等を究明せねばならないが、電子顕微鏡の大きさをもつ超微粒子のためか、いまだその本質を把握する道は開かれていない。

公害の発生源は人間であるという基礎にたつて、筆者の狭い視野から粉碎により発生する塵肺鉱物の防止技術の選択に関する実験結果を報告し、もって公害の絶滅という国家的命題のまえに、本誌がいささかでも寄与でき

れば望外の幸である。

2.1 試料の調整

実験に用いた試料を第1表に示す。原鉱の産する鉱床は第1表の岩相に詳記してあるが、橄欖岩より地球化学的変質作用（特に熱水変質作用）により生成した蛇紋岩鉱床である。試料は塊鉱の状態で顕微鏡学的に造岩鉱物を検出し後に全試料に対し同一粉碎方法で $<149\text{ }\mu$ 粒子群とした。

2.2 実験の方法

2.2.1 粒度分布および比重測定

塵肺鉱物の粒度分布測定法はMicron photo sizer法、粘土鉱物の超微粉体の粒度分布測定の水銀法（Elutriation analysis）、Andreasen pipette analysis、電子顕微鏡法等を併用した。比重の測定はTetrahydronaphthaleneを媒質として比重瓶法を用いた。

2.2.2 塵肺鉱物組成の決定

塵肺鉱物は超微粒子群であるため、その組成の探究は塵肺医学および防塵対策技術の選択上最も重要事項である。化学分析、蛍光X線分析、示差熱分析、X線粉末回折、電子顕微鏡による岩石鉱物学的分析等による。

2.2.3 塵肺鉱物の利用に関する実験

塵肺鉱物の利用の成否は防塵対策技術の選択、防塵設備の完備に影響するため重要事項である。従来は公害対策費は経営上度外視されていたが、現在は公害対策費が建設費の重点であることを忘れてはならない。そもそも鉱石（Ore）とは経済的に処理をして利益のあるものを鉱石という定義されている。

3. 実験結果

3.1 粒度分布および比重測定値

粒度分布測定値は第2表に示す。比重測定値は第1表に示す。

第1表 産地別蛇紋岩の特性

産地別 蛇紋岩	造 岩 鉱 物	化 学 式	ASTM Card No.	結晶系	比重	硬度	岩 相
(1) 山 部 (北海道)	Antigorite (板温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-402	単斜	2.6	2.5	蛇紋岩体は、Peridotite 体を残していない蛇紋岩化されたものと全く蛇紋岩化を受けていないものとがある。これは単位が異なるものと見られる。前者には Talc を有し、後者には Chromite を有する。
	Clino-chrysotile (斜温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-380	"	2.6	2.5	
	Actinolite (陽起石)	$Ca_2(Mg, Fe)_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	7-336	"	2.8	2.5	
	Talc (滑石)	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	13-558	"	2.7	1.2	
	Forsterite (苦土橄欖石)	Mg_2SiO_4	4-0768	斜方	3.3	6.7	
	Fayalite (鉄橄欖石)	Fe_2SiO_4	9-484	"	4.1	6.4	
	Chromite (クローム鉄鉱)	$FeCr_2O_4$	11-262	等軸	4.3	5.6	
(2) 官 守 (岩手県)	Antigorite (板温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	7-417	単斜	2.6	2.5	本帯の蛇紋岩体は肉眼的に帯青緑色を呈する軟質の典型的な蛇紋岩である。顕下では少量の Forsterite と、Peridotite から Antigorite 化、Serpentine 化及び Actinolite 化したものがある。
	Serpentine (蛇紋石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	9-444	"	2.6	3.0	
	Clino-chrysotile (斜温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-381	"	2.6	2.5	
	Actinolite (陽起石)	$Ca_2(Mg, Fe)_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	7-336	"	2.8	2.5	
	Forsterite (苦土橄欖石)	$2(Mg_{0.90} Fe_{0.10})O \cdot SiO_2$	7-75	斜方	3.2	6.6	
	Fayalite (鉄橄欖石)	$2(Fe_{0.94} Mg_{0.06})O \cdot SiO_2$	7-164	"	4.0	6.3	
	Chromite (クローム鉄鉱)	$FeO(Cr, Al)_2O_3$	3-0873	等軸	4.2	5.3	
(3) 宇 津 峰 (福島県)	Antigorite (板温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-402	単斜	2.6	2.5	蛇紋岩といわれるものの大部分は、やや蛇紋岩化作用の進んでいる Peridotite で、主成分鉱物は一般と同様の Forsterite と少量の Enstatite が行なっている。結晶粒間が Antigorite 化し、葉片状 Actinolite が見られる。又 Peridotite が全く蛇紋岩化した岩石であっても Forsterite の構造が Mesh-Structure として残る。
	Serpentine (蛇紋石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	9-444	"	2.6	3.0	
	Actinolite (陽起石)	$Ca_2(Mg, Fe)_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	7-336	"	2.8	2.5	
	Forsterite (苦土橄欖石)	Mg_2SiO_4	4-0768	斜方	3.3	6.7	
	"	$2(Mg_{0.90} Fe_{0.10})O \cdot SiO_2$	7-75	"	3.2	6.6	
	Fayalite (鉄橄欖石)	$2(Fe_{0.94} Mg_{0.06})O \cdot SiO_2$	7-164	"	4.1	6.4	
	"	Fe_2SiO_4	9-484	"	4.0	6.3	
	Enstatite (頑火輝石)	$MgSiO_3$	7-216	"	3.2	5.4	
(4) 香 椎 (福岡県)	Chromite (クローム鉄鉱)	$FeO(Cr, Al)_2O_3$	3-0873	等軸	4.2	5.3	三群帯中にある蛇紋岩体では花崗岩の接触変成をうける。蛇紋岩体中には Chromite, Talc の鉱床がある。原岩は Peridotite 体であって Clino-chrysotile → Antigorite → Talc への変質作用が進み、滑石はその接点では角閃石は尖晶石、金雲母、紅柘榴石に変化している。滑石化の前に石綿化が伴っている。石綿は角閃石綿である。
	Antigorite (板温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-402	単斜	2.6	2.5	
	Clino-chrysotile (斜温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-380	"	2.6	2.5	
	Actinolite (陽起石)	$Ca_2(Mg, Fe)_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$	7-336	"	2.8	2.5	
	Paragomite (角内石綿)	$(Na, K)Ca_2Mg_4Al_3Si_6O_{22}(OH)_2$	11-493	"	3.0	5.4	
	Phlogopite (金雲母)	$KMg_3(Si_3AlO_{10})(OH)_2$	10-493	"	2.7	2.8	
	Talc (滑石)	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	13-558	"	2.7	1.2	
	Forsterite (苦土橄欖石)	Mg_2SiO_4	4-0768	斜方	3.3	6.7	
	Pyrope (紅柘榴石)	$(Mg, Fe)_3Al_2Si_3O_{12}$	2-1008	等軸	3.5	7.3	
	Spinel (尖晶石)	$Mg(Al_{0.91} Fe_{0.09})O_4$	2-1075	等軸	4.0	7.7	
(5) 越 生 (埼玉県)	Deweylite (デューエー石)	$(Mg, Fe)_3(Si, Al)_8O_7(OH)_4 \cdot 4H_2O$	13-532	単斜	2.2	2.0	本帯の超基性岩は Peridotite 体が完全に蛇紋岩化した、帯青緑色の典型的な蛇紋岩である。超微粒子群は完全な Deweylite 化している。従って結晶水多く MgO は低い。
	Serpentine (蛇紋石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	9-444	"	2.6	3.0	
	Antigorite (板温石)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	10-402	"	2.6	2.5	
	"	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	7-417	"	2.6	2.5	
	Alumian Serpentine (アルミノ蛇紋岩)	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$	11-96	"	2.4	2.3	

第2表 産地別蛇紋岩の149(μ)全通品の粒度分布

試料 番号	産地	鉱山	<149(μ)粒子群の粒度分布(%)					計
			149~105 (μ)	105~74 (μ)	74~44 (μ)	44~10 (μ)	<10(μ)	
(1)	北海道	山部	18.8	34.3	35.5	8.6	2.8	100.0
(2)	岩手県	宮守	11.1	28.8	34.9	18.8	6.4	100.0
(3)	福島県	宇津峰	14.6	31.4	32.6	16.6	4.8	100.0
(4)	福岡県	香椎	18.3	32.6	32.5	13.3	3.3	100.0
(5)	埼玉県	越生	6.7	26.3	34.2	22.2	10.6	100.0

第3表 産地別蛇紋岩<149(μ)粒子群及び焙焼鉱の化学組成

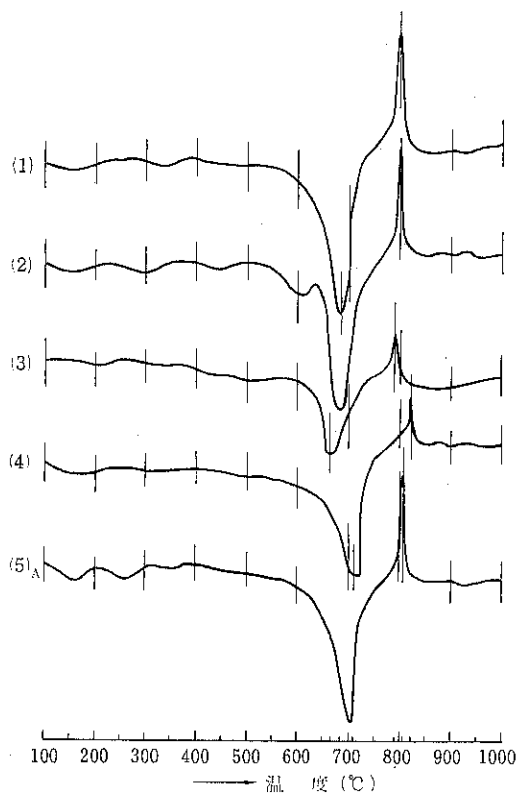
試料 番号	産 地 別 蛇 紋 岩	处理	焙焼条件		化 学 組 成 (%)															
			温度 (°C)	時間 (分)	灼熱 減量	SiO ₂			MgO			Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	NiO	計		
						全量	可溶 性	可溶 率	全量	遊離	可溶 性	可溶 率								
(1)	山 部 (北 海 道)	原鉱	630	60	13.57	37.82	0.62	1.63	38.43	0.74	0.56	1.41	4.80	0.46	5.12	2.03	0.43	0.11	99.85	
		焙鉱			12.30	42.47	13.55	31.94	43.16	7.86	14.54	33.7			0.04					
(2)	宮 守 (岩 手 県)	原鉱			13.22	38.18	0.48	1.33	38.02	0.58	0.42	1.12	2.65	0.31	4.71	1.88	0.68	0.16	99.89	
		焙鉱			11.30	42.49	14.20	33.44	42.32	9.28	14.50	34.4			0.07					
(3)	宇 津 峰 (福 島 県)	原鉱			12.00	37.45	0.53	1.43	37.78	0.88	1.70	4.51	1.73	0.67	7.06	1.66	0.21	0.20	99.79	
		焙鉱			10.90	41.53	14.34	31.34	41.90	7.13	18.90	45.1			0.05					
(4)	香 椎 (福 岡 県)	原鉱			13.92	37.24	0.68	1.83	37.66	0.73	0.52	1.21	4.00	0.29	5.82	2.64	0.63	0.14	99.87	
		焙鉱			12.30	38.84	5.53	14.23	39.28	7.15	8.92	20.6			0.16					
(5)A	越 生 (埼 玉 県)	<149(μ) 粒子群 Deweylite 10%以下			原鉱	14.14	37.46	0.54	1.43	37.96	0.77	0.54	1.41	1.68	0.24	6.11	1.44	0.71	0.10	99.89
		焙鉱			12.30	42.07	17.55	41.34	42.63	9.88	20.20	47.3			0.04					
(5)B	生 (埼 玉 県)	<44(μ) 粒子群 Deweylite 40%以下			原鉱	15.82	33.58	0.49	1.33	32.14	0.72	0.56	1.52	2.89	0.18	12.13	2.39	0.63	0.08	99.84
		焙鉱			12.56	36.67	20.14	54.93	35.59	10.35	21.90	61.5			0.16					
(5)C	生 (埼 玉 県)	<10(μ) 粒子群 Deweylite 70%以上			原鉱	16.30	31.46	0.42	1.23	30.98	0.68	0.59	1.63	1.13	0.13	14.66	2.68	0.46	0.07	99.87
		焙鉱			11.80	34.17	16.10	47.13	33.34	6.94	8.51	25.5			0.22					

3.2 塵肺鉱物組成および化学組成

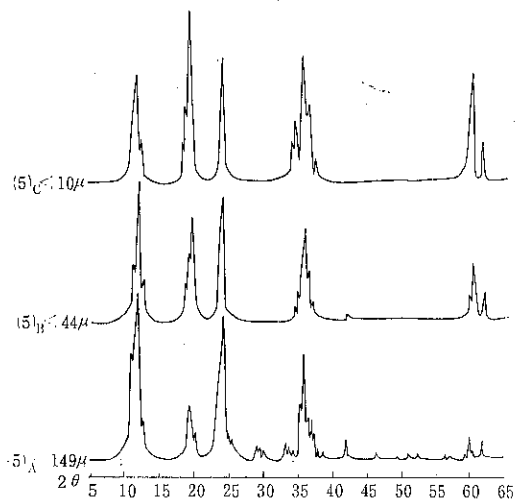
塵肺鉱物の組成、産地別蛇紋岩の造岩鉱物組成は、第1表、第3表、第1図のDTA曲線、第2図のX線粉末回折線図および第4表（その一およびその二）に示す。産地別蛇紋岩の5試料のうち第5試料の越生蛇紋岩中の塵肺鉱物の結果を報告する。越生蛇紋岩の造岩鉱物は第1表に示す通りであるが、粉碎によって発生した塵肺鉱物を分類すれば次の如し。

塵肺鉱物 (<10 μ 粒子群) $\left\{ \begin{array}{l} \text{重塵肺鉱物 (<5}\mu\text{粒子群)} \\ \text{(Heavy pneumoconiosis minerals)} \\ \text{軽塵肺鉱物 (5~10}\mu\text{粒子群)} \\ \text{(Light pneumoconiosis minerals)} \end{array} \right.$

<10 μ 粒子群の鉱物組成は第1図の(5)および第2図の(5)に示す如く Deweylite (デウエー石) と Aluminian serpentine (アルミ質蛇紋石) の2種である。Deweylite の量が70%存在するため、この塵肺鉱物の多量吸塵により発生する塵肺症名はデウエー石症である。この検定は第2図の回折線図より第4表（その一、その二）の ASTM card と比較して定める。もちろん化学式、

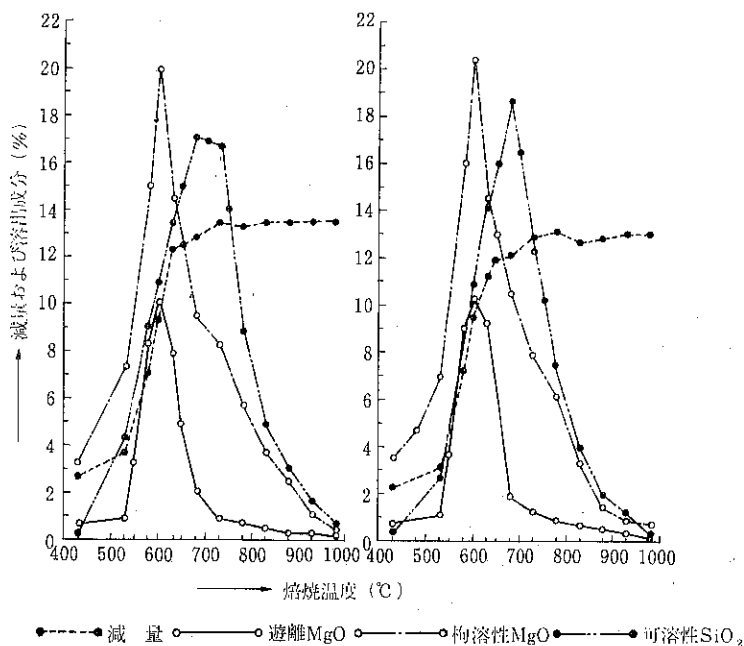


第1図 産地別蛇紋岩のDTA曲線

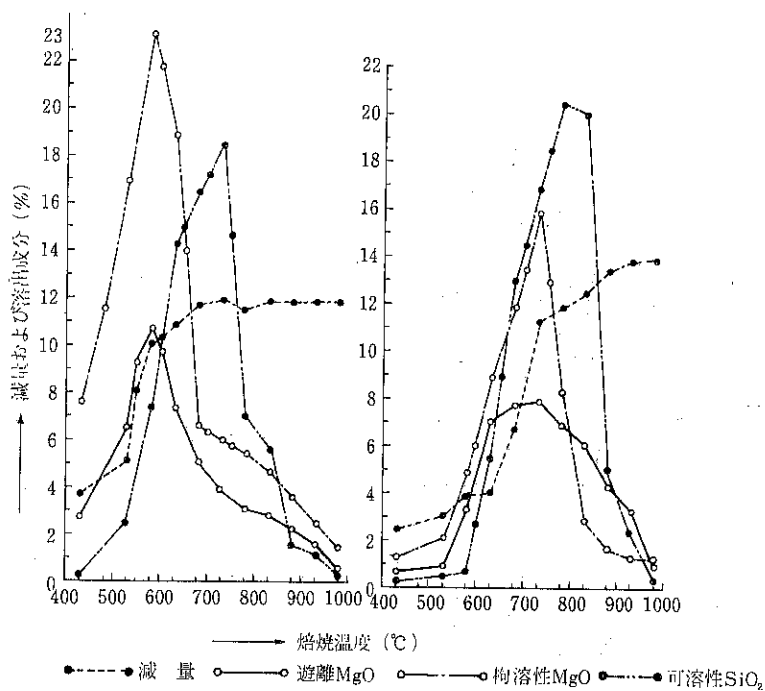


CaK α , Ni Filter, 30kV, 20mA, Countfull scale C/S, Time constant 1 sec, Scanning speed 2 °/min, Chart speed 2 cm/min, Divergency 1°, Receiving slit 0.15 mm.

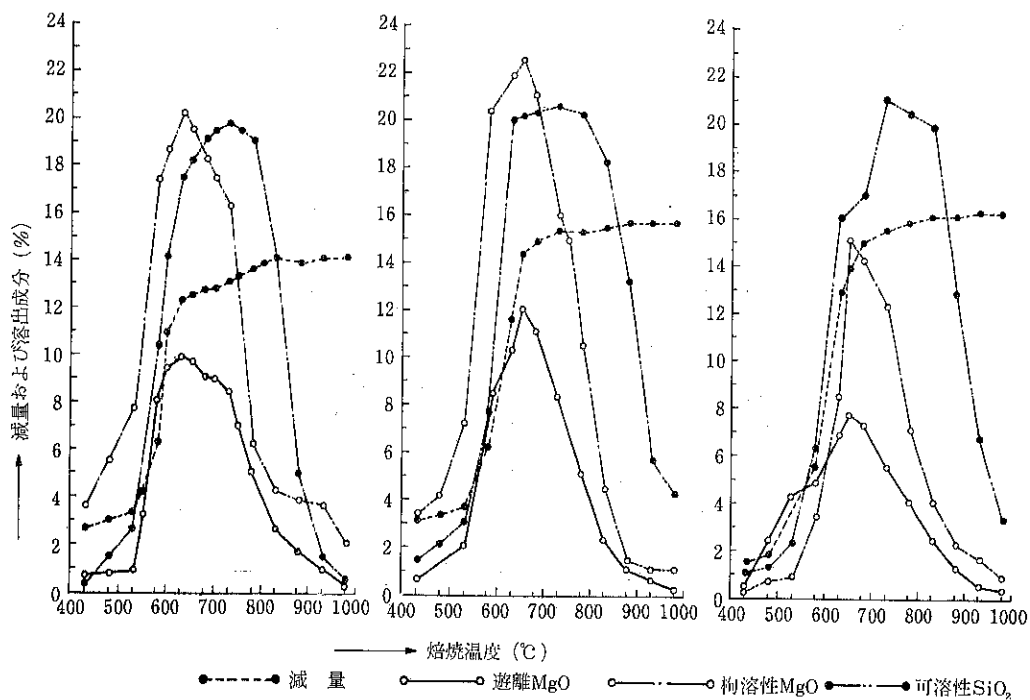
第2図 越生蛇紋岩の粒子群別試料のX線粉末回折線図



第3図 山部、宮守蛇紋岩の焙焼温度と減量及び溶出成分との関係



第4図 宇津峰、香椎蛇紋岩の焙焼温度と減量及び溶出成分との関係



第5図 越生蛇紋岩粒子群別の焙焼温度と減量及び溶出成分との関係

第4表 越生蛇紋岩の粒子群別試料のX線粉末回折線

越 生 蛇 紋 岩						Deweylite		Antigorite				Serpentine		Aluminian Serpentine				Forsterite				
(5)A <149μ 粒 子 群			(5)B <44μ 粒 子 群			(5)C <10μ 粒 子 群		ASTM Card No. 13-532		ASTM Card No. 10-402		ASTM Card No. 7-417		ASTM CardNo. 9-444		ASTM Card No. 13-4		ASTM Card No. 11-96		ASTM Card No. 7-74		
2θ	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁
11.8	7.49	60	7.49	30	7.49	60	7.46	55														
12.1	7.31	100	7.31	100					7.28	100	7.30	100	7.33	100								
12.3	7.18	23	7.18	24	7.18	25											7.17	80				
12.5																7.09	100					
12.7											6.95	24										
13.6											6.51	16										
16.5													5.36	40								
17.4																			5.10	50		
19.1									4.64	30												
19.3	4.60	30	4.60	22	4.60	24							4.60	60	4.60	40	4.59	70				
19.4	4.57	30	4.57	28	4.57	44											4.57	100				
19.5	4.55	15	4.55	60	4.55	100	4.55	100														
20.2													4.40	10								
20.6																			4.30	10		
20.8									4.26	20	4.27	4										
20.9													4.25	10	4.23	10						
21.7													4.09	10	4.04	10						
22.9																			3.88	70		
23.0															3.86	20						
24.3	3.66	84	3.66	70	3.66	70	3.66	40					3.66	100								
24.5											3.68	80										
24.8	3.60	18							3.60	80			3.60	8								
25.1													3.53	5	3.55	70						
25.4											3.51	24										
25.5																			3.49	10		
25.6																			3.47	20		
29.4	3.04	8																				
29.6	3.02	7											3.02	5								
29.8																			3.00	10		
29.9																			2.99	10		
32.0															2.80	10						
32.4																			2.76	60		
33.2	2.70	10											2.70	5								
33.8	2.64	8	2.64	8	2.64												2.64	40				
34.2	2.62	6											2.62	30	2.62	35						
34.5	2.59	6	2.59	24	2.59	34	2.59	35	2.59	4												
34.8	2.58	6							2.58	20	2.57	8										
35.2	2.55	30																				
35.4	2.53		2.53						2.52	70												
35.6	5																		2.51	70		
35.8	2.50	60	2.50	54	2.50	72	2.50	65					2.50	100	2.49	80	2.50	50				
36.6	2.45	22	2.45	28	2.45	44	2.45	50					2.45	10								
37.0	2.42	22									2.42	38	2.42	10								

越 生 蛇 紋 岩						Deweylite		Antigorite				Serpentine		Aluminian Serpentine				Forsterite				
(5)A <149μ 粒 子 群			(5)B <44μ 粒 子 群			(5)C <10μ 粒 子 群		ASTM Card No. 13-532		ASTM Card No. 10-402		ASTM Card No. 7-417		ASTM Card No. 9-444		ASTM Card No. 13-4		ASTM Card No. 11-96		ASTM Card No. 7-74		
2θ	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁	d (Å)	1/1 ₁
37.6	2.39	8	2.39	10	2.39	14			2.39	20	2.39	9					2.39	40				
38.0															2.37	25						
38.5																			2.34	20		
38.6	2.33	5											2.33	70	2.32	32						
39.0																			2.31	10		
39.7																			2.27	40		
40.1																			2.25	30		
40.2									2.24	5	2.24	6										
40.8									2.21	10	2.21	7										
41.6									2.17	10	2.17	7										
41.8																			2.16	10		
42.0	2.15	12	2.15	4					2.15	30	2.15	20	2.15	60								
42.2	2.13	5							2.12	2	2.13	4			2.13	35						
46.4													1.96	70								
46.8														1.94	45							
48.7																			1.87	20		
49.8											1.83	12										
50.5									1.81	10	1.81	23	1.81	5								
50.8	1.79	7											1.79	10								
51.4									1.78	30	1.78	14										
52.0											1.76	4			1.76	16						
52.3																			1.75	40		
52.4	1.74	5							1.74	10	1.74	10	1.74	10	1.74	2						
53.0																			1.73	10		
56.1	1.64	5									1.64	2	1.64	40					1.62	20		
56.7																						
57.0	1.61	10													1.61	20						
59.6	1.55	4							1.55	50	1.56	12			1.56	2						
60.0	1.54	13																				
60.4	1.53	5	1.53	34	1.53	26	1.53	85	1.53	40					1.53	20	1.53	100				
60.6	1.52	5							1.52	20	1.52	13										
61.7	1.50	12	1.50	16	1.50	23			1.50	20			1.50	70	1.50	25	1.50	40				
62.3																			1.49	20		
63.2																			1.47	20		

構造式，化学分析値から理論的に定めるものである。

3.3 塵肺鉱物の利用

越生蛇紋岩は第1表に示す如く軟質で硬度は2.5以下であるため埼玉県下の舗装道路の基礎固めに使用され，そのため碎石場の塵肺予防研究として実験に着手したのである。第3図，第4図，第5図は，本邦の産地別蛇紋岩に対する加熱によるMgO（枸溶性苦土）およびSiO₂（可溶性珪酸）の溶出量の実験値図である。特に越生蛇

紋岩は枸溶性 MgO，可溶性 SiO₂ の焙焼条件が第5表に示す如く他の蛇紋岩に比し効果的であることが実験により判明した。これを原料として，デウエー石源焼成硼素苦土珪酸肥料，石炭源焼成硼素苦土珪酸肥料，微粉炭燃焼灰源焼成硼素苦土珪酸肥料を製造し農林省農業技術研究所の指定農業試験場（宮崎県，大阪府，静岡県，長野県）で肥効試験中で，明年度より全購連を通じ販売されることであろう。

第5表 産地別蛇紋岩<149(μ) 粒子群の焙焼温度とその効果

焙焼温度(°C)		430	530	580	600	630	650	680	700	730	750	780	880	980
産地別 蛇紋岩	分析値 (%)													
(1) 山 部 (北海道)	減 量	2.61	3.76	7.15	9.34	12.30	12.56	12.92		13.55		13.37	13.56	13.57
	遊離 MgO	0.75	0.92	8.39	10.14	7.86	4.91	2.12		0.98		0.75	0.35	0.30
	枸溶性MgO	3.34	7.40	15.17	19.53	14.54	12.55	9.50		8.35		5.75	2.48	0.52
	可溶性SiO ₂	0.34	4.34	9.15	11.00	13.55	15.00	17.16	17.00	16.76	14.06	8.93	3.18	0.72
(2) 宮 守 (岩手県)	減 量	2.34	3.61	7.35	9.56	11.30	12.00	2.18		12.93		13.16	13.20	13.22
	遊離 MgO	0.75	1.15	9.16	10.36	9.28		1.92		1.36		0.94	0.50	0.24
	枸溶性MgO	3.50	6.94	16.00	24.13	14.56	13.02	10.50		7.90		6.15	1.50	0.75
	可溶性SiO ₂	0.36	2.74	8.50	10.93	14.20	16.00	18.72	16.50	12.34	10.30	7.54	2.00	1.16
(3) 宇 津 峰 (福島県)	減 量	3.75	5.16	10.16	10.36	10.90		11.70		11.91		11.56	11.90	11.95
	遊離 MgO	2.70	6.54	10.76	9.78	7.33		5.15		3.92		3.16	2.34	0.76
	枸溶性MgO	7.60	16.95	23.14	21.80	18.90	14.03	6.56	6.40	6.02	5.80	5.50	3.74	1.74
	可溶性SiO ₂	0.32	2.53	7.60	9.70	14.34	14.96	16.50	17.20	18.51	14.70	7.13	1.75	0.36
(4) 香 椎 (福岡県)	減 量	2.53	3.16	3.83		4.30		6.75		11.30		11.90	13.50	13.92
	遊離 MgO	0.74	0.94	3.32		7.15		7.74		7.92		6.91	4.30	0.90
	枸溶性MgO	1.30	2.13	4.90	6.00	8.92	10.00	11.93	13.50	15.90	12.97	8.35	1.75	0.34
	可溶性SiO ₂	0.38	0.56	0.78	2.75	5.53	8.90	13.00	14.53	16.92	18.90	20.50	5.00	0.30
(5) 越 生 (埼玉県)	(5A) <149(μ) 粒子群 Deweylite 10%以下	減 量	2.71	3.35	7.30	11.00	12.30	12.52	12.76	12.80	12.90	13.22	13.75	13.90
		遊離 MgO	0.70	0.91	8.16	9.53	9.88	9.75	9.13	9.00	8.50	7.00	5.16	1.75
		枸溶性MgO	3.60	7.74	17.38	18.60	20.20	19.50	18.31	17.50	16.31	14.96	6.40	3.92
		可溶性SiO ₂	0.40	2.74	10.41	14.12	17.50	18.20	19.13	19.40	19.70	19.41	19.14	5.00
	(5B) <44(μ) 粒子群 Deweylite 40%以下	減 量	3.14	3.74	6.35	8.00	11.14	14.30	14.91	15.00	15.30	15.31	15.32	15.80
		遊離 MgO	0.76	2.13	8.51	9.00	10.35	12.15	11.15	10.00	8.35	6.90	5.16	1.15
		枸溶性MgO	3.38	7.30	20.40	21.00	21.90	22.54	21.16	20.00	16.10	15.00	10.51	1.53
		可溶性SiO ₂	1.30	3.10	7.75	12.00	20.14	20.30	20.40	20.46	20.60	20.41	20.30	13.30
	(5C) <10(μ) 粒子群 Deweylite 70%以上	減 量	4.50	4.70	4.90	8.10	12.90	13.90	15.00	15.30	15.50	15.70	15.90	16.10
		遊離 MgO	0.50	4.30	4.90	5.80	6.94	7.70	7.30	6.60	5.50	5.00	4.10	1.30
		枸溶性MgO	0.36	0.90	3.50	5.90	8.51	15.10	14.30	13.50	12.30	10.00	7.10	2.30
		可溶性SiO ₂	1.10	2.30	6.30	11.30	16.10	16.40	17.00	18.50	21.00	20.70	20.50	12.90

4. む す び

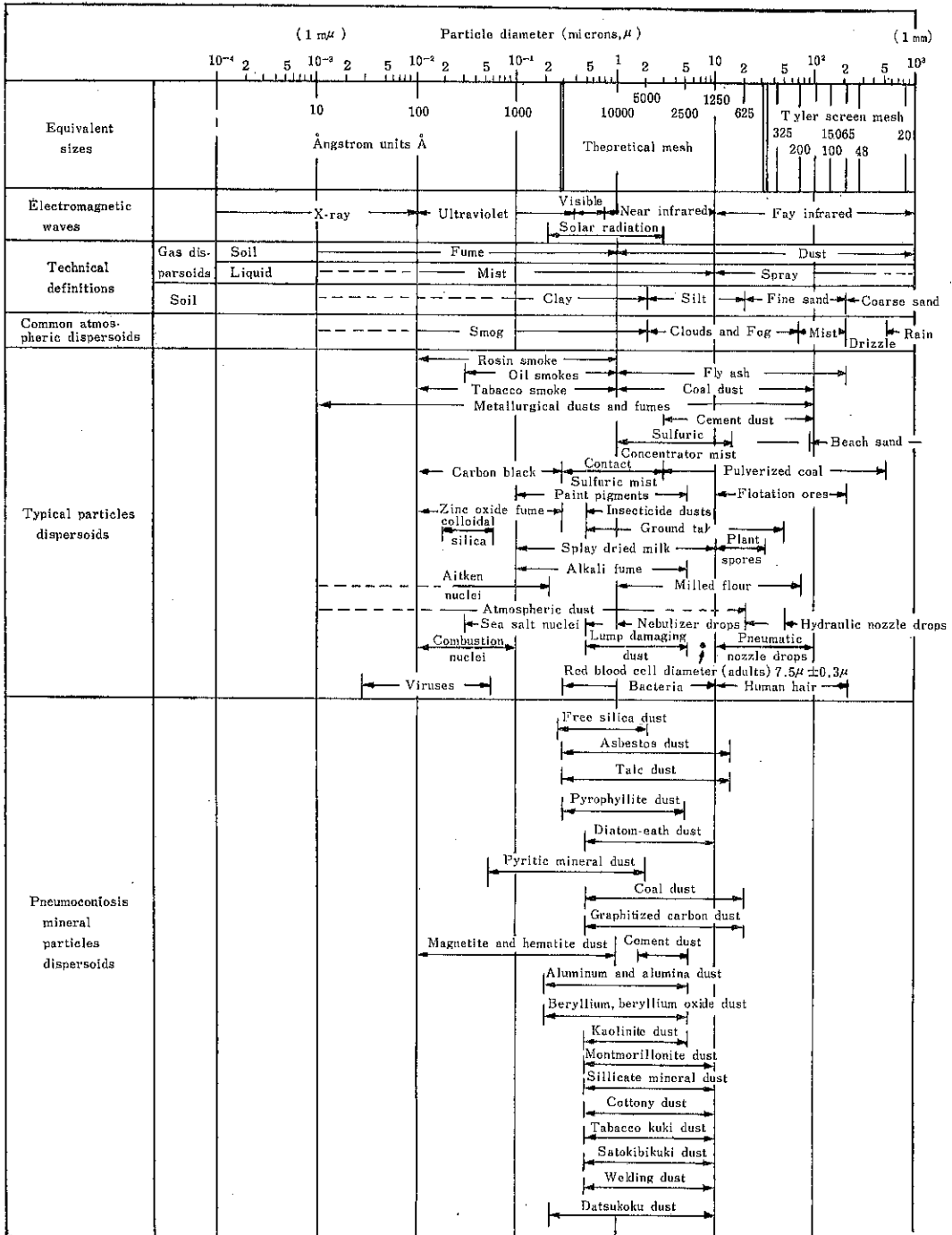
1) 越生蛇紋岩の塵肺鉱物組成はX線粉末回折および化学分析結果, Deweylite [(Mg, Fe)₃ (Si, Al)₃ O₇ (OH)₄ • 4H₂O], Aluminian serpentine [Mg₅ Al₂ Si₃ O₁₀ (OH)₃] の二種類である。第3表の化学組成にて明らかな如く<10μ 粒子群の Al₂O₃, Fe₂O₃ の含有量は<149μ 粒子群の2倍である。逆に MgO, SiO₂ においては10%減である。このことは結晶水の多い Deweylite が多量に含まれているからである。本塵肺鉱物を多量吸塵すると Deweylite pneumoconiosis (デューエー肺症) となるのである。

2) 本塵肺鉱物の含有する蛇紋岩の焙焼において、試料

(1)~(4)の蛇紋岩の焙焼と異なり同一焙焼温度で MgO, SiO₂ の溶出量が多いことである。これは結晶水の多い Deweylite の存在のためであることが判明した。したがって将来本郊では新しい肥料が生れるのである。

3) 塵肺鉱物10%以上含有する鉱物の粉碎工場設備は全て完全なる発塵防止技術によらなければならない。筆者は設計にあたり、粉碎機として Moving rod mill, Super micron mill, 分級機として Micron separator, 混合機は防塵型 Nauta mixer, 集塵機は Pulsaire collector, また塵肺鉱物の工場内濃度増加防止と排ガス混合外気の工場内導入の清浄化のためにも米国製金属汚濁布を使用した Pulsaire を使用する考えである。

終りにあたり塵肺鉱物および大気汚染排ガスの特性を表わした図を第6図に示す。



第6図 塵肺 鉱物の特性

貯 槽 内 粉 体 圧

Bin Loads

— 大型のビン・ホッパーの設計 —

A.W. Jenike & J.R. Johanson

J. of the Structural Division (Proc. of the Am. Soc. of Civil Engineers)

細川粉体工学研究所

抄 訳

鈴木 雅 之

ま え が き

現在でも、大型のビンやサイロに亀裂が出来たり、破壊したり、極端な場合は折れ曲がったり底が抜けたり、といったトラブルは少なからず起っているそうである。

最近、化学工学協会の中に「粉体貯槽の設計基準に関する研究会」という研究グループが出来て、既出の文献や粉体圧のデータなどを集めているが、このグループではさらに独自の大型もしくは中型の装置を使った実験を行ない理論的な検討をして、より確かな設計基準を作ろうとする意図をもっている。

ここに抄訳する文献は、定説といったものをなかなか主張しにくいこの分野にあって、特に「容器内粉体流れ、の速度場および応力場に関する精力的な研究をして有名な Jenike & Johanson の彼ら自身の仕事の最近の「まとめ」である。その他に「序文」においては、粉体圧に関する19世紀から今日までの多くの研究者をまとめて紹介し、相当量の文献を挙げている。

従って本文は、コンパクトな総括書として、現場で粉体貯槽の設計にタッチする技術者にも、かなりまとまった知見として参考になるのではないかと思う。

A. 序 文

大型のビンやサイロが初めて作られたのは1860年代で、穀粒の貯蔵がその主な目的であった。以来、大型の物から小型の物までおびただしい数のビンやサイロが、一般に bulk solids と呼ばれる 巾広い粉体—穀粒 (grains)、塊粒 (lumps)、繊維粉体 (fibers)——の貯槽として作られてきた。

これらの貯槽の初期の設計者達は、粉体を液体のよう

に考え、粉体のおよぼす壁圧を液圧に等価なものとして扱い強度計算をした。Robert (2.3) の実験は、粉体のおよぼす壁圧がビンの深さに比例して増加せず粉体の重量のいくらかが壁面摩擦として吸収されることを、小型のビンと大型のビンの両方で確めたものであった。ビンの深い部分の壁圧が等価の液圧よりも低い値を示すことから、その部分で壁面が垂直方向に圧縮を受けていることが分る。このような粉体壁圧を計算するのに、同筒型ビンの場合のヤンセン(4)の式がある。Airy (6) も別の計算方法を提出している。以来おびただしい実験的研究が Prante (5), Jamieson (8), Bovey (9), Lufft (10) によって行なわれ、Ketchum (14) は、これらのデータを実際に役立たせうように整理した。

ビンの設計の問題は、材質の向上と構造上の設計方法が安全率の低下をもたらした1930年代に一応解決したかに見えたが、それ以降でもビンの構造上の破壊が相次いで起こり、ビンローディングに関する研究もまた増えていった。Prante は粉の壁圧が Janssen, Airy, Ketchum の言うようなコンスタントな値はとらず、供給した時と流れている時とで巾広く変動することを観察した。この事実は Shumsky (37), Bernstein (43), Reimbert 兄弟 (74), Bergau (88), Kovtun; Platnov (86), Kim (90), Pieper; Wenzel (100), Turitzin (102), Blanchard; Walker (129) らの実験によってさらに確められた。さらに精密な実験により、流れ時の壁圧は初期ローディングのそれより2~4倍高くなりサイロの底部よりはもっと上の部分に高い集中力が働らく事なども明らかになった。(Shumsky; Pieper, Wenzel; Walker) 新らしい理論も Reimbert 兄弟 (74), Caquot, Kerisel (73) らによって提出された。ビン内粉体圧力場の解析に関する Kötter の

考えが再びここで注目され Ihde (51), Nanninga (75) によってビンロードの不確定な分布と変動を説明するに適用された。Kötter の説というのは、容器への供給時の初期圧力場では、内部は主働圧が支配し、流れの間には受働圧が働らくとするものであった。この説は今では Ohde (51), Jenike (60), Nanninga (75), Pieper, Mittelman, Wenzel, Schnelle (113, 118), Walker (120) によって支持されている。特に Nanninga は、マスの釣り合いから考えてビンの上部の主働応力場とその下の受働応力場との境に高い集中力が生ずるべきことを主張した。

筆者らがビンロードに関して特に興味を持ったのは、1965年においてであった。それより以前われわれは粉体の流れの場の研究をしていた。[Jenike (60, 63, 87, 92, 98, 100, 101, 104, 107, 110, 112, 120, 128), Johanson (108, 111, 115, 124, 126)] これらの仕事は粉体の挙動と流れの際のビン中の粉体内圧力場に関してひとつの知見を与え得たと思う。

本文では、初めに理論のアウトラインを示し、次にマスフローホッパー用の設計データの例を挙げ、最後にマスフローホッパーの場合につき initial loading と flow loading の計算方法の概略を示した。*(現在のビンの多くは funnel-flow 型となっているが、マスフロー型の操作上その他における利点が徐々に理解されてきている)

B. 理論のアウトライン

1. 圧力の場の弾性状態と降伏限界状態—粉粒体 (bulk solids) の主応力平面内に働らく応力には次式の関係がある。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} < \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} + \frac{2c \cos \phi}{\sigma_2 (1 - \sin \phi)} \quad (1)$$

σ_1, σ_2 はそれぞれ最大と最小主応力、 c は附着力 (cohesion)、 ϕ は内部摩擦角である。そして不等号は圧力の弾性状態を表わし、等号は降伏の限界状態を表わす。さらに附着性粉体 ($c > 0$) の場合 c の値は粉体層の圧密の度合によって変化する。

2. すべり—等方性の附着性粉体の mass を考えて、(圧力方向と歪速度テンソル方向とが一致するという意味) これに限界圧力が働いた状態を考える場合、その限界圧力は、mass 内のある平面に選択的に働らく。そしてその粉体は、それらの平面に沿って剪断を受けたり (すべりを生じたり) 膨張したりする。mass の等方性は、このプロセスで破られ附着力の値は降伏平面付近で不連続に変化する。(1)式はこのような降伏に到る初期

の圧力状態においてのみ満足される。

3. 流れ—粉粒体の流れは、その内部で、圧力が粉体の等方性を破らずに剪断を生ぜしめるという意味から降伏の特殊な状態であると言える。流れの間、粉体の嵩密度は内部圧力の関数である。従って圧が一定のとき、その粉体は定密度で剪断されたことになり、圧が増加する場合、粉体は圧縮され嵩密度は増加する、逆に圧力が減少するとき、その粉体は膨張し嵩密度は減少する。粉体の流れは、このような内部での不確定性を持ちつつ進行しうる。*

流れの間の主応力値の測定によると、かなり広い圧力の範囲で σ_1/σ_2 の値は一定値をとり、その値は次式で求められる。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{1 + \sin \delta}{1 - \sin \delta} \quad (2)$$

(2)式は有効降伏関数 (effective yield function) と呼ばれ、 δ は有効内部摩擦角である。 δ は粉体の流れに特に重要な物性値である。(Jenike, Shield : 87) (1)式と(2)式の関係はそれぞれ図1で図式的に表わせる。流れの

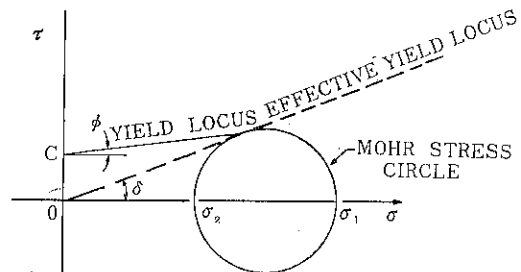


図1 PRESSURE RELATIONS

間、(1)式と(2)式は同時に満足され、附着力 c と最大主応力 σ_1 の間に次式の関係がある。

$$c = \sigma_1 \frac{\sin \delta - \sin \phi}{(1 + \sin \delta) \cos \phi} \quad (3)$$

つまり c は嵩密度と同様に圧力の変化に従い変化する。非附着性粉体 ($c = 0$) の場合、 $\delta = \phi$ となるため(1)式と(2)式は一致する。この場合、限界圧力はランキン状態のそれと同一となり、さらにこの場合の流れの限界圧力は塑性圧力と同一になる。

4. 圧力の主動状態と受働状態—普通の重力場で、最大主応力が垂直方向もしくはそれに近い方向に働らく場合が主動状態と呼ばれ、水平方向もしくはそれに近い方向に働らく場合が受働状態と呼ばれる。主動状態では、垂直方向に収縮が起こり、水平方向に膨張が起こる。受

* Appendix の部分、この訳文では省略した。

* Jenike & Johanson の理論には圧と嵩比重とが一対一の対応をするという大きな仮定がある。

動状態はこの逆である。

5. 流路 (Flow channels)——ビンの中などで、粉体 が流れている場合、実際に流れ動いている部分を流路と 呼ぶ。

6. マスフロービン (Mass-flow Bins)——流路がビン の形と一致しているとき、つまり不動域 (dead area) が無いとき、そのビン进行マスフロー型であるという。一 般にビンがマスフロー型であるためにはそのビンのコニ カル部分つまりホッパー部分が十分に滑らかで急傾斜を もっていなければならない。[Jenike : 60, 98, 112]

7. ファネルフロービン (Funnel-flow Bins)——マ スフロービンと異なり不動域が存在する場合、そのビン はファネルフロー型と呼ばれる。ファネルフロービンは、内部の粉体が最後に self-clearing される場合と、 されない場合 (ラットホールが出来る場合) とがあり、 それは、やはりホッパー角、壁面粗滑度により、粉の物 性による。

8. 放射状圧力場 (Radial Pressure Fields)——ホッ パー内の粉体の内部応力は、ホッパーの頂点 (出口) に 向かうにつれて減小する傾向があり出口でちょうど零に なる。この事実は実験的に知られており、[Jenike : 60, Walker : 127, Handley & Perry : 130] 解析的には [Smolczyk : 58, Jenike : 98, 120] らが研究してい る。この減小の傾向がホッパー頂点に向かってリニアに 減小するとき、その圧力場を放射状圧力場もしくは放射 状応力場 (radial stress field) という。放射状圧力場では、頂点からの任意の放射線に沿った全ての応力が頂点 からの距離に比例する。ビンの付いていないホッパー単 基の場合でも、この放射状圧力場は、ホッパー上部自由 表面までの全平面には拡張できない。もちろん自由表面 での圧力は零であるから、このホッパー上部の応力場と 下部の放射状圧力場はその境界で互いに矛盾しない圧力 をとるのが理想的である。ところが一般にそのような明 確な境界面は存在せず、ホッパー上部では乱れた放射状 応力場が展開される。(disturbed radial field) この乱 れは、そこの放射状圧力の上に、あるレンジを持った高 い圧や低い圧が連続的に重ね合わされる圧力の波の結果 おこる。すなわちこの波はホッパー出口に向かうにつれ て急速に消滅していく。[Johanson : 108, Handley & Perry : 130]

9. 充填過程の初期応力場 (Initial Loading)——図 2(a)のビンを考えてみる。初めにこのビンは空で出口は 閉じられている。そこに粉体を充填していくときに生じ る圧力場をここでは考えることにする。ビンの中に次第 に堆積される粉体の重量の増加と、落下粒子の衝突によ って堆積粉体は縦方向の圧縮を受け圧の主動状態が発達

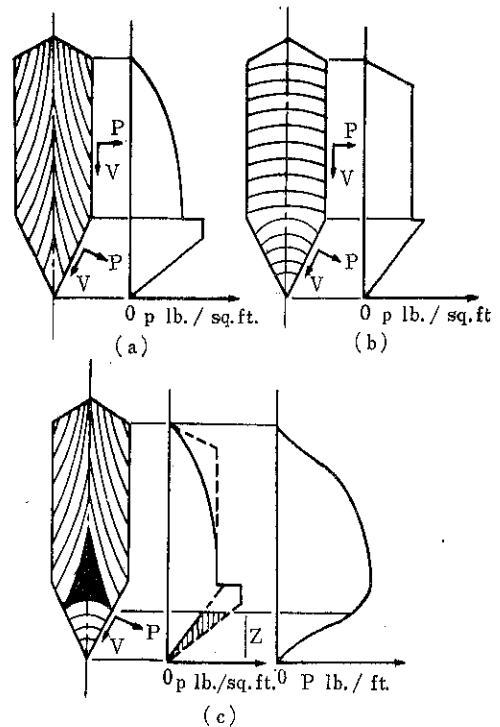


図2 MASS-FLOW LOADINGS: (a) INITIAL; (b) FLOW; (c) SWITCH

する。最大主応力線は流路の中央で図のような垂直な山をつくる。縦方向の圧縮の結果、充填された粉体は壁面 で圧る。もしくは圧りの限界状態にある。壁面の任意の 位置での圧を P とするとそのときの摩擦力は次式である。

$$v = p \tan \phi' \quad (4)$$

ϕ' は粉体と壁面との間の摩擦角である。ビンの円筒部分 では粉体は垂直方向もしくはそれに近い方向にのみ圧縮 を受けるので圧の塑性主動状態が発達する。ホッパー部 分では、粉体がホッパー壁面に沿って圧るので、垂直方 向と水平方向の両方に圧縮を受ける。その結果、限界状 態もしくは塑性状態は発達せず、圧力の弾性主動状態が 発達する。

壁面に垂直に作用する圧力 P は、おおよそ図 2(a)の右 に示したような分布を示す。壁圧は、ヤンセンの式と大 体一致して上表面から下へ次第に増加していき、ある深 さで平らになる。そして円筒部分とホッパー部の接合部 分で鋭い圧力変化がある。それからホッパー頂点の零に 向かって減小する。ここで、粉体はすべてビン (円筒部 とホッパー部) だけで支えられているのだから、壁面で の P と V の垂直成分の合計は粉体の全重量に一致するこ とになる。

10. 流れの圧力場 (Flow Loading)——粉体がビンの中から連続的に流れていて、そのビンはマスフロー型であるとしよう。ホッパー内部で粉体は横方向に圧縮を受け縦方向に膨張する。これは、水平方向もしくはそれに近い方向に最大圧力が働いていることであり、ホッパー内部に圧の塑性受動状態が発達していることを意味する。この状態はビンの上部にもあてはまる。そしてこの場合マスフロー型であるから、粉は壁面で流れ、壁圧 P はまた壁摩擦力 v を伴う。

この場合の壁圧 P の分布を図 2 (b) に示す。ビンの上部で急速に P が一定値に到るのが特徴である。

図のようなビンの場合、粉が流れてもその運動は一般に十分ゆるく、厳密に定常状態にあるので慣性力は無視できる。従って平衡状態は満足され、壁で支持される力の垂直成分の合計はやはり内部粉体の重量に等しい。圧曲線 P の下の面積がその重量を表わす。Initial Loading の圧分布 (図 2 (a)) と比較すると、圧曲線の下での面積は、ビンの円筒部分では Flow Loading (図 2-b) の方が大きく、ホッパー部分では、その分だけ Initial Loading の方が大きくなっている。付録 1 に示した方程式から行なった数値計算の結果もこの事実を証明している。

11. 転換 (Switch)——ビン在设计するにあたり、初期応力場 (図 2 (a)) と流れの応力場 (図 2 (b)) の P 曲線の包絡線を考慮するだけでは不十分である。Initial Loading から Flow Loading への転換 (switch) の際の応力状態を考慮する必要がある。いまビン内部が I.L. の状態にあり、そこでビンの出口が開かれ流れがスタートした時を考える。ホッパー出口付近で粉体の支持力は減小し、粉体は垂直下方向に膨張する。粉体内の垂直圧が減じるから、そこで圧力受動状態へスイッチされる。すなわち最大主応力線のアーチが出口上に掛かる。流れが進み、流れの領域がホッパーの中を上へ昇って行くにつれて switch は上に移動していくことになる。図 2 (c) は、高さ z の位置で転換が起きた時の瞬間の状態を示している。右側にその時の壁圧曲線 P を示す。

ここでは switch の上の粉体はまだ主動状態にあり I.L. (initial loading) が広がっている。switch の下ではもちろん受動状態であり、より小さい壁圧を示している。図 2 (c) の粉体の黒い部分は、I.L. にも F.L. にも属さない部分で主動から受動へ移行しようとする粉体である。この場合も圧曲線の下での面積は内部粉体の重量に等しい。図 2 (b) の場合、流出した粉体の重量はまだ極く少ないのでビン内部の粉体の重量は図 2 (a) と較べてもほとんど変わらない。それにもかかわらず、ホッパー部分の圧曲線の下での面積は図 2 (a) と較べると斜線部分だけ減小し

ている。力の釣り合いから考えて、これは明らかに、付加されるべき垂直力 P と摩擦力 V とがどこかの壁面に作用していることを意味する。

$$V = P \tan \phi' \quad (5)$$

この集中力が作用する位置は、図 2 (c) の粉体の黒い部分が壁面に触れているところである。すなわち switch の場所に集中力が作用する。そして P の値は図 2 (c) の P -曲線の下での斜線部分の面積に等しい。従って I.L. と F.L. の圧曲線 P が知れていれば、任意の高さ z における集中力 P を求めることは容易である。ビンの設計の際には I.L. (図 2 (a)) と F.L. (図 2 (b)) の圧曲線の上に、この過渡圧力場の集中力 P を重ね合わせて考慮する必要がある訳である。集中力 P の作用する位置は、当然 switch の上昇につれて上昇し、ホッパー部から円筒部へ到り、ビンの自由表面で零になるように減小していく。(図 2 (c) の一番右の曲線) ビンのサイズや粉体の圧縮性、流出速度などにもよるが、switch に要する時間は普通、数分の一秒かあるいはそれよりもう少し長いぐらいである。従って瞬間的な力と考えてよい。

次節で考えるような状態では、switch はホッパー部と円筒部の境の位置で、その上への進行を止められる。その場合、集中力は流れの間、常にそのホッパー接合部分に作用し、円筒部分へは移行しない。

12. マスフローを保証する基準——ホッパー出口は一応粉の流れを許すだけの大きさを持つとして、そのホッパー付きビンがマスフロー型であるためには次の二つ状態が同時に満足されていなければならない。

i) ホッパー部分の形に関して、radial flow-pressure field あるいは disturbed radial flow pressure field がホッパー内部で発達し得るように、十分に急で滑らかでなければならない。

ii) シリンダー部分にある粉体によって、ホッパー部分の粉体の上におよぼされる圧力は radial pressure に等しいか、あるいはそれより大きくなければならない。

最初の状態 i) は、ホッパー壁の傾きと壁摩擦角の限界とに関係し、付録の流れの方程式 (flow equations) からその解が直接得られる。その結果は他の文献で述べられている [例えば Jenike : 112]。ii) の状態は、円筒部分内の粉体によって、ホッパーとの接合部の平面におよぼされる全垂直圧がその下の radial field の全垂直圧を越えるときに満足される。

ホッパー部分の流れの応力場は必ず塑性—受動状態になければならない。粉体が行くために、つまり連続的に変形するために塑性状態が要求され、さらに粉体が行く東路 (converging channel) を流れる時には hoop

pressure が最大主応力でなければならないことから受動状態が要求される。

シリンダー部分での流れの間の応力場は塑性—主動か塑性—受動状態をとればよい。主動から受動への switch の領域内での圧力は弾性状態にあつてよい。高い円筒状チャンネルの中の全垂直力 Q は次式から計算される。

$$Q = qD^3r \quad (6)$$

ここで D は円筒径、 r は粉体の嵩比重量、 q は、粉体の有効摩擦角 δ 、チャンネルの傾き角度 θ_c 、壁摩擦角 ϕ' などに従属する係数である。 $\delta = 50^\circ$ の時の q の値が図 3、図 4 から読める。図 3 は塑性—受動状態にあるコニカルチャンネル（取束路、ホッパー）内の粉体の q の等値線を示し、図 4 は同じく塑性—受動状態にある円筒チャンネルの場合 (q_p) と塑性主動状態（同じく円筒チャンネル）の場合 (q_a) での q の等値線を示す。

一例として、 $\theta_c = 15^\circ$ のコニカルホッパーを持った背の高い円筒状ビンを考えてみる。 $\delta = 50^\circ$ 、 $\phi' = 24.5^\circ$ を仮定すると、図 3 の点 ($\theta_c = 15^\circ$ 、 $\phi' = 24.5^\circ$) はそのホ

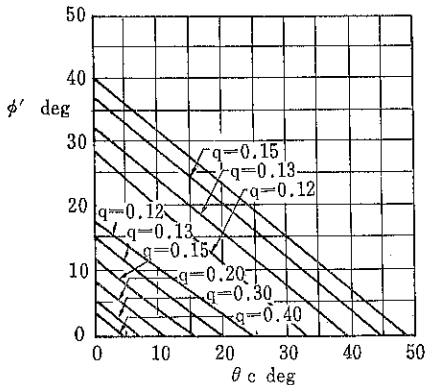


図 3 CONTOURS OF PARAMETER q FOR CONICAL HOPPERS, $\delta = 50^\circ$

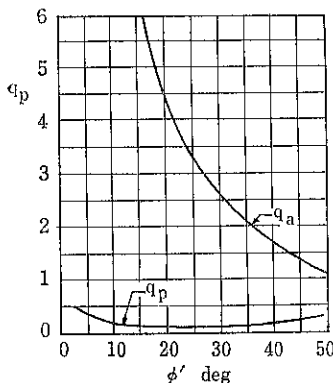


図 4 PARAMETERS q FOR VERTICAL CIRCULAR CHANNELS, $\delta = 50^\circ$

ッパーに $q = 0.15$ を定める。シリンダー部分の壁面も $\phi' = 24.5^\circ$ をもっているとしたら、図 4 から、円筒部分の受動状態のための q 値は $q_p = 0.11$ となる。従つてこの例の場合、 $q_a < q$ であるからマスフローは望めないことになる。（円筒部とホッパー部の接合部分の平面に、マスフローに必要な荷重が掛からないこと）同じく図 4 によれば、主動状態での q_a は $\phi' = 24.5^\circ$ の場合、3.4 ($= q_a$) を示している。これから、 $q_a > q$ となるから接合部分を通ずる流れは起こる。この状態が発達したときは、switch は円筒状部分を上に昇つて行かず接合部分（ホッパーとシリンダーの接合部分）に滞まっている。

(6)式で計算される力 Q の値が、そのまま作用するのはシリンダー内に十分粉体が含まれているときである。受動応力場にはビン径の $\frac{1}{2}$ か $\frac{3}{8}$ の高さの粉体があれば十分であるが、主動応力場のためにはビン径の 4 倍から 10 倍が必要である。ホッパー付きビンから単に粉体を排出させる場合、シリンダー部分のヘッドが下がってきて、それがあるところまで下がってくると、接合部平面での垂直力が radial pressure field を維持するには足りなくなる。この時マスフローは起こらなくなり、局部的なファネルフローが発達する。この図を図 5 に示す。

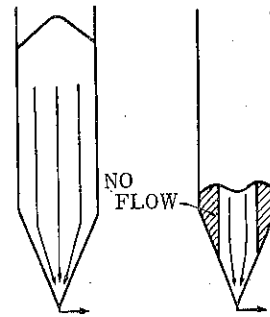


図 5 PARTIAL FUNNEL FLOW IN A MASS-FLOW BIN

『13. 集中力 P の分布——集中荷重 P は、ビンのある高さ一面に作用する。この圧力の上限 $P_{\max}$ は、主動から受動状態に移る switch の位置で粉体が完全に塑性状態にあると仮定して得られる。Sokolovski による解を使って、次式を得る。

$$\frac{P_{\max}}{p_a} = 2 \tan \delta \cdot \frac{1 + \sin \delta \cdot \cos(\rho + \phi')}{1 - \sin \delta \cdot \cos(\rho - \phi')} \cdot e^{(\pi/2 - \rho)} \quad (7)$$

ここで p_a は switch の真上の主動圧力。そして次式の関係がある。

$$\sin \rho = \frac{\sin \phi'}{\sin \delta} \quad (8)$$

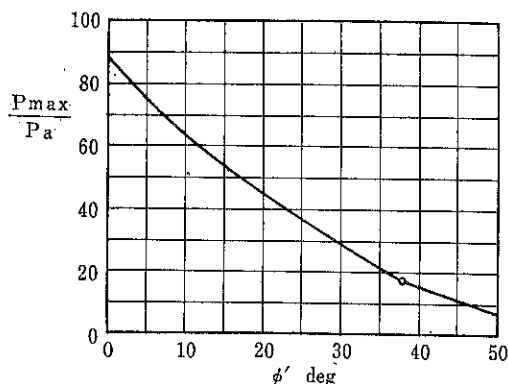


図6 UPPER BOUND ON MAXIMUM PRESSURE DURING A SWITCH

図6には、 $\delta=50^\circ$ の場合につき、 $p_{\max}/p_a$ の値を示す。壁摩擦角 ϕ' の関数として計算されたこれらの値は、かなり高い値を示している。例えば $\phi'=20^\circ$ の場合、（普通、これ程小さくはないが）switch における局部集中圧力 $p_{\max}$ は、初期応力場（I.L.）の主働圧力 p_a の、なんと45倍を示している。

このような高い $p_{\max}$ は、穀粒のような比較的ソフトな粉体には現われず、岩石とか砂礫などの場合に現われる。けれども、これらの集中圧力をそのままの値で測定するのは一般に困難である。というのはこれらの圧は壁面の大きく狭い部分に集中して作用するので、壁面に内張りされた、より大きなゲイジには緩和された圧として検出されてしまうからである。この考え方と図6とは、今までの多くの実験者の広いデータの乱れを説明する。

14. ファネルフローの応力場(Funnel-Flow Loading)——ファネルフロービン、すなわち粉体が全ての壁面でにるに足る滑らかさと傾斜を持っていないホッパー付きビン、においても前説と同様な現象が起こるが、ファネルフローの場合は不動域（dead area）があるので、switch が壁面におよぼす効果は鈍らされる。この dead area の効果によって、ファネルフローの場合はしばしば全然集中力がゲイジに検出されない。けれども流路が膨張していき、ある高さで壁面に流路が接したとき（図7）switch の全効果（集中圧の効果）は、その接した部分に現われる。

ファネルフロービンの中での粉体の流路は明確には決みにくい。不動領域は、定常流れの速度場を満足しない状態でも圧で塑性状態にあるかもしれない。この場合は、周期的ななりがその内部で起こり、ショック的な圧力を生むので flow loading にそれらの力も重ね合わせて現われることになる。

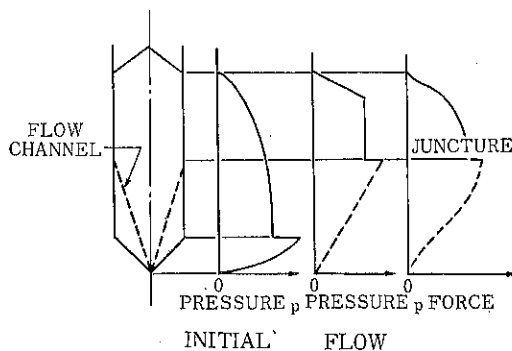


図7 FUNNEL-FLOW LOADINGS

C. マスフローホッパーの設計

1. 圧力分布——上部に円筒状部分も何もないコンカル部分だけのマスフローホッパーを考え、壁面圧力の分布が I.L. と F.L. とにつき図8(a)と図8(b)のような三角形の分布をしていると仮定する。壁面に作用する圧の垂直成分 P と剪断力の垂直成分 V の総和はホッパー内の粉体の重量に等しいのだから、ピーク圧力の位置が知ればピーク圧の値は簡単に求められる。

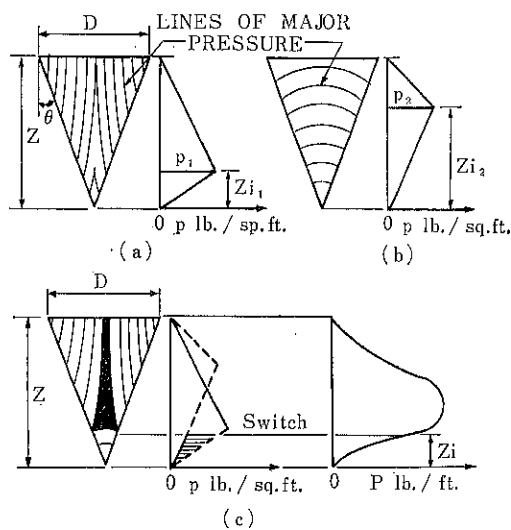


図8 PRESSURE DISTRIBUTION IN MASS-FLOW HOPPER : (a) INITIAL ; (b) FLOW ; (c) SWITCH

2. 初期圧力場（I.L.）——ピーク圧 p_1 の作用する位置は i_1 によって決まる。（図8）この i_1 はホッパー角 θ 、壁摩擦角 ϕ' 、係数 k と m 、などの関数である。 k は次式で決まる。

$$k = \frac{1 + \nu(m + \alpha)}{1 + \alpha + \nu(m - \alpha)} \quad (9)$$

ここで ν はポアソン比, α は粉体の圧縮性を表わす因子である。普通の粉体の場合, ν は小さくて無視できるので簡単に次式になる。

$$k = \frac{1}{1 + \alpha} \quad (10)$$

この k 値は, ヤンセンの, 垂直圧力に対する水平圧力の比に同類なもので, 収束路用の値である。

$$k = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_r} \quad (11)$$

ここで σ_r はradial方向の応力, σ_θ は σ_r に垂直な方向の応力である。(図18)

係数 m は長いクサビ型ホッパーの場合(平面ひずみの場合) 0と置かれ, コニカルホッパーの場合(軸対称の場合) 1と置かれる。

i_1 の値は, $m=0$ と $m=1$ の両方の場合につき, またいろいろの k の値で計算されているが, 図9には一例としてコニカルチャンネル($m=1$)の場合, $k=0.8$

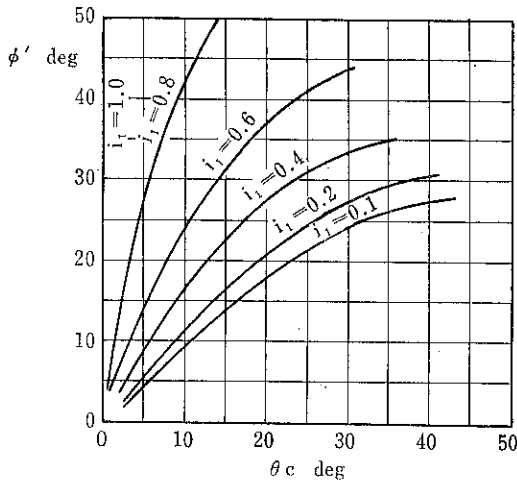


図9 CONTOURS OF i_1 FOR CONICAL CHANNELS, $k=0.8$

の時の i_1 の等値線図を示す。初期ピーク圧 p_1 は次式から得られる。

$$p_1 = \frac{rD}{1 + m i_1} \cdot \frac{1}{2(\tan\theta + \tan\phi')} \quad (12)$$

r は粉体の高密度, D はホッパーの上端の径である。(図8)

3. 圧縮係数 α (Coefficient of Compressibility)

この係数は, 例えば図10に示す方法で測定される。高さ h_0 の円筒状セルに粉体を充填し, 上部から圧を加えて加圧板の変位を測定する。 $\ln[\sigma(h_0 - \Delta h)]$ に対して $\ln(\Delta h)$ をプロットすると直線が得られる。この直線の傾きが α である。 α は0と1の間の値をとり, 弾性係数が

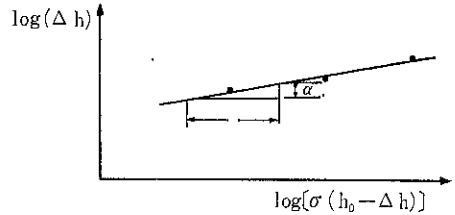
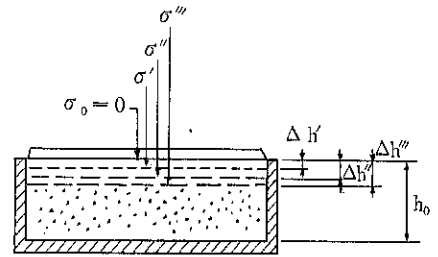


図10 MEASUREMENT OF COEFFICIENT OF COMPRESSIBILITY α

ほぼ一定な固い粉体(例えばスチールボール)の場合1に近く, フレキシブルな繊維状の粉体の場合, 0に近い。この事実と(10)式とから, 固い粉体の場合, k 値は0.5をとり, ファイバラスな粉体の場合は $k=1.0$ となることが分る。

k の値が小さいことは, i_1 の値も小さいことになり, 初期ピーク圧 p_1 は低い位置に働かし, 大きい集中心力 P と壁摩擦力 V が働らくことが分る。

4. 流れの際の応力場 (Flow Loading) — ピーク圧 p_2 (図8(b))は次式で計算される。

$$p_2 = \frac{rD}{1 + m i_2} \cdot \frac{1}{2(\tan\theta + \tan\phi')} \quad (13)$$

比 i_2 は, 前の場合と同様に, θ, ϕ', δ の函数である。

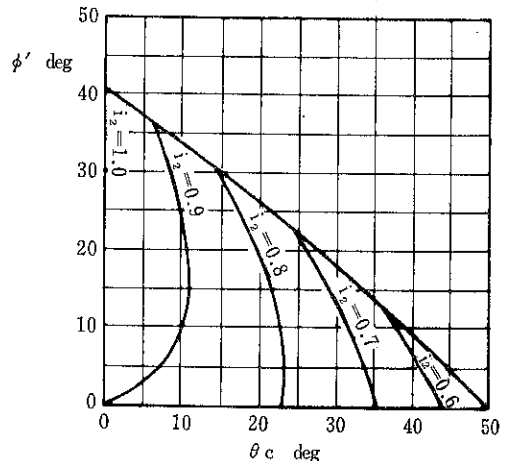


図11 CONTOURS OF i_2 CONICAL CHANNELS, $\delta=50^\circ$

有効内部摩擦角 δ は, Jenike 図10および Jenike 図11の方法で測定される. i_2 は例えば $\delta=50^\circ$ の場合につき計算された図11のようなグラフから読みとる.

5. 集中力 (Concentrated Force)——この力 P は次式で表現される.

$$P = \gamma D^2 FG \quad (14)$$

次元は, 任意の位置でのビン壁の周の単位長さあたりの力である F は次式から計算される. (付録参照)

$$F = \frac{1}{4 \sin \theta (\tan \theta + \tan \phi')} \quad (15)$$

G は次式から得られる.

$$G = \begin{cases} (A1)_0^{i_2} - (B1)_0^{i_2} & \dots\dots (0 \leq i \leq i_1) \\ \left(\frac{i_1}{i}\right)^m \times (A1)_0^{i_2} + (A2)_1^{i_2} Z - (B1)_0^{i_2} & \dots\dots (i_1 \leq i \leq i_2) \\ \left(\frac{i_1}{i}\right)^m \times (A1)_0^{i_2} + (A2)_1^{i_2} Z - \left(\frac{i_2}{i}\right)^m \times (B1)_0^{i_2} - (B2)_2^{i_2} Z & \dots\dots (i_2 \leq i \leq 1) \end{cases} \quad (16)$$

ただし,

$$(A1) = \int_0^{i_2} p_1 \frac{Z}{z_1} \left(\frac{z}{iZ}\right)^m \frac{dz}{\cos \theta} = \frac{i^2}{(2+m)(2+mi_1)i_1}$$

$$(A2) = \int_{i_1}^{i_2} p_1 \frac{Z - z_1}{Z - z_1} \left(\frac{z}{iZ}\right)^m \frac{dz}{\cos \theta} = \frac{(2+m)(i_1^{1+m} - i_1^{1+m}) - (1+m)(i_2^{2+m} - i_1^{2+m})}{(2+m)(1+m)(1 - i_1^{1+m})i_1^m}$$

$$(B1) = \int_0^{i_2} p_2 \frac{Z}{z_2} \left(\frac{z}{iZ}\right)^m \frac{dz}{\cos \theta} = \frac{i^2}{(2+m)(1+mi_2)i_2}$$

$$(B2) = \int_{i_2}^1 p_2 \frac{Z - z_2}{Z - z_2} \left(\frac{z}{iZ}\right)^m \frac{dz}{\cos \theta} = \frac{(2+m)(i_1^{1+m} - i_2^{1+m}) - (1+m)(i_2^{2+m} - i_2^{2+m})}{(2+m)(1+m)(1 - i_2^{1+m})i_2^m}$$

(付録参照)

図12には ϕ' をパラメータにして, θ に対する F 値を示した. G の値は $i_2=0.9$ のコニカルホッパーにつき, 図13に例とした.

D. 計算具体例

(例-1) $r=100\text{lb/ft}^3$, $\alpha=0.25$, $\delta=50^\circ$ のクレイを粉体を選んでみる. $\phi'=25^\circ$ とし, コニカル部と垂直方向との間の角は $\theta_c=12^\circ$, ホッパーのトップの径が 20ft という, こういうホッパーを検討してみる.

・初期応力場 (I.L.) では……10式から $k=0.8$ と得られる. ポアソン比は無視してピーク圧の位置は図9から $i_1=0.55$ を得る. ピーク圧の値は12式から $p_1=950\text{lb/ft}^2$ を得る.

・流れの応力場 (F.L.) では…ピーク圧の位置は図11から $i_2=0.87$ を得, ピーク圧の値は13式から $p_2=790$

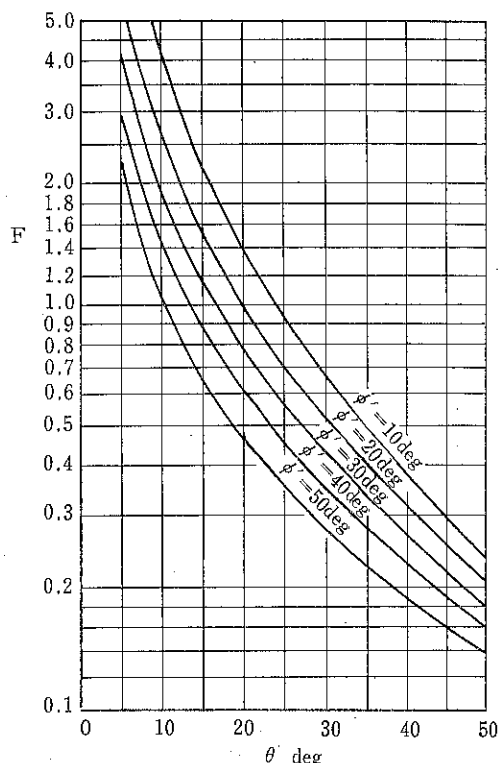


図12 FUNCTION $F(\theta, \phi')$

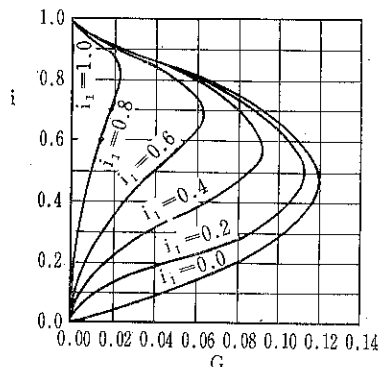


図13 FUNCTION G FOR CONICAL CHANNELS, $i_2=0.9$

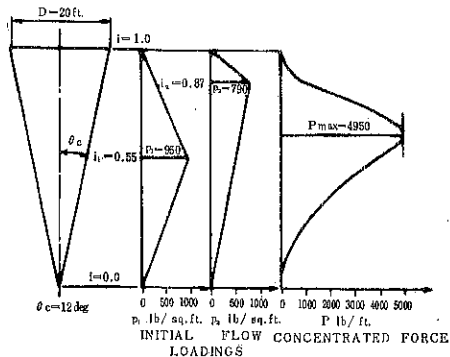


図14 COMPUTED LOADING FOR EXAMPLE 1

lb/ft²を得る。

・集中力Pは…図12からF=1.75が読みとれ、図13から $i_2=0.87$ (約0.9と考えてよいから) のGが0.07と得られる。そこで(14)式からPの値が計算される。

以上の計算結果を図14に示した。

(例-2) 上の例と全く同じホッパーに砂礫を入れた場合を考えてみよう。 $\delta=50^\circ$, $\phi'=25^\circ$ とする。この粉の場合はクレイのような圧縮性は全く無く $\alpha=1$ と置ける。これは初期応力場 (I.L.) でのピーク圧が可成り低い位置に働らくことを予想させる。見積り値として $i_1=0$ を仮定する。

(12)式から $p_1=1475$ lb/ft² を得る。F.L. の状態での応力は、クレイの場合と同様である。集中力Pは、再び (前と同じくF=1.75, Gは $i_1=0.0$ の場合につき図13から得られるから) (14)式から計算される。この結果を図15に示す。

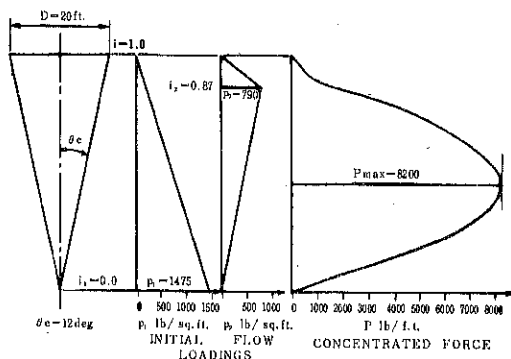


図15 COMPUTED LOADING FOR EXAMPLE 2

図14と図15を比較すると、集中力Pの分布と大きさに両者の可成り大きな差がでていることが分る。図15の場合、ホッパーの低い部分に高い集中力が現われているがこれは砂礫のような固い粉体の特徴である。I.L. とF.L. とのピーク圧の位置に大きな偏れがあるが、この偏れが大きい程 switch が明確であり集中力も大きくなる。

一例として、 $\delta=50^\circ$, $\theta=12^\circ$ の場合につき、集中力の最大値 P_{max} をkに対して図16にプロットした。これによれば $k=0.5$ の粉体の P_{max} は繊維状粉体 ($k=1.0$) のそれの2倍にもなっている。この値はまた壁摩擦角 ϕ' によっても大きく変化する。この例を図17に示すが、 ϕ' の減小につれて P_{max} は図のごとく増加している。

記号

D : ホッパーの最上端部の直径, 同筒状ビンの直径

E : 粉体の弾性係数

F : θ と ϕ' の函数 (15式)

G : m, i_1 , i_2 , i の函数 (16式)

No. 15 (1970)

P_{max} lb. / ft.

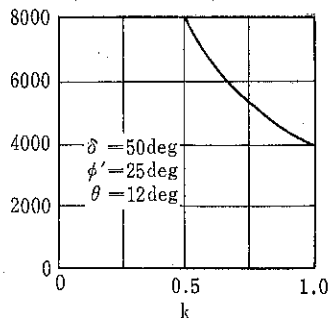


図16 MAXIMUM CONCENTRAED FORCE P_{max} AS A FUNCTION OF k

P_{max} lb. / ft.

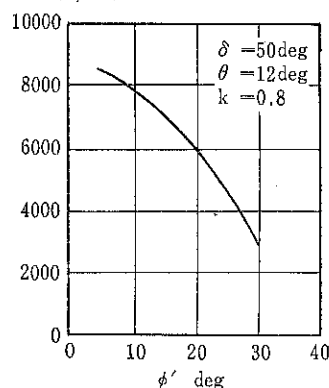


図17 MAXIMUM CONCENTRATED FORCE P_{max} AS A FUNCTION OF ϕ'

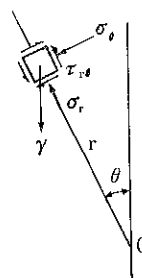


図18 DEFINITION OF STRESSES

h_0 : 圧縮テストの試料粉体層の初期高さ (図10)

i : 集中力Pの作用する位置を表わす規格化座標 $0 < i < 1$

i_1 : I.L.でのピーク圧の位置の i

i_2 : F.L.でのピーク圧の i

k : σ_θ と σ_r の比 ($=\sigma_\theta/\sigma_r$)

m : ウエッジホッパーで0, コニカルホッパーで1を表わす係数

P : ビン壁に働らく集中垂直圧力

P : ビン壁圧
 p_1 : I.L.での壁面上のピーク圧力
 p_2 : F.L.での壁面上のピーク圧力
 r : 動径座標
 V : 壁面に働らく集中剪断力
 v : ビン壁に働らく剪断力
 Z : ホッパーの高さ
 z : 垂直座標
 z_1 : I.L.のピーク圧力のホッパー内の位置座標
 z_2 : F.L.のピーク圧力のホッパー内の位置座標
 α : 粉体の圧縮係数
 γ : 粉体の見掛け比重
 δ : 粉体の有効内部摩擦角
 θ : 垂直方向とホッパー傾斜面方向との間の角度
 ν : ポアソン比
 σ : 圧力, 応力
 σ_1, σ_2 : 最大主応力 (σ_1) と最小主応力 (σ_2)
 ϕ : 内部摩擦角
 ϕ' : 壁摩擦角

あ と が き

本文からも‘主応力方向の転換’がビンロードに重要であることはかなり古くから知られていたことが分るが、これは同時に閉塞現象にも直接関係する重要な現象である。骨旨をここに根ざす Jenike, Johanson の理論によるホッパーもしくはホッパー付きビンの設計の具体的方法のおおよそが本文から理解できる訳であるが、彼ら自身文中に記しているように、funnel-flow タイプになると、また話は大幅異なるようである。実際、今のビンの多くは理想的なマスフロータイプではなく、また完全なファネルフローのタイプとも見せない場合が多く、これが突発的な事故のひとつの原因となっているようである。(壁面で理想的に支えられ、radial field を理想的に発達させるマスフローモデルそのものにも問題はあるだろうが。)

今度の「粉体貯槽の設計基準に関する研究会」の研究成果が期待される所以である。

本文にはここで使われた方程式のいくつかが Appendix で誘導されているが、その部分の訳文では理解に不十分であり、かつ長くなるので省略した。個々の文献を参照していただきたいと思う。

文 献

1. Baker, B., "Actual Lateral Pressure of Earthwork," Proceedings, Institution of Civil Engineers, Vol. 65, 1881, pp. 140-186, with discus-

- sion pp. 187-241.
2. Roberts, I., "Pressure of Stored Grain," Engineering, Vol. 34, Oct. 27, 1882, p. 399.
3. Roberts, I., "Determination of the Vertical and Lateral Pressures of Granular Substances," Proceedings, Royal Society, London, Vol. 36, 1884, pp. 225-240.
4. Janssen, H.A., "Versuche Über Getreidedruck in Silozellen," Zeitschrift, Verein Deutscher Ingenieure, Vol. 39, Aug. 31, 1895, pp. 1045-1049.
5. Prante, V., "Messungen des Getreidedruckes Gegen Silowandungen," Zeitschrift, Verein Deutscher Ingenieure, Vol. 40, 1896, pp. 1122-1125.
6. Airy, W., "The Pressure of Grain," Minutes of Proceedings, Institution of Civil Engineers, London, Vol. 131, 1897, pp. 347-358.
7. Kötter, F., "Der Bodendruck von Sand in Verticalen Cylindrischen Gefässen," Journal for Pure and Applied Mathematics, Berlin, 1899, p. 189.
8. Jamieson, J. A., "Grain Pressures in Deep Bins," Transaction, Canadian Society of Civil Engineers, Vol. 17, 1903, pp. 554-607, with discussion pp. 608-654; condensed in Engineering News, Vol. 51, Mar. 10, 1904, pp. 236-243.
9. Bovey, H. T., "Experiments on Grain Pressures in Deep Bins and the Strength of Woodens," Engineering News, Vol. 52, 1904, pp. 32-34.
10. Lufft, E., "Tests of Grain Pressure in Deep Bins at Buenos Aires, Argentina," Engineering News, Vol. 52, 1904, pp. 531-532.
11. Goodrich, E. P., "Lateral Earth Pressures and Related Phenomena," Transactions, ASCE, Vol. 53, 1904, pp. 272-321.
12. Pleissner, J., "Versuche zur Ermittlung der Boden und Seitenwanddrücke in Getreidesilos," Zeitschrift, Verein Deutscher Ingenieure, Vol. 50, Pst 1, 1906, pp. 976-986.
13. Haar, A., and von Karman, T., "Zur Theorie der Spannungszustände in plastischen und sandartigen Medien," Nachrichten Ges. Wiss., Math.-Phys. Klasse, Göttingen, Germany, 1909, pp. 203-218.
14. Ketchum, M. S., The Design of Walls, Bins, and Grain Elevators, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1909.

15. Hess, H. D., Bins, Graphics and Structural Design, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 19515, pp. 298-322.
16. Cain, W., Bin Theory, Earth Pressure, Retaining Walls and Bins, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1916, pp. 218-237.
17. Hay W. W., "Design of Circular Reinforced Concrete Bins," Concrete, Vol. 17, Sept., 1920, pp. 73-76.
18. Fleming, R., "Some Data on the Design of Steel Coal Bins," Engineering News-Record, Vol. 89, Aug. 31, 1922, pp. 346-350; with discussion, Oct. 19, pp. 669-670; Nov. 9, p. 808; Dec. 28, pp. 1132-1133.
19. Hay, W. W., "Design of Deep Circular Bins," Concrete, Vol. 32, June, 1928, pp. 43-44.
20. Heidenreich, E. L., "Construction of Storage Silos in Modern Stone Crushing Plants," Rock Products, Vol. 33, Feb. 15, 1930, pp. 72-74.
21. Cameron, C. A., "Pressures in Grain Silos," Industrial Australian and Mining Standard, Vol. 84, Sept. 25, 1930, pp. 242-243; Oct. 2, p. 258, Oct. 9. 274.
22. Miffien, S. C., "Bin-Wall Pressure Chart," Engineering and Mining Journal, Vol. 132, July, 1931, p. 65.
23. Mercer, L. B., "Grain Pressures in Concrete Bins," Commonwealth Engineer, Vol. 20, Nov., 1932, pp. 106-109.
24. Gueritte, T. J., "Reinforced Concrete Grain Silos," The Structural Engineer, Mar., 1933, pp. 106-115.
25. G., "Calcul des Poussees sur les Parois d'un Silo Presentant une Tremie de Form Quelconque: Calcul de la Construction," Science et Industrie, Vol. 17, Mar., 1933, pp. 211-213.
26. Fröhlich, O. K., "Drukverdeling in Silos met Rechthoekige dwarsdoorsnede," Polytechnisch Weekblad, Vol. 27, Sept. 22, 1933, pp. 593-596, Sept. 28, pp. 609-612.
27. Fröhlich, O. K., "Druckverteilung in der Silozelle und im Baugrund," Beton und Eisen, Vol. 33, Sept. 5, 1934, pp. 268-292; with discussion, Vol. 34, Feb. 5, 1935, p. 52.
28. Marcus, H., "Beanspruchung des Unteren Randes Quadratischer Silozellen," Beton und Eisen, Vol. 35, April 5, 1936, pp. 115-11e.
29. Fordham, A. A., "The Direct Measurement of Lateral Pressure on Walls and Bins," Engineering, Vol. 134, 1937, pp. 561-562.
30. Kellner, O., "Calcul des Silos," Travaux, Vol. 22, No. 61, Jan., 1938, pp. 15-30.
31. Booth, E. P. O., "The Mechanics of Pile of Granular Material Applied to Bin Design," Journal of the South African Institution of Engineers, Vol. 36, No. 6, Jan., 1938, pp. 118-128.
32. McCalmont, J. R., "Measuring Bin Wall Pressures Caused by Arching Materials," Engineering News-Record, Vol. 120, Apr., 28, 1938, pp. 619-620.
33. Bridges, O. P., "Design and Construction of Coal Bunkers," Colliery Guardian, Vol. 156, May 27, 1938, pp. 949-952, June 3, pp. 995-999.
34. Dörr, H., "Neuere Silobauten aus Eisenbeton," Beton und Eisen, Vol 37, April 20, 1938, pp. 129-137.
35. Sandstrom, O.O., "Design of Metal Bins," Chemical and Metallurgical Engineering, Vol. 45, Dec., 1938, pp. 684-687; Vol. 46, Jan., 1939, pp. 32-35; Mar., 1939, pp. 166-169.
36. Pennington, A. M., "Design of Silos for Grass," Concrete and Constructructional Engineering, Vol. 36, Nov., 1941, pp. 427-444.
37. Shumsky, D. W., Elevatorno-Skladskoye Choz-yaystvo, Part 2, Zagozdiagat, Moscow, 1941, p. 115.
38. Buisson, M., M., "Etude Experimental et Théorique des Contraintes dans Les Silos," Travaux, Apr., 1943, p. 129, Aug., 1943, p. 290.
39. Reimbert, M., "Recherches nouvelles sur les Efforts Exercés par les Matières Pulverulentes Ensilés sur les Parois des Silos" Annales, Institute Technique du Batiment et des Travaux Publics, Series I, No. 11, May 10, 1973, pp. 1-48; with discussion, pp. 49-60.
40. Gray, W.S., Reinforced Concrete Water Towers, Bunkers, Silos and Gentries, Concrete Publications Ltd., London, 1944.
41. Khaironovitch, M. I., "Experimental Determination of the Pressure of Grain in Silos," Stroitel'naya Promishlennost, Vol. 22, No. 5/6, 1944, pp. 19-23 (in Russian).

42. Kramer, H. A., "Factors Influencing Design of Bulk Storage Bins for Rough Rice," Agricultural Engineering, Vol. 25, Dec., 1944, pp. 463-466.
43. Bernstein, M. S., "Outflow Figures of Grain in Silos," Stroitel'naya Promishlennost, Vol. 23, No. 10/11, 1945, pp. 11-13, (in Russian).
44. Amundson, L. R., "Determination of Band Stresses and Lateral Wheat Pressure for a Cylindrical Bin," Agricultural Engineering, Vol. 26, 1945, pp. 321-324.
45. Bernstein, M. S., "Rastchot Konstruktsii s Odnostoronnimi Sviazami (Design of Structures with One-Sided Connection)," Gosstroyizdat, Moscow, 1947, p. 85 (in Russian).
46. Jaky, J., "Pressure in Silos," Proceedings, 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, held at Rotterdam, June 21-30, 1948, Vol. 1, pp. 103-107.
47. Caquot, A., and Kerisel, R., Traité de la Mécanique des Sols, Gauthier-Villars, Paris, 1949, Chapter 7, p. 350.
48. Barre, H., and Sammet, L. L., "Estimating Loads," Farm Structures, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950, pp. 438-460.
49. Rogers, p., "Design of Hexagonal Bins," Proceedings, American Concrete Institute, Vol. 46, 1950, pp. 529-538.
50. Stahl, B.M., "Grain Bin Requirements," Circular No. 835, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D. C., 1950.
51. Ohde, J., "Silo-Aufgaben," Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch, Vol. 3, W. Ernst & Sohn, Berlin, Germany, 1950, pp. 921-922.
52. Bridges, G. P., "Design and Construction of Silos and Bunkers," Paper No. 27, Structural and Building Engineering Division, Institution of Civil Engineers, London, 1951.
53. Caughey, R. A., Tooles, C. W., and Scheer, A. C., "Lateral and Vertical Pressure of Granular Material in Deep Bins," Bulletin No. 172, Iowa State College of Agriculture and Mechanical Arts, Engineering Experiment Station, Nov. 14, 1951.
54. Moore, R. L., and Shaw, J. R., "Pressures in a Shallow Rectangular Bin," Proc. Sep. No. 82, ASCE, Vol. 77, Aug., 1951.
55. Rogers, P., "Design of Large Coal Bunkers," Transactions, ASCE, Vol. 117, 1952, pp. 579-595.
56. Gray, W.S., Reinforced Concrete Water Towers, Bunkers, Silos and Gentries, 3rd edition, Concrete Publications Ltd. England, 1953.
57. Saul, R. A., "Measurement of Grain Pressures on Bin Walls and Floors," Agricultural Engineering, Vol. 34, No. 4, Apr., 1953, pp. 231-234.
58. Smolczyk, H. W., "Druckberechnung in Einem Silotrücker," Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 48, Aug., 1953, pp. 192-194.
59. North, M., "Research into the Design of Horizontally Corrugated Grain Silos," Journal, The Institution of Engineers, Australia, Jan-Feb., 1954.
60. Jenike, A. W., "Flow of Bulk Solids," Bulletin 64, Utah Engineering Experiment Station, University of Utah, Mar., 1954.
61. Sokolovski, V.V., Statika Sypuchei Sredy (Statics of Soil Media), Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1954 (in Russian); translated by D. H. Jones and A.N. Schofield, Butterworths, London, 1960.
62. Reimbert, M., "Suppression dans les Silos lors de la Vidange," Travaux, Vol. 38, Nov., 1954, pp. 780-784.
63. Jenike, A. W., "Better Design for Bulk Handling," Chemical Engineering, Vol. 61, Dec., 1954, pp. 175-180.
64. "Design of Silos," (Reimbert's method), Concrete and Constructional Engineering, Vol. 50, Apr., 1955, pp. 170-172.
65. "Was It an Explosion or a Foundation Failure?" Engineering News-Record, June 23, 1955, p. 27.
66. Moss, E. T., "The Design of a Raw Sugar Silo," Proceedings, Conference of Institution of Civil Engineers, London, Sept. 21-22, 1955, pp. 177-196.
67. Esmay, M., and Brooker, D. B., "London, Pressures on Horizontal Silos," Agricultural Engineering, Vol. 36, Oct., 1955, pp. 651-653.
68. Theimer, O. F., "Einfache Zeichnerische Ermittlung der Getreidedrücke und Wandarmierung in Silozellen," Deutsche Müller-Zeitung, Vol. 54, Jan. 25, 1956, pp. 29-32.
69. Böhm, F., "Zur Berechnung Runder Silozellen

- für Zementlagerung," Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 51, Feb., 1956, pp. 29-37; Mar., pp. 59-62.
70. Delaplainie, J. W., "Forces Acting in Flowing Beds of Solids," AICHE Journal, Vol. 2, Mar., 1956, pp. 127-138.
 71. Esmay, M. L., Brooker, D. B., and McKibben, J. S., "Design of Above-Ground Horizontal Silos," Agricultural Engineering, Vol. 37, May, 1956, pp. 327, 333.
 72. Mehmél, A., "Ein Beitrag zur Frage der Horizontalen Wanddrücke bei der Leerung von Engräumigen Silos," Bauingenieur, Vol. 31, Oct., 1956, pp. 377-379.
 73. Caquot, A., and Kerisel, J., "Traite de Mécaniques des Sols," 3rd edition, Gauthier-Villars, Paris, 1959, Chapter 20.
 74. M. and A., Silos-Traité Théorique et Pratique, Editions Eyrolles, Paris, 1956.
 75. Nanniga, N., "Gibt die übliche Berechnungsart der Drücke auf die Wände und den Boden von Silobauten sichere Ergebnisse?" De Ingenieur, Vol. 68, Nov., 1956.
 76. Nowacki, W., and Dabrowski, R., "Silosy, Metpdy Obliczeń i Konstrukcja," Budownictwo i Architektura, Warsaw, 1957.
 77. Reynolds, C. E., "Pressures of Retained and Contained Materials," pp. 25-34, and "Retaining Walls and Containers," pp. 83-98, Reinforced Concrete Designer's Handbook, 5th Concrete Publications Ltd., London, 1957.
 78. Otis, C. K., and Pomroy, J. H., "Density: Tool in Silo Research," Agricultural Engineering, Vol. 38, Nov., 1957, pp. 806-807; Dec., 1957, pp. 860-863.
 79. Theimer, O. F., "Zur Berechnung von Mehisi-lozellen," Bautechnik, Vol. 34, Dec., 1957, pp. 458-465.
 80. Caquot, A., "La Pression dans les Silos," Proceedings, 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, 1957, pp. 191-195.
 81. Sienicki, S., Domaszewski, H., and Klos, C., "Zbiorniki Materjalow Sykich," Budownictwo i Architektura, Warsaw, 1958.
 82. Despyroux, J., "Efforts Exercés sur les Parois par la Matière Ensilée: Monographie Succincte de Quelques Silos Réalisés au Maroc," Annales, Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Vol. 11, No. 131, Nov., 1958, pp. 1216-1229.
 83. Petrov, B. A., "Experimental Investigation of Pressure of Cement on Reinforced-Concrete Silo walls," Tsement, Vol. 24, Mar-Apr., 1958, pp. 21-25 (in Russian).
 84. Rowe, R. E., "An Investigation into the Cause of Cracking in a Reinforced Concrete Silo Containing Cement," Technical Report, Cement and Concrete Association, London, Apr., 1958, and Mar., 1960.
 85. Theimer, Otto F., "On the Storage of Raw Cocoa Beans in Silo Compartments," International Chocolate Review, Vol. 13, No. 3/4, 1958, pp. 23-32.
 86. Kovtun, A. P., and Platonov, P. N., "Davlenie Zerna na Stenki Silosov Elevatorov (The Pressure of Grain on Silo Walls)," Mukomol'no Elevatornaia Promyshlennost, Moscow, Vol. 25, No. 12, Dec., 1959, pp. 22-24.
 87. Jenilke, A. W., and Shield, R. T., "On the Plastic Flow of Coulomb Solids Beyond Original Failure," Journal of Applied Mechanics, Vol. 27, Dec., 1959, pp. 599-602.
 88. Bergau, Werner, "Measurements of the Pressures of Filling Materials Against Walls," Proc. No. 17, Royal Swedish Geotechnical Institute, 1959, pp. 47-71.
 89. Kvapil, R., "Theorie der Schüttgutbewegung," Auslaufverhalten von Schüttgütern in Bunkern, VEB Verlag Technik, East Berlin, East Germany, 1959.
 90. Kim, V. S., Davlenie Zerna i Sovershenstvovanie Konstruktsii Silosov Zernovikh Elevatorov, ("Grain Pressure and the Improvement of the Construction of Silos and Grain Elevators"), Khleboizdat, Moscow, 1959.
 91. Zakre-wski M.S., "Design of Silos for Grain Storage," Die Siviele Ingenieur, South Africa, Apr., 1959, pp. 69-89.
 92. Jenike, A. W., Eisey, P. J., and Woolley, R.H., "Flow Properties of Bulk Solids," Proceedings, (47頁に続く)

グラビア

ルーマニア向タルクおよび



ベントナイト粉砕プラント

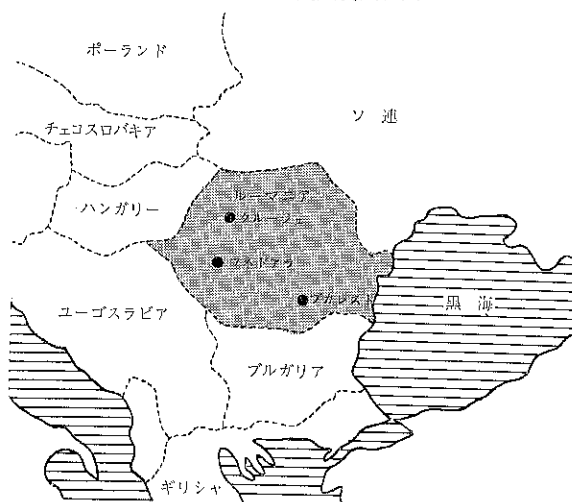
▲ベントナイト粉砕プラント全景 左が原料貯蔵庫、右が粉砕系である。それらの中央の工事中の建物はクルージュ地方の数十の各銅業、工場の中央研究所としてまた、生産上統合的な役目を果たすセンターとなる。

株式会社細川鉄工所が、さきにルーマニアよりタルク粉砕プラント及びベントナイト粉砕の一部を受注した。昨年9月より建設を開始。今年6月全プラントが完成し、引渡し完了し、現在生産中である。いずれも製品能力4万t/年の能力をもつ工場である。

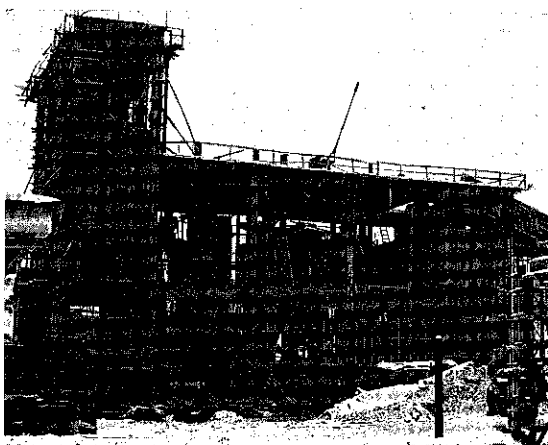
ルーマニアは黒海の西に位置するラテン民族であり、ぶどう酒や地下資源（特に石油）が豊富で工業化が早いといわれている。人口は約1,900万人、面積23.8万Km²。

ベントナイト粉砕プラントはクルージュ市に、この町はルーマニア第2の都市で学問の都市であり、きれいな町である。一方、タルク粉砕プラントはフネドアラ市に、この町は鉱工業の町であり、少なからず煤煙になやむ都市である。

ルーマニア社会主義共和国



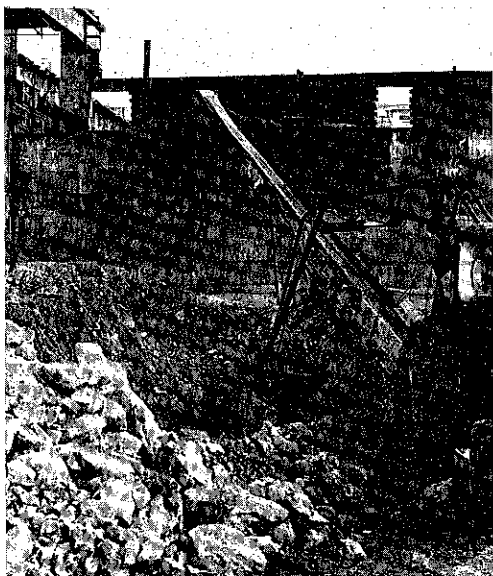
●ベントナイト粉砕プラント



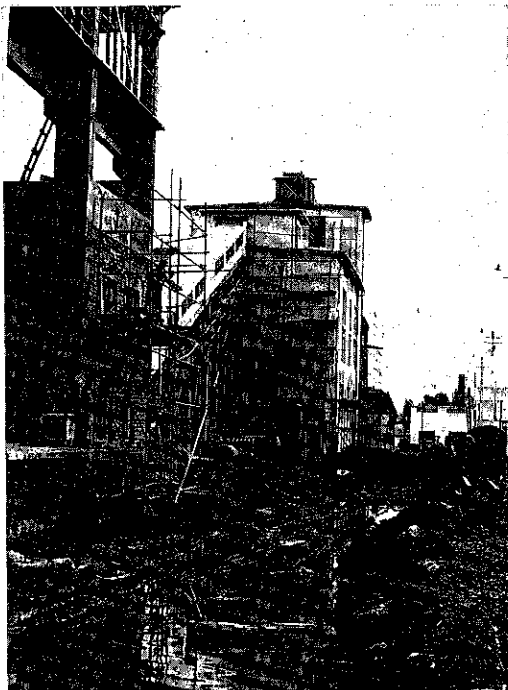
▲ベントナイト粉砕プラント主要部

▼教会が立ち並ぶクルージュ市

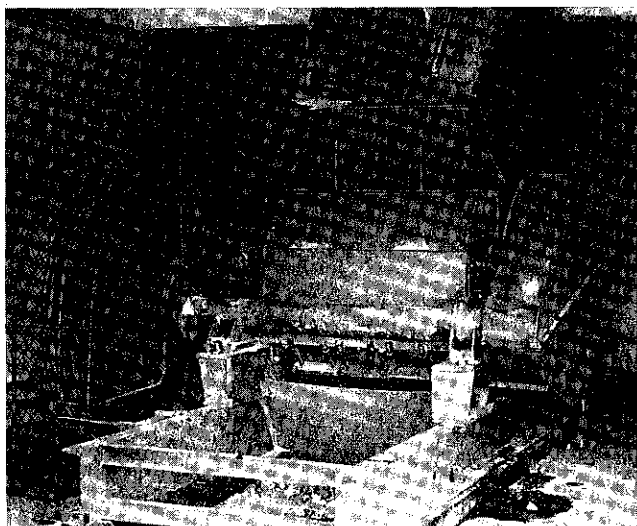




◀原料貯蔵庫
鉱山から運びこまれた原料塊（最大600mm 位）は粗砕系へ送られる。

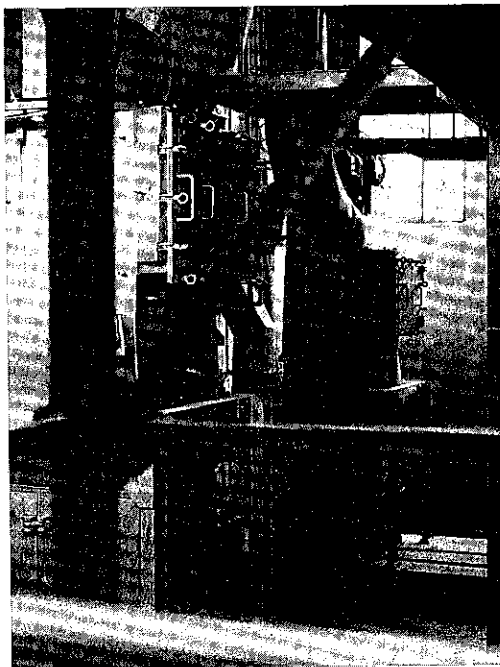


▲数十mm となったベントナイトはベントコンベアーで粉砕系へ送られる。
まもなく、ここに原料と製品輸送のための鉄道が敷かれる。

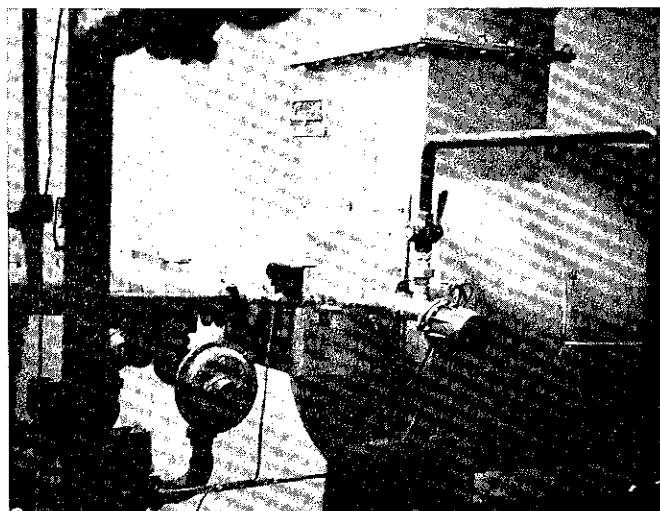


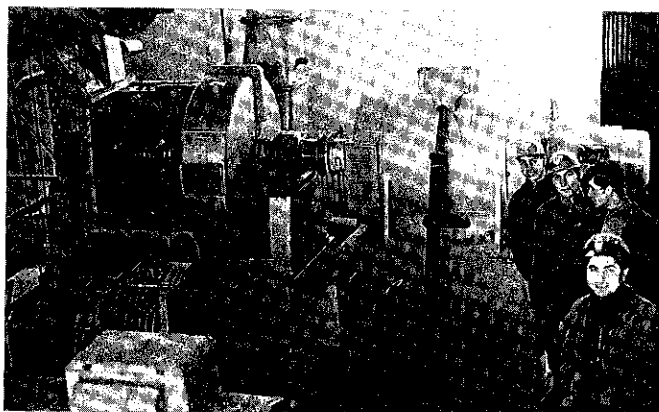
粗砕された原料は約30% (W.B.)の水分を含み、時にはべとべとの状態になり、そのため、これを数%以下に乾燥、同時に数mm以下に粉砕される。

▼ドライヤー（HDタイプ）



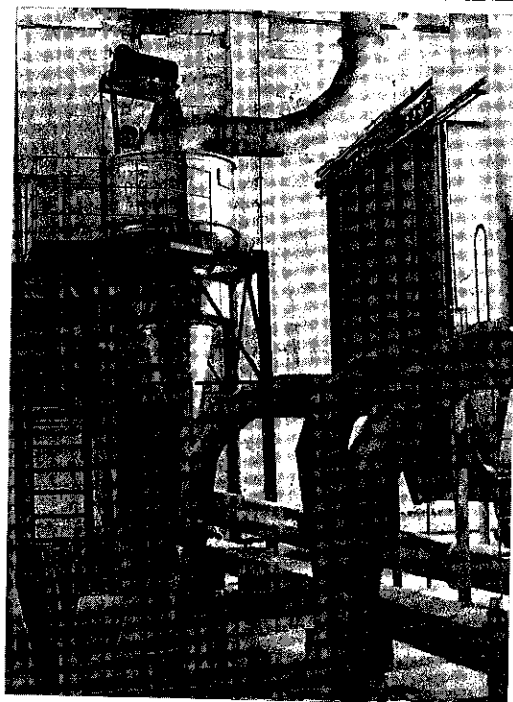
▼熱風炉





▲スーパーミクロンミル (M300) ▶

十数mmの粒子をミクロン単位に粉碎する、粉碎品、ノズル不純物除去機構には驚嘆の目をもってみられた。



▲ミクロンセパレーター及びパルスエアーコレクター



▲コントロール室で

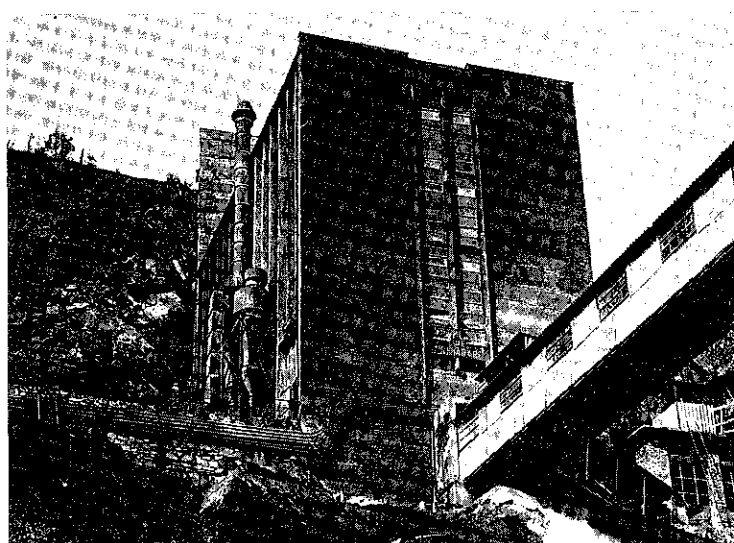
本プラントは運転員2名で操作出来るよう自動化されている。
上の写真は電気工事をする人々で、どうしても写真をとってくれといってきかなかった。

◀ベントナイトの初出荷

喜びのルーマニア代表 Mr. ディクレスクと田中氏（細川）、製品の細かさについては誰もが非常に驚いていた。また本プラントはベントナイトの品質向上が約されていたが、それについては次のような話がある。ベントナイトは鋳物砂の工場でも使われるが、その研究所へ本プラントからベントナイトをもつていった所、「このベントナイトは、非常に良質だ。どこの国から輸入したのか」と聞かれた。



●タルクプラント



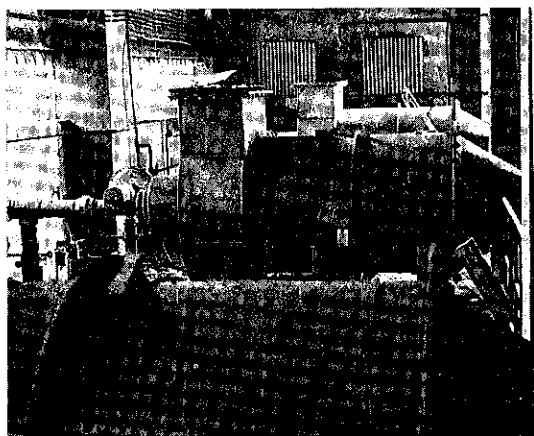
▲タルクプラント工場全景

近くには鉄工所もある鉱工業の町で、隣りにはルーマニア製タルク粉砕プラントがあり、常に本プラントの製品との対比がなされるだけに、より一層の力が入る。

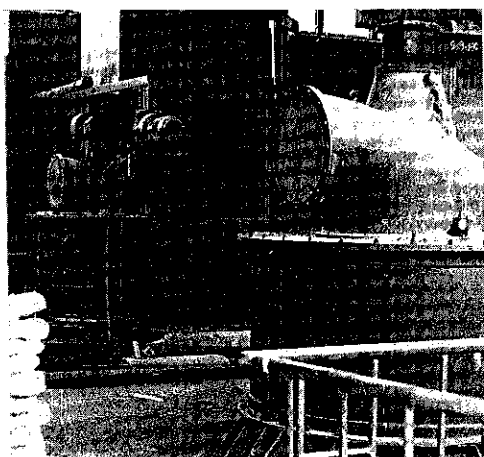


十数mm以下の原料が本プラントに供給される。

▼ 熱 風 炉



▼掘付中のミクロンセパレーター



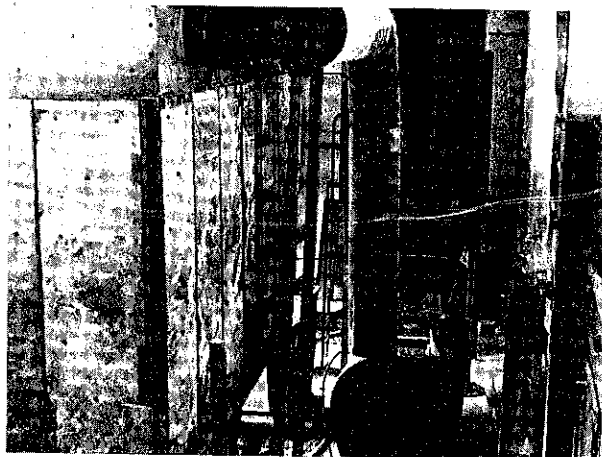
▲スーパーミクロンミル (M300)

10%程度の水分を含む原料は、ファーンエスから供給される熱と共に数 μ の乾燥粉体となる。

特に不純物の多いタルクなのでノズル不純物除去機構はその威力を発揮した。



▲運転員2名で操作されるタルクプラントの心臓部、コントロールパネル前でルーマニア作業員を指導する平塚氏



▲バルスエア据付、配管、保温工事最中の現場

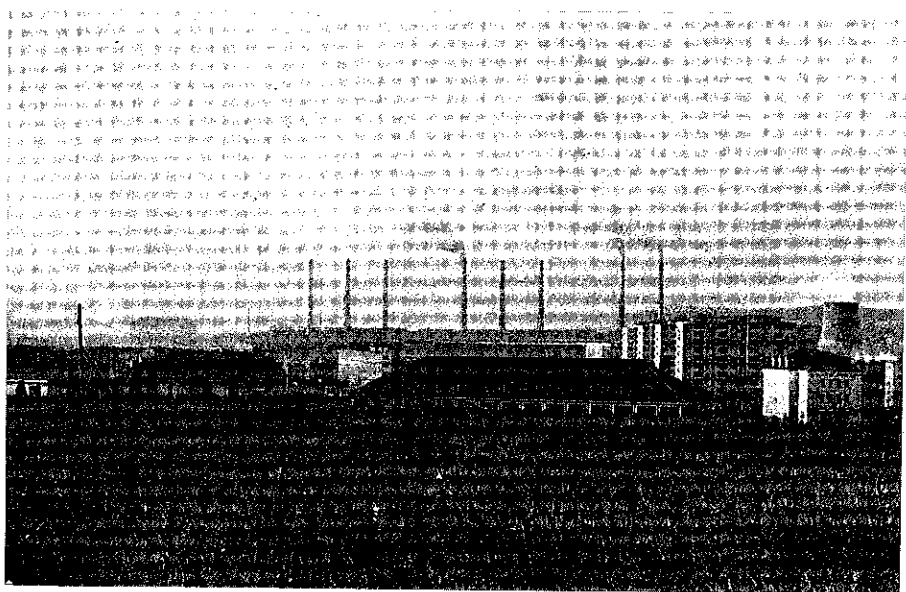
完成を喜ぶ両代表▶

(後列左から2人目柳井氏、3人目キセリ氏)

本プラント建設中いつもいわれた現製品との対比は、粉が出来るやいなや、抜群の品質に関係者一同大いに感激していた。またルーマニア製タルクプラントは粉塵がたちのぼっていたが、本プラントは無塵の工場を提供し、作業環境を大いに改善した。ベントナイトプラントにおいても無塵の工場であり、学問、文化の都市にふさわしい工場となった。



●ルーマニアの横顔



◀公害になやむフネドアラの町
いつも同じ、夜になると、
どういゆわけか煤煙がふえる
とか。



▲クルージュ市の裏町といった所



▲狩（タルクプラント）

ある日曜日、プラント関係の人々から狩に招待され、野山をかけめぐりとても楽しい一日を過ごした。



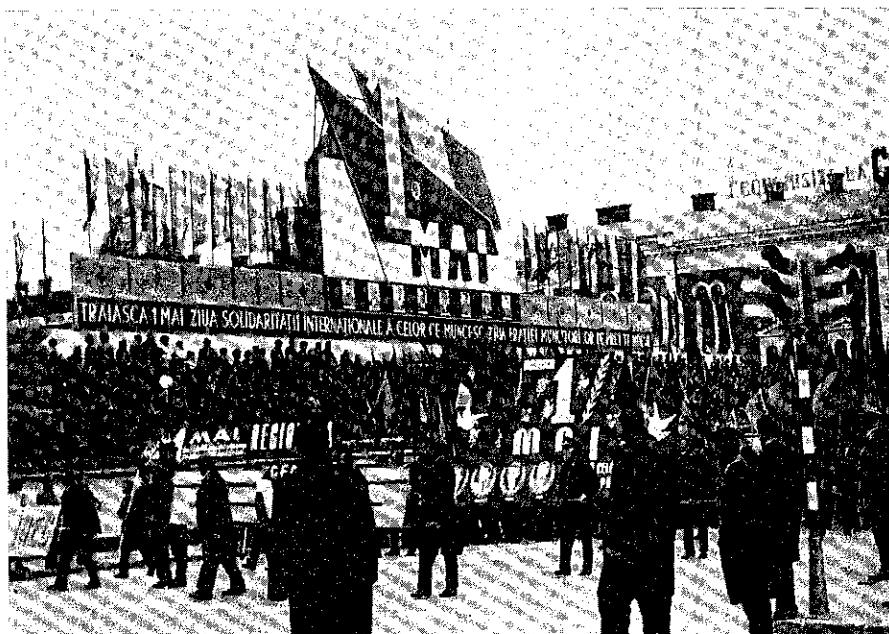
▲我々の隣りに住んでいた明るい子供達、彼らから随分ルーマニア語を勉強した（フネドラ市）



▲マイニングセンターのダーチン氏（右端）に招かれ、家族一同の暖いもてなしをうけ、その心にちょっぴり日本を思い出した一こま（ベントナイトプラント）

ルーマニアのメーデー （於クルージュ市）

町のほとんどの人が、この行列に参加する。労働者、自衛民団、学生、子供といった全ての階層の人が加わった。また、小学校のマスゲーム、民族舞踊等もみられた。



粉 碎 の 話 II

——研究室のこと 台湾のこと——

北海道大学工学部

田 中 達 夫

「安保粉碎!」「入試粉碎!」。世は「粉碎」の時代である。タテカンがずらりと並んだ大学の廊下が薄暗くなり、下手な字で書きなぐられた文章の中にヤケに威勢よく出てくるのが粉碎という字だ。そうかと思うと学生名簿の中にアンボとかカクマルという姓を発見し、声を出してよみあげるとたちまち粉碎されてしまうような錯覚さえ覚えるヤヤこしい時代となった。4ヶ月近く台湾の大学で講義をして来て、帰国早々2ヶ月ばかり卒論の学生たちと毎日討論し、ものものしい警戒態勢の入試の監督をほとんどメシ抜きでやらされ、“台湾坊主”と称する天候異変のもたらした記録的な猛吹雪の中ですべったりエンコしたりする愛車をなだめすかしてすっかり疲れる毎日を繰返している中に、どうやら教師になって丁度20年がすぎ去ったようである。

学生気質も最近はずい分変わったような気がするが、6年も7年も手元にあづかってスクスクと成長した教え子たちの中から、これで2人が工学博士の学位をとって一人前の研究者として羽ばたいて行く。北大での7年間に一緒に学んだ40人前後の修士や学士諸君もそれぞれ立派に、中には何人か粉の仕事させられているようであるが、文句もいわず一年一年みちがえるような技術屋になってゆく。アメリカやイギリスの大学に活躍している教え子もいる。多かれ少かれ、彼らは私の処で粉を対象として学問や技術への入門をした。人のいやがる粉を少しでも面白くやるために、私は彼ら学生に俗にいうコナヤ的な仕事をさせようとしなかった。これら学生たちとフラフラになるまで討論したり考えたりした仕事を、1年余り前に「粉体プロセス入門」という本にまとめて工学図書の笠原氏の好意で刊行したが、一方ではボロクソにいわれてもまずまず好評のようで嬉しく思っている。

この7年余りの間これらの学生たちとやって来た仕事をふり返り、これからどんな事を考えねばならぬかをひっぱり出してみよう。

本誌13号に「粉碎の話I」を掲載して貰った。わたし

たちはできるだけ現象を細かく分解し、データを実験式的に整理することになるべくしないで、ロジカルに物を考え、解析的に取扱う習慣をつけた。このことは、でて来た結論からより一般的な予測を期待できる筈のものであるし、またその方がスリルもあって早くいえば面白いからである。確かに近視眼的には役に立たないかも知れないし、てっとり早いまとめ方ではないが、でて来た技法的な一見役に立つと思われる結果よりも、学生と一緒にやる大学の研究室では、私はあえて廻り道をしてでも、学生たちに基本的な勉強をさせ、基礎的な力をつけることを主眼とした。それだけに彼らの fresh idea が尊重されるのである。粉を面白くするのもしないのもやり方による。そうはいっても粉はそれほど面白いものではないが、やっぱり、こっちが考えるように粉が踊ってくれると好きにもなるし魅力もでてこよう。学生たちは科学者の卵であって粉屋ではない。

あるグループは「分級」と取組んだ。ゴールにある主題は“分級機の性能はなぜ処理能力とともに落ちるか”である。このグループの目をつけたのは先ず気流の乱れによる粒子のランダムな運動と、その結果から確率論的に表わされた分級効率の計算である。このためにはもう一度流れ学を勉強しなければならなかったが、この着想は余りよい結果をもたらさなかった。その次には気固系流れにおける空隙率の、流速による細かい変動が、粒子の流れに周期的な変動を与え、その結果分級効率に濃度が影響するだろうと期待された。これには大変な計算を必要としたが、でて来た結果はそれほど香しいものではなかった。けれども私はそれでよいと思っている。彼らにとっては「分級」がよかろうと悪かろうと大したことではないし、むしろ流れ学の基礎を勉強し、コンピュータに習熟する機会をもったことの方がより重要であると思うからである。

この問題はさらに第3の着想である静電気の問題の考察によってすすめられる。コナ屋変じて電気屋である。

この方法ではかなり面白い結果がでており、経験的な分級効率の濃度による低下が、静電荷と粒子の拡散係数によってばうまく説明され、分級機の大きさと能力、その内部のメカニズムなどに関する定量的または定性的な suggestions が与えられそうになって来ている。私自身それよりも、静電気の問題が大変面白くなって、分級効率以上によい効果があったと思っている。

分級といえは、6年前に始めた仕事の1つに「オンライン粒度測定」がある。分級と流量測定を利用した方法であったが、少なくとも 100 μ 以上の粒度分布は非常に短時間で応答し、且つ静特性もすこぶるよい計器ができ上った。この仕事を担当した「化学」の余り好きでない、しかしエレクトロニクスの得意な学生は、この仕事のつづきのテーマに非常に苦しんだが、次に周波数応答を用いる透過法による空隙率のオンライン測定の可能性に目をつけ、プロセスダイナミクスの手法を存分に勉強してこのユニークな仕事を完成した。これらの原理が果して工業的に使われる日がいつのことか判らないが、私はそれ以上に、この学生の力が6年前とは別人のものであり、今後の学界業界に貢献するであろうことに期待したいのである。

同じ頃始めた「粉体流量の測定」の研究は静電容量計を使って或程度成功したが、この学生はその後一生懸命電磁気学を勉強し、折角学生の習得した合成化学工学は大方忘れてしまったが、その代り電磁気学には相当自信を深めた。この知見を利用していろいろの粉体現象を測定してみようというわけである。パッキングの不均一性や粒子の流れる状態などが測定にひっかかってくることを期待したいところである。これなどいわば物性屋の仕事に属するであろう。

「振動の場での粉体の挙動」を勉強した学生は、運動方程式を武器とし、さらにすすんでレオロジーの領域に入っている。粉体の流れ特性をこのような立場で考察することは決して新しいことではないが、安息角とビンガム体の降伏応力の関係を解析的にひっぱり出したのはきわめて Exciting なことであり、しかし一方では同じ教え子の中からこの説に真向から反対するものもいて内ゲバの様相もあるが、フランクに正直に討論がつけられるのは、気持のよいものである。

「粉体の貯蔵と供給」は私の苦い経験を契機に始めた仕事であるが、若い学生の思い切った idea が源になった。ラットホール型ホッパーなどといろいろ悪口をいわれているようだし、今後もっと改善してゆかなければと考えているが、ホッパーから粉が出るか出んかなど聞かれ、確率50%の答えをアテズッポーにいわされることから考えれば、少しはマシであろう。こんな仕事が契機に

なって、この方面を担当している男は粉体力学や内部摩擦、それに付着力など多方面の研究をすすめるようになった。いうなれば土木屋である。

さらに Segregation メカニズムを私たちは今、頭の中で整理し、Segregation を起さない粒度、密度、混合度、摩擦係数の間の関係が果してあるのかないのかを、そんなユートピアがありうるかどうかを、あるモデルを土台として検討している。実際にそうなるかどうかは実験してみないと判らないが、来る日も来る日も、粉をあちやこちから流して分析しているよりもはるかに楽しいものである。もっとも多少パチンコ屋的な面白さに通じるらしい。

「粉砕」の話になるが、いま私たちは粉砕速度論を利用し、またこれを深くつっこむことによって、粉砕操作に出てくる色々の場合の予測をやろうと考えている。前の原稿ではすこし筆がすべりすぎたが、要するにボンドの仕事指数までが分解されて、ヤング率や密度あるいは圧縮強度によって一義的に表わされるのであろうということであった。圧縮強度はさらにヤング率、比表面エネルギーそれに Griffith のクラックの長さによって弾性的に定義されるものだから、結局ボンドの30年にわたる経験値は、これらの固体物性によって充分裏づけられていることが判った。現象論的な粉砕学がここ10年余りの間にガラッと様子が変わり、素人にとって解りやすいものになって来ている。ある学生はこれを用いて、私の15年ほど前にやった閉回路粉砕方式の設計理論のケツカンを見事に解決し、その上に設計の立場でも大変有用な変数を提案した。これによって粉砕機と分級機が本当に組合された回路だという実感が湧いてくる。また Rosin-Rammier プロットの時間的推移に関する過去の実験式的表示は、すべて速度論によって解決される。要は速度論の数式モデルが実際の粉砕メカニズムとどのように物理的に結びつくかが今後の主題であろう。

これらの問題の1部はすでに前記の「粉体プロセス入門」の中にフリーに書かして貰ったが、その後の発展については主として Ind. Eng. Chem. とか Powder Technology などの学会誌に発表したり投稿したりしている。機会があれば本の改訂をするか、或いは別に書き直したいと思っているが、下手な英語を承知の上で外国雑誌に出すのは、1つにはたとい論文審査がどんなにきびしく長期間かかっても、なるべく多くの人に批判を受け、利用し、発展できるものはなるべく広くそうして貰いたいという circulation の問題があり、また日本語の論文が目についたときに、改めて翻訳をさせられる煩

(何度か過去にそんな経験があった)を省きたいからである。第2にこの機会に学生に外国語になれておいて貰

うためである。

一生に1度や2度は英語を書いたり喋ったりすることは避けられんであろう。始めに尻ごみしていた教え子の多くは、それでも立派に書けるようになり（もちろん very poor English などと文句をいってくる Reviewer もいるが）、今では私がびっくりするほどうまい表現のできる子も多い。インド人もびっくりするであろう。少くとも「狸小路」を狸の歩いている道と教えられたロシア人がびっくりした英会話を駆使して、実験室を案内してくれる教え子たちがいてくれる間は、私は安心して彼らに任しておけるのである。

外国語の話が出たついでに台湾の話に入ろう。去年の10月中旬から今年の1月末まで台南市にある台湾省立成功大学の化学工系の修士・博士コースの学生に Powder Technology の講義を依頼された。1つには上記のわれわれの研究室で考えている問題についてどの程度台湾の学生たちが反応するかという興味もあり、1つにはここ数年間、毎年1回ヨーロッパやアメリカの学会に参加しているが、いつも慌しい旅行で、長くて1ヶ月余り、短いときは1週間という忙しさのため、少しは外国でノンビリ考える時間を持ちたかったのである。その実は台湾生れの台湾育ちのワイフに pressure をかけられたこともあるが。

北京語はもちろん話せないで英語で講義をせざるを得なかったが、たどたどしい私のフリートキングの英語に台湾の学生は猛烈についてきて、2時間の講義の間に多いときは10以上の質問がはね返って来て、変な話だが20年の教師生活の講義の中で、これほど熱が入り楽しいことはなかった。頭ごなしに何とかの式をムリヤリに教えてむことは極力避け、彼らと一緒に考えるように、つまり私の教え子たちと一緒に勉強して来た歴史を再現するように努めた。珍しいことだが、一度も休講をせず、ふしぎに病氣もせず4ヶ月足らずを楽しく送れたのは講義にハリがあったからだろうか。一人も休む者がなくドクターコースの学生（実は講師であるが）はじめ20人（女の子1人を含んで）の中には陸軍大尉とか風変わりな人もいたが、実に愉快に、私の下手なジョークもよく働いて最後まで「粉末」に興味をもってついて来たばかりか、最後の試験にも最低が85点という、私の教師生活を通じて空前の勉強ぶりを示し、私自身あっけにとられた次第であった。私の家族とも親しくなり、大勢一緒に家に遊びに来たりしたが、私もできる限り時間を割いて彼らと接触した。台湾では師弟間のコンタクトが充分でなく、学生は教授の部屋を訪れることさえつとめて遠慮している向きがあるが、これが嬉しかったのか彼らは何でも聞きに来たり頼みに来たりし、最後にはお別れバ

ーティをやってくれ。20年この方経験したことのない学生からのプレゼントを贈呈され、胸がつまる思いがしたものである。試験中にもかかわらず、私たち家族が台南をたつ日、駅まで送って来て再渡台を願う彼らの面影はいつまでも忘れられないが、これほど勉強をし、これほど数学も英語も実力をもっている彼らでありながら、国情とはいえ生きるための現実はまだことにきびしいものであり、彼らのために同情を禁じえない。ゲバ棒をふるいジグザグデモを繰返して、何でもやれる何でもいえる幸せな日本の学生よりも、もっともっと現実的な圧力に压えつけられながらそれを心の中でははね返し、行手に希望の灯を求めて明るく謙虚に生きようとしている彼らに人間的な親しみをさえ感ずるのである。いつか機会が許すならば、彼ら学生の希望に沿ってせめて1年でも一緒に研究をしたいものである。

台湾大学（旧台北帝大）や台中市の東海（トンハイ）大学、それから中国化学会で特別講演をやらされるなど、私にとって忙しいことだったが、生れて始めての終りであろう“化学”の話をさせられ、それが500人の聴集に案外アピールして中国化学会から雑誌にのせたいのと原稿を求められたのにはこっちがびっくりした。実はやけくそで前の晩向うの酒をコップでのもんで酔いつぶれてしまい、完全に予習不足であったが、これが反ってフリートキングの舌をなめらかにしてくれたらしいのである。

まだどこでも日本語が通じると思っている人が多いが、台北を除いてそうはいかない。40才以上の台湾人を除けば全くダメである。後10年もたてばさらに日本語を話す人はへるだろう。その代り若い人たちは純粋にきれいな北京語を話す。大学の学生を除けば英語は尚ダメである。下手な第2外国語を習うより、日本人はこれから北京語でも習った方が入り易いし物になるような気がする。何をいっているのかサッパリ判らないが、北京語は大変美しい言葉である。

最後にコナの話をして1つ2つ。高雄市にあるセメント工場へ講演に行ったとき、そこの工場長はじめ若いエンジニヤは粉体の閉塞とか付着力でホトホト弱っていた。その中に石炭ホッパーがあって、これが指数曲線型のものであり一番トラブルの多いものでアレはダメですねエといっていた。日本でのある講習会で、ある人から聞いた台湾には指数曲線型のホッパーがあって至極よろしいという評判だが…という話を持ち出すと“トンデもない”と笑っていたが、情報というのは時に正反對を伝えるものらしい。しかし何故わるいのかという疑問は出されなかった。こんな処にまだ粉の学問が信頼されてないナということを感じる。

また台南近郊のセメント工場で日本製のロータリキルンが爆発し8人が死亡、数10人が負傷した事件があった。微粉炭を使っているバーナー近くでの炭塵爆発であると聞いた。私も昔は石炭粉砕実験をやったが、知らぬが仏というのであろう。ガラス玉を空気輸送しているときにでもしょっちゅうボンボン烈しい音を出して放電する。とくに乾いた北海道ではシャツを脱いでもバリバリ痛い位である。表面積の大きい粉になるほど静電気の効果は大きい。粉体工学の立場からでも安全工学の立場からでも、また計測学や物性論の立場からでも粉のこのような問題はもっともっとやられてよいのではないだろうか。まだまだ学ぶべきことが残ってるわけで、実は少々

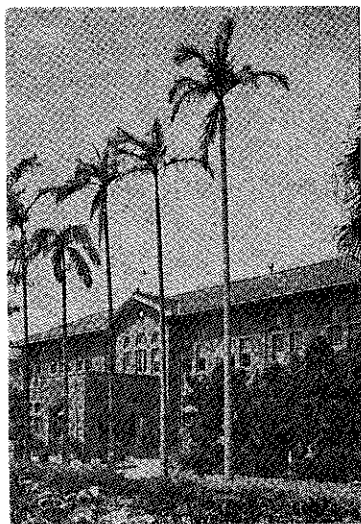
教師生活にも粉にも飽きた人間を、もう一度発奮させるネタがそこいらに沢山ころがっているようでもある。

(あとがき) 疲れのためか一向に芽えない原稿になってしまい申し訳ない次第です。今年は3月末になっても当地は大雪や吹雪が舞い、台南のまっ青な熱帯の空がなつかしく思い出されます。俳句になってるかどうか知りませんが、お笑い種に。

・暑い日も寒い日もあり 年の暮 (台南で)

・正月や 北回帰線で 西瓜喰う (嘉義へ
の旅)

(3/27/1970)



◀成功大学の一風景

▼日月潭で高砂族の娘たちと

(つまらぬ観光写真で逃げまわったんですが、とうとうつかまったのです。それにしてもよく高砂族に似ているのには後で全く感心しました)



働くよろこび

日本電池

岡 田 辰 三*

社会人として企業にたづさわられる、皆さんに、私が今日までに読んだ本のなかで、感じたこと、また私自身が今日までに経験したことを、ご参考までに書きましょう。申し上げることは“働くよろこび”とでも申しませうか、次の項目に別けて述べます。

1) 人間とか、国家ベースから勤労について考えてみましょう。

人間は他の生物と異なって、精神的にも、また物質的にも、進歩に進歩をつづけています。

それは父祖の終着点を自分の出発点として その上にさらに勤労努力して、それぞれの家業の発展はもとより、産業界または、地域社会の向上につとめているのです。後輩は先輩の終着点を出発点として、新しいものを、積みあげていく、このようにして、人間社会の進歩があるのです。

英国の歴史家アーノルド、トインビーはこう言っています。“人類文明の起りは、地域的に、その起源があるのではなく、また人種的にとくに優秀な民族によって、進められたものでもない。遠い昔から、いろいろの困難に遭遇した人類が、あらゆる困難に耐えただけでなく、あえて困難に向って、たち上がり、禍を転じて福となすよう勤労努力したところから文明が生まれたのだ、この困難が自然の人類に対する挑戦であり、人類がこの困難に対して奮起した姿勢が応戦である”とっておられます。また21世紀は日本の世紀だといった外人もいますが、その見所は日本人の勤労心です。

この日本人の勤労に対する特性は、昔から祖先が代々努力して、習慣または特性として、養って来たものがあります。貴い先祖からの遺産であって一朝一夕にできる習慣ではありません。

この事についても、外人は、日本人はこれから経済的に向上して来てできる、余暇とか、レジャーを伝統的に今日よりもっと建設的な文化の向上に使うだろうと、高く日本人の性格を評価しています。

ここで日本人は特に反省する必要があります。祖先から培って来た日本人の勤労に対する特性をますます、

よい方向に維持向上しなければならんです。一度失ったら、その特性を恢復するのに多年を要する例を、外国の事例であげてみましょう。

かつて世界に雄飛した、イギリスやスペインの今日の衰退ぶりであります。特にスペインについて述べますと、国民は植民地政策に成功しましたが、この植民地から送ってくる物資と財力で、本国人は生活し、今日の産業を起す意欲は衰え、勤労心を失ってしまいました。そして現在ヨーロッパ経済共同体に押されて昔日の偉が見られない有様です。

こういう日本も、かつて、これら先進諸国の誤った植民地政策に無批判に追随し、間違った道に進んだこともありました。もっと皆さんと共に歴史をよみ直して、考えようではありませんか。

トインビー博士もいっておられるように、歴史は決して過去のものではなく、過去を現在に生かし、さらに未来へとつないでいくものであります。歴史をひもとくことによって先人達と応戦の記録にふれることが出来ます。言葉をかえて申すと、困難が起った時に奮起することをわれわれに教えています。また具体的に申すと、企業という一つの団体にとって起って来た困難を企業の全員が奮起してこれに立ち向う。すなわち応戦してこれを克服すれば、そこに、その企業の繁栄がもたらされるのです。

2) 仕事はよい先生です。

この項以下から個人のベースで勤労について申します。この世の中で仕事ほどよい先生は、社会人であるあなた方にとっては外にありません。

人生の大部分を仕事と共に暮らされる皆さん、これから先ながい人生であります。その永い人生で、とても耐えられない不幸が、あなたの身辺におこらんとは断言できません。そんな時、あなた方を支えて、力を与え、新しい方向を拓かせてくれるものは、ほかならぬ仕事なのです。人生行路には幾重もの困難な壁があります。しかしその壁といえども、全身でぶつかっていけば、必ず破れるものであります。いえ却って壁が厚く、抵抗のつよいものであればあるだけ、意欲もわき、やり甲斐も生れます。これが困難にあつて奮起を要求される場合であ

* 日本電池社長

り、そこに進歩が生まれます。皆さん、“これがおれの仕事だ”、自分の一生の仕事だ、この仕事にかけては、おれがいちばんになろう、という自負をもっていただくとともに、仕事にうちこむ楽しさを覚え、仕事というより先生の、よい弟子になってください。

3) 働く楽しさ

仕事は初めによくその仕事を知悉することが大事である。次にはその仕事がすきになること、最後には楽しみになるまで進めなければなりません。この事は何事でも同じで、運動競技、または趣味の技芸についてもいえることです。仕事が好きであれば、この世は極楽だ、仕事が義務であれば、この世は地獄です。生き甲斐のある仕事であれかしと願い、またこのために、まづ努力して下さい。みなさんもよくご承知の石川啄木という歌人は、清貧に甘んじつつも歌こそが命と作歌一筋にうちこんだ、夢の多い人だが、また不幸な青年歌人でした。

この啄木と同郷である、金田一京助さんは、専門の違うアイヌ語の研究のかたわら、友人の啄木の生活にあえていっているのを見て、実によく面倒をみておられました。そして金田一京助さんの世話で、生活のために朝日新聞社の校正係につとめました。

その啄木が

【こころよき疲れなるかな息もつかず仕事したるあとのこの疲れ】とよんでいます、一生懸命仕事にうちこんだ、あとの満足感というか、よろこびがあふれています。私の非常に好きな歌です。

みなさんも、毎日のお仕事に、どんな小さなことでもぶっかっていくという姿勢でのぞまれれば、おのずと道は拓けてくるものであります。

4) 勤労には目標が大切

私は勤労というものは作業と仕事の2つに分けられるとおもっております。なんだ仕事も作業も同じことやないかとおっしゃるとおもいますが、違うのです。

作業とは極端にいうと機械のように、ただ与えられた動作をやるだけの受動的なものです。これに対して仕事というのは目標とか、課題をもって働くことで、積極的であり、自主的であります。

ある人は生産が自動化したり、機械化が進歩すると、

人間はその機械に、れいぞくすると云う人がいますが、私はこの言に反対です、上述の作業こそ人間尊重に反する動作です、機械には故障が起こります。安全保証期間というもの機械系統にはあります。人間はこの機械を使用して、故障を直すように考え、また保証期間を永久にする創造力を持っているのです。人間もまた誤りを侵すこともありますが、この欠点を機械化し、その上人間が監督し、改良するのが人間です。将来人間尊重の声が大きくなりますが、この因子も人間尊重の一斑だと考えます。

今日は資本と貿易が自由化される間隙です。仕事には自主技術、自主管理、自主的営業手法が要求されます。このために創造力の必要性が要望される時代であると思します。

5) むすび

さて働くよろこび、とか、生き甲斐とか申し上げました。毎日ある時間、物事に熱中し、精神を緊張させている人と、ただぶらぶら時を過している人とは、一見して誰にもわかるものです。生き甲斐も、創造力もはげしい仕事の最中にこそ生まれるものです。仕事は祈りであるといわれるのもここにあるのです。記述中に困難に対して奮起することを申しましたが、ここで今一度くり返しておきます。

それから結言としてイデオロギーは時代で変化しますが、個人のモラルはイデオロギー以前のものであることを強調して、その例として昔の海軍兵学校に掲げられていた五省……五つの反省……を書いておきます。この五省は軍人勅諭とともに、毎朝精神訓練のために唱えられていたものときいています。その五省の言葉を記して結びとします。

- 一つ至誠に悖るなかりしか。
- 一つ言行に恥ずるなかりしか。
- 一つ氣力に欠くるなかりしか。
- 一つ努力に憾みなかりしか。
- 一つ不精に亘るなかりしか。

戦後は軍人勅諭の額は下げられてありますが、この五省の額はそのまま海軍技術学校になっている昔の海軍兵学校にそのまま残されています。

見 掛 密 度 に つ い て

法 政 大 学 工 学 部

津 々 見 雄 文

粉体の圧縮性、流動性、熱特性など、粉体の物理的諸性質は、その充填状態のいかんによって大きく左右される。その意味で、充填特性は粉体のもっとも基本的な特性の一つであると考えられている。

粉体の充填状態を表わす量として一般に使われているのは次の5種類である。

- (1) 見掛比容積 (充填比体積)
- (2) 見掛密度
- (3) 空隙率 (間隙率)
- (4) 空隙比 (間隙比)
- (5) 充填率 (実積率)

このうち(3)、(4)、(5)は具象的であり、石ころが堆積したようなイメージを描写しやすい。ただしこの場合の数値を求めるためには、粉体粒子の真密度を測らねばならない。それに対して(1)と(2)は、どちらかといえば抽象的な物性値であるけれども、単に容積と重量を測るだけで数値を求めることができるという点で、実際に用いられることが多い。特に(2)の見掛密度は、最も普通に用いられる充填特性の表現手段である。

さて、この見掛密度というものの、案外に曲者であって、何の難作もなさそうであるが、実は、わかったようなわからないような、考えれば考えるほど手強い相手に思われて、何のためにこんなものを測定しなければならないのかと疑わしくさえてくる。

甚だ弱気のようなのであるが、先ず第一に名前。学術用語のうちでこれほど変名の多いのも稀れであろう。JISに記載され、国家権力によって保証された(ゲバ学生のいうような言葉だが)名称ですら、気が付いたものを拾ってみると次のようになる。

- | | |
|-------|--------------------|
| K5101 | カサ (顔料) |
| K6721 | カサ比重 (塩化ビニール樹脂) |
| K6891 | 見掛ケ密度 (四フツ化エチレン樹脂) |
| K6911 | 見掛密度 (熱硬化性プラスチック) |
| R6126 | カサ比重 (人造研削剤) |
| Z2504 | 見掛密度 (金属粉) |

この他にも、充填密度、カサ密度、見掛比重、バルクな

ど、勝手に使っている呼び名まで入れば大変なことになる。そのたび毎に我々は頭の中の翻訳機械を働かせて、自分の慣用している名称に書き直しておかないと、他人様のお話が通じなくなってしまう。JIS K6891の“見掛ケ密度”は、むづかしい文字の間からチラッとケがのぞいていたりして愛嬌もあるが、K5101の“カサ”になると、粗忽者には“できもの”の話かとドキッとすることもある。

次に第二は、いろいろな種類の見掛密度があるということ。

そもそも粉体の充填状態には、最も密な圧粉体の状態から、最も疎な流動層の状態まで様々な段階がある。R. L. Carr¹⁾は粉体の流動性に関連して、ゆるみ見掛密度、固め見掛密度、平均見掛密度、動的見掛密度、流れ見掛密度の5種類を挙げているが、それ以外にもタップ密度とか圧粉密度など、いろいろの種類の見掛密度があるために、いちいち断わらないとどのような充填状態なのかわからない。

これらのうちで、どの見掛密度を採用すべきかは、実際に則した状態の密度を測定しなければならないであろう。例えば、単に自重だけで堆積している状態と、装置の中で流動している状態とでは異なるであろうし、袋詰めにしたばかりの状態と、これが長時間トラックで運搬された後の状態とでは密度もおのずから違ってくるであろう。

ある操作が加わったときに密度がどのように変化するかということも調べる必要があるであろうし、粉体内部における密度分布の状態を簡単に測ることができればその価値は大きいであろう。とくに、ホッパーやフィーダーの内部を流れている粉体の任意の場所における時々刻々の見掛密度変化を、簡単に棒をさし込むとか、光を当ててくらのことで測れるような方法は無いものだろうかといつも思う。

第三は、見掛密度の測定値は常にバラツキを伴うこと。

見掛密度の測定値を科学的に取扱いうるためには、再

現性のよい測定値が得られる——誰が測っても、いつ測っても、何度繰返してもほぼ同じ値を得る——ということが必要条件となる。ところが、筆者²⁾の経験ではどんなに慎重に測っても数パーセント程度のバラツキがでる粉体はザラにあって、見掛密度の測定とある程度のバラツキとはあたかも形と影のごとくであり、せめてバラツキの小さい測定法を探すことしかなさそうである。

しかもその粉体に加わった前操作の影響が測定値に現われたり、またその粉体で作られたときの環境によってその後の性質が変ってきたりするというのを聞いたりすれば、ただもう神に祈って、どうぞカタログや論文にはあまり絶対的であるかのような測定値を書かないで、せめてカッコの中にバラツキの程度を示すことによって、気の弱い筆者のような人間のコンプレックスを救ってくださいと願うばかりである。

かつてある工場を見学させてもらったとき、現場の技術者さんが、縁の欠けた一升マスでサッとすくった粉をすり切り一杯にして“この粉の見掛密度はこれこれです”といわれたときには、いささかあわてて、“ちょっと”待ってください、一体マスの中に(粉を)どのような入れ方をしたのですか”と問い返さずにはおれなかった。絶対的な自信をもっていえるほど再現性のよい注入方法を教えてもらいたかったからである。

第四に、明確な目的意識をもって見掛密度の測定をしていないことがある。

これは見掛密度の値がいくらであれば他の粉体物性がいくらになるというような定量的な相関関係があまりは

っきりしていないためでもある。前述した Carr の論文では、見掛密度と流動性との関係を定量的に扱っていて、その意味では劃期的であると思うし、それ以外にも熱伝導率との関係などで相関関係が明らかにされている場合もあるが、一般的にいつて、実際の粉体プロセスにおける見掛密度測定の意義が明確になされていない場合が多い。

それは勿論、研究者自身の努力が未だ足りないためでもあるが、現場で実際に見掛密度を測定しておられる方々も、いま一度何を目的として測定するのか、その測定値と他の物性値とがどのように結びつくのかを考え直してみることをお願いしたい。ただ単にカタログに記載するためにとか、慣習によって見掛密度を測定しているだけでは、卒業証書を手に入れるために高い授業料を払って大学に入学させられたお坊っちゃん大学生を笑うわけにもいかない。

ずいぶんと勝手なことを書かせてもらったけれども、要は、最も普通に日常化してしまった事でも、考えなおしてみればいろいろと問題があるということである。……そんなことアタリマエじゃないか。……ホラホラそれがまた問題なんだ。

引用文献

- 1) R. L. Carr; Chem. Engineering 72, 163 (1965)
横山, 浦山; 粉体工学研究会誌 6, 264 (1969)
- 2) 川北, 津々見; 応用物理 35, 260 (1966)

(33頁よりの続き)

- American Society for Testing and Materials, Vol. 60, 1960, pp. 1168-1181.
93. Cornick, H. F., "Storage Accommodations for Grain," Dock and Harbour Engineering, Vol. 3, Charles Griffin & Co., Ltd., London, pp. 84-95.
 94. Fumagalli, E., "Esperienze sulle spinte esercitate dal clinker sulle pareti di contenimento di un silos e norme pratiche per il calcolo," Tecnica Italiana, Vol. 25, Dec., 1960, pp. 533-540.
 95. Leonhardt, F., Boli, K., and Speidel, E., "Zur Frage der sicheren Bemessung von Zement-Silos," Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 55, Mar., 1960, pp. 49-58.
 96. Billig, K., "Retaining Walls, Bunkers, and Silos," Structural Concrete, Macmillan & Co., Ltd., London, 1960, pp. 746-767.
 97. Theimer, O. F., "Rationelle Planung im Getreidesilobau," Deutschen Müller-Zeitung, Vol. 7, Mar. 3 and Apr. 4, 1961.
 98. Jenike, A. W., "Gravity Flow of Bulk Solids," Bulletin 108, Utah Engineering Experiment Station, University of Utah, Oct., 1961.
 99. Brandes, R. L., "Design of Deep Bins and Silos," Concrete Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1961, Section 18.
 100. Jenike, A. W., "Gravity Flow of Solids," Transactions, Institution of Chemical Engineers, London, Vol. 40, No. 5, 1962, pp. 264-271.

(53頁へ続く)

微粒子の性質に関する二、三の問題

昭和大学薬学部

金 庭 延 慶

粉碎その他の手段によって得られる微粒子の性質が、最近薬学に於いても議論されている。コロイド科学的には早くから一般の固体とは別に議論されていた¹⁾。それは微粒子の呈する蒸気圧、溶解度、融点などの点で一般の固体とは異なった挙動を示すからで、医薬品の場合は溶解性と関連して吸収、排泄等に影響し、薬効にまでおよびからである。ここでは主に微粒子が他の粗粒子とちがう点について記してみたいと思う。

1. 微粒子の蒸気圧²⁾

液体や固体が微粒子になると比表面積が増大し、それにつれて表面エネルギーも大きくなる。したがって微粒子ほど蒸発または溶解あるいは融解しやすくなるはずである。W. Thomson は密度 ρ_l と表面張力 γ は粒子径に関係なく一定であると仮定し、直径 $D_1 > D_2$ なる2個の液滴とその液滴の周囲の蒸気圧 p_1, p_2 の関係を蒸気が理想気体の法則に従うと仮定して次式で示した。

$$\frac{RT}{M} \ln \frac{p_2}{p_1} - \frac{p_2 - p_1}{\rho_l} = \frac{4\gamma}{\rho_l} \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right) \quad (1)$$

R : 気体定数 T : 絶対温度

M : 分子量

(1)式は Thomson の式と呼び、微粒子の蒸気圧、溶解度、融点を論ずる場合の基礎となる。

$p_2 - p_1$ が余り 大きくないときは $\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_2 - p_1}{p_1}$ かつ大滴のそばの蒸気密度を ρ_v とすれば理想気体の状態式から $RT/M = p_1/\rho_v$ であるから(1)式は

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho_v} - \frac{p_2 - p_1}{\rho_l} = \frac{4\gamma}{\rho_l} \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right) \quad (2)$$

$$p_2 - p_1 = \frac{4\gamma \rho_v}{\rho_l - \rho_v} \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right) \quad (3)$$

$D_1 = \infty$ とすれば直径が無限大の球では表面は平面とみなせるからその上の蒸気圧を p 、微粒子の D_2 の代りに D を用い、 ρ_v は ρ_l に比して小さい値であるから $\rho_v - \rho_l \approx \rho_l$ となり(3)式は

$$p_2 - p = \frac{4\gamma}{D} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_l} \quad (4)$$

で表わされる。

今これを 18°C の水の場合にあてはめてみよう。温度 18°C のとき水の蒸気圧は水銀柱 1.536 cm 、したがって $p = 1.536 \times 13.6 \times 981 = 20490 \text{ dyne/cm}^2$

この温度、圧力にて 1 c.c. の水蒸気の質量は $\rho_v = 0.00001523$, $\rho_l = 1$, 18°C における水の表面張力 $\gamma = 73 \text{ ダイン/cm}^2$ とすれば(4)式より

$$p_2 - 20490 = \frac{0.004446}{D}$$

第 1 表

粒 子 径 (cm)	蒸 気 圧 (ダイン/cm ²)	増 加 量 (%)
10^{-7} , 1 m μ	64950	214
10^{-6} , 10 m μ	24936	21.4
10^{-5} , 100 m μ	20934.6	2.14
10^{-4} , 1 μ	20534.5	0.21
10^{-3} , 10 μ	20494.4	0.02
10^{-2} , 100 μ	20490.4	0.002
10^{-1} , 1 mm	20490.0	0.0002
10^0 , 1 cm	20490.0	0.00002

2. 融 点 降 下

W. Thomson の式において左辺第2項を第1項に比して小さいとし無視し、蒸気圧と融点との Clausius Clapeyron の関係を入れれば、次の式が得られる。

$$\frac{T_\infty - T_D}{T_\infty} = \frac{4\gamma}{\rho_s L D} \quad (5)$$

T_D, T_∞ : 直径 D および ∞ の球形粒子の融点

ρ_s : 密度

L : 融解熱

微粒子の融点降下について L. Harbury³⁾ は p-Toluidine の場合について論じ、融点降下がほぼ粒子径に逆比例するとのべている。

高木⁴⁾ は蒸着薄膜の融点を測定し、次表の如き結果を得た。

この結果からすれば薄膜の融点降下はたしかに認められるようである。

第 2 表

金属	蒸着薄膜（島状構造）の融点降下			
	平均膜厚 (Å)	薄膜の融点 $T_D(^{\circ}\text{K})$	通常の融点 $T_{\infty}(^{\circ}\text{K})$	粒子径の推定値 (Å)
Pb	500	593	600	400
	50	559	600	72
Sn	50	475	505	86
Bi	50	521	544	78

3. 微粒子の溶解度

溶質たる液体または固体が他の溶媒たる液体に対する溶解度ということは、その溶質と平衡にある蒸気が溶媒に溶けるときの溶解度とみなすことが出来る。蒸気圧と溶質の濃度との関係は Henry の法則が知られている。

C_1 , C_2 をそれぞれ D_1 , D_2 なる直径の粒子について飽和した溶液の濃度とすれば、W. Thomson の式から $p_2/p_1 = C_2/C_1$ として次式が得られる。

$$\frac{RT}{M_v} \ln \frac{C_2}{C_1} = \frac{4\gamma_{LS}}{\rho_s} \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right) \quad (6)$$

ρ_s : 粒子密度

M_v : 粒子を蒸気にした場合の分子量

γ_{LS} : 溶媒と粒子との間の界面張力

この式は Ostwald⁶⁾ によって導かれ、Freundlich が修正したもので Ostwald-Freundlich の式という。 $D_1 = \infty$ とし $D_2 = D$ とすれば蒸気圧の場合と同様、 C_1 を C として

$$\frac{RT}{M_v} \ln \frac{C_2}{C} = \frac{4\gamma_{LS}}{\rho_s D} \quad (7)$$

Jones⁹⁾ らは石膏の場合 25°C で $\gamma_{LS} = 1050$ エルグ/ cm^2 , $\rho_s = 2.33$, $R = 8.315 \times 10^7$ エルグ/ 1° , $M_v = 136$ (CaSO_4) とし γ_{LS}/ρ_s は温度に無関係であるとし、次式により粒子径と溶解度との関係を算出した。

$$\log C_2 = \log C + 0.4343 \frac{4 \times 316 \times 1050}{8.315 \times 10^7 \times 2.33} \frac{1}{DT} \quad (8)$$

これらのデータから描いたカーブが Fig. 1 である。

D が 100μ 以上になると D が ∞ のものと一致しカーブはかさなる。したがって 100μ 以上になると粒子径の影響がなくなることになる。

G. B. Alexander⁷⁾ は無定形シリカゲルの水に対する溶解度を測定し比表面積との間に Fig. 2 の如き関係があるとした。式で示せば次の如くなる。

$$\log C_2/C = 0.143 S_w/T \quad (9)$$

S_w : 比表面積

この報告以外にいままでの文献で溶解度と粒子径とを実験的に得たものはみあたらない。ただ 2, 3 の化合物について溶解度と粒子径との関係から界面張力を算出し

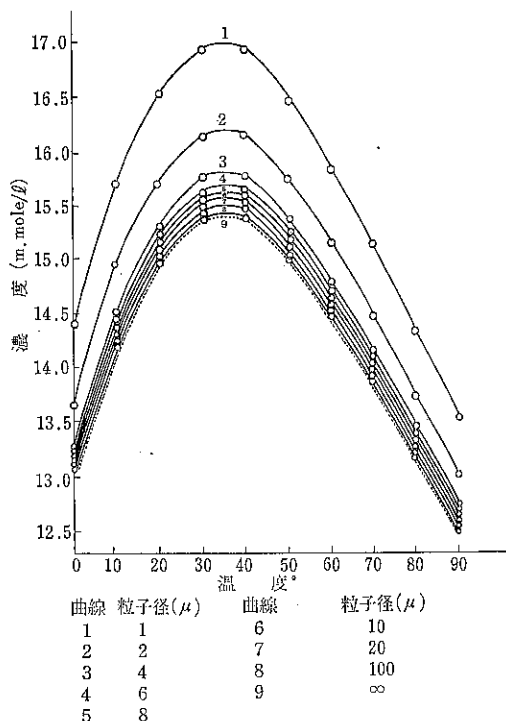


Fig. 1 石膏の温度と溶解度

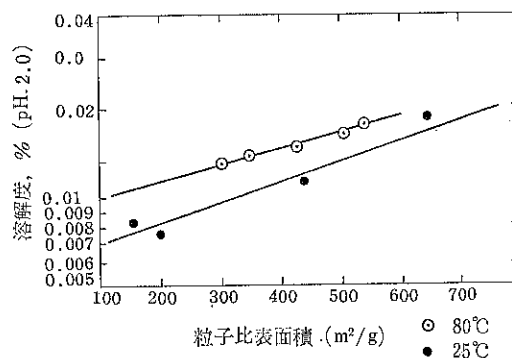


Fig. 2 pH 2.0 におけるシリカゲル粒子の溶解度

たものが存在する。

Hulett⁸⁾, Jones⁹⁾ は硫酸カルシウム、硫酸バリウムの大小二種の粒子の溶解度を測定して次のような界面張力の値を得ている。

第 3 表

	粒子径 (μ)	溶解度 (mol/l 25°C)	界面張力 (dyne/cm ²)
硫酸カルシウム	$D_1 = 1.0$	$C_1 = 0.0153$	1048
	$D_2 = 0.15$	$C_2 = 0.0182$	
硫酸バリウム	$D_1 = 0.9$	$C_1 = 0.00229$	1332
	$D_2 = 0.05$	$C_2 = 0.00415$	

4. 溶解速度

一般に粒子の溶解速度は次の Noyes-Whitney¹⁰⁾ の法則に従う。

$$-\frac{dW}{dt} = KS(C_s - c) \quad (10)$$

W は粒子状態の物質の重量を示し、 $-\frac{dW}{dt}$ は溶解速度を示すことになる。 S は粒子の表面積、 C_s はその物質のその溶媒に対する溶解度、 c は時間 t におけるその物質の濃度である。 K は溶媒の性質、温度、攪拌条件などによる定数。

今粒子を球と仮定してその比重を ρ 、最初の粉体中の粒子数を n 、粒子径を D_0 、 t 時間後の粒子径を D として溶液の体積を V 、最初の粉体量 W_0 は $\frac{4}{3} \cdot \pi \left(\frac{D_0}{2}\right)^3 n \rho$ 、 t 時間後に溶解せずに残っている粉体量 W は $\frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2}\right)^3 n \rho$ 、このときの表面積 S は $4\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 n$ となるので、これらより n 、 D を消去すれば

$$S = \frac{6W_0^{1/3}}{D_0 \rho} W^{2/3} \quad (11)$$

となる。飽和溶液 V 中に溶存している粉体量を W_s とすれば $C_s = W_s/V$ 、 $c = (W_0 - W)/V$ であるからこれらを (10) 式に代入すれば

$$-\frac{dW}{dt} = + \frac{6KW_0^{1/3}}{D_0 \rho V} W^{2/3} (W_s - W_0 + W) \quad (12)$$

測定にあたって試料粉体量 W_0 を、それがすべて溶解したとき丁度飽和溶液となるように W_s に等しい量を用いれば $W_0 - W_s = 0$ であるから (12) 式は

$$-\frac{dW}{dt} = \frac{6KW_0^{1/3}}{D_0 \rho V} W^{5/3} \quad (13)$$

これを積分すれば次式となる。

$$W^{-2/3} - W_0^{-2/3} = \frac{4KW_0^{1/3}}{D_0 \rho V} \cdot t \quad (14)$$

$W^{-2/3}$ と t をプロットすれば直線となり勾配から $4KW_0^{1/3}/D_0 \rho V$ が得られる。

また (10) 式において与えられた溶媒の体積を飽和するのに必要な溶質量が溶液中の物質の濃度よりはるかに多い場合 $C_s \gg C$ 、即ち非常に希薄な状態で測定すれば $C_s - c$ は一定と見做してよいから溶解速度は表面積に比例することになり、(10) 式は次の如くなる。

$$\frac{dW}{dt} = \frac{6K_1 W_0^{1/3}}{D_0 \rho V} W^{2/3} \quad (15)$$

$$K_1 = K(C_s - c)$$

積分すれば次式が得られる

$$W_0^{1/3} - W^{1/3} = \frac{2K_1 W_0^{1/3}}{D_0 \rho V} t \quad (16)$$

(16) 式は Hixon, Crowell¹¹⁾ によって導かれた "Cube root law" である。 $W_0^{1/3} - W^{1/3}$ と t とをプロット

すれば直線関係が得られることになる。

ところで (15) 式、(16) 式を実験結果によって検討することにする。

掛見¹²⁾ らはスルファエチルチアジアゾールを用いて溶解速度を測定し、溶解速度定数の対数と D_0 の対数との間に直線関係があることを明らかにした。Fig. 3 は掛見らのデータを図示したものである。ところがこの傾斜は -1.5 に近い値を示している。また Niebergall¹³⁾ らはサリチルアミド、重クロム酸カリウム、フェリシアン化カリウム等を用いて (15) 式、(16) 式を検討し、速度定数の対数と D_v (平均体積径) の対数との間に直線関係の

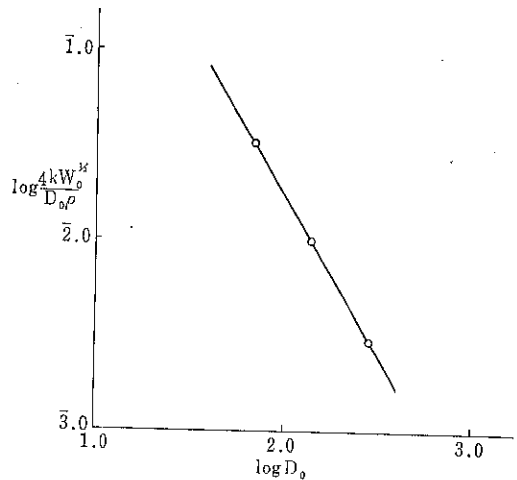


Fig. 3 スルファエチルチアジアゾールの溶解速度と粒子径との関係

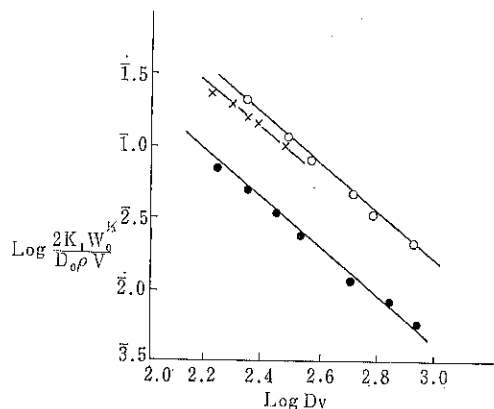


Fig. 4 Hixon-Crowell の速度定数 $\frac{2K_1 W_0^{1/3}}{D_0 \rho V}$ の対数の平均体積径 D_v の対数との関係

直線の傾斜は -1.5

○フェリシアン化カリウム 23.4°
×サリチルアミド 24.8°
●重クロム酸カリウム 23.4°

あることを明らかにしたが0式に従って得られた傾斜は-1.5 となることを明らかにしている。Fig. 4 に示す。更に修正式も示された¹⁸⁾。

5. 粒子径と薬効¹⁴⁾

消化管内液に対する溶解度の大きい薬物では粒子径が大きくても、溶解速度は充分大きくなり、したがって薬剤からの吸収において溶解速度が律速となることはなく、粒子径は薬効に余り影響しない。しかし溶解速度の小さな薬物では粒子径をかなり小さくしないと、溶解速度は大きくならず、薬剤からの吸収速度を律速して、薬効に影響をあたえる。

例えば¹⁵⁾テトラサイクリンでは遊離のものは溶解度は低い、塩酸塩では比較的大きい。健康人に径 100 μ の粒子にしたものと、ペレットにしたテトラサイクリンを投与した場合にその吸収の差を尿中排泄曲線で比較すると Fig. 5 の如くなる。溶解度の小さい遊離テトラサ

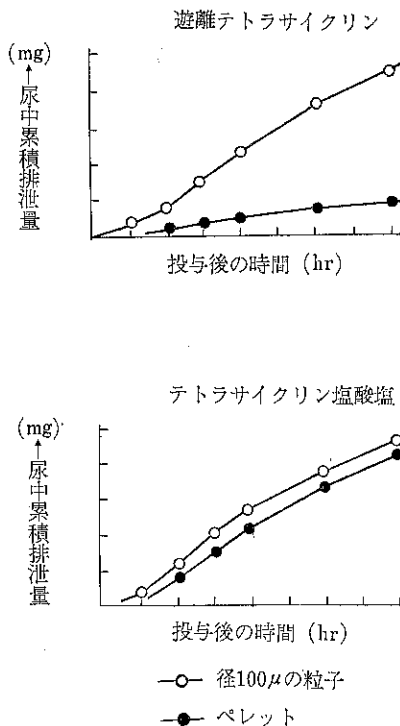


Fig. 5 テトラサイクリンにおける粒子の大きさと吸収 (健康人、投与量 200 mg)

イクリンは微粒子ほど排泄量が高くなり、溶解速度が律速となることがうかがわれる。ところが溶解度の大きい塩酸塩では吸収部位に達するまでに大粒子もとけてしまつて溶解速度が殆んど影響しないことがわかる。この場合は溶解速度が律速とならないためであらう。

以上の如く溶解速度と吸収または排泄を論ずる場合は溶解度の小さいものに限るわけであるが、比表面積または粒子径と吸収との関係を論じた文献は多い。

J. H. Fincher ら¹⁸⁾ は犬にスルファイソキサゾールを投与した場合の消化管吸収における粒子径の影響をしらべた。mをmg %で示した血中濃度とすれば、粒子径Dとの間につきの関係があることを明らかにした。

$$\log m = aD + b \quad (17)$$

a, b ; 定数

これを図示したのが Fig. 6 である。

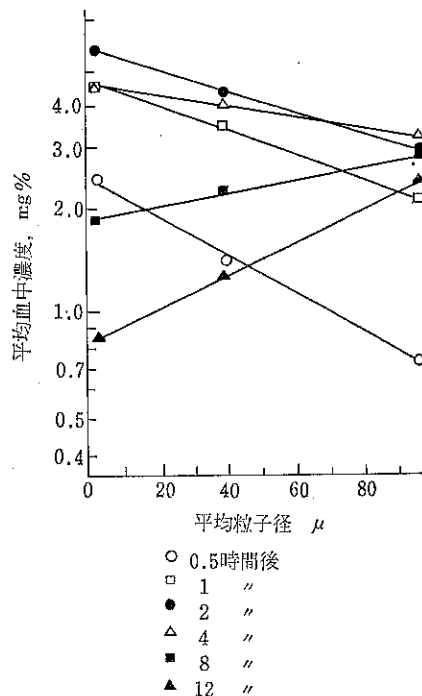


Fig. 6 粒子径の函数としての血中濃度 (スルファイソキサゾール)

同様のことをグリセオフルビンについての Atkinson ら¹⁷⁾のデータを使って図に示すと Fig. 7 の如くなり、ほぼ Fincher らの式があてはまることがわかる。

さらに粒子径と吸収に関する問題であるが、掛見ら¹⁸⁾のクロラムフェニコールの吸収と粒子径の結果が Fig. 8 に示されている。これは種々の粒子径のクロラムフェニコール粉末をウサギに経口投与したときの血中濃度曲線である。平均粒子径 50 μ と 200 μ では吸収に大差はなく、血中濃度曲線はよく似ているが、400 μ と 800 μ の如く粒子径の大きいものでは血中濃度のピークの発現がおくれ、吸収がおそくなっていることがわかる。50 μ と

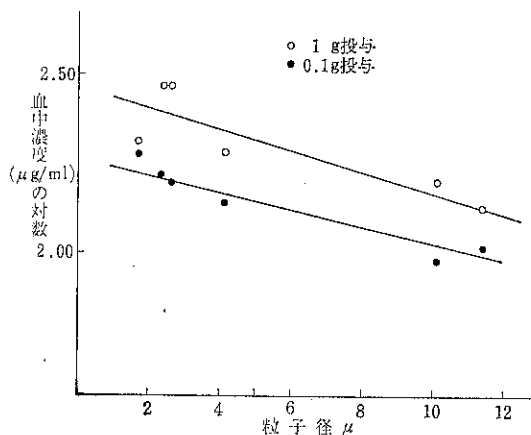


Fig. 7 グリセオフルビンの血中濃度と粒子径との関係

200 μ とでは差がなく、400 μ になると吸収がおそくなっているのは、200 μ までは溶解速度がまだ大きいため、吸収の律速にならないことを示すものと思われ、400 μ になると溶解がおそくなって吸収の律速となるためと考えられる。

Fig. 9 は F. H. Buckwalter¹⁹⁾ らのデータからプロカインペニシリン G (300,000 単位/c.c.) の水性懸濁液を家兎に筋肉内注射した場合のペニシリンの血中濃度と粒子径との関係を図にしたものである。微粉化され

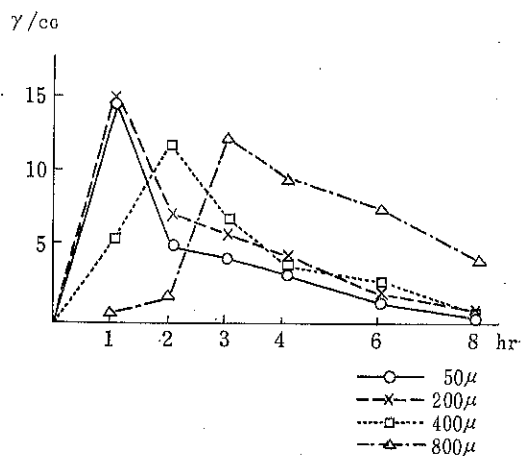


Fig. 8 クロラムフェニコールの経口投与における血中濃度

た1-2 μ のものと400メッシュ (35 μ 以下、この平均粒子径がどのくらいかわからないが) 以下のものの2つはほぼ同じような血中濃度曲線を示し、他の 150~105 μ , 105~38 μ , 38~35 μ のものもまた同様な血中濃度曲線を示している。これらのいずれともちがう様に思われるのが 250~150 μ のもので、掛見らの結果とよく似た現象であることがわかる。この傾向は不明瞭ながらも

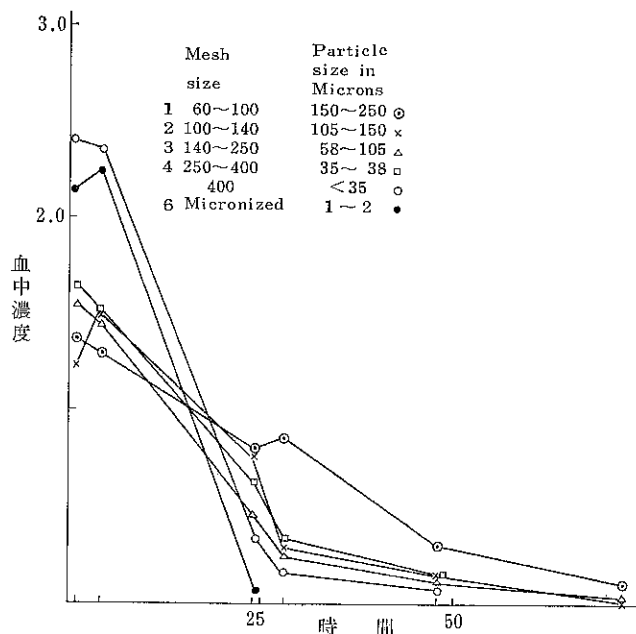


Fig. 9 家兎血中のペニシリン濃度
プロカインペニシリン G (300,000 単位/cc.) の水性懸濁液

Atkinson¹⁷⁾ の報告からもうかがわれる。

文 献

- 1) 鮫島実三郎「「膠質学」装華房」(昭和18年)
早川宗八郎：第20回日本薬学会講演要旨集(福岡)
 - 2) W. Thomson : Phil. Mag., **42**, 448 (1871)
 - 3) L. Harbury : J. Phys. Chem., **50**, 190 (1946)
 - 4) M. Takagi : J. Phys. Soc. Japan, **9**, 359 (1954)
 - 5) W. Ostwald : Z. physik. Chem., **34**, 495 (1900)
Freundlich : "Kapillarchemie" Bd. I. (Leipzig, 1930) p. 218
 - 6) M. Jones, J.R. Partington : J. Chem. Soc., **107**, 1019 (1915)
 - 7) G.B. Alexander : J. Phys. Chem., **61**, 1563(1957)
 - 8) Hulett : Z. physik. Chem., **37**, 385 (1901)
 - 9) W.J. Jones : Z. physik. Chem., **82**, 448 (1913)
 - 10) A. A. Noyes, W. R. Whitney : J. Chem. Soc., **19**, 930 (1897)
 - 11) A.W. Hixon, J.H. Crowell : Ind. Eng. Chem., **23**, 923, 1002 (1931)
 - 12) 掛見喜一郎, 有田隆一, 小泉保 : 薬学雑誌, **82**, 261 (1962)
 - 13) P. J. Niebergall, J. E. Goyan : J. Pharm. Sci., **52**, 29, 236 (1963)
 - 14) 仲井由宣 : 第20回日本薬学会 講演要旨集 福岡
梅村甲子郎 : ファルマシア, **3**, 816 (1967)
 - 15) E. Nelson : J. Am. Pharm. Assoc., **48**, 96(1959)
 - 16) J. H. Fincher, J. G. Adams, H. M. Beal : J. Pharm. Sci., **54**, 704 (1965)
 - 17) R. M. Atkinson, C. Bedford, K. J. Child, E. G. Tomick : Antibiot. Chemoth., **12**, 232 (1962) ; Nature, **193**, 588 (1962)
 - 18) 掛見喜一郎, 有田隆一, 大橋貞 : 薬学雑誌, **82**, 1468 (1962)
 - 19) F. H. Buckwalter, H. L. Dickison : J. Pharm. Sci., **47**, 661 (1958)
-
- (47頁よりの続き)
101. Jenike, A. W., and Yen, B. C., "Slope Stability in Axial Symmetry" Proceedings, 5th Symposium on Rock Mechanics, University of Minnesota, May 1962, Pergamon Press, New York, 1963, pp. 689-711.
 102. Turitzin, A. M., "Dynamic Pressure of Granula Material in Deep Bins," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 89, No. ST2, Proc. Paper 3479, Apr., pp. 49-73.
 103. Reimbert, M. and A., "Excess Pressure Phenomena Due to the Emptying of Silos-Practical Repair of Damaged Silos by Means of Metal Tubes," Acier-Stahl-Steel, Vol. 9, 1963, pp. 377-382.
 104. Jenike, A. W., Jenike, A. W., and Leser, T., "A Flow-No Flow Criterion in the Gravity Flow of Powders in Converging Channels," Proceedings, 4th Congress on Rheology, Brown University, Aug., 1963, Part 3, Interscience, 1964, pp. 125-141.
 105. Lenczer, D., "An Investigation into the Behaviour of Sand in a Model Silo," Structural Engineer, Vol. 41, Dec., 1963, pp. 389-398.
 106. Pieper, K., and Wenzel, F., Druckverhältnisse in Silozellen, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1964.
 107. Jenike, A. W., "Why Bins Don't Flow," Mechanical Engineering, Vol. 86, May, 1964, pp. 40-43.
 108. Johanson, J. R., "Stress and Velocity Fields in the Gravity Flow of Bulk Solids," Journal of Applied Mechanics, Series E, Vol. 86, Sept., 1964, pp. 499-506.
 109. Pieper, K., "Tagung für Müllerei-Technologie Detmold 1964," Die Mühle, Vol. 45, Nov. 5, 1964, pp. 793-797.
 110. Jenike, A. W., "Steady Gravity Flow of Frictional-Cohesive Solids in Converging Channels," Journal of Applied Mechanics, Series E, Vol. 31, No. 1, 1964, pp. 5-11.
 111. Johanson, J. R., and Colijn, H., "New Design Criteria for Hoppers and Bins," Iron and Steel Engineer, Oct., 1964, pp. 85-104.
 112. Jenike, A. W., "Storage and Flow of Solids," Bulletin 123, Utah Engineering Experiment Station, University of Utah, Nov., 1964.
 113. Pieper, K., Mittelmann, G., and Wenzel, F., "Messungen des Horizontalen Getreidedruckes in einer 65m hohen Silozelle," Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 11, Nov., 1964, pp. 241-246.

(65頁へ続く)

攪拌型乾燥機

ソリッドエアーについて

細川粉体工学研究所

鈴木・昭 明

§1. はじめに

ソリッドエアーは米国ストロングスコット社において開発された攪拌型乾燥機の一つである。細川鉄工所では先年、ストロングスコット社と技術提携を行ない、このソリッドエアーを製作販売することとなった。

ソリッドエアーは簡単な構造の攪拌型乾燥機ではあるが、非常に適用範囲が広く、特に合成樹脂、有機薬品関係、また、溶剤回収を目的とした乾燥に適している。日本国内にて使用されているものは、まだ10台に満たないが、米国においてはすでに150台以上の販売実績がある。

この乾燥機についての紹介はすでに二三なされているが、ここでは当社試験室において数カ月以前よりテスト機を設置し各種の材料について実際に乾燥テストを行なって来た経験とデータを添えて報告する。

§2. ソリッドエアーの機能と構造

本機は図1に示すような水平円筒型乾燥容器に数区分された加熱用ジャケットをとりつけ、弱熱性物質乾燥の際に乾燥度合に応じてジャケット圧力を変化させて熱変質を防ぐ操作が容易にできるようになっている。

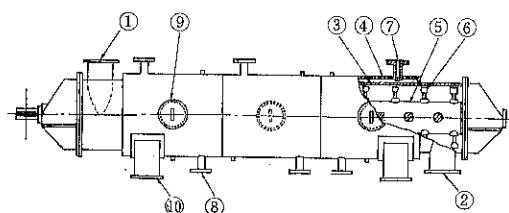


図1 ソリッドエアーの概略構造

- | | | |
|---------|----------|-------|
| ① 原料入口 | ② 製品出口 | ③ 本体 |
| ④ ジャケット | ⑤ シャフト | ⑥ パドル |
| ⑦ 蒸気入口 | ⑧ ドレイン出口 | ⑨ 視窓 |
| ⑩ 脚座 | | |

容器中心部には比較的大きな径のシャフトを長手方向におき、これに原料物性、仕上り水分などにより最適条件に設定された多数のパドルがとりつけられている。パドルの周速は 5~15 m/sec あるので原料は投入口側から製品出口側へと本体内を移行する間、ジャケット面から効率よく受熱し、あるいは熱風を併用の際には熱風との攪拌作用によりロータリードライヤーなどよりも強い熱交換をうけて乾燥されてゆく。シャフトは容器両側に強固に製作された側板上のベアリング部で支持され、膨張逃げと軸貫通部の十分なシールとに特に留意設計されている。ジャケット部には各セクション1個ずつの視窓があり、運転停止時の内部のチェックとパドルの方向のチェックとが容易に出来る。また本機の据付脚座は2箇所あり、反駆動側はボルト孔が長穴となっていて容器本体の熱膨張逃げをとっている。

§3. ソリッドエアーの操作とテスト例

ソリッドエアーではパドルの方向の設定、機内通過風量、およびその方向、などの変更によりいろいろな使い方が出来る。ここではその一つ一つにテスト例をつけて説明して見る。

i) 間接加熱、向流の場合

間接加熱は熱の供給をジャケットから行ない、向流は原料の移動する方向と気体の流れる方向を逆にして使用する場合で非常によく使われる方法である。特に合成樹脂、化学工業薬品などで溶剤回収を目的とした乾燥の場合に最適である。

この場合のシャフトについているパドルの方向のセッティングは原料を中央部に平均に溜める目的で図2の場合のような形態が多い。すなわち、原料の供給側では向流の気流にのって逃げる原料をおさえるためと、供給された原料を中央部に追いやるために原料の送り方向にパドル数列が配置される。中央部は攪拌力の強い水平方向にパドルをセットする。原料出口側では数枚のパドルが

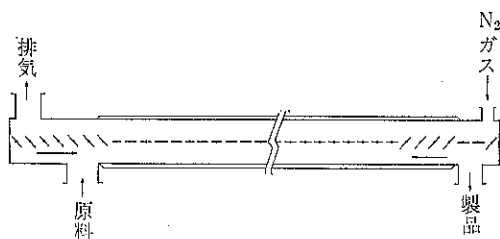
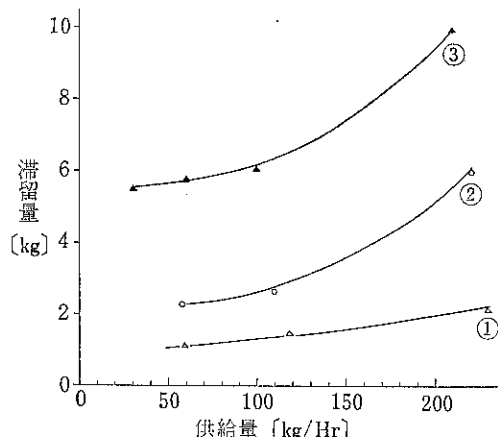


図2 間接加熱向流の場合のパドル方向の一例



使用ソリッドエア	SJS10-6	パドル方向
パドル回転数	600rpm	①
風量	向流 4~5Nm ³ /Hr	②
使用粉体	ABS樹脂	③
見掛け比重	0.42	
粒度	12 ^{mesh} on 9.5%	
	12~32 49%	
	32 ^{mesh} 31.5%	

図3 パドル方向と滞留量 (向流の場合)

表1 テスト用ソリッドエア仕様

型 式	SJS-10-6
内 径	10 inch
ジャケット長	6 feet
伝 熱 面 積	1.39 m ²
有 効 容 積	80 l
回 転 数	400~1100 rpm

原料の流れをとめるように傾斜させている。この最後のモディシ方向のパドルの数が滞留量を決定する。パドル条件と滞留量の一列を図3に示した。なおここで実験、テストに使用した。ソリッドエアの仕様を表1に示す。風量は熱量を供給する目的は無いので入口温度、および量は問題としない。乾燥に伴って発生する蒸気を置換する役目とする。ただし排気出口温度が低い時は、露点に

表2 ソリッドエア (SJS10-6) テストデータ (向流・間接加熱)

原 料 名	化学薬品	有機薬品	合成樹脂 ポリマー
原料湿分名	水・アルコール	有機酸・水	ヘプタン
原料湿分 (w・B%)	45	35	9
製品湿分 (w・B%)	2	0.05	0.35
処理能力 (kg/hr)	38	280	240
ジャケット温度 (°C)	110	160	96
製品出品温度 (°C)	60	122	78
排気出口温度 (°C)	72	90	44
流通 N ₂ 量 Nm ³ /hr	23	20	18

注意しなければならない。普通こうした場合、空塔風速で 0.03 m/sec~0.3 m/sec である。

テストデータの数列を表2に示した。これから総括伝熱係数を計算すると、 $u=100\sim400 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ となる。ここで伝熱面積をジャケット面積とし、ジャケット温度と原料温度より平均温度差を求めるのはこのような場合そぐわない点もあるが、一つの目安にはなる。

この向流の間接加熱の特徴は極端に通過風量を少なくすることができる点で、窒素、その他の空気以外の気流中で乾燥する場合のガス量が経済的である。また、同伴ガス量の少ないことは蒸発した溶剤を回収するに便利である。

2) 直接加熱、間接加熱併用の場合

乾燥材料と、熱風とを並流に移動させ、加えてジャケットからも加熱する方法である。一般の気流乾燥よりも少ない風量で、パドルのさえぎり効果でもって機内滞留時間を長くして乾燥を行なう方法である。

一般に熱風と乾燥材料とが並流で移動するような乾燥機、たとえば気流乾燥機のようなものでは、一番熱交換の激しいところは入口付近、または解砕機の部分であり、したがって、熱風は入口付近で急激な温度降下をし、以後は乾燥材料への熱の移動は急げきに少なくなるのが普通である。ソリッドエアの場合でも熱風の温度は入口付近で急げきに下ろうとする。これをジャケットから補って出口付近まで熱風温度を高く保つのがこの方法である。したがってこの並流方式でジャケット加熱を併用する方式は、ある程度多い空気を用いて乾燥材料を許される範囲内で高い温度に保つ必要のある場合に適する。例えばある温度以上で遊離する結晶水を含む物質の附着水と結晶水の両方を乾燥する場合、温度の高い熱風は入口に近いところで材料の附着水を蒸発させて、急げきに温度が下ろうとするので、その後ジャケットから熱量の補給を受けて、高温を保ち、結晶水を蒸発させるこ

とが出来る。

また逆に結晶水はそのままでは附着水だけをとりぞきたい場合、しかも結晶水が比較的、容易に失われ易い場合などは、低い乾燥温度である程度長い乾燥時間を必要とする。この場合もジャケットよりの加熱で制限温度を保持しながら、パドルの回転により滞留時間を長くとれるのを長所として、ソリッドエアの特徴を発揮できる。また結晶水に関係ない場合でも乾燥時間を長くとらないと乾燥しにくい時など、気流乾燥機に較べてはるかに長い滞留時間を保つことが出来る。もちろんこの場合、熱風量を多くすると機内の滞留時間が少なくなるので熱源はジャケットからの伝達を併用しなければならない。

他に溶剤を回収したり、不活性ガスを使用したりする必要のない一般の乾燥の多くはこの直接加熱、間接加熱の併用の使用法で行なわれる。

表3にテスト例の一つと、図4にパドルの設定と滞留量の関係を示した。

3) 直接加熱だけの場合

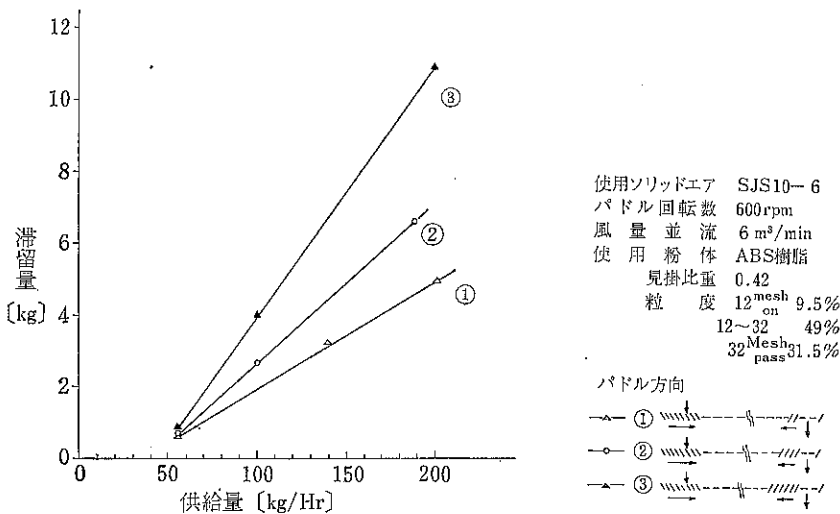


図4 パドル方向と滞留量 (並流の場合)

表3 ソリッドエア (SJS10-6) テストデータ (並流)

原 料 名	無機薬品結晶	A B S 樹脂	A B S 樹脂	合 成 樹 脂
原 料 水 分 (w・B %)	15(付着水+結晶水)	53	15	28
製 品 水 分 (w・B %)	0.6	15	0.5	0.01
処 理 能 力 (kg/Hr)	165	102	118	155
ジャケット温度 (°C)	160	115	80	150
熱風入口温度 (°C)	340	165	130	150
排気出口温度 (°C)	140	55	55	60
熱風空気量 (Nm ³ /min)	6	9.5	9.0	7.0

大量の高温空気を導入し、空気流にのせて材料を輸送しながら乾燥する方法で気流乾燥機と似た使い方である。この場合、もちろん空気、乾燥材料は並流で移動し、ソリッドエア本体はジャケットを施さず、保温だけをしたものを用いる。本体内では常にパドルの搅拌作用を受けるので粉体と気流との相対速度は常に更新されるから、粉体の粒度が比較的粗い場合でも熱容量係数として 1500~2500 kcal/m³hr°C を示している。

この場合の用途は一般の気流乾燥と同じになるが、気流乾燥よりも熱容量係数が大きく長い乾燥管を必要としない。本体内全面がパドルにより搅拌されているのでかなり水分の多い附着性の多いものにまで適用できるのがメリットである。

§4. ソリッドエア計画上の注意点

以上ソリッドエア本体の使用法を解説して来た。実際の計画に当っては、細い事ではあるが次のような事項に気を配っていただきたい。

- 1) 原料の連続供給機として最適のものを選定する。

特にフィルターケーキのように単一粒子が細くブロック状になりやすいものは、とすれば供給が不連続になりやすいので注意を要する。連続遠心脱水処理の粉粒状の原料はスクリーフィーダーで可能のようである。

2) 摩耗性原料の乾燥には適しない。比較的、パドルの回転が早く、粉粒体の動きが激しいので摩耗する恐れのある原料には使用しない方がよい。

3) 附着性が強く内筒内面に固定附着層を形成し、それが固化して新しい原料と入れ代ることがないようなものでは、ジャケットからの熱伝達を弱め、かつ附着層とパドルとの摩擦で過大の動力を消費することになり好ましくない。

4) 機内の掃除あるいは操作条件変更によるパドルの方向変更などの時にはローターをひきぬかねばならないので、駆動側あるいは反駆動側にその余地をとっておきたい。ローター引抜き側をチェーンブロックまたはホイストでつり、反対側は側板を外してローターに附属のドーリをかませて、パドルを損傷することなくローターを引抜くことが出来る。

5) 蒸気配管施工の際にはジャケットの各セクションごとに蒸気バルブ、ドレーントラップを取付け、各ヘッダーパイプは十分の大きさを持つようにしたい。

6) 製品捕集機として圧力変動の少ないバグフィルターを選定して長期間連続安定運転をはかる。特に合成樹脂関係では微粉の場合静電爆発を起こしやすいものが多いので、機構上汙布からアースをとりやすい型式を選定し、かつ帯電防止処理の汙布を併用するのが好ましい。

§5. む す び

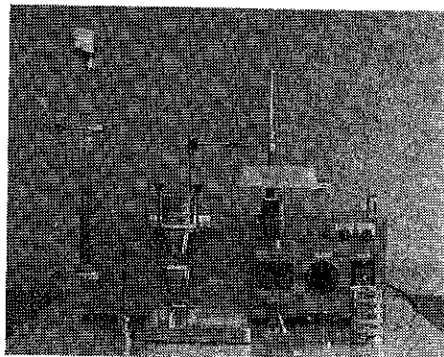
このソリッドエアーという乾燥機は非常に適用範囲の広い乾燥機である。それだけに乾燥目的、乾燥原料に最も適した使用法をとる時に始めてソリッドエアーのメリットが最大限に生かされるわけである。当所でも今年二月以来、数多くのテストを行なって来たが、その都度、最適使用法、最適条件の把握に留意して来た。最近になってようやく、原料性状、乾燥目的から判断して最適運転条件の類推が可能となった。今後の試験室に大きな期待をかけるものである。本稿では当所で行なったテストデータを多く載せたいと思ったが、大かたのユーザーの機密事項に少しづつふれるので割愛した。代りにわづかばかりではあるが、米国での実際に納入されたソリッドエアーでの運転データの得られたものを記載として終りとする。(表4)

表4 米国におけるソリッドエアー使用例から

ソリッド エアー型式	ジャケッ ト面積 m ²	原料粉体名	液体名	原料 湿分 % (w.B)	製品 湿分 % (w.B)	処理能力 原料 kg/hr (w.B)	ジャケ ット温 度 °C	熱風 温度 °C	不活性 ガス 入口温度 °C	空気量 Nm ³ /Hr	不活性 ガス量 Nm ³ /Hr
SJS 30—20	13.9	テレフタル酸	酢酸	20.4	0.05	4,200	131		140		350
SJS 24—12	6.97	ポリエチレン	ペンタン	30	2	640	110		20		60
SJS 42—22	21.8	ポリエチレン	ペンタン	30	0.1	2,600	110		20		110
SJS 42—22	21.8	ポリプロピレン	ヘキサン	50	25	4,550	124		69		350
SJS 42—22	21.8	ポリプロピレン	ヘキサン	25	0.4	2,300	124		80		350
SJS 42—16	15.7	ABS樹脂	水	35	12	3,500	105	150		15,700	
SJS 42—16	15.7	ABS樹脂	水	12	0.6	2,560	105	150		9,300	
SJS 42—24	26.0	二酸化マグネシウム	水	75	<2	1,400	160	160		8,500	
SJS 16—10	3.71	ブタジエン・ ステレンラバー	ベンゼン トルエン	75	<1	360	VAKUUM 430 Torr				
SJS 30—20	13.9	セルローズアセテート	水	35	10	1,730					
SJS 30—20	13.9	セルローズアセテート		10	<1	1,250					
SJS 16—10	3.71	ポリカーボネート		36	<1	140					

パウダーテスター について

細川粉体工学研究所 P T 係



パウダーテスターは、本年2月新製品として発売されて以来、関係工場、研究所などより多大の反響があり、お問合せや、ユーザーカードのアンケートを通じて、使用に当たっての御質問や、御意見などが多数寄せられております。

ここでは、これらのお問合せの中から、共通した項目について、一問一答の形で整理してみました。

パウダーテスターを御検討中の方や、現在御使用中の方々に参考になれば幸いです。

パウダーテスターとは？

パウダーテスター（以下PTと略記します）とは、安息角や見掛比重など、7種類の粉体特性が1台の装置で簡単な方法で測定できる、いわば粉体特性総合測定装置の商品名です。

どのような粉体の特性が測定できますか？ また測定の方法は？

安息角、崩潰角、ゆるみ見掛比重、固め見掛比重、凝集度、スパチュラ角、分散度の7種ですが、安息角と崩潰角から差角が、またゆるみと固め見掛比重から圧縮度が求められます。以上の特性値はいずれも粉体の流動特性に深い関係のあるものです。

各測定値の意味や、測定の具体的な方法についてはここでは長くなるので省略いたしますが、細川鉄工所または、細川粉体工学研究所に資料御請求下さい。

また、Carrの作成した表を使用することによって、粉体の流動性または噴流性を採点法により数的に得ることが出来ます。これをCarrの流動性指数と呼んでいます。

Carrの流動性指数とは？

Ralph L. Carr Jr. が1965年1月18日号の Chemical Engineering 誌上で発表した方法で、粉体の流動性を

各種の粉体特性を総合して判断しようとするものです。各測定単位の異なる因子を、同一基準の数値に置きかえるための表が用意されており、点数を合計して流動性指数とするものです。

流動性指数を求めるには、安息角、スパチュラ角、圧縮度、凝集度（あるいは均一度）の4種の測定が必要で、各測定値に対応する点数は0から25点までが割りつけられていますので、総合点は最高100点になる訳です。

この方法はCarrが3,500種におよぶ広汎な粉体についてテストを繰返し、作表されたもので、実用上便利な方法です。

噴流性というのはどのような特性ですか？

Carrは流動性指数（Flowability Index）と同様の方法で Floodability Index についても作表を提出しています。Floodabilityを噴流性と訳したのは適当でないかも知れませんが、いわゆるフラッシング現象の程度をあらわすものと解釈しています。

噴流性指数を求めるには、さきの流動性指数と、差角、崩潰角、分散度の4種が因子となり、これらの測定値から、表を用いて点数に換算してその合計値を噴流性指数とする訳です。

この噴流性についてはわれわれもまだ十分なデータを得ていません。しかし、噴流性指数について適用できる粉体の粒度は300 mesh以上の微粉です。粒度の揃った自由流動の粒では測定値と現象が一致しません。一例をあげると、粒度のよく揃った10数 mesh程度の砂や食塩粒は、流動性指数も噴流性指数もともに高い値を示しますが、いわゆるフラッシングというリキッドライクな現象とは縁遠いからです。

PTではCarrが用いたと同じ測定方法を採用していますか？

できるだけCarrが用いたと同じ方法を採用していますが、Carrの論文は各因子の測定を個々の装置で行な

っており、またその測定方法ならびに基準が詳述されておりません。

そのため、これら数種の測定を1台の装置で行なうためには、機構的な問題もあり、また Carr の方法中の勘で行なう部分も個人差がでないよう、機械的に行なえるよう改良する必要がありました。

そこでわれわれは、各測定因子ごとに数多くのテスト(約300種以上)を行なって、測定値と実際の流動現象および Carr の表との比較を繰返し、適当な測定基準を定めました。

それでは Carr の作表をそのまま P T に使用するのには問題がありませんか？

厳密に言えば問題があります。しかしこの点に関し、われわれが P T の詳細を Carr 氏に知らせ上記と同様の質問をしましたところ、Carr 氏の回答では「(私の方法は)異なった粉体についての差異を相対的に判定するということであり明確な基準を設けていなかったが、P T の使用によってより精度の高い再現性のあるデータが得られるでしょう」といっています。

P T を使用して、個々の粉体特性を測定すると、物理的意味のある数値を個人差を少なくして得ることができます。

Carr の表の使用については、同一種の粉体についての比較値を得るという意味では、便利な実用的方法といえるでしょう。

なお、Carr の作成した2表の使用については著者 Carr 氏および版權者である Mc Graw-Hill 社の許可を得ております。

P T の測定できる範囲を教えてください

P T で測定できる粉体は、粒度で数10 mesh から300 mesh 程度以上の微粉に向きます。

粒子の形状は、普通の塊状あるいは球状のもので、繊維状や鱗片状の粉体では測定できない場合があります。

水分は乾粉として扱える程度であれば、その状態における測定値が得られますが、団子状になる程水を含んでいる場合は測定できません。

P T に必要なサンプル粉体はどの程度必要ですか？

7種の測定を全部行なうとすると、容積にして最低約500 cc が必要です。見掛比重の軽いもので200~300 g、重いもので500~700 g が必要です。

P T はどの方面に応用できますか

各特性値の測定は粉体製品の品質管理に欠かせません。工場の中で中間、あるいは最終製品検査の部所で便利に使われております。また、粉体機器の設計には、取扱う粉体の特性を定量的に把握することがたいせつなことというまでもありません。

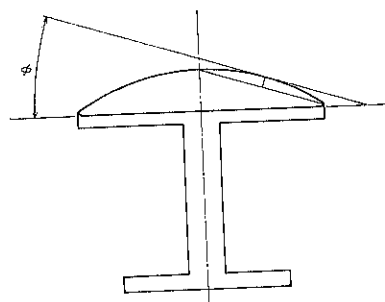
また、粉体を扱う試験所や研究所でも粉体特性の表現の一手段として利用することができます。

試験的に P T を借用できますか？

P T は細川鉄工所本社試験室、東京支店、細川粉体工学研究所(枚方市)に常設してありますので、御連絡いただければ御使用いただける日をお知らせいたします。

安息角を測定した後、崩潰角を測るため錘を落すと、粉体表面は安息角が崩潰して円弧状となりますが、このような場合、崩潰角はどのようにして測ればよいでしょう？

錘の衝撃によって崩潰した粉体表面は、粉体の種類によって干差万別ですが、御質問のような円弧状を示すことがよくあります。この場合は典型的な例として図に示す角度 ϕ を求めて下さい。



見掛比重測定のための粉体試料が多量に必要で不便ですが、もっと少くなりませんか？

容器の大きさについては深さ、直径などをいろいろと変えてこれの影響をテストしましたが、あまり小さいと再現性が悪く、深いと押し固めの影響が現れ、径が大きいと不均一な充填となり、結局、普通に使用されている内径50.3mm×高さ50.3mmの容積100 ccのものにきめました。Carr の装置は角型で大体10 cm 角、容積約1 l のものを使用しています。

固め見掛比重を測るとき粉体がとびはねて困ります。またキャップが時々外れますが……

タッピングのストロークと回数については、いろいろと実験を行ないましたが、できるだけ短時間で、十分に締め固めるという目的で現在の基準を定めました。それでも完全充填には至りませんが、数回程度の回数の変動は影響ない程度に充填されています。そのためストロークを18 mm 必要とし、多少の粉の飛びはねが起りますが、これも粉の種類によって程度が違いますので、ひどく飛びはねる場合にはキャップの上に薄い紙を当てゴムバンドで止めてふたをして下さい。この場合は最初にキャップ一溢まで粉を入れておいて下さい。

キャップがカップから外れるのはキャップのはめ込み部分の径が大きすぎるからです。十分に検査はしていますがもしそのような場合は御連絡いただければ交換いたします。

凝集度を測定する場合、サンプルの粒度は最下段の篩を全通することが条件になっていますが、全通しない場合は測定できませんか？

単粒子で篩上に残るものを含んでいますと、凝集の程度を測る目安になりません。このような粗粒を比較的少量（5%程度以下）含んでいる場合は、あらかじめ試料を最下段の篩で篩って（200 mesh の場合は筆で軽く網上を掃く必要あり）おけばよろしいかと思います。

われわれの経験では、流動性の良い粗粒の中に10%程度の微粉が混りますと、急に流動性が悪くなりますが、もともと流動性の悪い微粉の中に粗粒が10%程度入っても流動性はあまり変わらない（良くならない）からです。

Carr の流動性指数を求めるには一つの因子として、凝集度が均一度かのどちらかを使うようになっていますが、同一粉体について両方を測ってみましたところ、流動性指数は一致しませんでした。どちらが正しいのでしょうか？

同じ粉体について凝集度と均一度を測りましても、必ずしも同じ点数は得られません。

それでわれわれは粉体によって、凝集度を測る粉体の場合はいつも凝集度を測ることにして、その比較値でもって検討しています。

それでは凝集度を測るか均一度を測るかの判断の基準は？

われわれは一応の目安として 300 mesh をほとんど全通するような微粉の場合は凝集度を測ることにしています。また、篩分けで粒度分布が求められる程度の粗粒の場合は均一度を求めています。

スパチュラ角測定の際、粉によっては側面の形状が非常に不規則でどこを測ってよいか分らないようなケースがありますがこのような場合はどうしたらよいでしょう

Carr の説明では、数ヶ所を測ってその平均値を求めるようになっていますが、サンプル量が多い場合は、そのような面倒なこともしておれない場合があります。われわれは、スパチュラ上の全体をにらんで平均的な個所

を測るようにしています。同じ平均値を求めるなら何度か測り直して上記の方法で測定し、その平均値をとる方が正確です。この方法は安息角の場合にも適用できます。

分散度の測定値はばらつきが大きいようです。ウオッチグラスの固定の方法、センターの位置決定などに改良の余地があるのではありませんか？

ウオッチグラスは直接平板の上に置かず固定させるため必ずスペースリングを台にして置いて下さい。

センターはやはり上部のホッパーから覗いてきめた方が正確です。

この測定値は比較的ばらつきの大きい性質がありますが、これはウオッチグラスの固定法や位置ばかりでなくホッパーのシャッターが開いた時の粉体の状態もかなり影響しているようです。

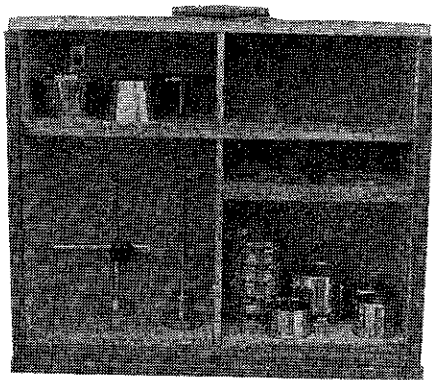
駆動部分が少い割に本体が大きすぎるのでは……

安息角や、見掛比重の測定の際使用する振動機の振動を本体に伝えないため、振動体の重量に比してマグネットの固定ベースが十分に大きくなっているからです。

このマグネット固定ベースが本体に防振ゴムを介してつながれており、振動体の反力は十分に吸収されて本体には伝わりません。そのため見掛比重の測定と同時にスパチュラ角や分散度を測ることもできます。

P Tには部品や付属品が数多くありますが、整理箱が用意されていないので不便をしています。

各部品、付属品が位置をきめて収納できる整理箱が用意できました。御入用の方は御連絡いただければ、実費でお頒けいたします。



パウダーテストの測定における計算のノモグラフ化

名古屋大学工学部

神保元二・羽多野重信・浅川貞雄

パウダーテストの測定において若干の計算を必要とする部分がある。それらの計算はそれほど負担のかかるものではないが、測定を手軽に迅速に、かつ簡便に行うため比較的面倒な次の計算をノモグラフによって求めてみた。計算は凝集度を測定する際に必要となる動の見掛比重 W および振動時間 T の計算で、ゆるみ見掛比重 A および固め見掛比重 P の関数として与えられる。

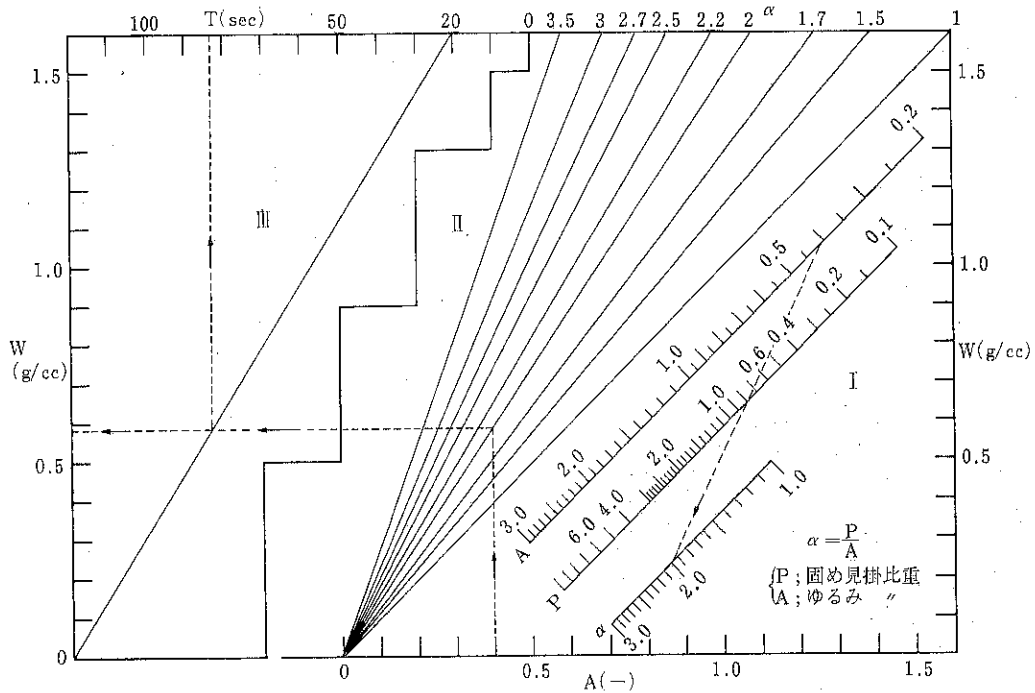
すなわち、次の式で与えられる W および T を

$$C = (P - A) / P$$

$$W = (P - A)C + A$$

$$T = 20 + \{(1.6 - W) / 0.016\}$$

次図のモノグラフによって求めた。



グラフの説明

このグラフはⅠ、Ⅱ、Ⅲの三つの図からなっている。Ⅱ、Ⅲは関連した図であるが、Ⅰは独立した図で α の値を求め、その値をⅡ図使用の際に利用するようになっている。

Ⅰ図 固め見掛比重 P とゆるみ見掛比重 A からその比 α を求める。

$$\alpha = P / A \quad (1)$$

Ⅱ図 P と A の比 α の線がわかれば、 A より動の見掛比重 W が求まる。

$$C = (P - A) / P \quad (2)$$

$$W = (P - A)C + A \quad (3)$$

(2)式の右边を、(3)式に代入し、

$$W = (P - A)^2 / P + A = (P/A - 1)^2 / P + A^2 + A = A[(\alpha - 1)^2 / \alpha + 1] \quad (4)$$

Ⅲ図 $T = 20 + (1.6 - W) / 0.016 \quad (5)$

(5)式により W から振動時間 T が求まる。

例 ゆるみ見掛比重 0.4 } のときの振動時間は、
固め見掛比重 0.8 }

Ⅰ図より $\alpha = 2.0$

Ⅱ図より $A(0.4)$ と $\alpha(2.0)$ の交点から $W = 0.58$

Ⅲ図より $W(0.58)$ から振動時間 T は、83秒になる。

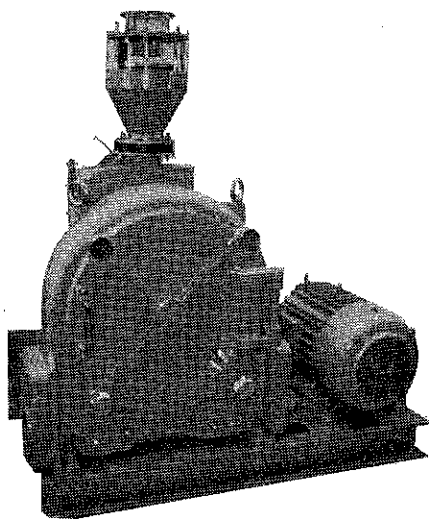
(図の使用手順は図中点線で示した。)

ミクロンビクトリーミル

ミクロンフィーダーD型

ミクロンビクトリーミル

ミクロンビクトリーミルは融点の低い合成樹脂、たとえばポリエチレンペレットなどを能率よく粉砕する目的で新しく開発された特殊な衝撃式粉砕機です。低融点で、靱性に富む材料の粉砕は従来、粉砕力として剪断力が多く用いられてきましたが、このミルでは完全な衝撃力でこれを粉砕できるようくふうされています。



例えば高圧法による低密度ポリエチレンペレットを本機で粉砕すると、平均 32 Mesh の粒度の粉末が1馬力当り1時間に 3 kg 以上の能力で得られます。従来では合成樹脂用に特殊化された粉砕機でもポリエチレンペレットを粉砕するときは1馬力1時間当りの処理能力は1～1.5 kg が常識でありました。すなわち、ビクトリーミルではポリエチレンペレットの粉砕に関して従来の粉砕機の約3倍以上の能力が得られます。しかも粉砕製品の中へ、通称ヒゲと呼ばれる繊維状の粒の混入が極度に少く、非常に流動性のよい粉末が得られるのが特徴です。ミクロンビクトリーミルがこのように高性能を示すに

は数多くのくふうがなされていて、それらの特徴あるくふうが互に作用しあっているためであります。代表的な構造上の特徴のいくつかを簡単に述べてみます。

1) ライナーとロータとのクリアランス

ポリエチレンペレットに代表される低融点物質の粉砕の場合、ライナーとロータとのクリアランスは一般の粉砕機より大きくとります。これは碎料がロータによりライナーにおしつけられて、摩擦を受け発熱することをさけて衝撃力だけが有効にかかるためです。

2) ロータのブレードの数が多し

衝撃回数を多くするため、ブレードと碎料の衝突を最も重要視し、粉体間自体の摩擦をさけるようにしました。また、多数のブレードにロードを分散させ、発熱を均一とするようにも考慮しました。

3) 中央からの供給

新しく供給された碎料が、ライナー全面に分散されて温度分布がバラつかないようにしました。ライナーとロータよりなる粉砕面において、全面的に同じ条件で粉砕が行なわれるようにして、粉砕箇所による温度差ができないようにしました。

4) ライナーとスクリーンを小分割して交互に配列しました

空気の流れを中心から全円周に均一に向わしめるよう考慮しました。

粉砕部（ライナー）と排出部（スクリーン）とを小分割して、交互に配置、温度分布を均一化するようにしました。粉砕部と排出部の面積の比率を自由に換えられるような構造となっていて、粉砕の能力と排出の能力とがバランスする点を最適条件として適用できるようにしました。

合成樹脂、食品などの熱に敏感な柔軟性、靱性に富む物質を能率よく粉砕するばかりでなく、脆性物質に対しても従来の同種の衝撃式粉砕機に較べ能率よく粉砕できます。テスト例の一部を次表に示します。

ミクロンビクトリーミルテスト例

砕 料	型 式	製 品 粒 度	製 品 能 力
高圧ポリエチレンペレット	5 HP	16~80 メッシュ	14~18 kg/Hr
ポリエチレンパウダー	5 HP	40 メッシュ パス 73%	8.2 kg/Hr
アクリル (合成樹脂)	5 HP	32~150 メッシュ	41.1 kg/Hr
ポリエステル樹脂	5 HP	12~80 メッシュ	4.5 kg/Hr
A. B. S 樹脂 (製品 A)	5 HP	10~80 メッシュ	1.5~3.3 kg/Hr
〃 (製品 B)	30 HP	〃	80~90 kg/Hr
低圧ポリエチレンペレット	30 HP	16~80 メッシュ	85~90 kg/Hr
ナイロンペレット	5 HP	16~80 メッシュ	試料が少なかったので測定 できず
炭酸カルシウム	5 HP	200 メッシュ 95%	18 kg/Hr
ポリマー (エステル系樹脂)	5 HP	16~100 メッシュ	10~17.5 kg/Hr
モノマー (エステル系樹脂)	5 HP	60~300 メッシュ	400 kg/Hr
P. V. A (製品 A)	5 HP	20~200 メッシュ	5~10 kg/Hr
パラフィン	5 HP	60~250 メッシュ	51 kg/Hr
コーヒー豆粕	5 HP	16~100 メッシュ	32 kg/Hr
高圧ポリエチレンペレット	30 HP	16~80 メッシュ	92 kg/Hr
メチルセルロース	5 HP	100 メッシュ パス 50%	16~28 kg/Hr
P. V. A (製品 B)	5 HP	12~200 メッシュ	25~50 kg/Hr

ミクロンフィーダD型

概 要

本機は粉体（微粉）を微量にフィード（供給）するために開発された微量供給機です。

諸工程の連続化、自動化をはかろうとすると、微量の粉体供給機で、供給精度が高く、連続的に安定したものが要求されます。たとえば化学薬品、医薬品、食品など諸工業における各種添加剤、合成樹脂粉末の顔料供給などです。

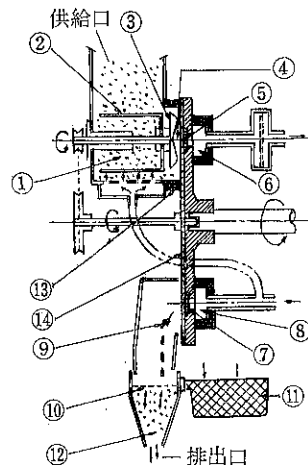
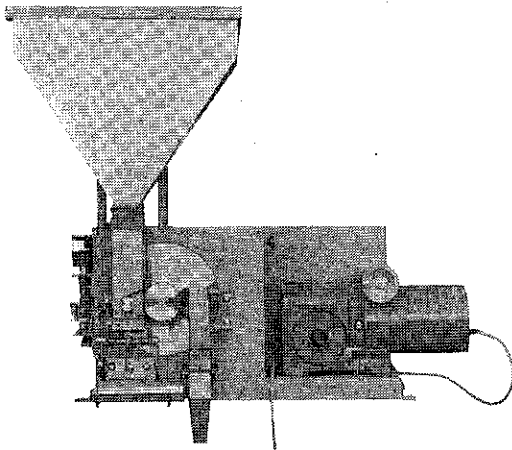
反面、粉体（微粉）の微量供給機には、次の困難な問題をかかえています。

- ① 微粉の性質…高比重が一定せず付着性、凝集性が強くなる問題
- ② 微量…すなわち小さな容積に一定の充填の困難さと、定容積容器の再生…（掃除）
- ③ 供給量の調節を可能とするための構造の複雑さなど。

これらを解決したのが本機です。

機構と原理

被供給体は供給口に入り①で気体による流動作用と攪拌翼②による攪拌混合作用をうけ均一されたのち送り羽根③でダイス④に送られる。



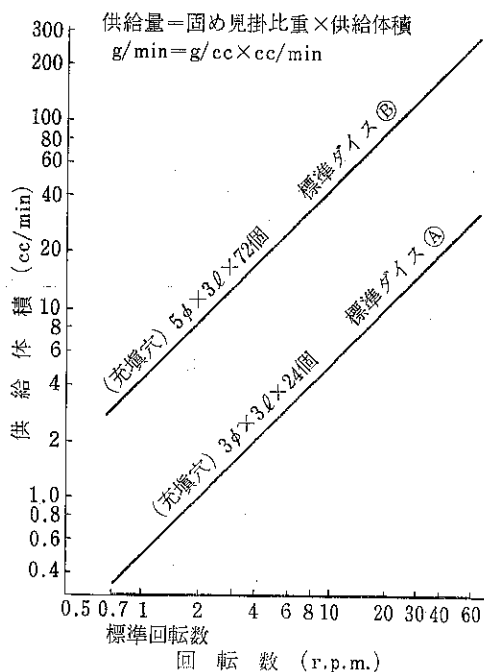
ダイス⑭には定容積の穴がありその奥には通気板⑥があつて吸気管⑥で通気板⑤を介し、均一化されている。粉体を、定容積の孔④の中に充填させる。通気板⑤は気体は通過するが粉体は通過しないようにつくられている。(通常通気板⑤はテトロンフェルト：厚2%である)

かくのごとくして供給部分は定位置にあり、ダイスは回転させるので定容積の孔④の中に充填された粉体は、供給口にある密封機⑬によってその余剰分をかきとられて供給口に残し定容量の充填粉体はそのまま回転して排出口の位置に移送され、噴気管⑧、噴気孔⑦によって、定容積の孔④より噴き出されてそのままの形⑨で分散板⑩にのり分散振動器⑪によって分散板⑩は振動し、分散した被供給粉体⑩はよく分散し、目的とするところに落下、供給されるものである。

したがってダイス⑭は、そこに明けられた定容積の孔④の大きさと数によってダイス⑭一回転当りの供給容積が決まり、ダイス⑭の回転数によって供給量が変わり無段変速機を採用することによって供給量は無段階に連続して変換することができる。なお供給口の搅拌翼②送り羽根③は、ダイス⑭の回転をそのまま伝動して回転させている。

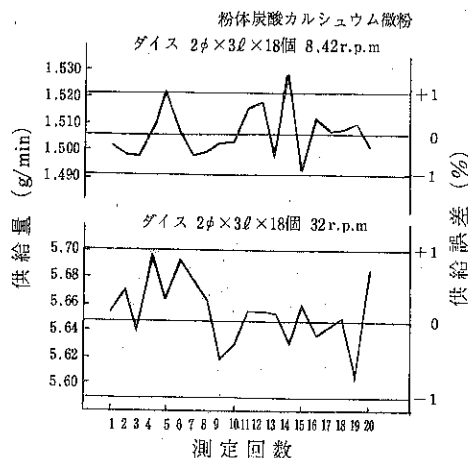
(なおホッパー(標準 30 l), 排出口(30×10%)は特別仕様により変更できます。)

ダイス孔径と回転数、供給体積との関係

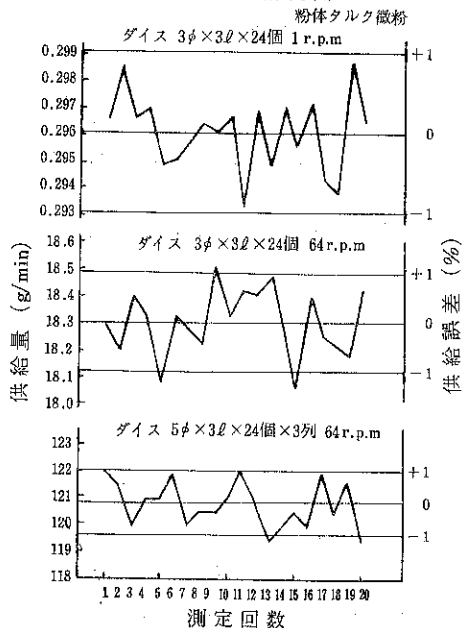


供給精度を示す実験データ例

供給能力と精度(1)



供給能力と精度(2)



特 徴

- ① 粉体特に微粉の微量供給機です。
見掛比重 0.5g/cc 程度 300 メッシュ (46 μ) 以上の微粉のとき
供給能力 0.1~150 gr/毎分
供給精度 非常に優れています。±1~2%
② 供給能力は無段変速によって 1:10
内臓歯車の組替えによって 1:9

すなわち 1:90 で変速範囲が大きく扱い易いです。

ダイスは標準 ④ 508.39mm 5.08 cc/回転

” ⑤ 4241.16mm 42.4 cc/回転

以上のごとく調節範囲が広くとれます。

- ③ 構造が簡単で保守、点検が容易です。
- ④ 全体がコンパクトにまとめられ他機への組込みが容易です。
- ⑤ 標準型として粉体接触部分は SUS 製です。

(53頁よりの続き)

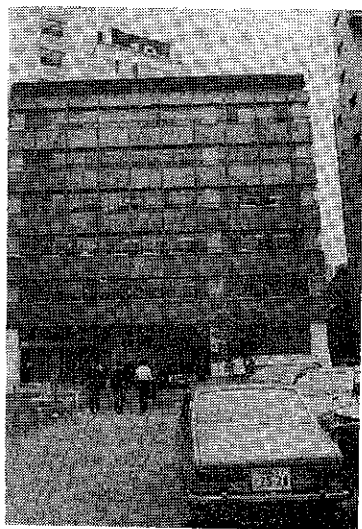
- 114. "Design Loads for Buildings-Loads in Silos," German Standard (DIN 1055, Blatt 6), Nov., 1964; also in Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 5, 1965, pp. 126-128.
- 115. Johanson, J. R., "Method of Calculating Rate of Discharge from Hoppers and Bins," Transactions, ALME, Vol. 232, Mar., 1965, pp. 69-80.
- 116. Isaacs, J. D., and Boyd, J. S., "Mathematical Analysis of Lateral Pressures in Flat-Bottomed, Deep Grain Bins," Transactions, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 8, 1965, pp. 358-360, 364.
- 117. Naberhaus, E. P., "Structural Design of Bins," Chemical Engineering, Feb., 1965, pp. 183-186.
- 118. Pieper, K., Schnelle H., and Wenzel, F., "Untersuchungen über Lasten und Raumgewicht von Weiszucht in Silozellen," Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 5, 1965, pp. 123-128.
- 119. Pieper, K., and Wenzel, F., "Erläuterung zu DIN 1055 Blatt 6, Lastannahmen für Bauten; Lasten in Silozellen," Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 5, 1965, pp. 124-126.
- 120. Jenike, A. W., "Gravity Flow of Frictional-Cohesive Solids-Convergence to Radial Stress Fields," Journal of Applied Mechanics, Series E, Vol. 32, Mar., 1965, pp. 205-207.
- 121. "Steel Grain Storage Tanks-Materials, Fabrication, and Erection Responsibilities," ASAE R 287, American Society of Agricultural Engineers Recommendation, June, 1965.
- 122. Lightfoot, E., and Michael, E., "Prismatic Coal Bunkers in Structural Steel Work," The Structural Engineer, Vol. 44, Feb., 1966, pp. 55-62.
- 123. Burak, N., "Chemicals for Improving the Flow Properties of Powders," Chemistry and Industry, May 21, 1966, pp. 844-850.
- 124. Johanson, J. R., "The Use of Flow-Corrective Inserts in Bins," Journal of Engineering for Industry, Transactions, ASME, May, 1966, pp. 224-230.
- 125. Blanchard, M. H., and Walker, D. M., "Coal Flow-Pressures in Experimental Hoppers," Central Electricity Generating Board, South Western Region, Portishead, England, Aug., 1966.
- 126. Johanson, J.R., and Kleysteuber, W.K., "Flow Corrective Inserts in Bins," Chemical Engineering Progress, Vol. 62, No. 11, Nov., 1966, pp. 79-83.
- 127. Walker, D. M., "An Approximate Theory for Pressures and Arching in Hoppers," Chemical Engineering Science, Vol. 21, 1966, pp. 975-997.
- 128. Jenike, A. W., "Denting of Circular Bins with Eccentric Drawpoints," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 93, No. ST1, Proc. Paper 5087, Feb., 1967, pp. 27-35.
- 129. Theimer, O. F., "Bersten von Stahlsilos bei tiefen Temperaturen," Der Bauingenieur, Vol. 42, No. 3, 1967, pp. 102-105.
- 130. Handly, M. F., and Perry, M. G., "Stresses in Granular Materials Flowing in Converging Hopper Section," presented at Symposium on Powder Flow and Storage.

ホソカワ ニュース

☆ 東京支店“虎ノ門”へ進出

—— 昭和45年5月より業務開始

創立55周年直後、東京進出14年目を迎えて、わが東京支社も、いよいよ念願の都心進出、オフィス街のセンター——虎ノ門（東京都港区芝罘平野40・第19森ビル内）に、昭和45年5月4日、移転した。このあたりは、通産



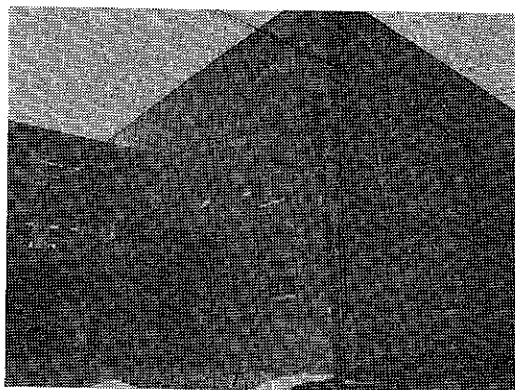
省、郵政省、特許庁などの、いわゆる官庁街に隣接し、かの霞が関ビルを斜めに見渡せる。まことに「世界のホソカワ」を担う新東京支店にふさわしい場所にあり、地下鉄銀座線「虎ノ門」駅下車、徒歩2分の交通の便のよろしいところにある。都心へ進出した新東京支店の今後一層の発展を期待したい。

☆ 本社事務所増改築

—— 昭和45年9月中旬完成

元第二工場（枚方工場移転）の約半分を鉄骨造り2階建に改築、残り半分は技術部大阪試験室に改造、隣接の空地に鉄骨造り3階建を新築、併せて本社事務所（社長室、副社長室、総務部、経理部、営業本部、貿易部、会議室、来客応接室）、大阪営業所（本社営業部、技術部、来客応接室）にする。

9月22日（火）関係従業員参列の下、竣工式を増改築のため極く内輪にて挙行し、9月26日（土）移転を完了



し、9月28日（月）より業務を開始した。

☆ 社内経営セミナー開始

—— 各部課、係長以上、社内研修

週5日制完全実施に伴う余暇有効利用の一環として、昭和44年7月4日（土）より、社内各係長以上を4グループに編成（東京支店は別途グループにて実施）辻野経営研究所指導の下に、中堅幹部経営管理に関する研習セミナーが実施されることになった。約1年間にて基礎学習は終了し、本年10月時点より、いよいよマーケティング、生産管理上の実際社内業務に学習した手法により適用実習するため、さらにグループを再編成して、取組んでゆくことになった。同時に本年9月より、一般社員の中からも選出され、経営セミナー学習参加の方法もとられている。

☆ ルーマニア向タルク・ベントナイトプラント輸出、据付試運転無事完了

昭和43年6月、副社長と間嶋、東門両常務が、ルーマニアの地におもむき、商談中のこのプラントの輸出契約が成立した。以来1年間にわたり、新開発設計による大型スーパーミクロンミル300IPを中心に、設計、製造に製造関係社内団結して、心血を注いで当プラントに取組み、昨年3月～6月出荷し、現地ルーマニアにおける据付試運転指導のため、第一陣タルク組、柳井（東京技術）平塚（大阪技術）両君が8月26日出発、約1カ月遅れてベントナイト組、田中（生産管理部長・総責任者）豊立（研究所）が現地におもむいた。以来幾多の試練（ルーマニア洪水その他）に耐え、本年無事試運転を完了して、4月～6月全員任務を了えて帰国した。

☆ 粉体工学研究所

ぞくぞく新研究開発品発表—商品化計画完了

昨年から本年にかけて、細川粉体工学研究所の研究開

発成果として下記数点が発表され、それぞれ商品化計画を完了し、ホソカワ製品ラインに増強され、発売された。

・低融点・靱性物質微粉碎機 ミクロン ビクトリーミル

(本年9月'70化学プラントショーにて、マーケットに紹介、公表した。すでに数10粉体のテスト・データは揃え、数台の受注は試みに製作していた。)

同機はポリエチレンペレット、ABS樹脂など、低融点にて靱性に富む材料を能率よく粉砕するために開発されたものである。例えば高圧法による低密度ポリエチレンペレットを、30MFのミクロンビクトリーミルで処理すると、20~60 Mesh, 平均 32 Mesh の粉末が、1時間当り 90~100 kg の割合で得られる。従来では合成樹脂用に特殊化された粉砕機でも、ポリエチレンペレットを粉砕するときは、1時間1馬力当りの処理能力が 1~1.5 kg が常識だったので、実に1時間当り 3 kg, 約3倍の能力が得られる画期的なもの。今後の営業路線での活躍が期待される。

・微量供給機 ミクロン フィーダーD型
・粉体特性総合測定機器 パウダーテスター

(昨年11月発売後、すでに100台近く納入済。)
同時期新開発発売中。
(解説記事本文参照)

☆ 第3回粉体工学に関する講演会開催

粉体技術談話会主催

—— 昭和44年12月5日 於研究所3階講堂

参加人員 64名

◎第1テーマ 物 性

司 会 群馬大学教授 松居 国夫
講 演 粉体の基礎物性

京大化学研究所 荒川 正文
コメント 粉体の物性に関する2, 3の考察

名古屋大学教授 神保 元二
" 粉体の動的流動性指数について

同志社大学教授 三輪 茂雄
" パウダーテスターについて

細川粉研 鈴木 昭明

◎第2テーマ 貯蔵・供給

司 会 九州工業大学教授 上滝 具貞
講 演 欧米におけるビンおよびホッパーに関する最近の研究(第3回チサ国際会議から)

横浜国立大学教授 青木 隆一
コメント 京都大学教授 吉岡 直哉

" 貯槽より流出する粉粒体の流出機構

山口大学教授 早野 延男

" タッピングによる粒子の充填、分離機構
信州大学教授 佐納 良樹

◎第3テーマ 粉体プロセス

司 会 大阪府立大学教授 矢野 武夫
講 演 乾式粉砕における非金属鉱物の品質向上
(ルーマニテ向タルク、ペントナイト粉砕プラントについて)

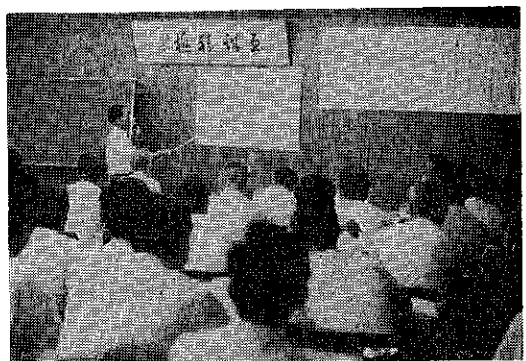
細川鉄工所生産本部長 東門 栄一
コメント 静電気水力粉砕(紹介)

大阪市立大学教授 吉田 哲夫
" 粉体プロセスのオンライン計測について
京都大学教授 井伊谷鋼一

☆ 第4回粉体工学に関する講演会開催

粉体技術談話会主催

—— 昭和45年8月21日 於研究所3階講堂



参加人員 116名

内 容

☆第1テーマ 混 合

司 会 大阪府立大学工学部教授 矢野 武夫氏
講 演 粉粒体混合機の混合性能について

大阪府立大学工学部 寺下敬次郎氏
粉粒体の混合操作に関する一つの見方
富山大学工学部教授 沢島 恭氏
コメントおよび討論

☆特別講演 公害と粉砕

塵肺研究所々長 中村 喜義氏

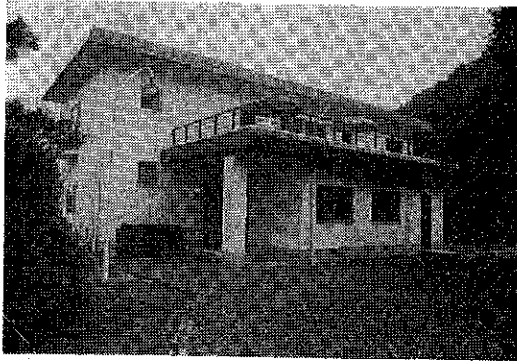
☆第2テーマ 乾 燥

司 会 九州大学工学部教授 篠原 久氏
講 演 乾燥過程における粉粒体層内液状水移動

富山大学工学部教授 若林嘉一郎氏
攪拌型乾燥機ソリッドエアおよび
コンテニューエーターの特性と応用
(細川鉄工所技術部長 丹羽 久雄氏

☆ 淡路島にホソカワ「海ノ家」完成

——「永楽荘」として、社員および家族余暇利用



厚生施設として、夏季休暇、保険対策、週5日制余暇利用のために、淡路島洲本市由良町、ミカン山の山腹にホソカワ海の家を建設、6月19日竣工式を終え、26日からオープンされた。名称を全従業員より応募の結果、故会長の書道名からとって、「永楽荘」と命名、利用規程も正式に決定、今夏から、全従業員とその家族の憩の家—レジャー施設として、大いに余暇利用に楽しんでもらっている。

☆ ホソカワニュース(月刊社内報) 発刊

—— 全従業員と、家族宅その他に配送

社内コミュニケーションの一つの手段として、かねがね総務課で企画されていた社内報が、本年2月度より発刊され、以後毎月月初発行され、すでに9号を数えている。同誌はB5判10～14頁程度の冊子で、全従業員配布、その家族宅および下請関係各位他に毎月郵送されている。もし希望される向があれば、多少余裕もありますので、総務課社内報係まで御申込下されば、毎月郵送させていただきます。

☆ 国内出品、各種展示会

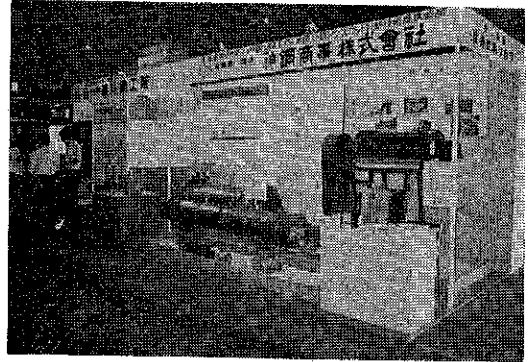
○'89 化学プラントショー

と き 昭和44年9月16日～21日(6日間)

ところ 東京・晴海・国際見本市会場 3小間

出品機種 攪拌型乾燥機

1. 技術提携 ホソカワ/ストロング ソリッドエアー
ホソカワ/ストロング ゴンティニューエーター
2. 技術提携 混合分散機 ホソカワ/ストロング



タービュライザー

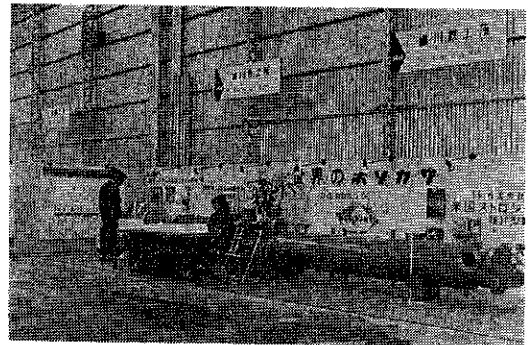
3. 総合粉体総合測定機器 パウダーテスター

○ 昭和44年大阪国際見本市

インターエンジニアリング70(国際工業見本市)

と き 昭和45年4月16日～4月29日(2週間)

ところ 大阪国際見本市港会場 4小間



出品機種

1. ストロング・スコット技術提携製品
ソリッドエアー SJS16-10型
コンティニューエーター CRS-20型
タービュライザー(TSS-14型)
2. 研究所開発造粒機 ミクロン グラニュライザー
3. 粉体特性総合測定機器 パウダーテスター

○ 第6回発明展

と き 昭和44年10月14日～16日

ところ 大阪府立工業奨励館

主 催 大阪府、発明協会、大阪府技術協会

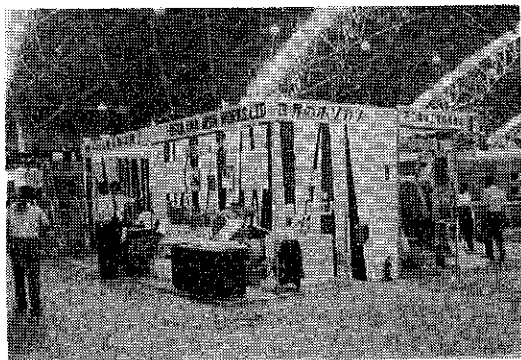
出品機種

研究所発明開発 パウダーテスター

“ 微量供給機 ミクロン フィーダー
D型

。'70 化学プラントショー

と き 昭和45年9月11日～16日（6日間）
と ころ 東京・晴海・国際見本市会場



出品機種

1. 攪拌型乾燥機 ソリッドエアー
2. 研究所新開発 特殊型粉碎機 ミクロン ビクトリーミル
3. 研究所新開発 微量供給機 ミクロン フィーダーD型
4. 米国技術提携 架橋現象防止器 バイブラ ビンアクチベーター
5. 粉体特性総合測定機器 パウダーテスター

海外 ニュース

- 44年6月 丹羽技術部長オーストラリアへ出張。小麦粉分級用MS-6試運転および代理店指導のため。同じく三浦貿易部長手工具、ビニールテープ他社製品市場調査のためオーストラリアへ出張。
- 8月 ドイツ PM GMBH 社とスーパーミクロンミルのヨーロッパ大陸における代理販売契約締結。試験室用 M 52 NC 一台船積。同じく南ア連邦インターナショナル社と細川製品の代理販売契約を結んだ。M52, MS-1 他 のテストプラントを輸出。
- 9月 支店技術部長久保、アメリカPM社へ長期出張のため出発。
- 12月 樋口設計課長台湾立祥工業公司へ出張。M 502, MS-4 試運転。
- 45年1月 森本（益）技術課長メキシコ SILMEX 社（ミクロンドライヤー）アメリカジョージアカオリン（M 502）試運転およびストロングスコット社での技術研修。

- 4月 オランダ NAUTAMIX NV 社バンゲルダー氏来日、ミクロンセパレーターを中心に、当社製品の技術研修のため約一カ月滞在。長年英国、オランダ、ルーマニアに出張していた増田貿易部長帰国。池水技術部長沖縄琉球精油へ出張（AP-4 装置試運転）
- 5月 小林貿易課長アメリカ、ヨーロッパ方面出張（PMカンファレンス参加他）
- 6月 丹羽技術部長ヨーロッパ出張（アヘマ視察他）
- 7月 井上貿易部長英国、アメリカへ長期出張中のところ任務を了え帰国。
- 8月 森本（大）営業課長ソビエト出張、モスクワ国際化学展アテンドのため。

編集後記

- ・毎号とも発行が遅れがちですが、本号は特に遅れましたことを深くお詫び申し上げます。
- ・7月末発行予定が約3ヶ月も遅れ、御執筆いただきました先生方および熱心な読者諸兄には大変長い間お待たせし申し訳ありません。
- ・今後は発行時期を遅らせないように編集者一同努力するつもりであります。
- ・本誌は昭和32年産声をあげて以来13年の年月を迎えようとしています。創刊当時の粉体に関する技術誌の皆無に近い状態から現在の“粉体ばやり”、情報量の増加を想像できたでしょうか？
- ・Micromeriticsという特殊の分野において、草創期以来一貫して持ちつづけたパイオニア的性格を保ちながら、実際と密接に結びついた技術誌として、意欲的な編集をしてゆきたいと考えています。建設的な御意見、御批判および御希望をお待ちしています。

≪粉 砕≫ No. 15 1970年 秋季号

昭和45年10月30日 印刷

昭和45年11月1日 発行

編集者 鈴木 昭 明

中 川 文 雄

（非売品）発行所 細川粉体工学研究所

大阪府枚方市招提田近1丁目9

印刷所 ナニワ印刷株式会社

大阪市北区川崎町38

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

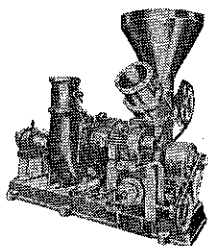
〈特徴〉

- (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3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 栄綏褒章受賞

1955年 発明賞受賞

日、米、英、仏、特許

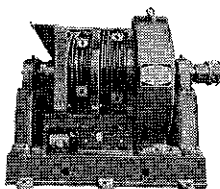
■ 大型超微粉碎機

スーパーミクロンミル

M300型 (300HP)

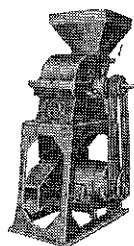
スーパーミクロンミルの超大型化

- 1 直結駆動型設計
- 2 異物排出ノズル別駆動
- 3 分割型ライナーで保守経済性向上
- 4 耐摩耗性の向上
(替刃 28Cgo 鋼)



■ 粗・中砕機ハンマーミル

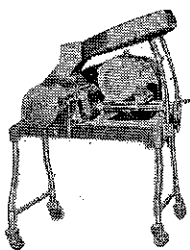
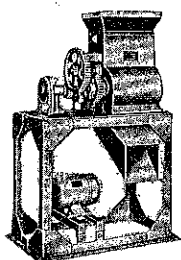
- 1 粗・中砕を目的とした鉱石、肥料、食糧品、薬品など広い範囲に用いられる。
- 2 処理能力著しく大、粒度調節可能。
- 3 構造堅固で取扱容易である
(型式) H-8 (1HP) H-12 (3HP), H-15 (5HP) H-18 (10HP) H-24 (20〜30HP)



■ 粗 砕 機

アイスクラッシャー

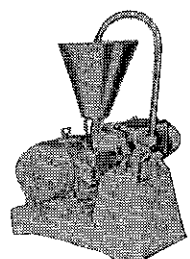
上機ロールミルの機構に鋭利な鉤状突起がついている、化学工場の氷の割砕、レチンその他大塊の中砕機として好適。
(型式) 1HP〜5HP



■ 中 砕 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



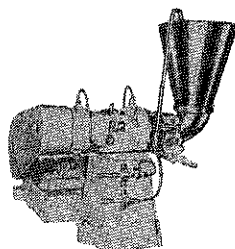
■【特許】湿式ミル

ミクロンニューコロイドミル

ミクロンミルの機構を取

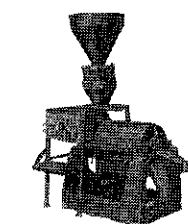
入れた湿式粉碎機で、

- 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.



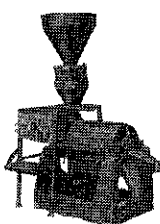
■ 乳 化 機 ディスパーミル

- 1 取扱分解掃除甚だ容易。
- 2 反覆循環可能。
- 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

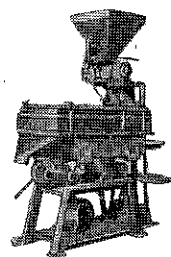
- (1) 48〜200メッシュの微粉用専用シフター
- (2) 強力な振動と回転拡散翼の効果により従来不可能な粉体のフルイも可能
- (3) 最高の篩分効果で処理能力も従来の数倍以上の高性能発揮、工業用フルイに最適
(型式) US-0, US-1, US-2



■【特 許】篩 機

パイプシフター (A型)

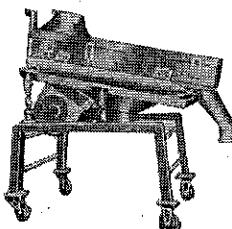
- 1 凝集性大なる粉状、粘着性のものも可能。
- 2 金網面の閉塞がない。
- 3 高性能で小型、所要馬力小
- 4 創意の垂直旋動運動1段式及2段式有り。
(型式) VSA-1 (½HP)
VSA-2 (1HP) VSA-3 (2HP)



■【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 (¾HP)

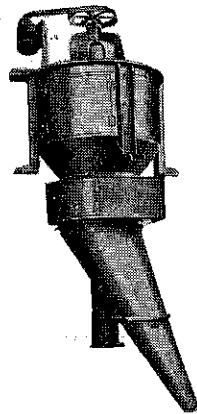


■【特許】分級機

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、0.3mm から24 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 各種粉砕機への附設が容易
(型式) MS-0~MS-7 各種



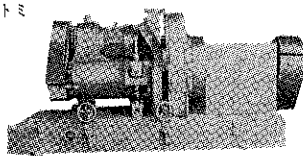
■造粒機

ミクロングラニューライザー

回転する円筒形のダイスの中に回転する押し出しローラーを配したペレットミルタイプの造粒機です。

- (1) 発熱及び摩耗が少ない
- (2) 異物の混入がない
- (3) 清掃が容易
- (4) 低動力で処理能力が大きい
- (5) 適用範囲が広い

(型式) MG-1(5HP)~
MG-2(10HP)



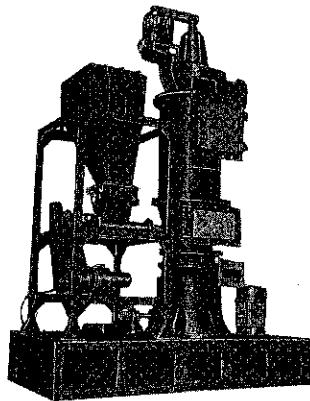
■【特許】粉砕乾燥機

ミクロンドライヤー

- 1 粉砕、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据付面積が小さく簡潔になっている。

(型式)

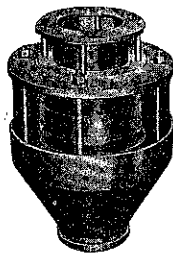
MD-1~MD-5



■粉粒体供給排出装置 フロートロン

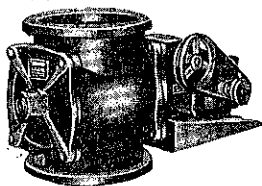
日・英・米・独・仏・特許

- 1 モートル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

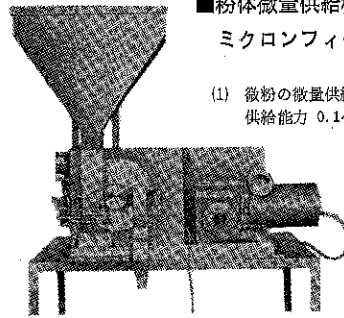


■粉体微量供給機

ミクロンフィーダーD型

【特許出願中】

- (1) 微粉の微量供給機
供給能力 0.1~150g/min
- (2) 供給精度が高い
(±1~2%)
- (3) 供給能力の調整範囲が広い
(1~90)



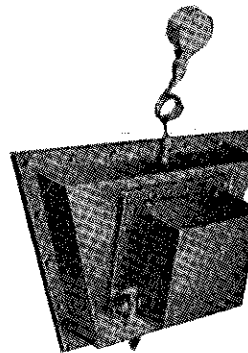
■ブリッジブレイカー

【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サーエアーにて効果的にブリッジを防止します。

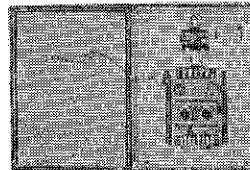
(型式) B B-1 型
(噴射面積により3種)



■ホソカワ/マイクロ モニター

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

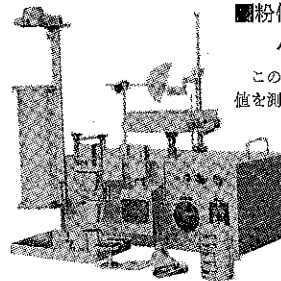
- (1)原料の連続的流量を保証
- (2)自動粉砕による増産への寄与
- (3)コンパクトキャビネットによる取付簡易



■粉体特性総合測定装置 パウダーテスター

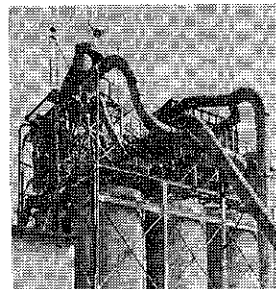
この装置は粉粒体の次の7種の特性値を測定することができます。

- (1) 安息角 (5) 分散度
 - (2) 圧縮度 (6) 差角
 - (3) 凝集度 (7) スパチ
 - (4) 崩潰角 ユブ角
- 粉体装置設計の基礎資料のために、また粉体製品の品質管理に便利です。



■粉砕・分級・捕集 ラント

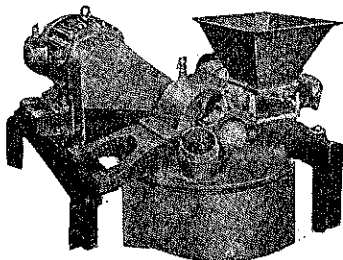
ホソカワは多年の経験と技術の粋をあつめ粉体処理機械・システムの総合エンジニアリングメーカーとして数多くの粉体システム・エンジニアリングの適用実績を有しています。



ホソカワ

技術提携製品

米国 MIKRO PUL 社技術提携製品



■ 微粉砕機 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) A P-1 SH A P-2 DH A P-3 TH
A P-4 TH (5HP~75HP)

■ 低融点微粉砕機

ホソカワ/マイクロ パルベライザー S型

- 1 軟化低融点、靱性物質の微粉砕用、特殊型、
- 2 標準水冷型



■ 小型微粉砕機

ホソカワ/マイクロバンタムミル

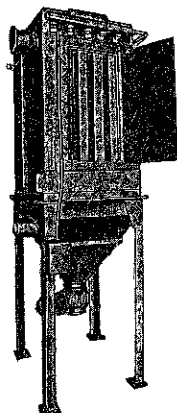
- (1) 粉塵が立たず組立掃除容易
 - (2) 自動フィーダー
- (型式) 1HP (3相)

実験用微粉砕機

ホソカワ/マイクロロサンブルミル

研究所、試験室用
(型式) 1HP (3相)

■ 集塵装置 ホソカワ/マイクロパルスエアー



P-20A-6型 (小型)

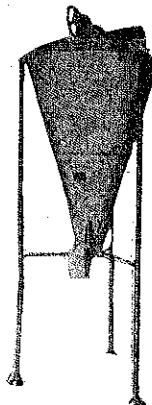
すばらしいジェットアクションによる完璧な自動清掃機構を備えた集塵機です。

- (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) 所要通過面積は他種に比して最少
- (型式) 12-A6, 20-A6, 36-A6, 48-6, 1C1, その他各型式

現在、化学工業、プラスチック工業、ペイント、染料、カーボンブラック、食品工業、砂糖、穀物、精飼料、医薬品、工業薬品、化粧品、鉱物、セメント、クレ、炭カル等の有価塵の捕集を始め、特に、近年社会問題化している公害防止等世界のあらゆる分野で使用されております。

オランダNAUTA社技術提携製品

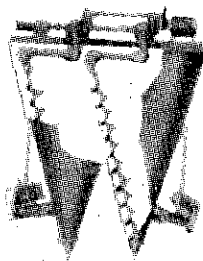
■ 高性能混合機 ホソカワ/ナウタミキサー



自転するスクリーンが円錐型容器の壁に沿って公転し、ミキサー全体にタチ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います。

- 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5t)
 - 2 大容量回分混合が可能のため、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 機構簡單、取扱、掃除容易
 - 5 安全運転、
- (型式) 30l~10000l

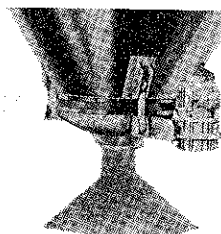
■ 複合型混合機 ホソカワ/ナウタ コンビミキサー



- 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

米国VIBRA社技術提携製品

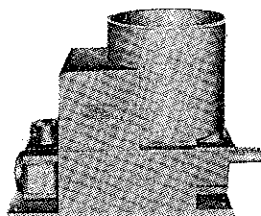
■ 粉粒体連続排出機 ビンアクチベーター



- (1) どんな粉粒体原料でも、どんな貯ビンからでも効果的で安定した排出が可能
 - (2) 最初に供給された原料が最初に排出される
 - (3) ブリッジ、アーチング、ラットホール現象を防止し、粉体のつまり、断続排出をなくす
 - (4) 新設・改設を問わずいかなるビンにも取付可能
- (型式) BA-9型~BA-10型

■ 粉粒体定量供給装置 ライプビンスクリー

フィーダー



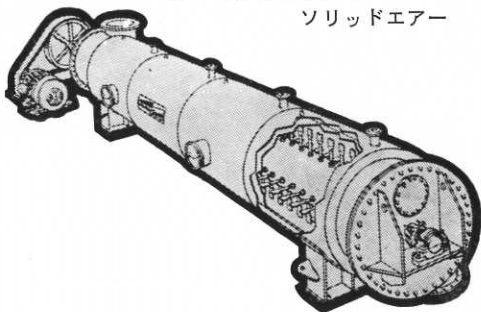
回転振動スクリーンと振動ホッパーとの組み合わせたもので極めて精度の高いフィーダーです。

- (1) フィード量の調整が容易
 - (2) 定量性が極めて高い (±1~2%以下)
- (型式) VLS-1~VLS-10
他にヘビードューティフィーダー-他各種大量供給用としてフィーダーがございます。

米国 STRONG SCOTT 社技術提携製品

■ 攪拌型乾燥機

ホソカワ/ストロング
ソリッドエアー



合成樹脂等の弱熱性物質の乾燥または溶剤回収に//

- (1) 外気遮断が容易である、
 - ・溶剤の回収が容易
 - ・暴気により変質し易いものの乾燥が容易
 - ・加圧または真空操作が容易
- (2) 凝集塊の発生が防止できる
- (3) 最小の熱風量ですむ
- (4) 製品の放散汚染が少ない
- (5) 混合乾燥ができる
(型式) S J 10-6(2.2 kW) より各種、この他に絶対乾燥に威力を発揮するコンディニューエーターもございます。

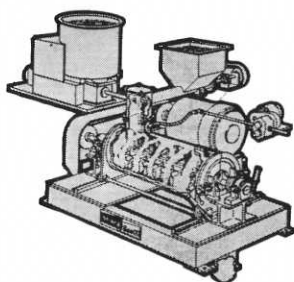
■ 混合分散機

ホソカワ/ストロング
タービュライザー

円筒容器内で多数のバドルをとりつけたシャフトが高速回転し、凝集塊、液体添加の混合分散に威力を発揮します。

- (1) 液体を粉体中へ均一に完全分散
- (2) 原料中の凝集塊を破壊
- (3) ミクロ的な均一混合が可能
- (4) 連続混合

(型式) 各種あり



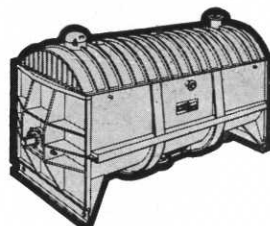
■ 混合機

リボンブレンダー

1. 排出時残留粉体は僅少
2. 液添可能
3. シャフトの脱着が可能
4. 低動力で迅速混合が得られる

(型式)

I M9(3HP)~I M680(60HP)



仏国 NEYRPIE 社技術提携製品

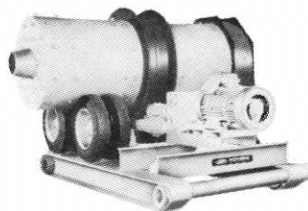
■ 粗 碎 機

ホソカワ/ネルピック
グラビコン

いわゆるジャイレトリークラッシュャーで圧壊による旋動式破砕機です

- (1) 鉱石の粗碎に最適
- (2) 運転が簡単で粒度調整容易
- (3) 頑丈且つ分解組立容易

(型式) A 500, A 750



■ 粗 碎 機

ホソカワ/ネルピック
ロロバール

いわゆるロッドミルで自動車の差動装置とタイヤを利用してミルを駆動させる

- (1) 動力が少なくて処理量が大である
- (2) ミルの振動を吸収し騒音が少ない
- (3) 据付労力が省け、場所の移動が簡単
- (4) 維持費が安い

(型式) 各種あり

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、(枚方)学界、業界の権威者を網羅し、粉体工学部門の開拓、研究にわが国最高の智脳を結集して、各位のご相談を承わっております。また技術部では大阪・東京にて多数のテスト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。

“あらゆる粉体処理機械・装置とそのエンジニアリングのご相談はホソカワへ!”



株式会社 細川鉄工所

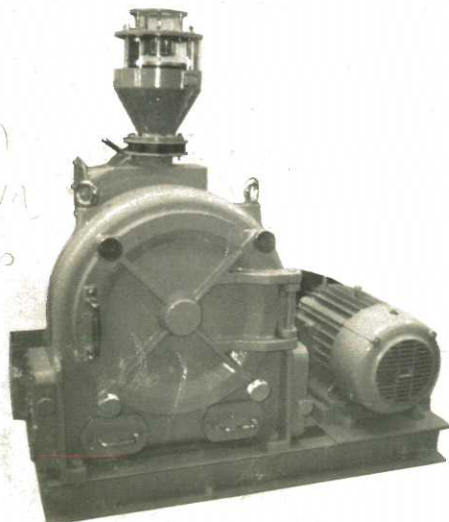
本 社	大阪市港区市岡 2 丁目 14 番 5 号	〒 552	TEL 大阪 (572) 5371 (代)
大 阪 工 場	大阪市港区市岡 1 丁目 22 番 15 号	“	TELEX (525) 3 0 4 4
枚 方 工 場	大阪府枚方市招提田近 1 丁目	〒 573	TEL 枚方 (0720) 56-5545~7
東 京 支 店	東京都港区芝罘平町 40 (第 19 森ビル)	〒 105	TEL 東京 (503) 2231 (代)
			TELEX (222) 4 5 6 8
細 川 粉 体 工 学 研 究 所	大阪府枚方市招提田近 1 丁目	〒 573	TEL 枚方 (0720) 57-3721~2

細川粉体工学研究所 新開発!!

特殊衝撃式低融点・靱性物質 粉碎機

ミクロンビクトリーミル

(VP-3型 22KW)



ミクロン ビクトリーミルは細川鉄工所、細川粉体工学研究所において、新しく開発された特殊な衝撃式粉碎機です。

このミルは特にポリエチレンペレットABS樹脂などの合成樹脂を能率よく粉碎する目的で開発されました。これらの低融点にて靱性に富む材料の粉碎は従来、粉碎力として剪断力が多く用いられてきましたが、このミルでは完全な衝撃力でこれを粉碎できるように工夫されています。

例えば高圧法による低密度ポリエチレンのペレットを30馬力のミクロン ビクトリーミルで処理しますと20~60mesh, 平均32mesh, の粉末が1時間当り90~100kgの割合で得られます。即ち粉碎機のモーター動力1馬力当り、1時間に3kg以上を処理できるわけです。従来では合成樹脂用に特殊化された粉碎機でもポリエチレンのペレットを粉碎する時は、1時間1馬力当りの処理能力が1~1.5kgが常識でした。即ちミクロン ビクトリーミルではポリエチレンの粉碎に関しては従来の粉碎機の約3倍以上の能力が得られます。

しかも粉碎製品の中へ、通称ヒゲと呼ばれる繊維状の粒の混入が極度に少なく、非常に流動性の良い粉末が得られるのが特徴です。

●ミクロンビクトリーミルの主なる特長

- ① ライナー及び特殊ローターの形状と寸法を最適な組合せとし、碎料とローター羽根との衝突効率が高くなるよう工夫され、且つ、多くの実験結果より粉碎品の流動性が最も良くなるような運転条件が得られるようにしました。
- ② 粉碎室内を流れる空気流を均一とし、且つ、碎料が粉碎室全体に均一に分散されるような構造とし粉碎室内が局部的に加熱されることなく、一様な温度に保たれるようにしてあります。これらの特徴ある工夫が夫々がいに作用しあって合成樹脂、食品等の熱に敏感な柔軟性、靱性に富む物質を能率よく粉碎するのがミクロン ビクトリーミルです。勿論、脆性に富む物質に対しても、衝撃効率の良さは変わらず、従来の同種の衝撃式粉碎機に較べ能率よく粉碎が出来ます。

ミクロン ビクトリーミルのテスト例

碎料	型 式	製品粒度	製品能力
高圧ポリエチレンペレット	30HP	20~60Mesh	90~100kg/Hr
ABS樹脂	30HP	10~80Mesh	80~90 kg/Hr
低圧ポリエチレンペレット	30HP	16~80Mesh	80~kg/Hr

其他テスト例 アクリル樹脂、ポリエステル樹脂、ナイロンペレット

ポリマー(エステル系)モノマー(エステル系)PVA、パラフィン他

粉体処理機械・装置の **ホソカワ**

営業品目

各種粉碎機・分級機・篩分機
乳化機・粉体乾燥機・混合機
集塵装置・輸送装置
その他粉体化学機械装置全般