

新 研

THE MICROMERITICS

NO. 11 SPRING 1966

細川粉体工学研究所

“粉 碎” 第 11 号 昭 和 41 年 春 季 号 目 次

【巻 頭 言】	暗 中 の 粉 体 工 学.....	大阪市立大学 工学部教授 工博	吉 田 哲 夫...(1)
【報 文】	高速衝撃粉碎における粉碎能.....	同志社大学工学部 教授 化学工学教室	奥 田 聰... (2) 森 田 洋 二
	空気流中への粉体の分散法とその大きさの測定...	大阪市立大学工学部	森 島 直 正...(6)
	試作回転充填層型スクラッパーの装置特性.....	京都大学工学部 教授	吉 岡 直 哉... (10) 江 見 準
	ミクロン ウルトラ シフター.....	細川粉体工学研究所	中 本 正 弘... (16) 松 山 卓 蔵
	造 粒 の 研 究 (第一報)	細川粉体工学研究所	松 山 卓 蔵... (20) 鈴 木 昭 明
【文 献 紹 介】	原料性質の変化する場合の粉碎過程の 制御について.....	北 大 工 学 部 合成化学工学科	中 島 耀 二... (27)
【寄 書】	粉碎の選択性と粒度分布の先天性.....	関西大学工学部 教授	中 川 有 三... (31)
【技 術 資 料】	ホッパー中における粉体の架橋現象とその対策...	細川鉄工所 研究部長	横 山 藤 平... (34)
【随 筆】	粉碎法則に対するある期待.....	北 大 工 学 部 教授	田 中 達 夫... (45)
【講 座】	化学者のための Micromeritics 入門 (4)	美 間 博 之... (46) 北 森 信 之	
【紀 行】	セイロン印象記 “エカイ, デカイ, トウナイ” ...	細 川 鉄 工 所	森 本 益 弘... (54)
【座 談 会】	PMD 社 E. L. Timm 技術本部長を囲む.....	司会, 細川粉体工学研究所	松 山 卓 蔵... (57)
	ホソカワ50年略史		(62)
	最近の興味あるテスト例	細川鉄工所営業部技術課	(65)
	ホソカワニュース		(66)
	プラスチック鑑別法		(56)
	粉 体 随 想		(15) (33) (44) (53)

【表 紙】 海外へ出荷を待つ粉碎プラント。
タイ国, バンコック向けの石灰石粉碎プラントで
スーパーミクロンミル M 502, 75P 3 台を主体と
し, 出荷前の弊社工場にて仮組立された所, 昨秋
大阪港より船積された。



暗中の粉体工学

大阪市立大学 工学部教授 工博 吉田 哲夫

先日ある雑誌
を読んでると
——恐るべき流
砂——という見
出しがあり、…

…… ある夏の朝

のこと、ピケットとスタールという二人の大学生が重いリュックサックをかついで、ほとんど水の溜れている小さな川の砂の堤を歩いていた。日に照りつけられて固く乾ききつているように見える砂の中にピケットはいつの間にか足を踏入れていたのである。乾いたように見える砂の表面を長靴で踏みしめてみると無気味にくずれて踵のところまで埋まってしまう。彼は固い地面にはい上がろうとして、さらにあがきながら二、三步前進した。ところが一足ごとにピケットの足はだんだん深く埋り、不思議なマシマロウのような砂はついに膝まで達した。ピケットはもがきつづけた。死力をふるって何とかその恐しいわなから逃れようとしたが体のまわりの砂はゼリー鉢の中のゼリーのようにゆらゆら揺れ、ピケットの体を容赦なく引きずり込んだ。砂はいち早くあごのあたりまで届き、遂に口と鼻のところまで上がってきた。ピケットはおびえた最後の叫び声をあげ、見ているスタールはただ恐怖にみちた目を注ぐだけだった………ということが書かれていた。この現象は粉体の充填構造とレオロジーの見地から一応説明はつくものの粉体は条件によつては恐ろしい魔術師のような働きをするものだという印象を強くあたえる。

従来から粉粒体群は魔物であるという言葉が使われて、どの理論もドンピシャりのものはなさそうである。固体（剛体）から粉体にする粉碎理論は100年ほど前からいろいろ考えられているが、どれもこれも粉碎機の進歩にはほとんどなにも貢献していない。固体を手つとり早く所望の粉にす

べく粉碎機屋さんの手によつて主として経験とカンでドンドンと良い機械が作り出されて来た。微粉碎機に例を引いても、ミクロンミル、振動ミル、エネルギーミルと急激に進み工業的に美しい超微粉がたやすく得られるようになったが、さて工学者はなにを手助けしたのか！現在の粉体工学の範囲内でこじつけ理論を発表してやつとその存在を見とめさしているようなものではなかろうか。

筆者は数年来、湿式や汙過式の集じんに取り組んでいるが、やつと解明できるのは ΔP だけで、 η の理論にいたつてはすつきりとしたものは何もない、これは合わそうというのがそもそも無理で相手が怪物の微粉じんでこれを獲えようというのだから。そこで最近、大学の研究室の域外の仕事だと非難されるのは覚悟で、なんとか安直に手つとり早く、 $0.1 \sim 0.5 \mu$ 粒子の難物を99.5%以上の η でとらまえる手法はないものかと、いわゆる経験とカンで、強引に二ツ三ツの集ちん機を考案し、この実装置で操作条件を探ぐる実験をやっている、ところがこの内のある装置を従来の捕集理論ではとても駄目だと思われる条件で運転してみると、ほとんど完全に近いまでとれるのには驚いた。こんな操作条件ではどう考えても捕集できるはずがないのに実さいとれるのだから不思議であり、今なおその訳がわからないままである。

このように考えると粉碎も集じんも、どうも大学の仕事ではなさそうである。一生粉とほこりにまみれてやつても工業の進歩に貢献する理論などはなかなか出来そうにもない、もつともこじつけをやらかすための理窟は見つけることはできようが、

高速衝撃粉碎における粉碎能

同志社大学工学部化学工学教室

教授 奥 田 聰
森 田 洋 二

1. 緒 言

粉碎機構に関する研究は歴史が浅く、特に高速衝撃粉碎については最近始められたばかりである。

各種物質の粉碎能を知ることは、粉碎機を設計する場合非常に大切である。しかし一般に粉碎機構は非常に複雑であり、粉碎能に関しては異種物質について各々の物質構成状態によつて異なり、同一物質でも内部のクラックや欠陥や異種物質の包含などにより同一の粉碎能を示すとは限らない。このような理由から粉碎能を物理単位系で理論的に表すことはまだ行なわれていない。現在では、多くの実験を行なつてその結果得られたデータにより粉碎能を決めている段階である。

2. 高速衝撃粉碎の粉碎機構

衝撃粉碎の粉碎機構について最初に詳しく述べたのは H. Schardin¹⁾ である。彼はガラス板を打撃することによつて調べた。

これによると打撃によつて打撃中心から弾性波（縦波と横波）が伝播し、それにともなつて応力が移動し、破碎が始まる。この破碎は打撃の中心から放射状に拡がる。破碎を生じる直接の原因は引張り応力である。最初

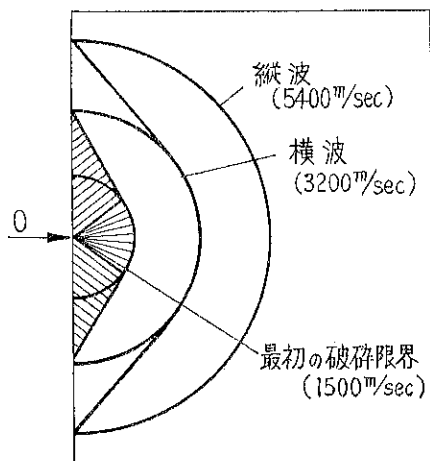


Fig. 1 ガラス板の打撃による破碎

の打撃により破碎される部分はわずかであり、斜線の引いてある所だけである。(Fig. 1)¹⁾

二次的破碎は内部欠陥や微視的クラックにより弾性応力波の進行にしたがつて行なわれる。この場合のクラックの進行速度は音波の速度すなわち弾性応力波の速度 C の 0.38 倍であることが理論ならびに実験的に Fig. 2²⁾ のように与えられている。 $C = \sqrt{Eg_c/\rho}$ (E は弾性係数, ρ は密度, g_c は単位換算係数) で示される。

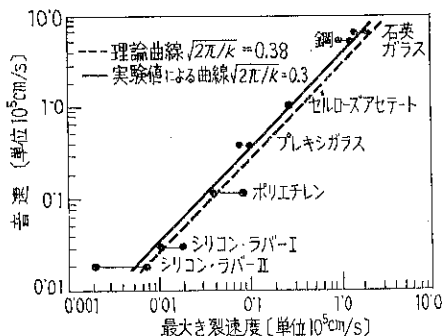


Fig. 2 最大き裂速度と音速との関係

硬い物質のぜい性破壊において、またどのような物質でもぜい性破壊が生じるまでにはその切欠き底に多少とも塑性変形を起すが、高速衝撃で粉碎する場合には巨視的に見て塑性変形はほとんど生じないと考えてよい。

E. Reiners³⁾ や R. J. Charles⁴⁾ は低速衝撃と高速衝撃において、破片の形状が異なっていることを観察している。すなわち低速衝撃の場合は針状の細長い破片を生じ、高速衝撃の場合は等長形のブロック状破片ができる。これに関しては Yoffe⁵⁾ の考えでよく理解することができる。

クラックの進行速度が遅い間は、クラックは外からの引張り応力に対して直角に進行するが、クラック速度が増してくると、進行してゆくクラック前端に応力波が発生してその先端の広いアーク状の範囲の応力がほとんど等しい値になる。そのためクラックはそこから枝分れをする。これによりクラックはでたらめな方向に伝播し、

ブロック状碎片ができる。

3. 粉碎能に影響を与える諸要素

物質の粉碎能に影響を与える要素は種々あるが、主なものは粉碎試料の物性、粉碎速度、粉碎方法である。その各々の要素について考えてみる。

3.1 物性について

種々の物質についてその粉碎能を知することは、非常に大切である。しかし粉碎能は物質固有の性質によつてのみ決定するのではなく、物質内の欠陥とか不純物の包含が非常に大きく影響し、わずかにこのような異常部分が存在していても、それによつて、全体の性質が決定される。いわゆる構造敏感性や欠陥物性を持つている。また試料物質の形状によつてもかなり異なってくる。したがつて物質本来の破砕現象を調べるためには、同じ形状の試料を用い、できるだけ内部異常の少ない物を選び、数多く実験する必要がある。

E. Reiners³⁾ は多くの物質について実験を行なつた。彼は均質物質としてのガラス・水晶・磁器、単一鉱物集合体としての砂岩・メノウ、多鉱物集合体としての玄武岩・花崗岩について実験を行なつた。これによると異種物質は外見上同じであつても、異なつた粉碎能を示すことがわかる。この相違は主に物質の構成方法より生じる。

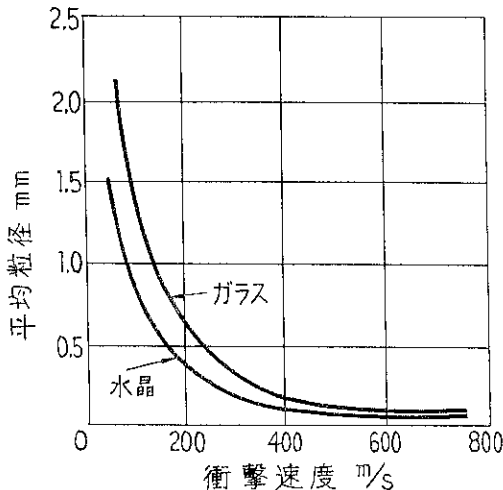


Fig. 3 衝突速度と平均粒径の関係

例えばガラスと水晶の比較は Fig. 3³⁾ のようになる。ガラスと水晶は外見上同じであるが、粉碎してみるとガラスの方が粉碎されにくい。この理由として無晶性物質であるガラスは、分子間凝集による方向依存性を全くしめさないが、水晶は結晶性物質であり、分子間凝集によるわずかな方向依存性を示すことがあげられる。こ

れによりガラスは高い抵抗力を示すが、水晶は結晶構造によつて高い抵抗力を示さない。したがつてガラスのほうが粉碎されにくい。いずれにしても各物質の粉碎能を調べる場合、各物質の構成方法をよく理解することが大切である。

圧縮強度のわかっている玄武岩・花崗岩・砂岩について、碎片の平均粒径を比較して見る。各々の圧縮強度は次のようになっている⁴⁾。

玄武岩：2,500～5,000kg/cm²

花崗岩：1,200～3,500kg/cm²

砂岩：1,500～2,000kg/cm²

Fig. 4³⁾ を見ると圧縮強度の大きい鉱物の方が平均粒径が大きくなっている。すなわち粉碎されにくくなることがわかる。圧縮強度から高速衝撃粉碎における粉碎能の比較はだいたいできる。

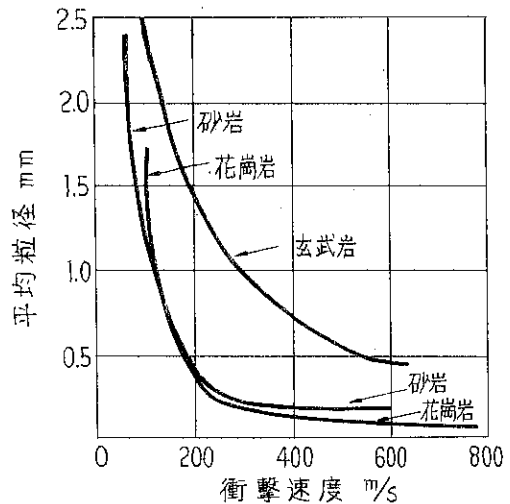


Fig. 4

3.2 粉碎速度について

等しい衝撃エネルギーを与えても、高速衝撃と低速衝撃では試料の破砕される確率が異なる。たとえば次のような実験結果がある。

10個のガラスシリンダーを重錘落下衝撃粉碎による低速衝撃粉碎と、鋼製シリンダー発射による高速衝撃粉碎

衝撃エネ ルギー	低速(3.69kg の 落錘による)	高速(11.9g の発 射シリンダーによる)
170	100%破砕	100%破砕
140	80%	100%
110	30%	100%
80	20%	100%
50	0%	100%

によつて粉碎した場合、各々の破碎確率は表のようになった⁴⁾。

これによると同一エネルギーでも高速衝撃の方が粉碎されやすい、すなわち粉碎能の大きいことがわかる。これは粉碎機構の相違によるもので、高速衝撃粉碎の場合は、衝撃中心に応力集中が起り、したがって粉碎されやすくなると考えられる。

次に試料の粒径を各種変化させた場合の衝撃速度と粉碎確率の関係について、考えてみる。各々の速度で、一定球径のガラス球150個を粉碎した場合の結果が、Fig. 5⁷⁾ に示してある。これから球形が大きい程、低速度でもよく粉碎されることがわかる。しかし同一速度でも球径が異なれば当然、吸収エネルギーも異なってくるので、各種粉碎確率における試料単位重量当りの衝撃エネ

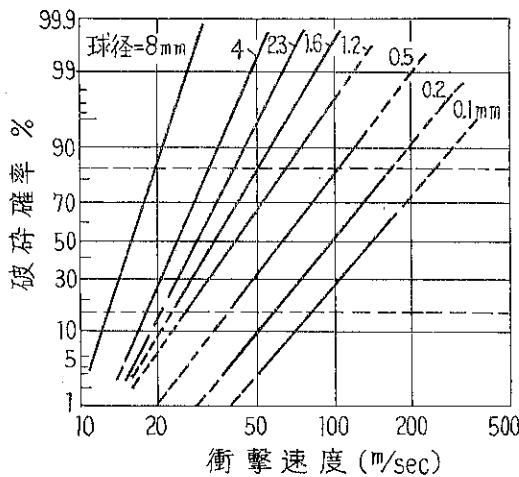


Fig. 5 ガラス球による破碎確率

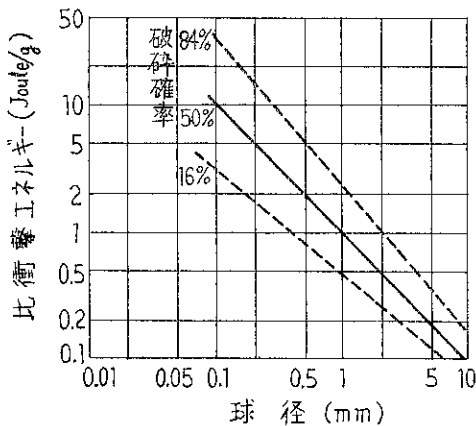


Fig. 6 ガラス球の破碎強度

ルギーと衝撃球径の関係を示すと、Fig. 6⁷⁾ のようになる。これより、等しい衝撃エネルギーを与えても、球径の小さい程粉碎確率が悪くなる。すなわち粉碎能が小さくなる。これは球径が小さくなる程、内部クラックや欠陥の含まれている確率が小さくなる寸法効果によるものであると思う。またこの図より次のような実験式が得られる。

$$A_m = aX_1^b$$

ここで A_m = 試料単位重量当りの衝突エネルギー (Joule/g), X_1 = 試料の粒径 (mm)

a, b = 定数である。

たとえば破碎確率16%の場合は $A_m = 0.4X_1^{-0.8}$, 50%の場合は $A_m = X_1^{-1}$, 84%の場合は $A_m = 2.23X_1^{-1.15}$ である。

Fig. 7⁷⁾ と Fig. 8⁷⁾ は各種試料径について、粉碎に

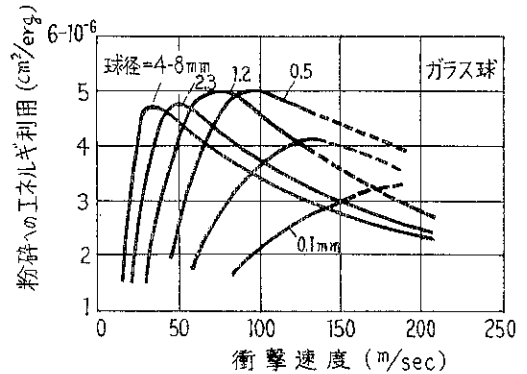


Fig. 7 ガラス球の衝撃粉碎におけるエネルギー利用

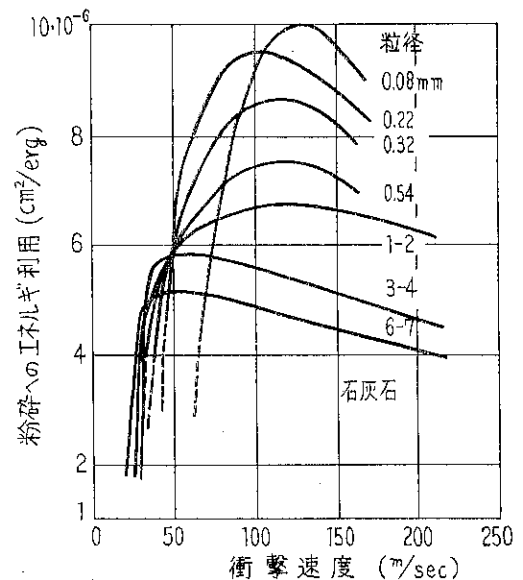


Fig. 8 石灰岩の衝撃粉碎におけるエネルギー利用

利用されたエネルギーと衝撃速度の関係を示している。図7はガラス球の場合であり、Fig. 8は石灰岩の場合である。粉碎に利用されたエネルギーは $\Delta O/A(\text{cm}^2/\text{erg})$ で示されている。ここで ΔO =表面積増加量 (cm^2)、 A =衝撃エネルギー (erg)

各粒径について、利用エネルギーが最大になる衝撃速度がある。したがって最大値における速度で衝撃すると最も粉碎効率のよいことがわかる。ガラス球の場合は球径の違いによって利用エネルギーの最大値はあまり変化しないが、石灰岩の場合はかなり変化し、球径が小さくなるにしたがって大きくなる。この相違は物性に関連していると思われる。

3.3 粉碎方法について

同一物質を粉碎しても粉碎方法が変れば、粉碎能も変ることは次の実験結果よりわかる。

a. ガラス球を銅板に衝突させた場合と b. 尖頭のある鋼製シリンダーをガラス球に衝突させた場合を比較してみると、bよりaの方がよく粉碎されている。(Fig. 9)³⁾ この傾向は衝突速度が遅くなるほど、著し

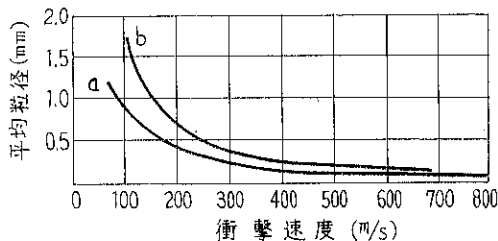


Fig. 9 粉碎方法の相異による平均粒径の比較 (ガラス球)

- a. ガラスを銅板に衝突さす
- b. 先の鋭い鋼シリンダーをガラス球に衝突さす

くなる。この理由として、aの場合は球が壁に衝突する時、壁によって圧力が球に与えられ、衝突エネルギーによる粉碎だけでなく、圧縮による二次的粉碎が行なわれることが上げられる。速度が遅くなる程粉碎時間が長く

なるので、圧縮による影響が大きくなる。他方bの方は尖頭を試料に衝突させることによって、圧縮による影響をできるだけ避けるようにしている。

4. 結 言

これまで述べてきたことをまとめると次のようになる。

1. 物性との関係：各物質の構成状態を知ることも必要であるが、先在しているクラックや欠陥も粉碎能に大きい影響を与える。したがって確率的に考えることが必要であるが、応力およびクラックの伝播速度が物質固有の値を有することから考えて、粉碎物質の物性値と形状に関係するものであることが推察される。
2. 速度との関係：速度が大きいかほど衝突エネルギーは大きくなるからよく粉碎されるが、最も有効にエネルギーを粉碎に使用できる速度がある。
3. 粉碎方法との関係：粉碎方法により試料の粉碎能がかなり変るので、粉碎方法をなるべく単一化したものについて実験データを集積する必要がある。

いずれの関係もまだ十分解明されていないが、主に Reiner と Rumpf の最近の論文を引用して衝撃粉碎についての考え方を述べた。

参考文献

- 1) H. Schardin : Glastechn. Berichte ; **23**, 1/10, 67/79 および 325/336 (1950).
- 2) J. J. Gilman : J. Appl. Phys., **27**, 11, 1262 (1956).
- 3) E. Reiners : Chemie-Ing.-Techn. ; **32**, 136 (1960).
- 4) R. J. Charles : Mining Engineering, 1028 (1956).
- 5) E. H. Yoffe : Phil. Mag ; 42 739 (1951)
- 6) 亀井三郎 “粉碎” 3/4 (1952).
- 7) H. Rumpf : Chemie-Ing.-Techn., **37**, 187 (1965).

空気流中への粉体の分散法と その大きさの測定

大阪市立大学工学部

森 島 直 正

ま え が き

集じん装置の試験にあたって、最も困難を感ずるのは含じん気流の作製である。空気中に浮遊し得る程度の極く微細な粉体を、連続的にかつ定量的に供給し、気流中に分散させることははなはだ困難な仕事である。

粉体の連続的な供給法については、種々の方法が比較して述べられている¹⁾が、これらは主に工業的規模の相当多量を供給する場合である。実験室的規模の比較的小量の粉体の供給については、北浦²⁾らがフロートロンおよびディスクフィーダーについての実験結果について述べている。この場合も砂に比して凝集、付着性のある炭酸カルシウム粉末は定量性が劣り、また1分間当り数グラム程度の小量については不可能のようである。かかる小量の粉末の定常的な供給法はあまり見当らないようである。

われわれは文献¹⁾に紹介されているディスク・フィーダーの一種であるグループ・ディスク・フィーダーの小型のものを試作し、供給テーブル上に出てくる粉体をベンチュリののど部で吸い上げ、さらに不連続性を除くために円筒容器中を通過させた。この容器はまた一種の分級器の作用をなし、解膠されなかつた大粒子をここで除去することができ、希望する微細な粒子のみを含む気流を得ることができた。さらにこの気流を主ダクト内に導入し、この部分で濃度と粒度分布の測定をおこない、集じん装置の試験用に供した。

粒度分布の測定には通常アンドリアゼン・ピペット法が最もよく使用され、粉体工学研究会の報告³⁾によれば簡単で信頼のおける方法であることがわかる。しかしこれは液中分散沈降法によるストークス径を求める方法であつて、かかる空気中に分散した粉じんの大きさを測定する方法としては疑問がある。そこでわれわれは浮遊させる粉体を電気集じん筒にて採集し、顕微鏡によつて測定、計数する方法と、カスケード・インパクトを試作し、衝突板上に補集した粉体を顕微鏡にて測定する方法

と、さらにインピンジャーによつて補集した粉体をアンドリアゼン・ピペットによつて測定する3方法につき、軽微性 CaCO_3 を用い測定比較したのでここに報告する。

1. 粉体供給装置

Fig. 1 が試作した小型のグループ・ディスク・フィ

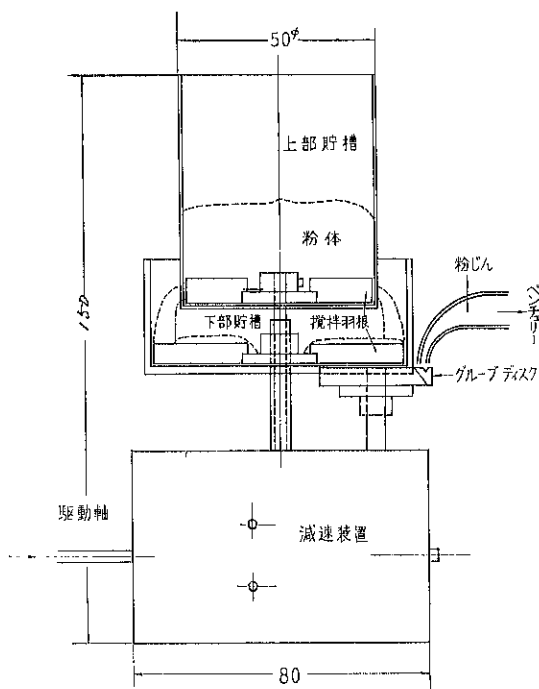


Fig. 1 試作した粉体供給機

ーダーである。実験用小型(約1/30HP)モーターにより駆動された軸は、減速装置内で減速され、粉体の取り出し円板(グループ・ディスク)を約10r.p.m.位の速度で回転させる。その直上にベンチュリ・スロートからの枝管が開口し、粉体を吸い上げる。粉体は空気流と共にFig. 2の円筒室へ切線方向に導入した。それらの関係はFig. 3に示す。筒内では遠心力とある程度の滞留時間による重力沈降によつて分級され、細かい粉体のみが

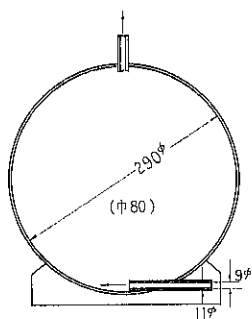


Fig. 2 円筒型混合、分級室

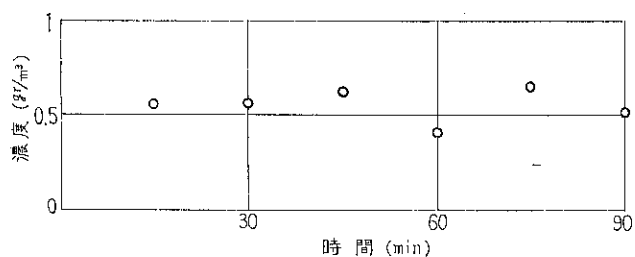


Fig. 5 粉体濃度の時間変化

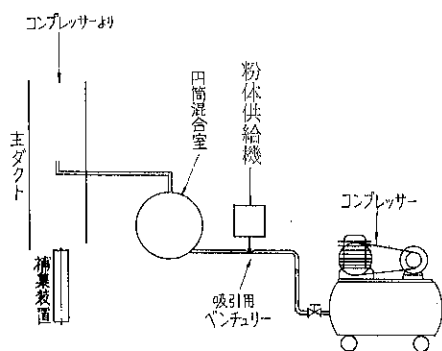


Fig. 3 試験装置の概要

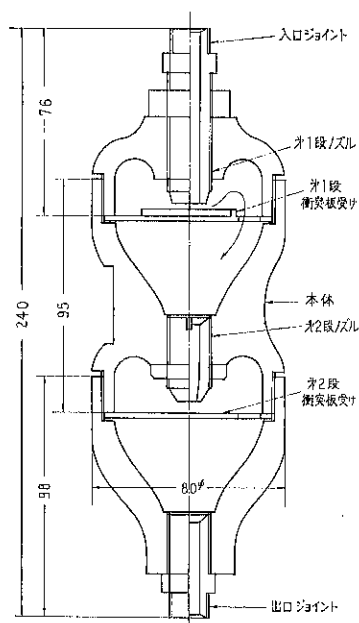


Fig. 6 試作したカスケード・インパクター

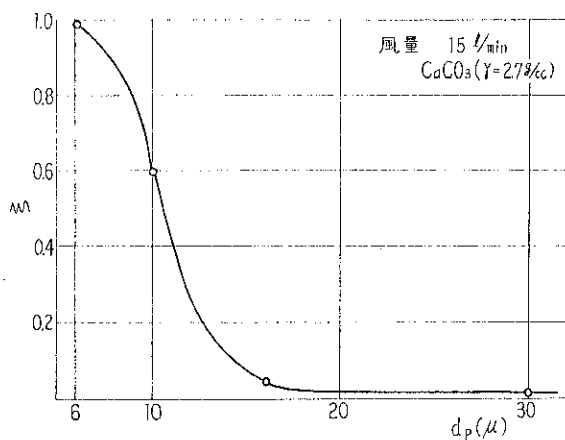


Fig. 4 分級室の分級特性

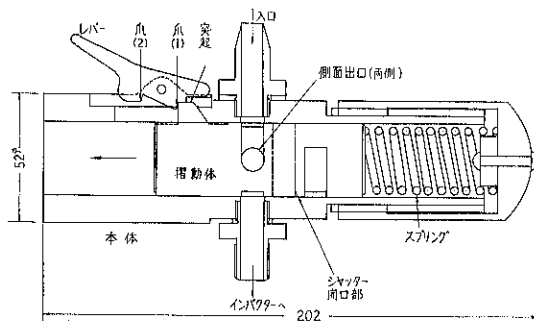


Fig. 7 インパクター採集用シャッター

出口よりとりだされる。この筒内での分級の程度を測定したところ Fig. 4 のごとくになった。この図の縦軸は炭酸カルシウムの6ミクロン粉体量を1として他の大きさの粉体量を比較したもので、16~17ミクロン以上の粒子はほとんど除かれていることがわかる。このことは後の Fig. 10 からわかることである。またこの円筒容器の容積は5.28f で、Fig. 4 中の流量から単純に滞留時間を求めると約21秒となり、供給装置からの粉体の不連続な供給をこれで緩和するのに役立つものと考えられる。この定常性の測定は、直接にかつ連続して測定できなかったが、インピンジャーを Fig. 3 の捕集装置として等速吸引した結果を濃度で図示すれば Fig. 5 のごとくであった。

2. 粉体の粒度分布測定

2.1 カスケードインパクト (Cascade Impactor)

気流中に分散している粉体の粒度分布測定には、通常風篩法が適当であるが、測定にかなり長時間を要するので不便である。カスケード・インパクトは短時間に採集できる特徴を有するので、Fig. 6 のものを試作した。衝突板のカバーガラス上に受け止めた粉体を顕微鏡によつて測定、計数した。図中の本体を追加することによりさらに段数を増して使用した。採集は短時間に終わらないと、衝突板上の粒子が重なり合つて、計数ができなくなるので、Fig. 7 のシャッターを作り、インパクトの上部入口に付加して採集した。各出入口とシャッター内の摺動体の位置は、Fig. 7 の状態では Fig. 8 の(a)

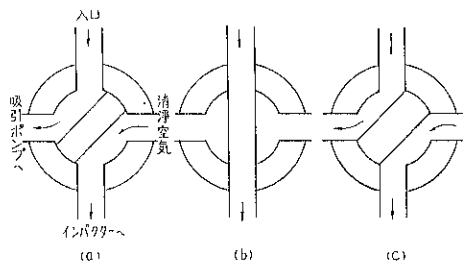


Fig. 8 シャッター動作説明図

の関係にありインパクトへは清浄空気が流入している。シャッターのレバーを押さえると、摺動体上の突起はツメ(1)を外れてツメ(2)で止まる。この時の関係位置は Fig. 8 の(b)となる。レバーの押えを外すとスプリングの力で突起はツメ(2)を押し外れて、最終位置 (Fig. 8 の(c)) で止まる。レバーを押える時間が採集時間に相当することになる。

衝突板上に付着する粒子の大きさ d_p は次の分離数

$$\psi = C \frac{\rho_p u_0 d_p^2}{18 \mu_a D_c} \quad (1)$$

によつて求まる。ここに ρ_p は粒子の密度、 u_0 は空気のノズルからの噴出速度、 d_p は粒子の直径、 μ_a は空気の粘度、 D_c はノズルの直径、 C は係数である。* Ranz および Wong⁴⁾ によれば球形粒子に対しては、分離数の値は $\sqrt{\psi} = 0.38 \sim 0.4$ と求められている。炭酸カルシウム粉末は非球形粒子であり、各段上の衝突板を顕微鏡写真によつて測定した結果は、Fig. 9 のとき曲線とな

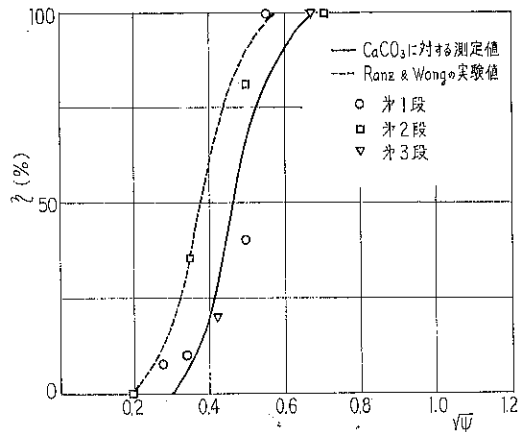


Fig. 9 炭酸カルシウムの分離数と効率の関係および球形粒子に対する Ranz および Wong の実験値

り分離数は $\sqrt{\psi} = 0.46$ となり、Ranz らの値より大きくなつた。今球形粒子に対する値を Ranz らの結果から $\sqrt{\psi} = 0.38$ とし、その時の係数を $C=1$ とせば、得られた結果は粒子の形状による相違に起因するものと考えられる。分離数は粒子の運動方程式から導かれたものであり、体積および面積形状係数をそれぞれ ϕ_v 、 ϕ_s とすれば、運動方程式はストークスの法則にしたがうものとして

$$\begin{aligned} \rho_p \frac{\phi_v \pi d_p^3}{6} \frac{du_p}{dt} \\ = \frac{24}{\left(\frac{d_p u_r \rho_a}{\mu_a} \right)} \frac{\phi_s \pi d_p^2}{4} u_r^2 \frac{\rho_a}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

と書ける。ここに u_p は粒子の速度、 ρ_a は空気の密度であり、 u_r は粒子と空気の相対速度で $u_r = u_a - u_p$ である。これより(1)式の係数 C と比形態係数 $\phi = \phi_s / \phi_v$ の関係を求めると

$$C = \frac{\phi}{6} = \frac{1}{\phi_s} \quad (3)$$

となる。ここに ϕ_s は球の場合に1となる表面係数また

* C は通常 Cunningham の補正係数として知られているが、この場合粒子は 0.5μ より大きく大きく 1μ 以上であり Cunningham の補正係数を1とした。

は、Carman の形状係数である。上記の測定結果から $C=1.21$ となり、この表面係数は 0.88 となつて、砂などの場合に比してより球に近い値となり、顕微鏡写真と比較してそのことは肯ける。

Fig. 3 の主ダクト出口において、カスケード・インパクターで測定した粒子の粒度分布は、範囲が極めて狭いので、各段の分離限界粒子径より粒度分布を求めることが困難であつたため、顕微鏡写真を測定、計数して求めた。その結果を対数正規確率紙上に図示したものが、**Fig. 10** の○印である。

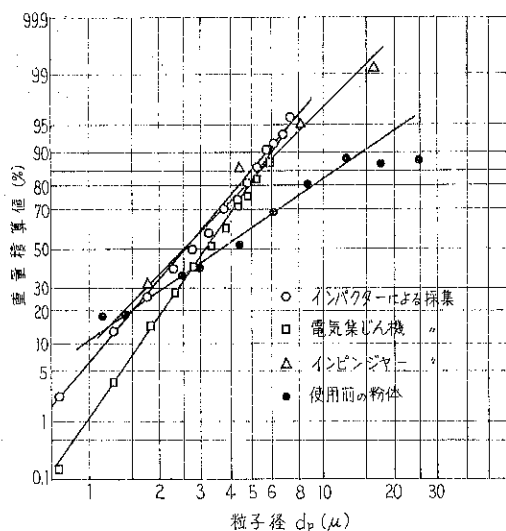


Fig. 10 粒度分布測定結果 (対数正規確率紙)

2.2 電気集じん機 (Electric Precipitator)

中央に陽極電線を張つた内径 3 cm、長さ 20 cm の集じん筒を有する柴田科学器械製の電気集じん機を、**Fig. 3** の主ダクト出口に置き、筒内におかれたセルロイド円筒上に捕集された粉じんを、各点で顕微鏡写真に撮つて測定した結果を **Fig. 10** の□印に示す。なおこのときの印加電圧は約 9 kV で、吸引量は 20 l/min であつた。

2.3 インピンジャー (Impinger)

柴田科学製の IP-6 型インピンジャーを使用して、同一個所で試料を採集した。得られた懸濁液をアンドリアゼン・ピペットにて粒度分析するために、相当多量の粉体量を必要とし、約 5～6 時間吸引した。結果を図示すれば **Fig. 10** の△印となつた。

以上 3 つの方法によつて測定した結果を比較した。前 2 者は顕微鏡写真から等方径を求め、それから重量分布に換算した値で、3 つの方法ではそれぞれ採集方法の相違と、測定方法の相違を含んでいる。しかしそれらの相違にもかかわらず **Fig. 10** からわかるごとくかなり

よく一致している。ただ第 2 の電気集じん機による方法が他の 2 者に比して粒径の小さい部分で個数が少なくあらわれている。この電気集じん機の実験条件から電極間の粒子の移動時間を計算しても、0.5～1 ミクロンの粒子では気流が円筒を通過する (約 0.43 秒) までに十分電極間を移動 (約 0.26 秒) してしまう。したがつてこの場合、集じん洩れによるものとは考えられず、むしろ計数個数や回数不足による統計的な誤差によるものと考えられる。これは他の顕微鏡測定法についてもいえることで、さらに測定を繰り返せばはつきりした誤差の原因を知ることができるが、何分顕微鏡測定は多大の労力と時間とを要し確たる結論を得られるまでに致らなかった。しかし以上の結果は数回の測定によつて得られた結果であつて、3 者の間にあまり大きな相違がなく、とくに粒径の大きい部分ではよく一致しているといえる。参考のために、分散前の (供給機に使用する) 粉末炭酸カルシウムの試料を、アンドリアゼン・ピペットにて測定した結果を同じく **Fig. 10** 中に●印で示しておいた。これから、粒径の大きい部分が **Fig. 2** の円筒によつて除かれるための相違が、またそのために粒度分布の巾が狭くなつていことがよく理解できる。

むすび

集じん装置の試験に使用する、微細な粉じんを含む気流を作るために、少量の炭酸カルシウム粉末を連続的に定量供給する小型のグループ・ディスク・フィーダーを試作した。ベンチュリで吸引の後、円筒室を通すことにより大きな粒子が除去され、定量性の改善に役立った。3 つの方法によつて気流中の粉じんを採集し、粒度分布を測定したが、方法の相違にかかわらず結果はかなりよく一致した。この結果からカスケード・インパクターの分離限界粒子径による粒度測定に際しても、かなり信頼できる値が得られるものと期待できる。カスケード・インパクターの検定結果から、分離数における係数 C を粒子形態係数との関連において求め、炭酸カルシウム粉末で $\phi_c=0.88$ を得た。

引用文献

- 1) 化学工学, **26**, 530 (1962).
- 2) 北浦, 佐納, 長瀬: 化学工学, **27**, 328 (1963).
- 3) 粉体工学研究会 研究試料 No. 49 (1963), No. 59 (1964).
- 4) Ranz W. E. and J.B. Wong, : I.E.C., **44**, 1371 (1952).

試作回転充填層型スクラバーの装置特性

京 都 大 学 工 学 部

教授 吉 岡 直 哉
江 見 準

1. はじめに

気流中に含まれるサブミクロン程度の煙霧質粒子を、分離、捕集する問題は、醸造工業、写真工業においてはばかりでなく、最近ではほとんどすべての工場で粉塵を含んだ排気ガス処理の面から、重大な問題としてクローズアップされてきている。

このような超微粒子を回収、除去する方法はいく通りあり、電気集塵器、音波集塵器、ベンチュリースクラバー、バッグフィルターまたは繊維充填層を使用した汙過集塵器などがあげられ、それぞれに一長一短がある。

これらのうち、繊維充填層を使用した汉過集塵装置は、圧力損失が低い割には捕集効率が高く、しかも安価であるということから、現在では、エアフィルターとして広い用途を有している。しかしながら、この装置は、長時間運転すると充填層表面に目詰まりを生じ、圧力損失が急激に増大するため、連続運転ができないということに最大の欠点を有している。したがって、いきおい粉塵濃度の極めて小さい範囲に限定するとか、装置を一時止めて、払い落しをせざるをえないのが現状である。このような欠点を克服する方策として、従来、繊維充填層を重力場において気液を向流に流し、捕集した粒子を洗い落とす方法が考えられているが、これは液のホールドアップが大ききく空気の処理量を増すことができない。

そこで、著者らは充填層を遠心力場に置き、ホールドアップを少なくして処理量を増し、同時に連続操作が可能な回転充填層型スクラバーを試作した。本装置は、乾式および湿式の静置充填層に比べ、圧力損失が多少高くなるという点を除けばすべての点で優れた特性を示している。

われわれは回転充填層スクラバーの装置特性、おもに圧力損失と捕集効率について種々の角度から実験をおこない、興味ある結果を得たのでここに報告する。

2. 実験装置および実験条件

回転充填層本体の詳細図を Fig. 2-1 に示す。煙霧質を含んだ空気と水は層内で向流に流れる。空気は吹込管から回転する充填層に接線方向に吹き込まれ、外環状部を回転した後に充填層を通過して円筒部に入り、出口管より排出される。

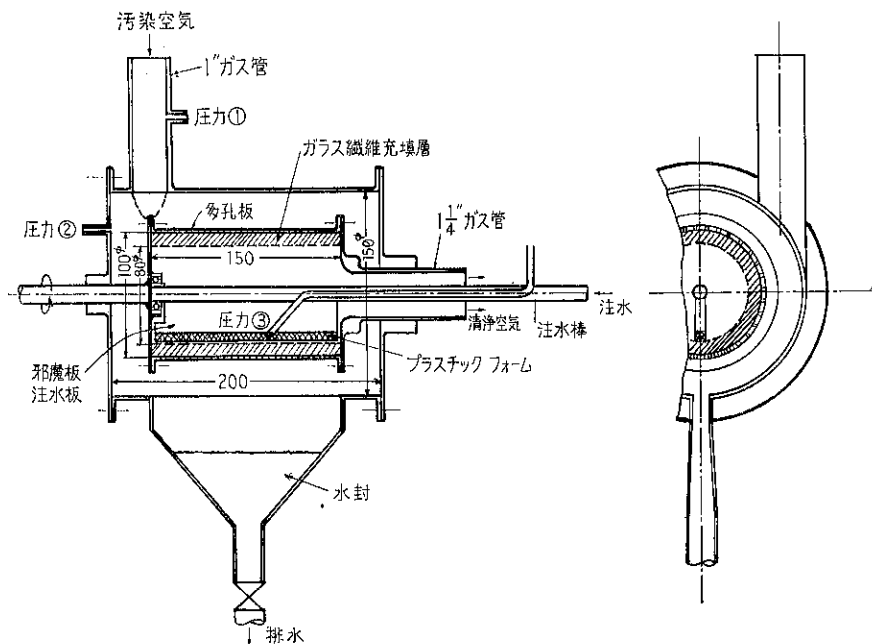


Fig. 2-1 回転充填層本体詳細図

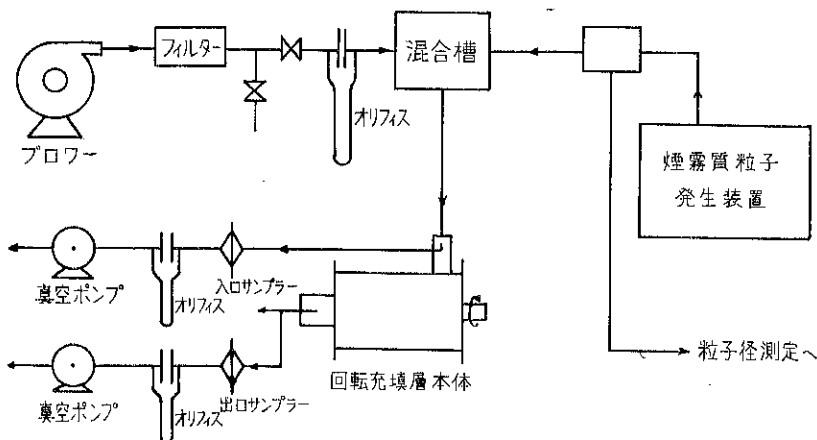


Fig. 2-2 フローシート

水は円筒 中心部に 取り付けられた 注水棒より 注入され、注水孔、プラスチックフォームを経て充填層に送られる。この際、プラスチックフォームは図に示すごとく、充填層内面にかかる接触させ、層内部で水の偏流がおこらないよう工夫した。このようにして注水された水は、ローターの回転による遠心力によつて振り切られて外壁に達した後、壁面を流下して下部の排出口から排出される。層の支持板としては、外面に遠心力に耐えうるよう多孔板を、内面には金網を使用した。

実験装置のフローシートを Fig. 2-2 に示す。煙霧質粒子は塩化アンモニウム（水に可溶）、ステアリン酸および D.O.P.（共に水に不溶）の 3 種を採用した。塩化アンモニウム粒子は、ポンペからの NH_3 と 6N-HCl に空気をくぐらせたときに同伴する塩化水素とを気相反応させることにより、またステアリン酸および D.O.P. 粒子は、LaMer-Sinclair 型均一粒子発生装置により発生させた。このようにして生成した煙霧質粒子は、混合槽でブロワーからの清浄空気で稀釈し回転充填層本体に送り込む。濃度を測定するため、充填層入口、出口にサンプリング管を挿入し、中途に濾紙 2 枚（塩化アンモニウム）または 2μ ガラス繊維を密に充填したサンプラー（ステアリン酸、D.O.P.）を設け、真空ポンプで吸引捕集し

た。捕集された粒子は、塩化アンモニウムについてはクロム酸カリを指示薬とした 0.1N-AgNO_3 水溶液による滴定法で、またステアリン酸、D.O.P. については、マイクロ天秤による重量法により測定し入口、出口濃度を決定した。

粒径は光学顕微鏡または OWL の装置（HOTS 法）で測定した。おもな実験条件は Table に示す。

3. 圧力損失

3-1. 乾式回転充填層の圧力損失—注水せぬ場合—

Fig. 2-1 に示す装置内の圧力損失は、次の 4 種類に分けて考えることができる。

- (1) 外環状部の渦流による圧力損失： ΔP_1
- (2) 充填層の摩擦による圧力損失： ΔP_2
- (3) 回転円筒内部の渦流による圧力損失： ΔP_3
- (4) 出口管での縮流による圧力損失： ΔP_4

以下それぞれの場合につき考察する。

- (1) 外環状部の渦流による圧力損失： ΔP_1

外環状部では、装置内に空気が吹込まれるために生ずる渦流によるものと、充填層の回転により空気が加速されるために生ずる損失が考えられる。この部分の圧力損失は Fig. 2-1 の ①、② 間の差圧をもつて実測した。Fig. 3-1 に測定結果を示す。実験データは回転数をいろいろ変化させているが、回転数による顕著な変化はみられず、したがって空気が層の回転により加速されるための損失は回転のトルクとなり、圧力損失としては現われないと判断することができる。

- (2) 充填層の摩擦による圧力損失： ΔP_2

これは Fig. 2-1 の ②、③間の差圧から実測した。 ΔP_2 は静置層の実測値から推測できるはずであるが、実際には風量と回転数とにより推定値よりのずれが認めら

Table 実験条件

繊維充填層			煙霧質粒子			
種類	ガラス繊維	種類	種類	NH_4Cl	ステアリン酸	D.O.P.
繊維径	10.5μ	粒子径		1.1μ	0.9μ	0.8μ
繊維真密度	2.56g/cm^3	密度		1.54g/cm^3	0.941g/cm^3	0.978g/cm^3
空隙率	0.95	濃度			$10\sim 125\text{mg/m}^3$	
厚さ	1cm	粒径測定法		顕微鏡	OWL	OWL
層断面積	426.5cm^2	濃度測定法		滴定法	重量法	重量法

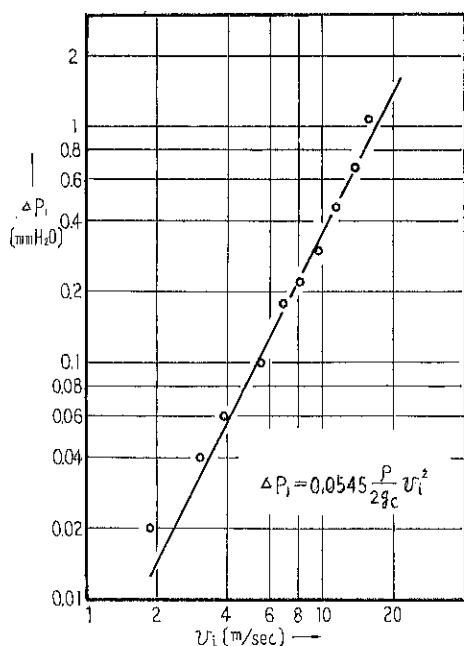


Fig. 3-1 外環状部の渦流による圧力損失

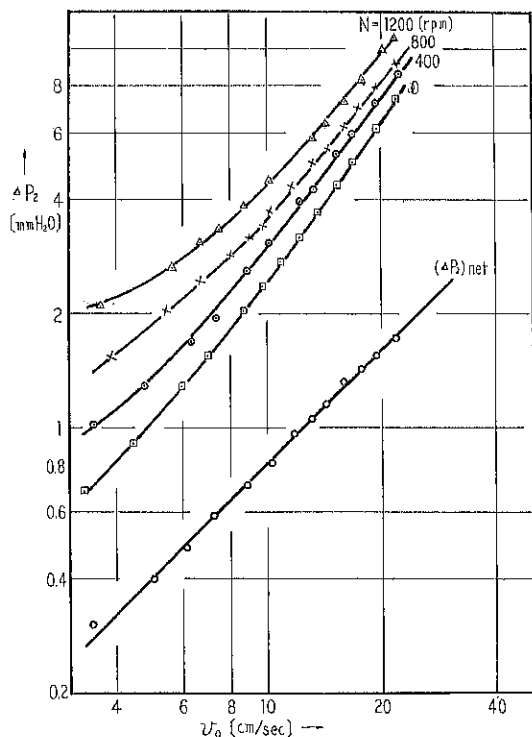


Fig. 3-2 充填層の摩擦による圧力損失

れる。測定結果を Fig. 3-2 に示す。図の $(\Delta P_2)_{net}$ は層内部より空気を送って空気の流れを層に垂直方向として測定したものである。この結果は静置層についての木村、井伊谷の式¹⁾

$$C_D = \frac{52}{Re} (1 - \varepsilon)^{m-1} \quad m = 1.60 d_f^{-0.05} \quad d_f: [\mu]$$

とほぼ一致する。実測値は静置層の場合と比較し、やや高い値を示している。これは空気が層に入るとき相対速度を持っているためと考えられるが、定量的な説明はいまだなされるに至っていない。

(3) 回転円筒内部の渦流による圧力損失: ΔP_3

この部分の圧力損失は、Fig. 2-1 の邪魔板を挿入することによってほとんど無くすることができる。図の圧力タップ③と大気圧との差から $\Delta P_3 + \Delta P_4$ を実測し、回転せぬときの差圧を ΔP_4 と考えて ΔP_3 を算出することができるが、回転の有無により差は見い出せず、したがって邪魔板を挿入したときには ΔP_3 は無視小であると結論できる。

(4) 出口管での縮流による圧力損失: ΔP_4

(3)で述べたごとく、 ΔP_3 が無視小と考えられるので、Fig. 2-1 の③と大気圧との差圧をもつて ΔP_4 とした。測定結果を Fig. 3-3 に示す。この部分の損失は、出口管径が小さければ、 ΔP_2 と同程度のものになる恐れがあるので、できるだけ太い管を使用し、しかも縮流部に丸味をつけることが望ましい。

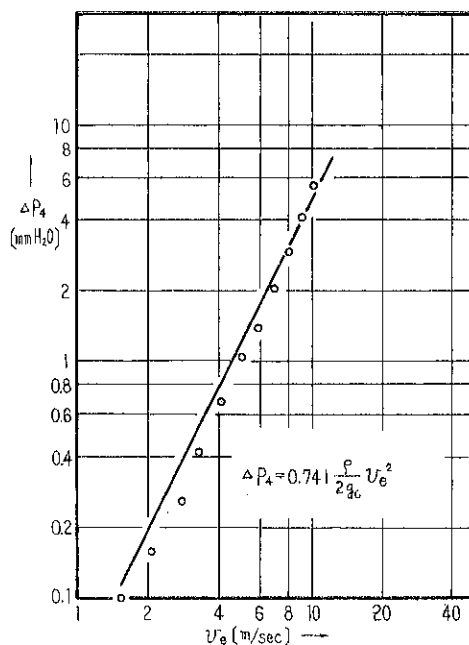


Fig. 3-3 出口管での縮流による圧力損失

以上の議論からわかるように、乾式回転充填層の圧力損失は充填層の摩擦によるものが支配的である。したがって設計の仕方により、 ΔP_1 、 ΔP_2 、 ΔP_3 を無視小とすることが可能である、

3-2 湿式回転充填層の圧力損失—ホールドアップのある場合—

ホールドアップのあるときの圧力損失は、実際に回転充填層を運転する際に起る圧力損失であり極めて重要である。この場合も4種の圧力損失が考えられるが、このうち ΔP_1 , ΔP_3 , ΔP_4 は乾式の場合と同じとみてよい。ここで問題となるのは ΔP_2 である。充填層内部では、ホールドアップによつて見掛け空隙率、見掛け繊維径、充填物の形状などが変化する。したがって解析は非常に困難であるが、Kozeny-Carman の式で空隙率補正をすることにより実験値とよい一致を示すことがわかった。Kozeny-Carman の式は

$$\Delta P_2 = C_D \frac{2\rho v^2 L(1-\epsilon)}{\pi g_c d_f}$$

$$\text{ここで } v = \frac{v_0}{\epsilon}, C_D = \frac{\pi CK^2(1-\epsilon)}{2R_a \epsilon^2}$$

$$\Delta P_2 = (\text{const}) \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3}$$

したがって湿式と乾式の比をとると、

$$\frac{(\Delta P_2)_w}{(\Delta P_2)_d} = \frac{\epsilon_d^3}{(1-\epsilon_d)^2} \cdot \frac{(1-\epsilon_w)^2}{\epsilon_w^3}$$

ここで、添字 w, d は湿式および乾式を意味する。

Fig. 3-4 は $(\Delta P_2)_w/(\Delta P_2)_d$ を $(1-\epsilon_w)^2/\epsilon_w^3$ に対してプロットしたもので、上式が成立するとすれば図から $\epsilon_d=0.875$ となる。これは Sullivan²⁾ が述べている Kozeny-Carman の式が $\epsilon_d < 0.88$ でよく一致するという事実と合致している。また同図で、 $\epsilon_w < 0.57$ では実験値は違った傾向を示してい

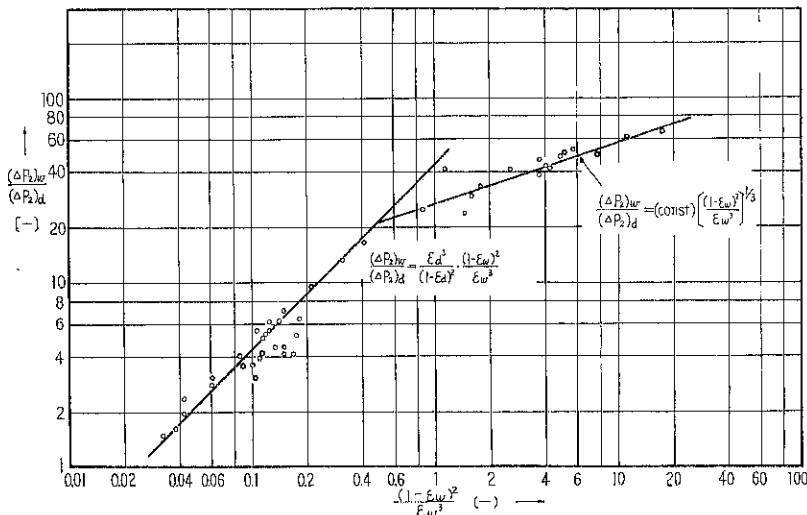


Fig. 3-4 ホールドアップのあるときの圧力損失

る。これは層に保持された水の抵抗が繊維層の抵抗よりも支配的であるためと考えられる。この領域では次式の関係がある。

$$\frac{(\Delta P_2)_w}{(\Delta P_2)_d} = (\text{const}) \left[\frac{(1-\epsilon_w)^2}{\epsilon_w^3} \right]^{1/2}$$

これらの事実から、実際の操作は $\epsilon_w > 0.57$ でおこなうべきである。

4. 実験的捕集効率

回転充填層内の煙霧質粒子の捕集機構は、層内空気の流動、液の流動が極めて複雑なため、理論的に解明するのは困難である。われわれはここでは捕集効率の注水量、回転数、層内線速度の影響を実験的に求め、乾式静置充填層の同一条件下での実験データと比較するとどめておく。実験はすべて、層内での水の偏流を防ぐた

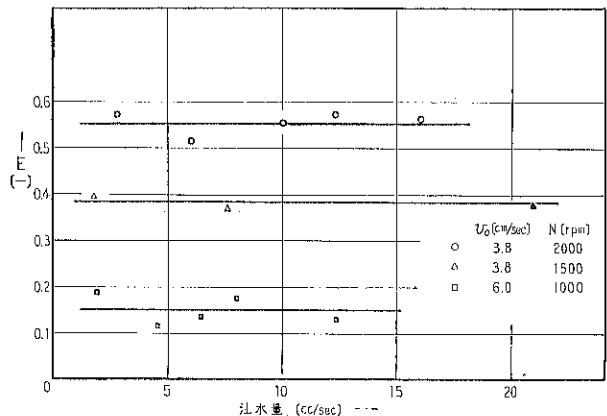


Fig. 4-1 注水量の層捕集効率に及ぼす影響

め、運転前にあらかじめ充填層を水で飽和した後、所定の注水量、回転数、風量にしておこなった。

4-1. 注水量の影響

Fig. 4-1 は層総捕集効率 E を注水量に対してプロットしたものである。図からわかるように、注水量による効率の変化はなく、注水の意味は、単に繊維表面をぬらすことによつて付着効率を増大し、同時に繊維に付着した粒子を洗い流す役目のみを有していることがわかる。

4-2 回転数の影響

Fig. 4-2は層内線速度を一定にして回転数の影響を示したものである。同図によると回転数による捕集効率の顕著な上昇が認められる。この原因として次のことが考えられる。

- (1) 外環状部へ吹き込まれた粒子の遠心力による外壁への付着。
 - (2) 充填層表面で空気が相対速度を持つことによる効率上昇。
 - (3) 外環状部および充填層内部における水滴の細分化による効率上昇。
 - (4) 層内の遠心力増大による粒子滞留時間の増加。
- これらは単独に取り出すことがむずかしく、定量的な解析がなされるに至っていない。

4-3 層内線速度の影響および乾式静置充填層との比較

Fig. 4-3 は粒子として塩化アンモニウム（水に可溶）とステアリン酸を使用したときの実験結果で、充填層同一条件下の乾式静置充填層のデータも同時に示してある。回転充填層の方が効率が高いのは、4-2節で述べたように壁面および水滴による捕集などが加味されるためである。また、水に対する溶解度の高い塩化アンモニウムの効率が高いのは注目すべきことで、ステアリン酸のデータに比べ回転数、粒径ともに大きいということの他に水に対する溶解度の影響が著しいことを示している。

なお、同図で線速度の低いところで効率が上昇するのは、この領域ではブラウン運動による拡散が支配的となるためである。線速度が増大するにつれて拡散効果は減少し、さえぎり効果が支配的となるため効率は減少する。Fig. 4-4はD.O.P.粒子について同様な実験をおこない回転数の影響も同時にプロットした。Fig. 4-3のステアリン酸の場合と同様、ほぼ同じ結果が得られている。これらの図で

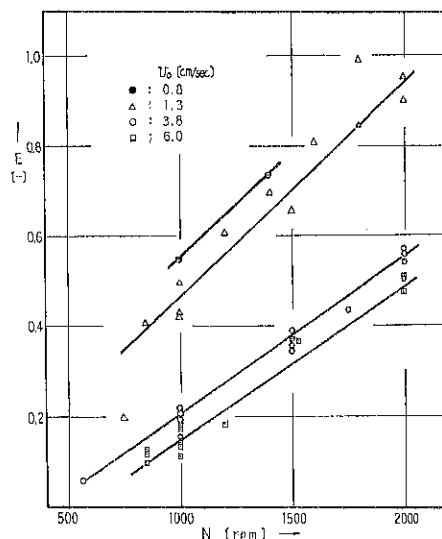


Fig. 4-2 回転数の層捕集効率に及ぼす影響

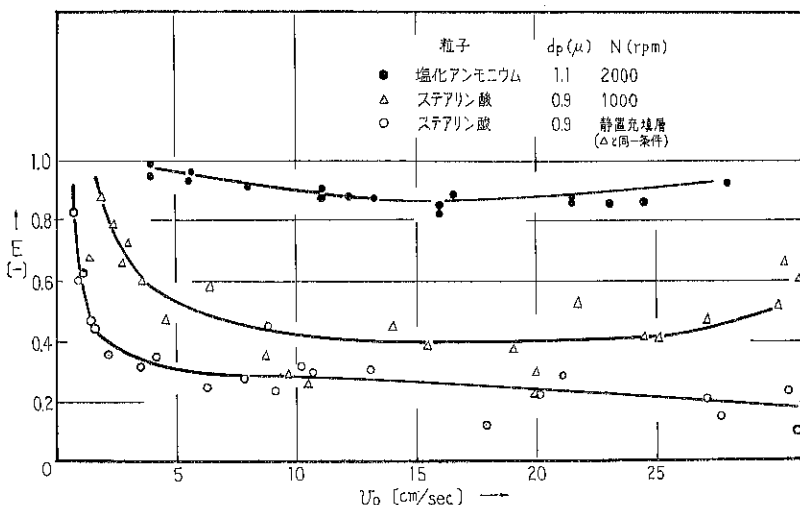


Fig. 4-3 回転充填層と乾式静置充填層との比較

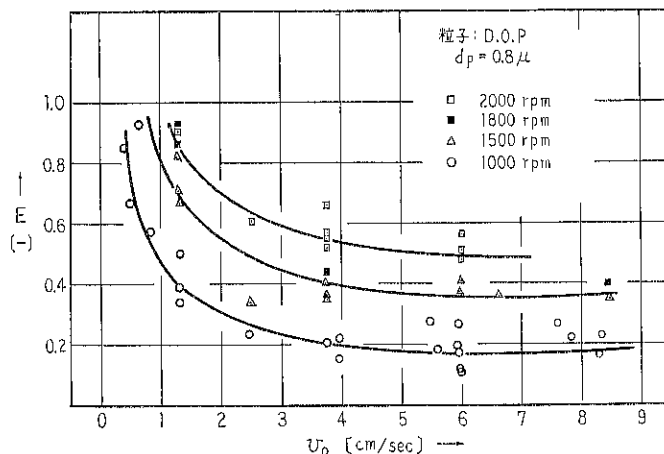


Fig. 4-4 層捕集効率（拡散およびさえぎり領域）

横軸は本来ならばホールドアップを考慮した層内線速度をとる方がより一般的であることを付記しておく。

5. 結 論

以上の実験結果、考察から得られる本装置についての結論を列挙する。

(1) 本装置は長時間の運転にも目詰まりをおこすことなく、したがって連続運転が可能である。

(2) (1)と関連して、水は粒子を洗い落すに十分な役割を果たしているの、粒子濃度の極めて高い空気の処理にも適する。

(3) 圧力損失は、充填層の摩擦による損失がほぼ支配的で、乾式静置層よりわずかに高い値を示す。スケールアップの際重要なことは、回転円筒内部に邪魔板を挿入すること、出口管径をできるだけ大きくして、 ΔP_1 、 ΔP_3 、 ΔP_4 を小さく抑えることである。

(4) 所望の捕集効率を推定するには、乾式静置充填層のデータをもとにして設計すれば安全である。

すなわち、単一繊維捕集効率と層捕集効率の換算式、

$$\eta_E = -\frac{\pi d_f \varepsilon}{4(1-\varepsilon)L} \ln(1-E)$$

から必要処理量、粒子径などから乾式静置層の場合の単一繊維の効率 η_E を求め、所望の E に対して、繊維径 d_f 、空隙率 ε 、充填層厚さ L を決定すればよい。

ただし、粒子が液に可溶性であれば効率は推定値よりかなり大きい値を示す。

最後に、本装置作成にあたり、細川粉体工学研究所に一方ならぬ御援助をいただきました。ここに深く感謝いたします。また実験に際し、向家誠一氏、松山紀由氏、福島宗彦氏、井上展夫氏に御協力いただきました。

使用記号

C, K : Kozeny-Carman の式の定数 $C=5, K=6$

C_D : 抵抗係数

g_c : 重力換算係数

d_p : 粒子直径

d_f : 繊維直径

L : 充填層厚さ

N : 回転数

R_o : 繊維径基準レイノルズ数 $\left(R_o = \frac{\rho d_f v_o}{\mu}\right)$

v : 空塔速度

v_o : 層内線速度 ($v_o = v/\varepsilon$)

v_i : 吹込み管内線速度

v_e : 出口管内線速度

ε : 空隙率

ρ : 空気密度

μ : 空気粘度

参考文献

- 1) 木村, 井伊谷: 化学工学 **23**, 792 (1959).
- 2) R.R. Sullivan & K.L. Hertel: J. Appl. Physics **11**, 76 (1940).

粉体随想 I

発 火 の 巻

さる工場で集塵機パルスエアーのテストをした時のことである。製鋼炉に酸素を吹送する時にでる排ガスを冷却したものの中のダストを除去するためのものであった。最初、常例通りガスとダストの性状を伺うとガスは一酸化炭素と窒素を主体とし、ダストは酸化鉄であり、ほんのわずかであるから捕集ダストの排出はロータリーバルブでなく、タンクをつけて取り出せばよいだろうと云われ、赤茶色のダストの見本を見せていただいた。さて数日の連続テストの結果、パルスエアー前後のダストサンプリングより捕集効率は良好、圧力損失も低い値で安定、テストはまずまずの出来である。一度止めて内部を点検しようということになり、内部のCOをN₂で置換し危険のないのを確認した後パルスエアーのドアを

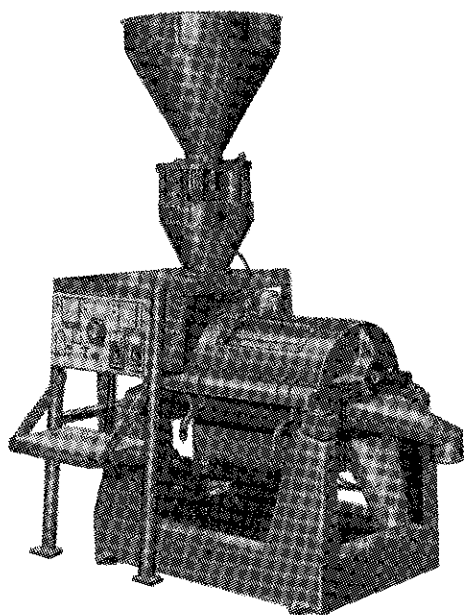
ひらいた。ところが、ものの10秒もたたないうちに黒い煙がもくもくと出はじめ担当者一同、あ然としているうちに汚布はあえなく全焼してしまった。原因はダストが赤い酸化鉄ではなく高温の還元性ふんいきで発生した還元鉄の微粉であり、これが汚布について空気にふれて急激に酸化発熱したものと判った。少量のダストサンプリングを分析した場合、分析結果は当然酸化鉄として表わされ、実際には空気にふれていないので還元鉄のままであつた事に気がつかなかったための失敗である。

それにしても、かかる空気にふれて困る粉塵の乾式集塵はどのようになされるのであろうか、パルスエアーといえども一度運転を始めたなら永久にドアを開けないという訳には未だ至っていない。(TS)

ミクロン ウルト ラ シフ ター

(Micron Ultra Sifter)

細川粉体工学研究所 中 本 正 弘
松 山 卓 蔵



1. はし が き

一般に60メッシュより細かい微粉・超微粉においては粉体粒子個々の重量は軽く、嵩高く、かつ凝集性が強いためにシフターの処理量も効率も著しく低下する傾向にあり工業的用途は限られてくる。

ミクロンウルトラシフターはこういった問題を解決するために開発されたもので、フルイ面積当りの処理能力を従来機よりも数倍向上させることができ、また従来困難とされていた原料も効率よくフルイ分けことができ、工業薬品、食品等のフルイ分けに応用面が広い。

2. ミクロンウルトラシフターの原理

ミクロンウルトラシフターのフルイ分け動作の原理はFig. 1に示す通りで、円筒形に張られたスクリーンの中にフルイ分ける原料を供給し、スクリーン全体を強く振動させ原料粉体を流動化し、その中で拡散翼を回転さ

せることによって円筒形スクリーン内での原料粉体に旋回運動を与え同時に拡散翼による分散効果が働き細粉は遠心力と分散効果によりスクリーン面の通過を加速され、同時に円筒形スクリーン全体を強力に振動させることによってスクリーンの目詰り・摩耗を防止する二元的な働きをすることにより効果的なフルイ分けを行なうことを原理としている。

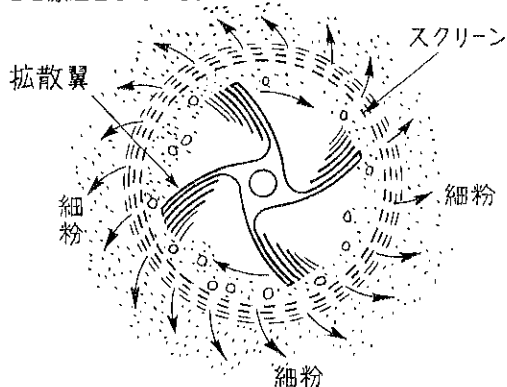


Fig. 1

3. ミクロンウルトラシフターの構造と機能

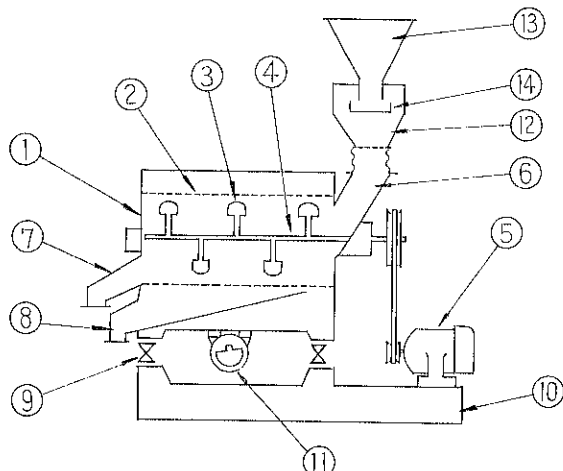


Fig. 2

ミクロンウルトラシフターの構造は Fig. 2 に示す通りで、メインボデー①の内部に円筒形に張られたスクリーン②があり、その内部に拡散翼③をもつローター軸④があって、その一端よりVベルトプーリーによってローター用モーター⑤の回転が伝達される。

円筒形スクリーン②の一端には原料供給口⑥があり、その反対側は粗粉排出口⑦に通じ、円筒形スクリーン②の外部は細粉排出口⑧に通じている。

以上の機構を内蔵するメインボデー①は防振ゴム⑨によってベース⑩の上に支持されバイプロモーター⑪により強制振動が与えられる。

原料供給口⑥の上にはフロートロンフィーダー⑫またはその他の供給装置が接続される。

フロートロンフィーダー⑫の場合にはその上部に原料ホッパー⑬があって、円型振動板⑭の振動により、原料の定量供給を行ないフロートロンフィーダー⑫を支える架台には原料供給量を調節するコントローラーその他のスイッチ等電装品をまとめたスイッチパネルが取付けられている。

なおローター用モーター⑤によりローター軸④に回転を伝達するVベルトにはテンションプーリーが用いられ、Vベルトの横振動を防止している。

ミクロンウルトラシフターの運転は先ずバイプロモーターを回転させてメインボデー全体に強制振動を与えローター用モーターによりローター軸に取付けられた拡散翼を回転させる。

次にホッパー内の原料をフロートロンフィーダーまたはその他の供給装置により円筒形スクリーン内部に定量供給する。

スクリーン内部に入った原料粉体は、バイプロモーターによる振動のため、スクリーン面を僅かに浮き上り、流動化した摩擦の少ない状態で、回転する拡散翼によってスクリーン内部で旋回運動を行なうと同時に遠心力を与えられ、凝集粉体は分散を促進されて、スクリーン目より細かい粉体は急速に通過する。粗粉はスクリーン内面を飛びはね回転しながら、粗粉排出口に移動し、細粉もまたメインボデー下部のシュートに落ちて細粉排出口に向かって流れ、おのおの機外に排出される。

なお、原料粉体の流れを円滑にするため、バイプロモーターによる振動方向は粉体の流れ方向にやや傾斜させた上下振動をしているが、粉体の流れに反して拡散翼の遠心・拡散作用をより効果的にするため、円筒形スクリーンの内部数ヶ所に三日月形の堰を設けている。

三日月形の堰は、交換が容易で、拡散効果を大にした場合は高さの大きい堰を取付ければよいが、殆んどの

一般的な原料粉体は標準サイズの堰一種類で良好なフルイ分けができる。

ローター用モーターにより上下振動をしているローター軸に回転を伝達する場合に、円滑に伝動し、とくにローター軸の振動がVベルトを通じてローター用モーターに伝わらないようにするため、Vベルトの引張り側にテンションプーリーを設け、これをスプリングで引張っている。これによりローター軸の振動によってVベルトが左右に振動するのを防止し、常に一定の張力をVベルトに与え、防振効果を上げ、Vベルトの寿命を長引かせるのに役立っている。

Fig. 3 にUS-1型の型式図を示す。

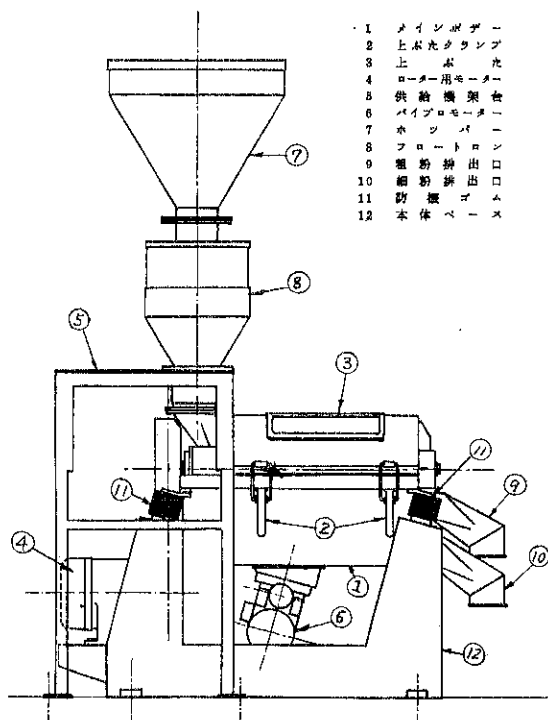


Fig. 3

4. ミクロンウルトラシフターの特徴

- 1) 処理能力が従来の振動式シフターに比較して飛躍的に大きい。
- 2) 強力な振動と回転拡散翼により独特の分散効果が得られる。
- 3) 取扱操作が簡単で使い易い。(掃除、スクリーンの点検交換が容易)
- 4) 原料供給量が相当量変化してもフルイ分け効率の影響少なく安定した運転を続けることが出来る。

- 5) 防振ゴムによる防振支持効果は良好で据付が簡単にできる。
- 6) 専用供給機としてフロートロンフィーダーが組込まれているので供給量の調節は簡単にできる。
- 7) 電装品はパネルにまとめられているのでコンパクトで便利に操作できる。
- 8) 故障がなく振動が安定している。
- 9) 全鋼板製で水洗が容易・耐久力は抜群である。
- 10) 48~200 メッシュの微粉域シフターとして最適である。

ミクロンウルトラシフターは一段フルイ専用である。多段フルイには数台を直列に接続して行なう。

なお本シフターは回転拡散翼をもつため高硬度摩耗性粉末、粗大粒の混った原料および繊維状原料には適さない。

5. ミクロンウルトラシフターの型式・仕様

1) 型 式

Table 1 の通り

2) US-1 型の付属品仕様

供給装置 フロートロンフィーダー(AV-II型)
架合付

電装パネル ローター用モータースイッチ
バイプロモーター用スイッチ
ローター用モーター電流計
フロートロンフィーダー用コントローラー。(電流計付)

電 源 3相 220V および単相 100V

入力用コード 各 3m 付

3) 材 質

本機の主要材質は次の通り。

スクリーン ステンレス製、48~200メッシュ

機胴および排出部シュート 鉄板(SS41)製、または粉体接触部ステンレス(SUS27)製、

駆動部、架合 鉄製

メインボデーカバーの一部に検視窓(透明アクリル樹脂板)付

供給装置 フロートロン、アルミニウム(標準)
またはステンレン(SUS27)製

ホッパー 鉄板またはステンレス鋼板製

6. 能 力

ミクロンウルトラシフターの処理能力とフルイ分け効率率は、同一原料粉体において大略フルイ目とローター軸の回転数と拡散翼の枚数によって左右される。すなわちフルイ目が細くなるほど、能力、効率とも低下し、ローター軸の回転数が高くなるほど前者2項は向上する。しかし限度を超えた高速では摩耗その他の悪影響があるので適当でない。

また拡散翼の枚数も限度があり、US-1型においては標準として6枚を用いている。

Fig. 4 に US-1 型と従来機との能力と効率の比較の一例を示す。

処理能力とフルイ分け効率の関係の一例

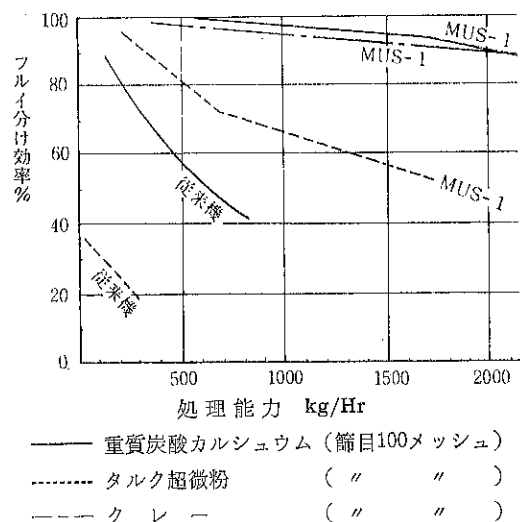


Fig. 4

Table 1

型 式	フルイ面積 (m ²)	所要モーター動力 (kW)		外形寸法 (mm) タテ×ヨコ×高サ	全重量 (kg)	備 考
		ローター軸用	振動源用			
US-0	0.06	0.2	0.15	700×400×400	60	小容量用可搬式
US-1	0.29	0.75	0.25	1,300×700×850	190	中容量生産用
US-2	1.24	3.7	0.8	2,400×1,500×1,600	890	大容量生産用

※ 外形寸法は供給装置不含。本仕様は場合により変更することがある。

なおフルイ分け効率は以下次の通りの算式を用いている

フルイ分け効率： $\eta(\%)$

$$= \frac{\text{フルイ下重量}}{\text{原料中フルイ下重量分率(小数)} \times \text{原料重量}} \times 100$$

Tab. 2 には各種粉体について弊社試験室で行なったテストデータのの一部を示す。

7. おわりに

ミクロンウルトラシフターは1965年度の新開発製品であり市販後未だ日は浅いが、その特徴ある構造と合理的な設計による画期的高性能は斯業界に大きい反響を呼んでおり、多数の引合いを受けホソカワ製品ラインに仲間入りして今後の発展が期待されている。

Table 2 能力試験データ

品 名	スクリーン目 (メッシュ)	処 理 能 力 (kg/Hr)	フルイ効率 $\eta(\%)$	原料粒度 (M;メッシュ, P;%)	ローター 回 転 数 (r.p.m.)	備 考
重質炭酸 カルシウム	100	2,050	90	—100M— 83 P	580	1,710 r.p.m. Bs 材スクリーンではスクリーンに摩耗あり
“	200	1,000	90	—200M— 86 P	1,710	
“	48	1,000	87	— 48 P— 73 P	610	
軽質炭酸 カルシウム	100	210	98	—100M—100 P	1,710	
ク レ ー	100	1,500	62.5	—100M—98.5 P	710	
“	200	1,050	90	—200M—95.5 P	1,800	
亜 鉛 華	100	215	98	—100M—100 P	1,710	
芒 硝	100	2,000	87	—100M— 82 P	710	
“	“	1,500	90	“ “	“	
C M C	100	430	90	—100M—57.5 P	710	
タ ル ク	100	900	70	—100M—100 P	580	
アセテート フレックス	30	300	90	— 32 P—97.3 P	580	260kg/Hrにて 4時間後に $\eta=$ 98 P より 69 P におちる (単一 目詰)
“	50	—	—	— 50M—77.8 P	“	目詰りのため不能 (“)
除 虫 菊	50	500	76	— 50M— 91 P	610	4 時間後 $\eta=60$ P となり掃除
“	“	250	95	“ “	“	上記と同様 目詰りあり
ポリエチレン	48	163	34	— 48M—60.5 P	710	目詰りあり
綿 実	100	220	90	—100M— 83 P	580	せいい目詰りのため連続不能
沈降性硫酸 バリウム	100	—	—	—100M—100 P		スクリーン内部に付着し不適
ベ ン ガ ラ	100	—	—	—100M—100 P		
コ コ ア	100	180	40	—100M— 88 P	710	目詰りあり、連続運転不能
小 麦 粉	100	1,100	68	—100M—100 P	1,800	
ライスマール	100	330	80	—100M— 60 P	1,050	
デンプン粕	100	400	93	—100M— 30 P	680	
玄 米 粉	100	410	90	—100M— 70 P	680	
アルミドロス	100	700	95	—100M— 44 P	820	
製菓用カレー	8	450	100	Max 25%φ	1,710	油分の塊りを解砕する目的で 結果良好
含水ブドー糖	35	600	95	—	1,050	
“	100	450	95	—	1,050	
アラビアガム	100	1,185	88	—100M— 89 P	1,050	
甘 草 (皮去)	100	—	—	—100M—99.3 P	1,050	目詰りのため不適
生 薬	150	150	60	—150M— 90 P	—	
人 造 黒 鉛	120	103	46	—100M— 80 P	—	
無 水 芒 硝	60	130	53	60~200M	—	目詰りあり
ガ ラ ス 粉	100	150	63	100~150M	—	
酸 化 水 銀	300	150	60	—300M—70 P	1,050	

※ 備考欄に特記のないものはフルイ分け良好である。

造 粒 の 研 究 (第 一 報)

細 川 粉 体 工 学 研 究 所

松 山 卓 蔵
鈴 木 昭 明

§ 1 緒 論

造粒技術に関する問題は最近特にクローズアップされて来た感があるが、我々の日常生活ではその製品はすでにおなじみのものが多い。即ち医薬品の丸薬、錠剤、顆粒を筆頭にインスタントコーヒー、ふりかけ、化学調味料などの食品、合成洗剤、粒状肥料、配合飼料などは全て造粒された製品である。さらに中間工程において造粒を必要とする工業は非常に広い分野に涉っている。造粒の必要性は各所にあり、その目的は粉塵の飛散防止による環境衛生、作業性の向上、流動性を改善することによる取扱いの簡素化、見排比重の増大による貯蔵、運搬の容易化、用途により適当な大きさを要求される場合、溶解あるいは分散の容易化、外観をよくして商品価値の向上を計る等、多方面にわたっている。造粒される品物も多岐にわたりそれに適した造粒法も種々確立されている。造粒法をその手段により大別すれば次のようなものがある。

イ) 粉体を凝集させて適当な粒径のものを得る。

(転動、押出し、打錠)

ロ) 大塊を粉碎により適当な粒径にまで小さくする。

(整粒粉碎)

ハ) 懸濁液又は溶液から媒液を蒸発乾燥させて粒を得る。(スプレッドライヤー、ドラムドライヤー)

ニ) 溶液液を分散、冷却固化する。(噴霧造粒) 本稿で説明する造粒法はイ) の分野に入るのでこれをさらに分類して見れば下記のようなものが上げられる。

- a) 転動造粒—回転ドラム造粒機、回転皿型造粒機
- b) 押出造粒—スクリュウ押出機、ペレットミル、グラニューレーター
- c) 圧縮造粒—打錠機、成型ロール、ブリケットマシン
- d) 混合造粒—ブレンダーグラニューレーター、ピングラニューレーター

それぞれの機械には各々適した用途、特徴を有しているが、弊社では以前から粉体を凝集させて適当な粒度にする Size Enlargement の分野に関心を向け研究を急いでいたが、今まで主に飼料用の大ペレットの製造に使用されていた回転ダイスと押し出しロールよりなるタイプの造粒機に新しい考案を加え医薬品、食品、農薬関係への用途にも使用できる新造粒機を開発すると共に、出来た円柱状ペレットをさらに整形、粒度を揃える球形化の工程をも研究し、ある程度の成果を見たのでここに説明する。

§ 2 幣社造粒法の概略

湿式造粒法を採用し、水と混合した原料を押出し造粒により円柱状ペレットとなしこれを整粒球形化する一連の装置について研究を進めた。その工程は Fig 1 の通りである。

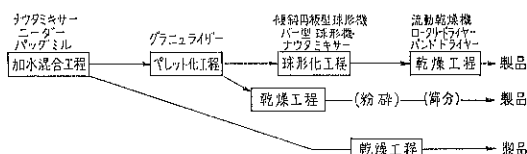


Fig-1 造 粒 工 程

加水混合工程は前工程が連続プラントならば当然造粒プランも連続化すべきであるが、小容量の場合、原料粉末の性状あるいは種類に変化を必要とする場合、特に水分を厳密にして造粒する必要がある場合等には回分式のナウタミキサー、リボンミキサー、ニーダー等が使用される。混合機の形状を適当に選べば加水混合の過程において充分、球形の粒度の揃った粒が出来そのまま乾燥工程にまわし製品とできる、例えばカーボンブラックに水分49% (WB) を添加しナウタミキサーにて20分間混合した場合 Table 2 のような粒度の製品が得られる。

粒の形状も真球に近く充分このまま製品となり得る。

Table 1 各種造粒法

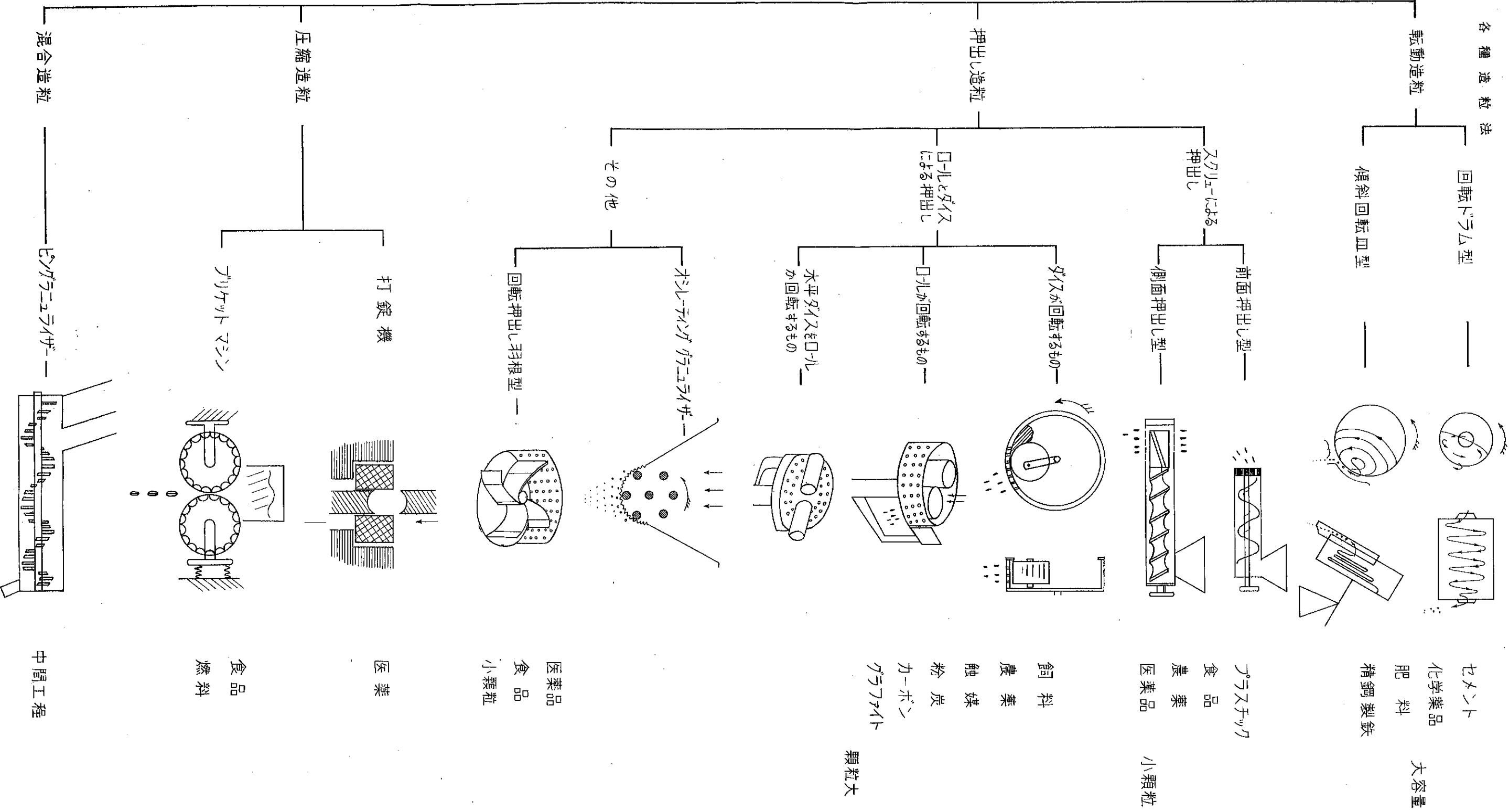


Table 2

ナウタミキサーによる加水混合にての造粒品の
粒度分布

試料	カーボンブラック
水添加量	49% (W. B)
混合時間	20分
+8 mesh	2%
8~10	10%
10~12	16%
12~16	54%
16~24	12%
24~32	4%
-32 mesh	2%

ただしこの方法では造粒できるかどうかは原料粉末の性状により定まりその範囲はせまく、且つ製品の粒度は粉末の種類と添加水分により一義的に定まり大きな変化は望めない、また製品の硬度も変化出来ず一般に軟弱な粒しかできない。

加水混合工程にて適当な水分を添加された湿潤粉末はグラニューライザーにて適当な径の円柱状のペレットに成形される。グラニューライザーは当社開発による造粒機で主要部はダイスと押出しロールよりなり、ダイスが回転してダイスに張られた打抜金鋼を用いたスクリーンの孔より原料を押出しロールが押出して円柱状に成形するものである。ペレットの径はダイスにつけるスクリーン交換により 0.5mm 以上 任意の径を選択することができる、一般に今までの押出し造粒法ではこうして出来た円柱状ペレットを乾燥して製品顆粒を得て来た。おおかたの用途に対してこれで充分であるが、さらに粒径を揃えたい場合には球形化工程を必要とする。球形化工程はグラニューライザーで出来た円柱状ペレットを湿潤状態のまままで整粒球形化するもので粉体の性質、要求される球形度、硬度に応じてパー型球形機、傾斜円板型球形機などが使用される。乾燥工程は特に在来のもので変わりなく、流動乾燥、バンド乾燥、ターボドライヤー、ロータリードライヤー、などがその特徴に応じて用いられる。

§ 3 ミクロングラニューライザー

§ 3-1 構造

ミクロングラニューライザーは加水混合工程で出来た湿潤粉末をペレット化する弊社開発の造粒機で分類上は押出し造粒機のうちダイスとロールを使用してダイスを回転させるペレットミルタイプに入る。特徴とする所はダイスに打抜き金鋼を使用して 1mm から 0.5mm 程度の小径のペレットまでも得られるようにしたことと、押出しロールの支持、圧縮方法にある。

グラニューライザーの構造の大略は Fig 2 に示す通りで

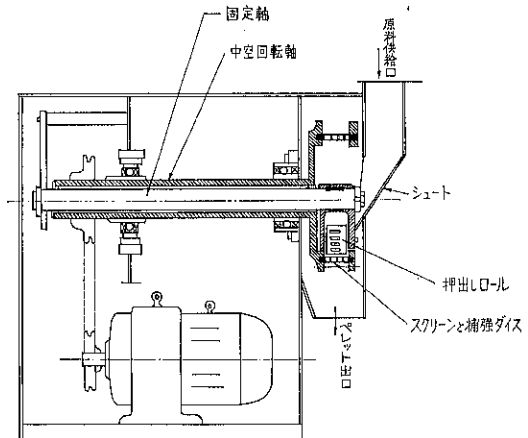


Fig-2 グラニューライザーの構造

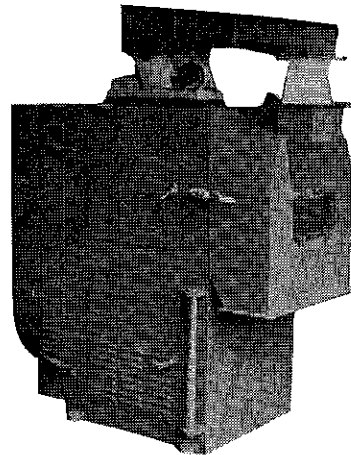


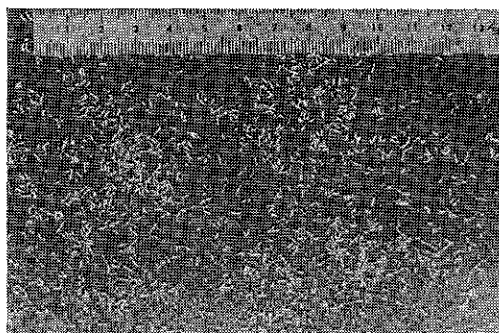
Photo 1 ミクロングラニューライザー

ある。即ち打抜金鋼を利用したスクリーンが円筒型の補強棒の内側にはられサイドプレートに組込まれて一体のダイスとなり中空回転軸の前端にとりつけられ中空回転軸を回転させることによりダイスが回転される。押出しロールはロールホルダーを介して固定軸にとりつけられ、湿潤原料が入って来るとダイスの回転にしたがつて摩擦により回転する。

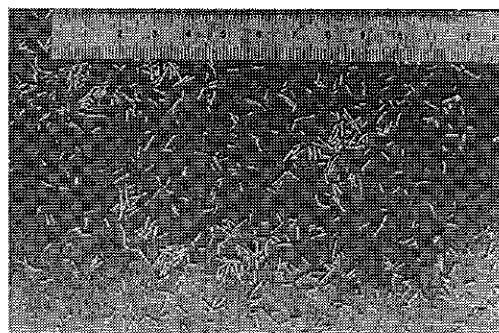
原料は電磁フィーダーまたは他の供給機にて供給され、シュートによりダイスの内側に入りロールの前面に落ちダイスの回転にともない、押出しロールにかみこまれ圧縮されてスクリーンの孔からペレットとして押し出される。一般にペレットミルのダイスは厚手の材料に孔を一つづつあけるのが普通であり、したがってあけられる孔の大きさにも限度があり径の小さいペレットを作ることには出来ない。径の小さい孔のダイスを作るには打抜金鋼をつかう必要があるが、これは厚みが少なく押し出し圧に耐えるようにするには当然補強を必要とする。グ

ラニューライザーでは厚板の円筒枠の側面に径 11mm の孔を配列したものを補強枠としその内側に密着してスクリーンを張った。

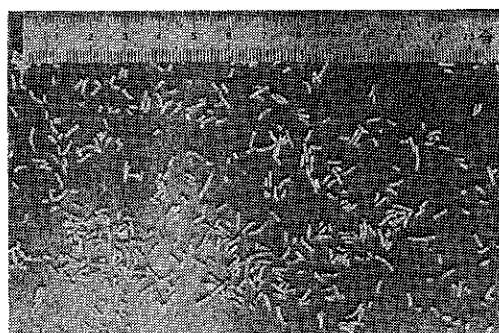
押しローラーはエキセントリックなシャフトにベアリングを介して嵌合されシャフトはロールホルダーにより固定軸に連接される一方調節スプリングによりロール面とスクリーンの間隙、運転時の押し圧を一定とすると共に、異物の混入、或いは過大な原料のかみこみに対してロールがスクリーン面より浮き上つて装置を安全に運転できるようにしている。また本機には原料が入りすぎて負荷が過大になった時に原料フィーダーを停止、更に



a) 0.5mm 径 (クレー)



b) 0.7mm 径 (クレー)



c) 1mm 径 (クレー)

Photo 2 グラニューライザーの成形ペレット

異物等をかみこみ機械にそれ以上の無理を生じた場合の機械の回転を止める安全装置がとりつけられているが本稿では割愛する。

§ 3-2 性能について

グラニューライザーはスクリーンからの押出造粒であるので出来たペレットは円柱状のものである。製品の形状については Photo 2 を参照されたい。

本機では湿式造粒であるので原料はあらかじめ水と混合捏和しておく必要がある。本機でペレットに出来る原料の水分範囲は Table 3 のようなものであるが、手で握つてべとつかずに固まる程度であり、上限に近い方では押し出しは容易であるが供給困難 (付着性が大となるため)、できたペレットが互に付着しあうことがあり、乾燥したペレットは軟弱である。下限に近い方ではペレットに割れ目が生じてきて硬いが脆いものしか出来ない、また水分が低い所ではロールへのかみこみが悪く能力が低下すると共に大きな押し圧を必要とするようになる。

処理能力は粉体の種類、性状、見掛け比重などにより大きく左右されるが一般には Table 4 に示すようである。

一般的には原料の乾燥粉末に水を混合捏和してグラニューライザーに通すが、例えばある種のフィルターケーキのように最初から多量の水分を含んでおり、そのままではグラニューライザーの適用範囲を超えて出来たペレットが水分が過剰で互に付着しあつて造粒不可能である、ま

Table 3

グラニューレーター処理における水分範囲

クレー	13~18% (W.B)
B H C	8~18%
カーボンブラック	40~50%
炭酸カルシュームと ベントナイト (9:1)	13~15%
グルタミン酸ソーダ	9~11%

Table 4

グラニューレーターの処理能力

ダイス 45mm巾×260mm 径 回転数 154 rpm
電動機 3 HP

原料名	ペレット径	水分 (W.B)	能力 (D.B)
カーボンブラック	1.5mm	44%	200~250kg/hr
B H C	1.6	14	200~250
クレー	1.0	16	350~400
クレー	0.7	16	250~300
クレー	0.5	16	100~150
炭酸カルシューム +ベントナイト (9:1)	1.0	15	200~250

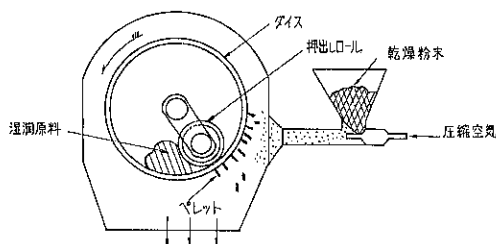


Fig-3 多湿造粒物に乾燥粉末を散布して造粒する法

たとえ造粒直後に付着しなくとも以後のハンドリングは非常に困難である。かかる場合には本機では Fig 3 のように造粒せんとする材料と同じ乾燥粉末をダイスから押出された直後のペレットに散布することにより、付着し易いペレットの表面のみに乾燥した粉末を被覆してペレット相互の付着を完全に防止し後の扱いも容易にできる。散布に要する乾燥粉末は微量でよく、例えば水分 50% (W. B) 含む、膠質炭酸カルシウムを造粒するのにその処理量の 3% の乾燥粉末を散布するだけでよい。

グラニューライザーの処理能力の代表的な値は Table 4 に示したが処要動力を度外視すれば本機の構造上、処理能力はダイスの周速度 (回転数) に比例して来る、Fig 4 はそのテスト結果を示すもので、試料はカーボンブラック、水分 44% にて 1.5mm 径のペレットにした時のものであり、この結果より見て、この程度の周速までは回転数を上げてスリップす

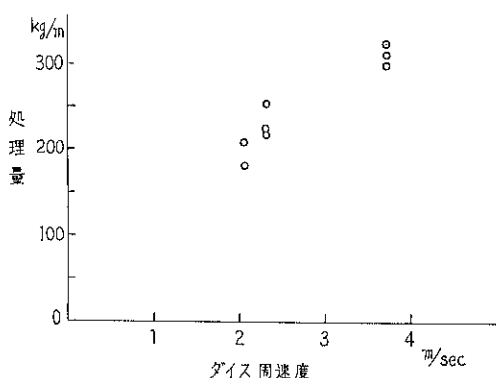


Fig-4 グラニューライザーの回転数と処理量 (1.5φ スクリーン カーボンブラック)

ることなくほぼ比例的に処理能力はます、ローラーの径が大になれば更に周速も上げられると思うが今後の問題である。

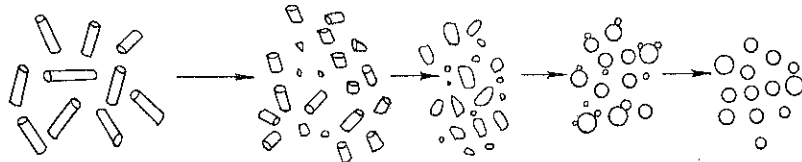


Fig-6 ペレットの球形化の過程

§ 4 球形化工程

グラニューライザーにより出来たペレットは円柱であり更に粒度を揃えたい場合には、一般には乾燥後、整粒粉碎、篩分けの工程を経て適当な長さに切断、粒を揃えられるが粒の形が球に近くなれば理想的である。

グラニューライザーで出来たペレットを湿つたまま適当なミキサーにて混合すると除々に球形になつて行くことが判かりそれを基にして球形化の研究を進めた。

§ 4-1 球形化の理論

グラニューライザーから出たペレットは適当なミキサーにて混合すると球形になるがその過程は単純な粉碎、摩擦、付着のくりかえしではなく定まった過程があるようである。即ち推定ではあるが Fig 5 のようにグラニューライザーで出来たペレットの内部ではまだ粉体粒子間に

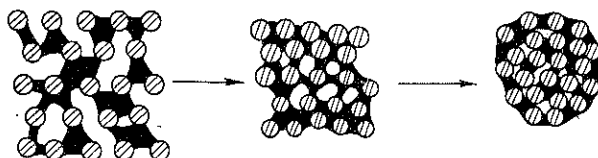


Fig-5 球形化の時の粒子の充填と水分の移動

距離があり、その間を水と空気が連続あるいは不連続にうめていて、水の表面張力、或いはその他の分子間的な力で互に結合しているものと推定される。このペレットに適当な衝撃を加え続けるとペレットを構成している粒子は充填されて互にその粒子間の距離をせばめられ、その結果として粒子の間をつないでいた水分はだんだん表面に押し出されて来る。これが進むと粒の表面は水分が過剰となり、その結果粒の表面近くにある粉体粒子はすべりやすくなり球形化が促進されると推定される。

実際の球形化機の中のペレットの変化は Fig 6 に示すようにまず最初ペレットが球形化機の衝撃により適度に折れて切断されて、摩擦により折れたペレットの角がけずられ多少の粉も生じる。さらに攪拌をつづけるとペレット表面に水分がにじみ出て除々に球形化が始まる。つづいて粒は完全に球形となり更に小さな粉は大きな粒に吸収され粒度分布が均一になる。

球形化の工程において粒子は充填され相互の距離をせばめられるので球形化されたものの硬度はもとのものよ

り上昇している。また衝撃力の強い球形化機でよく充填されてできたものはより硬度が上昇する。逆に最初からよく粒子の充填されたペレットは衝撃力の少ないミキサーでは球形化されにくい。このようにペレットを球形化するにはペレットが大きく変形しない程度の力を繰返しペレットに加えることで達成されるが、実際の工程ではペレット相互の付着、機械内での圧着による塊状化などを極力避けるのが肝要である。

§ 4-2 球形化機械

ペレットを球形化する球形化機械については現在までに主にナウタミキサー、バー型球形機、傾斜回転円板型球形機などを試みた、ペレットの性質は材料により非常に広い範囲に涉っているので一種類の機械で全ての要求を満たすまでには至っていないが、おおかたのペレットはいずれかの機械で球形化できる。

a) ナウタミキサーとバー型球形機

ナウタミキサーでは比較的水分の多い軟質のペレットの球形化に適している。例えば水分15%のクレー、水分45%以上のカーボンブラック等はナウタミキサーにて見事な球形品が得られる。

例えば水分16%の径1mmのクレーのペレットを処理すると Fig 7 のような粒度分布をたどって最終的には

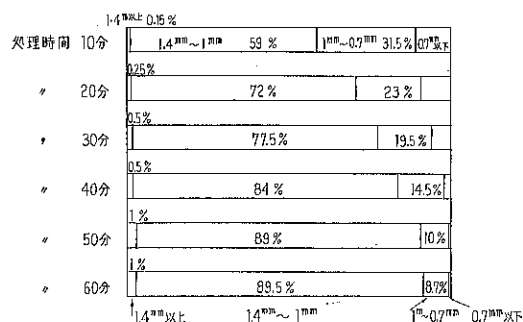


Fig-7 ナウタミキサーによるペレット球形化の時粒度分布の変化(クレー1mm ペレット水分16%)

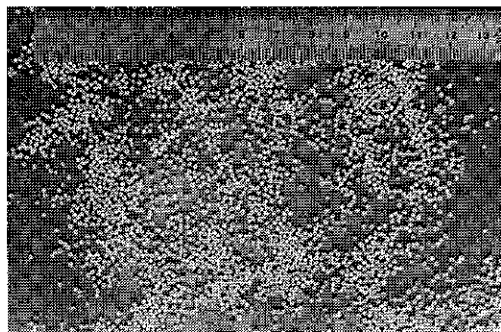


Photo 3 ナウタミキサーによる球形化品
クレーの1mm 径ペレットより球形化

Photo 3 のような美麗な製品に達する。Fig 7 によれば球形化の過程において細粒が大きな粒に吸収されて行くことは明らかである。ナウタミキサーでは作用が転動、摩擦、圧縮を主にしたおだやかなものであるから球形化の速度は遅いが製品の真球度、粒度分布とも非常によい、しかしそのために低水分の硬いペレットは球形化不能かまたは非常に長い処理時間を必要とする。

球形化の速度はそのミキサーの衝撃力の強さに比例すると考えられる。即ちナウタミキサーにて水分16%のクレーを処理すると完全球形化までに40分を必要とするが、回転径300mm、120rpmのバー型球形機では15分から20分、付着を度外視して高速回転円板型ミキサーにて球形化を行えば20秒程度で球形となる。ここでバー型球形機というのは Fig 8 に示すようなフラットなバーを攪拌翼にもつ打撃を衝撃の主体とする球形化機である。

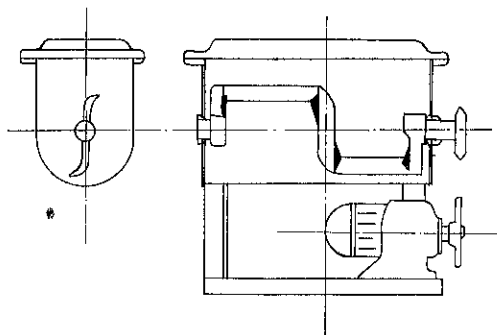


Fig-8 バー型球形機

球形化の過程においてペレットの粒子の充填が進み、粒の中の粉体粒子間の距離がせばめられることは前に説明したがこのことは乾燥製品の硬度に現れて来る。Table 5 は水分18% (W. B) のクレーの1mm径のペレットをバー型球形機にて球形化した場合の処理時間が長くなるにしたがつて乾燥した製品の硬度が上昇する様子を示したものである。即ち粒の中の粒子が緻密に充填され相互の距離がせばまったため硬度が上昇したと推定される。ここで硬度とは一定の大きさの粒を(10mesh又は16mesh)選び出し、それに一粒づつ圧縮加重を加えて破壊強度を測定しその20個の測定の平均値を示す。

Table 5

球形機(バー型) 処理時間と硬度の増加		
原料	クレー	1mm 径ペレット
水分	18%	
処理時間	16mesh の粒子の硬度	
10分	75 g	
20分	86 g	
30分	91 g	

球形化の工程において粒子が充填される度合は球形化機の衝撃力の強さにより定まる。即ちナウタミキサーとバー型球形機を較べると、混合機構、回転数の速さからいつも衝撃力の強いバー型球形機の方が粒子の充填が当然よく行なわれる。例えば同じ工程でできたカーボンブラックの円柱状ペレット（径 1.5mm）をバー型球形機とナウタミキサーで別々に球形化を行ないその硬度を比較した結果を Table 6 に示す。

乾燥製品硬度を出来るだけ上げるためにはペレット化

Table 6 ナウタミキサーとバー型球形機の製品硬度の比較（試料カーボンブラック 1.5mm ペレット）

ペレット水分	球形化機	処理時間	硬度 (10mesh 乾燥品)
45.5%	ナウタ	18分	7 g
"	バー型	5分	12 g
43.6%	ナウタ	40分	7.8 g
"	バー型	4分	16 g
40%	ナウタ	60分	14.5 g
"	バー型	9分	19 g

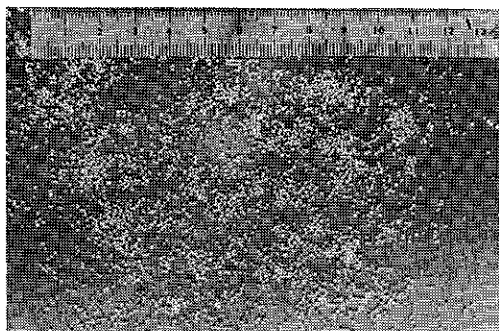


Photo 4 バー型球形機製品
クレーの 0.7mm 径ペレットから球形化

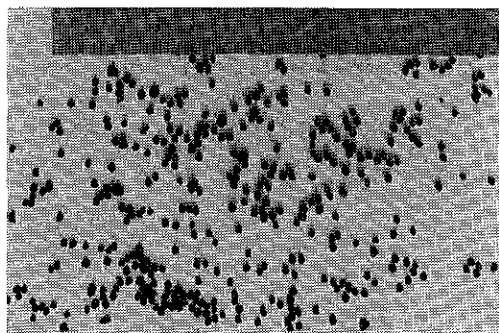


Photo 5 連続バー型球形機製品
カーボンブラックの 1.5mm 径ペレットから球形化

の工程において出来るだけ水分を低くし硬いペレットを作り、更にそれを衝撃力の大きい球形化機にて処理するのが有効である。Fig 9 に水分の異なるカーボンブラックの円柱状ペレットを回転数を変えてバー型球形機にて処理した場合の硬度の変化を示した。

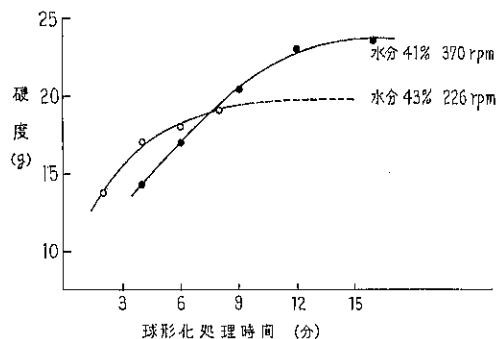


Fig-9 バー型球形機による硬度の変化

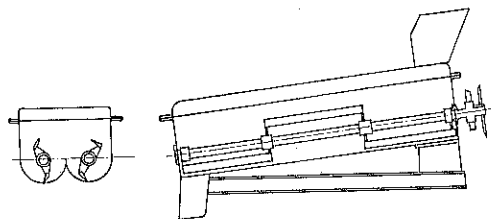


Fig-10 連続バー型球形機

一般的にはバー型球形機は球形化に要する時間は短かく Fig 10 のように長型にして一方から供給、他方から排出して連続運転もできるが製品の粒度分布、形状は単純な打撃を作用の主体としているためにナウタミキサーに較べて劣る。製品の硬度をバインダーにより調節できるもの、あるいはクレーのように乾燥した造粒品の硬度が充分あるものについてはナウタミキサーにて充分球形化が可能であるが、カーボンブラックのような乾燥しても硬度が上らず、しかもバインダーを加えることを禁じられるものについては適当な硬度を製品にもたせるためには適当な衝撃力をもつ球形化機を使用する必要がある。Table 7 にナウタミキサー 及ぶ バー型球形機にて処理した製品の性状を比較した。

b) 傾斜回転円板型球形機

これは前述のナウタミキサーやバー型球形機と異なり粒の転動を主体とするよう考えて試作して見たものであり構造は Fig 11 に示す通りである。即ち傾斜した円板が回転しその中央部に円筒状スクリーンによつてかこまれた粉碎室があり中心にはナイフ状のシングハンマーよりなる粉碎翼があり供給された円柱状ペレットはここで適当な長さに寸断されてスクリーンの孔より出る。粉

Table 7

原料名	クレー			カーボンブラック		
ペレット径 mm	1	0.7	0.5	1.5	0.7	1.5
球形化機	ナウ タ	パー型	パー型	ナウ タ	ナウ タ	連続パー 型 2 段
製品粒度分布	+8mesh			0.5		1.7
	8~12	1	6.6	68		41.3
	12~16	89.5	24.7	10.5	22	4.5
	16~24	8.75	49.3	16.5	5	62
	24~32	0.5	12.3	53	4	26
	32~42	0.5	4.7	15		4.5
	42~60	0.25	1.0	2		3
	-60		1.4	3		

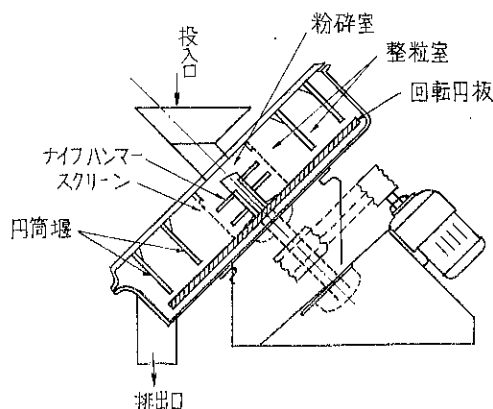


Fig-11 傾斜回転円板型球形機

砕室の外側には同心円状に堰がとりつけられ整粒室をいく重にも形成している。

粉碎室にて適当な寸法に粉碎されたペレットの粒は次の整粒室において回転する円板により強力な運動作用を受けて球形とされる。整粒室は堰によつて二重あるいは三重に仕切られて球形化されるにしたがつて材料は堰の下端と回転円板表面との間より流れて次の整粒室へと移つて行き一番外側の堰より出て製品とされる。

本機では原料は円板中心の粉碎室に連続的に投入される連続運転である。円板の回転速度は従来の回転皿型造粒機の数十倍の速さで回転し、従つて転動作用もかなり

Table 8 傾斜回転円板型球形機による整粒品

品名	水分 (W.B)	8~10 mesh	粒度分布 10~16	16~24	24~32	-32 mesh
クレー	17%	7.8	66.9	11.0	6.8	7.6
クレー(8) +ベント ナイト(2)	16%	17.9	77	3.8	0.9	0.4
炭酸カル シウム	27%	38.8	46.5	4.2	2.8	7.7
"	25%	39.8	41.3	10.1	8.8	—

強力に行なわる。しかもパー型球形機とことなり衝撃力は転動作用であり球形化には非常に有効に働く、本機では球形化の速度と合せて、回転数の変化及び堰と円板との間隙を調節して滞留時間を変えて運転する。

本機の製品は強力な転動が球形化の作用の主体となるため粒の型は他のものに比べて真球形に富む、しかし粒度分布はいくらか他の機械によるものより巾が広い。本機では小粒が大粒に付着、吸収されるよりも球形化する速度の方が大であると考えられる。Table 8 に本機で整粒した製品の性状を示した。

§ 5 結 び

粉体造粒法の一つとして押出しロールとダイスよりなる造粒機グラニューライザーを開発し、更にグラニューライザーにて成形した円柱状ペレットを整粒、球形化する球形化機についてテストを重ねた、粉体造粒の操作の問題は記述の通りであるが、実際の造粒装置ではメインの造粒操作の他の部分にて非常に患わしい問題を多く含んでいる。即ち粉体、水の定量供給、混練の度合、湿潤粉体の供給、輸送などのハンドリング、出来た造粒物を出るだけ粒をこわさずに乾燥するなどである。

弊社では造粒を中心にして前後の工程までを含む一貫したプラントとして完成させるべく、前処理、湿潤粉体のハンドリング、乾燥などの操作にまでも研究を進めているが、すでに、その研究成果の一部はユーザーの手に渡り造粒装置として稼動していることを附言して結びとする。

原料性質の変化する場合の粉碎過程の制御について,

Gerhard Linke.

Symposium Zerkleinerung. S 655 (1962)

抄 訳

北大工学部 合成化学工学科 大学院学生

中 島 耀 二

総 括

粉碎機の効率は周知のごとく低く、また本質的には未改良のままである。ここでは原料の性質に関しての粉碎機の操作による効率増加の可能性を考察しよう。振動ふるい破砕機、ドラムふるい破砕機、衝撃ハンマー破砕機のように、衝撃応力や打撃応力を利用する破砕機は操作するのに好都合である。ここでは原炭破砕の操作と制御、ならびに原料性質の変化に関するボールミルの操作と制御の可能性を論ずる。

本 文

粉碎に要するエネルギーは粉碎によつて作られた表面積で示され、理論的に必要なエネルギー、単一粒子粉碎に必要なエネルギー、粉碎機による集合粒子粉碎に必要なエネルギーの3つに分けて考えられる。理論的粉碎エネルギーは界面エネルギーと一致するが、単一粒子粉碎エネルギーはこれの10~100倍であり、集合粒子粉碎エネルギーは単一粒子の場合のさらに数10~数100倍となる。現在の所、理論的粉碎エネルギーと単一粒子粉碎エネルギーとの差を減少する可能性については全く言明されていない。そこでここでは集合粒子粉碎エネルギーと単一粒子粉碎エネルギーとの差の減少について考察する。

粉碎機による粉碎でのエネルギー損失の大部分は粉碎機による機械的な損失ではないので、現在までに粉碎機の構造はかなり改良されているが、この目的に関してはほとんど役立っていない。それ故、原料の性質にしたがい粉碎機を調節してエネルギー損失の減少に役立てることを考える。

粉碎機の総括効率を調べた結果、最適運転条件は処理量、はじめと終りの粒子径によつて決ることが分つた。また粉碎機が調和して運転されているときに効率は高く

なつているので、過負荷や閉塞は避けなければならない。とくに過負荷は効率を低下させるばかりでなく、熱の発生を促進し、最終生成物の粒子径分布をも変化させ、不要な微細粒子の発生をまねく。ボールミルによる連続粉碎の場合には上記のこと以外に、被粉碎物と粉碎媒体の充填比をある一定の値に保つ必要がある。

粉碎機の操作は次の変数で考慮しなければならない。

- 1) 供給量の変化
- 2) 原料性質の変化

多くの場合原料性質は一定でなく、その含水率、硬度、圧縮強度、粒子径分布は変化している。選炭の場合を例にとれば、原料は石炭、付着物、岩石からなる混合物であつて、それぞれの強靱性は異なつてい。さらに3つの成分のどの1つをとつても、その強靱性が一定でないことは明らかである。結局これらの任意の混合物である原料炭の性質が大きく変動するのは当然である。このように原料性質の変化が大きくなると粉碎機の操作が非常に重要となるが、現状ではかなり困難な問題である。

Fig. 1 に原料性質に関しての種々の粉碎応力の適性を示す。

原料性質	圧縮	打撃	磨砕	切削	衝撃
硬物質(砕けた)	■	■	■	■	■
中硬物質	■	■	■	■	■
中硬と硬の結合物	■	■	■	■	■
軟物質	■	■	■	■	■
脆性物	■	■	■	■	■
弾性体	■	■	■	■	■
膠物質	■	■	■	■	■
繊維質	■	■	■	■	■
温度鋭敏性物質	■	■	■	■	■

■ 適当 ■ や適当 □ 不適当

Fig. 1 原料性質と粉碎応力の適性

この図から打撃応力と衝撃応力は中硬物質から硬物質までの破碎に適することがわかる。圧縮応力と切削応力は原料の選択破碎のみにやや適するが、工業的装置では最終粒子径や粒子径分布に影響を与える可変装置をもたぬので、直接的な操作や制御の可能性はあまりない。

そこでここでは打撃、衝撃粉碎機について考察する。この極端な例は選炭における原炭の破碎である。(Fig. 2 参照)

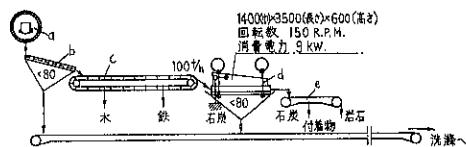


Fig. 2 原炭の選択破碎装置

- a. 貨車転倒機 b. 振動ふるい c. 木と鉄の捕集コンベアー
d. 振動ふるい破碎機 e. 捕集コンベアー

原炭は80mmでふるい分けられ、80~1,000mmの塊炭は供給コンベアーを通り破碎機に入る。この破碎機は振動数と傾斜角を変えうる振動ふるい(d)である。この投入高さを変化すると破碎応力が調節できるし、傾斜角を変化すると被破碎物の滞留時間が変化することにより力の作用する回数が調節できる。このとき、石炭が岩石塊の落下によつて破碎されるように操作すれば打撃破碎であり、岩石にぶつからずにみずからはね返りによつて破碎されるように操作すれば衝撃破碎となる。

破碎機の手段は次の2つに大別できる。

- 1) 破碎応力の強さの変化
- 2) 被破碎物の滞留時間変化とこれによる力の作用回数の変化

原料の性質変化に対し、破碎機の回転数、傾斜角を無段階に調節する。これは採鉱場所による石炭品位に対して調節の標準値が分つているので、供給コンベアーの所の監視人が炭車についている印によつて行なう。このときのエラーは捕集コンベアーの所で再収によつて修正する。

Fig. 3 にドラムふるい破碎機を示す。

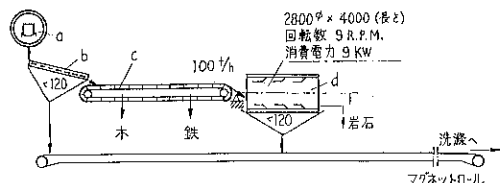


Fig. 3 ドラムふるい破碎機

- a. 貨車転倒機 b. 振動ふるい c. 木と鉄の捕集コンベアー
d. ドラムふるい破碎機

これは原炭の破碎にも使用され、かなり大きな直径をもつて被破碎物の落下エネルギーは相当大きく、石炭は破碎され付着物は破碎される。被破碎物はリフターで持ち上げられ落下し、その放物線は回転数の影響を若干受けるが、落下エネルギーの調節はあまりできない。しかし滞留時間はドラムの傾斜角で調節できるので制御の可能性は若干ある。

一方、原炭の選択破碎には衝撃破碎機がよく用いられる。(Fig. 4 参照)

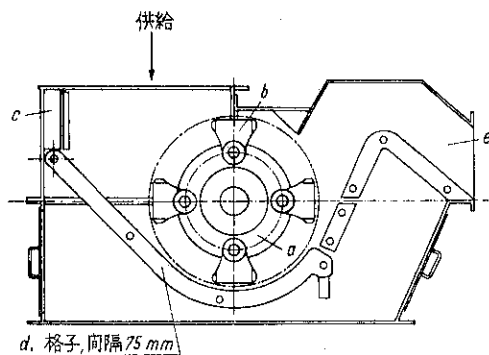


Fig. 4 衝撃ハンマー破碎機

- a. ローター b. 衝撃ハンマー c. 衝撃板
d. 格子 e. 岩石出口

これは衝撃ハンマー破碎機であつて、このハンマーが選択破碎を行なう。すなわち、比較的軟い充填物（石炭）は打撃輪による打撃や石炭自身のはね返りによる衝撃で、格子の上で碎かれる。一方岩石は碎かれずに格子の上をすべりぬけ、捕集ロッドに集められる。これはローターの回転数で調節される。ハンマーの数や配置、格子の間隔なども粉碎過程に影響するが、これらを運転中に変えることはできないから、結局この破碎機の制御量はローターの回転数だけである。

個々の粉碎機の制御性についてはこの辺にして、実際に制御システムを考えれば Fig. 5 のようなものがある。

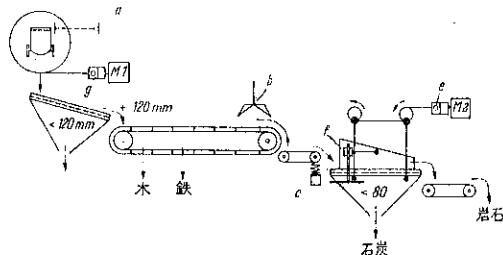


Fig. 5 原炭の選択破碎の自動制御

- a. 炭車の印の検出器 b. 石炭-岩石比の放射線測定器
c. 破碎機供給コンベアー天秤 e. 破碎機回転数調節
f. 破碎機傾斜角調節 g. 貨車転倒機回転数調節

120mm でふるわれた 原炭は、供給コンベアー上の放射線を利用した測定器によつて石炭-岩石比が検出される。付着物の全体に対するフラクシオンは単一採鉱場所の標準値によつてのみ決定できる。全体の供給量は破砕機の前のコンベアー天秤で検出される。計算センターではあらかじめ与えられているプログラムにしたがつてこれらの測定量を処理する。Fig. 6 にこの信号経路を示す。

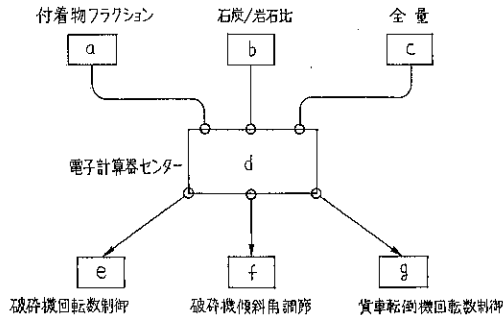


Fig. 6 原炭の選択破砕の信号経路

ボールミルまたは円筒ミルの開回路一段粉砕の制御系的设计においては次のことを考慮に入れなければならない。影響する供給物の変量は供給量、含水率、粉砕能、粉砕度である。ボールミルでの制御性はかなり限定されている。すなわち、粉砕円筒直径と粉砕媒体の大きさを決めると、応力エネルギーはおのずから決つてしまうのである。しかし充分大きな直径の粉砕円筒の場合では、回転数の変化によつて粉砕媒体の落下エネルギーはある範囲内で調節できる。最近試みられている超臨界回転速度粉砕の場合を除けば、一般にこの範囲は乾式粉砕で臨界回転数の45~70%、湿式粉砕で65~90%である。粉砕媒体の量の変化も回転数変化と同様な効果をもつが、プロダクトの細かさをできるだけ標準値に合わせるために、被粉砕物と粉砕媒体の充填比にはある最適値があるので、これによる制御もかなり限定されている。

制御の検出機構として次のものが考えられる。

- 1) 供給量の検出に対しコンベアー天秤
- 2) 原動機消費電力測定に対し電力測定器
- 3) ミルの粉砕音の測定によるミル中の充填度測定に対しマイクロホン
- 4) 被粉砕物の粒度測定に対しふるいによる粒度測定器

最後のものはいまだに困難なものであるが、この目的のために開発された測定装置を Fig. 7 に示す。

粉砕されたものの本流は粉砕機の出口で分割流が引き出され、流入ロトに入る。流入ロトは電磁転換弁(b)をもっており、これは約20gに調節されている天秤(c)の容器が一杯になると分割流を本流に戻すように切換わる。天

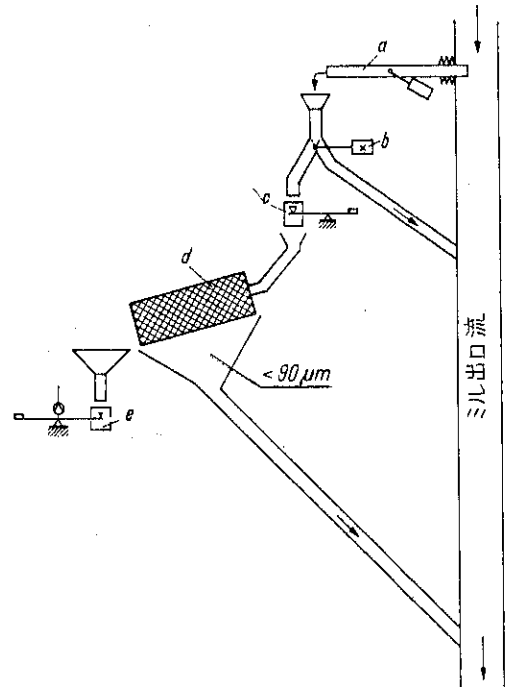


Fig. 7 ふるいによる粒度測定器

- a. 分割流引き出し口 b. 電磁転換弁 c. 天秤と容器
d. ドラムふるい e. 発信器付き最終天秤

秤容器は、回転している試験ドラムふるい(d)中に自動的に中味の粒子をあける。この粒子のうち、ふるい目より小さなものは本流に戻され、大きなものは最後の天秤に達する。この天秤の測定値は差動トランスで電圧として発信され調節器を動作させる。この測定時間は約10分を要す。これの連続測定は未解決の問題であるが、アルピーネ社の連続風篩のようなもので解決される可能性がある。光学的粒子径測定手段は粗い範囲でのみ自動分離操作における付加的制御量としてのみ考えられる。またミルの充填度のコントロールは、粉砕機出口での被粉砕物温度測定や濁度測定でも可能である。

原料供給流からの分割流中に入れられた粉砕能試験器の測定値で粉砕機の第一次制御が考えられる。経済性はさておき、乾式粉砕におけるすべての可能性を考慮して Fig. 8 に示す。

粉砕機の前にあるコンベアー天秤(a)のコンベアーの速度は(g)で連続的に調節できる。粉砕機の回転数は(f)で、ある範囲に調節できる。粉砕機の消費電力は(b)で連続的に測定される。粉砕機の充填度はマイクロホン(c)で調節される。粉砕物の粒度測定は前述の粒度測定器(d)で可能となった。粉砕媒体の供給は電磁フィーダー(h)でされる。(a)、(b)、(c)、(d)の測定値は制御センター(e)で評価され、粉砕機の調節をするのである。Fig. 9 に制御センターの説明図を示す。

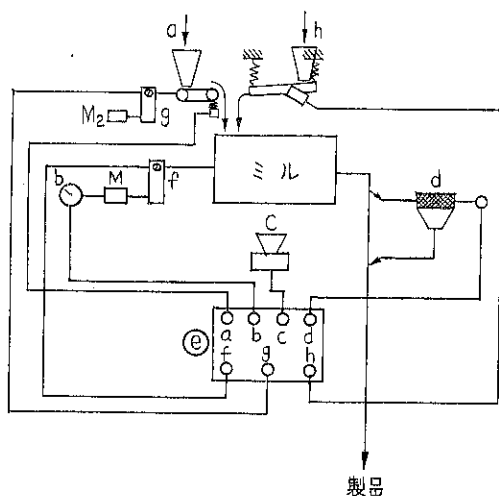


Fig. 8 乾式粉碎機の制御

- a. 原料供給 b. 粉碎機モーター消費電力 c. マイクロホン
d. 粒度測定器 e. 制御センター f. 粉碎機モーターの回転数調節
g. 原料供給コンベアー速度調節 h. 振動値による粉碎媒体供給

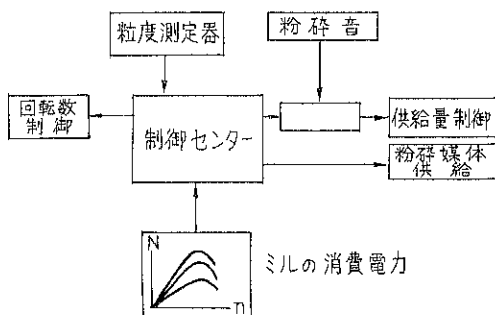


Fig. 9 乾式粉碎機制御の制御センター

粒度測定には約10分を要するので、粉碎機の回転数はこの時間の間だけ最適値からずれることもありうる。消費電力は大部分が粉碎媒体によるもので、これは粉碎媒体の量と回転数の関数と考えられるので、これの設定値曲線からのずれは、被破碎物と粉碎媒体の比を正しく保つために、粒度測定器や音響測定器などから出た充填量調節を制限する。

湿式粉碎の制御は原理的には前述のものと同じである

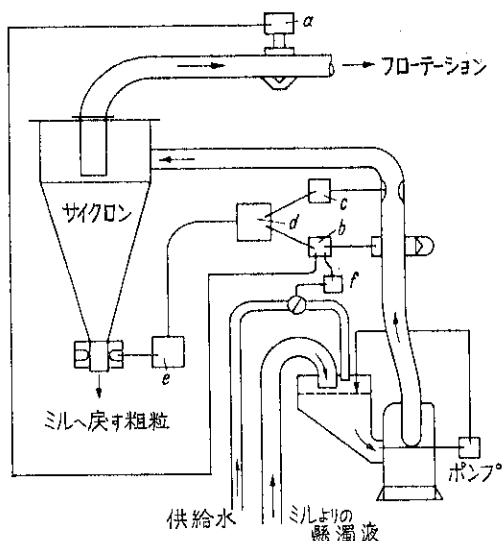


Fig. 10 湿式粉碎のサイクロン制御

- a. 製品懸濁液濃度測定と制御 b. 流入懸濁液濃度測定と制御
c. 懸濁物量測定 d. 制御センター e. 濃い懸濁液の出口流の制御 f. 供給水制御

が、粒度測定はもつと困難である。この場合、分級器の懸濁液の濃度は粉碎機構と独立に制御しなければ、制御系は複雑になりすぎ実現は困難となる。Fig. 10 にこのような制御の一例を示す。

以上は原料の性質に関して粉碎機の操作や制御の困難さを示してきたが、破碎とか粉碎を行なう前に混合パンカーで原料性質を一定にしていまい、供給量制御のみで粉碎を行なうのも一法である。しかし混合パンカーの適応性にも限界がある。

現在の所、この種の研究は始まつたばかりであつて、操作変数測定技術の進歩、測定装置の簡略化などを強力に推進する必要がある。自動制御化による必要経費の軽減が、自動制御のこれらの分野への普及を促進するであろう。経費の軽減に関しては明確な数字はまだ挙げえないが、セメントのチューブミルのマイクロホンによる充填制御のみで、作業費の約5%を切り下げた例がある。また粉碎機の体積が小さくなるほど自動制御化は必要であろう。今後、閉回路粉碎への応用が最も見込みのあるものである。

粉碎の選択性と粒度分布の先天性

関西大学工学部教授

中 川 有 三

表題で示したような粉碎の選択性とこれによつて生じた粉体の粒度分布がはじめの被砕材料の粒度分布の性質を保つて先天性を示すかどうかについて、当然のことかと思われる身近な関係について思い浮んだままに述べてみよう。

粉碎をもつとも効果的に行なうには、粉碎の選択性を十分に考慮して、これに応じた粉碎操作を適切に行なうことが第1条件であることはいうまでもない。これには、被砕材料と製品に対する目的とが与えられると、まずこれに適応した粉碎機を選択し、これを選別機、分級装置と併用することによつて粉碎を効果的に行なうことができるのであるが、この粉碎と分級を同一の機械または装置で同時に行ないうるものがさらに有効である。これによつて製品の粒度分布や製品の形状などを要求に合致せしめうるならばもつとも能率が良いと思われる。この際、問題になるのは粒度分布の先天性というか、遺伝性というか、粒度分布の性質が最初の被砕材の粒度分布の性質をいつまでも伝えるかどうかの点である。これには粉碎に要する仕事の性質とこれを加える方法とが関連するのであつて、誰かが本誌でのべられたように、粒度分布の先天性または遺伝性はたしかに存在するものであつて、これは破壊に要する仕事の性質からも推察される。しかし、粉碎にはもちろん選択性を自由に變更または加減することのできるような特別の粉碎機をつくることも自由であるのだから、人為的には粒度分布の先天性を失わしめ、所要の粒度分布に近づけることができるはずである。したがつて、この観点よりすれば、粉碎の選択性は粒度分布の先天性を変化せしめうるといつてよい。これは粉碎に要する仕事について少し考える必要があると思う。

元来、粉碎機の性能を向上せしめるということは、所要の目的に対してもつとも適切と考えられる構造の粉碎機を考案して、これを能率よく作動せしめうるように設計するにあるが、粉碎には意外に大きい動力を要するものであるから、動力の節約という点がいつも設計に対して重要な問題のように考えられる。事実、多量の材料の粉碎を行なう工場では動力費の節約は軽々に考えられな

いのであつて、粉碎機の補修と整備とともに設計上重要視すべきことは当然である。しかし、粉碎の目的は、この粒体の粒大を漸次細分化するという第1の目的のほかに、粉碎製品の使用目的に応じた粒体の性質を具備せしめるために、あるいは粒大を描えとか、あるいは粒体の形状を所期の要求に近づけるとか、その他の物理的性質を適当に保持せしめるとか、いろいろの重要な目的がある。これには前述の粉碎に併なう粒度分布の先天性および遺伝性の有無がきわめて重要な問題になつてくる。

まず、粉碎に要する仕事について考えてみると、粉碎に要する仕事は材料を破壊直前の状態にもちきたす仕事と破面をつくるに要する仕事の2つの和と考えるべきであると思う。筆者の意見では、稜の長さまたは相当直径Dの粒体の粉碎に要する仕事は、

$$W = C_1 D^3 + C_2 D^2$$

とすべきで、 C_1 、 C_2 は粒体の形状による因子や材料の性質による定数（たとえば弾性係数、塑性変形に関する係数、破壊にたいする定数など）によつて定まる数である。第1項のみをとれば Kick と同形に、第2項のみをとれば Rittinger と同形になる。Bond は $W = C_B D^{2.5}$ と中間を、単に指数の平均値である2.5を採つて表わした形を採用している。これは実際の数値を近似的に表わしたに過ぎないので、理論的にみれば意味のないものと思われる。今材料の単位体積のものを変形せしめて破壊直前の変形状態にもちきたす仕事は応力ひずみ線図で定まるのであつて、撃速の異状に大である特別の場合は例外として思考の対象より除外しておく、この仕事は材料によつて一定とみなしてよい。これを λ_1 とするとその仕事は、

$$W = \lambda_1 \alpha D^3 \quad (\alpha = \text{形状係数}, \lambda_1 = \text{一定})$$

で示される。次に材料に破面をつくり、これを引きはなす仕事を考えると、これは面の大きさと破壊を起すための変形、すなわち引きはなす距離とに関係する。このうち後者は材料の性質により一定値をとるから、ここでは前者すなわち破面の面積のみを考えればよい。一個の粒体が破壊される場合、最初に起る面の引きはなしでは破面の数はきわめて少ないことが実験によつて認められて

いる。この数は加えられた衝撃エネルギーの大きさおよび撃速の値によつても変わるので一定ではなく、したがつて現象ははなはだ複雑である。しかし普通の程度の衝撃では破面数が1、せいぜい2~3の場合が多い。ここでは一定形状の粒体について破面数も一定とみると、破面の面積は D^2 に比例する。したがつて面の引きはなしの仕事もまた D^2 に比例すると考えてよい。この考えは後にのべるように小さい粒子ほど単位体積当りの破壊の仕事が比較的大であるという考えのもとに、この仕事を w として、 w は D に逆比例すると置いた考え方と一致するのである。 $\lambda_2 = \text{Const}$ とおいて、

$$w = -\frac{\lambda_2}{D}, \quad W_2 = \frac{\lambda_2}{D} \cdot \alpha D^3 = \lambda_2 \alpha D^2$$

ここに αD^3 は粒体の体積である。ゆえに変形の仕事と破面引きはなしの仕事との和は、

$$W = \gamma_1 \alpha D^3 + \gamma_2 \alpha D^2$$

となり、これが粉碎の仕事である。これは直径 D の粒子が最初に破碎されて、次の粒大の粒子になる一段階を示すものである。

次に粒径の異なつた粒体が数多く存在する粉粒体の集まつた集団に数回の衝撃エネルギーを加えて粉碎する場合について考える。この場合においても、各粒子の粉碎行程の途中で一定粒大に達したものとどめて、他の粒子が続いて粉碎されていき、上の一定粒大に達するまでの粉碎のみに着眼して考えると、上記の式はそのまま適用できる。打撃回数またはエネルギーの供給回数を粉碎行程に費やした時間で置きかえることが出来るから、ある時刻 t において一定粒大 D をもつもののうち破碎を起したものを抜き出し、これらの体積の材料全体に対する割合を頻度 f_2 となすげると、 $\int_0^\infty f_2 dt = 1$ であり、粉体の全体積を Q とすると

$$\int_0^\infty f_2 Q dt = Q = \alpha D^3 N$$

である。 D を小さくすれば粒数 N が大となる。故に第2の粉碎の仕事（破面の仕事となすけておく）は、

$$W_2 = \int_0^\tau f_2 \lambda_2 \alpha D^2 N dt = \int_0^\tau f_2 \lambda_2 \frac{Q}{D} dt \\ = \lambda_2 Q \int_0^\tau \frac{f_2}{D} dt$$

D より小さい粒径 D' について考えれば同様の式

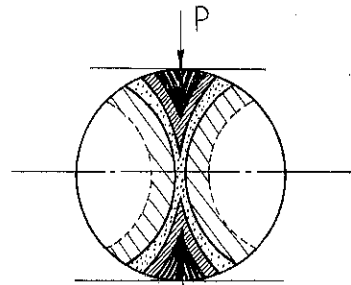
$$W_2' = \lambda_2 Q \int_0^\tau \frac{f_2'}{D'} dt$$

故に破面の仕事の全量は、

$$\Sigma W_2 = W_2 + W_2' + \dots \\ = \lambda_2 Q \int_0^\tau \left(\frac{f_2}{D} + \frac{f_2'}{D'} + \dots \right) dt$$

で示される。

変形の仕事の方は同様にして、



$$\Sigma W_1 = \lambda_1 Q \int_0^\tau (f_1 + f_1' + \dots) dt$$

$$\text{or } \Sigma W_1 = \lambda_1 Q \int_0^\tau f_1 dt$$

の形で示される。しかし、ここに注意すべきは、たとえば粒径 D の粒子が破碎直前の変形状態にもちたされたといつても、粒子の内部でどの点もこの状態に達しているのではなく、実際に破面を生じる部分の近傍のみがこの状態に達していることは上図をみてもわかる。したがつて図中白い部分は粒径が小さくなつたときにまた変形の仕事を受けて破碎直前の状態になる。ところがこの部分もすでに若干の塑性変形をうけていることに注意せねばならぬ。したがつて、 f_1, f_1' 等を考えるよりもその概算として f_1 を仮定する方が適切であろう。 f_1, f_2 等にかんしては、

$$f_1 = A e^{-At}, \quad f_2 = B e^{-Bt}, \dots$$

の指数函数が近似値として採用できると思う。

しかるときは、粉碎の全仕事は、

$$\Sigma W = Q \left[\lambda_1 \int_0^\tau f_1 dt + \lambda_2 \int_0^\tau \left(\Sigma \frac{f_2}{D} \right) dt \right] \\ = Q \left[\lambda_1 (1 - e^{-A\tau}) + \lambda_2 \Sigma \frac{1}{D} (1 - e^{-B\tau}) \right]$$

で示される。破碎を起す前には一応その直前の変形状態に対しておらねばならぬから $A > B$ 等の関係にある。

次に破面の仕事について補足する。

粉碎において被碎物の表面積の増加は、

$$dS = -\frac{6}{\rho} G \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_0} \right) dR'$$

で示される。ここに D_0 、 D は被碎物の最初および破碎後の粒径、 G は全体の重量、 ρ は密度、 R' は D に相当した篩の残滓量である。したがつて粉体全体の表面積増加は

$$\Delta S = -\frac{6}{\rho} G \int \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_0} \right) dR'$$

で示される。一方、粉碎により吸収されるエネルギーに關しては、単位重量の材料に対して、

$$a_{D-D_0} = C \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_0} \right)$$

で示されると考える。この考えは単位表面積の吸収する

エネルギーは等しいことと同じ意味をもっている。今全体の仕事を Ar とし、 $\frac{1}{D} - \frac{1}{D_0} = \frac{1}{D}$ で表わすと

$$-Gc \int \frac{dR'}{D} = Ar$$

となる。これより、 $\Delta S = \frac{6}{\rho c} Ar \therefore \Delta S \propto Ar$

と一致する。今 $\frac{1}{D} = \bar{y}$, $\frac{1}{D} = y$, $\frac{1}{D_0} = y_0$ で示せば、

$$Ar \propto \int \bar{y} dR'$$

$\int \bar{y} dR'$ は Ar (全体の仕事) に比例するが、 $\bar{y}$ は Ar に比例するわけではない。

今かりに $\bar{y} \propto Ar$ と考えて、粒度分布が Rosin-Rammler の式にしたがうと、

$$y = y_0 - \frac{kAr}{\log R'}$$

となる。すなわち原材料の y_0 が任意に与えられる場合粉砕の途中の y の値は、これが影響を与えて、Rosin-Rammler の式よりはずれるわけである。この点では粒度分布の遺伝の影響が少なくみえる。ところが、 $\int y dR' \propto Ar$ の式と粉砕行程の途中の粒度分布の式を仮定すると、これから後の粉砕における粒度分布の式は同形になつてきて遺伝性が明らかになる。したがって、粒度分布は粉砕仕事の仮定によつて遺伝性を明らかにする場合がある。このことより実際の粉砕で起る粒度分布は精密に言えば、単純な式で表現できないのが当然であろう。いわんや、粉砕機の構造をかえて特殊な粒子を選別して粉砕を行なえば粒度分布は極めて変つたものを与えることも可能なのである。研究すべき問題と思つてゐる。

粉体随想 II

トランクとふるしきと粉体機械

もう15年も以前、ある書にトランクとふるしきの話が出ていた。すなわち、トランクは非常に便利なものであり使いやすいが、これはある目的に合せて上手に使いこなした場合である。いつばい入れないとかたよつて持ちにくいし、いつばい入れると次に何か入れる必要が生じた時たとえ小さなものでも入らない。第一トランクの巾より厚いものは入れられない。これに対してふるしきは物の量に合せた形になる。必要のない時はたたんでポケットに入り、大変ゆうずうがきくが反面、手にもちにくく、出し入れがめんどうである。西洋と日本の産物、考え方の相違のたとえに示された話であつたが、近ごろではチェックの組合せで大きくなつたり、小さくなつたりするふるしきの要素を加えたカバンが出まわるようになつた。

われわれのあつかう粉体機械をふりかへつて見るに、搗臼などは、多少にかかわらず何でも粉砕でき、しかも古くからあつて効率がよくなく、あまり進歩していない点でふるしきの機械の最右翼であり、風量の変化に応じられないマルチクロン、用途のかぎられたカッターミルなどはトランク的であろう。ホソカワ製品では、同じサイズのパネル、バッグで、各種のサイズのものが出来、しかもタイマー調整で風量に対応するパルスエアー、100 mesh から数ミクロンまで分級点を自由に換えられるミクロンセパレーターなどはフロンキ的であり、軟質原料の微粉域にてわずか 0.3 m^2 の篩面積で 1 ton 以上の篩分能力を発揮するミクロンウルトラシフターなどはトランク的といえよう。(TS)

ホッパー中における粉体の架橋現象とその対策

細川鉄工所

研究部長 横山 藤 平

I はしがき

容器内における粉体の架橋現象とは、粉体の付着力および摩擦力によって粉体内のある層に、それより上方の粉体の圧力とつり合うだけの支持力が生じて、その層より下からの支持力が0となっても静的なつり合いを保つ現象で、そのため容器下部から粉体を重力で排出することができなくなる。

架橋現象は粉体を扱う作業においては大きく小なり経験することで、何れにしても粉体をホッパーから排出する場合には、液体のような連続定量的な流出を希むことはむづかしい。

しかし架橋現象は作業上最も頭を悩ます問題でこれが形成、崩潰を繰返すと（動的架橋）供給機自体の定量性に大きく影響し、はなはだしいときには粉体の流出は停止し、装置の正常な運転が継続できなくなる（静的架橋）。ここでは架橋現象の機構とその対策についてまとめてみた。

II 架橋の機構と形態

架橋のメカニズムは取扱う粉体の性質および取扱い方法によって異なり複雑であるが、次のように大別することができる。

- 1) 摩擦による場合
- 2) 固結による場合
- 3) 付着による場合

1) 摩擦による場合

これは殆んどが塊状または粒状の材料の場合で、粒子同志のかみ合いによる摩擦および粒子と壁面との間の摩擦により生じたアーチが上方からの粉体圧をささえた場合に起る。(Fig. 1)

この原因は低底の場合、粒子の径に対して排出面積が小さすぎるからで、この場合は比較的容易に解決できる。

Kvapil は定常流出に必要な最小面積 A を次の式で与えている。

$$A = K (5 D_p)^2$$

ここに K は粒子形状による安全係数で約1.4にとればよい、 D_p は材料の最大直径である。これは材料が数 mm 以上の場合で、微粉では勿論適用できない。

ホッパー壁面の傾斜角度は $50^\circ \sim 60^\circ$ 以上あればさして問題ではない。



Fig. 1 摩擦による塊状物の架橋の形状

2) 固結による場合

この場合は材料の物理的あるいは化学的性質が時間と共に変化して、次第に固結して、粉体というよりはホッパー中で全体が固体化してゆくもので、流動性は全くなくなる。

これは貯槽内に静置した時間、温度、湿度等に関係するから、このような粉体はできるだけ静止時間を長くとらず絶えず移動せしめるようにするほかなく、容器の形状のみで解決することはできない。この代表的なものはユリヤ樹脂の微粉で、貯槽内に一日静止すると排出は全く不可能となる場合がある。

3) 付着による場合

われわれが実際に粉体を取扱う場合に、最も頭を悩ます架橋は、その殆んどが付着によるもので、これは 200 メッシュ以上の微粉に多い。

3-1 付着の原因

付着力は粉体の表面摩擦と共に粉体の流動性を支配する特性値で、供給、排出においては重要な因子である。付着の形態としては、粒子の凝集、壁面への付着、粉体層の固結等が考えられるが、その原因は複雑で定説はない。付着の原因となる因子を個々にあげると、

- イ) 表面に付着した液膜による界面力および毛管力
- ロ) 吸着層による付着

ハ) 固体粒子間の分子力

ニ) 電荷による引力

等があげられるが、実際には粉体の種類、性状、取扱い条件等によって複合している。

3-2 粉体材料と付着性

付着の現象を材料の上からみると、次のような種類に分類できる。

イ) 低融点、低軟化点物質ワックス、プラスチック、

硫黄、有機顔料、殺虫剤、砂糖等がこれに属する。

ロ) 熱または圧力によって粒子表面に液膜をつくるもの、例えば油や脂肪を含む植物等

ハ) 1ミクロン以下の微小粉体 酸化チタン、酸化亜鉛、酸化鉄等の金属酸化物やカーボンブラック等

ニ) 吸湿性の強い粉体

ホ) 帯電しやすい粉体

ヘ) 繊維状物質

長い繊維のからみあった綿、パルプ粉砕品等は粉体としては扱えない。

3-3 付着性粉体による架橋の形態

付着性による架橋の形態は取扱う材料の種類、性状、容器の形状によりさまざまであるが、静的架橋には Fig. 2 に示すような種類がある。

Photo 1 は対象円錐70°型ホッパーにおける、炭酸カルシウム微粉の場合の実例で Fig. 2 (a)の形である。

架橋現象はこのように完全に静的な状態をつくらせて排出を停止する場合と、架橋が形成、崩潰を繰返して起き

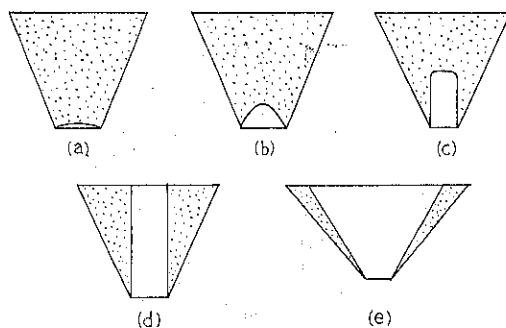


Fig. 2 付着による架橋の種類

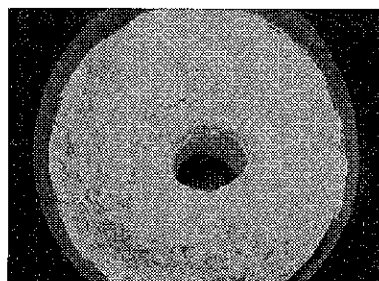


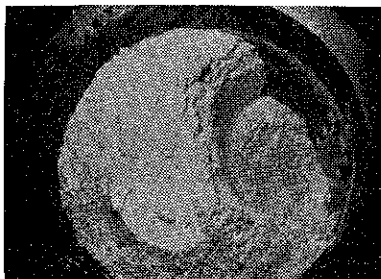
Photo 1

るいわゆる動的架橋の場合がある。この実例を Photo 2 に示す。これは非対象円錐 60°~90° 型ホッパーで炭酸カルシウム微粉の場合に経験した写真である。

このような現象がおけると排出される粉体は常に見掛け比重を変動して、次段の給排出機の定量性をきわめて劣

Photo 2

(1)



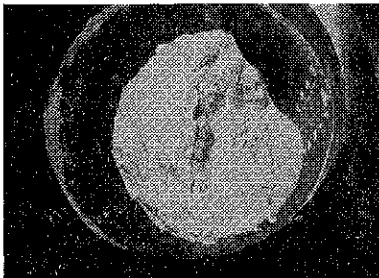
(2)



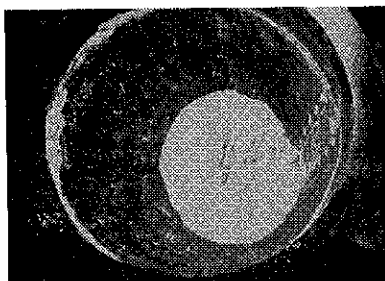
(3)



(4)



(5)



化させる。Fig. 3 はこれを測定した一例でホッパーから流出する粉体の様子を映画撮影によって観察し、その空隙率を時間に対してプロットしたものであるが、空隙率は平均値の上下を大きく変動している。また小さい排出口では $\frac{1}{100}$ 秒位の排出停止状態がみとめられたということである。

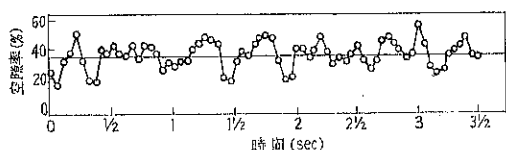


Fig. 3 流出粉体の空隙率の変化

Ⅲ 各種粉粒体の安息角とホッパー角度

安息角は休止角ともいい、粉体の摩擦特性をあらわすためによく使用されている。

粉体を円錐状にたい積させたとき、その円錐の母線と底面とのなす角を安息角と定義している。

しかしさらさらした一次粒子の分離性のよい粉粒体ではこの角度が比較的精度よく測定できるが、付着凝集性の強い粉体では明確な角度の測定は不可能である。

1. 安息角測定法

安息角の測定法は Fig. 4 に示すように種々あるが、

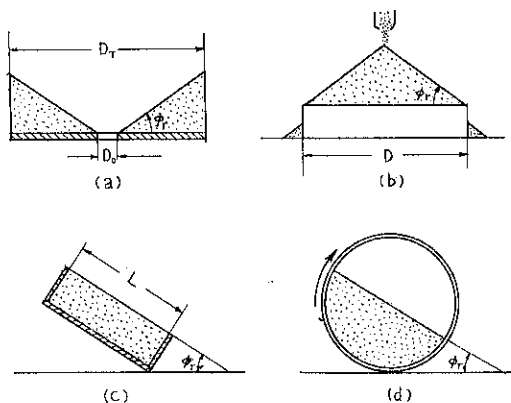
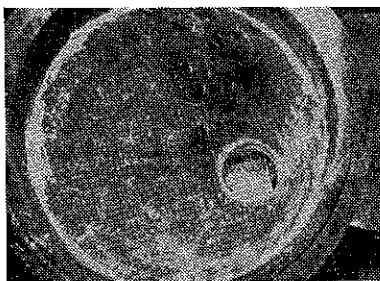


Fig. 4 安息角測定法

(6)



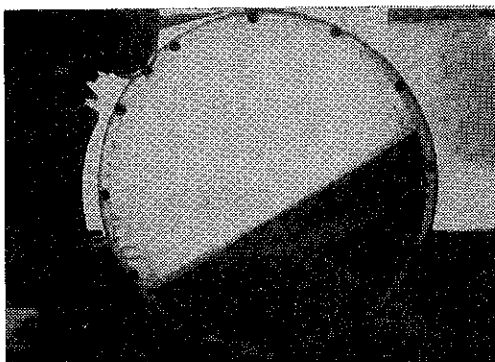
(a), (b)ではよほどさらさらした砂のような粉でないと思えない。また同じ粉体でも装置の寸法等によりかなり測定値にばらつきが起る。

しかし安息角は一応ホッパー設計上参考になるのでわれわれは(d)の装置を製作して各種の粉体について測定を行なった。その結果を Table 1 に示す。(稿末)

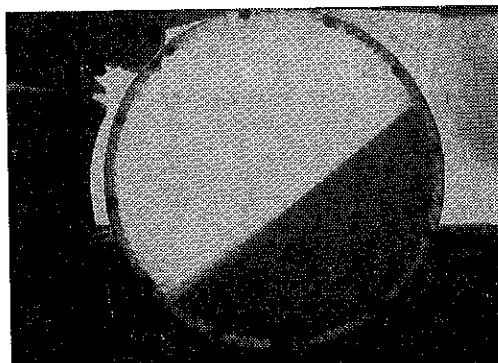
Photo 3 はこれらの実測写真で (a)(b)はそれぞれジルコンサンド 80~200mesh, CaCO_3 10~40mesh で非常にクリアーな角度を示すが、(c)(d)はそれぞれタルク 300 mesh all pass 品, ジルコンサンド 300mesh 85% pass 品で付着、凝集性が強く正確な角度は得がたい。

Photo 3

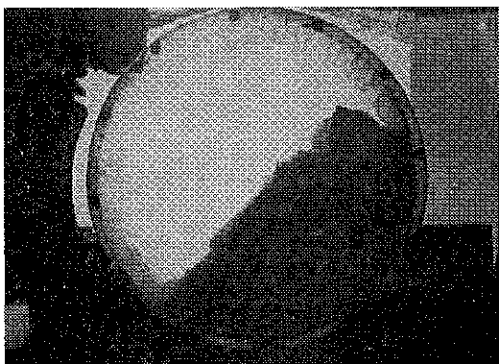
(a)



(b)



(c)



(d)

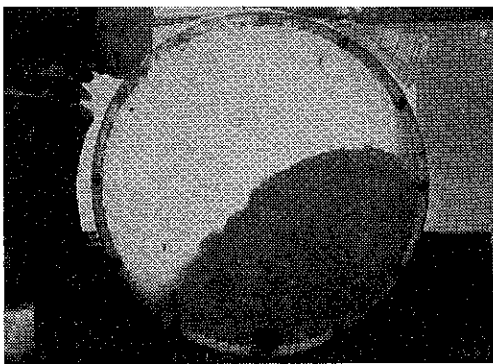
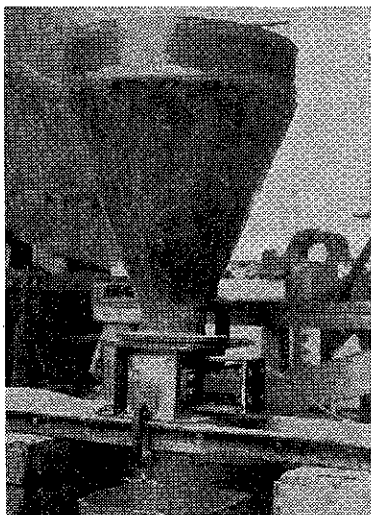
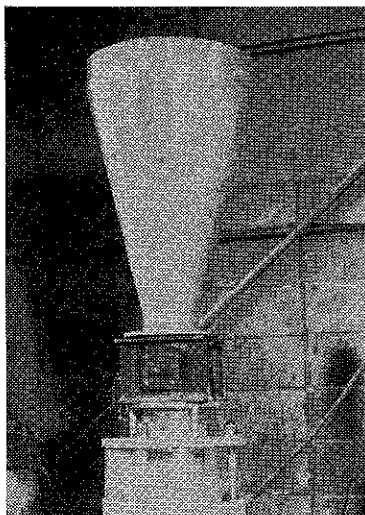


Photo 4

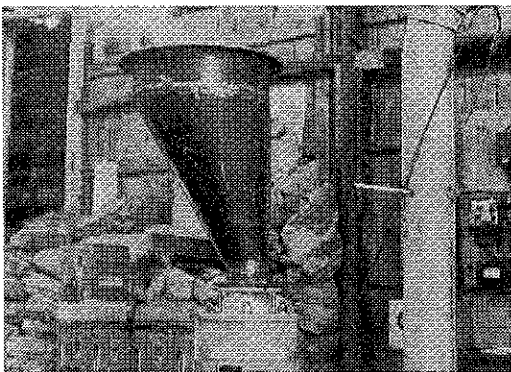
(a)



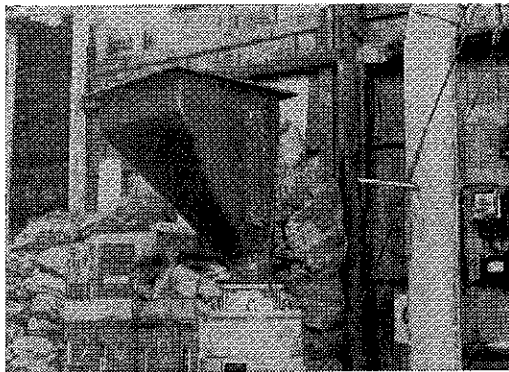
(b)



(c)



(d)

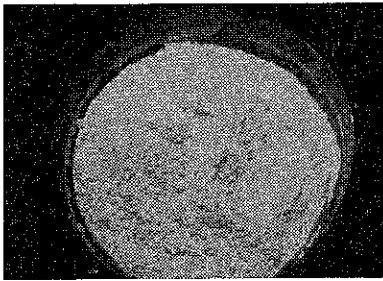


(e)

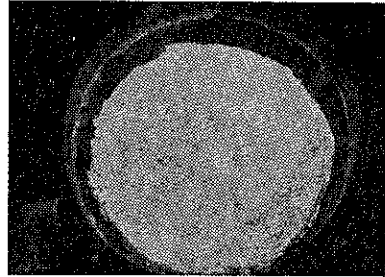


Photo 5

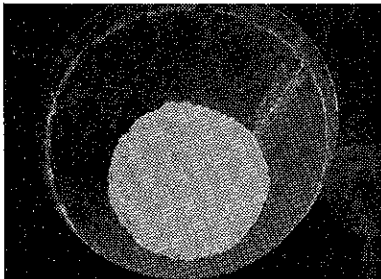
(1)



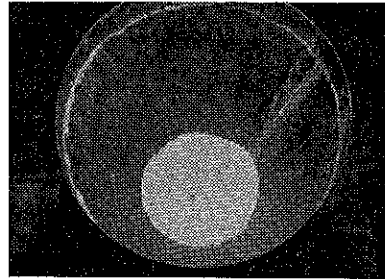
(2)



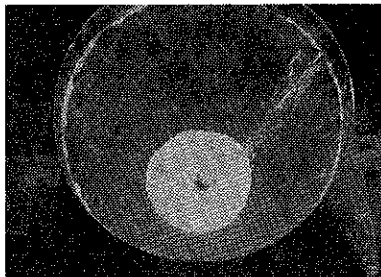
(3)



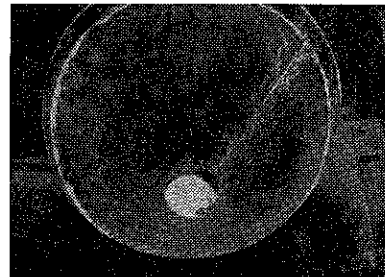
(4)



(5)



(6)



2. ホッパー形状と架橋現象

ホッパー形状と角度は架橋に大きく影響するので、これについて2, 3の実験を行ってみた。

使用した粉体は酸化チタンほどの架橋性はないが凝集力の強い炭酸カルシウム300mesh all pass品を使った。ホッパーは鉄板製で次の種類のものを用いた。

- | | | | |
|-------------|------|--------|-------------|
| a) 対象円錐型 | 傾斜角度 | 70° | Photo 4 (a) |
| b) " | " | 75° | " (b) |
| c) 非対象円錐型 | " | 60~90° | " (c) |
| d) 非対象角錐型 | " | 60° | " (d) |
| e) Kvapil 型 | " | 60° | " (e) |

a) のホッパーでは Photo 1 (35頁) に示すごとく垂直に穴があいた。

b) のホッパーでは Photo 5 に示すごとく粉体の表面に凹みをつくらずに全部排出された。

c) のホッパーでは Photo 2 (35頁) に示すごとく架橋の形成・崩潰を繰返しながら全部排出された。

d), e) のホッパーでは Photo 6, 7 に示すように排出口上に垂直に穴があいた。

この観察実験から得られたことは定性的ではあるが、

1) 角錐ホッパーよりも円錐ホッパーの方が架橋はできにくい。

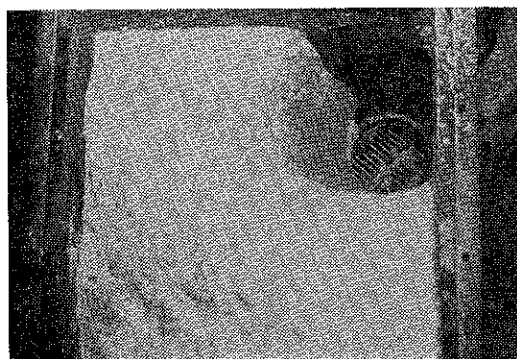


Photo 6



Photo 7

2) 角度が5°変ると、排出の様子は大きく変わる、ということであった。

3. 安息角とホッパー角度

Table 1 において17番のジルコンサンド80~200meshまでは何れも付着性がなくさらさらしているので、ホッパーの最小角度は安息角の測定値をそのまま使うことができ、測定値よりも5°位大きい目にすれば安全であるが、18番以降の微粉体では安息角の測定値にかかわらず70°以上75°位をとるのが安全である。

従来粉碎機等のホッパーは粉体の性質の如何にかかわらず60°型が使用されているが、取扱う粉体によってはこの点事前に十分考慮する必要がある。

IV 架橋防止対策

架橋現象を防止する対策としては容器の形状構造に関するものと、積極的に架橋を防止する装置に関するものとに分けられる。

1. 容器に関する対策

容器に関する対策としては次のごとき方法が考えられる。

i) 内面を平滑にする

これは容器内面の摩擦を小さくするために、この方法としてはバフ加工、塩ビ塗料の塗布、テフロン等のライニングなどが考えられる。

ii) ホッパーの傾斜角度を大きくする

付着・凝集性の強い粉体では先述のように傾斜角は75°以上が必要で、ときには傾斜部をもたない垂直容器が必要となる場合がある。

Fig. 5 は Y. Lee の提案した指数曲線ホッパーで出口に近づくにしたがって傾斜角が大きくなっている。

iii) 出口径を大きくする

これは最も有効な方法であるが、容器の大きさ、後段の給排機の大きさに制限されて限度がある。

iv) 非対象にする

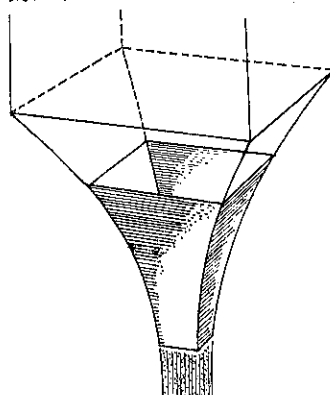


Fig. 5 指数曲線ホッパー (Y. Lee)

片面を垂直にすることは有効で先述の Photo 1 と 2 に示すように、対象円錐70°型では静的架橋を作ったが、非対象円錐60~90°型では架橋の形成、崩潰を繰返しながらも全部排出した。

v) 粉体圧を殺すような形にする

Fig. 6 はホッパー部の中間、架橋を起す心配のある個所に垂直な仕切板を入れて排出口部の粉体圧を殺すようにした例である。

Fig. 7 は大型の貯槽に用いられる型で、一面に垂直壁をもち、しかも最も架橋を起しやすいところで垂直壁が切れているので、その下に粉体圧がかからない。もし閉塞してもふたを開けて棒でつついて容易に架橋をこわすことができる。

vi) 角型より丸型を採用する

さきにⅢの2で述べたように角型よりも丸型の方が架橋はつくりにくい。これは同じ60°型でも丸型の場合はすべての面が60°であるが、角型では各面が60°であるため面の交叉する稜の部分は60°より小さいことも理由の一つである。

vii) ポークホールを設けるこれは消極的な方法であるが、粉体によってはこれ以外に手段のない場合がある。これは容器の上部に穴をあけて架橋を起したときに棒を差し込んで突き落す方法である。

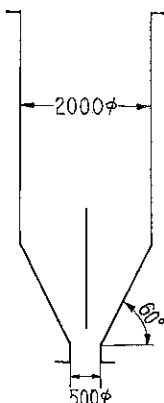


Fig. 6

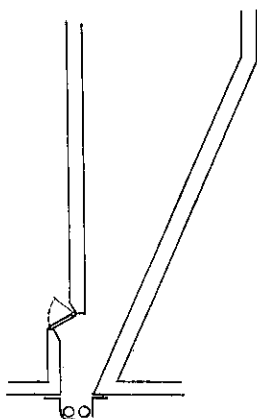


Fig. 7

2. 架橋防止のための装置

積極的に架橋を防止するために種々の工夫がなされ、装置も製作されているのでこれについて現状を述べる。

i) 樁打ち

これはきわめて原始的な方法であるが、確実に費用がかからないため、現場ではよく使われている。

しかし作業の能率を低下し装置の損耗を早くするのであまり推奨はできない。

薄い鉄板で作られたサイクロンやバグフィルターのコーン部は数カ月で破れ、また見ばえもよくない。

Photo 8 に示すものは Chemical Engineering Feb. 17 (1964) に紹介されたもので、コーンの部分がゴムで作られており、損傷する部分もなく、騒音もせず、効果的だとある。

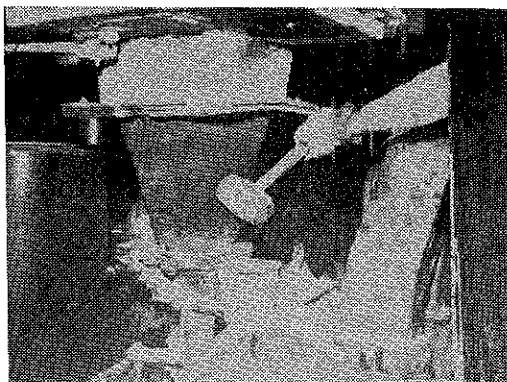


Photo 8

ii) 振動

ホッパーコーン部に電磁バイブレーターを取付けて排出口に近い器壁を振動せしめて架橋をこわす方法であるが、この方法は使用をあやまって連続的に振動をかけると粉体をかえってつき固めてしまい流動性を悪くし、ときには排出が停止することがある。

このような場合はむしろ一定時間をあけて間歇的に短時間強力な振動を与えた方が効果的である。バイブレーターの欠点は騒音がはなはだしいことで作業員には敬遠される。

Photo 9 は使用の実例である。

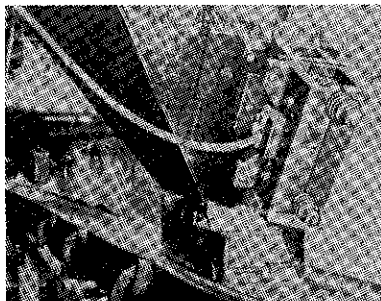


Photo 9

最近では電磁振動の外に偏心錘による振動モーターを使ったものや圧搾空気の振動機を利用したものがある。これを Photo 10 に示す。

A はモーター式、B は圧搾空気式の例である。

なおバイブレーターの取付位置は効果上重要で容器のあまり上の方では効果が少ない。これはホッパー傾斜部の1/4以下に取付けるべきで、なるべく排出口に近い方がよい。(Fig. 8 参照)

iii) 攪拌 (アーチブレーカー)

特に付着性が強く容易に架橋する粉体や、固結する粉体では単に振動のみでは解決しない場合がある。このような場合には容器内で粉体を強制的に攪拌する装置もあ

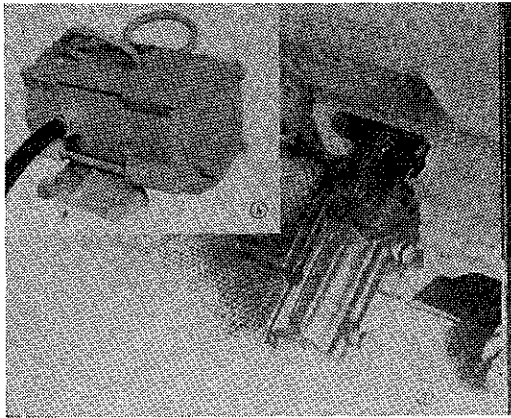


Photo 10

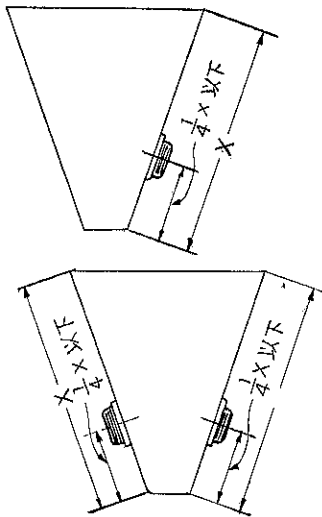


Fig. 8

るが、この方法は大きな動力と設備費を要し、また粉体の中で可動部分をもつため装置の故障、粉体中への異物の混入などのトラブルが起る。

アーチブレーカーの一例を Fig. 9 に示す。

混合機として用いられているナウターミキサーは、このような目的には最も適している。公転自転するスクリーによって、容器内の粉全体がほぐされスクリーの回転によって連続的に排出することができる、また運転動力はきわめて少ない。

最初の設備費用はかかるが、ユリヤレジンのような当然排出にトラブルを伴う粉体では最初からこの問題を計画に入れるべきである。

Fig. 10 にナウターミキサーの一例を示す。

Fig. 11 に示す装置は繊維状物質を排出するもので、繊維状物質はコーン部が使えないので垂直な円筒の壁をもった貯槽の底に回転するアームがあり、このアームの

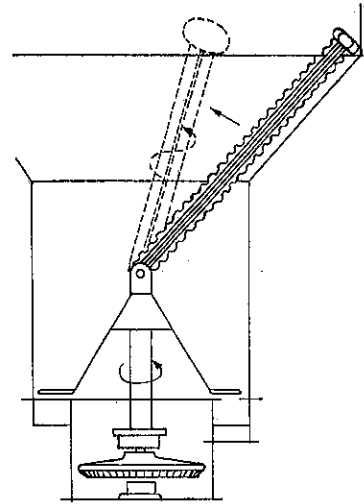


Fig. 9

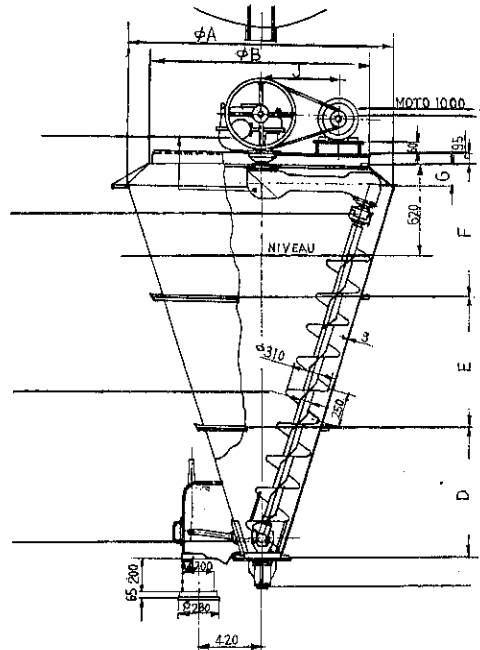


Fig. 10 ナウターミキサー

下側に中心へ向って移動するチェーンによって繊維材料を中心へかき集め、中央部の穴より排出する装置である。

iv) エアーレーション

容器の底より圧搾空気を粉体中に吹込んで粉体を流動化せしめる方法は付着性の強い微粉を容器から排出するのに有効である。

その一例を Fig. 12 に示す。

これはエアースライド法といわれるがこれとは別に器壁の側面から架橋を起しやすい位置に圧搾空気を吹込ん

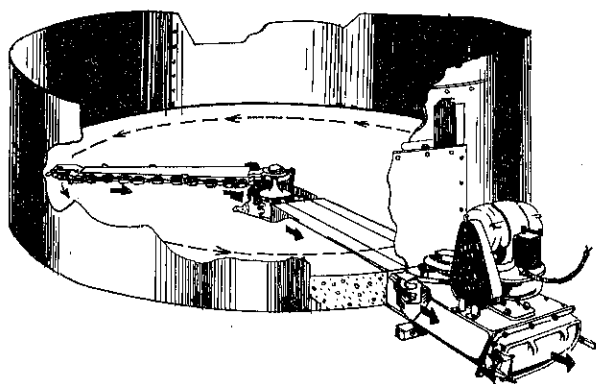


Fig. 11

で架橋を崩潰する方法もある。その一例を Fig. 13 に示す。これは前記 C. E. に紹介されたもので Bin-Flo Aeratar と呼ばれている。

しかし上記 2 種の装置で圧搾空気を連続的に容器内に吹き込むことは架橋崩潰のためには得策でなく、高価な圧搾空気の消耗が大きい。

架橋は連続的にできるものではなく、粉体の排出によって形成されるのであるから間歇的に操作する方が合理的で、また架橋の崩潰は瞬時に終わるので操作する時間もきわめて短かくてよい。エアレーションの場合は、この方がエアの消耗が少なく、また吹出した空気による発塵も起らない。

このような意味でわれわれは、圧搾空気の分散板をもったエアレーション装置にタイマーと電磁弁を組込んで一つのユニットした架橋現象防止装置をつくりこれをブリッジミクロンブレーカーと名づけた。

この構造を Fig. 14 に実施例を Photo 11 に示す。

これはタイマーによって 80 秒～1 分毎に約 2 秒間電磁弁に通電され、圧搾空気を分散板を通して粉体中に吹込みケーキングした粉体を分散流動化せしめるもので、殊

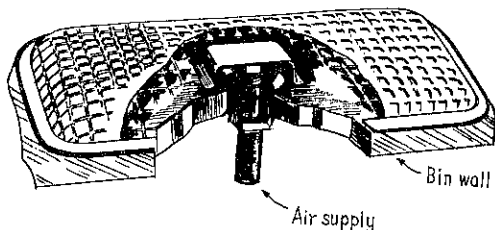


Fig. 13 Bin-Flo Aerator

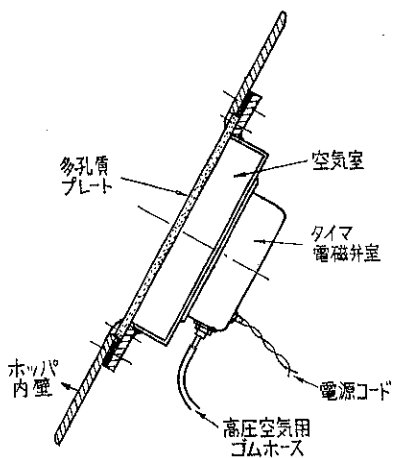


Fig. 14 ミクロンブリッジブレーカーの構造

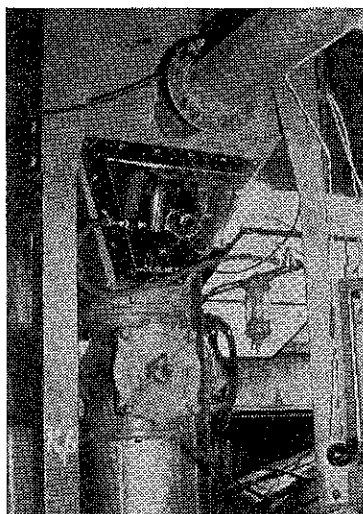


Photo 11

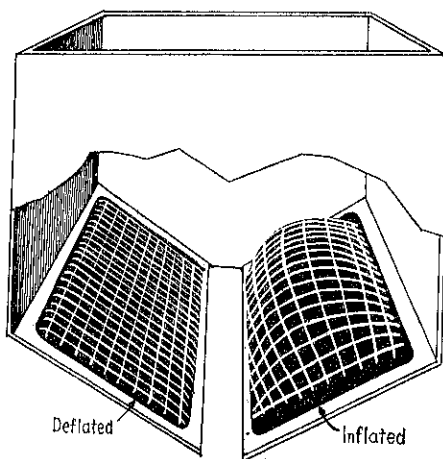


Fig. 15

に付着性の強い粉体に有効である。

Fig. 15 は粉体中へ空気は吹込まないが、やはり圧搾空気を使った 架橋破壊装置で 排出口の 近くに 設けられる。圧搾空気によって表面のゴムプレートが図のように膨張して架橋をこわす。この方法では圧搾空気の消耗は少ないが、ケーキングした粉体をほぐし流動化せしめる効果は少ない。

3. その他の方法

粉体の架橋を防止するためには取扱う粉体自体および

操業上の問題等にも意を払うべきで、この段階で幾分でも架橋防止に役立つなら容器の考慮にしても、装置の点でも負担が軽くなる。

例えば水分の多い材料であれば乾燥後に貯槽に入れるとか、静置時間の長い粉体で固化の傾向がある場合には、小容量のホッパーを数多く並べて分散貯蔵するとか、静置時間を長くとらないような操業状態をつくるとかいった工夫が必要になってくる。

Table 1 各種粉粒体の安息角

粉体番号	粉 体 名	粒 度	見 掛 比 重 (g/c.c.)	付 着 性 凝 集	架橋現象	安 息 角 (度)
1	ポリエチレン ペレット	4 mm	0.48~0.55	な し	な し	35
2	"	4 mm	0.60~0.64	"	"	30
3	米	5 × 3 × 2 mm	0.86~0.92	"	"	36.5
4	P. V. A.	100M 98 P 200M 23 P	0.31~0.37	"	"	72
5	タ ル ク	4~6M 不 定 形	1.49~1.69	"	"	47
6	ポリエチレン パッダー	40~80M	0.33~0.39	"	"	54
7	消 石 灰 Ca(OH) ₂	100M 94 P 200M 88.5 P 300M 34 P	0.59~0.64	"	"	31
8	デキストリン	200M.A.P.	0.80~0.85	"	"	45
9	タ ル ク	6M.A.P. 100M 29 P	1.23~1.41	"	"	45
10	Ca CO ₃	40M.A.P. 30M 17 P	1.51~1.64	"	"	45
11	硅 砂	80M.A.P. 100M 95 P 200M 33 P	1.11~1.44	"	"	40
12	タ ル ク	5~10mm 不 定 形	1.47~1.56	"	"	32
13	Ca CO ₃	10~40M 不 定 形	1.56~1.68	"	"	38
14	"	2~8mm 不 定 形	1.47~1.62	"	"	35
15	硅 砂	325M 91 P	1.05~1.13	"	"	44
16	硫 酸 カ リ	100M.A.P. 200M 57 P 300M 25 P	1.27~1.45	"	"	38
17	ジルコンサンド	80~200M	2.73~2.88	"	"	28
18	タ ル ク	300M.A.P.	0.50~0.56	あ り	あ り	45※
19	酸 化 鉄	100M 92 P 325M 35 P	0.71~0.82	"	"	38
20	酸 化 チ タ ン	1μ以下 凝 集 体	0.72~0.79	甚 だ しい	顕 著	42
21	Ca CO ₃	300M.A.P.	0.74~0.95	あ り	あ り	60
22	セ メ ン ト	200M 90 P	1.13~1.5	"	顕 著	40
23	ジルコンサンド	300M 85 P	1.94~2.16	"	"	45
24	Ca CO ₃	300M 70 P	1.26~1.43	"	"	37

※ 粉体番号18以降は正確に測定できない。

V あとがき

ホッパー中の粉体の架橋の問題は常に現場的な問題である。プラント設計の際はどうしても軽く見られ勝ちで、操業に入って始めてトラブルを発見し、今更その解決に多額の費用もだせず、現場で何とか処理することになるケースが多い。

架橋現象を防止するための装置は生産装置と同じ位重要な場合があり、このトラブルのために生産装置が満足に運転できない事態も起る。

プラント設計に当っては事前に十分取扱い材料の物性を調査して、架橋のトラブルを防ぐための費用を最初から十分検討しておくべきである。この小文がこのために何等かの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 粉粒体供給装置委員会：粉粒体の貯槽と供給装置，日刊工業新聞社，(1963)
- 2) 青木隆一：プラント設計 Vol 4, No. 9 (1962) 61.
- 3) Chesman, A. Lee : Chem. Eng. Feb. 17 (1964)
- 4) 高橋辰男：化学工学，Vol 226, No. 4 (1962) 532.
- 5) 五十嵐，青木：化学工学，Vol 28, No. 8 (1964) 698.
- 6) R. Kvapil : Aufbereitungs Technik Nr. 12 (1964) 642.
- 7) 横山藤平：化学工場，Vol 9, No. 2 (1965) 11.

粉体随想 III

架橋と流動について

粉体が形成するブリッジについては、いつもわれわれが悩まされる所である。ところがさる工場で前日に1 ton 以上の粉体をホッパーにチャージしたまま帰り、翌朝来て見るとホッパーの下のパルペライザー、その他の機械が粉体にうづもれ、ホッパーの中には粉体はほとんどのこつていない、という事件に出会った。その粉体が20~30メッシュのよく粒度のそろつた、さらさらした粉体であつたため、ホッパーの下ダンパーのほんのわずかのクリアランスから、なにかの拍子に粉体が流れ出したものが止らず一夜のうちに粉の海を作つたものであつた。われわれのように微粉を扱かうことが多く、粉体とはブリッジを起すものなり、の先入感があるところのような事件をおこす。

また、静止の状態では流動性に乏しく、安息角も大きな粉体が、一度運動をはめじるとまるで液体のような流動性を示す粉体もよく経験される所である。例えばこの種の粉体をフロートロンにて排出する時、最初、定量的

に排出されていたものが、何かの拍子に排出量が急に増大しはじめ、いかに電圧を下げて、もとの定量排出にもどらないといった特殊の場合が経験される。またさる工場での経験では、全てのホッパーに、バイブレーター、または攪拌機などのブリッジ防止装置をとりつけねば全く落ちない難物の極微粉体を扱かつた時のことである。

2,000lほどの容器の下にスクリーフィダーをとりつけたホッパーにその微粉体を500 kgほど一度に投入した所、あつというまに粉体はスクリーの数ピッチの間を水のように流れてほとんど全部が外へ流れでてしまつた。ところが同じ粉体を流れを止めて投入した後、10分間も静止させると今度はバイブレーターの働きを借りねばブリッジを作つてホッパーからの排出が出来ないのである。不可解なことの多い粉体特性の内でも特に架橋、流動、付着といった現象は魔物である。(TS)

粉碎法則に対するある期待

北大工学部教授

田 中 達 夫

先日、京都で開催された粉体工学研究会の席で“粉碎研究の今後の方向”というような題で、実は何の準備もなくゆき当りばつたりのことを15分ほど喋舌つたのであるが、喋舌つている間にフト思いついたことがあるので、この誌上をかりて書かせていただく。

粉碎法則というのは Rittinger, Kick, Bond いずれも次式で表わされることは周知の通りである。

$$dE = -C \frac{dx}{x^n}$$

E はエネルギー、x は粒径、n の値によつて上記の法則がそれぞれ導かれる。ただし n の値は粉碎機構や物質によつても変わり、実際の粉碎機とはあまり縁のない関係式であることは否めない。最近筆者ら¹⁾は粉碎確率を導入して上の式を一般化し、多少変形して

$$\frac{dS}{dE} \propto e^{-kP} \left(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_{max}} \right) \cdot P_\eta \cdot \frac{1}{x^m}$$

なる式を発表した。S は比表面積、P は粉碎機内の圧力、 σ_a は物質の破壊強度、 σ_{max} は粒子のうける最大応力、 P_η は衝突確率で、右辺第3項は衝突の可能性、第2項は衝突時の破壊の可能性、第1項は破碎表面におよぼす雰囲気の可能性をそれぞれ示す確率と考えた。

このように考えると粒径の露mは物質に対して一定、すなわち破壊の物性論的立場から検討されるべき値となるように思う。とくに固体内の弾性波の伝播と、マイクロクラックの分布を考えると、恐らく弾性係数と密度などの物性によつて定まる定数ではなかろうか。一方マイクロクラックの分布は、最近の Gilvarry²⁾の理論を想起すれば、Rosin-Rammler または Gaudin-Schuhmann の分布則に関係があり、したがつて分布則の定数に結び

つくと思われる。これについては1957年 Charles³⁾によつて一部実験的に示されたことが思い出され、分布則と仕事則と本質的な関連に発展しうる可能性がある。

つぎに第1項は、報文では便宜上、全圧Pをとつたが、これはむしろ次の形に置きかえた方が適當であろう。

$$dS/dE \propto e^{-E/RT}$$

T は絶対温度、E は活性化エネルギーで、真空度の異なる前記の実験をはじめ、粉碎助材の存在のための吸着による表面エネルギーの低下、あるいは一部で最近唱えられている粉碎効果の温度依存性などが、この項によつて説明されるのではなかろうか。すなわち速度論的な粉碎の取扱ひができる一つの要因となるものと思われる。

最後に粉碎確率すなわち粉碎機の工学的な解析はそれぞれの粉碎機に対してなされるべきである。これは場合によつては不可能かも知れないが、できる限りのアプローチが望ましい。滞留時間分布などもこの項に入つてくる筈である。このようにして物性論的、物理化学的、そして操作工学的な項が結合され、はじめて粉碎効率が各機械に対して明らかな比較の基盤となりうるように思う。

いささか無責任で飛躍的なことを書いたけれども読者の御批判を期待する次第である。

文 献

- 1) 田中、木幡、鈴木：化学工学，**28**，1030 (1964).
- 2) Gilvarry：J. Appl. Phys., **32**，391 (1961).
- 3) Charles：Min, Eng., T. AIME. **9**，80 (1957),

化学者のための Micromeritics 入門(4)

美 間 博 之
北 森 信 之

第5章 金型内で圧力を加えた場合の粉体の挙動

第4章では圧力が加えられた場合の粉体の挙動に対して最も基本的に影響を持つであろうと考えられる粉体の内部摩擦についてまず簡単に考え、その後で無限大に広がって存在する粉体層を弾性体と仮定した場合の応力分布について述べた。

しかし、実際の粉体層は、もちろん完全弾性体であるはずはない。また、一般に粉体に圧力を加えて成形を行なうのが最もこの場合に必要問題であるから、この章では型の内で粉体に圧力を加えて成形する場合について考えて行くことにする。

§5-1. 圧縮による粒子の結合

粉体を金型の中に入れて圧縮すると、その圧縮法を工夫すればほとんどすべての粉体は成形される。どうして圧縮によつて粉体が成形されるかについては古くから議論があるが大体次の3つがその主要な考え方である。

- (1) 粒子自身の凹凸が機械的にからみ合つて結合する。
- (2) 粒子が部分的に溶融して結合する。
- (3) van der Waals の力によつて結合する。

このうち(1)の粒子の機械的からみ合いは、ほとんど結合に関与していないだろうとゆうのが最近の考え方である。一番有力なのが、van der Waals 力によつて粒子間に結合が生ずるとゆう考え方であろう。

しかし、粉体によつてはもつと異つた要因で例えば電気的引力などによつて結合を生ずると考えられるものもあり、一概にこれが結合の本質であるという事をいえる事は難しい。

圧縮過程での粒子の破壊、粒子が含む水分の影響、粒子の持つ静電気の影響などいろいろ考慮する要因がある。

また、粒子の弾性、塑性も大いに重要な因子となると考えられる。すなわち、点接触では、相互作用があつてもしれているが面接触になればその相互作用は大いに増

加するであろう。

先に述べた圧縮過程での粒子の破壊に関連して粒子の新しい面が粒子相互作用力に大きな影響を持つといわれている。例えば、金属の場合新たに作つた面を空気にさらすと速やかに酸化が進み金属面は酸化被膜におおわれて付着力が急激に低下する事が知られている。

以上いろいろと要因を羅列したが成形体中でどの要因により粒子が結合しているかを実際に実験的に求める事は、非常に難しいだろうが、これからの研究に待つほかはない。

§5-2. 圧縮による見掛け容積の減少

粉体を金型の中に入れると非常にゆるい充填状態で平衡にあるがこれに圧縮圧を加えると粉体の見掛け容積は急激に減少して行く。

粉体の金型中での圧縮でまず興味をひくのがこの圧縮圧と見掛け容積との関係であり、この関係については古くから実験式や理論式が数多く提出されている。

粉体の見掛け容積が圧縮圧を上げると共に小さくなっていくのを気体や液体の圧力と容積の関係を表わす状態方程式にみたてて作つた式や、粉体の圧縮過程を小さい粒子が大きい空隙を順次うめていくという過程と考えて理論的に式を作つたもの、また、金型内での粉体の圧縮過程を歪と応力という観点で表わした式などがある。

そのうちの2, 3代表的なものをあげると、

$\epsilon = b \exp(-ap)$	Athy
$\log p = -av + b$	Bal'shin
$(p+a)(v-b) = cT$	Spencer, 1949
$\frac{p}{C} = \frac{1}{a} \frac{1}{b} + \frac{1}{a} p$	川北, 1956
$\epsilon = k\sigma^n$	谷, 1953

たとえば、粉体の圧縮過程を粒子が空隙をうめていく過程と考えて作つた式について簡単に述べてみる。

圧力の増加に対してある大きさの空隙がうめられる割合をその時の圧力に対して次のように表わす。

$$\frac{1}{N_{1,\infty}} \frac{dN_1}{dp} = \frac{k_1}{p^2} \exp(-k_1/p)$$

これは1の大きさの穴の数が圧力の増加に伴ない、どんな割合で減少していくかを表わしている。これを積分して圧力零の時1の穴はどれももうめられていない ($N_1=0$) という条件を入ると

$$\frac{N_1}{N_{1,\infty}} = \exp(-k_1/p)$$

となる。1の大きさの穴、2の大きさの穴……で同じような過程がある異つた圧力範囲で起つてくると考え、しかもそれらの過程がそれぞれ独立事象であるとすれば全体の穴が埋る割合は

$$V^* = \frac{V_0 - V}{V_0 - V_\infty} = \sum_i a_i \exp(-k_i/p)$$

で表わされる事になる

一般には1の穴と2の穴の埋まる過程の2つを考慮するだけで充分である。したがって

$$V^* = a_1 \exp(-k_1/p) + a_2 \exp(-k_2/p)$$

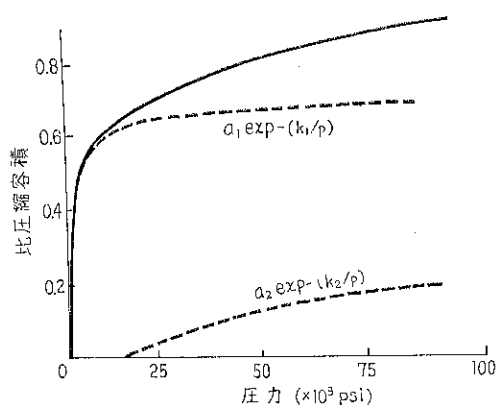


Fig. 5-1 炭酸カルシウムの比圧縮容積と圧縮圧との関係

圧縮圧と見掛け容積の関係を以上のような一つの式で表わすからには圧縮過程をある一つの過程だけから成つていふと考えるかまたは無限に多くの過程が連続的に起ると考えるかのいずれかである。先に示した理論式は連続的に無限に多くの過程が起るとして導びき実際にはその第2項までを使えば実用に耐えうとしたものである。

しかしこれに対して実際の圧縮では明らかに異つた過程がしかも不連続的に(段階的に)起るといふ研究者もある。

すなわち、

- (1) 粒子が相互に移動することによつて主に容積が減少していく過程
- (2) 粒子が変形する事なく空隙を順次うめて、より密

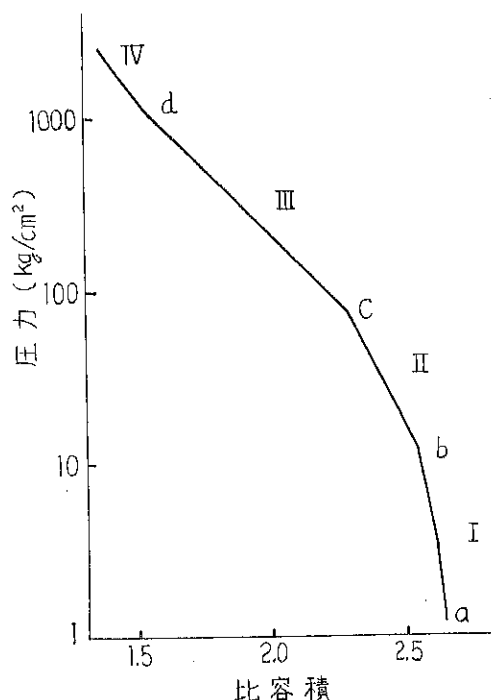


Fig. 5-2 圧縮による比容積の変化

になつていく過程

- (3) 粒子が破壊したり塑性変形をする過程
- (4) 粒子自身の圧縮率にともなう変形の過程

なる過程が順次起つて来るので圧縮に対して連続的な見掛け容積の変化をしないといふのである。

この段階的圧縮過程の研究に次のようなものがある。

粉体に少量のカーボンを加えて顆粒とし、これを絶縁体で作った臼の中で圧縮し圧縮過程での圧粉体の電気抵抗の変化していく様子を調べた。

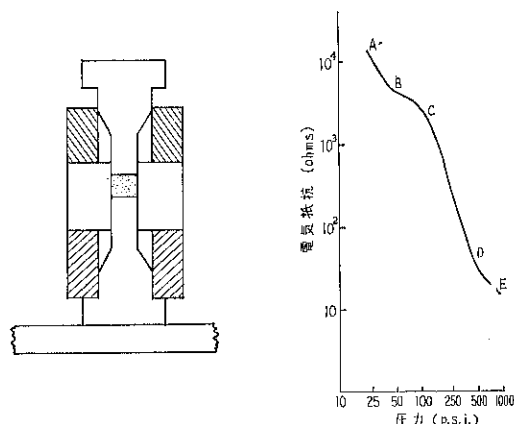


Fig. 5-3 圧縮による圧粉体の電気抵抗の変化

抵抗の変化はFig. 5-3 のようになる。AB, BC, CD, DE, をそれぞれ先に述べた各段階に対応するものと考えている。そして、各段階に対応した圧縮体の表面の顕微鏡写真を示してその再確認をしている。

§ 5-3. 金型壁との摩擦

金型内の粉体を圧縮していくと金型壁面に垂直な方向にも圧力が伝わり、当然金型壁面と粉体層の間に摩擦を生ずる。圧縮過程で粉体は金型に対して比較的大きく相対的に移動するのでこの粉体層と金型壁面との摩擦は圧力の伝達などに非常に大きな影響を持つ。

金型壁との摩擦は一般に次のようにして解かれる。

上から荷重 F_1 がかけられているとし、そして単位面積当りの圧縮力を p とする。

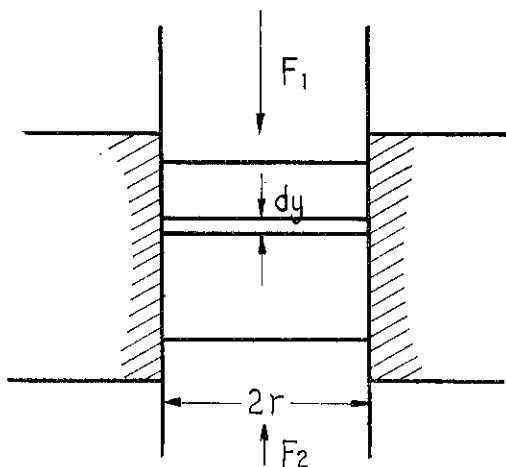


Fig. 5-4 金型壁との摩擦

$$F_1 = \pi r^2 p$$

今型壁に半径方向にかかる力を p に比例するとし、その比例定数を k とする。厚さ dy なる薄層を考えるとこの層と壁との間に働く摩擦力は、摩擦係数を μ とすると、 $\mu k p 2\pi r dy$ である。

この摩擦力と下に働く力 F_2 が上からかけた力に等しい。

したがって

$$F_1 = F_2 + \mu k p 2\pi r dy$$

すなわち

$$p\pi r^2 = \pi r^2(p - dp) + \mu k p 2\pi r dy$$

$$r dp = 2k\mu p dy$$

圧縮方向に層の厚さ 0 から y まで単位面積当りの圧力が p_1 から p_2 に変わるとすれば

$$\int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{p} = -\frac{2k\mu}{r} \int_0^y dy$$

$$\frac{p_1}{p_2} = e^{2k\mu y/r} \text{ または } \frac{F_1}{F_2} = e^{2k\mu y/r}$$

となり金型壁面との摩擦によつて粉体層中の圧力は指数函数的に減少して行く事を示している。

実際の実験結果も粉体層の高さを増すにつれて大体指数函数的に摩擦力が増大している事が知られている。

また金型壁を潤滑した場合としない場合としない場合とで上からかけた荷重の下への伝わり方が非常に異なる事も認められている (Fig. 5-5)。

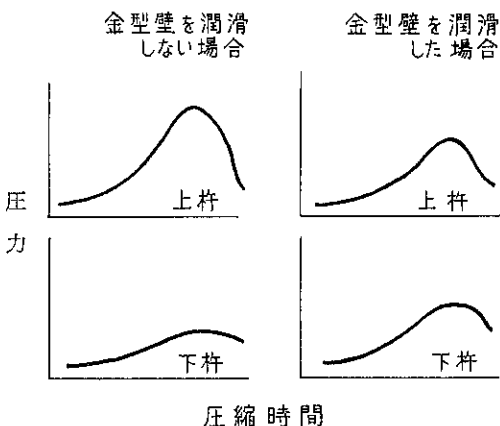


Fig. 5-5 金型壁潤滑の圧縮伝達に及ぼす効果

金型と粉体層との摩擦の計算に於いて軸方向の圧力と半径方向の圧力とが比例する事を仮定したが厳密には比例関係にはならないでその関係は Fig. 5-6 のようになる。しかしあまり圧力の高くない領域では一次近似として比例すると考えてもそれほど重大なまちがえを起す事はないであろう。

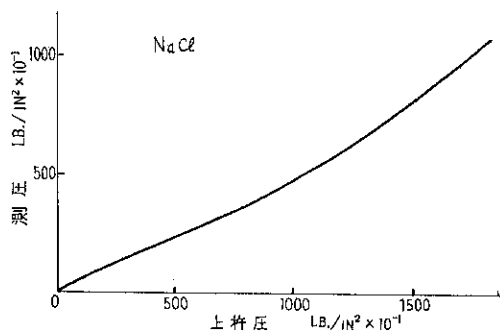


Fig. 5-6 粉体圧縮過程での測圧の変化

もう一つ半径方向の力が軸方向にかけた圧力に比例しない事を理論的に求めた研究を紹介しよう (Fig. 5-7)。

壁との摩擦を無視してモールの法則にしたがう塑性体と一定の降伏値をもつた物体について金型内で圧縮された場合について考える。

まずモールの法則にしたがう塑性体の場合を考えると剪断に対する降伏応力は剪断面上の垂直応力の函数であ

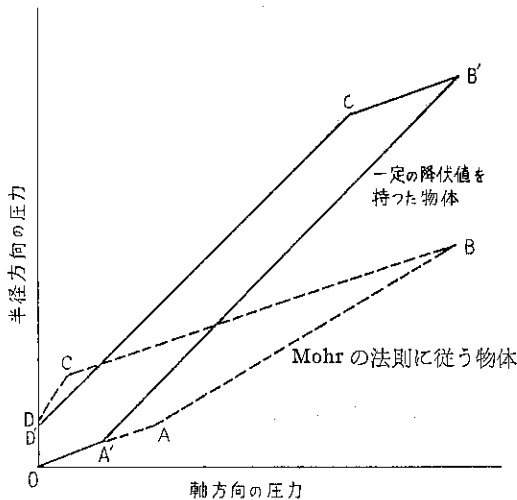


Fig. 5-7 Mohr の法則にしたがう物体と一定の降伏値を持った物体を圧縮した場合、軸方向の圧力に応じて生じる半径方向の圧力

り、 $\tau = S_0 + \mu \sigma_n$ で示される。

μ は粉体の内部摩擦係数である。OA' までは降伏値以下なので塑性変形は起らず半径方向に $\nu \sigma_a$ の応力が生ずる。降伏値に達すると剪断面に対して垂直応力は $(\sigma_a + \sigma_r)/2$ 、剪断応力は $(\sigma_a - \sigma_r)/2$ であるから

$$\begin{aligned} (\sigma_a - \sigma_r)/2 &= S_0 + \mu(\sigma_a + \sigma_r)/2 \\ \sigma_r &= [(1 + \mu)\sigma_a + 2S_0]/(1 - \mu) \end{aligned}$$

すなわち A'B' は $\frac{1-\mu}{1+\mu}$ の傾斜で軸方向の応力に対して半径方向の応力が現われる。

B' で圧縮をやめ圧力を次に減少させて行くと B'C' まではポアソン比 ν の割合で σ_r は減少していくが C' からは D' まで $\frac{1+\mu}{1-\mu}$ の傾斜で σ_r は減少する。そして結局 $\frac{2S_0}{1-\mu}$ の応力が半径方向に残る。この残留応力が圧粉体を金型からぬき出す時に圧粉体にクラックを発生させる原因となる。

次に一定の降伏値をもった物体の場合には A まではポアソン比 ν で σ_r は増加し A 点から塑性変形領域に入り、傾斜は 1 となる。圧縮圧力を減少させる場合は $\sigma_r = \sigma_a + 2S$ になるまで ν の傾斜でそれ以後は再び傾斜 1 となる。残留応力は $2S$ となる。

以上、理論的に σ_a, σ_r の関係を求めたが実際の粉体についての実験結果を Fig. 5-8 に一つだけあげておく。

§5-4. 密度分布と応力分布

金型内での粉体の圧縮に於いては金型壁と粉体との摩

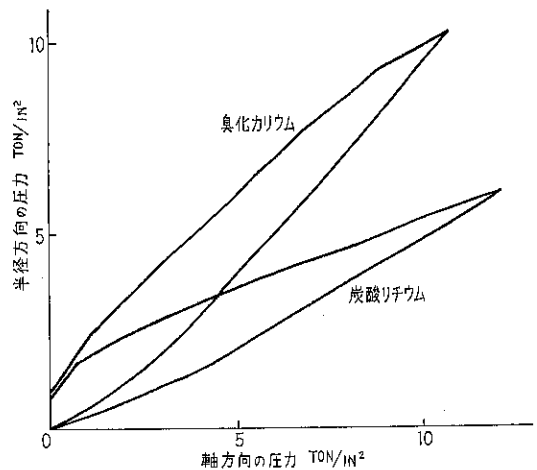


Fig. 5-8 実際の粉体圧縮に於いて軸方向の圧力と半径方向の圧力との関係

擦や粉体の内部摩擦によって一方向からの圧縮では応力が均一に分布せず圧縮粉体層中にある応力分布を生ずる。直接的に応力分布のある事を見られるのは、光弾性を利用した実験である。透明弾性体に応力を加えると複屈折性を帯びる。したがってこれに単色光源による偏光をあてると明暗の縞を生ずる。この明暗の縞によって弾性体内部に生じた応力の分布を容易に観察する事ができる (Fig. 5-9)。さて理論的に応力分布を議論するためには弾性論を用いなければならない。粉体の圧縮に対して弾性論をどのように使うかが理論的取り扱いのポイントになる。

粉体の圧縮応力一歪の関係を実験的に

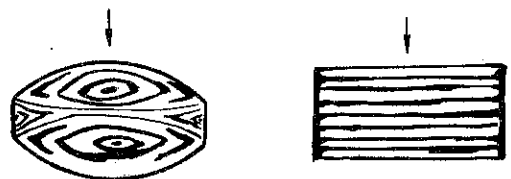


Fig. 5-9 7.5R, $\phi 10\text{mm}$ の錠剤模型と平型の錠剤模型の加圧状態での歪縞

$$\sigma = k \epsilon^n$$

の形で表わす。

Rankine の土圧論の仮定が成立すると考えれば軸方向の応力と半径方向の応力とは比例しその比例定数 K は粉体の内部摩擦角の函数となる。

$$\sigma_1 = \sigma_2 = K \sigma_3$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

今、ある方向の歪に対してそれぞれ独立に 3 主応力が作用しているとすれば、

$$\sigma_1 = k\{\varepsilon_1^n + K(\varepsilon_2^n + \varepsilon_3^n)\}$$

$$\sigma_2 = k\{\varepsilon_2^n + K(\varepsilon_3^n + \varepsilon_1^n)\}$$

$$\sigma_3 = k\{\varepsilon_3^n + K(\varepsilon_1^n + \varepsilon_2^n)\}$$

主応力の方向の座標軸に対する方向余弦を用いて σ_x , σ_y , σ_z を求めた。

金型中に粉体を充填する際、標線を入れ、これを上方

Table. 5-1 測定値と計算値との比較

位 置 (cm)	測 定 値 (Δ mm)	測定値による 半径方向の伸び (mm)	計算による半 径方向の伸び (mm)
3.70	0.38	1.14×10^{-2}	1.17×10^{-2}
3.50	0.68	2.04	2.03
3.00	0.36	1.08	1.08
2.50	0.13	0.42	0.44
2.00	0.03	0.09	0.09
1.50	0.37	1.11	1.13
1.00	0.21	0.63	0.64
0.50	0.08	0.24	0.21
0.00	0.02	0.06	0.071

より圧縮し圧縮し圧縮後にその変位を実測して主歪 ε_1 , ε_2 , ε_3 及び座標軸と主軸とのなす角を求めると σ_r , σ_t , σ_z 及び τ が計算で求められる。

金型に粉体をつめ上より圧縮した場合の円筒の外側の歪を測定し、これと粉体の円筒内壁におよぼす応力 σ_r, τ を境界条件として弾性理論による計算によって求めた円

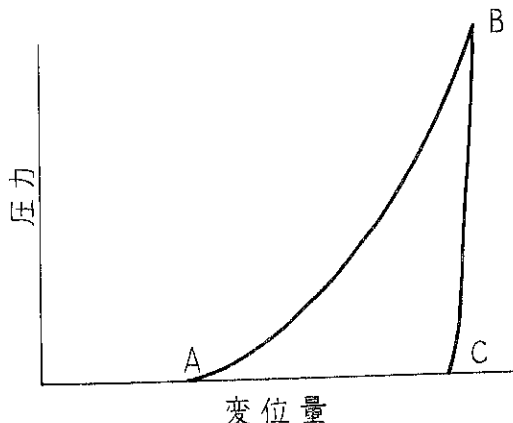


Fig. 5-10 粉体圧縮に於ける圧力と変位量との関係

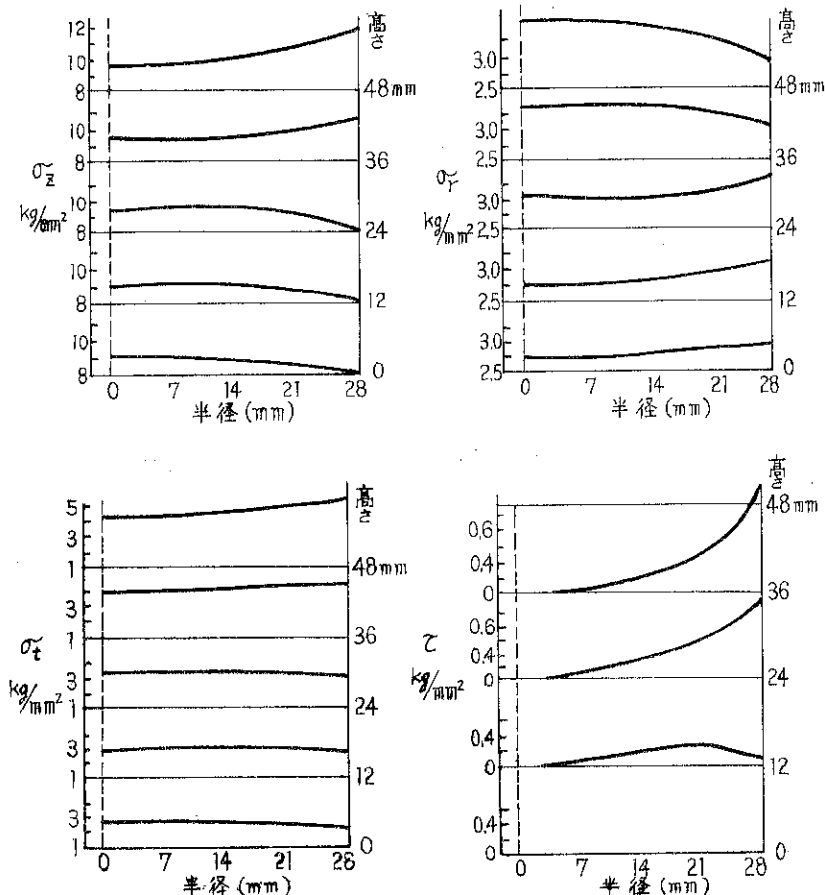


Fig. 5-11 電解銅を平均 10 kg/mm^2 の圧力で圧縮した場合の応力分布

筒外側の歪の値とを比較して計算結果を検討している。

もう一つの研究は金型内で粉体を圧縮する場合、圧縮の変位量とその時の応力の関係は Fig. 5-10 に示す通りである。Bまで圧縮したところで圧縮をやめ除荷するとBCにしたがつて応力-変位が変化する。これは再圧縮すると大体同じ道すじをたどる。したがってBCの変化は弾性的である。除荷した時に圧縮粉体層中に残留応力がないとすればBとCの状態の粉体層中の応力分布は同じであると考えてよい。

そこで残留応力がないと仮定すれば弾性論的に粉体層中の応力分布を解析する事ができる。r, z 方向の変位をそれぞれu, wとしポアソン数をm, 弾性係数をEとして応力の平衡、応力と歪の関係、歪と変位の関係を総合すると

$$\begin{aligned} 2(m-1)\left\{\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{u}{r}\right)\right\} \\ + (m-1)\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + m\frac{\partial^2 w}{\partial r\partial z} = 0 \\ m\left(-\frac{\partial^2 u}{\partial r\partial z} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r}\right) + (m-2)\left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r}\right) \\ + 2(m-1)\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = 0 \end{aligned}$$

なるu, wに関する方程式を得る。

1) zが大きいくとu, wは零

2) u, wはそれぞれzの偶函数と奇函数

3) r = 0で有限の変位

4) 金型壁でuは零

5) 金型壁でのwの実測値

を境界条件として弾性的変位u, wを解きこれから σ_r , σ_z , σ_t の分布を求める。このようにして求めた結果の1例を Fig. 5-11 に示した。

密度分布の研究については金型の中に粉体と一緒に鉛の格子を入れて圧縮しその圧縮粉体層をX線透過写真を撮り、格子の変形から粉体層中の密度分布を測定している。カルボニル鉄粉の細粉を粉末の充填深さと直径の比1:1にし圧縮圧力2.5, 5.0, 7.5, 10.0ton/cm²の場合の結果を Fig. 5-12 に示す。

最後に圧縮中の粉体層内部の各点に現われる応力と圧縮後の粉体層の密度を測定して直接的測定と間接的測定とを比較している例を紹介する。

直径5.8cmの金型中に160gの沈降炭酸マグネシウムを入れ最高2,000kg/cm²の圧力で圧縮する。この時に粉体中にFig. 5-13に示したような位置にmanganin線を小さい球状に巻いたゲージを挿入しておき圧縮の過程でどのように各部の応力が増加して行くかを測定する。各位置によつて応力の変位の様子は様々であるが球状ゲージを挿入した位置の圧縮による変位を考慮して圧縮粉

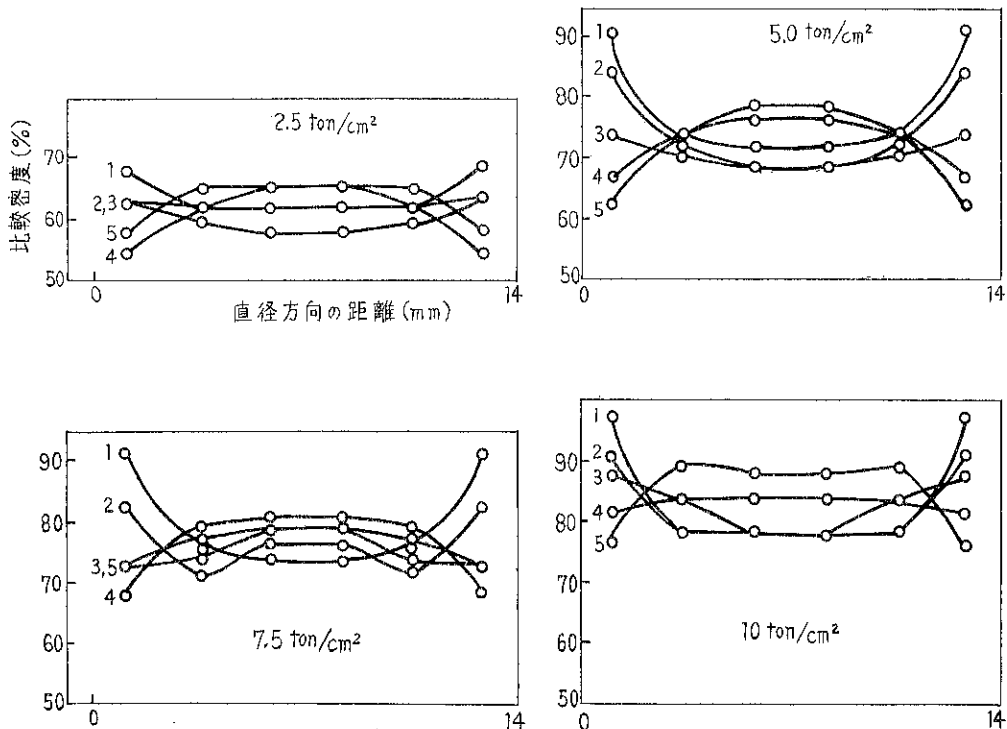


Fig. 5-12 カルボニル鉄粉の圧粉体中の密度分布

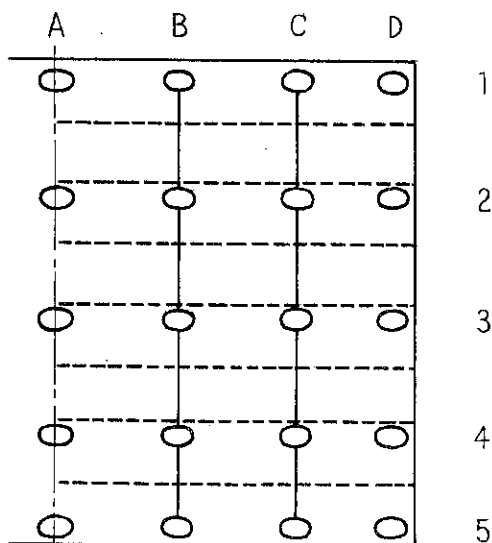


Fig. 5-13 応力測定用球形ゲージの挿入位置

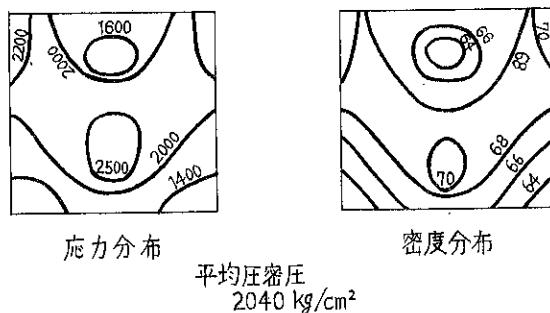
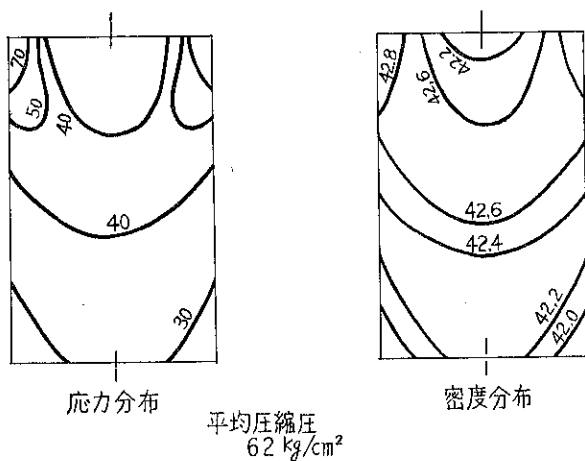


Fig. 5-14 測定した応力分布と密度分布の比較

体層中の応力分布を知る事ができる。これが直接的測定である。

間接的測定には密度分布を測定している。各圧力で圧縮した粉体層を

① いくつかの断片に切つてそれをそれぞれ体積と重量を測定する。

② 旋盤である深さで粉体層をけずり落としその前後の寸法の測定から体積を求めけずり取つた屑の重量を秤る。

という2通りの方法で部分的に密度を測定して等密度線を画く。等応力線と等密度線のパターンは同じ条件のものでは非常によく似ている。その例を2, 3 Fig. 5-14に示す。

さらに中心部、壁近傍などで実際に現われた応力とその部分の見掛けの密度とをプロットするとすべての部分で応力と密度との間に同一の関係のある事が認められた。

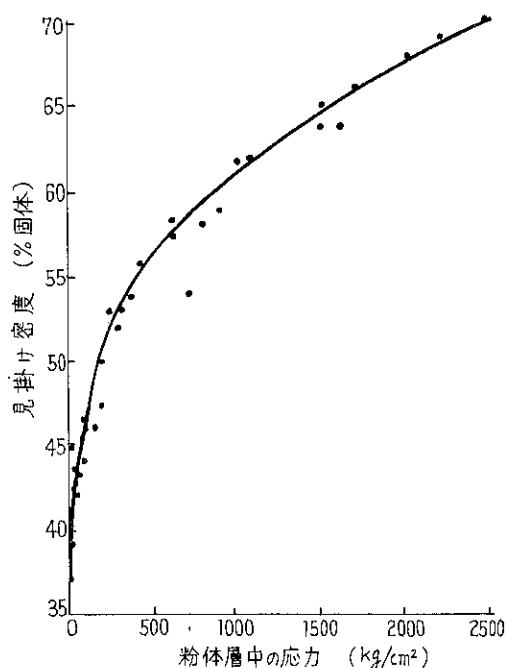


Fig. 5-15 粉体層中の応力と見掛け密度との関係

§ 5-5. 圧縮粉体層の内部構造

圧縮粉体層の内部構造は粉体層そのものの性質に重要な影響をもつ。したがつてこの方面の研究も粉体の圧縮についての研究の一端として重要である。その研究法としては組成粒子の表面が圧縮によつて粒子が接合する事によつてどう変化して行くかを見るのとその反対に空隙の方が圧縮によつてどのようにその形、量

を変えて行くかを調べるのがある。

窒素ガスを用いたB.E.T.の吸着実験で圧縮粉体層中の表面積を測定し、表面積が圧縮の程度によつてどのように変化するかを見た研究がある。圧縮して行くと初め粒子は破壊し表面積は増大するがさらに圧縮して行くと粒子間の接着が進んで有効表面積が減少すると説明されて

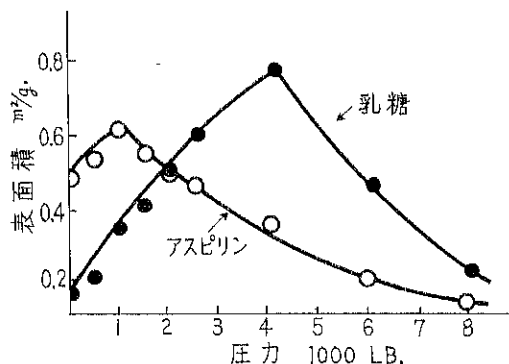


Fig. 5-16 圧縮過程での表面積の変化

いる。この例は粉体ではなく顆粒であるからこの説明は正しいと考えられるが粉体の圧縮の場合にも同じ事がいえるわけではない。粉体粒子の大きさ、粒子の破壊強度などにも密接に関係し粉体の場合実際に表面積に極大の現われない例もある。その例を Table 5-2 に示した。

同じ B.E.T. の吸着実験で水蒸気の吸着等温線の加圧による変化を調べている。吸着等温線にヒステリシスを生ずる事、その他の吸着等温線の変化から粉体粒子間の空隙（毛管）の変化を議論している研究もある。

Table 5-2 圧縮による比表面積の変化

圧縮圧 (ton/cm ²)	比表面積 (m ² /g)
0.00	400
0.76	390
1.50	370
2.90	358
4.20	352

同じく、B.E.T. の吸着実験 から毛管容積の分布を求めた例を Fig. 5-17 に示す。これは吸着等温線から Shull and Wheeler の方法で各サンプルごとに毛管容積

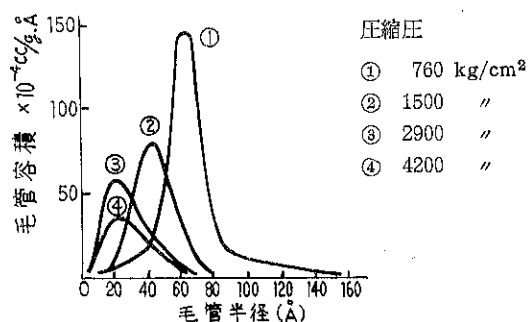


Fig. 5-17 圧粉体の毛管容積の分布

の分布を画いたものである。加圧の小さい時には毛管の径も大きく毛管容積も大きいに加圧が進むと毛管径も小さくまた容積も小さくなって行く事がわかる。

粉体を圧縮した場合に粒子がだんだん密に充填して行く事を以上の実験結果から容易に知る事ができる。

粉体随想 IV

分 級 機 で 粉 碎 ？

ある所で弊社試験室に依頼された分級試験のテストデーターを示した所、「お宅のミクロンセパレーターは原料を通すだけでずいぶんと細かくなりますね」と笑われた。聞いてみるとすでに分級原料の粒度分析結果が弊社より呈出されており、それと分級後の粗粉、細粉の粒度分析とを較べると原料と粗粉が同じ程度であり、細粉の分だけ微粉化された事になっている。原因は弊社では粒度分析に天秤法のものと同透過法のもの二種類を使用しており、たまたま原料と分級結果とを日を異にして測定し、しかも測定者が異なつたため、一連のテストは気づかず二つを異なる測定器を用いて分析したためだと判

つた。

粒度分析の沈降天秤法と光透過法にはそれぞれ特長があり、個々には再現性もあるが、測定原理がちがうため当然粉体によつてはかなり二者の測定結果に差が出ることはありうる。弊社では測定に先だち測定器の指定を聞いたり、客先により統一したりしてテストデーターを呈出しているが、最終的にはやはりユーザー担当者の各社個有の分析をパスしてはじめてOKが出るようである。わずらわしい事ではあるが、難物の粉体を扱う以上やむを得ない。(TS)

セイロン印象記

※エカイ、デカイ、トウナイ※*

細川鉄工所

森本益弘**

新しい土地を訪れた時の第一印象は、大変強烈ではあるが、それがその土地で2週間も生活すると、飛散してしまい、新しい感情、いなその土地に対する愛着となつて来るものである。セイロンに対する私の感情が正にその通りである。第一印象は今筆をとつてみると、何とも書きづらい。そこで女房に出した手紙の一節で綴つてみることにした。



Photo 1 ポロナルウワの浴場旧跡にて
文中の(C)と共に

“コロンボへ来て4日、暑さは予想した程ではないが、予想外だったのは街の風景である。道行く人のほとんど全部が過日、神戸で見たようなクロンボであることは勿論、市内の目抜き通りでも約半分の人々が素足で、一旦街をはづれると靴をはいている人をさがすのに苦労するという有様、ともかく空港からホテルまで約30分自動車に乗せられたのだが、この窓外の風景は今まで私が見た最低のクラス、エジプトの田舎、アブズニマよりひどい。今泊っているホテルはコロンボ港の近くにあり、市内で一流のものだが、ここに働いている人々は90%素

足、それが又、数が多い、例えば食堂には30程のテーブルが置かれているが、ここに働くボーイが15人位、ウロウロ部屋中を右往左往している。だからスープでも終るが早いか、かたきの如くかたづけられるので、スプーンの置き方にも大変な注意を要する。また面白いことには、一緒に仕事をしているBが忠告してくれた言葉でどうすればいいのか困っている。“大切なものは室に置くな、大切なものをポケットに入れているなら充分注意して歩け、スリが多いから……”こんな悪い初印象であつたセイロンではあるが、あれほど胃を痛め苦しんだカレーの味を思い出す如く、セイロンでの日々がなつかしく思い出される今日この頃である。

その思い出の一つ、二つを並べてみた。

1) 野宿をした話

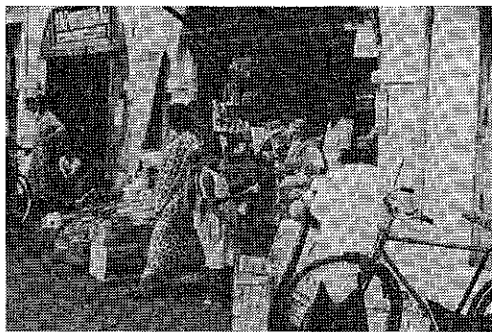


Photo 2 コロンボ市内の八百屋

黒鉛の鉱山を見ての帰り道、どうせ工場に帰つてもすることがないので、乗つて来たジープでセイロンの風景を見てまわることにした。運転はBで召使いのCと私と三人で、全長約700kmの旅へ出発したのは、丁度雨上りの空が大変美しい日であつた。初めに丁度セイロン島の真中辺にあるダンブーラ(Dambulla)という岩山をくり抜いたお寺を訪れた。鉱山へ寄り道をしてここへ来た為もあるが、私は大変な奥地へ来てしまつた錯覚に先ず落ち入つた。そのためこんな所まで来た日本人は少

* セイロン語の一種、シンガリースで“1, 2, 3”

** 細川鉄工所、営業部技術課長、昨秋、幣社よりセイロン、カハタガハマインズ社に輸出された黒鉛粉砕プラントの据付、試運転指導のため彼地に約1ヵ月滞在。

なかろうと奉賀帳に大きな字でサインし、ついでの前の頁をチョット見たとたん、全く幻滅を感じた。わずか2日前に日本人、しかも大阪の人がここへ来ているのである。それまでもつたいぶつて私を案内してくれていた年をとった案内人の顔がとたんにボケて来てしまった。この男、山から下つて行く道々、Bに今度は一生懸命何かシンガリス（セイロン語の一種）で話かけている。全然解らぬからこちらは良い気なものである。後でBが私に語ったところによると、この老人私に現地の女を世話しようとBに一生懸命頼んでいたのである。こんなことをしながら、その日はポロナルウワ（Polonaruwa）という湖のほとりにある旧跡までたどりついたのは、もう夜も10時を過ぎてしまっていた。この Rest House（日本のドライブインのようなもの）でおそい夕食を取り、さてここで今夜は泊るのだらうと思ひながら、Bがボーイと何やらかけあつている姿を一日中車にゆられた疲れと、夕食時に飲んだビールの酔いで、早く話がつけばと眺めているとやつと彼が私の所へ帰つて来て熱心に話出した。

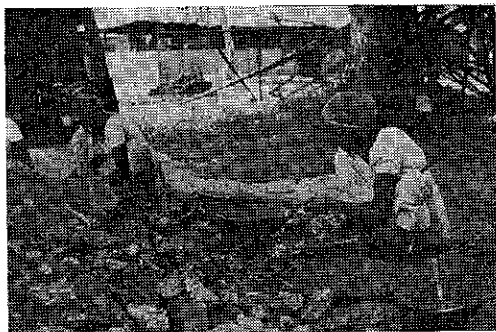


Photo 3 黒鉛の選鉱をしている女工

“私は、君に出来る限り広い範囲でセイロンを見せたい、それには今我々に与えられている時間が少ないので、多少無理ではあるが、今少し先の方へ今夜中に行つてしまふ方が良くと思う。君の意見はどうか？” 右も左も解らない上暗闇を走つてきたのである。彼の意見に“NO”とはいえない私である。しおし“OK”を出した。そこでまた我々は自動車の人となつたのだが、どれ位走つたであらう。彼は“この辺で今夜は寝ようではないか、Mr 森本はジープの中で寝ることは出来るか？”と問う。“Yes”と答える以外、私には方法がないのを彼は充分に計算に入れていたと思うのだが止むを得ぬ、ついに小さな林の中に車を止め、野宿することとあひなつた。さすがに彼も気がさすのであらう、私には一等席である後の荷台に持つてきていたスリーピングバックを使つて寝床を作つてくれ、本人は運転席へ、召使いのCは荷台の上にあるホロの上でという具合に各人が即席ベッドへ

もぐり込む破目になつた。私は蚊になやまされつつも夜中に二度程目をさましただけで、セイロンでの野宿を楽しんだ。翌朝目をさますと前にはすばらしい旧跡が広がり、後には青い湖がある。昨夜のことも全て忘れて朝霧のたちこめているそのあたりを一人飛びまわつた。

しばらくして、自動車に再び乗つて朝食に出かけた。5分もかからず昨夜の Rest House へ我々はたどりついた。

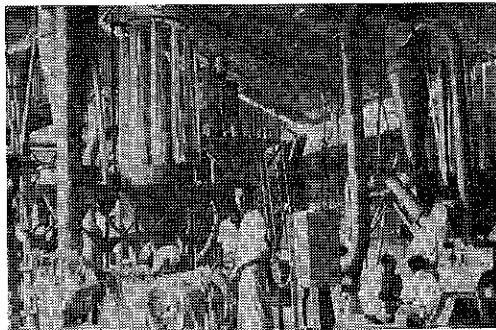


Photo 4 当社機械据付工場内風景

2) 日本人はバカ正直なのだろうか？

この頃は、或いは国際問題になるかも知れぬ、しかし本当にあつたことをそのまま書いているのである。

空港から車にゆられてコロomboの街に入つたとたん、私にとつてはなつかしい2階建の赤バスにお目にかかつた。赤いバスに、ロンドンとは異り、黒い現地人が鈴なりにおら下つて乗っている姿は、かつて英国の領土であつたこの国のシンボルのように思われた。

工場で据付が終り基礎固めを始めようとした日、基礎工事を請負っている会社の技師が、私のところに来て質問した。“コンクリートはどんな割合で混合すれば良いか？”そこで何のためらいもなく“私は機械技術者であり化学機械を専門とする、コンクリートの混合割合は専門外である、貴兄は専門であるから一任する”と彼は満足気に“OK、心得た”と、早速部下に何やらシンガリスで命令していた。

セメントの混合の仕方など、我々が町で時々見掛ける方法と同じである。ただ違ふ点は、砂やセメントを運ぶ男、まぜる男、まざつたのを運ぶ男、コンクリートを流し込む男、ともかく細かく仕事の範囲が区分され、他人の領域へは手出しをしないということである。これは英国でも見かけた風景なので別に気にもならなかつたが、何とはなしにのぞきこんだセメント袋に書いてある表書き、注意深く読んで行くとこれはソ連製で、製造年月日は1953年8月とある。私は内心コンクリートの配合を変に口出ししなかつた賢明さを自分でほめると共にどんなルートで入つてきたものかは判らぬがよくもこんな古い

ものを、当然のような顔をして使用し、ありがたがつて
いる彼等に驚いた。同時に日本人であれば出来たての湯
気の出そうなセメントを使用するであろうに外国人はの
んびりしたものよと感心した。処が後で知ったことであ
るが、こんな例はこれだけではない。私がなつかしがった
例の赤バス、よくみると全部に“London Transport”の

マークが付いている。これもロンドンで使い古したもの
を、ここへ持ちこんだものだという。こんなバスに混つ
て風を切つて走っている真新しいブルーバード、彼の地
で評判の大変良い三菱のジープ、これらを見る時、私は
大きく胸を張り、日本人である誇りをセイロン人に見て
もらうよう努力した。

燃焼によるプラスチックの鑑別法

近年とみに多くなつたプラスチックを外観上だけで
識別するのは難しいが小片を燃して見ると案外簡単に見
当だけはつけられるものである。プラスチックの小片
をピンセットにはさみ、ブンゼンバーナーの焰に入れ次
のこを觀察する。もえやすいかどうか、焰から取出し
ても燃えつづけるかどうか、焰の色、煙、状態の変

化、匂をかぎわけけるなどであり、その結果、各種のプ
ラステックスは表のような性質を示す。匂の識別はかなり
経験を要するので既知の試料と較べるのが望ましい。ま
た顔料、染料、充填材、可塑剤などが混和されている時
は異なる様子を呈すことがあるので注意を要する。

(プラスチック読本、プラスチック技術研究会発行)

プラスチック		燃焼の 易 難	焰を去つて ももえ続け るか どうか	焰 の 性 状	プラスチックの状態	匂 い
熱 硬 化 性 樹 脂	フェノール樹脂 (注型品)	難	否	黄色・スパーク	ヒビ割れ・色が深 くなる	強いホルマリン臭
	フェノール樹脂 (木材充填材)	徐々に もえる	否	黄色	膨潤・ヒビ割れ	木材とフェノール 臭
	フェノール樹脂 (繊維基材)	徐々に もえる	もえる	黄色・少し黒煙	膨潤・ヒビ割れ	繊維とフェノール 臭
	フェノール樹脂 (紙基材)	徐々に もえる	もえる	黄色・少し黒煙	膨潤・ヒビ割れ	紙・フェノール臭
	ユリア樹脂	難	否	黄色・端は淡青 緑色	膨潤・ヒビ割れ 燃えた端が白色になる	特有の匂い・ホル マリン臭
	メラミン樹脂	難	否	淡黄色	膨潤・ヒビ割れ ・白化	特有の匂い・ユリ アに類似
	ポリエステル樹脂	易	もえる	黄色・黒煙	僅かに膨潤・時に はヒビ割れ	ステレンモノマー の匂い
熱 可 塑 性 樹 脂	ポリスチレン	易	もえる	橙黄色・黒煙	軟化	スチレンモノマー の匂い
	ポリメチルメタク リレート	易	もえる	黄色・端青色	軟化	アクリルモノマー 特有の芳香
	ポリエチレン	易	もえる	先端黄色・下端青色	熔融落下	パラフィンの燃え る匂い
	ポリモノクロロトリ フルオールエチレン	難	—	—	—	—
	テフロン	不燃	—	—	—	—
	ナイロン	徐々に もえる	徐々 に消 える	先端黄色の青色焰	熔融落下	特有の匂い
	酢酸ビニル樹脂	易	もえる	暗黄色・黒煙	軟化	特有の匂い
	ビニルブチラール 樹脂	易	もえる	黒煙	熔融落下	特有の匂い
	塩化ビニル樹脂	難	否	黄色・下端緑	軟化	特有の匂い
	塩化ビニル・酢酸 ビニル共重合体	難	否	暗黄色	軟化	特有の匂い

P.M.D 社 E. L. Timm 技術本部長を囲む

粉 体 技 術 座 談 会

細川粉体工学研究所 松 山 卓 蔵

（株）細川鉄工所は昭和36年以来米国 Pulverizing Machinery (P.M.D) と技術交換契約をし、細川からスーパーミクロンミル、ミクロンセパレーター、フロートロンの製造販売権と技術ノーハウを供与し、P.M.D社よりマイクロバルベライザー微粉碎機、マイクロパルスエアー集塵機及び関連技術導入を行い、相互の技術交換により粉体技術の向上に寄与している。



Timm 氏

E. L. Timm 技術本部長 (Overall Technical Director) はイリノイ州立工科大学、機械工学科の出身で、以後33年間P.M.D社に勤務し、代表製品であるマイクロバルベライザー粉砕機、マイクロアトマイザー超微粉砕機、マイクロパルスエアー集塵機等の開発と技術の担当者として米国粉体技術の権威であり、現在もP.M.D社の技術担当重役である。

氏は温厚誠実であり、その該博な知識と経験はP.M.D社の技術を代表するに相応しく、また親日家でもあり ホソカワファンでもある。趣味はピストル、骨董ライフルのコレクションで、50挺以上をもつと聞く。

来日は昭和38年5月と今回の昭和40年4月の細川鉄工所創立50周年記念祝賀式参加の2回で、何れも細川技術陣との技術交流の機会をもっている。この座談会記事は速記録より読者に参考となるとと思われる内容を抜萃したものである。

出 席 者

P.M.D 社……E. L. Timm 氏 (技術本部長)

細川鉄工所……丹羽 久雄 (営業兼技術部長) 谷口 浩 (製造部長)

横山 藤平 (研究部長) 森本 益弘 (技術課長)

佐藤 功 (貿易部) 松山 卓蔵 (細川粉体工学研究所長)

場 所 細川粉体工学研究所会議室

日 時 昭和40年4月26日

○ホソカワ技術輸出品に関して



松 山

また米国での実状等を技術交換したいと思います。最初

松山：

司会させて戴きます。当社創立50周年にP.M.D社を代表してTimm技術本部長が遠路来社されました。これを機会に日頃皆さんがP.M.D社との技術提携品を製造し、販売されている時に会おう。色々の疑問点、技術的問題、

私からお尋ねしますが、米国内での我々の機械の評判は如何ですか。

Timm：

スーパーミクロンミルは20 μ 以下の超微粉砕とノズル分離の特色を生かしてP.M.D社でPRしている。特殊用途、例えば小麦粉のプロテシフトにこれが利用できないかと、可成りの重点を置いて研究している。

松山：

それは面白いテーマですね。若し第1ノズルより+45 μ の粗粉が、第2ノズルより10~45 μ のプロテンの少ないものがとれ、Bag Filterよりプロテンの多い-15 μ

の微粉がとれたら非常な成功ですね。ミクロンセパレーターの評判は如何ですか。実は今年の始めオランダ Nautamix 社が細川のミクロンセパレーターの技術導入と積極販売を決定するために、ドイツの Mikroplex との性能比較試験をオランダ国立応用科学研究所 T.N.O (Royal Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) に依頼し、こちらのミクロンセパレーター MS-1 型と Mikroplex 132 MP を同所に 2 台並設し、同一原料ドロマイト、クレー、について分級性能の比較が行なわれました。その結論は公的機関のことですから控え目にいわれていますが、① 10 μ 以下の超微粉分級に関しては両者同等である。20 μ cut より粗い分級では細川製が優る。何となれば Mikroplex 132 MP は 3~15 μ 分級用に設計されているので 20 μ では調節困難である。② 摩耗性原料、例えばシリカ、石英を含む粉体の分級には Mikroplex は絶対に薦められない。③ カオリン、軽質炭カルの如き強凝集性の粉末には Mikroplex は薦められない。この点細川のミクロンセパレーターは、解凝集作用があり、分級性能は優れる。と報告されました。この結果から Nautamix N.V 社は細川ミクロンセパレーターの技術導入に調印し、積極的に製造、販売の努力を払いました。

Timm :

却々面白いですね。確かにミクロンセパレーターは P.M.D 社としても最も関心を持ち、期待している機種です。最近まで社内テスト、カタログ作成 代理店への PR 本年秋の New York Chemical Show への出品等で積極的に販売体勢が作られ、既に何台かが売れ、Repeat order がある位ですから、今後順調に発展していくものと思われまふ。P.M.D 社としてもアクセサリーが多いので受駐金額が全体として大きく有望機種と考えています。取扱いが楽なので代理店も力を入れてくれます。ついでにフロートロンは現在の所、量産体勢にないので、折角の便利なものが高つく悩みがあります。設計をかえて Rotary valve より格安になればと検討しています。話しは変わりますが、日本人、殊に細川の皆様の研究開発のテンポの早さは素晴らしいですね。前回来日した時何にもなかった機械がチャンと出来上っているその速度には、感心しますね。我々も貴社との提携を非常に成功だと確信しています。

松山 :

ミクロンウルトラシフターや造粒技術、ブリッジブレーカーのことと思います。今後共宜しく仲良くやりましょう。

○ホソカワ・マイクロ・パルスエアー集塵機

松山 :

ではパルスエアーについて皆様の質問を願います。



丹 羽

丹羽 :

米国で開発以来何台位売れていますか。またその主要な販路は、

Timm :

大体 3,000 台以上は出ています。化学工業、医薬品、食品工業が最も多く、セメント、窯業方面には大型機がドンドン進出しています。

米国でも販売台数の最も大きい Bag Filter です。シエーキング型のバッグフィルターとよく競合しますが、性能が良いので高くついてもパルスエアーを指定される会社が増えつつあります。

丹羽 :

米国から技術導入している日本の会社の指定バッグフィルターはほとんどがパルスエアーですね。この点営業部長として非常に助かっています。

森本 :

パルスエアー集塵機において粉塵濃度と圧力損失の関係を説明して下さい。

Timm :

圧力損失 ΔP と汚過速度 $F m^3/m^2/min$ の関係は

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{F_2}{F_1} \right)^{1.5}$$

この式はパルスエアーの容量決定に有用です。パルスエアーの ΔP と粉塵濃度の関係はこちらのカタログに示されている如く、ある程度以上の濃度では F 値は余り変らぬ、この範囲で汚過速度を決定すれば少々の流量変化、粉塵濃度変化があつても性能は変らぬ。F 値が過大であると不安定である。だから先方の集塵条件をよく掴んで総合的判断を下すべきである。

Timm :

酸化鉄、クロームグリーン、クロームイエローは粒子の細さは同程度であるが、酸化鉄とクロームグリーンは $F=3\sim4 ft/min$ が必要なるに対して、クロームイエローでは $F=5\sim6 ft/min$ とれる。これは粒子の形状の影響である。他の例とし澱粉では粒子は球に近く滲出 (Seepage) し易く、汚布の清浄空気側に粒子がしみ出て来る。このような場合を防ぐ為に H.C.E. 処理とか F を低くすることが行なわれる。圧力損失の max としては逆洗滌のパルス圧がフエルトに加える最大の静圧が限界で、例えばバッグにかかる汚過抵抗圧が水柱 10" 以上もかかるとジェットの清掃効果は充分発揮されない。これ以上の汚過抵抗がかかると、急速に圧損が上昇

しだす。この場合には、汙過を止めて、パルスの清掃のみを数時間行なうとか、袋を外して真空掃除器をかけ脱塵するとか、袋を洗濯するとか、または新品の袋にかえる等の方法を講ずる。我々の実験室で6 atゲージの空気圧で6 ft型バッグにairjetを噴射した時の静圧分布を測定した。バッグフィルターの頂部、開放端より24"の間に+4"~-2"の瞬間静圧を呈し、これより下部は+10" H₂Oの静圧が均一に分布することが観察された。他の長さのBagについても同様テストを行い、4 ft, 6 ft, 8 ft型が実用的であることを知った。これ以上では瞬間静圧も低く、且つベンチュリー部の流体抵抗が増えて、実用的でない。



横山

した。

(以下 16mm フィルム映写)

用いた粉末はセメント粉末で、汙布はウールフェルトである。フィルムで見られる如く、airjet噴射の圧力波がBagを局部的に膨まし、収縮し、ショックを与えて粉塵を払い落しつつバッグ下端まで進行し、そこで反転した後バッグ上端にまで往復する。このためにバッグの取付け基部(ベンチュリー管周囲)の汙布の清掃も充分に行われ、汙布全体が有効に汙過にさずかることが理解されよう*。

(註* このフィルムはP.M.D社より供与され、細川鉄工所営業本部に整備されている。パルスエアー集塵機の清掃機構を具体的に観察するに好適であり、一見をお薦めする。)

松山:

真に興味あり、価値あるフィルムを有難う。ハーシー型 Reversejet の逆洗滌リングの往復の原理が、Pulsaire では流体力学的な airjet で、目にも止らぬ速さで行われていることが宜く分かりました。正に百聞は一見に



森本

横山:

静圧分布が不均一なためにBag全体が清掃にあづからぬということはありませんか。

Timm:

始め我々もそれを懸念し、毎秒4,000 駒の高速撮影をとり、結局 Cleaning action の均一さを確認

した。

(以下 16mm フィルム映写)

用いた粉末はセメント粉末で、汙布はウールフェルトである。フィルムで見られる如く、airjet噴射の圧力波がBagを局部的に膨まし、収縮し、ショックを与えて粉塵を払い落しつつバッグ下端まで進行し、そこで反転した後バッグ上端にまで往復する。このためにバッグの取付け基部(ベンチュリー管周囲)の汙布の清掃も充分に行われ、汙布全体が有効に汙過にさずかることが理解されよう*。

(註* このフィルムはP.M.D社より供与され、細川鉄工所営業本部に整備されている。パルスエアー集塵機の清掃機構を具体的に観察するに好適であり、一見をお薦めする。)

松山:

真に興味あり、価値あるフィルムを有難う。ハーシー型 Reversejet の逆洗滌リングの往復の原理が、Pulsaire では流体力学的な airjet で、目にも止らぬ速さで行われていることが宜く分かりました。正に百聞は一見に

しかずですね。

森本:

バッグ材質の選定基準を確認したいのですが。

Timm:

標準としてはウールフェルトで、安価で強度もあり、許容温度内では性能が余り変化しない。但

しガスまたは粉体がアルカリ性では適当でない。ウールは 180°F (82°C) までです。オーロンは 250°F (120°C) まででダクロン程の強度はありません。ダクロンは 275°F (135°C) まででより以上の高温や、高湿度には適しません。米国の販売実績ではウールフェルト90%、オーロン・ダクロン9%、織布1%位です。

丹羽:

日本のユーザーは却々注文が難しく、ウール50%、テトロン等化繊のフェルトが、50%位ですか。

Timm:

それは意外ですね。ウールに比べて高価なテトロンが売れるとは、

横山:

静電気を考えた場合、Bagの材質はどう選定しますか。

Timm:

フェノールレジン粉碎用にマイクロ・アトマイザーを納入した例では、低融点物質粉碎するために3~5°Cの冷風を用いるので湿度は低く、粉砕機よりの排気は25~30°Cで静電気発生に最適条件となつた。このためパルスエアー集塵機は能力不足となり、汙過速度が半減してもまだ不足で、結局ウールフェルトの代りにコットンサテンを用いて解決した。帯電能はウールを+10とすれば、サテンは+5である。ダクロンは-10なる故、これは近く試みるつもりだ。その他私の経験から正に帯電し易い粉塵には正に帯電するBagを、負には負の帯電のBagを使用するのが正しいと思つている。

尚ここに示す Harvard air cleaning Labs の静電気放電のテストによれば、相対湿度が80%以上であれば集塵Bagに対する静電気の問題は殆どないと見て宜い。



谷口

谷口:

コンプレッサーの圧力とバッグ圧損の関係はどうか。

Timm:

勿論コンプレッサーの圧力が高い程、洗滌効果は大きく、汙過圧力損失は下がる。パルスエアーを

納入してもし圧損が高い時は、先づコンプレッサーの圧力を調べる。ある場合には配管が長くて、電磁弁入口で60lbs/in²にまで低下しているとつた極端な場合がある。その次にインターバル(噴射間隔)を短くする。それで尚且つ圧力損失が高い時はコンプレッサー圧力を125lbs/in²にまで上げる。これは電磁弁が確実に作動する最高圧である。最低圧はバルブ入口で60lbs/in²ノズル出口で35lbs/in²が必要である。

丹羽：

噴射インターバルとバッグ圧損の関係は？

Timm：

インターバルの短い程、圧力損失は低い。掃除効果のあるのは噴射開始してからの数マイクロ秒の圧力波が有効で、噴射時間（duration）を長くしても効果は少く、マイナーアジャストと考えて宜い。噴射空気量と汚過空気量の比の標準として 1/250 である。

丹羽：

最近の傾向としてシェーキング型バッグフィルターとの競合が一段と激しい。米国ではどうですか。

Timm：

パルスエアー型はシェーキング型に比べて高価なのは米国でも同様である。しかし大型では有利であり、更に決定的性能の優位は、① パルスエアーは集塵効率が一桁高いことである。高価な医薬品、化学薬品の場合は高集塵率で捕集されるので、この価値のみでも充分他機との競争に克てる。② パルスエアーの圧力損失の均一さは空気輸送、乾燥機等に用いる時に有利である。③ 保守、整備の簡単、安価なことは米国の如き労働事情の下では大きな merit である。④ パルスエアー排気がそのまま室内に放出できるのは見逃せない。冷暖房、エア・コンデショニングの工場では大切である。⑤ 小型化が可能で、汚過速度はシェーキング型の 4 倍である。

丹羽：

今いわれたことは思い当る。例えば某医薬品工場の除塵に用いて、高価な原料を回収し、3カ月で機械の購入価格を償却し、以後は業績にプラスになり、納入先より非常に感謝された。

松山：

高温用 Bag 材質としてアラジン、テトロン、ガラス繊維の三者の将来はどう考えているか。

Tmmi：

ガラス繊維は強度が余りに小さく、余程取扱いに注意せねばならぬ。カーボンブラック高温集塵用にアラジン汚布を用いたパルスエアーが相当大量に受注している。これはガラス繊維バッグであれば、設備が完成してノルマル運転に入るまでに、いつも相当期間のトラブルが必要であるからである。この点アラジンは信頼性があり、始めからクレームがないことに客先が惚れたためである。デュボンのテフロンバッグはアラジン価格の 2 倍以上で強度も充分とはいえぬ。P.M.D としては高温用バッグとしてアラジン汚布を最高のものとしており、この価格がガラス繊維並みになれば、これに勝る高温用汚布（250°C まで）はないと確信している。現在尚メーカーと協力して改良を進めており、期待してほしい。

○ホソカワ・マイクロ・パルベライザー

松山：

次にパルベライザーに移りますが、最初に設計、製造について谷口さんからどうぞ。

谷口：

パルベライザー用スクリーンの開孔率は P.M.D ではどのように規格していますか。

Timm：

原則として開孔率の最大を選ぶ。例えばバンタムミルの粉碎テストで 0.7% の丸孔スクリーンを用いて砂糖を砕料としてスクリーンの大きさによる粉碎能力を追求してみた。その結果スクリーンの 60% を、盲にしてもそれほど性能が変らなかつた。しかし我々は強度の許す限り開孔度の高いものを用いることにしている。

横山：

S 型パルベライザーでポリエチレンを粉碎する時の経験では粉碎能力と開孔率は大凡比例した。特に粉碎が難しいためでもあろうが。

松山：

粉碎機の粉碎能力を決定する段階が、粉碎速度にあるか、節分け速度にあるかの差ではないですか。ポリエチレンの如き場合は粉碎が難しいので、スクリーン目ずれの粒大のものが沢山でき、斯かる場合には粉碎能力はスクリーン面積に比例すると思われます。

Timm：

砂糖とポリエチレンでは材料の物理性が異なるために直接比較は難しい。AP-2 型では 0.6% ヘリングボーン型スクリーン、10 HP で 3600 lbs の水を 1 時間に through させるので、これがこの型の処理しうる最大容量と考えている。同じく AP-4 型で 0.7% 丸孔スクリーン、125 HP で、max 33000 lbs/hr が max である。

谷口：

AP-3 型、4 型の如く大型機では少しぜいたくな位高級なベアリングを使用していますね。

Timm：

設計理論より見て余裕のあるものですが、結局この方が顧客に喜ばれます。特殊品なので入手難しいかも知れませんが。

谷口：

メタルの水冷、ジャケットの水冷が必要なことがありましたか。

Timm：

粉碎機の据付け環境が熱くて、特にメタルの冷却を要する場合はとも角、一般には環境温度 +40°C 以内におさまるはずですからメタルの水冷は殆んど行なつていま

せん、外部よりメタルを冷すことはベアリングの保守上よくありません。必要なら潤滑オイルそのものを循環冷却しスプレーすべきでしょう。またジャケットの水冷は客が指定される時以外はやらない。粉碎室の冷却が必要な時は冷風を通す方が直接であり、有効で、水冷ジャケットによる冷却は気やすめ程度と考えてよい。

横山：

パルペライザー同転数の考え方の基準はどうか。

Timm：

トップ回転数は微粉碎用である。粒度がそれほど細かく要求されない時は、トップ回転数の80%が標準である。ミルの摩耗に関連してのべれば、回転数は低いほどよい。

ところでこちらでは硫黄の超微粉碎の経験がありますか。

松山：

スーパーミクロンミルで可能であるが、工業的生産を計画した会社も数社ありましたが、何れも爆発対策で行き詰つた。酸素会社等で排ガスをいれれば、決して難事ではないと思う。この場合超微粉 -10μ 品のみを得るにはミクロンセパレーターが必要である。

Timm：

硫黄の融点が 120°C であるがどうか。

松山：

ミクロンセパレーターを用いるのでこの心配はない。最近ある会社はパルペライザー AP-3 型とミクロンセパレーター MS-3 型を Closed circuit して、ココアの微粉碎を行なつて -200 メッシュを得ている。脂肪分は20%以上あり、しかも冷風を用いずに連続的に粉碎可能である。

Timm：

それは素晴らしい、米国では 5°C 以下の冷風を用いぬと粉碎できぬとされている。ミクロンセパレーターの応用を期待している。砂糖の粉碎はどうか。

松山：

日本では製糖業者が微粉碎砂糖を作らず、製菓、食品業者は、自家用に微粉碎している。これは湿度の関係と思うが、今後製糖業者が微粉碎砂糖を出す時代が来ると思う。最近飼料メーカーが微粉碎に関心をもっている。

最近の食品関係の雑誌で、米国で液体窒素を用いた冷凍粉碎 (Cryomill Process) が香料、スパイス等の低温粉碎 (-70°C) を行なつて評判がよいと聞くが、この粉碎機は何ですか。

Timm：

P.M.D 社のマイクロ・パルペライザーで、各機種が使われている。スクリュウコンベヤーの適当位置に液体窒素の注入弁があり、輸送中の原料に液体窒素を混入予冷した後、標準型パルペライザーで粉碎する。それほど困難な技術ではない。

丹羽：

粉碎機のスクリュウフィーダーコントロールにマイクロ・モニターが使われるが、米国で沢山売られていますか。

Timm：

直接営業にタッチしていないので台数はしらぬが相当出ているはずだ。今後尚発展すると予想している。

横山：

こちらでのテストはフロートロンにマイクロモニターを組み合わせるのが最も良いフィーダーであることが分りました。モーターの電流を検出してフロートロン電流を加減しうる。フロートロンはスクリュウフィーダーの如く慣性がないので、それこそ厳密な供給量コントロールができます。

松山：

大変長時間色々と教示され、厚くお礼申し上げます。今後共日本、米国の粉体技術を交換し合つて、お互の成績向上、ひいては産業界に一層の貢献を尽くしたいと念願します。帰国されましたら貴社の皆様によるしく、

ホソカワ50年略史

創業——ミクロンミルの発明——粉碎機の ホソカワとしての基礎確立

細川鉄工所は大正5年4月18日、故会長細川永一氏が大阪市西区本田町3丁目に鉄工所を自営し、粉碎機の研究に着手したのに創る。

大正初期の我国機械工業は未だ幼稚で、殊に化学工業機械の発達は非常に低く、微粉碎機は殆んど全て輸入に頼っている状態であつた。然しその輸入機械すらも性能、効率の点で未だ不十分で、業界の要望に応える優秀な微粉碎機は、皆無といつてもよかつた。しかも当時、既に優秀な微粉碎機を要望する業界はかなり広く、殊に化粧品用原料の粉碎の分野、並に蓄電池用鉛粉の製造部門における要望は非常に大であつた。

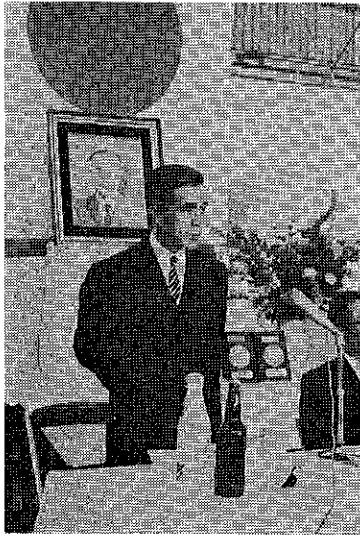


Photo 1 細川益男社長創立50周年
記念式典にて

夙に粉碎機の社会的重要性に着目した細川永一氏は優秀な微粉碎機の発明こそ自己の使命であるとの確信を以て鉄工所を営む傍ら、微粉碎機の研究に没頭すること十数年に及んだのである。その間、不幸にして昭和3年8月、工場は類焼により全焼したが、微粉碎機の研究に深い関心を寄せる桃谷順天館の要望に従い、同社近くの大阪市港区高尾町2丁目に工場を建築して事業と研究を続け、その結果昭和5年、遂に我国初めての微粉碎機ミク

ロンミルを完成して、その1号機を桃谷順天館化粧品工場に納入した。

その後も研究改良を続け、微粉碎機ミクロンミルは蓄電池並に塗料用の鉛粉製造用としてその真価を発揮し、更に炭酸カルシウム製造用、農薬B・H・C製造用その他凡ゆる化学工業部門に進出し業界に於て今日の地歩を確立したのである。

その間、工場を昭和4年3月、合資会社細川鉄工所に改組、更に昭和24年8月、株式組織に変更し再度の増資を経て現在に至っている。尚昭和32年4月には東京支店を設立し販売態勢の強化充実をはかった。

細川永一氏が永年に亘る苦心研究の結果発明したミクロンミルの出現によつて、従来困難とされていた低融点物質、あるいは附着性物質の微粉碎も殆んど完全に達成

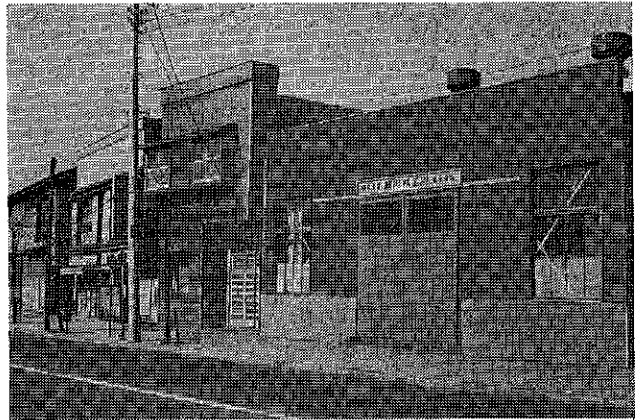


Photo 2 東京支店

されるようになり、近代化学工業の発展に莫大な寄与をなしたのである。氏のこのような発明功績に対し、昭和32年10月、発明者の最高の栄誉である紫綬褒章が授与されたことは蓋し当然のことであろう。

細川粉体工学研究所の設立——粉体技術 のホソカワとしての貢献

微粉碎機ミクロンミルを基幹として年々新製品の研究開発を続け、各種粉碎機、分級機、篩分機、混合機、乳化機、乾燥機、集塵装置その他粉体化学機械装置一般の専門メーカーとして独自の地位を確立したが、粉体に関する科学—粉体工学—は比較的新しい分野で、学門的に

もまた実際上も未解明の問題が数多く存在し、而も飛躍的な化学工業の進歩は絶えず新しい物質或は製造方法の変化をもたらし、それに応えるため粉体工学の分野における進歩発達が不可欠のものとなつて来た。

このような時代の要請に沿つて、細川永一氏が昭和32年の紫綬褒章受賞を記念し、粉体工学の開発を通じて世界の産業に貢献すべく、翌昭和33年9月、会社とは独立の機関として細川粉体工学研究所を設立したのである。

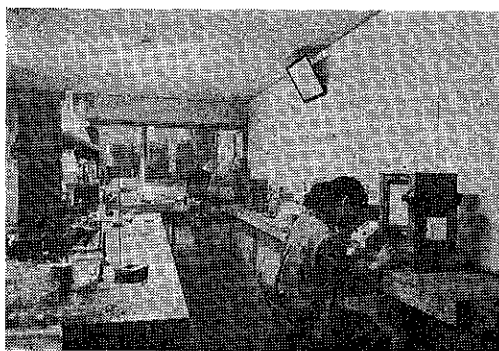


Photo 3 細川粉体工学研究所測定室

それは粉体工学に関する我国唯一の学術研究所として、権威ある顧問陣の協力のもと、研究開発に幾多の優れた成果を挙げている。同所が定期刊行している機関誌“粉碎”は粉体工学に関する基礎的な理論から最新の技術紹介まで、その内容の卓抜豊富なことで、国内は勿論アメリカ、ヨーロッパからも絶大な賞讃を受けている。細川永一氏のミクロンミル発明に始まる当社及び細川粉体工学研究所のたゆまぬ研究の跡は、次の通り数々の特許、表彰となつて輝いている。

特 許

国内登録特許権 (19件) 国内登録実用新案権 (10件) 外国登録特許権 (アメリカ 3 イギリス 3 カナダ 2 ドイツ 1 フランス 3 スイス 2 合計 14 件)

出願中のもの 国内特許権15件 外国特許権 (ドイツ) 2件 国内実用新案権 5件

表 彰

細川 永一氏

- (1) 昭和29年度近畿地方発明特賞
- (2) 昭和30年度特許制度実施70周年記念大阪府発明功績賞
- (3) 昭和30年度特許制度実施70周年記念全国表彰発明賞
- (4) 昭和32年高性能微粉碎機の発明に対し紫綬褒章受賞
- (5) 生前の功績に対し昭和39年4月従五位勲四等瑞宝章受章

細川 益男氏

- (1) 昭和39年度大阪府優秀発明表彰
- (2) 昭和39年度近畿地方発明表彰特賞
- (3) 昭和40年度全国発明表彰特賞

海外との技術交換——世界のホソカワえの躍進

現社長細川益男氏は“島国根性を捨てて世界を相手にしなければならぬ”という積極進取の観点にたつて早くから海外市場を視察調査したが、その結果当社の技術は

欧米先進国のそれに優るとも劣るものでないことを確信し、独自の立場で輸出の増大をはかつたのである。

英国の親日家 G. S. セール氏は当社製品の優秀性を深く認識し、昭和34年12月欧州販売総代理店として当社と合併でホソカワインターナショナル社を設立した。(スイスに本社を置きロンドンに事務所及び展示実験室を設置し活発な販売活動を行なっている)

また昭和37年1月には米国の世界的に有名な粉碎機及び

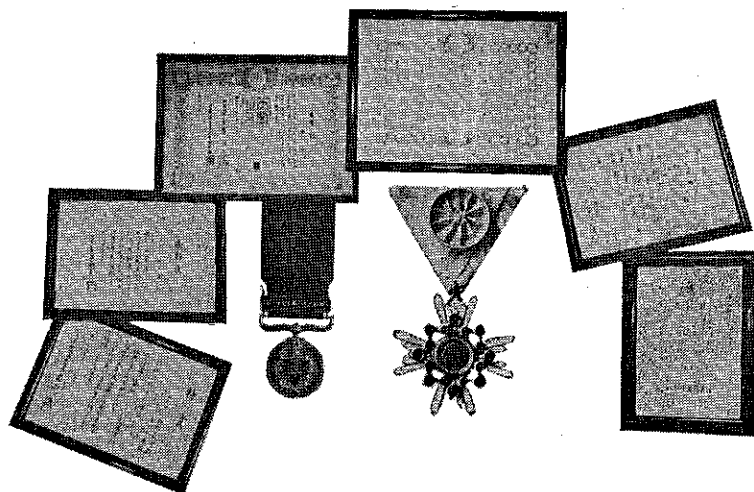


Photo 4

集塵機メーカーである P. M. D 社と技術提携契約を結び、同社の粉碎機並に集塵機の日本での製造販売ライセンスを得た。この技術提携を契機に、粉碎機については住友商事㈱、集塵機については神鋼商事㈱が当社の総代理店となつて強力に販売活動を推進している。

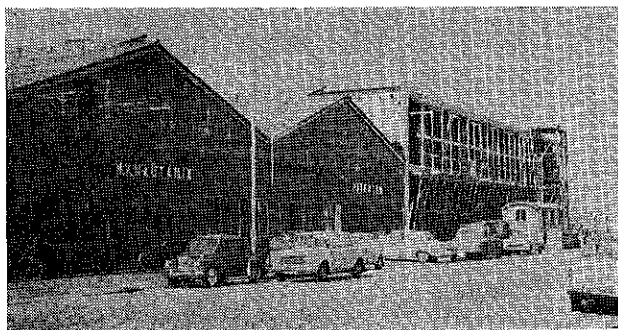


Photo 5 オランダ ナウタ社

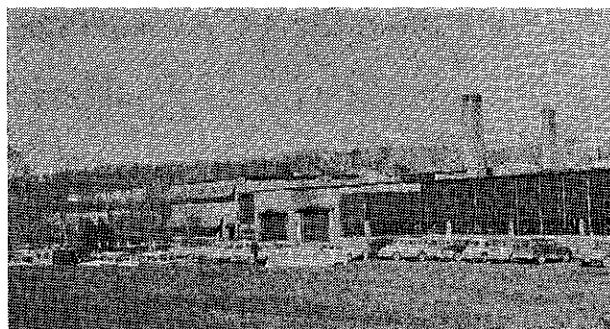


Photo 6 米国 P. M. D 社

引続き昭和38年5月に P. M. D 社への技術輸出契約が成立し、当社の超微粉碎機スーパーミクロンミル、分級機ミクロンセパレーターの米国での製造販売ライセンスを与えた。更に続いて昭和38年7月には混合機の著名なメーカーであるオランダのナウタミックス社との間に技術交換契約が成立し、ナウタ社の混合機と当社の分級機との製造販売ライセンスを対等の条件で交換することになった。

P. M. D 社及びナウタ社に於ても当社製品の販売については積極的に活動を開始し、着々と成果を挙げつつある。一方当社の海外代理店も逐次拡充の一途をたどり、現在では30カ国、12社に達し、輸出実績は絶対額、比率とも年々上昇の線をたどっている。

かくして当社は今や粉体化学機械の専門メーカーとして、国内はもとより世界に於て独自の地歩を占むに至つたのである。

この間、営業規模の拡大に伴い、従来の工場設備では狭隘かつ旧式となつたので、昭和35年10月本社工場、同37年12月に研究所、翌38年4月には第二工場を新築し、生産並びに研究面の拡充強化を計つたのであるが、内外にわたる飛躍的な発展に対応するため更に設備拡張の必要に迫られ、大阪府造成の“枚方企業団地”に工場用地5,100坪、住宅用地1,500坪を獲得し、41年度より新工場の建設を予定している。

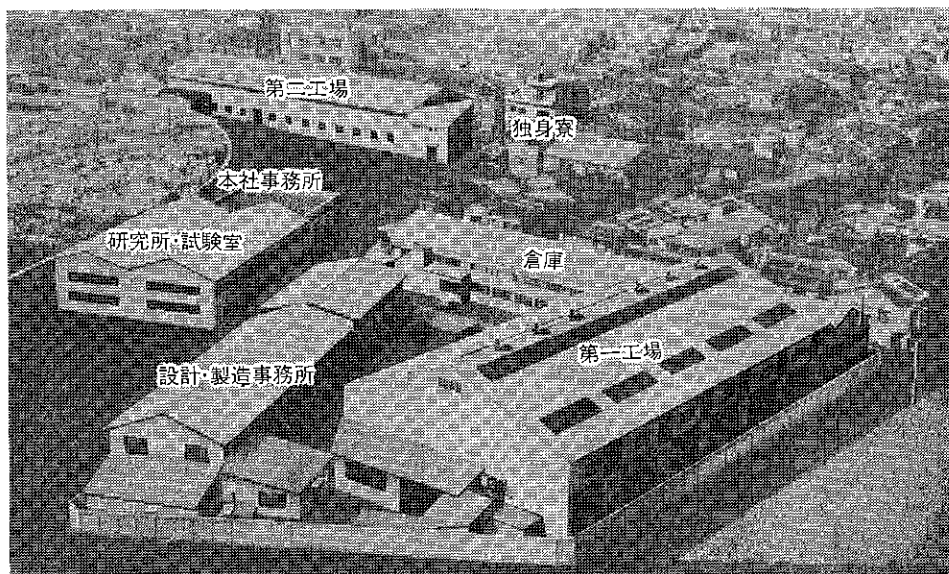


Photo 7 細川鉄工所全景

最近の興味あるテスト例

細川鉄工所営業部技術課

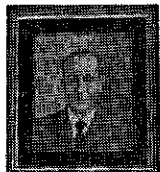
1965年度内に本社試験室では600件近くのテストを行いました。その中から興味あるテスト例を、30件程、さがし、次に記述しましたが、利害関係を考え記述は抽象的なものとなりました。

原 料 名	目的又は希望事項	使 用 機 械	テ ス ト 所 見
石 炭	特殊塗料用	スーパーミクロンミル	磨耗は比較的少い
石 灰 石	200メッシュパス	ホソカワ／マイクロパルベライザー＋ミクロンセパレーター	能 力 大
アルカリセルローズ	綿状とする	アイスクラッシャー＋ホソカワ／マイクロパルベライザー	アイスクラッシャーはアルセルの供給破砕機として好適
石膏ボード	紙と石膏の分離	ハンマーミル＋ミクロンシフター	分離良好、石膏は微粉碎の要あり
無水フマル酸	325 mesh pass	スーパーミクロンミル＋ミクロンセパレーター	
テフロン	球状のものを糸状にする	スーパーミクロンミル	熱ガス伴用の方が良い
大豆 粕	食料用 30μ 以下	スーパーミクロンミル	粒度その他良好
プラスチック反応残渣	溶解を促進させる為解砕	アイスクラッシャー	水を加えると良い
チ ー ズ	粉チーズとする	フエザーミル	良 好
ブドー糖	フレーク状のものを粉にする	フエザーミル	30メッシュ80%位なら可
トーモロコシ	飼 料 用	ホソカワ／マイクロパルベライザー	60メッシュパス品及ぶ30メッシュ品を能率良く得る事が出来る
魚 粉	"	"	
ウイスキー粕	"	"	
アルミ箱	切りくづを粉碎し、かさを減らす	ハンマーミル	
ナフタリン	30メッシュパス	ホソカワ／マイクロパルベライザー	
パ ル プ	短繊維に解砕する	特殊ハンマーミル＋ホソカワ／マイクロパルベライザー	製品は綿状となる
フライアッシュ	粗大粒の除去、セメント用	ミクロンセパレーター	能力大きく、生産規模へのスケールアップ容易
カーボランダム	整粒 10μ 範囲程度で分粒	"	分級効率が大変良い、磨耗に注意
ウラン鉱＋硫酸	ウラン抽出の為の混合	ナウタミキサー	良 好
ゼラチン	ロット調整	"	"
粉末ジュース	各種原料の混合	"	"
C M C	75%水分を10%にする	ミクロンドライヤー	粉碎を少く乾燥する
P V A	水分60%を10%にする	"	結 果 良 好
コ コ ア	水分18%のものを出来るだけ少くし、細かく粉碎する	"	" 200メッシュ50%以上
メチオニン	水分38%のものを0.2%以下に	"	"
染 料	水分40～60%のものを1%以下に水分57%のものを4%以下に20μ 以下とする	"	"
酵 素	アスベスト用	ミクロンインパクトター	製品粒度40メッシュ95%
グラニュー糖	粗粉の除去 スクリーン100メッシュ	"	空気が冷却作用をなし能力大
石 灰 石	粗粉の除去 スクリーン100メッシュ	ミクロンウルトラシフター	能 力 大
アルミ酸化物	粗粉の除去 スクリーン300メッシュ	"	フルイ分け効率95%、700kg/hr 処理良好
酸化水銀	粗粉の除去 スクリーン300メッシュ	"	結 果 良 好
カ レ ー	粗粒油分 (25φmax) の解砕	"	解砕としての応用、結果良好
含水ブドー糖	100メッシュのフルイ分け	"	結 果 良 好

ホソカワ ニュース

☆ 故細川永一会長一周忌法要

(昭40.4.23)



故細川永一会長

一周忌法要は、4月23日午後1時より第二工場において厳肅に執り行なわれ、故会長の業績を再び社員一同の胸に思い起し、故会長の遺徳を忍んだ。



記念植樹

☆ 創立50周年記念式典 (昭40.4.28)

創立50周年記念式典は、国内国外より多数の来賓を迎え、第二工場において盛大に挙行された。この記念式典にのぞみ米国のP.M.D社、英国ホソカワインターナショナル、オランダのナウタ社等から記念品の贈呈があり細川の技術とともに歴史をも海外の人々の心に銘記されているひとときまであつた。そして社員一同心からバンザイを三唱した。その後恒例の通り優良社員、永年勤続社員、皆勤精勤社員の表彰が行なわれ、社員一同世界へとのびる細川の名を心に秘めつつなごやかなうちに記念式典は無事終つた。その後、新大阪ホテルにおいて創立50周年記念祝賀パーティーが催され、50周年を祝う国内国外の来客278名の多数を迎えた。そのうち学界関係12名、海外関係では、米国のP.M.D社技術部長 E. L. ティム氏、英国ホソカワインターナショナル代表者 G. S. セール氏、オランダのナウタ社社長 C. T. ナウタ氏はじめ、ホンコン、オーストラリア、台湾等より11名を迎えるということは、この細川鉄工所の特徴を示す顔おれといえよう。



記念式典風景



新大阪ホテルにおいて



パーティーでの歓談

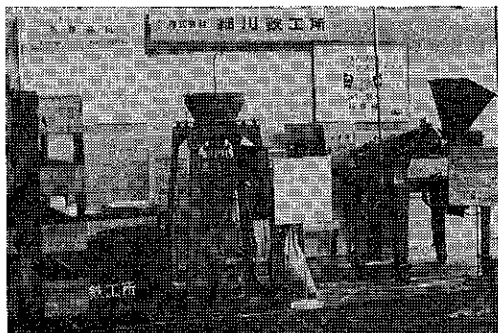
☆ 第6回岡山県近代工業機械展

主催：岡山県岡山市岡山工業会、日刊工業新聞社

会期：昭40. 4. 10～4. 15（6日間）

会場：岡山市 岡山県営体育館

小間：A 2小間 住友商事と協力、共同出品



出品機種 ホソカワ／マイクロパルペライザー 1型、
パンタムミル、マイクロモニター、フロート
ロン

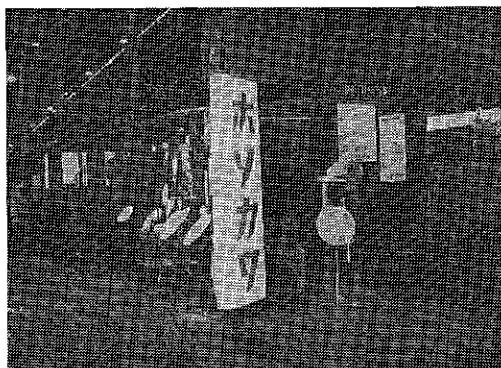
☆ 第6回東京国際見本市

会場：東京都 晴海見本市会場

会期：昭40. 4. 16～5. 6（21日間）

小間：大阪化学プラント協会共同小間（4小間）

住友商事小間（1部出品）神鋼商事小間（一部出品）



出品機種：スーパーミクロンミル、ミクロンセパレーター
1型、パルペライザー 2型、パルスエアー
P20A-6、ナウターミキサー 1型、S型、ウ
ルトラシフター 1型、フロートロン 2型、パ
ンタムミル、パルペライザー 3型（住友商事
小間）ディスパーミル、パルスエアー（神鋼
商事小間）

☆ 兵庫県公害防止展

主催：兵庫県、神戸、神戸新聞社、大阪通産局

会期：昭40. 11. 24～11. 30（7日間）

会場：神戸市三宮交通センタービル 3階

小間：1小間

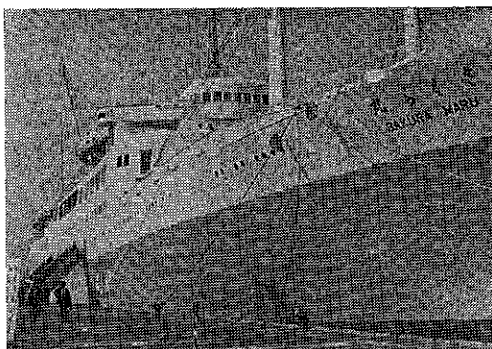
出品機種：パルスエアー P12A-4 ビンマウント型】

☆ 細川益男社長、松山卓蔵研究所長 表彰さる！

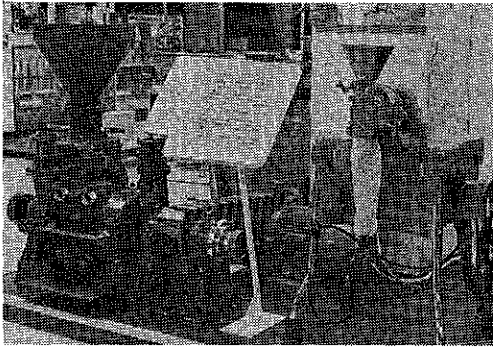
ミクロンセパレーターに関して、昭和39年近畿地方発
明賞を贈られたが、このたび全国発明賞を発明協会より
細川社長と松山研究所長に贈られた。このミクロンセパ
レーターは、世界的に認められている分級機で輸出にも
大いに活躍している。



☆ 第6回巡航船見本市



巡航船さくら丸



期 間 昭和40年10月下旬～昭和41年3月上旬
 会 場 さくら丸
 訪問先 東南アジア諸国
 出品機種 スーパー・ミクロンミル5.2型、サンプルミル

海外関係ニュース

☆ 海 外 派 遣

永らく英国ホソカワインターナショナル、米国 P.M.D 社で活躍し、英米の関係会社にて、勤勉な日本青年として人気のあつた佐藤功君が帰国し、かわつて今度は弱冠19才の岩戸君が単身米国 P.M.D 社へ5年間の計画で出向した。彼は昭和40年7月22日出発しつきそいとして同伴した佐藤君は10月2日帰国し現在当社貿易部で活躍中である。岩戸君は現在 P.M.D 社試験室に勤務しているが、佐藤君と同様彼の地であつてホソカワの名を揚げることであろう。なお英国ホソカワインターナショナルには増田君が引きつづき滞在中で世界の細川の名を若き手で揚げんと努力している。

☆ 森本営業技術課長（代）セイロンへ出張

(昭和40.10.12～11.16)

カハタガヤマインズ社黒鉛粉砕プラント据付指導の目的のため上記期間セイロンへ出張。なお粉砕プラントはスーパーミクロンミルを粉砕機とする当社自慢のプラントである。

☆ 間島貿易部長、韓国訪問

(昭和40.7.19～8.3)

金星貿易会社との代理店契約、および販売推進のために韓国へ出張。

編 集 後 記

☆11号の発行が大変遅くなりましたことをお詫び申し上げます。

☆熱心な読者諸兄から、10号まで送られて来たものがそれ以後送られて来なくなつた。是非、続けて読みたいので至急送つて欲しいとの連絡を受け、その度に編集部大変恐縮致しました。

☆また、御寄稿いただきました先生方には大変長い間原稿をお預り致しまして申し訳ありません。

☆今後は発行時期を遅らせないよう編集部一同最大限の努力を致すつもりであります。

☆Mecromeritics という専門分野において実際面と結びついた技術誌としてユニークな編集をしたいと思つています。一般読者からの御意見、御希望等お聞かせ下さい。

原 稿 募 集

粉砕12号のための原稿を募集致します。
 粉体に興味をお持ちの方、報文、随筆、文献紹介、資料、その他御自由にお寄せ下さい。
 御一報いただきましたら、原稿用紙お送り致します。

12号発行予定 12月末

原 稿 締 切 10月末

原 稿 料 若 干

≪粉 砕≫ No. 11 1966年 春季号

昭和41年4月1日 印刷

昭和41年4月10日 発行

編集者 鈴木 昭 明
 (非売品) 発行所 細川粉体工学研究所
 大阪市港区三ツ樋町13
 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

粉体化学機械装置

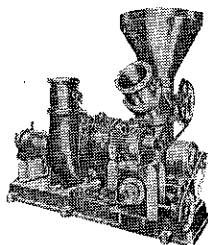
■【特許】超微粉砕機

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砕。
- (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) 粉砕室の2段階合による粉砕効果の増大、その他。

(型式) M52NC, 7.5HP
M202NC, 20～30HP
M502NC, 50～75HP



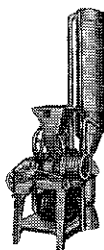
1957年 紫綬褒章受賞
1955年 発明賞受賞
日、米、英、仏、特許

■【特許】小型微粉砕機

ミクロミルMon型 (1HP)

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

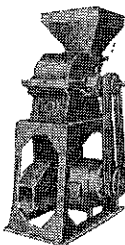
(型式) Mon (1HP)



■粗・中砕機ハンマーミル

- 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)



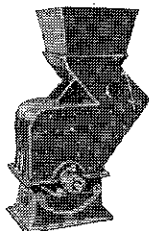
■破・粗砕機

ハンマーブレイカー

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

(型式)

上記ハンマーミルと同様

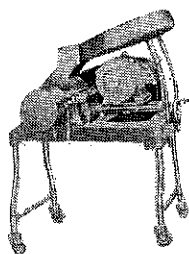


■中砕機

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



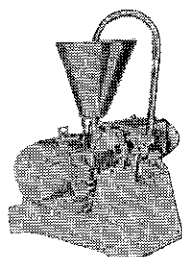
■【特許】湿式ミル

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砕機で。

- 1 固体粒子と液体の混合懸濁及び微粉砕。
- 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.

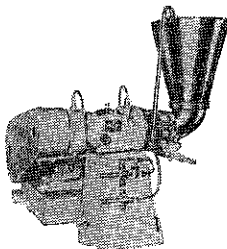


■乳化機 ディスパーミル

- 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)

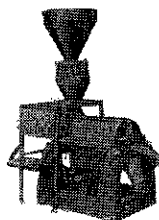
D-2 (7½～10HP)



■【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



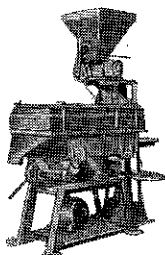
■【特許】篩機

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)

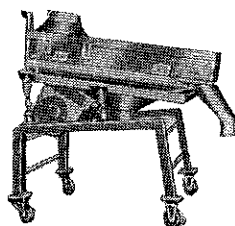


■【特許】篩機

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。

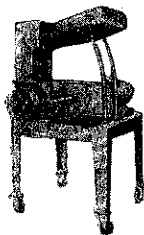
(型式) VSB-1 (¼HP)



■【特許出願中】特殊型粉碎機

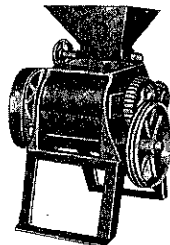
ニューカッターミル

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



■粗碎機 ロールミル

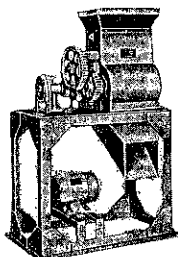
- 1 1/4〜3/4"程度の粗碎40〜80メッシュの中碎用。
- 2 特に水分、油分を含む他種粉碎機には困難なものに便利、粒度の調節自由。
- 3 粉塵が立たず、掃除に便利。
- 4 低速回転で故障少なく安全（型式）2〜20HP



■粗碎機

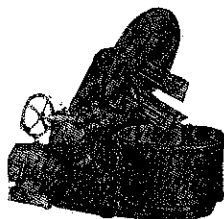
アイスクラッシャー

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



■混合機 ポニーミキサー

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

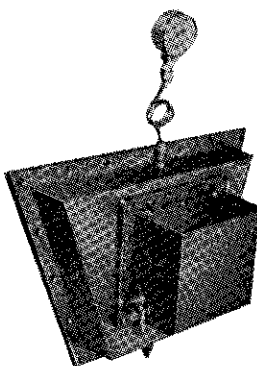


■ブリッジブレイカー

【実用新案出願中】 （粉体架橋現象防止装置）

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

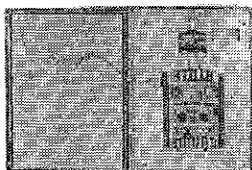
（型式）BB-1型
（噴射面積により3種）



■ホソカワ/マイクロ モニター

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

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

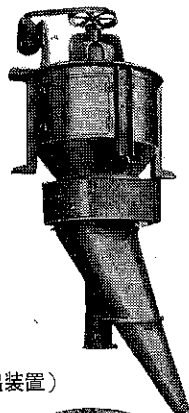


■【特許】分級機

日・米・英・仏・特許
独・加・瑞・特許出願中

ミクロンセパレーター

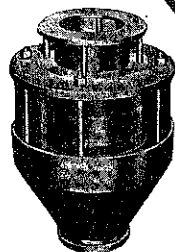
- 1 分級範囲が広い。0.3mmから2μ迄自由。
- 2 分級精度がシャープで回収率が高い。
- 3 構造簡単で運転と調節が容易。
- 4 各種粉碎機への附設が容易（型式）MS-0〜MS-6 各種



■フロートロン（粉粒体供給排出装置）

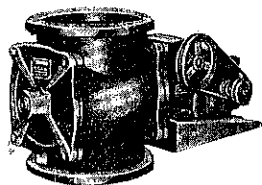
英・仏・特許
日・米・独・特許出願中

- 1 モーターを使用する事なく粉体の供給排出用として珍しい機構を有している。
- 2 簡単な機構で市の広い調節可能。
- 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 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く。
- 3 取扱い簡単。（型式）各種あり

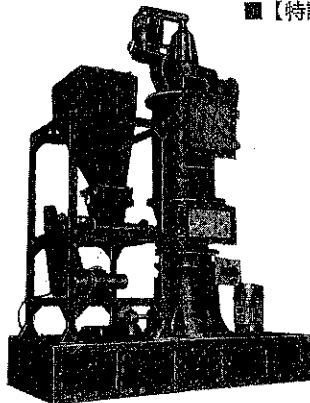


■【特許】粉碎乾燥機

マイクロドライヤー

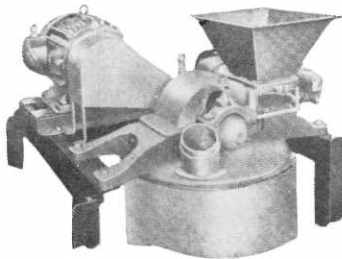
- 1 粉碎、分級、乾燥を一工程で処理。
- 2 卓越した乾燥効率を有し均一な乾燥が出来る。
- 3 極めて大きい能力を有しながら据付面積が小さく簡潔になっている。

（型式）MD-1〜MD-5



粉体工学の
トップコンサルタント

米 国 P.M.D 技 術 提 携
マ イ ク ロ 製 品



■ 微粉碎機 ホソカワ/マイクロ パルペライザー

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

■ 低融点微粉碎機

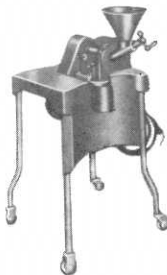
ホソカワ/マイクロ パルペライザー S型

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



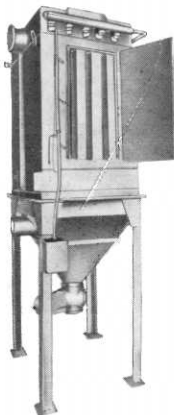
■ 小型微粉碎機 ホソカワ/
マイクロ バンタムミル

- 1 粉塵が立たず組立掃除容易
 - 2 自働フイダー
- (型式) 1 IP (3相)



■ 実験用微粉碎機 ホソカワ/
マイクロ サンプルミル

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



■ ジェット集塵機 ホソカワ/
マイクロ パルスエアー

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

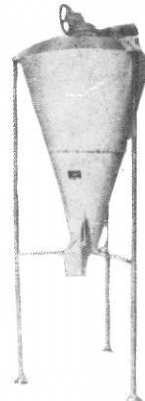
(型式) 12A-6 -20A6 30A-6
48-6 1C1その他各型式

ホソカワ

技術提携製品

オランダナウタ社技術提携

■ 高性能混合機 ホソカワ ナウタミキサー



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

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

■ 複合型混合機 ホソカワ/ナウタ コンビミキサー



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

細川粉体工学研究所試験室の開放、

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

絶えずご需要家のご便益に奉仕し緊密な接触を保てる事が当社の念願であります。

“あらゆる粉碎のご相談は細川へ、”



株式会社 細川鉄工所

大阪府 中小企業設備指定メーカー
愛知県 合理化協機指定メーカー
岡山県 合理化協機指定メーカー

本社・工場 大阪市港区三ツ樋町13番地
電話 (572) 5371 (代表)

東京支店 東京都中野区松ヶ丘町2丁目
電話 (386) 1156 (代表)

細川粉体工学 大阪市港区三ツ樋町13番地
研究所 電話 (572) 5371 (代表)

技術提携製品

ホソカワ/マイワ

マイクロ アトマイザー

マイクロ パルベライザー

マイクロ パルスエアー

米国 P.M.D 社

スーパー ミクロンミル

ミクロン セパレーター

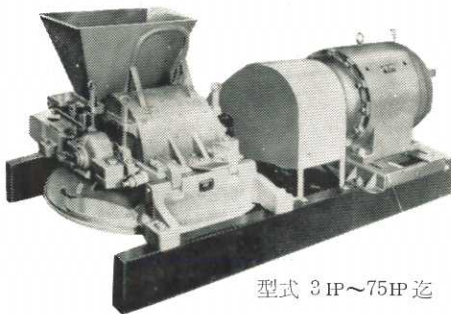
粉体処理専門メーカー

細川鉄工所

微粉碎機

パルベライザー

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



型式 3IP~75HP迄

(詳細お問合せは

本店機械第2部化工機械課まで)

販売総代理店



住友商事株式会社

本店 大阪市東区北浜5丁目15
TEL (203) 1221 (大代表)
支社 東京都千代田区丸の内1丁目8
(211) 0111 (大代表)
支店 名古屋・札幌・福岡・神戸・仙台・横浜・
富山・京都・広島・宇都・高松・八幡・
長崎・新居浜
出張所 室蘭・釜石・新潟・千葉・和歌山・広畑・
岡山・徳山

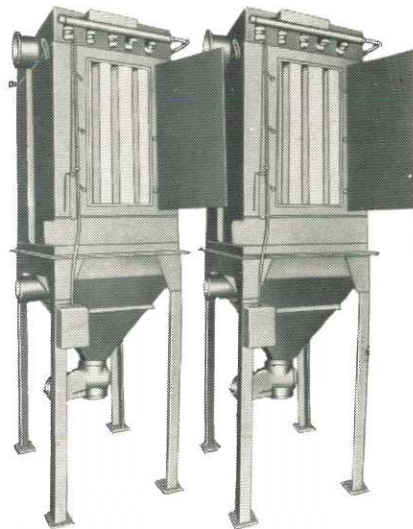
ジェット集塵機

パルスエアー

すばらしいジェットアクションによる完璧な自動清掃機構を備えた集塵機です。

ジェット噴流→渦過面積小、処理風量大
ベンチュリー効果→所要圧縮空気量他種の $\frac{1}{10}$
機械的可動部分なし→寿命半永久的
圧損一定→安全操業

集塵効率 99.99%
型式 $1\text{m}^3/\text{min}$ から無限大迄



(詳細御問合せは神鋼商事機械部迄)

販売総代理店



神鋼商事株式会社

本社 大阪市東区北浜3丁目5
TEL (202) 2231 (大代表)
東京支社 東京都中央区京橋2丁目2
(272) 6451 (代表)
名古屋支店 名古屋市中村区広井町3丁目98
(561) 1271 (大代表)
広島支店 広島市基町7 (28) 2336 (代表)
北九州支店 北九州市小倉区米町151 (52) 5938 (代表)
札幌支店 札幌市大通西5丁目11 (23) 1351・(25) 641
出張所 福岡・呉・富山・新潟・仙台

製造元

株式会社 細川鉄工所

大阪・東京