

新 研

THE MICROMERICS

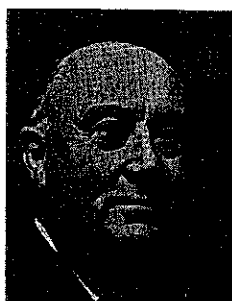
新工場竣工記念号

No. 6

SPRING

1961

細川粉体工学研究所



細川鉄工所と私

(挨拶にかえて)

G. Sale

George S. Sale.

細川鉄工所専務細川益男氏から雑誌「粉碎」に寄稿するよう依頼を受け誠に光栄に存じます。私は書物や雑誌の論文を読む時は何時も著者の資格というものを考慮してその意見にどの程度の価値をおくべきかを判断していますのでこの際、私の簡単な自叙というものを紹介いたします。

私は1896年横浜に生まれました。私の祖父は1880年に家族と共に神戸へやつて来た日本への初期移住者の一人です。祖父は株式会社セール商会を設立しました。私は11才の時 Harrow の学校に入学すべく英国に帰りました。第1次世界大戦が勃発した時は丁度 Oxford 大学に入る事になっていたのですが、戦争に行きフランスの騎兵隊に3年余り奉仕しました。戦争後 Oxford 大学に2年間入り学位を取りました。その後1921年に家族の事業を学ぶために再び日本を訪れました。1921年以降来日した回数は35を超えています。

第2次世界大戦後日本が驚くべき経済的復興を成したことは私が敢てここに書くまでもないことです。皆様はその間に生き、それを見、それに貢献してきました。然しこのような驚くべき復興(即ち終戦時日本の生産力は戦前の2割に落ちていたのが今では世界第4位の工業国となつた)をもたらす為に皆様の払われた絶大など努力はいうまでもないことですがこの驚くべき成果に貢献した他の3つの要素を無視することはできないと思います。第1は米國が日本の復興を始めるために日本に20億

ドル(7200億円)を貸与したこと、第2に復興期間中日本は米國、英國に比較し防衛費を殆んど支払う必要がなかつたこと、(過去15年間余り英國は約200億磅(20兆円)を國防に費やした。これは英國の利益ばかりでなく他の多くの自由国の安全のために貢献したわけで、もしこの一部分でも英國の道路、鉄道、工場、学校に利用されていたらこれらはどんなに改善されたことでしょう。)第3は戦前日本は台灣、朝鮮、滿洲の發展のために多大の費用を投じそれらからの収入と差引き支出過剰であつたが、戦後日本の經濟はこれに堪える必要はなかつたということです。

私の生涯の関心事は英國と日本との貿易であります。私の会社の長い歴史に亘つて私達は最初に日本に發電機、自動車、飛行機を輸入し、私達の努力によつて日本のビクター蓄音機会社、フォード自動車会社その他を起しました。セール商会はまた、各種日本の産業を經濟的に援助しました。英國への鮭鱈輸出を開拓した日魯漁業がその1例です。またセール商会は英國への果物罐詰の輸出を開拓し、1932年にはマンダリンオレンジ2000函を初めて輸出しました。

セール商会は1903年北海道拓植銀行のためにロンドン向円社債を始めてロンドン市場に導入しました。1940年にかけてセール商会は日本産業に1億磅(1000億円)以上の各種支払期限の借款を交渉しました。東京電力株式会社への250億円が1例です。私は現在戦前におけると

〔卷頭言〕		“粉 碎”	第6号	昭和36年 春季号	目 次
細川鉄工所と私(挨拶にかえて).....		G. Sale... 1			
〔報 文〕					
振動ミルに関する研究.....		細川粉体工学研究所々員	森 本 益 弘... 3		
		“ 副所長工博	松 山 卓 蔵		
		細川鉄工所専務	細 川 益 男		
スクリーコンベアーの混合作用.....		大阪府立大学工学部	佐 納 良 樹... 8		
		“	中 野 敏		
		“ 教授	矢 野 武 夫		
粒体の空気輸送における直管部及び曲管部の圧力降下...		大阪大学工学部教授	植 松 時 雄... 11		
〔講 義〕		“ 講師	森 川 敬 信		
分級装置概論.....		京都大学工学部助教授	吉 岡 直 哉... 17		

これらの業績と同じ程度に日英貿易への献身を続けたいと熱望しております。

第2次大戦後私の会社が1953年再出発した時私は日本にやつて来て、西欧の技術及び特許を日本へ、日本のそれらを西欧へ紹介する仕事に集中しようと決意し、この政策を遂行する間に私は細川鉄工所との交渉を持つようになりました。そして香港を除きヨーロッパ、北南米、英連邦諸国向同社輸出品を取扱うことを始めたわけがあります。この仕事を最も能率化するために私は細川インターナショナル・エスタブリッシュメントという国際会社を設立し、細川鉄工所の製品の販売に協力することになりました。

戦前日本は安価品を模倣し、また製造したことで大いに知られています。然し喜ばしいことには今では事情は一変し、全く独特の着想と高度の製造技術を持つ細川鉄工所の製品を取扱う事に非常に喜びを感じているのであります。

スーパーミクロンミルとミクロンセパレーターとが数ミクロンの範囲での超微粉碎と一定の微粒子径の分離の領域において発揮し得る能率と性能に匹敵する機械は世界中見当りません。このことをデモンストレーションのために私はスーパーミクロンミル (M52型)、ミクロンセパレーター及びミクロンミル MON 型各1台を英国に送りました。これらの機械はこじんまりした実験室に納っていますがその室内では日本人の他の独創的発明による島津製のセデメントグラフとニッポレンズーム顕微鏡を使用することに変遷を感じております。英国 Thomas Keating 会社の御好意により展示工場を Sussex の Billingshurst にある彼等の工場に附設して貰うようになり彼等から多くの問題について最大の援助を受けております。

細川鉄工所は英国に技術部長松山博士を派遣され2ヶ月間こちらに滞在、スーパーミクロンミルとミクロンセパレーターの操作について詳細の指導を受けました。その後細川鉄工所は佐藤 青年を英国に配属されましたが、彼は非常に有能で役に立ち惻好で毎日機械類を組立

てたり、優れた英語でバイヤーに指示を与えたりしております。ここに改めてこの若い青年に讃辞を送ります。この展示工場は英国、米国、フランス、イタリア、オランダ及びドイツの一流技術者の訪問を受けております。結果としては米国及びヨーロッパにおける激しい競争に直面していますが、細川スーパーミクロンミルは非常に著しい打撃を競争者に与えつつあります。ヨーロッパの最大化学会社の一つは凡ゆる粉碎機を一つの標準物質で試験し、粉碎物の粒度分布曲線を描く事を実施しておりますが、これらのグラフは透明紙に画かれ互に重ね合すことにより比較がなされております。私達の許への報告によれば細川スーパーミクロンミルは一定の所要動力で他のどの粉碎機よりも細かく粉碎するばかりでなくそのグラフは他のどのものよりも平均した粒度分布を示しているということでもあります。スーパーミクロンミルの持つ異成分系物質から不要物質を除去する能力は全ヨーロッパ及び米国のクレー工業に1種のセンセーションを巻き起しています。粘土以外に関する新しい分野としては例えば、従来回収不能として捨てられていた磨石綿の回収という操作が可能となり特に急速に発展しつつあります。スーパーミクロンミルはこういった原料処理の分野において最大の領域があることは疑いありません。

細川ミクロンセパレーターは米国及びドイツとの競争品に比較して2つの著しい特徴を持っております。それは苛酷な工業的条件に堪える能力を備えた頑丈さということと、次に広い範囲の粉体について数ミクロン範囲にて分離できるという事実であります。

今年夏日本訪問中私は細川鉄工所に1週間を過しました。そしてその製造方法を見学し、輸出の需要に応じるため先見の明をもつて建設中の新工場が極めて急速に伸展しているのをみて喜びに堪えません。私はその設立者細川永一社長に面接するの喜びと栄を得た次第です。その間に私の旧友である高崎達之助氏を細川鉄工所へ案内しました。氏は細川鉄工所の製品の独創性と設計に非常に感銘し、セール商会のこの新しい事業に心からなる祝福を述べられました。(編集部訳)

〔解 説〕

“MICROMERITICS”

NO. 6 SPRING 1961

湿式集塵装置 (スクラバー)

大阪市立大学工学部教授 吉 田 哲 夫...24

フィルター集塵

細川粉体工学研究所工博 松 山 卓 蔵...36

〔特許紹介〕

粉体の空気輸送に関する最近の特許発明について

特許庁審査第2部 安 達 功...43

〔随 筆〕

粉の囁き

日本大学教授工博 池 森 亀 鶴...45

シカゴと東部の見学旅行から

名古屋大学教授 井 伊 谷 鋼 一...46

ヨーロッパの Micromeritists

金沢大学工学部 田 中 達 夫...48

The Spirit of Christmas

HOSOKAWA Int. J. Robinson ... 7

英国で私が出会った珍談

HOSOKAWA Int. 佐 藤 功...50

〔座談会〕

粉碎あれやこれや

51

※年間行事

※ 編 集 後 記

※最近の興味あるテスト例

60

〔表紙〕新工場の内部

振動ミル (Micron Vibrating Ball Mill) に関する研究

第 一 報

細川粉体工学研究所員 森 本 益 弘

" 副所長工博 松 山 卓 蔵

細川鉄工所専務 細 川 益 男

§ 1 序 言

最近の化学工業の発達は、従来得られていたよりも更に細い微粉末を要求し、また高硬度碎料の超微粉碎を要求する等、その要望の停る処も知らない。そこでこれ等の要求の幾つかに應えるべく、一方では、新しい粉碎機の研究が種々行なわれ、他方では、在来の粉碎機の改造および操作についても活潑な研究が行なわれている。

ボールミルにおいても、その例外ではない、例えば、ボール径を小さくし、回転数を下げることが提唱されたり、反対に R.T. Hukki (1) (2) の如く、超限界速度でミルを運転し、粉碎能力を増大させようとする研究もなされている。またボールを粉碎媒体とした新しい粉碎機としては、ハイスイングボールミル (3) (Hy-Swing Ball mill), サンドグラインダー (4) (Sand-Grinder), 塔式粉碎機, (5) および振動ミル等が、その一連のものである。

振動ミルは、戦前よりドイツにおいて研究されていた新型式の粉碎機で、Sieb-technik 社より "Vibratom" (6) として、また最近では、アメリカの Allis-Chalmers (7) 社より "Vibrating mill" として、その他二三のものが外国で、製作販売されているが、いずれも、ボールミル状円筒に、ボールを充填し、適度の振幅で高い振動数を有する微細な振動をボールに与え、ボール、碎料間の衝撃摩擦作用を利用して、粉碎を行なわむとするもので、円筒状粉碎機々胴は、概ねスプリングにより支えられている。一般に振動ミルは、普通のボールミルに比して、その粉碎能力は3倍~10倍もあると云われている。振動ミルの粉碎機構および、粉碎性能に関しては、Backmann, (8) Meldau, (9) Mittag, (10) Rose (11) 等の研究がある。

われわれは、従来の振動ミルにおいて、欠点とされている構造の複雑な点、およびスプリングによりミル本体を支えている関係上、そのスプリングの材質などから来る容量の制約等を克服し、より高能率の振動ミルを得る

べく、従来の振動ミルとは、機構を異にする新しい型の振動ミルを考案し、その粉碎性能について検討を加え、更に改良を加えつつあるが、ここに今迄の研究結果より、その粉碎性能の一部を報告する。

§ 2 実験装置および実験方法

試作した実験用振動ミルの概略を Fig. 1 に示した。

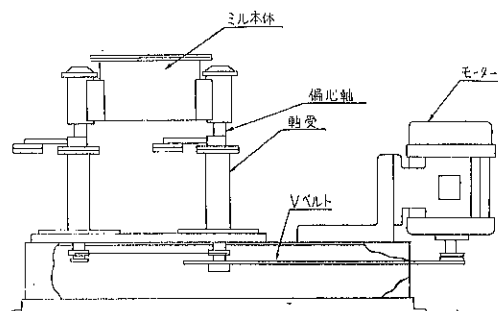


Fig. 1 試作振動ミル

試作機のポットサイズは、内径 170mmφ、深さ 70mm 内容積約 1.6ℓで、偏心軸の偏心量は、15mm 一定とし、回転速度はプーリーの組合せにより変更し、任意なる速度で回転させ、1/2HP のモーターで駆動した。

粉碎媒体としては、Table 1 に示すような形状の

Table 1 Ball の物性

記 号	直径(平均)	1ヶの重量 (平均)	見掛比重
A	9.5mm	3.5 g	4.42g/cc
B	8	2.0	4.50g/cc
C	5	0.5	4.64g/cc

鋼球を用い、粉碎原料として、比表面積 200cm²/gr、見掛比重 2.7g/cc モース硬度 7.5 のジルコンサンド (Zircon Sand) を用いて、Table 2 に示した組合せで、乾式、回分式で粉碎を行った。

Table 2 実験条件 (Ball 量と砕料量の組合せ)

砕料量 (g)	100	200	300	400	500	600	700	800	1000	1200
ボール量 (kg)										
3	A, C	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	A, C	A, C	—	—	—	—	—	—	—	—
1.6	—	A, C	A, C	A, B, C	A, C	A, C	A, C	A, C	A, C	A, C
1.2	—	—	—	A, B, C	—	—	—	—	—	—
0.8	—	—	—	A, B, C	—	—	—	—	—	—
0.4	—	—	—	A, B, C	—	—	—	—	—	—

(注) 表中の記号は使用ボールの記号を示す

間の粉碎速度は、いずれもほぼ同じであり、これまた筆者等の研究結果と同じく、折点を持つた直線となる。かかる傾向は、振動ミルのみ表われる傾向か否かの検討を行うため、中川氏他⁽¹²⁾、および田中氏⁽¹³⁾のボールミルにおける実

粉碎を終った砕料は、ボールと共にポットより取り出し、20 mesh の篩網でボールと篩分け、得られた製品を、島津製作所製の水渡、一荒川式の比表面積測定器により、比表面積の測定を行った。

粉碎速度を表わす方法には、種々あるが、得られた製品が予想外に細かく、沈降式により粒度分布を測定するには、余りにも時間を要する。これに対して比表面積の測定は、短時間で済ませるために採用したのである。粉碎は、比表面積を増大させる操作と考え、粉碎速度は砕製品における新しい表面の生成する速度と云う見解をとり、砕製品の比表面積の変化を粉碎速度とみなした。そこで最初の一時間における原料と、砕製品の比表面積の比を粉碎速度係数と名付けた。

本報において、H.E. Rose⁽¹¹⁾ の実験結果を引用してあるが、彼は、粉碎時間に対する比表面積の関係をプロットし、そのグラフより与えられた条件における試験曲線の傾斜を求めて、これを粉碎速度 (Grinding Rate) と名付けている。粉碎速度係数は、これと大略近似である筈で、比較のために Fig. 5 以下に示した。

§ 3 実験結果および考案

(a) 粉碎時間が粉碎度に及ぼす影響

Fig. 2 に Ball Size-A, Ball 量 1.6kg, 原料400g, 振動数 1750r.p.m の場合における粉碎時間と、比表面積の関係を示した。図によると、粉碎初期においては急激に粉碎が進行し、ある一定細かさとなると急にその粉碎速度が遅くなる。今この折点において、粉碎区間を区切り、各々第1粉碎区間、第2粉碎区間と名付け、その粉碎の進行状況を顕微鏡により観察した処、区間1においては、粗大粒が段々と砕かれ小粒子となりつつ微粉末も極くわずかではあるが、生成せしめている。区間2においては、区間1において作られた小粒子を徐々に小さくしている如く粉碎が進行している。

Fig. 2 に点線で示した線は、Rose⁽¹¹⁾ の報告より引用した振動ミルの成績であるが、粉碎開始後或る一定期

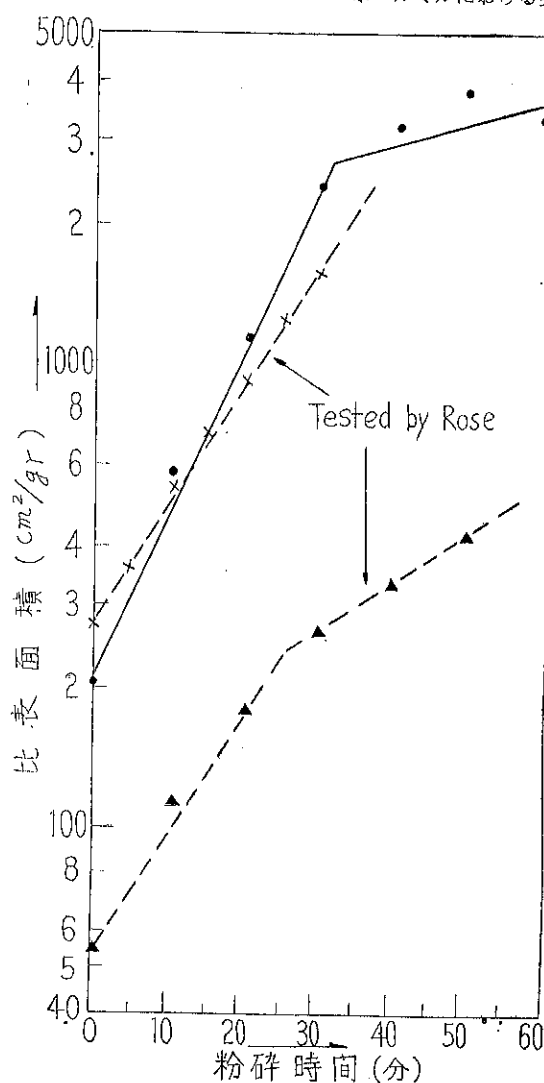


Fig. 2 粉碎時間と粉碎度の関係

験データー、並びに山内氏⁽⁹⁾ のハイスイングボールミルのデーターを借り、粉碎度 (報告者により定義されている場合は、そのまま採用したが、定義されていないも

のは、定性的に定義した)と、粉碎時間の関係を典型化したのが、Fig. 3 である。これらはいずれもやはり折

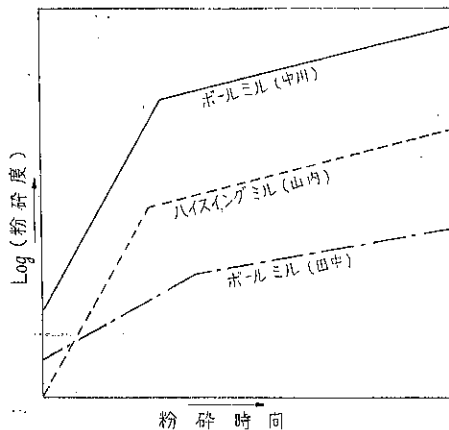


Fig. 3 各種ミルの粉碎特性

点を持つた直線により表わされている。これらの実験における粉碎の進行状況の詳細は不明であるが、筆者等の観察結果と類似の傾向が表われているものと考えてよい。かく考えると、森氏等⁽¹⁴⁾の Jet mill に関する研究において名付けた、体積粉碎、表面粉碎が、Jet mill とは多少その機構は異なるとしても、近似的に同様な粉碎機構を持っているのではなからうか。

以上の結果より、ボールを媒体とする粉碎機における粉碎機構は、先ず破砕による粉碎(主として衝撃力による)と考えられるが進行し、しかる後に微粉碎工程に入ると云える。この微粉碎工程の粉碎機構は、はつきりしないが少なくとも衝撃力が主体ではない。従つて、微粉碎を行うためには、原料サイズもある程度細かくする必要があり、大きな原料より一挙に微粉碎を行う粉碎比の大

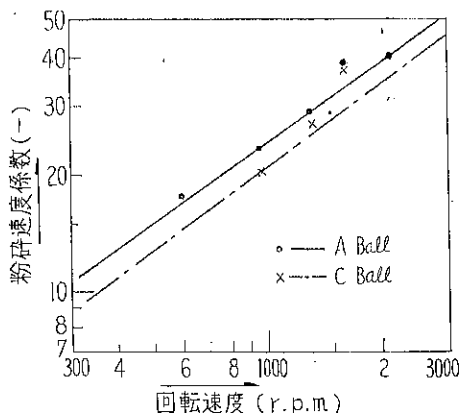


Fig. 4 回転速度と粉碎速度係数の関係

きい操作は、一般に余り良策ではない、またボールサイズを或る程度小さくするのは、微粉碎のために必要な手段であり、またボールミルにおいて、ミル速度を小したり、あるいは、超限界速度における運転、あるいは、ハイスイングボールミルの如き新しい粉碎機構が開発される所以である。

(b) 回転数と粉碎速度の関係

Fig. 4 に Ball Size A および C を使用し、Ball 量 1.6 kg、原料量 400g の場合における粉碎速度係数と、回転数の関係を示した。Fig. 5 に Rose⁽¹¹⁾の実験結果を示す。

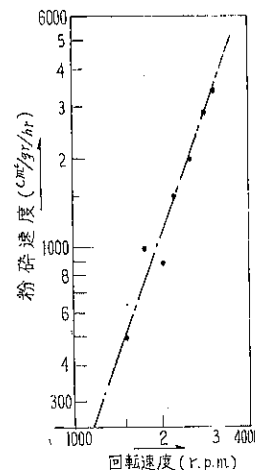


Fig. 5 回転速度と粉碎速度の関係

一般に、振動ミルでは回転数の増大と共に、粉碎速度は大となる傾向を示している、Rose⁽¹¹⁾の報告によると、彼等の実験機では、1000r.p.m. 以下では全然粉碎が進行しないと結論しており、粉碎速度は、図よりも明らかな如く、回転数の3乗近くに比例し、粉碎速度を決定する大きな因子に回転数はなっている。しかるに当所の試作になる振動ミルにおいては、わずかに 0.7 乗に比例するのみで、回転数はそれ程

大きな因子とはなっていない。これは、振動が直接粉碎機本体に与えられ、それによりボールが運動するため、加えられた外力が有効にミルに伝達されるために、ボールの動きに慣性が充分与えられるためであろう。

従つて、試作機においては、その回転数が数百回転と云う低速において運転した場合でも、強力な粉碎効果が期待出来る。また大型化する場合にも、機械的に安定した構造を採用し得る等で、従来の振動ミルにおいて難点とされていた大型化への困難性の一つが除かれたと云えよう。

(c) 粉体充填率が粉碎速度に及ぼす影響

ボール層の空隙容積と、粉碎原料の容積の比を粉体充填率と定義し、この粉体充填率が粉碎速度に及ぼす影響に就いて検討を加え、その結果を Fig. 6 に示した。実験結果は Ball Size にほとんど無関係に一つの折点をもつた直線により表わされる。粉体充填率が 150% 以上では、粉体充填率の増大により急激に粉碎速度が減少するが、150% 以下では、比較的その影響は少く、150% ~

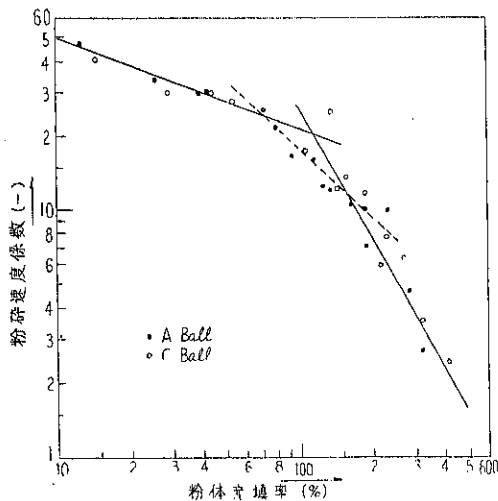


Fig. 6 粉体充填率と粉砕速度係数の関係

70%の範囲には中間域が存在するかの如き傾向を示している。(点線で示した。)Fig. 7 に Rose 等の実験結果を示したが、これは粉体充填率が120%以下の場合で、粉体充填率の増減と、粉砕速度の増減は、筆者等の実験結果と類似した傾向を示している。

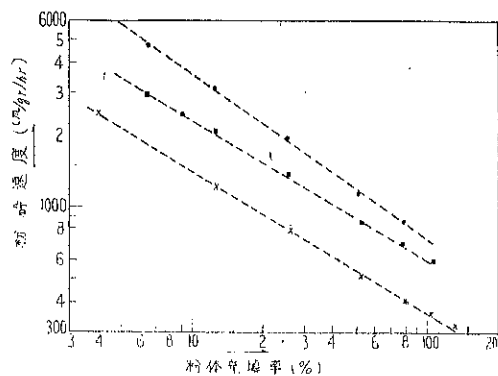


Fig. 7 粉体充填率と粉砕速度の関係 (by H.E. Rose)

粉体充填率の少ない方が、粉砕速度が大となることは、微粉を敏速に生成せしめようとする場合の一方法となるが、余り粉体充填率を少なくすることは、粉砕能力の低下をまねく。反面粉砕能力に重点を置いて、粉体充填率を増すことは、粉砕速度の減少となつて表われて来る。これらより、試作機の如き形態の粉砕機においては、粉体充填率を70~150%とするのが最も良好な結果が得られる。

(d) Ball Size による粉砕速度への影響

粉体充填率を一定にし、Ball Size を変えた場合に粉砕速度に及ぼす影響は、Fig. 8 の如くなる。粉体充填

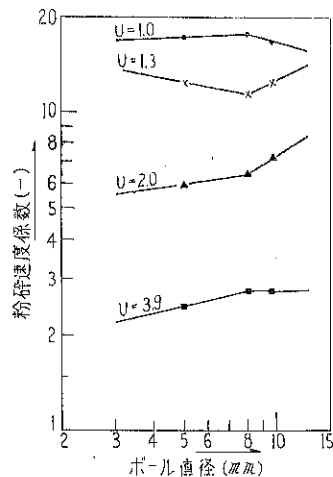


Fig. 8 ボール径と粉砕速度の関係

率により、多少その傾向は異なるとしても、この程度の Ball Size の範囲では、ほとんど粉砕速度に影響を及ぼさないようである。

§ 4 結 語

以上、新たに試作した振動ミルについて、その粉砕性能の検討を加えたが、未だ実験を始めたばかりであり、また粉砕所要動力の測定も不充分であるため、粉砕所要エネルギーの問題にまで、充分検討を加えることが出来なかつた。

本報では、試作振動ミルの粉砕機構および、粉砕性能の一端を紹介することにとどめた。

終りに本振動ミルの研究に着手し、その経験より今後本機の応用される分野として、

- (i) 高硬度物質の微粉砕、ジルコンサンド、珪石、研磨材など
- (ii) max 2 ~ 5 μ 以下の超微粉砕
- (iii) 有害または、高価な碎料の微粉砕
- (iv) 高度のホモジナイジング
- (v) 粉砕と化学反応を同時に行う反応器などであろう

現在、本報において用いた実験機の約20倍容量の、試験機を作り、更に研究を続けている。

振動ミルは新しい微粉砕機として、特に、最近注目されており、機械的にも比較的簡単であるので、今後広く用いられるであろう。

本実験を行うに当たり、協力された当所員、山口勝彦、井上雅之の両氏に本紙上を借り深く感謝する。

文 献

- (1) R.T. Hukki Mining Eng 10, No.5, 581 (1958)

- (2) R.T. Hukki, Brit, Chem.Eng, 4 No. 8/9 446 (1959)
- (3) 松本, 山内 名工試報告 7 No.4, 63. No.8, 50 (1958) または山内史朗 “粉砕” No.3 33 (1959)
- (4) Ind, Eng, Chem 51, No. 3 Part II 395 (1959)
- (5) 河端重勝 “粉砕分級講演会要旨集” (33.11.2 於大阪)
- (6) Ullmanns. Encyklopädie der technischen Chemie, I Band. S 628 (1951)
- (7) Chem Eng 65 Dec 15 (1958)
- (8) D.Bachmann, V.D.I.-Verfahrens-technik, (1940,)

- Nr. 2 S43, Nr 3. S82.
- (9) R. Meldau, ibid, (1939,) Nr3. S95
- (10) C. Mittag, Die Hartzzerkleinerung, Springer (Berlin) 1953, S164, S222.
- (11) H.E. Rose Brit, Chem, Eng, 4 No.8/9 450 (1959)
- (12) 中川有三, 松尾国夫, “化学工学” Vol 22, No.10. 616 (1958)
- (13) 田中達夫 “化学工学” Vol 19. No.11, 587, (1955)
- (14) 森芳朗, 神保元二, “化学工学” Vol 22, No.6, 363 (1958)

THE SPIRIT OF CHRISTMAS.

(Robbie. Hosokawa International)

I felt very lonely. Most Prisoners of War do! It was the Eve of Christmas 1942 in Thailand and most of us were thinking of our wives and homes many thousands of miles away. The War seemed to be an insane thing because it is the only game at which everyone is the loser.

The scene was a clearing on the edge of the jungle. The moon was full and very large—as it always seems to be in the Tropics.

The Japanese had permitted one of our Padres to build a church. The altar was of bamboo and the pews were the felled trunks of teak trees. I felt very miserable and, wandering down the center, I sat down. I had not been there many minutes when I noticed a shadow upon my left hand. Not a very re-assuring shadow. A Japanese soldier with rifle and bayonet affixed. Rather a worrying sight in the moonlight. However, as I looked up at him he smiled. He then removed his cap and sat down next to me.

I am quite sure that it was at that moment that I first realised the meaning of Christmas.

This soldier befriended me for three years. One day I hope to meet him again. His name was Kunimoto.



クリスマスを読む

J. Robinson

in Hosokawa International Est.
Billingshurst Sussex England.

私は惨めな絶望感に囚われていた。戦時俘虜はおしなべてそうなんだ。

1942年クリスマスイブ、在タイ国日本軍俘虜収容所である。皆は数千哩彼方の故国の妻子と家庭に想いを馳せていた。戦争という怪物は気狂い染みている。戦争こそ誰一人として勝利感を味わえぬ唯一のゲームであるから。収容所はジャングルの端っこの開墾地—熱帯地方特有の無気味にまで大きい満月が照らしている。日本軍は俘虜の神父に教会を建ててことを許可した。祭壇は竹製、ベンチはテーク材の切り株である。

私はみじめさを抱きつゝ教会の中に歩を進め、腰を下した。数分後私の左手に影を認め落着きを失った。不安の影である。銃剣をもった日本兵だ。月光の中でまさに一悶着おこる状態である。……が日本兵はほゝえ

んでいる。しかも帽子をとり、私の傍に腰を下した。

正に此の瞬間私はクリスマスの神髄に融れた。此の日本兵は以後3年間、私に何かと好意を寄せてくれた。何日の日か私は彼との再会を望んでいる。彼の名は Kunimoto.

Jack Robinson 紹介

Hosokawa International Est. の Technician. 退役陸軍少佐。アイルランド人。彼は第2次世界大戦中ビルマ戦線に従軍し、日本軍の捕虜となり、三年間の収容所生活を経験した。その間クワイ河マーチの残虐な待遇に、精神的ショックを受け、終戦後、セールスマン、船員、薬品会社の技師等の職を転々としたが、現在は全く立ち直り、Hosokawa International Est. の技師長としてスーパーミクロンミル、ミクロンセパレーターのテストに佐藤青年と協力し、成果を挙げている。高い教養とユーモアのセンス・アイルランド人らしい誠実勤勉さと責任感に、良き人を得たと喜んでゐる。愛称ロビー

(松 山)

スクリーコンベアの混合作用

大阪府立大学工学部 佐 納 良 樹
 “ 中 野 敏
 “ 教授 矢 野 武 夫

§ 1 はじめに

スクリーコンベア¹⁾は粉粒体あるいは塊状物の輸送装置の一つとして広く使用されて来た。その輸送能力については既に Strube²⁾ が詳しい計算図表を示している。また阪大の植松教授らはスクリーコンベアの所要動力³⁾およびスクリーコンベアにおける粉体の運動⁴⁾を考察している。

しかし、この型のコンベアを単なる輸送のみでなく、粉粒体を連続混合するための予備混合機としてもちいる場合、あるいはジャケットを附して輸送物の加熱、冷却を併せおこなう場合もある。これらの目的に使用するときは、スクリーコンベアは混合機的一种と考えられる。したがって、この型のコンベアの混合作用がどの程度であるかを知っておくことは決して無駄とは思われない。

われわれは、この立場から簡単なスクリーコンベアをもちいて、その混合作用を半定量的に調べた。

§ 2 実験装置、試料および実験方法

もちいたスクリーコンベアの概略図および主要寸法をそれぞれ Fig. 1 および Table 1 に示した。供試コ

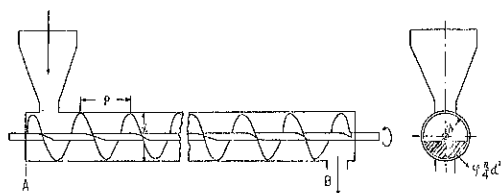


Fig. 1 装置概略図

Table 1 スクリュー・コンベア主要部寸法

有 効 長 さ (cm) *	97
内 径 (cm)	10
断 面 積 (cm ²)	78.5

容 量 (l)	7.62
スクリュー外径, d (cm)	9.6
ピ ッ チ, P (cm) **	10
ピ ッ チ 比, P/d (—)	1.04
回 転 軸 径 (cm)	2.8
ク リ ア ラ ンス (cm)	0.2

* Fig. 1 における距離 AB

** 有効長さにおけるスクリーウの巻き数は 8.5

ンベアは比較的短く、有効長さ (Fig. 1 の AB) におけるスクリーウ巻き数は 8.5である。コンベア本体は透明なプラスチック製である。またスクリーウのピッチ比は約 1.0で標準型である。スクリーウの回転は手動によつた。供試粉粒体としては市販の鋸屑をもちいた。その諸性質の実測値を Table 2 に示した。本試料は水分含量

Table 2 供試鋸屑の性質

粒 度	Tyler 標準篩 2.5%通過
見 掛 比 重	0.172
水 分	19.4%
安息角 (対ビニール板)	42°40'

がやや多いため互いにかみ易い傾向があつた。また、本試料の一部をロードミン B で染色し、混合状態を調べるためのトレーサーとして使用した。なお、粉粒体の漏れる⁵⁾状態を調べるため 5 % 角のボール紙小片 100個を用意した。

ホッパーから試料を一定速度で供給し、あらかじめコンベア内に所望の断面率 ϕ (装入粉体断面積 / スクリュー断面積, Fig. 1 参照) に保つた後、トレーサーとして染色試料を 1 ピッチ内に注意深く装入した。次のピッチ以後は最初と同様に試料を供給し、トレーサーが排出

しはじめた時を起点として回転数を計数した。コンベアの出口で1回転毎に別々の受器にうけ、よく混合して測定試料とした。

測定試料の混合状態の判定は次のごとくおこなった。すなわち、あらかじめ、染色試料(トレーサー)を既知重量% (0, 5, 10, ……90, 95, 100%) 含む 20個の標準試料を調製しておき、この標準試料と前記の測定試料を肉眼で比色した。

また、“漏れ”の測定には前記の 100個のボール紙片を1ピッチに投入したときを起点として回転数を計数し、1回転毎にボール紙片の排出個数を計数した。

§ 3 結果および考察

(1) 粒子の運動およびトレーサー排出曲線 スクリューコンベアにおける粒子群の運動状態を調べるために回転速度を約 20rpm に保ち、断面率 φ を変えて粒子群の動きを肉眼で観察した。

スクリューが回転しても粒子がシャフトを越えない程度、すなわち φ が 0.1~0.3 では粒子群は水平面に対し約 40° の滑り角を保ちつつ、スクリュー面に押されて複雑なたたみ返しおよび滑り運動を繰り返した。また粒子群の一部はスクリューとコンベア内壁の間のクリアランスを通り抜けて取り残された(以後これを“クリアランス漏れ”と呼ぶ)。したがって“クリアランス漏れ”の量は僅かであるが、1ピッチ内の粒子数に対する割合が比較的大きいので、コンベア軸方向の粒子の混合は可成り良好であった。

次に φ が 0.3~0.8 における粒子群の動きは概括して次の三つに大別できた。すなわち(1)スクリューの回転に伴い、粒子群の一部はシャフトを越えて次のピッチに漏れる(以後これを“シャフト漏れ”と呼ぶ)。(2)シャフトからの半径方向距離が比較的大きい処にある粒子群は前述のごとき複雑なたたみ返し運動を繰返えしつつ軸方向に前進する。(3)僅かな量の“クリアランス漏れ”が起る。このようにして、粒子全体を眺めると、軸の廻りに一種のループ運動をなしつつ軸方向に移動した。しかしトレーサーの排出状態を見ると、排出初期ではトレーサー粒子は完全には混合、分散されておらず、一部はブロックのままで排出された。

さらに装入粉体量を増して、 φ がほぼ 1 に近づくと個々の粒子の運動が制限され粒子の大部分はスクリューの回転につれて共廻りをした。したがって粒子群全体として軸の廻りにループ運動をした。

Fig. 2 (a) は縦軸に重量%であらわしたトレーサー

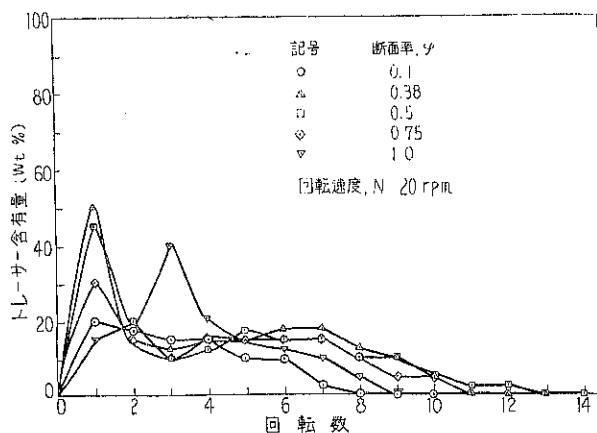


Fig. 2 (a) トレーサー排出曲線

含有量を、横軸にスクリュー回転数を目盛つて表わしたトレーサー排出曲線である。予期されたごとくすべて ($\varphi \neq 1$ の場合を除く) 最初に最も多く排出し、以後次第に排出量が減少した。

また Fig. 2 (b) は Fig. 2 (a) の一部を片対数グラ

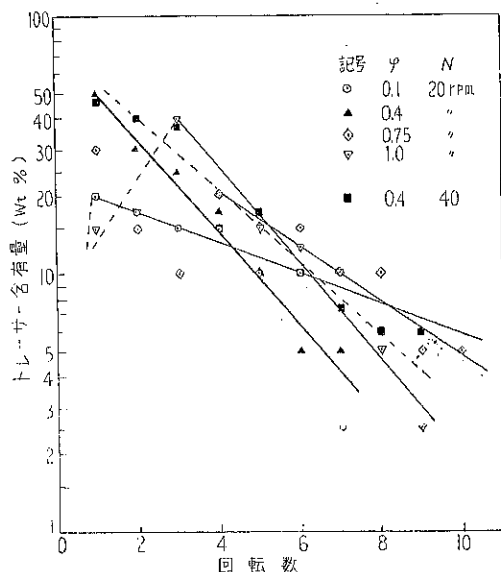


Fig. 2 (b) 片対数グラフによるトレーサー排出曲線

フに点描した結果である。点描はほぼ直線になるから、トレーサー排出過程はほぼ指数関数に従うと見なしてよいであろう。一般に粉粒体の混合過程は初期を除き混合時間の指数関数になることが既に明らかにされている。Fig. 2 (b) の排出曲線が直線に近いことから、排出曲線により粒子の混合状態を推測しうるであろう。そうす

ればトレーサー排出に要する回転数は主としてトレーサー粒子の“シャフト漏れ”および“クリアランス漏れ”の量に関係すると思われるから Fig. 2 (a) で排出に要する回転数が大きいほどコンベアの軸方向混合作用が大きいと見てよいであろう。また排出曲線のピークの高さも粒子の混合状態を判定する尺度になるであろう。

(2) 断面率 φ の影響 トレーサー排出完了に要する回転数を断面率 φ に対して点描した結果を Fig. 3 に示した

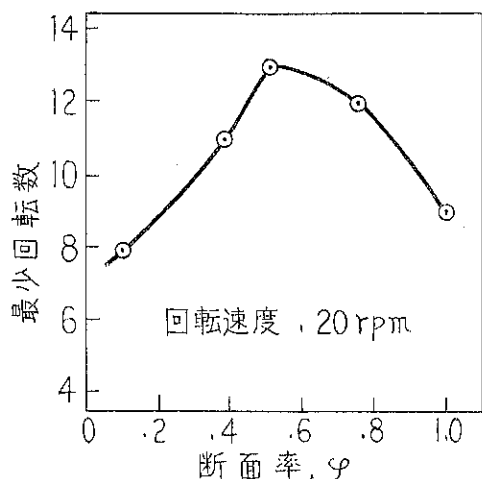


Fig. 3 トレーサー排出完了に要する最少回転数対断面率

厳密に定量的な結果とはいえないが $\varphi \approx 0.5$ 附近に最大値をもつような曲線がえられた。 φ が小さいときおよび 1 に近い場合は所要回転数が小さかった。先に観察したごとく $\varphi = 0.5$ 附近では粒子の“シャフト漏れ”が最も盛んに起るためトレーサーの排出完了に長い時間を要したのであろうと思われる。したがって $\varphi = 0.5$ 附近では軸方向混合作用が最も大きく、 φ がそれより大きくあるいは小さくなるにつれて混合作用は低下すると考えられる。

しかし Fig. 2 (a) からわかる如く、いずれの場合にも 1 回転目に排出量のピークが出現しさらに排出曲線の勾配が比較的鋭いことからスクリーコンベアにおける混合作用は当然のことながら余り大きくないといえる。

(3) 回転速度の影響 Fig. 4 (a) はトレーサーの排出完了に要する回転数をスクリーの回転速度に対して点描した結果である。回転速度がほぼ 40 rpm 附近で所要回転数が最小値になるような曲線がえられた。60 rpm で所要回転数が増加したのはスクリー面が比較的高速回転するのにに対し粒子群がスクリー面の回転に追従できず、したがってトレーサー粒子を含む試料全体の移動

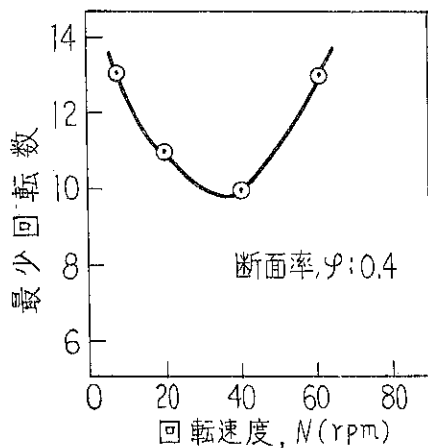


Fig. 4 (a) トレーサー排出完了に要する最少回転数対回転速度

速度が相対的に低下したためであろうと思われる。故に Fig. 4 (a) の結果からだけでは混合作用の大小は比較できないであろう。しかしトレーサーの最高排出量（排出曲線のピーク）を回転速度に対して点描すると Fig. 4 (b)

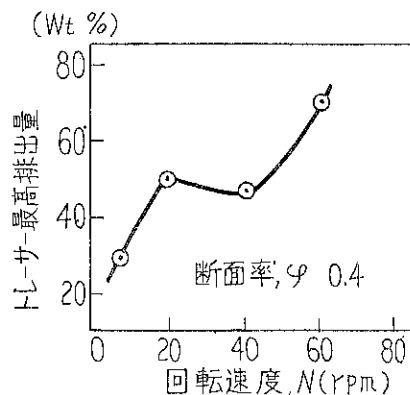


Fig. 4 (b) トレーサー最高排出量対回転速度

の如く最高排出量は回転速度の増大とともに増大する傾向があつた。このことから回転速度の増大とともに混合作用は低下するのではないと思われる。

(4) スクリーコンベアの漏れ

前項までの実験結果からスクリーコンベアにおける混合は 1 ピッチ内での混合攪拌の外に粉粒体の“シャフト漏れ”に関係することがわかつた。そこで 100 個のボール紙片を供試粒体とともに 1 ピッチ内に投入し、その排出状態を観察した。ボール紙片と供試粉粒体の間の形、粒度、比重などの諸物性に差異を認めても漏れについての大雑把な知識はえられるであろう (47 頁につづく)

粒体の空気輸送における直管部および曲管部の圧力降下

大阪大学工学部 教授 植 松 時 雄

大阪大学工学部 講師 森 川 敬 信

1. 緒 言

粉粒体の空気輸送は古くから行なわれてきたが、それに関する研究は戦後特に盛んに行なわれるようになった。粉粒体を空気で輸送する場合の輸送管内の流れの圧力降下を知ることは、実際問題において所要動力を定める場合の基礎になるので、きわめて重要である。したがって圧力降下に関する研究は、粉粒体の空気輸送に関する研究の中で主要な位置を占め、多くの研究者によつて、従来は主として水平輸送管について行なわれてきた(1)-(11)。

著者らは水平輸送管について粒体を輸送する実験を行ない、直管部の定速部分および曲管部に対して圧力降下を検討し、普通の流体の円管内における流れの取り扱い方を応用して、あらたに輸送管の中の圧力降下を与える式を導いた。ここではその概要について述べることにする。

2. 実験装置

Fig.1は直管部の実験装置を示している。輸送管の内径は26.6mmで、図の①から⑩までは、管内の圧力の測定孔の位置を表わし、測定孔の直径は1mmである。

圧力の測定にはU字液柱計を用いた。粒体の供給量を変えるにはコックを用い、空気の流量を変えるには、空気だめの弁を用いた。実験に用いた粒体の特性をTable 1に示してある。

Table 1 実験に用いた粒体

粒 体 の 種 類			平均直径mm	比重量kg/m ³
た	か	な	0.97	1240
な	た	ね	1.53	1090
あ		わ	1.63	1090
ご		ま	1.63	1070
ポリエチレンのパellet			2.95	925
お の み			3.47	915

Table 2 実験に用いたベンド

曲管部の実験には、Table 2に示したようなベンドを用い、その一つをFig.2に示してある。ベンドの上流と下流には十分な長さをもつまつすぐな管を接続してある。またベンドおよびこれに接続したまつすぐな管のベンドに近い部分では、管の

曲り角	半 径 比
90°	20.0
	12.0
180°	19.4
	11.5

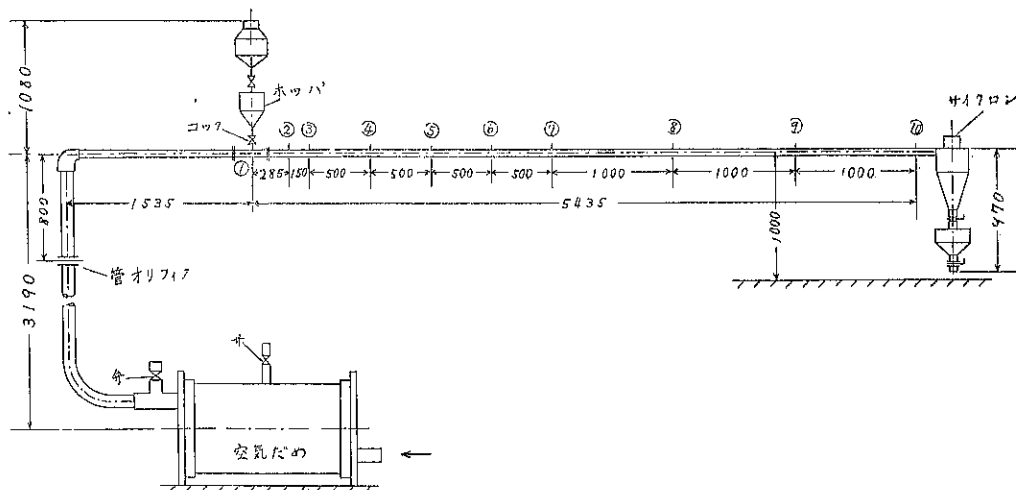


Fig. 1 実験装置

一つの横断面上において、圧力測定孔の位置が異なれば、得られる圧力の値も異なるので⁽¹²⁾、Fig. 2に示したように、圧力測定孔はすべて管の中心線に直角な断面の円周上に90°ずつ離れて4個設けられている。圧力測定孔とU字液柱計の間には、切替コックを設けてあつて、円管の一つの断面に設けた4個の圧力測定孔のうち、たとえば上側に設けた測定孔だけについて、流れの方向の圧力降下を測定するというように、4個のうちの一列についての測定もでき、また各断面上の4個の測定孔の圧力を同時にU字液柱計に導いて、圧力降下を測定することもできるようになっている。

3. おもな記号

実験結果を考察するのに用いたおもな記号を一括して示すと次のとおりである。

- Δp : 直管部の全圧力降下
- Δp_a : 空気だけが流れる場合の直管部の圧力降下
- Δp_s : 粒体の輸送によつて加わる直管部の圧力降下
- $\Delta p'$: 曲管部の全圧力降下
- Δp_b : 空気だけが流れる場合の曲管部の圧力降下
- λ : 流体摩擦係数
- λ_s : (4)によつて定義する
- ξ' : 曲管部の全損失係数
- ξ_b : 空気だけが流れる場合の曲管部の損失係数
- ξ_s : 粒体の輸送によつて加わる曲管部の損失係数
- l : 管の長さ
- d : 管の直径
- r : 管の半径
- R : 曲率半径
- ρ : 空気の比質量
- $\bar{u}$: 円管内の気流の平均速度
- $Re = \bar{u}d/\nu$: レイノルズ数
- ν : 空気の運動粘性係数
- μ : 混合比
- θ : 曲り角

4. 直管部の圧力降下

粉粒体の空気輸送における圧力降下は、粉粒体の浮遊、管壁との摩擦、粉粒体相互の衝突などもその原因と考えられるが、これらをつ一つ考慮して圧力降下を明らかにすることは容易でない。したがつてここでは、全圧力降下が空気だけが流れる場合の圧力降下と、粒体の

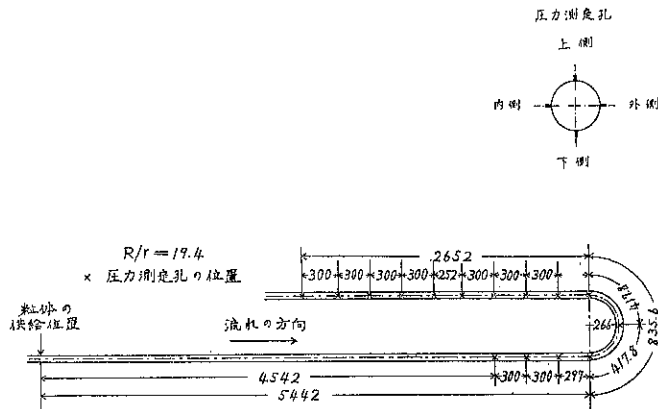


Fig. 2 実験に用いたベンドの一例

輸送によつて加わる圧力降下との二つから成るものとして取り扱つていくことにする。このような取り扱いのもとに

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_s \quad (1)$$

とおくことができる。

4・1 実験に用いた管の流体摩擦係数

粒体の輸送によつて附加される圧力降下を正しく知るために、実験に用いた円管の中に、空気だけを流した場合の、管の流体摩擦係数を明らかにしておくことが必要である。空気だけが流れる場合、すなわち $\mu=0$ の場合の圧力降下は(1)の右辺第1項で与えられ

$$\Delta p_a = \lambda \frac{1}{d} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \quad (2)$$

である。空気だけを流して行なつた実験結果から、(2)に

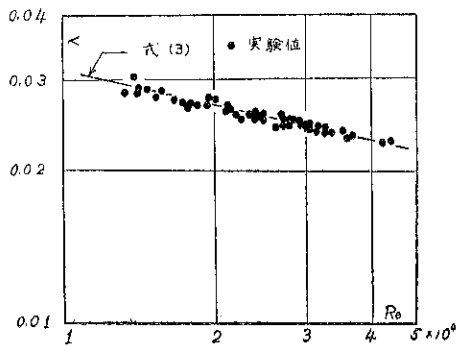


Fig. 3 レイノルズ数と流体摩擦係数との関係

よつて λ を求め、レイノルズ数について整理すれば、Fig. 3が得られる。Fig. 3には内面のなめらかな円管の $Re=3 \times 10^3 \sim 10^5$ に対して成立する Blasius の式

$$\lambda = 0.3164/Re^{1/4} \quad (3)$$

が同時に記入されている。ここで行なつた実験においては $Re = (1.3 \sim 3.4) \times 10^4$ であつて、Fig. 3 から実験に用いた管の流体摩擦係数が、Blasius の式とよく一致していることがわかる。

4・2 粒体の輸送によつて加わる圧力降下

粒体の輸送によつて附加される圧力降下 Δp_s は、混合比および輸送空気 velocity の大きいほど大きい。いま Δp_s を

$$\Delta p_s = \lambda_s \frac{1}{d} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \quad (4)$$

として表わすことにすれば、粒体の輸送によつて加わる圧力降下を考えることは、(4)の λ_s を考えることに帰着する。全圧力降下 Δp を用いて、

$$\tau_0 = \frac{\Delta p}{1} \frac{r}{2} \quad (5)$$

により壁面の摩擦応力 τ_0 を求めることができ、これからさらに摩擦速度

$$v_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} \quad (6)$$

が得られる。

実験結果からこのようにして求めた v_* を用いて $\bar{u}/v_*$ を計算し、この値を縦軸にとり、 μ を横軸にとれば Fig. 4 が得られる。この図から $\bar{u}/v_*$ と μ との関係は、Table 1 に示した粒体の種類には無関係であつて、直線で表わすことができる。また $\mu = 0$ の場合には

$$\bar{u}/v_* = \sqrt{8/\lambda} \quad (7)$$

であるから、Fig. 4 の実験結果を用いて直線の勾配を定めると、Fig. 4 に示した関係は

$$\frac{\bar{u}}{v_*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}} - 1.72\mu \quad (8)$$

で表わすことができる。

(1), (2) および (4) を用いると

$$\Delta p = (\lambda + \lambda_s) \frac{1}{d} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \quad (9)$$

となり、これからただちに

$$\frac{\Delta p}{1} = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \left(1 + \frac{\lambda_s}{\lambda}\right) \quad (10)$$

が得られる。(5), (6) および (10) から

$$\tau_0 = \frac{\lambda}{8} \rho \bar{u}^2 \left(1 + \frac{\lambda_s}{\lambda}\right)$$

となり、これから

$$v_* = \bar{u} \sqrt{\frac{\lambda}{8} \left(1 + \frac{\lambda_s}{\lambda}\right)} \quad (11)$$

が得られる。一方(8)から得られる v_* を(11)に代入すれば

$$\lambda_s = \frac{8}{(\sqrt{8/\lambda} - 1.72\mu)^2} - \lambda \quad (12)$$

となる。(12)は粒体の輸送によつて附加される圧力降下を与える式で、流れのレイノルズ数から知られる流体摩擦係数と混合比がわかれば、 λ_s を容易に知ることができる。粒体を輸送している場合の全圧力降下は、(12)を(9)に代入して

$$\Delta p = \frac{8}{(\sqrt{8/\lambda} - 1.72\mu)^2} \frac{1}{d} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \quad (13)$$

によつて求めることができる。

(1), (2) および (4) より

$$\lambda_s = \frac{\Delta p - \Delta p_s}{(1/d)(\rho \bar{u}^2/2)} \quad (14)$$

が得られる。(14)を用いて実験結果から求めた λ_s の値と、計算式(12)から求めた λ_s の値を比較して示したのが Table 3 である。これから(12)によつて求めた値が、実験結果を比較的よく表わしていることがわかる。実際上は全圧力降下が問題になるのであるから、Table 3 の λ_s の値の差が、全圧力降下に対してどれほどの誤差をとまうかを $(\Delta p'_s / \Delta p) \times 100$ の百分率で表わすと、同じく Table 3 に示してあるように、その差はきわめて小さい。ここに $\Delta p'_s$ は附加される圧力降下の実験値と計算値との差である。

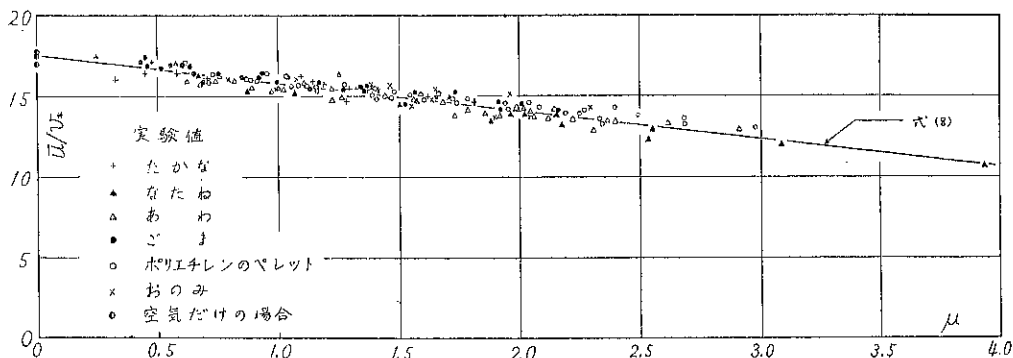


Fig. 4 $\bar{u}/v_*$ と混合比との関係

Table 3 λ_s の値

ごま $\bar{u}=12.0$ m/s						
混 合 比 μ		0.641	0.839	1.13	1.35	1.92
実験値から求めた λ_s の値		0.00378	0.00576	0.00749	0.00921	0.0135
計算式 (2) による λ_s の値		0.00369	0.00532	0.00701	0.00864	0.0136
計算値の実験値に対する差の百分率 %		-2.4	-7.6	-6.4	-6.2	+0.74
$(\Delta p_s/\Delta p) \times 100$ %		0.30	1.5	1.6	1.9	0.34
ポリエチレンのペレット $\bar{u}=13.0$ m/s						
混 合 比 μ		1.06	1.16	1.50	2.09	2.18
実験値から求めた λ_s の値		0.00700	0.00767	0.00982	0.0126	0.0158
計算式 (2) による λ_s の値		0.00623	0.00708	0.00888	0.0138	0.0161
計算値の実験値に対する差の百分率 %		-9.7	-7.7	-9.6	+9.5	+4.6
$(\Delta p_s/\Delta p) \times 100$ %		2.3	1.7	2.6	3.1	1.7
なたね $\bar{u}=17.9$ m/s						
混 合 比 μ		0.749	1.07	1.26	1.58	1.71
実験値から求めた λ_s の値		0.00630	0.00821	0.00928	0.0109	0.0121
計算式 (2) による λ_s の値		0.00620	0.00838	0.00976	0.0123	0.0135
計算値の実験値に対する差の百分率 %		-1.6	+2.1	+5.2	+12.8	+11.6
$(\Delta p_s/\Delta p) \times 100$ %		0.33	0.52	1.4	4.0	3.9

5. 曲管部の圧力降下

ベンドの上流に接続したまつすぐな円管の最初の圧力測定孔の圧力を p_0 とし、流れの方向の圧力降下 $p - p_0$ を動圧 $\rho \bar{u}^2/2$ で割った値を縦軸にとり、最初の圧力測定孔の位置を起点として、流れの方向に測った長さ x を円管の内径 d で割った値 x/d を横軸にとつて圧力降下の例を示すと、たとえば Fig. 5 および Fig. 6 が得られる。ベンドを含んだこの輸送管と長さと同じであるまつすぐな円管内に空気だけが流れる場合および粒体が輸送

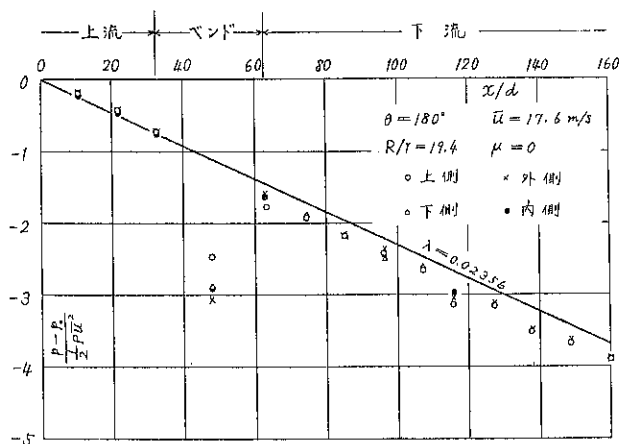


Fig. 5 流れの方向の圧力降下

される場合の圧力降下は、それぞれ(2)および(9)によつて求めることができる。Fig. 5 の λ および Fig. 6 の $\lambda + \lambda_s$ が示す値は、それぞれ(2)および(9)によつて求めた値である。ベンドの上流においては、測定値と、 λ あるいは $\lambda + \lambda_s$ を表わす直線はほぼ一致していて、ベンドの影響は著しくは現われていない。ベンドの入口附近から測定値はこれらの直線から離れはじめ、ベンドの十分下流において、各測定値はこれらの直線に平行になっていく。 λ および $\lambda + \lambda_s$ が示す直線と測定値との差は、ベンドによつて増加した圧力降下ならびにベンドがその上流および下流に及ぼす影響を示している。またベンドおよびベンドの接続部の近くのまつすぐな管においては、圧力の値が圧力測定孔の位置によって異なり、ベンドの下流のまつすぐな管の中でしだいに同じ値を示すようになり、曲りの影響がなくなっていくことがわかる。流体だけについて行なつた実験から、曲りの影響はベンドの入口から測つて上流側へ直径の30倍の長さ、およびベンドの出口から測つて下流側へ直径の50倍の長さに及ぶものとみておけばよいという結果が得られている⁽¹³⁾。ここで行なつた実験から、粒体を輸送している場合についてもほぼ同じ結果が得られていると考えることができる。

各断面に設けた4個の測定孔から得られる平

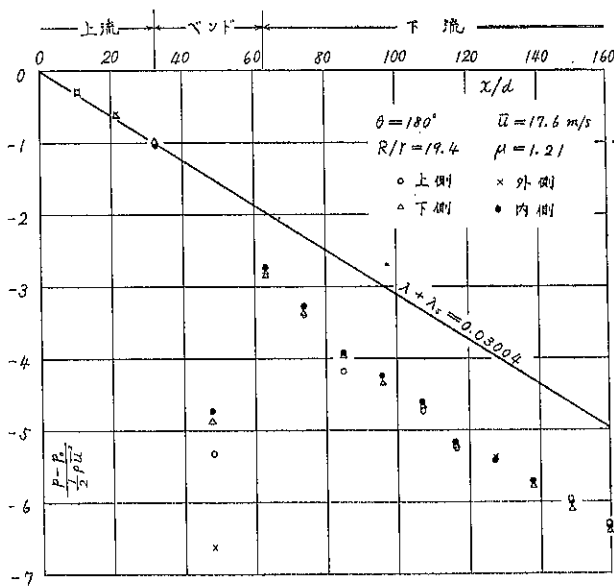


Fig. 6] 流れの方向の圧力降下

均の圧力の値を用い、ベンドの入口と出口の間の圧力降下に、ベンドの上流および下流のまっすぐな管の中の流れに及ぼす曲りの影響を含めて、ベンドの圧力降下を考えることにする。Fig. 7 において、ベンドの上流および下流のまっすぐな管の中の流れが、ベンドの影響を全く受けないものとするれば、この部分の圧力降下 $\Delta p'_g$ は、(9)により

$$\Delta p'_g = (\lambda + \lambda_s) \frac{l_0 + l_u}{d} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \quad (15)$$

で与えられる。しかし実際には上流側の Δp_o および下流側の Δp_u にはベンドの影響が生じているので、

$$\Delta p' = \Delta p_o + \Delta p_k + \Delta p_u - \Delta p'_g \quad (16)$$

あるいは

$$\zeta' = \frac{\Delta p'}{\rho \bar{u}^2 / 2} = \frac{\Delta p_o + \Delta p_k + \Delta p_u}{\rho \bar{u}^2 / 2} - (\lambda + \lambda_s) \frac{l_0 + l_u}{d} \quad (17)$$

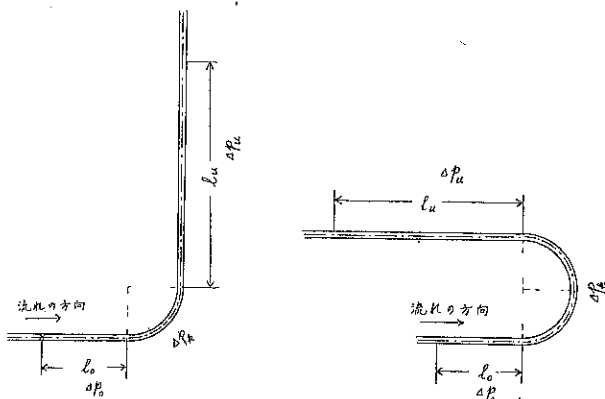


Fig. 7 記号の説明

によつて、粒体を輸送している場合のベンドの全圧力降下あるいは全損失係数を定義する。ここに Δp_k はベンドの入口と出口の間の圧力降下を表わしている。さらに(17)によつて定義した全損失係数 ζ' が、空気だけの場合の損失係数 ζ_b と、粒体の輸送によつて附加される損失係数 ζ_s との二つから成るものとすれば

$$\zeta' = \zeta_b + \zeta_s \quad (18)$$

である。

まず空気だけの場合について、ベンドの入口と出口の間の圧力降下に、上に述べたようにベンドの上流と下流における曲りの影響を含めて ζ_b を求め、レイノルズ数との関係の一例を示すと Fig. 8 が得られる。この図には実験値と比較するために Richter によつて与えられた式(12)

$$\zeta_b = 0.00705 \alpha \theta^{1.1} R_e^6 \quad (19)$$

ただし

$$\alpha = 0.48 R/d \quad \beta = -0.235$$

および伊藤によつて与えられた式(14)

$R_e (r/R)^2 \leq 91$ の場合には

$$\zeta_b = 0.00873 \alpha \lambda_c \theta (R/r)$$

$R_e (r/R)^2 > 91$ の場合には

$$\zeta_b = 0.00241 \alpha \theta R_e^{-0.17} (R/r)^{0.84}$$

(20)

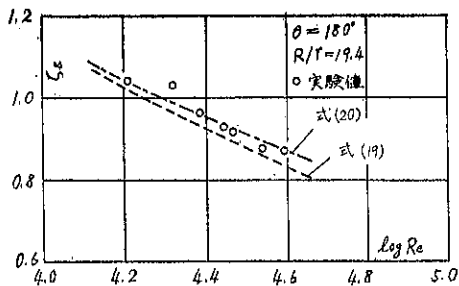


Fig. 8 レイノルズ数と ζ_b との関係

が同時に記入されている。20において係数 α は $\theta = 90^\circ$ に対して

$R/r < 19.7$ の場合

$$\alpha = 0.95 + 17.2 (R/r)^{-1.98}$$

$R/r > 19.7$ の場合

$$\alpha = 1,$$

また $\theta = 180^\circ$ に対しては

$$\alpha = 1 + 116 (R/r)^{-4.52} \quad (22)$$

であつて、20の λ_c は

$$\lambda_c \left(\frac{R}{r} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0.316}{[R_e (r/R)^2]^{1/5}} \quad (23)$$

あるいは

$$\lambda_c \left(\frac{R}{r} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.029 + 0.304 \left[R_c \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]^{-0.25} \quad (24)$$

から求められる値である。

(19)はベンドの入口と出口の間の損失係数を与え、(20)はベンドの上流と下流への曲りの影響を、ベンドの入口と出口の間の圧力降下に加えた場合の損失係数を与え、図から(20)で実験結果を近似させることができるものと考えられる。すなわち(18)の右辺第1項として(20)を用いることができる。(20)を用いて $\mu = 0$ の場合のベンドの圧力降下を

$$\Delta p_b = \zeta_b \frac{\rho}{2} \bar{u}^2 \quad (25)$$

で表わせば、(17)、(18)および(25)から

$$\zeta_s = \frac{\Delta p_o + \Delta p_k + \Delta p_u}{\rho \bar{u}^2 / 2} - (\lambda + \lambda_s) \frac{l_o + l_u}{d} - \frac{\Delta p_b}{\rho \bar{u}^2 / 2} \quad (26)$$

が得られる。実験値から(26)によって ζ_s を求め、この値と混合比 μ の関係の一例を示せば Fig. 9 が得られる。この図からベンドにおいて粒体によつて附加される損失係数を

$$\zeta_s = a\mu \quad (27)$$

で表わせば、Table 4 に示した a の値が得られる。(20)および(27)によつて、粒体を輸送する場合のベンドの圧力降下を知ることができる。

6. 結 語

この研究では流体の乱流の取り扱い方に関連させて、粒体の空気輸送における直管部と曲管部の圧力降下を取り扱った。直管部と曲管部のいずれの場合に対しても、粒体を輸送する場合の全圧力降下を、空気だけによる圧力降下と、粒体の輸送によつて加わる圧力降下との二つに分け、前者は普通の流体に対してすでに得られている式で与えられることを示し、後者に対してはあらたに(20)および(27)の両式を導いた。得られた式により、粒体の輸送中における圧力降下を容易に求めることができ、得ら

Table 4 a の 値

θ	R/r	a	式の番号
90°	20.0	0.830	(28)
	12.0	0.964	(29)
180°	19.4	0.747	(30)
	11.5	0.771	(31)

れた値は比較的良好に実験結果に合っている。

文 献

- (1) J. Gasterstädt, Forsch.-Arb. Ing.-Wesen, Heft 265 (1924).
- (2) E.G. Vogt & R.R. White, Indust. Engng. Chem., 40, 9 (1948), 1731.
- (3) 上滝, 機械学会誌, 53, 383 (昭25—12), 495.
- (4) O. Pinkus, J. appl. Mech., 19, 4 (1952), 425.
- (5) 三雲, 小門, 機械学会論文集, 20, 89 (昭29—1), 6.
- (6) W. Barth, Chem. Ing. Techn., 26, 1 (1954), 29.
- (7) G. Weidner, Forsch. Ing.-Wesen, 21, 5 (1955), 145.
- (8) W. Rausch, Ing.-Arch., 26, 5 (1958), 319.
- (9) 菅原, 吉川, 機械学会論文集, 24, 145 (昭33—9), 663.
- (10) 池森, 機械学会誌, 62, 480 (昭34—1), 89.
- (11) E. Muschelknautz, Forsch.-h. 476 (1959).
- (12) H. Richter, Forsch.-Arb. Ing.-Wesen, Heft 338 (1930).
- (13) 伊藤, 東北大学高速力学研究所報告, 11, 109 (昭30—3).
- (14) 伊藤, 機械学会誌, 62, 490 (昭34—11), 1634.

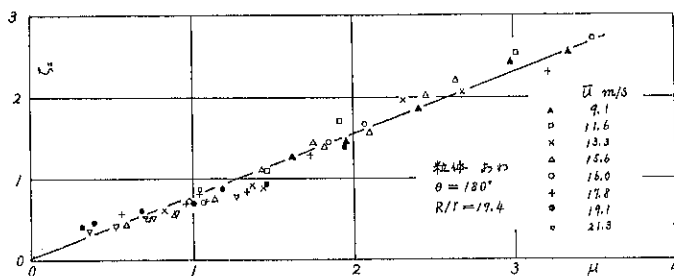


Fig. 9 ζ_s と μ の 関 係

分級装置概論

京都大学工学部助教授 吉岡直哉

1. 緒言

粉体の最も基本的な性質はその粒径分布であつて、これが異なれば他の種々の性質が著しく変つてくる。したがつて粉体製品の性質をできるだけ使用目的に合致したものとするためにはどのような粒径及び粒径分布を与えればよいかが、まず第一に問題となる。篩分範囲の粒体であればこの問題を解決するための試料の調整はさほど困難ではないが、それよりも微粉の場合には必ずしも容易ではない。しかしながらこの問題が解決されたとして次の問題は、最も希ましい粒径分布をもつた粉体をいかにして工業的に製造するかである。粉碎の過程は種々の粒度をもつた粉体粒子に種々の条件下に粉碎媒体による粉碎力が働く確率的なプロセスであり、Rosin-Rammler 分布や対数確率分布などであらわされる一定のばらつきをもつた碎成物が生成する訳であるから、これを所定の分布に近づけるためには是非とも分級という操作によつて、希ましくない粒度範囲のものを分離することが必要となる。またこの分級操作を含めた閉回路粉碎方式の採用によつて、過粉碎の防止、粉碎所要動力の低減、粉碎容量の増加など多くの効果が得られるわけであるから、今日粉碎と分級との関係は益々密接となり、高性能大容量の分級器にたいする要求が大きくなつてきた。

2. 分級の効率と分級性能の表示

分級の効果を比較するのに一つの数値をもつてあらわすことができれば非常に便利である。Fig. 1 はある粒

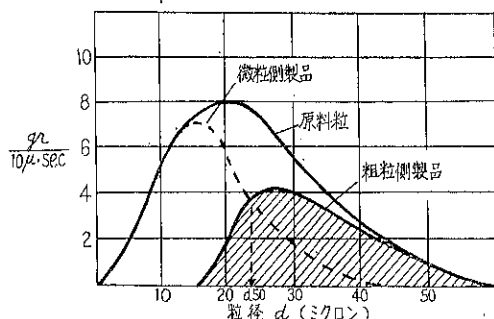


Fig. 1 分級結果の表示

度分布（頻度曲線で示す）をもつた原料粉体を分級器にかけて得られた粗粒側および微粒側製品の粒度分析を示したもので、縦座標は三者共通の目盛で示してある。すなわち両分級製品にたいする縦座標の和が原料のそれに等しくなるようにとつてある。このような図は原料分級製品の粒度分布、分級の精度などを最も直接的に示すわけであるが、原料の粒度分布がかわれば、分級器の分級条件が同一であつても当然変り、一般性がなくかつ定量的な評価が困難である。元来分級の理想とするところは、原料粉体をある分級粒径 d_c で二つに分割して、粗粒側製品中には微粒を含まず、微粒側製品中には粗粒を含まないことである。したがつて不完全な分級における分級効率はこの理想的分級からのへだたりによつて評価されるべきである。しかしながら不完全分級における分級粒径は理想的分級の場合のように明瞭に定まらないのが普通である。たとえば Fig. 1 において 15~45 ミクロンの粒子は粗粒側、微粒側いずれにも含まれてくるから、どの点を分級粒径と考えるかによつて分級の効率は当然変つてくる。しかしながらここでは製品にたいする要求から分級点が予め確定しておるものとする。

Fig. 1 のようなデータから Fig. 2 の部分回収率曲線

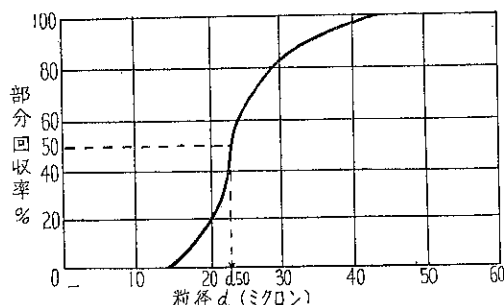


Fig. 2 部分回収率曲線

が画かれる。部分回収率とは例えば粗粒側へ回収されるある粒径 d の粒子の分率であつて、これが50%を示す粒子径を50%粒径といい d_{50} であらわす。この部分回収率曲線は分級器の条件が変化せぬ限り、原料の粒度分布が多少変化しても、ほぼ一定に保たれ、その分級器のその

運転状態における分級性能をあらわす。この曲線を部分回収率曲線といい、一般に図のようなS字型曲線となることが多い。

同種分級器で種々の d_{50} をもつものの部分回収率曲線を書いてみると、 d_{50} の大なるものほど曲線の傾斜がゆるやかになり、相似的に横にひきのばしたような関係になることが多い。このような場合は横軸の粒子径 d のかわりに d/d_{50} をとると、これらの曲線群がほぼ一本の曲線にまとまることが実験的に見出されている。

理想的な分級器では分級点において垂直な部分回収率曲線をとるはずである。

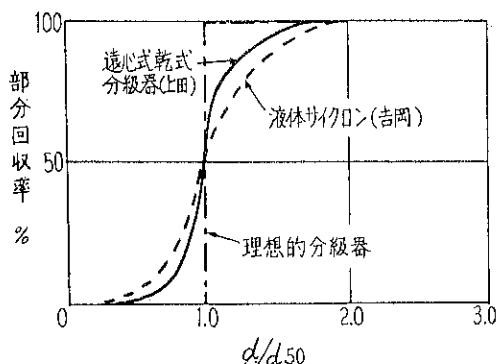


Fig. 3 一般化した部分回収率曲線

一般に分級器の部分回収率曲線の傾斜は d_{50} 付近において最大となることが多い。したがってある原料粒子をある分級点で分級せんとするとき、 d_{50} がこの分級点に一致するような条件で分級器を使用することが希望しいが、必ずしもそうでない場合もある。

分級効果を比較するのに Newton 効率 (η_N) がよく使用されるが、これは次式で定義される。

$$\eta_N = \text{粗粒の回収率} - (1 - \text{微粒の排除率})$$

すなわち (原料中の d_c より大なる粒子の粗粒側製品中への回収率) から、(原料中の d_c より小なる粒子の粗粒側製品中への残留率) をさしひいた値である。このような定義によつて一つの分級結果にたいして一つの効率値が定まり、理想的分級の場合に $\eta_N = 1$ となり、ただ二つの部分に原料を分けただけの場合に $\eta_N = 0$ となる。

今原料の頻度分布を $f(a)$ 、部分回収率を $\phi(a)$ であらわすと、 η_N は、

$$\eta_N = \frac{\int_{d_c}^{\infty} \phi(d) f(d) d(d)}{\int_{d_c}^{\infty} f(d) d(d)} - \frac{\int_0^{d_c} \phi(d) f(d) d(d)}{\int_0^{d_c} f(d) d(d)}$$

であらわされる。 $\phi(d)$ 、 $f(d)$ の形が与えられれば任意の条件下の η_N が求められる。

この分級効率の定義は一応合理的であるが、必ずしも実際の分級の目的に適合するものではない。即ちこの定義では粉体原料を分級点を境にして微粒と粗粒に二分するのみで、各区分内の粒子の大小を問題にしない。しかしながら実際には分級点 d_c に近い粗粒は微粒側にはいつても支障は少いが、非常に大きな粗粒子が微粒側に少量はいつても困ることが多い。このような場合には個々の分級目的に応じて分級点 d_c からの距たりに応じたウェイトをかけた分級効率を使用すべきであると考えられる。たとえば

$$\eta_{dc} = \frac{\int_{d_c}^{\infty} (d-d_c)^{n_1} \phi(d) f(d) d(d)}{\int_{d_c}^{\infty} (d-d_c)^{n_1} f(d) d(d)} - \frac{\int_0^{d_c} (d_c-d)^{n_2} \phi(d) f(d) d(d)}{\int_0^{d_c} (d_c-d)^{n_2} f(d) d(d)}$$

ここに n_1 、 n_2 は分級製品に対する要求によつて定められるべき定数である。

ニュートン効率では n_1 、 $n_2 = 0$ である。

3. 分級法の種類

粒子をその大きさに従つていくつかに分けることを分粒 (Sizing) というが、分級はその中の流体抵抗を利用する方法の総称である。分級以外の分粒法の主なものは篩分法であるが、分粒点が 100 メッシュ以下では処理能力、分粒効率などの点から経済的でない。

分級法には使用する分離力の種類により重力分級および遠心力分級が区別され、また分級の媒体から乾式分級および湿式分級が区別される。湿式分級では粒子の分散状態が比較的容易に保たれること、および器壁との附着の問題が大きくないことなどの理由により凝集性微粒子の分級にはすぐれた分級性能を示すが、分離速度が乾式より小さいこと、所要動力が一般に大きくなることおよび乾燥製品が必要な場合の脱水乾燥の経費を要すること、乾燥後の団結などの諸種の欠点をもつので、出来るれば乾式で分級する方が有利な場合が多い。しかしながら水簸、液体サイクロン、各種の遠心分離器などはある場合には便利に使用されている。

Table 1 は現在使用される主なる分粒法の分類で、Fig. 4 はその分級粒径の概要を示してある。

以下主に乾式の遠心力式分級器についてのべる。

Table 1 分 粒 法 の 分 類

分 粒	乾 式	篩 分 法	重力式分級器 慣性力利用分級器 遠心力式分級器	水平流型 上昇流型 強制渦型…… 自由渦型……	エアーセパレーター ホ イ ツ ザ ー ミクロンセパレータ 井伊谷式気流分級器, Hebb のサイクロン分級器 ミ ク ロ プ レ ッ ク ス スーパークラシファイヤー ファントムゲレン式分級器	4-2
粒	湿 式	湿 式 篩 分 法	水力分級法……水 簾 法, 分級コーン, 攪拌沈降槽, 淘 汰 盤 機械的湿式分級器……レーキ分級器, スパイラル分級器, ボール分級器 遠心式湿式分級器……液体サイクロン, セントリクロン, 遠心分離器 〔例えば Merco pressure centrifuge (Dorr-Oliver)〕			

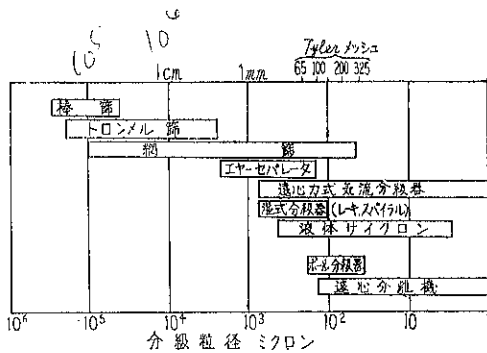


Fig. 4 分級法の種類と分級粒径

4. 分 級 の 原 理

分級の原理を一言にして云えば, 粒子に働く重力, 遠心力などの質量力が粒径 d の 3 乗に比例し, 一方流体抵抗は R . 数に応じて d の 1 ~ 2 乗に比例することにある. すなわち流体中の粒子はそれぞれの粒径および比重によって定まる一定の沈降速度をもって沈降するから, 粒子を含む流体をある容器内において一定時間滞留させると, 粒子の一部あるいは全部を沈降分離させることができる. また粒子の沈降方向と逆に流体を流せば, 沈降速度と流体上昇速度の大小により粒子を浮上または沈降させて分級を行うことができる. また混合粒子を流体中にたとえば水平方向に放出すると, 各粒子の画く飛行の経路 (Trajectory) が粒径によって異なるので分級効果を挙げることができる. 重力下の沈降を利用する分級法はもつとも原始的な分離法で, 分離速度が大きくないために装置は大型となり, 遠心力を利用する小型高性能の装置におきかえられつつあるが, 原理的には両者はほぼ同様である.

重力分級装置には各種のものが実用されるが, その最も典型的な型としては (i) 水平流型, (ii) 上昇流型, (iii) 慣性利用型に大別される.

Fig. 5 のような矩形断面に流量 V の流体が水平に流

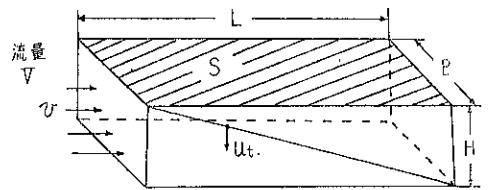


Fig. 5 水平流型重力分級装置の原理図

入し, 流入流体中に均一に粒子が含まれている場合の部分回収率 η は, 粒子の沈降速度を U_t , 分離器の床面積 S とするとき,

$$\eta = U_t S / V$$

となることは容易に証明できる. ストークスの沈降法則に従うような微粒子では $U_t \propto d^2$ であるから, 完全に分離される最小粒子 (限界粒子) の直径を $d_{\min}$ とすると,

$$\eta = \left(\frac{d}{d_{\min}} \right)^2$$

Fig. 6 にこの関係を示す. すなわち水平流型の場合下方附近に流入した微粒子は部分的に捕収されるから完全な分級は原理的に不可能である.

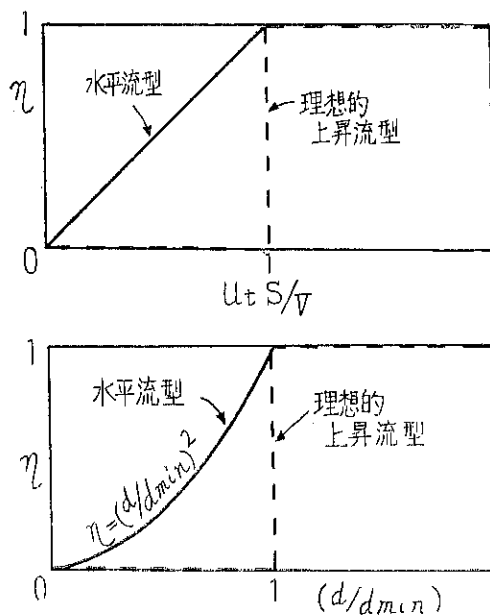


Fig. 6 水平流型及び上昇流型分級装置の部分回収率曲線

また上記の関係は水平流に乱れがなく、粒子が乱れによつて上下方向に拡散混合されないことを仮定しており、もし乱れのある場合にはさらに分級の鋭どさが害される。水平流分級装置における流体の乱れの影響については、Dobbins らの研究があるが、伊原木はこれを Fig. 7 のような形であらわした。粒子の乱れによる拡散係数を上下方向に一定として ϵ とすると、部分回収率 η は二つの無次元数 ($U_t S/V$) および ($U_t H/2\epsilon$) のみの関数となる。Fig. 7 は ($U_t H/2\epsilon$) をパラメータとして η を ($U_t S/V$) に対して画いてある。 $U_t H/2\epsilon = \infty$ は乱れの影響の無視できる場合で、 $\eta = U_t S/V$ となり、 $U_t H/2\epsilon = 0$ は乱れが甚だ大きく、上下方向に濃度が均

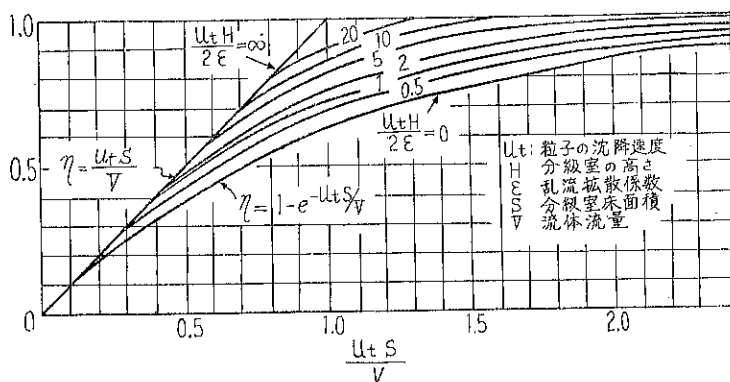


Fig. 7 水平流分級装置の部分回収率曲線と乱れ拡散

一と見なしうる場合で、 $\eta = 1 - e^{-U_t S/V}$ となる。ただしいずれの条件においても一旦下底に沈んだ粒子は再び流れに帰ることはないものと仮定している。

すなわち乱れの存在は分級の鋭どさを低下せしめる方向に作用し、特に粗粒部の回収率を減ずる傾向が大きいことがわかる。

上記の関係は粒子を懸濁する流体と分級流体が同一の場合であるが、水平流分級においても、もし粒子の供給を一定深さの点においておこなう（一点供給）ならば、粒子の沈降経路の初期条件が一定となるから鋭い分級を期待することができる。

次に Fig. 8 は上昇流型分級装置を示す、すなわち

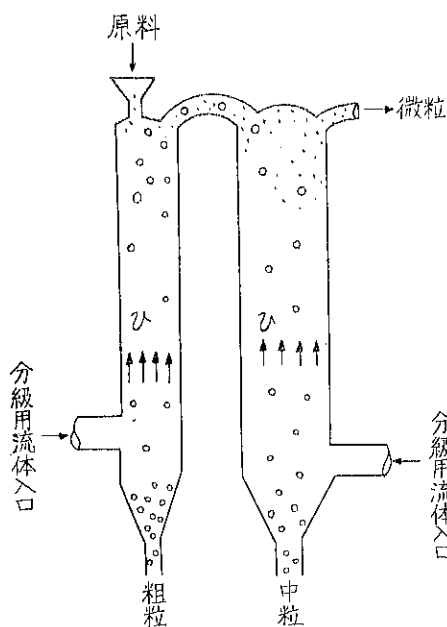


Fig. 8 上昇流型分級装置

終末速度 U_t の粒子の沈降方向と逆に向上き速度 V で流体を送ると、 $U_t > V$ なる粒子は沈降し、 $U_t < V$ なる粒子は上昇するからある大きさ d で鋭い分級ができるはずである。このような鋭い分級は風篩法、水篩法による粒径測定の際に小規模におこなわれる。この場合注意すべきことは鋭い分級を行うためには粒子の供給速度が大きくなり、分級筒内の各部の粒子濃度が自

由な分別沈降の可能な程度に小さいことが必要である。工業的の上昇流分級装置では多くの場合干涉沈降の状態^{...}で、Fig. 6 に示したような理想的な分級は行われ^{...}ない。すなわち粒子の筒内における下降（または浮上）速度は $(U_t - V)$ で、これが正の場合は下降し、負の場合は上昇する。 $U_t \approx V$ なる粒子は上昇または下降の速度がはなはだ小さいから、もしこのような粒子が連続的に系に供給されると、筒内濃度は蓄積により増大し、密度流れや乱れによる拡散作用により上方および下方へ逸出する量と系への供給量が平衡を保つ状態まで濃度が増す。したがって上昇流型分級では分級点附近の粒径の粒子が原料中に多いほど分級が困難となる。これは恰も篩分において目開きの0.5~1.5倍程度のいわゆる難通粒子 (difficult size) が篩分能力を決定するのに類似している。

Fig. 9 は慣性利用型分級装置の一例を示す。この型の

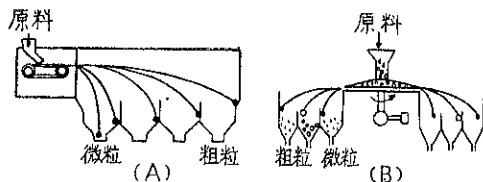


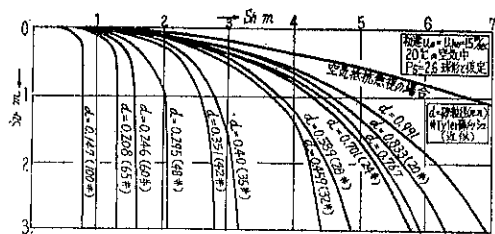
Fig. 9 慣性利用型重力分級装置

式ではいわゆる終末速度の差による分級ではなく、非常運動であるから計算も複雑である。

(A) では高速のベルトから放射された粒子が空気抵抗と重力の関係より粗粒子ほど遠くまで達することを利用したもので 0.1mm 以上の粗粒子の分級に適する。

ただし粒子の分散をよくすることが重要で、供給量が過大となると粒子相互の衝突干涉がおこつて分級の精度が悪くなると考えられる。(B) は同様趣旨でただ粒子の放出をテーブルフィーダにより行う型式である。

Fig. 10 は比重2.6、粒径1mmから0.15mmまでの砂粒子を15m/secの初速度で水平方向に射出したときの経路を示す。



び分級室下方部の粉体濃度が相当大きくなるためと考えられる。ホイッザー部の分級粒径と分散板下方部の分級粒径との一致をはかるなど設計上問題の点が多いと考えられる。鋭い分級を要しない50~150ミクロン程度の方級粒径の場合、装置の頑丈さ、処理容量の大きいことなど他の追従を許さない長所をもっている。

(ii) ミクロンセパレータ

籠形の内部回転体を回転し、外周部より内方へ気流を送り、内向強制渦気流内の遠心力と抗力とのバランスによつて粒子の分級を行わんとする分級器である。

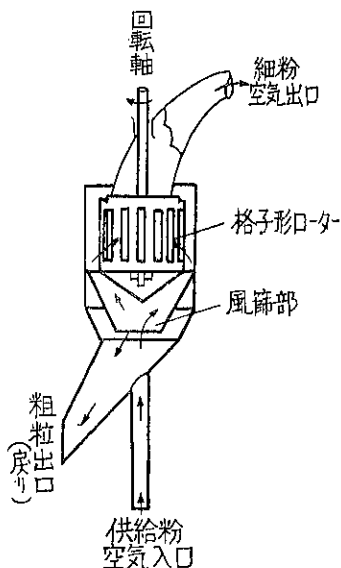


Fig. 12 ミクロン・セパレーター (細川)

ロータ周辺部において気流および粒子がローター周速に等しい回転速度 U_0 をもつものと仮定すると、

$$\text{遠心力 } F_c \text{ は } \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho_f) \frac{U_0^2}{R}$$

となり、また内側に向う気流速度を U_r とすると、これによる中心に向う抗力 F_R は層流抵抗の場合 $3\pi\mu U_r d$ に等しい。粗粉では $F_c > F_R$ で外方へ抛り出され、細粒では $F_c < F_R$ となりロータ面を内側へ通過する。 $F_c = F_R$ なる粒子は理論限界粒子となり、上二式より次式で求められる。

$$d_c = \frac{1}{U_0} \sqrt{\frac{18\mu R U_r}{\rho_s - \rho_f}}$$

ここで U_0 , U_r はそれぞれ独立に自由に決定できるので同一装置で回転数の調節により広汎な分級点の調節ができることが特徴である。

ただ上記の計算は粒子がローター周辺において周速まで加速されることを仮定しているが、これは常に真ではない。特にロータ周辺部の気流によつて粒子がその周速に近い速度まで加速されることはよほど微粒でないところはない。したがって粗粒はローターの格子を形成する羽根との衝突、羽根内の気流によつて加速されるとみるべきで、このような意味から羽根は中心方向にある程度の奥行きをもつことが重要である。なおこのローターのみの方級作用では粗粒側への微粒の残留率が高くなるから下方の風篩部における上昇流分級を併用して微粒の回収率を高める工夫がされている。

(iii) 自由渦型気流分級器

上記の二つは回転体の回転によつて作られた強制渦部で分級を行う方法であるが、羽根の回転に伴う流体の乱れの大きい難点がある。自由渦型は円盤状分級室の周辺部から切線的に気流を吹き込み分級室内に自由渦に近い向心回転気流を形成させ、この回転による遠心力と向心流による抗力のバランスから分級粒径を決定せんとするものである。この種の自由渦 (準自由渦) の切線速度 U_0 と半径 r との間には周知のように $U_0 r^n = k$ の関係があり、 n は 0.4~0.8 位である。すなわち中心に近づくほど U_0 は急激に増大し、

$$F_c = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho_f) \frac{U_0^2}{r}$$

は大きくなる。したがって半径方向に一概な分級点を得るには抗力 F_R の方もそれに応じて中心に行くほど大となるように分級室の高さを決定する必要がある。 $F_R = 3\pi\mu d U_r$ であり、半径 r の点の分級室の高さを h とすると、 $U_r = V/2\pi r h$ とみなせるから、任意の半径 r において同一直径 d_c の粒子が平衡を保つためには次式

$$h = \frac{9\mu V}{\pi (\rho_s - \rho_f) d_c^2 k^2} r^{2n}$$

で示されるように h と r の関係を定める必要がある。 $n=0.5$ とすれば h は r に比例することになり、分級室としては円錐面がよいということになる。

Hebb のサイクロン分級器や Fig. 13 に示す井伊谷式気流分級器はこの趣旨の装置である。原料粒子はちょうど半径の中央附近に入り、精溜塔における濃縮部および回収部と同様、内側では混入した粗粒を分離し、外側では逸出した微粒を回収する。

Fig. 14 はファントングレン式分級器で向心回転流動を利用する分級器であるが、分級室の形状、整流板の設置、二次空気の使用等に種々の工夫がこらしてある。入口部に屈曲を与えて粒子が遠心力により外側に集まるようにし、分級室の周壁から少し内側に供給されるようにし

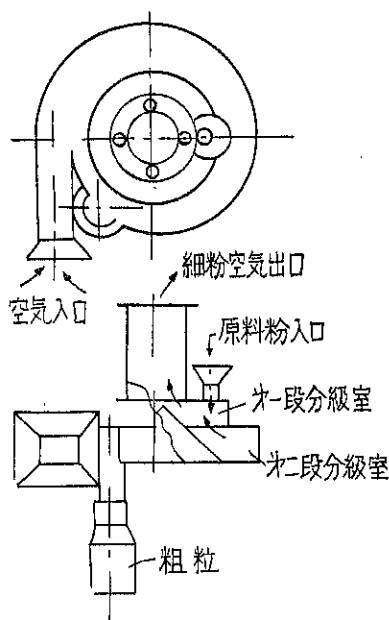


Fig. 13 井伊谷式二段気流分級器

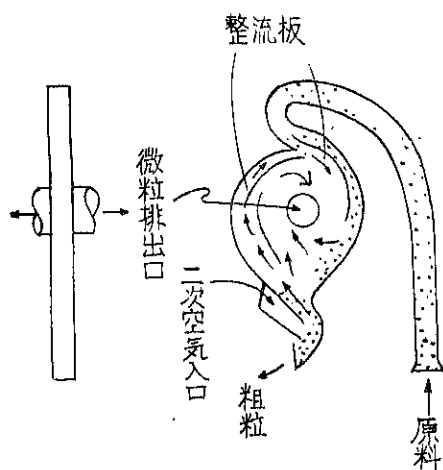


Fig. 14 ファントンゲレン式分級器

た点、図の分級室内左半部に三枚の整流板を入れ、一たん分離された粗粒のとびこみを防止した点、二次空気を左下方より吹き込んで粗粒に附着する微粉を吹き上げている点、および二次空気と左方整流板の作用により、分級室内に滞留濃縮されやすい平衡粒子を細粒側へ追い出している点などに苦心が感ぜられる。

(iv) 回転壁型自由渦気流分級器

前記の自由渦型分級器は分級室が固定されているために壁上では気流の速度が0となり分級能力に局部的不均

一が生ずる。この難点を改良したものが回転壁型自由渦分級器で独逸 Alpine社 の Mikroplex (Fig. 15) および米国 Sharples 社の Superclassifier がこれに属する。

Mikroplex は Fig. 15 に示すように二枚の回転円盤

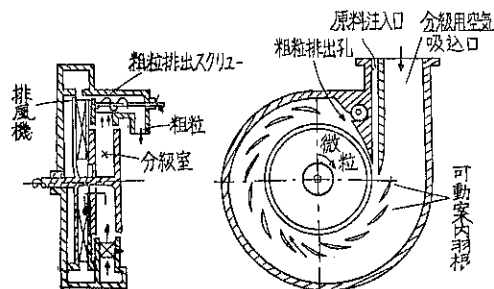


Fig. 15 Mikroplex

の間にはさまれた分級室に周辺部より分級用空気を吸入し、分級室内の自由渦により分級作用を行う。風量および案内羽根角度を調節して分級点の調整が可能である。その分級範囲、処理量は Table 2 の通りである。

Table 2 Mikroplex 分級器の性能

分級室直径 [mm]	分級範囲 [μ]	処理容量 [kg/hr]
132	2~15	50~300
400	5~25	500~2500
800	10~40	1200~6000

Sharples 社の Superclassifier は同じく回転壁型で、原料粉体は回転壁に設けられたノズルからその部分の気流速度に近い速度で切線的に供給されるので、加速のための乱れや分級誤差が少くなる。原料粉体はこのノズルに入る前に分散分配板の翼によつて衝撃をうけ充分に分散される。また分級室の半径方向の中央に供給されるなどすべての点に注意が行き届いており優秀な分級器と考えられるが、装置が相当に複雑である。ウラニウム鉱の選鉱用およびロケット用火薬の分級を目的として開発されたものといわれる。分級粒径は 20~100ミクロン程度である。

6. 結 語

以上乾式分級につき原理、装置の概要をのべたが、最後に分級の精度を向上させるために注意すべき事項を総括してのべる。

(35頁へつづく)

湿式集塵装置(スクラバー)

大阪市立大学工学部教授 吉 田 哲 夫

スクラバーは集塵の目的だけでなく、ガス冷却やガス吸収をかねて用いる場合も多いが、ここではガス中に浮遊する固体粒子(ダスト・ヒューム)、あるいは液体微粒子(ミスト)を液体を用いて除去する場合に主眼点をおいて説明することにする。スクラバーは捕集された粉体が液で濡れてもかまわない場合、または液体微粒子を捕集する場合には、上手に設計すれば比較的簡単な装置と操作で高能率をあげるので、広く工業的に用いられている。

なお捕集物の再飛散を防ぐことも出来るので、最近では放射性排ガス処理にも用いられるようになった。

I ダスト(Dust)、ヒューム(Fume)らの区別とそれらの性質

ダスト、ヒューム、ミスト(Mist)などまぎらわしい言葉がよく使われているが、一応これらを下の如く区別することができる。

A. 区 別

ダ ス ト：風、上昇気流などの自然現象や粉碎行程のような人為的操作によつて発生した固体粒子。

ヒ ュ ー ム：昇華、蒸溜、煅(か)焼によつて生じたところの蒸気の凝縮や化学反応によつて成長した固体粒子。

ミ ス ト：蒸気凝結、化学反応、あるいは液の噴霧によつて生じた小粒の液滴。

霧(Fog)：自然現象によつておこつたミスト。

煙：燃焼によつて発生したヒューム。

エーロゾール(煙霧質)：上記の如き固体または液体が分散して、気体中に浮遊している場合のものを云う。

Smog：アメリカで大気汚染に対して使われる言葉であつて、Smoke と Fog の合成語。

これらの粒径範囲を示すと Table 1 のようなものである。

B. 粒子捕集に関係した粒子の性質

(1) ブラウン運動による粒子の凝集

エーロゾールは元来安定程度の低い分散系であり、

Table 1 エーロゾールの粒径範囲

物 質	粒径 μ (幾何平均径)
○一般ダスト	5 ~ 100
○ヒューム	
アルカリヒューム	0.1 ~ 6.0
金属ヒューム	0.01 ~ 2.0
塩化亜鉛ヒューム	0.1 ~ 2.0
○ミスト	
硫酸ミスト	1.0 ~ 10
SO ₃ ミスト	0.6 ~ 5
○霧	1.0 ~ 40
○雨	500 ~ 1000
○煙	
タバコ煙	0.01 ~ 0.3
オイルスモーク	0.4 ~ 1.0
酸化マグネシウム煙	0.01 ~ 0.7

媒質が気体であるために、その密度および粘性が小さいので、ブラウン運動が激しい。そのため他の粒子と衝突し凝集して成長し、大粒子の分は重力によつて落下して、とかく中間粒径のものが残り易い。一名この現象をエーロゾールの老化と云う。例えば NH₄Cl のヒュームは発生後 9 分にしてその最頻度径が 1.04 μ から、1.43 μ になる。凝集作用のために一般に安定した粒子濃度の限度は 10⁷個/c.c でこれ以上の粒子数のエーロゾールは不安定である。

(2) 音 波 凝 集

4 ~ 7 KC/S の音の定常波をおくと微粒子(大体 10 μ 以下は激しく運動し、衝突回数をます。粒子濃度が非常に薄くなると凝集が困難となり、逆に濃いと音波エネルギーの消費が大きくなる。上限は 230gr/c.c 下限は 0.23gr/c.c、音波強度は 150db (10⁻¹ watt/c.c) 以上。

(3) 粒 子 の 滞 れ

固体が液に濡れる難易さは附着張力(附着の仕事)の大小による。固一液系の異面張力が高いことは附着張力が低いことを示し、逆に異面張力が低くなれば附着張力は強くなる。Table 2 の如く、カーボンブラッ

クは水に対する附着張力は弱く、水になじみ難い。

Table 2 粒子の附着張力

液 体	附 着 張 力 dyne/cm	
	シリカ	カーボンブラック
水	82.82	54.74
四塩化炭素	40.69	89.45

また粒子の表面に吸着空気層が存在するために濡らすことが困難な場合が多い。このような場合には生蒸気を使用することによつてその表面をぬらすことが出来る。要するに粒子の濡れの難易がスクラバーの性能に大きい影響をあたえるものである。

(4) 液体粒子の凝縮

極度に小さい曲率半径を有する液滴表面（凸面）の蒸気圧は平面上のそれより大きい値を示し、この逆に凹面上の蒸気圧は平面のそれより小なる値をしめす。

従つて蒸気は凸面より凹面により容易に凝結し、また蒸発作用はこれと反対に凸面の方が凹面より盛んになる。従つて粒子が小さい程蒸発し易い。但しこれは同一物質についての比較であるが、蒸気圧が低い物質の液滴は蒸発し難く、その上に水が凝結し易い。例えば SO_2 のミストの如きもの。

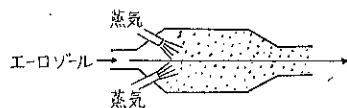
凝結を促進さそうとすれば

- 平面を有する粒子を導入する。
- 内向の極度に小さい表面を有する活性炭や、シリカゲルのような多孔性の表面を有する粒子を導入する。
- 電荷を有する小粒子の導入。粒子の表面に帯電させると蒸気圧は減少する。そして凝縮を促進させる。
- 小滴の蒸発を抑制しようとするれば液滴の雰囲気気を飽和状態になるべく近かつたもつこと。

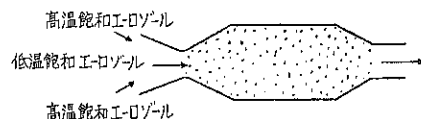
(5) 固体粒子表面への凝結

これは一部液体粒子にも適用出来ることであるが粒子表面に液体を凝縮させる方法として、次の操作を考へることが出来る。

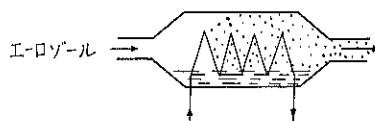
a 生蒸気による方法



- 比較的高温の飽和湿度にあるエロゾールAを、Aの湿球温度以下の低温飽和エロゾールBと混合

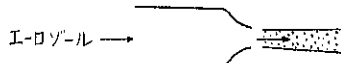


c 冷却による場合

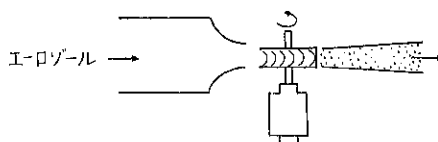


d 断熱冷却による方法

(i) 断熱仕事を速度エネルギーに転換



(ii) 断熱仕事を機械エネルギーに転換



(6) 静電的性質

エロゾールの粒子は通常帯電しているが、その状況はその発生法およびその後の経過時間、更に粒子の組成などで一定しない。

- 低温度における蒸発、湿気との接触などの如く緩慢な操作によつて発生したものはあまり帯電しない。
- 燃焼、爆発、放電などの激しい過程をえて生成されたものは、生成直後から帯電している。しかも帯電量が高い。
- 生成直後には帯電してなくとも、空気中のイオンを吸着して帯電することがある。紫外線、X線、放射線などの照射、火焰、熱した物体などとの接触、またエロゾール内の放電によつて帯電する。
- エロゾール内の粒子が同符号に帯電している場合。

粒子が非金属物質および酸性酸化物（例えば珪酸質のダスト）のときには一般に正、金属物質および塩基性酸化物（例えば石灰質のダスト）のときには一般に負に帯電する。

- エロゾール内の粒子が異符号に帯電している場合。

MgO の煙、濃い HCl 、 HNO_3 の蒸気、 H_2SO_4 のミスト、 NH_4Cl のヒュームは異符号に帯電し、正の粒子も、負の粒子も混在している。

f 粒子間の電気的吸引および反撥の作用はブラウン運動に基く粒子相互の接近あるいは離反の效果に較べると無視し得るほど小であると云われている。

g 繊維フィルターの繊維と粒子間の静電気的吸引力は多くの場合、捕集機構の一つと考えられる。ガラス、羊毛、ナイロンらは正に、サラシ、ポリエチレンらは負に荷電されやすい傾向にあると云われる。¹⁾

また Thomas²⁾ によると羊毛に樹脂加工をほどこしたものの吸引力は繊維の周り 3μ 以上にも達すると云う。しかしフィルターを湿式にすると水は帯電の漏洩を助長する。

II 集塵器の選択

Fig. 1 の下方には 10μ 以下の捕集に対して如何なる集塵装置が適用されるかを示してある。ここにフィルターの中には湿式細繊維フィルターも含み、スクラバー中にはサイクロンスクラバーから噴霧塔まで含ましてある。

Fig. 2 には各形式の集塵器についてエアロゾルの粒径に対する捕集効率をしめしている。

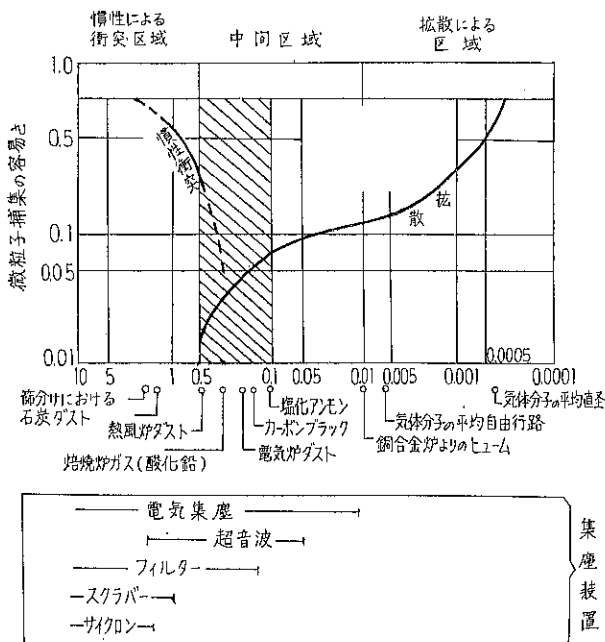


Fig. 1

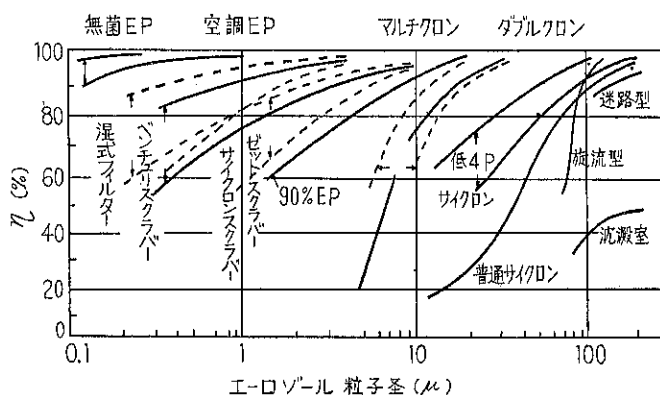


Fig. 2 粒子径と集塵率特性
(EP—電気集塵器)

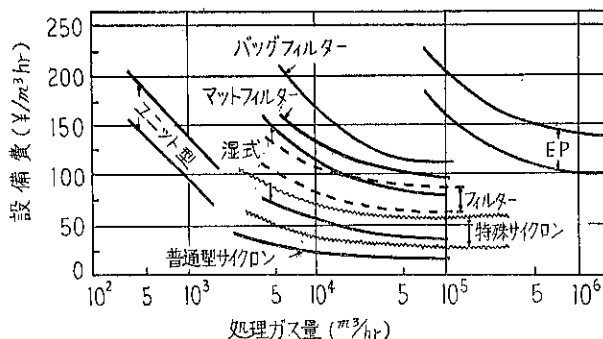


Fig. 3 処理ガス量と設備費

これによつてエアロゾルの平均粒径と捕集効率を指定すれば採用すべき集塵器の形式の範囲がわかる。またこの図において湿式法がすぐれていることが分る。

なお Fig. 3 を見ると単位容積あたりの設備費は大容量ほど安くなるので、大容量のものは出来るだけ高い効率のものを選び、事故の際の集塵効率の低下を少なくするよう心掛けるべきであろう。

また Fig. 4 には電気集塵器における η と設備費との関係をあらわしているが、高い効率のものを望もうとすれば急激に設備費が高くなるが、自己の目的にそくした最も経済的なものを選ぶようにする。

湿式集塵装置は設備費が比較的安い部類に属し、かつ高効率であり、その上取扱いの簡単、安定性のよさ、長寿命らの良点のために相当広く使用されている。しかし一方濡れ難い粒子（例えばカーボンブラック）や、軽い微粒子（例えば酸化鉛）に不向きとなることがあるので捕集すべき粒子の

Table 3 各種湿式集塵器の性能

名 称	通過ガス 流速 m/sec	圧力損失 mm 水柱	所要水量 l/Nm ³	集塵可能 粒子径 (μ)	捕集効率 %	
噴 霧 室	2	5~20	Ca. 2	> 5	50~84	
充 填 塔	0.1~0.2	<200	1~10	>10	30~70	
タイゼンワッシャー		50~150	0.5~2.0	> 2	80~99	350~750r.p.m 5~25 KW/1000m ³ hr
ゼットスクラバー		昇圧<200	20~200	> 1	<90	10~30mm 水柱の吸引力
ベンチュリースクラバー	>60	250~400	0.6~1.0	0.3~10	<95	
サイクロンスクラバー	1~2	60~100	0.5~1.5	> 1	80~90	
湿式粗繊維フィルター	0.5~2.0	4~30	0.5~0.9	> 3	<99	繊維径 100μ 以上
湿式細 " "	0.01~0.1	100~200	0.4~0.7	>0.1	<99.9	" 50μ 以下
湿式電気集塵器	0.9~3 滞留 1~6sec	5~10	0.15~2.0	>0.05	<99.9	0.2~0.6KW/1000m ³ hr

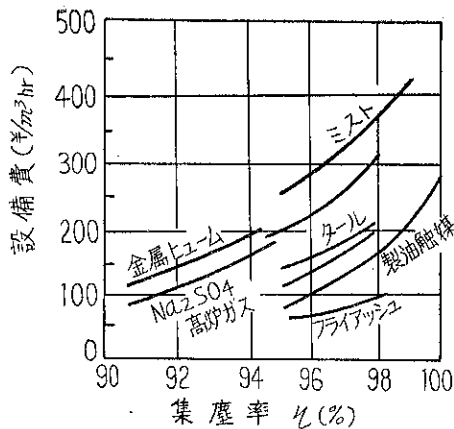


Fig. 4 電気集塵器の効率と設備費

性質をよく考える必要がある。また水を用いるので排水処理装置が必要となることも欠点の一つである。

Table 3 には一般の事業場によく使われるスクラバーの性能の概要をしめしているが、この内、噴霧室、充填塔はガスの洗滌、冷却、増湿が主要目的であり、集塵器自身としては良好な性能を示すものではないが、高性能集塵器の前置装置としてよく使用される。タイゼンワッシャー、ゼットスクラバーは自己にてガスを吸引する力を持つもので、低い抵抗のガスラインに附加するときには送風力と集塵器の両方の作用を兼ねせしめることが出来て有利となる。その上集塵効率も比較的良好で集塵器としては中位の性能をもっている。

サイクロンスクラバーはサイクロンの中心部に水を噴霧する形式のもので集塵器としては中位にくらいる。ベンチュリースクラバー、繊維フィルター、電気集塵器

は高位捕集器に位置する。

III 各種湿式集塵器

工業的にいろいろの形式の湿式集塵器が考えられるが、これらの微粒子捕集機構は微粒子と液滴との慣性衝突、液面への拡散、吸収、静電氣的吸引力などによるものである。今ここにおもだつた湿式集塵器を上述の分離機構別に分けて、その特性を説明してみよう。

A. 主として慣性衝突によるもの

ベンチュリースクラバー
サイクロンスクラバー
デイスインテグレイター
(タイゼンワッシャー)
ゼットスクラバーなどが
これに属する。

Fig. 1 に示す如く、1μ以上の粒子に対しては慣性に

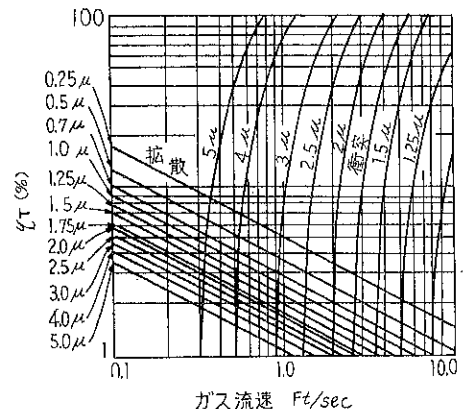


Fig. 5 5μまでの球形粒子に対する慣性衝突および拡散による効率

よる効果が有勢であり、 0.2μ 附近以下の粒子に対しては拡散による効果がきいて来る。 $0.2\sim 1\mu$ の範囲の粒子は両者の中間帯に存在し、一番取扱い難い。また Fig. 5 に示す如く、慣性衝突による捕集率はガス流速が大になる程であるが、拡散による捕集率はガス流速が小になる程大となる。

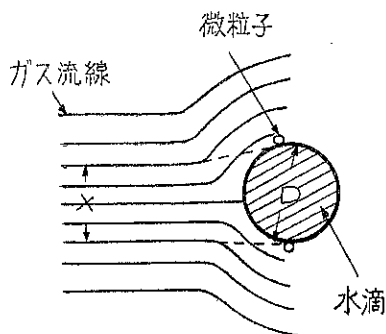


Fig. 6

今 Fig. 6 にしめす如く、粒子の運動方向に障害物（液滴など）がおかれた場合について考えてみる。ガス流線は障害物の影響により曲線的にまがる。この場合ガス中に含まれる微小なる軽い粒子はガス流れに従って流れ、衝突をおこさないが粒子の運動量が大きい場合には図中の点線でしめした如き運動をして障害物に衝突する。今衝突する割合を

$$\eta_T = \frac{A_s}{A} \begin{cases} = (X/D)^2, \dots\dots \text{障害物が球} \\ = X/D, \dots\dots \text{障害物が円筒} \end{cases} \quad (1)$$

とおいて η_T を Target Efficiency と呼んでいる。

ここに A_s は障害物の遙か前方の衝突可能な範囲の流線の断面積であり、 A は流れの方向に垂直な障害物の断面積である。

また Ranz and Wong ³⁾ は衝突効率に影響をあたえる慣性力の項として

$$\psi = \frac{1}{18} \frac{d_p^2 v_p \rho_p}{\mu D} \quad (2)$$

を採用している。

今粒子の重さ $m = \pi d_p^3 \rho_p / 6$ とすると(2)式は

$$\psi = \frac{1}{18} (Re)_p \left(\frac{d_p}{D} \right) = \frac{m v_p}{K_s D} \quad (3)$$

ここに $K_s = 3\pi\mu d_p \dots\dots$ Stokes の抵抗係数となるが ψ は分離数 (Separation number) と呼ばれ、Sell ⁴⁾ の提唱した Impactibility に相当するものである。Fig. 7 は円筒、球、リボンのような単純な障害物に対して、Target Eff. η_T と分離数 ψ との関係をあらわしたもので、障害物に関しての Reynolds 数が大きい場合に利用出来る。しかし、流れが粘性の影響を著しく受けるような低 Reynolds 数の場合には分離数のみで η_T

を論ずることが不合理となる。このような場合については Davies ⁵⁾ は Fig. 8 のような結果をあたえている。

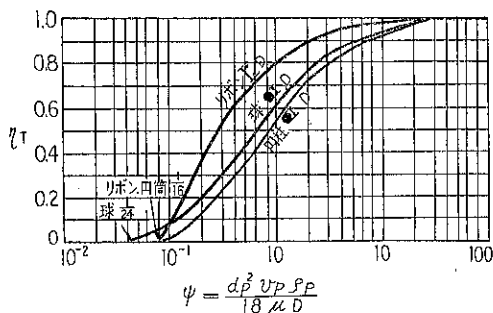


Fig. 7 Target Efficiency η_T と分離数 (完全流体の流れ)

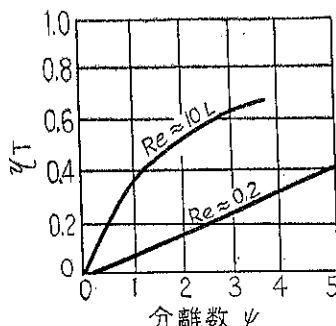


Fig. 8 η_T と分離数 (粘性流体の流れ)

(1) ベンチュリースクラバーとサイクロンスクラバ - 6)

Fig. 9 にはベンチュリースクラバーの外観をしめす。ベンチュリー入口角度は $20\sim 25^\circ$ 、出口角度は $6\sim 8^\circ$ 、喉部の長さは喉直径の $1\sim 1.5$ 倍にとるのが普通である。実用されるガス流速は $60\sim 80\text{m/sec}$ 位であり、注水量は $0.5\sim 1.2\text{l/Nm}^3$ 、注水圧は $0.5\sim 1.5\text{kg/cm}^2$

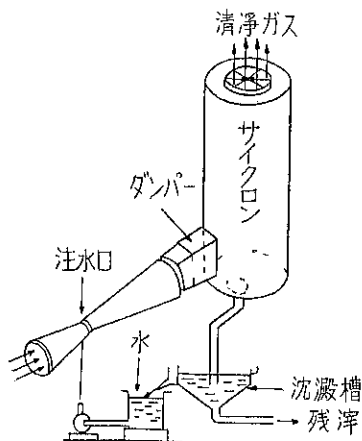


Fig. 9 ベンチュリースクラバー

ゲージである。

また捕集効率は次の式によって計算出来る。

$$E = 1 - \exp\left(-\frac{3\eta_T r a}{2}\right) \dots\dots\dots(4)$$

但し η_T : 1個の液滴についての Target Eff.

(Fig. 7, Fig. 8 より求める)

r : 直径 D の液滴がガス流と相対的に移動した距離

$a = 10^3 \times L/D$, L (l/Nm^3) で 注水率, D は液滴の平均粒径(μ) で次に示す抜山, 棚沢の式によって計算出来る。

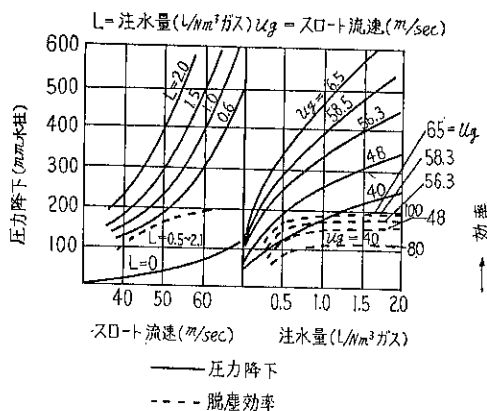
$$D = \frac{585}{v_g} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_L}} + 597 \left(\frac{\mu}{v_g \sigma \rho_L} \right)^{0.45} L^{1.5} \dots\dots(5)$$

ここに, 液の密度 $\rho_L = 0.7 \sim 1.2 \text{ gr/c.c}$

液の表面張力 $\sigma = 30 \sim 37 \text{ dyne/cm}$

液の粘度 $\mu = 1 \sim 25 \text{ c.p.}$

の範囲に成立する。



v_g = 液に対するガスの相対速度 (m/sec)

ガス……高炉ガス (0.1 μ の粒子を多数含む)
使用ベンチュリーは喉径 106mm 喉長さ 0mm
 $\theta_1 = 16^\circ$, $\theta_2 = 6^\circ$

L = 注水量 (l/Nm^3 ガス) v_g = スロート流速 (m/sec)

Fig. 10 ベンチュリースクラバーの効率と圧損

Fig. 10 は捕集効率および圧力損失の実測の1例をしめたもので注水率が多い程, 著しく圧損が増加するが, l/Nm^3 以上になるとその割に捕集効率は増加しないことを知る。このスクラバーは設計と操作がよければミストやヒュームに対しても90%以上の効率を望み得て, しかも構造が簡単であるので近年非常によく使用されるようになった。しかしガスを高速に流すための運転動力が大きいのが欠点である。

Fig. 11 はサイクロンスクラバーの一種のHydrocloneと呼ばれるものである。従来の装置は Fig. 11 のもの

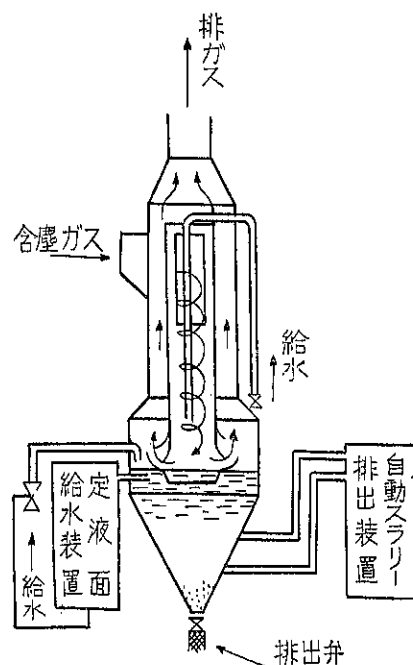


Fig. 11 サイクロンスクラバー (ハイドロクロン型)

の内筒構造のみであり, サイクロンの中心にスプレー装置のみをもつたものであるが, 本装置では液封をくぐつてガスが反転するようになっており, 飛沫防止と共に更に捕集効率の向上を狙つたものである。

サイクロンスクラバーの噴霧は専ら噴霧ノズルでおこなわれるので, ノズルの選定が大切である。出来るかぎりノズルの噴霧圧力を高くして (7~15 kg/cm^2 ゲージ) 噴霧の微粒化を狙わねば高能率を得ることは出来ない。一般に云つて, Hollow cone 型ノズルの方が微粒を作るのに適するものであるが, ガス層に対して慣通力が弱いので衝突による捕集効率を望む場合には Solid cone 型の方が有利であろう。いづれにしてもノズルの目詰りを来たさないよう, 充分に注意する必要がある。

従来の型のサイクロンスクラバー (ガスを下方より導入して上方に導く) の一般操作条件として, ガスの入口速度は遠心効果を 100 程度にするため 10~20 m/sec, 圧力損失は 60~100mm 水柱, 注水率は 0.5~1.5 l/Nm^3 である。

捕集効率は (4) 式を用いて計算出来るが (4) 式中の r はサイクロンの半径に等しくおく。また液滴平均径 D は, ノズルの性能を判定して求めねばならない。

(2) デイスインテグレーター (Disintegrator)

機械的に冷却水を散布せしめ, 回転体によつてガスと混合接触させてガス中の微粒子を捕集しようとするもの

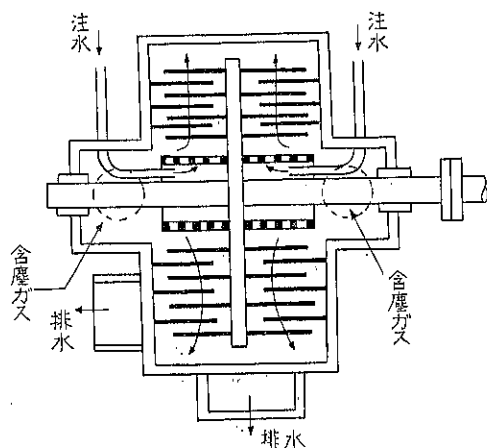


Fig. 12 タイゼン式ワッシャー

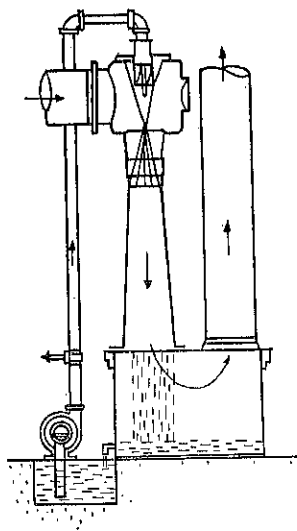


Fig. 13 ゼットスクラバー

で、これには二、三の型式のものがある。

Fig. 12 にしめされているのはタイゼン式ワッシャー (Theisen Washer) と云い、多翼固定子とこれに組合せた多翼回転子との空間に水とガスを導入攪拌する。回転数は 350~750rpm. 用水量は 0.7~2 l/Nm³ である。

この集塵器は 50~150mm 水柱の昇圧を行うことが出来るが、運転には約 5 KW/1000Nm³hr の所要動力が必要である。製鉄高炉ガス処理では噴霧冷却塔を前置すると 98~88% の高能率を示すことが報告されている。

また Fig. 14 の如き機械式スクラバーが構造簡単のため比較的よく実用されており、ダストの捕集、ガスの洗滌に相当の効果をあげうるものである。

(3) ゼットスクラバー

Fig. 13 の如き構造のもので 5 μ 以上の微粒子の捕集

には比較的有効に働く。Table 3 にしめす如くゼットスクラバーの使用水量は多く、200 l/Nm³ 附近に及ぶことがあるが、水を循環して使用する場合に

はさして難点とはならず、注水のために要する理論動力は 100 l/Nm³ の水を 2 kg/cm² にあげるとしても 5.5 KW/1000m³hr 程度のものである。これに使用する送風機は水柱 50mm 以下の風圧のもので十分である。

B. 主として拡散作用によるもの

(繊維充填フィルター、噴霧室などがこれに属する) 拡散による効果を狙うときは出来るだけ流速をおそくし (Fig. 5 参照) 微粒子と障害物との接触時間を永くすることが得策である。

Fig. 1 に示す如く、微粒子が 0.2 μ 以下になると Brown 運動による微粒子の拡散が大きな役割をはたすことになる。微粒子の障害物への拡散の考えは水によるガス吸収の場合と同様と考えられる。但しこの場合にはガス境界の外側に微粒子の濃度は一様であり、一方障害物自身においては濃度は 0 であると考え。直径 D なる球体の表面へ拡散によつての微粒子の捕集割合は厚さ δ の膜を横切る濃度勾配に比例し、一般の吸収方程式に従つて次の如くあらわせる。

$$\frac{dN}{d\theta} = \frac{\pi D^2 D_v (C_g - 0)}{\delta} \dots\dots\dots (6)$$

ここに N は水滴上に沈積する微粒子の数、C_g は微粒子の濃度、D_v は微粒子の拡散係数であり、θ は時間である。水滴が単位距離を移動する時間内に拡散によつて集められる微粒子の数は $\pi D^2 D_v C_g / (\delta v_p)$ であり、これに対して直径 X なる単位長さの流線束の中に最初に含まれている微粒子の数は $\pi X^2 C_g / 4$ であるから、これらを等しく置き、X²/D² について解くと拡散による捕集の効率率は次のようになる。

$$\eta_D = (X/D)^2 = 4 \frac{D_v}{\delta v_p} \dots\dots\dots (7)$$

(7) 式中のガス境界の厚さ δ は Re 数と Sc 数の関数であり、Eads⁷⁾ によると次のようにあらわされている。

$$\begin{aligned} \frac{D}{\delta} &= 2 + 0.557 \text{Re}^{0.5} \text{So}^{0.375} \\ &= 2 + 0.557 \left(\frac{D v_p \rho}{\mu} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu}{\rho D_v} \right)^{0.375} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

Brown 運動による拡散係数 D_v は Stokes Einstein の方程式をかりて計算出来る。即ち

$$D_v = \frac{K_B T (1 + 1.72 \lambda / d_p)}{3 \pi \mu d_p} \dots\dots\dots (9)$$

式中 K_B は Boltzmann 恒数であり, Cunningham の 1μ 以下の粒子に対する修正係数を含めて, Table 4 にはいろいろの粒径の微粒子に対して 25°C における D_v および Sc 数をあたえている。

Table 4 25°C の空気における微粒子の拡散率 (10^{-5} cm の分子の平均自由径路に就いての計算)

微粒子の直径 (μ)	D_v cm^2/sec	Schmidt No $\mu\text{g}/(\rho_g D_v)$
0.5	6.4×10^{-7}	2.4×10^6
0.1	6.5×10^{-6}	2.3×10^4
0.01	4.4×10^{-4}	3.4×10^2
0.001	4.1×10^{-2}	3.7
SO_2 分子	11.8×10^{-2}	1.28

円壩型障害物に対しては Langmuir によつて示された次の式が空間率 $\epsilon = 0.98$ 以上のマットについてよく合う。⁸⁾

$$\eta_D = Y \frac{1}{0.2 \left\{ -\ln(1-\epsilon) - \epsilon - \frac{\epsilon^2}{2} \right\}} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{但し } Y = \frac{1.07}{\{2 - \ln(\text{Re})_f\}^{0.4} (\text{Re})_f^{0.6} \text{Sc}^{0.6}}$$

(7)式および(10)式によつて1箇の液滴1本の繊維に対しての拡散による捕集効率を求め得る。

(1) 湿式細繊維フィルター⁹⁾

細繊維フィルターは $10 \sim 20 \mu$ の繊維を約 $50 \text{cm} \times 75 \text{cm} \times (10 \sim 5 \text{cm})$ の枠に充填密度 $0.06 \sim 0.08 \text{gr}/\text{c.c}$ (普通は $0.065 \text{gr}/\text{c.c}$) に、手で詰めたものを Fig. 15 に

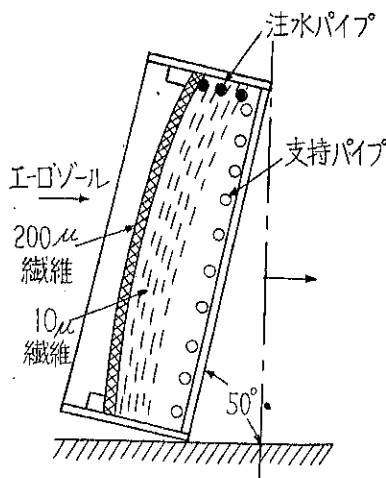


Fig. 15 湿式細繊維フィルター

しめす如く、約 50° にガス流れ方向に対して傾けて取り付け、そして繊維に濡れをあたえるために上方に注水パイプを設け、微量づつ水を注ぎ込む。処理ガス量は濾過面積 1m^2 あたり 1m^3 位が理想的であり、これは濾過速度にすれば $1.7 \text{cm}/\text{sec}$ となる。このように低速にするためには濾過面積が著しく増大するので $15 \sim 20 \text{cm}/\text{sec}$ 位の流速にとつて設計することがある。この時にはフィルター1個に対する圧損は $100 \sim 150 \text{mm}$ 水柱となる。

このフィルターの捕集機構は完全に微粒子の拡散、附着作用によるものと考えられる。ミストや Fog の如き微粒の液滴の捕集、あるいはダストロードの低いヒュームの捕集には目詰りをきたすことなく、極めて高能率 (Table 3 参照) に、しかも安定した運転を行うことが出来る。

(2) 湿式粗繊維フィルター⁹⁾

この種フィルターの取り付け要領は Fig. 16 に示す如くである。繊維径 $150 \sim 250 \mu$ のものを約 $50 \text{cm} \times 50 \text{cm} \times 20 \text{cm}$ の枠に充填密度 $0.053 \sim 0.127 \text{gr}/\text{c.c}$ (普通は $0.078 \text{gr}/\text{c.c}$) に手で詰めたものをガス流れ方向に対して約 45° に傾けて取り付ける。スプレーはフィルター全面をカバーするようにし、噴霧圧は $1 \text{kg}/\text{cm}^2$ ゲージ前後の圧力で充分である。用水量は $0.5 \sim 0.9 \text{l}/\text{Nm}^3$ である。このフィルターによつて衝突作用による

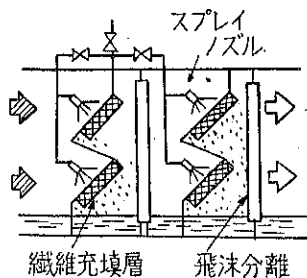


Fig. 16 湿式フィルター

捕集を狙うときには (粒子の比較的大きい場合)、ガス通過速度を $1.5 \sim 2 \text{m}/\text{sec}$ に、拡散作用による捕集を狙うときには (粒子の比較的小なる場合) $0.5 \text{m}/\text{sec}$ 前後にとる。

固体粒子濃度は繊維径によつて異なるが繊維径 100μ 以上ならば $1.5 \text{gr}/\text{Nm}^3$ まで可能であろう。

繊維充填フィルターの効率の見積には実際的に次の式が使用出来る。

$$\eta = 1 - \exp \left(-K \frac{47I \rho_0}{D \rho_n} \right) \dots\dots\dots (11)$$

但し K : 実験から求められるスプレーの注水効果による補正係数, Fig. 16 にしめたような注水法であり,かつ $D = 50 \sim 250 \mu$ の繊維に対して $K = 2.66 \times 10^{-5}$

I : 充填層の厚さ (cm)

η : 1本の繊維による η_s (Fig. 7 あるいは Fig. 8 より), または η_D (10式より)

Table 5 各種充填物の比較

材 料	寸 法	充填容積 1m ³ あたりの重さ (kg/m ³)	充填容積 1m ³ あたりの表面 積 (m ² /m ³)	空間率	概 算 費 用	
					充 填 容 積 1m ² あたり	表 面 積 1m ² あたり
ベルサドル(磁器)	1/2 吋	720	462	0.68	\$ 935	\$ 2.04
ベルサドル(")	1 吋	672	259	0.69	351	1.39
ラシヒリング(")	1/2 吋	1,040	374	0.53	477	1.29
ラシヒリング(")	1 吋	720	190	0.68	150	0.75
コ ー ク ス	3 吋	465	43	0.58	10	0.25
碑 石	3/4 吋	1,360	289	0.50	4	0.01
陶器製ボール	3/4 吋	1,360	161	0.49	1,500	9.35
サラ ン 繊 維	178ミクロン(直系)	111	1,443	0.94	240	0.17
サラ ン 繊 維	78 " (")	58	1,736	0.97	127	0.07
サラ ン 繊 維	51 " (")	51	3,080	0.96	113	0.03

I.E.C., 46, 1769.(1954) より

D: 繊維径 (cm)

 ρ_0 : 繊維の充填密度 (gr/c.c) ρ_n : 繊維の真密度 (gr/c.c)

Table 5 には 繊維充填物と他の充填物との比較をしめしているが、この表に見る如く、繊維充填層の単位容積毎の有効接触面積が大きく、空間率が大きく、かつ重さが甚だ軽いので、その使用法のよろしきを得たならば、優秀な充填物であることがわかる。

また Williams¹⁰⁾ らは繊維を充填物として使った場合に、他の従来の充填物を使用した塔より高い物質移動係数をもたらすことを実験的にみつけた。すなわち、Table 6 には 78 μ 径のサラ ン 繊 維を 57.6kg/m³の密度で充填(空間率=0.996)したものに、137l/m² min の割合で水を注いだいわゆる Wet Cell の H.T.U. (これはガス境膜基準の H.T.U. であるが HF, NH₃ 共その吸収はガス膜支配であるので比較の対照とすることが出来る) と、他の充填物のそれとを比較しているが、Wet Cell の分が吸収に対して 5~10倍有効で

Table 6 H. T. U.

充 填 物	H. T. U. ft ^a
78 μ Curled Saran 繊維充填密度 57.6 kg/m ³ フィルター之枠は、50cm×50cm×10cm	0.14(for HF)
ベル サ ド ル 1/2 吋	0.81(for NH ₃)
" 1 吋	0.85(")
" 1 1/2 吋	1.17(")
ラ シ ヒ リ ン グ 1 吋	1.00(")
" 1 1/2 吋	1.30(")
a...ガス量 28.4m ³ /minm ² , 水量 137l/minm ² のとき	

I. E. C., 46, 1777 (1954) より

あるので、吸収器の長さ、あるいは吸収塔の高さが 1/5~1/10 ですむことがわかり、かつ充填物の重さから云うと 1/2 吋のベルサドルの 1/175~1/150 ですむことになり、このデータからすれば非常に小型で軽い装置を作ることになるであろう。

(3) 複合式繊維フィルター^{a)}

この型式のものは湿式粗繊維フィルターと乾式フィルターとを組合せたものでミストやヒュームの捕集には電気集塵器に匹敵する程の性能を示すものである。しかも設備費は電気式に比べてやすく、運転も簡単で安定している。しかし、圧力損失が相当大きくなるとに十分注意する必要がある。(Table 3 および Table 7)

Table 7 複合フィルターによる無機酸およびアンモニアの捕集

	濃 度 mg/Nm ³	測定 回数	積算重量効率 %		
			第 1 段	第 2 段	第 3 段
HNO ₃	5~30	4	76	90	97
HCl	12~70	4	61	89	99
濃 H ₂ SO ₄	23~33	4		99	99.9
NH ₃	5~25	4	57	76	91
HF	50~200	4	94	97	99.5

第 1 段 225 μ のガラス繊維 (Partial oriented). 充填密度 78kg/m³ 向流と並流の噴霧をもつ 50cm×50cm×20cm の Cell

第 2 段 10 μ のガラス繊維, 充填密度 7.4kg/m³, 50cm×50cm×20cm の Pad

第 3 段 並流湿式 Cell と Dry Pad の直列結合, 注水量=34.5l/min Cell ガス流量 17m³/

min. at 70°C 1 atm. 全圧損失各初期値＝
63～71mm 水柱

Table 7 は複合フィルターでミストを捕集した場合の実例を示す。これによつてこの種フィルターの性能をうかがい知ることが出来る。なおこの表に附記された説明中に、圧力損失は初期には 62～71mm 水柱となつてゐるが、運転開始後もまもなくこの圧損は約 2 倍に増加する。なお圧損は通過ガス速度と注水量の増加によつて高くなり、繊維の並べ方によつても変化する。

フィルターの材料としては一般にガラス繊維、合成繊維が使用される。

(4) 噴霧塔

噴霧塔を計画するには Fig. 5 の如き図を参照してダストの平均径、霧滴の平均径を考え、スプレー集塵が衝突または拡散の何れを主作用とするかを考慮して、ガス流速、スプレー室の大きさを決定すべきである。

集塵効率はガス中のダスト粒子が霧滴と衝突、あるいは拡散付着する頻度に関するから、Dead space や Dead path を出来るだけ、少なくするようにノズルを配置すべきである。

普通の噴霧塔では $\eta = 43 \sim 58$ % 程度であるが噴霧ノズルを中心においたエゼクタ型では $\eta = 84$ % にも達する。用水量はサイクロン型、エゼクタ型では 0.5 l/

Nm³ 位であろうが、一般のスプレー方式では 2 l/Nm³ 位に増加させると冷却効果をも良くすることが出来る。圧力損失は 20mm 水柱程度である。

Fig. 17 に示す噴霧塔は高温ガスを先ず蒸発部で冷却すると共にガス雰囲気をも飽和湿度に近づけ、それを更に上部のスプレーで冷却するとダスト微粒子を核に凝縮が起り、粒径が大となり、捕集が容易となる。

C. コロナ放電による帯電

Fig. 18 に示す如く、表面の広い導体(A)と細い導体(B)とを相対して配置し(A)を高圧直流電源の(+)極に(B)を(-)極に接続し、これらの間にガスを通すと、(B)の表面附近の電界は極めて強力であるため、ガス分子の衝突イオン化が旺盛に行われ、いわゆるコロナ放電を生ずる。これによつて生じた多数の(+)(-)イオンの中(+)イオンは直に放電極(B)に吸着放電され(-)イオンおよび電子は収塵極(A)へ向つて走行する。従つて両極間の大部分はこれらの無数の(-)電荷で満たされ、この空間を通過するガス中の微粒子は、(-)電荷が附着して(-)帯電体となり、収塵極の方へ駆動される。このようにして無数の微粒子が次々に収塵極に向つて駆動されるのであるがその途中または収塵極面に達してから一つの粒径の大きい集合粒となつて自重にて落下する。

湿式電気集塵器で Fig. 19 に見る如く集塵極の表面に水を膜状に落下させ、そこに飛来した粒子を流しおとす。

集塵極として普通直径 15～20cm 高さ 3～5m のパイプを使い、その中心に放電極を揺動しないようにしつか

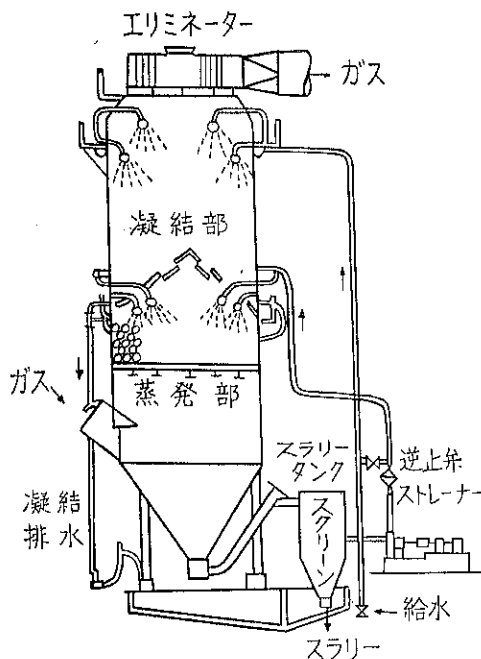


Fig. 17 蒸発部と凝結部を持つ噴霧塔

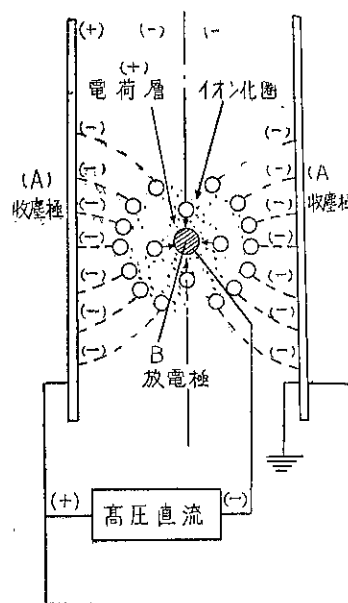


Fig. 18 電気集塵装置原理説明図

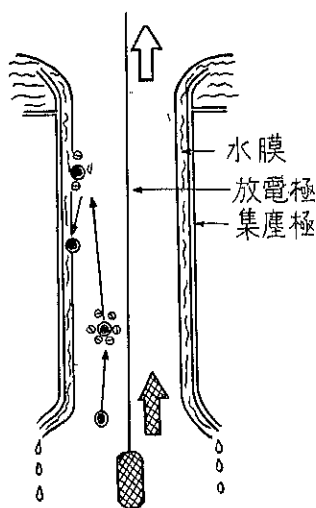


Fig. 19 湿式電気集塵器
集塵筒概要

灌水率は Table 3 にしめした程度のもので一般に 0.15~0.3 l/Nm³ である。管内の水膜の厚さは 0.5~1 mm である。この形式のものは集塵極は常に清浄でかつ捕集物の再飛散がなく、かさ比重小で濡れ難い微粒子の捕集に適用されて効果がある。粒子濃度が高いと空間電荷を作るので、そのさいには電圧を下げて効率をおとす。粒子が電導性のときは火花内絡をおこして集塵不可能となる。

Fig. 20 は粒子径 1.5 μ 以下のある放射性ダストに対する集塵率と平均電界強度 (KV/cm) との関係をしめしたもので集塵率は電界強度 5.6KV/cm 以上で 99.9% 以上となつている。

りと張る。放電極としては 2mm ϕ 位のステンレス、あるいは酸ミスト、その他腐蝕性ガスの場合には星型断面を有する鉛被覆線を用いる。高温度を取扱うので高压電気絶縁部には油封ブッシング、加熱磚子、あるいは熱ガス吸込磚子室などの構造とする。

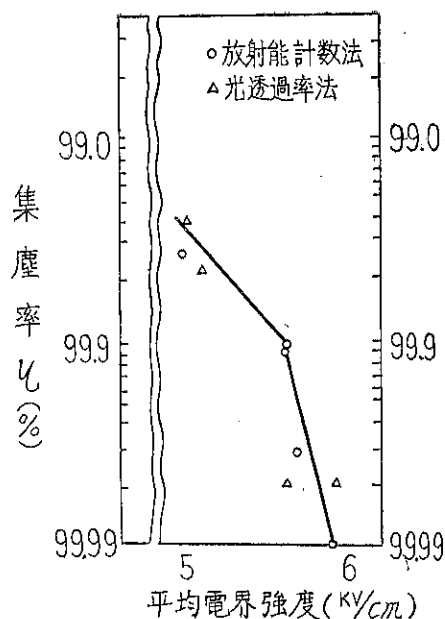


Fig. 20 湿式電気集塵装置の特

IV 高性能集塵器の経済性

高性能湿式集塵器として工業的に広く使用されている湿式電気集塵器、湿式繊維フィルター、およびベンチュリースクラバと、高性能乾式集塵器の一つに数えられている逆噴バグフィルターとによつて最頻度粒径 1.5 μ 以下のある放射性ダストの捕集実験を行つて、集塵性能、経済性および適応範囲が検討された。¹¹⁾ その結果を Table 8 にしめす。

Table 8 集 塵 率 経 済 性 の 比 較

名 称	符 号	実 験 条 件	処 理 ガス量 Nm ³ /n	使 用 量 水 量 l/Nm ³	ガ ス 速 度 m/s	圧 力 損 失 mm水柱	7% Nt	適 応 範 囲	総 経 費 Cost/ 10 ³ m ³ hr
湿式電気集塵器	W.E.P.		1000	2.16	2.00	7	99.99 9.8	ダスト, ミスト ヒューム, ガス 温度 550°C以下	100
湿 式 繊 維 充填フィルター	W.F.	繊維径20 μ と40 μ とのガラスウールの組合せ厚さ50mm	1000	0.72	0.56	300	99.9 7.0	ダスト, ミスト ヒューム, ガス 温度 400°C以下	79
逆 噴 バ グ フ ィ ル タ ー	D.F.	アクリル系合成繊維 径約 15 μ	1000	0.18	0.05	30	99.36 7.5	ダスト, 一部の ヒューム, ガス 温度 120°C以下	60
ベンチュリー ス ク ラ バ ー	V.S.		1000	0.77	55.00	220	98.0 4.0	ダスト, ミスト ヒューム, ガス 温度に制限なし	53

7は NaI. シンチレーション計数器, GM 計数管により測定 Count/min/m³ of gas

表中総経費とは設備費と運転費とを合せた価格率である。

総経費，設備費，運転費にわけて順序は次の如く推定出来る。

	高	低
設備費	W.E.P. D.F. W.F.	V.S.
運転費	W.F. V.S. W.E.P. D.F.	
総経費	W.E.P. W.F. D.F.	V.S.

(各符号は Table 8 を参照のこと)

結局 W.E.P. が一番高くつくようであるが，しかしこの際の W.E.P. の効率は 99.99% をしめしこれらの効率を 95% に下げるならば，もつと安くなることは Fig. 4 でもわかる．またガス量が $10^6 \text{ m}^3/\text{hr}$ にもなれば設備費はフィルターと電気集塵器であり変りないことは Fig. 3 で了解出来ることである．

放射性ダストのようにほとんど完全に捕集せねばならぬものには，W.E.P. がその本領を発揮するようであるが，W.F. もこの種ダストに対して 99.9% の効率發揮し，十分よい性能をしめしている．

最後に総括的に云えば 99% に近い高効率の湿式集塵器として実用出来るのは W.E.P. W.F. V.S. の三者でなかろうか．

記 号

A	: 障害物の断面積 (cm^2)
A _s	: 流線の断面積 (cm^2)
C _G	: 微粒子濃度 (個数/cc, mgr/cc.)
D	: 障害物の直径 (液滴直径, 繊維直径) ($\mu \text{ cm}$)
D _v	: 微粒子の拡散係数 (cm^2/sec)
d _p	: 微粒子の直径 ($\mu \text{ cm}$)
K _B	: Boltzmann 恒数 $= 137 \times 10^{-16}$ (erg/°K)
K _s	: Stokes の抵抗係数 $= 3\pi\mu d_p$
N	: 微粒子の数 (gr/m ³ , 個数/cc.)
(Re) _f	: 一本の繊維障害物に関する Reynolds 数 $\left(\frac{Dv\rho}{\mu}\right)$
(Re) _p	: 一個の微粒子に関する Reynolds 数 $\left(\frac{d_p v_p \rho}{\mu}\right)$
r	: 直径 D の液滴がガス流と相対的に移動する距離 ($\mu \text{ cm}$)
Sc	: Schmidt 数 $\left(\frac{\mu}{\rho D_v}\right)$
T	: 絶対温度 (°K)
v	: ガス流速 (cm/sec, m/sec)
v _p	: 微粒子のガス流に対する相対速度 (cm/sec m/sec)
ε	: 空間率
η ₀	: 拡散による捕集効率 (1 つの液滴, 1 本の繊維に対して)

η_T : Target Efficiency

ρ : ガスの比重量 gr/c.c.

ρ_p : 微粒子の比重量 gr/c.c.

μ : 粘度 (gr/cm sec, C.P.)

ψ : 分離数 $= \frac{d_p^2 v_p \rho_p}{18 \mu D}$

λ : ガス分子の平均自由移動距離 (cm)

文 献

- 1) Anderson, et al : I.E.C. 47, 952. (1955)
- 2) I. J., Smith : Ind. Chem., 32, 73, 1956
- 3) Ranz and Wong : I. E. C., 44, 1371. (1952)
- 4) Sell : Forschungsheft 547. (1931)
- 5) Davies : P. I. M. E. (B). IB., 5, 185. (1952)
- 6) 吉田哲夫 : 化学機械技術, 第 8 集
- 7) Eads : M. S. Thesis in Chew. Engg., Univ. of Illinois. (1949)
- 8) H. L. Sadoff and J. W. Almlot : I. E. C., 48, 2199. (1958)
- 9) 吉田哲夫 : 化学機械技術 第 10 集
- 10) Williams G. S., Akell R. B., } C. E. P., 43, 585.
and. Tallott C. P., } (1947)
- 11) 諫早典夫 : 日立評論, 40, 239. (1958)

(23頁よりつづく)

(i) 分級室内の乱れは分級の精度を害する．機械的な回転体によつて作られる強制渦は，自由渦より乱れが多い．

(ii) 原料粉体はなるべく分級用流体とは別に一点から供給する方が分級の初期条件を一定にする意味でよい．またその位置は流れ方向になるべく長くかつた分級室の長さ方向の中央近くがよい．

(iii) 分級室内の各位置で分級点がなるべく一定であるような形状がのぞましい．

(iv) 粉体の凝集附着を防止し，分散を積極的に行うことは非常に重要である．また分級室内の粉体濃度が過大とならぬよう，いわゆる difficult size の粒子が滞留濃縮しないようその排出を考えること．

(v) 分離力をなるべく大きくして平衡粒径から少しはなれると大きな分離速度を生ずるようにすること．

(vi) 粉体供給点の粉体速度はその部分の気流速度になるべく近くすること．

(vii) 一段で分級精度がどうしても不十分のときはこれを二段に結合するのも一方法である．

なお，今後の研究によつて更に優秀な分級器が生れ，粉体製品に新しい用途や特性が見出されることを期待して結語とする．

フ ィ ル タ ー 集 塵

細川粉体工学研究所 工学博士 松 山 卓 蔵

I. 序 言

フィルター集塵は濾過速度と粉塵濃度より次の三種に分類される。

(A) 低流速、高濃度濾過……粉碎機、気流乾燥機、サンドブラスト、冶金 炉廃ガス等の工業用集塵を目的とし、サイクロンまたは沈降室の如き Preduster の後に設備される。粉塵濃度は数百 gr/m^3 以下、濾過速度は $0.15 \sim 9 \text{ m}/\text{min}$ 。

(B) 高流速、低濃度濾過……劇場、食堂、病院、住宅、工場等の空気浄化を目的とするので粉塵濃度薄く、 $0.04 \sim 4 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、濾過速度 $30 \sim 129 \text{ m}/\text{min}$ 。Preduster を用いることなく、直接フィルター濾過を行い、集塵されたものは無価値である。

(C) 低流速、低濃度で高効率濾過……有毒粉塵、放射性粉体の完全濾過を目的とし、 $1.5 \text{ m}/\text{min}$ 以下の低速フィルター集塵機構を多段に直列して用いる。

本講は主として (A) の工業用集塵機の理論と実際について述べる。

II. フィルター集塵の理論

空気濾過は多孔性の濾体を、含塵気流が複雑な流路を作つて、方向を変え、収縮し、拡大しながら、濾過媒体の広い面積と接触して行われる。この濾過体もつ細孔は、集塵される粉体粒径に比べて著しく大きいから、機械的に粉体が濾体に引つ掛つて濾されるとは考えられず、多くの場合に静電的引力が第一の重要な役目を果たしているらしい。しかしこの方面の定量的研究はない。空気が濾過媒体を通過する機構は流体力学、粉体の拡散理論より解明されている。

(A) 衝突効果……濾過媒体を繊維として考えるに、先ず空気は流路にある繊維のために流線を曲げられるが、粉体はその質量と慣性と空気抵抗のために空気流線より外れて、あるものは繊維表面に到達し、吸着力により、繊維に附着する。粒子が繊維に衝突する割合 (Target Efficiency) η_T は

$$\eta_T = \frac{A_s}{A} = \frac{X}{D} \dots\dots\dots \text{繊維を直径 } D \text{ の円溝と仮定} \dots\dots\dots (1)$$

ここに A_s は Fig. 1 に示す如く濾体繊維の遙か前方の

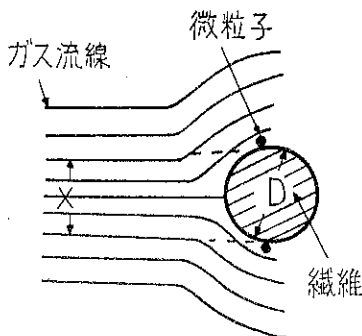


Fig. 1

衝突可能な範囲の流線断面積である。

Ranz⁽¹⁾ 等によると、衝突効率に影響を与える慣性力の無次元項として

$$\psi = \frac{1}{18} \cdot \frac{d_p^2 V_p \rho_p}{\mu D} \dots\dots\dots (2)$$

が慣用される。Fig. 2 は $\eta_T = \psi$ の関係図である。し

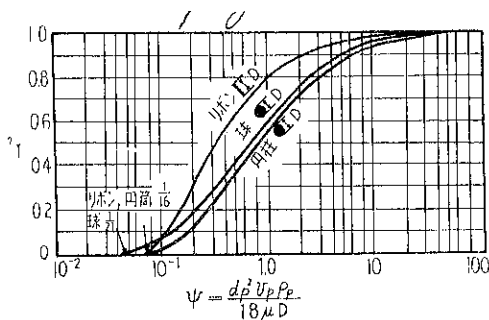


Fig. 2

かしなが、フィルター集塵の如く、低流速で、粘性流の影響が甚しい時には Reynolds 数は低く、Fig. 2 の η_T と分離数 ψ の関係は Fig. 3 の如くなる。

このような関係はフィルター集塵機構を解明するに未

Table 1 化学繊維と天然繊維の性能表

		1. ビニロン系		2. ナイロン系			3. ビニリデン系		4. 塩ビニール系	
		普 通	強 力	ステー プル	フィラ メント	強 力	フィラ メント	ステー プル	フィラ メント	ステー プル
引張強度	乾 燥	4.2~6.0	6.5~7.0	4.2~5.5	5.0~6.0	6.4~7.7	1.5~2.6	0.7~1.5	2.7~3.7	2.2~4.5
	(g/d) 湿 潤	3.2~4.8	5.2~5.8	3.6~5.0	4.2~5.0	5.4~6.7	1.5~2.6	0.7~1.5	2.7~3.7	2.2~4.5
乾湿強度比(%)		76~85	81~83	86~91	83~84	84~87	100	100	100	100
引掛強度(g/d)		3.0~5.2	6.0~6.8	7.0~10.0	9.5~11.0	10.7~ 12.9	1.0~2.0	—	—	—
結節強度(g/d)		2.5~4.0	4.0~4.5	3.7~5.1	4.5~5.4	5.0~6.3	1.0~2.0	—	1.8~2.7	2.0~2.5
伸 度 (%)	乾 燥	17~26	14~18	38~50	28~36	18~24	18~33	18~33	13~30	16~60
	湿 潤	19~30	15~19	40~52	38~48	21~28	18~33	18~33	13~30	16~60
伸びの回復率(%)		75~80	80	96~100	98~100	98~100	98~100	98~100	80~85	80~85
比 重		1.26~1.30		1.14			1.7		1.39	
公定水分率(%)		5.0		4.5			0		0	
他の任意の低及び高 関係湿度における含 有水分率		12.0 (95%RH) 30.0 (100%RH)		1.2 (20%RH) 8.5 (95%RH)			0~0.1 (95%RH)		0.1 (95%RH)	
対 熱 性	軟化点	200°C以上で収縮開 始220~225°Cで軟化		180°C			140~180°C		110~120°C	
	熔融点			215°C						
	その他	軟化収縮しながら徐 々に燃焼する		熔融しながら徐々に燃焼す る					60~ 70°C で収縮開 始	115~ 120°C で収縮開 始
日 光 の 影 響		長時間曝すと僅かに 強度低下する		長時間曝すと僅かに強度低 下する			長時間曝すと僅か に変色する		長時間曝しても 殆んど変化なし	
無 機 酸 の 影 響		濃H ₂ SO ₄ , 濃HClで 膨潤又は分解する		濃H ₂ SO ₄ , 濃HClで一部分 解を伴い溶解する			王水を含むすべて の酸に殆んど影響 なし		王水を含むすべ ての酸に殆んど 影響なし	
アルカリの影響		強アルカリで黄変す るが強度に変化なし		殆んど変化なし			濃アンモニア水, 濃苛性ソーダ溶液 は多少影響がある		殆んど変化なし	
他の化学薬品の影響		濃蟻酸により膨潤又 は分解する 動, 植物, 鉱物油に 抵抗性あり		一般に良好な抵抗性がある			一般に良好な抵抗 性がある		一般に良好な抵 抗性がある	
有機溶剤の影響		熱ピリジン, フェノ ール, クレゾールに 膨潤又は溶解す		フェノール類, 濃蟻酸に溶 解する			一般に良好な抵抗 性がある		一部の芳香族の塩 化水素, ケトン, エステル類に膨潤 又は溶解する	
備 考		ビニロン		100°C以下の沪布						
同 系 統 の 商 品				ナイロン			サラン		テビロン	

5. アクリル ニトリル系	6. ポリエステル系			7. ポリエ チレン	8. ダイフ ロン	9. 羊 毛	10. 木 綿	11. 絹
アクリルニトリル、塩化ビニール、共重合繊維	ステープル	フ イ ラ メ ン ト	強 力	チーグラー法 フィラメント				
2.8~3.6	3.0~4.0	4.5~5.5	6~7	4~9		0.9~1.3	3.3~5.5	3.0~6.0
2.8~3.6	3.5~4.0	4.5~5.5	6~7	4~9		0.8~1.2	3.0~5.7	2.5~4.0
100	100	100	100	100		80~90	90~130	80
2.4~3.3	—	—	—	—				
2.3~3.0	2.4~2.8	3.1~3.8	4.2~4.9	—		0.7~1.2		2.94
27~35	30~40	17~27	7~15	—	28~36	30~40	9~13	20~25
27~35	30~40	17~27	7~15	—	28~36	45~55	8.5~13	30
94~96	—			—				
1.23~1.28	1.38			0.94~0.96		1.30~1.32	1.55	1.30~1.33
	0.4			0	0	14~15	7~8	11
0.9~1.0 (95%RH)	0.16 (25%RH) 0.3 (47%RH) 0.35 (85%RH)					33.0 (100%RH) 28.0 (95%RH)	40.0 (100%RH) 18.0 (95%RH)	43.0 (100%RH) 24.0 (95%RH)
塩化ビニールの 含有率によつて 150~220°C	230~240°C							
	260°C			125~132°C				
185~235°C で変化を起す	熔を近づけると収縮して溶解、 熔の温度が高くなると溶解した 部分が脱落する。150~180°C にて使用出来る。短時間ならば 200~220°Cに耐える。			110~125°C (最高使用 温度)	常 用 180°C	135°Cにて 分解。300°C にて炭化 150°Cにて 5時間位 (使用)	150°Cにて分 解。120°Cに て変化。100°C で10時間位 にて(使用) 強力低下	130°Cにて 5時間にて 不可。100°C にて2時 間より強力 低下
長時間曝し ても殆んど変化 なし	長時間曝しても変化なく合成織 維中良好である。			安 定	強	弱	少々強なる も老化する	弱
殆んど変化な し	抵抗性大、特に弗化水素酸に耐 える。			"	"	希HClに耐 える稍稍強 K-H ₂ SO ₄ V-HNO ₃ K-HNO ₃ に不可	弱	稍々強
殆んど変化な し	熱苛性ソーダ溶液により繊維の 表面が加水分解し減量する。			"	"	弱	稍々強	弱
一般に良好な る抵抗性を有 する	酸化剤、還元剤に対して抵抗性 大である。			"	"			
温アセトンで 軟化、ドライ クリーニング 剤に影響なし	フェノール系溶剤には濃度温度 により膨潤する。			アセトンに よくたえる	"	安 定	安 定	安 定
	150°C以下の沪布							
エクスラン ボンネル カネカロン、 カシミロン	テトロノ							

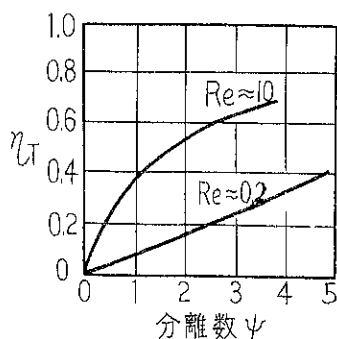


Fig. 3 YT と分離数 (粘性流体の流れ)

だ不満足なことは計算上明かで、実際操作では濾布、粉体間の引力、粒子の拡散、凝集等未知のファクターが多い。

(B) 濾過集塵の圧力損失

フィルター集塵機の通気抵抗は濾材自体の圧力損失と濾材上に堆積した濾滓層の圧力損失からなるが、実際操作では後者が大部分であり、殊に粉体で目詰りした場合に著しい。濾布自体の通気抵抗は Fig. 4 に与えられる

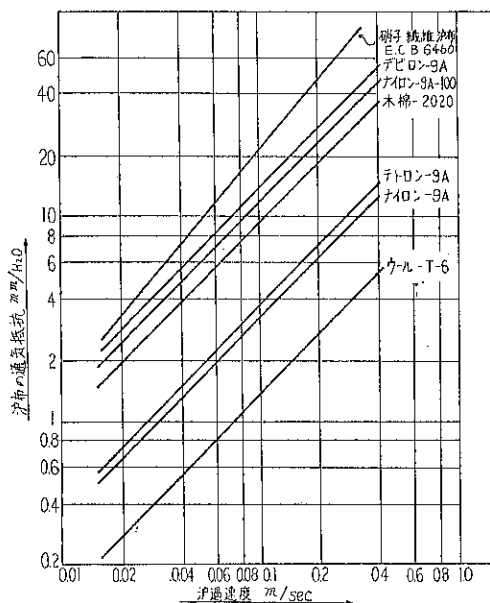


Fig. 4 各種濾布の通気抵抗

如く小さい。圧力損失 ΔP_0 [m.m.H₂O] は見掛け通気速度 V [m/sec] の一乗に正比例する。

$$\Delta P_0 = \zeta_0 \mu V / g_c \dots [3]$$

(μ : 気体粘度 [ug/m·sec] ζ_0 : 濾布の抵抗係数)
([1/m] 硝子繊維布では V の 1.3 乗に比例する。)

(C) 集塵効率: 粒径, 繊維径

Table 1 は各種繊維の性能表である。集塵効率は粉体の粗い程、繊維径の細い程良好なることは明かである。例えば Table 2 では煙草の煙 (平均粒径 0.27 μ) で低効率

Table 2 濾過効率

濾 体	煙 草	CaCO ₃	SiO ₂
濾 紙 (Air mat)	17.9%	83.6	93.1
厚手 ウールフェルト	55.0	99.0	99.2
木綿 フェルト	7.7	59.0	58.1
ウ ル	3.6	55.4	—
起 毛 サ テ ン	26.4	—	98.2
起 毛 濾 布	32.7	—	99.2

(Industrial dust.)

のフィルター集塵を、炭酸カルシウムと珪砂末 (平均粒径 1 μ) で高い効率の時を示す。本データは濾布上に充分の粉体層が形成されていない状態であり、工業操作では濾布の目詰りにより、より良好な集塵効果が得られる。

(D) 集塵効率, 空気速度

衝突効率の理論に従えば、空気の濾過速度を増加すると衝突効率を増すが、一面濾布繊維上に堆積した粉体を吹き飛ばし集塵効率を低下する傾向になる。また濾過速度の速い程、目詰りに到る時間が短くなること、集塵効率、送風機の運転費、濾布の寿命より見て、濾過速度は 5 cm/sec 以下が望ましく、単純な Bag Filter では 2 cm/sec 以下の例が多いのである。Fig. 5 は濾過速度

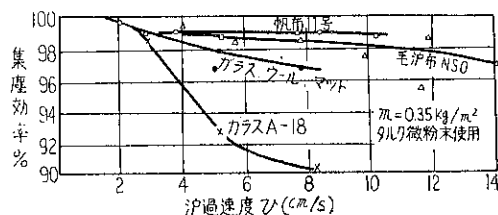


Fig. 5 集塵効率と濾過速度

と集塵効率の一例で試料はタルクであり Fig. 6 (2) はカーボンブラックを硝子繊維フィルターで濾過した時の効率である。一般に再使用濾布では濾布の目詰りのため除塵率が良くなる筈である。カーボンブラック-硝子繊維系では逆の結果を示すが、これは逸散量を測定したた

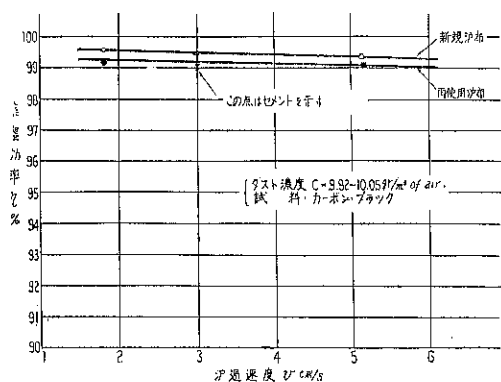


Fig. 6 滲過速度と集塵効率

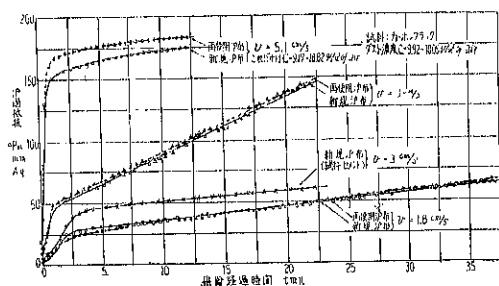


Fig. 7 供給経過時間と炉過抵抗

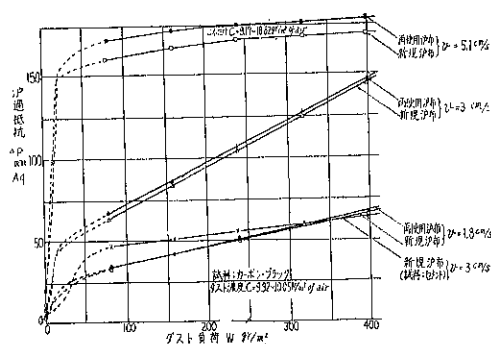


Fig. 8 ダスト負荷と濾過抵抗

めである。Fig. 7 (2) では同系について含塵気流供給時間と炉過抵抗の時間的経過を示す。炉過速度の速い程抵抗の増加は急激である。また Fig. 8 はダスト負荷と炉過抵抗の関係を示す。

工業的には滷布の滷過速度は平均して $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ が基準であるが Williams⁽³⁾ 等は滷過速度、ダスト負荷、粒度によつて Table 3 の結果を与えている。数字は滷過抵抗係数 (Filter resistance coefficient) γ で $\text{inH}_2\text{O}/(\text{lb dust}/\text{ft}^2 \text{ cloth}) (\text{ft}/\text{min})$ のダスト量で与

Table 3 沪布の沪過抵抗係数 (Williams)

原料名	粒 径					
	粗 粉		中粉	微	粉	
	<20 mesh	<140 mesh	<325 mesh	<90 μ	<45 μ	<20 μ
花崗岩	1.58	2.20	—	—	—	19.8
鑄物砂	0.62	1.58	3.78	—	—	—
石膏	—	—	6.30	—	—	18.9
長石	—	—	6.30	—	—	27.3
珪石	0.96	—	—	6.30	—	—
一 ボンク カブラ	—	—	—	—	—	47.2
亜鉛華	—	—	—	—	—	15.7
木粉	—	—	—	6.30	—	—
樹脂	—	0.62	—	—	—	25.2
小麦粉	1.58	—	—	9.60	11.0	—
穀粉	0.62	—	1.58	3.78	8.80	—

えられる。γを用いた時の滲過速度 V_{ft}/min は次式で与えられる。

$$V = \sqrt{\frac{h_2 - h_1}{\gamma_{gt}}} \quad (4)$$

 h_2 : 許容最大抵抗 inH₂O h_1 : 沪布清掃後の抵抗 inH₂O

g : ダスト負荷 lb/ft^3

 t : 清掃操作の週期 min.

清掃は沪布を動揺させるかまたは沪布フレームを叩くことにより行われるが、小型のバグフィルターは手動で、大型では機械的に行う。この場合サイクロンをフィルター集塵機に前置する時は、43 μ 以下の粒子のみがフィルター集塵されることに注目せねばならぬ。また数%の粗粉を含んだダストの方が、超微粉のみよりなるダストをフィルター集塵する場合に比べて沪布の清掃 Cleaning が容易である。

III. 工業的フィルター集塵装置

最近のフィルター集塵機の進歩は主として沪布目詰り防止の工夫に向けられ、沪布の機械的動揺による清掃、逆洗滌による清掃、音波による清掃について幾多の工夫がこらされた。これ等を特許、実用新案の面より、特に著者の興味を惹いたものの幾つかを解説する。

A フィルター集塵機における機械的清浄装置

バックフィルターを懸吊するフレームにカムまたはクランク機構により適当の動揺を与えて帆布上の過大な粉

体層を叩き落す工夫は以前から行われている。他の例として Fig. 9 はバッグの伸縮によるもの（実用新案公告昭35—8378）Fig. 10 はモーターによる回転ハンマーの

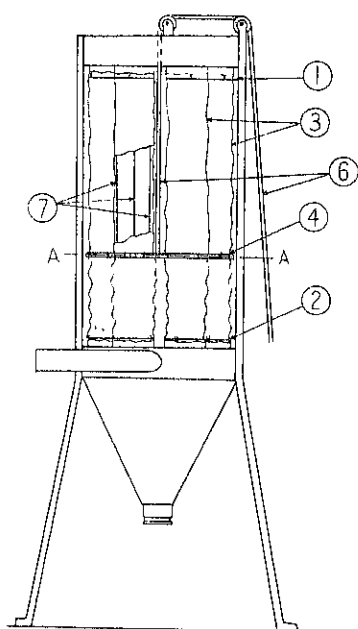


Fig. 9

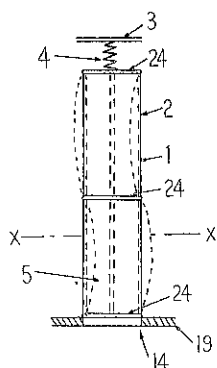


Fig. 10

打撃を有効にバッグに与えるためバッグの要所に弾性リング24を設けたもの（実用新案公告 昭32 — 12286）、Fig. 11 はバッグフィルターの適所に波状の振動板を取りつけ、これに空気を吸きつけて浣布に有効な振動を与える工夫である。（特許公告昭34—9697）

この種の工夫は非常に多いが、一般に薄手の布を用いるので、集塵効率の点で問題があるようである。

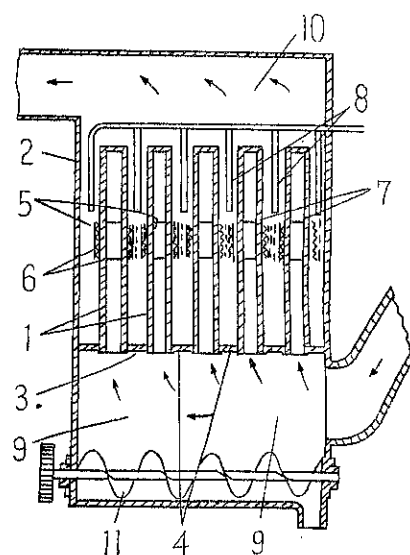


Fig. 11

B 逆洗滌による濾布清浄装置

これはハーシーの特許（特許公告昭32—8396）他1件を代表として多数の出願がなされている。Fig. 12. 浣布として数mmの厚手のフェルトを用いるので集塵効率

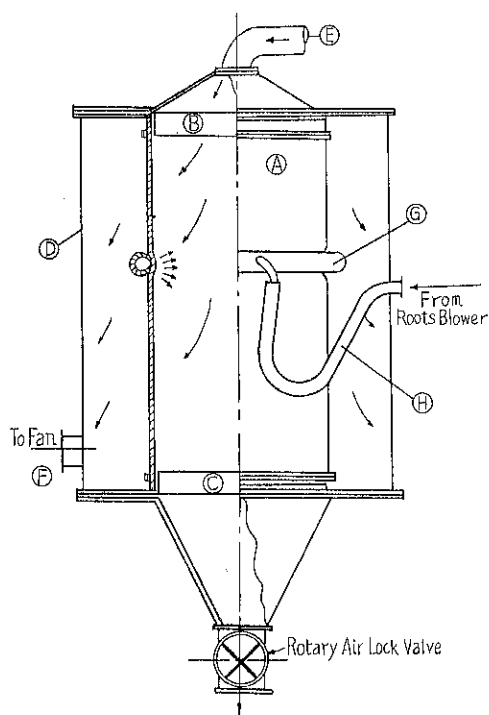


Fig. 12

高く、欧米では広く用いられている。逆洗滌管が直接沪布を擦り動くので、フェルトの寿命に問題が残っているようで、これを解決すべく、各種の工夫が出されている。その方法としてフィルター布袋群を幾つかのグループに分割し、弁によりその一部の沪過気流を閉止し逆洗滌気流を通すもの、(特許公告昭35—8295)、実用新案(公告昭35—19393)、それに最近紹介されたP.M.D.社のマイクロパルスエアーの方式 Fig.13 等がある。ま

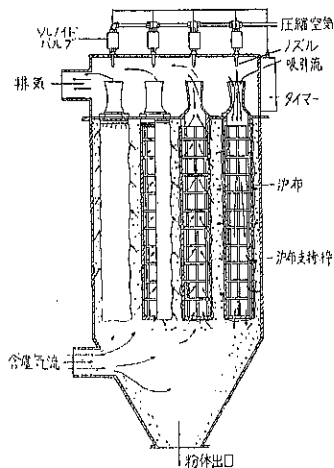


Fig. 13

た逆洗滌気流の導入法の工夫として同じく(特許公告昭32—10547, 昭35—3495, 昭35—3998)は沪布を矩形または扇形に設置して、その端部において沪布の一部宛に逆洗滌気流を通す方法である。Fig. 14 はその一例である。

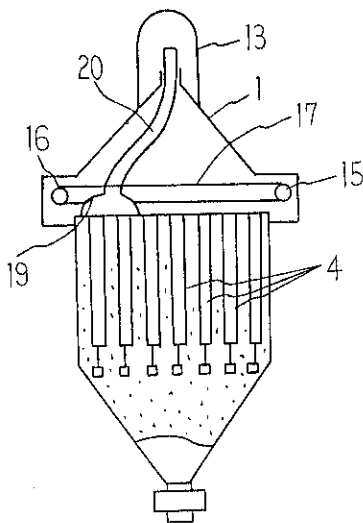


Fig. 14

C 音波による濾布清浄装置

高温含塵気流のフィルター集塵には硝子繊維フィルタ

ーが有用であるが、機械的強度の関係で余り過大な外力を用いる沪布清浄法は応用し得ない。米国 Fuller 社の Draeco. Division では 600°F の気流沪過用の清浄法に U.S Patent 2769506 を応用して、可聴音波を沪布に当てるフィルター集塵のテストに成功した。(4) 今後の発展が予想される。音波発振機としては警笛、サイレン、シンバル等の適當の強度、振動数を与えるものでよく、Fig. 15 に一例を示す。

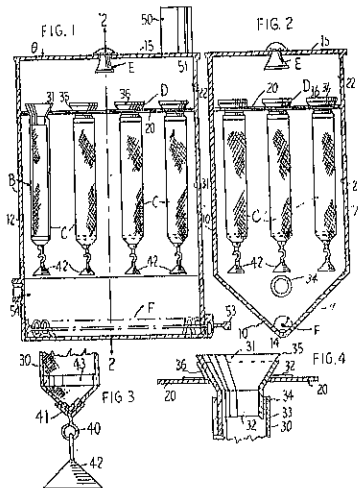


Fig. 15

D その他のフィルター集塵法

流動層を用いた粉体沪過法には、(特許公告昭33—445), Fig. 16 (昭33—8646) があり、未だ実用段階

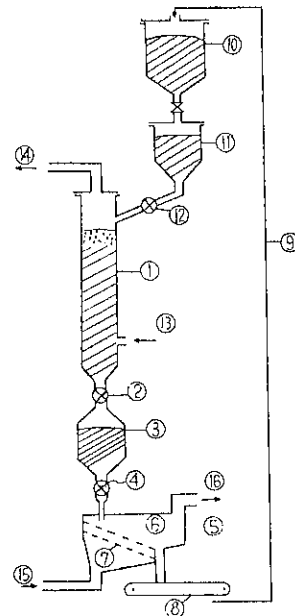


Fig. 16

(44頁へつづく)

粉体の空気輸送に関する最近の特許発明について

特許庁 審査第2部 安 達 功

は し が き

粉末物質を取り扱う殆んど工業で、粉末物質を運搬するための簡単で且高能率の方法並びに装置が必要である。従来粉末物の運搬装置に関する多くの提案がされているがこれらのものは殆んど空気作用による運搬の原理を応用して粉末物質を運搬するものである。空気作用による運搬では物質1kgを運搬するのに約1~2kgの空気を使い、この空気は運搬機関として働いて空気と共に物質を運び空気自身の動きに附随的である。この方式では普通 0.07kg/cm^2 以上の空気が使われ、空気は毎分610~1525m 位の速さで動かす必要があり、送風機の馬力も相当大きくなり、全能率は低いものとなる。

最近、近距離輸送の場合にはエアスライダ (Air Slider) と称する方法が採用されるようになって来た。これは粉末物質を充分な量の空気とよく混合させると水のような液体の性質をもつたものと見做し得るため、重力の作用により自然に低い面へ粉末物質を下降するようにしたものである。空気が万遍なく適当に混合している理想的な状態ならば、唯 0.5kg の空気で約22~90kgの物質が運搬される。しかしこのように充分混合しただけでは流体化された物質を更に高い所に上るのを防止することや運搬の途中で、その物質を液体化された状態にしておく装置なしで水平に長距離運搬するには不充分である。普通には $0.15\sim3.5\text{kg/cm}^2$ の気圧のものをよく用い流速は毎分91.5~475.5m 程度である。

以下この種エアスライダについての特許の2, 3を紹介したい。

粉末物質運搬用装置 (Fig. 1, 2, 3)

(昭和33年特許出願公告第6,570号, 出願人, アトキンソン, バルク, トランスポート, コムパニー, 米国)

本発明はいわゆる流体化運搬の原理を用いようとするもので、この原理を活用して粉末物質を充分な量の空気とよく混合し、液体化した粉末物質を運搬する装置である。以下図面について説明すると、モーター29が動き始めて圧搾空気室27の内部に圧力も生ぜしめ、その後空気は弁31を通じて空気滑り面18, 19を通る。この空気滑り

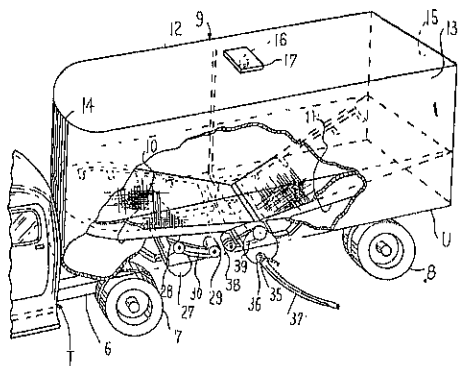


Fig. 1 本発明の一例で運搬装置の斜面図

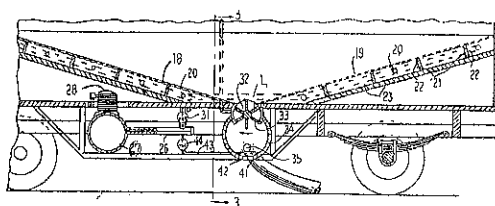


Fig. 2 Fig. 1 のものの縦断面側面図

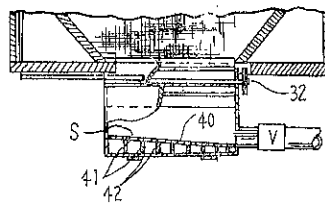


Fig. 3 Fig. 2 の3—3線における垂直断面図

面18, 19を通った空気は布床20を通って上り粉末物質と充分混合する。粉体中を空気が上へ動いて行くと粉体は液体化され、換言すると粉体を水と同じような方法で流し得るようになる。粉体は空気滑り面18および19の斜面を下り空気止めLに入る。圧搾器中の圧力が上昇すると空気は弁44および空気滑り面Sを通じて流れ、圧搾空気室34の内部を適当な値まで圧縮する。(普通は運搬距離

および高さにより $0.35 \sim 1.15 \text{ kg/cm}^2$ の圧力を用いる) ここで注意すべきことは空気滑り面Sは放出口35に向つて少し傾斜していることである。圧搾空気室34の内部の圧力が所定の値になると、モーター38が空気止めLを回転するよう始動する。空気止めLのアーム33は大体同量の粉体を測り出し、同量だけ貯蔵箱9の内部から引き入れて圧搾空気室34内の圧力をあまり下げることなく圧搾空気室34内へ粉体を堆積する。この空気止めLは絶えず粉体を圧搾空気室の中へ送るように動作し、貯蔵箱9が空になるまで規則正しくこのように動作する。空気止めLにより粉体が圧搾空気室34に堆積した場合にこの物質は空気滑り面を上方に動くため少くとも或る程度流体化された状態になる。若しいくらかの粉体が通常の固体の状態に戻つたならば圧搾空気室内の空気滑り面Sにより再び直ちに流体化される。ここで注意すべきは今まで述べて来たように空気が空気滑り面Sを上方へ動くことにより絶えず内部の粉体を流体化すると同時に、圧搾空気室内部を加圧しうることである。

弁36が開けられると粉体は水の場合に考えられるように導管内部を安全に満して導管37の中をつき進み、貯蔵箱9全体は空になる。何か特殊の理由により導管37中の流れをとめる必要が生じた場合にはこの装置の動作を妨げることなしに、最初にモーター38を切りこれにより空気止めLの回転が止るようになる。極く短時間の間に圧搾空気室34の中の圧力により、残っている粉体をそこから片付け且つ導管37からも残っている粉体を運び出してしまふのである。これが終るとすぐ弁36は閉められ、必要なときには再び前述のような方法で動作するものである。

本発明の利点の一つは装置を出来るだけ小さくして相当費用を節約出来ることである。

浮遊式粒体移送装置用流動床

(昭和35年特許出願公告第4626号出願人 東洋レーヨン株式会社)

本発明は浮遊式或はエアスライド式と呼ばれる粒体移送装置流動床に係り、その目的とするところは機能が確実で、比較的少量の空気で有効な浮遊を行わせるにある。

以下図面について説明すると、Fig.4のものは流動床板7に細幅の孔8が多数列設せられ、また Fig.5のものは床板7に細孔8'が多数穿たれたものである。Fig.6のものは流動床板7の孔8'以外の上面に多数の細棒9が植立されているもので、細棒は細い針金、樹脂などのものでよく、要は孔から噴上げてきた空気が粒体10の下方より側方へ吹き抜けてゆくことができればよいのである。

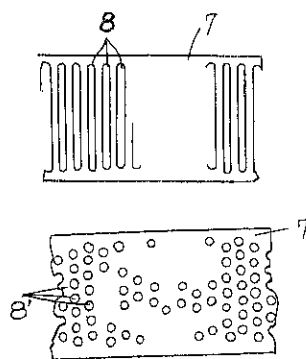


Fig. 4 (上). 5 (下) 流動床の多孔性床板の平面図

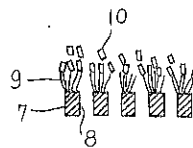


Fig. 6 本流動床の切斷部分詳細図

本発明の要点は、流動床板をして気体の流通し得る如く多孔性にすると共に刷子状細棒を植立させた点にあつて、本発明者はエアスライド式移送装置をチップ乾燥機に利用するとき生ずる問題を、本流動床を使うことにより解決した。尚細棒は織物組織として突出するもの、例えばパイル地のようなものが好適である。またカンバスの如きもので、使用糸を適当に選択し、太目の羽毛が出るようにしたものでも差支えない。このようにすることによつて粒体例えばチップをかなり厚く床板上においても充分な流動を行うことができたと言明者は述べている。

(42頁よりつづく)

に入つたとは聞かぬが、場合により有効な工夫である。紡績工場の棉塵等の特殊な形状の粉体濾過には実用(新案公告 昭32-15391)。(特許公告 昭34-8449)等の工夫がある。

文 献

Drinker IHatch : Industrial Dast.

R. Meldau : Hand buck der Staubtechnik Band II.
井伊谷、八木 : 集塵装置, 日刊工業.

(1) Ranz & Wang : I.E.C. 44 1371 (1952)

(2) 池森, 宗像, 黒瀬 : 硝織沪布の沪過性能に関する実験

(3) Williams : Heating, Piping Air Conditioning
12 : 259 (1940)

(4) Chem. Week : Nov. 14. 101 (1959)

粉 の 囁 き

日本大学教授 工学博士 池 森 亀 鶴

化学工業で取扱うもろもろの粉体は、主として人工的に粉砕して造られたものが多い。そうした粉体は、これを所望の粒度に分級して使用することによつて、始めてその真価を発揮するであろう。

分級操作を節でなし得る粗粒子は先ずよいとして、問題は篩目の及ばない43ミクロン以下の微粒子である。これに対して現代の化学工学では、これが分級操作の媒質として、空気または水の如き流体を使用し、この中に問題の粉体を拡散せしめて一種の混相流となし、これに旋回運動を与えとか、渦なしのポテンシャル流れを生ぜしむるとかして、その中に懸垂している粒子群を、それぞれの粒径に応じて力学的に選別する手段を採っているものが多い。

非結晶質の黒鉛粉末も、分級精度が高ければ、これからよりがよくてしかも折れにくい芯の鉛筆が得られる。殺虫剤で有名なD. D. T. やB. H. C. の粉末も（その大部分はタルク粉末をキャリアーとして使用している）、これらがある精度の粒度を保持していないと粉体の分散度が悪く、折角の殺虫剤も農作物の葉の裏にひそむ害虫にまで手が届かないことになり、その効果を減少する。

タルク粉末でいつも思い出すのはYシャツである。一般に綿布は、それらの仕上加工の裏糊にタルクを混入する。それは紙のようにガバガバした糊付の硬さをタルク粉末の介在によつてほぐし、織物の腰を適度に保つためである。繊維業者はこのタルク粉末混入による効果を称して、布地に“風味”をつけるといっている。たとえば15ミクロン以上の粒子が完全にカットされているタルク粉を用いることができれば、単に布地の軟かさを増すだけでなく、その生地的光沢までもが、しっとりと落着いたものとなり、一見して重厚な感じを与えるのである。それは直ちに布地の売行きにまで響くから、粉のもつ使命また重大なりというべきであろう。

こうしたことは写真版に使用するアート紙において、さらにその重大性を加えてくる。あのピカピカとした艶を帯びたアート紙は、チャイナ・クレイという1ミク

ン程度の極微の粒子をカラーとして原紙の表面にロールで塗り付けたものである。その時のカラーの膜の厚さは10ミクロンである。もしもその微粒子の中に15~20ミクロンの大きさの粒子が、1万個に1個の割合に含まれていたとしても、その1個の粗粒子のために、カレンダーロールを通った紙面に条痕が付き、ピンホールを作り、出来上った紙は光を乱反射して艶の薄れたものとなり、折角のカメラマンの腕の冴えも、これを紙面に再現せしめることができない。チャイナ・クレイの粉末を10ミクロンはおろか、できれば5ミクロンで完全にカットすること、それも“ねこ流し”などの水流を用いしないで、これを気流によつて効率よく分級することが、粉体技術者にとつて中原の鹿となつている現状である。セメント粉末の分級に対しても、いろいろ新型のクラシファイアーが相次いで現われているが、遺憾ながら現在のところそれらの分級効率はお粗末な状態といわざるを得ない。

一般に粉体工業は、その操作過程において吸湿、凝集または帯電などの物理化学的現象が入り混んでくるので、単なる粉体の力学や流体力学などを以てしてはかたづかない場合が多い。

舞ひ落つる 粉のいのちの ささやきは
今日も聞こえず ノートを閉づる

これは多年タルク粉末と取組む大阪の畏友西田肇氏のある日の詠嘆である。この外粉体は粉体なりとの嘆きを漏した学者もいる。しかしわれわれにとっては、わからないうちが楽しみでもある。そこに新たな理論の展開する余地があり、一方粉体技術者はこれを足掛りにしてそれぞれの問題を歩み解決してゆくことに生甲斐を感じるであろうから。

神社仏閣で偶々拝見する絵馬のうち、江戸時代のもので百年の霜星に耐え今も尚高き色調を保つ丹色が眼に止ることがある。恐らく昔の絵描は余程丹念に朱墨を磨り、1ミクロンオーダーの顔料を筆に含ませて画いたものであろう。まさにニュートンの万有引力とマイクロリツイクスの囁きである。

シカゴと東部の見学旅行から

名古屋大学教授 井 伊 谷 鋼 一

まずシカゴ周辺の工場見学で気のついたことは次のような点でした。(学生の見学旅行に同行、4月中旬)

(1) 石油化学で使われている流動触媒用のサイクロンは反応塔および再生塔の中に入っているのですが、これは直径約 3 ft で 3 段または 2 段の直列結合となつています。(図面と説明者の話から。)

(2) 粒体空気輸送の際に圧送側への粒体の供給はむづかしい問題ですが、2 段直列のロータリ、バルブによつて相当の圧力までやつています。この 2 つのバルブの中間圧力を測定しているのは単なるチェックのためか、どうかはききました。空気輸送は化学工業で広く使われているように思われます。

(3) 自動車のエア・フィルターはますます大形になりつつあつて、濾過体に Foam Rubber (Sponge) をつけたものも見受けまじ、少量の油槽を併用したものの多いのですが、あまり感心した設計にはまだお目にかかれまじ。

次に夏休みに入つた 6 月上旬に Cleveland を振り出しに Pittsburgh, Washington, Baltimore, Philadelphia, Princeton, New York, Boston, Ann Arbor と約 2 週間にわたつて主に大学の化学工学科と 2, 3 の工場を訪問しました。この間に見聞した粉体関係のことなどを簡単に箇条書としてみまじよう。

(1) Case Tech. (Cleveland) の Che. Eng. で Aso. Prof. S. Calevert が粉体の凸凹面からの飛び方などをしらべており、Air Pollution の Cleveland での委員長のようなこともやつておられる由でしたが、不在でした。

(2) Pittsburgh は Cleveland と共に工業都市で、製鉄の赤い煙が上つており、日本と同様にこれが今問題となつていようです。ここには Univ. of pitts. と Carnegie Tech. および Mellon Inst. がありますが、この辺りは高台でよい環境です。

(3) Baltimore にある Johns Hopkins Univ. は古式な建物ですが、ここの化学工学科はちようど新陳代謝が行われ 40 才以下の教授陣ではりきつています。Aso. Prof. K. Friedlander は凝縮や液中の粒子の凝集など、粉体に関係のある仕事をやつている好人物です。立派な教官

食堂で中食後、ポケットにクラッカーをしのばせて池の金魚にたべさせたり、ピカソやセザンヌの作品が沢山ある隣接の美術館をおらついたり、ほとんど丸一日この教官連の暖かいもてなしをうけました。ここの総長が今の大統領の弟で、その官舎が金魚の池の前の白い家なのです。

(4) Princeton は Dr. Chanmugan に案内してもらいましたが、Week-end で同窓会と重なり、実験についてくわしい話しを聞くことは出来ませんでした。大学だけの町で、おとき話にでてきてもよいようなきれいな建築と自然に恵まれています。

(5) Philadelphia で Sharples を訪ね、かねて名前を聞いていました Micromerograph と Super-Classifier を見学し、序に工場もみせてもらいました。会社は小さいものですが、世界に名を売っているのですから、大したもの。丁度その日も午前に日本の会社の人々が 2 人見に来たそう、会えなくて残念なことをしました。カタログだけではよく分らぬ構造も大体のみ込めましたが、Micromerograph の沈降室は気密で、分散室へはかなり高圧のガスを吹き込むようになっており、静電気を沈降室壁面から除くためには Anstac 20% のアルコール溶液を使う由でした。遠心分離機のメーカーだけに工作が丁寧で、精度よく出来ていることが伺われました。従つて値段も特級でなかなか学校では買えないのはなきげないことです。

(6) Boston では MIT を一寸のぞいて、東工大の高島さんの御世話で Harvard の Prof. L. Silverman に会い、その研究室(本館と別に Air Cleaning Labo. がある。)を見せてもらいました。いづれ高島さんから詳しいお話しが伺えると思いますので省略しますが、大学院の Corn 氏のやつている粒子の附着力の実測は面白いと思ひました。

(7) Ann Arbor の Univ. of Michigan では土木工学科に気象学が属しており、ここで大気汚染の研究を Prof. E.W. Hewson や Aso. prof. G.C. Gill がやつています。話している内に同期の井上栄一氏の噂さがでたのはびつくりしました。またこの School of Public Health で Prof. W.A. Cook の研究室が空気汚染の測

定や対策を研究しており、その実験装置や測定器具の完備しているのは羨しく思われました。いろいろの文献なども教えてもらいましたが、あまり工業的ではないかも知れませんが省略します。唯前に御紹介した Air Pollution Control Association (Pittsburgh) からの雑誌の他に、英国の Pergamon Press. から出している International Journal of Air Pollution (1959 初刊) がよいと言っていました。更に American Industrial Hygiene Association (事務所は Cincinnati と Detroit) が最近 Encyclopedia of Instrumentation for Industrial Hygiene (ミシガン大学発行、約 30 冊) の一部を改訂出版した Air Pollution Manual, Part 1 (8.5 冊) もよい本です。また次のような研究機関も空気汚染の面で活動していることを知りました。

Air Pollution Engineering Research, Robert, Taft Sanitary Engineering Center (4676, Columbia Parkway, Cincinnati 26, Ohio) ; Safety and Fire Protection Branch, Division of Organization and Personal. U.S. Atomic Energy Commission, (1717 "H" Street, N.W., Washington, D.C.)

reet, N.W., Washington, D.C.)

(8) Pittsburgh の郊外、東へ 60 miles 程の Homer City に Syntrol Co. があります。小さい田舎の工場ですが、紹介状がありましたので、Pittsburgh まで迎えにきてもらつて一泊しながらのんびりしてきました。研究はシリコン整流器などを Mellon Institute に依頼している由でしたが、粉体としては特に珍しいものではなく、電磁標準節振機機の改良型が出来ており、大分よくなつたとのこと、また粉体の絞り弁 (ナイロン布製) や電熱節等が面白く思われた程度です。主任技師の Spurlin 氏の親切なもてなしと共に、田舎町の一日は楽しい思出となりました。

(9) ある大石油会社の研究所の Digital Computer 室に朱塗りの救急箱があつて、もしこの計算機がこわれたらこの中にあるものを使えと書いてあるのですが、何んとガラス戸を通してのぞくとソロバンの小さいのがぶら下つていました。

(筆者：在 Georgia Inst. of Tech.)

(10 頁よりつづく)

Fig. 5 はボール紙片の累積排出個数を、紙片投入時

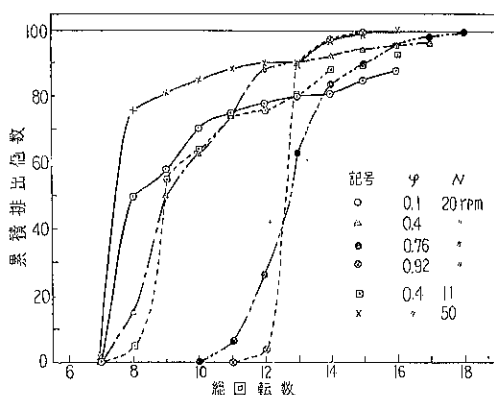


Fig. 5 累積排出個数対総回転数

を起点として計数した回転数 (総回転数) に対して点描した結果である。φ が 0.1 程度では排出の 1 回転目で全個数の 50% が排出されるが、その後は比較的少数個づつしか排出されない。また φ が 0.92 の場合には初めの 2

回転で全個数の 90% が排出された。これらに対し φ = 0.4 および 0.76 の場合には累積曲線の立ち上がりも緩やかであり、しかも全個数の排出に要する回転数も多かった。したがって後二者の場合には前二者にくらべて“シャフト漏れ”が平均化して起つたと考えてよいであろう。この結果は Fig. 3 でえた結果とよく一致する。

§ 4 結 語

以上の実験結果からスクリーコンベアにおける混合作用を考えるとピッチ内の混合攪拌と“シャフト漏れ”による混合の両者を同時に考えねばならないと思われる。両者はそれぞれ粉粒体混合における、半径方向混合および軸方向混合に対応して取扱えるであろう。

文 献

- 1) 真島卯太郎；続新化学工学講座，No. 18, 67 (1960) 日刊工業新聞社
- 2) H.L. Strube ; Chem. Eng., 61, Apr., 195 (1954)
- 3) 植松，中村；本誌，No. 4, 28 (1960)
- 4) 植松時雄；化学機械技術，第 5 集，187 (1953)

ヨーロッパの Micromeritists の思い出

金沢大学工学部 田 中 達 夫

昭和35年5月初旬、私は1年9ヵ月滞在したミネソタ大学を去り、New York から空路 London 経由 Paris に向つた。私の Adviser である E.L. Piret 教授がその約1年前から在仏米国大使館の Scientific Attaché として Paris に勤務し、私のやつた仕事に関する最後の討論のために私の渡仏を希望されたからである。私はこの約1ヵ月余の短い期間に、できるだけ広く大学や研究所、会社などをみて歩きたいと思つてゐた。しかし教授から、なかなかパリを離れるお許しがでず、遂に最小限度に止つたのは残念であつた。ただ西独乙の KarlsruheTech. Hochschule の H. Rumpf 教授、London 大学 King's College の H.E. Rose 博士にゆつくりと会えたのは嬉しかつた。既に会話の内容も忘れて了つたので、以下この粉体工学研究で著名な2人の研究者の思い出を綴るにとどめたい。

5月中旬早朝、私はパリ東駅からドイツへ旅立つた。ナンシイ、ストラースブルなどを経て Kehl という町でRhine川を渡り独乙領へ入つた。このあたりSchwarzwald の美しい森を後ろに Baden-Baden への乗換駅をすぎ、Karlsruhe についたのは既に夕方であつた。生憎の大雷雨となつたが、幸い駅には Behren 助教授と Ohe という助手が迎えに出てくれていた。大雨の中を彼らの Volkswagen で送られ大学の研究室を一通りみせて貰つた。

粒度測定器や測定理論を研究する種々の装置などが処せまく並べられ多くのテーマが与えられているようであつた。その他粉砕の機構と実験的に取組んでいる物理学専攻の人にも紹介され、Bahco 型や Mikroplex などの分級機、ジェットエアー節機なども備えてあり、かなり大型の造粒装置も実験中であつた。これらについては既に Rumpf 教授が Chem. Ing. Tech. などに多く発表されているので御承知のことと思う。

一通り見学をすませて Rumpf 教授招待の食事に、ある Hotel におもむいた。先の2人の若い方を相手に雑談していると、そこへ非常に小柄な温和そうな Rumpf 教授が入つて来られた。互に初対面の挨拶後、教授は「君は私の最悪の日にやつて来た。まことに済まぬが、

今日は夜も会議があつて出席せねばならぬ。実は一晩ゆつくりと君の論文についても討論したかつたのだが、そんなわけで二人の若い人に自分の代りに案内を頼んだわけだ。まッ今日はゆつくり Ohe 君を相手に話し、明日は今自分が計画中の教室を案内し、Kirschbaum 教授にも会うように連絡しておこう」と親切にいわれ感激した。

教授のおふるまいでその夜は4人で食卓を囲み、とくに best season だというアスパラガス料理をよばれた。日本の様子をいろいろ訊ねられたが、そのとき、「私の処にも沢山の日本人の方がお見えになるが、どうも英語がよくわからない。きつと立派な英語で、いいことを喋舌つてられるのだろうか、まことに残念である」といわれ、小生も腋の下に冷汗をかいだ。「日本人は目でみる語学は英語でもドイツ語でも自由だが、話すことになる」と大変まづい。私もアメリカにいて経験したのだが、東洋人では日本人、欧州ではフランス人が一番英語が下手なようだ」というと、彼ら大笑いで「そうだ。フランス人はフランス語以外の言葉は喋舌ろうとせんからね。ドイツ人は少くとも2ヵ国語は喋舌ろうと努力するから」といつていた。食事中もいろいろ気を使って下さり、高価な料理を次々と注文し、話しぶりも少しも肩のこらぬ方で「何しろ遠い遠い日本からわざわざ会いにきてくれたのだから」といたわつて下さつたものである。ドイツ人同志では、すべるような調子のいいドイツ語で語つてられたが残念ながら私には半もわからなかつた。

その夜 Rumpf 教授と Behren 助教授が会議に出るため去つた後、奇しくも私と同年同月生れだが、もうツルツルにはげた Ohe 君と3時間余り Rhine Wine をしたたかに飲んで語つた。彼は堂々たる偉丈夫で、始めて駅でみたときこの人が Rumpf 教授ではないかなと錯覚したぐらい貴族があつたが、食事中教授の横で全く小さくなつて俯向き加減で小量の食事をしたにすぎない。が、教授が去るとにわかに体が2倍位大きくなつた感じで椅子にそり返り「ドクター田中、教授は行つたし、今夜は二人だけで大いに飲むべし。」この辺り一寸日本でもある風景で可笑しかつた。もちろん酒代は全部教授もちであらう。その夜は飲めぬ私もおつき合いでうまい

Wine をしたたか、舌も割とよく廻つて、互の Frau のこと、子供のこと、戦争中のこと、月給のことなど喋り散らし、流石に頭にきて、互に何をいつてるのか分らなくなつて別れを告げた。因みに彼の給料は月1000マルク（8万円余）で“余り高くないね”と自嘲していた。

翌朝はこの男に連れられて先ず教室で10名位の職員や研究生と一緒に特殊固体輸送設備のムービフィルムをみた。十分言葉がよく判らなかつたが、ひだの伸縮により自由に方向の変るベルトコンベアの実際の使用状況を写したものであつた。そして今建設中の Mechanische Verfahrenstechnik の工場を、小雨の中を案内して貰つた。確か4階建だつたが、研究室が20も30もあるような大きな建物が外にもいくつも建設途中であつた。美しいカールスルーエの森をこわすことで市民の反対もあつたそうであるが、ともかく3年後にはこの大学は一挙に大きくなり、一層その業績を挙げることであろう。一教授のもとに多くの助手や研究生がこのようなよい環境を十分使用できるドイツの大学は全く羨しい限りであつた。

Kirschbaum 教授にも一寸お目にかかり、研究室もみせて貰つた後、再度 Rumpf 教授に昼食をご馳走になつた。十分よく判らなかつたが、螢光だか燐光だかを利用してジェット粉砕機のメカニズムをまとめてみたといつておられた。自分でも“よく Angel と Angle を混同してね”と笑つてられたが、正直な処、教授も余り英語はお得意ではなさそうだつた。一日中お忙しい教授に何度も時間を割いて貰つたお礼をのべ、再会を期して別れを告げたのは既に3時頃であつた。

ロンドン大学の Rose 博士には、始めて New York から London についたとき大学へ電話した処、国外に出ていて何時帰るかわからぬというのであきらめていた。すると Paris 宛に博士より手紙が来て、ぜひもう一度やつて来い。飛行機なら僅か一時間だし、一晚僕の家へ泊つてゆつくり話したいというので、意を決して夜行列車でパリを発ち、再びその日の夜行で帰つた。パリ出発を2日後にひかえた頃である。

Victoria StationからTaxiをひろつて King's College につくと門番が既に僕の名を知つていて、ていねいに場所を指示してくれた。Rose 博士はみるからにスマートなやせ型の、しかもせいかなんか感じの方、ファイト満々という如何にも科学者らしい方であつた。挨拶も抜きで早速研究室へ、教室も大変質素な古い建物の中のせまい部屋で、実験室もさほど大きくない。印象的だつたのは装置がすべて非常に小型である。ホッパーからの粒子の流出機構を着色した2種の粒子を用いて測定したり、

薄いボールミルの中のボールの運動を写真にとつて軌跡の解析を試みたり、粉塵爆発の機構を自製のオシログラフを使用して研究したり、100m/sec 位の高速度衝撃粉碎 (gun)、別室では精巧な振動粉碎機が据えてあつた。とにかく大型の装置を作る必要はない。金もかからぬ。ただし装置の性能には事前に十分時間をかけて慎重な設計をやるよう心掛けていたといつてられた。目下学外の方と協力してこの外に、粉体輸送の問題を2つやっているそうである。Vibration Milling に関するデータが大分たまつたのでそのうち本を出すつもりだといつておられた。アメリカ流の金をかけて大型の装置を作ることには、かなり批判的であるようすだつた。

博士はまた大変ツケツケ物をいう人で小気味のよい人である。開口一番“どうかね、アメリカに2年近くいて少しは役に立つたかね”。それから“君は若いくせにいろんな問題に一寸づつ手をつける。絶対こりやいけない。何故一つの問題を最後まで片附けようと思ふのかね。どこからでもどんな設計もできるとこまでやらねば無意味だ。少くとも一つの問題に5年はかけ給え”全く一言もない始末であつた。

大学の外のコーヒ店で休みながら、博士の職つまり University Reader とはどういう役かという僕の質問に答えて、“まず Research Professor という処かな。一週間に一度講義があるからその日だけ大学に出ればよい。しかし資格としては教授と同じ権限もあり、給料も200ポンドでロンドン大学としては最高と思う。尤もその中 Process Eng. という Department ができれば教授になるかも知れない”。その他 Consultant として100ポンド、合計30万円の月収があるそうである。

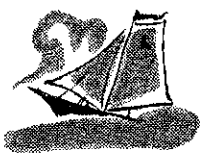
さらにくわしく研究室をみせて貰つた後、連立つて大学を出、Thames 河畔を London Bridge Station まで歩いた。道を横ぎるのに極めて慎重なのが一寸おかしかつた。途中セントポール寺院に寄つて一通り説明して下さつたり、遠くにみえたロンドン塔にまつわる話など聞かせたり、思いを中学時代にはせたものである。恐しく旧式な local 線に乗つて、郊外の Surrey という町にある博士のお宅へつくと、背のすごく高い色白の奥さんがこぼれるような笑みをたたえて出迎えて下さつた。三階建のスマートなお宅である。周囲は栗の木が多く、“London から僅か2~30マイルの処に、こんな静かな処があるとは思わなかつただろう?”と博士は笑つていた。

3人の子供をまじえ、にぎやかな昼食をよばれたが、食事中でも話のあい間に、姿勢がわるいとか無意味なことを喋るとかいつて子供をポンポン叱りとばし、のそのそ入つて来た飼犬を“この阿呆犬め”と外へ放り出し

たり、極めて博士は dynamic な方のようにあつた。奥さんは全く優しい方で確かオランダの方と聞いたが、その為かドイツ語も解し、また御夫婦で日本の様子、とくに対米安保条約に関する問題をきかれたり、学生の動きに同情的の様子であつた。14も部屋のあるお宅をあちこち案内し、“これが英国としては Average の生活だが、日本の平均と較べてどうかね”と一寸得意げだつた。数百年前の時計の文字盤を古物屋で掘出してきて、自宅の工作室で振子から何から自分で作った時計が正確に動いていると、玄関の時計を示していたが、大変器用な方である。夕方辞去する前に、一冊のノートをもち出して、“君は僕のあつた初めての日本人だ。これは我が家を訪ねてくれた人に名を書いて貰うのだが、何か一つ日本語で書いてくれぬか”。フトみると3日前に、コーペンハ

ーゲンの Andreassen 教授の名が記されていた。

日本には博士は大変な関心を示されているようであつた。近い中にぜひ日本に行つて、各地の大学で講義したい、いつかそういうチャンスを与えてほしいものだ、と強く来日を望んで居られた。“日本は桜の木ばかり生えているのかね”と珍妙な質問もされてはいたが、粉体測定理論、粉碎、分級・混合、粉体輸送、粉体流動、粉塵爆発、電気集塵、粉体工学のあらゆる分野で極めて独創的な仕事を次々と発表されている、この優秀な H.E. Rose 博士に、いろいろ指導を仰ぎたいと思うのは私だけではないと思う。ぜひ近い将来に実現をはかりたいと、この誌上を借りて皆様の御協力をおねがいする次第である。



英国で私が出会わした珍談

Billingshurst にて 佐藤 功

英国人ほど洒落の好きな人種はないと思う。何しろ2人よれば自分の経験した奇談珍談を話します。そんな人達と毎日顔を合していると自分も自然と珍事に出くわす。我々の Hosokawa International には54才になる Robinson という愉快な人がいる。2ヶ月程前だったと覚えているが、私の使っている机の4本の足の内一本がすぐく長く、我々 Hosokawa International の面々は1本の長い足を鋸で切ればガタガタしなくて良いだろうと話をしていて、そこへ丁度外出から帰ってきた Robinson 氏が見るなりいった。“私に良い考えがある”。そして机を次の室へもって行って何かゴトゴトやり出した私達は、彼がてっきり長い足を切っているものだとばかり思っていた。ところが暫くして次の室へ行って見て、皆んな驚いた。彼は短い3本の足に木を足していたのである。Hosokawa International の営業支配人 Lagton 氏のいわく、“彼の頭は我々と少し組織が違っている”……。

私は英国へ来る時に日本の折りたたみ傘をもってきた。それをみて Robinson 氏のいうには『イジー（私のニックネーム）、なる程これは便利がよい。軽くて強くてしかも小さい。しかし英国人はイジーの様に背が低くないからこれはステッキの代用にならない。イジーになら背が低いから丁度良いだろうがね』。

成程彼らは傘をステッキがわりに使用する。その傘の折目のきっちりしているのが自分の自慢である。これは驚かされた。

私は週に2回夜英語を習っている。或る時私が新聞の記事を読んでいると『コーブラマー（すげえ）という様な感嘆語』に出合った。いつか先生が『イジーコーブラマー』というのは一番きたない英語であるから絶対使ってはいけません』と云った事がある。そこ

で私は先生に新聞を見せた。先生云わく、『コーブラマー』傍でみていた人達はみんな腹をかかえて笑いました。その新聞のニュースは何かって？ それはないしよにしておきましょう。

或る時試験があり、その問題の中に“気の確かな人”の反対語を書きなさいというのがあった。私は判らなかつたので答の欄に『わかりません』と書いたところが幸か不幸か、その単語のスペルが間違っていた。後日先生のいうには『イジー君はどこでこんな古い英語のいいまわしを習ったのかね？ これは「私はきちがいだと思います」という意味だ』。まさしく正解。おかげで私は試験にパスする事が出来た。失敗が招いた幸運とでもいうものか。

丁度この原稿を書き出す一時間程前である。今日我々は石綿の粉碎テスト中ロータリーフィーダーの先にゴムのチップをつけたら非常にテストがうまくいき、私はテストレポートにフィーダ、ラバチップ付と書いた。皆んなそれを見て格拉グラ笑い出した私が何のことやらわからずきよんとしていると、一人のいわく『イジー、これは恋人同士がキスをするという意味だよ』なるほどよくみてみると、最初のアルファベットはRでなければいけないのに私はLを使っていた。そこで私も一緒に腹をかかえて笑ってしまった。

この様にいつでもどこでも笑いがある。これが英国の特徴でありその珍談奇談の中にも紳士的な臭いの消えないのはさすがだと感心させられたのであった。





出席者

(写真左より)

細川鉄工所 技術部長 松山 卓蔵
京都大学化学機械学教室 松居 國夫
京都大学助教授 吉岡 直哉
京都大学教授 中川 有三
大阪市立大学教授 吉田 哲夫
細川鉄工所 専務 細川 益男
細川鉄工所 技術部 横山 藤平

粉碎あれやこれや



松山 今日は日頃大学において粉碎，分級，集塵と粉体工学の分野の研究を専門になさっている先生方にお集りいただきまして，肩のこらない放談会といった形ですめたいと思いますので何卒よろしくお願い致します。学会誌はどうも少し固いの

で読みづらいという声をときたま聞くのですが，今日はできる限り一般的なお話を……，分かり易く実用的な理論を……

中川 なかなか注文がむずかしいですね（笑）

松山 例えば粉碎機の効率は非常に低いものですが，これをもつと能率よく使う方法とか，材料についてやわらかいもの，固いもの，繊維物質，プラスチックと夫々の材料に適した粉碎機構について，その後で将来の新しいアイデアの粉碎機，こういった事についてお話いただければ結構かと思ひます。では中川先生から……

粉碎の正味仕事について

中川 粉碎をやり出したのは，松居さんが来られてからです。私自身はどうも漠然としていて研究にならないと思っていたのですが，やってみると興味がある。実際の粉碎機については皆さんから教えてもらって分つたのですが，粉碎正味動力というのは極めて小さいもので無駄が非常に多い機械なんですね。

これは少し理屈ばい話になりますが，最近私の考えている事を先にいつた方がよいのではないかと思います……

ある物体を粉碎するのにどれ程の力があればよいかという事について，物体の体積に比例するという考え方，それが Kick の法則なんです，Rittinger の方

は表面積に比例するという事になっている。前者は長さの3乗に比例し，後者は2乗に比例する訳ですが，Bond の方は長さの2.5乗に比例するといっている。これは3と2の中間をねらったものですが，私の方では粉碎する状態にもつてゆく仕事と，それから後粉碎を起す瞬間の仕事に分けて考えると，長さの3乗と2乗を加えた形になっている。大きいものから粉碎し始めると，初めは3乗に比例する項が大きくて2乗に比例する項が非常に小さいから3乗が支配的になる。だんだん粉碎が進んでくると2乗の項が大きくなり，それに比較して3乗の項が小さくなるから，Bond の形になる。

私の実験室で奥田さん（奥田聰氏，現愛媛大教授）が，衝撃の実験をやっていますが，それは衝撃でこわれる場合の材料の抵抗と変形の曲線を求めている訳ですが，その結果からゆくと，その様に粉碎に要する仕事は2つに分けられる。その事から考えても私の考え方は当つていのではないかと思つています。

松山 われわれの専門の分野から少し細かい方に寄り過ぎるかも知れませんが，例えば Kick にしても Rittinger にしても，非常に小さくなれば，その Volume なり面積にしても，1粒を考えると非常に小さくなるから，それを砕くには非常に小さな力で済みそうだという説があるのですが，これはどうなのでしょう？



中川 それは私の考えではこの様に思っています。これは少しむずかしい表し方になるかも知れませんが，材料をひっぱって試験すると，破壊する点までもつて行く仕事は，相当大きな仕事であるが，そこまでひっぱって切れると，あとの残つた材料を

更にもう一度ひつばる。つまり2つに分れたものをもう一度ひつばる訳ですが、この時は非常に変形は小さくて切れてしまう。それからいうと最初の材料を破壊までもつてくる仕事は全部その破壊面に使われるのではなく、その材料全体にわたって働いており、後で分れたものをもう一度ひつばるときは、その仕事が必要ない。

その意味で小さい仕事でよいという事になりますね。しかし実際の粉碎機では細かいもの程非常に大きい仕事が必要というの、個々の粒子にそれだけの仕事が必要に与えられていない。働いた力が全部この材料の変形のために消費されていないという事になる。だから私の理論からゆけば分級して細かいものばかりあつめて粉碎する場合、もし理想的に一粒一粒に同じ力が加えられるとすればそれだけ小さい動力で済み、大きいもの（これは最初の粉碎で破壊の状態にもちきたされてないものを含んでいるので）混ぜてやれば仲々粉碎できないということになるが、実際は加えた力が殆んどすぐ摩擦熱に変わるので損をしている。だから小さいものばかり一列に並べて両端から力を加えて粉碎すればうんと小さい力で済む筈です。

細川 それは引張りでも、圧縮でも同じですか？

中川 同じ様に考えられます。私は例をあげて引張りです。引張りでいうと一番よく分るが、破壊する直前になつたものを、荷重をとり除いて、再び引張るときには弾性のエネルギーだけを加えれば最高の荷重まで達するから、粉碎するには細かいものだけを Separate して Best Condition にもつて来て粉碎するのが一番いいのではないのでしょうか。しかし微粉になるとそれに相当した装置が必要になつてくるでしょう。粗いものを粉碎すると同じ形式で Separate だけしたのでは意味がないでしょう。

吉田 私は素人なのですが、例えばこの（茶碗を持つて）1個のものを砕く場合、最終目的が5μだとすれば今の理論でゆくと Volume や Area に比例して仕事が増えるという事ですが、これは全体の Volume や Area という事ですか？一寸考えると Area の場合砕いてゆくと表面積は非常に増えてくるが、すると砕くに従つてだんだん仕事が増えるという事になりますか？……

中川 そういう意味ではないのです。そのものをいくらの細かさまでくだく仕事ということではないのです。その物を球と考えると、その直径が measure になる仕事は直径の3乗に比例する。それが2つあればその2倍という事です。それが小さくなれば小さい力しか要らない。



吉岡 各粒子に力が働いて仕事が無効的に行われた場合の話ですね。

中川 効果的に働かなければ、フリクションになる。それだけ仕事が大となる。今は正味の仕事について考えているので、フリクションロスを考える場合は別で

す。そのものの破壊の仕事です。

吉岡 例えばミクロンミル等の場合はどうですか。

松山 その検討はした事はありませんが、Rittinger の式で考えると、相当細かいものがとれるから、そこに非常に大きな力が集中している事になる。実際問題として中川先生のやつておられる落槌球試験機ですが、あれは相当効率のよい粉碎機ですが、理論的にいえば効率は何%位になるでしょう。

松居 Bond にしても、Kick, Rittinger にしても正味仕事或いは粉碎仕事を対象にしていつているようですが、その定義が少しもはつきりしていない。粉碎される瞬間迄の変形に要するエネルギーと、その後実際に粉碎だけに要したエネルギーとに分けて考えねばなりません。これはなかなか困難でしょう。実際に分けるだけの力というか、エネルギーというか、これは非常に小さいもので、純粋な理論効率からいえば、一万分の一とかになりましょう。

予備粉碎のこと

中川 或る物体をこわす場合、或る状態までもつてくる事を一度やると、今度こわすときは非常に小さな仕事で破面を生じ破壊する。これは間違いありません。

松山 それまでに粉体にたくわえられる最大応力であるという事ですか。

中川 それは実際に全部の粉体に均一にゆくというのはなく、或るものは破壊の状態の半分位迄よりいつていないもの、そういうものはまだ力を要する。だから Compression test でこれだけの塊りを Uniform に押えたと、その力は均一に働いていて割れるところは1ヶ所しかない。割れたものを更にする割ときには破壊寸前まで既にいつているから、次に力をかけるときは弱い力でよいということになります。

細川 それは物質の如何にかかわりませんか。

中川 そうです。物質の如何にかかわりません。材料試験からいうと、そういう事がはつきり分ります。

細川 例えば、切れ易い先のとん



がつた槌を落せばどうでしょうか。

中川 それは内部に一樣な応力が加わらず、全体がその状態に達しない場合は、別でしょう。私のいう正味仕事というのは、内部に一樣に力を加えた場合のことで、そうなれば細くなる程力が小さくてすむことになりますが、しかし実際の試験の際は一樣に力が加えられませんから、ポンとたたいてもこれが動くために摩擦に力が費される事になります。実際の（粉碎機における）仕事と正味仕事の場合は考えを変える必要がありますね。

松山 実際問題として、オシログラフで測定しておられますが、あれで数百分の1秒という order が出ていますが、実際にはどれだけ粉碎瞬間の材料に変形が起つているのでしょうか。白雲陶器の15mmの圧縮のもので……

松居 0.25~0.35mm程度のものです。

粉碎とは何か？

細川 この間、矢野先生（矢野武夫氏、大阪府立大学教授）が来られて、分子まで粉碎したらどうかという話が出ていましたが……

中川 それはもう粉碎ではありませんよ、材料はもうなくなっています。

吉田 それでは粉碎の定義というのは一体どういう事なのでしょう？



松居 破壊ということになりました。しかし工業的な意味の粉碎というのは破壊とは一寸違った意味をもっていますね。普通、粉碎という場合は殆んど工業的な場合が多い様ですが……

吉田 ではこの茶碗が2つに割れた場合、これも粉碎ですか？

中川 それはやはり破壊でしょうね。

吉田 すると粉碎というのは……

中川 粉碎というとやはり粉がつくから……（笑）

吉田 すると粉にならないといけない訳ですね（笑）

中川 粉にならなくとも連続して破壊が行われている場合で、たとえ1回の衝撃で破壊が行われたとしても縦に一筋割れるのもあり、粉々になる場合もある。粉々に割れたものは再び荷重が働くために又割れる。一べんの破壊も破壊の連続であるという事が出来ますね。

吉田 破壊の連続を粉碎というのですか？

中川 私はそう思いますね。

吉岡 Crushing の場合一度ハンマーに当つてすつと落ちるのがありますね。

中川 粗砕の場合ですね。この場合もやはり1回切りとというのはなくて、割れたものが、更に割れるという現象はある訳です。

どこまで粉碎できるか？

横山 何時も考える事なのですが、粉碎し得る最小限度はどれ位なのでしょう。

中川 非常に細くなると圧力でくつついてしまうので実際は相当大きいところに限度があるのではないのでしょうか、粉碎は出来ても再びくつついてしまう……

松山 一次粒子が凝集するということですね。

吉岡 非常に細かい粒子に圧縮力を与える方法が問題になつてくる。

吉田 mechanic なものでいつているのですか。

細川 いや mechanic な方法とは限らないのですが……

中川 さき程も吉岡さんの方から微粉の域で新しい粉碎方法について話が出たのですが、結局そういうものは、従来の方法するか、画期的な方法であるかという事になるのですが、従来の方法でより細かく粉碎しようと思えば、粉碎機の精度を上げるか、材料の選定が必要なのではないのでしょうか？これがまた非常にむづかしい。そうでなければ粉碎の方式をかえなければならぬ。

吉田 micron mill ではこれ以上砕けないという限度があるでしょう。その粒子を更に細かく砕くためには別の方式が必要になつてくる。

横山 機械的に衝撃とか摩擦とかで砕きうる粒子の限度は数十ミクロンのオーダーではないのでしょうか？その中には0コンマ何ミクロン程度のものがあるとしても、これはたまたま過粉碎によつてできたもので、全部この様な微粉にすることはできない。

中川 それは粉碎機の工作精度からきまつてくるのではないですか？



吉田 ジェットミル等はいくらでも細かく粉碎できるのではないですか？これは粒子と粒子が衝突して砕くんだから……

松山 micron mill は色んな打撃とか、フリクションとかが作用していますが、やはり粉と粉との摩擦による効果が大きいのです。

細川 勿論、衝突による効果も大きいですが……

松居 微粒子になれば摩擦じやないでしょうか。

松山 神保さん（神保元二氏、東京大学）のいわゆる表面粉碎になつていっているのですね。

圧力場における微粉砕

吉岡 非常に細かくなると吸着されている様な空気で、粒子と粒子が当たらないと思う。逃げてしまうのですね。だからとにかく僕は或る力を与えて圧縮した状態で摩擦しなければいけないと思う。遠心力でかき廻しているのでは粒子と粒子が効果的な接触をしていないと思いますね。そうすると、ガス中で圧縮した状態で粉砕するとなると熱のとり様がない。やはり非常に細かいものであれば、湿式粉砕という事になるのではないのでしょうか？

松山 液体との摩擦というわけですか？

吉岡 つまり圧縮した状態で、例えば濾過の場合・Cakeの粒子が流体圧で押えられる。そうした密集した状態で変位を与えるとよい。

細川 しかし大きな遠心力というものも、相当大きな圧力に匹敵するのではないですか。

吉岡 そういう事はいえますね。けれども微粒子になれば構造上むずかしいでしょう。

細川 微粒子ばかりではむずかしいが、中に大きな粒子が混ついていると、大きな遠心力を受けて廻るから、これが細かい粒子に圧力をかけて働く事になる。一種のハンマーになる訳ですね。

松居 確かに微粒子になると衝撃力は与えにくくなります。できれば効果的ですが…… 実際に粒子に、ものが当たっても、それ同志の摩擦、つまり表面から削りをとるという場合が多いでしょう。粉砕の限度は材料に特有の限度というものがあるのではないのでしょうか？ 摩擦をやるためには normal force が必要になってくるわけで、吉岡先生のいわれるように圧縮が必要になる。圧縮がなければ摩擦はない訳ですから……

細川 圧力をかけて粉砕するというのは特許をとりました。気体中で大きな遠心力を与えて、それを圧力に変えようという訳です。

吉岡 話は違いますが、濾過の場合にタルクの1~10%の粒子を濾過器に入れて荷重をかけて圧縮しますと、荷重の少い時は空隙率は90%、80%とある訳ですが、これをだんだん圧縮して70 kg/cm² 迄かけると0.4位になる。つまり単体と考えてよい訳ですが、最密充填に近くなる。その辺で初めて粒子と粒子の間の液がなくなつて、粒子同志がくつつく事になりますが、粒体同志が接触するためにはそれだけの圧力が要するという事になります。

そういう状態でかき廻さないと、粉体の摩擦は行わないのではないのでしょうか？これは大変な力です。

細川 むしろ Vacuum にしておいたらどうでしょう。

吉岡 今の場合は液相ですが、Vacuum でも吸着ガスはなかなかとれないでしょうね。

細川 固体の場合の吸着膜というのは粉砕作用を妨害するのでしょうか？

吉岡 そうでしょうね。1つの緩衝体となつて……

中川 吸着膜というのは粒子の形によつても異なるでしょうね。だから形の方も考える必要がある。

吉田 湿式ミルの方が微粒子が出来るんでしょう。液体は非圧縮性だが、空気は圧縮性だから……

松山 液体の場合は、粒子の分散性がよいからでしょう。一般にポットミルでやる場合、粉砕媒体と粉体とが direct に Contact 出来るが、乾式粉砕の場合は空気の膜があるとか、或いは粒子が凝集して、ふわっとした状態であるから、つまりゴムのスポンジをハンマーでなぐる様なもので、割れにくいという事になるのではないのでしょうかね。決定的に湿式の方が微粉砕出来るという事を打出した人はいない様ですから……

松居 溶かして粉砕した事はありますか？ ノズルから吹き出して微粒子にするとか……

松山 細川社長が大分以前に鉛やガラスを溶かしてやつた事がありますよ。特許があります。

松居 この場合は粒子の形状は球に近くなるでしょうね

たたき割りばかりが能じやない

細川 話題が変わりますが、粉砕の方法で mechanical な方法でなしに、例えば電流を通じたら、ばらばらに砕けるとか、何んかそういった名案がありませんか(笑)

吉岡 何んかそんな話をききましたね。何万ボルトかの電圧をかけて……

中川 その様な事を考える前にですね、粉砕するのにはどんな方法をつかつてこれだけの力又はエネルギーが要するのだという事は確かなのだから、これだけ金を払わなければ、そんな機械は買えないという事をはつきり掴む方が先決ではないのでしょうかね。それだけのエネルギーを消費する方法を考えるべきですね。

吉岡 その点で電気等は大きなエネルギーを集中的に、効果的に与える方法ではないでしょうか。

中川 短時間にね…… とにかくそれだけのエネルギーを使えたら、それだけ有効だという事になる訳ですが……

細川 ものによれば非常に温度を上げてやれば分解するものもありますしね。

松山 結局、単体でも何んでも大きな材料ですとなおさるですが、よそものが間に介在している、その弱点のところに、なるべく大きなエネルギー或いは応力を集中するのが一番効果的なんじゃないですか

中川 実際の場合はエネルギーを加えていながらその目的のためにはエネルギーは消費されていないという訳で、これが粉碎機の効率が悪いという事になる。それをなくするためには、例えば松居さんのように一列に並べておいて粉碎しなさいという事になる訳です。松居 何段も重ねてやると、ずい分違うものです。さき程の話ですが、結晶水を含んだものに対して体積膨張を利用して瞬間的に破壊する方法が考えられます。例えばタンガロイなどはそれに類する方法で粉碎しているそうです。

中川 ガラス等もそういう事が出来ますね。私は前に鉄鉤でガラスを撃つて破壊の実験をしましたが、つまりエネルギーを沢山加えれば割れる面がうんと増えます。非常に細かくガラスを割るには、力からいうと一定の力で割れる訳ですが、ところがそれに対してエネルギーが沢山かかったものは、割れる面が多い。だからエネルギーを力に無関係に何んかの方法で集中すればよい訳です。力は一定の限度を越えさえすればよい。

吉田 すると粉碎の Action としては同じ力を加える場合、圧縮と shear とどちらが効果的なのでしょうか。

中川 それは shear といつても、圧縮といつても結局エネルギーを同じだけ加えれば同じですが、力学的には総て圧縮と引張りで説明出来ますよ。方向が違うだけで……

吉岡 visco elastic body といったものに非常に速い衝撃を加えたらもろさが現れて破壊するという事がありますね。

中川 結局、粉碎を効果的にするには材料の1つ1つに一樣な力を加えるという事です。ところで、破壊の正味仕事については大分出ましたから、次はどの様にすれば効果的な微粉碎が出来るかという事です。……これが一番の問題になる訳ですが……

粉碎を効果的に行うには

横山 一寸先き程の話に戻るかも知れませんが、キックの法則では粉碎比と仕事量が比例するという形だつたと思いますが、すると一定粒度の微粉を得るためには原料が細かい程消費動力は少なくてすむ事になりますが、実際私達が毎日 micron mill でやっている実験では、原料中に粗粒子が混つている方が粉碎効果がよいのです。つまり同じ動力で細かい粉が多くとれます。

松居 細かいものだけでは能率が上らないという事です。

横山 そうです。

中川 これはやはり粗いものに有効に力が加えられるためでしょうね。

松山 するとエネルギーの伝達がよいという事ですか。

中川 細かいものには力が十分に与えられない訳で、私がさき程からいつているのは有効に使われる仕事の話です。有効に仕事を与えるのにはどうしたらよいかというのは次の問題です。

それで如何にすれば効果的な粉碎が行えるかという問題ですが、先程も一度話に出した様に私は従来の方法でいうとすればやはり機械の精度を上げる事、非常に精密なものを作る必要があると思います。

吉田 精密というのはどういう意味の精密ですか？

中川 機械精度、粉碎機の精度です。

松山 これはうちの分野と違いますが、例えばロールで小麦などを粉碎しますが、小麦の1つの澱粉の粒子が20 μ という order 迄粉碎するためには圧縮もありますが、やはり shear がきいていると思います。中川先生のいわれる精度というのは結局20 μ 迄つぶそうと思えばやはりロールの間隙が20 μ 迄保たなければならぬという意味ですか？1 μ にくだこうと思えば1 μ の精度がいるということですか？

中川 そういう意味ですが、そこ迄細かくなるとロールの弾性の問題もありむずかしい事です。

松居 私は戦時中鉄コンスタントの箔をロール圧延で作りましたが、1 μ ではないといけないうのです。が、なかなか1 μ のものは出来ませんでしたね。それで何枚か重ねて、何度か通して、それを後ではがして、やつと1コンマ何 μ のものを作りました。圧を加える必要があるのですが均等な圧がかからないのでロールが折れてしまう場合が多いのです。1枚では3 μ もいきません。ロールクラッシュの場合ではすき間が7mm あれば粉碎品は7mm 以下かといえさういう訳ではありませんからね。

中川 最近の機械は皆んな非常に精度をやかましくいつて来ました。粉碎機も当然 そうなるべきだと思います。

松居 micron mill の場合非常に狭い間隙を無理やり通して粉碎しているあの clearance の精度が粉碎効果に大きく影響してくるのではないですか？その摩砕が微粉碎によくきくとか……

横山 私達が毎日実験に使っている micron mill の場合、コンカル部の0.何mm といった clearance が非常に重要な粒度の factor となつていますが、実際の粉碎では、こんな狭い間隙に粉体が入つて粉碎されているのではないようです。これが粉自体に非常な Speed を与えて Conical 部で循環現象を起し粉同志

の摩砕による繰返し粉碎がよくきいているのではないかと思います。

細川 羽根を円板にして clearance のみ小さくすると粒子は1回通ればそれきりで、粗いものですが、micron mill では羽根状になっているので、その廻りを粉体が空気に乗って循環することにより粉碎が進むのです。

横山 Clearance の摩擦粉碎のみでは能力は非常に小さなものです。

吉岡 回転数を上げるとかえって粗い粒子が出るとききました。

細川 回転数を上げるとよくないという結論が出ているのですが、これは一概にはいえないと思うのです。例えばミルの大きさとか、羽根の形とかいうものが変わってくれば、又違った結果が得られるかも知れませんが、今の micron mill ですととにかく回転を上げてしやにむいたいてやるのは結果的にはよくないのです。平均粒径が粗くなつて……

松居 あの mill は衝撃と摩砕の両方がきいていると思いますが、両方がうまく使われる形になっているのですね。

横山 一般に粉碎の mechanism は衝撃、摩擦、圧縮、剪断の4つに分けて考えられていますが、これらが効果的に働くには粉碎の程度、つまり粗砕、中砕、微粉碎等の程度によつて使い分けが必要だと思います。ですから粗いものを砕くときにはハンマーミルの様に純粋な衝撃だけでもよろしいし、微粉碎になると、やはり摩砕でないと駄目だと思います。micron mill はこの摩砕、特に粉体同志の接触による摩砕が非常に有効に働く様な構造になっているのですね。

吉岡 同じ構造の mill についていうとそういう事になりますね。

横山 周速 100 m/sec 程度出せる mill を作つて実験したのですが、こういった高速 mill では粒度は非常に揃ってくるのですが能力が押えられます。

中川 charge する材料の大きさは？

横山 これは先程の話になるのですが、charge する原料の粒度は結果に非常に影響してくると思つて、初めは 30 mesh で篩分けて使用していたのですが、とても原料が追つかなくなつて粗いものも混ぜてやりましたところ、かえつて粉碎能力が上つて粒度の細かい製品がとれました。

中川 それは石炭の粉碎でも昔からよくいわれている事で、粗いものを混ぜた方がよく粉碎出来るようです。

吉岡 ボールミルのボールの様な格好になるのでしょうか。

中川 それは力が有効に加えられるという事でしよう。

横山 B.H.C. の粉碎機は当社でランナーとライナーの間隙を数 cm 開けた特種の micron mill を用いていますが、これは粘着を防止するためでもあります。良く粉碎出来ます。粘着の心配のないものでは、Clearance は出来るだけ小さい方がよいとも考えられ摩砕が効果ますが、そうでもない様で高速の mill では粉体同志の摩砕が効果的です。Hold up を適当に増す事によつて Clearance はかえつて大きくても能力が出るらしいのです。

松居 細川さんの方では粉碎機の研究に御熱心ですが、現在どの様な研究をやつてこられますか。

松山 Super micron mill の研究ですが、現在粉碎室の dimension を色々変えて最適の関係寸法を求めています。何しろ factor が多いものですから大変です。例えば粉碎室径とランナーの関係、消費動力と粉碎室径の最適値等……

横山 大学の研究室の実験ではブリキや真鍮板をハンダ付けして色々実験装置を作りましたが、粉碎機となると一寸そういうわけにゆかず、一々木型から作つたりするので、data を出すのが大変です。

粉碎形式と粉の形状

吉田 ローラーミル（リングローラーミル）で砕くのはあれは摩砕ですか。

松山 あれは圧縮ですね。それに Shear も入る。

吉田 私の関係しているベンガラ工場で、ローラーミルで砕いた粒子とアトマイザーで砕いた粒子とでは性質が違ふという事です。

松居 そういうこともいえるでしょうね。

吉田 ローラーミルで砕いたものは非常に光沢があるが、アトマイザーで砕いたものは艶が悪い。micron mill でやればどうでしょう。

細川 酸化チタンが、ローラーミルで粉碎したものと、micron で粉碎したものとでは後の性質が違いますね。micron mill のものはやはり micron mill 独特の割れ方をしています。

横山 その話に関連して、先程中川先生のいわれた粉碎された物質は完全に割れていないでも、予備的な粉碎が行われているという事と結びつく話ですが、粗砕をロールミルでやつたのと、ハンマーミルでやつたのでは後の微粉碎の能率が十分違ふという事を聞いた事があります。つまりロールミルで粉碎したものはハンマーミルのものよりも微粉碎がし易いという事です。確か新日本化精の西田さんの話だつたと思いますが……という事はロールミルでは予備粉碎がよく進むのですね。

細川 圧縮を受けているから全体にひびが入って……

中川 粉碎は力と仕事を別個に考えないといけないんでしようね。力もそれだけないといけないが、エネルギーもやはりそれだけいるという事でしようね。

細川 鉄を粉碎するのにブロックのままでは粉碎出来ないから旋盤等の削り屑を粉碎する訳ですが、ところが旋盤の屑は粉になりにくいが歯切盤の屑は粉になり易いという事があります。これは簡単な事です、あまり知られていない様です。歯切屑を micron mill にかけてと粉になります。

松居 私は色んな粉碎機で同じ材料の粉碎をやつて、その形状を調べたら非常に面白い結果が出るのではないかと以前から思っているのですが……

今、この前の粉体委員会の資料があるので、それを調べると、常識的な、思っていた通りの結果より出ていませんが、ジョークラッシャーとか、ロールミルの様なもので粉碎すると、平べつたくて尖つたものが出ます。これは圧縮粉碎の特徴の様です。ローラーミルになると摩砕がきいてきて角が丸くなつています。インパクトクラッシャーとか、インペラーでやると、四方八方からの圧縮で摩砕はあまりきいていない様で非常にとがつてしかもかたまり状——メーカーによっては立方体状といつていますが…… 確かにそういうものが多いですね。

細川 金粉や銀粉、又真鍮、アルミの粉を作る場合、大きな回転機械でやると光沢が出ないですね。やはりスタンプミルが一番いいですね。

松居 あれが一番ですね。それからボールミルはあまり摩砕がきいていませんね。粉碎品をみるとかなり角ばつたものが出ています。条件によつて違いますが……

松山 松居さん、その Report を是非発表して下さい。粉碎形式と粉の形状というのは面白いテーマですよ。

吉岡 そういつた広い報文はなかなかないですね。

松居 それが現在のところ、ひどく常識的な結果より出ていないので…… 今申し上げた様な事はよく考えればあたりまえのことなんです。

松山 ボールミルであれば一応摩砕と考えられますが、衝撃が主にきいているというのは面白いですよ。

吉岡 一寸考えるとボールミルというのは摩砕が主にきいている様に考えられますね。

中川 摩砕の盛んなのは最近の super critical というやつでしょうね。

松居 そうでしょうね。今、集っているものだけでも、分り切つた事でしようが写真でもつけて発表してみたいと思います。

横山 是非「粉碎」誌でお願いします (笑)

分級の限界は？

吉岡 分級の話になりますが、分級も何 μ 以下となつてなかなかむずかしい問題ですね。

中川 そういう場合は相当大きな設備が必要になるのでしょうか？

松山 分散という点でむずかしいですね。

吉岡 今、Micron Separator で minimum いくら位ですか？

松山 5 μ まではやつていますが……

吉岡 5 μ というのは液体サイクロンでやりましたが minimum 5 μ ですね。それ以下はどうしても無理です。

細川 5 μ というのが限度らしいですね。アメリカで 4 μ という——全部 4 μ 以下というのがありますが、これは製品として称している訳ですが…… 5 μ から 4 μ にするという事は大変ですね。

松山 Sediment graph によると場合に一寸計算しても分りますが、2, 1, 0.7 μ となるとものすごく時間がかかる。

吉岡 2 乗ですからね。

1 が欲しければ10を出せ

吉田 中川先生、Water Hammer を利用して粉碎する方法がありませんか？

吉岡 僕は Cavitation の利用等があると思うが衝撃的に……

中川 エネルギー的には問題にならないが、規模の点でどうですか……

画期的な方法というのはなかなかないですね。

細川 とにかく有効に力を使うという事がむずかしい訳ですね。

中川 そういう事です。とにかく少し細かくするという事は、実際には、粉碎であれば非常に大きな力かエネルギーを必要とし、分級であれば非常に性能の飛躍が必要になつてくる。飛行機でもロケットでもそうですが、一寸スピードを増すために、従来の費用の何十倍かがかかる、一寸増すために10倍、それを超えるために又10倍——これは不経済なようですが、けれども従来の方法では出来ないのだから仕方がない。それをやるためには、それだけのものが必要になつてくるのは当然ですよ。目的はたとえ1の向上であつても10の飛躍をしなければならぬ。これが大きい程1の向上がむずかしくなる。

松山 長い間、色々ありがとうございました。ではこの辺で……

—終—

年 間 行 事

☆色剤協会講演会

(昭35.6.23)

色剤協会主催の講演会に於て当社松山技術部長は「欧州における粉碎機事情」と題して今春欧州出張の見聞報告を行った。

☆粉体工学巡回講演会

(昭35.8.3~5)

細川粉体工学研究所の主催を以て山口県下の有力三会社の工場へ出張講演会をもつた。この催しは当研究所が講師団を編成して、特定の工場へ出向して受入側の指定場所で指定聴講者のみを対象とするもので今まで先例のないものと思う。幸に受入工場では大いに協賛を賜り誠に有意義な催しになった。今後機会を得て他の地方へも参上したいと考えております。

講演会は下記のごとく行なわれました。お世話いただいた受入会社と講師の諸先生へ厚く御礼申し上げます。

8月3日 P.M.1.00~5.00

帝国人納鋸岩国工場・帝国人絹、同研究所、同
(岩国市) 製紙、同アクリルの関係
者約30名

8月4日 P.M.1.00~5.00

武田薬品工業粉光工場・同工場関係者約50名
(光市)

8月5日 P.M.1.00~5.00

徳山曹達鋼本社工場・同工場関係者約40名
(徳山市)

細川粉体工学研究所について

細川粉体工学研究所副所長 細川 益男氏
分級装置概論 京都大学工学部 助教授 吉岡 直哉氏
湿式集塵装置 大阪市立大学工学部 教授 吉田 哲夫氏
粉碎機の進歩 細川粉体工学研究所副所長 松山 卓蔵氏
粉体の混合 大阪府立大学工学部 教授 矢野 武夫氏



☆高崎達之助氏来社

(昭35.8.19)

元通産大臣高崎達之助氏は HOSOKAWA International の代表G.セール氏と同道にて当社を来訪された。熱心な工場見学ののち、当社が中小企業の立場ながらよく独特の技術を以て欧米先進国に製品を輸出して名声を博している事実について賛辞と激励を賜った。

☆G.セール氏来社

(昭35.9.14~20)

欧州の HOSOKAWA International 代表ジョージ・セール氏は今夏来日、9月約1週間にわたって会議をもち、当社製品の欧米市場進出上の販売・技術両面の問題を協議した。この際、欧米に於てわがスーパーミクロンミルとミクロンセパレーターが惹起した異常な反響と活発な引合状況が報告された。

☆北浦助教粉体シンポジウム出席

(昭35.9.24~30)

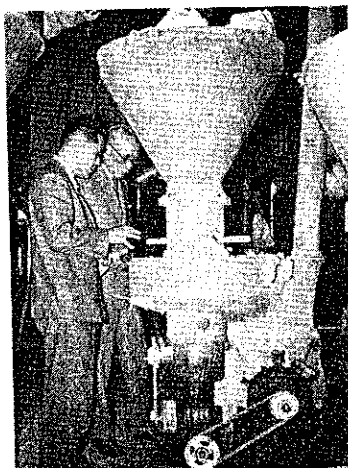
細川粉体工学研究所顧問、大阪府立大学工学部助教授北浦嘉之氏は9月20日大阪発英国留学の途につかれたが英国到着早々ロンドンにおいて細川インターナショナルの準備によつて“The Symposium on Powders in Industry”に出席し「最近の日本の粉体工業事情」の題の下に講演された。

細川インターのラングトン氏はこの様子を次の如く報告してきた。「この部会は Royal Institution で行なわれ、北浦氏はかの有名な Farady 教授が使用した同じ演壇に立つて多数の有名人を前にして講演し非常な喝采を受けた。出席者の中には Andreasen 教授をはじめ Sir Eric Rideal, Sir Owen Wansborough-Jones, Peter Danckwerts 教授, Flemming 教授等斯界の著名人が多数いたことは北浦助教授にも大きい感銘であつたようである」と。

☆社内新組織の実施

(昭35.10.10)

新工場の竣工と業務の発展にそなえ新職制を実施した。即ち社長、専務の下に本社・大阪工場・東京支店の3機構を置いて大阪工場、東京支店の態制を強化しまた専務に直属す



高崎達之助氏(右)と細川専務

る企画室を設けた。これにより常務取締役細川明彦氏は東京支店長より大阪工場長兼本社営業担当重役となり、取締役細川豊氏は製造部長より東京支店長に転出した。

☆大阪府月賦機械展示会 (昭35.10.12~14)

今回新に制定された大阪府合理化機械月賦販売制度の普及のため大阪府立工業奨励館において対象機械の展示会が催され、当社は指定機種のうち分散機ミクロンコロイドミル5IP用とディスペルミル7½IP用の2種を協賛出品した。

☆集塵に関する講習会 (昭35.10.17~19)

日本工業新聞主催集塵に関する講習会が大阪市立工業研究所で開催され当社松山技術部長は「フィルター集塵」について講演した。

☆1961年度新製品見本市 (昭35.10.28~11.4)

日刊工業新聞主催を以て東京都立産業会館において開催され当社東京支店より新製品電磁振動式粉体連続排出装置フロートロン2台を出品実演し好評を博した。(東京支店)

☆新工場竣工式 (昭35.10.29)

かねて建築中の新主力工場が完成した。概要は次の通り。

鉄骨スレート、プラスチックシート葺、一部2階建、軒高7.5M、棟高11.2M、7.5噸クレーン設備、一棟1,340平方米(406坪)

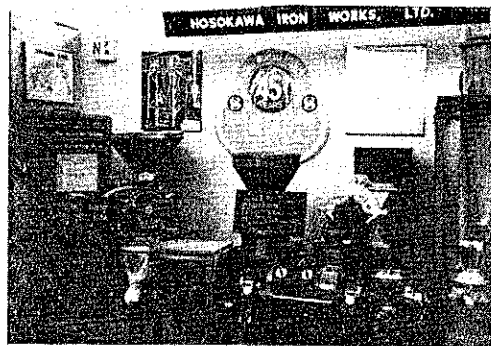
これまでに新築した工場及び附属建物三棟1,090平方米(330坪)と共に合計2,430平方米(736坪)の第一期工事を終り竣工式を執り行つた。これにより体裁も漸く整い生産力も著増することになった。工作機械も独逸製中割旋盤の外多数を補充中であり、ますます増大する御需要に沿いうる態を整備中であります。



☆第三次日本産業巡航見本市

(昭35.10.31~昭36.2.18)

豪州ニュージーランド及東南亜地域9ヶ国13港を巡航する見本市船安芸丸(1万噸)は最新、最良の装備を以て商品を満載して10月31日東京港を出帆した。当社は二小間にスーパーミクロンミル、ミクロンセパレーター等7種の機械を出陳した。出品者派遣団は今回は航空路により船にアテンドするが、当社東京支店営業課長村井二郎が全行程をこれに参加する。村井課長は11月8日現在ニュージーランドのオークランドに安着の報を受けたが、いわゆる鵬程万里約100日ののち来年2月14日大阪着の予定である。



☆サイゴン農業機械展示会 (昭35.11.10~23)

南ベトナムの独立記念祭の行事の一環として日本製農業機械展示会が催され、当社は大南公司(株)を経由してハンマーミル5IP用1台モーター付を出品した。

☆カルツーム日本商品展示会

(昭36.1.10~20)

Jetro のカイロ Japan Trade Centre の手によりスーダン共和国の首都カルツームにおいて来年1月日本商品総合展示会が開催されることになり、当社は住友商事(株)機械部の手によりハンマーミル1IP用モーター付を出品し船積を了した。

☆粉碎試験室の利用状況

期間中における当社試験室の顧客による利用状況は次の通り、御利用を歓迎します。

年月	昭35 6月	7月	8月	9月	10月	11月	計
件数	40	38	37	31	35	32	213

東京支店便り

◎支店業務ますます繁忙を加えプラント関係等種々粉体に関する技術的相談激増のため、10月中旬より技術課を

新設、本社より優秀技術者を派遣しこれに当らしめた。

◎東京支店試験室利用状況（11月20日現在）

月 区 分	6月	7月	8月	9月	10月	11月
台 数	24	63	22	27	23	40
件 数	17	32	20	24	20	31

最近の興味あるテスト例

細川鉄工所営業部試験室における最近のテスト例の中興味あるものを次に掲げます。御実験者の利害を考えて記述は抽象的簡略なものです。何かの参考になれば幸甚です。

原 料 名	粒 度	テ ス ト 機
水酸化ニッケル	1~3%粉砕	ナイフハンマーミル
水酸化マグネシウム	5μの粉砕	スーパーミクロンミル
カーボンブラック	325mesh(35μ)	MP
パルプ（板状）	綿 状	ナイフハンマーミル
除 虫 菊	100mesh 80%	MPT型ハンマー
木 粉	100mesh 30%	MPT型ハンマー
硫 黄	250mesh 99.99%	ミクロンミルMON

麦 ガ ラ	50mesh 83%	ミクロンパルペライザー
脱 脂 大 豆	1~3%	ナイフハンマーミル
脱 脂 大 豆	200mesh 90%	(MPT型)ハンマー
脱 脂 大 豆	200mesh 80%	スーパーミクロンミル
P. V. C.	60mesh	パイプシフター(VS-B型)
雲 母	300mesh 92.5%	スーパーミクロンミル(M52型)
生 石 灰	10~20%	鬼歯ロール
スチロール樹脂	24~50mesh	MP-1T型ハンマー
珪 藻 土	300mesh 97%	スーパーミクロンミル(M52型)
P. C. P.	15~48mesh	特殊カッターミル
硫 黄 末	200mesh	パイプシフター(VS-A型)
硫 酸 銅		スーパーミクロンミル
ポリエチレングリコール	80mesh 95%	ミクロンパルペライザー
二酸化マンガン	10mesh	ハンマーミル
粘 土	珪砂分の分離	ミクロンセパレーター

編 集 後 記

※たいへん寒くなって参りましたが、お元気で御活躍のことと思います。

※“粉砕” No. 6 は細川鉄工所の新工場竣工記念号としてお送り致します。

※吉田、吉岡両先生並に松山副所長の講義、解説は去る8月の第一回巡迴講演会の原稿に加筆していただき、誌上公開講演会と云った形になりました。

※又、池森、井伊谷、田中諸先生からは興味ある内容と軽妙な文章で綴られた随筆をいただき、ともすればかたくなりがちな稿間を潤すことができたことをよろこんでおります。

※ここに原稿をお寄せ下さいました諸先生方に厚く御礼申し上げます。

※今回は、はさみ込みの愛読者カードに御質問欄を設けました。粉砕、分級、乾燥、輸送等粉体工学における実際の問題について、お困りの事がございましたら、御遠慮なくお申し越し下さい。

※当研究所において出来る限り調査、研究し御返事申し上げます。

※カードに書ききれない場合は、別紙に御記入の上、カードを同封してお送り下さい。

※No. 7 は7月末発行の予定です。本誌に対する御希望御意見をお待ちしております。

※では1961年のよき年をお迎え下さい。(Y)

〆 粉 砕 〆 No. 6 1961年 春季号

昭和35年12月25日 印刷

昭和35年12月31日 発行

編集者 横 山 正

発行所 細川粉体工学研究所

大阪市港区三ツ樋町11番地

(非売品) 印刷所 KK ナニワ印刷所

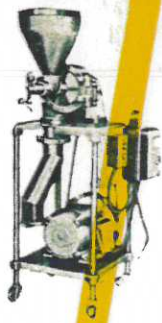
大阪市北区川崎町38

細川の粉碎機

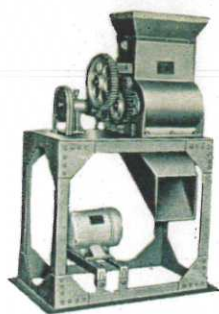
粉碎・乳化・分級・篩分・輸送・集塵 その他 粉体化学機械装置 設計 製作



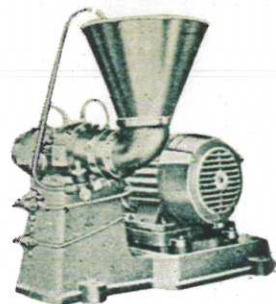
ミクロンセパレーター



サンプルミル



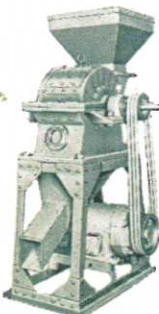
アイスクラッシャー



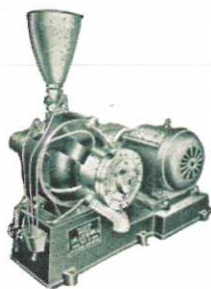
ディスパーミル



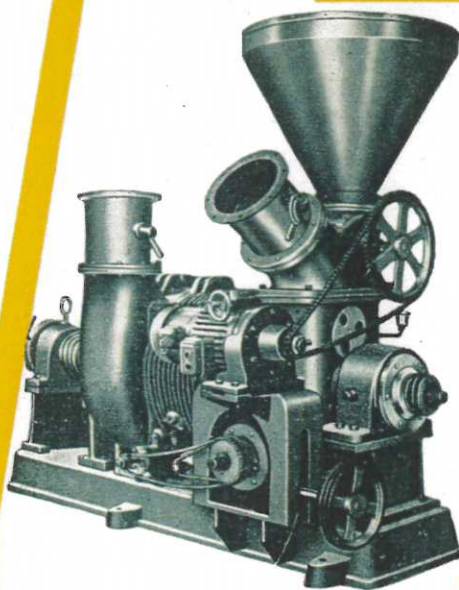
縦型ディスパーミル



ハンマーミル



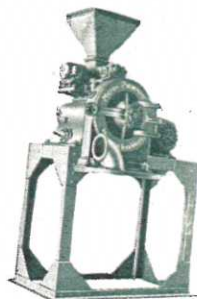
コロイドミル



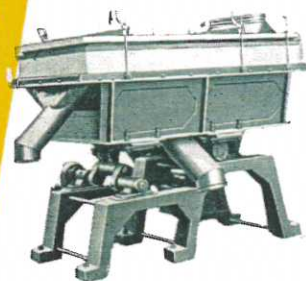
スーパーミクロンミル



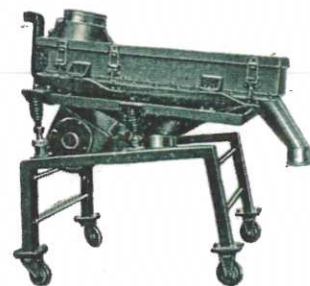
ポニーミキサー



ミクロンパルベライザー



パイプシフター A 型



パイプシフター B 型

株式会社 細川鉄工所



本社工場

大阪市港区高尾町 2 丁目 30 番地

電話 本社 築港 (57) 代表 5631~4

工 場 代表 5678~9

東京支店

東京都中野区新井町 1 2 番地

電話 中野 (386) 3434

細川粉体
工学研究所

大阪市港区三槌町 1 1 番地

電話 築港 (57) 2360