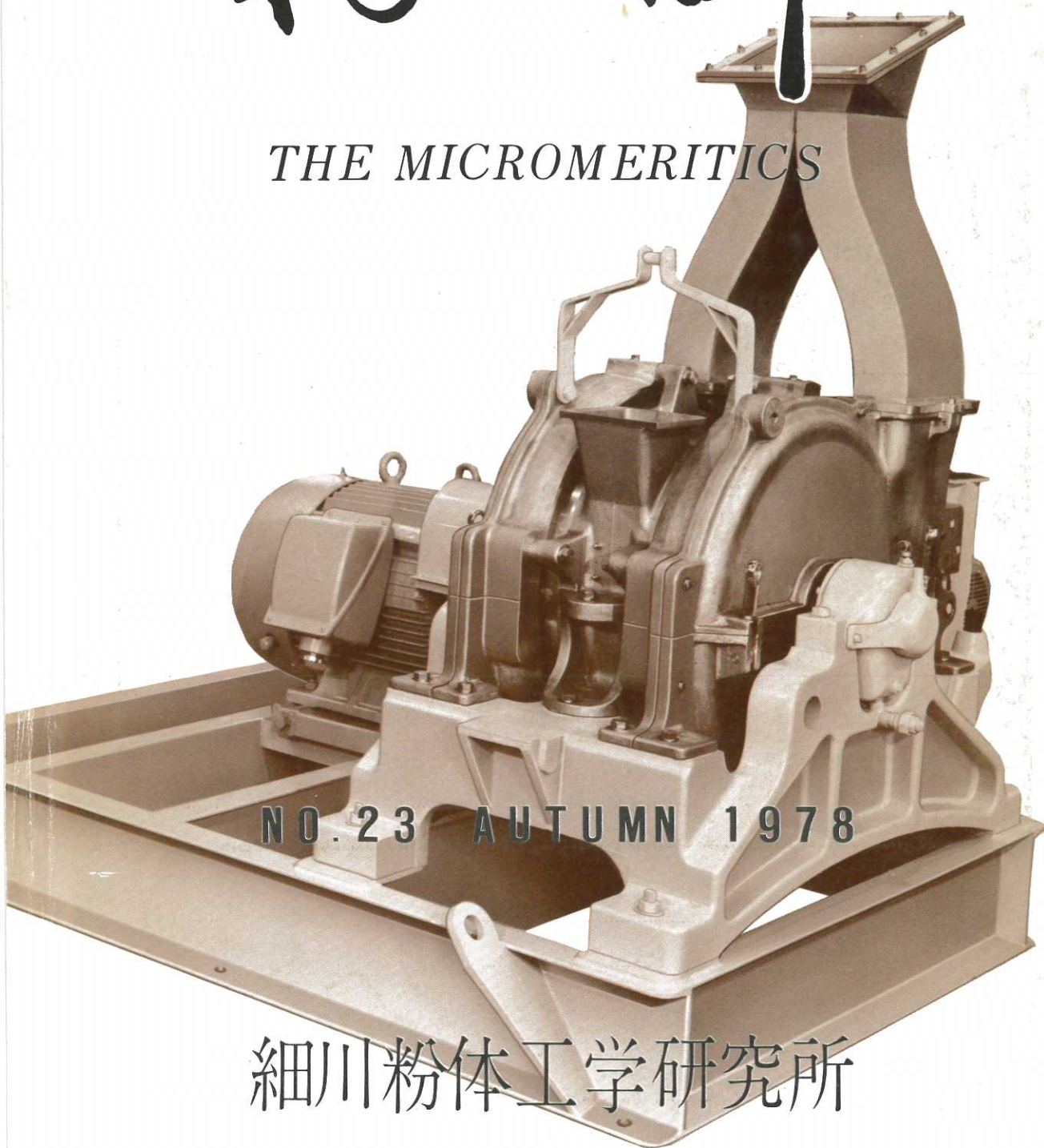


# 粉 碎

*THE MICROMERITICS*

NO. 23 AUTUMN 1978

細川粉体工学研究所



# “粉 碎” 23号 昭和53年(1978) 秋季号 目次

- 【巻 頭 言】 ある思い出……………北 海 道 大 学 田中 達夫…… (2)
- 【研究報告】 水平空気輸送における圧力損失,  
輸送動力, および流動様式との関係……………九 州 工 業 大 学 上滝 具貞…… (3)  
富田 侑嗣  
清原 英元
- 【研究速報】 サスペンションからの球形造粒  
に及ぼす界面活性剤の影響……………岐 阜 薬 科 大 学 竹中 英雄…… (10)  
川島 嘉明  
中島 昌弘  
大岸 祐子
- 【研究報告】 粉粒体の投入速度と粉体圧の影響……………清 水 建 設 関 高木 史人…… (15)  
杉田 稔
- 【研究報告】 粉体のタッピング圧密について……………山 口 大 学 和田 憲造…… (24)  
福永 温子  
早野 延男  
九 州 工 業 大 学 上滝 具貞
- 【研究報告】 温度勾配下における湿った粒子層内の  
水分移動現象に関する一考察……………北 海 道 大 学 倉前 正志…… (32)
- 【技術報告】 閉回路粉碎システムにおける  
実質的処理量推算法……………ホソカワヨーロッパ関 佐藤 光彦…… (42)  
横山 豊和
- 【技術報告】 吊り下げ式付着力測定機による  
粉体層の破断試験……………細 川 粉 体 工 学 研 究 所 藤井 謙治…… (46)  
彼谷 憲美  
浦山 清  
横山 藤平
- 【技術資料】 ロータリフィーダの洩れ空気量…………… 兒玉 典夫…… (52)
- 【総 説】 凝集沈殿式廃水処理システムとスラリー処理……………大 阪 府 立 大 学 矢野 武夫…… (55)  
荒谷 敏朗
- 【随 筆】 ウス の 話……………富 山 大 学 沢 昌 恭…… (70)
- 【総 説】 粉体と環境汚染……………中 央 大 学 東畑平一郎…… (72)
- 【総 説】 副生石膏の特性と利用……………山 形 大 学 高坂 彬夫…… (78)
- 【海外情報】 オーストラリアの粉体工学……………名 古 屋 大 学 神保 元二…… (88)
- 【粉体随想】 こなやの集合体……………北 海 道 大 学 田中 達夫…… (94)

【技術資料】 微粉体を対象とした試作連続凍結乾燥機……細川粉体工学研究所 横山 藤平…… (95)

豊立 勝二

溝口 健二

大阪瓦斯 中井 利明

栗田 秀則

原田 雅恒

【新製品紹介】 超微粉域のための高速ミクロンセパレータ……細川鉄工所 第二事業本部…… (101)

【製品紹介】 ホソカワ層流BCユニットについて……ホソカワ環境エンジニアリング 環境事業部…… (103)

ホソカワ ニュース …… (109)

#### 豆 ニ ュ ース

第12回粉体工学に関する講演討論会開催さる

一固液粉体処理プロセスシンポジウム …… (14)

#### 特 許 一 言 メ モ

特許出願いまむかし …… (23)

弁理士に依頼しない特許出願 …… (41)

特許の寿命 …… (54)

登録商標の更新手続 …… (69)

公開公報は張り子のトラ …… (77)

審査請求のこと …… (108)

特許庁工業所有権相談所 …… (110)

#### Original Reports :

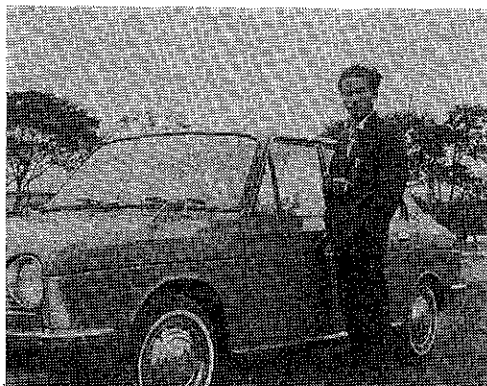
- Pressure Drop, Power Consumption and Relation with Flow Patterns in Pneumatic Transport of Powdery Materials in Horizontal Pipes……T. Jōtaki…… (3)  
Y. Tomita and Kiyohara
- Effect of Surface Active Agent on Spherical Agglomeration in Liquid Suspension……H. Takenaka, Y. Kawashima…… (10)  
M. Nakashima and Y. Ohgishi
- Pressure and Rate of Filling for Granular Material ……F. Takagi and M. Sugita…… (15)
- Tapping Density of Powder……K. Wada, A. Fukunaga…… (24)  
N. Hayano and T. Jōtaki
- A Simple Method for the Estimation of the Actual Performance of a Closed-circuit Grinding System ……M. Satō and T. Yokoyama …… (42)
- Measurement of Adhesion Force of Powder Particles by Powder Bed Tensile Strength with the Swing Method ……K. Fujii, N. Kaya…… (46)  
K. Urayama T. Yokoyama

【表 紙】 微粉砕機 ホソカワ／マイクロ アトマイザ (型式MA-8)

# ある思い出

田 中 達 夫\*

Tatsuo Tanaka



最近ある雑誌に、私が粉体入門した当時の話を連載する破目となつてとかくマインドが懐古的になっているが、ついでにいささか古い中学時代のことを思い出した。

頃は昭和16～17年、私が中学の3年から4年のころである。丁度太平洋戦争がはじまり、それとともに国の統制がきびしくなった時代である。私も当時の平凡な少年として、日本の勝利を信じ、景気のいい軍艦マーチに胸を躍らせていた1人であつたけれども、その中我慢のならんことが日毎に増えてきた。

たとえば朝礼の最後に、ハナより齒が前に出た校長先生に対して軍隊式の敬礼をするのに、体操の教師がロイド眼鏡を光らせながら、1,200人の全校生徒を壇上からへいげいし、あたかも天皇に向けて最敬礼をするような、媚びた目付きと異常な緊張ぶりだ。1人でも口をあいたり、横を向いたりすれば、狂犬みたいに走ってきてその生徒を突きとばしなぐりつける。そのあと、何とか行進曲に全校生徒が足をあわせ、左・右；左・右と大行進をする。それを体操と教練の教師が手分けをし、人の足ばかりをカンカンになって注視している。朝っぱら睡い目をこすりながら出てきた挙句の、この意味のない、愚劣な統制の馬鹿馬鹿しさに、時に発作的に我慢し切れなくなり、わざと私は右と左の足を人と反対に踏み出し、それが忽ち見つかつて烈しく突きとばされ、衆人環視の中でくだんの校長席の前まで派手にコロがって行ったことが何回もある。遅わるく私が模範たるべき副級長か何かをしていて、クラスの先頭か後尾にただけに余計に目立ち、それだけ彼らを激昂させたのであろう。

この種の問答無用の統制に、私は精神的にグレた。冷水摩擦を力行せよという命令が級担任から出た。名簿の入った力行表に○×を毎日つけるという。陰では“マサツ狂人”と笑いながらクラス全員が○をつける中、私は

終始一貫×をつけた。遂に職員室に呼び出され散々の目にあつたが、イコデにも私は遂に、ではやりますとはいわなかった。きっと私は可愛げのない、イヤな生徒であつたろう。しかし当時の私はきっと心から“自由”を求めているに違いない。無意味な統制をしいられなくとも、日本が勝ってほしい、勝たねばならぬと思っていることでは決して人後に落ちなかったのである。

私のこの妙に屈曲した、学校の先生に対する失望と偏見は、幸運にもまだ残っていた高等学校のリベラルな雰囲気になごむことによって、完全にふっしょくされはしたが……

さて、最近の若い人は個性がなくなったとよく言われるが、私のまわりを見る限りでは必ずしもそうだとは思えない。研究の目的さえ掴んでいれば、自由奔放にふるまわせて置くことによって、時に彼らは途方もない発見をしたり、びっくりするようなアイデアを提出したり、私たちロートルが遠く及ばぬ理論を展開したりすることがある。

それには、彼らをして小さい粉の世界だけにしぼることのないように、因習的な粉の経験的事実に盲目的に支配されないように、またきまりきった研究の手法を固執しないようにさせることが必要である。彼らに豊かな想像力と基本的な開発力を与え、それらを自由に選択する自信を植えつけるのが教育であつて、実社会に入つてすぐに役に立つだけの、“自我”のない、融通のきかない技術者では困るのである。私は、これらの可能性を無限に秘めている若者に、間違つても左・右；左・右と足並みを揃えさせるような愚だけは絶対にしたくない。

\* 北海道大学工学部  
(〒060 札幌市北区北13条西8丁目)  
Tel (011) 711-2111

## 水平空気輸送における圧力損失・輸送動力・及び流動様式との関係

Pressure Drop, Power Consumption and Relation with Flow Patterns  
in Pneumatic Transport of Powdery Material in Horizontal Pipes

上滝 具貞 富田 侑嗣 清原 英之  
Tomosada Jotaki Yūji Tomita Hideyuki Kiyohara

### Abstract

In this work, pressure drop and power consumption for pneumatic transport of powdery material in horizontal pipes are examined by relating to solid flow patterns. We use two steel pipe lines of which inside diameters are 53.0mm and 81.1mm and we use P.V.C. powder of mean diameter  $160\mu\text{m}$  and specific weight  $1229\text{kg/m}^3$  for solid material. The air velocity is varied from 5 up to 45m/s and the solids/air ratio from 0 up to 20. We have the following experimental results: (1) The total pressure drop coefficient is in proportion to the solids/air ratio for a given air velocity and is independent of pipe diameter. The additional pressure drop coefficient is independent of solids/air ratio: (2) The variation of total pressure drop coefficient has a close relation to the solids flow patterns: (3) In view of power consumption, the transport of solids in slug flow is the most efficient without danger of blocking.

### 著者摘録

粉体の水平空気輸送の際の輸送管内の圧力損失と輸送動力について、粉体の流動様式に関連させて実験的に解析を行なった。輸送管は内径が53.0mm, 81.1mmの2種類の鋼管を用い、被輸送物としては、平均粒径が $160\mu\text{m}$ 、真比重 $1229\text{kg/m}^3$ のP.V.C.パウダーを使用して、空気速度は5~45m/s、混合比は0~20の範囲で実験を行い、その結果として次のようなことがわかった；(1)全圧力損失係数 $\lambda_T$ は、空気速度が同じとき、ほぼ混合比に比例し、管径による差は本実験では見られず、その空気速度による変化は、流動様式と密接な関係がある。さらに付加圧力損失係数 $\lambda_s$ には、管径だけでなく混合比による差も見られない。(2)スラグ状態で粉体を輸送すれば、一般に閉塞の危険性なしに効率のよい輸送ができる。

### 1. 緒言

今日、固体粒子を空気で管内輸送することは、工業的に広範囲の分野で行なわれている。その際、管路での圧

力損失、輸送限界、輸送動力などが、重要な問題として浮びあがってくる。なかでも水平空気輸送では、流れ方向と垂直に重力が作用するため、重力が輸送方向と反対向きに働く垂直空気輸送に比べて、その解析は、一般に複雑になってくる。また、粒径の小さな粉体を輸送する場合、静電気の影響、湿気の影響、粒子同士の凝集などにより、さらに粒子の抵抗係数が粒径の大きい粒体では、ニュートン則に従うものが多く、抵抗係数 $C_D$ は、

九州工業大学機械工学科  
(〒804 北九州市戸畑区仙水町)  
Tel. (093) 871-1931

一定値をとるが、粉体ではストークス則に従うものが多くなり、抵抗係数  $C_D$  は、粒子のレイノルズ数によってさまざまに異なってくる。また、粉体では粒体に比べて、さまざまな流動様式をとる。

以上のことにより、粒体を輸送する場合と比べると、解析は、一般に難しくなる。これまでに粒径が  $200\mu\text{m}$  以下の粉体の輸送について、その圧力損失に関する研究が、数多く発表されている<sup>1)~11)</sup>。例えば、Mehta らは、輸送管が水平、垂直の部分をもった装置を用いて求めた<sup>3)</sup>。また Esmailzadeh は、粒径が  $70\mu\text{m}$  の珪砂と直径が  $3\sim 4\text{mm}$  の円柱形ポリエチレンペレットを用いて圧力損失を求め、ポリエチレンペレットについては、流動様式との関連について簡単に触れている<sup>2)</sup>。しかしながら多くの場合、輸送管径は、比較的小さく、 $50\text{mm}$  以上の管径のものを使用したものは、少ないようである。Bohnet の研究<sup>1)</sup>では、管径が  $8\text{mm}$  の鋼管、 $19.2\text{mm}$ 、 $40\text{mm}$  のガラス管が使用されている。また輸送量と輸送動力との関係をその流動様式に直接関連づけて明白に示したものは、見あたらない。輸送が安定な状

態で行なわれる範囲において、輸送動力が最小となる最適輸送状態を、容易に視覚により判断できる流動様式で予想できるならば、これは工業的に有用なことである。

そこで、本研究では、水平空気輸送において、管径が  $53.0\text{mm}$  と  $81.1\text{mm}$  の二種類の鋼管を使用し、被輸送物として、凝集性がなく、湿気などの影響をほとんど受けない P.V.C. (ポリ塩化ビニール) パウダーを用いて実験を行なった。その際、気流は非圧縮性流れとし、等速区間における風速と圧力損失の関係、および輸送動力と輸送量との関係を調べ、それぞれの関係を流動様式と結びつけて、明確に示した。

## 5. 実験装置と測定方法

Fig.1 に実験装置を示す。輸送管は鋼管で内径  $53.0$

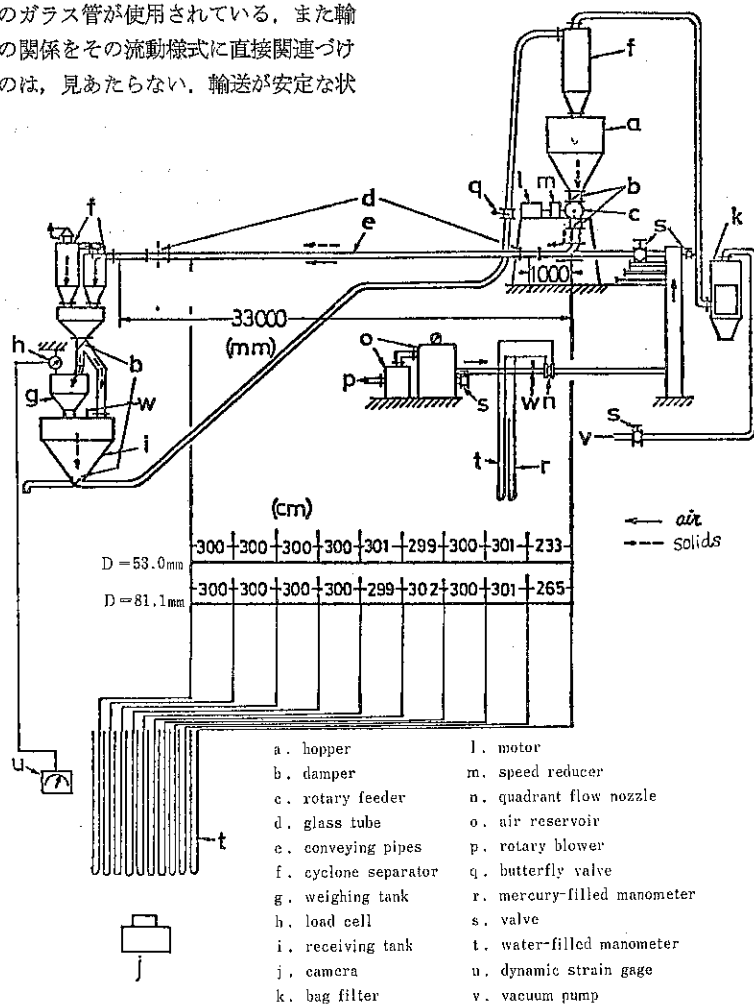


Fig.1 Experimental Apparatus

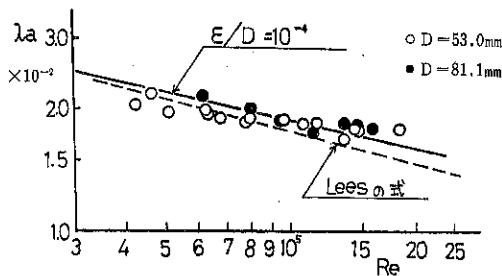


Fig. 2 Pipe friction factor for air

mm と 81.1mm の長さ 30m のものを使用する。輸送管に空気だけ流したときの空気の摩擦損失係数  $\lambda_a$  とレイノルズ数  $R$  との関係を図 2 に示す。本実験で使用した鋼管は、 $\frac{e}{D} = 10^{-4}$  程度の粗さをもっていることがわかる。

粉の混入は、ダンパー b とロータリフィーダー c を用い、滑らかに連続的に輸送管に流入するよう調節する。輸送空気の流量調節は、ロータリーブロワー d の回転数の変化と空気溜 o のバルブ s からの放風によって行なった。被輸送物はサイクロン f で分離され、計量タンク g 又は回収タンク i によって回収される。

空気流量は四分円ノズル n によって得られた圧力差から求めた。圧力損失は管路に沿って約 3m 間隔に取りつけられた圧力測定端子から、水柱マンメータによって測定した。またマンメータによる測定値の読み取りの時間的誤差をなくすため、写真撮影を行って測定値を得た。流動状態は管路末端側に設けられた透明ガラス管部 d での観察によって判断する。また輸送量は、ロードセル h を使って測定した。

被輸送物として使用した P.V.C. の物性値は以下の通りである。

$\rho_s = 1229 (\text{kg/m}^3)$   $d = 160 (\mu\text{m})$   $u_g = 0.602 (\text{m/s})$   
 粒径  $d$  は Fig. 3 に示す。篩による粒度分布の累積重量の 50% となる粒径によって定義した。浮遊速度  $u_g$  は、空気温度  $20^\circ\text{C}$  の動粘性係数を用いて計算により求めた。

### 3. 実験結果及び解析

#### 3.1 流動様式の種類

本実験で観察された流動様式を Fig. 4 に示す。それぞれについて簡単に説明する。A の状態は粒子が管断面に浮遊して流れている状態で、これを浮遊輸送状態と呼ぶ。B の状態は粒子が管底部に沿って滑りながら流れており、その上を粒子が浮遊して流れている。これをスラグ輸送状態と呼ぶ。C の状態は管底部に粒子の静止堆積

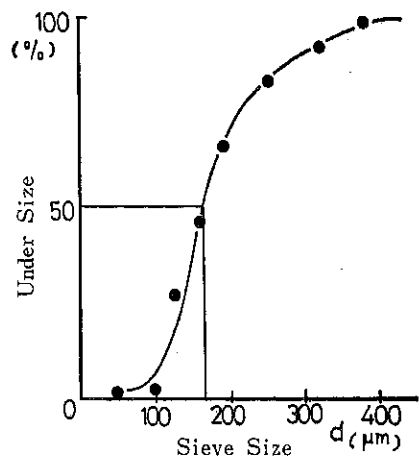


Fig. 3 Size distribution of P.V.C. powder

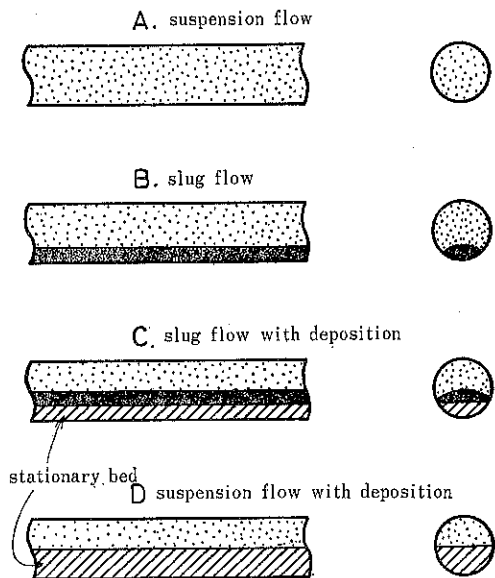


Fig. 4 Flow patterns

層ができ粒子の一部は其上をスラグ状で流れ、更に残りが其上を浮遊状態で流れる。これを堆積状スラグ輸送状態と呼ぶ。D は粒子が管底部に堆積して静止状態であるが、C と異なり、スラグ状の運動がなく直接その上を粒子が浮遊状態で流れているもので、これを堆積状浮遊状態と呼ぶ。

それぞれの流動様式は、おおそ次のようなとき観察された。すなわち A は混合比が小さく、風速が大きい時に起こる。B は A と同じ風速域であるが、A の状態より混合比を大きくするときに見られる。本実験装置では、この状態より混合比を上げるか、又は風速を下げると C

の状態に移り、最後には管断面全体が粒子によって占められ閉塞し、輸送が停止してしまう。Dは風速が小さいときに起り、粒子は最初のうち、ほとんど輸送されず、堆積が完成したのち輸送が始まる。このときの混合比は非常に小さい。CとDの異なった堆積状態を生じることが報告されている<sup>12)</sup>。

### 3.2 全圧力損失

Fig. 5, Fig. 6は $\Delta P_T/L$ と $u_a$ の関係を混合比 $m$ をパラメータとし、さらに流動様式を記号分けして明確に示したものである。風速が小さくなるにつれ、粒子は管底に集中し、堆積を伴った流れとなる。図を見るとわかるように、53.0mm管では、堆積を伴った流れが現われる付近の風速より、さらに小さくすると、 $\Delta P_T/L$ が上昇する傾向がある。81.1mm管の方では、さらに風速を下げる事ができれば、同様の結果が得られると思われる。これらの図より、ある混合比に対する最小輸送動力の流れは、おおよそ最初に堆積を伴った流れが現われる点であるといつてよい。この輸送状態については、後の3.6節に述べる。ある点における輸送動力は、その点を通る縦軸、横軸の平行線とそれぞれの軸によって切りとられる長方形の面積で示される。したがって、与えられ

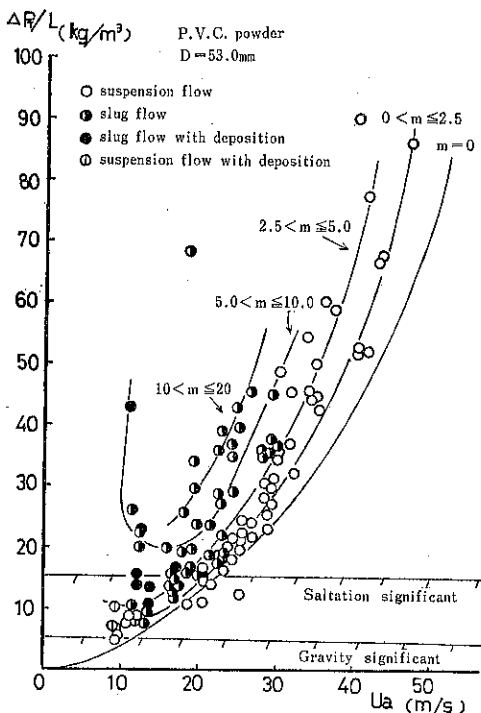


Fig. 5  $\Delta P_T/L - u_a$

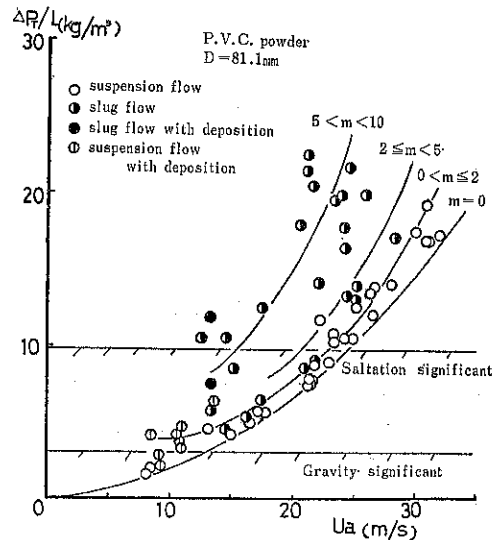


Fig. 6  $\Delta P_T/L - u_a$

た混合比における最小輸送動力の点は、この面積が最小となるところで与えられることになる。なお図の中の跳躍頭著、重力頭著の線は、Owenの文献<sup>13)</sup>より著者らが、本研究の場合に適応させて計算したものである。以下Fig. 7, Fig. 8にもこの境界を示した。それぞれの図を見るとわかるように、実験結果と必ずしも、うまく一致しているとはいえないが、おおまかな目安としては役だつてはなかろうか。

### 3.3 全圧力損失係数

Fig. 7, Fig. 8は全圧力損失係数 $\lambda_T$ と $u_a$ の関係を混合比をパラメータとし、さらに流動様式を明記して示したものである。ここでは、実験結果より管径の差をなくするため、横軸にフルード数を用いずにあえて風速を使

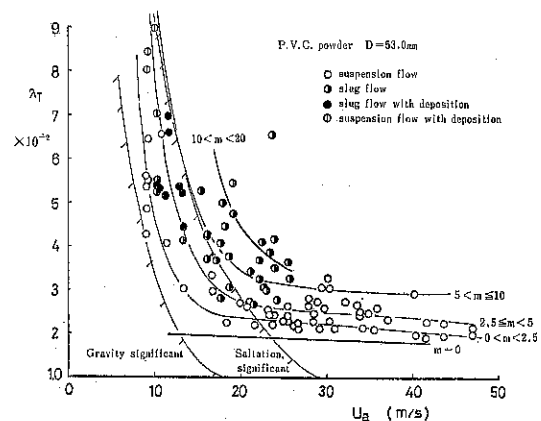


Fig. 7  $\lambda_T - u_a$



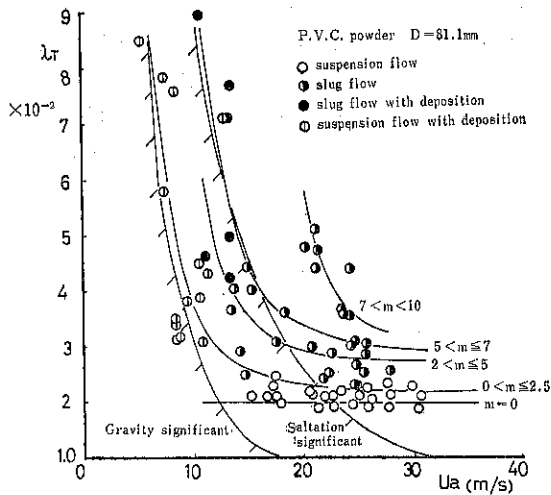


Fig. 8  $\lambda_T - u_a$

用した。図を見るとわかるように、どちらの管径でも、風速が約 20m/s 以上では  $\lambda_T$  はほぼ一定値をとっている。風速  $u_a = 25\text{m/s}$  において、全圧力損失係数  $\lambda_T$  と混合比  $m$  との関係調べてみた。その結果を Fig. 9 に

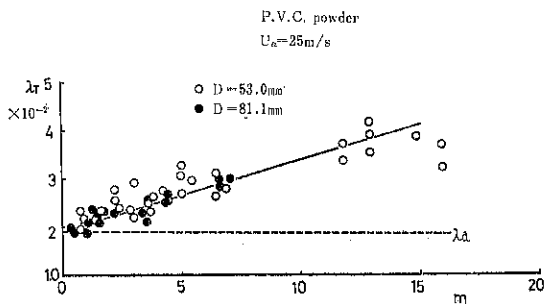


Fig. 9  $\lambda_T - m$

示す。管内径が81.1mmの方では、高混合比でのデータがやや不足しているが、 $m=16$ 付近のデータを除き、全圧力損失係数  $\lambda_T$  は管径によらず、混合比  $m$  にほぼ比例しているといえる。浮遊状態においては、粒子は粒子群としてではなく、それぞれ個々に独立して挙動すると考えられ、それ故に全圧力損失係数  $\lambda_T$  は、混合比  $m$  に比例して大きくなると考えられる。Fig.10に管径の影響を知るために混合比  $m = 2 \sim 5$  の範囲で管径をパラメータにして、 $\lambda_T$  と  $u_a$  の関係を示した。図を見るとわかるようにほとんど管径による差はでていない。他の同じ混合比範囲によっても、ほとんど差がでない。 $\lambda_T$  はそれぞれの混合比に対して、浮遊状態では、ほぼ一定値を示す。 $m > 2.5$  のとき  $u_a$  が、減少するにつれ浮遊から、スラグ状態となる。この状態が現われると  $\lambda_T$  は急

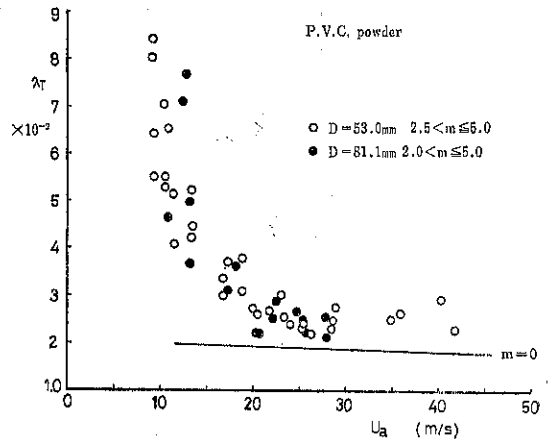


Fig. 10  $\lambda_T - u_a$

激に上昇し始める。さらにスラグ流れは、堆積を伴ったスラグ流れとなる。スラグ状態になると空気自由通路断面積が減少し、真の風速がみかけの風速に比べて大きくなるのも、圧力損失係数が急激に増加する原因の1つであろう。

### 3.4 付加圧力損失係数 $\lambda_z$

Fig.11, Fig.12は  $m$  をパラメータとして、風速  $u_a$  と付加圧力損失係数  $\lambda_z$  の関係を示したものである。前述のように、それぞれの風速において  $\lambda_T$  が  $m$  に比例するならば、 $\lambda_T = km + \lambda_a$  ( $k$ : 定数) とおける。よって  $\lambda_z$  は次のように書ける。

$$\lambda_z = \frac{(km + \lambda_a) - \lambda_a}{m} = k$$

すなわち、 $\lambda_z$  は混合比に無関係となる。実際、図を見るとわかるようにほとんど  $\lambda_z$  は、混合比  $m$  に影響さ

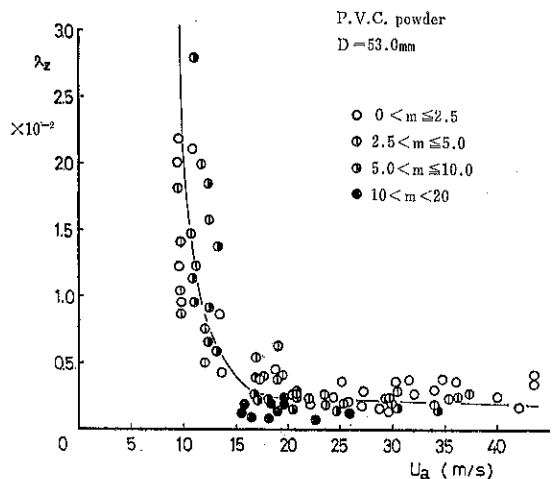


Fig. 11  $\lambda_z - u_a$

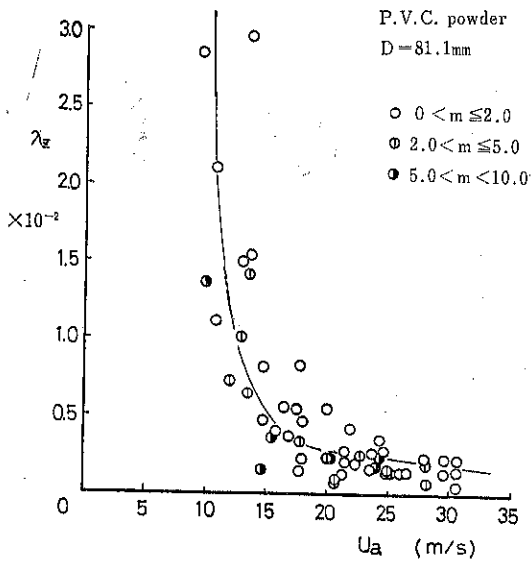


Fig. 12  $\lambda_z - U_a$

れない。つまり、あらゆる風速において Fig.9 に示される関係が、ほぼ成立しているといえる。さらに  $U_a$  が約 20m/s 以上になると、この  $k$  も  $U_a$  に無関係に一定となる。

### 3.5 混合比と流動様式の関係

Fig.13は風速  $U_a$  と混合比  $m$  との関係を管内の流動様式に関連づけた図である。図のように管径による差は、見られず、同じ流動状態によって境界づけることができた。実験結果より、浮遊状態とスラグ状態は、下記の2つの実験式によって区分される。

(i) 浮遊限界線  $m = 6.7 \times 10^{-4} U_a^{2.5}$  (1)

(ii) スラグ限界線  $m = 1.7 \times 10^{-2} U_a^{2.3}$  (2)

このスラグ限界線は、Bohnet の堆積限界の実験式と対

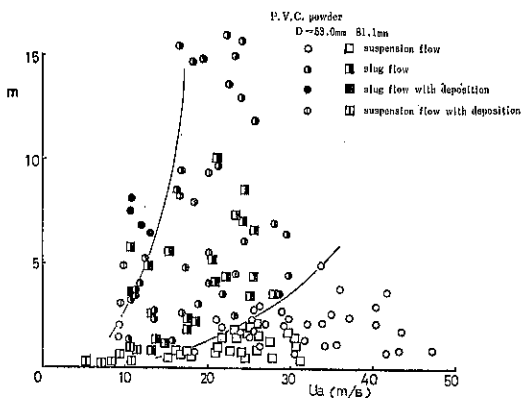


Fig. 13  $m - U_a$

応するものであるが、Bohnet の実験式では、管内の自由流れ断面積に関連させた有効フルード数を使用しているが、我々の実験では、堆積高さを求めなかったので簡単に比較することはできない。Fig.14を見るとわかるように  $\lambda_T$  が急激に上昇するところは  $m - U_a$  の浮遊限界線上の風速と混合比に一致する。

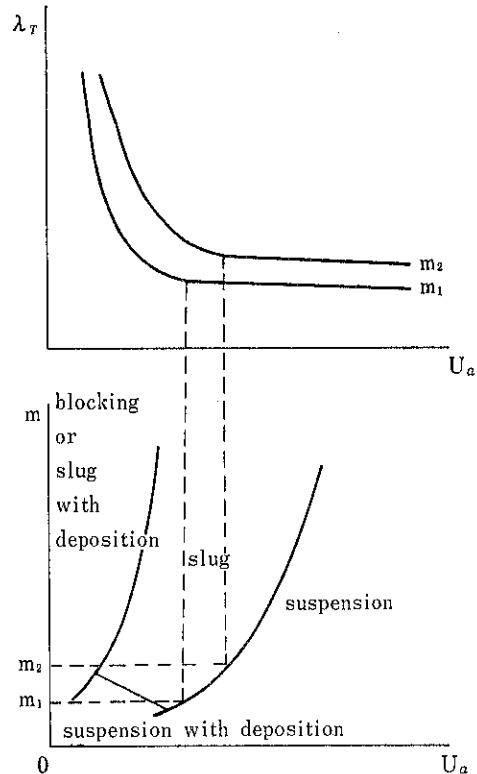


Fig. 14 Solids flow patterns and total pressure drop

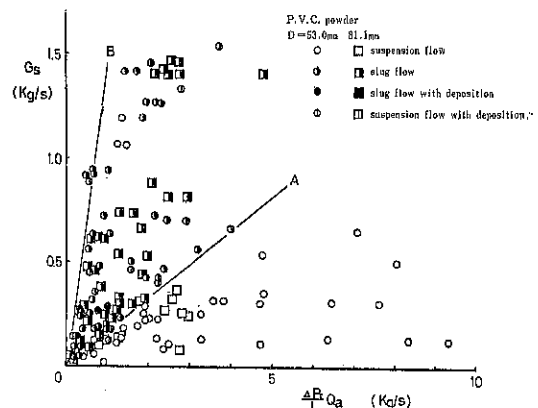


Fig. 15  $G_s - \Delta P_T / L \cdot Q_a$

### 3.6 輸送動力と流動様式の関係

Fig.15は輸送量  $G_s$  と  $\Delta P_T/L \cdot Q_a$  の関係を流動様式を明記して示したものである。図に示されるように、ある輸送量  $G_s$  において、流動様式が浮遊状態、スラグ状態、堆積状スラグ状態と変化するに従って単位長さ当りの所要動力  $\Delta P_T/L \cdot Q_a$  は、小さくなる。図のA線は、浮遊状態で、ある輸送量を輸送する最小輸送動力を示したものである。B線は本実験装置において、ある輸送量を閉塞せずに輸送することのできる最小輸送動力を示したものである。一般に閉塞の危険性なしに効率よく輸送するためには、スラグ状態で輸送すればよい。

## 4. 結 論

1) 全圧力損失係数  $\lambda_T$  は、同じ空気速度  $u_a$  において、ほぼ混合比  $m$  に比例し、管径による差はみられない。また付加圧力損失係数  $\lambda_z$  は更に混合比による差もみられない。

2) 全圧力損失係数  $\lambda_T$  は、流動様式が浮遊状態の場合は一定混合比においてほぼ一定値をとり、スラグ状態になると  $\lambda_T$  は急激に上昇し始め、堆積を伴った流れではさらに高い値をとる。

3) 一般に、閉塞の危険性なく、動力的に最も効率よく輸送されるのはスラグ状態輸送の場合である。

## 5. 謝 辞

本論文の作製にあたり、多大な助力をしていただきました、富永彰君、河野博之君、大津祐一郎君、児島淳君、さらに実験装置の製作に際して御協力下さいました芳村藤助、船津勝也、湯谷正司の各氏に心から御礼申し上げます。

### 記 号 表

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| D     | : 管内径 (m)                          |
| d     | : 平均粒子径 ( $\mu\text{m}$ )          |
| $G_a$ | : 空気重量流量 (kg/s)                    |
| $G_s$ | : 粒子重量流量 (kg/s)                    |
| L     | : 輸送管長さ (m)                        |
| m     | : 混合比<br>$m = G_s/G_a$             |
| $Q_a$ | : 空気体積流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |

$u_a$  : 空気速度 (m/s)

$u_g$  : 浮遊速度 (m/s)

$\Delta P_a$  : 空気による圧力損失 (Kg/m<sup>2</sup>)

$\Delta P_s$  : 粒子を混入することによる付加圧力損失 (Kg/m<sup>2</sup>)

$\Delta P_T$  : 全圧力損失 (Kg/m<sup>2</sup>)

$$\Delta P_T = \Delta P_a + \Delta P_s$$

$\lambda_a$  : 空気と管壁との管摩擦係数

$$\lambda_a = 2g \frac{\Delta P_a}{\gamma_a u_a^2} \frac{D}{L}$$

$\lambda_T$  : 全圧力損失係数

$$\lambda_T = 2g \frac{\Delta P_T}{\gamma_a u_a^2} \frac{D}{L}$$

$\lambda_z$  : 付加圧力損失係数

$$\lambda_z = 2g \frac{\Delta P_s}{\gamma_a u_a^2} \frac{D}{L} \frac{1}{m}$$

$\gamma_a$  : 空気の比重量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_s$  : 粒子の真比重量 (kg/m<sup>3</sup>)

### 参 考 文 献

- 1) Bohnet, E.: VDI-Forschungsheft, 507 (1965).
- 2) Esmailzadeh, E.: Pneumotransport 3, BHRA, D-3, 33 (1976-4).
- 3) Mehta, N. C. 他2名: Industrial and Engineering Chemistry, 49 [6] (1957) 986.
- 4) Clark, R. H. 他3名: Trans. Instn Chem. Engrs, 30 209 (1952).
- 5) Duckworth, R. A. and Kakka, R. S.: Pneumotransport 1, BHRA, C 3-29 (1971-9).
- 6) Rose, H. E. and Barnacle, H. E.: The Engineer [6] 898 (1957).
- 7) Richardson, J. F. and Mcleman, M.: Trans. Instn Chem. Engrs, 38 257 (1960).
- 8) Adam, O.: Chem. Ing. Techn. 29 [3] 151 (1957).
- 9) Farbar, L.: Industrial and Engineering Chemistry, 41 [6] 1184 (1949).
- 10) McCarthy, H. E. and Olson, J. H.: I & EC Fundamentals 7 [3] 471 (1968).
- 11) Chari S. S.: Fluidization A. I. Ch. E Symposium Series, 67 [116] 77.
- 12) 都田他3名: 化学工学論文集 3 [5] 497 (1977).
- 13) Owen, P. R.: J. Fluid Mech., 39 [2] 407 (1969)

## サスペンションからの球形造粒に及ぼす 界面活性剤の影響

Effect of Surface Active Agent on Spherical Agglomeration  
in Liquid Suspension

竹中 英雄, 川島 嘉明, 中島 昌弘, 大岸 祐子  
Hideo Takenaka, Yoshiaki Kawashima, Masahiro Nakashima  
and Yûko Ohgishi

### Abstract

In the present paper, an effect of surface active agent on the spherical agglomeration in liquid suspension was investigated. Sulfisomidine having a diameter of  $1.4\mu$ ,  $73\mu$  or  $112\mu$  dispersed in chloroform was agglomerated with a buffer solution (pH 10.5) which was used as a bridging liquid. Tween 80 as a surface active agent was added to the chloroform, the buffer solution or both the liquids prior to the agglomeration process. Irrespective of the addition way of Tween 80, the agglomerate size decreased with increasing the concentration of Tween 80 until reaching a critical concentration which corresponded roughly with the critical micelle concentration. The addition of the surface active agent to the chloroform decreased the interfacial tension ( $\gamma$ ) between the chloroform and the buffer solution leading to the decrease in the agglomerate size. The coarser sulfisomidine resulted in forming a larger agglomerate in contrast with the agglomeration of inorganic particles, in the latter case it is generally admitted that the finer particles form the larger agglomerates. A linear relationship between the agglomerate size and  $\gamma/d$ , where  $d$  is the diameter of sulfisomidine, was found.

### 著者摘録

本報告では、サスペンションからの球形造粒に及ぼす、界面活性剤の影響を検討した。粒径  $1.4\mu$ ,  $73\mu$  または  $112\mu$  のスルfoisオミジンをクロロホルムに分散し、pH 10.5 の緩衝液を液体架橋剤として使用し造粒を行なった。界面活性剤として Tween 80 を、クロロホルム、緩衝液または、両液相に予め添加し造粒を行なった。Tween 80 の添加方法には関係なく造粒体の粒度は、界面活性剤の濃度が臨界ミセル形成濃度にほぼ一致するある臨界値に達するまで、界面活性剤濃度の増加とともに減少した。界面活性剤をクロロホルムに添加すると、クロロホルムと緩衝液との界面張力 ( $\gamma$ ) を低下させ造粒体の粒度を減少させた。無機粉体の造粒では一般に細かい粒子の方が大きな造粒体となるが、スルfoisオミジンの場合は、粒径が大きな物の方がより大きな造粒体を形成した。造粒体の粒径と  $\gamma/d$ 、ここで  $d$  はスルfoisオミジンの粒径、との間には直線関係が認められた。

岐阜薬科大学

(〒502 岐阜市三田洞東 5-6-1)

Tel. (0582) 37-3931 内 245

## 1. 緒 言

液体サスペンション中の懸濁粒子を、直接液中で凝集造粒して、低含水率の球形ペレットとし、固液分離させるいわゆる湿式造粒法が各分野で注目を集めている。現在知られている湿式造粒法の主要方法には、サスペンションに高分子凝集剤を添加し、粒子間に高分子架橋を形成させる方法<sup>1)2)</sup>と、分散媒と非混和性の第二の液体を添加し、粒子間に液体架橋を形成させ、粒子を凝集させる湿式球形造粒法<sup>3)4)</sup>とがある。湿式球形造粒法の特徴には、生成造粒体の形状がほぼ完全な球形で、含水率が低いこと(10%前後)や、選択造粒や抽出、回収操作が可能な点を挙げることができる。後者は他の造粒法には見られない本造粒法特有の特長であって、液体架橋剤と懸濁粒子の界面物理化学的な性質を利用したものである。即ち、懸濁粒子が多成分系の場合、液体架橋剤との親和性が最も強い粒子のみを選択的に造粒し、他の粒子は分散媒中に分散したまま取り残される。そこで本研究では、液体架橋剤と分散粒子との親和性と、造粒挙動との関係を明らかにすることを目的として、系に界面活性剤を添加して界面活性剤が造粒過程に及ぼす影響を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 造粒方法

被造粒粉体には粒子径(体面積平均径)が、112 $\mu$ 、73 $\mu$ 、1.4 $\mu$ の3種のスルフイソミジン(サルファ剤)を選んだ。粒子径1.4 $\mu$ のスルフイソミジンは、ジェットミル(Trost Equipment Co.)による粉碎品である。サスペンションの分散媒はクロロホルムで、液体架橋剤はpH 10.5の(グリシン+NaCl+NaOH系)緩衝液である。原料粉体2gを容量約60ml、内径約2.5cm、長さ10cmの遠心分離用共栓試験管(遠沈管)にとる。次に分散媒40mlを添加し、サスペンションとする。液体架橋剤1.3mlを添加し、遠沈管を振盪機にかけ、水平に30分間振盪(200~400 cps)する。以上が造粒法の基本操作であるが、粒子径が112 $\mu$ の原料粉体の場合には、振盪後ゆるやかに再び手で攪拌した。粒子径112 $\mu$ の造粒体は塑性を示し、この操作によって残存していた微粒子は、造粒体表面に捕集され造粒体の球形度が増した。添加した界面活性剤はポリオキシエチレンソルビタンモノオレート(Tween 80)である。Tween 80を分散媒、液体架橋剤、または、分散媒と液体架橋剤の両液相に、種々の濃度(6.75 $\times 10^{-7}$ ~3.36 $\times 10^{-3}$ (g/ml))で溶解させ、上述の方法によって造粒を行なった。分離乾燥した造粒体の粒子径を顕微鏡法で測定(Carl Zeiss

TGZ-3)し、粒度分布と平均径を算出した。

### 2.2 表面張力および界面張力の測定

Tween 80を種々の濃度で溶解させたクロロホルム及び緩衝液の表面張力を室温(19~20°C)で、Du Noüyの表面張力計で測定した。種々の濃度のTween 80含有クロロホルムと緩衝液(1:1)を分液ロートにとり、平衡に達せしめた後両液体を取り出しその表面張力を測定した。また同時に両液体間の界面張力を毛管上昇法<sup>5)</sup>により測定した。毛管上昇法の概略をFig.1に示

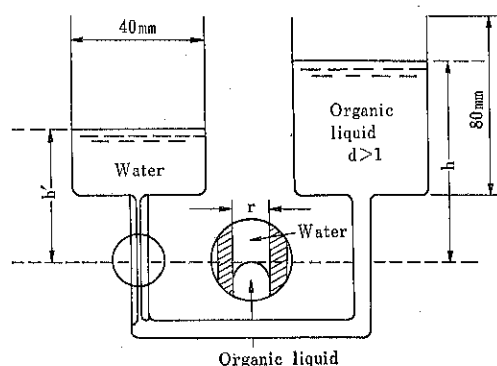


Fig. 1 Capillary rise method for measurement of interfacial tension

す。界面張力( $S_{23}$ )は(1)式より算出される。

$$S_{23} = \frac{r g}{2} (hd - h'd') \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $d$ は有機溶媒の密度、 $d'$ は水相の密度、 $g$ は重力加速度、 $h$ は有機溶媒の高さ、 $h'$ は水相の高さ、 $r$ はキャピラリーの半径である(Fig.1)。 $r$ は界面張力既知のベンゼン-水系を用いて、 $r=0.0167$ (cm)と決定した。液体の密度は、ピクノメータで測定した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 界面活性剤の濃度および添加方法の影響

初めにクロロホルムに Tween 80 を種々の濃度で溶解させ、これを分散媒として造粒を行なった。造粒体の算術平均径( $D_{av}$ )を、界面活性剤の濃度に対してプロットして Fig. 2 を得た。ここで、界面活性剤の濃度はクロロホルム40mlに添加したg数で表わした。Fig. 2において、破線と縦軸との交点は界面活性剤を添加しなかった場合の造粒体の平均径を表わしている。原料粉体が112 $\mu$ の場合には、1.33mm、73 $\mu$ では、0.69mmであった。界面活性剤の濃度が增大するにつれ造粒体の平均径は減少し、ある濃度以上になるとほぼ一定となった。この臨界濃度は原料粉体の種類(粒径)と関係なく、約5.4 $\times 10^{-3}$ (g/40ml)であった。界面活性剤濃度が臨

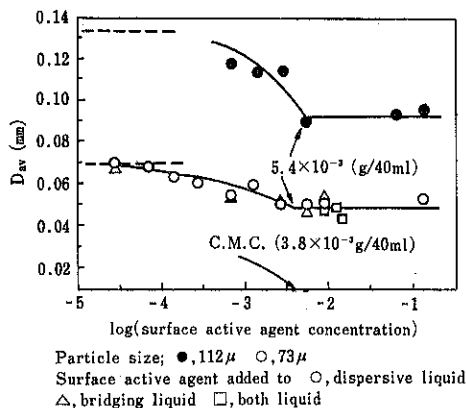


Fig. 2 Effect of surface active agent added to the system on agglomerate size

界濃度以下の範囲では、粒径が 112  $\mu$  の原料の造粒体は、73  $\mu$  に比較して界面活性剤の添加濃度に鋭敏で、界面活性剤による造粒体の粒径減少効果が著しかった。原料の粒子径が大きい場合の方が界面活性剤の濃度に関係なく、造粒体の粒度は大きくなった。特に微粉 (1.4  $\mu$ ) の場合は、液体架橋剤の濃度を 1.3 ml に固定せず、種々の濃度で造粒を試みたが、原料回収に終り造粒現象が全く起こらなかった。この結果は砂<sup>6)</sup>や炭酸カルシウム<sup>7)</sup>等の無機粉体の造粒の場合には、原料の粒子径が小さい程造粒体の粒径が増大するという従来から報告されてきた造粒現象と異なり興味深い。

界面活性剤を液体架橋剤 (緩衝液)、または液体架橋剤と分散媒 (クロロホルム) の両液相に溶解させた場合についても造粒を行なった。その結果を Fig. 2 にあわせて示す。界面活性剤の濃度は、クロロホルムに添加した場合と対応させるためにクロロホルム 40 ml 中の添加濃度に変換してプロットした。原料粉体が 73  $\mu$  の場合、その造粒挙動は界面活性剤の添加方法が異なっても、ほぼ同一の結果が得られることがわかった。この結果は界面活性剤が添加方法に関係なく、固一液一液界面に存在し造粒過程を制御することを示している。

界面活性剤を種々の濃度で、クロロホルム又は緩衝液に溶解させ、表面張力を測定した。クロロホルムの表面張力は界面活性剤の濃度に関係なく、ほぼ一定値 (30 dyne/cm) を示した。緩衝液の表面張力は界面活性剤無添加の場合、72 dyne/cm で界面活性剤の添加濃度の増加と共に減少し、45~46 dyne/cm まで低下した。ある臨界濃度以上では表面張力はほぼ一定となり、界面活性剤のミセル形成濃度 (C.M.C.) は、約  $3.8 \times 10^{-3}$  (g/40 ml) であることがわかった。C.M.C. は造粒体の粒径が界面活性剤の添加濃度に影響されることなくほ

ぼ一定となる濃度、 $5.4 \times 10^{-3}$  (g/40 ml) にほぼ対応することがわかった。

原料粉体の粒子径が 72  $\mu$  の場合の造粒体の粒度分布を原料の粒度分布とともに Fig. 3 に示す。粒度分布は対数正規確率紙上でほぼ直線となり、対数正規分布であ

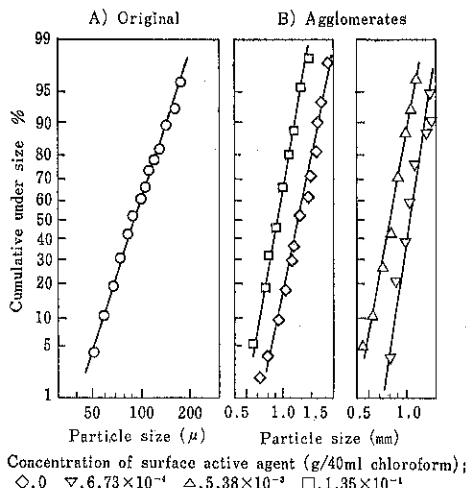


Fig. 3 Size distribution of original and agglomerate of sulfisomidine

ることがわかった。この直線の勾配から幾何標準偏差を求めると、原料粉体で 1.42、造粒体は 1.13~1.28 であった。造粒されると幾何標準偏差が小さくなり、粒度がそろっていくことがわかった。また、造粒体の幾何標準偏差は界面活性剤の添加濃度に影響されることなく、ほぼ一定であった。

### 3.2 造粒体の平均径と、液体架橋剤・分散媒間の界面張力との関係

界面活性剤含有クロロホルムと緩衝液を相互に飽和させた後、各々の液体の表面張力を測定した。界面活性剤はクロロホルム相の表面張力には変化をもたらさなかったが、緩衝液の表面張力を減少させた。各々の相の表面張力、 $r_1$ ,  $r_2$  と二相間の界面張力  $r_{12}$  との間には、Antonoff<sup>5)</sup> 則、(2)式が成立した。

$$r_{12} = |r_1 - r_2| \quad \dots\dots\dots (2)$$

界面張力  $r_{12}$  はクロロホルムに添加した界面活性剤の濃度の増加とともに単調減少した。造粒体の平均径が界面活性剤濃度の増大とともに減少した事実を考慮すると、造粒体の平均径と界面張力との間には、相関性があるものと予想される。造粒体の平均径を界面張力に対してプロットして、Fig. 4 を得た。予期された如く、原料粉体の粒径が 73  $\mu$  および 112  $\mu$  のいずれの場合も、造

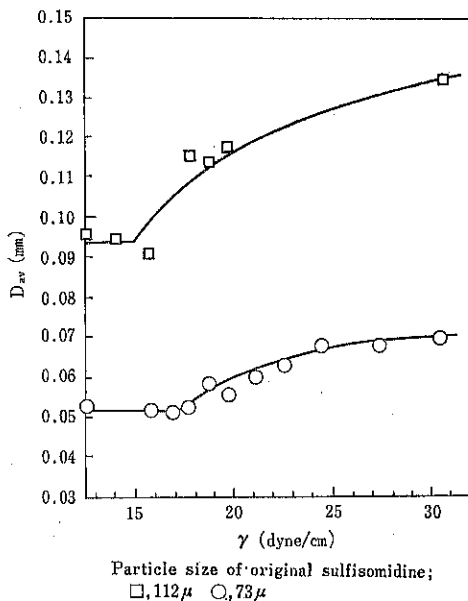


Fig. 4 Effect of interfacial tension on agglomerate size

粒子の平均径は界面張力の減少とともに減少し、界面張力が 16 dyne/cm 以下ではほぼ一定となった。界面張力の減少にともなう造粒体の粒径の減少度合は、原料粉体の粒度が粗い方が大きいことがわかった。

造粒体の粒径は造粒体の構成粒子間の凝集力、即ち保形力と外部から造粒体に加わる破壊力との釣り合いによって決まる。Capes<sup>8)</sup>は造粒体の保形力 ( $F_c$ ) を、造粒体の圧潰強度 ( $F_s$ ) に比例する量で表わした。

$$F_c \propto F_s = kD^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$k = K \left( \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \right) \frac{\gamma}{d} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $D$ は造粒体の粒子径、 $d$ は造粒体の構成粒子の粒子径、 $\epsilon$ は造粒体の空隙率、 $\gamma$ は界面張力である。一方、造粒体に加わる破壊力 ( $F_D$ ) は、サスペンションのかく拌にともなう遠心力に基づくものであるとした。

$$F_D = C'D^3 \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 $F_D = F_c$  とおかれ、造粒体の粒径と造粒に関するパラメータとの関係が、(6)式の如く導かれた。

$$D = C \left( \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \right) \cdot \frac{\gamma}{d} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 $C$ は造粒の操作条件（装置の形状、サスペンションのかく拌速度、サスペンション濃度、etc.）によって決まる定数である。

造粒体の平均径を(6)式に基づいて整理した結果をFig. 5に示す。造粒体の空隙率は先の著者等<sup>7)</sup>の実験結果から類推すると、0.4~0.6の範囲にあると予想されるの

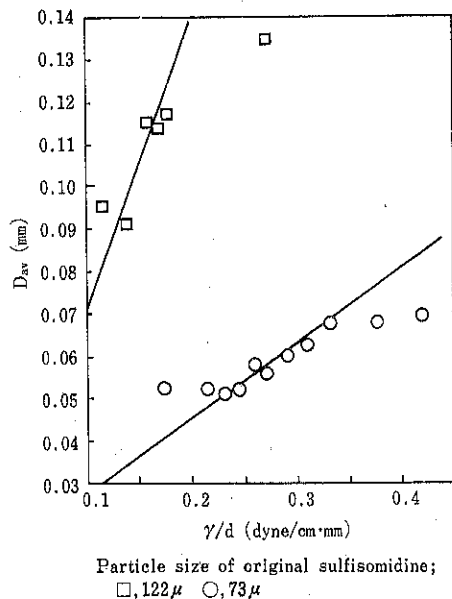


Fig. 5 Effect of sulfisomidine particle size and interfacial tension on agglomerate size

で、 $\epsilon=0.5$ と仮定して計算した。造粒体の平均径と  $\gamma/d$  との間には、ほぼ直線関係が成立した。 $\epsilon$  が 0.4~0.6 の範囲で変動すると、それに対応して  $(1-\epsilon)/\epsilon$  は、0.67~1.5 まで変化する。従ってこの変動が同一原料粉体についてのデータのばらつきの一因になっているものと思われる。原料粉体が 73  $\mu$  と 112  $\mu$  の場合について比較すると、両者の直線の勾配には明らかな相違が認められた。この相違は造粒操作（サスペンションのかく拌の相違）の変動のみに起因するものとは思われない。Newitt と Conway-Jones<sup>9)</sup>は(4)式が成立する条件の一つに、造粒体内の架橋液体が構成粒子を完全に濡らすことをあげている。この濡れの条件を加味すると、(6)式は(7)式となる。

$$D = C \left( \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \right) \frac{\gamma \cos \theta}{d} \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 $\theta$ は接触角である。従って、Fig. 5のプロットは  $\cos \theta = 1$  であることを仮定している。

粉体の粒度が小さくなると、一般に濡れにくくなることが知られている<sup>10)</sup>。また、接触角が90度近くになると、造粒現象が全く起こらないことが実験的に確められている<sup>11)</sup>。本実験で原料粉体の粒子径が 1.4  $\mu$  の場合、全く造粒されなかった点を考慮すると、原料粉末の接触角は粒径が小さくなるにつれ増大することが予想される。従って、Fig. 5において原料粉末の径が 73  $\mu$  の場合、 $\gamma/d$  に  $\cos \theta$  を乗じた修正値をプロットすれば、プ

ロットは左方向にずれ、粒子径が  $113 \mu$  の場合のプロットに近づく可能性がある。界面活性剤の濃度と接触角との関係や、臨界表面張力は未だ明確にされていない。これらの点は今後の重要な課題で、現在検討中である。

#### 4. 総 括

スルフィソミジンを界面活性剤 (Tween 80) 含有クロロホルムに分散させて、pH 10.5 の緩衝液を液体架橋剤として湿式球形造粒を行ない、以下の結果を得た。

1) 界面活性剤の濃度が増大するにつれ生成した造粒体の平均径は減少した。界面活性剤濃度が C.M.C. 以上になると、造粒体の平均径はほぼ一定となった。

2) 界面活性剤を緩衝液、または分散媒 (クロロホルム) と緩衝液の両相に添加すると、1) と同様な造粒体の粒子径減少効果が現われた。

3) クロロホルムと緩衝液との間の界面張力と造粒体の平均径との間には正の相関が認められた。

4) 原料粉体の粒子径 ( $d$ ) が大きい方が造粒体の平均径は増大した。造粒体の平均径と  $r/d$  との間には正の相関が認められ、比例定数は原料粉体の粒子径が大きい場合の方が大きかった。

#### 引 用 文 献

- 1) Yusa, M. and A.M. Gaudin: Am. Ceramic Soc. Bull., **43**, 402 (1964).
- 2) Yusa, M., H. Suzuki and S. Tanaka: J. Am. water Works Assoc., **67**, No. 7 (1975).
- 3) Smith, H. M. and I. E. Puddington: Can. J. Chem., **38**, 1911 (1960).
- 4) Sirianni, A.F., C.E. Capes and I.E. Puddington: Can. J. Chem. Eng., **47**, 166 (1969).
- 5) 日本化学会編: 実験化学講座, **7**, 「界面化学」 30 (1956).
- 6) Kawashima, Y. and C. E. Capes: Powder Technol., **10**, 85 (1974).
- 7) Kawashima, Y. and C. E. Capes: Ibid., **13**, 279 (1976).
- 8) Capes, C. E. and J. P. Sutherland: Ind. Eng. Chem. (P.D.D.), **6**, 146 (1967).
- 9) Newitt, D.M. and J.M. Conway-Jones: Trans. Inst. Chem. Engrs., **36**, 422 (1958).
- 10) 小石真純, 角田光雄: 粉体の表面化学, p.80, (1975) 日刊工業新聞社.
- 11) Kawashima, Y. and C. E. Capes: unpublished data.

## 豆 ニ ュ ース

### 第12回粉体工学に関する講演討論会開催さる

#### — 固液体処理プロセスシンポジウム —

粉体技術談話会主催「粉体工学に関する講演討論会」が去る8月24日(株)細川鉄工所校方事務所5階会議室において開催された。本講演討論会も12回目を数え、ますます充実の度を深めており、今回は「固液粉体処理」にスポットをあて、熱心な講演と討論がなされた。

#### プ ロ グ ラ ム

- 開会挨拶 京都大学名誉教授  
粉体技術談話会々長 中川有三氏
- 講演 固液分離プロセスの現況と問題点  
京都大学教授 吉岡直哉氏
- 講演 凝集沈殿式廃水処理システムとスラリー処理  
大阪府立大学教授 矢野武夫氏
- 講演 有機性スラッジの乾燥・焼却における脱臭と熱経済の向上  
中部工業大学教授 吉田哲夫氏

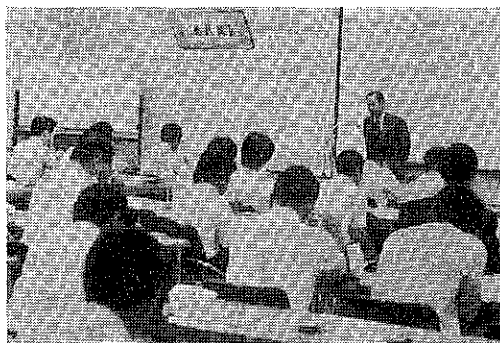
講演 湿潤粉体の乾燥について

細川鉄工所 丹羽久雄氏

総括討論 司会 京都大学教授 井伊谷鋼一氏

開会挨拶 細川粉体工学研究所社長

粉体技術談話会々長 細川益男氏





## 粉粒体の投入速度と粉体圧の研究\*

### Pressure and Rate of Filling for Granular Materials

高木 史人\*\* 杉田 稔\*\*

Fumito Takagi Minoru Sugita

#### Abstract

Progress in constructing large grain bins and in the transport of granular materials has made it possible to use storage facilities with high-speed filling equipment. The pressure on the inside wall of grain bins filled with granular materials using such high-speed equipment was several times more than the value indicated by Janssen's theory.

Using a model, we studied the correlation between the rate of filling and the pressure on the bottom of a silo. These problems have been little regarded in silo design. We measured the value of vertical pressure on the bottom of a glass cylinder under different filling rates. We used four kinds of granular materials: two kinds of glass beads and two kinds of standard sand.

One of the experimental results is that the value of the vertical pressure on the bottom of the model bin increases with the rate of filling. Concluding that the rate of filling influenced the structure of deposition for granular materials, we decided to pay attention to bulk density in the model bin. We obtained results showing a relationship among the rate of filling, the value of the vertical pressure, and bulk density in the model bin.

#### 著者摘録

粉粒体貯槽の大型化と粉粒体輸送機器類の進歩によって粉粒体の投入速度（単位時間当りの投入重量）がいちだんと大きくなった設備をもつ貯槽が出現してきている。大きな投入速度で粉粒体が投入される時、貯槽内壁に作用する粉体圧は Janssen 理論値の数倍に達する値が実測されている。

本研究は従来の貯槽設計ではあまり考慮されなかった投入速度の粉体圧への影響について、模型サイロによって検討をおこなったものである。実験は粒径の異なるガラスビーズ2種、標準砂2種、計4種類の試料を投入速度を変化させて内径約80mmのガラス製シリンダーに投入し、容器底面での垂直圧力値を測定した。実験の結果から投入速度の増加にともなって粉粒体による垂直圧力値は大きくなることが分かった。また投入速度が粉粒体の充填構造に与える影響についてかさ密度に着目し、投入速度と垂直圧力値とかさ密度の関係についての検討をおこなった。

\* 昭和52年11月16日 粉体工学研究会秋期例会（東京）にて講演

\*\* 清水建設(株)研究所  
(〒135 東京都江東区越中島3-4-17)  
Tel. (03) 643-4311 (内412)

## 1. はじめに

穀物・飼料等の粉粒体貯槽の大型化と粉粒体輸送機器類の進歩によって、粉粒体の投入速度（本稿では単位時間当りの投入重量を言う。）がいちだんと大きくなった設備をもつ貯槽が出現してきている。穀物貯槽を例にすると従来 30～50ton/hour であったものが近年では200～300ton/hour になり、さらに 500～600ton/hour を越える設備をもつ貯槽が出現してきている。このように大きな投入速度で粉粒体が投入される時貯槽内壁に作用する粉体圧は Janssen の理論値の数倍に達する値が実測<sup>1)</sup>されている。特に貯槽底部では排出時の動的内圧力値よりもこの投入時の圧力値の方が大きくなり、このためにホッパーが崩落したり、鋼製のクロスビームが切れるなど幾つかの障害が発生している。

ここでは従来の貯槽設計ではあまり考慮されなかった投入速度の粉体圧への影響について模型サイロによって検討をおこなったものを報告する。実験の結果から投入速度の増加にともなって粉粒体による垂直圧力値は大きくなる事が分かった。投入速度が粉粒体の充填構造に与える影響についてかさ密度に着目し投入速度と垂直圧力値とかさ密度の関係について検討した。粉体圧とかさ密度の関係については英国の P.L. Bransby らがモデルビンから流出する砂のかさ密度をX線撮影によって調べ、かさ密度の小さなところに大きな圧力値が測定された事を報告<sup>2)</sup>している。

## 2. 実験装置および方法

### 2.1 実験装置

実験装置は Fig. 1 に示すように底を抜いたガラス製

シリンダー（内径80mm・高さ430mm）の底部に受感部径 55mm の東洋ボルドウィン製微圧力変換器 LPU-0.02型を取付けて垂直圧力値を測定した。圧力センサーの受感部面積は全底面積の約46%であり、この部分の平均圧力値を検出している。圧力センサーの定格圧力値は 20g/cm<sup>2</sup> でUゲージ（非接着型ストレインゲージ）タイプの変換器である。Uゲージタイプの変換器は断面図を Fig. 2 に示してあるように、ダイヤフラムにかかった圧力は圧力伝達ロッドを通してホイートストンブリッジを組んであるストレインゲージに伝わり、その抵抗変化から圧力を検出するものである。

圧力センサーによって検出される応力（粉体圧）は増巾器を通して デジタルマルチメータ 及び X Y レコーダーに接続して読み取った。Photo. 1 に実験装置全景を

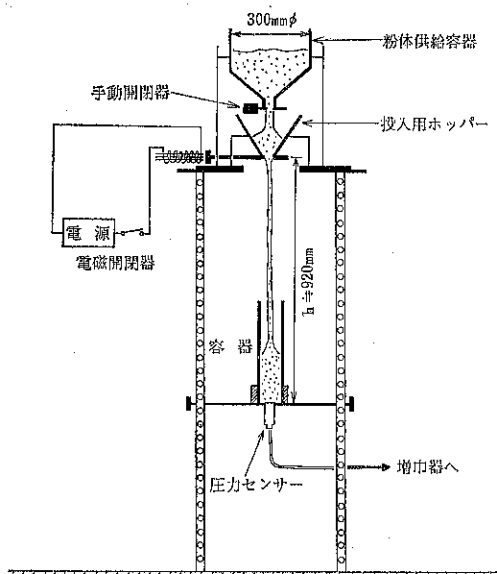


Fig. 1 実験装置

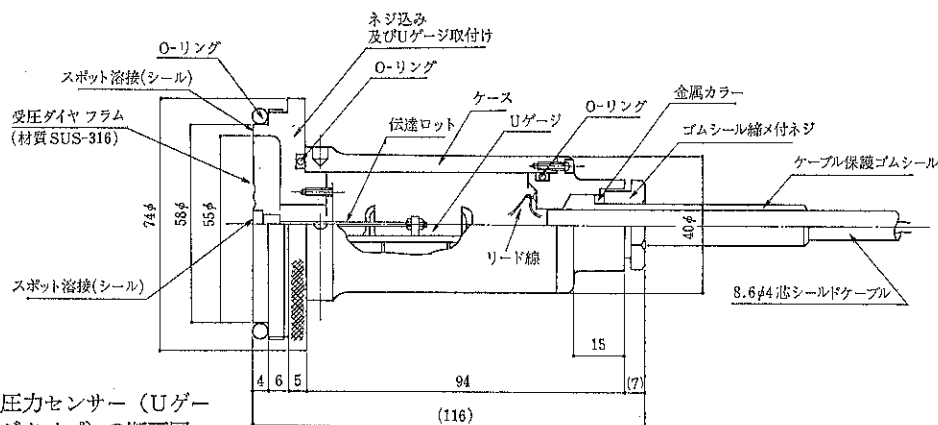


Fig. 2 圧力センサー（Uゲージタイプ）の断面図

Photo. 2に投入用ホッパー周辺の写真を示す。

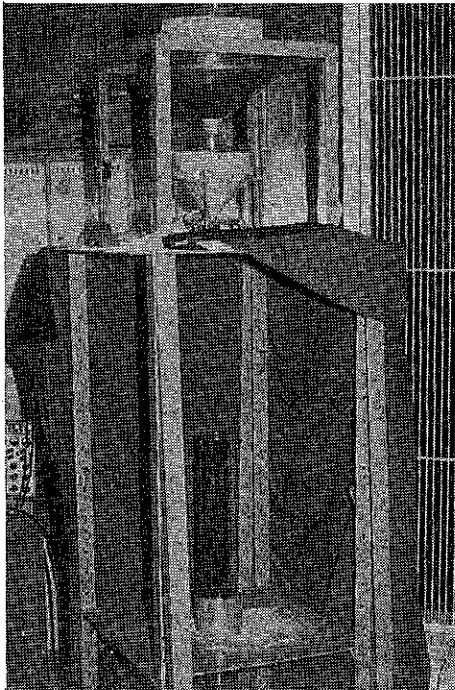


Photo. 1 実験装置全景 (恒温恒温室内)

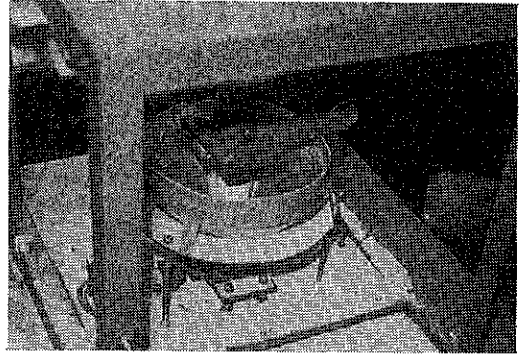


Photo. 2 投入用ホッパー周辺

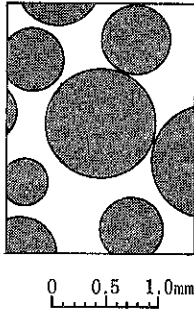
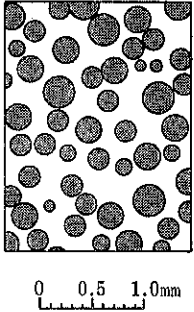
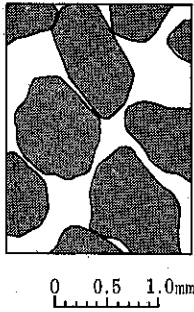
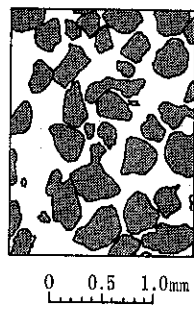
## 2.2 試料

本実験では試料として完全球形粒子のガラスビーズ2種と、でこぼこ形状粒子の標準砂2種、計4種類の試料を使用した。4種類の試料の物性の比較を形状・粒度・真密度について Table.1 に示した<sup>2)</sup>。粒度はガラスビーズ、標準砂共に小さい粒子に対する大きい粒子の比は3~4倍になっている。

## 2.3 実験方法

粉粒体の投入速度は9種類の口径の異なる投入用ホッパ

Table.1 試料の物性

|                                | ガラスビーズ<br>GB201MS                                                                   | ガラスビーズ<br>GB739                                                                     | 相馬標準砂                                                                                | 豊浦標準砂                                                                                 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 形状                             |  |  |  |  |
| 粒度 ( $\mu$ )                   | 590.~1000.                                                                          | 177.~250.                                                                           | 590.~840.                                                                            | 105.~297.                                                                             |
| 真密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 2.3~2.5                                                                             | 2.3~2.5                                                                             | 2.62~2.63                                                                            | 2.63                                                                                  |

ーによって変化させた。Table.2に各試料毎のホッパー口径と平均投入速度の関係を示す。実験はあらかじめ計量した試料 (約2,800g)を粉体供給容器に入れ投入用ホッパーに供給される粉体が一定量となるように手動開閉

器を調整した後、電磁開閉器を開いて投入を開始した。実験では湿気等の環境条件の違いによって粒子の充填構造が変わり粉体圧に影響することが考えられる。そこで Fig.1に示す実験装置を恒温恒温室 (温度 $20\pm 1^\circ\text{C}$ ・湿

Table. 2 ホッパー口径と平均投入速度

| ホッパー口径 | ガラスビーズ GB739 | 豊浦標準砂 | ガラスビーズ GB201MS | 相馬標準砂 |
|--------|--------------|-------|----------------|-------|
| mmφ    | g/s          | g/s   | g/s            | g/s   |
| 4      | 3.0          | 2.3   | —              | —     |
| 6      | 8.6          | 6.7   | 5.1            | 4.2   |
| 8.5    | 18.9         | 14.6  | 12.7           | 10.3  |
| 10     | 29.0         | 21.8  | 21.0           | 16.8  |
| 12.5   | 49.0         | 37.2  | 36.8           | 29.7  |
| 14     | 63.1         | 47.6  | 49.2           | 40.1  |
| 16     | 102.3        | 77.5  | 84.0           | 67.5  |
| 18     | 124.0        | 93.5  | 101.7          | 82.1  |
| 19     | 164.8        | 125.2 | 139.0          | 111.7 |

度 $60 \pm 5$ %)の中へ入れ、実験に用いる試料はドライヤーで乾燥させた後1昼夜以上放置してから使用した。

同じ実験条件で4回ずつ測定をおこない測定値の再現性を確かめながら実験した。

投入速度が大きくなるにつれて一度に多くの粉体が直接センサー受感部に当たり、その衝撃力によって受感部に歪が残り正確な粉体圧を示さない可能性がある。そこ

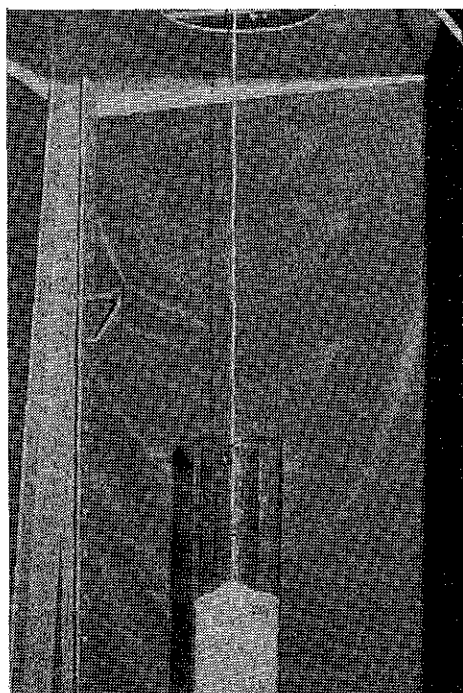


Photo. 3 容器へ投入中の豊浦標準砂

ではじめに述べた実験装置により19mmφのホッパーを用いて4種類の試料について予備実験をおこなって検討した。その結果投入速度が大きい場合は粉粒体の投入直後(数秒間)は異常に高い圧力値を示すことはあるが、それ以降は本来の圧力値を示すことが確認された。そこで投入速度が大きい場合の粉体圧は、投入数秒後の正しい圧力値を読み取った。

Photo. 3に容器へ投入中の豊浦標準砂の写真を示す。

### 3. 実験結果および検討

#### 3.1 投入速度と垂直圧力値

Fig. 3, Fig. 4にガラスビーズGB201MSとGB739測定結果の例を示す。どちらも投入開始と共に圧力値は急激に上昇し投入重量が500g位に達すると圧力の上昇はゆるやかとなる。GB739の場合約1500g投入した時に急激な圧力値の増大を示している。これは粉体層と粉体層、あるいは粉体層と壁面でのすべりが原因と思われる。すべりの起こる時間と大きさが一定でないために同一実験条件の測定値のパラツキとなって表われてくる。今回の恒温恒湿室内の実験においてGB739ではすべり

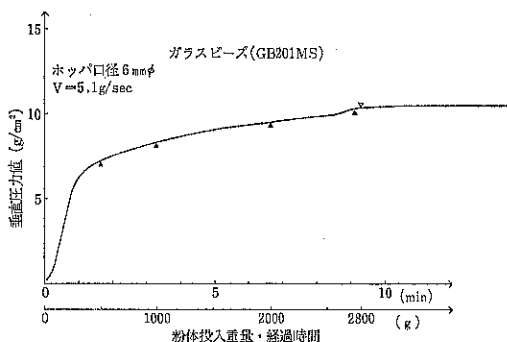


Fig. 3 測定結果例GB201MS

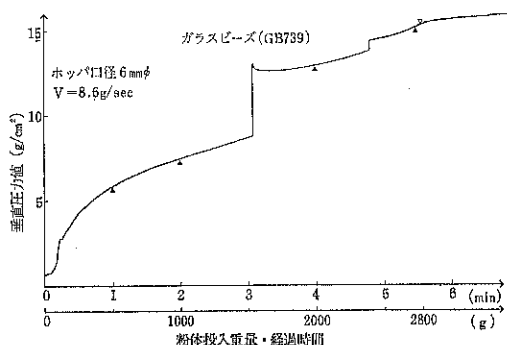


Fig. 4 測定結果例GB739

によるバラツキが観察されたが、他の3種類の試料ではほとんど見られなかった。(粉体層のすべり現象について3.2で詳しく述べる。)

Fig.5 ~ Fig.8 に各試料の投入速度と垂直圧力値の関

係を示す。図はそれぞれの投入速度において粉体投入重量が1,000g・2,000g・2,750gの時の圧力値を読み取り4回の測定の平均値を結んで示した。同一実験条件での値のバラツキを見るために測定値の最大値と最小値を縦

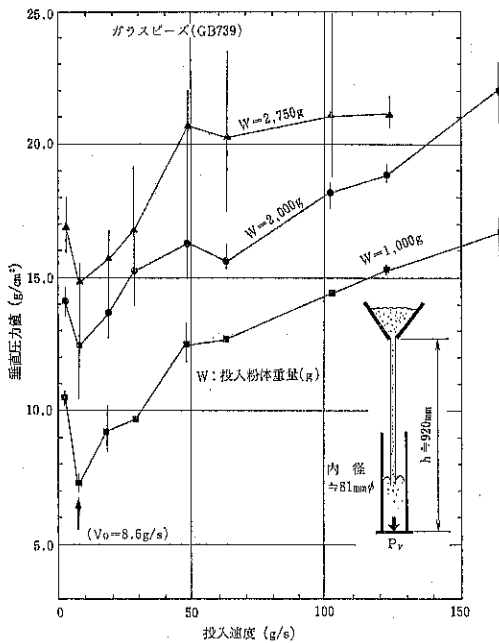


Fig. 5 投入速度と垂直圧力値(1)

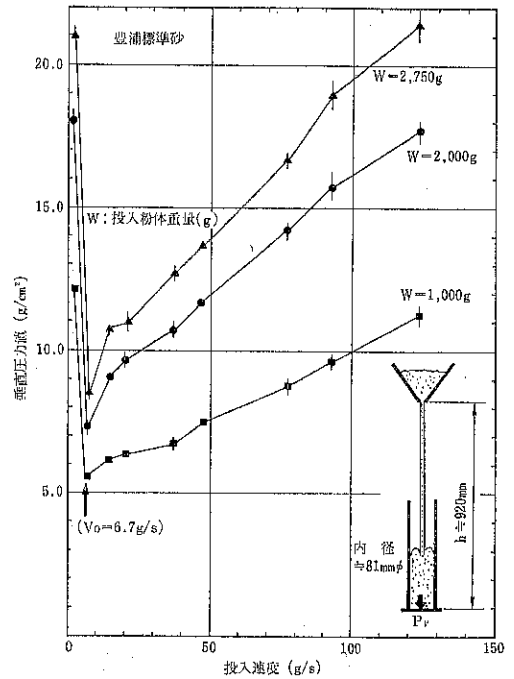


Fig. 7 投入速度と垂直圧力値(3)

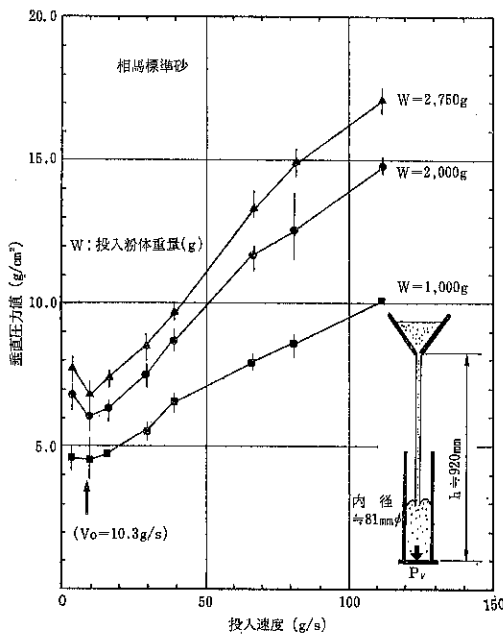


Fig. 8 投入速度と垂直圧力値(2)

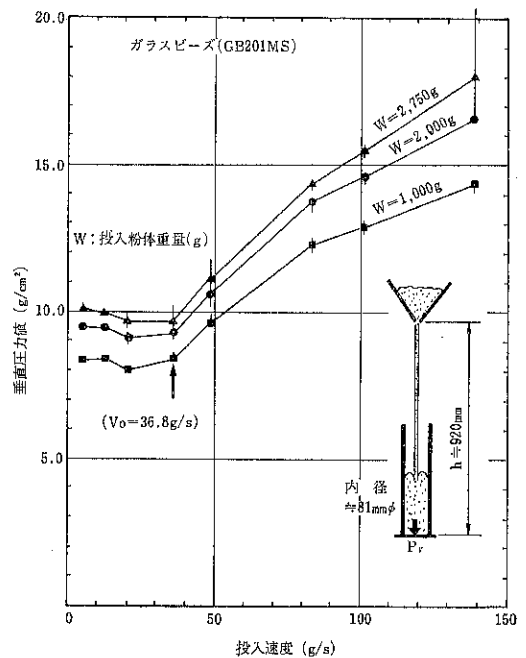


Fig. 8 投入速度と垂直圧力値(4)

線で示してある。ガラスビーズGB739 (Fig. 5) が粉体層のすべりによって測定値のバラツキは最も大きい。  
測定結果から各試料一様にある投入速度 ( $V_0$ :こ

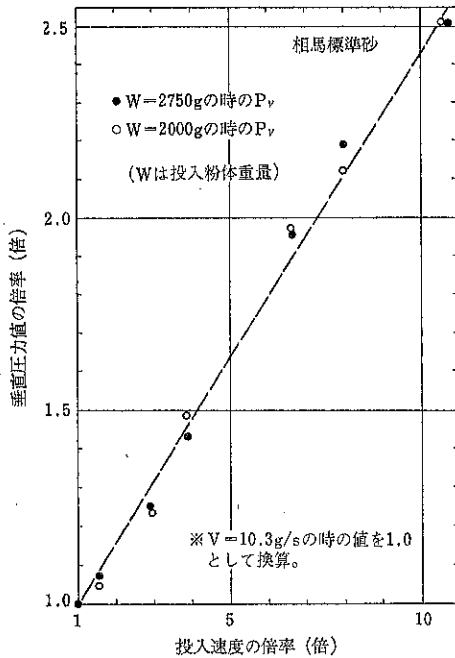


Fig. 9 投入速度と垂直圧力値の倍率

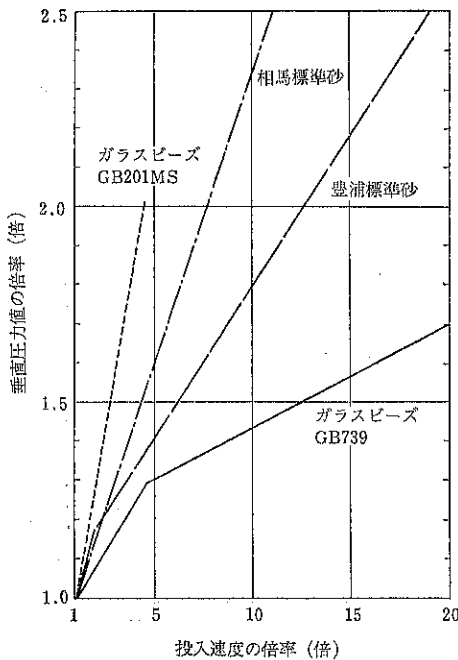


Fig.10 投入速度と垂直圧力値の倍率 (まとめ)

では基準投入速度と呼ぶ。)よりも大きな投入速度では、その増加にともなって垂直圧力値も増加している。しかし今回の実験の範囲内では一定値に収束する傾向はあらわれていない。各試料の基準投入速度を図に矢印で示したが、ガラスビーズGB201MSだけが他と比べて大きな値になっている。

次に投入速度と垂直圧力値との相関をみるために、基準投入速度の時の垂直圧力値を基準垂直圧力値 ( $P_0$ )としてそれぞれの倍率を表示した。相馬標準砂による結果を Fig. 9 に示す。図より投入速度が10倍になると垂直圧力値は約2.5倍となりその間にはほぼ直線関係が成立している。他の試料についても同じことをおこなった結果を Fig.10 にまとめて示す。図より比較的粒径の大きな試料の方が小さな試料より投入速度の増加にともなう垂直圧力値の増加割合が大きい事がわかる。

### 3.2 粒体層のすべり現象について

3.1で述べたように粉体層のすべりの有無は粉体圧力値に大きな影響を与えるため、環境条件の異った実験室で数回測定をおこないすべり現象の原因について検討した。実験は今回測定をおこなった恒温恒湿室を環境Ⅰとし、環境Ⅱは実験室で人の出入りが多くⅠに比べると大きな環境の変化がある。実験装置は Fig.1 に示したものをを用い4種類の試料を6mmφ, 10mmφ, 19mmφのホッパーによって投入した。同一実験条件で3回以上測定し粉体圧力値の変化から Fig.4 に示すような粉体層のすべりの有・無を観察した。Table.3に測定結果を示してある。

Table.3より環境ⅡではガラスビーズGB739と豊浦標準砂ですべり現象が観察されたが、ガラスビーズGB201MSと相馬標準砂では観察されなかった。環境ⅠではガラスビーズGB739 だけしかすべり現象が観察されなかった事と試料の物性 (Table.1) の比較とを合わせて考えると、粉体層のすべり現象は粒径は小さい程・形

Table.3 環境条件と粉体層のすべり

| 試料                | 条件 | 環境Ⅰ<br>(恒温恒湿室内) | 環境Ⅱ<br>(実験室内) |
|-------------------|----|-----------------|---------------|
| ガラスビーズ<br>GB739   |    | あり              | あり            |
| 豊浦標準砂             |    | なし              | あり            |
| ガラスビーズ<br>GB201MS |    | なし              | なし            |
| 相馬標準砂             |    | なし              | なし            |

状は球形である程起こりやすいことが分かる。

粉粒体はきわめて多数の固体粒子の集合体であるため通常の固体に比べて単位重量中の表面積は非常に大きく、球形粒子では粒径が小さい程表面積は大きくなる。表面積が大きくなる程周囲の環境（温度・湿度等）の影響を受けやすくなり、西野・荒川<sup>4)</sup>による粒径の小さなガラスビーズを用いた等温吸着の実験では湿度が60%以上になると水分吸着の量が徐々に増加する事を示している。粒径の小さな粒子を用いた粉体圧測定等の実験においては、測定値のバラツキの主要な原因となる粉体層のすべり現象について検討しておく必要があると思われる。

### 3.3 投入速度とかさ密度

3.1の実験結果から基準投入速度を境として、それよりも大きな投入速度においてはその増加にともなって垂直圧力値も増加することが分かった。しかし基準投入速度の物理的意味が明らかではない。粉粒体の容器への投入速度の増加にともなってその充填構造が異なり、内部摩擦角や壁面摩擦係数等粉体層の応力状態が変化しその結果として垂直圧力値が変化すると考えられる。そこでこの充填構造の変化について特に投入終了時におけるかさ密度に着目して実験をおこない、投入速度とかさ密度の関係を検討した。

Fig. 1 に示した実験装置を用いて内径約80mm、容積1,000cm<sup>3</sup>及び2,000cm<sup>3</sup>のガラス製シリンダーに種々の投入速度で4種類の試料を投入し、投入終了後の容器内試料のかさ密度を測定した。容器の容積は水を満たしてあらかじめ測定しておき、容器に投入された試料を容器口表面ですり切り体積を決め、重量は上皿天秤によって測定した。

Fig.11～Fig.14に測定結果を示す。容器の容積の違い

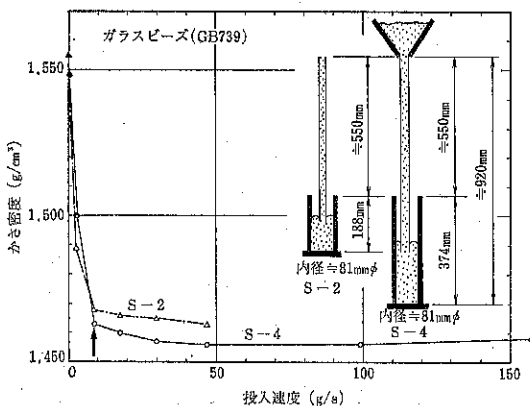


Fig.11 投入速度とかさ密度(1)

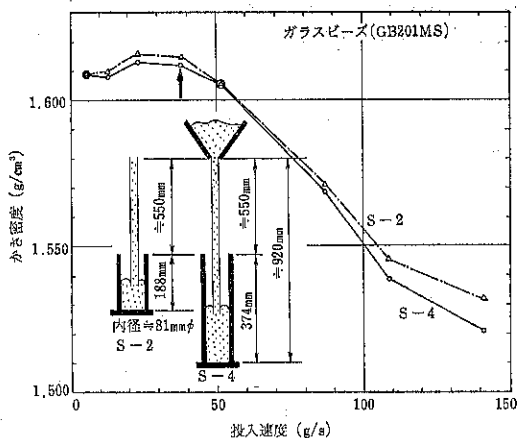


Fig.12 投入速度とかさ密度(2)

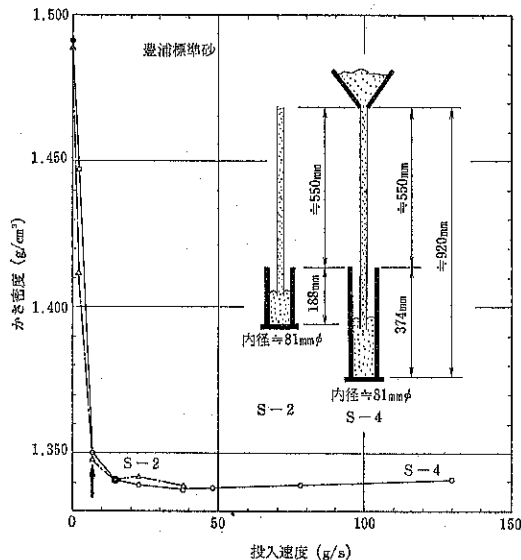


Fig.13 投入速度とかさ密度(3)

によってかさ密度はあまり変化していないが、どの試料の場合も投入速度増加にともなってかさ密度は減少する傾向がある。投入速度と垂直圧力値の結果と比較するためにそれぞれの基準投入速度を図に矢印で示す。ガラスビーズ GB739 と豊浦標準砂は基準投入速度よりも大きな投入速度ではかさ密度はほとんど変化していないが、ガラスビーズ GB201MS と相馬標準砂は投入速度の増加にともなってかさ密度は減少している。

Table. 1 に示す真密度によって空隙率を計算し、投入速度と空隙率の増加の関係を 相馬標準砂について Fig. 15に示す。図より投入速度の増加にともなって空隙率は増加してゆき、約6%増加したところでほぼ一定値に収

束する傾向を示した。この結果を4種類の試料についてまとめて Fig.16 に示す。

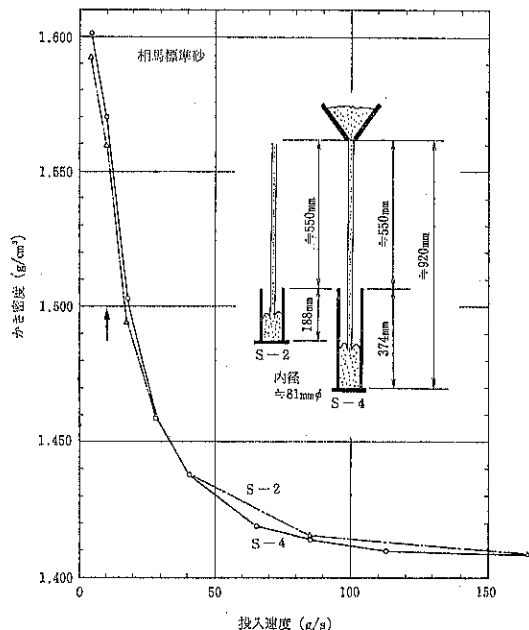


Fig.14 投入速度とかさ密度(4)

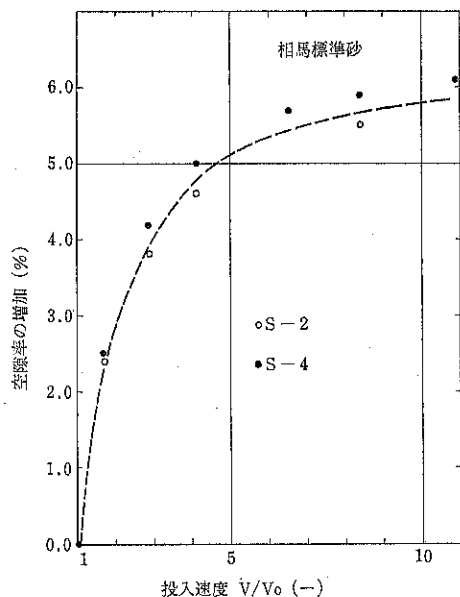


Fig.15 投入速度と空隙率

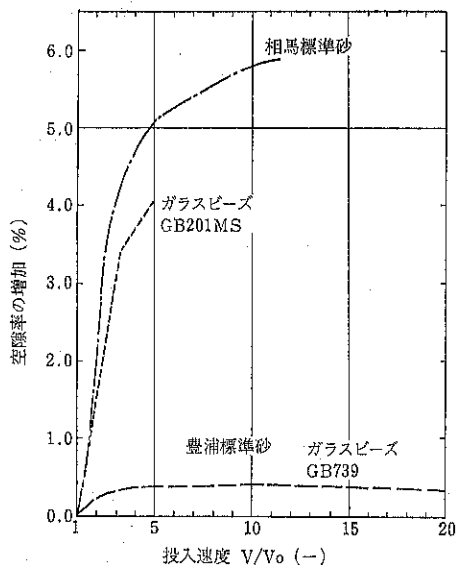


Fig.16 投入速度と空隙率(まとめ)

### 3.4 投入速度と垂直圧力値とかさ密度

3.1および3.3より投入速度と垂直圧力値とかさ密度の関係をまとめると次のようになる。

Fig.10 と Fig.15 から基準投入速度よりも大きな投入速度では、

- (1) 比較的粒径の大きな粒子では投入速度増加にともなって垂直圧力値は増加し空隙率も増加(かさ密度は減少)する傾向がある。
- (2) 粒径の小さな粒子では垂直圧力値は増加するが空隙率(かさ密度)はほとんど変化しない。

Fig.5～Fig.8 と Fig. 11～Fig. 14 から基準投入速度よりも小さな投入速度では、

- (3) 比較的粒径の小さな粒子では投入速度の減少にともなって垂直圧力値とかさ密度共に増加する。
- (4) 粒径の大きなガラスビーズは垂直圧力値とかさ密度はほぼ一定の値となる。

投入速度と垂直圧力値とかさ密度の関係を粒径の大小および基準投入速度によって分類すると、このように4つの傾向を示すことが分かった。しかし基準投入速度の物理的意味や粒子の種類の違いによる投入速度と粉体圧の関係についてはまだあまり明らかになっていない。

投入状態における粉体層の挙動に関する研究のうち、最近の研究では次のものがある。

(1) 綱川・浅野・青木のバンカーの鉛直壁部における粒子の応力の研究<sup>5)</sup>では、投入状態では粒子層の応力状態および充填構造は投入速度によって複雑に影響され、鉛



直応力に対する水平応力の比も投入速度に依存することを報告している。(2)上滝・森山による円筒形容器内粉粒体層の底圧分布に関する研究<sup>6)</sup>では、容器の寸法、供給方法、供給速度によって底圧分布が変化することを報告している。(3)筆者らは容器の容積と投入高さをパラメータとして投入速度とかさ密度の関係を検討し、粒子群が重力落下してから堆積するまでの過程の違いが投入終了後のかさ密度の違いに影響を与えていることを報告<sup>7)</sup>している。

以上の研究結果を参考にして基準投入速度の物理的意味や粒子の種類の違いによる投入速度と粉体圧の関係について検討してゆくためには、容器内粉粒体の物性値の非均一性について考慮してゆく必要があると思われる。

#### 4. ま と め

今回の実験結果から次の事が分かった。

- (1) 粉粒体の容器への投入速度が増加すると、ある(基準)投入速度よりも大きな投入速度では容器底面での垂直圧力値は増加する。
- (2) 投入速度と垂直圧力値とかさ密度の関係を粒径の大小および基準投入速度によって分類すると4つの傾向を示す。
- (3) 粒子の形状や径の違いによって粉体層のすべりが起こり、垂直圧力値が大きく変化する場合がある。

今回の実験の範囲内では基準投入速度の物理的意味はまだ明らかでない。基準投入速度の物理的意味や粒子の種類の違いによる投入速度と粉体圧の関係について検討してゆくためには、容器内粉粒体の物性値の非均一性に

ついて考慮してゆく必要があるだろう。

実験の実施に当って多くの援助のあった今野美紀夫・福田浩男両氏に対して謝意を表します。

#### 使用記号

|       |            |                      |
|-------|------------|----------------------|
| $h$   | : 粉体落下高さ   | [mm]                 |
| $P_v$ | : 垂直圧力値    | [g/cm <sup>2</sup> ] |
| $P_0$ | : 基準垂直圧力値* | [g/cm <sup>2</sup> ] |
| $V$   | : 投入速度     | [g/s]                |
| $V_0$ | : 基準投入速度*  | [g/s]                |
| $W$   | : 投入粉体重量   | [g]                  |

\*定義は本文3.1参照

#### 参考文献

- 1) 杉田稔: 化学工学協会第5回秋期大会要旨集 p.305 大阪 (1971).
- 2) P. M. Blair-Fish, P. L. Bransby: ASME Publication Paper No.72-MH-6 2nd Symp. on storage and Flow of Solids
- 3) 粉体工学研究会・日本粉体工業協会編: 粉粒体物性図説, 産業技術センター刊 (1975)
- 4) 西野, 荒川: 材料 22 [238] 663 (1973).
- 5) 綱川, 浅野, 青木: 粉体工学研究会誌 14 [9] 497 (1977).
- 6) 上滝, 森山: 粉体工学研究会誌 14 [11] 990 (1977).
- 7) 高木, 杉田: 第16回粉体に関する討論会 大阪 (1978) 発表

#### 特許一言メモ

##### 特許出願いまむかし

むかし、特許出願は手がきでもかまわなかったらしいが、いまは原則として4号活字のタイプ印字でなければならず、行数、間隔なども規定されている。その理由はこの出願明細書を2分の1に縮小して写真製版し、そのまま公開報とするためであり、大きなハッキリした文字が要求されるからである。

したがって、もしむかし流の人が頑固にも手がきで出願したとすると、その出願は一応受け付けられるが後日補正命令によってタイプ印字したものを提出させられることになる。

もうひとつむかしと比べ変わったものに明細書の項目順がある。すなわちいまは ①発明の名称、②特許請求の範囲(俗にクレームといっている)、③発明の詳細な説明、④図面の簡単な説明……の順である。むかしは上記②と④がさかさかになっていた。

その次に変ったものは、むかしの特許出願とは別に審査請求手続きをしてはじめてその出願が実際に審査のテーブルにのせられる。というよりは審査のテーブルの前にならぶことになる。勿論出願と同時に請求手続きをしてもよいが、いづれにしてもこれらの費用は少々高くつく。たとえば特許で1発明の場合は22,000円、実案のそれは12,000円である。(昭和53年5月改正分)(M. N)

## 粉体のタッピング圧密について

### Compaction of Several Powders by the Tapping

和田 憲造\* 福永 温子\*

Kenzō Wada Atsuko Fukunaga

早野 延男\* 上滝 具貞\*\*

Nobuo Hayano Tomosada Jyōtaki

#### Abstract

Until now, the relations between bulk density of powder and the tapping duration have been investigated by many authors, but the simultaneous consideration of the effect of tapping speed  $\omega$  and tapping height  $H$  to the compaction of powders are very few.

In this report, we investigated the effect of compaction phenomena of the powders in a vessel by the bottom impact. The changes of bulk densities of powders were examined with several tapping speed ( $\omega$ ), dropping height ( $H$ ), and, then semi-empirical formula about compaction of powders are presented. Our experiment shows that the changes of bulk density of powders are clearly observed in the comparatively short interval of the start of tapping, and this feature depends closely on the flowability of powders.

Finally, the formula of bulk density are presented with the function of  $\omega$ ,  $H$  and  $\rho_0$  (loosely packed density).

#### 著者摘録

本報告は、粉体のタッピングによる充填について、タッピング速度  $\omega$ 、タッピング高さ（落下高さ） $H$  を変化させた時のかさ密度の変化について調べ、タッピング圧縮式について検討を行ったものである。今までにもタッピング圧縮については色々報告もなされており、種々の圧縮式も報告されているが、それらはかさ密度とタッピング回数の関係においてであり、タッピング速度  $\omega$ 、 $H$  との関係についての報告は少ない。

今回の実験により、粉体をタッピング圧縮した時の粉体のかさ密度の変化の状態は粉体によりまちまちであるが、大きく分けて二つに分けられる。そして、それは粉体の流動性とも密接な関連のあることがわかった。また、 $\omega$ 、 $H$  を変化させた時のかさ密度の変化については、かさ密度  $\rho_\omega$  を  $\rho_0$ （ゆるみかさ密度）、 $\omega$ 、 $H$  の関数として表わすことができた。

#### 1. 緒言

粉体の充填特性は粉体を取扱う上で非常に重要な問題となる。例えばホッパーや容器の容量を決定する時、或

はこれから粉体を流出させる時等である。これらは粉体の充填特性に大きく左右される。即ち、このことは粉体の充填特性が粉体の流動性とも密接な関連をもっていると言える<sup>1)2)</sup>。

粉体を充填させる場合、種々の方法が考えられるが、大きく分けて粉体の自然流動による方法と、充填体に外力を与える方法の二つに分けられる。粉体の充填方法により、いろいろな呼称のかさ密度があり、用途に応じて

\* 山口大学工学部（〒755 宇部市常盤台）

Tel. (0836) 31-5100

\*\*九州工業大学（〒804 北九州市戸畑区仙水町）

Tel. (093) 871-1931

使い分けられている。充填体に外力を与える方法の1つにタッピングによる方法がある。この時のかさ密度をタップ密度と呼ぶ。

タッピングによる充填特性については今までにもいくつも報告<sup>3)4)5)</sup>がなされており、種々のタッピング圧縮式が報告されている。しかし、タッピング速度、タッピング高さを変化させた場合のかさ密度の変化についての報告は少ないようである<sup>5)</sup>。

本実験ではタッピング速度およびタッピング高さを変化させた時のかさ密度の変化について調べ、タッピング圧縮式についても検討を行った。

## 2. タッピングによる圧密について

タッピングによる圧密は、粉体を容器に入れその容器をある高さ（1～2cm）に持ち上げた後容器を自然落下させ、落下した際の衝撃力により粉体の圧密を行うものである。粉体はその衝撃のため粉体自体の持つ、落下する際に生じた慣性力により容器の中で下方に圧縮されることになる。そして、この衝撃、即ちタッピングを繰り返すことにより、次第に圧密の度を深めていくことになる。

圧密の過程、およびその状態は粉体によりまちまちである。即ち、このことは圧密が粉体の物性に大きく影響されるということに他ならない。

その他、圧密に影響を及ぼす因子として考えられることは、

- (1) 容器の形状、容積
- (2) 容器と粉体の摩擦
- (3) タッピング強さ
- (4) タッピング速度
- (5) タッピングの回数

等である。(1)については、タッピングした時の粉体の動的挙動に影響を及ぼすと考えられ、(2)については、もし粉体と容器の摩擦係数が大きければ、タッピングした時容器壁面における粉体は容器との摩擦により、充分圧縮されないことが起こり得、全体として圧密の不均一を生じることになる。(3)～(5)については直接にタッピングした時のかさ密度に影響を与える因子である。中でも(3)は、落下高さ及び粉体と容器の重量によるもので、これによりかさ密度の大きさが決まると思われる。また、(4)(5)は衝撃回数（タッピング回数）とかさ密度の関係を知らる上で大事な因子であり、粉体が衝撃を受けた時の動的挙動を示す時間の長さ、即ちタッピングされる瞬間において、粉体はその前のタッピングにより、なお動的な状態を示しているか、または、すでに静的状態にあるかということにより、(4)(5)について次のように考えることが

できる。

$\omega T = N$  （タッピング間隔の間に粉体が充分静定している時）

$\omega T \neq N$  （タッピング間隔の間に粉体が充分静定されない時）

ここで

$\omega$  ; タッピング速度

$T$  ; タッピング時間

$N$  ; タッピング回数

ということが言える。

今回の実験においては、容器は各粉体に共通の容器を使用していることで、タッピングの圧密については、各粉体の物性・タッピングの強さ・タッピング速度（回数）に影響されることとなる。

## 3. 実験

### 3.1 実験装置および方法

今回の実験で使用したタッピング装置を Fig.1 に示す。本装置はモータによってカムを回転させ、カムによりリフトバーを上下させ、粉体の充填を行うものである。充填容器にはパウダーテスター（細川鉄工所製）付属の容器（容量100cc）を使用した。落下高さは6mm～18mm、またタッピング速度は20回/min～120回/minの間で、可変できるようになっている。落下高さは、ストッパーの位置を調整することにより、また速度はモータの電圧を調整することにより行った。

実験は落下高さ $H$ を6, 8, 10, 12, 14, 16, 18mmと2mm間隔で変化させ、その高さごとに、速度 $\omega$ を20, 40, 80, 100, 120回/minと20回/minごとに変化させ、各々について各粉体のタッピングによるかさ密度を測定した。なお、タッピング時間は3分間とした。

### 3.2 実験試料

実験に使用した粉体は、次の5種類の粉体である。

- (1) 排煙脱硫石膏
- (2)  $\text{CaCO}_3$ —BF300（粉体工学会付着凝集グループ共通試料）
- (3) フライアッシュ
- (4) 小麦粉
- (5) カーボン

粉体(1)(3)(4)については、前処理として使用前に110°Cにて1時間の乾燥を行った。また、粉体(2)(5)については、前処理をせずに使用した。（乾燥による効果が認められなかった。）Table.1に各粉体の物性を示す。また、Table.2にパウダーテスターにより測定した各粉体の流動性指数を示す。

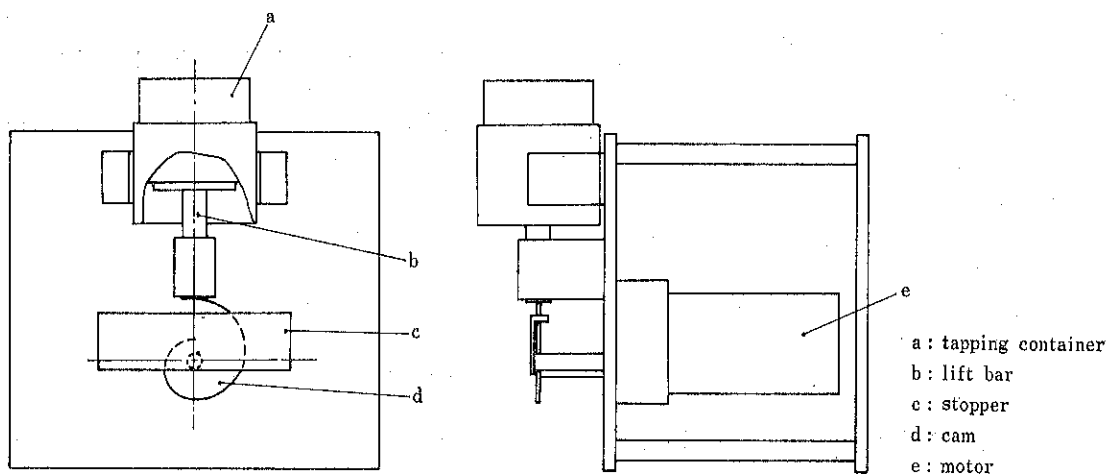


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

Table 1 Properties of Powder

| Powder                                    | Gypsum* | CaCO <sub>3</sub> -BF300 | Fly Ash | Flour | Carbon |
|-------------------------------------------|---------|--------------------------|---------|-------|--------|
| Density                                   | 2.31    | 2.70                     | 2.33    | 1.44  | 1.69   |
| Aerated bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.54    | 1.07                     | 0.69    | 0.56  | 0.41   |
| Packed bulk density (g/cm <sup>3</sup> )  | 1.20    | 1.56                     | 1.17    | 0.77  | 0.52   |
| Mean diameter (μ)                         | 40      | 23.7                     | 2.9     | 23    |        |
| Particle form                             |         |                          |         |       |        |

Table 2 Index of Flowability point of Powder

| Powder                   | Angle of Repose |       | Compressibility |       | Angle of Spatula |       | Cohesion |       | Index of Flowability point |
|--------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|------------------|-------|----------|-------|----------------------------|
|                          | deg             | point | %               | point | deg              | point | %        | point |                            |
| Gypsum                   | 45.1            | 15    | 49.3            | 0     | 66.4             | 12    | 56.4     | 4.5   | 31.5                       |
| CaCO <sub>3</sub> -BF300 | 45              | 15    | 31.4            | 10    | 65.8             | 12    | 13.6     | 12    | 39                         |
| Fly Ash                  | 49.3            | 12    | 40.7            | 2     | 82.1             | 7     | 14.2     | 12    | 33                         |
| Flour                    | 46.5            | 12    | 27.5            | 12    | 62.9             | 12    | 16.5     | 12    | 48                         |
| Carbon                   | 39.7            | 17.5  | 21.1            | 17    | 56.4             | 16    | 59.7     | 2     | 52.5                       |

※ 排煙脱硫石膏は英訳すると Gypsum obtained by treating stack Gas である。本文においては Gypsum としておく

#### 4. 実験結果および考察

Fig. 2, Fig. 3にタッピング速度  $\omega$ , 落下高さHを変化させた時のかさ密度  $\rho_w$  の変化の状態を示す。Fig. 2は横軸に  $\omega T$ , 縦軸に  $\rho_w$  を示し, Fig. 3は横軸にH, 縦軸に  $\rho_w$  を示す。 $\omega T=0$  における  $\rho_w$  の値は, その粉体のゆるみかさ密度\*を表わす。

##### 4.1 $\omega$ の影響

Fig. 2からわかるように, いずれの粉体の場合も  $\omega T$

=60の段階でかなりの圧縮が行なわれている。この中で粉体(1)(2)(3)はタッピング圧縮においてほぼ同様の傾向を示し, 全体としてのかさ密度の変化の度合が大である。また,  $\omega T=60$  以上のタッピング回数において,  $\omega T$  が

$$* \text{ゆるみかさ密度 } \rho = \frac{M(\text{粉体の質量})}{V(\text{容器の体積})} \quad V: 100\text{cc}$$

充填の方法; 24mesh のふるいを通し, 20~30秒にて100cc となるような振動強度で落下させる。(パウダーテスターによる)

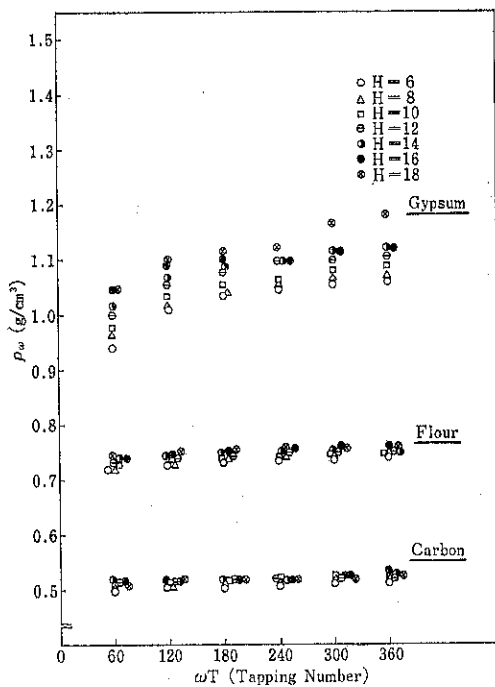


Fig. 2 (1) Variation of the bulk density with  $\omega T$

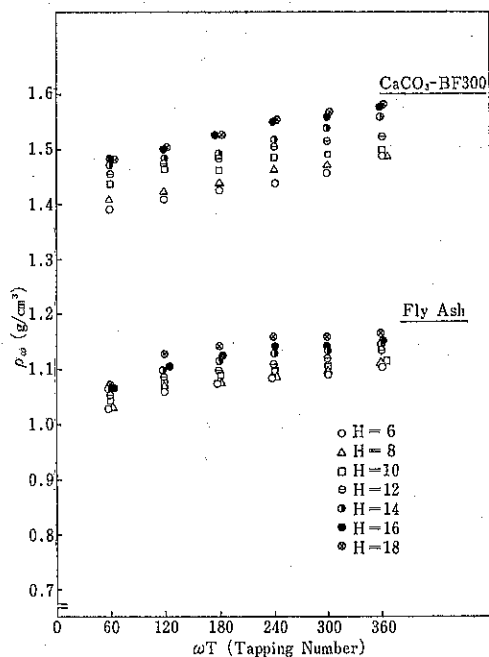


Fig. 2 (2) Variation of the bulk density with  $\omega T$

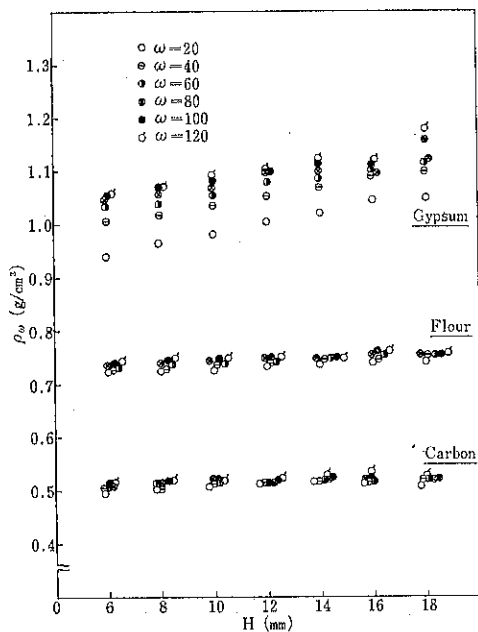


Fig. 3 (1) Variation of the bulk density with tapping height

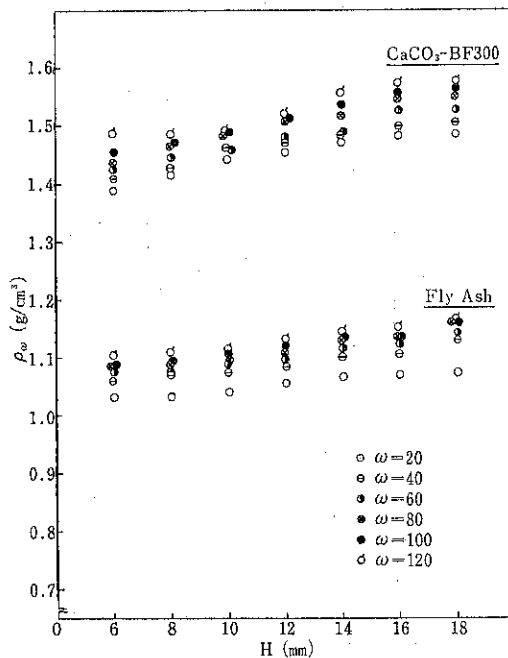


Fig. 3 (2) Variation of the bulk density with tapping height

増すにつれ、かさ密度も徐々に大きくなっている。これに比べ粉体(3)(4)は同じく初期 ( $\omega T < 60$ ) において大部分の圧縮が行なわれるが前者と比較してかさ密度の変化

の度合いが小さく、速度  $\omega$  を変化させた場合においても  $\omega T = 60$  の時のかさ密度と比べ殆んど差がない。つまり、粉体(1)(2)(3)と粉体(4)(5)はタッピング圧縮において異

った変化の状態を示している。即ち、このことは、川北の報告<sup>4)</sup>でも述べられているように、タッピング圧縮において粉体に二つの型があると言える。以後、前者をI型タイプ、後者をII型タイプと呼ぶ。

#### 4.2 Hの影響

Hは、かさ密度の大きさに直接影響を与える因子である。Fig. 3 からわかるように、粉体(1)(2)(3)については、Hが増加するにつれ、かさ密度が比例的に増加しているが、粉体(4)(5)については、Hの変化によるかさ密度の変化は非常に小さい。

また、粉体(5)カーボンの場合、H=18の時、かさ密度がH=16の時のそれに比べて若干小さくなっている。これは、粒子のはね返りによりかさ密度が大きくなったものと思われる。この現象はIIのタイプ、特に流動性のよい粉体に生じるとと思われる。

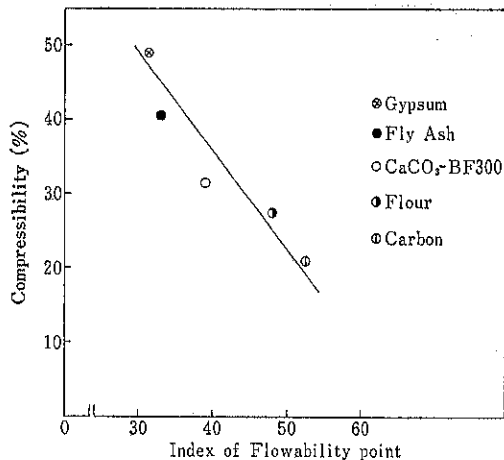


Fig. 4 Relation between the Compressibility and Index of Flowability

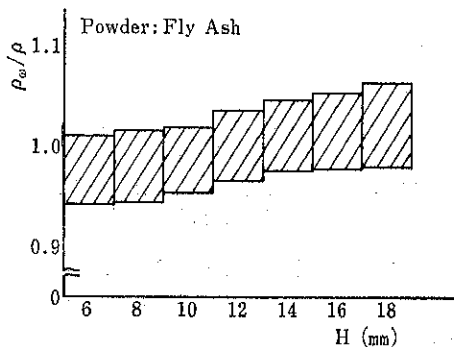
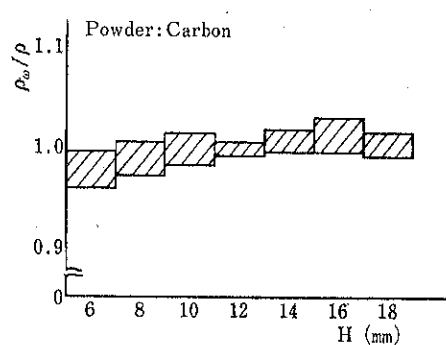
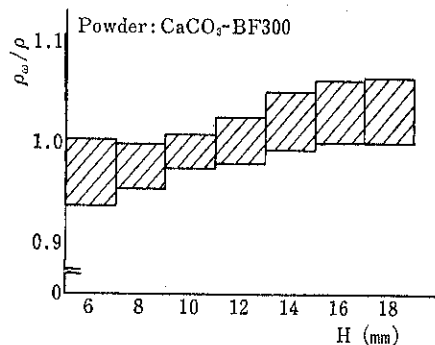
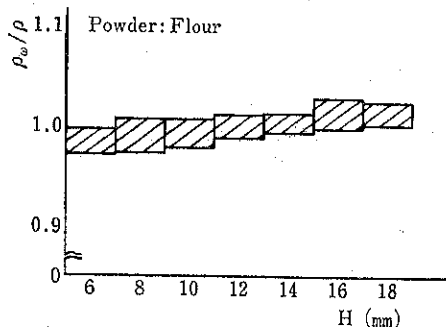
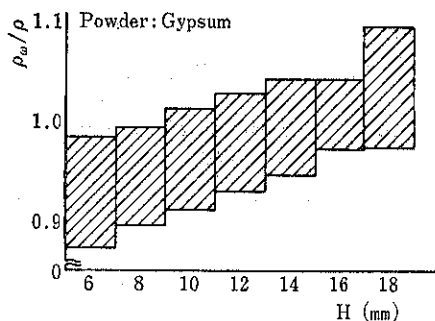


Fig. 5 Change in bulk density with H ( $\rho$  is the value of bulk density) of  $\omega T=180$ ,  $H=12$ .

### 4.3 物性の影響

#### 4.3.1 流動性とかさ密度の関係

前にも述べたように、粉体の充填特性と流動性との間には非常に密接な関連があるが、この関連について今回の実験で使用した5種の粉体について調べてみる。

Fig. 4に、パウダーテスターにより調べた圧縮度と流動性指数の関係を示す。これから両者の間に良い比例関係が存在することがわかる。そして流動性の良い粉体は圧縮度が小さい、即ち充填した場合のかさ密度の変化の度合が少なく、流動性が悪くなるに従い変化の度合が大きくなる。

#### 4.3.2 各粉体の比較

タッピングによる圧密は粉体の物性に大きく影響され

る。従って当然個々の粉体において圧密の過程・状態も異なってくる。Fig. 5, Fig. 6は各粉体において、 $H=12$ ,  $\omega T=180$ におけるかさ密度を1とした時の各速度、各高さでのかさ密度の変化の巾を表わしたものである。

Fig. 5は各Hでの変化の巾、Fig. 6は各 $\omega$ での変化の巾を示す。これを見ると各H・各 $\omega T$ における変化の度合は粉体(1)が一番大きく(3)(2)(4)(5)の順となっている。即ち、流動性の悪いものは、 $\omega$ , Hによりかさ密度の変化の度合が大きく流動性の良いものは、 $\omega$ , Hの影響を余り受けないと言える。

#### 4.4 粉体のタップ密度による二つの型について

以上のことより、タップ密度の変化の状態により粉体

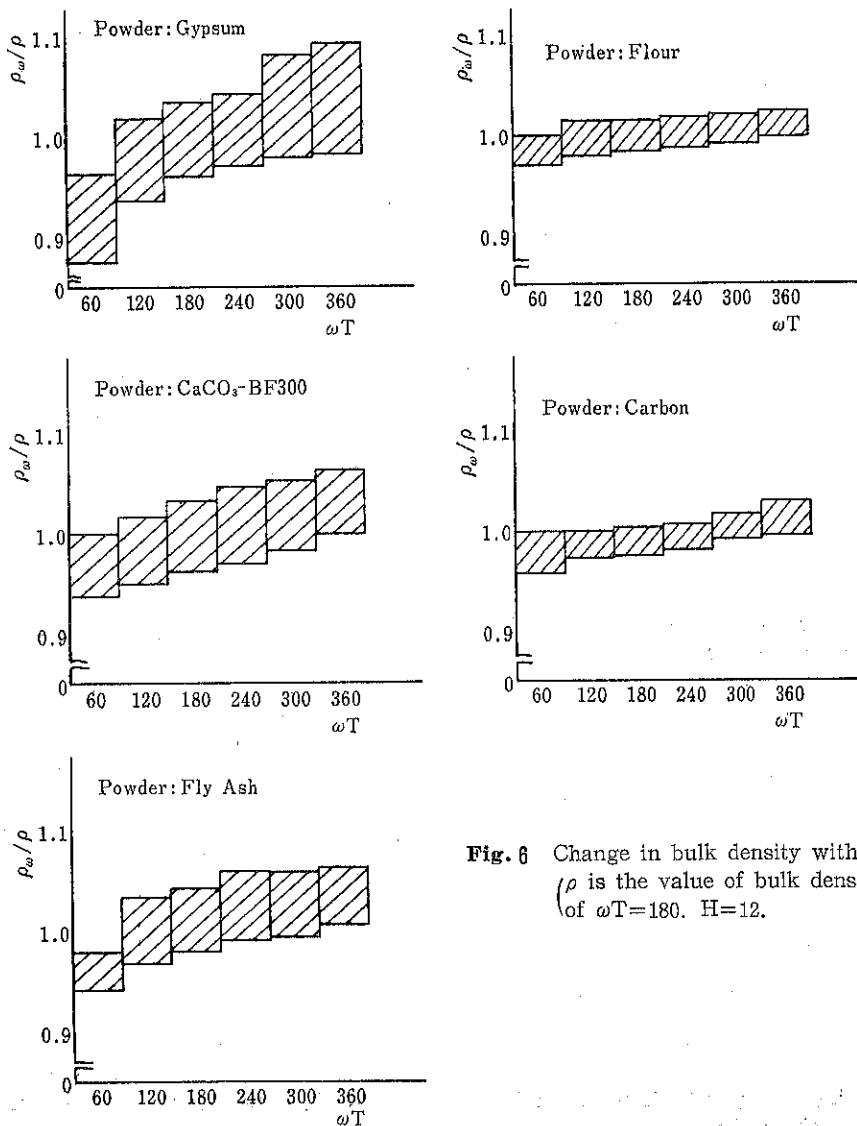


Fig. 6 Change in bulk density with  $\omega T$   
( $\rho$  is the value of bulk density)  
of  $\omega T=180$ ,  $H=12$ .

を二つの型に分けた場合、次のように分けられる。

1) Iのタイプ

- ・流動性が悪い
- ・タッピングによるかさ密度の変化大
- ・かさ密度において $\omega$ , Hの影響大

2) IIのタイプ

- ・流動性が良い
- ・タッピングによるかさ密度の変化小
- ・かさ密度において初期における圧縮 ( $\omega < 20$ ,  $H < 6$ ) 後は $\omega$ , Hに余り影響されない。

## 5. タッピング圧縮式について

タッピングの変化の度合いは、 $\omega$ , Hにより大きく影響される。Fig. 7に横軸に  $\log H$ , 縦軸に  $\log \rho_\omega$  をとった時の  $\log H - \log \rho_\omega$  の関係を示す。また, Fig. 8 に  $\log \omega - \log \rho_\omega$  の関係を示す。Fig. 7, Fig. 8 から若干のパラッキはあるが、両者とも直線関係のあることが知れる。即ち、次の実験式が成り立つ。

$$\rho_\omega = A \rho_0 (\omega T)^k (H)^n$$

$\rho_\omega$ : カサ密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

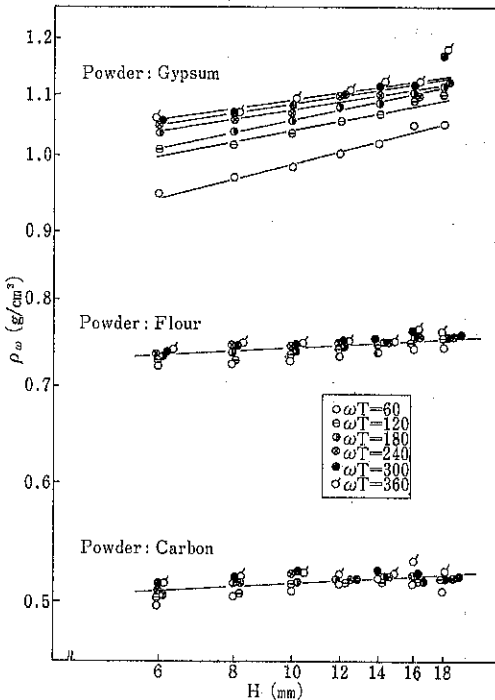


Fig. 7(1) Log-log plot to determine R for each powder

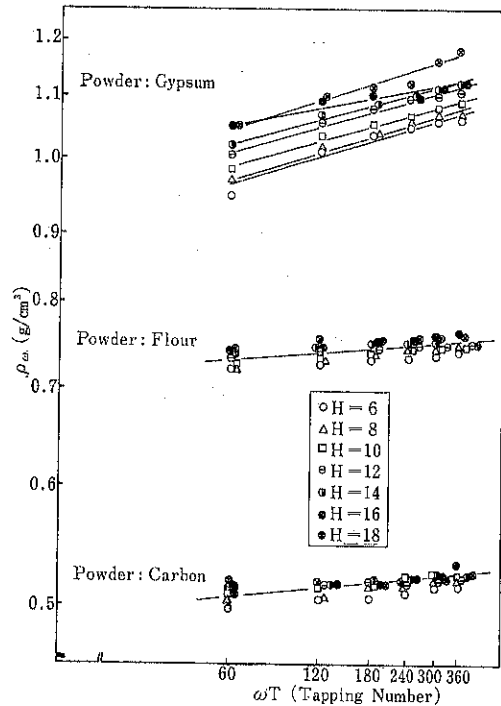


Fig. 8(1) Log-log plot to determine N for each powder

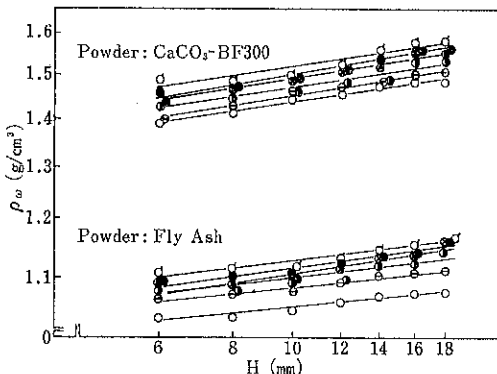


Fig. 7(2) Log-log plot to determine R for each powder

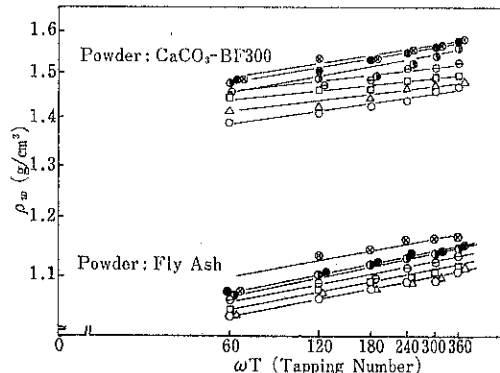


Fig. 8(2) Log-log plot to determine N for each powder



$\rho_0$ : ゆるみかさ密度 ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $\omega$ : タッピング速度 (回/min)  
 $T$ : タッピング時間 (min)  
 $H$ : タッピング高さ (mm)  
 $A$ : 定数 ( $A = \rho_{\omega 1} / \rho_0$ ,  $\rho_{\omega 1} : \omega T = 1$ ,  $H = 1$  でのかさ密度)

$k$ : 定数

$n$ : 定数

Table.3に各粉体の $A$ ,  $k$ ,  $n$ の値を示す。これにより、各粉体についての初期圧縮度 $\omega$ ,  $H$ の影響の度合いを知ることができる。また、Fig.9に各粉体において $H=12$ の時の実験値と計算値の比較を示す。両者の間に、かなり良い一致を見ることができる。

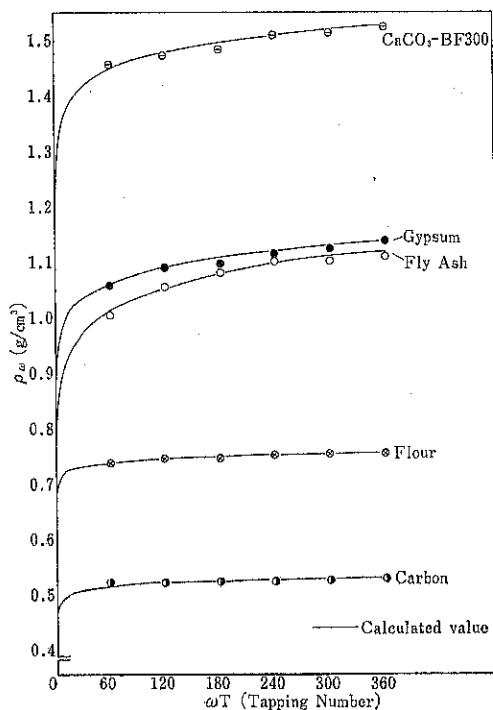


Fig.9 Comparison of the experimental results with calculated data of bulk density with  $\omega T$  for  $H=12$

Table 3 Value of constants  $A$ ,  $n$  and  $k$

| Powder                   | $A$   | $n$    | $k$    |
|--------------------------|-------|--------|--------|
| ① Gypsum                 | 1.206 | 0.0579 | 0.0802 |
| ② $\text{CaCO}_3$ -BF300 | 1.004 | 0.0308 | 0.0677 |
| ③ Fly Ash                | 1.146 | 0.0378 | 0.0555 |
| ④ Flour                  | 1.153 | 0.0149 | 0.0284 |
| ⑤ Carbon                 | 1.081 | 0.0188 | 0.0214 |

## 6. 結 言

- (1) 粉体の流動性と充填特性は密接な関係にあり、タッピングによる充填においても同じことが言える。
- (2) 粉体をタッピング圧縮する場合、その変化の状態により粉体は二つの型に分けられる。
- (3) タッピングにおいて流動性の良い粉体は、圧密化の初期 ( $\omega T < 60$ ) に殆んど圧縮され、その後は $\omega$ ,  $H$ に余り左右されないでほぼ一定値となる。
- (4) 流動性の悪い粉体は、圧密化の初期 ( $\omega T < 60$ ) において大部分圧縮されるが、この場合圧密の度合いは $\omega$ ,  $H$ により異なり、その後も $\omega$ ,  $H$ の変化に伴い徐々に変化する。
- (5)  $\omega$ ,  $H$ を変化させた時のタッピング圧縮式を $\rho_0$ ,  $\omega T$ ,  $H$ の関数で表わすことができ、実験値と計算値は良い一致を示した。

## 参 考 文 献

- 1) R. L. Carr: Chem. Engineering 72. [2] 163 (1965)
- 2) 三輪, 清水: 粉砕 [16] 103 (1971)
- 3) 川北, 池田: 粉砕 [19] 112 (1974)
- 4) 川北, 津々見: 法政大学工学部研究集報 [3] 43 (1966)
- 5) 大塚, 砂田, 塩上: 材料 18, 189 June (1969)

# 温度勾配下における湿った粒子層内の 水分移動現象に関する一考察

倉前 正志\*

Masashi Kuramae\*

## 著者摘録

希薄 NaCl 水溶液で湿らせた粒子層を密閉して垂直に保ち、高さ方向に温度勾配を与えた場合における定常状態での層内水分分布、NaCl 濃度分布を測定した。実験で得られた層内水分分布の特徴を液状水に作用する毛管力、重力および空隙内気圧差の効果などを考慮することにより定性的に説明できることを示した。また、NaCl 濃度分布のデータから温度勾配下における湿った粒子層内の水蒸気移動速度を求めたところ、水蒸気移動補正係数  $\beta$  が過大な値をとることが見出された。我々はこのことの原因が水蒸気移動の起動力となる空隙気相の温度勾配と層全体のみかけの温度勾配とのちがいがあると考え、簡単な伝熱モデルに基づいて検討を加えた。その結果、 $\beta$  の物理的意味について、それが従来一般に考えられてきたような、空隙構造のみによって決まる 1 より小さい定数ではなく、それが構成物質の熱伝導度、含液率、温度などに依存する可能性のあることを示した。また、この点は簡単な実験により一部確認された。

## 1. 緒言

粉粒体層や土壌のような多孔質系において、その中に含まれている水分や熱が移動するという現象が自然界や工業界においてしばしば見受けられる。とりわけ、乾燥とよばれている現象がその典型である。すなわち、多孔質物質の乾燥過程においては、材料の内部での熱の移動、液状水分の移動、水蒸気移動、蒸発、凝縮などの現象が材料の性状や外界条件などに応じて相互に複雑に影響されながら起こっていると考えられる。

このような、多孔質物質の内部で起こる熱物質同時移動現象を定量的に記述し、その微分方程式を種々の条件の下に解くことにより、実際の現象を統一的に把握しようとする試みがしばしば行なわれてきた。たとえば、Luikov ら<sup>12)</sup> はこのようなシステムに不可逆過程の熱力学に基づく手法を適用し、より一般的な立場から論じている。

これらの取扱いにおいては、多孔質物質内の個々の移動現象は均質物質の移動現象一般におけるが如く、次のような形式で記述されている。

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j \quad (1)$$

$J_i$  : 移動フラックス  
 $L_{ij}$  : 現象論的係数  
 $X_j$  : 起動力 (ポテンシャル勾配)

ここにおいて、 $L_{ij}$  は一般に既知なものとして扱われたり、あるいは簡単のために一定と仮定して解析される場合が多い。しかし、実際に粒子層のような多孔質物質では、水分拡散係数<sup>22)</sup> や有効熱伝導度<sup>24)</sup> に関する精度ある実験事実から明らかな如く、 $L_{ij}$  に相当する移動物性値が構成物質の種類や空隙率によって異なるのみならず、含水率や温度の変化に伴って特徴的な変化を示すところにその本質があると思われる。

一般に多孔質物質の内部で起こる移動現象は固体の内部構造の形態的特性の影響を直接受けることが予想される。また、液体および気体の熱力学的物性値は通常温度の関数である。多孔質物質内の移動物性値が、いわゆる均質物質の物性値とは異なった特徴的な挙動を示すという事実はこれらの事情を素直に反映したものを見ることができよう。

湿った多孔質物質に温度勾配を与えた場合に誘起される水分の挙動については、土壌学等の分野において多くの研究<sup>1)~4)11)18)20)21)28)</sup> が見られるし、また乾燥機構の研究等において、移動物性値の挙動について論

\* 北海道大学 工学部 衛生工学科  
 (〒060 札幌市北13条西8丁目)  
 Tel. (011) 711-2111 (内) 6283

じた例もいくつか見られる。しかし、その物理的意味等に関しては依然として不明確な点が多く、更なる検討が必要であるように思われる。

我々は、これまで粒子層の乾燥における恒温下での移動物性値の挙動についていくつか検討してきたが<sup>(6)~(8)</sup>、本報では特に温度勾配下における湿った多孔質物質内の水分移動に関する物性値の挙動について理論と実験により新しい角度から検討を加えたので報告する。

## 2. 温度勾配下における湿った粒子層内の水分分布に関する実験的検討

我々は、まず温度勾配によって誘起された水分の挙動を調べる目的で次のような実験を行なった<sup>(10)</sup>。

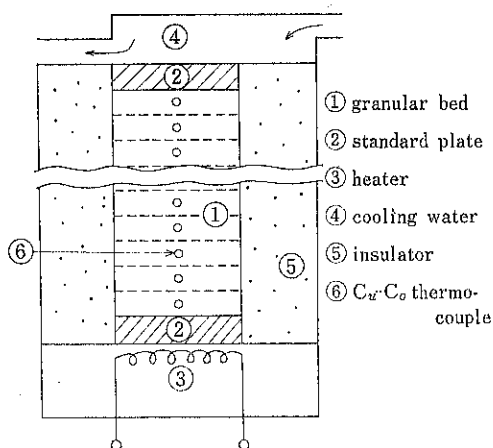


Fig. 1 Experimental Apparatus

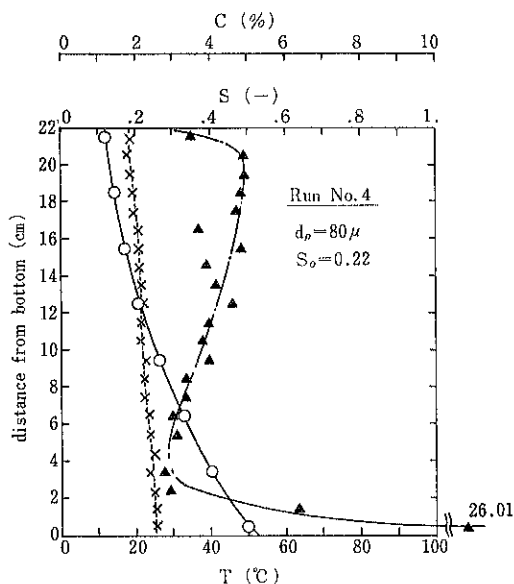


Fig. 2 Experimental results

実験装置の概要は Fig. 1 に示す。①は内径50mm、高さ10mm、厚さ2mmの亚克力製のリングを22ヶ積み重ねたもので、その中に希薄食塩水溶液(約3%)で所定の含水率に湿らせた粒度をそろえたガラス球粒子を層空隙率が一定(約38%)となるようにできるだけ均一に

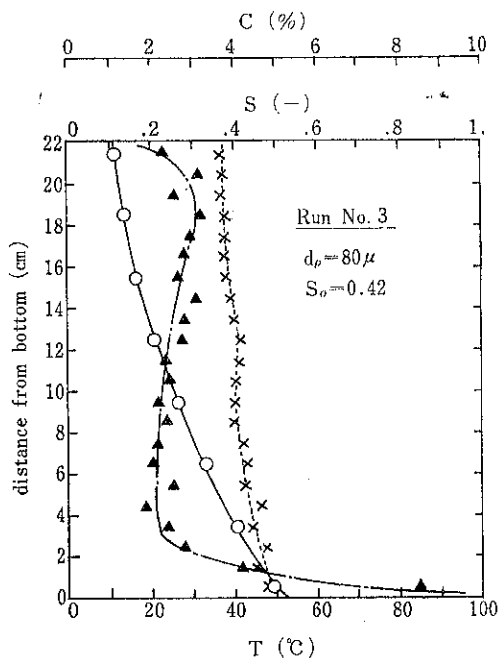


Fig. 3 Experimental results

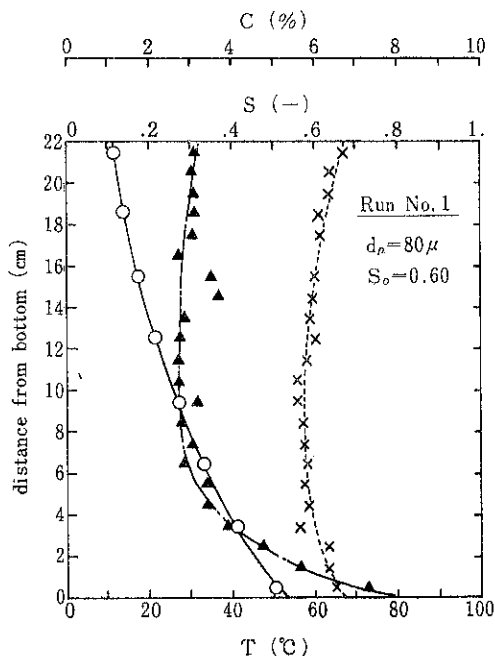


Fig. 4 Experimental results

充填し、両端をベークライト標準板②でおさえ、周囲をテープで巻いて水分が逃げないように密閉した。こうして粒子層を垂直に保持して下部を加熱器④で約 50°C の一定温度に加熱し、また上部は水道水④を循環させて定温 (約 12°C) に保った。さらに、側面からの熱損失を

防ぐために周囲を保温材⑤で囲った。粒子層の温度測定には一定間隔毎にリングに取りつけられた 0.3mmφ の銅・コンスタンタン熱電対の起電力測定により求めた。実験開始後90時間経って、層内の温度分布および水分分布が十分定常に達したと思われる時点で粒子層を各リン

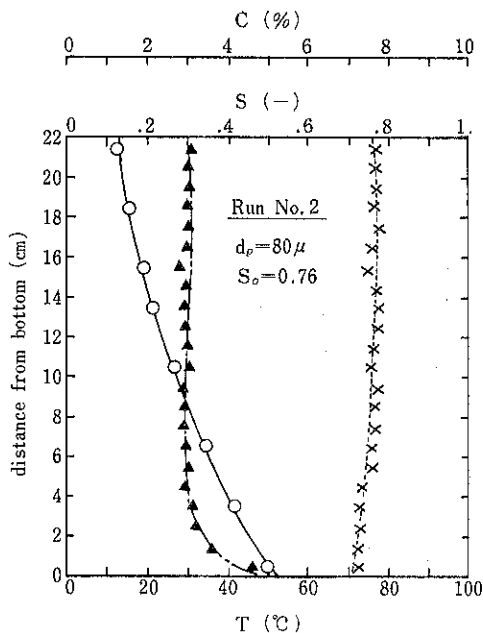


Fig. 5 Experimental results

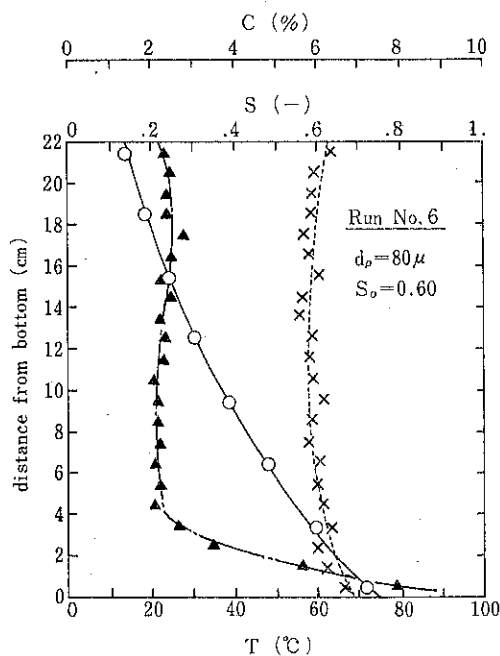


Fig. 7 Experimental results

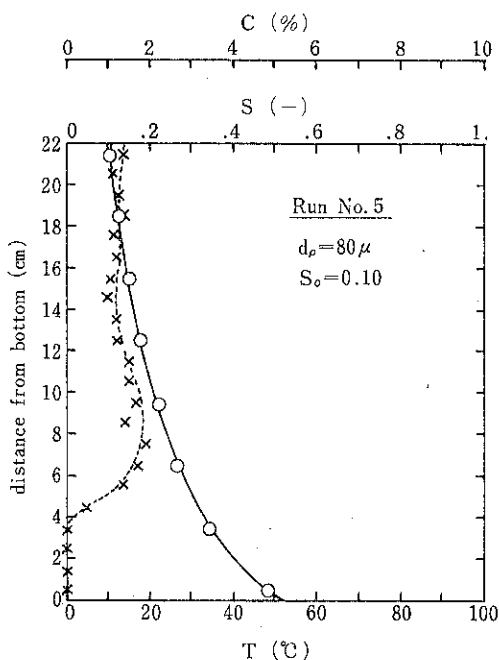


Fig. 6 Experimental results

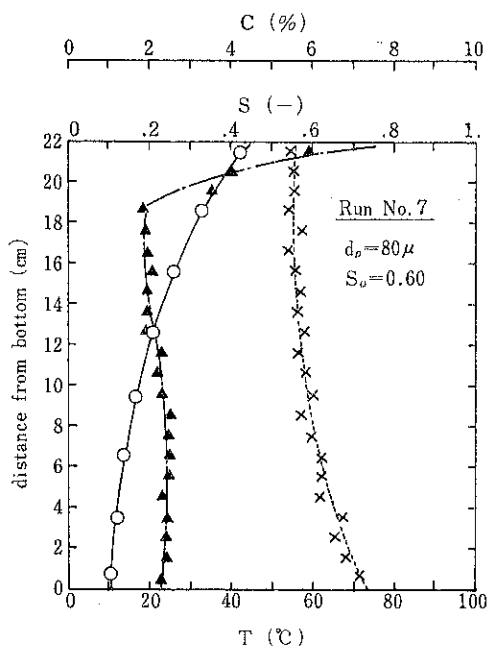


Fig. 8 Experimental results

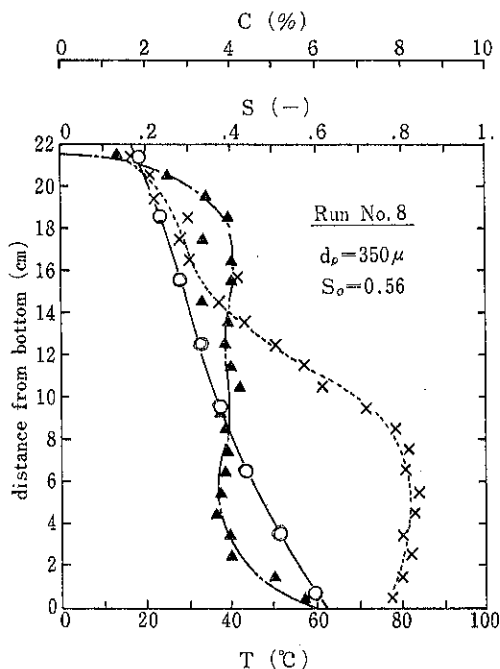


Fig. 9 Experimental results

グ毎に切斷し、絶乾法により含水率を測定した。また、含水率測定後の粒子を一定量 (60cc) の蒸留水で希釈し、電気伝導度測定により食塩濃度を求めた。

実験結果は Figs. 2~9 に示してある。図中○印は層内温度分布、×印は水分分布、▲印は NaCl 濃度分布を表わしている。なお、含水率は液飽和度で、NaCl 濃度は飽和濃度の % で表わした。

Figs. 2~6 は他の条件は同一で平均含水率だけが異なる場合である。ここで、Figs. 2~5 を比較してみると平均含水率のちがいによる水分分布のちがいがわかる。すなわち Figs. 2~3 の低含水率の実験では高温側 (下部) が高含水率となっているのに対し、Fig. 5 の高含水率の場合は逆に低温側 (上部) の方が含水率が高い。また、これらの中間の含水率である Fig. 4 では層中央部に含水率の極小値が現われている。ここで、温度勾配の存在によって層内に含水率勾配を形成させる要因について考えてみると、(1)毛管ポテンシャル (表面張力) の温度によるちがい、(2)重力ポテンシャル差、(3)液状水の流動抵抗によるもののほかに、次のような空隙内の気圧差の効果が考えられる。つまり、一般に任意含水率にあっては一部の空隙は互いにつながっており、残りの一部は液で隔離された気泡状で存在していると考えられる。そして、そのようなシステムに温度勾配が存在すると、前者の気圧は一定であるが後者の気圧は温度により異なる<sup>10)</sup>。この効果を(4)とする。ここでは詳細な解

析は別報<sup>10)</sup> にゆづることにするが、要するにこれらの実験事実は次のようにして説明されよう。すなわち、まず(1)~(4)の効果の大小関係について調べてみると、本実験条件下では一般に(4)>(2)>(1)>(3)であり、またその方向は(1)、(3)、(4)と(2)とは逆である。すなわち、(3)の効果のみが粒子層の下部の含水率を高める働きをする。したがって低含水率で空隙がほとんどつながっている場合には重力の影響により下部が含水率が高くなるが、含水率が増してきて気泡状の空隙の割合が増すにしたがい、空隙内の気圧差の効果がしだいにまさってきて含水率勾配が逆転するものと推察されるのである。Fig. 9 は平均粒径約 350 μ のより粒のあらい粒子を使用した場合の結果であるが、Fig. 4 と比較して全体的に高さ方向の水分分布が顕著であることおよび含水率勾配の逆転が起こる含水率の値はより高くなっているところにその特徴があることがわかる。これらはいずれも粒径が増すと毛管ポテンシャルが減少し先程の(1)の効果は弱まることによると思われる。また Fig. 8 は温度勾配を逆にした場合、すなわち上部を加熱した場合の結果であるが、この場合は重力の効果と他の効果とが同一方向に重なり合った結果、Fig. 4 の場合に比べて含水率勾配が急激になっていることがわかる。Fig. 6 は極低含水率の結果であり高温側に乾燥帯が生じているが、これは大谷らの実験<sup>27)</sup> でも見られる如く、いわゆる pendular 状態に相当する含水率 (約 10% 程度) 以下になれば液体間のつながりが切れ、液状水の逆流が不可能となった結果であると考えられる。

### 3. 水蒸気移動速度について

湿った粒子層に温度勾配が存在すると水蒸気分圧の差により高温側から低温側へ水蒸気が拡散移動するが、本実験のような密閉粒子系にあっては定常状態では水蒸気移動量と等量の水が逆方向に液状で移動することになる。したがって、液中に含まれている NaCl は液状水とともに高温側へ移動し蓄積される。こうして層内に NaCl の濃度勾配が形成されると、低温側へ NaCl の逆拡散が生じる。

ここでは、先の実験で得られた NaCl の濃度分布のデータから水蒸気移動速度を求める方法を考えてみる。つまり、水分が液状で移動する場合にのみ NaCl もともに移動すると考え、水分分布  $S(x)$  が定常状態にあると仮定すれば、物質収支より非定常 NaCl 濃度分布  $C(x)$  を与える次の微分方程式が導かれる。

$$S \frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} (ucs) + \frac{d}{dx} \left( \frac{D_s}{\varepsilon} \frac{dC}{dx} \right) \quad (2)$$

ここで右辺第二項は NaCl の逆拡散の効果による項で

あり、 $D_v$  は NaCl の液相内拡散係数、 $\epsilon$  は層の空隙率、 $u(x)$  は液状水移動速度である。初期および境界条件として

$$t = 0 \quad \text{のとき} \quad C = C_0 \quad (3)$$

$$x = 0, L \quad \text{で} \quad dC/dx = 0 \quad (4)$$

が与えられる。ただし、 $C_0$  は NaCl の初濃度、 $L$  は層厚であり、本実験では 22cm である。本実験では測定時 ( $t = 90\text{hr}$ ) の NaCl 濃度分布および水分分布が得られているから、 $D_v$  が既知であれば式(2)~(4)を解いた結果の  $C(x)$  が測定値に一致するような  $u(x)$  を求めればよいことになる。Fig. 10 には探索法によって算出された  $u(x)$  の一例を示した。

さて、乾燥などの分野においては従来より水蒸気移動速度  $G_D$  は各点の温度に対する飽和水蒸気分圧  $P_s$  の勾配によるとして、Stefan の一方拡散の式を適用した次式によって論じられている場合が多い。

$$G_D = -\frac{\beta D_v \epsilon}{RT} (1-S) \frac{P}{P-P_s} \frac{dP_s}{dT} \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

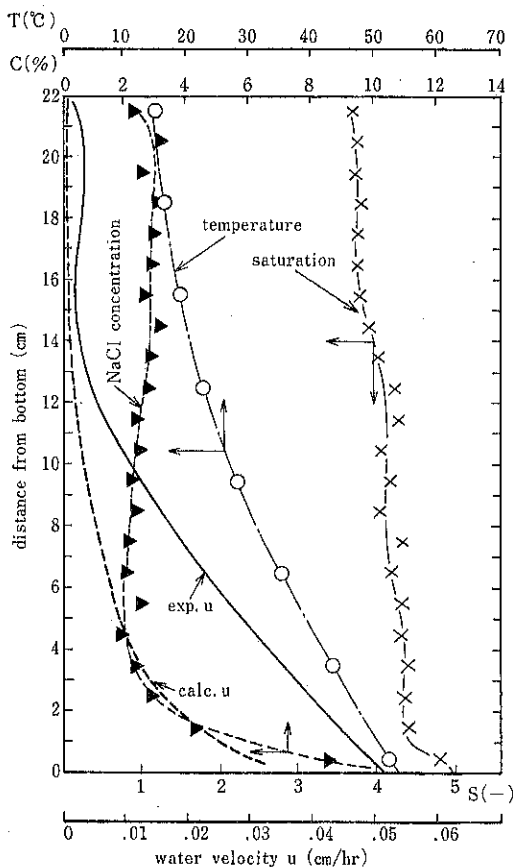


Fig.10 Relationship between calculated liquid velocity  $u$  and experimental one

$D_v$  は大気中における水蒸気拡散係数である。また  $\beta$  は粒子層空隙内を蒸気が拡散する場合の拡散係数に対する補正係数と考えられている。なお  $u$  と  $G_D$  とは次式で関係づけられる。

$$G_D = \rho_w u \epsilon S \quad (6)$$

Fig.10にはこれらの関係から  $\beta=1$  と仮定して算出された  $u$  の値の分布も同時に示してある。これより、 $u$  の実測値は  $\beta=1$  として得られた計算値よりもかなり大きいことがわかる。これを他の実験データについても求め、測定値から算出された  $\beta$  の値を整理したのが Fig.11 である。全般的にかなりのばらつきが見られるが、 $\beta$  が 1 よりかなり大きな値を示していることがわかる。 $\beta$  が粒子層空隙の屈曲などによる抵抗係数としての物理的意味をもつ補正係数であるならば 1 より小さな値をとるはずである。にもかかわらず、 $\beta$  がかくも大きくなる事実をいったいどのように解釈したらいいのであろうか。以下ではこのことについて更に具体的に検討してみることにする。

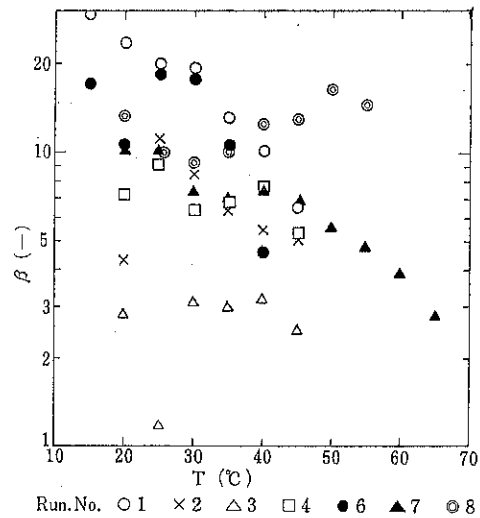


Fig.11 Relationship between temperature and corrective factor  $\beta$

#### 4. 伝熱モデルに基づく検討

温度勾配下における湿った物質内の水蒸気移動速度を量的に取り扱った研究は古く土壌学関係の文献にさかのぼる。たとえば、Bouyoncos<sup>1)</sup>は土壌層を 20°C、40°C と 0°C の領域に分け、8時間後に高測側から低測側へ移動した水分量を測定したところ、中間含水率付近でその値が最大になることを見出している。また、Gurrら<sup>3)</sup>および Hadley ら<sup>4)</sup>は我々と同様水に含ませた希薄塩類あるいは放射性物質をトレーサーとして用い、その

蓄積量から液状で移動したものと蒸気状で移動したものとを量的に区別しようとしている。さらに、この目的のために Taylor ら<sup>21)</sup> は層間に空気相の間隙を設けることにより液状水の移動を断絶しようとしているし、Rollins<sup>18)</sup> は層の両端を毛細管で連絡して液状水の逆流を妨げる工夫をしている。

それぞれの実験方法には一長一短があると思われるがこれらの結果に共通して言えることは、温度勾配下における多孔質物質内の水蒸気移動量が単純な物質拡散として見積もられる値よりも一般に過大となることである。Philip ら<sup>17)</sup> はこの事実について考察し、このことの原因が空隙気泡内の温度勾配と層全体のみかけの温度勾配の違いにあると推察している。我々も以下において、先の実験事実に対してこのような立場を支持しつつ、新しい観点に立って検討することにした<sup>9)</sup>。つまり、温度勾配下における空隙内の蒸気は蒸発・凝縮をくり返しながら気相部のみを移動するのであるから、式(5)の  $dT/dx$  は本来気相の温度勾配をとるべきであると考えられる。しかるに、式(5)の  $dT/dx$  は層全体のみかけの巨視的な温度勾配であるから、もし両者が異なるとすれば、空隙構造のみで決まる  $\beta$  とは異なった意味での別の補正係数を導入する必要があるのではないだろうか。

さて層全体のみかけの温度勾配と空隙気相の(平均)温度勾配とが具体的にどのように異なるかということは、次のような伝熱モデルを考えてみると理解しやすい。一般に湿った物質の有効熱伝導度は各々の構成物質の熱伝導度、形状や配列状態およびその割合などの影響を受けるが、固相・液相・気相の配列状態を単純化したモデルで表わすと、Fig.12(a), Fig.12(b) のような極端な配列が考えられ、一般には両者を組合わせた Fig.12(c) の状態で表わされる<sup>5)</sup>。

ここで空隙気相の温度勾配と層全体のみかけの温度勾配の関係について考えてみると、Fig.12(b) の並列モデルでは両者は等しいが、Fig.12(a) の直列モデルでは気相と固液相の熱伝導度が異なると両者は異なる。したがって、Fig.12(c) の組合わせモデルにおいても異なったものとなることがわかる。いま、実際の粒子層の構成が  $a$  なるパラメータを用いて Fig.12(c) のモデルで表わ

せると仮定すれば、粒子層の有効熱伝導度  $\lambda_e$  および温度勾配比  $\xi = [(\text{気相の温度勾配})/(\text{層全体のみかけの温度勾配})]$  は次式のようにになる。

$$\lambda_e = \frac{1}{\frac{a}{\lambda_{ep}} + \frac{(1-a)}{\lambda_{es}}} \quad (7)$$

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{ep}}{\lambda_{es}} \cdot \frac{(1-a)}{a}} + \frac{1}{\frac{a}{(1-a)} \cdot \frac{\lambda_3}{\lambda_{ep}} + \frac{\lambda_3}{\lambda_{es}}} \quad (8)$$

ここで、 $\lambda_{es}$  および  $\lambda_{ep}$  は各相の構成が Fig.12(a) および 12(b) のモデルで表わされる場合の有効熱伝導度で固・液・気相の熱伝導度をそれぞれ  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  とすれば

$$\lambda_{es} = \frac{1}{\left[ \frac{(1-\varepsilon)}{\lambda_1} + \frac{\varepsilon}{\lambda_2} + \frac{(1-S)}{\varepsilon \lambda_3} \right]} \quad (9)$$

$$\lambda_{ep} = (1-\varepsilon)\lambda_1 + S\varepsilon\lambda_2 + (1-S)\varepsilon\lambda_3 \quad (10)$$

である。また、式(7)および(8)から  $a$  を消去し、 $\xi$  を  $\lambda_e$  を用いて表わせば、

$$\xi = \frac{\left(1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{ep}}\right)}{\left(\frac{\lambda_{ep}}{\lambda_{es}} - 1\right)} + \frac{\left(1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{ep}}\right)}{\left(\frac{\lambda_3}{\lambda_{ep}} - \frac{\lambda_3}{\lambda_{es}}\right)} \quad (11)$$

となる。すなわち、温度勾配比  $\xi$  は各相の熱伝導度や構成比に関係することになる。また、 $\lambda_3$  は気体そのものの熱伝導度のほかに水蒸気移動にともなう輸送潜熱をも含めた等価の熱伝導度と考えるべきであるから温度により顕著に変わり、したがって  $\xi$  も温度によっても異なることが予想される。

## 5. 実験的検討

前節で導かれた理論的な関係を調べるために、我々は先に行った実験方法に対して改良を加え、湿った粒子層に温度勾配を与えた場合における水蒸気移動速度を測定しそれに及ぼす粒子層の含水率および温度の影響を調べた。実験装置は Fig.13 に示す如く、アクリル製リング①を4ヶ重ね、その中に先程と同様に希薄 NaCl 水溶液で所定の含水率に湿らせた粒子層を均一に充填し、両端をベークライト標準板②でおさえ、周囲をテープで巻い

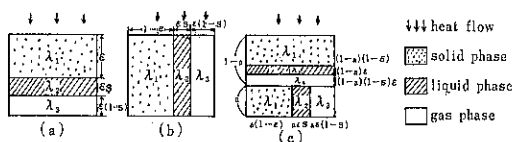


Fig.12 Models of conductive heat flow through porous material

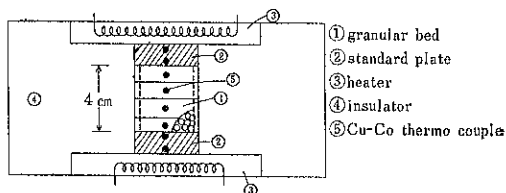


Fig.13 Experimental apparatus

て水分が逃げないように密閉した。こうして上下面をヒーター③で加熱しスライダックで調節して温度差を与え、粒子層が一定の温度分布に保たれるようにした。また、周囲を断熱材で囲って熱損失を極力防ぐようにした。層内の温度測定には各リングにとりつけられた0.3 mmφのCu-Co熱電対⑥を使用した。また②の標準板の一定間隔に熱電対を挿入し、試料層の有効熱伝導度を比較法により求められるようにした。実験開始から約2時間後に粒子層をリング毎に切断して絶乾法により含水率を求め、層全体の平均含水率を知るとともに高さ方向に顕著な含水率分布の存在しないことを確かめた。また含水率測定後の粒子を一定量の蒸留水で希釈し、電気伝導度測定によりNaCl濃度を求めた。

実験結果を整理したものをTable 1に掲げる。試料層の有効熱伝導度を算出するにあたり、ベークライト標準板の熱伝導度 $\lambda_n$ は別の装置により測定された結果に基づき、次のように与えた。

$$\lambda_n = 0.200 + 0.0003 T \quad (T[^\circ\text{C}]) \quad (12)$$

実験結果から式(8)の温度勾配比 $\xi$ を次のようにして求めた。 $P_0$ および $dP_0/dT$ は温度を指定すれば決まる。また水蒸気拡散係数 $D_v$ についてはKrischerの実験式<sup>5)</sup>

$$D_v = 0.234 \left( \frac{P_0}{P} \right) \left( \frac{T}{T_0} \right)^{2.3} \quad [\text{cm}^2/\text{sec}] \quad (13)$$

$(T_0 = 273.15^\circ\text{K})$

を適用した。さらに水蒸気移動速度 $G_{D_{\text{exp}}}$ はNaCl濃度分布のデータより、水分分布が均一で定常状態にあり、また水分が液状で移動する場合にのみNaClもともに移動するとし、かつNaClの液相内拡散が無視できる

と仮定すれば、次式で与えられる。

$$G_{D_{\text{exp}}} = \frac{e S \xi L}{2 \Delta t} \quad (14)$$

ここで $e$ は $\Delta t$ 時間に低温側から高温側へ移動したNaClの割合である。

これらの関係から、平均温度、含水率、空隙率、平均温度勾配が与えられていれば $\xi$ を算出することができる。これらの結果もTable 1に示してある。ただし、 $\beta$ は1/1.57と与えた。

実験で得られた $\xi$ と含水率との関係をFig.14に示した。同図には式(8)から $a=0$ として得られる $\xi$ の計算値も示してある。これより、 $\xi$ の実測値は計算値と比較して含水率による変化がはげしいことがわかる。

本実験では粒子層内で液状水移動と蒸気移動の共存す

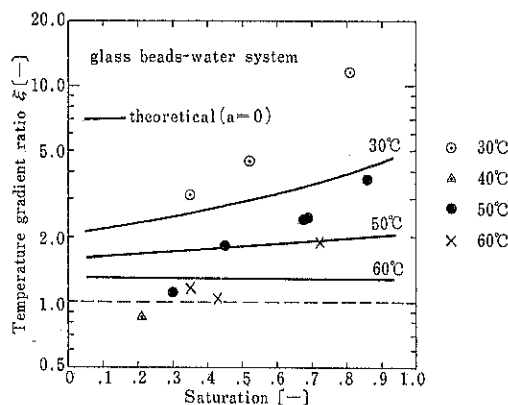


Fig.14 Correlation between calculated and experimental results

Table.1 Experimental data

| Run.No | particle    | liquid | porosity | average moisture content (kg/kg) | average temperature [°C] | average temperature gradient [°C/cm] | time (hr) | x (%) | $\xi$ | $\lambda_s$ {Kcal/hrm°C} |
|--------|-------------|--------|----------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------|-------|-------|--------------------------|
| 1      | glass beads | water  | 0.38     | 10.87                            | 53.3                     | 3.2                                  | 46        | 68.0  | 1.85  | 406                      |
| 2      | "           | "      | "        | 16.08                            | 53.0                     | 2.5                                  | 46        | 30.1  | 2.45  | 441                      |
| 3      | "           | "      | "        | 20.66                            | 50.0                     | 2.4                                  | 46        | 12.1  | 3.78  | 468                      |
| 4      | "           | "      | "        | 10.51                            | 60.7                     | 3.4                                  | 46        | 67.0  | 1.03  | 406                      |
| 5      | "           | "      | "        | 17.35                            | 59.0                     | 2.9                                  | 46        | 29.3  | 1.93  | 522                      |
| 6      | "           | "      | "        | 5.00                             | 40.4                     | 2.4                                  | 46        | 58.1  | 0.86  | 336                      |
| 7      | "           | "      | "        | 12.42                            | 30.5                     | 1.3                                  | 46        | 15.3  | 4.54  | 431                      |
| 8      | "           | "      | "        | 19.44                            | 30.3                     | 1.3                                  | 46        | 10.0  | 11.79 | 430                      |
| 9      | "           | "      | "        | 8.32                             | 30.8                     | 1.5                                  | 46        | 26.9  | 3.16  | 368                      |
| 10     | "           | "      | "        | 8.51                             | 59.9                     | 2.8                                  | 20        | 38.0  | 1.18  | 414                      |
| 11     | "           | "      | "        | 16.25                            | 52.3                     | 2.1                                  | 46        | 23.2  | 2.45  | 459                      |
| 12     | "           | "      | "        | 7.18                             | 53.2                     | 2.2                                  | 46        | 58.2  | 1.11  | 401                      |



るシステムにおいて、蒸気移動量のみを分離して測定するために NaCl 希薄水溶液を使用した、その精度に関しては問題がないとは言えないし、さらに、多孔質物質内で起こる複雑な熱物質移動現象を Fig. 12 (c) のような単純なモデルで表現することに相当な無理があることもまた事実であろう。これらの点を考慮すれば Fig. 14 の実測値と計算値の不一致もある程度はやむを得ないものとしなければならぬかも知れない。むしろ、全般的な傾向として、一般に  $\xi$  は 1 より大きく、温度が低いほど大きくなり、また含水率の増大とともに増加の傾向を示すという点で両者が一致していることに着眼すべきであ

ろう。

さて、Figs. 15~18 は構成物質および空隙率が異なる場合の  $\xi$  の変化の計算結果を示したものである。Figs. 16, 17 は熱伝導率の大きい鉄粒子の場合であるが、一般に  $\xi$  の値が過大になる様子がわかる。また、Figs. 16, 17 を比較すれば空隙率のちがいに  $\xi$  のちがいがわかる。

Fig. 18 は液体として物性の異なるエタノールを用いた場合であり、液体の熱伝導率のちがいに他に潜熱移動量の増加の効果が  $\xi$  の減少となって現われている。特に高温では気相の（等価）熱伝導度が固液相のそれよりも大

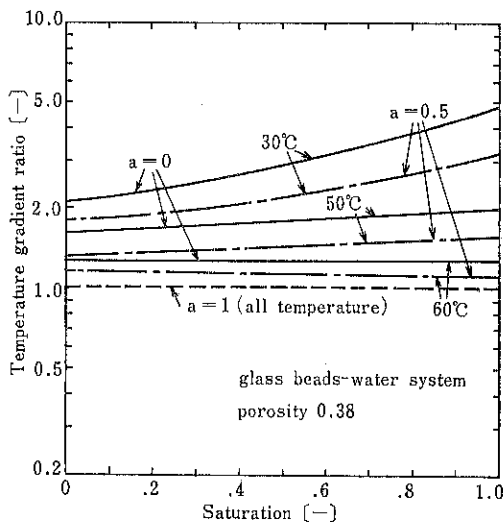


Fig. 15 Calculated results

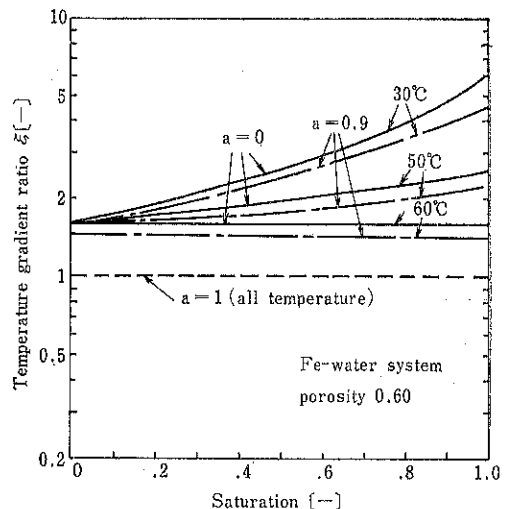


Fig. 17 Calculated results

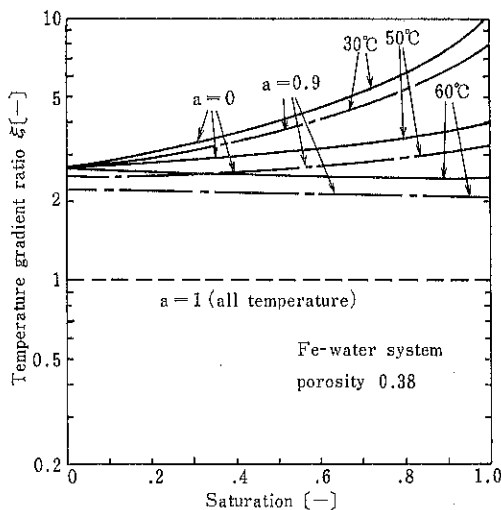


Fig. 16 Calculated results

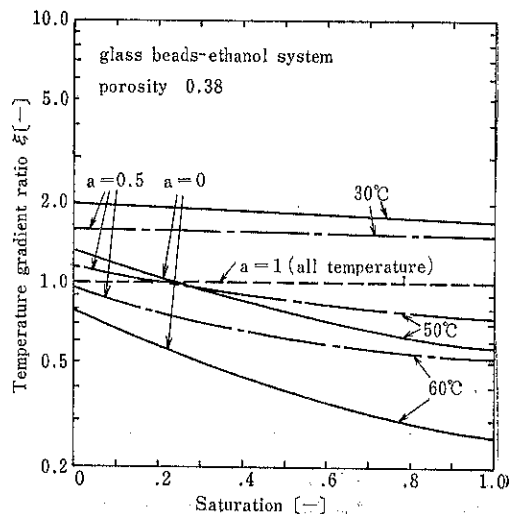


Fig. 18 Calculated results

きくなり、 $\xi$  が 1 より小さくなることもあるという点で興味深い。

Fig.19 は式(11)から有効熱伝導度  $\lambda_e$  の実測値 (Fig.20 に示す) をもとにして算出された  $\xi$  の値と実測値とを比較したものである。両者の相関はいま一步であるが、 $\lambda_e$  の測定精度が増せばさらに良い結果が期待できると思われる。

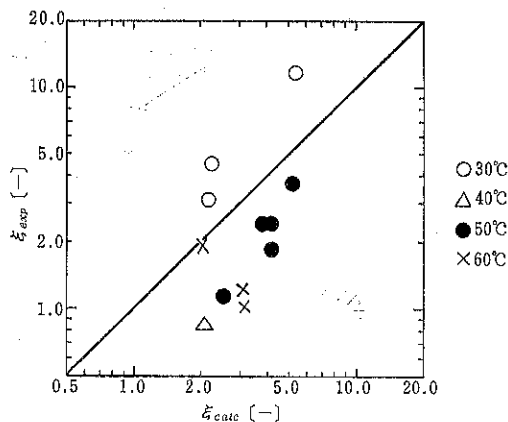


Fig.19 Comparison between  $\xi_{exp}$  and  $\xi_{calc}$

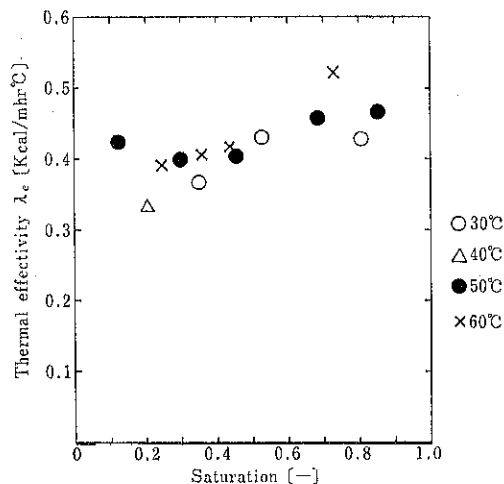


Fig.20 Experimental data of thermal effectivity

## 6. 結 言

温度勾配下における垂直に置かれた粒子層内の定常水分分布に関して言えば、その定性的な特徴は主として粒子層空隙構造の幾何学的特徴と流体の物性値の温度変化を考慮することによってほぼ説明できることを明らかに

した。このような現象を更に定量的に解析するためには多孔質物質内の移動物性値に関する詳細な知見が必要となるであろう。なお、粒子層の伝導加熱乾燥における層内水分分布の実験データで、比較的高含水率の場合に層底付近に含水率のピークが見られることがある<sup>19)</sup>が、これも本実験結果と同様な考え上によって説明できると思われる。

水蒸気移動補正係数に関しては、本論文での考え方に従えば、結局式(5)の  $\beta$  に相当するものが、従来より乾燥の分野などで一般に考えられてきた<sup>14)</sup> ような、粒子層の空隙構造のみで決まる常に 1 より小さい定数ではなく、本来構成物質の熱伝導度や含水率、温度などの影響を受けるものであるという結論がでてくる。また、このことを換言すれば、温度勾配下における多孔質物質内の物質（水蒸気）移動現象が熱移動現象とより密接な関連をもつ新たな物理的意義が与えられたことに他ならない。この点は簡単な実験により一部確認することができた。しかし、先にも述べたように、本実験の測定の精度についてはなお多くの問題があると言える。したがって、本報で得られた理論上の結論は更に精度の良い実験で再検討する必要があることは言うまでもない。

## 記 号

- a : パラメータ
- C : NaCl 濃度
- C<sub>0</sub> : NaCl の初濃度
- C(x) : 非定常 NaCl 濃度分布
- D<sub>s</sub> : NaCl 液相内拡散係数
- D<sub>v</sub> : (大気中における) 水蒸気拡散係数
- D<sub>p</sub> : 平均粒径
- e : NaCl 移動率
- G<sub>D</sub> : 水蒸気移動速度
- J<sub>i</sub> : 移動フラックス
- L : 層厚
- L<sub>ij</sub> : 現象論的係数
- P : 全圧
- P<sub>0</sub> : 0 °C における全圧
- P<sub>s</sub> : 飽和蒸気圧
- R : 気体定数
- S : 液飽和度
- S(x) : 水分分布
- T : 絶対温度
- T<sub>0</sub> : 0 °C の絶対温度
- t : 時間
- u : 液状水移動速度
- u(x) : 液状水移動速度

$X_j$  : 起動力  
 $x$  : 距離  
 $\beta$  : 水蒸気移動補正係数  
 $\epsilon$  : 空隙率  
 $\lambda$  : 熱伝導度  
 $\lambda_e$  : 有効熱伝導度  
 $\lambda_{es}$  : Fig.12 のモデルで表わされる場合の有効熱伝導度  
 $\lambda_{ep}$  : Fig.13 のモデルで表わされる場合の有効熱伝導度  
 $\xi$  : 温度勾配比  
 $\rho_w$  : 液の密度  
 $\lambda_1, \lambda_2, \gamma_3$  : 固, 液, 気相の熱伝導度  
 $\lambda_n$  : ベークライト標準板の熱伝導度

#### 引用文献

- 1) Bonyoncos, G. J. : J. Agric. Res., **5**, 141 (1915).
- 2) Cary, J. W. : Soil Sci., **100**, 168 (1965).
- 3) Gurr, C. G., T. J. Marshall and J. T. Hutton : Soil Sci., **74**, 335 (1952).
- 4) Hadley, W. A and R. Eisenstadt : Trans. AGU., **36**, 4 (1955).
- 5) Krischer, O and H. Esdorn : VDI-Forsch., **22**, 1 (1956),
- 6) 倉前, 田中 : 化学工学論文集, **1**, 389 (1975).
- 7) 倉前, 吉岡, 田中 : 粉体工学研究会誌, **13**, 328 (1976).

- 8) 倉前 : 化学工学論文集, **4**, 87 (1978).
- 9) 倉前 : 第18回乾燥研究会資料 (1977).
- 10) 倉前, 田中 : Chem. Eng. Sci., 投稿中
- 11) Kuzmak, J. M. and P. J. Sereda : Soil Sci., **84**, 291, 419 (1957).
- 12) Luikov, A. V : Int. J. Heat Mass Transfer., **18**, 1 (1975).
- 13) Matthers, R. K and H. D. Bower : Trans. ASAE.,
- 14) 大谷, 岡崎 : 化学工学, **36**, 118 (1972).
- 15) 大谷, 鈴木, 前田 : 化学工学, **27**, 642 (1964).
- 16) 大谷, 鈴木, 前田 : 化学工学, **30**, 1130 (1966).
- 17) Philip, J. R. and D. A. de Vries : Trans. Amer. Geophys. Uni., **38**, 222 (1957)
- 18) Rollins, R. L., M. G. Spangler and D. Kirkham : Highway. Res. Board. Proc. **33**, 492 (1954).
- 19) 関, 福迫, 近江谷 : 第13回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 199 (1976).
- 20) Smith, W. O : Trans. Amer. Geophys. Uni., **24**, 511 (1943).
- 21) Taylor, S. A. and L. Cavazza : Soil Sci. Soc. Amer., **18**, 351 (1954),
- 22) 若林 : 化学工学, **28**, 33 (1964).
- 23) Woodside, W and J. M. Kuzmak : Trans. Amer. Geoph. Uni., **39**, 4 (1958).
- 24) 山川, 佐々木, 岡田, 大谷 : 化学工学, **36**, 1342 (1972).

### 特許一言メモ

#### 弁理士に依頼しない特許出願

弁理士に依頼しないで, すなわち発明者自身か, 企業内の特許担当者が自分で明細書, 添付図面などを作成して特許出願する場合について考えてみる。

自社の手によって特許出願できる, ということはそれをしたくともできない企業, 個人から見れば大変にうらやましいに違いない, というのは弁理士は特許法とその運用に関しては専門家であるが, まわりから依頼される個々の発明技術について, どんなものにも専門家といえないのが普通である。その点, その企業の者であればその道の専門家であるはずであり, また, そうでないとしても理解は正確ではやいはずであり, 新しく生まれた発明に対し自在に発展させ得るアプローチを加え, さらに強力な権利になるよう発明者らとほとんど対等の立場でその発明を補強することもできるはずである。依頼する

弁理士の得意とするものと, さきの発明技術の内容がうまくマッチした場合は非常にうまく行く場合もあるはずであり, 企業によって依頼する弁理士もある程度決まっているのもそのためだろうと思われる。

ただ経済的見地からいうと企業内の人員は直接, 間接に費用がかかりすぎるご時勢だから, これらにはさきへのべた意味も加えた企業内特許管理を徹底してやらせることにし, そうして生れた特許出願はその都度弁理士先生がたに依頼するのが最もうまいやり方だと思う。勿論, こうしたやり方が効を奏するためにも企業特許管理の担当者は自分で明細書をかき, 添付図面を作成し, あるいは意見書から審判侵害事件にまで手をのばせるだけの特許法, その他関連法に対する充分な理解, 精通をしておくことがなにより肝要であり, これからもなお一層激しくなる, いわゆる特許戦争に対して当然すぎる“備え”であるといえる。(M. N)

## 閉回路粉碎システムにおける実質的処理量推算法

### A Simple Method for the Estimation of the Actual Performance of a Closed-circuit Grinding System

佐藤 光彦\* 横山 豊和\*\*

Mitsuhiko Sato Toyokazu Yokoyama

#### Abstract

The closed-circuit grinding with a mill and a classifier is often very useful for the economical comminution to achieve the desired particle size-distribution of products.

A simple method for the estimation of the actual performance of such a system is discussed on the base of batch tests with a open system.

Instead of continuous tests which must be best for the design of the closed-circuit system but need a lot of material and time, two batch tests with raw material and coarse product from the first grinding and separation could give some useful informations about the relations of quantities between the new material and the allowed input to the mill that depends on the size of the mill, degree of being ground of material and other requirements, considering the coarse part taken away from the whole system.

#### §1. 概 要

要求される製品粒度を満たすための経済的な粉碎には、その粉碎品を分級してそこから得られる粗粉のみを再び粉碎機に戻し、新原料と共に再粉碎するという粉碎一分級閉回路システムが有効な場合が多い。

そういうプロセスの立案をする際の1つの目安としてここでは粉碎機一分級機を直結した閉回路回分テストを原料と、そこから得られる粗粉とについて1度ずつ行なってその結果よりシステム全体の実質的処理能力を簡単に推算する一方法について考察した。すなわち粉碎機内の粉体の通過量を、その機種と原料の被粉碎性とに応じたある制限値(測定可能)に保った場合、その際に循環される粗粉量を考慮して、そのシステムには新原料をどれだけ投入することができるか、またある量の粗粉を定

常的にそのシステムから除去した場合にそれらの間の関係がどのようになるかについて簡単に検討した。

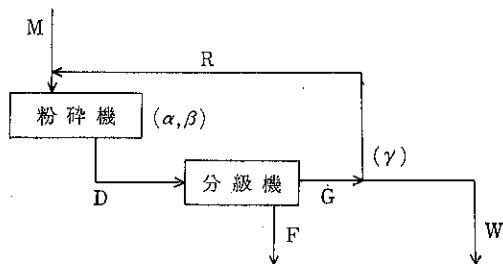
#### §2. 閉回路粉碎システムの設定と仮定

Fig.1 は一定量の粗粉を系外に除去することを考慮した場合の閉回路粉碎システムのモデル図を示し、以下の考察においては次のような仮定をする。

- 1) 分級機における微粗粉の分級は理想的なものとする。
- 2) 原料は要求されている製品粒度  $P_0$  [ $\mu$ ] よりすべて粗いと見え、その新原料がミル内を1回通過して粉碎された後の粉碎品中には  $P_0\mu$  以上の粗粉が  $\alpha$  [-] 残っているとする。
- 3) 分級されミルに戻される粗粉〔仮定1〕よりすべて  $P_0\mu$  以上〕は次の粉碎直後なお  $P_0\mu$  以上の粒子を  $\beta$  [-] 含んでいるとする。しかもこの  $\beta$  の値は粉碎の繰り返しにより変化しないものとする。
- 4)  $\alpha$  と  $\beta$  の値は、ミル内の新原料と循環粗粉の量の比によらずそれぞれ独立しているとする。

\* HOSOKAWA EUROPE LTD. German Office  
(Rösrather Strasse 267, D 5000 Köln 91 (RATH)  
West Germany)

\*\*現在 HOSOKAWA EUROPE LTD. U. K. Office



M: 新原料投入量  
D: 粉砕機内粉体通過量  
F: 微粉製品量  
G: 分級機から出る粗粉量  
W: システムから除去される粗粉量  
R: 粉砕機に戻される粗粉量

Fig. 1 閉回路粉砕システム

5) 分級機から出る粗粉量Gのうち  $r$  [-] が再びミルに戻され  $(1-r)$  がシステムより除去されるものとする。すなわち  $r=R/G$

6) ミル内の粉体通過量Dは一定とする。

このようにして、ここで定義された  $\alpha, \beta, r$  はそれぞれ

$\alpha$ : 原料の粉砕されにくさを表すパラメーター

$\beta$ : 循環粗粉の粉砕されにくさを表すパラメーター

$r$ : 粗粉の循環比

と考えることができる。

### § 3. 計算の手順

以上の設定によりこの粉砕一分級直結システムで、新原料のみから始めて、次にそれより生じる粗粉を再び新原料と混ぜて粉砕一分級するという回分テストを  $n$  回繰り返した時に得られるそれぞれの量の関係は以下のようにして計算される。なおここではミル内の粉体通過量Dを基準とし各量をそれに対する比で計算することにしてそれらを各量の小文字で表わすことにする。

このようにして第  $n$  段階の粉砕一分級テストでは、粉砕機に再循環すべき粗粉量  $r_n$  は一般に次式のようになる。

$$r_n = r \{ \alpha (1 - r_{n-1}) + \beta r_{n-1} \} = (\beta r - \alpha r) r_{n-1} + \alpha r \quad (1)$$

ただし

$$r_1 = \alpha r (1 - \alpha r + \beta r) \quad (2)$$

ここでそれぞれの量の間には、物質収支より次の関係がある。

第  $n$  段階目に投入されるべき新原料:

$$m_n = 1 - r_{n-1} \quad (3)$$

第  $n$  段階目にシステムより除去されるべき粗粉:

$$w_n = \frac{1-r}{r} r_n \quad (4)$$

第  $n$  段階目に得られる微粉製品:

$$f_n = (1 - r_{n-1})(1 - \alpha) + r_{n-1}(1 - \beta) = (\alpha - \beta) r_{n-1} + (1 - \alpha) \quad (5)$$

次にこの過程が無限回繰り返されて定常状態になった場合を考えるために各々の極限值を求める。

まず(1)式は恒等式の性質により次のように書ける。

$$r_n - \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} = r(\beta - \alpha) \left\{ r_{n-1} - \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} \right\} \quad (6)$$

ここで

$$s_n \equiv r_n - \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} \quad (7)$$

とおくと級数  $s_n$  は

$$s_1 = r_1 - \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} = -\frac{\alpha r^3(\alpha - \beta)^2}{1 + \alpha r - \beta r} \quad (8)$$

を初項とし、

$$\frac{s_n}{s_{n-1}} = r(\beta - \alpha) \quad (9)$$

を項比とする等比級数となりその一般項は次式で表わされる。

$$s_n = -\frac{\alpha r^3(\alpha - \beta)^2}{1 + \alpha r - \beta r} \{ r(\beta - \alpha) \}^{n-1} \quad (10)$$

ここで新原料、粗粉の粉砕性から考えて  $0 < \alpha < \beta < 1$  でありかつ  $0 < r < 1$  であるから  $0 < r(\beta - \alpha) < 1$  となり、従って、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} s_n = -\frac{\alpha r^3(\alpha - \beta)^2}{1 + \alpha r - \beta r} \lim_{n \rightarrow \infty} \{ r(\beta - \alpha) \}^{n-1} = 0$$

となる。これより(7)式から循環粗粉量の定常値  $r$  は

$$r = \lim_{n \rightarrow \infty} r_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( s_n + \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} \right) = \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} \quad (11)$$

また(3)(4)(5)および(11)式より定常状態では

投入されるべき新原料は

$$m = \lim_{n \rightarrow \infty} (1 - r_{n-1}) = \frac{1 - \beta r}{1 + \alpha r - \beta r} \quad (12)$$

システムより除去される粗粉は

$$w = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1-r}{r} r_n = \frac{\alpha(1-r)}{1 + \alpha r - \beta r} \quad (13)$$

得られる微粉製品は

$$f = m - w = \frac{1 - \alpha + r(\alpha - \beta)}{1 + \alpha r - \beta r} \quad (14)$$

によって与えられる。

#### § 4. 計算例及び考察

ここで1つのテスト例を用いて計算の一法を示すと次のようになる。ある雲母原料のスーパーミクロンミル M52NC (小, 中リング使用) とミクロンセパレーター MS-1 (ローター回転数 2300r.p.m, 風量  $10^3/\text{min}$ ) を直結した粉碎一分級システムによる回分テストで Table 1 のような結果が得られた。

Table 1 粉碎一分級閉回路での回分テストのデータ一例

| テスト番号<br>供給物        |     | テスト 1 | テスト 2 |
|---------------------|-----|-------|-------|
| 収 率                 | 微 粉 | 69.8% | 36.7% |
|                     | 粗 粉 | 30.2% | 63.3% |
| 粒 度<br>( $>40\mu$ ) | 微 粉 | 4.0%  | 1.7%  |
|                     | 粗 粉 | 48.2% | 36.0% |
|                     | 粉碎品 | 17.4% | 23.4% |

新原料は最大で10mm程度の薄板状鉱物で、その回分テストによって得られた約30%の粗粉のみをテスト2において同条件で粉碎一分級した。Table 1中の粉碎品の粒度は、分級品の微粗粉の収率と粒度より計算により求められた値である。これによってもわかる様に粗粉は新原料よりかなり粉碎されにくくなっている。これは原料中の粉碎されにくい異質物が粗粉として残り徐々に増加することや、粉碎の際の熱・圧力の影響で粉体の物理的性質が変化したり、もしくは前回の粉碎によって粉体の表面が平滑化されて粉碎されにくくなったりすることによると考えられる。あるいは粉碎されずに通過した粉体はそれ自体ミル内のデッドゾーンを通過しやすい傾向があるとも思われる。またこの2つのテストは同条件でありながら供給粉体の性質の差によると思われるが、その粒度からわかるように分級点が多少ずれている。

このテスト1の結果の微粉粒度  $4.0\mu > 40\mu$  が要求にみあうものとすれば、まず計算の目安として、先に定義した  $\alpha$  の値としてテスト1の粗粉収率 (約30%) をとることができる。このようにすれば仮定1) に反する分級精度の現実性も考慮した推定ができる。

次に粗粉の粉碎されにくさを示す  $\beta$  の値はこの閉回路システムを評価する上で重要なポイントとなる値で、一般に原料と特に粗粉の粒度、収率より慎重に設定すべき

であり、本来は仮定3) の条件に反して粉碎の繰り返し回数と共に粗粉は次第に粉碎されにくくなり、 $\beta$  の値はだんだんと大きくなり原料によっては1に近づくであろう。そこで推定の際にはその変化の範囲がわかればその中間的な値を計算に使用できる。すなわち  $\beta$  の最小値は第1回目の粗粉粉碎 (ここではテスト2) の結果より、そしてその最大値は粗粉循環率  $r$  とのかね合いで判定すべきであろう。というのは、実際問題としては粉碎がある程度困難になる粗粉分は異質物として系外に取り出すべきであるが、その量 (1-r) はテストにおける粉碎状態よりおよそ推察でき、それと共に  $\beta$  の漸近値も実際的には1より小さいある値に仮定できるからである。

そこでここではテスト2の粗粉の粒度 (63.3%) をベースにし、その原料及び粉碎品の粒度を考慮してシステムの概要をつかむために  $\beta$  の0.65から0.5までのいくつかの値をとって計算することにした。また本テストではスーパーミクロンミルよりノズル品を取り除かなかったが、多少滞留物の残存するのが認められたので、ここでは  $r$  の値として1.0~0.9の数点、すなわち粗粉の0~10%を系外へ取り除くと考えて推算することにした。

なお実際のシステムでは系外に取り除く異質物はミルより直接に除外されており、そこですでに別の分級原理によって粗粉の選別が行なわれている訳で、詳しくみるとその分級性を評価しなければならないが、ここで考えられているモデルでは立案の際に性能については安全側に評価することになり異質物が多くない場合には問題にならないと思われる。

以上のような設定の下に投入されるべき新原料  $m$  を(2)式より求めその変化の様子を示したのが Fig. 2 である。これによって、例えば本件ではテスト1、2 共ほぼ1 ton/hr の処理量が得られたので

- 1) 粉碎機の処理能力  $D=1000\text{kg/hr}$
- 2) 粗粉難砕度  $\beta=0.6$
- 3) 粗粉循環率  $r=0.97$

(すなわち粗粉の3%を系外に除去)

のように設定すると Fig. 2 の  $m$  の読みは0.59従ってこのシステム全体の新原料の処理能力  $M$  は

$$M = D \times m = 1000 \times 0.59 = 590\text{kg/hr}$$

となる。また循環する粗粉量  $R$  は

$$R = D - M = 1000 - 590 = 410\text{kg/hr}$$

システムより除去すべき粗粉量  $W$  は

$$W = \frac{1-r}{r} R = \frac{1-0.97}{0.97} \times 410 = 12.7\text{kg/hr}$$

となりこれは新原料の  $(12.7/590) \times 100 = 2.2\%$  にあたると。その際得られる微粉製品  $F$  は

$$F = M - W = 590 - 12.7 = 577.3\text{kg/hr}$$

である。

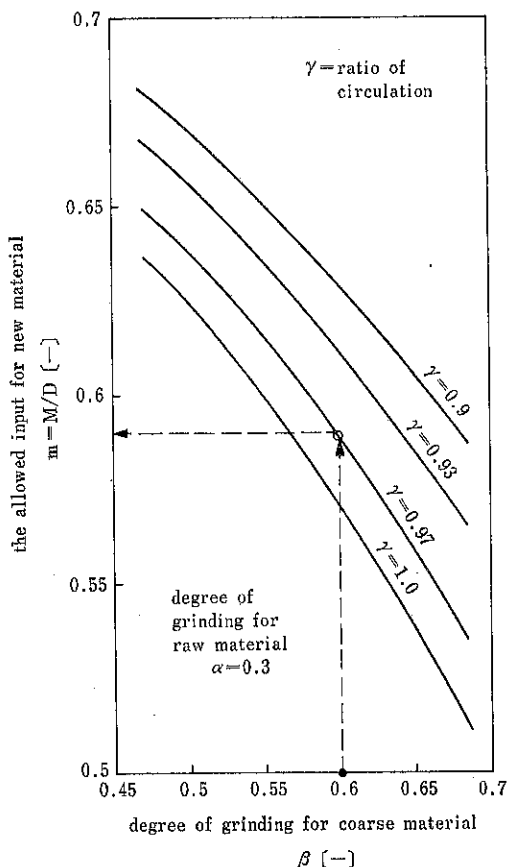


Fig. 2 閉回路粉砕の実質的処理量

## § 5. 結 言

上記の計算例は単にその手順を示したものにすぎないが、Fig. 2 によってこのシステム全体について粗粉の粉砕が難しく（ $\beta$  が大きく）なればなる程、また多くの粗粉を再循環する（ $r$  を大きくする）程、実質的な処理量が小さくなる傾向があること、並びにその量的な関係を把握することができる、実際の立案に際しては、しっか

りしたデータに基づいて粗粉がどのように粉砕されにくくなるか（ $\beta$  がどのように変化するか）、さらにどれだけの粗粉量を系外に除去すべきか（ $r$  の設定）を判定することが非常に重要である。

なお今後はさらに粉体の繰り返し粉砕による粉砕性の変化、すなわち粗粉の難砕度及びその際の処理量の変化、分級機での分級精度並びに微細粉の粒度、さらには粉砕機よりの粗粉異質物の除去及びそこでの分級機構をも考慮した検討により、この粉砕一分級システムをさらに詳しく把握できればよりよい立案のために役立つ事と思われる。

### 付記一粗粉難砕度 $\beta$ の変化について

以上の報告では、新原料及びその粗粉についての1回ずつの開回路粉砕テストより閉回路システムの実質処理量を推算する事を試みたが同じ様な考え方によって粗粉難砕度  $\beta$  が変化する場合の循環量  $R$  は次式のようになる。

$$R = M \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n \left\{ r^{k+1} \pi^k \beta_1 \right\} \quad (15)$$

ここで  $\pi$  は積を表わし、新原料難砕度  $\alpha = \beta_0$ 、 $n$  回粉砕されてきた粗粉の難砕度を  $\beta_n$  であらわす。

上の計算例のように  $\beta_0 = \alpha$ 、 $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta$  とおくと

$$R = \frac{\alpha r}{1 + \alpha r - \beta r} D \quad (16)$$

となってこれは(11)式に対応する。

さらにもう一段粗粉の開回路粉砕テストを繰り返して  $\beta_0 = \alpha$ 、 $\beta_1 = \beta$ 、 $\beta_2 = \beta_3 = \dots = \delta$  と仮定すると

$$R = \frac{\alpha r (1 - \delta r + \beta r)}{1 - \delta r + \alpha r - \alpha \delta r^2 + \alpha \beta r^2} D \quad (17)$$

となる。 $\beta_0$  と  $\beta_1$ 、あるいは  $\beta_1$  と  $\beta_2$  とが大きく異なる場合にはさらにその粗粉の開回路粉砕テストを繰り返す必要があるが多くの場合は  $\beta$  の値がすぐに1よりも小さなある値に近づくか、もしくは数段で1に近づくと考えられ、後者の場合は粗粉循環率  $r$  を調節しそのシステムからその異質物を適当に除去することがこの閉回路運転において重要なポイントになると考えられる。

## 吊り下げ式付着力測定機による粉体層の破断試験\*

Measurement of Adhesion Force of Powder Particles by  
Powder Bed Tensile Strength with the Swing Method

藤井 謙治\*\* 彼谷 憲美\*\*

Kenji Fujii Noriyoshi Kaya

浦山 清\*\* 横山 藤平\*\*

Kiyoshi Urayama Tōhei Yokoyama

### Abstract

The measurement of tensile strength of the powder bed has been carried out by means of the swing method measuring instrument. The effects of the rate of tensile load and the notch of powder bed are discussed in this paper for a standardization of the measurement method which affects the reproducibility of the adhesion force.

It is evident that displacement of powder bed appears with increased tensile stress, then the stress-displacement curves are obtained respectively for each powder. These curves are classified according to their features by investigating the correlation between the stress and the displacement, and three kinds of types are obtained.

The stress-displacement curves provide the energy required to tensile breakage which may be correlated with practical particulate phenomena.

### 著者摘録

吊り下げ式付着力測定器を用いて、引張り速度と粉体層の形状が付着力の測定値におよぼす影響について検討した。

また、付着力の測定と同時に、粉体層に生じる変位を測定した。粉体層の応力と変位の関係は、粉体により異なる。破断の特性は、従来の材料の破壊様式の表現をかりれば、ぜい性破壊的なものと延性破壊的なものそして両者の中間的なものの3つに大別できる。

応力-変位線図から粉体層の破断エネルギーを求めることができる。

測定した空隙率範囲で、付着力は粉体の種類によってかなり異なるが、破断エネルギーはほぼ同様の値を示した。これは比較的応力の小さい粉体層においては変位が大きく、応力の大きい粉体層においては変位が小さいことに起因している。

### 1. はじめに

粉体処理プロセスにおける粉体の付着あるいは凝集現象を把握し、これを防止したり利用することができれば、粉体技術は大きく進歩する。そこで、粉体の付着性や凝集性の評価とその機構を明らかにすることを目的と

\*粉体工学会春期研究発表会にて一部発表（1978.5大阪）および粉体工学会第14回夏期シンポジウムにて発表（1978.7静岡）

\*\*細川粉体工学研究所

（〒573 枚方市招提田近1丁目9）

Tel. (0720) 57-3721



して、付着力を測定することが Rumpf をはじめ多くの研究者によって試みられてきた。しかし、現在のところ実際のプロセス設計やトラブルの防止にその成果を役立てるまでにはいたっていないようである。

筆者らは、粉体層の付着力測定機として工学的に充分利用でき操作が簡単で実用的な装置を開発するため、吊り下げ式付着力測定機を考案し、測定上の諸問題について検討してきた<sup>1)~6)</sup>。

粉体層の破断試験では、引張応力の増加に従って粉体層に変位が生じる。本測定機では差動トランスを用いて

変位を測定し、破断時の応力と変位の関係を同時に測定することができる。

本報告では、引張り速度とセル底面の形状を変えて測定条件が付着力の測定値におよぼす影響を検討する。さらに粉体層の応力と変位についても興味深い測定結果を得たので報告する。

## 2. 測定装置

粉体層の付着力測定機には大きく分けて、圧密方向と

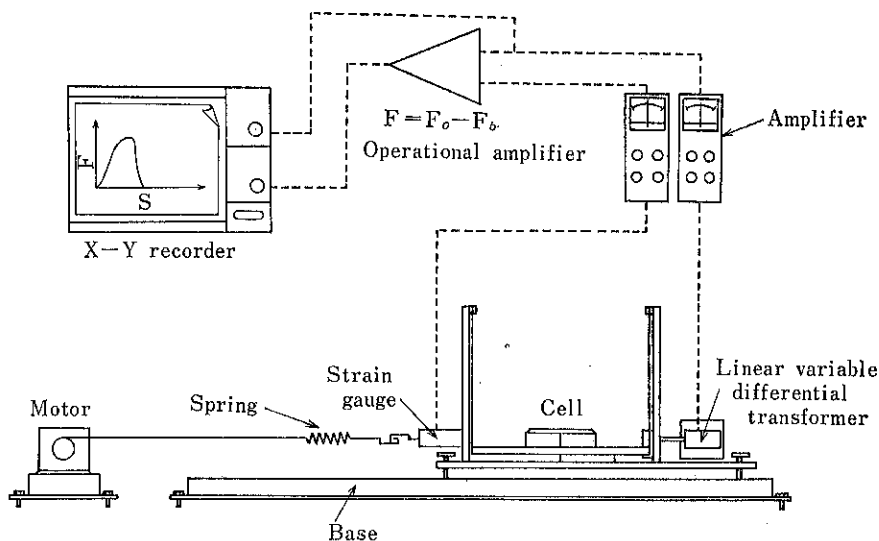


Fig. 1 測定装置概略図

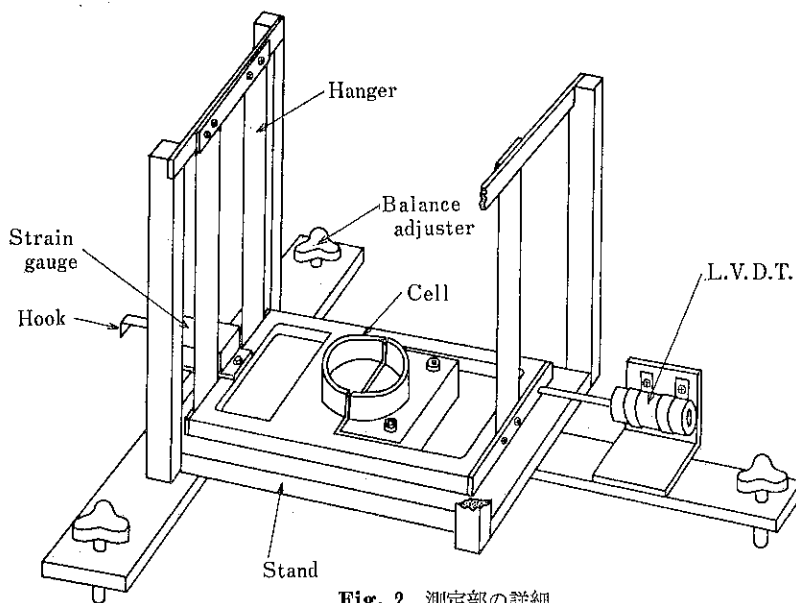


Fig. 2 測定部の詳細

引張り方向が垂直である装置と、同方向であるものの2種類ある。本装置は、垂直圧密—水平引張り型であり、2分割セルの可動側が吊り下げ式である点を特徴としている。

Fig. 1 に測定装置の概略を示す。測定系は、粉体層を形成する2分割セル、そして引張応力を検出するストレインゲージ、変位を検出する差動トランス、さらにセルを引張るモーターとからなる。ストレインゲージと差動トランスの出力は、増幅器、演算器を経て記録計によって記録される。測定部の詳細を Fig. 2 に示す。セルは内径50mm、深さ20mmである。セルの底面にはサンドペーパーを貼り付け粉体層が滑べらないようにしている。2分割セルの可動側は、長さ200mm、幅30mm、厚さ0.2mmの隣青銅帯板3枚で吊り下げている。

引張り開始後、粉体層に変位が生じ2分割セルに間隙ができると、可動セルの自重による荷重がストレインゲージに検出される。このブランク荷重は変位に比例し、振り子を水平に引張る場合と同様に求めることができる。(ただし変位が数ミリにもなると比例しなくなる。) ブランク荷重は演算器によって差し引き、記録計には粉体層に加わる引張り力だけが記録されるようにした。

### 3. 測定方法

付着力の測定には、粉体層の形成方法が大きく影響する。そこでセルに粉体を充填して破断するまでの測定操作を次のように定めた。

(試料の充填) 試料を測定セルに充填する方法には、フルイを用いたり、タッピングしたりする方法もあるが本測定では、実用的な意味から最も一般的であるスパチュラを用いて直接投入する方法を採用した。

(試料の圧密) セルに一定量の試料を入れた後、粉体層が所定の厚さになるまで圧密重量を増加していく。所定の厚さに達すれば、セルにとりつけた充填筒によって圧密用重錘が支えられ、それ以上粉体層は圧縮されなくなる。この状態で10分間粉体層を圧密する。

(粉体層の厚さ) 付着力は、同一試料に対してできるかぎり広範囲の空隙率で測定できることが好ましい。本装置では圧密重量に制限があるので、粗充填から空隙率の小さな密充填までおこなうには、限られた圧密重量で密な粉体層を形成することが必要である。このためには、粉体層の厚さは薄い方が良い。しかし垂直圧密—水平引張り型の装置では、粉体層の厚さを薄くすれば破断面積が小さくなる。したがって有効な測定値を得るためには層厚を無制限に薄くすることもできない。そこで本測定機では、一般的な粉体の場合、層厚は10mmとし

た。

(測定値の記録) 測定結果は、変位を横軸にとり引張り力を縦軸としてXYレコーダーで記録される。付着力は、引張り応力が最大値を示した点で求める。

(測定試料) 測定に用いた試料を Table 1 に示す。試料の水分は、小麦粉(12~15 weight % wet base)以外のものは全て0.6%以下である。

Table 1 測定に用いた試料

| 試料粉体名           | 重量<br>平均径         | 密度                   | 流動性<br>指数 | 噴流性<br>指数 |
|-----------------|-------------------|----------------------|-----------|-----------|
| 炭酸カルシウム<br>P-30 | 5.6 $\mu\text{m}$ | 2.65 $\text{g/cm}^3$ | 24        | 49.5      |
| 関東ローソ粉<br>11種   | 2.0               | 3.03                 | 24        | 41        |
| 小麦粉             | 34                | 1.49                 | 24        | 39.5      |
| ホイート<br>カーボ     | —                 | 2.00                 | 33.5      | 67        |
| ポリエチレン粉         | 80                | 0.928                | 43.5      | 69        |

### 4. 測定結果および考察

#### 4.1 引張り速度の影響

引張り速度が付着力の測定値におよぼす影響について検討した結果を Fig. 3, 4 に示す。引張り速度は、モータのプーリー周速が 0.1mm/min, 1mm/min, 10mm/min の3通りでおこなった。図の横軸は粉体層に加わる引張力の増加速度で表わしている。(0.33g/min, 3.3g/min, 39g/min)

関東ローソ粉、炭酸カルシウムP-30のいずれの場合も、実験範囲内(0.33g/min~39g/min)で測定値に大きな変化はない。また粉体層の空隙率が変わっても、引

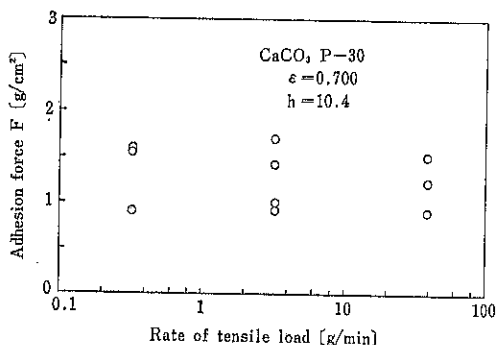


Fig. 3 引張り速度が付着力におよぼす影響

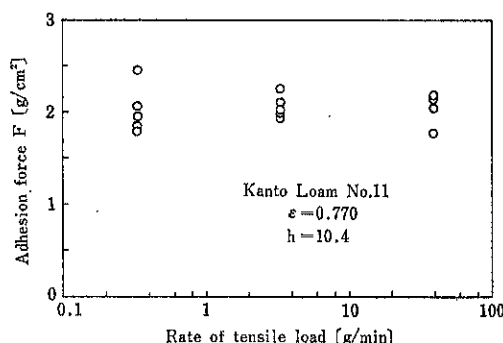


Fig. 4 引張り速度が付着力におよぼす影響

張り速度による影響は受けなかった。田中らは、ガラスビーズを用いて、17.8g/min～144g/minの範囲内で引張り速度が測定値に影響しないことを報告している<sup>7)</sup>。したがって一般的な粉粒体において、この程度の引張り速度の範囲では、引張り速度は付着力の測定値に影響しないと考えてよい。

## 4.2 粉体層底面の形状の影響

付着力の測定値がばらつく原因のひとつに、破断面の形状が安定しないことがあげられる。安定した破断面を得るために粉体層底面に Fig.5 に示すような凹部を設けて測定した結果を、平底の場合と比較した。関東ローム粉についての測定結果を Fig.6 に示す。両者の比較

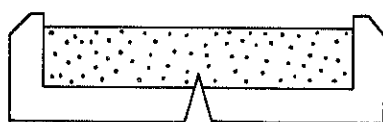


Fig. 5 粉体層の形状

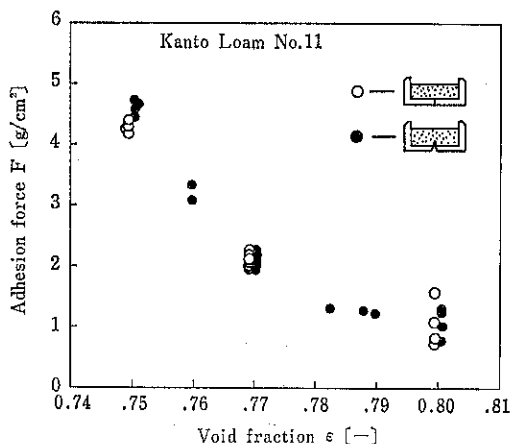


Fig. 6 粉体層の形状が異なる場合の測定結果

の結果、測定値のばらつきには顕著な差異は認められない。測定した空隙率範囲は0.75～0.80で非常に粗な充填であるため一般の材料に見られるような切欠き効果は生じないと考えられる。

## 4.3 粉体層の応力と変位

粉体層が破断するときには引張応力が増加するにたがって変位が生じる。この応力と変位の関係は、粉体によって異なる。Fig.7 に関東ローム、粉石けん、ポリエチレン粉、石綿の代表的な応力-変位曲線を示す。また各試料の応力-変位曲線を Fig.8～Fig.12 に示す。

これらの結果の範囲から粉体層の破断の様子を大別すると、次の3つに分けられる。

- (1) 変位が小さく、応力が比較的大きな値を示し、破断点が明瞭なもの。関東ローム粉や炭酸カルシウムがこ

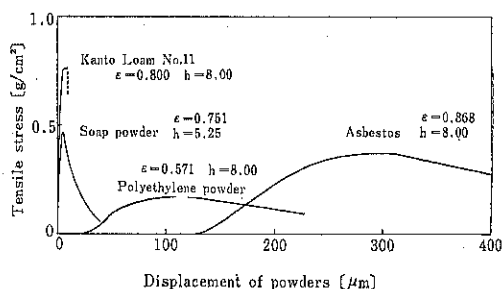


Fig. 7 粉体層の応力-変位線図

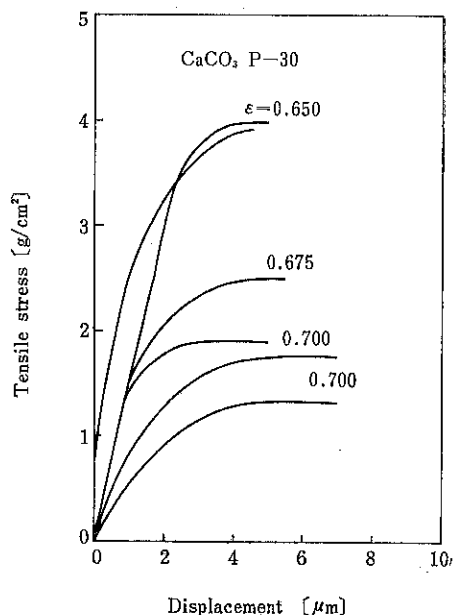


Fig. 8 炭酸カルシウムの応力-変位線図

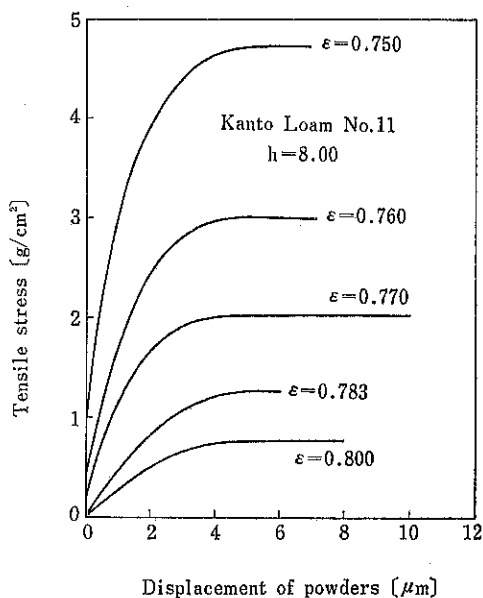


Fig. 9 関東ローム粉の応力-変位線図

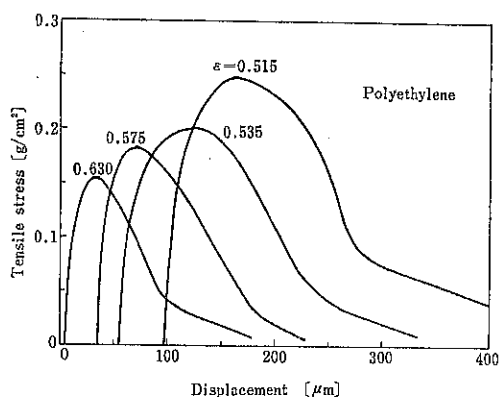


Fig. 10 ポリエチレン粉の応力-変位線図

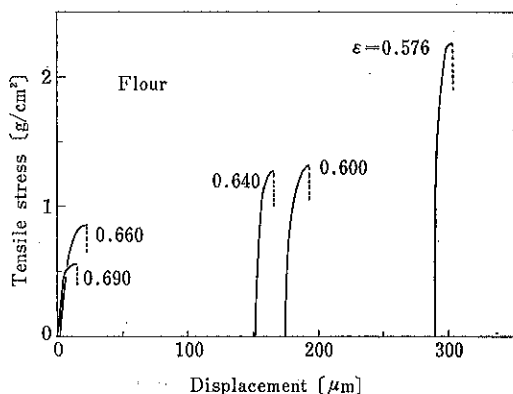


Fig. 11 小麦粉の応力-変位線図

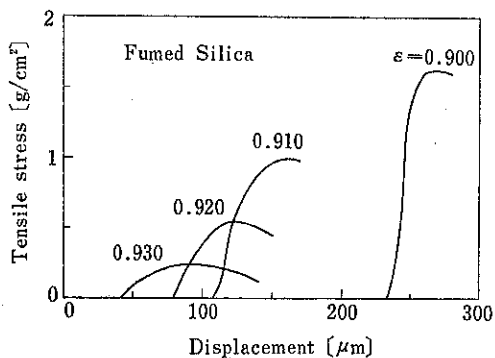


Fig. 12 ホワイトカーボンの応力-変位線図

れに属し、ぜい性材料に近い破断をする。(Fig.8, Fig.9)

(2) 変位が大きく、応力が比較的小さな値を示し、破断点が明瞭でないもの。ポリエチレン粉や石綿がこれに属し、延性材料に近い破断をする。(Fig.10)

(3) 両者の中間的な応力と変位の関係を示すもの。小麦粉やホワイトカーボンがこのような傾向を示している。(Fig.11, Fig.12)

このような破断時の応力-変位曲線に違いが生じるのは、粉体層の充填構造と粒子形状等に大きく影響されるものと考えられる。特にホワイトカーボンでは、空隙率の僅かな違いで応力-変位曲線のパターンが変化しており、充填構造が重要な意味を持つことを示している。

また、応力-変位曲線が原点から出発しないのは、圧密による粉体層の弾性変形のためと考えられる。試料を

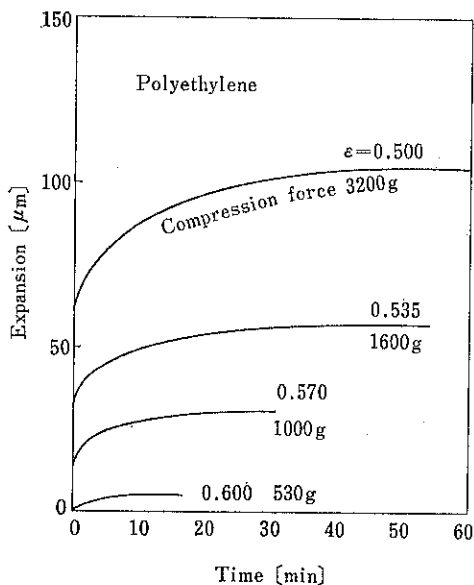


Fig. 13 粉体層の膨張 (ポリエチレン粉)

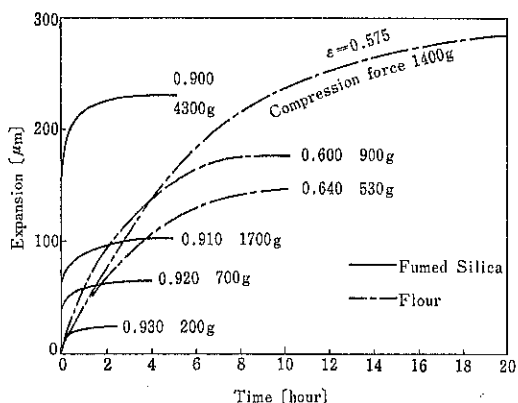


Fig. 14 粉体層の膨張 (ホワイトカーボン, 小麦粉)

セルに充填し圧密操作の後、圧密用重錘を取りはずすと粉体層が自然膨張して、水平方向に応力-変位曲線が始まる点までの変位が生じる。圧密後弾性変形が復元するにはかなりの時間を要し、この復元時間は空隙率すなわち圧密重量によって大きく変わる。この関係を Fig.13 および Fig.14 に示す。ポリエチレン粉の場合には数10分で膨張が止まるが、ホワイトカーボンや小麦粉の場合には数時間を要する。

#### 4.4 粉体層の破断エネルギー

粉体層の引張破断に必要なエネルギーをここで粉体層の破断エネルギーと呼ぶことにする。(1)式で示すように応力-変位線図を積分すれば、破断部単位面積あたりの破断に要したエネルギーが求まる。もちろん粉体層の変位は破断部だけで生じるわけではないがこの値が破断エネルギーを代表していると考えられる。

$$E = \int_0^{s_{\max}} \sigma ds \quad (1)$$

図積分法によって求めた粉体層の破断エネルギーを空隙率に対してプロットしたものを Fig.15 に示す。

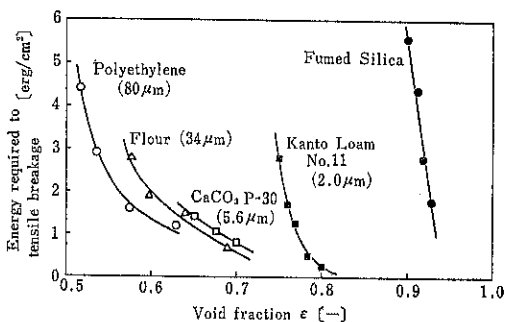


Fig.15 粉体層の破断エネルギー

## 5. おわりに

工学的に十分信頼できる付着力測定器を開発するため試作装置を用いて、測定条件が測定値におよぼす影響について前報と本報で検討してきた。試料の充填方法の相異、粉体層の厚さ、圧密時間、引張り速度、粉体層底面の形状についての考察をおこなったが、付着力の測定で最も問題となるのは試料の充填方法である。実用的で測定値に再現性の高い均一な粉体層を得るためにはどのような充填方法が最も良いのか今後さらに検討する必要がある。

また、粉体層の応力-変位曲線については、今後数多くの試料で測定し研究を重ねていく必要があり、粉体層の充填構造などとの関連性は興味深い問題である。また、応力-変位曲線から求める破断エネルギーは、粉体層の崩壊現象や流動現象と直接結びつくように考えられるのでこの点についての考察もさらに進めるつもりである。

## 参考文献

- 1) 横山, 朝倉, 彼谷: 化学工学協会第37回研究談話会講演要旨集, p. 50, (1977).
- 2) 彼谷, 横山: 粉体工学研究会春期例会講演要旨集, p. 94, (1977).
- 3) 彼谷, 藤井, 横山: 化学工学協会第11回秋期大会講演要旨集, p. 565, (1977).
- 4) 彼谷, 藤井, 横山: 粉砕, [22], 32, (1977).
- 5) 藤井, 彼谷, 浦山, 横山: 粉体工学会春期研究発表会講演要旨集, p. 109, (1978).
- 6) 藤井, 彼谷, 浦山, 横山: 粉体工学会第14回夏期シンポジウム講演要旨集, p. 30, (1978).
- 7) K. Shinohara, T. Tanaka: J. Chem. Eng. of Japan, 8, 46, (1975).

# ロータリフィーダの洩れ空気量

児玉 典夫  
Sukeo Kodama

## 1. はじめに

粉粒体供給器としてロータリフィーダやロタリバルブを用いる装置、たとえば低圧送式または吸引式空気輸送装置の設計にあたっては、まずそれらの供給器からの洩れ空気量を推算する必要がある。

これらは上掲の式<sup>1)</sup>によって近似的に求めることができるが、筆者が用いている計算式は計算が比較的簡単で、しかも実用に便利なのでここに紹介する。

## 2. 洩れ空気量

洩れ空気の総量  $Q_T$  は回転容積に関する洩れ量  $Q_1$  と隙間からの洩れ量  $Q_2$  との和で示される。すなわち

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \dots \dots \dots (1)$$

である。この  $Q_1$  と  $Q_2$  は Table.1 に示した近似式によって求めることができる。次にそれぞれの要素について検討する。

Table. 1

| 運転状態    |            | 空 運 転                                                                                 | 実 運 転                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_T$   | $Q_1$      | $NV_b \left(1 - \frac{p_n}{p_o}\right) \dots \dots \dots (2)$                         | <div>吹上げ</div> $NV_b \left[ \left(1 - \frac{p_n}{p_o}\right) + \left(\frac{p_n}{p_o} \eta_n\right) \right] \dots (3)$ <div>吹下げ</div> $NV_b \left[ \left(1 - \frac{p_n}{p_o}\right) - \left(\frac{\rho_b}{\rho_p} \eta_v\right) \right] \dots (4)$ |
|         | $Q_2$      | $C_f \frac{60}{r} \frac{0.579 A}{(nT_o)^{1/2}} (p_o^2 - p_n^2)^{1/2} \dots \dots (5)$ |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 側板付ロータ  | A          | $2C(l + k\pi d) \dots \dots \dots (6)$                                                |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|         | $N_b = 6$  | $n = 1.5$                                                                             | $k = 0.33$                                                                                                                                                                                                                                        |
|         | $N_b = 8$  | $n = 2.0$                                                                             | $k = 0.25$                                                                                                                                                                                                                                        |
|         | $N_b = 10$ | $n = 1.9$                                                                             | $k = 0.30$                                                                                                                                                                                                                                        |
| 側板なしロータ | A          | $2c(l + d) \dots \dots \dots (7)$                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|         | $N_b = 6$  | $n = 2.0$                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|         | $N_b = 8$  | $n = 2.5$                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|         | $N_b = 10$ | $n = 3.5$                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                   |

### 2.1 $Q_1$ について

ロータリフィーダを空運転する場合と粉粒体を輸送している場合は区別して考えるべきである。また、低圧送と吸引輸送に供給機として用いる場合をも区別して考えるべきである。(2)式は、粉粒体が無い場合の空運転時

の  $Q_1$  を求める式で、(3)(4)式は、それぞれ粉粒体輸送時の  $Q_1$  の式であるが、前式は低圧送時の式で粉粒体は上方から下方に送られ、洩れ空気は下方から上方に流れる場合を示し、後式は吸引輸送時の式で粉粒体は上方から下方に送られ、洩れ空気も上方から下方に流れる場合のロータの回転のみによる洩れ空気量  $Q_1$  を求める式で

ある。

つまり、 $Q_1$  は空運転の時よりも実運転の時の方が低圧圧送では増加し、吸引輸送では減少する。

## 2.2 $Q_2$ について

ラビリンスパッキンの洩れ空気量は機械工学便覧等に古くから記載してあるので周知であるが、その式を用いた。ただし流量計数を  $C_f$  として書替えたものである。なお  $Q_1$ 、 $Q_2$  の式で得られる値はいずれも圧力は  $p_0$ 、温度は近似的に  $T_0$  であるのでブロワーを選定する場合は必要な状態量に換算しなければならない。

## 2.3 A について

### 1) 側板付ロータ

(6)式で示しているが、これは洩れ空気の出口側で、ラビリンスを解放される周辺長に隙間の距離を乗じた値をとる。

### 2) 側板なしロータ

(7)式で示しているが、これも洩れ空気の出口側で、ラビリンスから解放される周辺長のとり方に問題はあるが近似式としてはロータのボス部は無視して求めた周辺長に隙間の距離を乗じた値をとる。

## 2.4 n について

### 1) 側板付ロータ

普通に見かけるロータリフィードの羽根先隙間は、ロータの軸方向から見て左右同数が多く、ロータの回転によって、羽根が上下の出入口を通過する時に隙間数は増減するので、厳密には隙間数の値は、その数を保つ時間比によって求めるべきであるが、通常の計算では6枚羽根のとき4箇所あるのでその半分の2箇所良く、8枚羽根では2～3箇所、10枚羽根では3～4箇所としてよい。一方側板の隙間数は常に1である。

いま6枚羽根のロータリフィードを例にとりて、 $n$  を求めてみる。羽根の長手方向の  $n_1$  が2.0の所の隙間長は  $2l$  であり、側板の弧の方向の  $n_2$  が1.0の所の長さは  $2k\pi d$  である。ただし  $k$  は約0.33とする。一例としてロータの大きさを  $\phi 170 \times 200$  とすると、

$$n = \frac{2l \cdot n_1 + 2k\pi d \cdot n_2}{2l + 2k\pi d} \dots\dots\dots(8)$$

で計算して  $n$  は1.53となる。

8枚羽根の場合も同様に求められるがロータの大きさは  $\phi 300 \times 300$  とする。

$$n = \frac{2 \times 300 \times (2 \sim 3) + 2 \times 0.25\pi \times 300 \times 1}{2 \times 300 + 2 \times 0.25\pi \times 300}$$

$$= 1.56 \sim 2.12$$

10枚羽根のロータで  $\phi 350 \times 300$  として同様に求めると、

$$n = 1.95 \sim 2.43$$

となる。

以上の  $n$  の値を要約して Table.1 に記した。上記の例でもわかる通り、ロータ寸法が例示した大きさと異なれば  $n$  の値も変わるので正しくは個々に計算すべきである。

### 2) 側板なしロータ

側板なしロータの  $n$  は側板があるための隙間長を求める  $k$  の項がなくなった(9)式が成立する。

$$n = \frac{2ln_1 + 2\pi dn_2}{2l + 2\pi d} \dots\dots\dots(9)$$

この値もロータの大きさによって、それぞれ計算して用いるべきであるが Table.1 に示す値でも実用上は支障ない。

## 2.5 k について

すでに述べたが、ロータの入口出口でラビリンスから解放された周辺長を求めるための係数で、6枚羽根の場合は6室の内2室がそれに当り即ち  $k$  は約0.33である。同様に8枚羽根、10枚羽根の場合はそれぞれ  $k$  は0.25と0.3になる。ただしこの場合も  $n$  の値同様に、ロータの入口出口の形や大きさが特殊なものについては変るので個々に求めねばならない。

## 2.6 c について

(6)(7)式で  $A$  を求めるために用いる  $c$  の値は、 $Q_2$  を求めるに当って影響が大きいかにもかかわらず現実には正確に把握し難い。ロータリフィードの設計時には通常0.1～0.5mmの範囲で計画されるが、組立調整を終った現物について調べると例えば0.2mmを目標としたものが0.15～0.25mm程度の範囲にばらついているのが通例である。

また、ロータリフィードの上下の気圧差でロータ軸が低気圧側に押し曲げられ易い構造のものも市場にはあるようである。軸径が細くて軸受支点間距離が長い場合に気圧差が大きいとこの曲りを軸封部で修正することは容易ではない。またベアリング自体の精度も影響するであろう。

さらに、ケーシングとロータに温度差がある場合には熱膨張の差によって  $c$  が変化し、ことに合成樹脂工場の場合にはほとんど SUS 製を用い、この温度差のある場合が多いので無視できない。

以上のように、 $c$  の値のとり方には問題があるけれども、これは個々のロータリフィードについて大きな因子

をチェックして修正する程度にとどめて良いと思われる。その理由は、 $Q_2$  の計算式そのものが、近似式であるからである。

## 2.7 $C_f$ について

(5)式の原式は、 $C_f$  を 0.8 としているが、ロータリフィーダにおいては①ラビリンスパッキンの場合よりも機械仕上精度は悪く、②ロータの半分には粉粒体が詰っている。したがって  $C_f$  は 0.8 よりも常に小さいことが予測される。合成樹脂の場合には、これは一つの目安として粉体であれば  $C_f$  は 0.55 位、ペレットであれば 0.65 位が実際に合うようである。

## 3. おわりに

ロータリフィーダの洩れ空気量の計算は現実と合わないと言われるが、たしかにその理由らしいものは色々あって、本文に書いた以外にも考えられる因子の一つに、ロータリフィーダの本体の剛性の不足による歪や、時効変形などが考えられる。しかし、粉体輸送装置を計画するに当たって管路の気体流量を正しく把握するのが基本になるので洩れ空気量の予測の精度を上げる必要があることは言うまでもない。Table.1 には、筆者の独断があつて、かなり乱暴ではないかとの反省がない訳ではないが、多少なりとも設計計画等の改善に寄与できるのではないかと思う。

## 記 号

|          |                                             |
|----------|---------------------------------------------|
| $Q_T$    | : 総空気洩れ量 [ $m^3/min$ ]                      |
| $Q_1$    | : 回転容積に関する洩れ空気量 [ $m^3/min$ ]               |
| $Q_2$    | : 隙間からの洩れ空気量 [ $m^3/min$ ]                  |
| $N$      | : ロータの回転数 [rpm]                             |
| $V_b$    | : ロータの回転容積 [ $m^3/rev$ ]                    |
| $p_o$    | : 高い側の圧力 [ $kg/cm^2 abs$ ]                  |
| $p_n$    | : 低い側の圧力 [ $kg/cm^2 abs$ ]                  |
| $r$      | : 空気の比重量 ( $p_o$ , $T_o$ における) [ $kg/m^3$ ] |
| $\eta_v$ | : 容積効率 [—]                                  |
| $c$      | : 隙間距離 [cm]                                 |
| $T_o$    | : $p_o$ 部空気温度 [ $^{\circ}K$ ]               |
| $A$      | : 隙間の面積 [ $cm^2$ ]                          |
| $n$      | : 隙間の数 [—]                                  |
| $l$      | : 羽根の長さ [cm]                                |
| $d$      | : 羽根の径 [cm]                                 |
| $k$      | : 常数 [—]                                    |
| $C_f$    | : 流量係数 [—]                                  |
| $\rho_p$ | : 粉粒体の真比重量 [ $g/cm^3$ ]                     |
| $\rho_b$ | : 粉粒体の見掛け比重量 [ $g/cm^3$ ]                   |

## 参 考 文 献

- 1) 上滝具貞, 西岡富士夫: 粉粒体の空気輸送, 日刊工業新聞社 (1964).

## 特許一言メモ

### 特 許 の 寿 命

特許出願し、審査請求することによって審査され、無事に特許査定にまでこぎつけると、第3年度分まで3年間の特許料を納付することによってはじめて特許されたことになる。そして審査の途中で出された公告公報の公告日（公開日とはちがうことに注意）からかぞえて15年間の寿命が与えられる。

また、別に出願日から20年を超えることができない、という制限がつけられている。また、第4年度以降の特許料納付をその存命中に手続きしないと、いつでもその寿命はつきてしまう。ただし、その期日を経過して半年以内においては倍額の料金納付でつくる寿命を蘇生できる。

これが実用新案の場合だと公告日から10年であり、出願から15年を超えることはできない、ということになる。

もっとも、第三者から無効審判をおこされ特許庁が無効理由あり、と審決されるとその特許はもともとなかったもの、とされてしまう ……なむあみだぶつ。(M.N)



# 凝集沈殿式廃水処理システムとスラリー処理

矢野 武夫\* 荒谷 敏朗\*  
Takeo Yano Toshio Aratani

## 目 次

1. 緒 言
2. 凝集沈殿式廃水処理プロセス
  - 2.1 凝集沈殿させる固体粒子（水中の粉体（コロイド））の性質
  - 2.2 凝集剤（主としてコロイドの凝集剤）
  - 2.3 重金属水酸化物および硫化物の溶解度
  - 2.4 重金属凝集沈殿処理プロセス
    - 2.4.1) フェライト法
    - 2.4.2) 硫化ソーダ法
    - 2.4.3) 多硫化カルシウム法
3. スラリーの処理法
  - 3.1 沈降槽（傾斜板型シックナー）
  - 3.2 浮遊装置（砂浮過）
  - 3.3 スラッジ処理（セメント固化物の溶出試験， $\text{CaS}_x$  プロセスにおける沈降硫黄から  $\text{CaS}_x$  の再生産）

## 概 要

凝集沈殿法による廃水処理，すなわち，湿式集じん器よりの排出水中の SS (Suspended Solids, 浮遊懸濁物質；不溶性，コロイド性)，洗煙廃水中の重金属イオン，あるいは COD, BOD 等の可溶性汚濁物質などを沈殿させ廃水中より分離除去することを目的とした廃水の処理（無害化）法について概説する。さらに，凝集沈殿法により発生した沈殿を含むスラリーの処理法（沈降槽，浮遊装置，固型化）についても述べる。

## 1. 緒 言

廃水中の汚濁物質を凝集させ沈降分離する凝集沈殿方式の廃水処理法は，粉体工学とは，密接な関連がある。すなわち，沈殿生成物である固体粒子は「スラリー」であり，乾燥粉体とは少し異なった挙動を示す。たとえば 1 ミクロン以下のサブミクロンの固体粒子が廃水中に存在する場合その粒子表面に安定な電気 2 重層を生じ，これを何んらかの方法で破壊しないかぎり，凝集沈降（ゲル (gel) 化）せず，いつまでも水中に浮遊している状態（ゾル (sol)）となっている。湿式集じん器や湿式スクラバによる煙道ガス中の固体粒子の捕集に用いた吸収液や洗浄水の中には，このようなコロイドが必然的に混入して来る。産業廃棄物や都市廃棄物の焼却処理においても，その廃煙の洗浄（洗煙）に伴い，処理を要する重金属類が，湿式集じん器や湿式スクラバの廃水中に混入して来ることはしばしばである。したがって，これら集じん器やスクラバからの廃水は，そのままでは放流できず，水質汚濁防止に定められた汚濁物質濃度に対する排出基準値（SS (Suspended Solids, 懸濁物質) = 200 ppm, pH = 5.8~8.6,  $\text{Hg}^{2+}$  = 5 ppb,  $\text{Cd}^{2+}$  = 0.1 ppm 等）以内にすることが必要である。

さて，凝集沈殿法とは，廃水中の SS, 重金属イオン等を文字通り凝集させ数ミクロン以上の粒子に凝結 (Coagulate) あるいは生長させ，沈殿させる操作である。それには，各種の凝集剤 (Coagulant), 凝集助剤を用いる。重金属イオン類の処理法としては，それらを含む廃水中へ重金属イオンと反応し不溶性の重金属化合物（水酸化物，硫化物）を生成させる沈殿剤 (Precipitant)（アルカリ剤，鉄剤，硫化ソーダ，多硫化カルシウム等）を注入する。生成した沈殿を沈降させ除去する。さらに沈殿した粒子を含むスラリーから水分を取り除く必要（投棄あるいは再利用のため）がある。凝結した微細粒子間に含まれる水分の分離もまた重要な課題である。沈降装置（沈降槽）も効果的な沈降を行うため種

\* 大阪府立大学工学部化学工学教室  
(〒591 堺市百舌鳥梅町 4-804)  
Tel. (0722) 52-1161

々の工夫を要し、汚過脱水装置にも困難な問題が見られる。さらには、脱水ケーキの投棄、再利用にもセメント固化、ブリケット化等の処理が必要である。

ここでは、以上の諸問題に対して今までに開発された技術およびこれからの技術の両面から概説する。

## 2. 凝集沈殿処理プロセス

### 2.1 凝集沈殿させる固体粒子（水中の粉体（コロイド））の性質

約50年前、オストワルドとフロイントリッヒは、固体粒子表面の性質がコロイドの安定性に対して決定的な役割を演じていることを明かにした<sup>24)</sup>。

その1つは、粒子の表面電荷であり、この電荷のため、廃水中で粒子同志が衝突（ブラウン運動や攪拌による衝突；なおコロイド粒子の衝突は主としてブラウン運動により起る）しても合体しない、すなわち、静電的反発力を受け合体に至らない。他の一つは、溶媒和（Solvation、廃水中では、水和（hydration））である。すなわち、粒子の表面に水が吸着もしくは結合されるので、粒子は水分子の層によって取り巻かれる。この層が粒子の集合を妨ぐことになるとされている<sup>24)</sup>。廃水中に分散（Disperse）あるいは懸濁（Suspend）しているコロイド粒子（1ミリμ〜1μ）や、懸濁粗粒子<sup>25)</sup>

（細粒1μ〜1mm、粗粒1mm〜1cm）の表面電荷や水和層が凝集剤の注入により取り除かれ、集合接着してより大きな集合粒子であるフロック（floc）（粒子の集合した塊りをフロックと言う）を形成する<sup>28)</sup>。

これら固体粒子（主としてコロイド状微粒子）は廃水中でのその表面の状態により次のように分類されている<sup>24)</sup>。すなわち、疎水性（hydrophobic）コロイドと親水性（hydrophilic）コロイドである。大多数の無機質コロイド（粉じん、重金属水酸化物、硫化物等）は疎水性で、多くの有機コロイド（グリコーゲン、アルブミン、ヘモグロビン等）は親水性である。疎水性コロイドはそれほど安定に分散していないので、凝集してフロックとなりやすい。

コロイドの表面電荷の正負で分類すると正のものとしては、水酸化鉄、水酸化アルミニウム、水酸化クロム等の重金属水酸化物コロイド、メチレンブルーおよび塩基性染料、塩基性蛋白質のプロタミンやヒストン、炭化水素類、樹脂類がある。負のものとしては、セメント、砕石微粉、金、銀、白金、イオウ、炭素、重金属硫化物、コンゴーレッド等の酸性染料、アルブミン、カゼイン、ゼラチン、デンプン、ビールス、バクテリア等があげられる。コロイドを凝集させるには、これらの表面電荷を弱めるか、放電させるのがもっとも効果的である。凝集

沈殿法による廃水中のコロイドの処理では、コロイドと凝集剤の注入により生成させた粒子間で表面電荷を中和させ凝集させる。

### 2.2 凝集剤（主としてコロイドの凝集剤）

凝集剤の一覧表を、Tables. 1〜4に示した<sup>28)</sup>。

代表的なものに、その上水の浄化にも使用されている硫酸アルミニウム（硫酸パン土で粉末のものと、液状（L A S, Liquid Aluminum Sulfate）とがある）がある。廃水の処理には、この他に凝集沈殿法、浮上分離

Table. 1 Inorganic Coagulants

| 分 類           | 物 質                                                                                      |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 無 機 塩         | 硫酸アルミニウム<br>(硫酸パン土, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )                                       |
|               | ポリ塩化アルミニウム(PAC)                                                                          |
|               | 硫酸第二鉄( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ )                                                    |
|               | 硫酸第一鉄( $\text{FeSO}_4$ )                                                                 |
|               | 塩化第二鉄( $\text{FeCl}_3$ )                                                                 |
|               | アルミン酸ソーダ( $\text{NaAlO}_2$ )                                                             |
|               | 硫化ソーダ( $\text{Na}_2\text{S}$ )                                                           |
|               | 水硫化ソーダ( $\text{NaHS}$ )                                                                  |
|               | 石灰硫黄合剤(主成分が多硫化カルシウム;<br>$\text{CaS}_x$ ) (液状；固型もある)                                      |
| 酸             | 硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )、塩酸( $\text{HCl}$ )、<br>炭酸ガス( $\text{CO}_2$ )               |
| アルカリ          | 炭酸ソーダ( $\text{NaCO}_3$ )、水酸化カルシウム<br>( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )、可性ソーダ( $\text{NaOH}$ ) |
| 金属電解<br>成 生 物 | 電解水酸化アルミニウム<br>電解水酸化鉄                                                                    |
| そ の 他         | 活性ケイ酸( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ )                                                        |

Table. 2 Surface Active Reagents as Coagulant

| 分 類   | 物 質                                                        |
|-------|------------------------------------------------------------|
| 陰イオン性 | ラウリン酸ソーダ                                                   |
|       | ステアリン酸ソーダ                                                  |
|       | オレイン酸ソーダ                                                   |
|       | ロジン酸ソーダ                                                    |
| 陽イオン性 | ドデシルアミンアセテート                                               |
|       | オクタデシルアミンアセテート                                             |
|       | ロジンアミンアセテート                                                |
|       | オクタデシルトリメチルアンモニウムクロ<br>ロリド<br>オクタデシルジメチルベンゼンアンモニウ<br>ムクロリド |

Table. 3 Polyelectrolytes as Coagulant

| 分 類                            | 物 質   |       |
|--------------------------------|-------|-------|
|                                | 重 合 度 | イオン性  |
| 低 重 合 度<br>(分子量1,000~<br>数万)   |       | 陰イオン性 |
|                                |       | 陽イオン性 |
|                                |       | 非イオン性 |
|                                |       | 両 性   |
| 高 重 合 度<br>(分子量数万<br>~数1,000万) |       | 陰イオン性 |
|                                |       | 陽イオン性 |
|                                |       | 非イオン性 |

Table. 4 Coagulating Aids

|      |                                                         |
|------|---------------------------------------------------------|
| 固体微粉 | カリオン, ベントナイト, 酸性白土, フライアッシュ, ケイ酸ソーダ, ソーダ灰, 消石灰, 木粉, その他 |
|------|---------------------------------------------------------|

法に多用されているポリ塩化アルミニウム (パック (PAC, Polyaluminum Chloride)) も著名である。以上のアルミ剤の他、硫酸第1鉄、第2鉄、塩化鉄等の鉄剤も広く使用されている。

これらの凝集剤を廃水中に注入すると、水酸化アルミニウムあるいは、水酸化鉄が生成し (なお、アルカリ剤が水酸化物形成のため併用されることもある)、表面電荷が正のコロイドとなるため、廃水中のこれと反対電荷のコロイド粒子を表面に吸着し巨大なフロックに成長し沈降する。

Table. 2 に示した界面活性剤も凝結作用がある。吸着活性があるため、親水性コロイドの表面に吸着し、疎水性として凝集しやすくする。しかし、次に述べる高分子凝集剤のような架橋作用がないので凝集効果はやや劣り、特殊な場合 (プロセスの複生物として得られる場合等) を除きあまり利用されていない。化学工場やパルプ工場廃水の処理に無機凝集剤と併用して実用されているものに、Table. 3 の高分子凝集剤がある。長大な鎖状高分子が廃水中に分散しているコロイドに吸着し架橋して凝集させるので効果は大きいが高価である。しかし、高分子凝集剤の添加量は無機凝集剤の数 100 ppm に比べその  $\frac{1}{50} \sim \frac{1}{200}$  の数 ppm であるため、それほどコスト高とはならず実用されている場合が多い。

Table. 4 には、凝集助剤を示したが、これら固体の微粉末は投入によりフロックの形成、生長を助ける。

## 2.3 重金属水酸化物および硫化物の溶解度

Fig. 1 には、主要な重金属水酸化物  $M(OH)_n$  の溶解度を溶解度積  $K_{sp}$  の文献値<sup>8)</sup> を用い、(1)式より算出した値 (重金属の廃水中の濃度  $M^{2+}$  (ppm)) と pH との関係グラフとして示した。

$$K_{sp} = [M^{2+}][OH^-]^n, K_w = [H^+][OH^-],$$

$$pK_w = -\log K_w, pH = -\log H^+;$$

$$\log [M^{2+}] = \log K_{sp} - npk_w - npH \quad \dots\dots\dots (1)$$

ところが、最近、重金属の酸化物や水酸化物の溶解度については、ヒドロキシ金属イオンの錯体  $[M(OH)_2]^{n-2}$  を仮定して計算すべきであることがわかってきた<sup>1)</sup>。

Hg<sup>2+</sup> に対しては

$$Hg(OH)_2 + 2H^+ = Hg^{2+} + 2H_2O, K_{s0} = 10^{-25.4}$$

$$\log [Hg^{2+}] = 2.6 - 2pH \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Hg(OH)_2 + H^+ = HgOH^+ + H_2O, K_{s1} = 10^{-15.2}$$

$$\log [HgOH^+] = -1.2 - pH \quad \dots\dots\dots (3)$$

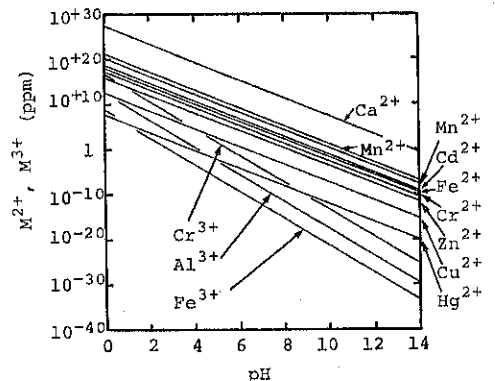
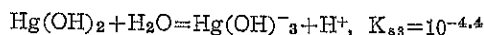


Fig. 1 Solubilities of Metal Hydroxides vs. pH



$$\log[\text{Hg}(\text{OH})_2^-] = -18.4 + \text{pH} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。水銀のヒドロキシ錯体、 $\text{HgOH}^+$ 、 $\text{Hg}(\text{OH})_2^-$  の溶解度を (2), (3), (4) 式より計算し、Fig.2 に示した。図中 C はモル濃度 (mol/l) であり C' は ppm である。 $\text{Hg}(\text{OH})_2$  の溶解度は、錯体の形成によりかなり増大している。たとえば、 $\text{pH}=6$  では、 $C'=10^{-1}$  ppm すなわち、0.1 ppm であり  $\text{Hg}^{2+}$  の排出基準値 0.005 ppm = 5 ppb を満足できない。他の重金属水酸物のヒドロキシ錯体に対する溶解度も計算し Figs.3 ~ 11 に示した。溶解度は、さらに廃水の O.R.P. の他<sup>1)</sup>、塩素、シアン等の無機陰イオンや、EDTA、クエン酸等の有機物による錯体形成による可溶化 (マスキング) で増大する<sup>6)</sup>。沈殿生成時の微細なコロイド粒子の発生も考慮しなければならない。一方、鉄剤・アルミ剤等の凝集剤とアルカリ剤とを注入する処理法では、共沈作用により Figs.2 ~ 11 の溶解度以下の処理が可能である。

重金属硫化物の溶解度も廃水の pH の影響を受ける。 $K_{sp}=[\text{M}^{2+}][\text{S}^{2-}]$ ,  $K_1=[\text{S}^{2-}][\text{H}^+]/[\text{HS}^-]=10^{-12.9}$ ,  $K_2=[\text{HS}^-][\text{H}^+]/[\text{H}_2\text{S}]=10^{-7.05}$  より溶解度 C [mole/liter] は (5) 式で表わされる。

$$C = \sqrt{K_{sp} \cdot \frac{1}{1 + [\text{H}^+] \times 10^{-12.9} + [\text{H}^+]^2 \times 10^{-19.95}}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

(5) 式の C より換算した値 C' (ppm) を pH に対して Fig.12 に示した。水酸化物に比べ、低い溶解度となっている。特に、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  に対して充分な処理が期待できる。

## 2.4 重金属凝集沈殿処理プロセス

廃水中に溶存している重金属イオンの処理では、沈殿剤 (前出) を加え不溶性の金属水酸化物、酸化物、硫化物 (分散固体粒子となる) に変えた後、凝集させ沈殿除

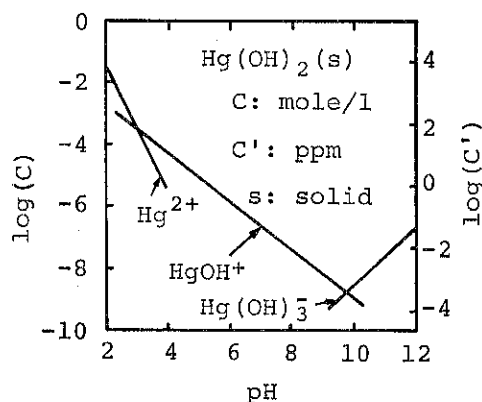


Fig.2 Solubility of Hydroxo-Complex of Mercury

去する。凝集沈殿 (以下、凝沈と略する) プロセスは大別して、水酸化物プロセスと硫化物プロセスとに分けられる。水酸化物プロセスとしては、単に、アルカリ剤 ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等) を注入して pH の調節のみで重金属水酸化物として除去する方法と、各種の共同沈殿剤<sup>4)</sup> ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , PAC (ポリ塩化アルミ), 硫酸バンド等) とアルカリ剤とを併用する方法とがある<sup>5)</sup>。水酸化物プロセスの一変形として、フェライト法も最近注目を集めている。重金属硫化物として沈殿除去する硫化物プロセスとしては、 $\text{H}_2\text{S}$  ガスの吹き込みによる方法と、 $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaHS}$ ,  $\text{NaS}_x$ ,  $\text{CaS}_x$  (多硫化カル

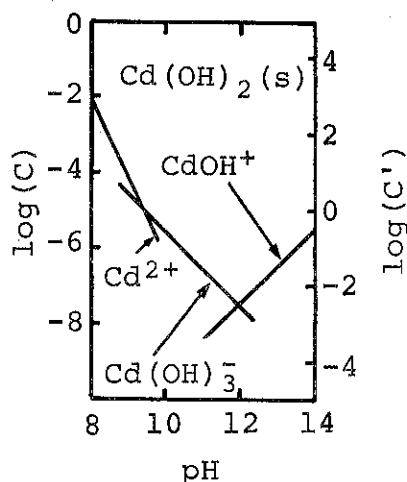


Fig.3 Solubility of Hydroxo-Complex of Cadmium

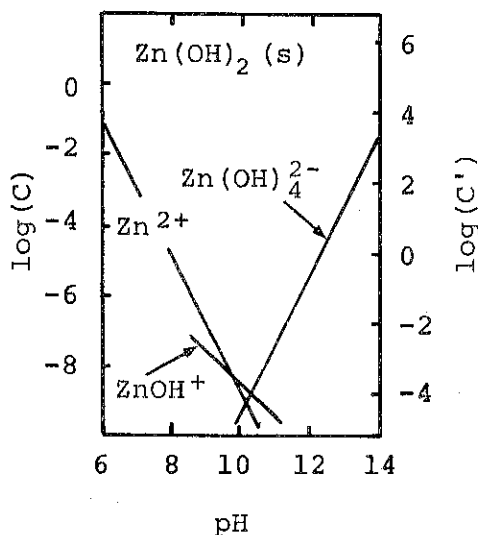
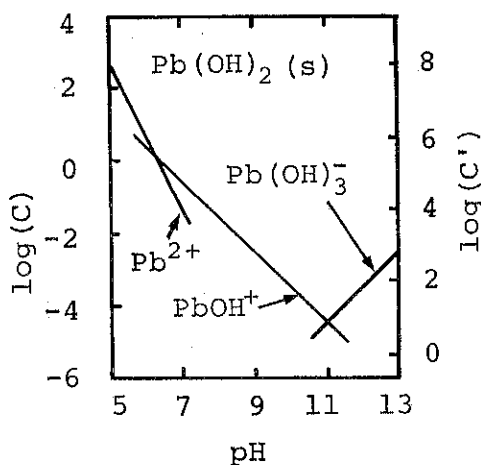
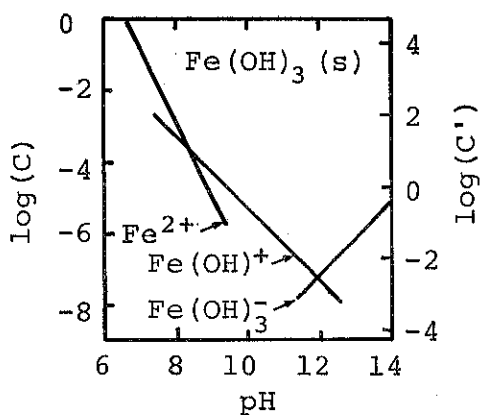


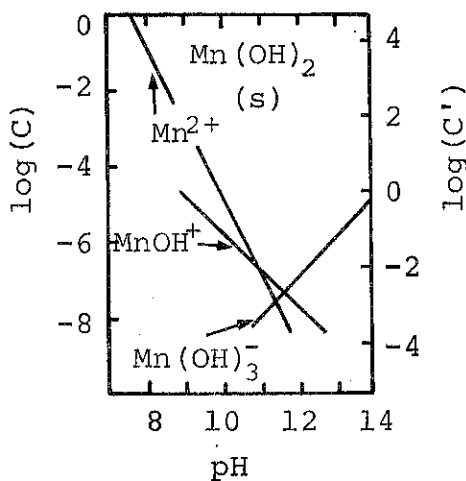
Fig.4 Solubility of Hydroxo-Complex of Zinc



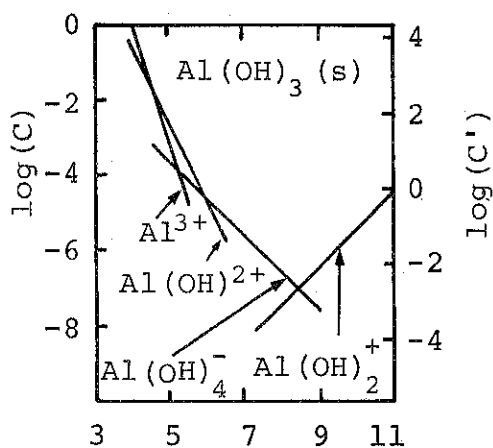
**Fig. 5** Solubility of Hydroxo-Complex of Lead



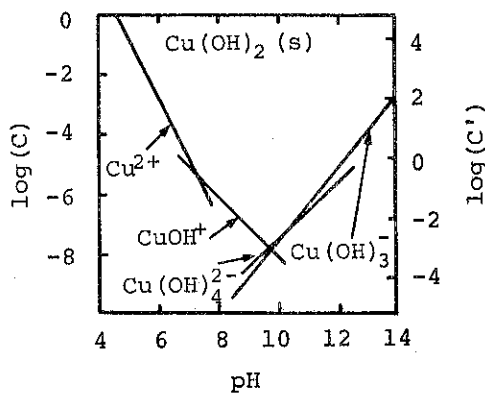
**Fig. 8** Solubility of Hydroxo-Complex of Iron (II)



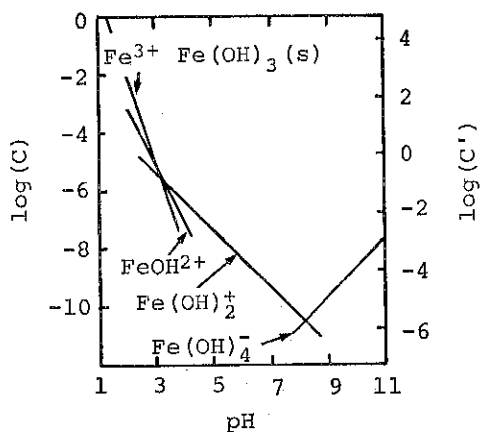
**Fig. 6** Solubility of Hydroxo-Complex of Manganese



**Fig. 9** Solubility of Hydroxo-Complex of Aluminum



**Fig. 7** Solubility of Hydroxo-Complex of Copper



**Fig. 10** Solubility of Hydroxo-Complex of Iron (III)

シウム)等の  $\text{H}_2\text{S}$  を発生する薬剤を用いる方法とがある。これらの凝沈法の除去効果に直接影響を与える重金属水酸化物および硫化物の溶解度と pH との関係については前節で述べた。以下には各種プロセスのフローシートとその処理原理を示す。

#### 2.4.1 フェライト法

Ferrite とは、磁鉄鉱のことである  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  と化学式では示される。この  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の 3 個の鉄原子の内 2 個が 3 価の鉄  $\text{Fe}^{3+}$  で、他の 1 個は 2 価の鉄  $\text{Fe}^{2+}$  である。すなわち、 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  となっている。2 価と 3 価の鉄の比が 1 : 2 である場合、Fig.13 に示したスピネル構造となる。スピネル構造とは<sup>7)</sup>、宝石のスピネル ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) と同じ結晶構造の総称である。 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  と O が最密充填状態であるため、金属水酸化物に比べ化学的に安定である。2 価の重金属  $\text{M}^{2+}$  は  $\text{Fe}^{2+}$  の代りにスピネル結晶体の中に occlude<sup>8) 9)</sup> される。また、3 価の重金属

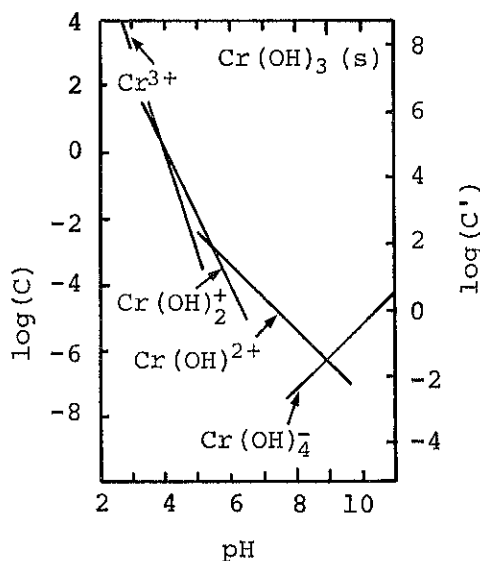


Fig. 11 Solubility of Hydroxo-Complex of Chromium (III)

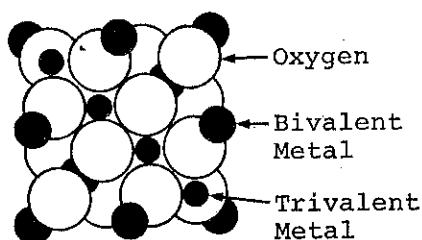


Fig. 13 Spinel Structure

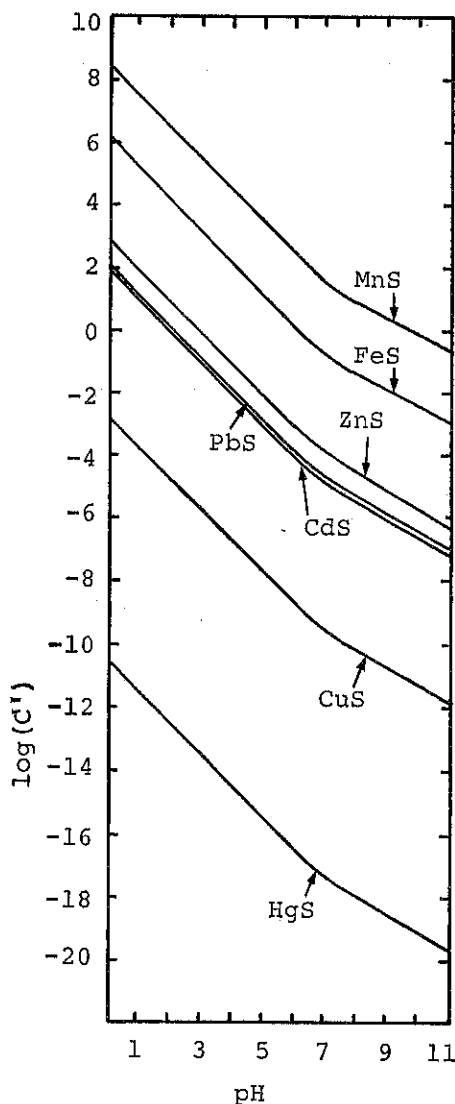


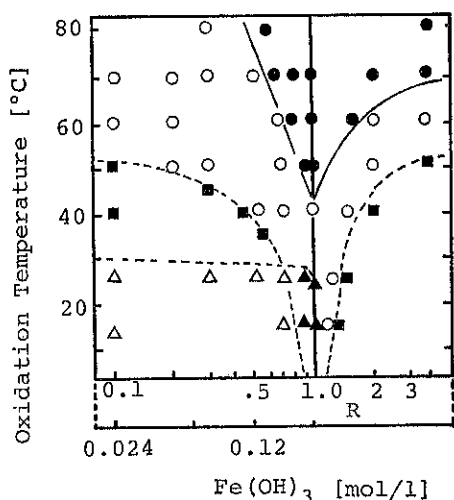
Fig. 12 Solubilities of Metal Sulfides vs. pH

$\text{M}^{3+}$  は  $\text{Fe}^{3+}$  の代りに occlude され、 $\text{M}^{2+}\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  あるいは、 $\text{M}_2^{3+}\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$  となる。アルカリ剤のみで除去困難な  $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$  に対して ppb オーダーの除去が期待できる。フェライトの生成条件は Fig.14 に示したように、 $40^\circ\text{C}$  以上での  $\text{FeSO}_4$  と重金属共存時の空気酸化により生成される<sup>10)</sup>。常温においても一部分フェライト化は可能である。フェライト法のフローシートを Fig.15 に示した。Fig.16 には常温において、 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} = 1/2$  に調節して一部フェライト化をはかり除去効果を上げようと工夫したプロセスを示した<sup>17)</sup>。まず  $\text{NaClO}$  により廃水中のキレートから重金属をデマスキング<sup>11)</sup>、過剰の  $\text{NaClO}$  あるいは水槽表面で空気中の  $\text{O}_2$  により

FeSO<sub>4</sub>の一部が酸化され、Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>=1/2の状態となる。なお、Ferrite 以外の無機物結晶構造（カルシウム・シリケート等）を利用する方法もある<sup>13)</sup>。

#### 2.4.2 硫化ソーダ法

Na<sub>2</sub>S を利用したプロセスのフローシートを Fig.17 に示した。NaOH により pH を調整した後、Na<sub>2</sub>S を注入する。第3反応槽では過剰の Na<sub>2</sub>S を反応除去するため FeCl<sub>3</sub> を注入する。高分子凝集剤を注入後、プレコート濾過し、中和後、放流する。硫化物法では H<sub>2</sub>S



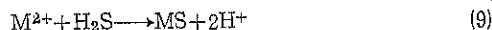
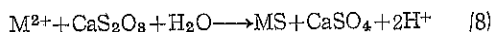
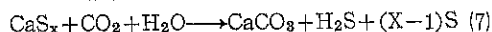
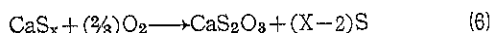
●: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, ■: αFeOOH, ○: Mixture of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and αFeOOH, ▲: Mixture of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, α and γFeOOH, △: Mixture of α and γFeOOH (R: 2NaOH/FeSO<sub>4</sub>)

Fig. 14 Conditions for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Formation

の発生に対処しなくてはならない。Fig.17 のプロセスではアルカリ洗浄を行なう。

#### 2.4.3 多硫化カルシウム法

石灰硫黄合剤（農薬として古くから使用されている。その主成分が多硫化カルシウム；CaS<sub>x</sub>である）を1剤のみ凝集沈殿剤として使用して廃水中の重金属類を硫化物として除去するプロセスである<sup>22)</sup>。すなわち、CaS<sub>x</sub>を廃水中に注入し、空気、CO<sub>2</sub>あるいは酸性ガスを吹き込むことにより分解させ H<sub>2</sub>S や CaS<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を発生させる (6), (7)式)。この H<sub>2</sub>S, CaS<sub>2</sub>O<sub>3</sub> により金属硫化物とする方法である<sup>18)</sup> (8), (9)式)。



硫化ソーダ法では、過剰の Na<sub>2</sub>S の除去および生成した重金属硫化物沈殿粒子（コロイドになりやすい）の除去のため、FeCl<sub>3</sub> や ZnCl<sub>2</sub> による後処理が必要となるが、多硫化カルシウム法では、(6)~(8)式に見るように、カルシウム塩 CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> と固体硫黄粒子 S が発生するため、これらが重金属硫化物の沈殿の助剤として作用するので後処理は不要となる。なお、硫化物法では、H<sub>2</sub>S や S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> により 6 価クロムは 3 価クロムに還元され処理される。石灰硫黄合剤が強アルカリ性であるため 3 価クロムは水酸化クロムとして除去可能である<sup>21)</sup>。Fig.18 には多硫化カルシウム法に適した連続プロセスのフローシートを示した<sup>18)</sup>。反応器 (Reactor) で発生した H<sub>2</sub>S はガス吸収塔 (Absorber) において廃水により吸収され、処理液中の H<sub>2</sub>S は沈殿除去 (Thickener, Sand

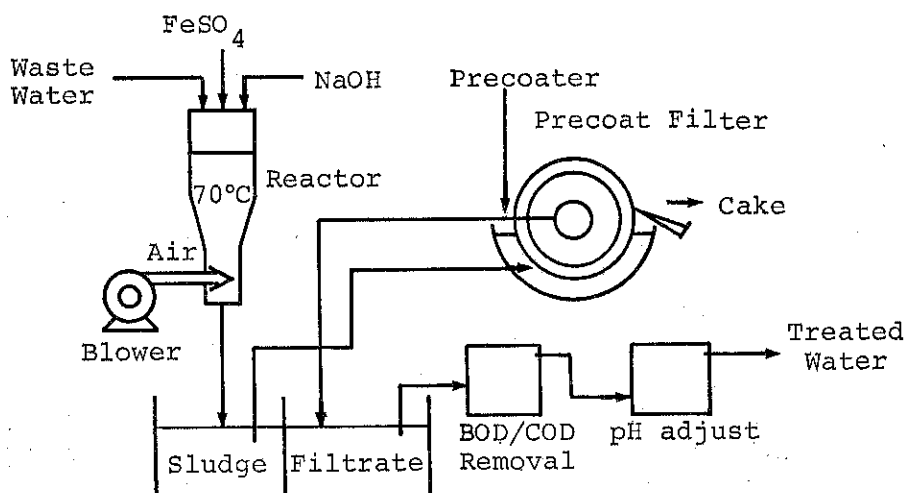


Fig. 15 Ferrite Process

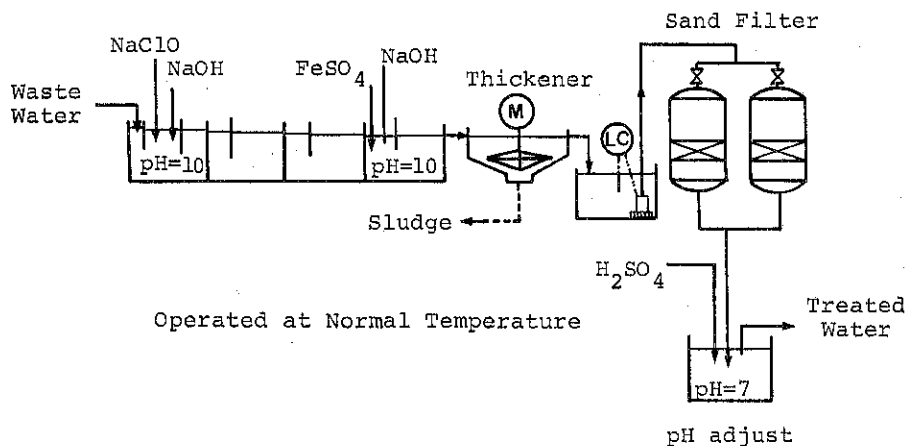


Fig. 16 Partial Ferrite Process

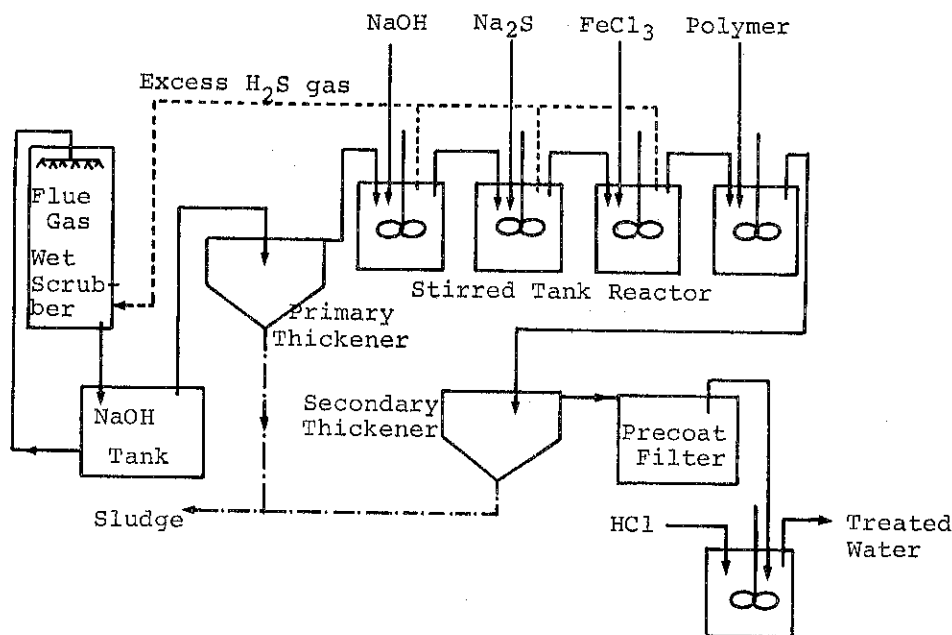


Fig. 17 Sodium Sulfide Process

Filter) 後、放散させる。また、スラッジ中の S は再び  $\text{CaS}_x$  の生産のために利用できる<sup>20)</sup>。Fig.15 のフェライト法では廃水の昇温が必要であったが、Fig.18 のプロセスでは常温において、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cr(VI)}$  に対して良好な処理が可能である<sup>21)</sup>。スラッジの発生量も少なく安価な処理が期待できる。

凝沈法による廃水処理の特徴としては、1) 同一水質を得るのに他方に比べ安価な処理が可能である。2) 沈殿したスラッジの再利用のできるプロセスが組みやすい。3) TDS (Total Dissolved Salts) の上昇する

ことはやむを得ない。TDS の少しの上昇は、SS の凝集に有利なこともある。4) 無機質凝集剤を使用した場合、コロイド粒子が生じやすい欠点があるが高分子凝集剤の併用で補える。5) 凝沈法では、固液分離装置として沈殿槽や砂ろ過などの比較的エネルギーを要しない型式のもので充分である。高い圧力や電解電力(逆浸透圧法、電気透析法、電解浮上法等)を要しない。廃水処理プロセスでは、そのシステム構成は単なる単位プロセスの処理コストの総和だけではないに、その単位プロセスの特徴を良く理解し、最良の組み合わせとすることが望ま



しい。

### 3. スラリーの処理法

前章で述べた凝集沈殿法で生成したスラリーから沈殿の除去法について述べる。前述の Fig.15, 16, 17, 18の各プロセスに示したように、沈殿槽やプレコートフィルタ等の汚過器が利用されている。

各種重金属凝集沈殿処理プロセスそれぞれに応じた特色のある沈殿が得られる。水酸化物法では、無定型 (Amorphous) となることが多く、膜状の沈殿となり沈降しにくくまた汚材の目詰りを起しやすい。フェライト法 (Fig. 15, 16) や硫化物法 (Fig. 17, 18) では、沈降性、汚過性の良好な球状の沈殿が生成される<sup>19)</sup>。なお、スラッジの脱水には高分子凝集剤の添加が効果的であることが多い<sup>4)</sup>。高分子凝集剤の添加のみによる湿式造粒法が井出により紹介されている<sup>33)</sup>。また、強磁性のスラッジが得られるフェライト法では、その磁気分離も可能である<sup>34)</sup>。

#### 3.1 沈降槽

沈降槽については、多くの総説<sup>24)32)</sup>や解説<sup>23)38)</sup>があるので、ここでは  $\text{CaS}_x$  プロセスに適したシックナーとして検討した傾斜板型シックナーについて述べる。

重力沈降装置の基本的原理についてまず解説する<sup>29)</sup>。Fig. 19 に図示した長方形の沈降室 (幅  $B$  [m], 高さ  $H$  [m], 長さ  $L$  [m]) へ、スラリーが流量  $Q$  [m<sup>3</sup>/sec] で流入している。この室内では、一様な線流速  $v$  [m/sec]

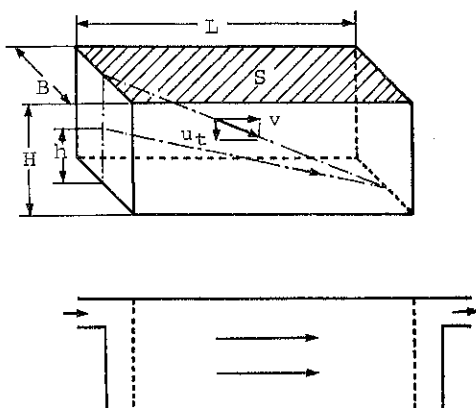


Fig. 19 Gravity Sedimentation Thickener

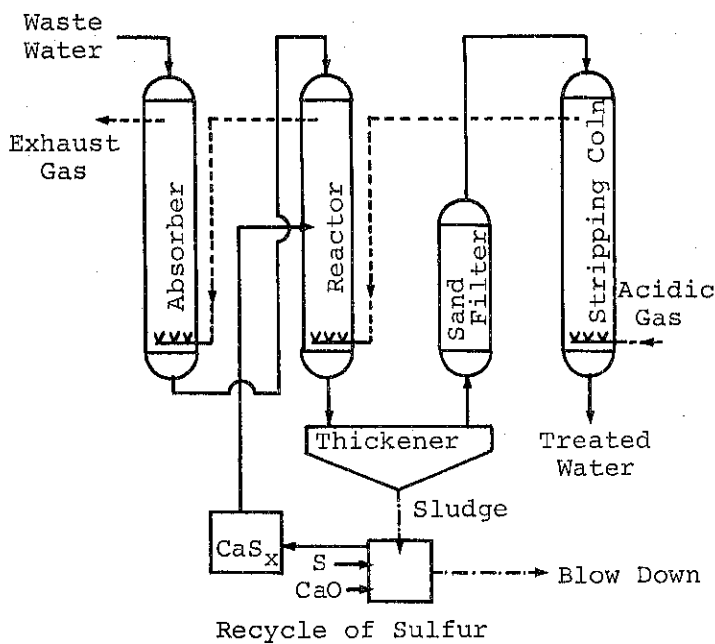


Fig. 18 Calcium Polysulfide Process

の押し出し流れで層流と仮定できるとする。流入スラリー中の粒子濃度は小で、粒子の沈降の際粒子間相互作用は無視できるものとする。粒子の終末沈降速度は  $u_t$  [m/sec] とする。また流れにうずや乱れはなく一度室の底に沈着した粒子は再浮上しないものとする。各粒子は、 $v$  と  $u_t$  との合成速度で Fig.19 の一点鎖線で示した軌跡を示しながら沈降して行く。今入口において  $h$  の高さ ( $h \leq H$ ) に流入して来たある粒子径の粒子が出口で下底まで沈降したとすると、入口で  $h$  より低い高さに流入した同じ粒子径の粒子は全て沈降分離されることになる。 $h$  より上に流入した粒子は沈降室を流過してしまう。したがって入口スラリー中に均一な濃度で粒子が含まれているときの分離効率  $\eta$  は(10)式で定義されることになる。

$$\eta = h/H \quad (\text{ただし } \eta \leq 1) \quad (10)$$

ここで、 $h/L = u_t/v$ ,  $v = Q/BH$  の関係があるから(10)式は(11)式と変形できる。

$$\eta = \frac{u_t L}{v H} = \frac{u_t L B}{Q} = \frac{u_t S}{Q} \quad (11)$$

ここに、 $S = LB$  = 沈降室床面積である。すなわち  $u_t$  および  $Q$  が一定であるとき、分離効率  $\eta$  は床面積  $S$  のみに依存することがわかる。 $Q/S$  は全流量が同一床面積を上向きに流れたときの上昇速度で、見かけの上昇速度と呼ばれる。または、表面積負荷と呼ばれることもある。このような理想的な水平流沈降分離では分離効率は、粒子

の沈降速度  $u_t$  と見かけの上昇流の流速  $Q/S$  との比に等しくなる。  $u_t \geq Q/S$  の沈降速度をもつ粒子群では、  $\eta = 1$  すなわち全て沈降分離されることになる。この  $\eta = 1$  となる粒子群の内、最小のものを限界粒子と呼び、その

粒子径を限界粒子径という。ストークスの沈降法則にしたがう場合には、(12)式で示される。すなわち、  $u_t = Q/S$  であるから、限界粒子径を  $D_{min}$  とすると  $u_t = g(\rho_s - \rho_f)D_{min}^2/18\mu$  の関係があるから(12)式が得られる。

$$D_{min} = \sqrt{18\mu Q / \{g(\rho_s - \rho_f)S\}} \quad (12)$$

$\eta$  と  $D_{min}$  が沈降室の高さ  $H$  と無関係であることは、一見不思議に感ずるのであるが、(11)式の導出の際、  $H$  が相殺された結果である。

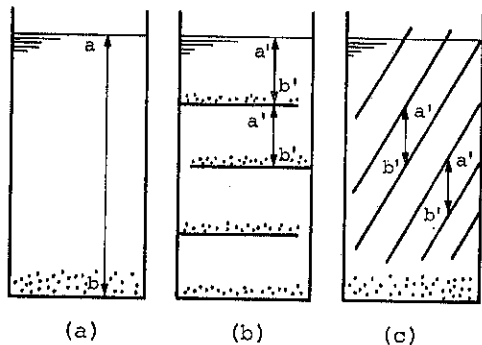


Fig. 20 Effect of Inclined Plates on Gravity Sedimentation

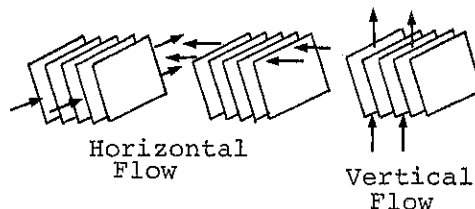


Fig. 21 Direction of Flow against Inclined Plates

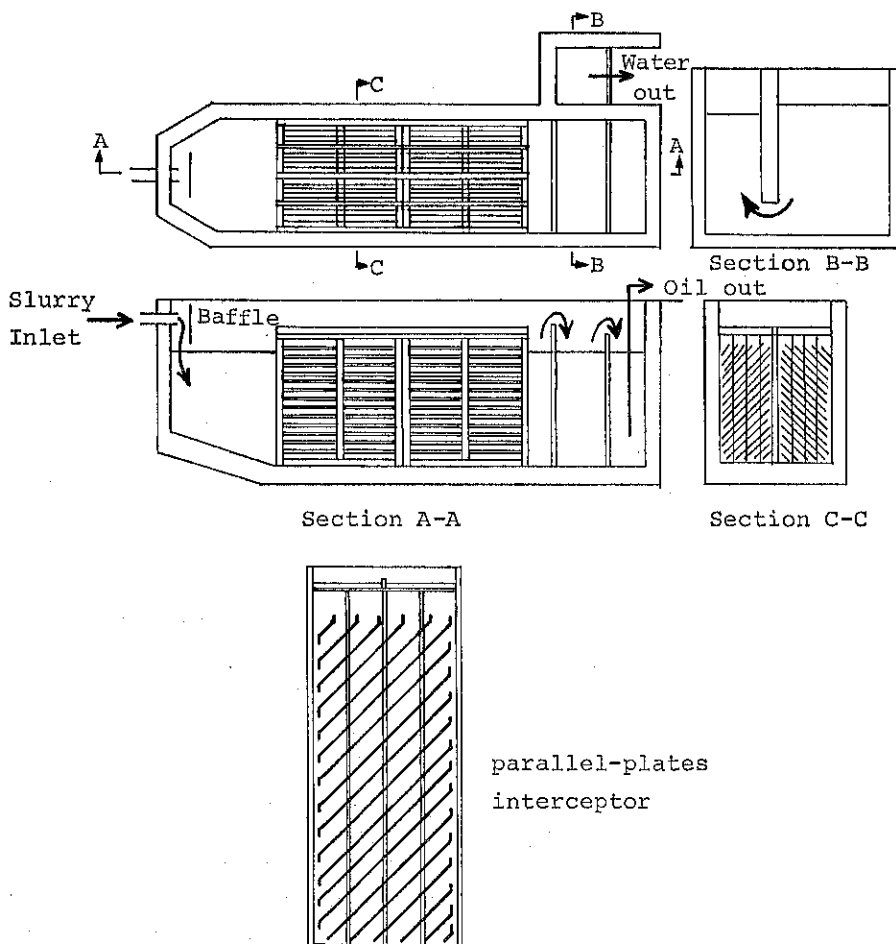


Fig. 22 Parallel-plates Separator

傾斜板による分離効果<sup>35)</sup>の増大について解説する。スラリー中の懸濁物質を沈降させるにせよ浮上させるにせよ、その分離効率は全床面積負荷  $S/Q$  で決定される。したがって固液の分離効果を能率的に行なうには、凝集剤により巨大フロックに生長させ沈降もしくは浮上速度を大きくするのはもちろんのこと、装置の占有面積内で全床面積をできるだけ大きくすれば良い。傾斜板型シクナでは、傾斜板の枚数（相当棚板枚数  $N$ ）だけ床面積が増加し分離効率は  $\eta = u_t SN/Q$  となる。すなわち、傾斜板は全床面積を増大させるのに極めて効果的であり、またうずの発生を防止することができる（整流効果）。傾斜板の効果をもっと端的に沈降所要時間により説明してみよう。Fig.20 に示したように、沈降槽中にスラリーを入れて静置して固液の分離（回分式）をしようとするとき、(a) のように水平の棚板も傾斜板もない場合には  $a-b$  の距離を沈降してしまうまでの時間静置しておかなくてはならない。しかし、(b) のように槽中に棚板を設置すれば  $a'-b'$  間を沈降するだけの静置時間で充分である。(a) に比べその距離は  $1/4$  であり、したがって時間も  $1/4$  で済む。ただし (b) では、沈降堆積した粒子の排出が困難で実用的でない。(c) は槽内に  $a'-b'$  の間隔の傾斜板を設けたもので、この場合沈降堆積した粒子は傾斜板上を落下して槽底部に集積されるので排出がたやすくなる。静置所要時間は (b) と同じでよい。Fig.21 には傾斜板の使用方式（傾斜方向と流れ方向の関係）を示した。

Fig.22 に示した PPI (Parallel-plates interceptor)

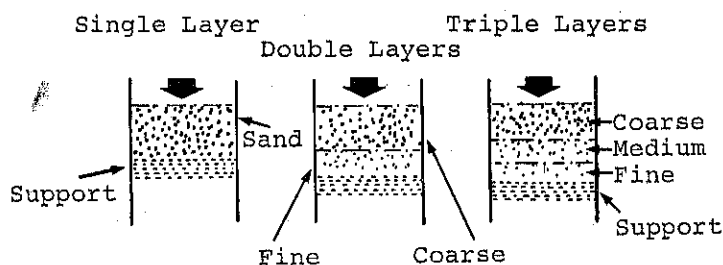


Fig. 23 Sand Filter with Single Layer and Multiple Layers

油水分離装置<sup>31)</sup>は水平流式であり、CPI (Corrugated-plates interceptor) 油水分離装置<sup>23)</sup>では垂直流式である。

### 3.2 汚過装置

汚材、汚過器、汚過助剤等については杉本<sup>27)</sup>の成書がある。

CaS<sub>x</sub> プロセスの Fig. 18 に採用した砂汚過装置について述べる。

Fig.23, Table.5 に示した多層汚過の方が目づまりが少ないようである。

砂汚過層は粉体充填層そのものであり、廃水の通過により流動電位が発生したりして、その汚過機構はそれほど単純なものではないようである。今後の研究に待つ所大である。

Fig.24 には、上向流式および下向流式の砂汚過槽を示した。下向流式に比べ上向流式では、気泡が抜けやすい利点があるが、固形分による汚層の閉塞のため圧力損失が上昇し汚材が流動化しやすい。そこで汚層上部にグリッド（鉄製格子）を設置して流動化を防止している。グリッド式上向流汚過装置の標準的な汚材構成を Table 6 に示した。上向流式はヨーロッパで実績が多いが、わが国でも上水および工業用水処理に数十基が稼動している<sup>30)</sup>。

### 3.3 スラッジ処理

廃水処理プロセスから発生するスラッジの処理は、非常に注目を集め関心が持たれている。プロセスの種類によりそれぞれ特徴のあるスラッジが得られている。これらスラッジは、未処理の状態での埋め立て、海洋投棄可能なものは少なく、処理を要するものが多い。特に重金属類を含有する廃水からのスラッジは、処理を必要とするものが大部分である。

重金属廃水の処理プロセスとして、もっとも実用化の進んでいる凝集沈殿法では重金属水酸化物、酸化物、硫化物やフェライトなどがスラ

Table.5 多層汚過における汚材の性質

| 層 序 | 二 層 汚 過 |             |             |     | 三 層 汚 過 |             |             |     |
|-----|---------|-------------|-------------|-----|---------|-------------|-------------|-----|
|     | 汚 材     | 有効径<br>(mm) | 厚 さ<br>(cm) | 比 重 | 汚 材     | 有効径<br>(mm) | 厚 さ<br>(cm) | 比 重 |
| 上 層 | アンスラサイト | 1.0         | 60          | 1.5 | アンスラサイト | 1.0         | 60          | 1.5 |
| 中 層 | —       | —           | —           | —   | 砂       | 0.35        | 15          | 2.7 |
| 下 層 | 砂       | 0.45        | 40          | 2.7 | ザクロ石の細砂 | 0.18        | 7.5         | 3.5 |

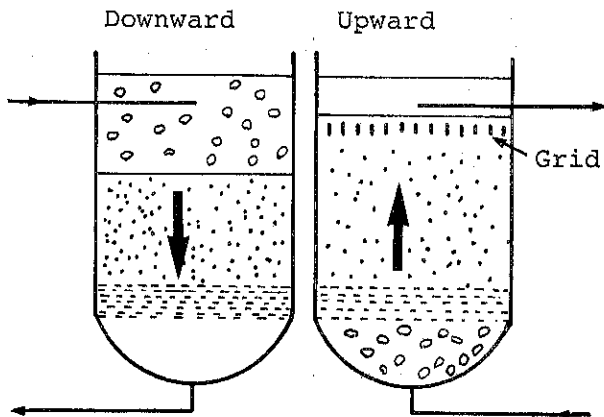


Fig. 24 Downward and Upward Sand Filters

Table. 6 グリッド式上向流汚過装置の標準汚層構成

| 汚層区分 | 標準粒径(mm) | 層の厚さ(mm) |
|------|----------|----------|
| 上部砂層 | 1~2      | 1,500    |
| 中 "  | 2~3      | 300      |
| 下 "  | 4~8      | 150      |
| 支持層  | 10~30    | 350      |

ッジとして得られる。スラッジ処理においては、その投棄あるいは再利用のための無害化に対して種々の工夫がなされている。たとえば、スラッジをセメント固化し、安全投棄あるいは、骨材としての再利用が可能ことから実施例が多い。スラッジのセメント固化では、スラッジの脱水の必要がないことが多く、湿潤スラッジにセメントおよび重金属溶出防止剤を加え混練を行なうのみで良い。この場合、粉体工業で開発された各種混練機が応用できる。

また、加圧のみにより充分な強度に固められるスラッジでは、ブリケットング・マシンやペレタイザーによりブリケットやペレットとして、投棄あるいは、再利用（金属類の含有量が多い時は、山元還元も可能）も実用化の方向にある。

ここでは、 $\text{CaS}_x$  プロセスから発生するスラッジの処理法について検討した。

まず、スラッジの処理法としてセメント固化を行なった。そして固化物からの重金属類の溶出試験を実施した。さらには、スラッジの好ましい処理法として、その再利用を試み

た<sup>20)</sup>。

スラッジのセメント固化 重金属スラッジの不溶出化の方策としては、セメント固化、焼結処理、ガラス化、プラスチック固化等<sup>28)</sup>が研究され、実用化されつつある。ここでは、もっとも簡便な処理法としてセメント固化による  $\text{CaS}_x$  プロセスのスラッジ処理を試みた。セメント固化の場合、最近種々の溶出防止剤が開発され実用化されつつあるが、 $\text{CaS}_x$  プロセスでは、上述のように S や  $\text{CaS}_2\text{O}_8$  を含むので還元性雰囲気となるため  $\text{Cr}^{3+}$  の再酸化による溶出の可能性は考えられない。 $\text{FeSO}_4$  等の溶出防止剤の添加は不要と考え、単にセメントのみによる固化を試みた。すなわち、スラッジ：

セメント：水の容量比を 5：5：1 とし固化後 2 週間放置し、4~32 mesh に粉碎後、環境庁告示第 13 号<sup>28)</sup> に基く溶出試験を実施した。結果の数例を Figs. 25, 26 に示した。Cr (VI) を 400 ppm 含み、NaCl を 0~24 wt. % 含む模擬廃水に  $\text{CaS}_x$  を 25 倍当量注入し、 $\text{CO}_2$  ガスにより分解して、 $\text{Cr}(\text{OH})_3$  の沈殿を含むスラッジを得、それをスラリー状のままセメント固化した。溶出試験結果は、Fig. 25 に見るように Cr (VI) の排出基準値 0.5 ppm および環境基準値 0.05 ppm をも満足している。環境庁告示第 13 号試験によりさらにきびしい条件による溶出試験も実施し、結果を Fig. 26 に示した。すなわち、溶出試験に用いる水の pH を、HCl, NaOH により 2, 4, 6, 8 に調整し、48 時間（告示第 13 号は 6 時間）の溶出を実測した。排出基準値を充分に満足している。他の重金属類についても告示第 13 号を満足することを確認した。

セメント固化法では、高価なセメントを使用するため最近では、セメントの混合比率を可能なかぎり削減する方向にある。

スラッジの再利用 スラッジをセメント固化し投棄するより、スラッジの再利用を行なう方が進んだ処理方

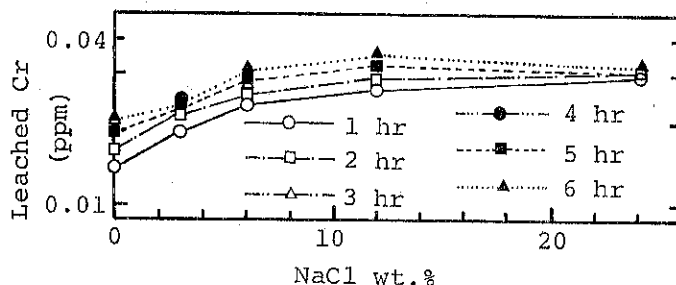


Fig. 25 Leaching Test of the Sludge of  $\text{CaS}_x$  Process

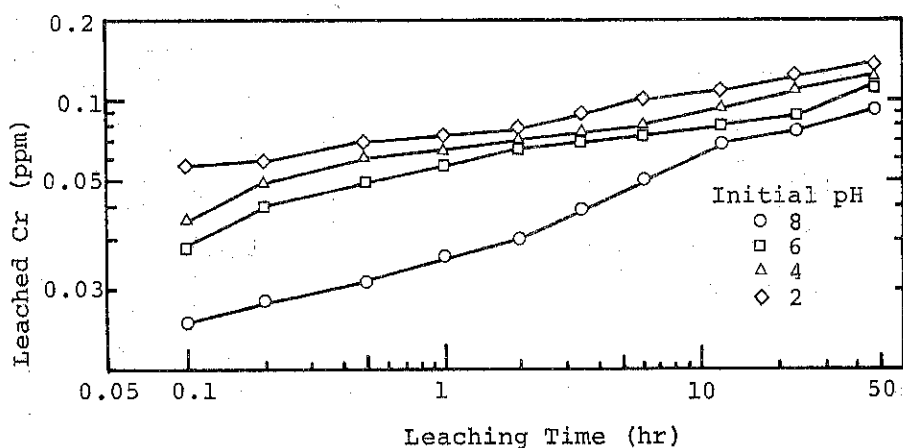


Fig. 26 Leaching Test of the Sludge of  $\text{CaS}_x$  Process

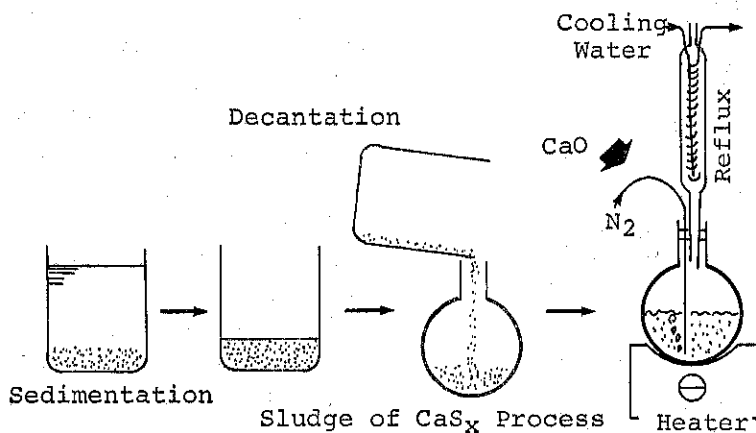


Fig. 27 Reproduction of  $\text{CaS}_x$  from the Sludge of  $\text{CaS}_x$  Process

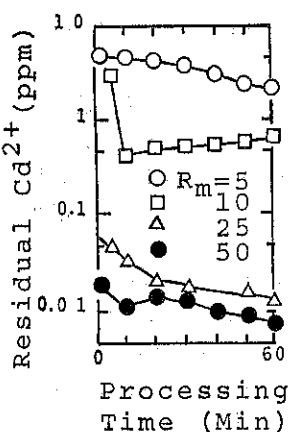


Fig. 28 Removal of  $\text{Cd}^{2+}$  by Reproduced  $\text{CaS}_x$

法である。  $\text{CaS}_x$  プロセスのスラッジを原料として、  $\text{CaS}_x$  を再生産する可能性を研究した。硫黄と金属硫化物との分離が可能となれば金属硫化物の山元還元による再利用も考えられる。  $\text{CaS}_x$  は、粉末の  $\text{CaO}$  と  $\text{S}$  とを水に投入し、  $\text{N}_2$  気流中で加熱することにより生産されている。ここでは、  $\text{S}$  源としてスラッジ中の硫黄を用いた。実験方法としては、 Fig. 27 に示したように、スラッジをスラリー状のまま水と  $\text{CaO}$  とを加え  $\text{N}_2$  気流撹拌で煮沸した。スラッジ中の硫黄から  $\text{CaS}_x$  の再生産は、硫黄回収率約80%で可能であった。  $\text{Cr(VI)}$  処理スラッジより再生産した  $\text{CaS}_x$  を使い、  $\text{Cd}^{2+}$  廃水 (25 ppm) を処理した結果を Figs. 28, 29 に示した。市販の  $\text{CaS}_x$  と同等の処理効果が得られた。煮沸時間30分以上、  $\text{CaS}_x/\text{Cd}^{2+}$  (モル比) =  $R_m$  が25以上で充分な処理が可能であった。  $\text{Cd}^{2+}$  処理スラッジからの  $\text{CaS}_x$  による

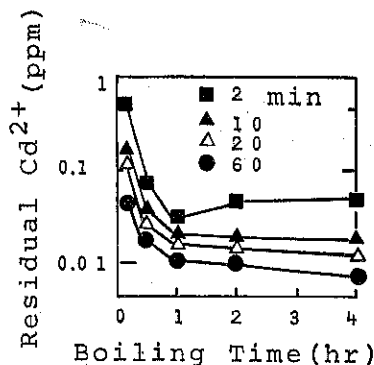


Fig. 29 Removal of  $\text{Cd}^{2+}$  by Reproduced  $\text{CaS}_x$  ( $R_m=25$ )

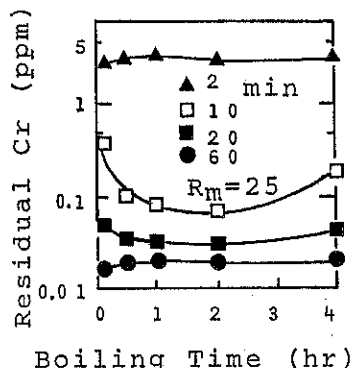


Fig. 31 Removal of Cr by Reproduced  $\text{CaS}_x$

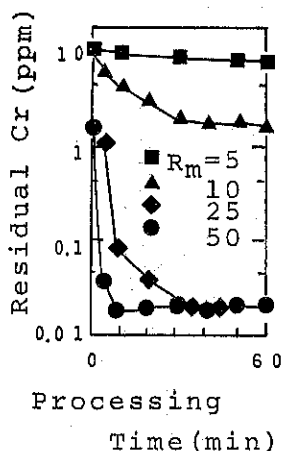


Fig. 30 Removal of Cr by Reproduced  $\text{CaS}_x$

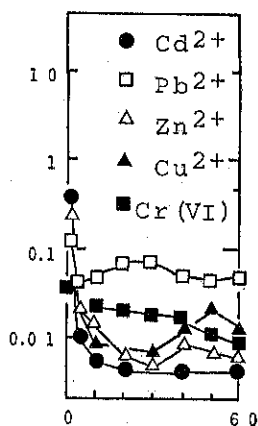


Fig. 32 Simultaneous Removal of  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , and Cr (VI) by Reproduced  $\text{CaS}_x$

Cr(VI) の処理結果も Figs. 30, 31 に示したように良好であった。煮沸時間10分以上、 $R_m > 25$  で再利用処理ができた。複合的に汚染された廃水 ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , Cr(VI) 各 25 ppm) に対しても再生産  $\text{CaS}_x$  の効果を確かめた (Fig. 32)。なお、スラッジから  $\text{CaS}_x$  を生産した残渣 (数%の重金属硫化物を含む、ブローダウン) のセメント固化、溶出試験も実施し、すべて環境基準をパスすることを確認した。

まとめ  $\text{CaS}_x$  プロセスより副生するスラッジは、簡単なセメント固化により投棄可能である。さらには、スラッジ中の硫黄より  $\text{CaS}_x$  の再生産も可能であり、 $\text{CaS}_x$  廃水処理プラントに再生産プロセスを設備することにより硫黄の有効利用が可能である。小規模の廃水処理装置では、スラッジのセメント固化も適当であろうが、大規模の装置では、スラッジ (硫黄) の循環利用が可能なプロセスは非常に興味のあるプロセスである。

凝集沈殿式以外の廃水処理プロセスにおいても、たとえば活性汚泥法のスラッジ処理、活性炭吸着法の脱着処理等のように最終工程までの完全な検討が望まれる。

#### 引用文献

- 1) W. スタム, J.J. モーガン著; 安部喜也, 半谷高久訳: 「一般水質化学」上, 下 共立出版 (1970-1974)。
- 2) G. シャルロー著; 曾根興三, 田中元治訳: 「定性分析化学」I, II 共立全書 No.512 (1969-1974)。
- 3) L.G. Sillén and A.E. Martell: "Stability Constants of Metal-Ion Complex", Special Publ., No.17, The Chemical Society, London (1964)。
- 4) 大森英三: 「高分子凝集剤」新高分子文庫 4, 高分子刊行会 (1973)。
- 5) 梅崎芳美: 「重金属含有廃水の除害と回収」, 公害と対策, 7, No.4, 14 (1971)。

- 6) D.D. ペリン著；黒田六郎，小熊幸一訳：「化学反応のマスキングとデマスキング」，講談社(1970--1971)。
- 7) 井上勝也：「含水酸化鉄の正体」，化学と工業，27，571 (1974)。
- 8) 田崎潤三ら：「フェライトの製造」，名工試報告，7，833 (1958)，10，537 (1961)，10，791 (1961)，11，17 (1962)，12，572 (1963)，15，1 (1966)。
- 9) 佐藤寿彦ら：工業化学雑誌，15，1748 (1962)。
- 10) M. Kiyama: Bull. of Chem. Soc. of Japan, 47, 1646 (1974)。
- 11) 宗森ら：日本化学会第29秋季年会講演予稿集 I，p.116 (1973)。
- 12) 菅野 出，林 三郎：「フェライト化法による重金属廃水の処理」P P M，7，No. 2，p.61 (1976)。
- 13) 遠山一郎：「無機材料による重金属の吸着法」，P P M，7，No. 1，p.33 (1976)。
- 14) 池田 豊：「磁性酸化物共沈法による廃水中の重金属処理技術」，化学装置，No. 7，p.87 (1975)。
- 15) L. J. Ricci: Chem. Engg., Dec. 12 (1975) p.29. N. R. Iammartino: ibid., Feb. 13 (1975) p. 36.
- 16) T. Yano et al.: DECHEMA, Monographien, 80, 179 (1976)。
- 17) 矢野武夫，荒谷敏朗：「分流方式大学廃水処理システムと水質管理における問題点」，用水と廃水，No. 8 19 (1978)。
- 18) 荒谷ら：Bull. of Chem. Soc., Japan, 51, 613 (1978)。
- 19) 荒谷ら：Bull. of Chem. Soc., Japan, 51, 2705 (1978)。
- 20) 荒谷ら：化学工学協会北陸大会要旨集，No. S-10 (1976)。
- 21) 荒谷ら：Bull. of Chem. Soc., Japan, 51, 1755 (1978)。
- 22) 荒谷ら：Proc. of IFAC Symposium, Pergamon Press (1978)。
- 23) 産業用水調査会：「用水廃水便覧」2版 (1973)。
- 24) B. ヤーゲンソン，M.E. ストラウマニス共著；王虫文一監訳「コロイド化学」培風館 (1967)。
- 25) 丹保憲仁：「凝集とフロック成長の理論」，化学機械技術，26巻 丸善 (1974)。
- 26) 吉野善彌：「廃水処理と固液分離装置設計法」産報 (1974)。
- 27) 杉本泰治：「汚濁と汚濁助剤」地人書館 (1967)。
- 28) 化学工学協会：産業部門委員会1011委員会活動報告書「廃棄物処理技術」(1975)。
- 29) 化学工学協会編：「初步化学工学」いずみ書房 (1969)。
- 30) 通産省監修：「公害防止の技術と法規」(水質編)。
- 31) Julio G. Miranda: Chemical Engineering, Jan. 31 (1977)。
- 32) 吉岡直哉：「沈降分離装置設計の基礎」化学機械技術，26，21 (1974)。
- 33) 井出哲夫：「沈降分離装置の排水処理への応用」，ibid., 43 (1974)。
- 34) M. Miura: Chem. Eng. Prog., April (1978)，p.66.
- 35) E. Rubin and E. Zohavi: A. I. Ch. E., Symp. Series, 71, No. 151 (1975), Water '75.

## 特許一言メモ

### 登録商標の更新手続

登録商標は10年ごとに更新手続をすることによって永続させるのであるが，昭和53年6月25日以降の手続きから，従来は必要としなかった＜その商標はこの通りたしかに使っています＞ということを説明する「使用説明書」と，「使用の事実を示す書類」(カタログ，写真など)を添付しなければならなくなった。これは実用されていない商標を排除し，本来の正しい登録商標の保護運用をしようとするものであるが，ただでさえややこしい

規則づくめの特許手続きにまたひとつ，さらにややこしい規則と手続きがふえたことだけはたしかである。

この更新登録は，登録の10年満了6ヶ月前から3ヶ月前の間に手続きをしなければならず，さきの商標使用事実を示すものは更新手続きをする3年前以内のものでなければならない。したがって，これらを含めた特許管理はどこの企業もいよいよ充実させたものにしてゆく必要にせまられている。(M. N)

ウ ス の 話

沢 島 恭\*

Yasushi Sawahata

「くっきり文様タテ杵」とキャプションをつけて、3月16日の読賣新聞は東大阪市弥生町の鬼虎川遺跡から発見された赤極製の杵を写真入りで紹介した。今からおよそ2200年昔、弥生前期のものと推定されるとあった。そうすると、これは中国の江南地域から東支那海を渡って、北九州の地に稲作文化が伝来したのが紀元前2・3世紀とされているから、それとほとんど同時代のものということになる。稲作技術と一緒に伝来した輸入品か、それともノウハウによる国産品なのかは興味を持たれるところではあるが、不思議でならないのは相手方の臼がなぜに出土しないかということである。臼と杵の組合せ一式も農産加工のからくりとして、その利用の方法とともにその時代に伝来したとされており、陰陽一組の片われが土の中にまだ埋まっているのかいないのか、一緒に出てこれられないのでは杵もいささか淋しかりう。

その頃以降、わが国の広い範囲で五穀のからとり、精白、搗碎などに用いられていたのは堅臼、多分中央の部分がくびれてツヅミ型をした、月で兎が餅つきをするという、あの形態のものであっただろう。それで、こうした臼を作ったとか使ったとかの記録はないものかと、手元にある文献を少しばかり調べてみたところ、ひとつの記録が先づは風土記の中に見つかった。播磨風土記の賀毛の郡の段である。「賀毛と号（なづ）くるゆえは品太（ほむだ）の天皇の世、鴨の村に双（つがい）の鴨栖（す）を作り卵を生むき。かれ、賀毛の郡という。」にはじまる文章の終の方で、要するに品太の天皇つまり応神天皇の御世、天皇ご巡幸の折に鴨を射たことからその名のついた下鴨の里では酒造りが行なわれ、酒米の精白に使う臼が確居の谷で作られたという話がそれである。おそらく堅杵を上下動して用いる木製の堅臼であろう。

鴨の里は加古川から国鉄加古川線、北条線を乗りついで今の播磨下里のあたりである。この風土記は、和銅6年（713）の風土記撰述の官命を受けて間もなく編纂されたとされており、稲作文化の伝来から約1000年ののち、今から1260年ほど昔の記録である。

ところが、同じ12～1300年昔の記録でも、万葉集になると堅臼ではなく、足踏み式の確らしい臼を詠んだ歌が登場する。巻第1の1首目から数えて、巻第16の3817首目の歌がそれである。

かる臼は田伏のもとに 我が背子は

にふぶに笑みて立ちませり見ゆ

河村王が宴の席上琴に合せて歌うのをつねとしたと伝えられるこの歌の、かる臼は唐臼、だとすると物類称呼（越谷吾山編、1775年刊）にある関西でゆう踏み臼、江戸の田舎で呼ぶところのじがら臼であろう。間違いなく中国渡来の農業機械である。田んぼの作業小屋の片えには唐臼が置いてあって、私のいとしい人がにこにこ笑って立っておいでになると歌ったこの歌から、私は小春日の陽ざしの中で秋の収穫を喜び合っている相愛の男女の姿をほほえましく思い浮べたい。

もうひとつ、同時代のしかも別種の臼の記録は、およそ1370年の昔のこととして、「推古天皇の18年（610）高麗王より僧曇徴を貢す。曇徴、碓磑（みずうす）を造る。」と日本書紀にある。これは、堅臼に対する横臼、しかも水車で動かす回転式の石臼で、当時としてはもっとも進んだからくりのものである。曇徴さんはさまざまな大陸文化をわが国に紹介したお方として有名であるが、その中のひとつに石臼があったのである。

ともあれ、およそ1300年昔の日本には、堅臼、足踏み臼、回転式の石臼の3種類が存在していたことはこれらの文献から知ることが出来る。そして、すべては大陸からの伝来品であったのである。

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

原典は言うに及ばず、現代文字で記された校訂本でさえ、数百頁を読んでいってその中の二・三行の記録を見



出すことは暇と根気のいる仕事である。こうした仕事に比べると、物事の曰く因縁故事来歴を調べ、考証を与えて一冊にまとめ上げられた著作は有難い。その有難い一冊として宋応星が編述した天工開物がある。17世紀に記された中世中国の技術書である。アグリコラが中世ヨーロッパの鉱山技術を集成したデレメタリカに紹介されている粉碎機が水力及び畜力を用いるスタンプミル1種であるのに比較して、天工開物の粉碎機、すなわち臼はさまざまな図面を使ってにぎやかである。

碓、タイと呼ばれるこの臼が先の万葉集に歌われた臼、すなわち唐臼であり踏み臼である。これを、水車で動く回転軸にカムと挺子で作動する杵を設けたものが水碓である。

礮、ロウはすり（磨）臼、もみすり臼である。松の丸太で作った木礮と、竹の骨格に土を埋め竹の刃を設けた土礮の2種類があり、木礮が生産能力において土礮の約10倍優るといふ。沖縄のシリウシ、北関東のスルス、山形のコンズルスはこれである。

磨、マと呼ばれるこの臼は石で作って石礮（セキガイ）ともいい、礮は上下2個の回転石から成る石臼である。水車で動くのが水磨、茶を挽くのが茶磨である。

物事を上手にこなすを茶臼芸、何でもこなすが雑なのを石臼芸という。石臼芸と同じ意味の言葉にケラオというのがある。あの、虫のオケラである。よく飛ぶけれども屋上にあがれず、よく昇るけれども木の頂上をきわめられず、よく泳ぐけれども谷を渡れず、よく穴を掘るけれども身を被うことが出来ず、よく走るけれども人に先立つことを得ずというケラオを、「実なき人のたとえ也。俗に石臼芸というも同じ心か。」とは物類称呼の文章である。

碓、デンは石礮とも呼ばれ、現代のチリアンミルすなわちエッジランナーの原形ともいふべきもので、牛に引かせる牛礮は大型である。人の手で動かす石のローラーを用いる小礮は、黍、粟、ゴマなどの製粉に用いられたという。

天工開物にいう研とは磨砕のこと、粹精の粹は砕に通じ、精は精白の意味を示すという。したがって、各種の臼の話の出る来るこの書物の第4章は製粉技術の章である。もうひとつの粉碎機として第16章の朱墨に研硃の図

が紹介されている。硃は辰砂、研硃は辰砂の磨砕で、舟形の下臼の中を挺子仕掛けで石の車が往復動するこの粉碎機は、いってみれば大形の薬研（ヤゲン）といったところ、これも臼の1種に入れておいて差支えあるまい。

五穀のからをはぎ、糠を去って精白し、時には粉碎機として粉を作り、ときには混合捏和の装置としても広く用いられて来た臼は、わが国では1300年以上もの昔からウスと呼ばれて来たことが明白である。最初はツヅミ形の豎臼だけだったろうが、それもやがては大型化し、時代の変遷と技術の進歩はさまざまな種類と形態のウスを生み出した。しかしわが国では、それが唐から伝来したものであればカラウスと呼ばれ、杵を足で踏むものであればフミウスと名付けられた。水力を利用したものはミズウスであったし石で作ったものはイシウスであった。いずれの場合にもウスという名前がつけられた。構造や機能が異ってもウスはウスであった。なぜウスがウスと呼ばれるようになったのか、今の私には分らない。ただ、臼は古くから神聖なものとしてわが国では大切に取扱われて来ている。家の新築移転の際の家財の運搬や、火事の時の家財の持出しに当っては、臼は何よりもまっ先に運び出されたというし、日頃は土間の大黒柱の傍に置かれて正月には歳の神を迎える祭壇として用いられ、臼にお供えをしたり、仕事始には臼を起して餅をつくなどの風習が、いまだに日本の各地に残されているという。私自身も子供の頃経験した、そうした臼に関するわが国の風俗習慣を念頭において、土間の大黒柱の横にデンと据えられた臼の姿を頭の中に画いてみると、わが国農耕文化のひとつの主柱として存在して来た臼、一家の住人の命の糧を生産提供してくれてきた臼が、農耕生活の中でもっとも尊いもの、すなわち、宇（ウ＝家）の主（ス＝ぬし）に相当するものとしてウスと名付けられたような気がして来るのだが、これはむしろ門外漢の索強付会の言辭、ウソの話としておいた方が無難であろう。

兼好法師が、「ひとり燈のもとに文をひろげて見ぬ世の人を友とするぞ、こよなうなぐさむわざなる。」と書き記した一文は、しかし、つれづれの暇に臼の話を調べてみた私にとっては真実そのものであった。

# 粉体と環境汚染

## Particulates and Environment

東畑 平一郎\*

Heichiro Tōhata

### 1. はじめに

公害対策基本法第2条によれば、公害には大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、悪臭の7種類がある。これらのうち、広い意味で粉体の関与する公害は騒音、振動、悪臭を除く4種類である。

地盤沈下は地下水の汲上げまたは構築物の荷重に伴う粉体層の力学的挙動に基づく現象で、地下水汲上げの規制などの対策が進んでいるため、最近顕著な事例は起きていない。土壌汚染ではカドミウムと6価クロムが話題に上ったが、大気汚染としての労働災害は別として、一般市民の被害はほとんどなく、マスコミ公害において強かった。水質汚濁の目やすとなる透明度に対して、水中の粉体、いわゆるSSが大きい影響をもつ。SSの分離は技術的には特に問題はないが、分離されたスラッジの処理がその成分によってむずかしい場合が出ている。

粉体と環境のかかわり合いを考える場合、やはり大気汚染が中心となるだろう。以下、おもに大気汚染に関し粉体公害の現況、規制、測定と対策技術における工学的な問題点などについて述べる。

### 2. 環境汚染の現況

#### 2.1 粉じんによる被害

大気中の粉じんは成分、粒径、濃度などにより異なるが次のような被害を伴う。

1) 呼吸器に沈着し呼吸器疾患の原因となる。この点では沈着率の高い数ミクロンの粒子が最も危険である。もちろん、粉じんの成分も関係があり、たとえばベリリ

ウムなどは微量でも疾患を生ずる。

2) 大気中の有害ガスによる被害は粉じんの存在によって助長される。有名なロンドンスモッグ事件の原因物質は亜硫酸ガスとばいじんであったという。粉じん表面へのガスの吸着に関係のある一種の複合汚染とみることができる。

3) 動植物への粉じんの影響については調査データに乏しいが、当然なんらかの被害を与えるものと思われる。筆者は昭和30年代にセメント工場がみかん畑に与えた公害事件の調停に当たった経験がある。

4) 粉じんは視界障害を生じ、器物を汚染する。この面では心理的要素の強い被害も予想されよう。

なお、排水中の粉体は前述のように透明度を損うことはあっても、人体に直接の被害を及ぼすことはほとんど考えられない。水質規制の強化とともに、2次汚染も今後は心配ないものと思われる。

#### 2.2 粉じんの種類

大気中の粉じんは土ぼこりや花粉のような天然粉じんと、ボイラーなどから排出される人工粉じんとに分類できる。風媒花の花粉はアレルギー性鼻炎の原因となることが知られており、バクテリアやウィルスにも空気を媒体として病源となるものが少なくない。これらの粉体に対しては特別な対策が必要であろう。

大気汚染防止法により規制の対象となる粉じんには次のような種類がある。

1) ばいじん、燃料その他の物の燃焼または熱源としての電気の使用に伴い発生する固形物

2) 有害物質の燃焼、合成、分解その他の処理に伴い発生する物質のうち、人の健康または生活環境に係る被害を生ずるおそれのある物質で政令で定めるもの（粉じんとしては鉛、カドミウムおよびそれらの化合物が指定されている）

3) 粉じん、物の破砕、選別その他の機械的処理またはたい積に伴い発生し、または飛散する物質

\* 中央大学理工学部工業化学科

(〒112 東京都文京区春日1-13-27)

Tel. (03) 813-4171

環境中の粉じん量は次の2種類の表わし方がある。

1) 浮遊粒子状物質。大気中に浮遊する粒子状物質であって、その粒径が10ミクロン以下のもの

2) 降下ばいじん。地表面に重力降下する粉じん

浮遊粒子状物質の定義によればミストも含まれることは明らかであるが、たとえばハイボリュームサンプラーで計測すると一部のミストは測定値に含まれない。この点に矛盾はあるものの、実際には特殊な環境を除き10ミクロン以下のミストが大気中に存在する量はきわめて少ないので、ミストによる測定誤差は考慮しなくてもよい。また、降下ばいじんの場合、上記の法律用語としての“ばいじん”に限らず、天然粉じんを含めすべての固形粉じんをいい、もちろん10ミクロン以上と定められてはいない。

### 2.3 粉じんによる環境汚染の現況

降下ばいじん量は石炭がエネルギー源として多量に用いられていた昭和30年代後半には  $30\text{t}/\text{km}^2/\text{月}$  を越える地区が少なくなかったが、燃料転換の進ちょく、道路舗

装など都市化の進展、集じん装置の普及などの理由で著しく減少している。Fig.1<sup>1)</sup>は例として東京都における降下ばいじん量の経年変化を示す。また、Table.1<sup>2)</sup>は全国1,155地点での降下ばいじん量を昭和47年度と51年度について比較したもので、減少の傾向が明らかに示されている。降下ばいじんに対する環境基準は制定されていないが、 $5\text{t}/\text{km}^2/\text{月}$  以下であることが望ましい。

浮遊粒子状物質（以下浮遊粉じんと書く）は普通  $\text{mg}/\text{m}^3$  または  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  で表わされ、昭和43、4年頃をピークとして著しく減少したが、ごく最近では漸減または横ばいの状態となった。Fig.2<sup>3)</sup>は東京都における浮遊粉じん量の経年変化と環境基準（後述）適合率の推移を示した。全国の測定局中環境基準を達成している局は30%弱である<sup>2)</sup>。

粉じんが人の健康に及ぼす影響は上述のように粉じん

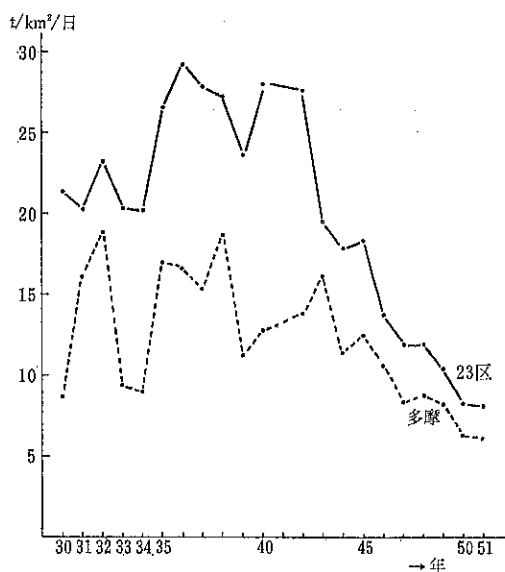


Fig. 1 降下ばいじんの経年変化

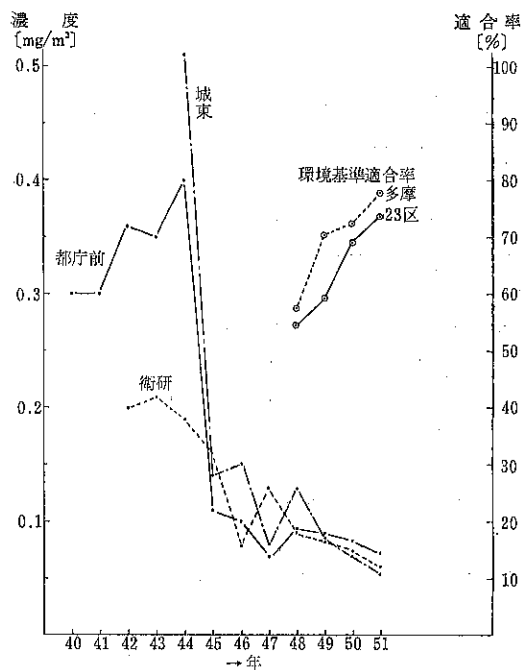


Fig. 2 浮遊粒子状物質の経年変化

Table 1 降下ばいじん量の推移

|        | 5t/km <sup>2</sup> /月<br>未 満 | 5t/km <sup>2</sup> /月<br>以 上<br>10t/km <sup>2</sup> /月<br>未 満 | 10t/km <sup>2</sup> /月<br>以 上<br>20t/km <sup>2</sup> /月<br>未 満 | 20t/km <sup>2</sup> /月<br>以 上<br>30t/km <sup>2</sup> /月<br>未 満 | 30t/km <sup>2</sup> /月<br>以 上 | 合 計             |
|--------|------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 47 年 度 | 258<br>(22.3)                | 642<br>(55.6)                                                 | 189<br>(16.4)                                                  | 45<br>(3.9)                                                    | 21<br>(1.8)                   | 1,155<br>(100%) |
| 51 年 度 | 552<br>(45.2)                | 521<br>(45.1)                                                 | 96<br>(8.3)                                                    | 9<br>(0.8)                                                     | 7<br>(0.6)                    |                 |

の成分に関係がある。東京都公害研究所ではハイボリュームサンプラーで捕集した浮遊粉じん中の重金属およびベンゾ(a)ピレンを継続的に測定している<sup>4)</sup>。重金属類は原子吸光法を、ベンゾ(a)ピレン等多環芳香族炭化水素は薄層クロマトグラフィ・分光蛍光光度法をそれぞれ用いた。その結果によると、総粉じん量の低減に伴い、これらの物質も明らかに低減の傾向を示しており、たとえば昭和44年度に対する昭和50年度の減少比率はカドミウム1/5、クロム1/5、鉄1/2、マンガン1/3、ニッケル1/6、鉛1/6となっている。鉄以外の成分の減少比が総粉じんの減少比を上回っている事実は注目に値する。現在環境中の微量物質についての環境庁の調査が進められているが、成分的にも最近都市の大気がきれいになってきていることは明らかである。

なお、上記の調査では粉じんの粒子径と含有物質量の相関についてもデータが採られており、それぞれの発生源の推定の一つの手がかりとなっていることを付言しておきたい。

3. 粉じんの規制

3.1 環境基準

現在わが国では大気汚染に係る環境基準として5物質の基準が制定されている（非メタン炭化水素については環境基準でなく指針としての数値が定められている）が、浮遊粉じんに対しては昭和47年1月環境庁告示第1号として次のような基準が制定された。

- 1) 連続する24時間における1時間値の平均値が、大気1m<sup>3</sup>につき0.10mg以下であること
- 2) 1時間値が大気1m<sup>3</sup>につき0.20mg以下であること

この基準は工業専用地域（都市計画法第9条第8項）、車道その他一般公衆が通常生活していない地域または場所については適用されない（環境庁告示・昭和48年第35号）。

昭和51年度で環境基準を達成したのは177測定局（86

都市）中50局であった<sup>2)</sup>。上掲（Fig.2）の環境基準適合率とは条件1）を満足する日数の年間全日数に対する百分率をいう。

ちなみに米国連邦政府の浮遊粉じんに対する環境基準は次のとおりである。

- 1) 年幾何平均 0.075mg/m<sup>3</sup>以下
- 2) 24時間平均 0.26mg/m<sup>3</sup>以下

また、粉じんの成分別の基準も検討されている。

3.2 排出基準

ばいじん（2.2参照）に対する排出基準は27種類のばいじん発生施設（大気汚染防止法施行令別表第1）ごとに規模別に定められている。Table.2はその抜粋である。この基準については地方条例による上乗せがある場合があるので、集じん装置の計画に当たっては注意が必要である。Table.2から知られるとおり、ばいじん濃度の一応のめどは0.05g/Nm<sup>3</sup>以下であり、この濃度であれば煙はほとんど目に見えない。集じん装置によってこの程度まで低減することは普通それほど困難ではない。

有害物質に対する排出基準はTable.3に示すようにばいじんに対する規制値より厳しい。この基準も地方自

Table. 3 有害物質（粉じん状物質）の排出基準

| 有害物質名        | 施設名                               | 基準値                   |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------|
| カドミウム及びその化合物 | 銅、鉛、亜鉛の精錬用の焙焼炉、焼結炉、溶鉱炉、転炉、溶解炉、乾燥炉 | 1.0mg/Nm <sup>3</sup> |
|              | カドミウム顔料、炭酸カドミウム製造用の乾燥施設           |                       |
|              | ガラス製造用の焼成炉、溶融炉                    |                       |
|              |                                   |                       |
| 鉛及びその化合物     | 銅、鉛、亜鉛の精錬用の焙焼炉、転炉、溶解炉、乾燥炉         | 10mg/Nm <sup>3</sup>  |
|              | 銅、鉛、亜鉛の精錬用の焼結炉、溶鉱炉                | 30mg/Nm <sup>3</sup>  |
|              | 鉛の第2次精錬、鉛の管、板、綿、鉛蓄電池、鉛原料の製造用の溶解炉等 | 10mg/Nm <sup>3</sup>  |
|              | ガラス製造用の焼成炉、溶解炉                    | 20mg/Nm <sup>3</sup>  |
|              |                                   |                       |

Table. 2 ばいじんの排出基準（抜粋） 単位：g/Nm<sup>3</sup>

| 施設名                  | 一般排出基準 |      | 特別排出基準 |      | 施設名                                     | 一般排出基準 |      | 特別排出基準 |      |
|----------------------|--------|------|--------|------|-----------------------------------------|--------|------|--------|------|
|                      | 規模の大   | 規模の小 | 規模の大   | 規模の小 |                                         | 規模の大   | 規模の小 | 規模の大   | 規模の小 |
| ボイラー（重油燃焼）<br>（石炭燃焼） | 0.10   | 0.20 | 0.05   | 0.20 | 加熱炉、溶解炉、セメント、焼成炉、溶融炉、製鋼用電気炉、直火炉、反応炉、乾燥炉 | 0.20   | 0.40 | 0.10   | 0.20 |
| 溶鉱炉（高炉）              | 0.10   |      | 0.05   |      | キューボラ                                   | 0.20   | 0.80 | 0.10   | 0.40 |
| 転炉（燃焼炉）<br>平炉        | 0.30   | 0.40 | 0.20   |      | 廃棄物焼却炉（連続炉）                             | 0.20   | 0.70 | 0.10   | 0.20 |
| 焙焼炉、焼結炉、焼炉           |        |      |        |      | （その他）                                   | 0.70   |      | 0.40   |      |
|                      |        |      |        |      |                                         |        |      |        |      |

(注1) 都道府県は、地域の実情に応じ、条例で上乗せ排出基準を設定することができる。  
(注2) 規模の大小は、排出ガス量4万Nm<sup>3</sup>/hで分けるものとする。ただし、重油ボイラーの一般排出基準に関しては、20万Nm<sup>3</sup>/h、4万Nm<sup>3</sup>/hで分け、3段階とする。

治体の上乗せが可能で、いくつかの府県が上乗せ基準を条例化しているが、筆者の見解では必然的な根拠はないように思われる。公害規制でムードによる規制値の設定は避けるべきであろう。

粉じん（2.2に示した定義による）に対する規制は大気汚染防止法第18条に基づき、排出基準ではなく施行令別表第2に定める5種類の粉じん発生施設（コークス炉、鉱物または土石のたい積場、ベルトコンベアおよびバケットコンベア、粉砕機および摩砕機、ふるい）につき、施行規則別表第6に定める構造、使用および管理に関する措置が義務づけられている。たとえばたい積場については、粉じんが飛散しにくい構造の建築物内に設置されていること、散水設備によって散水が行われていることなど5項目が示されている。

2.2では省略したが、大気汚染防止法第17条第1項による特定物質中には硫酸などミストあるいはダストの状態では排出される物質がいくつか含まれている。特定物質に対しては事故時の措置が規定されているに過ぎないが、これらの物質について地方条例による排出基準が設けられている場合がある（特定物質以外のダストまたはミストを規制する地方条例もある）ので注意を要する。たとえば東京都公害防止条例では硫酸ミストおよびクロム酸ミストに対し  $1 \text{ mg/m}^3$  の排出基準を制定している。

排水中のSSについては、水質汚濁防止法および地方条例による規制があるが、SSの除去技術は比較的容易で、現行の規制値に対して特に問題はないものと思われる。

#### 4. 環境中の粉じん濃度の測定<sup>5) 6) 7)</sup>

煙道中のばいじん濃度はおもに JIS Z 8808に準拠して行われているが、環境濃度は一般に低濃度であり、この規格は適用できない。粉じんの環境濃度の測定については技術的、工学的に問題点が多い。

##### 4.1 降下ばいじん

降下ばいじんの測定には、降雨量の測定装置に類する比較的簡単なデポジットゲージあるいはダストジャーとよばれる装置が使用される。Fig. 3はその1例で、降下ばいじん量の単位が  $\text{t/km}^2/\text{月}$  である関係から、1ヶ月間にたい積した粉じんを秤量することが普通行われている。降下ばいじん量は時間的変動が著しいので、沈降面積の小さい装置ではたとえば24時間の測定ではデータの信頼度が低いのである。しかし、不連続測定で1ヶ月間という長時間を要する例はきわめて珍しく、そのための誤差要因にも対策を構ておかねばならない。たとえばこの種の装置には予め水を入れておくが、水中に藻

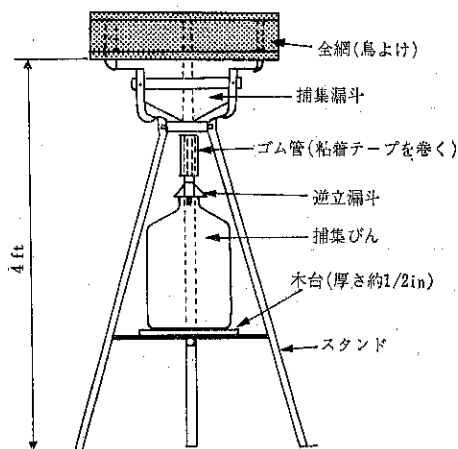


Fig. 3 デポジットゲージ

などが繁殖するのを防ぐため硫酸銅を添加する。そのほか昆虫、鳥類、木の葉などによる異物の混入を避けるくふうも必要である。いずれにせよ測定時間の短縮が望ましく、そのため沈降面積の大きい装置も製作され一部では使用されている。

降下ばいじん量の測定に当たって特に注意を要する点は測定装置設置場所の選定である。すなわち、構造物からなるべく離れた所を選ぶこと（風速、風向の変化による影響を避ける）、局地的発生源の近くを避けること、地表面からの高さを数m以内とすることなどを考慮しなければならない。

捕捉された降下ばいじんは水で洗い出し、汙過乾燥秤量する。この過程で明らかに異物とわかるものは取除く必要がある。固形物を秤量するほか溶解成分の分析を行う場合もある。降下ばいじん量の連続測定は原理的に困難とみられ、またその開発の必要性も乏しい。

##### 4.2 浮遊粉じん

浮遊粉じんの測定方法については JIS Z 8813にまとめられているが、この規格（このような総括的な規格は JIS には少なくない）に載っている多種類の方法のうち、昭和48年環境庁告示第35号別表により次の方法が指定されている。“汙過捕集による重量濃度測定方法、またはこの方法によって測定された重量濃度と直線的な関係を有する量がえられる光散乱法”。すなわち大気を吸引しフィルターで汙過分離した粉じんを秤量するハイボリュウムサンプラー、ローボリュウムサンプラーとデジタル粉じん計など散乱光の計測に基づく測定装置が用いられている。

1) ハイボリュウムサンプラー浮遊粉じんの標準的な測定装置で吸引ファンを内蔵し毎分  $1 \text{ m}^3$  以上の大気を吸引する。普通  $1,000 \text{ m}^3$  以上の試料を吸引し、吸引量

はロータメーターにより積算計測される。器内に装着した濾紙に分離された粉じんを一定の条件下で乾燥した後秤量する。

前述のように浮遊粒子状物質は10ミクロン以下の粒子と定義されているから、10ミクロン以上の粒子をカットする分級器を備えたハイボリウムサンプラーが最近普及しつつある。分級器としてはサイクロンが用いられているが、周知のようにサイクロンは仮りに吸引流速を一定としても粉じんの密度によって分離限界粒子径が異なり、また100%近い分級効率は理論的にも不可能であるため、市販のハイボリウムサンプラーでは精度の高いカットは期待できない。新しい分級器の研究開発が望まれる。

ハイボリウムサンプラーの利点は粉じんの捕集量が多くしたがって秤量誤差が小さく、また粉じんの成分分析のための十分な試料が得られることである。ただし測定の前後における濾紙の乾燥条件が適当でないと、濾紙の吸湿性に基づく誤差が生ずるおそれがある。濾紙としては普通ガラス繊維フィルターを用いるが、多少の吸湿性がある上に、濾紙に堆積する粉じん自体にも吸湿性がある場合があり、できれば恒湿の測定室を用意することが望ましい。

2) ローボリウムサンプラー。20~30 l/minの空気を吸引する小型のサンプラーで、原理および測定方法はハイボリウムサンプラーと変らない。小型軽量で携帯に便利であるが、精度の点では前者に及ばない。やはり24時間程度吸引するのが普通である。最近分級器を内蔵するものも市販されている。

濾過式粉じん計の吸引速度はバグフィルターの場合よりは大きいのが通常のエアフィルターに比較すると小さく、捕集機構は表面濾過に近い。したがって堆積ダストによる抵抗の変化のため一定の吸引速度を保持することはむずかしく、流量は積算流量計を用いなければならない。さいわい、10ミクロン以下の粉じんを対象とするため、空気の入口における慣性分離現象に基づく誤差は一般には無視できるけれども、濾過式粉じん計の設計に当っては工学的なチェックの必要なポイントの一つである。忘たなく言わせていただければ、市販の濾過式粉じん計は、分級器を含め適当に経験的な設計に基づいて製作されており、工学的配慮が欠けているような気がする。筆者の考え違いであればそれに越したことはないけれども。

3) 光散乱式粉じん計。粉じんを空气中に懸濁した状態で測定するいわゆる直接測定法で、粉じんに投射された光の直角方向の散乱光を光電子倍增管に受け、パルスで積算して濃度を求める。光量の測定および演算の方式

の相異から JIS Z 8813では6種の機種が掲げられているが、濾過式で測定された重量濃度と直線的な関係を有する量が得られるという条件に該当する機種としてはデジタル粉じん計が挙げられるに留まる。デジタル粉じん計にしても問題は校正(普通DOPヒュームを用いる)にあり、ダストの物性によって散乱光度が影響を受けるため、特定のダストにつき補正係数を求めておく必要がある。

光散乱式粉じん計は測定時間が短かく、自動計測や記録に便利であるが、精度の点では濾過式に及ばない。しかし、極端に粉じん量の少ない環境(たとえばクリーンルーム)での粉じんの管理の目的には、短時間の変動が計測できるので最近広く用いられる傾向がある。

4) その他の粉じん計。テープ濾紙上にダストをスポット的に捕集し、一定時間ごとにテープを送って堆積したダスト量を透過光電法で測定するテープエアサンプラーが割に広く用いられている。精度はやや劣るが、たとえば1時間値の測定などには便利な装置である。

顕微鏡写真による計数に基づくインピンジャー、カスケードインパクター、労研式じんあい計などは古くから用いられているサンプラーであるが、計測に時間がかかり、また重量濃度で表わす必要のある測定には向かない。

電気集じんの原理により捕集したダストを、集じん瓶に挿入したプラスチック円筒ごと秤量する静電式サンプラーも一部で用いられているが、筆者の経験によると円筒の吸湿性と集じん効率に問題があるようである。

最近実用化された新しい測定装置にピエゾバランス粉じん計と $\beta$ 線粉じん計とがある。前者は水晶発振子の共振周波数が発振子上に堆積した粉じんの質量により直線的に増加する現象を応用し、後者は $\beta$ 線の透過線量の測定に基づくもので、ともに評価は今後の実績にまたねばならない。

## 5. 粉じんに関する環境保全技術

粉じんによる環境汚染は前述のように近年著しく改善され、都市環境としてはほとんど問題のない程度になった。また、労働環境も法規の強化(3項では労働安全衛生法には触れなかったが、環境基準よりおよそ1けた大きい数値が定められている。ただし、成分たとえば粉じん中のケイ酸含有量による質的な規制がある。)に伴い、発生源の発じん抑制技術の進歩や局所排気装置、建屋集じん装置の普及により往時よりは著しく改善され、新聞を賑わせた6価クロムの労働災害などは再び起こり得ない状態となっている。なお、労働省では局所排気系に関する新しいマニュアルの編さんが進められている。以上

のほかオフィスなどの環境も空調設備へのエアフィルターの併置により屋内粉じんの低減が計られている。また、特殊な産業用、医療用雰囲気としてのクリーンルームも高性能フィルターの開発によって容易になった。

これらの環境改善に大きい役割りを果しているのはいうまでもなく集じん装置である。公害防止機器、特に大気関連機器の需要が著しい落込みをみせている昨今でも、集じん装置には根強い需要が続いている<sup>8)</sup>。わが国の集じん技術は、最近企業としてはいささか過当競争のきらいはあるが、世界のトップレベルにあり、あらゆる種類の集じん装置ならびに関連機器の適切な設計、施工が可能である。集じん技術の動向として次の諸点が挙げられる。

1) 一時かなり広く適用された洗浄集じんは、水処理の必要性から、ガス吸収を兼ねる中小規模のものを除いては敬遠される傾向があり、代ってバグフィルターの普及が目立つ。

2) バグフィルターや電気集じん装置など乾式集じんのダストは、回収資源化される場合はもちろん、廃棄される場合にも、ハンドリングに伴う発じんを防止するため造粒される例が増加している。

3) 製鉄工場をはじめ建屋全体の空気を吸引し、集じん装置へ導くいわゆる建屋集じんが普及した。

4) 各種のエアフィルター用濾材の開発が進み、粉じんの性状に応じ適当な濾材の選定ができるようになった。粉じんだけでなく有害ガスの処理も可能なフィルター材の実用化も始まっている。

一方、集じんあるいは集じんに関連のある粉体工学の研究でもわが国は米国、西独などとともに高いレベルに

あり、専門書の刊行も相次いで行われているが、大気中の低濃度の微粉じんの挙動については案外基礎的なことが知られておらず、環境中の粉じんの測定に関連する現象を含める、今後の研究にまっところが多い。

## 6. むすび

大気汚染を中心とする環境汚染と粉体のかかわり合いについて総説した。大気汚染以外にもっと言及すべきであったかも知れないが、汚染の範囲や対策技術のむずかしさからいって、大気汚染に絞って説明するのが妥当と考えたからである。

粉じんによる環境汚染の防止のために巨額の設定投資がなされてきたし、今後も投資を必要とするであろう。粉体に関心をおもちの読者にいくらかでもご参考になったらさいわいである。

## 引用文献

- 1) 東京都衛生局調査資料, (1978).
- 2) 産業公害防止協会: 公害問題情報52第11号, (1978)
- 3) 東京都公害局規制部大気規制課資料, (1978).
- 4) 東京都公害研究所: 浮遊粒子状物質調査報告書, (1978).
- 5) 今上一成ほか: 粉体と工業 (臨時増刊) 5, [11], (1978).
- 6) 森島直正: MOL, 16, [8], 26, (1978).
- 7) Stern, S.: Air Pollution, 2, (1968).
- 8) 東畑平一郎: 機械工学最近10年の歩み (日本機械学会80周年記念出版), 343, (1977).
- 9) 東畑平一郎: 日本工業新聞, (1978).

## 特許一言メモ

### 公開公報は張り子のトラ

特許、実案の出願により1年半でふつうどんなものでも世間に公開されることになっている。それも「公開特許公報」、「公開実用新案公報」というように一見いかめしい姿、かたちをしているのでもしその内容になんらかの利害関係にある場合、否、害のある場合は大変びっくりすることになる。ところがこれら公開公報は「張り子のトラ」と考えた方がよいのではないかと思う。というのはその一番大切な「クレーム」にしても明細書の中に記載された範囲でどうにでも変更されることもあり、ま

た、その中でより減縮されたクレームになることもあるからであり、審査請求が「無」の場合、ずっとそのまま請求がない場合だってなきにしもあらず、……したがって恐れるに足らず、ということになる。

ただし、大事なことは少なくともその通の専門家と自負する者が出願していることでもあり、その専門家が出願するほどの自信作ともなれば同業他社のまわりの人々は無視できない。えびすのささにぶらさげられた張り子のトラよろしく、いつも見えるところにかざって審査の経過を監視し、「張り子のトラ」の変身ぶりをよく見守ることが肝要である。 (M. N)

# 副生石膏の特性と利用

## Properties and Utilization of By-product Gypsum

高坂 彬夫\*

Ayao Takasaka

### 1. はじめに

人類が石膏を利用したのは古代エジプト時代からである。古代エジプトの町 Alabastron の丘から石膏の鉱石が採掘され、ピラミッドの積石ブロックの目地や王の棺に石膏が利用された。結晶石膏を現在でも Alabaster と呼ぶ由来はこの事実起因するものと考えられる。したがって、この頃から石膏を仮焼して水和硬化性材料が得られることを発見したものと考えられる<sup>1)~2)</sup>。

本年、日本テレビが開局25周年記念事業として、エジプトの砂ばくに古代そのままの工法を再現することを試みた「ピラミッド再現計画」においても、斜面を石膏で固めて中にまくら木を埋め、さらに、まくら木に油を塗り石を引き上げる工法が再現された<sup>3)</sup>。

バビロン城には石膏がモルタルばかりでなく舗装および彫刻用材として使用された。

ギリシャ、ローマ時代には石膏の加工技術はヨーロッパ全域に広まった。

特にパリ近郊のモンマルトルの鉱床からプラスターが作られたことから、今日でも焼石膏のことをプラスター・オブ・パリ (Plaster of Paris) と呼んでいる。

19世紀の後半から急速に発達したポルトランドセメント工業の影響を受けて石膏の凝結遅緩材、建築用プラスターとしての地位が確立された形となった。

わが国では、徳川時代に医療用、型材用の石膏が中国から輸入され利用された。

明治34年、山形県吉野鉱山(現在、南陽市、荻、吉野)において石膏の原石の採掘が着手され、これがセメントの原料として浅野セメント株式会社に供給された。大正

2年、わが国初の焼石膏が製造され、大正10年 石膏ボードが生産され市場に送り出された<sup>4)</sup>。

わが国では上述のように最初石膏の原石の採掘、これを利用した焼石膏の製造が行なわれたが、近年、原油中の硫黄<sup>5)~7)</sup>および燃焼排ガス中の硫黄酸化物が問題となり、公害処理による副生石膏の有効利用法の技術が確立されるにつれて、天然石膏から化学石膏への原料の転

Table. 1 石膏の需給見通し

(単位:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  千トン)

| 需 要     | 53    | 54    | 55     |
|---------|-------|-------|--------|
| セメント用   | 2,292 | 2,430 | 2,574  |
| ボード用    | 1,598 | 1,790 | 1,879  |
| プラスター用  | 468   | 468   | 468    |
| 焼石膏用    | 80    | 90    | 90     |
| その他用    | 100   | 100   | 100    |
| 輸 出     | 200   | 200   | 200    |
| 欠 減     | 142   | 152   | 159    |
| 計       | 4,880 | 5,230 | 5,470  |
| 供 給     | 53    | 54    | 55     |
| 天然石膏    | 100   | 100   | 100    |
| 燐酸石膏    | 3,224 | 3,324 | 3,392  |
| チタン石膏   | 306   | 306   | 306    |
| 弗酸石膏    | 305   | 325   | 346    |
| 鉱水、製錬石膏 | 329   | 331   | 331    |
| 排煙脱硫石膏  | 2,678 | 2,792 | 2,818  |
| その他石膏   | 107   | 112   | 117    |
| 輸 入     | —     | —     | —      |
| 計       | 7,049 | 7,290 | 7,410  |
| 過 不 足   | 2,169 | 2,060 | 1,940  |
| 在 庫     | 7,320 | 9,380 | 11,320 |

\* 山形大学工学部

(〒992 米沢市城南4丁目3-16)

Tel (0238) 22-5181



換が行なわれた。また、最近では Table. 1 に示すように排煙脱硫石膏の極端な増加が見込まれ、200 万トンを超える過剰供給になやまされている<sup>8)~10)</sup>。

本稿においては、副生石膏の物性とその用途開発についての現状について述べる。

## 2. 天然石膏と化学石膏

石膏は鉱物として天然に産出するものと、化学工場などで化学反応の副産物として生成されるものとがある<sup>11)12)</sup>。

### 2.1 天然石膏

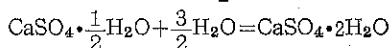
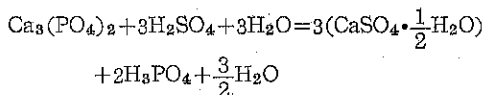
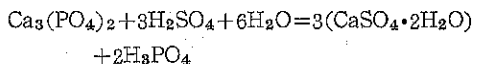
天然に産出する石膏は二水石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) と無水石膏 ( $\text{II} \cdot \text{CaSO}_4$ ) の二種類である。石膏の鉱床はその成因から(1)沈澱鉱床、(2)熱水性鉱床、(3)二次鉱床に分類される。わが国の石膏は交代鉱床、二次鉱床に属するものが主で島根県、福島県などに産出する。

欧米の石膏は水成鉱床のものが多く、鉱量も大で品質も良好である。わが国においては、51年度年間約3.5万トンの天然石膏が生産され、1.5万トン程度の高品位の石膏が陶磁器の型材用の原料などとして輸入されている。

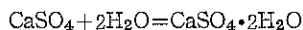
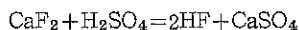
### 2.2 化学石膏

化学工業などにおいて副生される石膏は、つぎのように  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  として回収されることが多い。

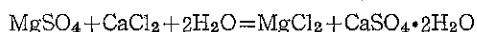
(1) 燐酸石膏 湿式法によって燐酸を製造する際に副生する石膏である。燐鉱石と硫酸の反応条件によって副生石膏の品質が定まる。



(2) 弗酸石膏 螢石に濃硫酸を作用し弗化水素を製造する際の複分解反応で副産される可溶性無水石膏である。一般には野積して  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  にしてから使用する。



(3) 製塩石膏 海水より食塩を製造する際に副産される。今後、海水の淡水化に伴ってその増加が見込まれる。



(4) 芒硝石膏<sup>13)</sup> 人造絹糸、セロファンなどの工場から副産する芒硝<sup>14)</sup>にアンモニアソーダ法蒸留廃液(主成分  $\text{CaCl}_2$ )、少量の中和用の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  などを反応さ

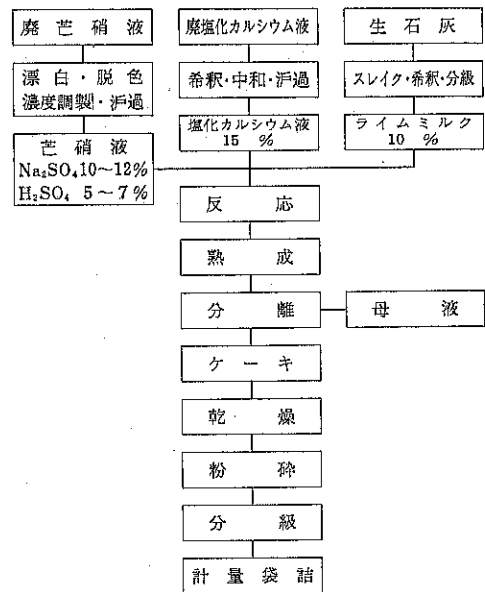
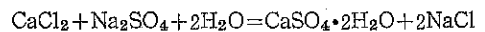


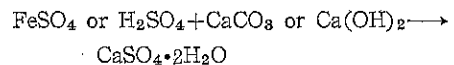
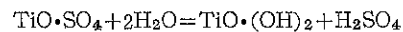
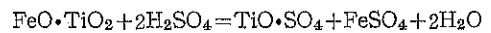
Fig. 1 芒硝を原料とする石膏の製造工程

せて製造する。



芒硝石膏製造のフローシートの一例を Fig.1 に示す。

(5) 廃酸石膏 廃酸石膏の一例としてチタン石膏について述べる。チタン鉱石を多量の硫酸で処理し、酸化チタンを製造する際の廃液に炭酸カルシウムまたは水酸化カルシウムを作用させて石膏を副産させる。



廃酸石膏にはこの他、ピックアップ廃酸石膏、活性白土石膏、電解廃酸石膏などがある。

(6) 排煙脱硫石膏<sup>15)</sup> 火力発電、金属精錬、石油精製、製鉄などの工場の排ガス中に含まれる  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  を石灰液などで吸収し、空気微粒化槽で酸化し石膏とする方法などがある。近年、公害防止の立場から石膏を回収する装置が広く一般化してきた。一例として、三菱式湿式排煙脱硫装置(石灰—石膏法)(Photo. 1)の概要について述べる<sup>16A)16B)</sup>。

本プロセスは Fig.2 に示すように、つぎの4工程から成り立っている。

1) 前処理工程 排ガスは冷却塔で  $50 \sim 60^\circ\text{C}$  に冷却され、同時に排ガス中のダストは  $70 \sim 80\%$  程除去される。冷却水はその一部を常時抜き取り、中和、ダスト分離の上循環して使用する。

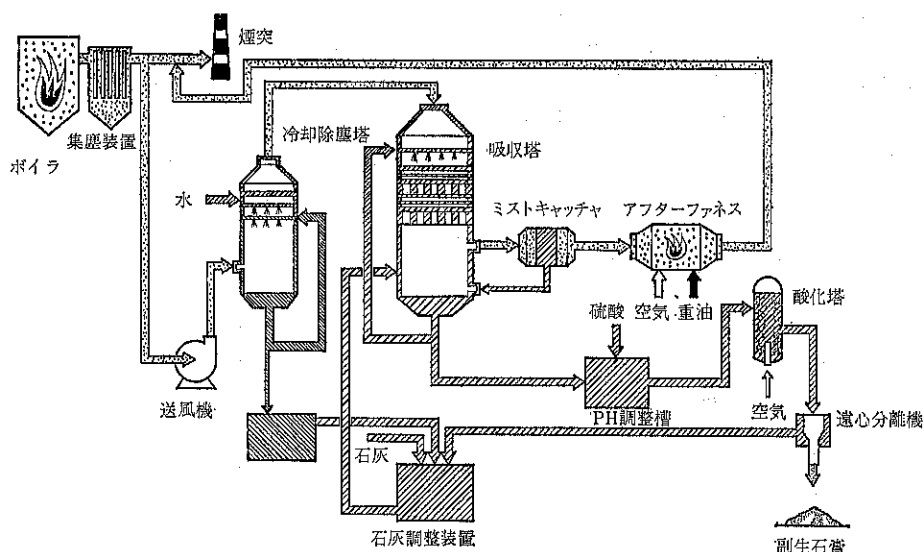
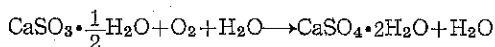
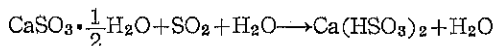
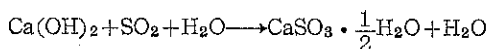


Fig. 2 三菱排煙脱硫装置（石灰—石膏法）

2) 吸収工程 冷却後の排ガスは吸収塔において、水酸化カルシウムまたは炭酸カルシウム<sup>17)</sup>のスラリーと接触して亜硫酸ガスの濃度が 100ppm まで脱硫され、ミストキャッチャーにてミストを分離し、白煙防止のため、アフターファネスにて昇温され煙突より排出される。

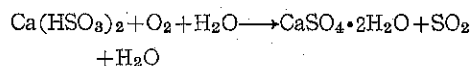
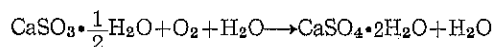
吸収工程での主化学反応はつぎのとおりである。



3) 酸化工程 亜硫酸カルシウムを主成分とする吸収液は一部抽出され pH を調整後酸化塔に送られ、加圧

空気にて酸化され石膏になる。

酸化工程での主化学反応はつぎのとおりである。



4) 後処理工程 酸化塔より抜き出された石膏はシクナーで濃縮後、遠心分離機にて脱水され製品石膏となる。汚液は系内で循環され排水はない。

(7) その他の石膏 (1)～(6)の他に石炭酸、しょう酸などの製造工程で副生する有機酸石膏、製鉄、合成繊維工業などの際副生する硫酸アンモニウムに水酸化カルシウムを反応して得られる硫酸石膏などがある。

### 3. 石膏の諸性質

石膏の物理化学的性質については種々の文献、便覧<sup>11)12)</sup>などに記載されている。ここでは、石膏の利用面に関連する性質のうちで主なるものを筆者の研究も含めて述べる。

#### 3.1 石膏の形態

石膏は極めて簡単な化合物であるが、その性質については不明な点が多かったので古くから研究されている。

現在では石膏には Fig.3 に示すように 7 つの形態があることが知られており、これらの諸特性がその用途の多様化にもつながっている。

石膏およびその製品の品質に関する JIS の主なるものはつぎの通りである。

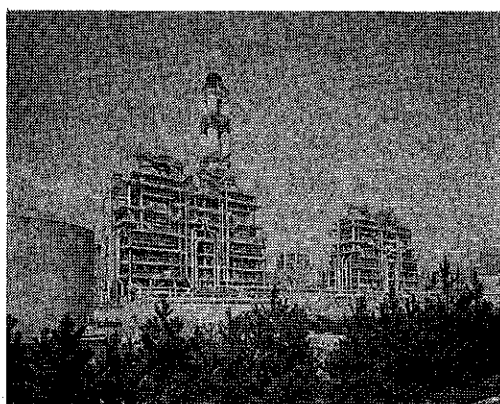


Photo. 1 三菱式湿式排煙脱硫装置

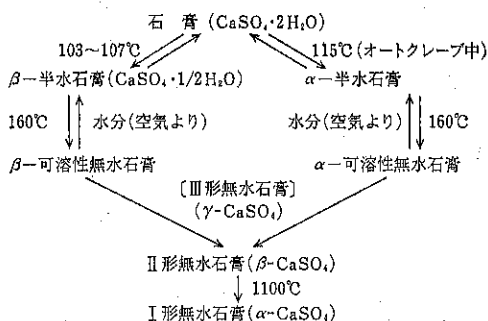


Fig. 3 石膏の形態

- A-6301 吸音孔あき石膏ボード
- A-6901 石膏ボード
- A-6904 石膏プaster
- A-6906 石膏ラスボード
- K-8963 硫酸カルシウム試薬
- R-9111 陶磁器型材用石膏
- R-9151 セメント用天然石膏
- T-6604 歯科用焼石膏
- T-6605 歯科用硬質石膏

### 3.2 石膏の形状

石膏の形状の光学顕微鏡、電子顕微鏡による観察は多くの文献にみられる<sup>18)</sup>。

Photo.2~4は、芒硝石膏、活性白土石膏および排煙脱硫石膏の形状を示したものである<sup>19)</sup>。

### 3.3 化学組成

石膏の化学式は二水石膏： $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、半水石膏： $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 、無水石膏： $\text{CaSO}_4$ で示される。

天然石膏はその成因によって、副生石膏はその製造工程で若干不純物を含んでおり、これが石膏の用途を著しく制約している。代表的な天然石膏および副生石膏の化学分析結果を Table.2に示す。

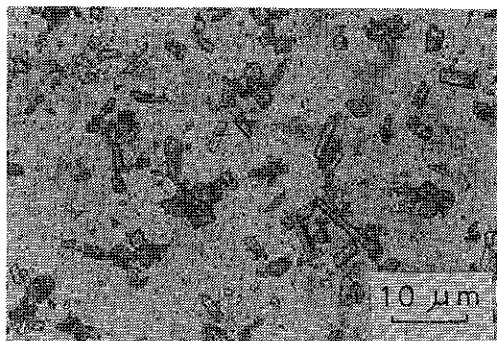


Photo. 2 芒硝石膏

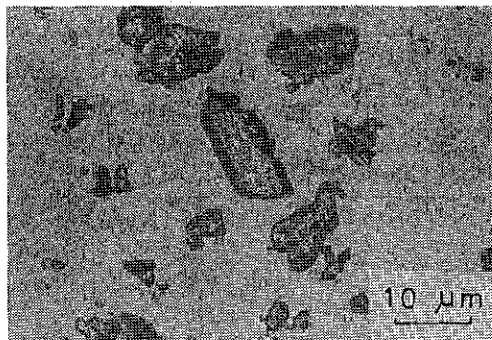


Photo. 3 活性白土石膏

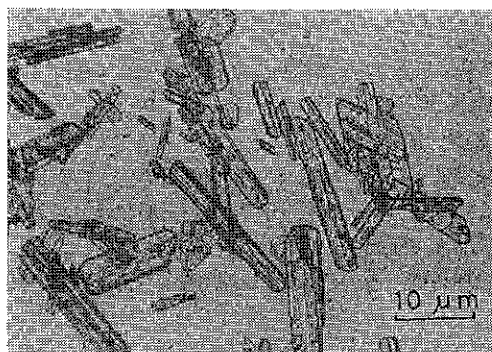


Photo. 4 排煙脱硫石膏 (石灰-石膏法)

Table. 2 石膏の化学分析値

|                                                 | 理論値  | 天然石膏*1 | 磷酸石膏*1 | 芒硝石膏*2 | 排脱石膏*3 |
|-------------------------------------------------|------|--------|--------|--------|--------|
| $\text{SiO}_2$                                  | —    | 5.3    | 1.5    | 0.0004 | 0.64   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | —    | 2.1    | 0.3    | 0.0025 | 0.58   |
| $\text{CaO}$                                    | 32.5 | 30.1   | 30.3   | 32.23  | 32.12  |
| $\text{MgO}$                                    | —    | 2.0    | —      | 0.23   | 0.30   |
| $\text{SO}_3$                                   | 46.6 | 40.1   | 42.5   | 46.61  | 45.79  |
| $\text{H}_2\text{O}$                            | 20.9 | 18.4   | 21.8   | 20.70  | 20.59  |
| $\text{P}_2\text{O}_5$                          | —    | —      | 0.9    | —      | —      |
| F                                               | —    | —      | 0.7    | —      | —      |

\*1 安藤淳平、佐治孝：無機工業化学，288 (1973). 東京化学同人

\*2 石膏石灰ハンドブック 97 (1972). 技報堂

\*3 千葉淳治：排煙脱硫石膏の性状 (その1) 公害資源研究所集報4, [1], 49 (1974).

### 3.4 結晶構造

石膏の結晶構造についてはX線などにより詳細に研究されている。その結晶形、格子定数などを Table.3に示す。

筆者らは、芒硝石膏<sup>18)</sup>、活性白土石膏、排煙脱硫石

Table. 3 石膏の結晶構造

| 化学式  | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CaSO}_4$          | $\text{CaSO}_4$             |
|------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 和名   | 二水石膏                                      | 半水石膏                                                | Ⅲ型無水石膏                   | Ⅱ型無水石膏                      |
| 結晶形  | 単斜晶                                       | 三方晶                                                 | 六方晶                      | 斜方晶                         |
| 格子定数 | a=10.47Å<br>b=15.15<br>c=6.28<br>β=98°58′ | a=6.83Å<br>b="<br>c=12.70                           | a=6.99Å<br>b="<br>c=6.34 | a=6.96Å<br>b=6.95<br>c=6.21 |
| 空間群  | $C_{2h}^6$                                | $D_{3d}$                                            | $D_6^4$                  | $D_{2h}^{17}$               |
| 単位格子 | 8                                         | 12                                                  | 6                        | 4                           |

膏<sup>19)</sup>などについてX線回折を行なった。これらはほぼ文献値<sup>11)</sup>と一致する。

### 3.5 加熱変化

石膏の加熱に伴う組成、構造変化についてはX線回折、熱重量分析、示差熱分析、赤外線吸収スペクトルなどによって研究されている。

筆者らは、芒硝石膏および排煙脱硫石膏の熱分解速度

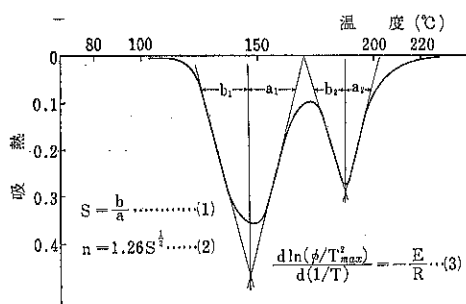


Fig. 4  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  のDTAとその解析法

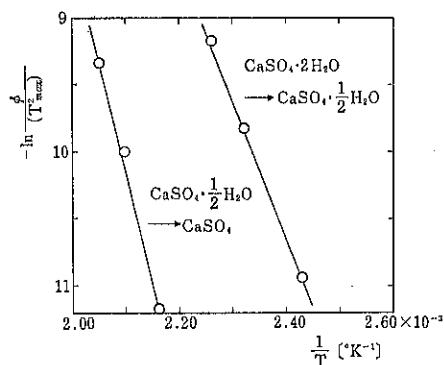
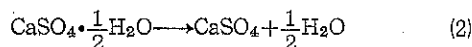
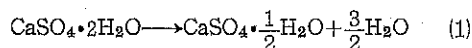


Fig. 5  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の脱水反応の  $\frac{1}{T}$  と  $-\ln \frac{\phi}{(T^2_{\max})}$  の関係

を示差分析装置を使用し測定し、Kissingerの方法によって解析した<sup>18)19)</sup>。(Fig. 4, Fig. 5参照)



(1)の反応次数は0.9~1.3, 活性化エネルギーは14~18 Kcal/mole, (2)の反応次数は0.8~1.0, 活性化エネルギーは34~35Kcal/moleであった。

### 3.6 粒度分布および比表面積

石膏の粒度分布<sup>20)</sup>は品質に極めて大きい影響をおよぼす重要な特性の1つである。例えば、豆乳の凝固剤として使用する  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の粒子の形状および粒度分布は、豆腐の品質に大きな影響をおよぼす。

Fig. 6は排煙脱硫用石膏の粒度分布を光透過法で測定した結果の1例で正規確率分布をしている。

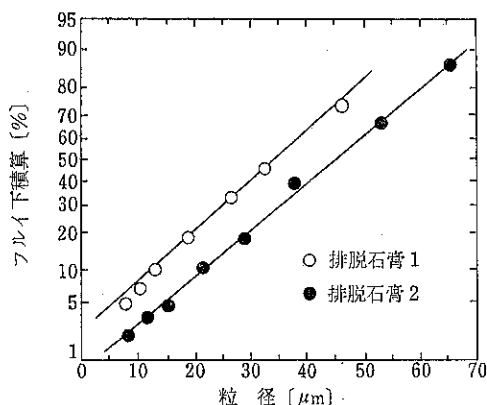


Fig. 6 排煙脱硫石膏の粒度分布

石膏の比表面積は恒圧通気法で容易に測定することができる。副生石膏の比表面積の測定例をTable. 4に示す。

Table. 4 石膏の比表面積と平均粒径(恒圧通気法)

|        | 比表面積( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | 平均粒径( $\mu\text{m}$ ) |
|--------|-------------------------------|-----------------------|
| 芒硝石膏 1 | 0.298                         | 8.7                   |
| " 2    | 0.286                         | 9.0                   |
| " 3    | 0.267                         | 9.7                   |
| 活性白土石膏 | 0.076                         | 34.0                  |
| 排脱石膏 1 | 0.169                         | 15.3                  |
| " 2    | 0.103                         | 25.1                  |

### 3.7 白色度

石膏の粒子の大きさおよび有色不純物は白色度<sup>21)</sup>に

Table. 6 副生石膏の物理的性質

|                             | 芒硝石膏1 | 芒硝石膏2 | 活性白土石膏1 | 排煙脱硫石膏1 | 排煙脱硫石膏2 |
|-----------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| ゆりみ見掛密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.67  | 0.71  | 1.06    | 0.57    | 0.85    |
| 固 め "                       | 1.24  | 1.20  | 1.51    | 0.94    | 1.29    |
| 動 的 "                       | 0.92  | 0.91  | 1.36    | 0.71    | 1.00    |
| 圧 縮 度 (%)                   | 45.2  | 40.6  | 67.7    | 39.4    | 33.8    |
| 安息 角 (°)                    | 54.3  | 51.0  | 46.0    | 53.2    | 53.7    |
| スパチュラ角 (°)                  | 79.8  | 62.0  | 72.0    | 69.4    | 70.9    |
| 凝 集 度 (%)                   | 11.6  | 2.6   | 24.5    | 0.5     | 6.5     |
| 流動 性 指 数                    | 31    | 41    | 38.5    | 41      | 46      |
| 崩 潰 角 (°)                   | 23.3  | 18.9  | 20.0    | 32.8    | 34.1    |
| 差 角 (°)                     | 31.0  | 32.1  | 26.0    | 20.4    | 19.6    |
| 分 散 度 (%)                   | 9.7   | 18.0  | 14.0    | 3.5     | 6.0     |
| 噴 流 性 指 数                   | 64    | 77    | 71.5    | 53      | 57.5    |

Table. 5 各種石膏の白度度

| 試 料 名     | 白度度  | 試 料 名      | 白度度  |
|-----------|------|------------|------|
| 芒 硝 石 膏 1 | 99.5 | 食品添加物用石膏 1 | 97.4 |
| " 2       | 99.1 | " 2        | 94.5 |
| " 3       | 95.9 | " 3        | 89.8 |
| 活性白土石膏    | 95.0 | 排煙脱硫石膏     | 49.3 |

影響する。Hunter の白度度計で各種副生石膏の白度度を測定した結果を Table.5 に示す。

### 3.8 流動性と噴流性<sup>18)19)</sup>

石膏を工業的に取り扱う場合、その流動性と噴流性は重要な特性である。パウダーテスター<sup>22)</sup>による石膏の物理的性質、Carr の流動性指数の評価は Table.6 の通りである。

### 3.9 圧縮強度<sup>19)</sup>

排煙脱硫石膏を空气中で加熱し  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  をつくり、これに加水し、10.5mmφ×22mm の試験片に成形した。圧縮試験機にかけて混水量と圧縮強度の関係

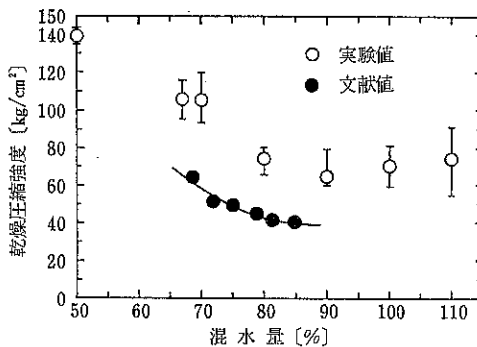


Fig. 7 石膏成形品の混水量と圧縮強度

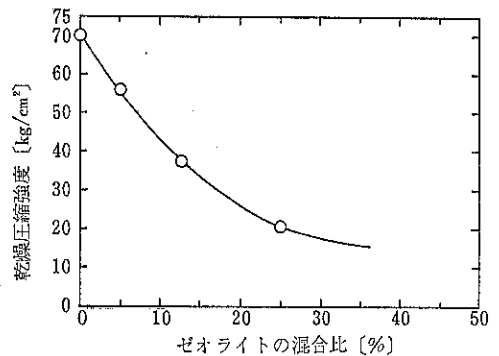


Fig. 8 石膏—ゼオライト成形品の乾燥圧縮強度

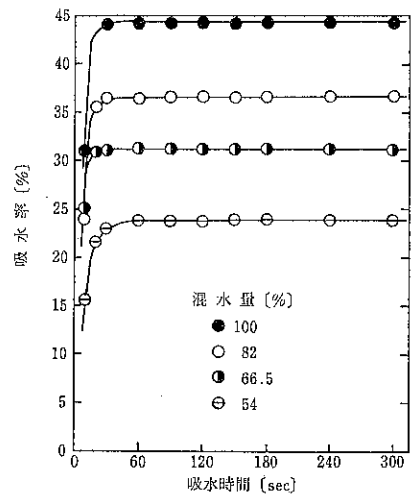


Fig. 9 石膏成形品の吸水性

を求めた。圧縮強度は文献値と比べると良好であることがわかり、排煙脱硫石膏から得られるプラスターは実用

上十分使用できるものと考えられる。(Fig.7参照)

Fig.8は石膏と天然ゼオライトの混合物の圧縮強度である。ゼオライトの添加量の増加とともに圧縮強度は減少する。

### 3.10 吸水性<sup>19)</sup>

Fig.9は石膏成形品の吸水試験の結果である。一般に石膏成形品の吸水は速やかに行なわれ、混水量を大きくして成形したものほど吸水率は大きい。

## 4. 石膏の利用

すでに述べたように天然には二水石膏と無水石膏が存在する。また、化学反応と熱処理によって、つぎの7種類の結晶形態のものをつくり出すことができる。

二水石膏  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

半水石膏  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ,  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$

可溶性無水石膏 III- $\alpha$   $\text{CaSO}_4$  III- $\beta$   $\text{CaSO}_4$

不溶性無水石膏 II- $\text{CaSO}_4$  I- $\text{CaSO}_4$

石膏の有効利用<sup>23)</sup>は、これら化合物の特性に適應した用途を見出すことにありと思われる。

つぎに、現在利用されている応用面について述べる。

### 4.1 セメント<sup>24)</sup>

セメントは土木、建築分野にまたがる材料であり、石膏の最大の需要先である。セメントへの石膏の使用原単位は製品トン当たり平均30kgである。(製品中の  $\text{SO}_3$  含有量は1.8~2.0%でJISの規格値は普通ポルトランドセメントでは3.0%である。)

セメントメーカーにとってはJIS規格値までの石膏

の増量はコストメリットとなるが、品質の面からみると現状の  $\text{SO}_3$  含有量が最適のようである。

この他、低収縮セメント、超速硬セメント、高炉セメント、高硫酸塩スラグセメント、膨張材などにも石膏が使用されている。

### 4.2 建材<sup>25)</sup>

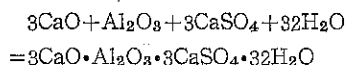
石膏は、防火、遮音、断熱、無伸縮性、施工性など多くの特性を有するため建材としての適合性を持っている。しかし、耐水性には難があり改良の余地がある。

各種繊維補強、樹脂含浸、鋼板との複合などの方法により、石膏の床材、間仕切、天井材、内壁材、サイジングパネルなどへの開発が進められている。この他、石膏コンクリート、耐火被覆材、補強ボード、石膏木毛板、インテリア材料などとしても用いられている。

Fig.10は石膏ボードの製造工程を示したものである。

### 4.3 汚泥の固材材<sup>26) 27)</sup>

石灰、アルミナおよび石膏に水を加えると、つぎの反応によってセメントバチルス (Cement Bacillus) を生ずる。



この反応を利用して重金属イオンなどを含んだ汚泥を固化することができる。Cement Bacillus 法の実施例によると固化物中の重金属イオンはほとんど溶出せず、その抑制効果は非常に大きいといわれている。

筆者らは、天然ゼオライトによる  $\text{H}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  およ

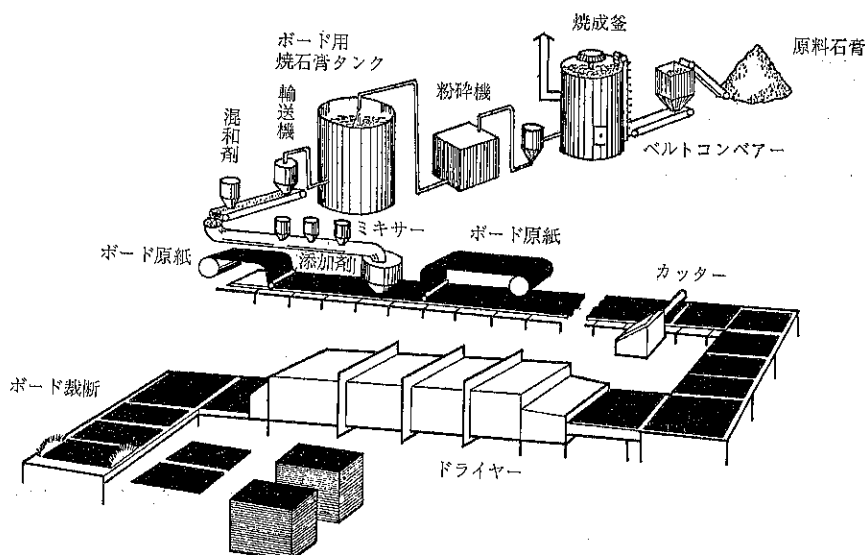


Fig. 10 石膏ボードの製造工程

び  $\text{Cr}^{6+}$  などの吸着について研究した<sup>28)~31)</sup>、これらのうち、重金属イオンを Cement Bacillus 法を利用して固化することが期待できる。

また、関東ロームなどの粘土質に石膏20%、消石灰15%を混合添加し、土質を安定化することができる。

#### 4.4 農業用<sup>32)33)</sup>

石膏の農作物に対する効果は作物の種類、土壌の種類によって非常に異なる。

石膏の施用効果の高い土壌、作物は相当限られている。石膏中の S は、ラッカセイ、カラシナ、クローバ、エンドウ、カブ、ダイズ、トマト、チューリップなどに効果がみられる。また、石膏中の Ca は、キャベツ、ハクサイ、アルファルファ、水稻に効果があるといわれている。

農業資材として使用する場合は、その粉体としての特性、例えば、流動性や噴流性などの研究も必要であろう。

#### 4.5 製紙、ゴム、プラスチック充てん剤

普通の紙はパルプを主成分とし、サイズ剤、充てん剤その他を配合して抄紙される。充てん剤としては一般にカオリンなどの粘土鉱物が用いられている<sup>21)</sup>。石膏は水にわずかに溶けるので現在殆んど用いられていないが、電気特性、耐熱性が良いので充てん剤として使用される可能性がある。

田中ら<sup>8)</sup>によると石膏ウィスカーを使用するとパルプ

10%、ウィスカー90%の混合割合でも抄紙できる。水切れはさほど困難ではなく、得られたシートは柔軟で手触りが良い特徴を持っており、シート自体も経時変化は殆んどみられない。

ゴム用充てん剤としては加工性、補強性は重質炭酸カルシウムとほぼ同等に評価できる。

ポリプロピレンに石膏ウィスカーを5~30%配合したものは、曲げ強度、曲げ弾性率は軽質炭酸カルシウムやガラス繊維<sup>35)</sup> (粉末状) を配合した複合体に比べて良好である。

Table. 7 は、筆者らが塩化ビニル樹脂50部、可塑剤25部、安定剤3部、絶縁向上剤2.5部、石膏25部を165°Cで10分混練し、プレス温度160°C、150Kg/cm<sup>2</sup>で加圧成形したシートの特性を J I S K-6723 に準じて試験した結果である<sup>19)</sup>。

混練、成形の作業性は良好である。電線用としての耐寒性は若干劣るが、その他の用途によっては実用化への可能性は十分あるものと考えられる。

#### 4.6 石膏—プラスチック、石膏—

##### 繊維複合体<sup>34)</sup>

石膏—プラスチック複合体の作り方は大別してつぎの二通りの方法がある。

(1) 石膏製品にモノマーやポリマーを含浸、重合させて複合化する方法

(2) 石膏—水の混合物にポリマー、モノマー、プレボ

Table. 7 排煙脱硫石膏の塩化ビニルコンパウンドとしての特性

| 試 料        |                               | No. 1                                     | No. 2                                               | No. 3                 |
|------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| 試験項目       |                               | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CaSO}_4$       |
| 老化前        | 100% モジュラス Kg/mm <sup>2</sup> | 1.15                                      | 1.15                                                | 1.30                  |
|            | 引張り強さ Kg/mm <sup>2</sup>      | 1.45                                      | 1.51                                                | 1.53                  |
|            | 伸び %                          | 232                                       | 274                                                 | 276                   |
| 老化後        | 引張り強さの残率 %                    | 101.4                                     | 102.0                                               | 103.9                 |
|            | 伸びの残率 %                       | 60.2                                      | 73.0                                                | 75.0                  |
| 耐寒性試験 °C   |                               | F <sub>0</sub> -4                         | F <sub>0</sub> -12                                  | F <sub>0</sub> -10    |
|            |                               | F <sub>50</sub> -8.2                      | F <sub>50</sub> -15                                 | F <sub>50</sub> -14.6 |
|            |                               | F <sub>100</sub> -10                      | F <sub>100</sub> -18                                | F <sub>100</sub> -18  |
| 加熱変形試験 %   |                               | 6.2                                       | 10.9                                                | 8.3                   |
| 体積抵抗率      | 30°C                          | $1.09 \times 10^{15}$                     | $1.12 \times 10^{15}$                               | $1.09 \times 10^{15}$ |
|            | 60°C                          | $3.63 \times 10^{13}$                     | $1.40 \times 10^{14}$                               | $5.45 \times 10^{14}$ |
| 熱安定性試験 min |                               | 300以上                                     | 300以上                                               | 300以上                 |
| 耐油後        | 引張り強さの残率 %                    | 86.2                                      | 92.7                                                | 89.5                  |
|            | 伸びの残率 %                       | 81.9                                      | 79.6                                                | 70.3                  |

リマーなどを加え成型し複合化する方法

(1)の場合、プラスチックとしてはメチルメタクリレート、スチロール、酢酸ビニル、エチルアクリレート、アクリロニトリルなどが用いられている。プラスチックの含浸量の増加とともに複合体の曲げ強度などの物性は向上するが、自消性を示す限界は約25%前後なため、実用的には10%以下にとどめることが望ましい。

(2)の場合はPVA、尿素樹脂、メラミン樹脂などについても研究されているが、物性の優れた複合体を得るまでには到っていない。

石膏繊維複合体の例として、石膏100部にガラス繊維を20部以上添加することは加工性からみると困難であり、10部以下の添加が望ましい。

なお、ガラス繊維の表面をシラン化合物、PVA、ポリウレタン、尿素樹脂、メラミン樹脂などで処理することは効果的である。石膏-ガラス繊維複合体の湿潤強さは、石膏単独製品にくらべて改良されないが、曲げ強度は石膏単独品の倍近く向上する。

石膏の耐水性化は、硬化物の結晶を大きく発達させ、平均細孔径を大きくし、それにより耐水性付与材（例えば、アスファルト・ワックス・エマルジョン）の被覆効果を高め、毛管吸引作用を少なくすることにより改善される。しかし、耐水性が増加するほど硬化強度は減少する傾向がある<sup>86)</sup>。

#### 4.7 食品添加物

石膏の特種な用途として豆腐製造などの際の食品添加物がある。例えばモメン豆腐を製造する場合には、豆乳温度75°C、生豆1.3kg 当り約30g~40gの $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ が使用される<sup>87)</sup>。現在、国内約10社の食品添加物用石膏メーカー間で800~900トン/月の市場を品質と価格の面で激しい競争が行なわれている。品質の点では粒度、粒子形状、沈降特性、嵩比重、色相、乾燥固まり、加水試験、砒素、重金属、遊離アルカリ、塩化物、pHなどの試験が行なわれている。

ここ数年、天然食品といった傾向でにがりの味が見直され、石膏ににがりを混合したものや、作業性を良くするため、Glucono- $\delta$ -lactoneの混合品も市場に出廻るようになった。

豆腐そのものの食品が将来急増するとは考えられないので、石膏の消費量はにがりやGlucono- $\delta$ -lactoneの伸びだけ減少するものと考えられる。

#### 4.8 医薬用

医薬用の特殊な用途としては、抗生物質の培養基に栄養剤として添加されている。

また、石膏プラスターは歯科技工用模型材、義歯床用レジン重合用型材、鑄造用耐火埋設材、整形外科用ギブ

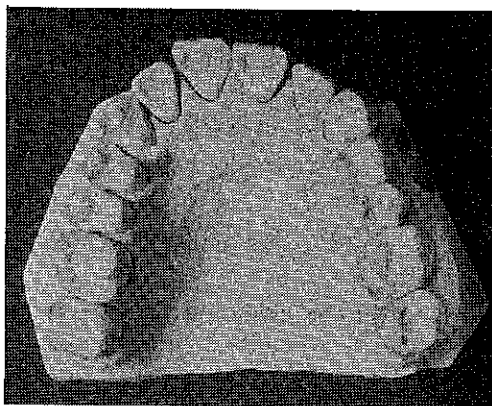


Photo. 5 歯科用石膏模型

ス帯などに使用されている。

Photo.5は歯科用石膏の使用例である。

## 5. おわりに

化学工業をはじめ多くの工業で副生する石膏は広範囲な用途があるにもかかわらず現在過剰ぎみで、関係者はその対策に苦慮している。わが国の石膏および硫黄源の大部分が鉱石から副生物に転換された今日、石膏は硫黄源としても極めて重要であり、過剰分は備蓄して将来のさらに有効な用途に備える必要がある。

本稿を草するにあたり、三菱重工業株式会社、吉野石膏株式会社などから資料の提供を受けた。また、石膏の物性とその利用の研究を進めるにあたり、産業界から試料の提供を受け、石膏-塩化ビニルの特性の測定には米沢電線株式会社の協力を得た。これら関係各位に深く感謝の意をあらわす。

## 参 考 文 献

- 1) 関谷道雄：石膏，1~15 技報堂，(1965)。
- 2) 木次直道：進展する石膏新利用技術の開発 耐火性を生かし期待の分野，化学経済，24，[7]，22~28，(1977)。
- 3) 日本テレビ：ザ ピラミッド，読売新聞社，(1978)。
- 4) 吉野石膏株式会社：会社案内，(1975)。
- 5) 篠崎平馬，高坂彬夫：本邦硫黄精錬法の現況，化学工業，7，[4]，323~327 (1956)。
- 6) 高坂彬夫：硫黄の物理化学的性質，(1)，(2)，硫酸，9，[10]，399~403，[11]，446~451 (1956)。
- 7) 篠崎平馬，高坂彬夫，泉 亮太郎，西野知良，金子祝郎：硫黄精錬法の研究，山形大学紀要 (工学)，5，[2]205~237 (1959)。
- 8) 田中 稔：排煙脱硫石膏とその応用，硫酸と工業，



- 30, [6], 113~125 (1976).
- 9) 塚田良治：石膏問題の現状と対策，化学と工業，29, [12]987~990 (1976).
  - 10) 田中 稔，橋詰源蔵，松井 博：排煙脱硫工程からの石膏ウィスカーについて，材料，28, [283], 309~318 (1977).
  - 11) 石膏石灰学会：石膏石灰ハンドブック，技報堂 (1972).
  - 12) 石膏ボード工業会：石膏ボードハンドブック，(1975).
  - 13) 高坂彬夫：芒硝を原料とする石膏とその特性，化学工学協会新潟大会 要旨集，88~89 (1977).
  - 14) 高坂彬夫，小川俊二：写真撮影法による  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  の生長過程の解析，化学工学協会東北地方大会 要旨集，32~35 (1960).
  - 15) 佐田栄三，熊沢英博：反応吸収，化学工学，41, [10], 514~523 (1977).
  - 16A) 三菱重工業株式会社：三菱式湿式排煙脱硫装置 石灰-石膏法，(1972).
  - 16B) Mitubishi Heavy Industries Ltd : Mitubishi lime/limestone process for flue gas desulfurization (1977).
  - 17) 篠崎平馬，岡村次雄，高坂彬夫：福島県産石灰石の物理化学的性状について，石膏と石灰，[16], 772~774, (1955).
  - 18) 日本粉体工業協会，粉体工学研究会編：粉体物性図説，445, 500, 産業技術センター (1975).
  - 19) 高坂彬夫，松田良弘：排煙脱硫石膏の特性と利用，化学系学協会連合東北地方大会 化学工学要旨集，57~58 (1978).
  - 20) 高坂彬夫：微粉体の粒度測定技術，粉砕，[21], 40~49 (1976).
  - 21) 高坂彬夫：カオリン鉱物の精製，特性とその利用，粉砕，[22], 70~81 (1977).
  - 22) 細川鉄工所：パウダーテスター取扱説明書.
  - 23) 国分欣治：排脱石膏の新しい用途，化学工学，41, [7]371~372 (1977).
  - 24) 工藤矩弘：進展する石膏新利用技術の開発 新規用途開発の現状と展望，化学経済，24, [7], 12~20 (1977).
  - 25) 吉野石膏株式会社：燃えない建材，製品カタログ.
  - 26) 阿久津兼二，小寺秀則：土木面における石膏の利用，化学経済，24, [7], 36~41 (1977).
  - 27) 大須賀 昂，栗原宏武，深沢栄造：産業廃棄物を利用した汚泥の固化処理法，硫酸と工業，30, [2], 32~40 (1977).
  - 28) 高坂彬夫，佐藤 実，奥山 嵩，松田良弘：天然ゼオライトによる  $\text{NH}_4^+$ ， $\text{Cu}^{2+}$  および  $\text{Cd}^{2+}$  の吸着除去，第15回粉体に関する討論会 要旨集，11~13 (1977).
  - 29) 高坂彬夫，佐藤 実，奥山 嵩，松田良弘：板谷産ゼオライトによる  $\text{H}^+$ ， $\text{NH}_4^+$ ， $\text{Cu}^{2+}$  および  $\text{Cd}^{2+}$  の除去，材料，27, [298], 628~631 (1978).
  - 30) 高坂彬夫，菊池正志，長谷川二男：板谷産天然ゼオライトの諸特性，材料，23, [250], 515~519 (1974).
  - 31) 高坂彬夫：板谷産ゼオライトの特性と利用，粉砕，[20], 127~136 (1975).
  - 32) 早瀬達郎：農業における石膏の利用，硫酸と工業，31, [4], 84~92 (1978).
  - 33) 桜井有美：進展する石膏新利用技術の開発，農業資材，期待される需要開発，化学経済，24, [7], 30~34 (1974).
  - 34) 小林力夫：石膏-プラスチック-繊維複合体，硫酸と工業，30, [4], 75~84 (1977).
  - 35) パラマウント硝子工業株式会社：グラスウール カタログ.
  - 36) 瀬戸山克己，高橋 聡：石膏の耐水性付与，日本化学会誌，8, [8], 1131~1135 (1977).
  - 37) 倉谷化学産業株式会社：特製硫酸カルシウム，カタログ.



# オーストラリアの粉体工学

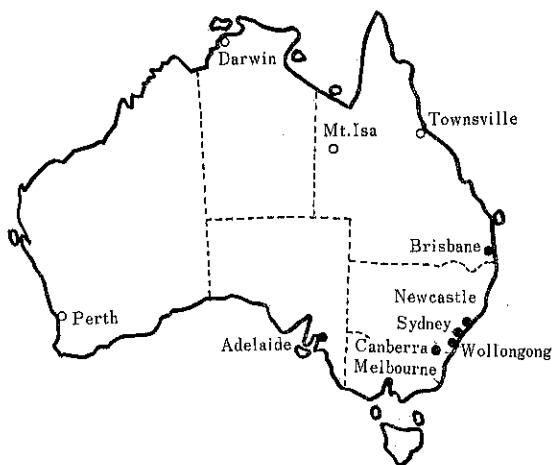
## Powder Technology in Australia

神保 元二\*

Genji Jimbo

### 1. はしがき

1978年の3月から6月までの3ヶ月間、私はオーストラリアのレバー・ヒューム (Leverhulme) 奨学金をえて、シドニー大学の化学工学科に滞在する機会をえた。このオーストラリア訪問記については、すでに粉体工学会誌にも2度にわたって「オーストラリア通信」として掲載させていただいており、今後もできれば引き続き寄稿したいと考えているが、ここではとりいそいでオーストラリアの粉体工学の輪郭をえがいておきたいと思う。若干の肉づけについては粉体工学会誌などの拙文「オーストラリア通信」その他をご参照いただければ幸いである。



### 2. オーストラリアの資源と粉体工学

オーストラリアという国はなにしろ人口1,300万足らず、日本の8分の1で、そういう点ではむしろ小さい国であって、いつでも人材不足と市場の狭小さに悩んでいる状態で、周囲をみまわしても、まだ工業や工学が根づいていないような開発途上国ばかり。兄弟国ともいえるニュージーランドはあるが、2,000km かなたの洋上にあるのはとに角として、人口わずかに300万足らず、愛知県程度の規模の小さい国だからそれほど頼みにならない。その上オーストラリアの大きい企業は、その大部分が外国資本、あるいは多国籍企業で占められていて、工学が産業としっかり結びついているとはいえないのが現状である。従って、「粉体工学」と大上段にふりかぶっても、別にわが国の如く粉体工学会があるわけではなし、粉体討論会があるわけではなし、とりわけまとまったものがあるというわけではない。

しかしいろいろな面で粉体工学は非常に活発である。オーストラリアも会議やら講習会やらセミナーやらがなかなか盛んで、シドニー大学の化学工学科のコモン・ルームの掲示板には沢山のチラシがはられているのが常であったが、その中で粉体関係のものがかなりの割合をしめていた。粉体輸送、集塵、選鉱などがとくに目についたようである。

また大学でも、粉体工学は化学工学の中で重要な位置をしめているようであった。筆者は数度学生に対する講義を受けもつ機会をえたが、化工3年生向けの unit operation の講義にせよ、4年生向けの選択の mineral processing にせよ、粉体工学の基礎にかなり時間をさいているようで、私もかなり専門的な内容の講義をすることとなったように思う。学生実験の中でも粉体工学に関する単位操作がかなり高い割合をしめていたようであった。

このような粉体工学の重視は、いまのオーストラリアの立場からいうと当然のことなのである。というのはオーストラリアはいま資源の開発でわきかえって、資源開発をばねにして、従来の農業をベースにした国の経

\* 名古屋大学工学部  
(〒464 名古屋市中種区不老町)  
Tel. (052) 781-5111 (代) 内 3377

済を、鉱業、さらには工業をベースにした姿につくり変えていこうとしているからである。オーストラリアの鉱物資源というと、まず何といっても石炭、それに日本が大お得意様の鉄鉱石、それから銅、亜鉛、鉛などの金属鉱山と、主として固体原料で、いずれも粉体の形で処理するものである。いたるところに粉体の問題、それも緊急に解決する必要がある問題が転ろがっている、というのが現状であって、粉体工学が活発なものも当然のことなのであろう。

ではこの粉体工学の一端を、筆者が直接訪ねて見聞したところを中心に展望してみたい。

### 3. 大学における粉体工学

まだまだ民間企業の研究機関の力が弱いオーストラリアでは、粉体工学の基礎的研究のみならず、かなり実際の研究でも、やはりこと研究に関しては大学が中心とみていいであろう。いまオーストラリアには19の大学があるが、そのうちの主なものを、シドニーを出発点にして右廻りにまわりながら訪ねてみよう。

シドニー (Sydney) 大学：オーストラリアで一番古く100年の歴史をもつ大学であるが、工学部は古いキャンパスと道路をへだてた新しい敷地にあり、かなり大きい。化学工学科もスタッフの数は10人を越えるなかなか大きい学科で、しかもよくまとまった感じであった。ここには昔ホッパーからの流出に関する論文を Chemical Engineering Science に発表している Glastonbury 博士や、流体中の粒子が受ける応力の計算に関する有名な論文を同じく Science に発表している Bagster 博士がいる。いまは粉体物性の測定についての研究が中心で、Jenike 型の剪断試験機と、大小2種の環状回転剪断試験機 (大きい方は径1 m 50 cm 位あった) をもっている。近く細川粉体工学研究所の Powder Tester も同所の寄

附によって設置される予定である。

ニュー・サウス・ウェールズ (New South Wales) 大学：同じシドニーにあって、こちらは新しくどちらかといえば理工系が中心の大学。それだけに化学工学科は大学科システムで、窯業や材料などを含んでいるが、その中の化学工学科の主任教授は Fowler 教授。この方も粉体の輸送・供給に関する論文をいくつか Science などに発表しており、数年前までは粉体物性測定、それも主として引張り破断特性の測定をオーストラリアで発表している。現在は粉体をやめ、膜の方に移ったとのことで、どうしてかと同じところ、どうも学生が粉体をやりたがらなくてね、とこれはいささか心細いご返事だった。このほか昔から空気輸送をやっている Doig 博士もいまはここでやはり空気輸送をテーマにしているようである。

メルボルン (Melbourne) 大学：これも シドニー大学と並ぶ古い大学であるが、粉体研究は鉱山学科が中心で行なっているようである。ここには数年前、北大の田中達夫先生が滞在され講義や研究指導をされたところで、そのレポートは粉体工学研究会誌、12, [4] p. 229 に掲載されている。化学工学科では Bull 博士がこれまでも昔から粒子破碎の分布則について研究しているが、現在は石炭の輸送中の破損のメカニズムについて、4~5 m の高さのところから落とすシャッターリング・テストで研究をしていた。そのほかここヴィクトリア州は褐炭の大産地でその有効利用が大きい問題であって、褐炭の流動層燃焼の研究なども行なわれていた。

モナッシュ (Monash) 大学：シドニーでのシドニー大学に対する N.S.W. 大学のように、メルボルンには古いメルボルン大学に対して、新しい理工系中心のモナッシュ大学がある。市の中心から遠く離れた緑の中に広大なキャンパスが広がる新大学であるが、ここの化学工学科は世界の流動層研究のセンターである。Potter 教授をリーダーとするグループが、大型の二次元流動層を含む



Photo. 1 シドニー大学化学工学科のスタッフ。  
右が Glastonbury 教授、1人おいて Bagster 博士。後ろの建物が化学工学科。

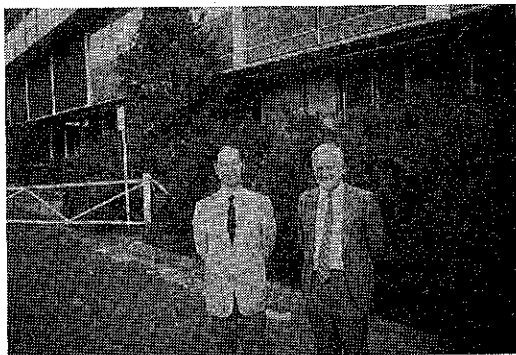


Photo. 2 Monash 大学の Potter 教授。左筆者。

何本かの流動層をもっていてさかんにデータをだしていた。この特徴は後述する CSIRO の研究所と共同研究を行っており、大学の基礎研究と政府研究所の大規模実験がうまくかみあっている点にあるということが出来る。

アデレード (Adelaide) 大学：南オーストラリア州の首都アデレードまでいくと、街中のあちこちの銅像にも奥地探検家が登場するなど、一段と砂漠地帯に近づいた感じがするが、市の中心部には带状に緑地帯が伸びていてなかなかきれいな街である。大学もこの緑地帯の中に、立派な博物館の並びにあって工学部もかなり大きい。化学工学科では Smith 博士がやはり粉体輸送などをやっていたが、特に粉体工学に力を入れているわけではない。

クィーンズランド (Queensland) 大学：東海岸にもどってクィーンズランド州の首都ブリスベーンには、クィーンズランド大学がある。この化学工学科はオーストラリアの中でもなかなか活発な所といわれるが、目下新しい建物ができて、屋外の大型実験装置などはまだ建設中。非常にオープンなスタイルのユニークな建物がとりわけ目をひいた。ここには Leung 博士がいて、流動層中のいわゆるライザーなど粉体輸送関係の研究をやっている、空気輸送に詳しい方である。それ以外にも、学生実験用の Jenike の剪断試験機などもっており、粉体工学に対する関心は高い。

しかしこの大学で一番注目されるのは、鉱山学科の付置研究所であるジュリウス・クリットシュニット鉱山研究所 (Julius Kritttschnitt Mineral Research Centre) であろう。この研究所はクィーンズランド州のちょうど真中あたり、砂漠のまっただ中にある Mount Isa 鉱山会社の寄付 (ちょっと舌をかみそうな名前もこの会社のおえら方の名前を記念にしたものとか) でできたもので、いまでもこの会社との共同研究が重要な部分を占めているようである。ブリスベーン大学の中の1研究所ではあるが、実際はその運営費の90パーセントを産業界からえていて、大学からの財政援助は残りの10パーセント。事実上は独立の研究所という感じであった。それだけ所長の Lynch 博士の責任と権威は大きいようで、実際は Lynch (リンチ) 研究所と呼ぶべきもののようにも感じた。大学のキャンパスとは別に、市の中心部から遠く離れた郊外の、まるで軽井沢の別荘地のような緑に囲まれた住宅地に、広大な敷地をもったこの研究所は、もともと小さい鉱山のあったところかで、所の敷地内に実験用の鉱山ももっているというスケールの大きさであるが、大規模な実験設備があちこちに設置されていて、産学協同の1つの代表例のように感じた。Lynch 所長はむしろコン

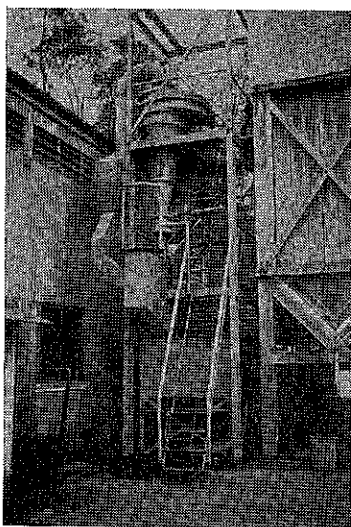


Photo. 3 クィーンズランド大学、ジュリウス・クリットシュニット研究所の実験設備、液体サイクロン。

ピューター・コントロールに関心があり、コンピュータの性能を誇っておられるようであった。実際、この副所長格の Whiten 博士は、大学のコンピュータ・センターにおられたところを、この研究所にスカウトされた、ということであった。選鉱プロセスにおいて、個々の単位操作よりもシステムの解析を重視しているオーストラリアの粉体工学の傾向がよく示されていたように思った。

その他の大学：このほか粉体関係の研究で有名な方に、ニューキャスル (Newcastle) 大学の機械工学科の Roberts 教授がいる。この方には大学にうかがいお目にかかったが、残念ながら昼食をとみにしただけで研究室にうかがい研究の内容について討論する機会を失してし



Photo. 4 ニューキャスル大学でBHPの研究所長をはさんと、右 Callcott 博士、左 Roberts 教授。

まった。これは Roberts 教授が現在学部長という要職にあってお忙しかったためである。聞くところによると Roberts 教授は前に Wollongong 大学におられ、そこで粉体の輸送供給装置に関する研究をやっていた、ということである。シドニーの南数十km のところにある Wollongong は、石炭の積出し港である Kembla 港を擁しているため、とりわけ固体原料の輸送・供給問題には関係の深いところであろうとは、容易に察することができる。この大学には同教授が設置された中間規模の粉体の輸送・供給システムがあるそうで、かなり大規模な実験ができるようになってきているという。ここを訪問する機会を失したことも、きわめて残念なことであった。

#### 4. 政府研究機関における粉体工学

オーストラリアの政府関係の研究機関は、ほとんど CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) に集中しているといってもいい。もともとオーストラリア固有の自然についての研究に重点がおかれていたらしいこの研究機関も、いまではこの国の工業化を推進する研究開発のセンターとなっている。基礎研究から開発研究まで、全国で30~40の研究所をもっていると思われるが、筆者が訪問した粉体と関係のある研究所について簡単にご紹介したい。

**CSIRO・プロセス技術部門 (Division of Process Technology)**: シドニーの郊外、緑深い North Ryde にある研究所で、石炭利用研究、鉄鉱石処理研究のセンターである。来日して粉体工学会の京都での国際シンポジウム (1977年) にも出席された Potter 博士をリーダーとする化学工学部門は、石炭のアッシュの集塵の研究で有名で、トリエチルアミン ( $N(C_2H_5)_3$ ) を含塵気流に注入することで電気集塵器の性能を向上させる研究などはすでにわが国にも知られている。ここにはフライアッシュの電気集塵性能テスト用のモデル装置があって、モデル・ボイラーも設置され、盛んな研究とテストを行っていた。

このほか公害関係では亜硫酸ガス関係やスモッグ関係もやっていたようであるが、ここでの現在もっとも注目すべきテーマは石炭液化の研究・開発であろう。石炭液化はオーストラリアの技術開発上の最重点課題の1つであるが、ここでは Flash Pyrolysis (瞬間熱分解法) の研究開発を進め、小型のベンチスケールの実験装置から、20kg/hr 処理の6inφの反応筒のパイロットプラントまでをそなえて研究開発に全力をあげている。なおこの石炭部門には頭脳流出組の柴岡博士がおられ、現在オーストラリアでは専門家の中では誰知らぬ人のいない石炭の基礎研究のリーダーとして活躍しておられる。

粉体と関係あるもう1つのテーマは鉄鉱石の処理である。鉄鉱石の大部分を日本に輸出しているオーストラリアは、いまその高度処理による付加価値の増加をめざして研究開発に懸命である。ペレダイジング化はその1つであって、ここ North Ryde の研究所でも造粒の研究、ペレットの強度の研究などがさかんに行なわれていた。ここでは測定法は J I S に従っているものが多かったようである。さらに鉄鉱石の直接還元といういわゆる metallization 法も研究していて、ペレットの充填層による還元のほかに、小さい流動層を電気炉の中に入れる還元実験も行なっていた。こういように、石炭のアッシュ、石炭粉、鉄鉱石と沢山の粉体が使われているので、粉体に関する基礎的研究も行なわれている。とくに Szirmai 博士は簡単な垂直方向引張り法で粉体の付着力測定を行ない (J. of Physics E: Scientific Instruments, 9, 985~989 (1976)), 現在は粉体の静電氣的性質の測定を行なっていた。

**CSIRO・鉱物技術研究部門 (Division of Mineral Engineering)**: 粉砕や湿式分級の研究で有名な Kelsall 博士が所長のこの研究所はメルボルンのモナッシュ大学と地続きにある鉱物資源に関するプロセス技術の研究・開発のセンターである。連続ボールミル粉砕の実験装置もまだあるし、分級装置もあるが、いまは粉砕、分級に関してはプロセス・システムの解析と制御の研究を進める階段で、実験室的な実験より鉱山の選鉱工場の現場で研究を進めるべきである、という所長をはじめとする研究所の方針のようで、粉砕・分級そのものの研究は行なわれていない。

石炭液化の研究も North Ryde の研究所と協力して行なわれていて、ここでは Flash Pyrolysis 法の基礎的な反応工学的な研究が進められていた。

しかしこの研究所で特に目についたのは流動層研究であって、前述したようにお隣りのモナッシュ大学の



Photo. 5 CSIRO, Mineral Engineering 部門の Kelsall 所長。

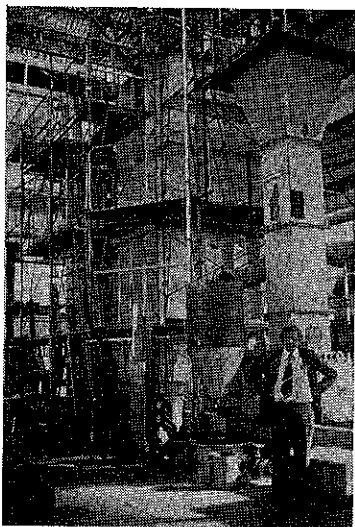


Photo. 6 大型流動層装置を背にした Whitehead 氏。

Potter 教授と協同研究をしている Whitehead 氏のグループは、100HPのルーツブロワーを設置して  $2 \times 2\text{ft}$ ,  $4 \times 4\text{ft}$ ,  $8 \times 4\text{ft}$  の3つの大型流動層を使って盛んに実験を行なっている。

**CSIRO・物質科学部門 (Division of Material Science)** : メルボルン大学の構内にあるこの研究所で耐摩耗材料の研究をやっているというのでいってみたが、現在はアドレードの同じ部門のプロセス研究所の方で担当している、ということであった。アドレードの研究所では金属材料の研究をいろいろやっているが、摩耗については砂糖黍の破砕時における小石などの不純物による摩耗の研究が行なわれた、ということであった。なおメルボルンにおける部門では、主として水添のためのゼオライトを含む触媒の研究を行なっていた。

## 5. 民間研究所における粉体工学研究

**ACIRL (石炭産業研究所; Australian Coal Industry Research Laboratories Ltd)** : 石炭産業が資金をだして維持している独立の研究所である。この粉体関係は、これも来日され京都のシンポジウムに出席された Sullivan 氏がリーダーで石炭フライアッシュの集塵の研究を行なっている。ここでは実際にボイラーで石炭を燃やしてみなくても必要なフライアッシュをつくりだすことができるような特殊な炉をいくつかもっていて、ある石炭に適した電気集塵器を設計するためのデータを与えるため、この炉でフライアッシュをつくってその電気的性質を測定する、ということを行なっている。

このほかこの研究所でも石炭液化の研究を行なってい



Photo. 7 ACIRLのフライアッシュ製造用の炉。

る。方法は溶剤中に石炭粉をサスペンドしてオートクレーブ中で水素により還元する、溶剤還元法である。現在かなり大型のベンチスケールのテストを行なっていた。今後石炭産業の研究・開発投資は飛躍的に高まる、ということで、Sullivan 氏によれば2~3年のうちに規模も倍増するだろう、ということであった。

**BHP・中央研究所 (Newcastle)** : オーストラリアの民族資本の会社としては最大の Broken Hill Proprietary Co. の中央研究所には、これも5年ほど前に来日され、粉体工学会でも講演をしていただいた Callcott 博士がおられる。博士の部では、新しい流動層焼成によるコークス製造プロセスやパイプ・ライニング・コークス・プロセスといって、水力輸送の間に少量の第3成分を添加することによって石炭粉を選択的に造粒してアッシュ分を分離し、石炭のコークス化性を改善しようという方法などを開発している。これら一連の石炭処理に関する研究・開発によって、Callcott 博士は英国燃料協会の Melchett 賞を受賞されている。

このほかこの研究所では流動層に関する一連の研究開発を進めており、独自のタイプのエアスライドと粉体の空気揚送を組み合わせたシステムなどを実験していた。なお、BHPでも石炭液化の実験を行なっており、ここでも溶剤還元法が試みられている。

**マウント・アイサ鉱山会社 (Mount Isa Mines)** : 銅、鉛、銀の鉱山であるが、選鉱プロセスについての研究開発を盛んに行なっており、とくにブリスベンにあるクイーンズランド大学のジュリウス・クリットシュユニット研究所の研究成果は多くはここで実地に移されているようである。粉砕一分級選鉱システムのテスト・プラント ( $1\text{t/hr}$ ) もあって、ここであらゆる選鉱システムについて実験を行なっているということで、筆者の訪問したときは重液選鉱を中心に新しいプロセスの試験を行なっていた。粉体工学研究というわけではないが、オース

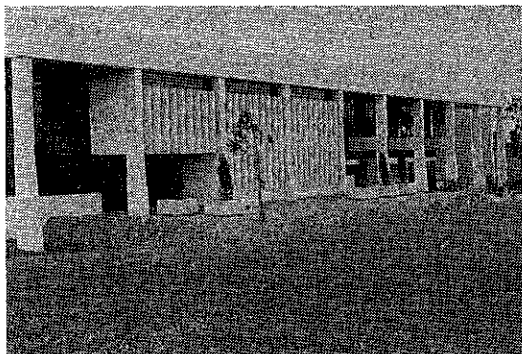


Photo. 8 アデレードにある Australian Mineral Foundation Incorp. の建物。

トラリアの粉体技術の現状を知る上では欠かすことのできないところである。

オーストラリア鉱業協会 (Australian Mineral Foundation) : アドレードにあるこの協会は別に学会でも研究所でもなく、いわば営業として行なわれている情報センターであって、会社会員の会費によって維持され、文献その他の情報を会員に配布しているところである。アドレード郊外の本部は独立した立派な会館で、300人ほど入れる会議場のほか、数十名の講習会用の部屋を2~3室もっており、その上かなり充実した図書室ももっている。講習会はこの協会の事業の中でもっとも重要なものである。所長の Crowe 氏は日本との情報の交換を望んでおり、日本の会社の参加を期待していた。とに角、オーストラリアはいま鉱物資源の開発とその加工度の向上による工業化に力を注いでおり、その面で粉体工学を大いに重視しているが、それをよく示しているのがこの協会ということができよう。

## 6. むすび

オーストラリアについては勿論、その中での粉体工学

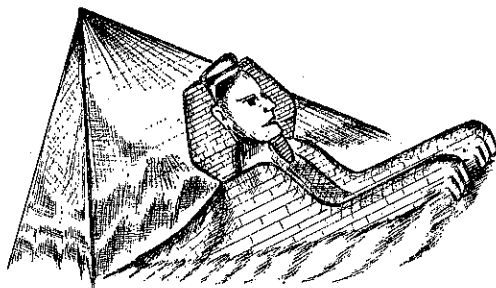
についてだけでも書きたいことはまだまだ沢山あるが、別の機会にゆずりたい。いままで述べたことと関連してオーストラリアで感じたことを2~3まとめて次に示す。

(1) オーストラリアは輸出入ともわが国を最大の相手国としている経済的にわれわれと緊密な国である。そしていろいろな面で日本との交流を強く望んでいるが、実状は相互理解がきわめて不十分であることを痛感させられた。これはと角イギリス、アメリカに目を向け勝ちなオーストラリアの方が原因である点も多いが、むしろわれわれの側がオーストラリアに関心向けな過ぎることの方により大きい責任があるのではないか、というのが筆者の率直な印象であった。

(2) オーストラリアの科学・技術上の実力に関する評価は難しいが、いま独自の技術研究と開発を懸命に進めており、ようやく1つの方向をみつけたしつあるところである、というように感じた。そういう点では実は日本と似ている段階にあるともいえる。そういう意味で技術的にも今後の発展を注目しなければならないし、相互に交流すべき基盤の大きいところといっているであらう。

(3) オーストラリア人は大らかで外国の人を暖く受け入れてくれるところではないかと思う。科学技術上でも、秘密や警戒心がない点はむしろ驚ろくべきほどであった。筆者はカメラというものに対してこれほど寛容な国をほかに知らない。ただ1つの化学会社を除いては、写真撮影というものに制限を加えた工場、研究所、博物館は1つもなかった。その化学会社でも全面的に禁止されたわけではない。データ類でも気軽にだしてくれて、むしろこちらが面くらう位であった。

こういう国とは、今後われわれの側もぜひ open minded な気持で交流を強めていきたい、と痛切に感じた次第である。



### こなやの集合体

田中 達夫\*

Tatsuo Tanaka

粉の勉強をやっていると、段々粉にふりまわされ、アタマがおかしくなってきました。しまいには自分が何をやっているのか解らなくなることもあるでしょう。それが粉体魔物説という言葉が生れた源泉でもあるのですから。

それでも、粉にしがみついて勉強している人達——その涙ぐましい努力に敬服いたします。何10年という年月の間には、サッと粉の研究分野に一陣の風を起し、鋭い一颯の余韻を残したまま、いち早く他の分野に走り去った数多くの方々がいらっしゃること確かです。この人達はやはりスマートな秀才に違いありません。

その人達より、ほんのチョッピリスマートでなく、しかもその人たちよりチョッピリロマンチックな人たちがいつまでも粉と取組んでいらっしゃるのではないのでしょうか。去っていった秀才たちの目には、粉を相手にいまだにアード・コードと悪戦苦闘をつづけている人こそ、“魔物”に見えているかも知れませんヨネ。

まあいいです。われらこなやという名の化け物集団でも、いつかは目の前の霧が晴れて、桃源境にたどりつかないと誰が保証できるのでしょうか。皆さんお互に頑張りましょう。

だがそう自画自賛ばかりもして居れない。このような“魔物”が大勢類をもって集まると、一種キナ臭い妖気がたちこめ、モヤモヤとした世界こそ我が永久の住み家なれといったような、一種シマラぬ、デレーツとした奇妙な安堵感みたいなものが生れないとは限らない。

“へーまあそんなところですかナ、オタクのところとウチとは実験条件が少し違いますサカイなあ。全くサカサマのデータが出てもコリヤ不思議おまへんワ。ワハハハハ。お互いもうチョットやってみまヒヨかいナ” テナ調子で、話がウヤムヤとなる筈れがいっぱい。後は酒でものんで和気あいあい。風呂でも入って一丁麻雀…。翌日はゴルフ…。 “ほなサイナラ、またこの次に…” ということになって、時間と金のムダ使い、結局何にもわからずじまいで、うまく行ったのはヒューマン・リレーションだけということが多いのではないのでしょうか。これもよいことには違いないが、何か真剣勝負の火花が散って、たとい討ちとられても、せめて何がわからなかったのかくらいは、つきとめておきたいものですね。

人の集まりが惰性的な年中行事になってしまっでは、それは年々めぐってくる土俗的なお祭りのようなものである。よく考えると、祭ほど物悲しいものはない。私は好きでない。歳々年々人亦不同。

粉の世界を愛する人たちの集まりは、本質的にカラッとしたものでありたい。粉の魔性を沢山知っていて、何にも知らない若い人達をケムリに巻くだけの存在にして置いて、その中でいつまでも大あぐらをかいては、ついに粉の世界は若い人たちにもソッポをむかれてしまうでしょう。それには自分のもっている専門知識や経験にもさめた科学の目をむけ、みんなと一緒になってもう一度それを叩き台にするくらいの度量や若い好奇心が必要かも知れませんネ。

あまり偉そうなことを書いたので、少々肩がこりました。そんなことより、“先ず随より始めよ”でしたネ。

\* 北海道大学工学部

(〒060 札幌市北区北13条町西8丁目)

Tel (011) 711-2111



# 微粉体を対象とした試作 連続凍結乾燥機

横山 藤平\* 豊立 勝二\* 溝口 健二\*  
Tōhei Yokoyama Katsuji Toyotate Kenji Mizoguchi

中井 利明\*\* 栗田 秀則\*\* 原田 雅恒\*\*  
Toshiaki Nakai Hidenori Awata Masatsune Harada

## 1. まえがき

食品や医薬品を粉砕する際、その有効成分を保持するために凍結状態で粉砕する「低温粉砕」は、すでに実用されており、我々も、ダイガス/ホソカワ リンレックスミルの名称で3年前に販売を開始した。しかし、この凍結状態の微粉砕品は、常温に戻ると水分の多いものは液状となるため乾粉として取り扱う場合には、何んらかの方法で乾燥する必要がある。その方法の一つとして凍結乾燥を検討した。

医薬品や日常飲用されているインスタントコーヒーの乾燥が、そのかなりの量を、凍結乾燥(フリーズドライ)に依存していることは、よく知られている。この乾燥方法は、水分を凍らしたまま真空中において低温の状態で乾燥するので、他の乾燥方法では、熱のため逃げってしまう味や香り、有効成分が、そのまま保持できる。

低温粉砕された微粉を凍結乾燥する際特に問題となるのは、実用されている凍結乾燥機はその対象品が、有形または顆粒状のものであり、微粉状態のものを適用した場合、極めて非効率なものになることであった。

そのため新たに微粉体を対象とした凍結乾燥機の開発に着手し、現在その途上にある。従来は乾燥に数時間から十数時間あるいはそれ以上の時間が必要であったが、本試作機では乾燥時間を数10分に短縮した。さらに乾燥

速度の増大と真空中での連続化を特徴とするが、以下これについてその概要を記述する。

## 2. 一般原理および特徴

760mmHgの平衡蒸気圧をもつ100°Cのお湯も、減圧に応じて温度は下り、0°Cにおける水の蒸気圧4.6 mm Hg 以下の真空中にすると水は液体の状態を保ちえず氷となる。水の状態図を Fig. 1 に示す。そしてこの真空中が保たれる以上、氷は加熱によって水とならず昇華し気体となる。このようにして脱水する方法が凍結乾燥である。凍結乾燥の基本フローを Fig. 2 に示す。

水は真空中におくだけでも蒸発するが、やがて氷となりその圧力に応じた温度まで下り安定する(自己凍結)。さらに昇華させるためには、昇華潜熱 (Table 1) が必要である。この熱量の供給には対流は期待できないので加熱板による伝導、赤外線等による輻射、電子レンジと同じマイクロウェーブの利用があり、主として熱板伝導の利用が多い。昇華した水蒸気は、通常コールドトラップにより再度氷として捕捉される。真空ポンプは、初期に系内を真空にするためおよび乾燥中にもれ込む空気の排出に使用することが目的である。

凍結乾燥に際し、原料は前もって凍結させるか、あるいは野菜などのように水分の多いものは自己凍結させる。凍結温度及び真空度は原料の種類によって異なる。凍った原料を真空中の加熱板の上に静置すると、ほぼ全周から昇華し、次第に昇華面は物体中心へと向っていく、そして昇華した氷の部分はほとんど収縮することなく空洞となる。品温は乾燥中は凍結温度を維持し、乾燥後はほぼ加熱板の温度と同一となる。

このようなことから有効成分、芳香成分、味、栄養価

\* 細川粉体工学研究所

(〒573 枚方市招提田近1-9)

Tel. (0720) 57-3721

\*\* 大阪瓦斯株式会社総合研究所

(〒554 大阪市此花区西島6丁目19-9)

Tel. (06) 462-1451

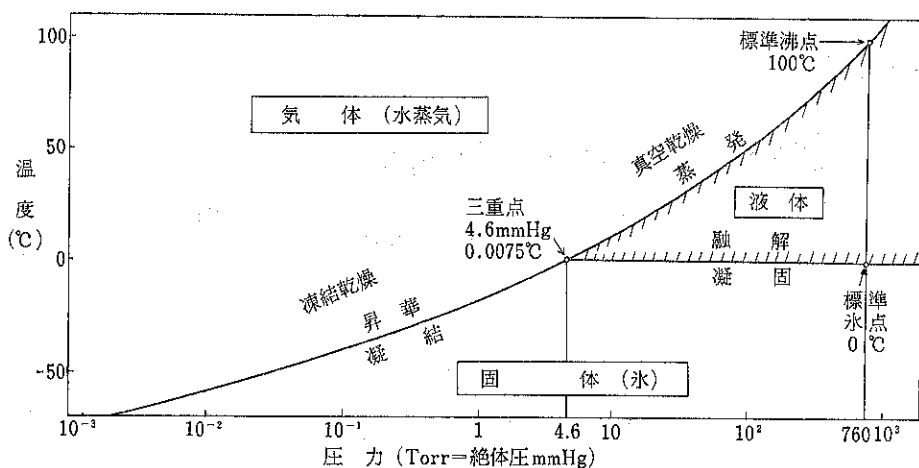


Fig. 1 水（氷）の温度と平衡蒸気圧曲線

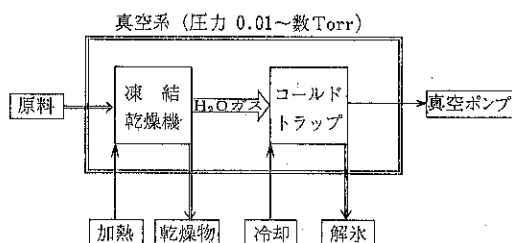


Fig. 2 凍結乾燥基本フローシート

Table 1 氷の昇華潜熱

| 温度 (°C) | 昇華潜熱 (kcal/kg) |
|---------|----------------|
| 0       | 677            |
| -10     | 678            |
| -20     | "              |
| -30     | "              |
| -40     | "              |

注) 水の 100°C における蒸発潜熱 (539kcal/kg) より多いことに注意

(Perry & Chilton: Chemical Engineers Handbook p. 3-205 より)

等の損失がほとんどなく、復水性が良好であり、静置型の場合は形状そのものもほぼ不変である点が長所となる。一方乾燥品は多孔質のため吸湿性が高く、酸化変質しやすく、もろく、こわれやすい。そして乾燥速度が低く、真空維持装置が必要なこと等のため乾燥コストが高くつくことが欠点である。

### 3. 凍結乾燥の推移と現状

今世紀初頭血液（血清）や器管を凍結乾燥したことに始まる。その後、医薬品の分野では実用が進み、微生物が生きたまま乾燥できるので、ウィルス、抗生物質、ワクチン、酵母、酵素等の乾燥にも適用され現在に至って

いる。

一方食品への本格的な適用はかなり遅れ、1950年以後であり、日本ではさらに約10年遅れてスタートした。

現在実用されている乾燥の方法は、加熱できる静止棚の上にトレイに均一に原料を並べ6～24時間真空中に静置するパッチ型、およびこのトレイ全体を長い真空トンネル中に約5時間かけて除々に移動させ、仕切弁により連続的に出し入れする型の二型式が主体である。他に顆粒状の原料を攪拌する型、振動板の上を移動させる型等がある。

凍結乾燥の対象品及び規模についてはかなり限定されているようである。日本ではその大部分はインスタント食品の具として用いられ、有形多品種少量であり、脱水量0.5～1トン/回の規模のパッチ型式が主体であろう。欧米においてもこの規模のもので、果実、肉類、野菜類等の乾燥に使われるが、特にインスタントコーヒーの如く、長いトンネル中を通過させる連続式で、数トン～十数トン/日の能力を持つものが主体ときく。

医薬品関係では、その規模は小さく、食品用パッチ式の $\frac{1}{10}$ 程度以下の小型のものであろう。

Table 2 に静置棚型における各種食品の凍結乾燥例を示す。

### 4. 凍結乾燥と原料の大きさ

原形をとどめる必要のある乾燥品に対しては静置型で乾燥させるが、コーヒー、ジュース、抗生物質等任意の形をとりうるものに対しては、原料を凍結して数mm以下に調整し、ゆるやかな攪拌又は振動を行って、凍結乾燥速度を上げる工夫がなされる。これは乾燥中に必要な熱をいかにしてより多く与え、かつ発生した膨大な容積の  $H_2O$  ガスをすみやかに取り除くかという要求からきている。一般的に静置棚型の場合の乾燥速度は、脱水量

Table 2 各種食品の処理例（静置棚型）

| 品 名     | 形 状        | 予備凍結<br>°C | 仕 込 量<br>kg/m <sup>2</sup> | 初期含水率<br>% | 最高品温<br>°C | 乾燥時間<br>Hr |
|---------|------------|------------|----------------------------|------------|------------|------------|
| 生 牛 肉   | スライス（脂肪少）  | -30        | 12.5                       | 75         | 60         | 7.5        |
| 生 塩 鮭   | スライス       | "          | 11.5                       | 73         | "          | "          |
| し ば え び | 蒸煮、剥皮      | "          | 9.3                        | 86         | "          | "          |
| 関 東 ね ぎ | スライス       | 自己凍結       | 12                         | 93         | "          | 11.0       |
| に ん じ ん | プランチングスライス | "          | 13                         | 89         | "          | "          |
| マッシュルーム | 前処理スライス    | "          | 12                         | 91         | "          | "          |
| パ ナ ナ   | 前処理スライス    | -30        | 8.5                        | 75         | "          | 7.5        |
| いちご、りんご | スライス       | "          | 10                         | 89         | "          | 11.0       |
| み そ     |            | 自己凍結       | 15                         | 50         | "          | 7.0        |
| ク ロ レ ラ |            | -30        | 17                         | 80         | 50         | 22.0       |
| コ ー ヒ ー | 抽出液        | -30        | 20                         | 80         | 60         | 23.0       |

(共和真空技術㈱カタログより)

で0.2~2kg/m<sup>2</sup>Hr、顆粒状攪拌型で2~5kg/m<sup>2</sup>Hr程度ではないかと推定される。コーヒーの振動熱板型では10kg/m<sup>2</sup>Hrのデータもある。ここでの攪拌型には凍結乾燥品がもろいため微粉化し、収率の低下、機内付着等の問題がある。

したがって原料を数十μの微粉体とした場合には、乾燥速度の増大、乾燥時間の短縮が期待されるが、微粉体の攪拌方法及び発生 H<sub>2</sub>O ガスと微粉体との分離が重要となることが考えられる。ただし、乾燥速度増大は単に微粉体の表面積増大のみでは期待できない。それは真空中では、粒子の近辺のガスは密度が低くて熱の運搬の役をなさないからである。あくまでも加熱面からの接触によるが、その機会の増大、加熱面と昇華面との距離（既乾層厚さ）が小さいことによる熱伝導量増大及び昇華ガスの既乾層部通過抵抗の減少等により、乾燥速度は増大する。もちろん粒子の適切な攪拌は必要であろう。

## 5. 凍結微粉体の生成——低温粉碎

凍結乾燥の対象となる食品・医薬品・香辛料等を有効成分・味・香り・栄養素・色あい等を損なうことなく、数十μの凍結微粉体とするために液体窒素（沸点-196°C）を用いて低温粉碎する。

低温粉碎装置リンレックスミルシステムの一例をFig. 3に示す。まず原料は液体窒素に浸漬して瞬間冷却された後、傾斜させたスクリーフィーダーにより液体窒素を切りながら微粉砕機に投入され、粉碎品をサイクロンにて取り出す。原料が大きい場合は前もって粗砕機により10mm程度に粉碎する。微粉砕の温度は実用的には-50~-100°C、粉碎品の粒度は平均30~50μとすることが多い。食品類の低温粉碎例をTable 3に示す。

凍結乾燥に際して重要な点は、原料の瞬間冷却と粉碎

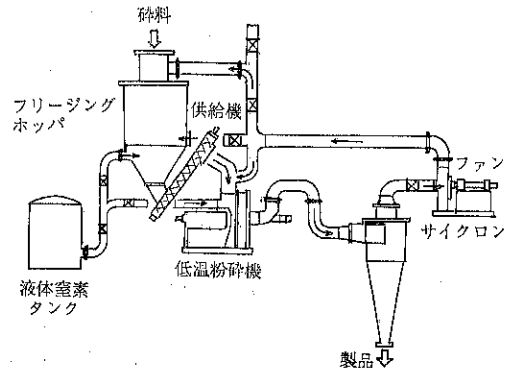


Fig. 3 リンレックスミル プロローシート

リンレックスミル形式および仕様

| 形 式  |              | LX-0                | LX-1  | LX-2  | LX-3  |
|------|--------------|---------------------|-------|-------|-------|
| 仕 機  | 幅            | 1,400               | 2,400 | 3,200 | 5,200 |
|      | 奥 行          | 1,200               | 1,500 | 1,900 | 1,800 |
|      | 高 さ          | 1,600               | 2,800 | 3,600 | 3,900 |
| 所要動力 | ミ ル          | 2.2                 | 7.5   | 15    | 37    |
|      | ブロー<br>フィーダー | (ミル内蔵)<br>2.2 (手 動) | 2.2   | 7.5   | 11    |
|      |              |                     | 0.4   | 0.75  | 1.5   |

品の均一な粒度である。原料を瞬間的に冷却すること、例えば食品では、その大部分の水が氷となる0~-5°Cの範囲を短時間に通過することであり、この時には、凍結品の品質はほとんど損なわれない。通常、急速凍結として15分もしくは30分以内にこの温度範囲を通過することが重要である。もしそれが何時間もかかる緩慢凍結の場合には、組織が破壊され凍結品の品質はおち、したがって凍結乾燥してもその品質は期待したものにはならないと考えられる。次に粉碎品の粒度が均一であることが重要であるが、これは、凍結乾燥においては氷の厚さは、乾燥時間をその厚さに比例する以上に長くさせ

Table 3 食品類の低温粉碎例

| 被 粉 碎 物            | 粉碎温度<br>(°C) | 処理能力<br>(kg/IP-hr) | 液 室 量<br>LN <sub>2</sub> -kg/<br>原料-kg | 備 考<br>(常温での状態、<br>粒度など)                              |
|--------------------|--------------|--------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ココナッツ              | -100         | 7                  | 2.5                                    | ペースト状<br>舌感ざらつきなし                                     |
| ゴ マ                | -150         | 5                  | 4.4                                    | ソフトクリーム状                                              |
| か ら し              | -100         | 1.4                | 1.1                                    | 200#90%以上<br>乾粉状 (水分11%)<br>脂肪分 37.13%<br>タンパク 26.25% |
| ドライパイナップル          | -100         | 3.2                | 3.9                                    | ペースト状<br>舌感ざらつきなし                                     |
| アーモンド              | -100         | 3.5                | 3.6                                    | "                                                     |
| 生 大 豆              | -50<br>-100  | 10.5<br>6.0        | 1.0<br>2.1                             | 指感細かい} ペース<br>" 滑らか} ト状                               |
| からしケーキ<br>(脱 脂)    | -150         | 8.2                | 2.0                                    | 200#90%以上<br>舌感ざらつきなし                                 |
| 緑 茶                | -100         | 3.8                | 3.3                                    | 舌感ざらつきなし                                              |
| 昆 布                | -100         | 2.1                | 6.0                                    | "                                                     |
| もみがら               | -100         | 1.2                | 10.5                                   | 指感、感触あり                                               |
| とりがら<br>(水分5%まで乾燥) | -100         | 10.0               | 2.0                                    | 乾粉<br>100#程度                                          |

るので、乾燥時間を短かくし、かつ乾燥品の水分を均一にする上では粒度の均一性は特に必要な事項である。リンレックスミルでは粉碎機内部に分級機構を内蔵し、これを達成している。

## 6. 試作凍結乾燥装置

試作装置のフローシートを Fig. 4 に示す。

レンレックスミルより粉碎された微粉体を、適切な温度に冷却した真空供給機により、1~3 r.p.m. の回転で連続的に乾燥機に投入する。凍結乾燥機は 0.1~1 Torr 程度の真空下において高速攪拌により連続的に乾燥する型式で、昇華熱は熱媒体循環式のジャケットにより供給する。凍結乾燥された微粉体は、供給機とほぼ同原理の排出機により真空下から大気圧下へ排出される。水蒸気はコールドトラップにより凝縮させる。トラップの冷却にはこの試作装置では液体窒素を用いた。

試作した凍結乾燥機 (No. 1) の仕様

1. 型 式：微粉体を対象とした高速回転型
2. 乾燥部 (胴径×長さ)：φ254×660mm
3. 加熱面積：0.35m<sup>2</sup>，加熱温度：~30°C
4. 到達真空度：0.01 Torr  
運転真空度：1~0.1 Torr
5. 動 力：2.2kw

(製品水分調節機構付)

真空中への微粉体の供給機

1. 型 式：圧力バランス式定容積回転型
2. 供給量：0.5~4kg/Hr
3. 回転数：max. 3 r.p.m. 0.4kw
4. 耐真空度：1~0.1 Torr
5. 補助真空ポンプ：60l/min. 0.2kw

真空排気系

1. コールドトラップ：LN<sub>2</sub> による冷却
2. メカニカルプースター 1000m<sup>3</sup>/Hr 3.7kw
3. 油回転真空ポンプ：3000l/min  
真空度：5×10<sup>-3</sup> Torr 3.7kw

真空計

ピラニー真空計

やまいも、じゃがいも、にんにくについてのテスト結果の一例を Table 4 に、拡大写真を Photo 1~2 に示す。

試作機は連続にて供給・乾燥・排出を行っており、乾燥速度は 5.6~6.6kg 水/m<sup>2</sup>Hr と高い値を示している。表中の残留水分はやや多く乾燥度を上げればこの値は少し低い値となる。滞留時間は 15~20分 程度で極めて短い。乾粉収率は 85~93.4% であり、改善する必要がある。

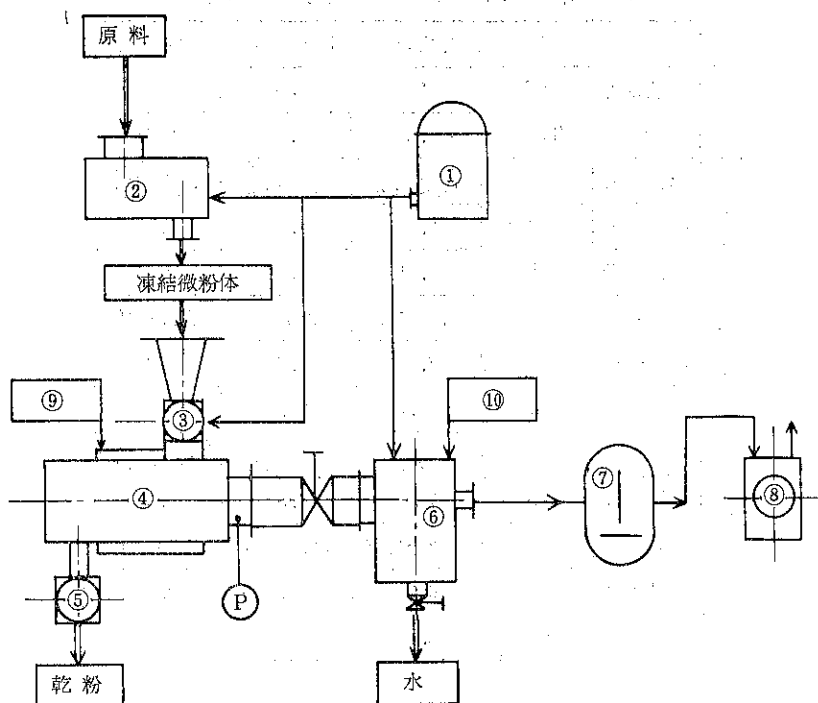


Fig. 4 試作連続凍結乾燥機フローシート

|   |                     |                 |
|---|---------------------|-----------------|
| ① | LN <sub>2</sub> タンク | —               |
| ② | 低温粉碎機 リンレックスミル      | 7.5 kw          |
| ③ | 真空供給機               | 0.4 kw + 0.2 kw |
| ④ | 連続凍結乾燥機             | 2.2 kw          |
| ⑤ | 真空排出機               | 0.4 kw + 0.2 kw |
| ⑥ | コールドトラップ            | —               |
| ⑦ | メカニカルブースター          | 3.7 kw          |
| ⑧ | 油回転真空ポンプ            | 3.7 kw          |
| ⑨ | ヒーター (昇華熱供給用)       | 10 kw           |
| ⑩ | ヒーター (解氷用)          | 6 kw            |
| P | ピラニー真空計             | —               |

比較のために静止棚加熱型凍結乾燥機 (皿直径 123 mm) での実験も合せ行った。スライスした原料を層高 6~10mm に仕込み、同温度 (30°C) 同程度の真空度にて同水分まで乾燥させると、乾燥速度は 0.55~0.77kg 水/m<sup>2</sup>Hr で、滞留時間は 6.5~8.5 時間を要した。

従来の静置型と試作機の攪拌型との比較には色々な点を考慮する必要があるが、上記の条件では乾燥速度比が 8.4~12 倍となり、このことは必要な昇華水量に対し乾燥機の加熱表面積が  $\frac{1}{8.4} \sim \frac{1}{12}$  に縮小できることを示している。

この結果を基にして試作機 No. 1 の性能の向上を図った試作機 No. 2 を製作した。これは、No. 1 の 3.2 倍の加熱面積をもつ。これは '78 粉体工業展に出品したものであり、その性能は現在テスト中である。

## 7. あとがき

種々な乾燥方法の中で凍結乾燥は最も品質の劣化の少ない乾燥方法であり、大いに利用を広めたいところであるが、その最大の難点は乾燥コストが高いことである。そのためには乾燥速度を高めることやパッチ式から連続式にすることによる省力化も大切な点である、今回試作した「連続式凍結乾燥機」は微粉体を対象として次の点を改善できる。

1. 乾燥速度の向上による乾燥機加熱面積の縮小とそれによる乾燥機の小型化
2. 連続操作ゆえ、大気→真空→大気の操作の不要による能率向上と真空ポンプの小型化
3. 低温粉碎の導入によるパッチ式に必要な原料のト

Table 4 試作機 (No. 1) の性能の一例と静置棚型との比較

|             | 項 目            | やまいも                      | じゃがいも               | にんにく                |
|-------------|----------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| 共通条件        | 加熱温度           | °C                        | 30                  | 30                  |
|             | 真空度            | Torr                      | 1.0                 | 0.31                |
| 試作機 (No. 1) | 原料状態           | 平均粒径<br>30~40 $\mu$       | 平均粒径<br>30~40 $\mu$ | 平均粒径<br>30~40 $\mu$ |
|             | 処 理 量          | kg/Hr                     | 2.48                | 1.8                 |
|             | (滞留時間)<br>乾燥時間 | Hr                        | 0.25                | 0.24                |
|             | 水分変化           | WB%                       | 82.2→13.6           | 82.5→15             |
|             | 乾燥速度           | kg水/<br>m <sup>2</sup> Hr | 5.6                 | 6.6                 |
|             | 収 率            | %                         | 88.0                | 93.4                |
|             | 85             |                           |                     |                     |
| 静置棚型        | 原料状態           | スライス<br>6~7mm             | スライス<br>6~7mm       | スライス 2mm<br>層~10mm  |
|             | 乾燥時間           | Hr                        | 7.5                 | 6.5                 |
|             | 水分変化           | WB%                       | 84.3→13.6           | 82.0→15             |
|             | 乾燥速度           | kg水/<br>m <sup>2</sup> Hr | 0.67                | 0.77                |
| 比較          | 乾燥速度比          | 攪拌<br>静止                  | 8.4                 | 8.6                 |
|             |                |                           |                     | 12                  |

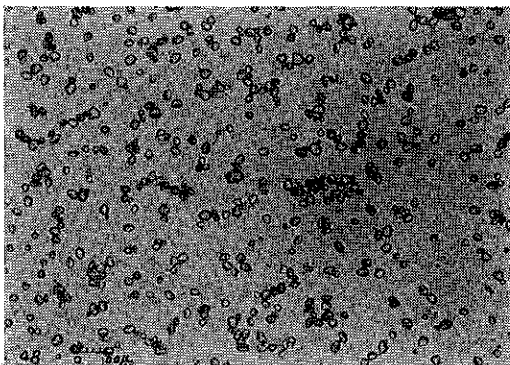


Photo 1 やまいも凍結乾燥品

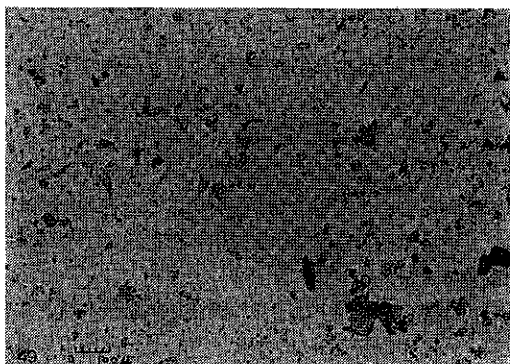


Photo 2 にんにく凍結乾燥品

レイへの均一な充填工程の省略

#### 4. 乾燥時間の短縮による品質の向上

なお、本試作機に関しては真空系への供給、排出機の消耗部品の摩耗対策、乾燥品の収率及び乾燥度の向上等二、三の問題点も残っており今後性能向上と共に改善に努力してゆきたい。最後に本実験は昭和51年度中小企業技術改善費補助金の交付を受けたものであることを付記する。

#### 参 考 文 献

- 桐原良三：乾燥装置 341~388 日刊工業新聞社刊(1968)
- 小林正和：New Food Industry 16 [12] 11~18 (1974)
- 桜井芳人監修：冷凍食品ハンドブック, 41~48 光琳書院 (1974)
- 共和真空カタログ
- 谷口浩：化学工場 22 [5] 43~48 (1978)

## 新製品紹介

# 超微粉域のための高速ミクロンセパレータ

## 第二事業本部\*

### 1. はじめに

ミクロンセパレータは、従来より篩分け困難な微粉を分級する機械的遠心力型風力分級機として広く使用されてきた。また各種の分級機のうちでも、特に微粉域において分離効率の高いのが特徴であった。

しかし最近の粉体を扱う工業の発展は目ざましく、従来よりも一段と細かい微粉の製造が可能となり、それら超微粉を使用して、より価値のある製品を得ようとする努力がなされている。

したがって分級操作においてもより小さな cut point での精度の高い分級機の要求が強くなってきている。

こうしたニーズに応じて改良されたのが、高速型ミクロンセパレータである。

### 2. 高速型ミクロンセパレータの開発

ミクロンセパレータは、Fig. 1 に示す如く、ロータの回転による遠心力とファンの吸引力による求心力との均衡によって分級する分級機であり、その理論分級径は次式で示される。

$$d_{th} = \frac{C}{U_0} \sqrt{\frac{18 \mu r U_r}{\rho_s - \rho}}$$

$d_{th}$  ; 理論分級径 [cm]

$U_r$  ; 気流向心方向速度 [cm/sec]

$\rho_s, \rho$  ; 粒子, 気流の密度 [g/cm<sup>3</sup>]

$C$  ; 補正定数 [-]

$r$  ; ロータ半径 [cm]

$U_0$  ; ロータ周速度 [cm/sec]

$\mu$  ; 気流粘度 [poise]

したがって、理論分級径  $d_{th}$  は、気流向心方向速度  $U_r$ 、即ち風量の平方根に比例し、ロータ周速度  $U_0$ 、即ちロータ回転数に反比例する。

そこでミクロンセパレータの分級点を更に小さくする

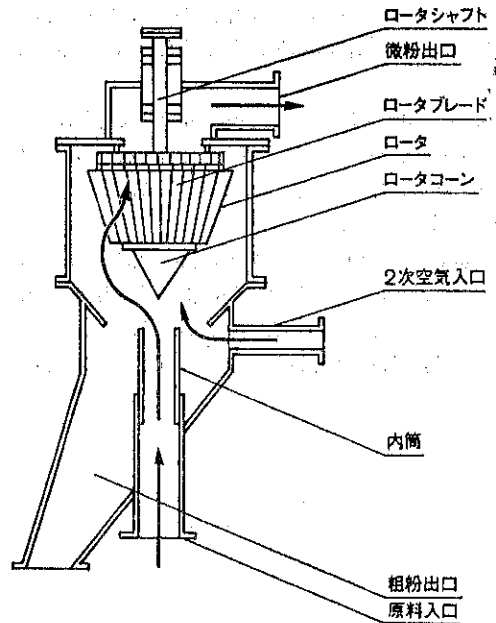


Fig. 1 ミクロンセパレータの構造

ためには、風量をより少なくする方法とロータ回転数をより大きくする方法があるが、風量は粉体の搬送及び分散に必要なため、これを減少させることは限りがあり、また平方根に比例するために効果は少ない。したがって主にロータ回転数を上げることにより、より小さい分級点をもち、超微粉にまでの分級を可能にしたのが高速型ミクロンセパレータである。従来の標準型のミクロンセパレータ MS-1 ではロータ最高回転数は 2,300r.p.m. であったが、高速型のそれは 6,000r.p.m. まで可能とした。即ち分級径は標準型の約  $\frac{1}{2.6}$  まで一挙に小さくなったことになる。

ミクロンセパレータの回転数を大きくすることは、遠心力の増大による歪、振動発生抑制など構造的には飛躍的に困難が増大する。特にロータ径の大きい大型機においては難かしいが、従来のミクロンセパレータの性能を、分級点を小さくした超微粉域でも再現するために、

\* 協細川鉄工所

(〒573 枚方市招提田近1丁目9)

Tel (0720) 55-2221

高速型のロータ形状をできるだけ標準型に近く設計した。

大型機においてもMS-4までは同様に小さな分級点を得られる様に設計が完了している。

### 3. 高速型ミクロンセパレータの性能

MS-1型における実験結果を以下に示す。Fig. 2, 3は重質炭酸カルシウムの粉末の例であり、Fig. 2は原料の粒度分布と従来の標準型の最高回転数である2,300 r.p.m. の場合の分級微粉の粒度分布と対比して、高速ミクロンセパレータのロータ回転数が夫々4,000 r.p.m., 6,000 r.p.m. の場合の微粉の粒度分布を示したものである。

6,000 r.p.m. では、 $5\mu$  以下95%，平均粒径 $2.5\mu$  という超微粉が得られている。おそらく石灰石から乾式の粉碎・分級の操作により得られる粉としては現在でも最も細かい粉であろう。

Fig. 3は同一の実験での分級の精度を部分分級効率曲線で示したもので、高速即ち超微粉分級の場合も精度の高い分級ができていることがうかがえる。

Fig. 4, 5は合成樹脂粉末を分級した場合の結果を

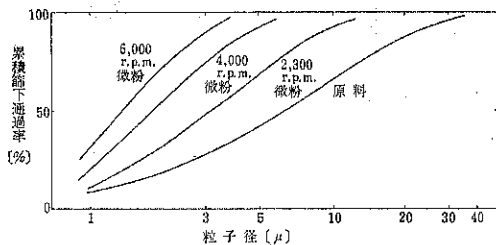


Fig. 2 重質炭酸カルシウムの原料及び分級微粉の粒度分布

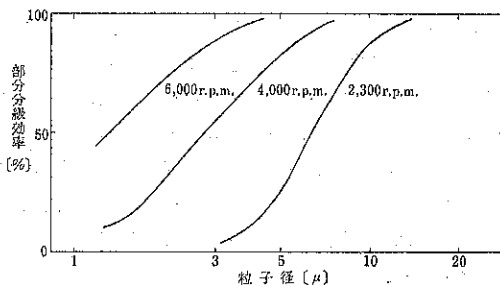


Fig. 3 重質炭酸カルシウム分級における部分分級効率

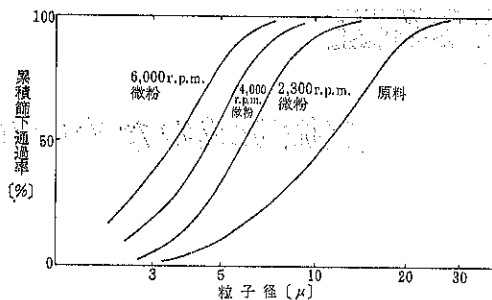


Fig. 4 合成樹脂粉末の原料及び分級微粉の粒度分布

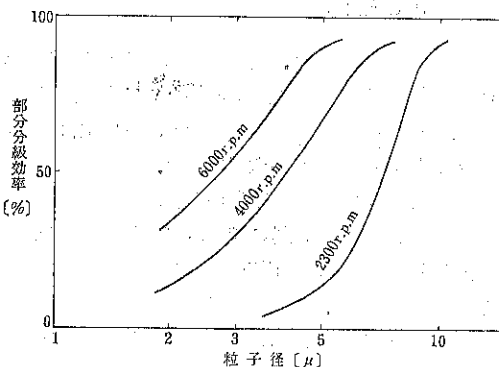


Fig. 5 合成樹脂粉末分級における部分分級効率

Fig. 2, 3と同様に示したものである。

これらの実験と同時に、ロータ圧力損失、所要動力等の操作データ及び機械的な耐久性も検討され、工業的な生産機として高速型ミクロンセパレータが十分に使用可能な事が立証された。

### 4. おわりに

最初に述べたように超微粉の要求が多く、超微粉を用いての新たな商品開発がなされようとしている最近の産業界のニーズに応じて開発されたものが高速型のミクロンセパレータであり、当初に意図した目的はこれで達成されたと考える。

しかしながら超微粉になる程、粉体の付着性・凝集性が増大し、分級効率を悪化させる方向に進むことも事実であり、これを供給濃度、分散装置等でカバーしていかねばならない。

将来、更にもう一步超微粉に進めば、凝集性の著しい粉体に対しては、粉体の表面処理、或いはたとえば静電気の利用などによって特殊な分散装置などの技術も併せて必要となってくるであろう。



## 製品紹介

# ホソカワ層流BCユニットについて

環境事業部\*

## 1. はじめに

医療分野においては病院内の感染防止に、また薬品、食品、電子工業、精密工業等の産業分野においては製品の品質低下防止に、汚染管理の重要性が最近特に高まってきた。これに呼応して上記に関連する室内環境の清浄化システムも種々な方式が開発され要求に応じての提供がなされているが、本稿ではこれらを対象にして開発された水平層流ユニット及び垂直層流ユニット（クリーンブース又は移動式カーテンユニットと呼称）であるホソカワBCユニットに関して記述する。

## 2. 種類と概要

本ユニットは、いずれも室内に設置し、病院の手術室等小規模な室の場合は室内全体を対象に、また大規模の生産工場内では、特に高度な清浄度を必要とする特定の局所作業環境の清浄化を目的に開発されたバイオクリーンユニットであり、通常クリーンブースと呼称されている部類に属する。

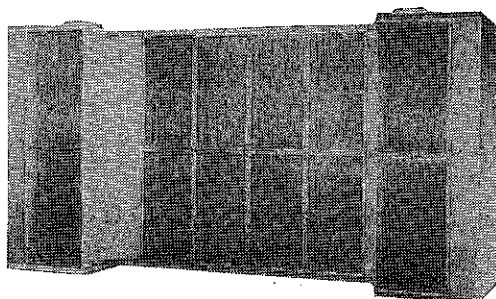


Fig. 1

### 2-1 水平層流BCユニット

病院の無菌手術室や無菌病室、無菌治療室などを対象に開発されたもので、米国連邦規格 209 a, b

\* ホソカワ環境エンジニアリング株式会社  
〒552 大阪市港区市岡 2 丁目14-5  
Tel. (06)574-7771

Table 1

| 項 目           | 計 画 条 件                                                                                                           |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 清 浄 度         | クラス 100                                                                                                           |
| 方 式           | 水平層流ユニット                                                                                                          |
| 清浄域有効寸法       | 3,360W×3,200L×3,000H<br>容積 32.26m <sup>3</sup><br>(手術室内寸法<br>5,700W×6,000L×3,000H)                                |
| 送 風 量         | 240m <sup>3</sup> /min~200m <sup>3</sup> /min                                                                     |
| 清浄域換気回数       | 455~380 R/H                                                                                                       |
| 風 速           | 清浄域内 0.4m/s~0.33m/s                                                                                               |
| 運 転 騒 音       | 手術台中心 55ホン以下                                                                                                      |
| 送 風 機         | 低騒音型 60m <sup>3</sup> /min SP55mmAq<br>(50m <sup>3</sup> /min SP70mmAq)<br>モーター 200V 1.5kW 4 P<br>1,750RPM フラン直結型 |
| HEPA<br>フィルター | DOP 99.97%以上、防湿型、<br>610×915×150 8組                                                                               |
| 多孔吹出パネル       | 穿孔35%, 750×1,300H 8枚                                                                                              |
| 吸 込 パネル       | 穿孔35%, 700×1,250H 4枚                                                                                              |

クリーンルーム規格及びバイオクリーンルームANA SA規格のクラス 100 の要求に容易に応えるユニットとして設計されている。Fig. 1 は本ユニットの組立写真であり、サイドパネルの取付前となっている。Fig. 2 に構造ならびに設置の一例を示す。Table 1 はその計画条件である。Table 2 に送風機構の特性、Table 3 に本ユニットの運転時の騒音特性を示す。また、Table 4 は換気回数 223R/H での運転時における手術室内クリーンアップ時の塵埃数測定結果である。

### ◎ 本ユニットの特徴

- (1) 清浄域に対して大流量の清浄空気を、均一な室内風速を保持して完全な層流状態での供給が可能であ

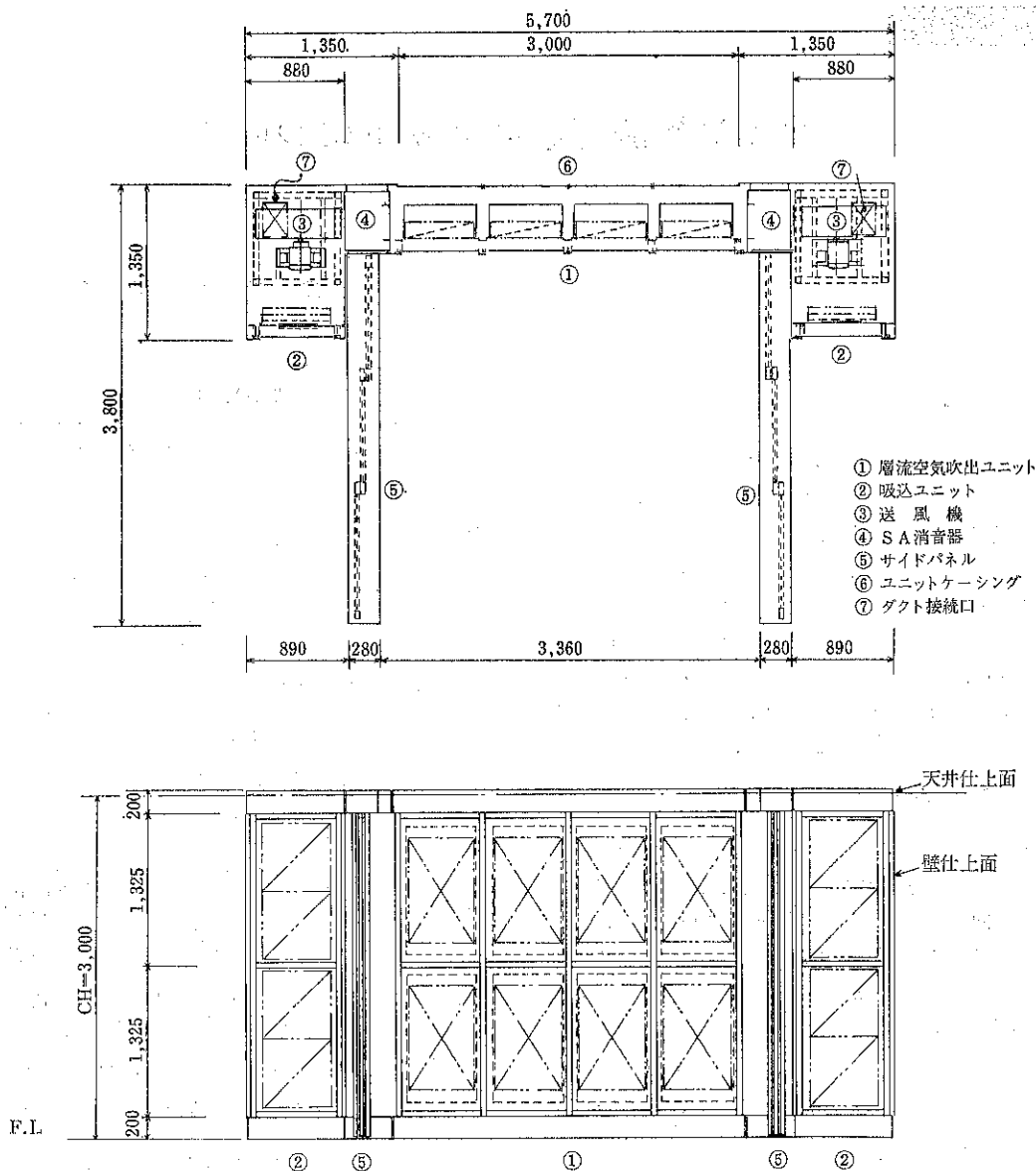


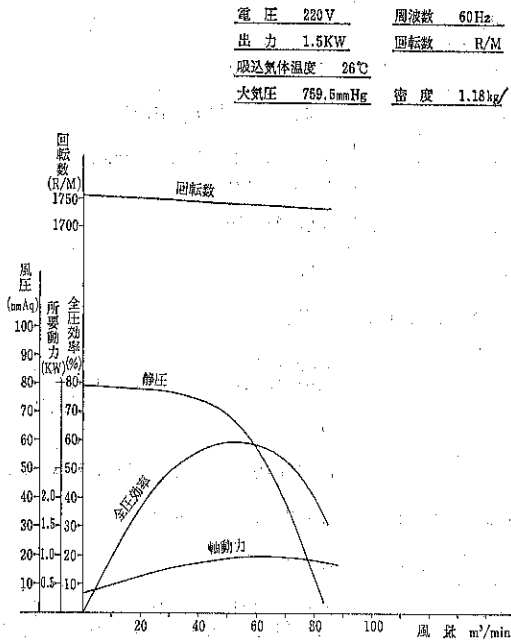
Fig. 2 ホソカワBCユニット外形図

る。

- (2) 低騒音型送風機を複数で内蔵しているため、要求に応じて送風量の制御が可能となる。(Fig. 2 の例の場合は、清浄域換気回数で 455 R/H (室内風速 0.4m/s), 335R/H (0.3m/s), 223R/H (0.2m/s), 112R/H (0.1m/s) の制御となる。)
- (3) 運転騒音が極めて低く静粛運転を実現している。本ユニットを対象に低騒音型ファンを開発内蔵し、更に独自の遮音機構を採用しているため最大運転で 55ホン以下を立証している。(Table 3 参照)

- (4) 保守管理の容易性。HEPAフィルターの取替は、室内側より簡単に可能となっている。(吹出多孔パネルの取外し取付に 1/4回転特殊ファスナー使用)。ファンの点検の為に吸込パネルが点検口兼用となっていて、建築構造体に点検扉の取付は不要となっている。
- (5) 設置現場に応じた製作が可能で、本ユニット独自の整流、拡散機構の採用で、ユニットの奥行きが短縮され設置スペースが小となっている。
- 材質は、標準品として吹出し吸込面の室内側はアル

Table 2 送風機特性曲線図



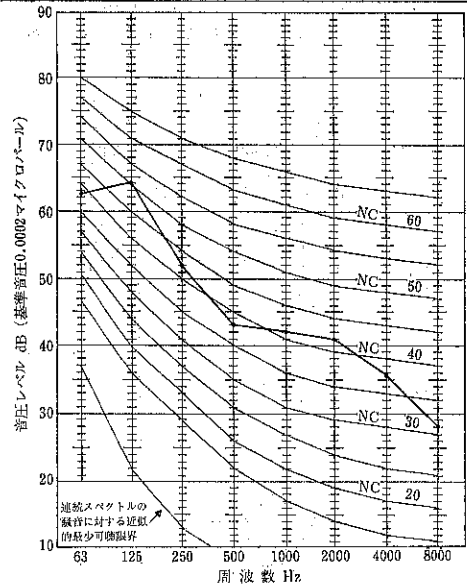
ミ製アルマイト仕上、背面ケーシングのみスチール製  
内面エポキシ樹脂塗装となっているが、全アルミ製及  
び全ステンレス製の製作も可能である。

## 2-2 垂直層流ユニット

クリーンルーム、バイオクリーンルーム内の作業  
状態によって、水平層流方式では上流側に作業や  
器物の配置に制約を受けるため、天井面よりの層流  
吹出し既に垂直層流方式の必要性が生じてくる。こ  
の場合、天井面には層流吹出ユニットのみ取付け、

Table 3 運転時の騒音特性

| 測定条件 | 騒音名 | 手荷重 | マイク位置 | 手術台中心、床面上1,000                                    |
|------|-----|-----|-------|---------------------------------------------------|
|      |     |     | 周囲温度  | 28℃                                               |
|      |     |     | 送風量   | 240m <sup>3</sup> /min                            |
|      |     |     |       | (60m <sup>3</sup> /min × S.F. 55mmHg × 1.750RRM.) |
|      |     |     |       | (1.5KW 4台運転)                                      |



送風機構はセパレートして設置する場合と、層流吹  
出ユニットに送風機構を内蔵したユニットの2型式  
があげられる。前者は病院手術室等に多く採用さ  
れ、後者は生産工場の局所清浄装置として使用され  
る例が多い。

Fig. 3は、某薬品工場に採用されたクラス100を

Table 4 運転開始時の室内汚染の浄化状況の測定

測定位置 手術台中心  
送風量 120m<sup>3</sup>/min (223R/H)

| 測定時                                | 0.5μ<個/立六呎 | 備考                             |
|------------------------------------|------------|--------------------------------|
| ファン運転開始前                           | 222,000    | 室内歩行、軽作業により発塵                  |
| ファン運転90秒後                          | 70         | 下流部に8名在室                       |
| ファン運転3分30秒後                        | 50         | 同 上                            |
| ファン運転5分50秒後                        | 30         | 同 上                            |
| 測定点上流部に1名歩行<br>(木綿衣着用)<br>ファン運転中   | 840        | 測定点より上流側1m位置を<br>歩行、下流部7名在室    |
| 測定点上流部に1名手脚<br>屈伸(木綿衣着用)<br>ファン運転中 | 1,250      | 測定点より上流側1m位置に<br>て手脚屈伸、下流部7名在室 |

測定計器 米国ロイコ社製

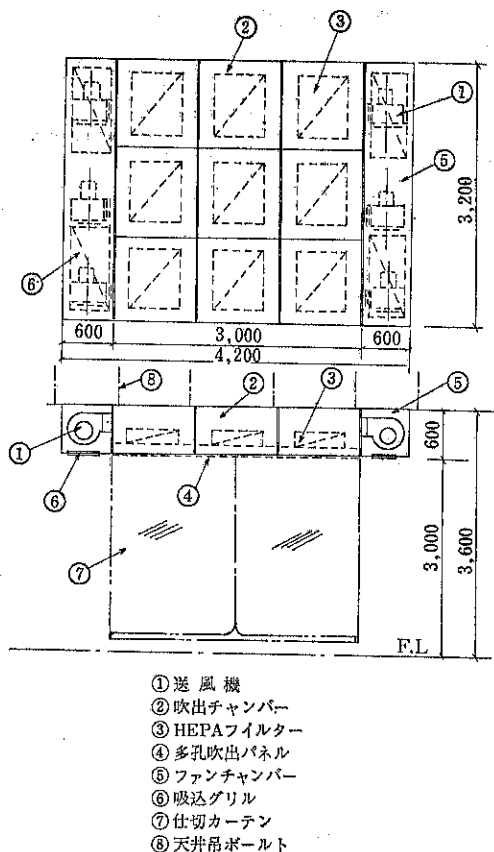


Fig. 3

対象としたクリーンブースの参考図、Table 5はその仕様である。

Fig. 4は、某食品工場に納入のクラス10,000を対象としたクリーンブースの参考図、Table 6はその仕様である。Table 7に作業時の測定結果を示す。

◎ 本ユニットの特徴

- (1) 吹出面は、全面を通じて均一な風速で清浄空気を供給し、理想の層流を形成している。
- (2) 独自の低騒音型送風機を開発採用しているため、極めて静粛運転を実現している。
- (3) 吹出面背面のエアチャンパーの奥行が小で、設置スペースが縮小される。
- (4) 生産設備の改造や変更等に伴って、本ユニットの

Table 5 クリーンブース仕様

| 項 目           | 仕 様                                                                          |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 清 浄 度         | クラス 100                                                                      |
| 型 式           | 垂直層流天井吊露出型                                                                   |
| 清浄域有効寸法       | 3,000W×3,200L×3,000H<br>容積 28.8m <sup>3</sup>                                |
| 風 量           | 180m <sup>3</sup> /min                                                       |
| 室内風速          | 0.3m/s                                                                       |
| 清浄域換気回数       | 375R/H                                                                       |
| 送 風 機         | 低騒音型 6台<br>30m <sup>3</sup> /min×60mmSP×0.75kW<br>モーター 全閉型 ファン直結型<br>3相 220V |
| HEPA<br>フィルター | 760×610×150 9ヶ DOP99.97%                                                     |
| 層流吹出パネル       | 穿孔35% SUS 304                                                                |
| 本体ケーシング       | SUS 304                                                                      |
| ファンユニット       | SUS 304 ラフフィルター内蔵<br>消音器付 吸込グリル SUS 304<br>ファン点検口兼用                          |
| 照 明 器 具       | 防湿密閉型 40W×8灯 電源200V                                                          |
| 操 作 盤         | 耐圧防爆型                                                                        |
| 仕切カーテン        | 防塵処理透明カーテン、レール付                                                              |
| 附 属 品         | 差圧計 1組                                                                       |
| そ の 他         | 5分割、現場組立型                                                                    |

移動、移設が容易である。

- (5) 設置場所のスペースなど、必要に応じた製作が可能で、天井内隠蔽型も天井露出型、更に床上設置型（移動式・固定式）、天井吊型等何れの型式での製作も可能となっている。また分割納入、現場組立型の要求にも応じている。
- (6) クリーンブースの清浄域と汚染域との仕切カーテンは、標準として防塵処理の透明カーテンを採用し、必要に応じてレール付も可能となっている。材質は、要求にそってスチール製エポキシ樹脂焼付仕上、全アルミアルマイト仕上、全ステンレス製バフ掛け仕上の製作に依っている。

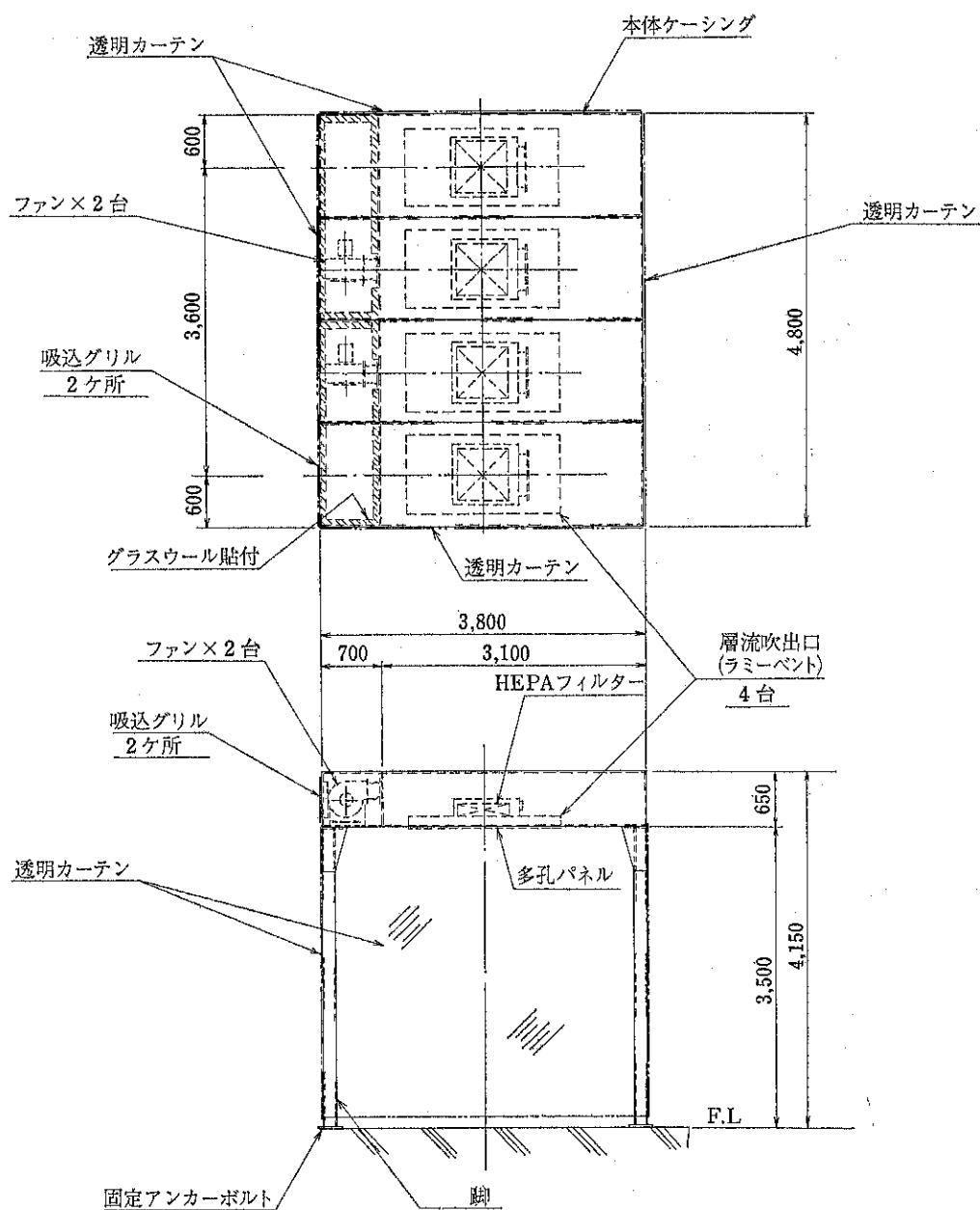


Fig. 4 クリーンブース外形図

Table 6 クリーンブース (クラス10,000)仕様

| 項 目                      | 仕 様                                                                                                                                              |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 清 浄 度                    | クラス 10,000                                                                                                                                       |
| 清 浄 域 寸 法                | 3,800×4,800×3,500H<br>容積 63.84m <sup>3</sup>                                                                                                     |
| 送 風 量                    | 66m <sup>3</sup> /min (3.960m <sup>3</sup> /h)                                                                                                   |
| 換 気 回 数                  | 62 R/H                                                                                                                                           |
| フ ァ ン                    | 低騒音型 2台<br>33m <sup>3</sup> /min×55mAq×0.75kW                                                                                                    |
| HEPAフィルタ<br>ー内蔵<br>層流吹出口 | ラミベント 4組<br>PATF3672型 (900×1,800)<br>全アルミアルマイト、エポキシ樹<br>脂塗装仕上、HEPAフィルター<br>(610×610×150) DOP 99.97%<br>以上、拡散機構、空気調節弁内蔵、<br>多孔吹出パネル (900×1,800) 付 |
| 本体ケーシング                  | ファン内蔵型、ケーシングスチ<br>ール製エポキシ樹脂塗装、外形寸法<br>3,800×4,800×600H 内ファンユ<br>ニット部消音装置付、吸込グリル<br>750W×450H、2組、スチール製<br>内外面共エポキシ樹脂塗装                            |
| 架 台                      | スチール製角型材、床面固定、エ<br>ポキシ樹脂塗装                                                                                                                       |
| 操作スイッチ                   | 防湿型                                                                                                                                              |
| 透明カーテン                   | 全面カーテンレール付                                                                                                                                       |
| 差 圧 計                    | 本体に1組取付                                                                                                                                          |
| 搬 入 組 立                  | 4分割、現場組立型                                                                                                                                        |

## 特許一言メモ

## 審査請求のこと

昭和46年以降、特許、実用新案の出願は別に審査請求  
の手続きをしないと審査してもらえない。そしてその出  
願の日から特許なら7年、実用新案なら4年以内という  
制限がある。もし、この期間内に審査請求をしないとど  
うなるか、というと当然ながら審査してもらえないので  
権利化できない。ただ、出願して1年半で公開公報が出  
されるので、これが公知資料となって以後の同じ内容の  
権利化を抑止する働きをする。

公開公報に審査請求「有」、「無」と記載されている  
が、これはその公開公報の印刷準備の前までに審査請求  
の手続きがなされなかっただけのことであり、さきにの  
べた期間内であればその出願人のほか、だれでもが料金  
を添え審査請求の手続きをすることができる。(M.N)

Table 7 クリーンブース内の落下細菌数と微粒子数  
落下細菌 5点測定法 9cm シャーレ  
左廻り、暴露時間5分  
微粒子数 0.5μ<個/1立方呎

| 測 定 条 件                            | シャーレ | 細菌  | 真菌 | 微粒子数    |
|------------------------------------|------|-----|----|---------|
| 送風機起動前                             | 1    | 2   | 1  | 777,000 |
|                                    | 2    | 0   | 3  |         |
|                                    | 3    | 4   | 0  |         |
|                                    | 4    | 5   | 1  |         |
|                                    | 5    | 1   | 0  |         |
| 送風機起動後<br>5分                       | 1    | 0   | 3  | 1,300   |
|                                    | 2    | 0   | 0  |         |
|                                    | 3    | 1   | 0  |         |
|                                    | 4    | 1   | 1  |         |
|                                    | 5    | 0   | 0  |         |
| 送風機起動後<br>10分<br>(作業員3名入室)         | 1    | 0   | 3  | 2,200   |
|                                    | 2    | 1   | 1  |         |
|                                    | 3    | 0   | 2  |         |
|                                    | 4    | 0   | 0  |         |
|                                    | 5    | 1   | 2  |         |
| 作業員3名入室後<br>5分<br>(送風機起動後)<br>15分  | 1    | 0   | 2  | 500     |
|                                    | 2    | 2   | 0  |         |
|                                    | 3    | 3   | 2  |         |
|                                    | 4    | 0   | 2  |         |
|                                    | 5    | 0   | 1  |         |
| 作業員3名入室後<br>10分<br>(送風機起動後)<br>25分 | 1    | 0   | 0  | 200     |
|                                    | 2    | 0   | 2  |         |
|                                    | 3    | 6   | 0  |         |
|                                    | 4    | 0   | 0  |         |
|                                    | 5    | 0   | 2  |         |
| クリーンブース外                           | 1    | 2   | 0  |         |
|                                    | 2    | 3   | 2  |         |
|                                    | 3    | 0   | 1  |         |
|                                    | 4    | 3   | 0  |         |
|                                    | 5    | 2   | 0  |         |
| クリーンブース<br>設置前                     | 1    | 106 |    |         |
|                                    | 2    | 78  |    |         |
|                                    | 3    | 102 |    |         |
|                                    | 4    | 50  |    |         |
|                                    | 5    | 86  |    |         |

注 培養条件

細菌 SCD寒天培地 30~32° 3日間  
真菌 PD 寒天培地 20~25° 7日間

# ホソカワ ニュース

## ○新東工業㈱とサンドターボのライセンス契約締結

昭和52年9月、当社と米のストロングスコット社との技術援助契約になる、混練機、サンドターボのサブライセンス契約を新東工業㈱と締結いたしました。この契約は国内での鋳物砂混練用に関する製造・販売権の再実施に関するものです。

## ○ホソカワ環境エンジニアリング㈱ クリーンルーム、 バイオクリーンルーム用層流ユニット開発

昭和52年10月、当社の関連会社であるホソカワ環境エンジニアリング㈱がクリーンルーム、バイオクリーンルーム用層流ユニット（ホソカワBCユニット）を開発し販売を開始いたしました。

この装置は、病院（手術室、特殊病室）や、精密機械工場等の層流無塵、無菌装置として取付けの簡単な層流空気分布ユニットです。低騒音型の特殊ファンの採用により、運転騒音が極めて低く、吹出面全面の均一な風速分布、それに加えてHEPAフィルターの取替等保守管理の容易性を始め、数多くの特長を有しています。

## ○マイクロバル社のセールスカンファレンス出席

昭和52年10月27日～29日の間、当社の集塵機、粉碎機の技術提携先であるマイクロバル社のセールスカンファレンスが米国で開催されました。

当社より、当社の関連会社であるホソカワ・ヨーロッパの佐藤取締役と、細川生産副本部長が出席いたしました。

## ○機構改革

昭和52年12月21日、現在の情勢に対応すべく会社の機構を改革いたしました。

従来の機種別事業本部制及び統括事業本部を廃し、主として客先業種別による二事業本部（第一事業本部、第二事業本部）に統合し、効率化を計る。

新二事業本部の統括は統括営業本部とし、これに本部室を設ける。

現枚方工場、大阪工場及び生産設計部門を統括する生産本部を設ける。

部品サービス部門の強化を計る。

## ○特約代理制度発足

昭和52年12月21日より、当社で特約代理制度を発足いたしました。この制度は当社及び関連会社の製品のセールスベテランで構成され、新分野の市場開拓を目的とし

ています。

## ○マレーシアより実習生来社

当社のマレーシア代理店 Keyoke Trading Co. の Chan 氏（21才）がホソカワ製品の技術研修のため、約1年間の予定で、昭和53年3月に来日しました。同氏は Keyoke Trading 社長の二男で来日以来、試験室を中心に熱心に実習を続けられています。帰国後は、ホソカワ製品の販売、技術サービスに従事されます。

## ○韓国、台湾に駐在員事務所を設置

ホソカワグループの海外マーケティングを担当する㈱ホソカワ・インターナショナルは、海外各地に駐在員事務所を設置する計画をもっていますが、昭和53年5月、先ず、韓国と台湾で実施しました。

韓国駐在員には柳井明課長、台湾駐在員には織田弘太郎課長が任命されました。両課長は優れた技術者であり、単にホソカワ製品の販売推進のみならず、化学機械装置全般に関する豊富な経験と知識を生かして両国産業の一層の発展に寄与することを目的としています。

韓国、台湾でご用の方は遠慮なくお知らせください。

## ○'78大韓民国国際環境汚染防止機器展出品

昭和53年5月4日～5月9日の間、ソウル郊外の機械類常設展示館で開催されました。当社は現地の代理店の大成産業㈱と共に当社の戸過式集塵機ホソカワ／マイクロパルスエアー 型式 PIFI 型を実演展示し、引合件数も多く、非常に盛況でした。

## ○細川粉体機器サービス部組織拡大

昭和53年5月21日、一部の人事組織の変更を行ない、当社の関連会社の細川粉体機器サービス部の組織を拡大いたしました。

事業内容としては

1. 細川鉄工所製品の納入後のメンテナンス、部品販売、修理、改造工事全般。
2. 空気輸送装置、廃棄物処理装置の設計製作。
3. 粉体処理装置用附属機器の設計製作。
4. 配管、据付等工事についての設計施工。

を行なっております。

## 大阪事業所

大阪市港区市岡2丁目14番5号

TEL 06-572-5375（代）

## 千葉事業所

千葉県柏市巾十倉二丁目406-6

TEL 0471-31-6612（代）

## ○須原一樹氏、ホソカワ・ヨーロッパへ出向

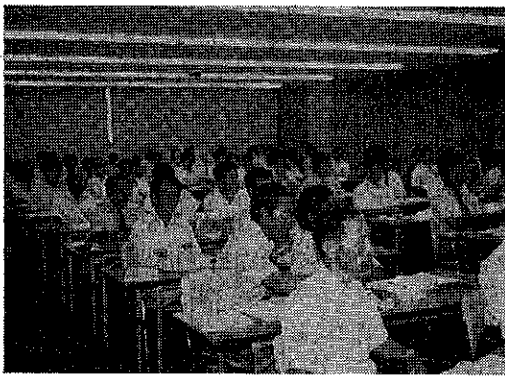
当社の欧州販売基地である、ホソカワ・ヨーロッパへは佐藤功取締役を含め、5名のホソカワマンが出向して活躍していますが、このうち、木原雄三氏が5年の任期

を了え、去る8月末帰国しました。後任に第二事業本部の須原一樹氏(28才)が選任され、5月に英国へ赴任し今や現地の生活にも馴れ、毎日張切って試験室勤務についています。

#### ○営業研修会議開催

昭和53年9月1日～9月3日の間、滋賀県の琵琶湖のホテルにおいて当社及び関連会社の営業課員の昭和53年度夏季営業研修会議を開催いたしました。

この会議は、営業課員のセールスパワーの高揚と相互のコミュニケーションを一層高めることを目的としたもので、各人より活発かつ建設的な意見が出て、最後に全員で大会宣言を締結し、非常に有意義でありました。



#### ○'78粉体工業展

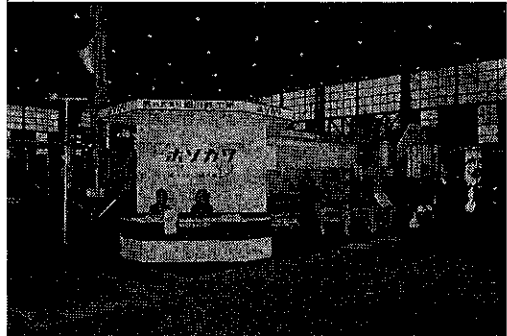
と き：昭和53年9月26日～9月30日

ところ：南海・東京国際貿易センター

小間数：10小間、計測機コーナー3小間

78粉体工業度は本年度で第2回目で、専門展示会としては世界最大の規模であります。

当社は新製品の連続凍結乾燥機を始めとし、多数の機械を出品展示しました。同時に、粉体材料及び計測関係特別展示コーナーに細川粉体工学研究所も独自の出品をし、各計測機の実演を行い、引合件数も多く、非常に盛況でした。



#### 出品機種

- ①超低温粉碎機 リンレックスミル 型式LX-0型
- ②連続凍結乾燥機
- ③混合機(真空型) ナウタミキサ 型式NX-3型  
(伝導加熱式乾燥機)
- ④微粉碎機 アトマイザ 型式MA-5型
- ⑤炉過式集塵機 パルスエアー 型式CP23-6型
- ⑥供給排出機 フロートロン 型式AV-I, II, III型
- ⑦輸送機 ディスクエレベータ 型式DI-10型(実演)
- ⑧粉粒体流量指示制御装置 フローメトロン(実演)
- ⑨層流空気分布ユニット ラミベント(実演)
- ⑩高性能空気清浄集塵機 ハイクリーンユニット
- ⑪小型集塵機 キャビネットコレクタ(実演)

#### 計測機コーナー

- ①比色式混合度測定機 カラコーダ(実演)
- ②篩分機 ウオシープ(実演)
- ③粉体特性測定機 パウダテスタ(実演)
- ④吊り下げ式附着力測定機
- ⑤ボール式附着力測定機

#### ○'78防災・保安機器展

と き：昭和53年11月15日～11月19日

ところ：大阪国際見本市港会場

小間数：1小間

出品機種：火粉検知装置ルミアラーム(実演)

### 特許一言メモ

#### 特許庁工業所有権相談所

特許庁に各種の問合せをするとき、その応待ぶりが親切であることに気づく。特許庁のなかには審査、審判、総務などの各部があるがそのなかに「工業所有権相談所」というのがあって、工業所有権に関するよろず相談に応じてくれる。たとえば出願手続上のこと、出願した

あとの各種手続上のこと、審査、審判の進行状況、権利紛争、法令の一般的解釈などの疑問とか、問題点について丁寧に教えてくれる。以下にご紹介すると、

名 称 特許庁工業所有権相談所

場 所 〒100 東京都千代田区霞が関3丁目4-3

電 話 東京(03)―581-1101(代)内線 238,239  
(M.N)



## “粉碎”誌編集委員会

### 編集委員会査読委員

|       |          |                  |
|-------|----------|------------------|
| 査読委員長 | 大阪府立大学教授 | 矢野 武夫氏           |
| 査読委員  | 京都大学名誉教授 | 中川 有三氏           |
| “ ”   | 中部工業大学教授 | 吉田 哲夫氏           |
| “ ”   | 京都大学教授   | 井伊谷鋼一氏           |
| “ ”   | 京都大学教授   | 吉岡 直哉氏<br>(御年令順) |

## “粉碎”誌投稿規定抜萃

### 1. 原稿の種類

#### 1.1 研究報告

粉体工学に関連する完結した研究で、他誌に未発表のもの。和文の著者摘録と英文要旨をつけて下さい。また図表の説明は英訳して下さい。なお、研究報告には査読があります。

#### 1.2 技術報告

粉体工学に関連する工業化試験、工業装置の運転あるいは設計法に関する研究成果をまとめた内容のもの。なお、技術報告にも査読があります。

#### 1.3 総説(解説および講義も含む)

粉体工学に関連あるいは寄与する分野の解説的記事、この場合特に著者の意見や見解を盛り込んだ入門的かわかり易く説明したもの。

#### 1.4 参考資料

粉体工学に関連する研究や調査などのメモ、記録、あるいは装置の設計、運転、測定等に必要なと思われる内容をもつもの。粉体工学に関連する問題に対する意見あるいは討論、本誌に発表された研究論文に関する補遺あるいは意見を記述したもの。

#### 1.5 文献紹介

粉体工学に関連する文献の紹介、紹介者の意見や批判を適当におりましたもの。

#### 1.6 随筆

#### 1.7 その他

### 2. 原稿の編集

1) 研究報告および技術報告につきましては査読委員の査読結果に従って訂正を求めることがありますので御協力下さい。

2) 原則として年1回発行します。

3) 抜刷を御希望の場合は編集事務局へ御連絡下さい。実費にてお願いいたします。

4) 掲載済の原稿は返却いたします。

5) 掲載しました原稿に対しては若干の稿料を送らせていただきます。ただし、研究報告および技術報告は原則として抜刷100部贈呈し、稿料は支払いません。

### ◎連絡先

〒573 枚方市招提田近1丁目9番地

株細川粉体工学研究所

“粉碎”編集事務局宛 (Tel 0720-57-3721)

## 原稿募集

“粉碎”誌の原稿を募集いたします。粉体工学に関係する研究報告、技術報告、総説、参考資料、文献紹介、随筆など特徴ある記事をふるって御投稿されるようお願いいたします。ご一報いただきましたら、原稿用紙をお送りいたします。

次号発行予定 昭和54年10月末日

原稿締切 昭和54年6月末日

## 編集後記

### 編集部

\*本誌の発行が予定より遅れ、投稿いただいた諸先生方および今か今かと待ってられるご熱心な読者諸兄には心よりお詫び申し上げます。

\*本誌の原稿の一部を狩野先生に査読していただきました。ここに誌面を借りお礼申し上げます。

\*外貨減らしに苦勞するお役人を横目に、依然として好転せぬ業績にタメ息をつき、“粉の魔性”にとりつかれ悪戦苦闘しているわれらこなやという名の化物物集団(本誌P94田中先生の言によると)の目前の霧はいつはれるのでしょうか?その日に向けてお互に頑張って行きたいものですネ。

“粉 碎” No.23 1978年 秋季号

昭和53年12月10日 印刷

昭和53年12月15日 発行

編集発行責任者 横山 藤 平

(非売品)発行所 細川粉体工学研究所

大阪府枚方市招提田近1丁目9

印刷所 ナニワ印刷株式会社

大阪市北区天満1丁目9-19

# ホソカワの 各種粉体処理機器とエンジニアリング



## 取扱い製品

- 破砕機  
ホソカワ/ネルピック グラビコーン
- 粗・中砕機  
ホソカワ/ネルピック ロロパール  
ホソカワ/ミクロン ハンマミル  
ホソカワ/ミクロン フェザミル
- 微粉砕機  
ホソカワ/ミクロン ビクトリミル  
ホソカワ/ミクロン ファインビクトリミル  
ホソカワ/マイクロ パルペライザ  
ホソカワ/マイクロ バンタムミル  
ホソカワ/マイクロ ACMパルペライザ  
ホソカワ/マイクロ アトマイザ
- 超微粉砕機  
ホソカワ/ミクロン スーパーミクロンミル  
ホソカワ/ミクロン ファインミクロンミル
- 超低温粉碎装置  
ダイガス/ホソカワ リンレックスミル
- 乳化工機  
ホソカワ/ミクロン ディスパミル
- 分級機  
ホソカワ/ミクロン ミクロンセパレータ  
ホソカワ/ミクロン ミクロンセパレータN型
- 篩分機  
ホソカワ/ミクロン バイプシフタB型  
ホソカワ/ミクロン ミクロンウォーシブ
- 架橋防止機  
ホソカワ/バイブラ ビンアクチベータ  
ホソカワ/ミクロン ブリッジブレーカ
- 供給機  
ホソカワ/ミクロン ミクロンフィーダ  
ホソカワ/バイブラ ライプビンスクリュフィーダ  
ホソカワ/バイブラ ヘビデューティフィーダ
- 供給排出機  
ホソカワ/ミクロン フロートロン  
ホソカワ/マイクロ ロータリバルブ
- 粉体輸送機  
ホソカワ/インケンベルグ ディスクエレベータ
- 空気輸送装置  
ホソカワ/ミクロン エアコンベア
- 粉体特性測定機  
ホソカワ/ミクロン パウダステタ
- 粉粒体流量指示制御装置  
ホソカワ/ミクロン フローメトロン
- 連続粉体混合装置  
ホソカワ/ミクロン ランミックスシステム
- 混合機  
ホソカワ/ナウタ ナウタミキサ  
ホソカワ/ストロング リボンブレンダ  
ホソカワ/ストロング タービュライザ  
ホソカワ/ストロング サンドターボ  
ホソカワ/タケダ 流動層型混合機
- 造粒機  
ホソカワ/ミクロン グラニュライザ
- 乾燥機  
ホソカワ/ミクロン ミクロンドライヤ  
ホソカワ/ミクロン フラッシュドライヤ  
ホソカワ/ミクロン エスカレートドライヤ  
ホソカワ/ミクロン 分級機付流動層型乾燥機  
ホソカワ/ストロング ソリッドエア  
ホソカワ/ストロング コンティニューエータ  
ホソカワ/ストロング トーラスディスク
- 比色式混合度測定機  
ホソカワ/ミクロン カラコーダ
- 溶剤回収・脱臭装置  
ホソカワ/タケダ 活性炭による吸着装置
- 湿式電気集塵機  
ホソカワ/マイクロ エレクトロフィル
- 湿式集塵機  
ホソカワ/ミクロン ベンチュリスクラバ  
ホソカワ/ミクロン サイクロニックスクラバ  
ホソカワ/ミクロン バックドラフト  
ホソカワ/ミクロン VWD スクラバ  
ホソカワ/ミクロン インジメンツスクラバ
- タンク防爆用装置  
ホソカワ/マリタイム タンク防爆用装置
- 戸過式集塵機  
ホソカワ/マイクロ パルスエアー
- 小型集塵機  
ホソカワ/トリット キャビネットコレクタ  
ホソカワ/トリット サイクロニックコレクタ  
ホソカワ/トリット ミストコレクタ  
ホソカワ/トリット スイニングアーク
- 火粉検知装置  
ホソカワ/ミクロン ルミ・アラーム
- 各種エンジニアリング  
各種粉体処理システム  
廃棄物処理システム  
大気汚染防止システム  
超低温粉碎システム  
環境浄化システム

ひとつひとつに技術と経験が生かされています。

様々な特性をもつ粉体は、その姿を変えながら私たちの生活と深い関わり合いを持っています。

ホソカワは、各種粉砕機、分級機、混合機、乾燥機、集塵装置、輸送装置など、粉体処理に関する単位装置から各種エンジニアリングまで、あらゆる産業の発展に幅広く貢献し、今後もこの粉体の分野を中心として技術開発に力を注ぎ、あらゆる需要にお応えしていきます。

# ホソカワ

## 株式会社 細川鉄工所

〒573 大阪府枚方市招提田近1丁目9番地  
〒105 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号(第19森ビル)  
電話/大阪(0720)55-2221・東京(03)503-2231