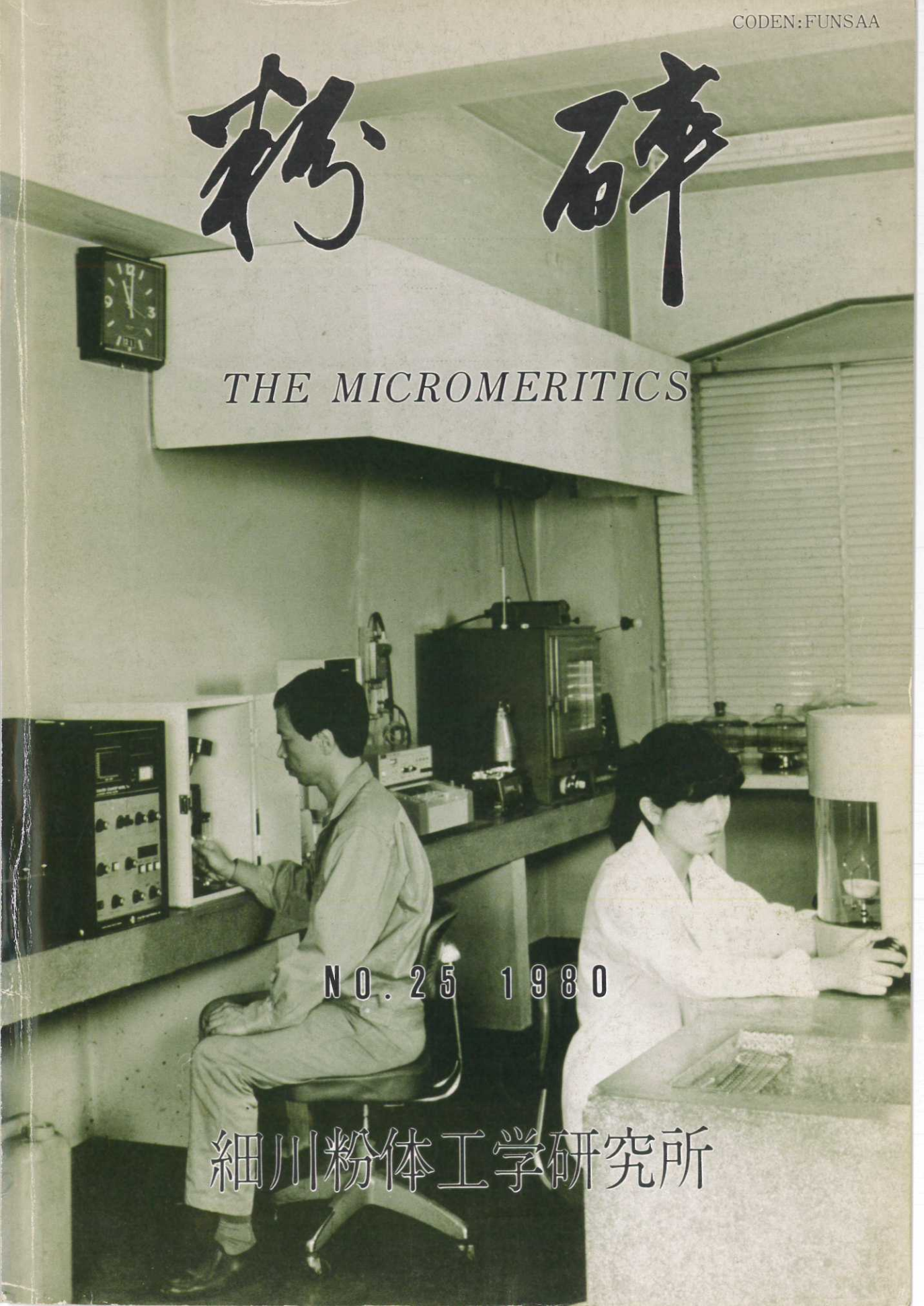


粉 碎

THE MICROMERITICS

NO. 25 1980

細川粉体工学研究所



【巻 頭 言】	本誌25号に寄せて……………	中川 有三………… (2)
【研究報告】	セメントクリンカ粉碎用閉回路チューブ ミル系の空気冷却に関する検討…………小野田セメント ㈱	小沼 栄………… (4) 橋 晴哉
【研究報告】	一面剪断試験による内部摩擦係数と 剪断付着力……………大 阪 府 立 大 学	寺下敬次郎………… (14) 宮南 啓 岡嶋 雅資
【研究報告】	圧縮粉体成形物の剪断試験法の提案 一剪断力に及ぼす圧縮時の2, 3の 因子及び滑沢剤の添加濃度の影響…………神戸女子薬科大学	松田 芳久………… (21) 中川 桂子 谷 咲子
【研究報告】	連続式流動層による石膏粒子の か焼に関する実験的研究…………産業医科大学	田中 勇武………… (28) 東洋エンジニアリング ㈱ 内田 正義 福 岡 大 学 篠原 久
【解 説】	微細粉炭の気体管路輸送……………石炭技術研究所	岩淵 可浩………… (34)
【参考資料】	分級性能の検討と粉体層の引張り試験 一その応用の試み……………㈱細川粉体工学研究所	藤井 謙治………… (48) 横山 藤平
【紹 介】	幅広い粉体測定ニーズにこたえる測定室……………㈱細川粉体工学研究所………… (53)	
【解 説】	環境アセスメントの実例 一火力発電所の建設に関するアセスメント……………富 山 大 学	若林嘉一郎………… (56)
【総 説】	粉体粒子の幾何学形状のフーリエ解析……………北 海 道 大 学	後藤 圭司………… (65)
【総 説】	マイクロコンピュータと粉体の粒度測定……………山 形 大 学	高坂 彬夫………… (74)
【随 筆】	お粗末な和製英語……………北 海 道 大 学	篠原 邦夫………… (88)
【総 説】	噴霧造粒法によるマイクロカプセル化法 一噴霧乾燥法をめぐる最近の話題……………岐阜薬科大学	川島 嘉明………… (89) 林 山陽 竹中 英雄
【随 筆】	欧州粉体工学シンポジウム1980に参加して…………ホソカワヨーロッパ	横山 豊和………… (98)
【新製品紹介】	連続カサ密度測定機 ホソカワ/ミクロン ミクロンチェッカ (BC-100)……………㈱細川粉体工学研究所………… (102)	
【新製品紹介】	ホソカワ/フィッツ フィッツミル……………ホソカワミクロン ㈱………… (104)	
【製品紹介】	拡がりゆくホソカワ/ミクロン NXミキサの用途……………ホソカワミクロン ㈱………… (107)	
	ホソカワニュース……………	(111)

豆 ニ ュ ー ス

粉体工学に関する講演討論会開催さる (3)

特 許 一 言 メ モ

新たに発行される公表公報.....(No. 16) (27)

新たに発行される再公表公報.....(No. 17) (33)

発 明 の 数.....(No. 18) (47)

実 施 態 様 項.....(No. 19) (55)

一つの特許に付される沢山の番号(No. 20) (73)

特 許 料 金.....(No. 21) (97)

審 査 請 求.....(No. 22) (110)

Original Reports :

• On the Air-cooling of Closed-Circuit Tube-mill System for
Cement-clinker Grinding..... E. Onuma and S. Tachibana..... (4)

• Internal Friction Factors and Cohesion Force of Fine
Powders by Constant Volume Shear Tester..... K. Terashita, K. Miyanami..... (14)
and M. Okajima

• A Proposed Testing Method for Shear Strength of Powder
Compacts: Effect of some Factors Relating to Compression
and of Concentration of Lubricant on Shear Strength Y. Matsuda, K. Nakagawa..... (21)
and S. Tani

• Experimental Study for the Dehydration of Gypsum
Particles in Continous Fluidized Bed I. Tanaka, M. Uchida..... (28)
and H. Shinohara

【表 紙】 佛細川粉体工学研究所 測定室 (詳細は53頁参照)

本誌25号に寄せて

中川 有三*
Yuzō Nakagawa

本誌「粉砕」は年刊であるが、その間、年二回刊行された事もあるので、本年をもって25号を数えるに至った。

その間、細川粉体工学研究所の開設をみ、細川鉄工所の新工場の竣工を迎えて、粉砕誌に、それらによる新研究成果の発表や、工場の発展に伴う新製品の紹介などを掲載する事が出来たので、その内容が著しく豊富に、また充実してきた。これも発行部数の増加と、読者層の漸増に伴い、本誌に関心を寄せられる研究家が年を追って多くなってきた結果に他ならない。粉砕に関係の深い専門家や技術者その他の研究者の貴重な研究成果の発表や、真摯な寄書等を寄せられた同好の志に対して、本誌の企画及び編集に携わっている部員と共に、感謝と敬意を表したい。従って、25号の巻頭言はまず、その喜びを陳べることをもって始まる。

本誌に掲載される報文については、本誌17号より、これを審査することに更め、新しく査読委員会を設置し、これに査読を託した。これによって、学会誌と同様、学者、専門家の間で重要な貴重な参考資料となりうるものを提供できたと確信している。最近、数度に涉って、特集号を発刊したが、何れも、粉体の操作とか、粉体の物性に関するものが多く、本誌は既に、粉砕を越えて、粉体誌と言うべき広汎な領域の研究誌として発展してきた。

これまでに載せられた巻頭言は、粉体と粉砕との関係、粉体の観察、粉体研究の指針などであって、何れも高見を示されたもので、専門家には勿論、一般の読者にも、非常に有益な助言となっていると確信している。筆者も粉砕と細粉化についての私見を述べたことがあるが、本号に巻頭言の執筆を託されたので、一言、25号を迎えた祝詞を述べると共に、粉体技術が工学及び工業界の凡有る部門に深い関連の在ることを重ねて強調したいのである。

現在、最も一般的に関心を持たれている問題は、環境

と公害の問題である。粉体がこれに直接関連している事は衆知の事であって、これの除去は粉体の性質及びこれの操作技術に深い知見が必要である。次に省エネの問題に至っては、石油、石炭その他の液体及び固体燃料の獲得とその処理の問題が、工業生産及び国民の生活に深刻な影響を及ぼすので、現在最緊急の問題となっている。生産の高度化、それに伴う都市への集中と膨脹、交通車輛の輻輳、等々、何れも機械化と高速化がもたらす公害は予期しない災害を惹起する危険を含んでいる。これにも粉体の関連している部分が非常に多い様である。最一つの問題は原子力利用の問題であって、将来どうしてもこれに頼らねばならぬと考えられる原子力発電の企画にも、我々地球人の未来の生活に深刻な影響を及ぼす可能性の多い危険が予想され、その企画の推進の是非には深甚な検討が期待される。これは粉体より更に、微小な粒子でしかも放射線を含むものによる問題で、素粒子間に作用する力学で考究される、従って筆者がのべる粉体とは別問題であるが、その考察には何らかの参考になる点があると思う。ここで、筆者は稚拙な考察ではあるが、次の様に考えてみよう。粉体と素粒子とは別物である。しかし素粒子は粉体の中にも在る。しかもそれ自身の一部分に過ぎない。粉体はまた巨塊の粉砕された微小部分に過ぎないが、別物ともいえる。確か、本誌の何号かに随筆を寄せられた執筆者が、粉体は魔物であると銘言されたことがある。魔物は人間以外の未知の動物であれば、却って問題は無い。普通は人間によく似ているのが特徴でないだろうか。粉体は外見上、巨大な塊状固体と同様であると考えられる点では一致しているが、また物質としては同じものであるとしても、粉体の表面の性状、その環境の様相には、巨塊周辺のそれとは多少差異の在るものと考えねばならぬ。従って、新しい考察の要素を追加する必要がある。比較的微小であるという性質に依る当然の考え方で、巨大物資では無視されても矛盾を生じない様な考察の要素でなければならぬ。その発見は仲々至難な業と考えられるが、特殊な物を取扱うた

* 京都大学名誉教授、粉体技術談話会々長

めには、それに相当した特別の方策が無ければならぬ。上述の考察は単に一例に過ぎない、他に種々の考察法があると思う。

次に、材料の多くは自然に存在して、その性質は多種多様である。しかもその存在様式には共通したものがある。人工の材料もそれらに似かよったものと推察できる。簡単な語で表現するなら、それは「多様である」と言う事に尽きる。如何様にしても均等でないと言う事で

ある。殆んど均等な粉体の集会においても、各粒子の周辺には微小な粒子が存在して、作用を及ぼしていると考えられる。例えば、摩擦と言う語にも外部摩擦と内部摩擦とが考えられ、これを同様と取扱うことはできぬ、同様に取扱うには新しい考察法を追加する必要がある。

自然は均等でない、均等であれば自然界は存在しえない、均等を保つには安定を保つだけの外力を加えて居らねばならぬ（唯局所的な狭い領域の安定に過ぎないが）。

豆ニュース

粉体工学に関する講演討論会開催さる

第14回粉体工学に関する講演討論会が、昭和55年8月6日細川鉄工所（現在ホソカワミクロン㈱に社名変更）枚方事業所で開催された。本会は、粉体技術談話会（会長、中川有三京都大学名誉教授）が主催し、主に粉体機器のユーザーを対象に最近の研究成果や開発成果を紹介するもので年1回催されている。第14回の講演は、——続・粉体の力学的特性の測定とその応用——と題して次のようなテーマで行なわれた。

「粉体の力学的特性の測定と応用の最近の進歩」

東京大学工学部教授 青木隆一氏

「粉体の表面—付着力—充てん挙動」

名城大学薬学部教授 大塚昭信氏

「付着力および内部摩擦係数による

微粉の流動性の評価」

大阪府立大学工学部教授 宮南 啓氏

「粉体崩壊曲線（PYL）および

圧密崩壊曲線（CYL）の意義と推定法について」

京都大学工学部助教授 牧野和孝氏

「化学工学的プロセスのための

粉体の力学的物性測定法」

名古屋大学工学部教授 神保元二氏

「ロヒテスタによる付着力の測定と

その分級機への応用」

細川粉体工学研究所々長 横山藤平氏

「空気中に浮遊する粒子の

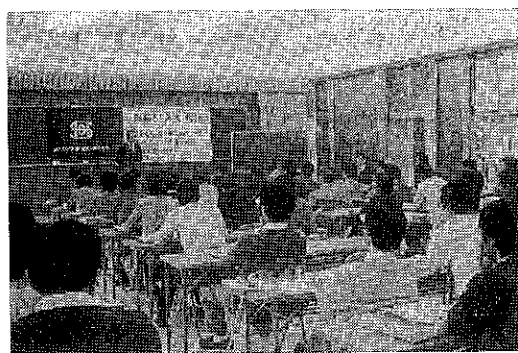
フィルターへの付着と再飛散」

金沢大学工学部教授 江見 準氏

「総括討論」

司会 京都大学工学部教授 吉岡直哉氏

全国から約70名の参加があり、本会では2年にわたってテーマとしてとりあげられている力学的特性の測定と応用に関して熱心に討議された。次回のテーマは7月初旬発表される予定である。



第14回粉体工学に関する講演討論会

セメントクリンカ粉碎用閉回路チューブミルの 空気冷却に関する検討

On the Air-cooling of Closed-circuit Tube-mill System for Cement-clinker Grinding

小沼 栄一*, 橘 晴哉*
Eiichi Onuma Seiya Tachibana

Abstract

To reduce the mill-outlet temperature of cement, a considerable amount of fresh air is often introduced into the mill and the air-classifier in the closed-circuit tube-mill system for cement-clinker grinding. In this paper, a new heat-transmission model for this system is proposed, and the effect of fresh air introduction on the mill-outlet temperature of cement is estimated.

The rise in mill-outlet temperature of cement with the increase of mill dimension is illustrated, and the reason for it is explained.

The pre-cooling of cement-clinker before feeding into the grinding system is especially important for large-scale mills. Otherwise, the amount of air needed for cooling of cement would increase enormously.

In the conventional flow-schema, the amount of air introduced into mill is restricted by the fineness of cement carried out with and separated from the air. In relation to this, the development of air-classifier for highly dust-laden air is strongly needed.

1. ま え が き

セメントの粉碎においては、1000～5000kWのモータによって駆動される大型閉回路チューブミルが、通常採用されている。一般に、チューブミルにおいては、入力のうち、粉碎エネルギーとして有効に寄与する部分はごくわずかであり、大部分は、熱エネルギーとして放出される。この放出熱は、一部分はミルなどの表面から外界に放散されるが、その大部分は、被粉碎物に吸収され、被粉碎物の温度上昇を招来する。セメント粉碎の場合、セメントクリンカと同時に添加する少量のセッコウの部分脱水などの品質上の理由により、粉碎過程のどの時点においても一定温度（例えば 130℃）を超過するのは望ましくないとされているが¹⁾、現実には、粉碎設備の大

型化にともない、ミル入力あたりのミル胴体表面積が減少する結果、放出熱のうち系内蓄積部分の占める割合はますます増加する傾向となっている¹⁰⁾。この問題を克服するため、各種の方法により、被粉碎物の冷却が試みられている。本報では、このうち、空気冷却による方法を取りあげ、その効果について、若干の試算を試みた。

2. 伝熱モデルの検討

2.1 既往の研究

セメントクリンカ粉碎用閉回路チューブミル系において、ミル内被粉碎物温度を下げるための主な手段としては、

- a) 供給被粉碎物温度の低下
- b) ミル内への少量の水スプレー
- c) ミル内への比較的大量の通気の実施
- d) エアセパレータへの外部からの大量通気

* 小野田セメント(株)中央研究所
(〒135 東京都江東区豊州1丁目7)
Tel. (03) 531-4111(代)

e) ミル胴体への外部散水

f) ミル—エアセパレータ—製品のフロー内への強制熱交換型粉体クーラの設置

g) エアセパレータ外表面からの水冷

などが考えられる。本報においては、このうちおもに a), c), d) について、大型チューブミル系におけるこれら諸条件が、閉回路チューブミル系内における被粉砕物温度にどのような影響を与えるかを定量的に把握するため、伝熱モデルを作成し、検討することにした。このようなモデル計算は、現在までに、いくつか試みられているが^{1-3,5)}、実務家の立場からみて到底容認し難い仮定を含むものが多く、その結果として導かれる結論は、直ちに信頼し兼ねる場合が多いように思われる。

既往の諸研究における、問題となりそうなおもな仮定は、下記の通りである。

(1) ミルへの入力のうち熱として放出される部分の割合

この比率については、経験的な値を仮定している場合が多いが、その値については、各研究者によりまちまちであり、0.80²⁾ から 0.90³⁾ まで分布している。しかし、この比率値のとり方が温度計算結果におよぼす影響は大きい。

(2) ミル表面から外気への熱放散

これについては、Hanke²⁾、Bernutat¹⁾ は、ともに式の導出に誤りと思われる部分がある。飯塚³⁾ は、ミル表面温度について大きな仮定を用いており、Morgan⁵⁾ は、この項についてまったく考慮していない。

(3) ミル排気への伝熱

ミル出口被粉砕物温度とミル排気温度を等しいと仮定している場合が多い^{1,2)}。しかし、実測結果によれば、これは近似的にも成立しない (Table 2 参照)。

(4) エアセパレータにおける駆動動力からの変換熱

飯塚³⁾ を除き、通常考慮されていない。しかし、たとえば無負荷でエアセパレータを駆動した場合、エアセパレータ内の空気温度が顕著に上昇することから考えても、この項を無視しえないことは明らかである。飯塚³⁾ の場合、熱への変換率=0.90と仮定されている。

(5) エアセパレータ表面から外気への熱放散

この項についてまったく考慮していない場合⁶⁾、考慮はしているものの式の導出に誤りが認められる場合¹⁾ などがある。飯塚³⁾ は、エアセパレータ表面温度は製品温度と等しいと仮定している。

(6) エアセパレータ排気への伝熱

製品温度とエアセパレータ排気温度とのあいだに一定の関係を保定した場合^{3,5)} が多い。

(7) その他

Hanke²⁾ は、ミル出口被粉砕物温度と、エアセパレータからの回収粗粉温度のあいだに、経験的な関係を仮定している。

Reuss⁶⁾ は、閉回路チューブミル系をも扱いながら、エアセパレータにおける熱交換および熱放散については、まったく考慮していない。

鈴木²⁾ は、比較的小型のチューブミルについて、実測値にもとづき、詳細に熱収支計算を行なっている。しかし残念ながら、閉回路系に対するものではない。

2.2 伝熱モデルの設定

上述のように、既往の諸研究には、必ずしも明確な根拠のない仮定が多数含まれており、しかもその結果への影響度はきわめて大きい。そこで、本報においては、各部温度を規定してしまうような根拠のうすい仮定はできるだけ避け、計算された温度の値が、実測値にできる限り近いものとなるよう、不明瞭な発熱・入出熱各項について未定係数を設け、この値を実測データにもとづき逆算して決定することとした。その際、伝熱モデル作成上必要最小限度の仮定を設けるにとどめた。全系のフローシートおよび記号は、Fig. 1 に示したとおりである。

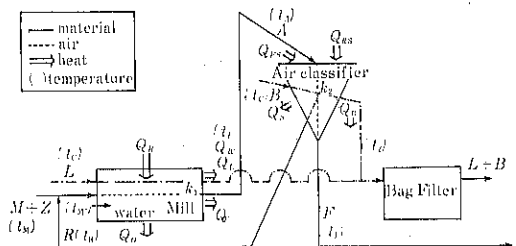


Fig. 1 Flow schema in the closed-circuit tube-mill system

(1) ミルまわりの熱収支

(a) ミル表面からの放散熱 Q_0

ミル胴体外表面温度を t_0 、外気温度を t_c とすれば、

$$Q_0 = \alpha_0 O_R (t_0 - t_c) \quad \text{.....(1)}$$

一方、ミル胴体を貫流する熱 Q_0' は、ミル胴体内表面温度を t_A として、

$$Q_0' = (\lambda/a) O_R (t_A - t_0) \quad \text{.....(2)}$$

ミル内表面近傍では、きわめて熱伝達が良好と考えられるから、 t_A は、被粉砕物のミル入口温度 t_M' とミル出口温度 t_A の平均値 $\bar{t}_A$ に等しいとおけば、

$$\bar{t}_A = (t_A + t_M')/2 \quad \text{.....(3)}$$

クリンカとセッコウの比熱は、近似的に等しいとしてよいから、

$$t'_M = (Mt_M + zt_z + Rt_R) / (M + z + R) \quad \dots\dots\dots(4)$$

そこで、 $Q_0 = Q'_0$ とし、(1)~(4)の各式より、

$$Q_0 = \alpha_0 O_R \left\{ \frac{\lambda/a}{2(\lambda/a + \alpha_0)} t_A + \frac{\alpha_0 t_c}{\lambda/a + \alpha_0} - t_c \right. \\ \left. + \frac{(\lambda/a)(Mt_M + zt_z + Rt_R)}{2(M + z + R)(\lambda/a + \alpha_0)} \right\} \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。ここで、 O_R は、ミル表面からの放熱の際の見掛有効面積を表わす未定係数である。

(b) ミル排気による持出熱 Q_L

ミル内における被粉砕物から空気への交換熱量 Q_{mill} は、

$$Q_{mill} = k_1 (\bar{t}_A - \bar{t}_L) \quad \dots\dots\dots(6)$$

ただし、ミル排気温度を t_L とし、

$$\bar{t}_L = (t_L + t_c) / 2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

と仮定する。すなわち、交換熱量は、被粉砕物および空気の、それぞれのミル出入口の平均温度の差に比例し、その際の熱伝達率を未定係数として k_1 とおくことにする。

このとき、 t_L は、次のように求められる。

$$t_L = t_c + Q_{mill} / C_L L \\ = t_c + k_1 (t'_M + t_A - t_L - t_c) / 2 C_L L \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 L は、ミルへの単位時間あたり通気量である。これを簡単にして、

$$t_L = \{t_c(2C_L L - k_1) + k_1(t'_M + t_A)\} / (2C_L L + k_1) \quad \dots\dots\dots(9)$$

したがって、ミル排気による持出熱 Q_L は、

$$Q_L = LC_L(t_L - t_c) = k_1 LC_L \{Mt_M + zt_z + Rt_R\} / (M + z + R) + t_A - 2t_c / (2C_L L + k_1) \quad \dots\dots\dots(10)$$

となる。

(c) ミルからの水蒸気持出熱 Q_w

ミルへの内部散水、セッコウへの付着水分について、100°C で蒸発し、ミル排気温度まで加熱されるものとする。ミルからの水蒸気持出熱 Q_w は、

$$Q_w = (w + zr/100) \{C_w(t_L - 100) + 539 + (100 - t_c)\} \quad \dots\dots\dots(11)$$

(d) ミルからの被粉砕物持出熱 Q_F

$$Q_F = C_M A(t_A - t'_M) = C_M A \{t_A - (Mt_M + zt_z + Rt_R) / (M + z + R)\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

(e) ミル内における発熱量 Q_R

ミルモータ入力を N とし、未定係数 ρ を用いてミル内発熱量 Q_R を計算する。

$$Q_R = 860 \rho N \quad \dots\dots\dots(13)$$

(f) 総合

以上を、ミルまわりの熱収支式

$$Q_R = Q_F + Q_L + Q_w + Q_0 \quad \dots\dots\dots(14)$$

へ代入し、さらに $t_R = t_F$ (15) と仮定して、(10)式をえる。

$$860 \rho N = C_M A \{t_A - (Mt_M + zt_z + Rt_F)\} / (M + z + R) + k_1 LC_L \{ (Mt_M + zt_z + Rt_F) / (M + z + R) + t_A - 2t_c \} / (2C_L L + k_1) \\ + (w + zr/100) \{C_w(t_c - 100) + 539 + (100 - t_c)\} + \alpha_0 O_R [t_A(\lambda/a) / (2(\lambda/a + \alpha_0)) + (\lambda/a)(Mt_M + zt_z + Rt_F) / (2(M + z + R)(\lambda/a + \alpha_0)) + \alpha_0 t_c(\lambda/a + \alpha_0) - t_c] \quad \dots\dots\dots(16)$$

(2) エアセパレータまわりの熱収支

(a) エアセパレータ表面からの放散熱 Q_S

エアセパレータ内部は、激しい強制対流の場にあると考えられるから、内部表面温度はエアセパレータ排気温度 t_i に等しいと仮定できる。そこで、(1)(a)と同様にし、エアセパレータ表面からの放散熱 Q_S は、

$$Q_S = \alpha_S O_S \{ (t_i \lambda_S / a_S + \alpha_S t_c) / (\lambda_S / a_S + \alpha_S) - t_c \} \quad \dots\dots\dots(17)$$

ここで、 O_S は、エアセパレータ表面からの放熱の際の見掛有効面積を表わす未定係数である。

(b) エアセパレータ排気による持出熱 Q_B

エアセパレータ内における被粉砕物から空気への交換熱量 Q_{sep} は、

$$Q_{sep} = k_2 (\bar{t}_F - \bar{t}_L) \quad \dots\dots\dots(18)$$

ただし、 $\bar{t}_F$ と $\bar{t}_L$ は、それぞれ、被粉砕物および空気の、エアセパレータの出入口平均温度であり、(19)、(20)式により近似的に求められる。

$$\bar{t}_F = (t_A + t_F) / 2 \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\bar{t}_L = (t_i + t_c) / 2 \quad \dots\dots\dots(20)$$

また、 k_2 は、エアセパレータ内における熱伝達率を表わす未定係数とする。

このとき、 t_R および t_F は、次のように求められる。

$$t_R = t_F \\ = t_A - Q_{sep} / C_M A \\ = t_A - k_2 (t_A + t_F - t_i - t_c) / 2 C_M A \quad \dots\dots\dots(21)$$

これを簡単にして、

$$t_F = \{t_A(1 - k_2) + k_2(t_i + t_c)\} / (2C_M A + k_2) \quad \dots\dots\dots(22)$$

また、 t_i は、次のように求められる。

$$t_i = t_c + Q_{sep} / C_L B \\ = t_c + k_2 (t_A + t_F - t_i - t_c) / 2 C_L B \quad \dots\dots\dots(23)$$

ここで、 B は、エアセパレータへの単位時間あたり補給通気量である。これを簡単にして、

$$t_i = \{t_c(2C_L B - k_2) + k_2(t_A + t_F)\} / (2C_L B + k_2) \quad \dots\dots\dots(24)$$

したがって、エアセパレータ排気からの持出熱 Q_B は、

$$Q_B = C_L B(t_i - t_c) \\ = k_2 BC_L (t_A + t_F - 2t_c) / (2C_L B + k_2) \quad \dots\dots\dots(25)$$

となる。

(c) エアセパレータからの被粉砕物持出熱 Q_{FS}

$$Q_{FS} = C_M A (t_A - t_F) \quad \dots\dots\dots (26)$$

(d) エアセパレータ内における発熱量 Q_{RS}

エアセパレータのモータ（外部循環式の場合，ファンモータを含む）入力を N_S とし，これが全量熱に変ったとしてエアセパータ内発熱量 Q_{RS} を計算する．この場合， Q_{RS} は Q_R に比し充分に小さいので，未定係数を付して計算を複雑にすることはしない．

(e) 総合

以上を，エアセパレータまわりの熱収支式

$$Q_{RS} = Q_B + Q_S - Q_{FS} \quad \dots\dots\dots (27)$$

へ代入し，(28)式をえる．

$$\begin{aligned} 860N_S = & k_2 B C_L (t_A + t_F - 2t_c) / (2C_L B + k_2) \\ & + \alpha_S O_S \{ (t_i \lambda_S / \alpha_S + \alpha_S t_c) / (\lambda_S / \alpha_S + \alpha_S) \\ & - t_c \} - C_M A (t_A - t_F) \quad \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

(3) 総合整理

以上で求められた4つの方程式(9)，(10)，(22)，(28)により，4つの未知数 t_A ， t_L ， t_i ， t_F が他のパラメータの関数として決定されることになる．その結果を(29)～(32)の各表に示す．なお，式中の係数の内容は，Table 1 に示さ

れるとおりである．

$$\begin{aligned} t_A = & \{ (b_5 a_3 - a_5 b_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) - (d_5 c_4 - c_5 d_4) \\ & (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} / \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) \\ & - (c_1 d_4 - d_1 c_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} \quad \dots\dots\dots (29) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_F = & \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (d_5 c_4 - c_5 d_4) - (c_1 d_4 - d_1 c_4) \\ & (b_5 a_3 - a_5 b_3) \} / \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) \\ & - (c_1 d_4 - d_1 c_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} \quad \dots\dots\dots (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_L = & -(1/b^*) [b_5 + b_1 \{ (b_5 a_3 - a_5 b_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) \\ & - (d_5 c_4 - c_5 d_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} / \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) \\ & (c_2 d_4 - d_2 c_4) - (c_1 d_4 - d_1 c_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} \\ & + b_2 \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (d_5 c_4 - c_5 d_4) - (c_1 d_4 - d_1 c_4) \\ & (b_5 a_3 - a_5 b_3) \} / \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) \\ & - (c_1 d_4 - d_1 c_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \}] \quad \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_i = & -(1/c_4) [c_5 + c_1 \{ (b_5 a_3 - a_5 b_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) \\ & - (d_5 c_4 - c_5 d_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} / \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) \\ & (c_2 d_4 - d_2 c_4) - (c_1 d_4 - d_1 c_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \} \\ & + c_2 \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (d_5 c_4 - c_5 d_4) - (c_1 d_4 - d_1 c_4) \\ & (b_5 a_3 - a_5 b_3) \} / \{ (a_1 b_3 - b_1 a_3) (c_2 d_4 - d_2 c_4) \\ & - (c_1 d_4 - d_1 c_4) (a_2 b_3 - b_2 a_3) \}] \quad \dots\dots\dots (32) \end{aligned}$$

Table 1 Definition of coefficients in (29)～(32)

coefficients	definition
a_1	$C_M A + \frac{\alpha_0 O_R \lambda / a}{2(\lambda / a + \alpha_0)}$
a_2	$-\frac{C_M A R}{M+z+R} + \frac{(\lambda / a) R \alpha_0 O_R}{2(M+z+R)(\lambda / a + \alpha_0)}$
a_3	$L C_L + (w+zr/100) C_w$
a_5	$-\frac{C_M A (M t_M + z t_z)}{M+z+R} - L C_L t_c + (w+zr/100) \{ -100 C_w + 539 + (100 - t_c) \}$ $+ \alpha_0 O_R \left\{ \frac{(\lambda / a) (M t_M + z t_z)}{2(M+z+R)(\lambda / a + \alpha_0)} + \frac{\alpha_0 t_c}{\lambda / a + \alpha_0} - t_c \right\} - 860 \rho N$
b_1	$k_1 / (2 C_L L)$
b_2	$\frac{k_1}{2 C_L L} \cdot \frac{R}{M+z+R}$
b_3	$-k_1 / (2 C_L L) - 1$
b_5	$t_c + \frac{k_1}{2 C_L L} \cdot \frac{M t_M + z t_z}{M+z+R} - \frac{k_1}{2 C_L L} t_c$
c_1	$-C_M A$
c_2	$C_M A$
c_4	$C_L B + \frac{\alpha_S O_S}{\lambda_S / \alpha_S + \alpha_S} \cdot \frac{\lambda_S}{\alpha_S}$
c_5	$-C_L B t_c + \alpha_S O_S \left(\frac{\alpha_S t_c}{\lambda_S / \alpha_S + \alpha_S} - t_c \right) - 860 N_S$
d_1	$\left(1 - \frac{k_2}{2 A C_M} \right)$
d_2	$-k_2 / (2 A C_M) - 1$
d_4	$k_2 / (2 A C_M)$
d_5	$k_2 t_c / (2 A C_M)$

Table 2 Observed data used in the determination of unknown parameters

symbol	unit	definition	test No.			
			1	2	3	4
M	t/h	feed-rate of clinker	139	139	145	134
R	t/h	flow-rate of the return	517	587	465	663
A	t/h	total flow-rate through the mill	660	730	614	800
F	t/h	flow-rate of fine products	143	143	149	137
z	t/h	feed-rate of gypsum	4	3.9	4.1	3.8
L	Nm ³ /min	flow-rate of cooling-air through the mill	192	184	165	204
B	Nm ³ /min	flow-rate of cooling-air through the air-classifier	1617	2183	1909	2183
w	kg/h	flow-rate of water-spray injected to mill	303	405	910	910
t_M	°C	clinker temperature	112	91	96	109
N	kW	power input to mill motor	5580	5584	5563	5551
N_s	kW	power input to air-classifier motor	320	320	320	320
t_A	°C	mill-outlet material temperature	165	143	148	151
t_L	°C	mill-outlet gas temperature	122	90	107	108
t_i	°C	air-classifier outlet gas temperature	122	92	112	—

Table 3 Assumed Values used in the determination of unknown parameters

symbol	unit	definition	assumed value
C_M	kcal/kg°C	specific heat of clinker	0.19
C_L	kcal/Nm ³ °C	specific heat of air	0.31
C_W	kcal/kg°C	specific heat of water vapor	0.486
α_0	kcal/m ² h°C	coefficient of heat transfer from mill to ambient air	18.7
α_s	kcal/m ² h°C	coefficient of heat transfer from air-classifier to ambient air	6.5
λ	kcal/mh°C	thermal conductivity of mill shell	46
λ_s	kcal/mh°C	thermal conductivity of air-classifier metallic walls	46
a	m	thickness of mill shell and linings	0.135
a_s	m	thickness of air-classifier metallic walls	0.009
r	%	adhesive moisture in gypsum	6
t_z	°C	gypsum temperature	30
t_c	°C	ambient air temperature	30

2.3 未定係数の推定

2.2 節で提出した伝熱モデルには、未定係数として ρ , k_1 , k_2 , O_R , O_S の 5 個が含まれている。そこで、セ

メントクリンカ粉砕用実操業チューブミル系における温度実測値 (Table 2⁴⁾) を用いて、これらを逆算することを試みた。ミルの仕様は、5.1m^φ×14.0m^L であり、内径 6.5m の外部循環ファン・サイクロン付エアセパレー

タが付設され、ミルモータは 5500 kW であった。

ミルおよびエアセパレータ内における被粉砕物から空気への熱伝達率 k_1, k_2 は、ともに空気量 L, B の増加関数と考えられる。そこで、簡単のため、比例関係を仮定し、(33), (34)式で表わされるものとした。

$$k_1 = k_{10} L \dots\dots\dots (33)$$

$$k_2 = k_{20} B \dots\dots\dots (34)$$

$\rho, k_{10}, k_{20}, O_R, O_S$ の値を仮定し、Table 2 の 4 つのデータから、(29), (31)の両式を用いて、それぞれ t_A および t_L を計算し、

$$\Sigma \sigma_n^2 = \Sigma \{ (t_{Ans} - t_{Ano})^2 + (t_{Lns} - t_{Lno})^2 \} \dots\dots\dots (35)$$

を求め、これが最小となるような $(\rho, k_{10}, k_{20}, O_R, O_S)$ の値の組をコンピュータによって求めた。ただし、ここで、 n ; 実験ナンバー、 e ; 計算値、 o ; 実測値とした。また、計算に当っては、Table 3 の値を仮定した。この結果、Table 4 に示す未定係数の値の組が、 $\Sigma \sigma_n^2$ を最小とすることが判明した。

Table 4 Set of unknown parameter values minimizing $\Sigma \sigma_n^2$

parameter	unit	related formula	value minimizing $\Sigma \sigma_n^2$
ρ	—	(13)	0.92
k_{10}	kcal/Nm ³ °C	(6)(33)	0.0067
k_{20}	kcal/Nm ³ °C	(18)(34)	0.0052
O_R	m ²	(5)	134
O_S	m ²	(17)	285

3. 冷却方法の効果推定計算とその結果

3.1 計算方法

Table 4 に示した未定係数の計算値と(29), (33), (34)の各式を用いて、通気量 B, L などを変化させた場合の t_A への効果を推算した。 t_A を特にとりあげたのは、閉回路チューブミル系全体のなかで、 t_A がもっとも高温の部位だからである。

計算は、2.3節で紹介した5500 kW ミル系と、3300 kW ミル系 (4.3m³×13.54m^L, 外部循環ファン・サイクロン付エアセパレータ (内径4.5 m) 付設) の両者について行なった。その際、特に断わらない限り、Table 3 の値を仮定した。

5500 kW ミル系については、 $M=146$ [t/h], $R=600$ [t/h], $z=4$ [t/h], $N=5580$ [kW], $N_S=320$ [kW]

とし、3300kW ミル系については、これらをミル動力比例で scale-down して用いた。ミル動力は、ミル径を D_M , ミル長さを L_M として、 $D_M^{2.5} L_M$ に比例するとした。循環率 F/R は、ミル寸法にかかわらず同一とした。5500 kW ミル系の未定係数 O_R および O_S については、Table 4 の値をそのまま用いた。3300 kW ミル系の O_R および O_S については、図面上から 3300 kW ミル系と 5500 kW ミル系のミルおよびエアセパレータの表面積比を読みとり、Table 4 の O_R および O_S 値に乘じることによってこれらを修正したものをを用いた。その他の未定係数値については、Table 4 で求められたものを、5500 kW ミル系と3300 kW ミル系の両者に共通して用いた。

3.2 3300kW ミル系における計算結果

Figs. 2~4 は、3300 kW ミル系におけるミル通気量 L およびエアセパレータ補給通気量 B がミル出粉温度 t_A におよぼす影響についての計算結果の一例である。セメントの品質を確保するには、 t_A は 130°C 以下とする必要があるが、3300 kW クラスのミルの場合には、クリンカ温度 t_M が 100°C とかなり高温であっても、適当量の通気を確保することにより、比較的容易に $t_A < 130^\circ\text{C}$ とすることが可能である。たとえば、Fig. 4 によれば、 $L=400$ [Nm³/min], $B=800$ [Nm³/min] の場合、 $t_A=130$ [°C] となるが、この L の値は、ミル内最大風速 (ミル内最高温部風速) 0.9 [m/sec] に相当し、現実的な値である。また、 $L+B$ は、合計で、1200 [Nm³/min] となり、これは製品量あたり風量として 800 [Nm³/t] となるが、この値は、国内セメント製造業統計⁷⁾ のほぼ平均値に近い。

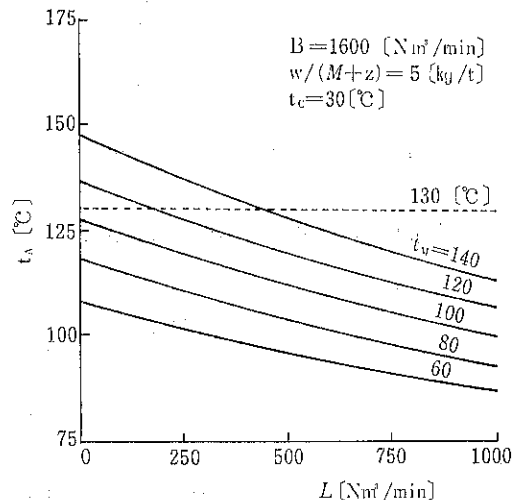


Fig. 2 t_A vs. L in 3300 kw-mill

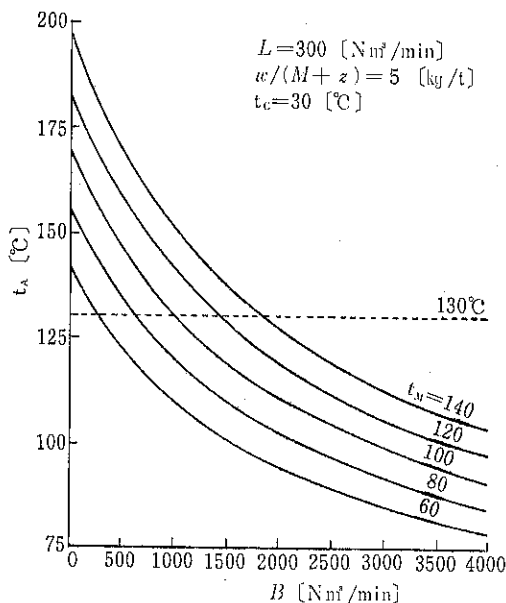


Fig. 3 t_A vs. B in 3300 kW-mill

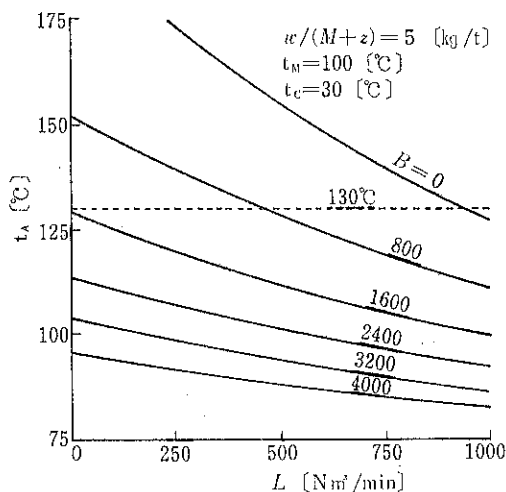


Fig. 4 t_A vs. L in 3300 kW-mill

3.3 5500 kW ミル系における計算結果

Figs. 5~7 は、2.3 節で紹介した 5500 kW ミル系について、 B と L の t_A へおよぼす影響を計算により推定したものである。5500 kW ミル系の場合、3300 kW ミル系と異なり、 $t_M=100$ [°C] の条件で $t_A \leq 130$ [°C] とすることは、必ずしも容易ではない。たとえば、Fig. 7 によれば、3300 kW ミル系と同じく $B/L=2$ の条件下では、 $L=850$ [Nm³/min]、 $B=1700$ [Nm³/min] でようやく $t_A=130$ [°C] ($t_M=100$ [°C] のとき) と

なるが、このときミル内最大風速は 1.4 [m/sec] となり、ミル内におけるスリットの条件などに相当の配慮を要する。また、このような高風速の場合、製品としてそのまま許容できない程度の粗粒も気流搬送されるので、ミル排気からの回収セメントは、そのまま製品とすることはできず、エアセパレータへ供給されることになり、これは、エアセパレータの過負荷、およびそれによる閉回路粉砕系全体の効率の低下をもたらす。 $B+L$ の値も、この場合 2550 [Nm³/min] となり、製品量あたりの風量としては、3300 kW ミル系の 1.3 倍に達し、これによる集塵機投資金額およびファン動力の増加は、採算上許容限度を越える大きさとなる。

本報告例における 3300 kW ミル系と 5500 kW ミル系が、ミルの寸法、あるいはエアセパレータの形状などについて、ほぼ幾何学的相似則に従って scale-up されているにもかかわらず、このように異なった結果を示す原因は、両方のミル系を比較した場合、ミル表面および

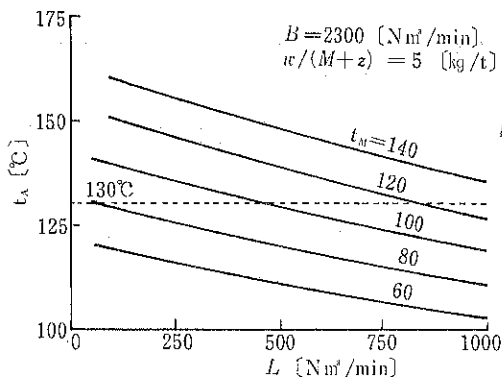


Fig. 5 t_A vs. L in 5500 kW-mill

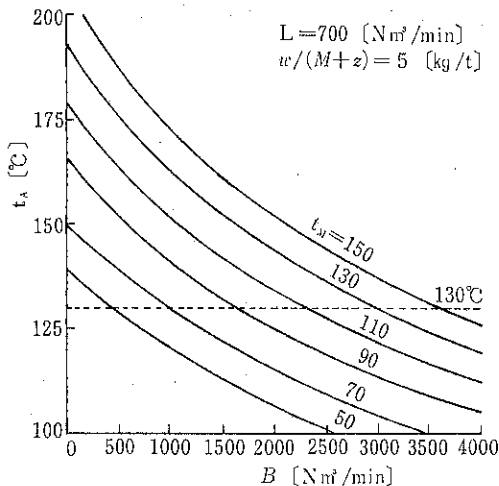


Fig. 6 t_A vs. B in 5500 kW-mill

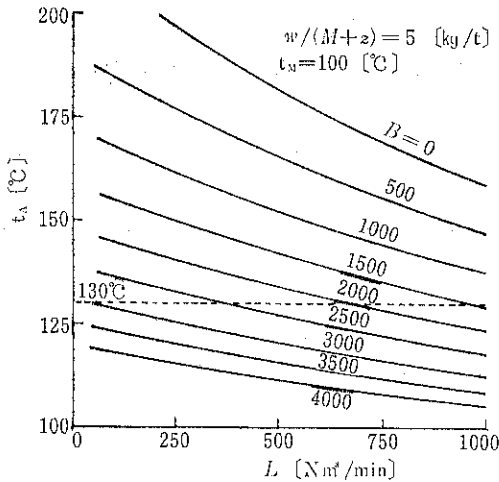


Fig. 7 t_A vs. L in 5500 kw-mill

エアセパレータ表面からの放熱量が、ミルへの入力に比例しないためと思われる。すなわち、3300kW ミル系から 5500 kW ミル系へ scale-up した場合、ミルへの入力は 1.67 倍となるが、ミル表面積は 1.25 倍、エアセパレータ表面積も 1.56 倍にしかならず、そのため、粉砕媒体の運動にともない放出された熱が、ますます系内に蓄積するためであろう。

3.4 ミル-エアセパレータ通気配分に関する検討

5500 kW ミル系において、 $t_M = 100$ [°C] とし、 $t_A = 130$ [°C] となるような L と B の値の組を求めると、Fig. 8 に示す直線となる。この結果から判断して、同一温度効果を確保しつつ $L+B$ の値を小さくするには、 L の値を多めに、 B を少なめにする方が有利であることがわかる。これは、ミル内の方が、セパレータ内よりも高温であるためと思われる。しかし、前述したよ

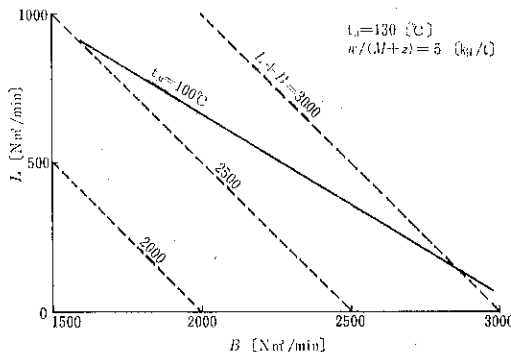


Fig. 8 L vs. B in 5500 kw-mill

うに、 L の値には、通常のフローシートの場合、ミル内風速からの制限がある。しかも、ミル内風速を一定として scale-up した場合、 L は、ミル径の 2 乗に比例するが、その一方、ミルへの入力および時間あたり製品量は、ミル径の 2.5 乗に比例するので、ミル入力あたりの L 値は、ミルの scale-up にともない、減少の方向とならざるをえない。したがって、ミルを大型化するには、 L/B の値は低めに移行し、しかも $(L+B)/F$ の値は多めにとらざるをえなくなる。Fig. 9 は、この関係をグラフ化したもので、たとえばミル内最大風速 1.0 [m/sec] を限界とするならば、3300 kW ミル系から 5500 kW ミル系への scale-up にしたがって、最適通気量の組は、図の X 点から Y 点に移動する。

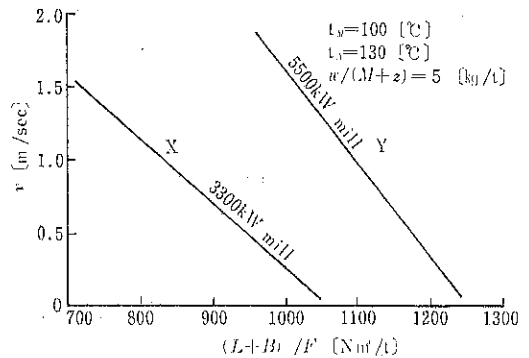


Fig. 9 v vs. $(L+B)/F$ at constant t_A

3.5 クリンカ温度の影響

Fig. 3 および Fig. 6 によれば、 t_A vs. B は直線ではなく、曲線の傾きは B が大きいほど小さくなる。 t_A vs. L の曲線にも、程度の差こそあれ、類似の傾向が認められる。これらは、ミルあるいはエアセパレータが高温であるほど、その表面からの放熱効果とともに、内部熱交換による冷却効果が大きいためであろう。Fig. 4 および Fig. 7 によれば、 B の値が大となるに従い、 t_A vs. L の曲線の傾きは小になるが、この原因も同様に考えられる。Figs. 2, 3, 5, 6 によれば、クリンカ温度 t_M が 1 [°C] 低下するごとに t_A は平均約 0.4 [°C] 低下するが、その低下率は、 L あるいは B が大きいほど減少する。このことは、本報で述べたような、ミル系の空気冷却による場合、セメントクリンカを前工程で充分冷却していないときには、ミル系において必要な通気量は、単なる温度比例以上の割合で増加し、不経済であることを示している。

4. 考 察

4.1 既報との比較

チューブミルの大型化がミル出粉温度におよぼす影響については、すでに Tiggesbäumker ら¹⁰⁾、Hanke ら²⁾の報告があり、前者については、ミル内風速許容限界によって大型ミルの場合 L 値が抑えられる可能性についても指摘がなされている。しかし、前者については、伝熱モデルを用いて温度推算を行なった結果の報告ではなく、後者については、ミル容量を2倍にしてもミル出粉温度には1~2 [°C] 程度の影響しかないとされており、本報の結果と異なる。ミルへの通気量 L およびエアセパレータへの補充通気量 B がミル出粉温度 t_A におよぼす影響については、Hanke ら²⁾、飯塚³⁾の報告があるが、 L と B の相互関係についての解析はない。また、 B と L がそれぞれ t_A に与える影響の順位は、飯塚³⁾の報告と本報とでは逆転している。

クリンカ温度のミル出粉温度への影響の程度については、Hanke ら²⁾、Bernutat¹⁾、飯塚³⁾とほぼ同様の結果である。 L および B とクリンカ温度の影響度との関係については、飯塚³⁾がすでに若干触れている。

4.2 計算方法および用いた仮定に関する吟味

本報において提案した伝熱モデルにもとづく温度計算方法は、既往の諸報告にくらべ、用いる仮定を最小限にとどめ、実操業系の実状に少しでも近づけるよう意を用いたものではあるが、なお下記のようないくつかの問題点を残している。

(1) 本報では、係数 ρ 、 k_{10} 、 k_{20} などが、ミルの dimension に関係なく、共通に用いようとしているが、これに関する確証はない。

(2) 係数 k_1 および k_2 と L および B のあいだに、比例関係を仮定しているが、これは第一近似に過ぎない。

(3) 実操業セメントクリンカー粉砕系においては、ミル内のセッコウの脱水、セメント粉末の一部の水和などの際に、反応熱の出入りがあり、また、ミルおよびエアセパレータ排気中に、若干量の同伴セメント粉末がある。本報では、これらについて無視されている。

これらの諸点が、本報の方法による推定結果と、実操業系における実状とのあいだの差異に対して、どの程度の影響をおよぼしているかについては、現在のところ、即断できない。実操業系においては、クリンカ温度 t_M のバラツキがあり、また、 L および B の風量実測は、必ずしも容易ではないので、信頼できるデータの集積が困難であるからである。上述の諸仮定の当否について

は、今後さらに研究を深め、吟味していく必要がある。

4.3 閉回路チューブミル系設計指針への反映

上述のように、ミルが大型化すればするほど、冷却に必要な相対通風量は増加する。一方、ミル内風速には制限があり、また設備費・スペース・ファン動力などの観点から、これらの含塵通風を処理すべき集塵機容量にも制限がある。しかし、ミルの大型化は、工事費、運転労務費など多くの点でメリットがあり、温度問題があるからといって、軽々に断念すべき方策ではない。したがって、今後、下記の諸点に関する技術開発が重要となるものと思われる。

(1) ミル内風速を大とした場合に、そこで発生する高含塵通気を予備分級し、回収された粗粉部分はミルへ戻し、未回収の微粉部分を含む通気は後段の集塵機へ導くような、高含塵空気用分級機の開発。

(2) 少ないスペースで大量の高含塵空気を処理できるような集塵機の開発。

(3) 高温のセメントクリンカを、ミル系へ送入する以前に、少ないエネルギーコストで充分に冷却する装置の開発。

なお、ミル系における冷却の方法としては、空気冷却法のほかに、2.1 節で述べた各種の水冷法がある。実際には、これらのうち、いくつかについて、セメント品質、エネルギーコスト、投資コストなどを総合判断しながら、空気冷却法と併用することが行われている。これらの水冷法については、別の機会に、解析評価を試みたい。

5. 結 論

セメントクリンカ粉砕用閉回路チューブミル系について、空気冷却によるミル出粉温度低減の問題をとりあげ、下記について結論をえた。

(1) 閉回路チューブミル系の温度推算方法について、実操業系の実状に即した新しい伝熱モデルを提示した。

(2) ミルが大型化することにより、入力あたりのミルシェル表面積が減少する結果、粉砕媒体の運動時の放熱のうち系内蓄積部分の占める割合は顕著に増加することを、試算例により示した。

(3) 同一冷却効果を保持しつつ総通気量を減少させるには、ミルからの通気を増加し、エアセパレータからの通気を減少させることが有利であるが、この場合、通常のフローでは、ミル内風速に制限をうけ、しかもその程度は、ミルが大型化するほど甚しい。これを解決するために、高含塵空気用分級機の開発が必要である。

(4) セメントクリンカが、ミル系へ送入される以前の

工程において充分冷却されていない場合は、ミル系において冷却に必要な通気量は、単なる温度比例以上の割合で増加し、不経済である。

使用記号

A	: ミル通過量	[t/h]
a	: ミル胴体およびライニング厚み	[m]
a_s	: エアセパレータ外壁厚み	[m]
B	: エアセパレータ補給通気量	[Nm ³ /min]
C_L	: 空気比熱	[kcal/Nm ³ °C]
C_M	: セメントクリンカ比熱	[kcal/kg°C]
C_w	: 水蒸気比熱	[kcal/kg°C]
D_M	: ミル径	[m]
F	: 製品量	[t/h]
k_1	: (6)式における未定係数	[kcal/h°C]
k_{10}	: (33)式における未定係数	[kcal/Nm ³ °C]
k_2	: (18)式における未定係数	[kcal/h°C]
k_{20}	: (34)式における未定係数	[kcal/Nm ³ °C]
L	: ミル通気量	[Nm ³ /min]
L_M	: ミル長さ	[m]
M	: セメントクリンカ供給量	[t/h]
N	: ミルモータ入力	[kW]
N_s	: エアセパレータモータ入力	[kW]
O_R	: (5)式における未定係数	[m ²]
O_S	: (17)式における未定係数	[m ²]
Q_0	: ミル表面からの放散熱	[kcal/h]
Q'_0	: ミル胴体貫流熱	[kcal/h]
Q_B	: エアセパレータ排気による持出熱	[kcal/h]
Q_F	: ミルからの被粉砕物持出熱	[kcal/h]
Q_{FS}	: エアセパレータからの 被粉砕物持出熱	[kcal/h]
Q_L	: ミル排気による持出熱	[kcal/h]
Q_{mill}	: ミル内における被粉砕物から 空気への交換熱量	[kcal/h]
Q_R	: ミル内における発熱量	[kcal/h]
Q_{RS}	: エアセパレータ内における発熱量	[kcal/h]
Q_S	: エアセパレータ表面からの放散熱	[kcal/h]
Q_{sep}	: エアセパレータ内における 被粉砕物から空気への交換熱量	[kcal/h]
Q_w	: ミルからの水蒸気持出熱	[kcal/h]
R	: 分級回収粗粉量	[t/h]
r	: セッコウ付着水分	[%]
t_0	: ミル胴体外表面温度	[°C]
t_A	: ミル出口被粉砕物温度	[°C]
$\bar{t}_A$	: ミル内被粉砕物平均温度	[°C]
t'_A	: ミル胴体内表面温度	[°C]

t_C	: 外気温度	[°C]
t_F	: 製品温度	[°C]
$\bar{t}_F$	: エアセパレータ内被粉砕物平均温度	[°C]
t_i	: エアセパレータ排気温度	[°C]
t_L	: ミル排気温度	[°C]
$\bar{t}_L$	: エアセパレータ内空気平均温度	[°C]
t_M	: セメントクリンカ温度	[°C]
t'_M	: 被粉砕物ミル入口平均温度	[°C]
t_R	: 分級回収粗粉温度	[°C]
t_x	: セッコウ温度	[°C]
v	: ミル内最大風速	[m/sec]
w	: ミルへのスプレー水量	[kg/h]
z	: セッコウ量	[t/h]
α_0	: ミル表面から外気への熱伝達率	[kcal/m ² h°C]
α_S	: エアセパレータ表面から 外気への熱伝達率	[kcal/m ² h°C]
λ	: ミル胴体熱伝導率	[kcal/mh°C]
λ_S	: エアセパレータ外壁熱伝導率	[kcal/mh°C]
ρ	: (13)式における未定係数	[—]
σ_n	: t_A および t_L の測定値と 推算値の差の平方和	[°C ²]

添字

e	: 計算値
n	: 実験ナンバー
o	: 実測値

引用文献

- 1) Bernutat, P.: Aufbereitungs-Technik, 5, 254 (1964)
- 2) Hanke, E. W.: Zement-Kalk-Gips, 28, 105 (1975)
- 3) 飯塚常太郎: セメント製造技術シンポジウム, 35, 8 (1978)
- 4) 川村洋二他: 社内報 (未公表)
- 5) Morgan, J. T.: Zement-Kalk-Gips, 25, 241 (1972)
- 6) Reuss, A. K.: ibid., 27, 321 (1974)
- 7) セメント協会: 粉砕専門委員会報告 S-11 (1979)
- 8) 鈴木末男: 粉体工学研究会誌, 7, 299 (1970)
- 9) Takemoto, K. and K. Hirayama: Rock Products, 62 [10], 140 (1959)
- 10) Tiggesbäumker, P. and G. Blasczyk: 4th European Symposium on Comminution, 269 (1975)

一面剪断試験による内部摩擦係数と剪断付着力

Internal Friction Factors and Cohesion Forces of Fine Powders by
Constant Volume Shear Tester

寺下敬次郎* 宮南 啓* 岡嶋 雅資*
Keijiro Terashita Kei Miyanami Masashi Okajima

Abstract

The effect on the shape and the shearing area of shearing cell on the yield loci and internal friction factor of several kinds of fine powders has been investigated by using a constant volume shear tester. Normal stress and its distribution have been also measured at several different positions in the vicinity of the shearing plane to compare the internal friction factor by the shear tester with calculated one based on the stresses measured.

The following findings are obtained:

(1) The effect of the shape and shearing area of the shearing cell both on the yield locus and on the internal friction factor is negligible when shearing area is more than 78cm².

(2) The internal friction factor based on the relationship between average normal stresses $\bar{\sigma}_{z,m}$ and the shearing force $\bar{\tau}_x$ by a constant value, direct shear tester, well coincides with that obtained by a constant vertical load tester for both fine and coarse powders.

(3) The internal friction factor evaluated by relationship between $\bar{\sigma}_{z,m}$ and $\bar{\tau}_x$ increases with decreasing the particle size for coarse powders. The internal friction factor and the cohesion force for fine powders is appreciably larger than those for coarse particles.

Therefore, it can be said that the flowability of powders may be estimated in terms of internal factor for coarse powders and both internal friction factor and cohesion force for fine powders, respectively.

1. 緒 言

粉粒体層の剪断特性を表わす内部摩擦係数は直接剪断法、三軸圧縮法、環状セル法および二重円筒法などによって測定¹⁻⁴⁾されているが、その中でも一面剪断試験(直接剪断法)は比較的簡単な装置であり、また、実際問題で起こる不均一なひずみや平面変形条件下での現象をよく再現し基礎的な知見が得られるため、粉体工学の分野でよく用いられている試験方法の一つである。

定荷重一面剪断試験においては垂直荷重(載荷垂直応力)をかけた粉粒体層を水平方向に剪断してその剪断応力を測定し、載荷垂直応力と最大剪断応力の関係から破壊包絡線を描きその勾配より内部摩擦係数が求められる。このようにして求めた粉粒体の内部摩擦係数の測定結果は、剪断セル径や粉粒体層高⁵⁾などの測定条件によって異なった値が得られている。したがって、剪断試験方法や測定条件の影響を受けない普遍性のある内部摩擦係数を求める方法を調べる必要がある。

われわれは、数種類の粉粒体の内部摩擦係数が剪断面付近での平均の実測垂直応力対定常剪断応力関係より算出すれば、定荷重一面剪断試験の測定条件の影響を受けず一義的に求められること^{6,7)}、また、このようにして

求めた内部摩擦係数は、従来の経験的な流動性の評価順序ともほぼ一致することを示した^{7,8)}。また、粉粒体層をランキンの受動状態と仮定しないで、剪断面にかかる水平応力対剪断応力関係より求めた二重円筒式内筒回転型剪断試験(二重円筒法)の内部摩擦係数は、定荷重一面剪断試験の測定値と良好に一致する⁹⁾。さらに、一回の剪断試験で破壊包絡線が得られる定容積一面剪断試験の内部摩擦係数は、平均の実測垂直応力に基づく破壊包絡線より算出すれば粗粉および微粉とも定荷重一面剪断試験の測定値と一致することを報告した¹⁰⁾。しかし、定容積一面剪断試験における微粉の平均の実測垂直応力は載荷垂直応力よりも小さい場合が多く、その程度は微粉の種類によって異なるということがわかった。したがって、いろいろな種類の微粉について、剪断面付近にかかる垂直応力とその分布を測定し、その結果に基づいて内部摩擦係数を求める必要がある。さらに、内部摩擦係数と剪断セル形状およびその剪断面積との関係も、まだ、ほとんど明らかにされていない。すなわち、定容積一面

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

剪断試験に関する研究は、定荷重一面剪断試験に比べて少ない。

そこで本研究では、まず剪断セル形状およびその剪断面積を変化させて、定容積一面剪断試験を行ない、破壊包絡線を求めた。つぎに剪断面上下付近の垂直応力とその分布を測定できる定容積一面剪断試験機を用い、数種類の微粉および平均粒径の異なる粉粒体を対象として、剪断試験を行ない、平均の実測垂直応力または載荷垂直応力に基づく破壊包絡線を求めた。その結果、内部摩擦係数に影響を与えない剪断面積を明らかにするとともに、剪断付着力および内部摩擦係数より粗粉と微粉の流動性を評価することができたので、報告する。

2. 実験装置、実験方法および粉粒体試料

剪断面上下付近の垂直応力とその分布を測定できるようにした定容積型一面剪断試験機の概略をFigs. 1, 2に示した。この試験機では、支柱④にねじで保持されてい

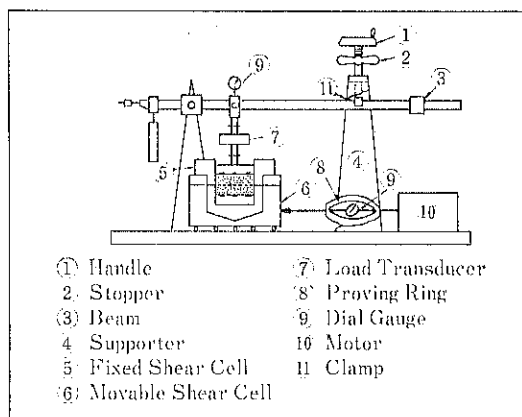


Fig. 1 定容積一面剪断試験機

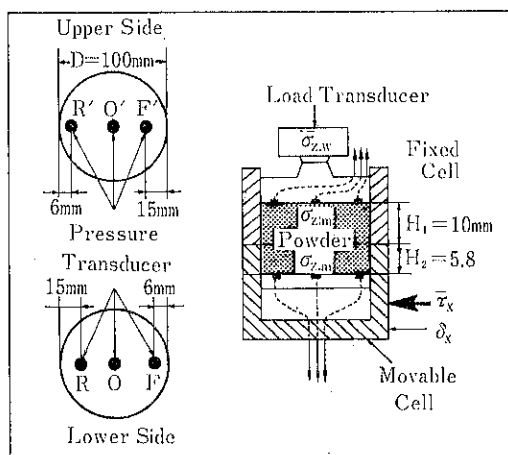


Fig. 2 剪断面近傍における圧力変換器の配置

るクランプ⑪によって竿③を水平に押え込み（ハンドル①で微調整する）、ストッパー②で固定して、粉粒体層の容積が剪断中変化しないようにしてある（Fig. 1）。

剪断時に粉粒体層が膨張しようとする力の一部が垂直応力（載荷垂直応力） $\sigma_{z,w}$ として観測されるが、それはピストンの上部に取りつけた圧縮型荷重変換器（容量：500Kg）⑦で測定する。粉粒体層の剪断によって生じる剪断応力 τ_x はブルーピングリング（容量：100Kg）⑧とダイヤルゲージ式変位変換器⑨によって測定する。載荷垂荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ と剪断応力 τ_x の関係をX-Yレコーダ上に記録すれば、一回の剪断試験で破壊包絡線が得られる。さらに、この試験機には剪断面上下付近における垂直応力とその分布を測定するために、Fig. 2に示すようにセル内に6個の歪ゲージ式圧力変換器（受圧面：8mm ϕ ，容量：2Kg/cm 2 ）を取りつけてある。上下6箇所の垂直応力 $\sigma'_{z,m}$ ($m=F', O', R'$)， $\sigma_{z,m}$ ($m=F, O, R$) は、剪断応力 τ_x とともに、水平変位 δ_x に対して多ペンレコーダ上に連続記録した。

実験方法は、通常、セル内に粉粒体を少量づつ層状に装入し、そのつど押え板で粉粒体層表面を水平にする程度に押えながら所定の層高まで充てんし、層表面が水平になっていることを水準器で確かめた後、一定の圧密応力を層高および6箇所の垂直応力が変化しなくなるまで加えた。粗粉の場合、セル内に試料を自然充てんしても比較的密充てん状態となるので、剪断すれば常に層は膨張する傾向にあるため破壊包絡線は容易に得られた。しかし、微粉の多くの場合、剪断を行なうと層は載荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w} \leq 0.1 \text{ Kg/cm}^2$ 付近まで膨張するがそれ以上 $\bar{\sigma}_{z,w}$ が大きくなると収縮するので、粗粉と同様な方法では破壊包絡線が得られない。そこで微粉の剪断試験はFig. 3に示す方法で行なった^{10,11)}。粉体層に一旦圧密応力 $\bar{\sigma}_{z,c}$ をかけて圧密してから(A)剪断を行なうとB点ま

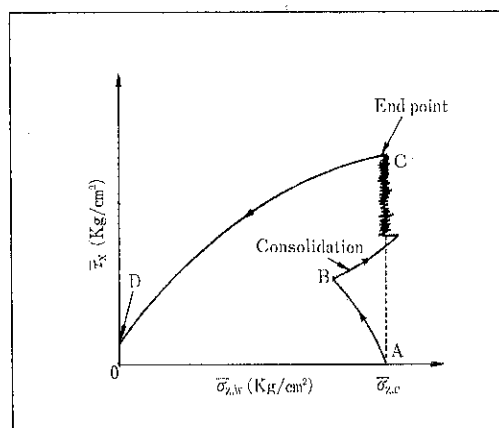


Fig. 3 微粉に対する定容積一面剪断試験方法

で剪断応力 $\bar{\tau}_x$ が増大し、載荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ は減少する。そこで $\bar{\sigma}_{z,w}$ が $\bar{\sigma}_{z,c}$ と同じになるように粉体層の体積を順次減少させてゆき、 $\bar{\sigma}_{z,w}$ が減少しなくなると $\bar{\tau}_x$ は最大値を示して一定となる（終点、C）。この状態より $\bar{\sigma}_{z,w}$ を順次減少させると $\bar{\tau}_x$ も減少するので両者を X-Y レコーダに記録することにより破壊包絡線（C→D）が得られる。この微粉の剪断試験方法も定容積一面剪断試験の中を含めるが、実際には C から D に至る過程で層が膨張、すなわち空隙率が増加することにより破壊包絡線が得られることになる。しかし、A→C の過程で粉体層が収縮した量だけ、破壊包絡線を得る時に（C→D）膨張することを多くの結果より確かめている¹⁰⁾。なお、粗粉の場合の初期空隙率 $\bar{e}_0$ はセル内に試料を装入し所定の圧密応力で圧密した状態での空隙率であるが、微粉の場合には、C 点（Fig. 3 参照）に達した状態での空隙率を初期空隙率 $\bar{e}_0'$ とした。

剪断セルには、真ちゅう製の円筒状（セル径 D=40, 80, 100, 120 mm）およびアルミ製の正方形（70.5×70.5, 88.5×88.5, 100×100 mm）のものを用いた。なお、正方形剪断セルについては、剪断を辺に対して平行または対角線で行なったので、前者を四角形セルおよび後者を菱形セルとそれぞれ便宜的に呼ぶことにする。

剪断試験は特にことわらない限り Table 1 に示す条件で行なった^{6,7)}。また、四角形および菱形セルを用いた剪断試験においても、上部の粉粒体層高 H_1 、下部の粉粒体層高 H_2 および剪断速度 V_s は Table 1 に示す条件

Table 1 主な測定条件

Shearing cell diameter	D	100mm
Upper powder layer height	H_1	12mm
Lower powder layer height	H_2	5.8mm
Shearing rate	V_s	2mm/min.

Table 2 粉粒体試料

Powder	$\bar{d}_p$ [μm]	ρ [g/cm ³]	ρ_a [g/cm ³]	ϕ_r [deg.]
Flattery sand	220	2.61	1.31	36.5
Carborundum A	177	3.23	1.62	37.0
Carborundum B	125	3.23	1.57	37.5
Carborundum C	74	3.23	1.53	38.7
Carborundum D	37	3.22	1.32	41.5
Carborundum E	23	3.22	0.93	42.0
Volclay	10.5	2.37	0.73	45.5
Yellow stone	5.58	2.28	0.63	43.5
Zinc oxide A	0.52	5.20	0.39	44.5
Zinc oxide B	0.53	5.20	0.38	46.0
Zinc oxide C	0.47	5.21	0.40	43.2

で行なった。

剪断試験に用いた粉粒体試料を Table 2 に示した。ここで粒径 $\bar{d}_p \geq 74 [\mu\text{m}]$ の試料を粗粉、 $\bar{d}_p \leq 37 [\mu\text{m}]$ の試料を微粉とそれぞれ便宜的に呼ぶことにする。

3. 結果および考察

3.1 破壊包絡線 ($\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係) と剪断セル形状およびその剪断面積の関係

剪断セル形状およびその剪断面積を変化させて定容積

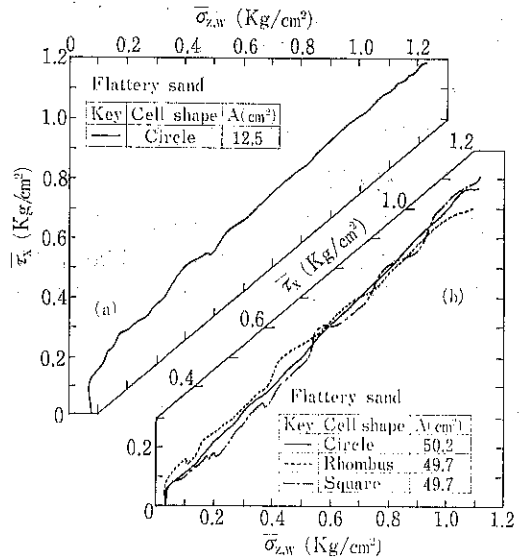


Fig. 4 剪断セル形状およびその剪断面積の異なる破壊包絡線

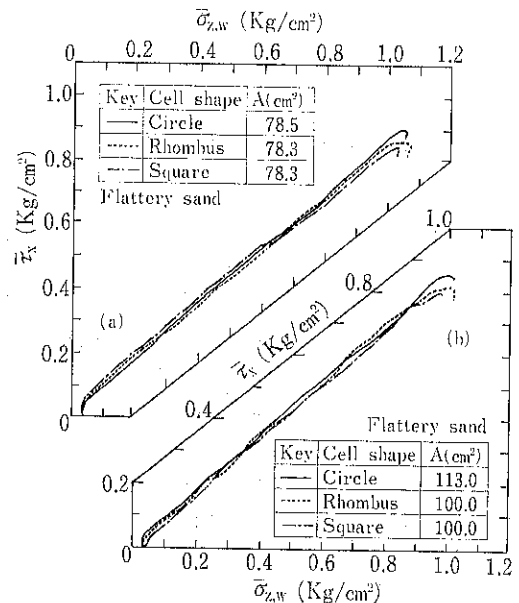


Fig. 5 剪断セル形状およびその剪断面積の異なる破壊包絡線

剪断試験を行ない、得られた破壊包絡線（载荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対剪断応力 $\bar{\tau}_x$ 関係）の一例をFigs. 4および5に示した。図中におけるそれぞれの破壊包絡線は一回の剪断試験で得たものである。

Figs. 4, 5からわかるように、剪断面積Aの最も小さい丸形剪断セルの剪断応力 $\bar{\tau}_x$ は、他の剪断面積のものに比べて大きい [Fig. 4(a)]。また、Fig. 4(b)に示す剪断面積 $A=50\text{ cm}^2$ における破壊包絡線の直線性は、丸形セルが最もよく、ついで菱形であり、四角形セルが最も悪いことがわかった。すなわち、丸形セル内における粒子群の挙動は他の剪断セル形状のものに比べて円滑であるといえる。さらに、剪断面積 $A=78\text{ cm}^2$ 以上の破壊包絡線は (Fig. 5)、剪断セル形状の影響を受けないで、かつ、その勾配に大差が見られない。これらの傾向は、ここで対象とした粗粉においても同様であった。このように剪断面積Aが 78 cm^2 になると破壊包絡線に差が見られなくなり、その勾配より求められる内部摩擦係数が同じような値を示すことは、定荷重一面剪断試験の場合と同様である⁹⁾。

以上のことから、破壊包絡線に影響を与えるのは剪断セル形状よりもむしろ剪断面積であるといえる。すなわち、剪断試験はセル側壁の影響を受けない条件で行なうことが重要である。そこで以下では、剪断面積 $A=78\text{ cm}^2$ の丸形剪断セルを用いて剪断試験を行なった結果について、考察を行なうことにする。

3.2 定容積一面剪断試験と定荷重一面剪断試験の比較

定容積一面剪断試験と定荷重一面剪断試験の破壊包絡線を比較した一例としてフラタリーサンド（粗粉）とポ

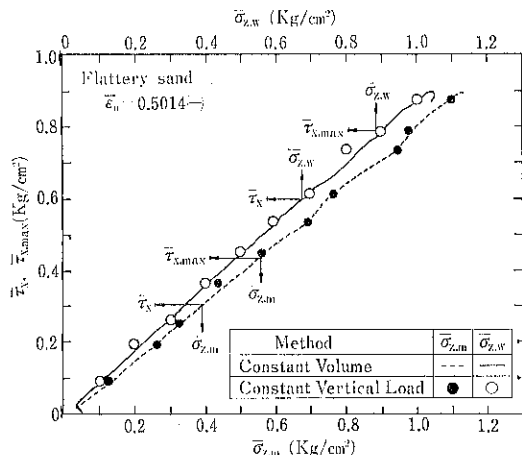


Fig. 6 定容積および定荷重一面剪断試験の破壊包絡線（フラタリーサンド）

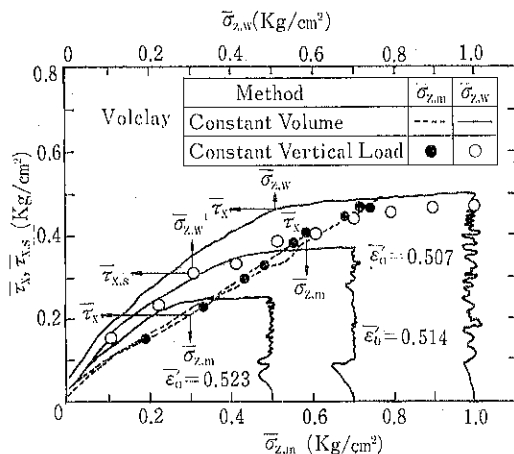


Fig. 7 定容積および定荷重一面剪断試験の破壊包絡線の比較（ボルクレイ）

ルクレー（微粉）の結果をそれぞれ Fig. 6 および Fig. 7 に示した。両図において、実線および破線は定容積一面剪断試験の破壊包絡線であり、○と●印は定荷重一面剪断試験の結果である。ここで定容積一面剪断試験における平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対剪断応力 $\bar{\tau}_x$ 関係（破線）としての破壊包絡線は、剪断応力 $\bar{\tau}_x$ を水平変位 δ_x に対しても測定しているため、同一の δ_x における $\bar{\sigma}_{z,m}$ をプロットすることにより得た。また、定荷重一面剪断試験の場合は、剪断応力 $\bar{\tau}_x$ および垂直応力 $\sigma_{z,m}$ をともに水平変位 δ_x に対して記録していることにより⁶⁻⁸⁾、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対定常剪断応力 $\bar{\tau}_{x,s}$ 関係（●印）としての破壊包絡線を容易に描くことができる。

Fig. 6からわかるように、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ を採用した定容積一面剪断試験における粗粉の破壊包絡線（ $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係）は、定荷重一面剪断試験の $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対最大剪断応力 $\bar{\tau}_{x,max}$ と一致している。また、载荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ を用いた破壊包絡線 [$\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ (定容積一面剪断試験) および $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_{x,max}$ (定荷重一面剪断試験)] は平均の実測垂直応力に基づく破壊包絡線よりも大きい勾配で一致していることがわかる。このように定容積一面剪断試験における $\bar{\tau}_x$ が定荷重一面剪断試験の $\bar{\tau}_{x,max}$ と一致することは数種類の粗粉において確かめている¹⁰⁾。すなわち、定容積一面剪断試験の破壊包絡線は、Cambridge モデル¹²⁾の状態曲面を表わした Roscoe 状態図¹³⁾上の Flow surface を $\bar{\sigma}_{z,w}-\bar{\tau}_x$ 平面へ投影したものである。

Fig. 7 に示す微粉（ボルクレイ）の場合は、両試験における载荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ を用いた破壊包絡線 [$\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ (定容積一面剪断試験) および $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_{x,s}$ (定荷重

一面剪断試験)は上に凸状に弯曲しており、あたかもクーロンの法則から偏倚しているように見える。これに対し、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ に基づく両試験の破壊包絡線 [$\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ (定容積一面剪断試験) および $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_{x,s}$ (定荷重一面剪断試験)] は、ほぼ直線となり、かつ、一致していることがわかる。

以上の考察から、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ に基づく破壊包絡線の勾配より求められる内部摩擦係数は、剪断試験方法の影響を受けないで、各試料に固有の普遍性のある定数と見なすことができる。そこでここでは、定容積一面剪断試験における粗粉および微粉の破壊包絡線または内部摩擦係数に注目して、以下の考察を行なうことにする。

3.3 破壊包絡線におよぼす平均粒径の影響

カーボランダム平均粒径 $\bar{d}_p$ を変化させて得られた破壊包絡線 ($\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係, $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係)の結果の

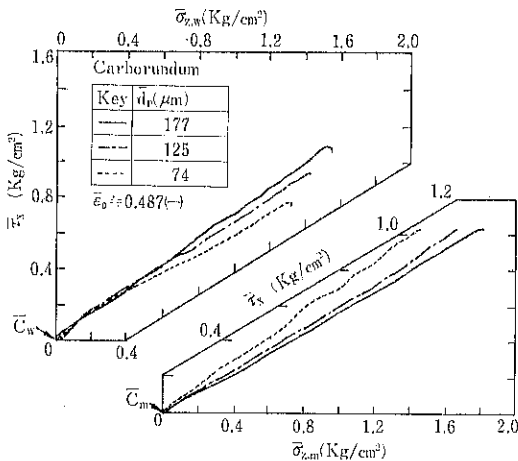


Fig. 8 平均粒径の異なる破壊包絡線 (カーボランダム, 粗粉)

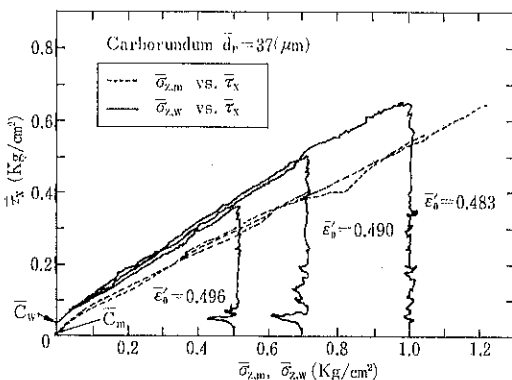


Fig. 9 微粉のカーボランダムの破壊包絡線

一例を Figs. 8 および 9 に示した。ここで粉粒体層は、剪断により平均粒径 $\bar{d}_p \geq 74$ [μm] 付近まで膨張するが、それより $\bar{d}_p$ が小さくなると収縮したので、 $\bar{d}_p \leq 37$ [μm] においては微粉の剪断試験方法で破壊包絡線を得た。

Fig. 8 からわかるように、平均粒径 $\bar{d}_p$ が小さいほど載荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ に基づく破壊包絡線の勾配は小さく、かつ、破壊包絡線と $\bar{\tau}_x$ 軸の切片である剪断付着力 $\bar{C}_w$ ($\bar{\tau}_x = \mu_w \cdot \bar{\sigma}_{z,w} + \bar{C}_w$) は大きい値を示している。これに対し、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ を用いた破壊包絡線の勾配は $\bar{d}_p$ が小さいと $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係とは逆に大きくなり、剪断付着力 $\bar{C}_m$ はいずれの $\bar{d}_p$ においても求められないほど小さいことがわかる。

Fig. 9 に示す微粉のカーボランダムの場合は、初期空隙率 $\bar{\epsilon}'_0$ が異なっても $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係は直線を示し、その勾配に大差が見られない。また、 $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係は $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係よりも小さい勾配が得られていることがわかる。さらに、この付近の粒径になると剪断付着力 $\bar{C}_m$ が求まる。

以上の結果から、粗粉の場合は破壊包絡線 ($\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係)の勾配である内部摩擦係数の大小、微粉においては内部摩擦係数と剪断付着力 $\bar{C}_m$ の関係より、粉粒体の流動性を評価できることが予測できた。

3.4 微粉の破壊包絡線、内部摩擦係数および剪断付着力

Figs. 10 および 11 は、微粉について 2 種の破壊包絡線 ($\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係, $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係)を求めた結果の一例を示したものである。Fig. 10 のイエローストーンについては初期空隙率 $\bar{\epsilon}'_0$ を変化させた結果を、Fig. 11 には圧密応力一定で酸化亜鉛の種類を変化させて得た破壊包絡線である。また、酸化亜鉛については圧密過程

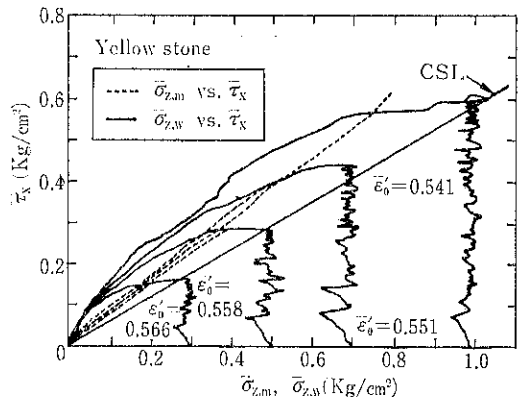


Fig. 10 微粉の破壊包絡線 (イエローストーン)

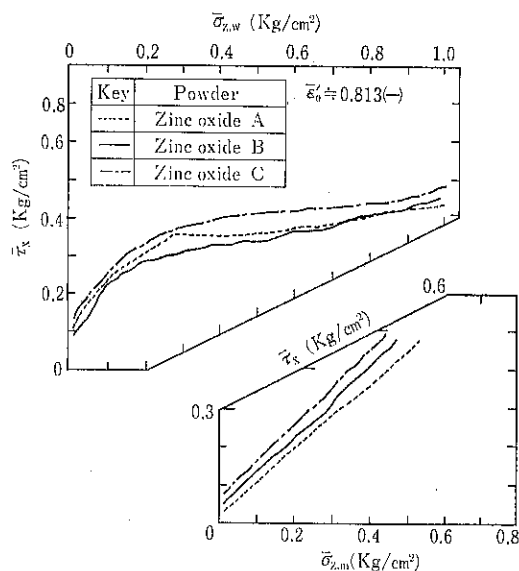


Fig. 11 種類の異なる酸化亜鉛の破壊包絡線

(Fig. 3 中の A~C) を省略し破壊包絡線のみを示した。

Fig. 10 に示すイエローストーンの場合、初期空隙率 $\bar{\epsilon}_0'$ を変化させて得た $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係の終点 (Fig. 3 の C 点) は Roscoe 状態図¹³⁾における Critical state line 上の点である。この終点を結ぶと原点を通る直線となり、Critical state line と $\bar{\tau}_x$ 軸の角度は粉体固有の値と考えられている。さらに、 $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係は空隙率 $\bar{\epsilon}_0'$ に応じて上に凸に弯曲しクーロンの法則から偏倚しているように見えるが、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ を用いた破壊包絡線は、 $\bar{\epsilon}_0$ が異なってもほぼ一本の直線で表わすことができた。

Fig. 11 に示す 3 種の酸化亜鉛においても、 $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係は上に凸の曲線であるが、 $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係は直線で表わせた。このことは、ここで対象とした微粉のすべてに認められた。

以上の考察から、剪断面付近の垂直応力とその分布を測定し、その平均値で剪断応力を評価した破壊包絡線は直線を示し、クーロンの法則が適用でき微粉の内部摩擦係数を求めることができる。

Table 3 には、平均の実測垂直応力に基づく破壊包絡線より求めた内部摩擦係数 μ_m ($\bar{\tau}_x = \mu_m \cdot \bar{\sigma}_{z,m} + \bar{C}_m$) および剪断付着力 $\bar{C}_m$ を示した。Table 3 から、カーボランダム $\bar{d}_p \geq 74$ [μm] においては、平均粒径が大きいほど内部摩擦係数 μ_m は小さい値を示し、剪断付着力 $\bar{C}_m$ は求められないほど小さい。すなわち、粒径が大きいほど流動性は良好である。また、 $\bar{d}_p \leq 37$ [μm] では平均粒径が小さいと、 μ_m および $\bar{C}_m$ がともに大きい値

Table 3 内部摩擦係数および剪断付着力

Powder	$\bar{d}_p$ [μm]	μ_m [—]	$\bar{C}_m$ [Kg/cm ²]
Carborundum A	177	0.57	—
Carborundum B	125	0.61	—
Carborundum C	74	0.73	—
Carborundum D	37	0.60	0.013
Carborundum E	23	0.77	0.018
Volclaw	10.5	0.63	0.010
Yellow stone	5.58	0.89	0.018
Zinc oxide A	0.52	0.87	0.020
Zinc oxide B	0.53	0.95	0.045
Zinc oxide C	0.47	1.11	0.075

を示して流動性が悪くなっていることがわかる。さらに、 $\bar{d}_p \leq 37$ [μm] の微粉においては、粉体の種類が異なっても内部摩擦係数が大きいと剪断付着力も一般に大きい値を示している。なお、これらの微粉の中には、粗粉よりも小さい内部摩擦係数 μ_m を示すものもあるが、剪断付着力 $\bar{C}_m$ は粗粉に比べて小さいことから、従来の経験的な流動性の評価順序との対応がつく。

4. 結 論

破壊包絡線および内部摩擦係数におよぼす剪断セル形状およびその剪断面積の影響を調べ、平均粒径の異なる粉粒体および微粉を対象として剪断面近傍における垂直応力とその分布を測定し、平均の実測垂直応力に基づく内部摩擦係数または剪断付着力を求めた結果、つぎのような結論を得た。

1) 破壊包絡線および内部摩擦係数は、剪断面積 $A \geq 78 \text{ cm}^2$ になると剪断セル形状およびその剪断面積の影響を受けない。

2) 平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対剪断応力 $\bar{\tau}_x$ 関係より求めた定容積一面剪断試験の内部摩擦係数 μ_m は、粗粉および微粉とも定荷重一面剪断試験による測定値と一致する。

3) 粗粉においては粒径が大きくなるにつれて、載荷垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対剪断応力 $\bar{\tau}_x$ 関係より求められる内部摩擦係数 μ_w は大きくなり剪断付着力 $\bar{C}_w$ が小さい値を示す。これに対し、平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ に基づく破壊包絡線より算出される内部摩擦係数 μ_m は粒径が大きくなると小さい値を示し、かつ、剪断付着力 $\bar{C}_m$ は求められないほど小さい。すなわち、内部摩擦係数 μ_m は経験的な流動性の評価順序と一致する。したがって、内部摩擦係数は、平均の実測垂直応力に基づく破壊包絡線より求められたものが正当といえる。

4) 微粉の $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係は直線で表わすことがで

き、クーロンの法則が適用できる。また、微粉においては内部摩擦係数 μ_m が大きいと剪断付着力 $\bar{C}_m$ も大きい値を示す。さらに、微粉の内部摩擦係数 μ_m は粗粉よりも大きい値を示すものもあるが、剪断付着力 $\bar{C}_m$ が粗粉に比べて大きいことから流動性の良否との対応はつく。したがって、粗粉は内部摩擦係数 μ_m の大小によって、微粉は内部摩擦係数 μ_m と剪断付着力 $\bar{C}_m$ の大小によって流動性を評価できる。

使用記号

A	: 剪断面積	[cm ²]
$\bar{C}_m$	: $\bar{\tau}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係に基づく剪断付着力 ($\bar{\tau}_x$ = $\mu_m \cdot \bar{\sigma}_{z,m} + \bar{C}_m$)	[G/cm ²]
$\bar{C}_w$	: $\bar{\sigma}_{z,w}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係に基づく剪断付着力 ($\bar{\tau}_x$ = $\bar{\mu}_w \cdot \bar{\sigma}_{z,w} + \bar{C}_w$)	[G/cm ²]
$\bar{d}_p$	: 平均粒子径	[μ m]
H ₁	: 剪断面より上部の粉粒体層高	[mm]
H ₂	: 剪断面より下部の粉粒体層高	[mm]
V _x	: 剪断速度	[mm/min.]
$\bar{\epsilon}_0, \bar{\epsilon}_0'$	: 初期空隙率	[-]
δ_x	: 水平変位	[mm]
μ_m	: $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係より求めた内部摩擦係数	[-]
ρ	: 粒子の真密度	[g/cm ³]
ρ_b	: 粉粒体の見掛け密度	[g/cm ³]
$\bar{\sigma}_{z,m}$	: 剪断面下部付近における平均の実測垂直応力	[Kg/cm ²]
$\bar{\sigma}_{z,w}$	: 載荷垂直応力	[Kg/cm ²]
$\bar{\sigma}_{z,c}$	: 圧密応力	[Kg/cm ²]
$\bar{\tau}_x$	: 剪断応力	[Kg/cm ²]

$\bar{\tau}_{x,max}$	: 最大剪断応力 ($\bar{\tau}_x$ の極大値)	[Kg/cm ²]
$\bar{\tau}_{x,s}$	: 定常剪断応力 ($\bar{\tau}_x$ の定常値)	[Kg/cm ²]
ϕ_r	: 注入角法による安息角	[deg.]

引用文献

- 1) 井伊谷, 荒川, 神保, 三輪, 共編: “粉体の物性と工学” (化学増刊31) 化学同人, (1967)
- 2) 早川宗八郎編: “粉体物性測定法” p. 80 朝倉書店 (1973)
- 3) 久保, 神保, 水渡, 早川編: “粉体—理論と応用” p. 324 丸善 (1976)
- 4) 化学工学協会編: “化学工学便覧” p. 978 丸善 (1978)
- 5) 種谷真一, 曾根敏磨: 応用物理, **31**, 286 (1965)
- 6) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 山本孝夫, 矢野武夫: 粉体工学会誌, **15**, 526 (1978)
- 7) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 矢野武夫, 山本宜之: ibid., **15**, 583 (1978)
- 8) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 矢野武夫, 岩沢 哲: ibid., **17**, 374 (1980)
- 9) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 矢野武夫, ibid., **16**, 406 (1979)
- 10) 寺下敬次郎, 宮南 啓, 矢野武夫, 山本宜之: ibid., **17**, 427 (1980)
- 11) 綱川 浩, 三枝 隆: ibid., **15**, 342 (1978)
- 12) Schofield, A. N. and Wroth, C. F.: “Critical State Soil Mechanics” McGraw Hill, London. (1968)
- 13) Schwedes, J.: Powder Technology, **11**, 59 (1975)

著者摘録

定容積一面剪断試験の破壊包絡線および内部摩擦係数におよぼす剪断セル形状およびその面積の影響を調べ、また数種類の微粉および平均粒径の異なる粉粒体を対象として、剪断面近傍における垂直応力とその分布を測定し、平均の実測垂直応力に基づく内部摩擦係数および剪断付着力を求めた結果、つぎのような結論を得た。

1) 破壊包絡線および内部摩擦係数は、剪断面積 $A \geq 78 \text{ cm}^2$ になるとセル形状およびその面積の影響を受けない。

2) 平均の実測垂直応力 $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対剪断応力 $\bar{\tau}_x$ 関係より求めた定容積一面剪断試験の内部摩擦係数 μ_m は、粗粉および微粉とも定荷重一面剪断試験による測定値と一致する。

3) $\bar{\sigma}_{z,m}$ 対 $\bar{\tau}_x$ 関係より求まる内部摩擦係数 μ_m は粒径が大きいほど小さい値を示し、微粉になると内部摩擦係数 μ_m および剪断付着力 $\bar{C}_m$ がともに大きい値を示す。したがって、粗粉は内部摩擦係数の大小により、微粉は内部摩擦係数と剪断付着力の大小によって、流動性を評価できる。

圧縮粉体成形物の剪断試験法の提案

—剪断力に及ぼす圧縮時の 2, 3 の因子および滑沢剤の添加濃度の影響—

A Proposed Testing Method for Shear Strength of Powder Compacts:
Effects of Some Factors Relating to Compression and of Concentration
of Lubricant on Shear Strength

松田 芳久*, 中川 桂子*, 谷 咲子*
Yoshihisa Matsuda, Keiko Nakagawa, Sakiko Tani

Abstract

A simplified technique for measuring the shear strength of compressed tablets is proposed. This test modifies the ASTM D 732-46 which is concerned with plastic plates.

The tablet to be tested, which was formulated from the mixture of spray-dried lactose and magnesium stearate as a lubricant, was placed in a sample holder of shear cell, and then the plunger of 5 mm in diameter was allowed to penetrate the tablet matrix axially at a constant speed. The maximum shear force on a shear stress curve was taken, and the shear strength per unit area of sheared cross section was calculated.

Two operating parameters, such as tablet weight and compression force, were varied in the range of 0.3-0.6 g and 2000-5000 kg, respectively. The concentration of lubricant was also varied from 0.5 to 2%. The shear strength was not much changed by tablet weight, while it was significantly affected by compression force. The shear strength was directly and linearly related to the porosity of tablet, and decreased with increase of both porosity and concentration of lubricant. There existed a highly significant correlation between the shear strength and the tensile strength which was calculated from the diametral tablet hardness.

著者摘録

圧縮錠剤の剪断強度を測定するための簡単な方法を提案した。この試験法はプラスチック板に関する ASTM D732-46 を改良したものである。

噴霧乾燥乳糖と滑沢剤としてのステアリン酸マグネシウムの混合処方から成る試験錠剤を剪断セルの試験室に入れ、直径 5 mm のプランジャーを一定速度で錠剤の軸方向に貫通させた。剪断応力曲線上での最大剪断力を求め、単位剪断面積あたりの剪断強度を計算した。

2つの操作変数、すなわち、錠剤重量と圧縮力は、それぞれ 0.3~0.6 g, 2000~5000 Kg の範囲で変化させた。滑沢剤の濃度は 0.5~2% まで変化させた。剪断強度は錠剤重量によってあまり変化しなかったが、圧縮力によって著しい影響を受けた。また、剪断強度は錠剤の空隙率と直線的な相関関係にあり、空隙率および滑沢剤濃度のいずれの増加によっても減少した。剪断強度と、錠剤の硬度から求められた圧壊抗張力の間には高度に有意な相関関係が成立した。

1. 緒 言

近年、粉粒体の基礎物性に関する研究の進展に伴って、粉体の付着力の測定に関する報告¹⁾が数多くみられるが、これらは a) 1 個粒子に関する付着力測定と、b) 粉体層に関する付着力測定に大別できる。これらのうち、後者はバルクの粉粒体を取扱う種々の単位操作にも密接に関係する重要な物性であるので、普遍的、かつ信頼性の高い測定法の確立と問題点の解明が急がれている。後者に属する測定法の中で、従来から行われている剪断試験法²⁾は粉体層の剪断面に垂直な方向から一定の荷重をかけたままの状態での剪断応力を測定するものであるが、この場合、垂直荷重は一般には比較的低圧でかけられている。

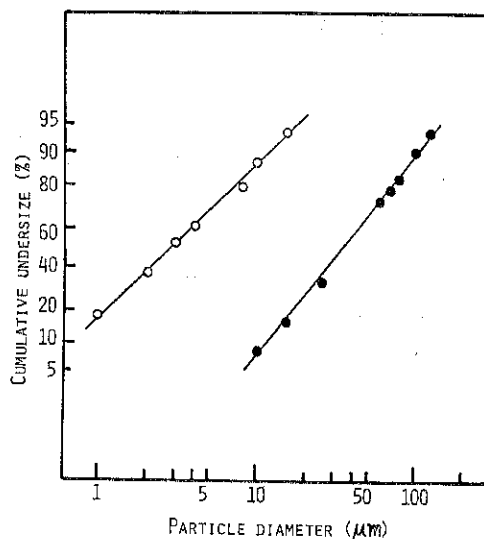
医薬品工業において製造される錠剤は高压下で得られる粉体混合物の圧縮成形体であるが、著者はこれまで、これらの製造に関して圧縮中および圧縮後の錠剤の力学的特性に及ぼす滑沢剤の添加効果を検討してきた^{3,4)}。これらの研究で着目された現象に関係する滑沢機構の解明にあたっては、粉体層あるいは成形体の内部摩擦係数や粒子間付着力に関する情報が必要である。この点に関して、剪断法は有用な測定法と考えられるが、できるだけ実情に即した状態で測定を行うためには予め成形した錠剤を用いるのが望ましい。板状成形品の剪断試験法としては既に規格⁵⁾が制定されているが、この試験法は内部に空隙を含まない均一な成形物を対象としており、かつ比較的大きい試験片が必要である。これらの点を考慮して、著者は今回、円盤状に成形した錠剤（以後は一般的な取扱いをするために成形体と称する）をプランジャーで軸方向に打抜く方法を考案した。

本報では、上記の粉体特性に関する定量的な検討に先立って、このような剪断法に関係する因子と、得られた剪断力に及ぼす滑沢剤濃度の影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 試 料

用いた試料は噴霧乾燥乳糖（日本薬局方品、100 mesh 通過品）と滑沢剤としてのステアリン酸マグネシウム（未篩別）である。光透過法（ミクロン・フォトサイザー：SKN-1000、セイシン企業製）によるこれらの試料の粒度分布およびその他の粒子特性をそれぞれ Fig. 1 および Table 1 に示した。試料粉体を混合機内で20分



● : Spray-dried lactose; ○ : Magnesium stearate

Fig. 1 Particle size distribution curves of sample powders used

Table 1 Micromeritic Characteristics of Sample Powders

Samples	Lactose	Magnesium stearate
Geometric mean particle size [μm] ^{a)}	34.0	2.8
Geometric standard deviation σ_g [—]	2.6	3.2
Specific surface area [cm^2/g] ^{b)}	1.8×10^4	6.3×10^4
Particle density [g/cm^3] ^{c)}	1.536	1.090

a) measured by photosedimentation method

b) measured by air permeability method

c) measured with Beckman air comparison pycnometer

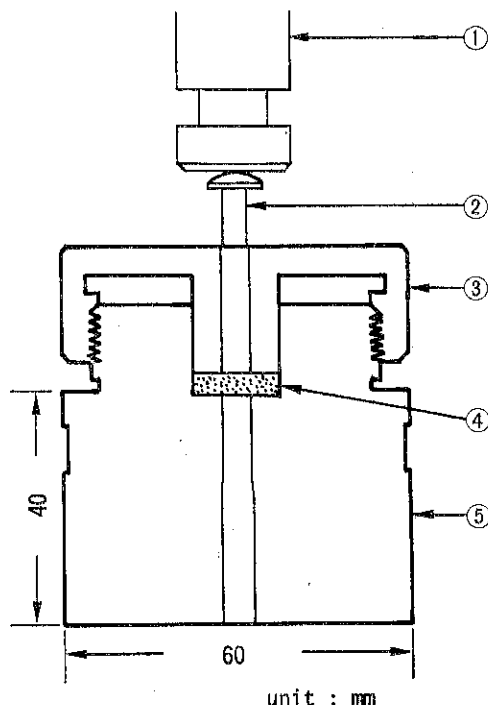
間混合し、滑沢剤の添加濃度として0.5、1.0、および2.0%の混合試料を調製した。各試料ごとに0.3、0.4、0.5、0.6gを精秤し、材料試験機（オートグラフIS-5000、島津製作所製）の粉体圧縮装置により15mm/minの圧縮速度で直径15mmの錠剤に成形した。圧縮力は2000、3000、および5000Kgであり、各条件につき5錠ずつ成形した。これらの実験条件下で得られた成形体の厚さの最大および最小値は、それぞれ2.507mm（0.6g、2000Kg）および1.244mm（0.3g、5000Kg）であった。2成分系成形体の空隙率 ϵ は(1)式⁶⁾によって求めた。

*神戸女子薬科大学製剤学研究室
(〒658 神戸市東灘区本山北町4-19-1)
Tel. (078) 453-0031

$$\varepsilon = 1 - \rho_B \left(\frac{x}{\rho_x} + \frac{y}{\rho_y} \right) \quad (1)$$

2.2 剪断試験

Fig. 2 に示すような剪断試験装置を試作した。成形体を臼部のポケットに置き、上部のスクリュー・キャップを締めて成形体を固定する。この場合の締付けは、キャップの下面が成形体の上面に接触した時点で停止した。



- ①: Load cell; ②: Plunger; ③: Screw cap;
④: Tablet ⑤: Die

Fig. 2 Diagram of shear cell for compressed tablet

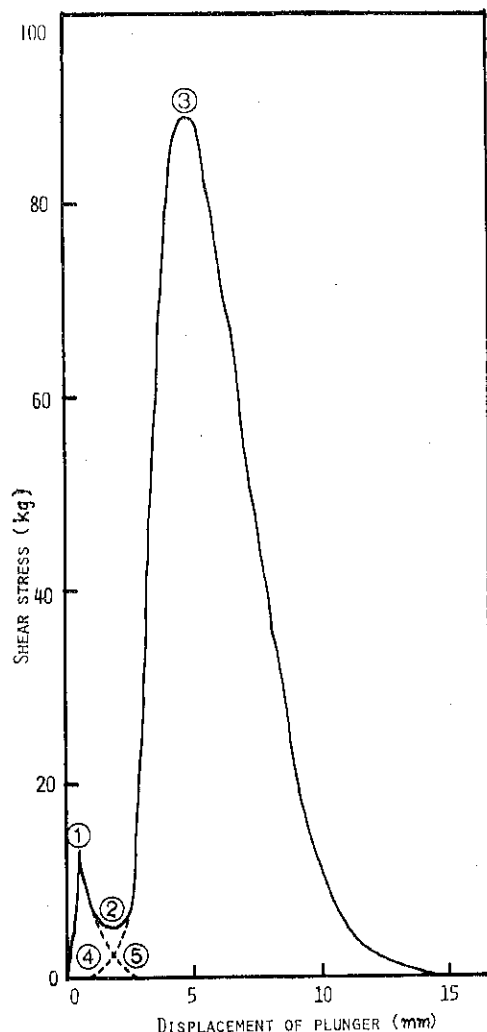
キャップの中央部にあるプランジャー用ガイドに直径 5 mm のプランジャーを挿入し、これを 15 mm/min の速度で下方へ移動させた。これらの剪断過程においてプランジャーの球面座を介してロードセルに伝達される剪断応力をレコーダーに記録させた。なお、実験条件下での剪断応力の最大および最小値は、それぞれ 35.0 Kg (0.6 g, 5000 Kg, 滑沢剤無添加) および 1.4 Kg (0.3 g, 2000 Kg, 滑沢剤 2%) であった。プランジャーが成形体を貫通した時点で、成形体はプランジャーの直径に応じた外径をもつ円柱状部分と、同様の内径をもつ円環状部分に 2 分される。したがって、これらの剪断面における粉体層の剪断力は (2) 式

$$\tau = \frac{F}{2\pi rh} \quad (2)$$

によって求められる。なお、剪断面とプランジャーの間の摩擦抵抗が無視できるようにプランジャーの側面にシリコン・オイルを毎回塗布した。

2.3 成形体の圧壊強度の測定

剪断試験の場合と同じ条件で新たに 5 錠ずつ成形した試料について圧壊強度を測定した。すなわち、成形体を材料試験機の台座の上に固定し、上部加圧板によって直径方向に圧壊した。加圧板の降下速度は 20 mm/min であり、記録紙のフルスケールは圧壊強度の 5 倍以下とした。試料が完全に圧壊するまでの過程をレコーダーに記録し、このとき得られた最大指示値を圧壊強度とした⁷⁾。



tablet weight: 0.5g
tablet thickness: 2.118mm
compression force: 3000kg
concentration of lubricant: 0.5%

Fig. 3 Shear stress curve

3. 実験結果および考察

3.1 剪断過程における剪断応力の変化

Fig. 3 に代表的な剪断応力曲線を示す。剪断応力はプランジャーの降下開始直後に急激な立ち上がりを示し、鋭利な第1ピーク①を経た後、一旦わずかに低下して鞍部②に至る。その後再び応力の増大がみられ、第2ピーク③において最大応力を示した後、②→③の上昇過程よりもなだらかな曲線を描いて消滅する。曲線の立ち上がり点から第1および第2ピークに至るまでのチャートの走査距離とチャートの送り速度、および白穴の諸元の精密測定の結果に基づいてこれらの剪断過程を解析すると、第1ピークは成形体が剪断される瞬間に対応し、第2ピークは成形体から脱離した円柱状破断片の上面が Fig. 4 において白穴の入口から 1.75 mm 侵入した点で

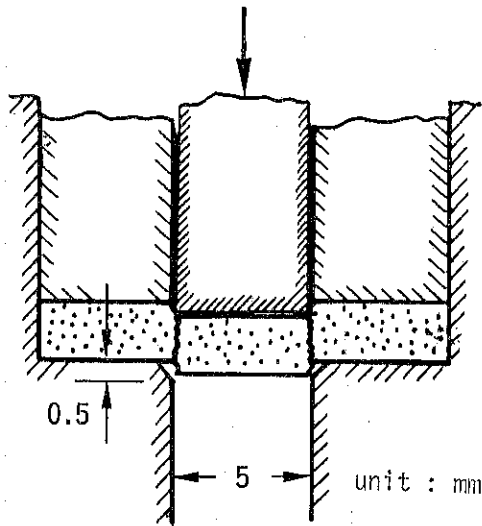


Fig. 4 Detailed diagram of shear cell

現われることが判明した。更に①→②→③の曲線部は曲線①→⑤と曲線④→③が合成されたものであると考えることができる。すなわち、曲線①→⑤は成形体の下部に白穴がない場合に示す仮想的剪断曲線であり、⑤の点で破断片が成形体から完全に脱離する。しかし実際には破断片が脱離する以前に破断片の下面が④の点で白穴に接触するので、白穴への突入に伴う摩擦抵抗が曲線④→③となって増大する。このような曲線のパターンは他の試料および条件についてもほぼ同様の傾向を示したので、本報ではピーク①を最大剪断応力とみなすことにした。

3.2 滑沢剤濃度が剪断力に及ぼす影響

Fig. 5 に成形の際の圧縮力をパラメーターにした滑沢

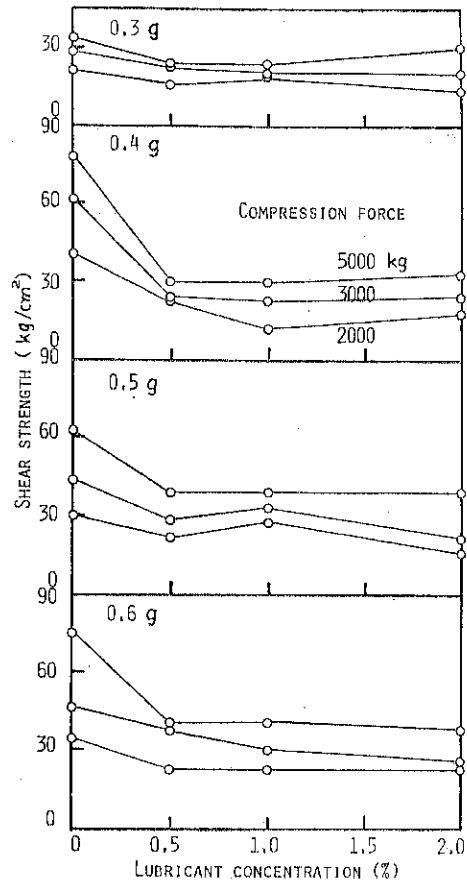


Fig. 5 Effect of lubricant concentration on shear strength

剤の添加濃度に対する剪断力の変化を示した。図中で各プロットは5回の測定値の平均を示す。予想される如く、剪断力はいずれの充てん量（重量）および添加濃度に対しても圧縮力の増加に伴って一様に増大しており、成形条件が成形体内部の粒子間結合力に影響を及ぼしていることが明確に示されている。また剪断力に及ぼす充てん量の影響については、0.3 g の場合に全体的にやや小さい値を示したが、その他の充てん量では顕著な差異は認められず、特に 0.5 g と 0.6 g の場合にはいずれの圧縮力に関しても良好な一致を示した。これらの結果から、剪断力に及ぼす実験条件の影響としては充てん量よりも圧縮力の方がより支配的であるといえる。

一方、滑沢剤濃度の影響については、0.4 g 以上の充てん量においていずれの圧縮力の場合もほぼ同様の結果が得られた。すなわち、剪断力は 0.5 % の添加で有意な低下を示したが、1 % 以上の添加濃度では概ね一定とみなし得る状態となった。また、この添加効果は圧縮力が増大するほどより明確に現われた。ところで、乳糖顆粒

とステアリン酸マグネシウムの系においては、打錠後の錠剤を白穴から放出するのに必要な仕事量は、滑沢剤が無添加の場合に比べて、添加した場合にはごく少量で著しく減少するが、この減少傾向は1%の添加濃度でほぼ最大の滑沢効果を示して停止し、これ以上の添加はもはや白穴壁面と錠剤側面の間の摩擦抵抗の改善には寄与し得ない⁹⁾。これら2種の現象において滑沢剤の効果の発現のしかたに良好な一致が認められたという事実は、本報におけるみかけの剪断力には摩擦力が当然関与していることを示唆している。ステアリン酸マグネシウムの粒子は摩擦に際して展延性を示す⁹⁾ので、これら2つの現象における剪断面あるいは摩擦面ではステアリン酸マグネシウムは乳糖粒子の表面に薄膜に近い状態で展開していると考えられる。この場合、薄膜には滑沢性において必要十分な厚みがあるために、この量を越える厚みでは膜厚に対応するだけの十分な滑沢性を発揮し得ないのかも知れない。

これまでの検討によって剪断力は充てん量および圧縮力の影響を受けることが明らかとなったが、いずれの因子も成形体内部の粒子の充てん状態に関係しているので、より直接的な因子としてこれらを空隙率で代表させるのが妥当である。そこで、Fig.5の結果を整理するとFig.6が得られた。Fig.6から明らかなように剪断力と

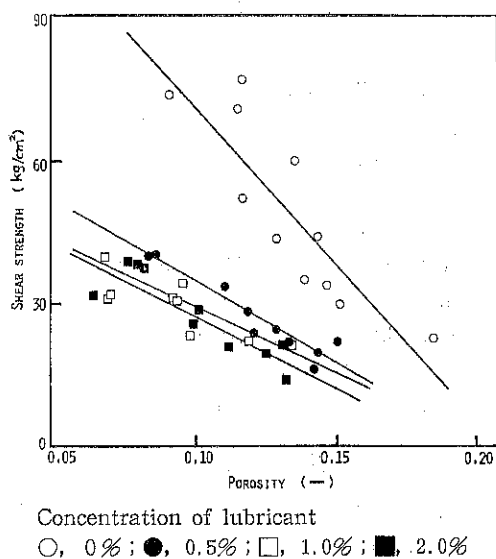


Fig. 6 Effect of porosity on shear strength

空隙率の間にはいずれの添加濃度についても直線で近似できる相関関係が成立した。これらのデータから得られた回帰直線は実験範囲内では交差せず、同一の空隙率に対する剪断力は添加濃度の増加につれて単調的に減少し

ている。この結果はFig.5の傾向と矛盾しない。剪断力の空隙率に対する依存性(回帰直線の傾き)は滑沢剤添加の場合には大きな変化は認められなかったのに対して、無添加の場合には明白に現われている。これは滑沢性に乏しい粉体ほど剪断抵抗が充てん状態に対して敏感であることを示唆している。

3.3 圧壊抗張力に及ぼす滑沢剤の添加濃度の影響

Fig.7に圧壊強度Pから求めた成形体の圧壊抗張力 σ_0 に対する滑沢剤濃度の影響を示した。ここで σ_0 は(3)式^{9,10)}によって計算した。

$$\sigma_0 = \frac{2P}{\pi D h} \quad (3)$$

Fig.7を通観するといずれの圧縮力においても充てん量による抗張力の変動は少なく、この傾向は特に添加濃

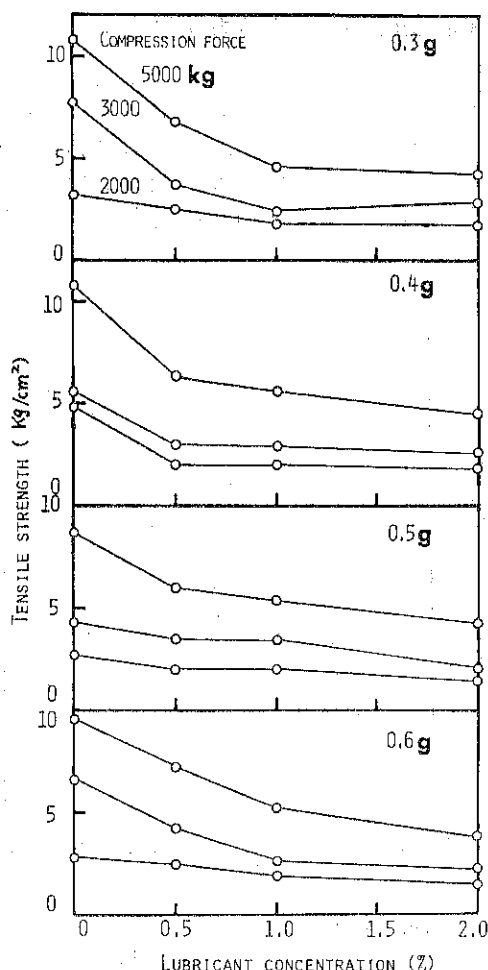
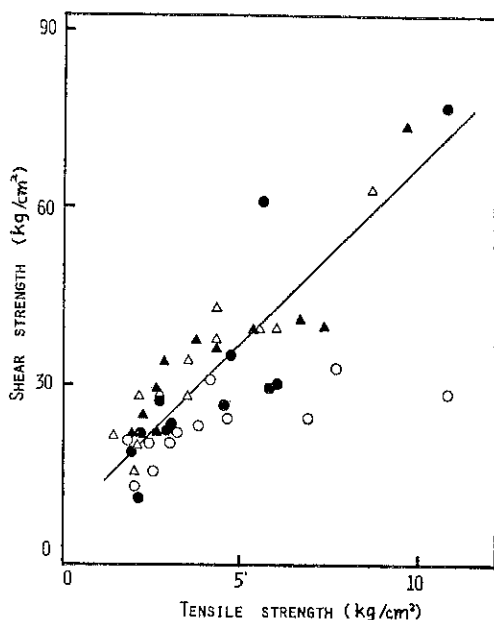


Fig. 7 Effect of lubricant concentration on tensile strength

度が比較的高い領域において顕著である。この場合、圧壊強度の測定値のパラツキは添加濃度の増加に伴って減少する傾向を示した。圧壊現象は構造敏感性を有するので、添加濃度の高い領域では成形時の滑沢効果が大きいために成形体内部の応力分布のムラが均等化され、その結果、強度のパラツキも低下するものと考えられる。ところが、一方では圧縮時の粒子間摩擦の改善は成形体の強度の面では逆の効果を及ぼしていることになり、これらの結果は錠剤機を用いて高速圧縮（圧縮速度=64.1 mm/sec）された錠剤の強度に関して得られた傾向⁴⁾とも良好な一致を示している。圧縮力の影響については、充てん量のいかに拘らず圧縮力が増大するにつれて圧壊抗張力も増加したが、この影響は滑沢効果が十分でない低濃度ほど増幅される傾向にあるという点でFig.5と酷似している。したがって、剪断力と圧壊抗張力の間にはなんらかの相関関係があるはずである。

3.4 剪断力と圧壊抗張力の関係

Fig.8にすべてのデータについて剪断力を圧壊抗張力に対してプロットした。図から明らかなように、0.3 gにおける2, 3のプロットを無視すれば、全体的には両者の間に高度な相関性 ($r=0.880$, $p<0.01$; $n=45$) が成立する。この場合、剪断力は圧壊抗張力の約6倍となった。



Tablet weight

○, 0.3g; ●, 0.4g; △, 0.5g; ▲, 0.6g

Fig. 8 Relationship between shear strength and tensile strength

以上の結果から、粉体成形物を用いた剪断試験では、剪断力と圧壊抗張力の間に密接な関係が存在することが判明した。本報で検討された圧壊強度は実用錠剤に適用される「硬度」と同じ定義に基づいているので、剪断力の測定から得られる情報が製錠時の製品強度の管理にも利用できることを示している。剪断過程の精察による滑沢機構の解明が今後の研究課題である。

4. 結 論

試作した錠剤用剪断試験装置を用いて乳糖—ステアリン酸マグネシウム混合粉体の成形体の剪断試験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 剪断力は成形条件（充てん量および圧縮力）によって影響を受けたが、これらの因子のうち、圧縮力が支配的である。圧縮力の増加に伴って剪断力も増加した。
- 2) 滑沢剤の添加によって剪断力は低下したが、1%以上の添加濃度ではその効果は増大しなかった。
- 3) 剪断力は成形条件のいかに拘らず、空隙率によって一義的に定まることが判明した。剪断力はいずれの添加濃度においても空隙率の増加に伴って直線的に低下した。
- 4) 剪断力と圧壊抗張力の間には高度の相関関係が認められた。

使 用 記 号

- ϵ : 空隙率 [—]
- ρ_B : 成形体の高密度 [g/cm³]
- ρ_x, ρ_y : x 成分および y 成分の粒子密度 [g/cm³]
- x, y : x 成分および y 成分の重量分率 [—]
- τ : 剪断力 [Kg/cm²]
- F : 最大剪断応力 [Kg]
- r : プランジャーの半径 [cm]
- h : 成形体の厚さ [cm]
- σ_0 : 圧壊抗張力 [Kg/cm²]
- P : 圧壊強度 [Kg]
- D : 成形体の直径 [cm]

引 用 文 献

- 1) 第37回研究談話会講演要旨集（化学工学協会主催），名古屋，1977.
- 2) 宮南 啓，寺下敬次郎，矢野武夫：粉砕，[24]，22 (1979).
- 3) Matsuda, Y., Y. Minamida, and S. Hayashi: J. Pharm. Sci., **65**, 1155 (1976).
- 4) 松田芳久，三原真理，井上弘美：日本薬学会第98年会講演要旨集，p.187，岡山，1978；J. Pharm.

Sci., in preparation.

- 5) ASTM D732-46 : Standard Method of Test for Shear Strength of Plastics.
- 6) 岡田寿太郎, 松田芳久, 和田泰享 : 薬学雑誌, 88, 647 (1968).
- 7) 日本粉体工業協会規格 G001, 造粒物の圧壊強度の測定方法 : 粉工誌, 15, 214 (1978).

- 8) 前川秀幸, 坂元照男, 武田広之 : 日本薬学会第94年会講演要旨集, 第4分冊, p.162, 仙台, 1974.
- 9) Rudnick, A., A. R. Hunter, and F. C. Holden : Mater. Res. Stand., 1, 283 (1963).
- 10) Fell, J. T. and J. M. Newton : J. Pharm. Sci., 59, 688 (1970).

特許一言メモ No. 16

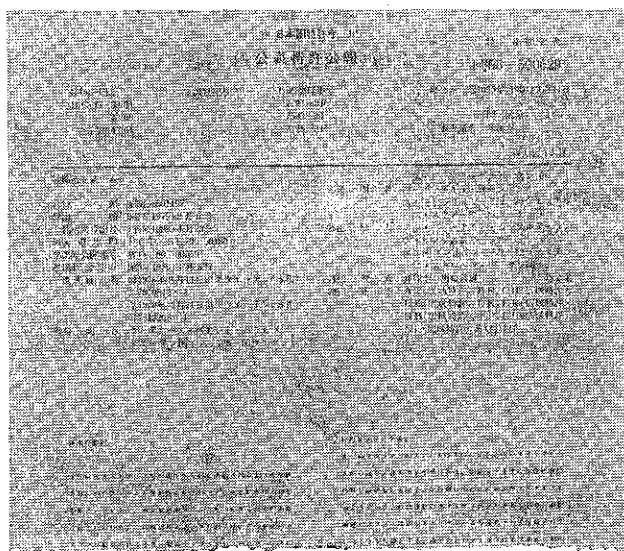
新たに発行される公表公報

特許協力条約(PCT)での国際出願のうち, わが国を指定国とする外国人出願で, 日本語の翻訳文の提出のあったものだけを, 今回新たに公表公報として特許庁より発行されることになった。これは本来, 特許出願されたものが1年6ヶ月で公開公報として発行されるべきを, PCT出願という出願方式の違いから新たに, 公表

公報として公開されるもので, 公表特許公報と公表実用新案公報の2種類となる。この公表公報のサイズは, 従来のこの種公報と違ってA4版と少し大きくなり, 第1号は既に昭和54年7月発行された。

(注) PCT (Patent Cooperation Treaty) については本誌第22号(1977) p.22に掲載。(M. N生)

見 本



連続式流動層による石膏粒子のか焼に関する実験的研究

Experimental Study for the Dehydration of Gypsum Particles in Continuous Fluidized Bed

田中 勇武* 内田 正義** 篠原 久***
Isamu Tanaka Masayoshi Uchida Hisashi Shinohara

Abstract

The dehydrate gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) must be dehydrated to hemihydrate one ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), when gypsum is utilized as plaster, board and so on.

Thermal dehydration of gypsum particles, whose average diameter is $65\mu\text{m}$, was examined in the continuous fluidized bed. The experimental condition was as follows.

feed rate of gypsum particles : $2 \sim 14 \text{ g/min}$

superficial air velocity : $8.8 \sim 16.7 \text{ cm/s}$

bed temperature : $100 \sim 160^\circ\text{C}$

diameter and length of column : 67 mm and 1.5 m

Experiments resulted in that the efficiency of dehydration of gypsum particles in continuous fluidized bed may be superior to that in batch gypsum kiln.

著 者 摘 録

石膏を石膏プラスター、ボード等として利用するには、二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) を半水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) にか焼する必要がある。

ここでは、平均粒子径 $65 \mu\text{m}$ の石膏粒子を連続式流動層を用いてか焼実験した結果を述べる。

実験条件は下記の通りである。

石膏粒子の供給速度 : $2 \sim 14 \text{ g/min}$

空気の空塔速度 : $8.8 \sim 16.7 \text{ cm/s}$

流動層内温度 : $100 \sim 160^\circ\text{C}$

流動塔径および塔高 : 67 mm , 1.5 m

連続式流動層による石膏のか焼効率率は現在広く稼動している回分式焼成釜に比較して良好であることが認められた。

1. 緒 言

石膏の主原料である天然石膏は、世界的には豊富に存

在する資源であるが、本邦では、天然石膏の生産は、需要の2%程度¹⁾であるので現在ではリン酸工業から副生される石膏および硫酸化物の大気汚染防止装置から副生する排煙脱硫石膏が、原料の主流を占めている。

一方、これら副生石膏の生産量は、近年需要量を大きく上回り、その利用技術の拡大が待ち望まれている²⁾。副生石膏の現時点における主な用途は、二水石膏 (Ca

*産業医科大学 労働衛生工学

(〒807 北九州市八幡西区医生ヶ丘1-1)

Tel. (093) 603-1611(代)

**東洋エンジニアリング㈱

***福岡大学工学部

SO₄・2H₂O) のままセメント凝結調節剤、または半水石膏 (CaSO₄・1/2H₂O) である焼石膏に加工した後、石膏プラスター、石膏ボード、陶磁器用製材等としての利用である。

副生石膏は、通常二水石膏として生産され、これを焼石膏に加工するには、二水石膏をか焼（加熱して、結晶水を除去する操作）して、半水石膏に変換しなければならない。

現在、この工程には、1～30トンのか焼釜が用いられ、150～200℃で2～4時間、パッチ式でか焼し、いったん、Ⅲβ無水石膏とした後、大気中熟成により水分を吸収させて半水石膏とする方法がとられている⁵⁾。

効率よく石膏をか焼するためには、できるだけ少ない熱エネルギーで、未か焼の二水石膏の残存量を少なくし、半水石膏の生成量を増加させることである。石膏はか焼する温度によって、Table 1 に示すように、その結晶形が微妙に変化するため、均一温度でか焼することが重要となる。現在稼動している焼成釜では、温度制御が難しく、局部的加熱部が生じるため、不溶性石膏 II CaSO₄ の生成が予想される。また、回分操作であるため、品質むらとか多量のエネルギーを消費するという問題点もある。

ここでは、この焼成釜のかわりに、流動層を用いて、二水石膏をか焼することを考える。

流動層は、粉粒層全体の温度を均一に保つことができ、かつ、その調節が容易である。また、粉粒層を浮遊した状態でとりあつかうため連続操作が容易である。このように、流動層は、焼成釜の欠点である、局部加熱をさけ、連続運転ができるため、石膏をか焼するのに優れた装置と考えられる。

本報告においては、上述した特徴をもつ連続式流動層を用いて、石膏粒子をか焼した実験結果について述べる。

2. 実験に用いた石膏試料

実験試料としては、リン酸副生石膏を用いた。その成分分析結果、および風篩法により求めた粒度分布を各々 Table 2, Fig. 1 に示す。Table 2 の結果は、既往の分析値¹⁾とほぼ同じ傾向を示した。Fig. 1 から50%の粒子が通過する流速 $U = 25.5 \text{ cm/s}$ をこの石膏粒子群の終末速度 U_t とし、この U_t を次式に代入して、 C_D/R_0 の値を求め、 C_D/R_0 対 R_0 の表²⁾から、 R_0 を算出し、球相当の代表粒子径 $D_p = 65 \mu\text{m}$ を得た。

$$C_D/R_0 = 4g\mu(\rho_s - \rho)/3\rho U_t^2 \quad (1)$$

ただし、石膏の粒子密度 ρ_s は 2.32 g/cm^3 である。一方、実験試料を顕微鏡で観察すると、石膏粒子は、針状の結晶粒子であり、200個無作為にその幾何寸法を測定した結果、針状粒子の長さ平均径 $39 \mu\text{m}$ 、および針状粒子長さ $165 \mu\text{m}$ であった。

Table 1 State of gypsum

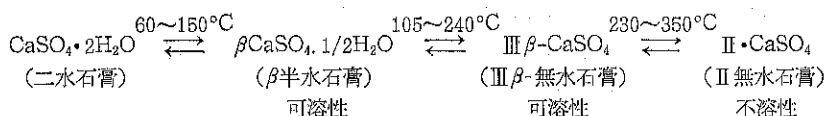


Table 2 Analysis of sample

H ₂ O	CaO	SO ₃	SiO ₂ +Insol.	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	MgO
20.3%	31.7%	44.9%	1.8%	1.0%	0.2%

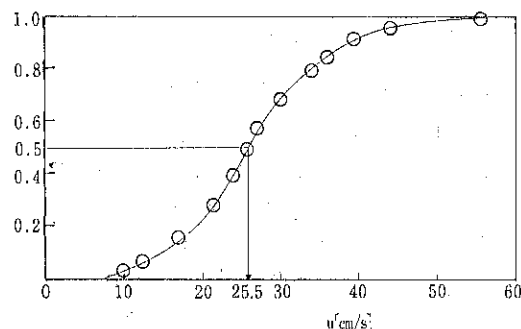


Fig. 1 Cumulative Particle size distribution curve by elutriation method

3. 実験装置および方法

実験装置の概略を Fig. 2 に示す。ブロワから送入された空気は、脈動止タンク、四分円ノズルで流量を測定した後、流量調節バルブを経て、流動層下部へ導入される。流動層下部には電熱線が挿入されており、流入した空気は、ここで所定の温度までに加熱される。加熱空気は、3～5 ϕ のガラス球が10 cmの高さに充填してある整流部を抜けて、50 μm ステンレス粒子を焼結した分散板を通して流動層本体へと流入する。流動層本体は、内径67 ϕ のステンレス製円管で、分散板から溢流管までの高さは、6 cm および12 cm の二種類のものを用いた。なお、流動層本体は、保温のため円管外壁にリボンヒーターとその外側に保温材がまかれており、壁温と流動層との温度が同一になるように調節した。流動層を通り抜けた空気は、サイクロンで同伴した石膏粒子を分

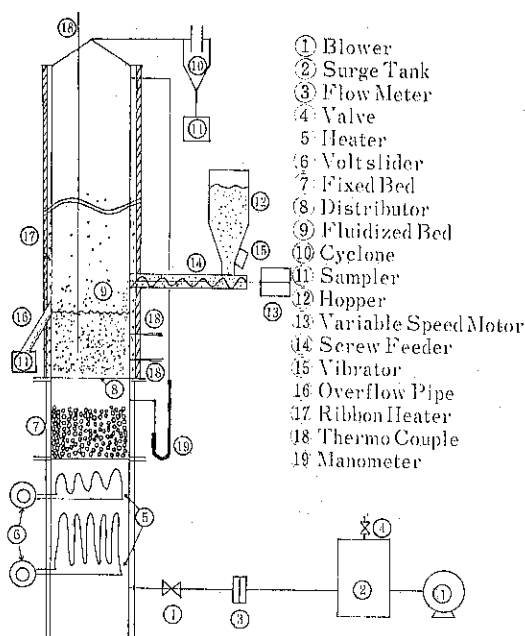


Fig. 2 Experimental apparatus

離した後、排出される。

一方、石膏粒子は、ホッパーに投入され、スクリーフィーダにより層内へ供給した。その際モータ付無段変速機により、5～6段階に供給速度を変えた。また、石膏粒子は、ホッパーからスクリーフィーダへの接続部で閉塞現象が生じやすいため、ホッパー下部の外壁にバイブレーターをとりつけ、加振し、スムーズな粉体の供給ができるようにした。供給された粒子は、流動層中で所定の温度で一定時間焼された後、大部分の粒子は、溢流管から排出され、一部の粒子は、空気に同伴されて、サイクロンで分離捕集される。排出された粒子群を一定時間サンプリングし、供給付き秤量びんに入れ、常温に戻した後その重量を秤量した。さらにその秤量した試料を250～300℃の恒温乾燥器に入れ、石膏中の結晶水分を除き、その重量を秤量した。

なお、実験条件としては、層内の温度を100～160℃の範囲で、粒子の供給速度Fを2～14 g/minで変えた。空塔ガス速度Uの操作範囲は、次のようにして求めた。流動層本体と同型のものを透明のアクリル樹脂で試作し、観察の結果、Uが2 cm/s 付近までは流動層の外観は完全に静止の状態をしていた。Uが2～6 cm/s では不完全な流動状態を示し、いわゆるチャンネリングを起こして、ガスの吹き抜けが生じ、マンオメーターの読みも再現性がなかった。6 cm/s を越えると、マンオメー

ーの読みも一定となり、良好な流動状態が得られた。さらにUが増加し、10 cm/s 以上になると気流に同伴されて飛び出す微粒子がみられ、16 cm/s になると溢流粒子量の約5%程度の飛び出し粒子量となった。この結果、Uは8.8～16.7 cm/s の範囲とした。これは常温でえられた観察の結果であるが温度が高くなっても、その温度におけるUが同じであれば、良好な流動状態が得られるとして実験を遂行した。なお、流動化開始速度については、流動層の流動化度の指標として重要な値であるが、前述のようにUが低速域では、実験試料が微粉のためか安定な値が得られず、測定できなかった。(計算値は0.9 cm/s であった。)

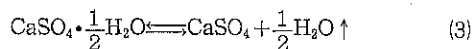
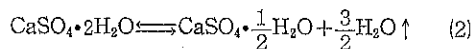
また、上記の流動化条件においては、流動層頂部から挿入した熱電対により、粒子層内は、均一温度であることを確かめたので、層中央部に熱電対を固定し、温度を計測した。層内粒子保有量Wは、粒子層による圧力損失 ΔP を測定しこれに塔断面積Aを乗じて求めた。Wは同一流速においてFを上記の操作範囲で変化させても余り変化はみられず、Fが増大するにつれて、わずかに増加する傾向がみられた。一方、同一Fにおいて流速Uを変化させると、Uの増加に従い、Wは減少することが認められた。また、溢流管高さLによっても変化し、Lが2倍になると同一U、FでほぼWが2倍となることが認められた。

このことから流動層内の粒子平均滞留時間 $\bar{\theta}$ はW/Fで算出されるが、U、LおよびFの変化につれて変化することがわかった。

他方、か焼率を求めるために、流動層によるか焼実験とは別に、次の実験を行った。ある少量の秤量された原料石膏を250～300℃の恒温器中で2～3時間か焼し、結晶水分を全部除去し、この重量を計測して、原料中の水分割合を求めた。

4. か焼率の算出法

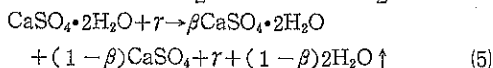
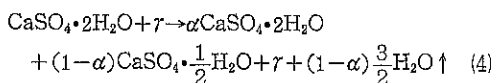
二水石膏をか焼すると Table 1 に示すように、次の2段階の反応が生じる。



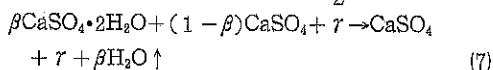
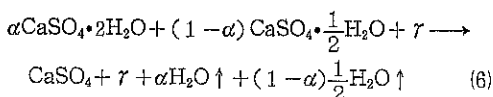
反応がE_{q.}(2)の段階でとどまるか、E_{q.}(3)まで進行するかは、か焼温度およびか焼時間に大きく影響されると考えられる。一般にか焼温度が60～150℃ではE_{q.}(2)が、105～240℃ではE_{q.}(3)の反応まで進行するといわれている⁵⁾。ここではE_{q.}(2)でとどまる場合のか焼率 η_I とE_{q.}(3)まで進行した場合のか焼率 η_{II} を次の方法で算出した。

a) 流動層におけるか焼実験においては各々そのか焼温

度領域において次の二つの反応が生じる。



b) Eq. (4), (5) に従って流動層で焼された粒子をさらに 250~300°C の恒温器中で水分を除去する反応は、各々次式で示される。



c) 流動層によるか焼実験とは別に、ある計量された石膏原料粒子を 250°C~300°C の恒温乾燥器で水分を除去する反応は、次式で示される。



Eq. (4)~(8) において、Eq. (4)~(8) の右辺の重量および Eq. (8) の左辺の重量を測定した。各々の重量を a, b, c, d, e および f とする。なお式中↑の記号で示された水分は、水蒸気として蒸発したことを示しており、重量測定には含まれない。

d) か焼率の定義は次式で示される。

$$\eta_I = 1 - \alpha \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} / \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 1 - \alpha \cdot 2\text{H}_2\text{O} / 2\text{H}_2\text{O} = 1 - \alpha \quad (9)$$

$$\eta_{II} = 1 - \beta \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} / \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 1 - \beta \cdot 2\text{H}_2\text{O} / 2\text{H}_2\text{O} = 1 - \beta \quad (10)$$

Eq. (6), (8) を Eq. (9) に代入し整理すると次式を得る。

$$\eta_I = \{1 - (a - c)e / c(f - e)\} \frac{4}{3} \quad (11)$$

同様に、Eq. (7), (8) を Eq. (10) に代入し、整理すると次式が導かれる。

$$\eta_{II} = 1 - (b - d)e / d(f - e) \quad (12)$$

Eq. (11), (12) において a~f の重量を計測することにより η_I , η_{II} を算出した。

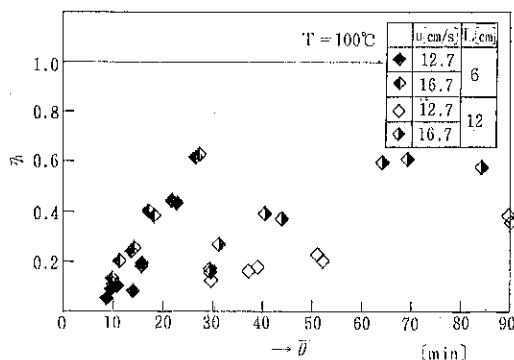


Fig. 3 Relation between η_I and $\bar{\theta}$

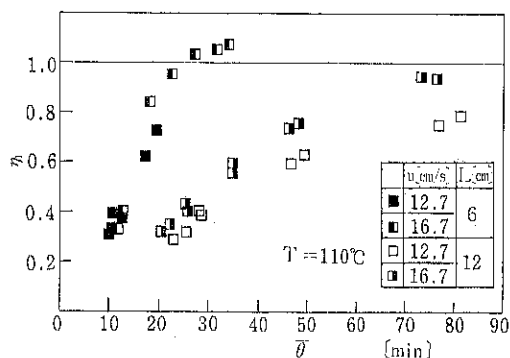


Fig. 4 Relation between η_I and $\bar{\theta}$

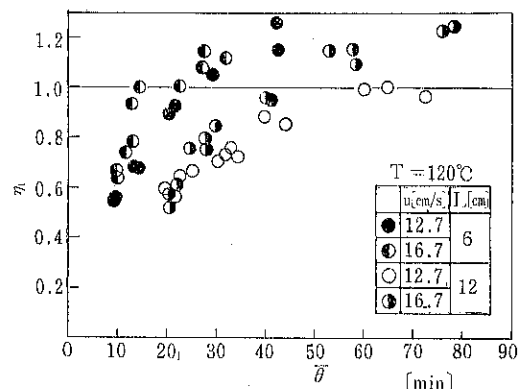


Fig. 5 Relation between η_I and $\bar{\theta}$

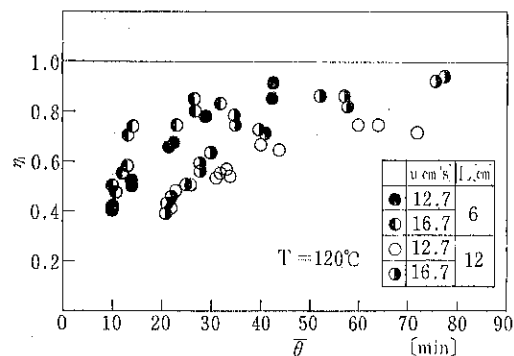


Fig. 6 Relation between η_{II} and $\bar{\theta}$

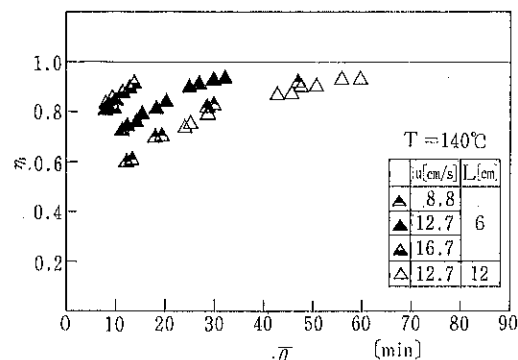


Fig. 7 Relation between η_{II} and $\bar{\theta}$

5. 実験結果および考察

層温度 T を一定に保って、粒子の供給速度 F 、空気速度 U および溢流管高さ L を変えて得られたか焼率の実験結果を Figs. 3~7 に示す。Fig. 3~5 は、 η_I で Figs. 6, 7 は η_{II} で整理している。Fig. 4 の $T=110^\circ\text{C}$ においては、まだ、か焼率が 1.0 を越える値は、ほとんどみられないが、Fig. 5 の $T=120^\circ\text{C}$ になると η_I の値が 1.0 を越えるようになる。これは、 $T=120^\circ\text{C}$ になると、反応が Eq. (2) だけの段階にとどまらず、Eq. (3) へ移行していることを示していると考えられる。これらの図から Eq. (2) の第一段反応にとどまるのは、層温度が 120°C 以下と予測される。この値は、石膏を成型加工して得られている値^{2,6)} や示差熱分析で得られた値⁹⁾ の $140\sim 160^\circ\text{C}$ に比較して低い値となっているが、化学便覧の値⁹⁾ $105\sim 240^\circ\text{C}$ の範囲内に入っている。

Fig. 3~7 から $\bar{\theta}$ 大、 U 大、 L 低になると、か焼率が增加することがわかる。 $\bar{\theta}$ については、か焼時間が長くなり、 U が大、すなわち、供給熱風が増加すれば η は増加するという当然の結果である。しかしながら、各実験値を検討してみると、 $\bar{\theta}$ を大にすると、粒子の処理能力が減じ、また実験結果から η はある $\bar{\theta}$ で飽和してしまっており、ある値以上にしても無駄焼きとなる。一方、熱風量の増加には、熱効率の観点から問題があるし、また、 U を増加させることは、未か焼の石膏粒子の飛び出し量を増加させるので、この観点からも効率の低下が生じ、 U に関しては、最適値があると推定される。

溢流管高さ L の影響については、 L が大なほどか焼率は低下している。これは、分散板から流入した空気が気泡として流動層の粒子層を上昇するにつれて、気泡が合体し、大気泡に成長するため、層上部になればなるほど粒子—気泡間の接触が悪くなることが一因と考えられる。このことは、装置をスケールアップする際に軸方向に粒子層を増加させるのではなく、半径方向に容量を増加させて層高の低い流動層を用いた方がよいことを示唆している。

Fig. 8 に η_I, II に与える温度の影響を示す。この図によれば、 $T=160^\circ\text{C}$ で $\bar{\theta}=30$ 分、 $T=150^\circ\text{C}$ で $\bar{\theta}=40$ 分、 $T=140^\circ\text{C}$ で $\bar{\theta}=50$ 分程度で η_{II} の値は、ほぼ飽和値に達している。すなわち、この操作条件で石膏のか焼を行えば充分であると考えられる。これらの温度は、現在稼動している焼成釜の下限温度に近く、また $\bar{\theta}$ も短い。特に、Table 1 に示したように、高温域でか焼すると、不溶性石膏 $II \text{CaSO}_4$ の生成の可能性も考えられるので、流動層か焼装置のように低温域で操作できることは、大きな利点となる。

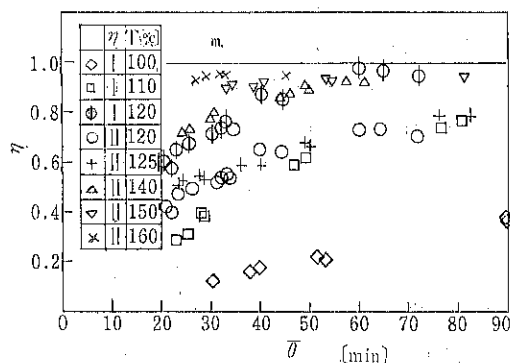


Fig. 8 Effect of bed temperature on fractional dehydration of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

しかしながら、Fig. 8 から明らかなように、か焼率が 100% にはなり得ない。これは、流動層中の粒子群は、ほぼ完全混合であるため、常に、溢流粒子中に、未か焼の粒子群を含んでいるためである。この反応率向上のためには、層を多段化、多室化することが考えられる。一方、熱効率から考えても流動層から排気される空気の温度は、層温度とほぼ等しいので、この高温排ガスを利用して、上段の粒子層をか焼する多段流動層を検討することは、重要である。

これら層の多段化についての基礎的知見はすでに報告した^{7~10)}。今後は、多段流動層を用いたか焼実験を行ない反応率、熱効率を検討する必要があると考えられる。

6. 結 論

- 1) 石膏のような微粉粒子でも、連続式流動層を用いて、か焼できることがわかった。
- 2) 流動層高を低く、温度を高く、流速を大にするほどか焼率は増加することが認められた。しかし、温度、流速条件にはある限定があることを示した。
- 3) 流動層を用いたか焼装置では、層温度が 120°C 付近で石膏の反応過程が変化することが推察された。

本報告では溢流粒子の結果のみ述べたが、飛び出した粒子のか焼率の評価については、現在検討中である。

謝辞

本実験に御協力いただいた九州大学工学部学生、板谷式保（現三井石油化学）加来宏行（現パプコック日立）鈴木俊雄（現デュポンファースト）大久保隆義（現昭和電工）の諸氏に深謝いたします。

使用記号

- A : cross-sectional area of column [cm²]
a, b, c, d, e, f : weight of solids [g]
 C_D : friction factor of particles [—]

D_p : particle diameter [μm]
 F : feed rate of solids particles [g/min]
 g : gravitational acceleration [cm/s²]
 L : distance from distributor to overflow pipe [cm]
 ΔP : pressure drop of fluidized particles bed [cmH₂O]
 $Re = D_p U_t \rho / \mu$ [-]
 T : bed temperature [°C]
 U : superficial air velocity at bed temperature [cm/s]
 U_t : terminal air velocity at normal air temperature [cm/s]
 W : holdup of fluidizing particles in bed [g]
 $\alpha = 1 - \eta_I$ [-]
 $\beta = 1 - \eta_{II}$ [-]
 r : inert materials [mol]
 μ : air viscosity [g/cm·s]
 ρ : air density [g/cm³]
 ρ_s : particles density [g/cm³]
 ω : weight fraction of elutriated particles to initial holdup of particles in bed [-]

η_I : fractional dehydration of CaSO₄·2H₂O by Eq. (11) [-]
 η_{II} : fractional dehydration of CaSO₄·2H₂O by Eq. (12) [-]

引用文献

- 1) 安藤, 佐治: “無機工業化学”, 288 東京化学同人 (1973)
- 2) Ishida M., M. Kamata and T. Shirai; J. Chem. Eng., Japan, 3, [2]201 (1970)
- 3) 亀井編: “新版化学機械の理論と計算”, 408 産業図書 (1973)
- 4) 高坂: 粉砕, [24]78 (1978)
- 5) 日本化学会編: “化学便覧応用編改訂3版”, 401, 丸善 (1980)
- 6) 杉本, 竹内, 田中: 化学工学, 30, [1]70 (1966)
- 7) 田中, 吉原, 篠原: 化学工学論文集, 4, [3]238 (1978)
- 8) 田中, 山口, 篠原: 同上, 4, [3]317 (1978)
- 9) 田中, 橋本, 篠原: 同上, 4, [3]320 (1978)
- 10) 田中, 石蔵, 内山, 篠原: 同上, 5, [4]397 (1979)

特許一言メモ No. 17

新たに発行される再公表公報

特許協力条約 (PCT) による日本語で国際特許出願され、指定国に日本国が含まれているものについては、WIPO 国際事務局が国際公開した後、第3者に対する情報提供等を目的に特許庁から再公表されることになった。

そしてこの再公表のため、新たに「特許協力条約に基づいて国際公開された日本語特許出願」というタイトル

の公報が出され、これを再公表公報といている。この公報のサイズも別の欄で述べた公表公報と同じく A4 版で、第1号は既に昭和54年8月9日発行された。

(注) WIPO (World Intellectual Property Organization……世界知的所有権機関……スイス, ジュネーブ) (M. N生)

微細粉炭の気体管路輸送

岩 淵 可 浩*

Yoshihiro Iwabuchi

1. まえがき

かつて『黒いダイヤ』ともてはやされた石炭も、流体燃料のもつ取扱いの便利さ、経済的な優位性によってその座を追われて久しい。ところが最近の石油価格の高騰と供給不安が続くなかで、石炭は化石燃料のうちで最も豊富な埋蔵量を持ち、先進諸国を含めて広く世界に賦存しているなどの理由によって、積極的に石炭再建へと大きくその軌道の修正を行っている。

今後利用の拡大が望まれる石炭には、Fig. 1 に示すように、①クリーン・エネルギー化による環境保全と燃焼効率の向上。②石炭の高度ならびに未利用資源としての有効利用。③燃焼灰の有効利用技術。④石炭を流体化することにより、輸送・貯蔵・利用時における取扱いの不便さを取除く等の諸問題解決が必要とされている。

これらは、通商産業省の短・中期の重点開発課題に取り上げられ、昭和60年頃までの近い将来に、その実用化が期待されている¹⁾。

本稿では、㈱石炭技術研究所が通産省の石炭利用技術振興補助事業として、研究開発を行っている新しい石炭のハンドリング技術の概要について述べる。

2. 石炭の流通機構

石炭には製鉄用の原料炭と発電等に用いられる一般炭とがあるが、いずれに使用される場合でも、大量に消費される原料である。これに対処するため採掘後の原炭は、選炭工程を経て精炭（商品炭）となり、産炭地からユーザの貯炭場まで、これまた大量に運ばれている。国内炭の場合主要産炭地は北海道と九州であるのに反して、全国石炭消費量の大半は関東、東海、近畿地方の臨海工業地帯であり、かりに産炭地域で消費されとしても、炭

鉱の多くは山間部にあるため、消費地まではトラックや鉄道によって運ばれ、更に船舶による海上輸送も必要とされることから、季節的な変動要因や自然条件等の影響を、直接・間接的に受けて、輸送は不定期かつ不連続的なものとなりやすく、石炭の円滑な需給を確保する手段として、両者の接点に大規模なストック・ヤードを設けて大量の貯炭を行い、操業の安定を維持しているのが現状である。この貯炭量を石炭専焼火力発電所の例にみると、行政指導によって45～60日分必要とされており、100万 kW ユニットの case では30万トンにも達する。

これらの石炭を受入れる場合、陸路ではカーダンプにより直接受入れホッパに投入、海路ではアンローダによる揚炭後計量の上、スタッカ、ブルドーザ等の機械力によって『パイル』が形成される。貯炭には屋外、屋内、水中貯炭法等があるが、通常、屋外野積方式が採用されている。貯炭方法としては、安全運転、公害規制対応の目的から、カロリー、硫黄分に応じた銘柄別に集約される。

又、長期貯炭の場合、酸化熱蓄積による自然発火、更に品質の劣化防止のために、酸素の流通を疎止することを目的として、機械力により転圧しながら積上げる『圧縮貯炭法』が採用されている。

3. 石炭ハンドリング上の問題点

3.1 粒度と湿分²⁾

石炭の粒度と湿分の間には密接な関係があり、微粉分が多くなるほど、湿分の保存力は増加して固着が起り、逆に乾燥しすぎると炭じんは飛散するなど、ハンドリング上のトラブルが発生することから、電力用炭を受入れる場合、商習慣上次の様な規格が設けられている。

1) 粒度的には -25mm の粉炭とし、-2mm サイズ微粉炭の混入率を30%以下とする。

この規制は、微粉炭分の混入率が増加することにより、コンベヤ、シュートへの付着や閉そく、あるいはホッパ内架橋等を未然に防止しようとするためである。

* 財団法人 石炭技術研究所第2研究部 加工利用研究室
(〒101 東京都千代田区神田神保町2-10)
Tel. (03) 262-1177

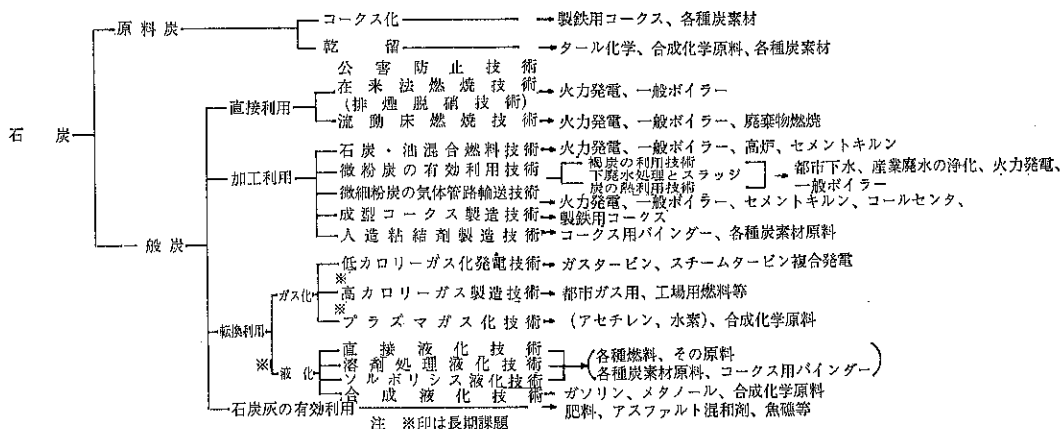


Fig. 1 石炭利用技術の体系

2) 湿分7%以下とする。

石炭の場合には、固相水分は炭質、性状に係るため、商取引上で規制されることはなく、湿分（付着水分）のみが規制の対象となる。これは粒度と同じ現象が生ずるほか、付着によって給炭系統への石炭途切れやミル入口における閉そく・固着から発火の可能性、更に発熱量の減少、寒冷地における凍結等の、重大な問題の併発を防ぐためである。

3.2 設備

1) 陸上輸送

大型車両採用により路盤の損傷、路上への微粉炭分を含む滴水、炭じんの飛散による目減り等、直接、間接的な公害発生のほか、交通渋滞も挙げられる。

2) 海上輸送

現時点において一般炭の輸入量は少ないが、Table 1, 2に示す需要量受入れの場合、港湾はもとより大規模な岸壁、揚・運炭施設の整備・拡充は必要かつ絶対条件となる。鉄鋼メーカ、一部電力会社のように、専用のヤードをもつケースと異なって、一般炭を取扱う港湾の数は少なく、設備はTable 3にみられるように規模も小さいのが現状である³⁾。今後急増する輸入量に対して港湾設備拡充や新設計画、更にコールセンタ構想として、種々検討されているが、港湾の自然条

Table 2 電力・石炭需給見通し

	発電量	石炭量
1978(S53)	440万kw	773万t
1985(60)	1,000	1,450~1,650
1990(65)	2,200~2,300	3,800~4,200
1995(70)	3,300~3,600	5,900~6,600

件による立地を含めたインフラ整備の見直しが必要である。

3) 貯炭場

大量貯炭を行うためには膨大な地積を必要とし、用地確保のほかに、炭じんの飛散、雨水により流出する廃水の処理等、環境上の問題など多いことから、立地条件は更に厳しく非常に制約されることになる。

4) 設備面

大量処理の必要性から、能率の向上、設備の大型化が要求されるものと考えられるが、逆に作業を渋滞させる機会も増加することとなり、自然発火防止、品質劣化予防対策として実施される転圧作業等、機械力による取扱い回数が多くなることから、石炭の破碎は促進されて微粉炭分は増加すると同時に、炭じん飛散防止上実施する散水によって湿分を吸収し、ハンドリング面でのマイナス要因につながる。

Table 1 石炭・需給見通し

	原料炭 海	外 一般炭	国内 石炭	供給合計
1977 (S52)	5,734万t (73.5%)	95万t (1.2%)	1,902万t (25.3%)	7,801万t (100%)
1985 (S60)	7,900 (65.3)	2,200 (18.2)	2,000 (16.5)	12,100 (100)
1990 (S65)	9,000 (55.1)	5,350 (32.3)	2,000 (12.2)	16,350 (100)
1995 (S70)	9,750 (49.2)	8,050 (40.7)	2,000 (10.1)	19,800 (100)

Table 3 揚地大口工場主要埠頭

工 場	岸壁延長[m]	水 深 [m]	繫留能力[DWT]	毎時能力[トン]
新 日 鉄	釜 石 230 " 247 畑 275 " 710 名古屋 500	9 7 12 7.5 12	22,000(2バース) 3,000(2バース) 50,000 10,000 70,000(2バース)	700 200 700 200 1,500
新 日 鉄	八 幡 140 " 185 戸 畑 290 " 100 君 津 260	6 8.5 12 6 8.5	3,000 12,000 50,000 3,000 10,000	300 400 800 300 500
日 本 鋼 管	扇 町 440 大 島 290 扇 島 320 福 山 180	9 9 14 11	10,000(3バース) 10,000(2バース) 70,000 20,000	500 300 2,000 600
川 崎 製 鉄	千 葉 270 " 300 水 島 200 " 300	12 9.5 12 16	50,000 10,000(2バース) 70,000 100,000	1,000 500 1,000 1,500
住 友 金 属	和歌山 170 " 365 " 263	4.5 14 14	20,000 70,000 70,000	500 1,000 1,400
東 京 ス	豊 川 250 末 広 140	10 7	10,000 6,000	500 250
大 阪 ス	北 港 460 堺 400	7.5 12	4,000 50,000	300 500
尼 崎 ク	扇 町 293 大 浜 364	13 11	50,000 5,000	600 600
コ	小 名 浜 350	10	20,000	500

埠 頭 名	岸壁延長[m]	水 深 [m]	繫留能力[DWT]	毎時能力[トン]
東 電 八 戸 台 北 仙	170 300	6 7.5	2,500 5,000(2バース)	400 400
東 京 電 力	横 須 賀 121 千 葉 300 川 崎 330 品 川 106 新 東 京 200 鶴 見 138	9 9 9 7 7.5 7	6,500 6,500 10,000 4,500 5,500 6,500	800 500 500 250 500 360
中 電 部 力	名 古 屋 250 武 豊 180	7.5 7.5	5,500 5,500	600 500
関 西 電 力	大 阪 200 多 奈 川 126 尼 崎 第 2 200 姫 路 第 2 200	9 8 9 9	10,000 4,500 6,000 10,000	500 400 500 500
中 国 電 力	坂 100 水 島 150 新 宇 部 150 下 関 100	6 7 7 6	1,000 1,000 800 1,500	200 200 200 200
西 国 力	西 条 150 山 松 150	5 6	2,500 2,700	250 250
電 源 開 発	磯 子 130 高 砂 200 竹 原 130	7.5 7.5 7.5	5,500 5,000 5,000	400 500 500
住 友 新 居 浜	85	5.5	1,000	200

このように、石炭の取扱いで現在一般に採用されている機械方式は、処理量によって設備、規模は異なるものの、これらの運用、諸経費の面で、大量の石炭を輸送する供給者、又貯蔵を含めて利用するユーザにとってハンドリングに関する技術は重要な業務であると同時に山積する問題点も多く、これらの解決は『見直される石炭』にとって早急に要求される技術でもある。

4. 石炭のハンドリングに関する研究の動向

4.1 含油微粉炭⁴⁾

微粉炭の粒度は -0.5mm 、湿分 $20\sim 30\%$ 程度であり、貯炭・運搬等で取扱いが難しく、同一カロリー(-25mm)の粉炭価格に比べて、 $30\sim 40\%$ 程度の評価しか得られなかった。微粉炭の付加価値を高めるには、湿分の除去が要求され、機械脱水を行っても 20% 程度が限度とされ、更に湿分を除去するためには熱乾燥法も考えられるが、生産サイドの炭鉱で行うことは、採算ならびに乾燥によって、新たな取扱い上の問題点派生も考えられ、困難視されたことから、従来、乾燥はユーザの炉前で実施されてきた。昭和39年頃当所では、熱乾燥によらない

脱水法の1手法として、含油微粉炭法の試験を実施した。この方法は、微粉炭を再度浮選機にかけて灰分を除去して、高品位の産物を回収した後、数%の油を添加して混合・攪拌、微粉炭分をペレット化させて、機械脱水することにより得られる含油微粉炭は、吸水性は低く、炭じん飛散の予防にも役立ち、その取扱いを容易にすることが可能となった。また厳寒の釧路における屋外貯炭例からは、凍結防止の効果もあることが確認された。しかしながら扱い易い石油の台頭のために、この技術は温存を余儀なくされる結果となった。

4.2 水・スラリー輸送⁵⁾

石炭の水・スラリー輸送は、1951年Emile-Huchet(仏)で 9.2km にわたるパイプ輸送が、世界最初の実用例である。

その後米国では、この輸送例を参考に基礎試験を重ねた結果、いわゆる“Ohio line”における 174km の長距離輸送設備を1956年に完成させて輸送を開始している。次いでBlack Mesa Pipeline Co.,では、 -8mesh の微粉炭をスラリー中の石炭濃度 $46\sim 48\text{ wt}\%$ の割合で調整後、これを 442km にわたる長距離輸送を開始した。

一方わが国においても、昭和37年から基礎試験を開始して、同40年には全回路 $1,527\text{m}$ の流送ループ・ラインを設置、前処理における粒度調整、高圧ポンプによる流送、末端で必要な脱水まで、実規模試験機を用いて当所赤平試験場で実施した。その結果、本輸送方式の確立にあたって、技術的な問題点は介在しないことが実証されると同時に、輸送コストの節減に大きく寄与することも確認されたが、その頃からはじまった、石炭業界の大きな情勢の変化によって、石炭の大量輸送手段としての頭初計画は、実現されるには至らなかった。しかしながら、石炭業界では選炭工場の工程間あるいは、坑内採掘跡への充てん材料等の高濃度スラリー輸送に使用されているほかに、水力採炭現場から数 10mm サイズの原炭を、坑外迄輸送するなど幅広く現在も利用されている。

このように、水・スラリー輸送は、固体燃料である石炭の流体輸送を可能とする方法ではあるが、海に囲まれているわが国の場合、臨海地域に石炭ヤードを建設することが主流とされており、水・スラリー専用船からの再スラリー化ならびに輸送末端における脱水・廃水・乾燥等の諸設備を必要とすること、更に、石炭を大量に長距離輸送するほど経済的に有利とされている本方式は、欧米ではこの目的によって採用され、又、多くの計画例もみられるが、わが国では慎重な計画と綿密な検討が必要とされる。

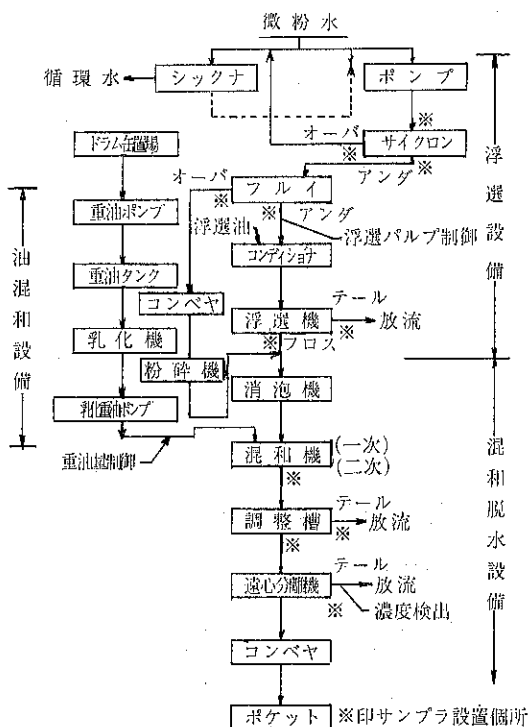


Fig. 2 含油微粉炭製造試験系統図

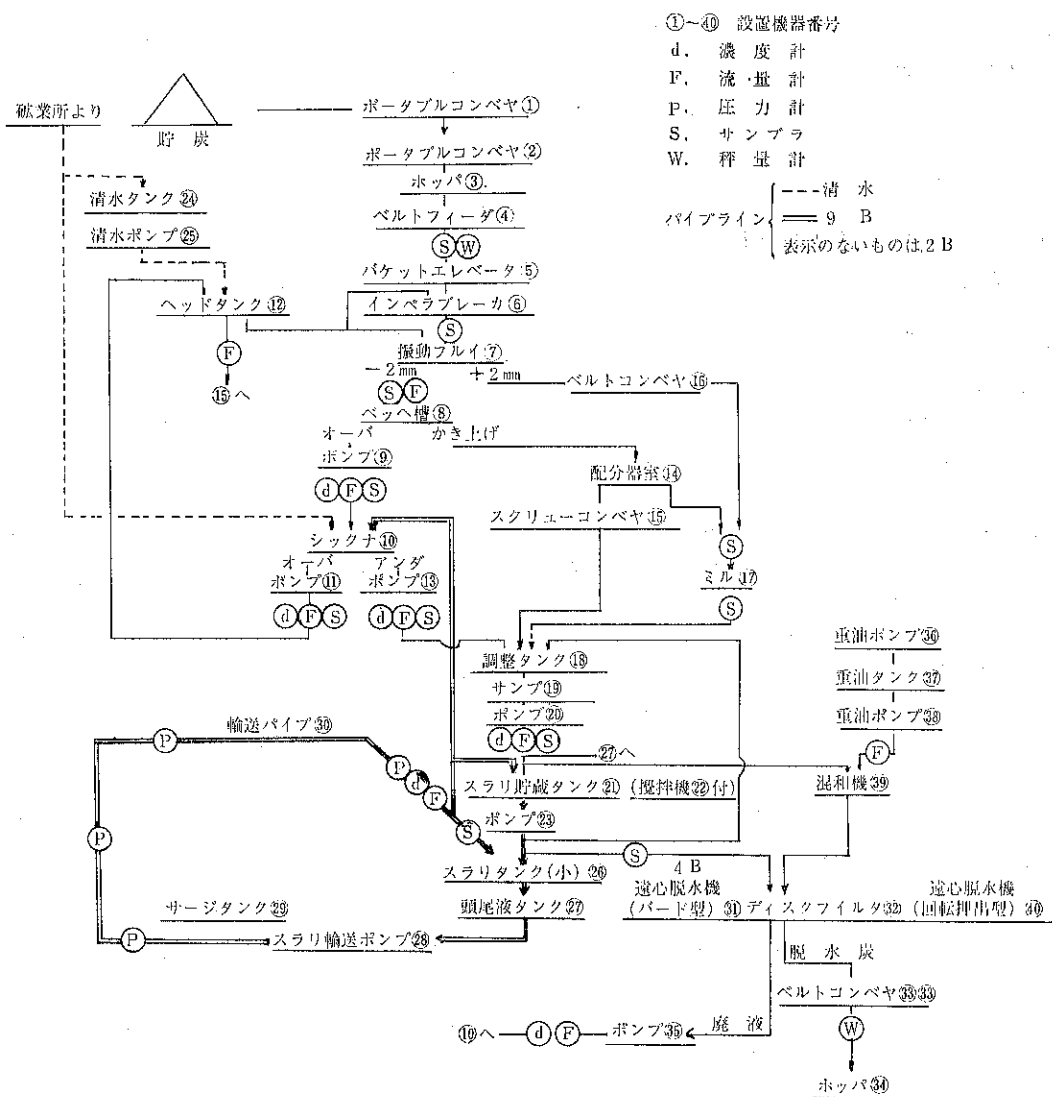


Fig. 3 スラリ輸送試験設備系統図

4.3 オイル・スラリ輸送

COMに代表されるもので、米国エネルギー省(DOE)では最も熱心に取り組んでいる。国際エネルギー機関(IEA)においても、代替エネルギーとして、石炭のデメリット解決のために、COMの利用を積極的に普及させようとしている。わが国でも電源開発庁をはじめとして、多くのプラント・メーカーにより、製造・貯蔵・輸送技術面における多角的な開発研究が実施されている。

5. 微細粉炭の気体管路輸送^{6), 7), 8), 9)}

5.1 システムの概要

石炭の利用技術としては、短・中期にその実用化が期待されるCOM化等の加工利用方法と、原燃料(微粉炭生焚き)として直接利用する流動床、排煙脱硝等の燃焼技術のほかに、長期プロジェクトに取上げられているガス化・液化技術が挙げられ、官民密接な協力のもとで加

速的に技術開発が推進されている。一方、石炭に関する輸送・貯蔵を含めたハンドリング技術は、これらに比べた場合一歩後退していることは認めざるを得ない。

極言すれば、加工・転換技術等に関する製造プラントを、産炭地、積地に建設することが可能であるならば、流体燃料として、以後の取扱いが容易になるという効果も期待されるが、諸般の事情を勘案する時、これらを揚炭地又は炉前に建設するものとすれば、それ以前における石炭流通機構は、従来方式の踏襲に過ぎず、根本的な固体燃料のデメリット解決にはつながらない。

このような観点から、国内一般炭需要量の拡大を図るとともに、海外における開発を含めて輸入量の増加に対処するため、前述のような現行石炭流通機構のもつ短所を補う、合理的な新輸送システムを開発することの必要性と意義は、代替エネルギーとして石炭の安定供給を図る上からも非常に高いものがあり、早急に確立しなければならないものと考えている。

本システムは、大容量の流体輸送に多く採用されている、連続かつ自動的輸送方式の応用である。

石炭は現在、粉炭のままで Bulk Carrier (B. C.) の取扱いによることから、多くの巨大な設備を必要とし、その運用面で多額の経費を必要とすることは、Fig. 4 に示す輸送システム概要により理解されるであろう。

一方、微細粉炭の気体管路輸送方式は、今後石炭利用面で要求される -5mm サイズで供給するために、山元で乾燥後(湿分1.5%)、微粉碎処理することが前提となっている。そのため微細粉炭は Fine Coal Carrier として取扱われることが特長となり、貯蔵にはサイロが必要となる。そのため輸送形態はサイロ→管路→サイロの連続となり、全密閉方式が採用されることになり無公害、高速輸送も可能となるほか、Sea Berth System (S. B. S.) の採用により従来の B. C. において必要とされた、大規模な港湾、荷役、貯炭場等諸施設の大幅な設備節減の他に、省力化が期待されるなど多くの特徴と効果を併せもっている。

また、このシステムの採用により、石炭専焼火力発電所で最終的に必要とするサイズは、 -200mesh 70~75%でセメントと同程度であることから輸送も可能とみられる。

いずれにしても、輸送サイズへの加工は、種々の要因を踏まえて、より経済的な場所等の選択は要求されるが、要は輸送ルートとして簡便かつ効率的な流体輸送方式を採用することにより、ユーザが希望する最終ニーズに合致したサイズで安定供給を維持しなければならないということである。なおこの方式は、産炭地から直接輸入のほかコール・センタからエンド・ユーザまでの2次

・3次輸送への適用性も十分考えられる方法である。

このハンドリング技術を確立するためには、次の様な技術研究開発課題を解決することが要求される。

- 1) 安全対策の確立(炭じん爆発)
- 2) 大容量ハンドリング・システムの開発
- 3) システムの経済性

5.2 国内外における研究の動向

炭鉱における粉粒体物質の、空気力による運搬適用例は『空気充てん法』として古くから知られ現在も多くの効果をあげている。石炭の本格的な運搬については、西ドイツの Essen にある Steinkohlen-Elektrizität Aktien-gesellschaft 他数社の協同研究により、坑内の湿った石炭(-10mm)の『高揚程垂直運搬』に関する研究で335m輸送の実績が先例となる。又 Swiss. Bühler-Miag 社における試験例では、 -0.4mm 、かさ比重 550kg/m^3 の微粉炭を、距離440mにわたって流送試験を行った実績があり、輸送能力は20 t/hであったと報告されている。英国の例では、1973年 N.C.B. (National Coal Board) に属する M.R.D.E (炭鉱開発研究所) が、立坑揚炭設備改善研究結果をもとにして、1975年 Shirebrook (揚程326m) Fraiant (503m) の2炭鉱について、空気輸送方式を採用した揚炭設備の詳細設計を開始し、前者は1977年7月、後者は同年12月に設備の完成をみている。これらは、 -25mm の粉炭を立坑坑底から、坑口迄揚炭するのが主目的である。輸送圧力は 7.7Kg/cm^2 を越え、最大処理能力は96 t/h、平均で57 t/h が得られており、能力的には未だ余力があるとされている。これらの設備費用は30万ポンド以下と報告されており、実質的には起業費も安価であることから、将来有望な輸送技術であると評価されている。

その他、石炭を『固一気』の状態に貯蔵を含めた、本格的な長距離輸送に関する試験、実施の例は国内外いずれにもみあたらない。近距離における輸送例としては、火力発電所の炉前で乾燥・粉碎された微細粉炭を、貯蔵することなく直接ボイラのパーナまでの間、約60m程度の短距離輸送に採用されている程度である。

また、ここ数年米国等においては、石炭の空気輸送方式に関する基礎試験やサイロ貯炭方式について、研究は活発になされており、これらフィジビリティ・スタディの結果によれば、この方式は貨車および水・スラリ輸送との比較において、コスト的には最も経済的な方法であり、かつ設置面積が小さいことから余剰地を他に転用して利益を得る等効果は非常に大きいと結論づけている。

一方、欧米諸国における大型プロジェクトの場合水・スラリ輸送方式の普及率は高く、38 inch 管 1,500 km

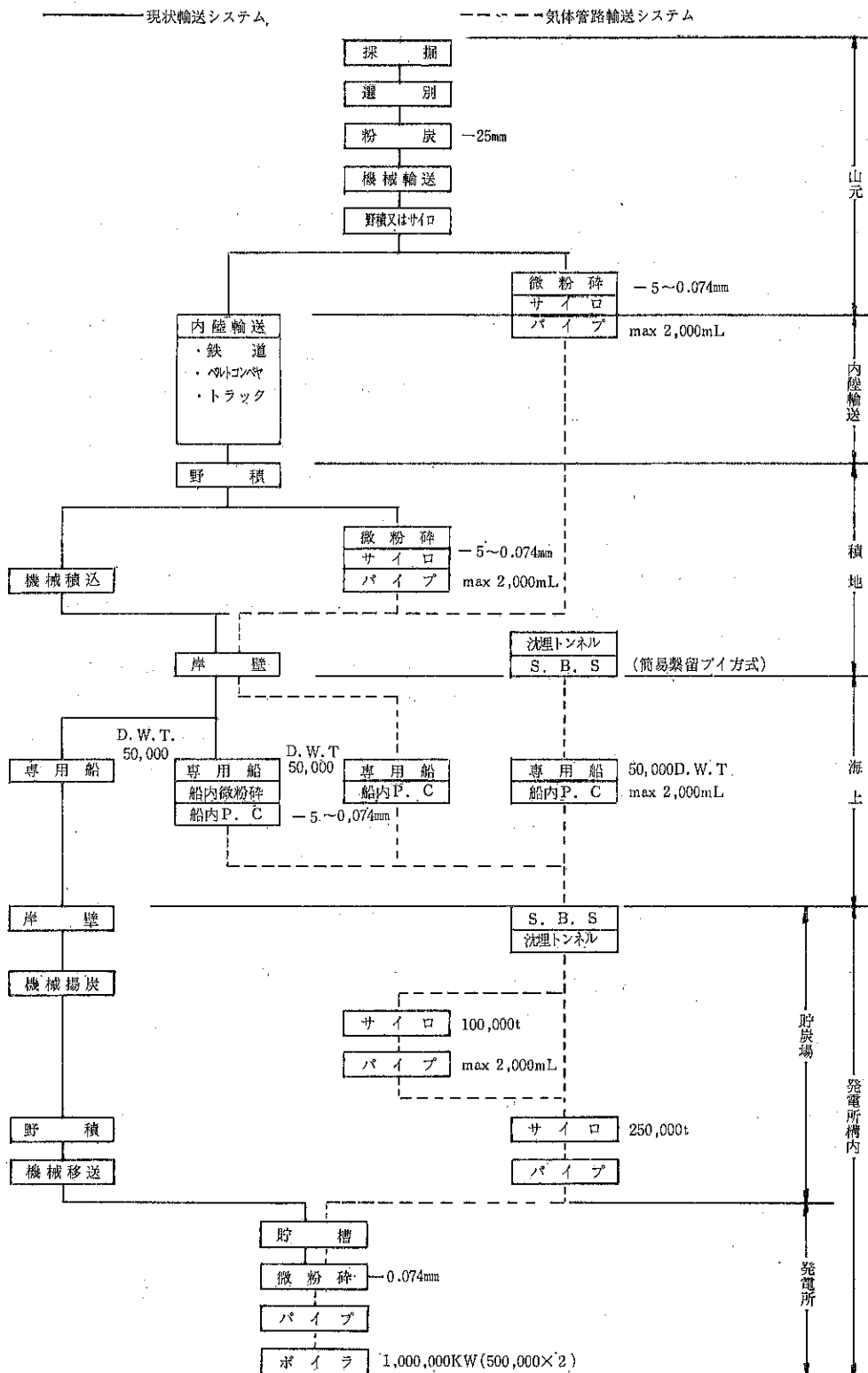


Fig. 4 微細粉炭の輸送システム

により年間2,500万tもの石炭を主要工業都市間に、更には米国・カナダ・ポーランド・オーストリアの国家間を、パイプ・ラインで結ぼうとする、アイデアの計画や検討が活発になされていることは注目に値する。ただし、これらは大陸によってつながっているケースであり、少なくとも国外産炭地から、海路輸送を介して行われる、わが国の場合に適応する技術としては一考を要する。

5.3 基礎研究（昭和51年度より実施）

1) 安全性

石炭は、成分上有機物の含無機物固体であり、石灰石やセメント等の、他産業における『空気輸送方式』の成功例、およびシステムをそのまま適用することはできない。特に乾燥した微細粉炭の場合には、一連のハンドリングの過程において、自然発火および炭じん爆発はもとより、品質の劣化に関しても、それぞれ防止対策を講じなければならない。

『自然発火』とは、物質が空気中で発火温度よりも、はるかに低い温度で自然に発熱し、発生した熱が長期間にわたって蓄熱されて発火点に到達し、ついに燃焼にいたる現象であると定義づけられている。

『炭じん爆発』は、十分な酸素濃度の雰囲気内にあって、浮遊している炭じん雲を形成し、(30~2,000 g/m³) かつ着火源（最小着火エネルギー；40mJ）が介在した場合に、爆発的な燃焼を起こし、連続的に伝播する現象であるが、酸素濃度が低下すると爆発しにくくなる性質をもっていることから、本方式には All Closed System を採用して、系内の酸素濃度を10~15%まで低下させることを前提として、キャリア・ガスに N₂ 等の不活性ガスを媒体に用いることにしており、通常の空気輸送方法と区別する意味から『気体管路輸送方式』を呼称している。

サイロ、輸送管等の系路における炭じん雲の、濃度コントロールは、事実上難かしいが、キャリア・ガスならびにシールに、イナータガスを採用することによって、酸素濃度を抑制し、バグ・フィルタ、輸送管路等で発生する静電気については、アースによる接地管理を十分に行うと同時に、着火源の除去、異物の混入防止等、安全面に関しては、当所春日部試験場に設備した実験室規模による基礎試験をもとに、鉱山、工業保安、化学計測等の学識経験者によって構成される“輸送技術安全委員会”を設立して、安全面に関する多角的な検討ならびに調査を実施してきた。

2) 粉粒体特性

微細粉炭性状と挙動の関連性を解明して、ハンドリン

グ特性把握を目的に、実験室規模の試験装置を用いて物性指数を測定するなど、一連の輸送・貯蔵に関するプロセスの効率化を目指してきた。当研究所が現在まで測定してきた数銘柄の石炭について、粉粒体特性指数（パウダテストによる）の一部を Table 4 に測定値を示した。このように乾燥した石炭は微細粉炭化されるにつれて、流動性・噴流性各指数は低下する傾向が認められた。しかしながらエア・プラスタ、ロータリシール等の装置を採用することにより、これら貯蔵・払出面における問題を解決することは可能とみられる。又、乾燥した微細粉炭の場合には、炭種による測定値の変動が小さいこと、ならびに輸入炭のソース分散化等の計画に基づく受入れ炭種増加に対処する意味からも、できるだけ多品種の石炭について粉粒体特性を測定することにより、システムの計画・設計に効果を期待することも可能となるので、今後も引続き粉粒体特性に関する測定データを蓄積し、精度を高めることの意義は大きいと考えられる。現在多くの測定結果から Table 5 に示す様な帰直線式が求められている。式中における Z の値は -200 mesh 試料の wt % を示す。

Table 5

圧縮度指数	X 1 = 19.60 - 0.20 Z
安息角	X 2 = 17.78 - 0.04 Z
スパチュラ角	X 3 = 16.30 - 0.06 Z
凝集度	X 4 = 22.87 - 0.15 Z
流動性合計	X = 76.54 - 0.45 Z
流動性指数	Y 1 = 26.70 - 0.16 Z
崩潰角	Y 2 = 21.67 + 0.02 Z
差角	Y 3 = 15.91 + 0.08 Z
分散角	Y 4 = 8.54 + 0.13 Z
噴流性合計	Y = 72.82 + 0.07 Z

3) 輸送性

Fig. 5 に示す設備により、粒度・湿分の条件別組合せによる処理量と輸送限界に関する試験結果から、湿分の微妙な変化につれて輸送性は明らかに減少し、粒径範囲が狭まると、トップ・サイズの小さい程高い処理量を得ることが把握された。すなわち、輸送対象サイズが大きくなる程、輸送前段におけるブロータンク内流動化のために高い圧力、またはこれに長時間を必要とする。逆に湿分の増加からは、たとえば微細粒であっても、タンク間に吹き抜けが生ずることなど、輸送条件設定上、粒度構成と範囲、ならびに湿分は重大な要因となることが再確認された。これらから、-5 mm の微細粉炭を気体管路輸送する場合には、輸送圧力、流量いずれも同一条件とするならば、低温分で、トップサイズの小さい微細粉炭

項目 試料名	流動										動性										噴流										性						
	見出し重(g/cc)					圧縮度					安息角					スパチュラ角					均一度					流動性					噴流					程	度
	ゆるみ		動的			%		指數			度		指數			度		指數			測定値		指數			度		指數			度		指數	合計			
	%																																				
M	—5	1.7	0.776	0.966	0.813	19.7	18	39.2	18	61.8	14.5	11.5	18	68.5	普通	68.5	25	24.1	21	15.1	15	7.3	6.3	67.3	かなり強い												
	—3	1.6	0.776	0.960	0.811	19.2	18	40.8	17.5	59.3	16	9.3	19	70.5	かなり良好	70.5	25	23.8	21	17.0	16	8.0	8	70.0	〃												
	—5	1.9	0.780	0.956	0.812	18.4	18	45.4	15	57.5	16	10.1	18	67.0	普通	67.0	25	22.8	21	22.6	18	8.0	8	72.0	〃												
S	—3	1.7	0.782	0.948	0.811	17.5	18	42.0	16	56.1	16	8.8	20	70.0	かなり良好	70.0	25	20.9	22.5	21.1	18	7.1	6.3	71.8	〃												
	—1	1.8	0.637	0.923	0.726	31.0	10	43.3	16	68.5	12	2.9	23	61.0	普通	61.0	25	12.0	24	31.3	25	38.0	21	95.0	非常に強い												
	—5	2.3	0.775	0.962	0.811	19.4	18	43.4	16	61.7	14.5	11.3	18	66.5	〃	66.5	25	28.2	18	15.2	15	8.0	8	66.0	かなり強い												
D	—3	2.7	0.758	0.953	0.798	20.5	17.5	41.8	17	68.6	12	9.7	19	65.5	〃	65.5	25	24.6	21	17.2	16	6.4	6	68.0	〃												
	—1	1.4	0.701	0.952	0.767	26.4	14.5	42.3	16	73.5	12	4.4	23	65.5	〃	65.5	25	26.9	19.5	15.4	15	13.7	12	71.5	〃												
	—5	1.4	0.792	0.974	0.826	18.7	18	37.7	18	58.2	16	8.5	20	72.0	かなり良好	72.0	25	23.0	21	14.7	14.5	8.7	8	68.5	〃												
M	—3	1.4	0.788	0.962	0.819	18.1	18	41.5	17	55.7	16	7.5	21	72.0	〃	72.0	25	21.2	22	20.3	18	7.5	6.3	71.3	〃												
	—5	2.0	0.768	0.998	0.821	23.0	16	43.5	16	64.9	12	12.3	17.5	61.5	普通	61.5	25	26.2	19.5	17.3	16	8.9	8	68.5	〃												
	—3	1.4	0.769	1.014	0.828	24.2	16	46.3	14.5	68.7	12	12.6	17.5	60.0	〃	60.0	25	26.3	19.5	20.0	17.5	6.0	6	68.0	〃												
S	—5	1.9	0.738	1.022	0.817	27.8	12	49.5	12	73.4	12	10.1	18	54.0	あまり 良くない	54.0	22	32.2	16	17.3	16	16.4	12	66.0	〃												
	—3	2.2	0.745	1.011	0.815	26.3	14.5	47.5	12	71.2	12	6.7	22	60.5	普通	60.5	25	29.1	18	18.4	17	10.2	10	70.0	〃												
	—1	1.9	0.696	1.010	0.794	31.1	10	46.2	14.5	81.8	7	3.6	23	54.5	あまり 良くない	54.5	22	29.0	18	17.2	16	32.7	18	74.0	〃												

Table 4 パウダーテスターによる粉体特性測定値表

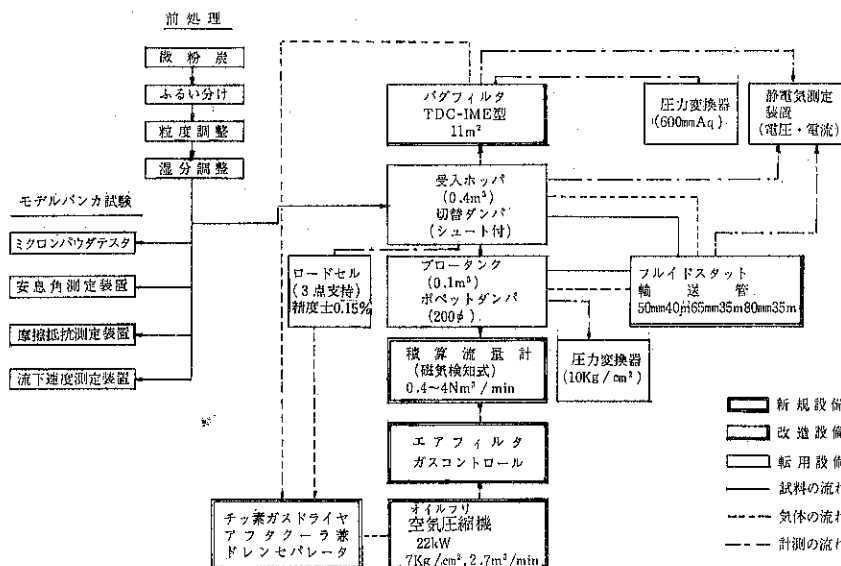


Fig. 5 微細粉炭の気体管路輸送試験，フローシート

を輸送対象にすることによって、高い輸送性を期待されることになり、石炭専焼火力発電所で最終的に使用される、乾燥した -200mesh サイズ 70~75 % の微細粉炭は、輸送の対象としては最適のものとなる。

4) 管内破碎性

約 100m のパイプ・ラインによる輸送結果からは、④低湿分域の試料では、粒度が大きい程輸送による破碎性は増加する。これは管内流速が小さくなるために、粒子間、および管壁との摩擦時間が延長されるものと考えられる。⑤粒度差によって、その破碎性は異なることが確認されたが、試験設備は場所の関係上曲管部、高低差が多いことから、衝突エネルギーによって生ずる破碎も当然考えられたが解明し得なかった。⑥ループ・テストを繰り返した 4,000 m 相当の長距離輸送結果では、-3 mm 試料で -9~16 mesh、-2、-1 mm 試料の場合には -16~32 mesh の範囲に、高い破碎性の存在することが認められた。⑦輸送終了時における全破碎の 50% 程度は、輸送開始 1,000 m 以内に発生する傾向の強いことが判明した。

このように、微細粉炭の管内における破碎性には粒度、湿分、輸送距離の要因が非常に大きく影響するが、穀物あるいは化学工場における、製品の工程間輸送時において、管内破碎、摩擦等による粒径の変化が、歩留りその他に悪影響をおよぼす場合と異なり、石炭は最終的には -200mesh まで微粉碎して使用されることから、この破碎性を効果的に利用することも考えられ、粒度等最適の輸送条件を設定して、最終サイロまで輸送するこ

とにより消費動力節減、ユーザ・サイトにおける微粉碎工程の省力化等に寄与する大きな効果も期待される。

5.4 小規模輸送試験（昭和54年度実施）

微細粉炭の気体管路輸送システムは、基礎試験により安全、輸送の両面から、技術的にフィジブルであることが確認された。ただし、その実用化にあたっては、逐次スケール・アップした設備による試験を行うことの必要性の高い設備であることの見解も得られた。

現在想定しているコマーシャル・プラントは、100万 kW ユニットの石炭専焼火力発電所が年間に消費する 240万 t もの石炭を、積載重量 50,000 t 級のパナマックス型（パナマ運河通行可能最大船型）F.C.C.により輸入されるものとし、揚炭は、船の満載吃水12mから水深15 m程度の沖合に設置される簡易繫留ブイより処理能力 300~500 t/h の処理能力によって、臨海部に建設された発電所サイロまで、最大 2,000m にわたって管路輸送する規模である。

これらトータル・システムの開発にあたっては、『気体管路輸送設備』能力の占めるウエイトは大きく、システムの早期実用化を図るためには、スケール・アップ資料の把握が重要であると同時に、基礎試験に採用してきた 2重管方式と、ほかの普通管方式との輸送特性比較検討も必要となったことから、メーカーの協力により各社の試験設備による小規模輸送試験を実施した。この試験は -5、-3 mm の調整を用いて、キャリア・ガスに市販の N_2 ガスを採用して行った。各社は得られた輸送デー

タをもとにして独自の計算方式により、実規模ならびに中規模設備に関して、Table 6 に示す気体管路輸送設備概略仕様を試算した。メーカー各社の輸送条件のうちで、試料に関しては3社共通であるが、輸送方式ならびに設備の規模はそれぞれ異なるため、得られた結果を単純に比較することは出来ないが、設計要因について約2倍程度の差となっており、あらわれていることから、スケールア

ップ・ファクタの決定困難な機種に属することが再確認された。

5.5 フィジビリティ・スタディ

『気体管路輸送』におけるトータル・システムについて、大阪港臨海部に位置する100万kWユニットの石炭専焼火力発電所に、年間240万tの石炭をオーストラ

Table 6 気体管路輸送設備の仕様（小規模輸送試験結果に基づく）

Case		① 50t/h×1,500mL			② 300t/h×2,000mL			③ 500t/h×2,000mL			④ 250t/h×2,000mL ×2系列		
メーカ名		A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社	A社	B社	C社
輸送管径	90A	210m											
	100	240											
	125	290											
	150	350	375m										
	175	410											
	200		375	400m	240m						240m		
	225			400	270						270		
	250		375	400	300			230m			300		
	300		375	300	350			270			350		
	350				390			310			390	333m	
	400				450	333m		350			450	333	400m
	450					333	400m	400				333	400
	500					333	400	440	333m			333	400
	550					333	400		333			333	400
	600					333	400		333			333	400
	650						400						
	700					333			333				
	750												
	800								333				
	850												
	900								333				
ブロータンク容量(m³)		11×1	20×2	7.5×2	63×2	80×2	40×2	105×2	80×2		52×2	80×2	35×2
輸送圧力(Kg/cm²G)		8.0	5.1	9.5	8.5	4.0	9.5	8.0	4.7		8.0	4.7	9.5
消費動力(kW)		440	800	900	2,700	4,020	7,000	5,000	7,490		2,700	8,220	11,700
吐出風量(Nm³/min)		60	128	120	360	769	940	690	1,808		370	561	1,570
混合比		15	73	6.15	15	8.1	4.7	13	10.8		12	8.6	4.7

リヤから輸送するケースを想定して、乾燥微細粉炭による F.C.C と従来の B.C. における諸設備の概念設計を行って、技術的問題点を抽出すると共にその対策を明確

Table 7 ケース別輸送原価比較結果

		ケース	0	1	2	3	
前提条件							
積	貯炭	方 式	野 積				
		粒 度	-25mm				
		湿 分	7 %程度				
	乾燥粉砕	設 備	×	○	○	×	
		粒 度	-25mm	- 5 mm	- 5 mm	-25mm	
		湿 分	7 %	1.5%	1.5%	7 %	
	地	港湾施設	岸 壁	新設	既設	×	既設
			S.B.S	×	×	新設	×
			積 込 式	機械	P. C 500m	P. C 2, 000m	機械
			能 力	1, 000 t/h×20 t/day×25 day			
貯 炭			野積	サイロ 10万 t			
専用船		B. C	○	×	×	○	
		F.C.C	×	○	○	○	
		加工船	×	×	×	航海中乾燥・粉砕	
		規 模	50, 000 t × 5 隻				
		輸送船	480, 000 t /年				
		稼 働 日 数	345日/年				
掲 地	港湾施設	岸 壁	新設	×	×	×	
		S.B.S	×	新設	新設	新設	
		揚 炭 式	機械	P. C 2, 000m	P. C 2, 000m	P. C 2, 000m	
		能 力	1, 000 t/h×20 t/day×25 day				
	貯炭	方 式	野積	サイロ 10万 t			
		運 炭 力	1, 250 t/h×8 h/day×5 day/week				
発電所		貯 炭	野積	サイロ 30万 t			
輸 送 原 価	海 上	3, 328	4, 326	4, 326	case 0.1, 2+α		
	陸 上	6, 601	3, 593	3, 908	3, 593 ~3, 908		
合 計		円/t	9, 929	7, 919	8, 234	case 0.1, 2<3	

注) S.B.S ; シーバース方法
B.C ; バルクキャリア輸送
F.C.C ; 微細粉炭輸送
P.C ; 気体管路方式

化し、あわせて両方式による輸送原価の比較を求めた。

各ケース別の輸送条件と原価比較一覧を Table 7 に、又輸送原価算出に用いた主な計算ベースを Table 8 に示す。ケースー1, 2における海上輸送原価は、石炭をあらかじめ乾燥・微粉砕することによって、『かさ比重』が通常 1,350 kg/m³ 程度から、750 kg/m³ 程度まで小さくなるために船倉が増大すること、更に船底部ホッパからバース上に設けられた船外圧送設備まで、微細粉炭搬出用特殊装置が必要となりとう載することによって、ケースー0に比べて輸送コストは割高となっている。これに対し港湾施設新設に際しては F.C.C. の場合、流体輸送による“沖取り方式”の採用により、ヤード建設費の大幅な節減が可能となることから、海上輸送面における B.C. 方式のデメリットを、十分に吸収してコスト・ダウンに寄与する。

Table 8 輸送原価算出における主な計算ベース

輸送法	陸 上 輸 送	海 上 輸 送
項目		
原 価 償 却	24年定額, 残存価格 0	10年定額, 残存価格 0
借 入 金	90%, 10年均等返済, 金利 8%	
固定資産税	残存価格の 1.4%	
損害保険料	残存価格の 0.6%	残存価格の 1.1%
修 理 費	機器関係; 設備費の 2.5% 土木関係; 設備費の 0.25%	船価の 2.5%
人 件 費	500万円/年・人	800万円/年・人

すなわち、ケースー2の気体管路輸送システムは、従来方式ケースー0の機械輸送システムに比べて、輸送原価はトータルで石炭 t あたり 1,695円コスト減となった。

このほか次の様な多くの長所を持つことから、石炭のハンドリング技術としては、非常に有利なシステムであることが再確認された。

1) 全密閉型システム

イ. 天候その他の外部要因による影響が少ない。

ロ. 炭じんの発生がない。

ハ. 廃水処理設備が不要となる。

2) サイロ貯炭

イ. 立体貯炭方式により敷地面積が少なくて済む。

ロ. イナート・ガスを採用することにより、自然発火や品質劣化を予防することができる。

3) 気体管路輸送方式

イ. 沖荷役方式の採用により、コール・センタ等の新設時に港湾設備（バース）が不要となり、立地条件の制限が大幅に緩和される。

- ロ、輸送量とは無関係に最小作業人員でよい。
- ハ、可動部が少ないのでメンテナンス上有利である。

4) その他

イ、乾燥した微細粉炭として輸送されるので、ユーザ・サイト（石炭火力発電所、COMセンタ、ガス化、液化プラント等）における貯炭、運炭、微粉砕設備の負荷軽減に役立つ。

ロ、揚地（コール・センタ等）から、内陸部にあるエンド・ユーザまでの2次・3次輸送にも適用可能なシステムであり、条件によっては、タンクローリー型の貨車による鉄道又はトラックとの組合せによる輸送も考えられる。この方式採用の場合輸送管長を最小限に短縮させることが可能となり、消費動力の減少と処理能力の向上なども新たに期待される。

ハ、陸地から至近距離に必要水深が求められ、（5万t船型で15m）海底トンネルの設置距離が短縮されるケースー1の場合、又は更に大型船の受入れに必要な水深を有する好条件下では、専用船の大型化によって更に輸送コストの低減も期待される。

ニ、ケースー3では、粉炭を従来方式で機械積み込み、航海中の船内で乾燥・粉砕を行って、気体管路方式による揚炭の可能性に関して、『加工船』方式を検討したが設備を陸上に設ける場合に比べて、技術、経済的な問題点が多く、実用化は非常に困難なシステムであると判断された。

以上述べた様に、数字で明示可能なコスト面における有利性のほか、環境面からは立地条件制限を緩和するなど、金額として算出できない多くのメリットの存在を考える時、『微細粉炭の気体管路輸送システム』による効果は非常に大きいものと判断され、大幅に利用増加が予測される石炭のハンドリング技術として、早期実現を目標として開発を推進する必要が認められた。

5.6 今後の検討課題と計画

1) 技術的検討課題

イ、サイロ

- a. 微細粉炭をサイロ間に均一に分散させる技術
- b. 重力沈降を利用した集じん機能の向上

ロ、気体管路輸送設備

- a. 系列当り処理能力の向上
- b. 輸送管、弁類の摩耗対策

ハ、専用船

- a. 効率的な船倉払出設備
- b. 航海中の積荷の挙動把握

これらは、特に研究項目として現在まで取上げていなかったことから単に列記したものであり、昭和55年度に

実施する中規模実証試験設備の詳細設計時における要素研究として実験室規模で、または56年度以降予定のデモ・プラントによる実証試験で解明し得るものとみられる。

2) 経済的検討課題

石炭の大量受入れにおいて港湾施設の建設は、陸地の自然条件に大きく影響され、陸上設備建設量のうちで主要部分を占めるものであることから、これらの条件設定如何により陸上輸送コストは大幅に変動することとなる。

また一般に港湾諸施設は多目的用途から、公共投融資により建設されるケースが多く、今後エネルギーとして急増する一般炭の輸入・備蓄を目的とするエネルギー港湾の基本施設を、公共事業の一環として整備・拡充することが必要となることから、一層具体的な前提条件を国家的プロジェクトとして（単独又は種々の組合せ）輸送方式を立案し、詳細なフィジビリティ・スタディを行うことにより、その経済的な問題等を比較検討して、新しい石炭のハンドリング技術を開発することは、われわれ炭鉱技術者に課せられた重大使命と認識している。

6. おわりに

代替エネルギーとして加速的に開発が進む石炭利用技術に対して、石炭の輸送・貯蔵に関しては、依然として屋外野積貯炭・機械方式の採用が見込まれている。

この方式は、不定期かつ不連続輸送となることから、安定操業を確保する目的上その接点に大量の貯炭が必要となり、そのため広大な土地を使用することにより貯蔵効率は悪く、最近では環境アセスメントの面からも、容易にパブリック・アクセプタンスを得ることが不可能となり、コール・センタや電源立地条件の選定上で大きな障害となっている。

本研究は、乾燥・微細粉化した石炭を、サイロによる立体貯炭から貯炭面積の縮小化と、気体管路輸送方式により大幅な設備の軽減を図るもので、安全性確保のためにはサイロ内シールならびにキャリヤ・ガスに不活性ガスを用いて『全密閉方式』によるトータル・システムを開発しようとするものであり、このような石炭の流体輸送により従来方式におけるハンドリング上の諸問題を解決する、合理的な流通形態の早期実現を目標としている。

このシステムは、石炭を受入れるわが国のみならず、内陸部輸送、港湾設備等インフラストラクチャが論議されている産炭地諸国へも、適応可能な技術であるとともに、国内における輸送、更に石炭利用への周辺技術としても、有効な無公害ハンドリング・システムである。55年度に詳細設計を行うデモ・プラント（輸送能力 50t/h

×輸送距離 1,500m) により、58年度頃までにはすべての試験を終了する予定である。

なお、輸送試験では新東工業、三菱重工業、デンカエンジニアリングの各社、フィジビリティ・スタディの実施にあたっては、神戸製鋼所、住友金属工業、日造立船各社の協力を得た。

参 考 文 献

1) 資源エネルギー庁監修：コール・ノート (1979)

2) 石炭技研：資料 (1979)

3) 資源協会：石炭資源とその利用技術 (1977)

4) 石炭技研報告：第48号 (1967)

5) 石炭技研報告：第58号 (1969)

6～9) 石炭技術振興費補事業報告書 (1977～1980)

なお、(財)石炭技術研究より微細粉炭の気体管路輸送システム (FCT) がカタログで紹介されています。

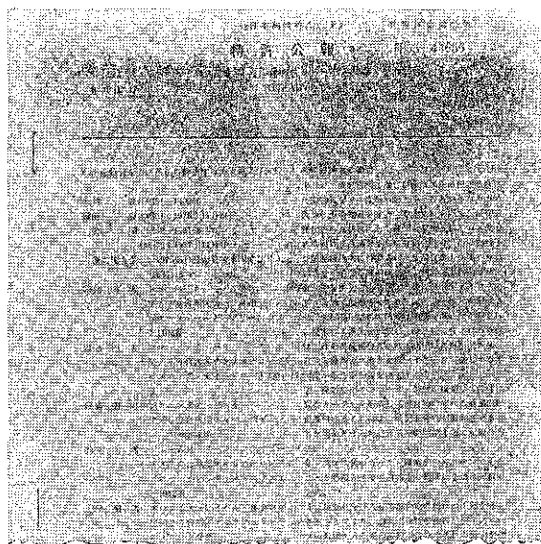
特許一言メモ No. 18

発 明 の 数

特許公報のあるものには「発明の数 ○」とあって、そのクレームを見るとさきの「…○」とは同数でなく、もっと多くの項目が書かれていることがある。前者の「発明の数 ○」は併合出願 (法38条ただし書き) による発明の数が記載されているのであり、後者のクレーム項目が多いのはそれ以外に、主クレームに付随したサブクレーム (実施態様項) が記載されているからである。実施態様項については次の機会に述べるが、上述の「発

明の数」によって手続き上の費用が異なってくる。たとえば審査請求には1発明につき3,000円が加算され、特許料では別にその数だけ特許を保有するのと同じ位費用がかかり、たとえば1発明につき、初年度は2,000円加算されるが、第13年から第15年になると1発明につき24,000円加算しなければならない。なお、これは実用新案には無い。(M.N生)

見 本



分級性能の検討と粉体層の引張り試験

——その応用の試み——

藤井 謙治* 横山 藤平*
Kenji Fujii Tohei Yokoyama

1. はじめに

粉粒体の力学的性質の研究は、大学の研究室のみならず、最近では粉粒体を取り扱う現場においても強い関心をもたれるようになり、せん断試験や圧縮試験などとともに、引張り試験についてもいろいろな検討が試みられている。測定法や装置についてまだまだ検討すべき課題は多いが、その測定結果と実際の粉粒体の挙動との対応を明らかにし、これをどのように実用するかということも重要な研究課題であろう。

たとえば、分級装置では粉体をよく分散させて供給することが分級効率を高める必要不可欠の要素になる。実際の分級原料となるサブミクロン～100ミクロン程度の粒度分布をもった粉体が、気相中で凝集している状態の粒度を測定することには困難も多く、実際には液中に分散した状態で粒度を測定し分級結果を評価するのがほとんどである。ところが、本来微粉側に排出されるべき粒子であっても凝集して粗大粒子を形成していれば、粗粉側に排出されてしまう。このような場合には分級機構よりもむしろ分散力の不足に問題があると考えるのが妥当であるが、分級された製品は液中に分散して測定されるために、気相での凝集粒子の存在が、分級機の試験結果の比較を不明確なものにしている。

そこで、微粉末の凝集力が分級操作に及ぼす影響について検討を試みた。これには、分級成績を定量的に表現することと微粉末の凝集性を定量的に表現することのふたつの課題が含まれる。本資料は、ホソカワ/ミクロンスーパーセパレータの分級性能とコヒテスタによる引張り試験の結果について、これらの検討を行ったものである。

2. 分級成績の表現

スーパーセパレータは、ロータの回転による旋回流れを利用して分級するので、粒子に働く遠心力と向心力とが部分分離率 η を決定すると考えられる。

粒子に働く遠心力と向心力との比 Ω は(1)式となる。

$$\Omega = \frac{4d_p\rho_p}{3C_D r \rho_f} \left(\frac{V_\theta}{V_r - U_r} \right)^2 \dots\dots\dots(1)$$

(1)式に抵抗係数 $C_D = 24/Re_p$ を代入すれば(2)式となるがこれは慣性パラメータの代表速度に $V_\theta^2/(V_r - U_r)$ を代入したものに等しい。

$$\Omega = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu r} \cdot \frac{V_\theta^2}{|V_r - U_r|} \dots\dots\dots(2)$$

ここでロータ部の粒子周速度 V_θ はロータ回転速度に等しいと仮定すれば、 Ω は(3)式で表わされる。

$$\Omega = \frac{4\pi^2 R A \rho_p d_p^2 N^2}{18\mu Q} \dots\dots\dots(3)$$

ロータ部で遠心力が向心力とつり合う粒子径 d_c に対しては $\Omega = 1$ であるので、

$$d_c^2 = \frac{18\mu Q}{4\pi^2 R A \rho_p N^2}$$

したがって d_c を用いれば、 Ω は(4)式で表現できる。

$$\Omega = \frac{d_p^2}{d_c^2} \dots\dots\dots(4)$$

実際の分級操作を Fig. 1 のように考えれば、分級部での真の部分分離率 η と観測値(測定値)として得られる部分分離率 η_{as} には(5)式の関係がある¹⁾。

$$\eta_{as} = (1 - \alpha - \beta)\eta + \beta \dots\dots\dots(5)$$

渡辺は、Lynch や Plitt の提案した η の仮定式の他にも数多くの仮定式が考えられることを紹介している²⁾。この考えに従ってここでは分級部の真の部分分離率 η を(6)式のように仮定する。

$$\eta = \frac{\Omega^a}{1 + \Omega^a} \dots\dots\dots(6)$$

これを(5)式を用いて η_{as} に変換し、 η_{as} が0.5となる粒子径 $d_{c0.5}$ で定義される $\Omega_{0.5}$ を用いて表現すれば(7)

* 徳細川粉体工学研究所
(〒573 枚方市招提田近1-9)
Tel. (0720) 57-3721

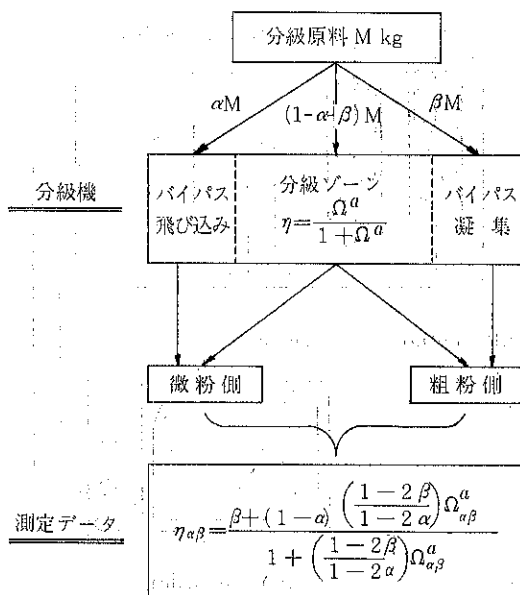


Fig. 1 分級概念図

式となる。

$$\eta_{\alpha\beta} = \frac{\beta + (1-\alpha) \left(\frac{1-2\beta}{1-2\alpha} \right) \Omega_{\alpha\beta}^a}{1 + \left(\frac{1-2\beta}{1-2\alpha} \right) \Omega_{\alpha\beta}^a} \quad (7)$$

ここでは、 a ：分級指数、 α ：微粉側バイパス率、 β ：粗粉側バイパス率と名付けた。(7)式で表わされる部分分離率 $\eta_{\alpha\beta}$ は、Fig. 2 および Fig. 3 のようになる。

分級指数 a は、部分分離率曲線全体を支配するパラメータで、値が大きくなるほど分級が鋭敏に行われたことを示す。 $a = \infty$ で理想的な分級を意味し、 $a = 0$ で単なる分割を意味する。次に、 α は原料粒子が分級されずに微粉側へバイパスしたり飛び込んだりする割合を示すパラメータである。スーパーセパレータはその構造上微粉側へ原料中の粗粉がバイパスしたりすることはほとんどなく、 $\alpha = 0$ と考えて良い。また β は、原料粒子が分級されずに粗粉側へバイパスする割合であり、いくら分級機の性能が優れたものであっても、微粉が凝集していたりすると粗粉側へ排出されてしまうことになるので β はある値を持つことになる。もし仮に密度や粒度分布の異なる粉体に対しても同一条件で比較できるような分級操作ができたとすれば、 β の値は凝集力の大小を示すひとつの尺度と考えることができる。

(7)式で $\alpha = 0$ とおくと、 $\eta_{\alpha\beta}$ は(8)式となる。

$$\eta_{\alpha\beta} = \frac{\beta + (1-2\beta) \Omega_{\alpha\beta}^a}{1 + (1-2\beta) \Omega_{\alpha\beta}^a} \quad (8)$$

ただし、 $\Omega_{\alpha\beta} = (d_p/d_{c\alpha\beta})^2$

分級操作の結果得られるデータは d_p に対する $\eta_{\alpha\beta}$ で

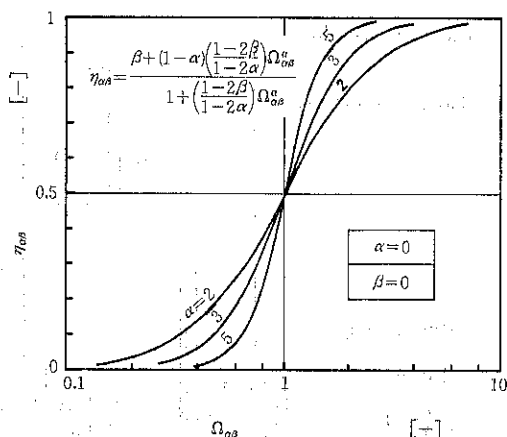


Fig. 2 α の値による $\eta_{\alpha\beta}$ の変化

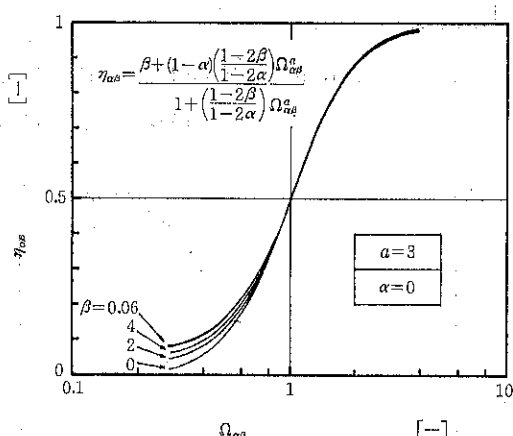


Fig. 3 β の値による $\eta_{\alpha\beta}$ の変化

ありこれを(8)式で表現するためには、最適パラメータ α , β , $d_{c\alpha\beta}$ を決定すれば良い。

$d_{c\alpha\beta}$ は、 $\eta_{\alpha\beta}$ が0.5をはさむ2点から比例配分して推定し、 α , β は非線形最小2乗法を用いて求めることにした。計算にはMZ80C (シャープ株式会社製)を使用した。

3. コヒテスタによる引張り試験

分級試験に使用した粉体について、コヒテスタを用いて引張り試験を行った。Fig. 4 に測定系の概略を示す。この測定結果から、微粉末の凝集力の尺度として、重量平均径の粒子1個に働く付着力と重量との比 $F_c/m_p \cdot g^2$ 、あるいは粉体層の破断に要した仕事量を求めた。

4. 実験結果

Fig. 5 に分級試験の結果と数値計算によって求めた部分分離率曲線の一例を示す。またFig. 6, Fig. 7 には引

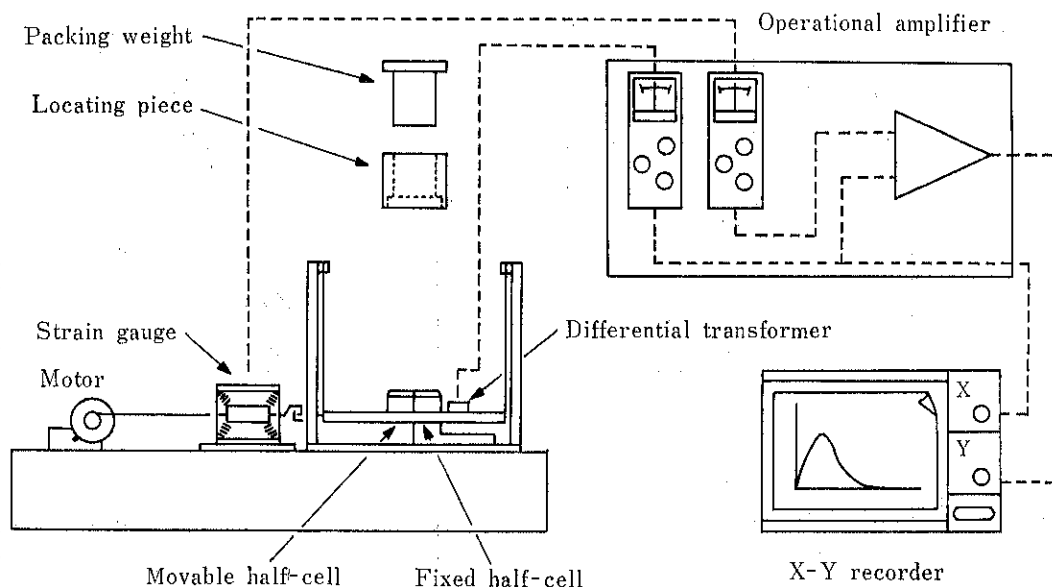


Fig. 4 引張り試験装置概略図 (コヒテスタ)

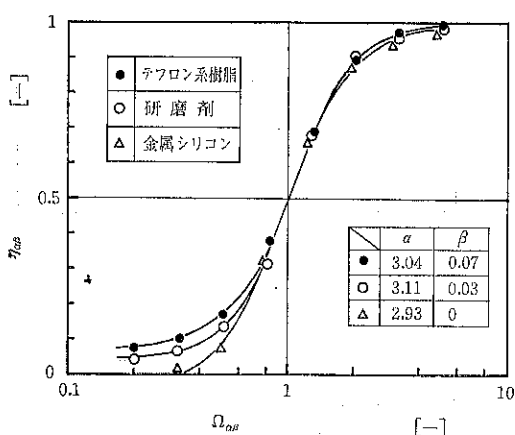


Fig. 5 分級結果の例

張り試験の結果を示す。横軸は、測定セル中に形成した粉体層のかさ密度 ρ_b をそれぞれの試料の平均かさ密度 ρ_{bav} で標準化している。

Table 1 に、11種の粉体を用いて行われた分級操作の運転条件と数値計算の結果得られた α と β 、および引張り試験の結果を示す。

これらの分級操作は、特に原料の凝集性との検討のために行われたものではないので運転条件や分級径など様々であるが、できるだけ原料の重量平均50%径と分級径が近いものを選んだ。

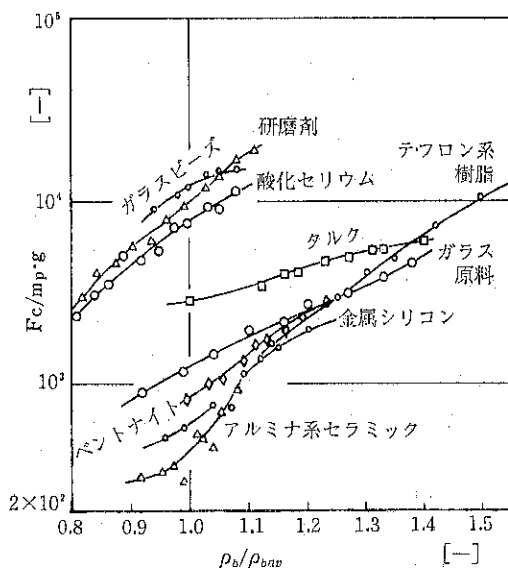


Fig. 6 $F_c/m_p \cdot g$

5. 分級成績と引張り試験の比較

粉体層の力学的性質の測定値をどのように粉体プロセスの中に応用することができるか、その可能性を探ろうというひとつの試みとして、ここでは、先に分級結果として得られた α β の値と引張り試験の結果との相関性を調べてみた。

しかし、このような検討を試みるには、まだ多くの問題点が残っていることも事実である。たとえばTable1にあげた分級操作の分散作用がすべての粉体について同一で

Table 1 実験結果

粉体名	原料		分級条件		分級結果			引張り試験結果 $\rho_b = \rho_{bav}$		
	d_{p80}	ρ_p	N	Q	$d_{c\alpha\beta}$	α	β	σ	$F_c/m_p \cdot g$	W
	μm	g/cm^3	rpm	m^3/min	μm	—	—	gf/cm^2	—	erg/cm^2
アルミナ系セラミック	11	2.30	1,250	12	14.4	4.84	0	1.80	0.44×10^3	0.42
ベントナイト	6	2.51	1,600	12	11.8	4.35	0.06	1.45	0.85	1.80
酸化セリウム	2	5.80	6,200	12	2.8	3.61	0.01	7.75	8.0	1.25
ガラスビーズ	12	2.6	1,500	12	8.4	3.14	0.05	5.00	12	0.36
研磨剤	1.3	6.02	7,600	10	2.0	3.11	0.03	6.70	10	3.40
テフロン系樹脂	28	2.50	2,060	12	16	3.04	0.07	0.60	0.75	11.0
金属シリコン	10	2.30	4,140	12	6.4	2.93	0	1.60	0.60	0.75
ガラス原料	4	2.50	7,600	10	3.0	2.92	0.05	1.25	1.25	0.95
タルク	8.8	2.7	2,500	10	9.1	1.92	0.01	0.50	2.9	2.80

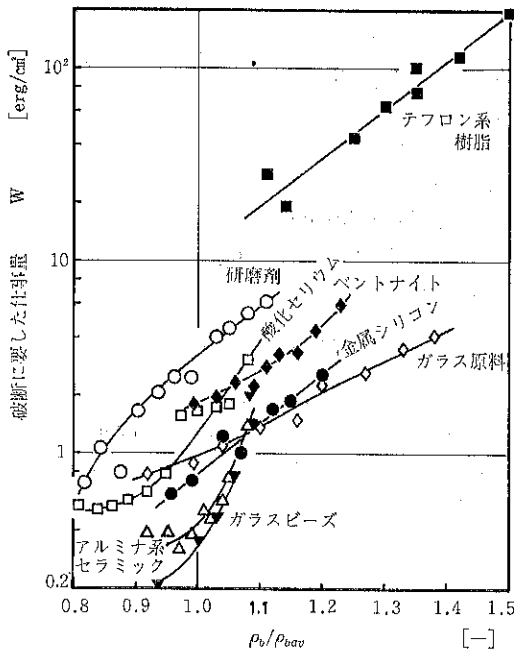
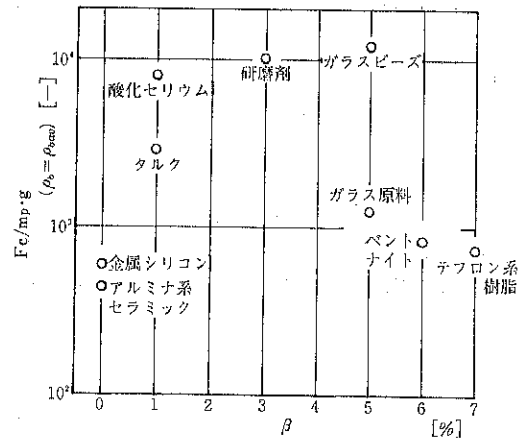


Fig. 7 破断に要した仕事量

あるとはいえないことや、粉体層の引張り強度あるいは破断に要した仕事量が、分級結果を左右するような微粉末の凝集性を評価する尺度となりうるかどうかなど、まだまだ検討の余地が多い。

分級結果を示す α と β のふたつのパラメータのうち、 α は分級機自体の示す部分分離率に最も影響を受け、粒子の形状や Hold up 濃度などによっても変化する

Fig. 8 β と $F_c/m_p \cdot g$ の比較

る指数であると考えられる。一方 β は、先にも述べたように凝集粒子が粗粉側に排出されることに最も影響される。そこでこの β と引張り試験から求めた $F_c/m_p \cdot g$ あるいは破断に要した仕事を比較したものが Fig. 8 と Fig. 9 である。

$F_c/m_p \cdot g$ の値と β とは、かなりばらついていて特に傾向らしきものは見られない、また破断に要した仕事量 W と β もかなりばらついてはいるが、 W が大きいと β も大きいという傾向を若干示している。これに、各分級操作での分散に寄与するエネルギーを考慮するような検討を加えればその傾向がもっと明瞭になると期待できる。

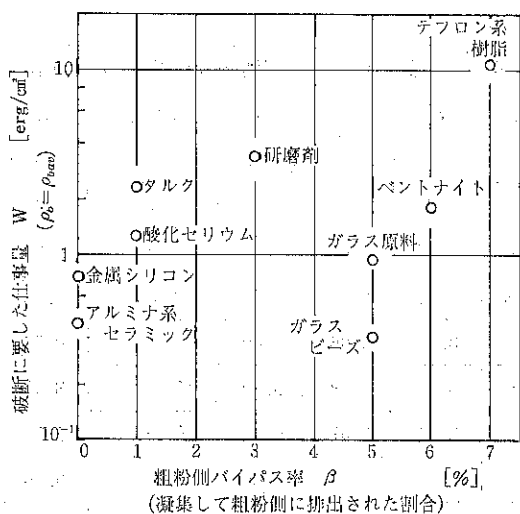


Fig. 9 β と W の比較

6. おわりに

粉体の力学的な性質の測定結果をどのように実際の取り扱いや操作に適用していくかは、装置の効率的な運転や管理のために不可欠の問題である。微粉の凝集性と分級効率の問題も、ますます粒度管理の厳しくなるユーザーの要求に答えるため、検討しなければならない課題である。

本検討では、分級機の運転条件、たとえばローターの回転速度等による分散効果の相異など検討不十分な点も多く、明確な結論を導くまでにいたっていないが、上記した意味における一つの試行として、何らかの参考になれば幸いである。

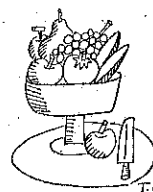
使用記号

A ; 分級ロータ有効面積

- a ; 分級指数
- C_D ; 抵抗係数
- d_c ; 理論分級径
- d_p ; 粒子径
- $d_{c\alpha\beta}$; 観測値として得られる分級径
- F_c ; 1個の粒子に働く付着力
- g ; 重力加速度
- m_p ; 粒子の質量
- N ; 分級ロータ回転数
- Q ; 分級機通過風量
- R ; 分級ロータ平均半径
- Re_p ; 粒子レイノルズ数
- U_r ; 半径方向気流速度
- V_r ; 半径方向粒子速度
- V_θ ; 円周方向粒子速度
- W ; 破断に要した仕事量
- α ; 微粉側バイパス率
- β ; 粗粉側バイパス率
- η ; 部分分離率
- $\eta_{\alpha\beta}$; 観測値として得られる部分分離率
- μ ; 流体の粘性係数
- ρ_p ; 粒子密度
- ρ_b ; かさ密度
- ρ_{bav} ; 平均かさ密度
- σ ; 粉体層の引張り強度
- Ω ; 遠心力/向心力 $(d_p/d_c)^2$
- $\Omega_{\alpha\beta}$; $(d_p/d_{c\alpha\beta})^2$

参考文献

- 1) 金子祐正; 粉体と工業, 9, (2), 53 (1977)
- 2) 渡辺治夫; 粉体工学会誌, 17, 140 (1980)
- 3) 藤井, 横山; 粉体工学会誌, 10, 686 (1979)



紹介

幅広い粉体測定ニーズに応える

細川粉体工学研究所測定室



細川粉体工学研究所は昭和33年9月に設立され、以来長年に亘って粉体の基礎研究、関連機械装置、ならびにシステムの新製品開発・研究に従事いたしております。

その間、当「測定室」では開発研究に伴う物性測定やホソカワミクロン㈱から依頼される試料を数多く処理してきましたが、最近粉体を取扱われている一般企業からの直接の御依頼にも対応できる体制をも整えてまいりました。

粉体物性の測定データは、製品の品質管理、装置設計上の資料、処理装置の性能判定、他社製品との比較、研究資料等、重要な情報源として幅広く利用されております。

しかし、粉体の物性測定は試料を機器に入ればよいというものではなく、適当な測定機種を選定から、機器の操作、結果の検討まで熟練した技術と経験が必要となります。

細川粉体工学研究所「測定室」では長年の豊富な経験を生かしてニーズに対応できるデータを提供いたしております。

ここに、当細川粉体工学研究所「測定室」を紹介いたします。

まず当所で測定可能な粉体物性と その測定装置名を

Table 1 に掲げました。

Table 1 測定項目

測定項目	方 法	装 置 名	メーカ
粒 度 分 布	コールターカウンター法	コールターカウンター (TA-II)	日 科 機 島津製作所 セイシン企業 島津製作所 東京理化精機製作所 ホソカワミクロン
	沈降天秤法	自動粒度測定器 (SA-II)	
	光透過法	ミクロンフォトサイザー (MSKK)	
	比重天秤法	粒度分布自動測定装置 (RS-1000)	
	乾式篩分け	Ro-Tap シューカー	
	湿式篩分け	ミクロンウオシープ (WST-1)	
水 分	乾燥減量	赤外線水分計 (F-1B)	ケット科学研究所 島津製作所 簡井理化学器械
	" "	電気定温乾燥器 (CS)	
	滴 定	カールフィッシャー自動滴定装置 (KFA-1)	
流 動 性	総合測定	パウダーテスタ (PT-D)	ホリカワミクロン
付 着 力	吊下式	コヒテスタ (CT-C)	" "
写 真	拡大鏡	精密投影機 (VS-12)	神 港 精 機 日本光学工業
	顕微鏡	金属顕微鏡 (XF-BD)	
白 度 比 表 面 積 真 比 重 水素イオン濃度	透過法	光電白度計 (C-1)	ケット科学研究所 島津製作所
		粉体比表面積測定装置 (SS-100)	
	液浸法	ピクノメーター	
		P.H.メータ (H-7)	
			堀場製作所

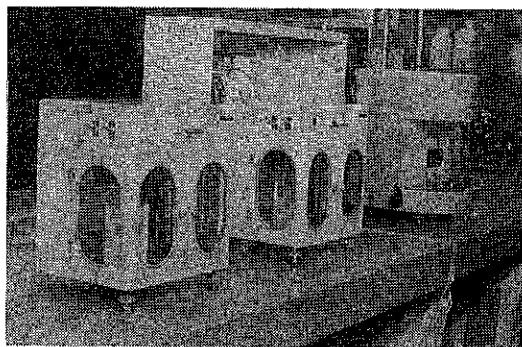


Photo. 1 自動粒度測定器 (SA-II型)

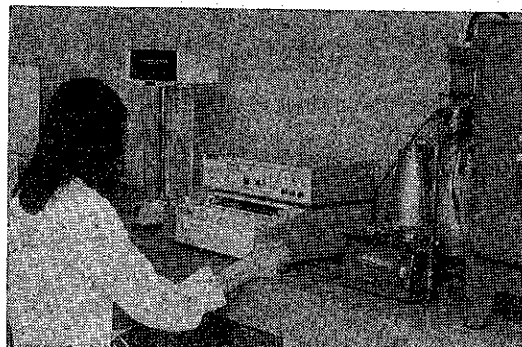


Photo. 2 粒度分布自動測定装置 (RS-1000)

粒度分布測定は、粉体によって特性が異なるため、その特性にあった測定機を選定することが肝要であります。そのため測定機種も乾式および湿式篩分け、沈降天秤法 (Photo. 1)、比重天秤法 (Photo. 2)、光透過法 (Photo. 3) の各機種およびコールタカウンタ (Photo. 4) 等を揃えております。

以前は相当長時間を要していました粒度測定も新機種の導入により測定のスPEED化が図れると共に、測定が困難とされていた超微粉や凝集性の強い粉体も測定可能となりました。

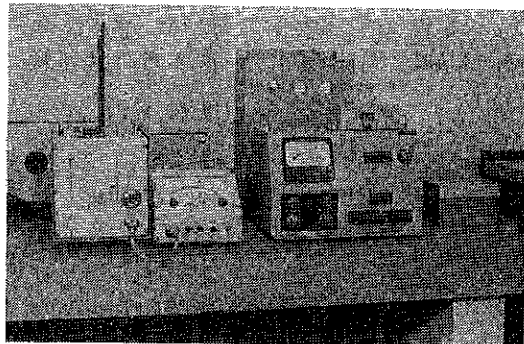


Photo. 3 ミクロンフオートサイザ

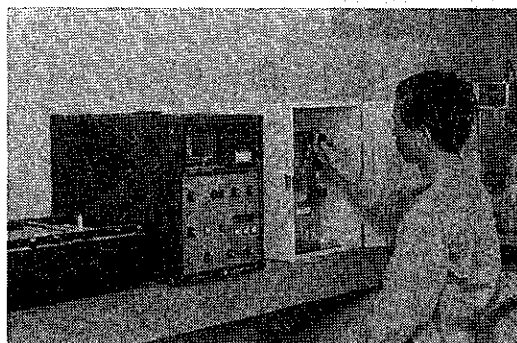


Photo. 4 コールター・カウンター

粉体の力学的特性である流動特性、および付着力は、当研究所で開発いたしましたパウダテスト (Photo. 5) およびコヒテスタ (Photo. 6) によって測定することができます。パウダテストは安息角、圧縮度、スパチュラ角、凝集度、崩潰角、分散度、差角の7種の粉体特性値を測定し、流動性および噴流性を指数で表わすことができ、ホッパーからの排出の難易度やハンドリング上の指標を得ることができます。また、コヒテスタでは摩擦誤差をなくし精度の高い値が得られると同時に、粉体層の変位も測定でき、破断に要する仕事量を自動計算することが

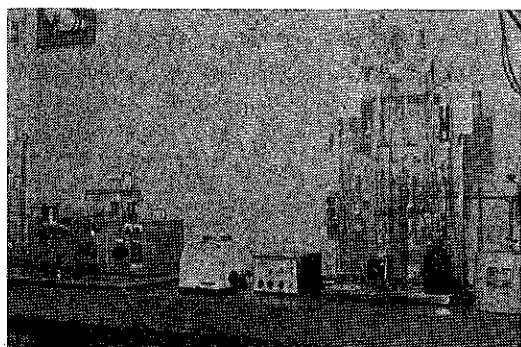


Photo. 5 ホソカワ/ミクロン パウダテスト (PT-D) (左側) とカールフィシャ 滴定装置 (KFA-1)

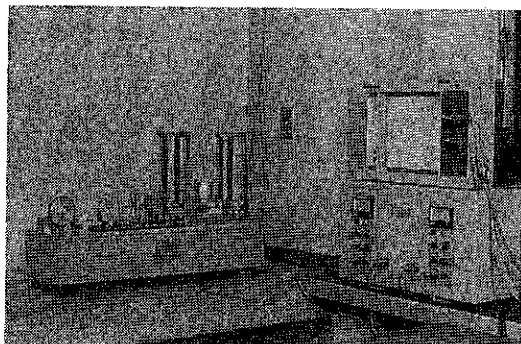


Photo. 6 ホソカワ/ミクロン コヒテスタ

できます。両機種との測定により、より幅広い粉体特性の把握が可能となりました。

粉体の形状観察および写真撮影には、拡大投影機(Photo. 7) および最近導入いたしました顕微鏡 ニコンXF (Photo. 8)により行われ、ミクロンオーダーの粒子の様子が鮮明に観察できます。

上記の他に水分、白度、比表面積、真比重、水素イオン濃度等広い範囲の粉体物性も測定いたします。

なお、当研究所では得られたデータの利用の面で、マイクロコンピュータ (Photo. 9)と測定機とを連動化させる試みを行い、データ解析のスピード化を図っております。

当測定室は、正確なデータを依頼者に确实迅速に提供することを使命としており、今後も測定内容を拡張し、依頼者に満足されるよう充実化を図ってまいりたいと思っております。

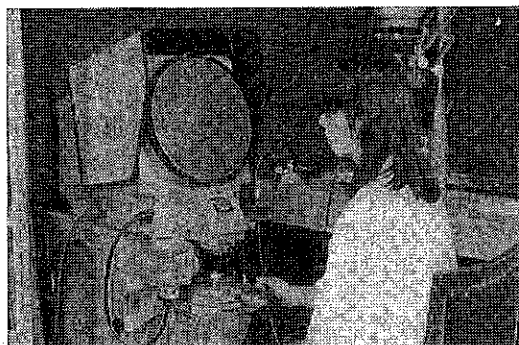


Photo. 7 精密投影機 (VS-12)

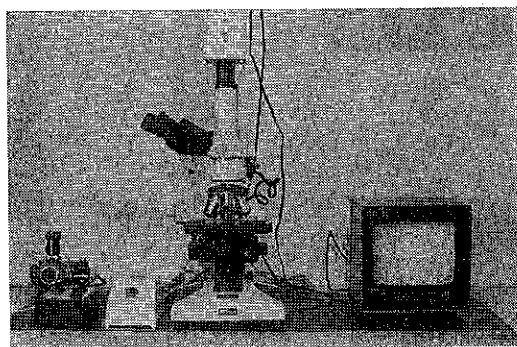


Photo. 8 金属顕微鏡 (XF-BD)

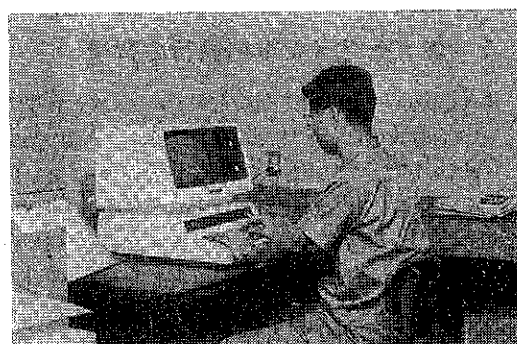


Photo. 9 マイクロコンピュータ

特許一言メモ No. 19

実施態様項

本誌47頁 No. 18 の「発明の数」で述べた「実施態様項」とは何か、を簡単に述べる。これは、我が国特許法の国際化に合わせたものであり欧米諸国で既に採用していたクレームの多項性を既存の特許法に合わせつつとり入れたもの、といってよい。すなわちクレームには、「発明の構成に欠くことができない事項のみを…」書くことになっているが「……ただし、その発明の実施態様

を併せて記載することを妨げない。」(法36条5)と、昭和51年に改正された。そして「実施態様」とはその発明の他の実施態様を技術的に限定して具体化することにより記載されるものである。この実際例は、目にかかる多くの公報の例を学ぶことによってよく理解されることである。(M. N生)

環境アセスメントの実例

——火力発電所の建設に関するアセスメント——

若林 嘉一郎*

Kaichiro Wakabayashi

1. 本アセスメントの実行の背景

複合技術のシステム化を特徴とする近代工業は環境汚染の大型化に直結した。大型環境汚染では、それが発生した後の対策だけでは事態を処理し切れないことがある。環境汚染に気づいた時点ですでに、社会や自然がとしかえしのつかないダメージを受けてしまっていたのでは事後処理は役に立たないからである。

そこで、新規の工業技術を社会に適用する以前に、そのもたらすデメリットを評価し、評価結果によってはその技術の適用を見合わせるという発想がうまれた。これをテクノロジーアセスメントという^{*1}。

テクノロジーアセスメントの思想は昭和47年6月の閣議了解事項「公共事業にかかわる環境保全対策」や昭和48年制定の工場立地法のなかに組み込まれた。また、環境アセスメントを条例により定めた地方自治体もあらわれはじめた。かくして、昨年以来見送られて来た環境影響評価制度の立法化は、いまや成立必至の情勢となった。

昭和52年7月の通産省省議決定事項「発電所立地に関する事前環境審査」も上述に連なる動きである^{*2}。

以下、その内容の骨子だけを紹介する。

発電所建設工事の着工前に、電力会社は発電所建設にかかわる環境影響を調査し、報告書（これを環境影響調査書という）を通産省へ提出する。この調査書が通産省の審査にパスしなければ発電所の建設は許可されない。

審査に当たり、通産省は調査書の内容を法令と照合するほか、専門家（これを環境審査顧問という^{*3}）、発電所建設地の地方自治体および地元住民の意見を徴取する。

電力会社の行なう調査の方法は昭和54年6月の資源エネルギー庁長官通達「発電所立地に関する環境影響調査および環境審査の実施方針」のなかの「環境影響調査要綱」に明示されている。また、その調査方法につき、通産省は地方自治体と連携しつつ電力会社を指導する。すなわち、通産省は指導者と審査者を兼ねることになる。

一方、通産省の行なう審査では、調査に関与した地方自治体の意見が重視される。そのため、電力会社は調査書を、通産省以外に地方自治体へも提出しなければならない。

また、調査書の提出後、電力会社は懇談会により地元住民に調査書の内容を説明すると共に住民の意見を徴取する。適切な意見が出たならば、それは通産省へ報告され、最終審査の資料となる。

総合エネルギー調査会の報告によれば、昭和50年～60年の10年間に電力需要は約1.8倍に伸びると見込まれ、電源立地の促進が焦眉の課題となっている。しかるに、環境問題などをめぐる地元住民の反対により、発電所の建設は大幅に遅れているのが現状である¹⁾。

ここに、この事前審査では地方自治体や地元住民の意志が十分に尊重される。そのため、この厳正な実行は無統制な反対運動の自然消滅につながると期待できる。

北陸電力²⁾は富山県新湊（しんみなと）市に総出力100万kWの火力発電所を持っており、これは出力50万kWの発電機1基（これ新港火力という）と出力25万kWの発電機2基（これは住友アルミとの共同出資の発電所であり、それを共同火力という）によって構成されている。北陸電力はこの発電所の構内に50万kWの

*1 テクノロジーアセスメントでは、環境破壊以外に災害事故、資源の浪費、社会生活の不調和といったあらゆるデメリットを評価の対象とする。

*2 この事前審査の対象は、出力15万kW以上の火力発電所（地熱発電所では出力1万kW以上）、原子力発電所、環境保全上特別の配慮を必要とする出力3万kW以上の水力発電所である。

*3 環境審査顧問は資源エネルギー庁長官の委嘱した学識経験者である。

* 富山大学工学部化学工学科

(〒933 富山県高岡市中川園町1-1) Tel.(0766)21-2510

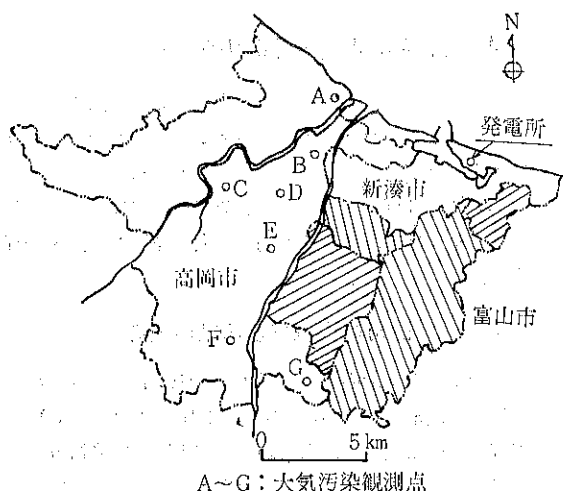


Fig. 1 アセスメントの対象である火力発電所に近接する市町村の略図

発電プラントを増設しようと企て、通産省の指示に従って437ページにわたる膨大な環境影響調査書を作成した。

Fig. 1 に示すように、高岡市は新湊市に隣接しており発電プラントの増設に伴う大気汚染の影響を受ける。そのため、上記調査書は高岡市へも提出された。そこで、高岡市長は同市公害対策審議会に対し発電所増設の可否を諮問した。これを受けた同審議会はその構成メンバーの一員である筆者に本件に関する環境影響の審査を委託した。ただし、委託事項の本質は「後日高岡市公害対策審議会が行なう本審査のための叩き台の作成」である。

筆者はつぎの手順で審査を行なうことを決心した。

- (1) 発電プラントの建設の必要性の検討
- (2) 選定された発電プラント建設場所の適否の検討
- (3) 高岡市とその周辺の環境の実態調査
- (4) 火力発電所の実施する環境保全対策の評価
- (5) 高岡市の受ける環境インパクトの評価

これは IASA の提示したテクノロジーアセスメント実行手順に準ずるものである²⁾。当初、筆者はこの手順で行なう審査だけで事が足りると信じた。しかるに、審査結果を高岡市公害対策審議会に提出した処、それは地元の特殊事情(第7章参照)に関する配慮を欠くと指摘された。そのため、第8、9章に示す事項の追加検討の後でなければ、審査作業は完了しなかった。

この審査過程の公表は「立法化の迫った環境影響評価制度への対応手段の発見」に役立つかも知れないとの期待が本文執筆の動機である。なお、本文とほぼ同じ内容の論文を他誌³⁾に発表したことをおことわりする。

*4 たえば、出水変動が水力発電出力の変動因となる。

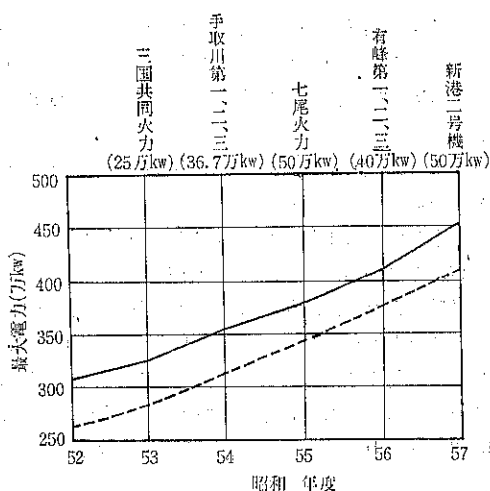


Fig. 2 北陸電力の電源開発計画

2. 発電プラント増設の必要性

本章の検討により、発電プラントの建設の必要性が否定されたならば、その時点で発電所増設計画が拒否され審査は打ち切られることになる。

一般に、電力需要は夏季において最大となるが、日本電力調査委員会は北陸地方の最大需要電力が Fig. 2 の点線が示すようになると予測した。北陸電力はこの予測値に対し約10%の供給予備率を加算して、同図の実線が示すような電源開発計画を立てた。図の上欄には、当該年度からの始動が予定されるおもな発電所名が示される。

この審査の対象は昭和57年からの始動予定の発電プラントであり、これを新港2号機と称する。

なお、以下の記述では、既設の新港火力(50万kW)を新港1号機と呼ぶ。

(1) 最大需要電力予測値の精度の検討

日本電力調査委員会の予測値は、国の長期経済見通しと地域の経済動向の総合として作成されている。すなわち、「家庭用需要電力については、人口、家庭用電器の普及率、個人消費支出」、「鉄鋼、アルミ産業については(北陸地方では、これらの産業が最大電力消費者である)物質生産量と電力原単位」、「その他の産業については鉱工業生産指数」が予測の基礎データとなっており、これに業種構成により異なる負荷率を織り込んで、Fig. 2 の点線で示した予測値がうまれた。

この予測手段の妥当性と予測のための基礎資料の正確性は(完全ではないが)適正に高いと認められる。

(2) 供給予備率の設定値に関する考察

電力の需要および供給出力が変動するため⁴⁾、電力会

社は最大需要電力の予測値に若干の予備率を付加した総出力を確保しなければならぬ。過去の経験から、この予備率は **Fig. 2** で設定した約10%に一致すると算定できる。

かくして、昭和57年において出力 50 万 kW の発電所の建設は必要と認められた。

(注) 北陸電力は1基あたりの出力が 50 万 kW の発電機を保有している。もし、この発電機がアクシデントにより故障したならば、北陸電力の総出力が最大需要電力 (**Fig. 2** の点線) 以下となってしまう。この危険を避けるには、予備率をもっと大きくするかまたは1基当りの出力を下げるべきであった。このように観察すると、**Fig. 2** に示された電源開発計画が適正とは認められない。

ただし、このようなアクシデントの発生時には、北陸電力は他社からの融通電力を受けて危機を脱することができる。また、**Fig. 2** の示す計画では、この不合理は逐年的に解決される傾向にある。

3. 発電プラント建設場所の選定

発電プラントの建設場所を新湊市の火力発電所構内とすることの利点はつぎのとおりである。

- (1) プラント建設用地は北陸電力が取得済みである。
- (2) 貯油施設として3万トンタンク2基を建設すれば、それ以外(燃料の揚油と送油設備、復水器の取放水設備および発生電力の送電系統)は既設設備を利用できる。
- (3) 新港1号機と2号機の煙突(共に実高 220 m)を合わせて集合型とすることができ、有効高さがかなり大となる。たとえば、6-2に後述する大気条件では、単独煙突のときの有効高さは385 mにすぎないが、集合煙突にすれば有効高さは491 mとなる。

(注) 高岡市の環境保全のみを目的とするならば、近接地での火力発電所の建設を拒否すべきであろうが、それは事前環境審査の実行態度ではない。ただし後述の第6章において、発電所の建設により20万近い人口を擁する高岡市の環境が著しく汚染されると判定されたならば、建設予定地の変更を主張しなければならぬ。

*5 規制濃度との比較は、 SO_2 と NO_2 では年平均値と24時間値、ばいじんでは24時間値について行なった。

*6 昭和58年のオキシダント発生回数は4回であり、そのうち3回は弱風下(風速 1.5 m/sec 以下)で発生したが、6月8日のみは強風下(風速 3~5 m/sec)で発生している。これはオキシダントの発生因子が多元的であり、日射と風だけがオキシダントの発生に寄与するのではないことを示唆している。

4. 高岡市とその周辺の環境

Fig. 1 に示したように、高岡市が新湊市に隣接しているため、火力発電所の排出する大気汚染物質の一部が高岡市内に降下する。高岡市の受ける大気環境インパクトは第6章で評価するが、その評価資料の収集を目的として、本章では高岡市とその周辺の大気環境の実態を調査する。

4-1 高岡市の大気環境汚染の実態

高岡市の大気汚染物質の濃度は **Fig. 1** の A~G なる7地点で測定されている。測定によれば、 SO_2 と NO_2 の濃度は一般に低く全地点において富山県の大気環境指導目標値以下となったが、ばいじん濃度は一般に高く特に地点 C と D において国の環境基準値をわずかに超過した*5。

ここに、富山県の大気環境指導目標値および国の環境基準値は後掲の **Table 1~3** に示される。

また、昭和53年5月26日には地点 D で、同年6月3日、6月8日、6月9日には地点 C と D で 0.10 ppm 以上の高濃度のオキシダントが発生した。

4-2 富山県の大気状況

北陸電力は富山气象台、伏木測候所(高岡市北端)、輪島測候所(石川県能登半島)の気象データーを集めると共に、新湊市の火力発電所構内で気象観測を行なった。このようにして得られた情報を総合するとつぎの知見に到達する。

(1) 前章で述べたように、新港1、2号機の集合煙突の有効高さは491mであるが、地上500mにおける発生頻度の高い風は北東および西風である。ここに、北東風においては高岡市は新港火力の風下となる。

(2) 日射が強く風の弱いときにオキシダントが発生しやすい。富山県では、日射量は5月において最高となり、それは約 43.9 cal/cm²hr (年平均値の1.6倍)である。また、風の強さは春>秋>冬>夏の順となる。したがって、太平洋沿岸地帯とは異なり、初夏においてオキシダントが発生しやすいこととなる。高岡市において、5月下旬から6月上旬の間にオキシダントが発生したのは、この気象条件によるのであろう*6。

(3) 大気安定度の出現確率の季節的变化は小さく、その出現確率の年平均は中立(安定度分類 C~D)が48.2%、不安定(A~B)が36.8%、安定(E~F)が15.0%である。6-2節で後述する短時間汚染の推定計算では大気安定度は中立と仮定されるが、その仮定の設定はここで述べた気象調査に根拠をおく。

(4) 逆転層の高さはほとんどの場合、地上 200~300 m

であり、新港火力（共同火力を含む）の有効煙突高さよりも低い。これは大気環境の保全上好都合な条件である。

5. 火力発電所の実施する環境保全対策

5-1 SO₂ 対策

現在、新港1号機では、硫黄分0.56%の燃料を使用し、燃焼ガスの $\frac{1}{2}$ を脱硫している。その結果、このプラントでは、硫黄分0.35%の燃料を脱硫しないで燃焼したとほぼ同量のSO₂が排出されている。

また、共同火力では硫黄分0.35%の燃料を脱硫しないで燃焼している。

かくして、新港1号機と共同火力から排出されるSO₂の総量は537 Nm³/hrとなっている。

北陸電力は新港2号機が始動する昭和57年以降においても、SO₂の総排出量を現状の537 m³/hr以下にとどめる決心であり、そのためにはつぎの処置をとる。

新港1号機の使用燃料硫黄分を0.33~0.35%とし、排気の $\frac{1}{2}$ を脱硫する。また、新港2号機の使用燃料硫黄分を0.20%とし、これは脱硫しない。この使用燃料の低硫黄化は重油と原油の混合燃焼により実現する。

共同火力の出力の大半は共同出資者である住友アルミ精練に供給される。このような公共性を欠く発電所へは原油の割り当てがないため、共同火力の使用燃料の硫黄分を大巾に下げることが困難である。そこで、この発電所の燃料の硫黄分を現状よりやや低い0.30%とする。

5-2 NO_x 対策

現在採用されているNO_x対策は2段燃焼方式と排ガス再循環方式の併用であり、発電所（新港1号機と共同火力）の総排出NO_x量は519 Nm³/hrとなっている。

北陸電力は昭和57年以降においてもNO_x総排出量を現状以下とするため、つぎの処置をとる。

新港1、2号機および共同火力において、2段燃焼と排ガス再循環を行なうほか低NO_xバーナーを設備する。また、新港2号機の全排ガスを脱硝する。採用される排煙脱硝技術はアンモニア添加触媒還元法である。

5-3 ばいじん対策

現在は、全発電所には電気集じん機が設置されており、総排出ばいじん量は87.8 kg/hrとなっている。北陸電力は新港2号機にはもっと高性能の電気集じん機を設置する計画であるが、その結果、総排出ばいじん量は現在よりも26.4 kg/hrだけ増加すると推定される。

4-1節で述べたように、高岡市に降下している大気汚

染物質のうち、ばいじんの影響が最も大きいと見込まれる。しかるに、新港2号機の建設は高岡市における降下ばいじん量の増加に直結することになる。

これに注目すると、北陸電力の計画しているばいじん対策は不適正ということになるが、ここでは結論を出さず、6-3(3)で改めて検討する。

5-4 オキシダント対策

ばいじんと同程度に重視すべき汚染物質はオキシダントである。ここに、オキシダント濃度を支配する因子としては、NO₂のほかに炭化水素（オレフィン類、芳香族）と気象条件（日射量、風速など）がある。したがって、NO₂のみに注目したのでは完全なオキシダント対策はとれない。しかし、高岡市は便宜上、オキシダント警報発令時には火力発電所の出力低減を指示する方針である。

北陸電力はオキシダント警報対応時における火力出力の不足を水力発電と他社からの融通受電によりカバーする計画である。

4-2節で述べたように、オキシダント警報は水力の豊富な初夏に発令される確率が高い。したがって、対策として水力発電に依存することは妥当と認められる。

ただし、渇水期（盛夏）にオキシダント警報が発令される確率はゼロではない。この事態の出現に備え、総出力23万kWの調整式発電所（4発電所）の調整池をほぼ満水に保つこと（ただし、盛夏のみ）を北陸電力に勧告した処、北陸電力は勧告の実行を約束した。

5-5 悪臭対策

ボイラー排ガス中にSO₂があると電気集じん機が腐蝕する。これを防ぐため、現在すべての排ガスにアンモニアが注入されている。（注入率は0.015%）これによる煙突からのアンモニア逸出量は9~12 Nm³/hrである。

また、新港2号機では、SO₂の中和用のほか脱硝用としてもアンモニアが注入（注入率は0.02%以下）され、ここでの全注入量は30 Nm³/hrである。（新港2号機でのアンモニア逸出量は不明）

これに対し、県条例の規制値は15500 Nm³/hrである。したがって、新港火力は悪臭公害には無関係といえる。

6. 高岡市の受ける環境インパクトの評価

ここでは、新港2号機の建設後において高岡市が火力発電所から受ける環境影響を評価する。評価指標としては、高岡市の大気汚染の現状に対する火力発電所からの

排出汚染物の寄与率 ρ_1 および富山県環境指導目標値に対する寄与率 ρ_2 を用いる。

ただし、 ρ_1 および ρ_2 はそれぞれつぎの(1)式および(2)式によって定義される。

$$\rho_1 = \frac{\Delta C}{\text{高岡市の平均汚染濃度の現状}} \quad (1)$$

$$\rho_2 = \frac{\Delta C}{\text{富山県環境指導目標値}} \quad (2)$$

ここに、 ΔC は新港1、2号機と共同火力が排出する大気汚染物質による高岡市における当該物質着地濃度の推定増加量である。当然のことではあるが、この ρ_1 と ρ_2 は各汚染物質 (SO_2 、 NO_2 またはばいじん) ごとに別々に求められる。

また、(1)式の分母は昭和51年度に富山県環境部が採取したデーターをそのまま使用する。

ここに、富山県環境指導目標値は SO_2 と NO_2 のみについて定められ、ばいじんについてはそれは制定されていない。そこで、ばいじんについては(2)式の分母として国の環境基準値を採用した^{*7}。すなわち、ばいじんでは、 ρ_2 は国の環境基準値に対する寄与率ということになる。

6-1 年平均濃度についての寄与率

北陸電力は新港1、2号機と共同火力の排出する大気汚染物質が年平均として富山県全域の環境にいかの影響するか(汚染物質濃度をどれだけ高めるか)を知るため、つぎのプロセスによる推定計算を行なった。

- (1) 気象調査データーから特定期間(暖房期、非暖房期の昼間と夜間)における特定気象条件(風向、風速、大気安定度に関する条件)の発生頻度を求める。
- (2) 各期間の気象条件に合わせて火力発電所の有効煙突高さを求め、しかる後に汚染物質の拡散計算を行なう。

ここに、有効煙突高さはモーゼス・カーソン式(風速が1 m/sec以上のとき)またはブリーグス式(風速が1 m/sec以下のとき)から求められ、汚染物質の着地濃度の推定増加量は正規拡散式のプリュームモデル式(風速が1 m/sec以上のとき)またはパフモデル式(風速が1 m/sec以下のとき)から求められる。

- (3) 最後に、各期間についての計算値を統合して、年平均着地濃度の増加量 ΔC を推定する。

^{*7} 6-1、6-2で後述するように、ばいじんについての国の環境基準値は24時間値と1時間値のみについて制定されている。

この推定法は、富山県環境部が昭和51年の SO_2 と NO_2 の着地濃度の推定に用いたと同じ手法である。また、この推定値は実測値(昭和51年に富山県が測定し整理したデーター)にかなりよく一致することが確かめられているため、推定値 ΔC の精度は高いと判定する。

北陸電力は推定値 ΔC を富山県の地図上にプロットし ΔC の等濃度線を描いた。この図から高岡市における ΔC の最高値を求め、それをTable 1に示す。また、(1)式の分母と(2)式の分母および ρ_1 と ρ_2 をも同じ表に示す。

脚注7で述べたように、ばいじん濃度の基準値については、年平均値は制定されていない。しかし、その24時間値は0.1 mg/m³と制定されている。(Table 2参照)一方、富山県環境指導目標値における年平均値対24時間値の比率は、 SO_2 では0.4、 NO_2 では0.5となっている。そこで、ばいじんの年平均基準濃度の望ましい値は24時間値の0.4倍であるとみなすこととして、その値をTable 1に記した。(それは0.04 mg/m³となる)

6-2 短時間濃度についての寄与率

北陸電力は火力発電所の排出汚染物質による短時間汚染の ΔC を計算した。計算で得られた ΔC の一例をFig. 3の実線で示す。図示のように、 ΔC は煙源からの距離の関数となり、特定点でそれが最大となる。ここに、本文が対象とする火力発電所に設置される高さの煙突では、(ΔC)_{max}が最大となる風速は5 m/secである。

Table 1 年平均汚染濃度に関する寄与率

物 質	ΔC	(1)式の分母	(2)式の分母	$\rho_1(\%)$	$\rho_2(\%)$
SO_2	0.3 PPb	12 PPb	16 PPb	2.5	1.88
NO_2	0.3 PPb	12 PPb	20 PPb	2.5	1.50
ばいじん	0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.035 mg/m ³	0.04 mg/m ³	0.17	0.15

(注)ばいじんにおける(1)式の分母は Fig. 1 地点Fでの値

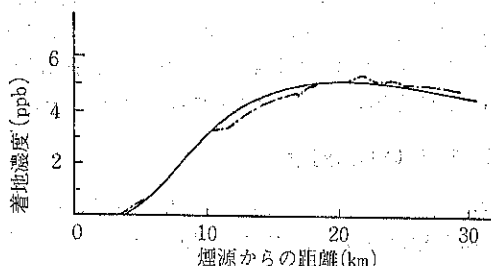


Fig. 3 風洞実験結果と計算値の比較 (SO_2 および NO_2 の1時間値)

この計算では、大気安定度を中立とし、逆転層の存在を無視し、風速を 6 m/sec とした。

大気安定度を中立とした理由は 4-2(3)で述べた、煙突よりも低い場所(地上200~300m)に出現する逆転層の存在(4-2(4)参照)を無視したことは、計算で求められる $(\Delta C)_{\max}$ が実現値よりも大となる条件設定といえる。ただし、風速条件は $(\Delta C)_{\max}$ を最大ならしめる条件から少々はずれる。

したがって、この3条件下で計算された $(\Delta C)_{\max}$ を最大実現値とみなしても大きな誤りは生じないであろう。

北陸電力は有効煙突高さをボサンケ I 式から求め、着地濃度 ΔC をサットン式から求めた。

周知のように、複雑な地形に対してはサットン式の信頼度は高いとはいえない。北陸電力はサットン式の富山県の地形に対する適用性を検定する目的で1/3500の風洞実験(エチレンガスを使用)を行なった。実験は3風向について行なわれたが、そのなかには高岡市が風下となる北東風が含まれている。

実験はつぎのプロセスで行なわれた。

- (1) まず、底面が平板である風洞で実験する。この実験により、 ΔC 分布の実験値がサットン式からの計算値に一致する高さ方向風速分布のパターンを探索する。
- (2) つぎに、底面を地形模型(実在の山や川の存在を表現している模型)とする風洞で実験する。ただし、平板底面風洞の実験において ΔC の実験値と計算値が一致したときの風速分布が、この実験で採用される。

Fig. 3 の鎖線は北東風(高岡市が発電所の風下)における SO_2 と NO_2 の ΔC (1時間値)に関する地型

*8 Fig. 3 において、実験値と計算値が一致しない部分が出現しているが、これは山や川の影響である。

*9 本文では紹介を省略したが、北東風以外の風向についての実験値も計算値によく一致した。これは、富山県では高い山岳はその周辺にのみ存在し、中心の平野部には丘陵しか存在しないことによるのである。

*10 1時間値の最高値は入手できたが、筆者はこれを有用な情報とはみなさない。なぜならば、それは強い偶然発生的な性格を持つからである。

Table 2 24時間値に関する寄与率

物質	ΔC	(1)式の分母	(2)式の分母	$\rho_1(\%)$	$\rho_2(\%)$
SO_2	3 PPb	30 PPb	40 PPb	10.0	7.5
NO_2	3 PPb	27 PPb	40 PPb	11.1	7.5
ばいじん	$0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.35 \text{ mg}/\text{m}^3$	$0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$	0.17	0.6

(注)ばいじんにおける(1)式の分母は Fig. 1 地点Dでの値

模型実験値であり、実線はサットン式による計算値である。この図を見ると実験値と計算値がよく一致すると認められる*8。この確認によりサットン式の信頼度が高いと判断できるので、式からの計算値 ΔC を考察の対象とする*9。

また、Fig. 3 を見ると、 $(\Delta C)_{\max}$ は高岡市の南端で出現するとわかる。そこで、 ρ_1 および ρ_2 を計算するために用いられる ΔC としては、計算で得られた $(\Delta C)_{\max}$ を採用することとする。

ΔC (すなわち $(\Delta C)_{\max}$) の24時間値および1時間値をそれぞれ Table 2 および 3 に示す。また、寄与率とそれの関連数値をもこれらの表に示した。

Table 3 1時間値に関する寄与率

物質	ΔC	(2)式の分母	$\rho_2(\%)$
SO_2	5 PPb	100 PPb	5.0
NO_2	5 PPb	—	—
ばいじん	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$	0.5

(注) NO_2 については1時間値の環境指導目標値は定められていない。

ここに、Table 2 に示された(1)式の分母は24時間値における2%除外値(24時間値が表示の値以上となる確率は2%である)である。また、Table 3 には(1)式の分母と ρ_1 を示さなかった。その理由は、1時間値については適切なデーターが得られなかったことによる*10。

6-3 考 察

(1) Table 1 によれば、すべての汚染物質において ρ_1 と ρ_2 が低い。したがって、新港2号機建設後に火力発電所が排出する大気汚染物質の高岡市の長期汚染に与える影響力は小さいと判定できる。

(2) Table 2 および 3 によれば、 SO_2 と NO_2 の ρ_1 および ρ_2 が大きい。したがって、火力発電所が排出する SO_2 と NO_2 の高岡市の短時間汚染に与える影響力は大きいといえる。しかし、4-1で述べたように、高岡市は SO_2 または NO_2 による汚染被害を受けていない。

また、5-1および5-2で述べたように、新港2号機の建設後における発電所からの SO_2 と NO_2 の排出量は現状と同じである。これを考慮すれば、排出される SO_2 と NO_2 による高岡市環境の汚染は許容できる程度とみなせる。

(3) 4-1で述べたように高岡市のばいじん汚染が著しいにか

かわらず、5-8で述べたように新港2号機の建設によりばいじん排出量が増加する。しからば、北陸電力の計画しているばいじん対策の改善を求めるべきかといえそうではない。Table 1-3 が示すように、火力発電所の高岡市に与えるばいじん汚染の寄与率が小さいからである。

(注) 高岡市のばいじん濃度が高くなっているおもな原因は、自動車交通の輻輳(ふくそう)にあると思われる。

以上の考察により、新港2号機の建設が高岡市に与える環境影響は許容限度を超えないと判定できた。

7. インターミッション

前章の末尾に述べた結論に到達した筆者は、新港2号機の建設を可とする報告書を高岡市公害対策審議会に提出した。同審議会は前章までの審査プロセスを妥当と認めたが、この報告書はつぎの2項目についての考察を欠くと指摘し、結論への到達を拒否した。

7-1 クリーンエネルギーの使用

Fig. 2 に示したように、北陸電力は昭和55年の完成を目標として石川県に七尾火力(50万kW)の建設を計画しているが、これは地元住民の反対によりいまだに着工されていない。これに関する地元住民との交渉過程において、北陸電力はLPG(これは硫黄分や窒素化合物を含有しないクリーンエネルギー)を使用すると提案している。

七尾火力同様、新港2号機においてもクリーンエネルギーの使用を要求すべきではないか。

7-2 北陸3県における発電量と受電量のアンバランス

北陸3県(富山、石川、福井県)に電力を供給している北陸電力は上記3県に発電所を持つが、この3県のうち富山県での発電出力が圧倒的に大きい。これは富山県で過剰発電を行ない、それにより石川、福井県の需要を満たしていることになる。

発電行為が環境汚染に直結する以上は、北陸3県にお

いてメリット(電力の使用)とデメリット(発電所の建設)の収支を均等化させるべきではないか。

この2項目の提示は住民感情に端を発している。資源エネルギー庁の作成した環境影響調査要綱が地元の特殊事情に関する配慮を欠くことは通産省も覚悟の上であり、高岡市公害対策審議会のこの指摘は適切な行動といえる。

以下、上記2項目について検討する。

8. クリーンエネルギーの使用に関する検討

8-1 燃料の購入などに関する条件

9電力会社の昭和52年における全出力は10377万kWであり、そのうちLNG、LPG、ナフサなどのクリーンエネルギーによる発電力は1144万kWである。ここに、クリーンエネルギーの主流はLNGであり、LPGの使用は東京電力 姉崎火力(60万kW×3)のみである*11。

また、昭和60年までに建設が計画されているクリーンエネルギー使用火力発電所の総出力は1800万kWであり、そのうちLPGを使用するのは北陸電力七尾火力(50万kW)、中国電力 竜島火力(140万kW)および同岩国火力(50万kW×2)のみである*12。

グリーンエネルギーの主流であるLNGの輸送タンカーが大型であるため、あらゆる場合他社との共同購入がなされている。共同購入は燃料供給者への経済的対応と燃料の安定入手を目的とする行為であるが、それには共同防災システムの構成といったメリットもある。

LNGの共同購入の相手の多くはガス会社(九州電力の一部のみは新日鉄との共同購入)であるが、ガス会社のLNG使用の条件は大消費都市の保有である。しかるに、北陸地方には大消費都市がない。

また、LNG生産者はLPGとの抱き合わせ販売を希望することが多く、姉崎火力、竜島火力、岩国火力のLPGの使用は生産者の要望による。

ここに、七尾火力のLPG使用のみは生産者の要求に無関係であり、これは住民運動への北陸電力の苦肉の対応とみなしてよからう。

ただし、七尾火力の建設予定地の西方500mの地点にブリッジストンのLPG基地(富山、石川、福井県のガス会社への燃料供給用)があるため、七尾火力のLPGをブリッジストンとの共同購入とすることは可能である*13。これに対し、新港火力はこのような共同購入の条件を備えていない。

*11 姉崎火力はLPGとLNGの混焼を行なっているが、そのLPG使用量が60万トン/年であることから、LPGによる発電力は約50万kWと推定される。

*12 竜島火力と岩国火力はLPGと重油の混焼である。

*13 北陸電力とブリッジストンとのLPGの共同購入には経済的条件がからむため、実現が確実とは断言できない。仮りに共同購入が実現しなくても、共同防災体制が構成されることは確実である。

8-2 危険物の貯蔵と受け入れに関する条件

50万kWの発電のためのLPG使用量は60万トン／年となり、これを4.5万トン級のタンカーで輸送するとすれば、5個の15万トン貯槽が必要となる。この貯槽が適正な保安距離を保って設置されるには、貯槽ヤードの広さは約30万m²となり、それを新湊市の発電所の構内(42万m²)に求めることはできない。

また、タンカーの専用岸壁(その長さは約300m)の背後に約1.8万m²の保安用地を設けねばならぬが、新湊市の港(これを富山新港と呼ぶ)には、これを設ける余裕がない。

これに対し、七尾火力の場合にはこのような広大な面積の確保が可能である。

9. 北陸3県における発電量と受電量

昭和52年度における富山、石川、福井県の受発電状況を最大電力(kW)と年間総電力量(kWh)に区別してTable 4に示す。この表を見れば、北陸3県について利得(受電)と負担(発電)を比較できる。

Table 4 昭和52年度の県別発電受電量の比較(実績)

県名	最大電力(万kW)			年間総電力量(億kWh)		
	発電	受電	差引	発電	受電	差引
富山	210	120	90	105	80	25
石川	7	85	-78	10	45	-35
福井	55	65	-10	35	35	0
その他	35	3	32	12	2	10

(注1) 最大電力の差し引き計がゼロにならないのは、発電量に余裕が見込まれているためである。

(注2) 県名欄におけるその他はおもに新潟県である。

第2章で示したように、発電所の建設は最大需要電力に応じて計画される。しかれば、3県の利得と負担の比較を最大電力のみについて行えばよいかといえ、必ずしもそうではない。以下その理由を説明する。

一般家庭や第三次産業と比較すれば、鉱工業生産者では、(その使用する電力の周期的変動の小さいことが原因となって)最大使用電力に比し年間総使用電力量が大となる傾向が強い。ここに、周期変動の小さい需要電力は火力発電により経済的に生産できる。このように見ると、年間総使用電力量の大きい消費者(鉱工業生産者)の存在が火力発電所建設の要因ともいえる。

しかるに、富山県では他の2県よりも工業が盛んであ

り、Table 4に示した受電状況(最大受電力に比し年間総受電力量が大きい状況)が出現している。そのため、火力発電所の建設が引き起こすデメリット(環境汚染)は富山県が負担すべきであるとの極論も生じかねない。この論旨はそのままだ容認できないとしても、その一面の真理を汲むとすれば、北陸3県における発電行為のもたらす利得と負担の比較は最大電力のみについて行なうべきではないと理解できる。

この観点に立つてTable 4を見ても、富山県の負担によって他の2県(特に石川県)が過剰利得を受けていることは否定できない。

ただし、Fig. 2に示した北陸電力の発電所建設計画が実現すれば、昭和57年にはこのアンバランスがかなり緩和され、電力需給関係はTable 5が示すようになる。また、同社の昭和60年までの計画(内容の詳細は省略)が実現のあかつきには、電力需給関係はTable 6が示すようになり、このときは問題はほとんど完全に解決されてしまう。

Table 5 昭和57年度の県別発電受電量の比較(計画)

県名	最大電力(万kW)			年間総電力量(億kWh)		
	発電	受電	差引	発電	受電	差引
富山	285	190	95	130	115	15
石川	90	125	-35	45	65	-15
福井	70	95	-25	40	50	-10
その他	20	3	17	12	2	10

Table 6 昭和60年度の県別発電受電量の比較(計画)

県名	最大電力(万kW)			年間総電力量(億kWh)		
	発電	受電	差引	発電	受電	差引
富山	285	230	55	115	135	-20
石川	140	130	-10	80	70	10
福井	115	115	0	60	60	0
その他	20	5	15	12	2	10

10. 結 論

6-3および第8章での記述を理由として、新湊市に原重油混焼火力発電プラントを建設することを認める。ただし、この承認にはつぎの付帯条件をつける。

- (1) 将来の発電所建設の過程において、北陸電力は北陸3県の間の電力需給のアンバランスの解消につとめねばならない。
- (2) 本アセスメントでは、新港2号機の保持する環境保

全機能が正常に維持されるとの前提に立って、北陸電力の立案した環境保全計画を適正と認めた。この前提条件が崩れるときは結論がくつがえることになるから、北陸電力は新港2号機全体の信頼性設計と運転管理に万全を期さねばならない。

(注) 付帯条件(2)において、万全を期すべき信頼性設計と運転管理の対象を公害防止設備とはせず発電所全体としたのは、公害防止設備が機能的であっても発電プロセスが不調などときには環境汚染が発生するからである。たとえば、燃料供給系の不調により噴射燃料のミストが粗大になると、不完全燃焼が起きる。このときは、電気集じん機が正常であっても、ばいじんによる大気汚染が増大する。

11. む す び

第6章までは資源エネルギー庁の定めたフォーマットを追従しつつ審査を行なった。これに対し、第8、9章の審査手段はフォーマット化されてはいないため、この審査が万全であったとは断言できない。しかし、高岡市公害対策審議会では第8、9章の追加審査により地元の特事情が斟酌(しんしゃく)されたと認め、第10章で述べた結論をほとんど無修正で承認した。

発電所建設にかかわる反対運動のなかには、わずかのデメリットを過大評価した反国益的行為もある。これに対し、高岡市公害対策審議会のとった態度は地元住民擁護と国益の適正な調和を尊重した行為といえる。

本文にもとづき高岡市長への答申書が作成され、高岡市の態度がきまった。高岡市の態度決定が富山県下の関係市町村に強い影響を与え、相次いでそれら市町村が新港2号機の建設を認めた。

かくして、新港2号機の建設工事は予定どおりに(昭和54年6月)に着工された。

12. 追 記

昭和48年の石油ショック以来、エネルギーの安定確保を目的とするエネルギー源の多様化が重要課題の一つとなった。ここにおいて、Table 7 に示されるような電源エネルギーの多様化計画(電気事業連合会の資料)が立てられた。この表により、石油が主体であった電源エネルギーの構成が、将来どのように変貌すべきであるかを察知して頂きたい。

*14 第8章で述べたように、新湊市はLPG使用の発電所建設地としては不適である。したがって、脱石油的検討の結論は新港2号機の建設拒否にもなりかねない。

Table 7 電源エネルギーの多様化計画
(単位は万 kw)

年代 電源	昭和52年 (実績)	昭和57年 (計画)	昭和62年 (計画)
石 油	5,481	5,894	6,419
原 子 力	799	1,770	4,218
L N G	1,055	2,245	3,265
石 炭	424	682	1,210
水 力	2,490	3,225	4,277
そ の 他	128	135	170
計	10,377	13,951	19,559

しかし、昭和52年頃から石油の安定入手の見通しがつき、このアセスメントの完了した昭和53年12月の時点では電源エネルギーの多様化は重要ではあるが焦眉の問題とはみなされなくなって来た。

ところが、その後の1.5年間に産油国の内部紛糾に引き続く石油の獲得を目的とした軍事行動が起きた。これは、石油問題には軍勢力介入の可能性の強いことを示した。ここに、経済力のみが巨大なわが国は石油ショックは乗り切れても、軍勢力の介入した石油遮断に対しては明らかに無力である。ここにおいて、Table 7 に示されたよりも速やかな脱石油化が望まれるに至った。

第8章では、LPGの使用の可否をクリーンエネルギーの使用という観点から考察したが、同じ問題を脱石油の観点から検討しなおせば、この章での結論は異ってくるかも知れない*14。あるいは、第10章の付帯条件には、電源エネルギーの多様化(大出力の水力の開発が不可能に近いため、原子力とLPGの使用促進が主となる)に関する項目を付加すべきであったとも思われる。

本章での反省から、つぎの考えに到達した。

周知のように、テクノロジーアセスメントで要求される多元的観察因子のなかには将来予測も含まれる。ただし、ここでいう予測は過去の経験からの解析的導出を意味していた。しかるに、エネルギー問題をめぐって急がしく変転する国際情勢には、解析的予測は的中しないようである。この種のアセスメントには国際問題の専門家の予測も加えるべきではなかろうか。

参 考 文 献

- 1) 成田公明：産業と環境 8, [2], 55, (1979)
- 2) 榎本義一：東日本地区高等専門学校教官研究集会での講演(1975)
- 3) 若林嘉一郎：安全工学, 18, [5], 276 (1979)

粉体粒子の幾何学形状のフーリエ解析

Fourier Analysis of the Shape Characteristics of Powders

後藤 圭司*

Keishi Gotoh

1. はじめに

粉体粒子の幾何学形状の表現とそのフーリエ解析について解説する前にその目的を述べる必要があると思われる。それを真に必要としていれば、実際面での応用に忙しくこんな解説記事を読む暇がないと考えるべきで、今更啓蒙を必要とする様ではさほど重要な問題ではない証拠かも知れない。しかし「自閉症の粉体工学」といわれる状態から脱出する一指針にはなるかも知れないので、きれいにまとめた結果ではなく自己批判もまじえた少々変った解説を試みる。

粉体粒子の形状の表現法には種々の方法があり¹⁾、短径B、長径L、厚みTなどの代表寸法や、それに基づく長短度 L/B や扁平度 B/T 、周長や表面積測定による円形度や球形度などが幾何学的粒子形状の表現法として使用されている。また体積形状係数や表面積形状係数があり粒子群の平均的形状の尺度としてよく使用され、粒子に作用する流体抵抗との関連で詳細な研究が行われている²⁾。基本図形として正3～8角形および円を選定し、これらを定められた方法で変形させ、えられた種々の図形を標準として実際の粉体形状を比較する形状比較器や、言語による形状の表現法も考えられる^{3), 4)}。本来、形状という幾何学状態の表現の研究は正確に数式等で表わす方法を考えることが唯一の目的であると考えられるが、その結果の応用を考えると問題点が多く、いわゆる「自閉症」にかかる要因を多く含んでいる。すなわち、形を正確に表現することは応用数学に属する。仮りに表現できてもその結果を例えば粉体物性に応用することを考えると、粉体では粒度分布だけでも取扱いがむづかしいのに形の情報まで考慮するのは現状では困難である。

せいぜい球形とみなしてその体積形状係数や表面積形状係数を求めたり、ストークス径など力学的に等価な径を求めれば実際上は十分である。という結論になってしまう。これは当然でごく自然な考えであるが、全ての人がこう考え例外が一人もいなくなると問題である。粉体形状の研究から粉体工学に特に役立つ新しい数学が生れたり、文字や図形の認識がはじめて可能になることも望ましい。他の分野で十分に研究された後になって粉体への応用研究がはじまるのは残念だと考えるべきではなかろうか。本稿で述べる粉体粒子の幾何学形状のフーリエ解析も残念ながらこの類に属する。取扱う形状は2次元の場合に限られるが、形を正確に数式で表現し、必要なら数式から元の粉体形状を再現できる。厳密に扱っても結果が役に立つかどうか疑問もあるが、いづれ粉体の物理・化学的性質と関係づけられることを目標にすればよい。現にコンピュータの発達によって画像解析が比較的容易に行われつつあるし、形状解析の手法は粉体以外にも応用でき、例えば筆者の研究室では魚種の分類への応用をはじめている。

2. 粉体形状のフーリエ解析法

コンピュータと画像処理技術⁵⁾が発達して粒子形状に関する正確な情報をうる事が比較的容易になり、この分野の研究が盛んになりつつある⁶⁾。形状解析には重心周りの動径を測定しその統計的平均から形状指数を定義したり^{7), 8)}、標準的な種々の形状を定めこれと比較する形状比較器、また言語による表現法など^{4), 9)}が試みられているが、本稿ではフーリエ解析を利用する形状解析法のみを解説する。その理由は、フーリエ解析法では粒子の幾何学形状を正確に表現し、必要なら元の図形を再現できるためである。この制限をはずすと形状の取扱いがいわゆるケースバイケースとなり、統一した方法論の展開が将来においても期待できなくなると考えるからであ

* 北海道大学水産学部化学工学講座
(〒041 函館市港町3-1-1)
Tel. (0138)41-0131

る。与えられるべき粒子形状の測定データとしては、多数の折れ線で形を近似しその線分の長さに変化角度の関係をを用いる接線法と、重心を原点とする極座標を用いる方法とに大別できる。いずれの場合にもフーリエ変換を行ってその係数から粒子の形状解析を行う。

2.1 接線法

Fong ら¹⁰⁾ は Zahn と Roskies¹¹⁾ にならって Fig. 1 に示したように周上に任意に定めた基点から点Aまでの周長 l とA点における接線の勾配 $\phi(l)$ によって粒子の形を表わした。ただし基点における接線の勾配を基準値0とし、これからの偏差が $\phi(l)$ で、反時計方向をプラスとする。ここで粒子の大きさによる影響を除くため全周長 L によって l を規格化する。すなわち

$$t = 2\pi \left(\frac{l}{L} \right) \quad (1)$$

こうすると変数 t の変化範囲はあらゆる粒子に対して0から 2π までとなる。一方 $\phi(0)=0$ であり、粒子の周上を時計方向に一周すると $l=L$ すなわち $t=2\pi$ であり、このとき $\phi(t)=\phi(2\pi)=-2\pi$ となる。したがって

$$\phi^*(t) = \phi(t) + t \quad (2)$$

を定義すれば $\phi^*(0)=0$, $\phi^*(2\pi)=0$ すなわち関数 $\phi^*(t)$ の両端が常に0となる。また円では t に無関係に $\phi^*(t)=0$ が成立している。(2)式をフーリエ級数に展開すると次式をうる。

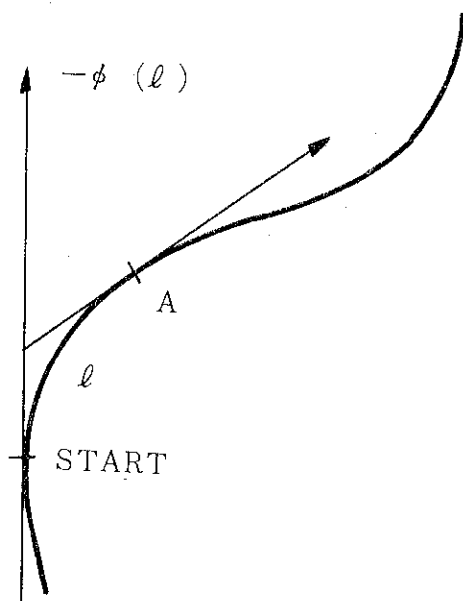


Fig. 1 接線法による図形表示の説明図。

$$\begin{aligned} \phi^*(t) &= \mu_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kt + b_k \sin kt) \\ &= \mu_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(kt + \alpha_k) \end{aligned} \quad (3)$$

ただし

$$\mu_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) dt \quad (4)$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) \cos kt dt \quad (5)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) \sin kt dt \quad (6)$$

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \alpha_k = -\tan^{-1}(b_k/a_k) \quad (7)$$

これらのフーリエ係数を知れば、必要なら(3)式によって元の図形を再現できる。 $\phi^*(t)$ と t の関係の実測値の精度には限りがあるし、デジタル化すれば結局は有限個の入力データとなるから与えられる図形は一般に折れ線近似の多角形となる。このとき(4)~(6)式の積分結果は次式となる。

$$\mu_0 = \pi - \frac{1}{L} \sum_{j=1}^m l_j \Delta\phi_j \quad (8)$$

$$a_k = \frac{-1}{k\pi} \sum_{j=1}^m \Delta\phi_j \sin \frac{2\pi k l_j}{L} \quad (9)$$

$$b_k = \frac{1}{k\pi} \sum_{j=1}^m \Delta\phi_j \cos \frac{2\pi k l_j}{L} \quad (10)$$

ただし図形は m 角形とし l_j は j 番目の折れ線の長さ、 $\Delta\phi_j$ は j 番目の折れ点における角度の変化量である。Fong ら¹²⁾ は粒状亜鉛を塩酸で溶す実験を行い、溶解時間による形状の変化を解析し Fig. 2~Fig. 4 をえた。Fig. 2 は溶解前の形について(7)式に基づくフーリエ係数 A_k と波番 k の関係を示したものである。この係数の総和 $\sum_{k=1}^{\infty} A_k$ を粒子の形状指数として溶解時間との関係を求めると Fig. 3 のようである。この図では時間と共に粒子表面がほぼ一様に溶解し、全体として丸みを帯びてくることがわかる。しかし同じ亜鉛粒子でも材料の不均質のため Fig. 4 に示した様にははじめは角ばった部分がとれ丸みを帯びるが、2~3分後に特に溶解し易い部分が現れこれが次第に顕著になり、フーリエ係数が増大する場合もある。Lee ら¹³⁾ はこの形状特性を異種の微粒子混合体の比率を求めるのに応用した。例えば(3)式中の係数 A_k ($k=1, 2, \dots, 30$) を同じ種類に属する多数の粒子について計算しその平均値を求めると Fig. 5 をうる。これは4種の金属粉末についての結果を示したもので、互の大小関係が明白に分かれている。この様な場合にはフーリエ係数の加成性を仮定することによって異種の粉末を混合したサンプルの混合比を推定できる。

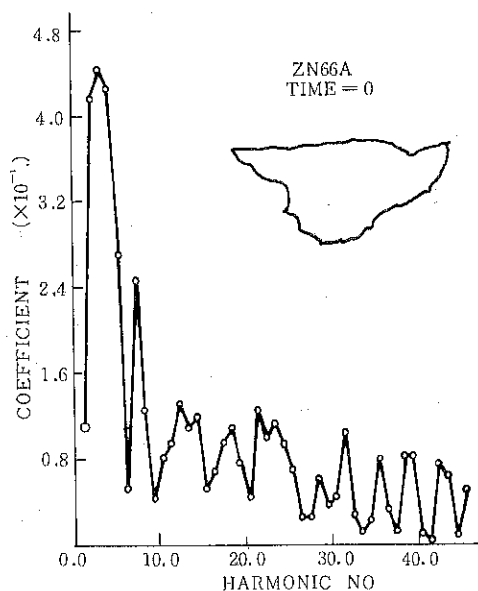


Fig. 2 溶解前の亜鉛粒子の形と(7)式によるフーリエ係数 A_k と波番 k の関係。

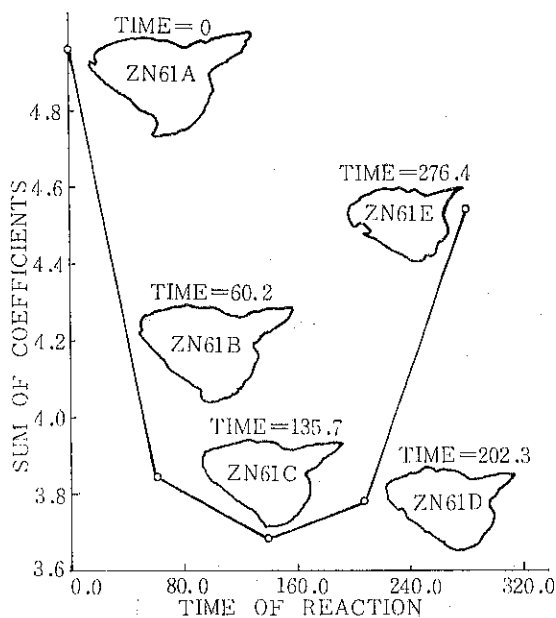


Fig. 4 溶解時間(秒)と $\sum_{k=1}^{\infty} A_k$ の関係(亜鉛粒子 Zn 61)

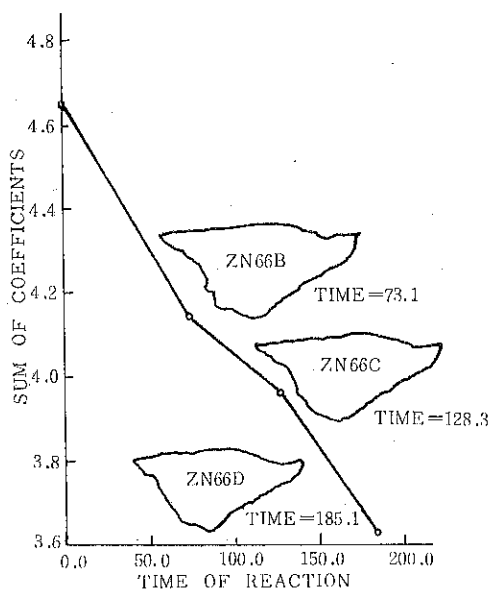


Fig. 3 溶解時間(秒)と $\sum_{k=1}^{\infty} A_k$ の関係(亜鉛粒子 Zn 66)

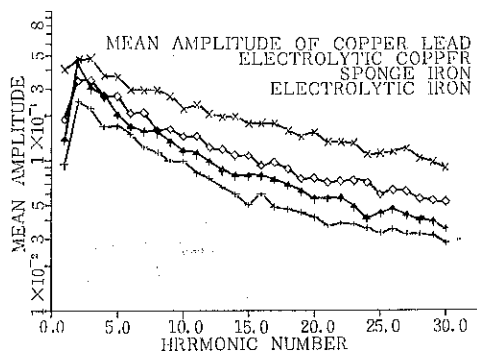


Fig. 5 (3)式中のフーリエ係数 A_k と波番 k の関係。ただし A_k は同種類の多くの粒子についての平均値。

2.2 極座標

重心を原点とする2次元図形の動径 R を角度 θ の関数として表す。ただし当分の間 R と θ は一対一の関係にあるとする。このような場合を Holomorphic と呼ぶ。この関係をフーリエ級数に展開すると次式をうる。

$$R(\theta) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \quad (11)$$

$$= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\theta + \alpha_n) \quad (12)$$

ただし

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} R(\theta) d\theta \quad (13)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R(\theta) \cos n\theta d\theta \quad (14)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R(\theta) \sin n\theta d\theta \quad (15)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \alpha_n = -\tan^{-1}(b_n/a_n) \quad (16)$$

ここで $A_0, a_1, a_2, \dots$ に適当な数値を与えて $r = A_0 + a_1 \cos \theta, A_0 + a_2 \cos 2\theta, A_0 + a_3 \cos 3\theta$ などと θ の関係を図示すると例えば Fig. 6 のような種々の形状の図形をうる。 $\theta = 0$ と $\theta = \pi$ を結ぶ線を粒子の長軸とすれば(17)式から長軸の長さは

$$R(0) + R(\pi) = 2A_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n} \quad (17)$$

短軸の長さは

$$R(\pi/2) + R(3\pi/2) = 2A_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n a_{2n} \quad (18)$$

であるから長短軸比とフーリエ係数の関係が求められる。また Beddow ら¹⁴⁾ は波番 n の値によって(12)式中のフーリエ係数 A_n を3つの領域に区分し、 n の小さい範囲から順に角ばり度、粗度、組織などを表わす指数を次式のように定義した。

$$\text{角ばり度 (Lumpiness)} : L = \sum_{n=1}^{n_1} A_n \quad (19)$$

$$\text{粗度 (Roughness)} : R = \sum_{n=n_1}^{n_2} A_n \quad (20)$$

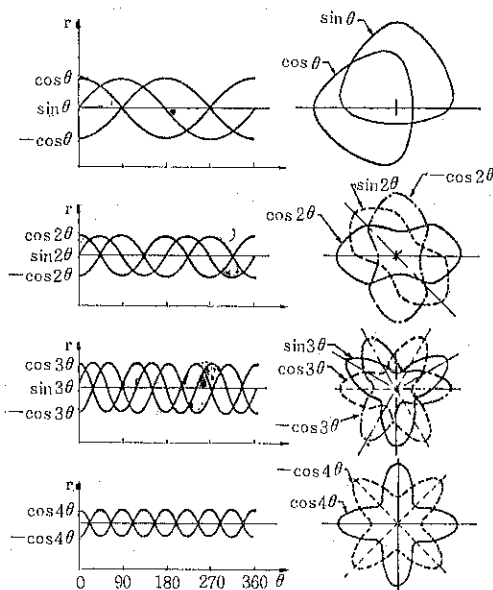


Fig. 6 フーリエ級数による図形の構成例。

$$\text{組織 (Textures)} : T = \sum_{n=n_2}^{n_3} A_n \quad (21)$$

しかし n_1, n_2, n_3 の値の選定は全く不明であり問題が残る。

2.3 Particle Signature

Meloy^{15), 16)} は(12)式中のフーリエ係数 A_n と波番 n の関係を両対数グラフにプロットすると例えば Fig. 7 のように右下りの直線関係がえられることを見出し、これを **Particle Signature** と名付けた。勾配は1~2の範囲で一般に複雑な形状ほど直線の位置は上方にくる。したがってこの直線の切片と勾配から粉体の形状が判定できそうであるが、結論をうるにはさらに詳細な研究が必要である。ここで(12)式をもう一度検討しよう。

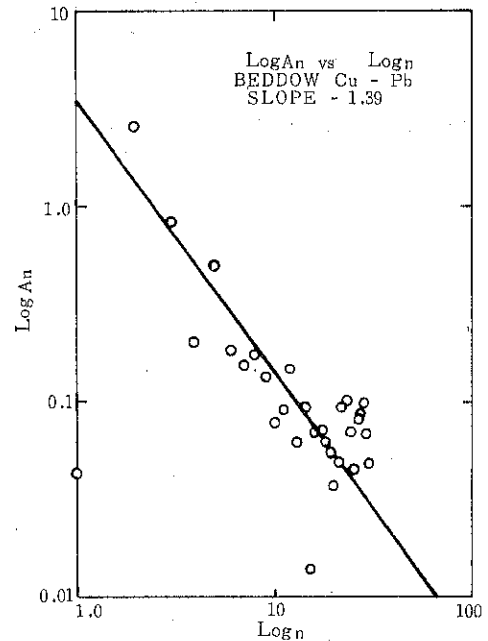


Fig. 7 (12)式中のフーリエ係数 A_n と波番 n の関係を両対数グラフで示した例。

いま元の図形 $R(\theta)$ を θ_* だけ重心周りに回転したとすると(13)~(18)式は次のようになる。

$$A_{0*} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} R(\theta + \theta_*) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} R(\theta) d\theta = A_0 \quad (22)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{n*} &= a_n \cos n\theta_* + b_n \sin n\theta_* \\ b_{n*} &= b_n \cos n\theta_* - a_n \sin n\theta_* \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

ゆえに

$$A_{n*} = \sqrt{a_{n*}^2 + b_{n*}^2} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = A_n \quad (24)$$

すなわち(12)式中のフーリエ係数 A_n は図形の回転に対

して不変である。形を表わす指数があるとなれば、それは図形の回転に無関係のはずで、丁度 A_n がこれに相当している。なお(1)式中のフーリエ係数 a_n, b_n および(2)式中の位相 α_n はいずれも θ_* の関数で図形の回転に依存するから単独では形状の指数にはなりえない。

2.4 動径ベクトル法

2.2節の極座標では R と θ が一対一の関係にある、すなわち **Holomorphic** な図形を扱ったが、粉体粒子が **Non-holomorphic** な形状をとり通常の極座標では表わせない場合が多い。このとき本節の動径ベクトル法が有用になる。2.1節の接線法は形状に制限なく使用できるが、(3)式のフーリエ級数展開に少しでも誤差があると、各折れ点毎にこれが累積され角度変化にずれを生じ、図形の再現誤差が大きくなる欠点がある。

重心を原点とする動径の角度による変化をベクトル表示することによって任意の図形を表現できる¹⁷⁾。すなわち

$$R = R(\theta) \cdot D(\theta) \quad (25)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} D(\theta) &= +1 : \text{反時計方向の回転} \\ &= -1 : \text{時計方向の回転} \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

ここで θ は基点からの角度変化の積算値で、重心の位置から全ての周が見える場合には常に $D(\theta) = +1$ となるから θ の最大値は 2π である。これは **Holomorphic** な図形であり、通常の極座標表示と全く同じである。しかし例えば **Fig. 8** のような図形では線分 ef の陰にかくれて重心の位置からは見えない部分（線分 de と線分 cd の一部）があり、通常の極座標では表現できない。図式のベクトル表示はこの様な場合にも適用でき、線分 de 区間は動径の回転が時計方向になるから $D(\theta) = -1$ である。この様な **Non-holomorphic** な図形では積算

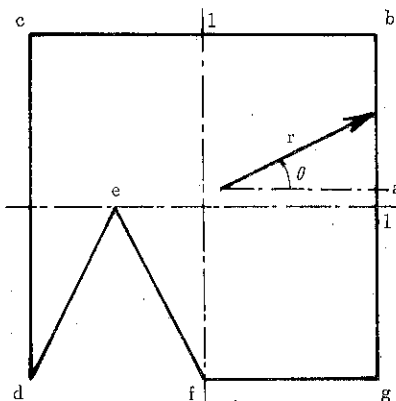


Fig. 8 2次元図形の動径ベクトル表示の説明図。

角度変化の最大値は 2π より大きくなる。図式の動径の代りにここでは動径の2乗を次のように表わす。

$$r_s = R(\theta)^2 \cdot D(\theta) \quad (27)$$

Fig. 8 の図形上を a 点から反時計方向をプラスとしてたどり、上式によって動径の2乗をベクトル表示したのが、**Fig. 9** である。時計方向の回転部分すなわち de 区間はマイナス符号になっている。つぎに(27)式をフーリエ級数に展開すると次式をうる。

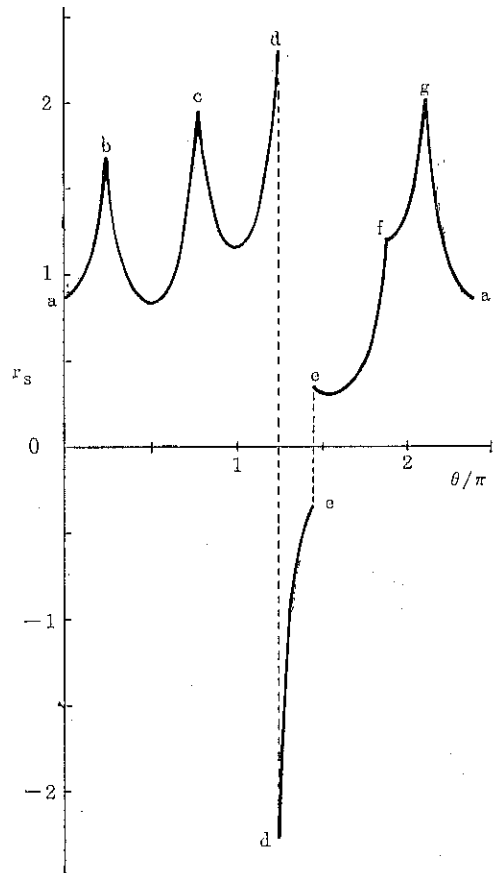


Fig. 9 Fig. 8 の図形を(27)式で示した図。

$$r_s = A + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(nw\theta + \phi_n) \quad (28)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{L} \int_0^L r_s d\theta \\ A_n &= \frac{2}{L} \int_0^L r_s \cos nw\theta d\theta \\ B_n &= \frac{2}{L} \int_0^L r_s \sin nw\theta d\theta \\ w &= 2\pi/L \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

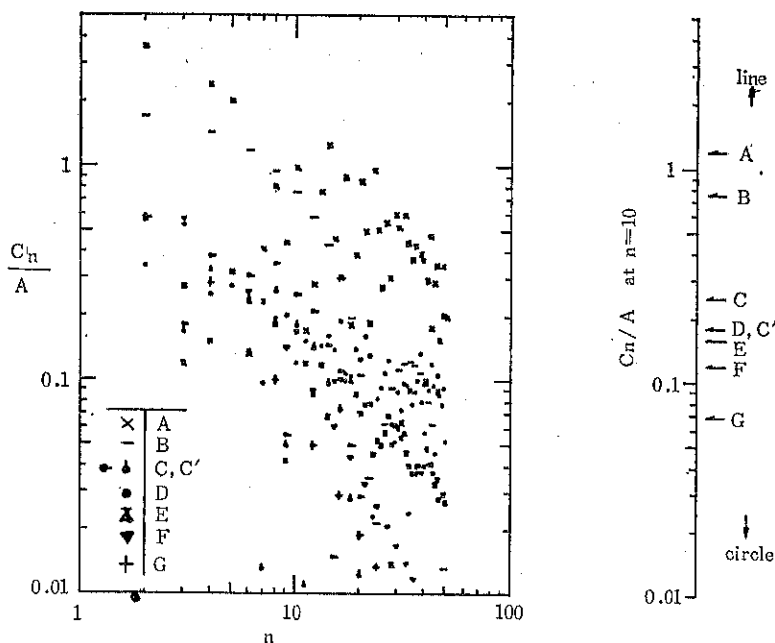


Fig. 10 図式からの粒子形状特性 C_n/A と波番 n の関係.

ただし記号Aは文字E, Bは寸法が 2×20 の矩形, C と C' は矩形と正3角形と正方形の合成図, Dは南極大陸の地図, Eは Fig. 8, Fは一辺が2の正3角形, Gは一辺が2の正方形.

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}, \quad \phi_n = -\tan^{-1} (B_n/A_n) \quad (30)$$

ここで L は積算角度変化 θ の最大値で一般に $L > 2\pi$. 重心の位置から全ての周が見える, すなわち Holomorphic な場合には $L = 2\pi$ となる. 図式の代りに図式すなわち動径の2乗をフーリエ展開した理由は, 図式からわかる様に各係数が全て図形の面積に関係づけられるためである. 2.3節の Particle Signature で説明した理由で図式中の係数 A と C_n は図形の回転に無関係である. 特に A は $L/2$ を掛ければ面積になる. したがってフーリエ係数を規格化した C_n/A は図形の大小に無関係な形状特性を表わすと考えてよい. 種々の図形についてこれを図示したのが Fig. 10 である. $n=10$ 付近では勾配が約 -1 の直線になっており, 各種図形の特長を $n=10$ における C_{10}/A の値によって区別できる. すなわち円では $C_{10}/A = 0$, 正方形で 0.07 , 正3角形で 0.12 , 線状の複雑な図形ほど大きな値をとる. ただし C_{10}/A の値は単に $n=10$ の1点における値ではなく, C_n/A 対 n の関係からの推定値である.

2.5 Walsh 関数と粒子形態学

まず Walsh 関数¹⁹⁾について説明しよう. これは次式で定義される Rademacher 関数から作られる.

$$\left. \begin{aligned} g_0(\theta) &= 1 \quad : 0 \leq \theta < 1/2 \\ &= -1 \quad : 1/2 \leq \theta < 1 \\ g_0(\theta+1) &= g_0(\theta) \\ g_n(\theta) &= g_0(2^n \theta) \quad n=1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

この Rademacher 関数は矩形波状の周期関数で, 次式の定義により Walsh 関数列を作る.

$$\left. \begin{aligned} \text{Wal}(0, \theta) &= 1 \\ \text{Wal}(n, \theta) &= g_{n_1}(\theta) g_{n_2}(\theta) \dots g_{n_r}(\theta) \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

ただし

$$n = 2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_r}$$

ここで n_i は全て整数で減少する順序 $n_1 > n_2 > \dots > n_r$ とする. 以上の定義から次の Walsh 関数をうる.

$$\left. \begin{aligned} \text{Wal}(1, \theta) &= g_0(\theta) \quad : 1 = 2^0 \\ \text{Wal}(2, \theta) &= g_1(\theta) \quad : 2 = 2^1 \\ \text{Wal}(3, \theta) &= g_1(\theta) g_0(\theta) \quad : 3 = 2^1 + 2^0 \\ \text{Wal}(4, \theta) &= g_2(\theta) \quad : 4 = 2^2 \\ \text{Wal}(5, \theta) &= g_2(\theta) g_0(\theta) \quad : 5 = 2^2 + 2^0 \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

これらはやはり矩形波で $+1$ または -1 のみの値をとる. n が奇数の場合 ($n=2i-1$) には sine 関数に似ているので

$$\left. \begin{aligned} \text{Wal}(2i-1, \theta) &\equiv \text{sal}(i, \theta) \\ i &= 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

n が偶数の場合 ($n=2i$) には cosine 関数に似ているので

$$\text{Wal}(2i, \theta) \equiv \text{cal}(i, \theta) \quad (35)$$

$$i=1, 2, \dots$$

と書くことがある¹⁵⁾。はじめの16番目までの Walsh 関数を Fig. 11 に示した。図からわかるように Walsh 関数は必ずしも等間隔の矩形波ではない。Walsh 関数列 $\{\text{Wal}(n, \theta)\}$ は直交関数であり、区間 $(0, 1)$ で積分可能なあらゆる周期関数 $f(\theta)$ を Walsh-Fourier 級数に展開できる¹⁶⁾。すなわち

$$f(\theta) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Wal}(n, \theta) \quad (36)$$

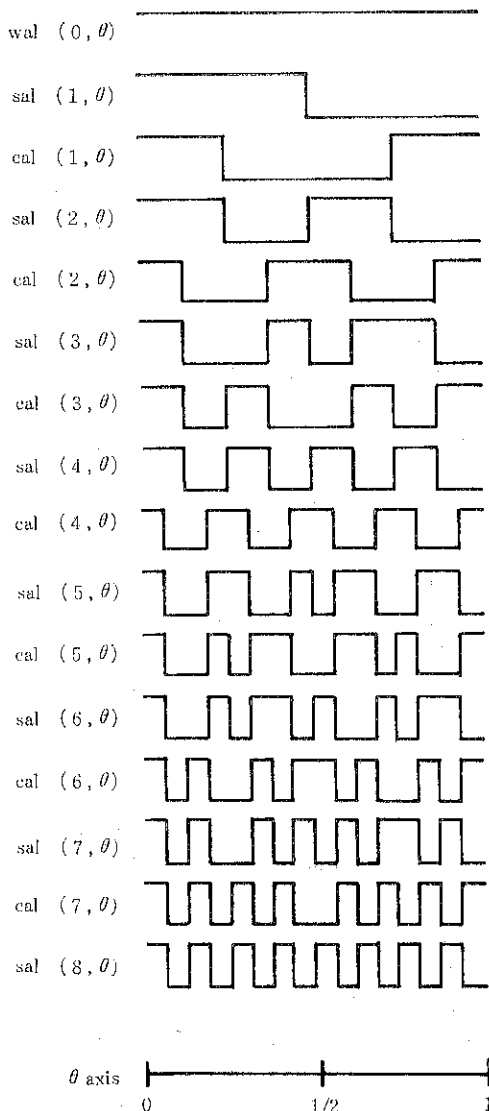


Fig. 11 第16番目までの Walsh 関数.

$$A_n \equiv \int_0^1 f(\theta) \cdot \text{Wal}(n, \theta) d\theta \quad (37)$$

$$n=0, 1, 2, \dots$$

この Walsh 関数によるフーリエ展開の長所は以下のようである。いま 2 次元図形を重心を原点とする極座標で表わし、一周が 1 となる様に規格化した角度 θ を用い Walsh-Fourier 級数に展開すると次式をうる。

$$R(\theta) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \text{Wal}(n, \theta) \quad (38)$$

ただし重心が原点であるから一般に $A_1=0$ となる¹⁷⁾ (必ずしも正しくない)。

一例として $A_0 + A_2 \text{Wal}(2, \theta)$ を考え、 A_0 と A_2 に適当な数値を与えると例えば Fig. 12 の右上図をうるが、もし $A_0 + A_2 \cos 2\theta$ なら左上図の図形になる。同様に $A_0 + A_3 \text{Wal}(3, \theta)$ では Fig. 12 の右下図、 $A_0 + A_3 \cos 3\theta$ なら左下図となる。これらの図形の周長を求めることを考えると、次式による積分が必要になる。

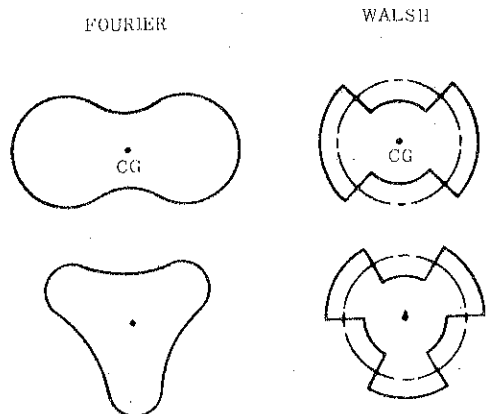


Fig. 12 フーリエ級数および Walsh-Fourier 級数による図形の構成説明図.

$$L = \int_0^1 \sqrt{R^2 + \left(\frac{dR}{d\theta}\right)^2} d\theta \quad (39)$$

ところが上式の積分を解析的に行うことは一般に困難であり、殆んどの場合数値積分によらざるをえない。しかし Walsh 関数を利用するとこの計算が直観的にできる。例えば Fig. 12 の右上図において、重心 CG から一点鎖線の円までの半径が A_0 であり、これに振幅が A_2 の矩形波 $A_2 \text{Wal}(2, \theta)$ が重畳されている。この場合矩形波というよりは扇形が正しい。周の長さは円周の一部である表面部と半径方向の側壁部に分けられ、前者の合計は $2\pi A_0$ となる。これは半径が $(A_0 - A_2)$ の半周と半径が $(A_0 + A_2)$ の半周の和だからである。一方、側壁部の長さの合計は図から $2A_2 \times 4 = 8A_2$ 。したがって全周長は $2\pi A_0 + 8A_2$ となる。同様に Fig. 12 右下図で

は表面部の周長は $2\pi A_0$ で不変であるが、側壁部は $2A_3 \times 6 = 12A_3$ であるから全周長は $2\pi A_0 + 12A_3$ となる。この類推から3式で表わされる一般の図形の全周長は次式となる。

$$L = 2\pi A_0 + \sum_{n=2}^{\infty} 2n \times (2A_n) \\ = 2\pi A_0 + 4 \sum_{n=2}^{\infty} n \cdot A_n \quad (40)$$

このように通常のフーリエ級数では解析解が困難な図形でも Walsh-Fourier 級数では可能となる。さらに3次元物体の取扱いになると数式による表現はできても具体的な数式の処理は非常に困難であり、結局は体積、表面積、および平均投影面積の3つが等しい等価円体による近似が有用と思われる²⁰⁾。Meloy¹⁵⁾は球面上に大小様々な凹凸を等間隔に配置する問題を Walsh-Fourier 級数で扱い、凹凸の側面積の合計やヘリの全長などを計算し、いずれも次式の形で表わされることを示した。

$$A_0 + K \sum_{n=2}^{\infty} n^{\alpha} A_n^{\beta} \leftrightarrow \text{粉体物性} \quad (41)$$

したがって一般の粉体物性は(41)式と関係づけられそうである。ただしKは定数、 α と β はいずれも0~3の範囲の整数である。Fig. 13は粉体表面の一部をブロック状にモデル化した図で、A図のブロックについて、その2倍の周波数に相当する小さなブロックを重疊したのがB図である。ただしB図ではA図の5個のブロック部についてのみ示し、その他の部分は見やすくするため省略してある。しかし等間隔に配置された凹凸のみによって一般の粉体表面をモデル化することは無理であり、(41)式の詳細な説明は割愛する。粉体表面を断面が正方形の大小様々なブロック状の凹凸で近似する考え方や、Walsh関数の利用などは今後粉体の形態学的研究に役立つと思われる。このため2次元の Walsh-Fourier 級数の導入が必要になる。

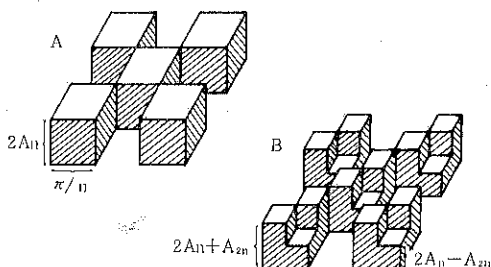


Fig. 13 ブロック状にモデル化した粉体表面の一部分。

3. おわりに

以上粉体粒子の幾何学形状のフーリエ解析について概説したが、これらは全て研究の発端にあると考えてよく、今後の研究によってさらに更新されるべきものと考えている。粉体の形状をなぜそんなに細かく見、正確に表現しなければならないのか？粒度分布だけでも十分に表現できず物性と関係づけられないのに…という疑問が生じるのは当然である。では早々に切り上げて他の研究テーマに移ろうと考えることが自閉症のはじまりである。できるだけ正確さを追求し、一つの学問体系を作ることが目的であってもよいし、また形状の正確な取扱いを粉体以外の分野に応用することも粉体工学の発展に役立つと考えたい。

引用文献

- 1) 井伊谷鋼一編：粉体工学ハンドブック、第4章 粒子形状、朝倉書店 (1965)
- 2) Davies, C. N.: Particle-Fluid Interaction, J. Aerosol Sci., 10, 477-513 (1979)
- 3) 後藤圭司, J. K. Beddow: 粉体粒子の形状分析に関する最近の研究動向, 粉体工学会誌, 15, 227-230 (1978)
- 4) Beddow, J. K.: Particulate Science and Technology, Chapter 6 Fine Particle Characterization, Chemical Publishing Co., New York (1980)
- 5) 神保元二: 画像処理法を中心とする粒度測定方法の発達プロセス, 粉体工学会誌, 17, 203-209 & 263-271 (1980)
- 6) 理研シンポジウム「形状の測定、解析とその応用」, 理化学研究所 (1980)
- 7) Tsubaki, J. and G. Jimbo: A Proposed New Characterization of Particle Shape and its Application, Powder Technol., 22, 161-169 (1979)
- 8) Tsubaki, J. and G. Jimbo: The Identification of Particles Using Diagrams and Distributions of Shape Indices, Powder Technol., 22, 171-178 (1979)
- 9) Zadeh, L.A.: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-3, 28 (1973)
- 10) Fong, S.T., J.K. Beddow and A.F. Vetter: A Refined Method of Particle Shape Representa-

- tion, Powder Technol., **22**, 17-21 (1979)
- 11) Zahn, C.T. and R.Z. Roskies : Fourier Descriptors for Plane Closed Curves, IEEE Trans. on Computers, **C-21**, 269-281 (1972)
 - 12) Fong, S.T., J.K. Beddow and A.F. Vetter : Acid-Zinc Reaction Predictably Affects Particle Morphology, Powder Technol., **23**, 187-190 (1979)
 - 13) Lee, Y., J. K. Beddow and A.F. Vetter : Morphological Analysis of Fine Particle Mixtures, Powder Technol., **25**, 137-145 (1980)
 - 14) Beddow, J.K., G.C. Philip, A.F. Vetter and M. D. Nasta : On Relating Some Particle Profile Characteristics to the Profile Fourier Coefficients, Powder Technol., **18**, 19-25 (1977)
 - 15) Meloy, T.P. : A Hypothesis for Morphological Characterization of Particle Shape and Physicochemical Properties, Powder Technol., **16**, 233-253 (1977)
 - 16) Meloy, T.P. : Fast Fourier Transforms Applied to Shape Analysis of Particle Silhouettes to obtain Morphological Data, Powder Technol., **17**, 27-35 (1977)
 - 17) Gotoh, K. : Shape Characterization of Two-Dimensional Forms, Powder Technol., **23**, 131-134 (1979)
 - 18) Fine, N.J. : On The Walsh Functions, Trans. Amer. Math. Soc., **65**, 372-414 (1949)
 - 19) Cheng, D.C.-H. and H.M. Sutton : Absolute Determination of Particle Size and Shape, Nature Phys. Sci., **232**, 192-193 (1971)
 - 20) Gotoh, K. and J.L. Finney : Representation of the size and shape of a single particle, Powder Technol., **12**, 125-130 (1975)

特許一言メモ

No. 20

一つの特許出願に付される沢山の番号

ある一つの特許を番号でいう場合、いろいろな番号でのいい方がある。そしてどの番号でいっているのか、よく判らないことがある。そこでこれらの番号についてよく理解しておきたいと考えた。

特許出願をすると、まず出願番号がその出願年号とその年の追い番号（順番）で付され、これを普通は特願昭50-0000…，といわれる。こうして出願から1年半を経過して公開されるとこの公開公報に付された番号は、たとえば特開昭51-0000…，といわれる。そして審査請求をし、審査が無事パスして公告されると、この公告公報を特公昭54-0000…，という。この公告で2ヶ月の異議申立て期間を無事経過すれば特許査定となり、向う3年分の特許料を支払うことによりここにはじめて特許

登録され、特許法施行以来のつづきの特許番号が与えられる。

実用新案も特許と同じ要領で、たとえば実願昭50-0000…，実開昭53-0000…，実公昭54-0000…，あるいは、実用新案登録のたとえば第1380200号というようになる。

そこでかりに一つの特許に関する番号をいう場合、まずそれがさきに述べた出願番号（特願昭……）か、公開番号（特開昭……）か、公告番号（特公昭……）か、あるいは特許か実用新案の登録番号かをハッキリ区別させた上で登録番号をいうべきである。意外にもこれらのことが明確でないことが多い。（M. N生）

マイクロコンピュータと粉体の粒度測定

Application of Microcomputer on Particle Size Determination of Fine Powders

高坂 彬夫*
Ayao Takasaka

1. はじめに

近年、マイクロコンピュータ（以下マイコン）の技術的進歩は目覚ましく、Table 1に示すように、日常生活に深く浸透してきている¹⁾。

一方、産業界や研究の分野でも大いに活用され、例えば化学の測定の分野に限定しても、天秤、液体クロマトグラフ、ガスクロマトグラフ、示差熱分析、熱重量分析、原子吸光、X線回折、画像解析などで利用され、省力化、測定精度の向上などに寄与している。

マイコンの寄与は、自記分光光度計の進歩の足跡に代表されるように思われる²⁾。また、化学の分野へのマイコンの利用に関しての特集号も出版されている³⁾。

昨年の化学プラント技術会議では、化学工業におけるマイコンの利用のセクションが設けられ、マイコンの化学工業への応用に関する動向、大型バッチプロセスの操業におけるコンピュータコントロール、大型海外プロジェクトの中に組み込まれるマイコンの応用、ユーザーサイドにおけるマイコンの多方面への応用などが討論されている⁴⁾。

粉体を対象とする分野でもマイコンは利用され始め、例えば、細川鉄工所製のスーパーセパレータMSS型には、マイクロプロセッサが組込まれ、粉体の粒度分布を調整する分級操作に対して、より超微粉領域のシャープな分級が可能になった⁵⁾。

また、本年9月、東京国際貿易センター（晴海）で、'80 粉体工業展が行なわれ、'80 粉体処理プロセスにおけるマイコンの利用のセクションが企画された。

すでに述べたように、近年、マイコンの性能は著しく向上し、また、価格の面でも入手し易くなった。マイコンのハードおよびソフトの技術を粉体の物性およびプロセスの分野へ利用することにより、その効果は計り知れないものがある。

本稿においては、マイコンのシステムについての概要と粉体物性、特に粒度および粒度分布測定への利用の現状とそのプロセスへの応用面について述べる。

2. マイコンの言語とシステム

2.1 マイコンの言語^{6)~9)}

コンピュータの言語として、JIS に制定されているものとして、

Fortran (Formula translator) 数式をそのまま書いてプログラムできるようにした最初の言語、米国系、科学計算向き

Cobol (Common business oriented language) 事務計算の分野での標準語、プログラムは数式より英文が並んでいる感じである

Algol (Algorithmic language) 欧州系の言語でアルゴリズムの記述用に使用されている

があることは周知の通りである。

マイコンを取扱う場合

Basic (Beginner's all purpose symbolic instruction code) が広く用いられている

この言語は、JIS 規格が未だ制定されておらないが、次のような特色を持っている。

- 1) 人間とコンピュータが対話するようになっていて、プログラムの作成および実行がきわめて簡単にできる
- 2) プログラムを修正したり、追加したりすることが容

* 山形大学工学部
(〒992 米沢市城南4丁目3-16)
Tel. (0238) 22-5181

Table 1 生活環境におけるマイクロプロセッサの適用例

適用分野		汎用CPU		
		4ビット	8ビット	16ビット
計算装置	特殊計算	○	○	
	家計簿	○	○	
家庭電気製品制御	電子レンジ(オープン)	○		
	洗濯機	○		
	エネルギー節約	○	○	
	冷蔵庫	○		
TVゲーム	テーブル・ゲーム		○	
	ポン・ゲーム	○	○	
	カード・ゲーム			○
インテリジェント・ターミナル	ライン・プリンタ		○	
	家庭ファクシミリ		○	○
ラジオ・チューナ/スキャナ		○		
防犯システム : ドア・チャイム		○		
計 測	秤	○	○	
	健康管理	○		
電 話	スイッチング		○	○
	レパトリ・ダイヤル	○		
エアコン		○		
教育機材	マス・ゲーム		○	
	塗り絵		○	
電子タイプライタ			○	
ワード・プロセッシング		○	○	○
複 写 機		○	○	
電子楽器			○	
	採譜・作曲機	○		
エンターテインメント	TVチューナ	○		
	カセット・デッキ	○		

易である

3) データ入力が桁合せなど必要とせず、比較的自由に使用できる

4) 命令の内容が簡単で、かつ自然で理解し易い

5) 数少ない命令で変化に富んだプログラムが作れる

6) インタプリタ方式なので、実行スピードが遅いが、変換にメモリを余り要しないので、メモリの容量に制限があるマイコンシステムには適している

7) 計算能力が高く簡単な指定で実行できる

Basic には低級言語から高級言語まで数種類があるが現在は Level II が広く用いられている

マイコンには Basic の他に機械語、Assembler、Forth および Pascal などの言語が使用されている

2.2 マイコンのシステム

マイコンのシステムを選定する場合には、1) 数値の表現法 2) 演算速度 3) メイン・メモリ容量 4) コマンドの種類と扱い易さ 5) 文法の種類と規約の内容 6) 組込み関数の種類と能力 7) 周辺装置 8) ディスプレイ方式 などについて評価する必要がある。

Basic が利用できる汎用コンピュータ・システムの一

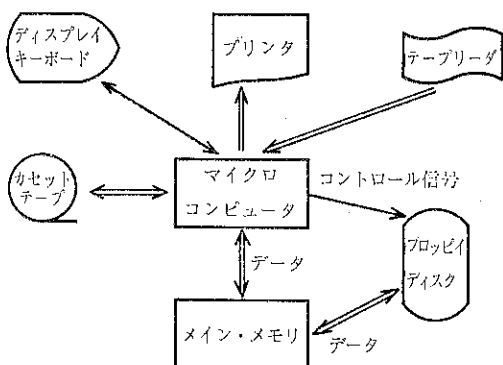


Fig. 1 Basic が利用できる汎用コンピュータシステム

例を Fig. 1 に示す。以下、主要部について略述する。

(1) CPU

マイコンの心臓部には CPU (Central Processing Unit) があり、1チップのLSI (大規模集積回路) の中に演算部、制御部、レジスタ部を含む。大型コンピュータの中央処理装置と区別するため、別名マイクロプロセッサと呼ばれている。

現在、マイコンの多くには、インテル8080A、モトローラ 8600、ザイログZ-80、インテル 8086A、MOSテクノロジー社 MC-68000 などが使用されている。

(2) ROMとRAM

マイコンの演算実行に際して多量のデータや命令を記憶するため、内部記憶装置として ROM (Read Only Memory) と RAM (Random Access Memory) が用いられている。

ROMは読み出し専用のメモリーで、固定的な書き換える必要のないプログラムの記憶に用いる。LSIのROMには製造時に内容が書かれるマスクROM、使用者がプログラムできる PROM (Programable ROM) と特別な装置によって消去、書換えが可能な EPROM (Erasable PROM) とがある。

(3) 補助記憶装置

マイコンの補助記憶装置としては、フロッピーディスク (floppy disk)、カセット・テープ、磁気カードなどが用いられている。

(4) プリンター (Printer)

インクジェット方式、感熱方式、放電破壊方式、静電方式のものなどがある。

(5) C.R.T. (Cathode Ray Tube)

マイコンの出力装置として最もポピュラーなものである。ディスプレイには、白黒、グリーン、カラーなどがあり、文字数は、32字×16行、64字×16行、40字×25行

など、命令によって文字の大きさ、文字数など指定できるものがある。

(6) その他の周辺装置

入力装置としては、紙テープリーダ、紙カードリーダ、マークシートリーダ、アナログ・ディジタル変換器などがある。

出力装置としては、X-Yプロッタ、ステッピング・モータ、ディジタル・アナログ変換器などがある。

マイコンの計測、分析、制御への利用は、各種インターフェイスを介して経済的および便利に行なわれるようになった (Fig. 2 参照)。

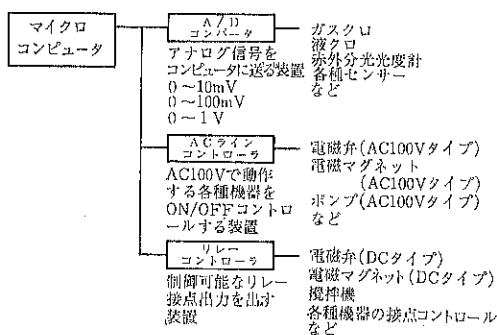


Fig. 2 マイコンの計測、分析、制御への利用

3. 粒度測定への利用

すでに述べたように、マイコンは近年粉体の物性およびそれを取扱う装置およびプロセスの分野でも使用され始めている。

本稿では、粉体の物性、特に粒度測定^{10)~12)}の分野での利用の状態について述べてみよう。

粒度分布を測定する場合、対象とする試料へ、たとえば光線^{13), 14)} およびX線などを照射し、粒径および分布に関係のある情報をセンサーを使用することにより電気信号の形で得る。これらの信号の内容の分離はコンピュータによってなされ、粒度分布や粒度に関する特性値が得られる。オンライン粒度測定においては、測定結果をプロセスの制御回路へ入力することにより品質管理や省エネルギーに効果を挙げることができる。

3.1 顕微鏡法による自動粒度測定

粉体の粒度分布を直接測定する方法として顕微鏡法がある。測定の対象とする試料粒子の大きさ、状態などにより、光学、電子、限外顕微鏡などが選定される。

従来は写真撮影などを行ない、粒子の大きさ、個数な

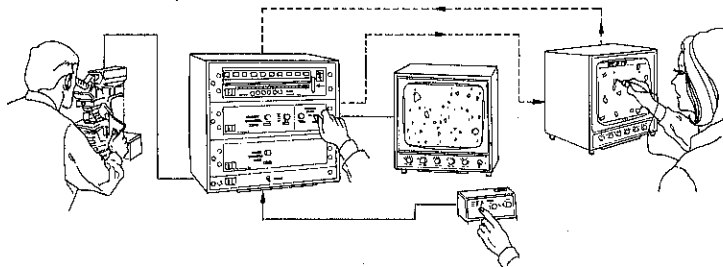


Fig. 3 顕微鏡法による自動粒度分布測定 (IIMC システム)

どを測定して粒度分布を算出してきた。この統計的な処理のため多くの労力を必要とする。

現在は顕微鏡にテレビカメラを取付け、その映像信号をマイコンまたはミニコンで処理することにより、迅速に粒度分布を測定することが可能である。これらの技術は、米国¹⁵⁾、英国¹⁶⁾、西独¹⁷⁾などに先んじられたが、現在では国産のものでも可成り良好な装置が開発されている^{18)~20)}。

測定法の一例としてIIMC粒子自動計数システム²¹⁾について述べてみよう。

Fig. 3 において、顕微鏡のステージ上に置かれた試料を見ながら、光源と焦点を調節する。テレビカメラが顕微鏡でとらえた像を走査してその内容を映像信号に変えてコンピュータに送る。受取った映像信号を“ロジック”に従って処理し、視野内にある粒子を計数、計測する。付属のノブを回せば、必要な測定項目が選ばれる。

コンピュータを通ったテレビ信号はモニターに入って視野の像が再生される。コントロールのボタンを押せば直ちに、モニター画面上部に測定結果が現われる。

操作モードにすると全視野測定、粒子選択測定ができる。全視野モードでは、1) 視野内にある粒子の総数、2) 全粒子の占める面積、3) 粒子の平均面積、4) 垂直軸に沿って上端から下端までの長さを全粒子について加えた値、5) 4) を粒子数で割った値、6) 個数粒度分布、7) 視野内にある像の凸面の尖端の数の計数、8) 粒子像を横切る走査線の数に比例した値。

選択または個々の測定モードでは、1) 面積、2) Feret's 径、3) 最長径などが測定できる。

3.2 微粒子解析装置 SA-MID 形^{22), 23)}

環境汚染および医学などの分野でエアロゾル中の固体および液体粒子の粒度分布や濃度の測定の必要性が認められているにもかかわらず適当な装置（特に液体粒子の粒度分布、濃度の測定）がないままに今日におよんでいる。微粒子解析装置は、Stokes の法則に基づく沈降法の原理に、サンプリング機構と画像技術および信号処理

技術を組合せたもので、気体や液体中の粒子の粒度分布と個数濃度を自動的に短時間に精度よく測定できる。

Fig. 4 に示すように、粒子を含むエアロゾルまたは液体を間欠的に試料セルに吸引し、限外顕微鏡、ビデオカメラ、自動粒子計数器を使用して時間に対する粒子数を測定し、沈降法の原理によりデータ処理装置で自動的に計算を行ない、粒度分布と個数分布をプリントアウトする。

本測定装置によるタバコの煙、水滴、家庭用殺虫剤、D.O.P.、エアロゾルなどの測定例が報告されている。

なお、測定粒子径範囲は約 0.1~10 μm 、測定濃度範囲は $10^5 \sim 10^8$ 個/ cm^3 である。

3.3 オンストリーム粒度測定装置 SPA-2000形²⁴⁾

生産工程でのスラリー状粉粒体の粒度を迅速に精度よく連続的に測定したいことがしばしば起こる。

この方法の一つとして、オンストリーム粒度測定装置がある。

Fig. 5 に示すように懸濁液に光を透過させ、その明るさおよび明るさの変動から下記の回帰式に基づき、懸濁液内の粉粒体の平均粒子径を連続的に測定する。

任意の時刻に光透過空間内に入る粒子の数および配列状態は、統計法則にしたがって変動する。懸濁液を通すパイプに測光空間を設け、光源として直流点火されたハロゲン電球を使用し、透過光を光電子増倍管で受光し、透過光の強さとその変動の大きさを検出する。

$$X = \frac{\bar{I}}{I_0} \quad Y = \frac{\bar{I}'}{\bar{I}} \quad (1)$$

X: 出力の直流成分 $\bar{I}$: 透過光の強さの平均値
Y: 出力の交流成分 $\bar{I}'$: 透過光量の変動の標準偏差
 I_0 : 入射光の強さ

から、つぎのような回帰式によって平均粒子径を求める。

$$d = F(X, Y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} X^i Y^j \quad (2)$$

たとえば、 $m=2$ 、 $n=2$ とすると

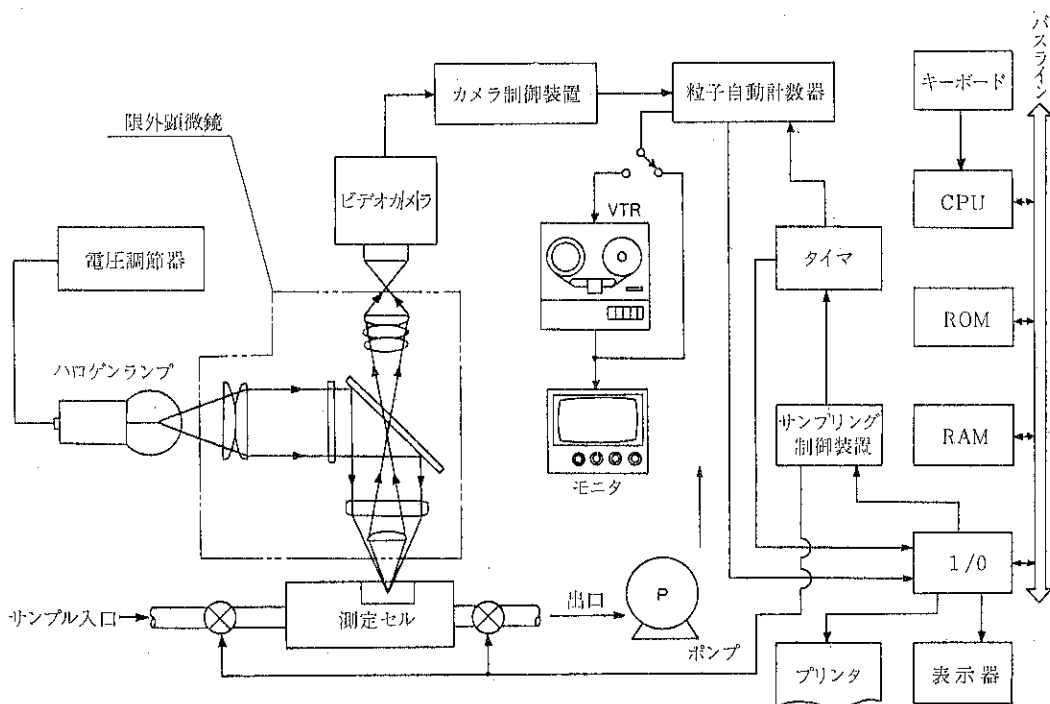


Fig. 4 微粒子解析装置 SA-MID形

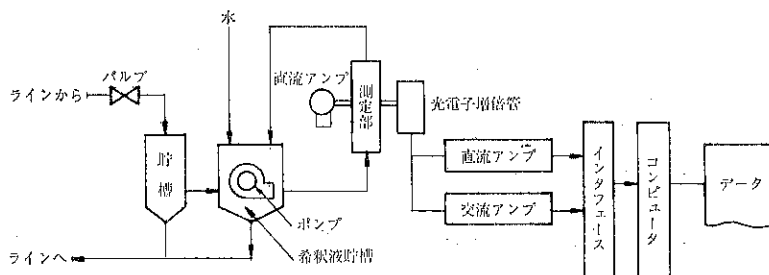


Fig. 5 オンストリーム粒度測定装置 SPA-2000形

$$d = a_{00} + a_{10}X + a_{20}X^2 + a_{01}Y + a_{02}Y^2 + a_{11}XY + a_{12}XY^2 + a_{21}X^2Y + a_{22}X^2Y^2 \quad (3)$$

a_{ij} : 定数 (校正によって求める.)

本装置は平均粒子径のかわりに比表面積, 80%通過粒度, 74 μ m 通過率など目的に応じた粒度特性値によって随意に校正することができる。また, 粒子径の変動の影響を受けることなく, 懸濁液の濃度を測定できる機能もっている。

本装置の粒度測定範囲は1~500 μ mで, 鉱業, 薬品, セメント, 窯業, 化学工業などへの対象と

- 1) 各種粉粒体プロセスにおける粒度の連続測定
- 2) 砕料の品質管理, コストダウンおよび粉砕機の安定運転

3) 製品の品質管理および分級機の安定運転などの応用分野がある。

なお, この他, 筆者らの研究した He-Ne ガスレーザ透過法によるオンライン粒度分布測定装置がある²⁵⁾。

3.4 ハイアック自動微粒子計測器²⁶⁾

光を使用した粒度測定装置として3.3のほか, 自動微粒子計測器がある。これはライトブロッキング方式を採用しているのので, 微粒子の色, 形, 表面の状態の影響を受けずに正確な計測が行なえる。Fig. 8に示すように, ランプから出た光はガラス繊維の窓を通り平行光線を形成し, フォト・ディテクターへ直進する。

微粒子が窓を通過する時, 光線の一部がさえぎられる

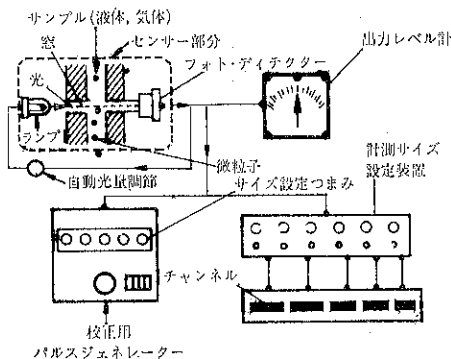


Fig. 6 ハイアック自動微粒子計測器

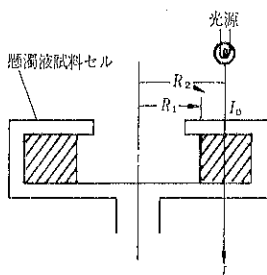
とフォト・ディテクターの出力電流変化が起り、この電流変化をパルスに変換し微粒子の大きさに比例した電圧降下パルスを発生する。このパルス数およびパルスの高さとサイズをカウントし、セットされたサイズ幅別に表示する。

おのおののチャンネルに備えられたサイズ設定により、いかなるサイズ幅にも区別して計測できる。組込まれた校正パルス・ジェネレーターのサイズ設定つまみを調節することによって微粒子も校正パルスで比較することが可能である。測定範囲は2~9,000 μm である。

3.5 遠心沈降式粒度分布測定装置²⁹⁾

適当な媒液中に粉体粒子を分散させ、粒子の大きさと沈降速度との関係から粒子径を測定する方法を湿式沈降

遠心沈降の光透過法



自然沈降の光透過法

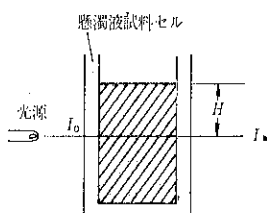


Fig. 7 A 遠心沈降および自然沈降の光透過法

法という。

本装置は、湿式沈降法の中でも光透過法を採用しており、自然沈降と遠心沈降^{27),28)}のいずれも測定できる。

媒液中を沈降する微粒子の沈降速度には Stokes の式が適用され、沈降距離と時間および粒子径との関係は次式で示される。Fig. 7 A において

1) 遠心沈降の場合

$$d_x = \sqrt{1.05 \frac{\mu}{(\rho_s - \rho_l) N^2 t} \log_{10} \frac{R_2}{R_1}} \quad (4)$$

2) 自然沈降の場合

$$d_x = \sqrt{\frac{18\mu H}{(\rho_s - \rho_l) g t}} \quad (5)$$

d_x : 粒子の直径 [cm]

t : 沈降時間 [s]

N : 試料セルの回転数 [r.p.s]

R_1 : 回転軸から液面までの距離 [cm]

R_2 : 回転軸から光束の中心までの距離 [cm]

ρ_s : 粉体の密度 [g/cm³]

ρ_l : 媒液の密度 [g/cm³]

μ : 媒液の粘性係数 [g/cm²・s]

H : 液面から光束の中心までの距離 [cm]

g : 重力の加速度 [cm/s²]

つぎに、光透過法による測定は、懸濁液の液面から一定の位置に光をあてて、粒子の沈降に伴う濃度変化を時間の関数として連続的に測定する。このときの懸濁液を透過する光の透過率は、Lambert—Beer の法則から

$$\ln \frac{I_0}{I} = K C l \quad (6)$$

I_0 : 入射光の強度

I : 透過光の強度

K : 粒子の形状および配光性の係数

C : 懸濁液の濃度 [g/cm³]

l : 懸濁液の厚さ [cm]

K_x : 吸光係数

n_x : 粉末 1 g あたりの粒子径 d_x の粒子個数

d_x : 粒子の直径 [cm]

測定された透過率と時間の関係（沈降曲線）から、Stokes の式により横軸の時間を粒子径に換算し、それに対する透過率の対数を求めれば簡単に面積分布や重量分布のヒストグラムがつくられる。

Fig. 7 B は、本装置の基本構造の概略を示したものである。測定粒子径によって、光路中に遠心沈降か自然沈降のどちらかの試料セルを選んでセットする。

遠心力沈降の場合は、セットした試料セルを電動機で回転させ、懸濁液中の試料に遠心力をあてる。この懸濁液の一定位置に光を透過させ、透過光の強度変化を光

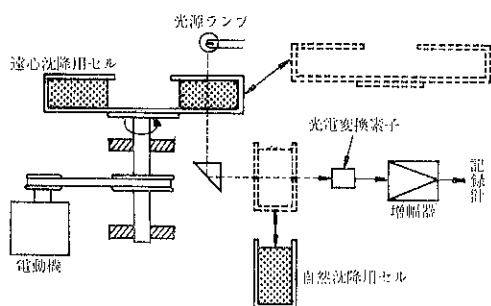


Fig. 7 B 遠心沈降式粒度分布測定装置

電変換素子によって電氣量にかえ、濃度変化を時間の関数として連続的に記録させる。

自然沈降を行なうときは、自然沈降用セルをセットする。セル中の懸濁液の一定位置に光をあて、遠心沈降の場合と同じ回路によってこれを電氣量にかえ、濃度変化を時間の関数として連続記録させる。

測定結果から粒度分布を算出することは、さほど煩雑なものではないが、例えば、シャープコンベット PC-3600 を使用したプログラムが公開されている²⁹⁾。

NEC COMPO BS/80 のマイコンと BSD-80 PRT プリンタを使用した場合の遠心力沈降による粒度分布測定のプログラムの例を Table 2 に示す。

なお、これらの計算および表示は 1 チップの CPU によって置き換えられるだろう^{*)}。

本装置の測定範囲は遠心沈降で約 0.1~10 μm 、自然沈降で約 1~100 μm である。本装置は粉体を取扱う多くの分野での基礎研究、工程分析および品質管理用として使用されている。

Table 2 遠心沈降式粒度分布測定のプログラム

```

10 REM *** PARTICLE SIZE ANALYSIS BY
CP-50 ***
20 CALL 400H
30 CALL 409H
40 DIM A(20), B(20), C(20), D(20), F(20),
K(20), L(20), M(20)
50 CLEAR
60 INPUT "TEMPERATURE" T: PRINT
70 INPUT "CHART SPEED" S: PRINT
80 INPUT "DENSITY" P: PRINT
90 INPUT "LIQUID DENSITY" E: PRINT
100 INPUT "DISTANCE OF R1" R1: PRINT
110 INPUT "RPM" N: PRINT
120 PRINT "* CAUTION ! *"
130 PRINT "* IN CASE THERE IS NO DATA

```

```

ON PARTICLE SIZE AVAILABLE, PUT IN 0. *"
135 PRINT
140 PRINT "* IN CASE THERE IS NO DATA
ON BEAM STRENGTH AVAILABLE, PUT IN 100.
*"

```

```

145 PRINT
150 LET I=1
160 INPUT "PARTICLE SIZE" A(I)
170 INPUT "BEAM STRENGTH PERCENT" B(I)
180 IF A(I)=0 THEN IF B(I)=100 THEN
GOTO 210
185 PRINT
190 LET I=I+1
200 GOTO 160
210 LET V1=(T-8.435)+SQRT(8078.4+(T-8.
435)^2))
220 LET V=1/((2.1482*V1)-120)
230 FOR Z=1 TO I
240 LET L1=(6.3E 9)*V*5
250 LET L2=LOG(8/R1)/2.303
260 LET L3=(P-E)*(N^2)
265 IF A(Z)=0 THEN LET L(Z)=0: GOTO 2
80
270 LET L(Z)=(L1/L3)*L2/(A(Z)^2)
280 LET C(Z)=(LOG(B(Z)))/2.303
290 NEXT Z
295 LET T1=0
300 FOR Z=1 TO (I-1)
310 LET D(Z)=C(Z+1)-C(Z)
320 LET F(Z)=(A(Z)+A(Z+1))/2
325 PRINT
330 PRINT F(Z); " (MICRON) NO ";
340 INPUT " KX" K1
350 PRINT
360 LET K(Z)=1/K1
370 LET M(Z)=D(Z)*F(Z)*K(Z)
380 LET T1=M(Z)+T1
390 NEXT Z
400 INPUT "SAMPLE NAME" A$
410 INPUT "MONTH" M1
420 INPUT "DAY" D1
430 POKE 8620H, 55H
440 POKE 8623H, 50H
450 PRINT TAB(18); " *** PARTICLE SIZE
ANALYSIS BY CP-50 *** "
460 PRINT
470 PRINT "* DATE "; TAB(20); "-----
-- 1980";
480 POKE 8479H, F6H: CALL 41EH
490 PRINT M1; " ";
500 POKE 8479H, EFH: CALL 41EH
510 PRINT D1; " ";
520 POKE 8479H, EEH: CALL 41EH
525 PRINT
530 PRINT "* SAMPLE "; TAB(20); "-----
"; A$
540 PRINT "* DENSITY "; TAB(20); "-----
"; P; " (G/CC) "
550 PRINT "* LIQUID DENSITY "; TAB(20)
; "-----
"; E; " (G/CC) "
560 PRINT "* VISCOSITY "; TAB(20); "-----
"; V; " (POISE) "

```

※) 本誌説投稿後、マイコン内蔵の SA-CP-20 が新製品として発表された。

```

570 PRINT " * TEMPERATURE "; TAB(20); " -
      "; T; "(°C)"
580 PRINT " * N "; TAB(20); " -
      "; N; "(RPM)"
590 PRINT " * R1 "; TAB(20); " -
      "; R1; "(CM)"
600 PRINT " * CHART SPEED "; TAB(20); " -
      "; S; "(MM/MIN)"
610 PRINT " * AGENT "; TAB(20); " -
      "
620 PRINT
630 PRINT TAB(2); "DX(MICR)"; TAB(14); "L
(MM)";
640 PRINT TAB(26); "I(X)"; TAB(36); "LOG
I";
650 PRINT TAB(46); "DM(MICR)"; TAB(58); "
1/KX";
660 PRINT TAB(68); "R(X)";
670 FOR Q=1 TO 75
672 PRINT "-";
673 NEXT Q
675 PRINT
677 LET T2=0
680 FOR Z=1 TO (I-1)
690 PRINT TAB(3); A(Z); TAB(13); L(Z); TAB
(26); B(Z); TAB(35); C(Z);
695 IF Z=1 THEN PRINT TAB(67); "*****";
GOTO 710
700 PRINT TAB(65); (M(Z-1)+T2)*100/T1
705 LET T2=(M(Z-1))+T2
710 PRINT TAB(47); F(Z); TAB(55); K(Z)
730 NEXT Z
740 PRINT TAB(3); A(I); TAB(14); "*****"; T
AB(26); B(I); TAB(35); C(I);
750 PRINT TAB(67); "100"
760 FOR Q=1 TO 75
770 PRINT "-";
780 NEXT Q: PRINT
790 POKE 862CH,56H
800 END

```

*** PARTICLE SIZE ANALYSIS BY CP-50 ***

```

* DATE ----- 1980 6 18 日
* SAMPLE ----- 加粉
* DENSITY ----- 2.5 (G/CC)
* LIQUID DENSITY ----- 1 (G/CC)
* VISCOSITY ----- 8.73624E-3 (POISE)
* TEMPERATURE ----- 25 (°C)
* N ----- 1500 (RPM)
* R1 ----- 6 (CM)
* CHART SPEED ----- 20 (MM/MIN)
* AGENT -----

```

	DX(MICR)	L(MM)	I(X)	LOG I	DM(MICR)	1/KX	R(X)
4	2.54625	14.5	1.16116				***
2	10.1854	15.9	1.22767		3	.847458	7.03917
15	10.1074	22	1.34218		1.75	1.47059	19.3062
					1.25	2.17391	

2	40.7415	45.5	1.66715		56.0715
8	63.6588	70.5	1.84786	.9	3.22581
.6	113.171	88	1.94413	.7	4.54546
5	162.367	97.3	1.98775	.55	6.25
8	***	100	1.99964	.25	25
					100

3.6 マイクロトラック粒度分析計³⁰⁾

Fig. 8に示すように、He-Ne ガスレーザーから出た光線をサンプルセルに当てると、セル中の粒子によって光は散乱される。この散乱光をレンズ1で集めると、その焦点上に回折像が現われる。この回折像に含まれる粒子の大きさに関する情報を何らかの方法で取り出せば粒度計測が可能になる。

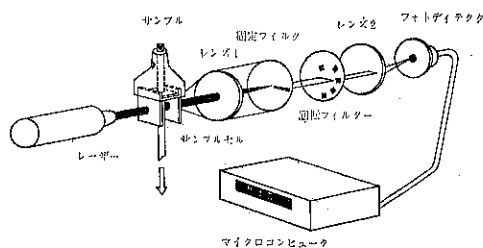
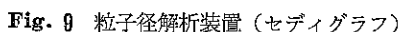


Fig. 8 マイクロトラック粒度分析計

この目的のためには、コンピュマスクと呼ばれる特殊回転フィルタが用いられる。これは2枚の円型ディスクから構成されていて、1枚目にはスリットが、2枚目には13ヶの窓が明けられているので、2枚目のディスクを回転させると13ヶの窓を順次通過した光量が得られる。これをレンズ2でフォトディテクタ上に集める。フォトディテクタは光の信号を電気信号に変換し、これをマイコンへ送る。マイコンでは13ヶの光の情報から13区分を持った体積分布によるヒストグラム、累積値および粒度に関する平均値を予め決められたプログラムにしたがって演算処理後、その結果をプリントアウトする。測定レンジは1.9~176μmあるいは3.3~300μmで、エアロゾル、セメント、セラミック、エマルジョン、鉱石、粘土、爆薬、研磨剤、食用粉、顔料、粉体金属および酸化物、粉状触媒、トナーなどを対象とし、1) 原材料の受入検査 2) プロセス条件の頻繁で速い分析 3) 生産高の上昇と無駄の排除 4) 製品の品質分析 5) 粉体関係の研究開発などに利用されている。

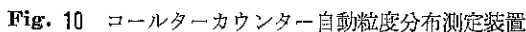
3.7 粒子径解析装置 (セディグラフ)³¹⁾

Fig. 9に示すように、タングステンターゲットをもつX線管から出たX線は、スリットを通り、縦0.05mm、



最近, X線源の代りに光源を使用した装置も開発されている。

Fig. 10 に示すように電解液中に分散している粒子を



以上, 3.1~3.9の各測定装置は, 検出方法の差異こそあれ, 粒度分布を測定するものである。これらに共通に使用できると考えられる粒度分布の表示のプログラムの一例を **Table 3** に示す。

Table 3 粒度分布表示のプログラム

- 82 -

```

171 INPUT "YES:1 NO:0"E
180 IF E=1 THEN GOTO 300
280 FOR I=1 TO N1
281 LET H(I)=A(I)
282 LET J(I)=B(I)
283 NEXT I
284 REM
285 POKE 8623H, 50H
287 POKE 862CH, 55H
288 PRINT TAB(23); "**** HIKARI RYUDO K
EISAN ***"
289 PRINT
290 GOSUB 2000
300 LET B(N)=0, Z=0
305 LET A(N)=0
310 FOR I=1 TO N1
320 LET C(I)=(A(I)+A(I+1))/2
330 LET D(I)=(B(I)-B(I+1))
340 IF D(I)>Z THEN LET Z=D(I)
350 NEXT I
360 FOR I=1 TO N1
370 LET E(I)=(D(I)/Z)*100
380 NEXT I
390 FOR I=1 TO N1
400 LET H(I)=C(I)
410 LET J(I)=E(I)
420 NEXT I
430 GOSUB 2000
500 CLEAR
510 PRINT TAB(2); "D"; TAB(15); "%"; TAB(2
5); "ヒストグラム"
560 PRINT TAB(1); "-----"
-----"
570 FOR I=1 TO N1
580 LET R=B(I)-B(I+1)
590 PRINT #13, A(I), B(I), R
600 NEXT I
700 CLEAR
705 PRINT
710 LET O=90
720 GOSUB 3000
730 LET O=0-40
740 GOSUB 3000
750 LET O=0-40
760 GOSUB 3000
900 POKE 862CH, 56H
999 END
2000 CLEAR
2010 PRINT " D";
2020 PRINT TAB(17); "%"; TAB(42); "**** ヒ
ストグラム ****"
2030 PRINT TAB(1); "-----"
-----1-----2-----3-----4-----5";
2035 PRINT TAB(50); "-----6-----7-----8-----
9-----10"
2060 FOR I=1 TO N1
2070 LET A1=H(I)
2080 LET B1=J(I)
2090 PRINT TAB(1); A1; TAB(10); "-";
2095 PRINT TAB(14); B1; TAB(24); " ";
2100 LET B2=INT(B1/2)
2130 FOR K=1 TO B2
2140 PRINT "*";
2150 NEXT K
2160 PRINT
2170 NEXT I
2360 PRINT
2450 RETURN
3000 FOR I=1 TO N1
3010 LET Z(I)=ABS(O-(B(I)))
3020 NEXT I
3030 LET F=Z(1)
3040 LET L=1
3050 FOR I=2 TO N1
3060 IF F<Z(I) THEN GOTO 3090
3070 LET F=Z(I)
3080 LET L=I
3090 NEXT I
3100 IF L=N1 THEN LET B0=B(L-1); LET A
0=A(L-1); GOTO 3130
3110 LET B0=B(L+1)
3120 LET A0=A(L+1)
3130 LET A9=(B(L)-B0)/(A(L)-A0)
3140 LET B9=B(L)-(A9*A(L))
3150 LET O0=(O-B9)/A9
3160 PRINT TAB(1); O; TAB(5); "0-ヒストリウウケイ
-----";
3165 PRINT TAB(41); O0; TAB(50); "( MICRON
)"
3180 RETURN
*** HIKARI RYUDO KEISAN ***

```

D	%	*** ヒストグラム ***
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
125.5	- 98.6	*****
105	- 87.34	*****
89.6	- 76.3	*****
56.43	- 65	*****
43.78	- 40.2	*****
30.9	- 23.6	*****
19.6	- 9.65	***

D	%	*** ヒストグラム ***
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
115.25	- 45.4032	*****
97.3	- 44.5161	*****
73.015	- 43.5646	*****
50.105	- 100	*****
37.34	- 66.9355	*****
25.25	- 56.2499	*****
9.8	- 38.9112	*****

D	%	ヒストグラム
125.5	98.6	11.26
105	87.34	11.04
89.6	76.3	11.3
56.43	65	24.8
43.78	40.2	16.6
30.9	23.6	13.95
19.6	9.65	9.65

99 μmセリウム	100.71 (MICRON)
50 μmセリウム	51.333 (MICRON)
19 μmセリウム	19.035 (MICRON)

3.9 プロセス用粒度アナライザ³³⁾

比表面積および平均粒子径の測定は、粉体充てん層を通過する流体の透過度から、Kozeny—Carman の式に基づいて求められる。

Kozeny—Carman の式によれば、粉体が球状の均一の粒子からなっているとき、粉体充てん層を透過する流体の流量や圧力差と粉体の比表面積の間には、

$$S_w = \frac{14}{\rho_s} \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}} \quad (7)$$

の式が成立する。ただし

$$K = \frac{\mu L Q}{\Delta P A t} \quad \epsilon = 1 - \frac{W}{\rho_s A L}$$

S_w : 粉体の比表面積 [cm^2/g]

ϵ : 試料充てん層の空き率 [—]

ρ_s : 粉体の密度 [g/cm^3]

μ : 液体の粘性係数 [$\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s}$]

L : 試料層の厚さ [cm]

Q : 粉体充てん層通過流量 [cm^3]

ΔP : 試料層両端の圧力差 [g/cm^2]

A : 試料層の断面積 [cm^2]

t : Q の量の流体が試料層を通過するに要する時間 [s]

W : 試料の重量 [g]

したがって、適当な試料層を通過する流体の量 Q と通過に要する時間 t およびそのときの圧力 ΔP を測定すると、粉体の比表面積 S_w が求められ、その値から次式に

より平均粒子径 d_m を計算することができる。

$$d_m = \frac{6}{\rho_s S_w} \quad (8)$$

プロセス用の装置としては Fig. 11 に示すように、試料を充てんするために試料投入口から送り込まれた試料粉体を、冷却用スクリュフィーダを通過した後、サンプリング用スクリュフィーダで天秤皿に一定量を秤取り、シュートを通して充てん層へ導入し、設定した空き率になるようにプレスする。測定後の試料はクリーナで吸取り、バッグフィルタを通して試料排出口から外部へ排出する。

オンライン制御の一例として、ミルで粉碎した粉体をサンプリングでサンプリングし、プロセス用粒度アナライザ OPA-1000 形へ投入して測定すると、測定結果は制御部の記録計に比表面積値を、デジタルパネルメータに平均粒子径を表示する。

また、測定結果を制御回路へ入力すれば、ミルが経済的に運転できるようミルへの原料の投入量を最適値に制御でき、粉碎工程の品質管理およびコストダウンが可能になる。なお、セパレータで分級した精粉の測定を行なうと、セパレータの分級粒度が制御でき、ミルの制御と同様の効果を発揮する。

プロセス用粒度アナライザの測定範囲は、比表面積 $6,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 以下、平均粒子径 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ といわれている。本測定装置によるポルトランドセメントの製造プロセスにおける測定例がある。

実験室や研究室などでは、Kozeny—Carman の式に基づく粉体比表面測定装置 S S-100 形が広く普及している³⁴⁾。測定装置をマイコンとオンライン化するか、データ処理にマイコンを使用することにより測定の能率化ははかれる。

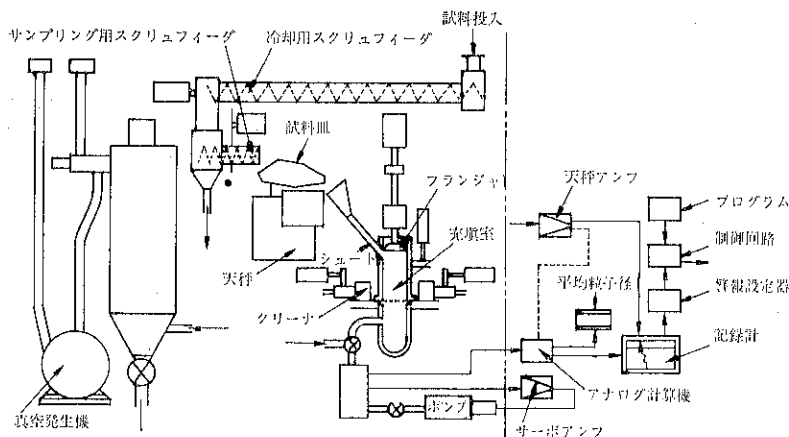


Fig. 11 プロセス用粒度アナライザ OPA-1000形

Table 4 に、恒圧通気法による比表面積測定の場合のプログラムの一例を示す。

Table 4 恒圧通気法による比表面積測定のプロダム

```

5 REM *** ヒビウメンセキ ノ フロクアラ ***
10 CALL 400H
15 CALL 409H
20 CLEAR
30 PRINT "* START TIMER ----- 1"
40 PRINT "* STOP TIMER ----- 0"
50 LET T=0, Z=48, X=49
60 LET J=PEEK(7DFCH)
70 IF J=X THEN CLEAR : GOTO 90
80 GOTO 50
90 LET C=PEEK(7DFCH)
100 LET T=T+1
110 CURSOR 20,1: PRINT "TIME",#4,T
120 IF C=Z THEN GOTO 140
130 GOTO 90
140 LET S=T/11.11
150 INPUT "フンタイ ミット" D
160 INPUT "アツリョウサ" P
170 INPUT "タツンメンセキ" A
180 INPUT "ネット" V
190 INPUT "シリョウ アツサ" L
200 INPUT "リュウタイリョウ" Q
210 INPUT "シリョウ オモサ" W
220 LET E=1-(M/D/R/L)
230 LET M=14/D*SQRT(P*A*S*E*E/V/L/Q/(
1-E)/(1-E))
240 LET K=(6/D/M)*10000
250 POKE 862CH,55H
255 POKE 8623H,50H
260 PRINT "*** ヒビウ メンセキ ラ モトメル フロクアラ
4 ***"
270 PRINT "-----"
280 PRINT "* フンタイ ミット -----"; D; TAB(27);
"(G/CM^3)"
290 PRINT "* アツリョウサ -----"; P; TAB(27);
"(G/CM^2)"
300 PRINT "* タツンメンセキ -----"; A; TAB(27);
"(CM^2)"
310 PRINT "* ネット -----"; V; TAB(27);
"(G/CM SEC)"
320 PRINT "* シリョウアツサ -----"; L; TAB(27);
"(CM)"
330 PRINT "* リュウタイリョウ -----"; Q; TAB(27);
"(CC)"
340 PRINT "* シリョウ オモサ -----"; W; TAB(27);
"(G)"
350 PRINT "-----"
360 PRINT "* シカク -----"; S; TAB(27);
"(SEC)"
370 PRINT "* ヒビウメンセキ -----"; M; TAB(27);
"(CM^2/G)"
380 PRINT "* リュウタイ -----"; K; TAB(27);
"(MICRON)"
390 POKE 862CH,56H
999 END

```

*** ヒビウ メンセキ フロクアラ ***

* フンタイ ミット	2.76	(G/CM ³)
* アツリョウサ	25	(G/CM ²)
* タツンメンセキ	2	(CM ²)
* ネット	1.832E-4	(G/CM SEC)
* シリョウ	1	(CM)
* リュウタイリョウ	20	(CC)
* シリョウ オモサ	1.23907	(G)

* シカク	24.9325	(SEC)
* ヒビウメンセキ	9002.25	(CM ² /G)
* リュウタイ	2.4486	(MICRON)

3.10 自動比表面積・細孔分布解析装置 (デジソープ)⁸⁵⁾

粉体粒子表面に大きさのわかった分子を吸着させ、その吸着量を求め、試料の比表面積を算出する方法の一つに B E T の吸着法がある。

粉体のある密閉系の気体中におくと、温度、圧力に応じて平衡状態となり、一定の吸着量を示す。一定温度で気体の圧力を変えると、平衡吸着量も変化する。このときの吸着量と圧力の関係を示す曲線を吸着等温線といい、これから一層だけ吸着（単分子吸着層）した場合の吸着分子の量（体積）が求められ、その結果試料粉体の比表面積 S_w は下記の式により求まる。

$$S_w = V_m N \sigma \quad (9)$$

ここで、 V_m ：一層だけ吸着する気体体積

N ：アボガドロ数 (6.023×10^{23})

σ ：吸着された分子1個が粒子表面で占める面積



Fig. 12 自動比表面積・細孔分布解析装置
(デジソープ)

Fig. 12 に示す自動比表面積・細孔分布解析装置（デジソープ）は、ミニコン使用により測定は全自動で最大 5 試料の連続測定が可能で分析時間が極端に短縮され、能率が向上された。

本測定装置では、吸着等温線、脱着等温線、細孔容積、細孔分布および比表面積などの物性が測定される。

比表面積測定測間は $0.001 \sim 1,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 、細孔分布計算範囲は $20 \sim 6,000 \text{ \AA}$ である。コンピュータの ROM 容量は 8 K 語である。

3.11 浸漬熱測定装置³⁶⁾

焼成、脱気した粉体を常温で湿度一定を保つ塩類の飽和蒸気中に置くと、平衡状態で粉体の表面および細孔中にある厚さの水蒸気の吸着層ができる。この試料を水中に浸漬すると吸着層の表面が消失し、それに伴って吸着層の表面エネルギーに相当する熱量が発生する。

Gibbs-Helmholtz の式から試料 1 cm^3 当りの発生熱量 h_E は、近似的に次式で表わされる。

$$h_E = r_L - T \frac{\partial r_L}{\partial T} = h_L \quad (10)$$

ここに、 r_L ：液体表面の自由エネルギー $[\text{erg}/\text{cm}^2]$

T ：温度 $[^\circ\text{K}]$

h_L ：液体の全表面エネルギー $[\text{erg}/\text{cm}^2]$

である。

したがって、次式から吸着層の比表面積 $[\text{m}^2/\text{g}]$ を推定することができる。

$$\Sigma = Q/h_L \quad (11)$$

ここに、 Q ：試料粉体 1 g 当りの浸漬熱 $[\text{cal}]$ で h_L は水の場合、例えば 30°C において $0.0278 \text{ cal}/\text{m}^2$ である。

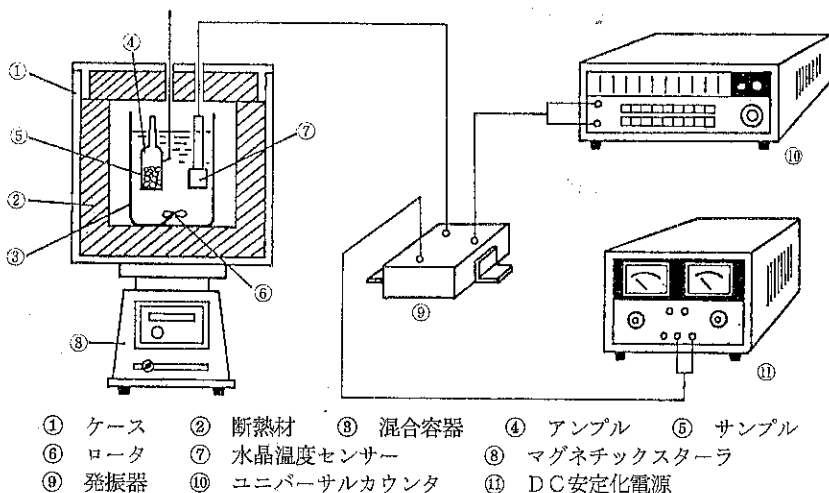


Fig. 13 水晶温度センサーを使用した浸漬熱の測定装置

Fig. 13 は水晶温度センサーを使用した浸漬熱の測定装置であり、マイコンと接続することにより、浸漬熱および比表面積を測定、算出することができる。

4. おわりに

近年、マイコンの技術的進歩および普及は目覚ましく、粉体の物性の研究やプロセスでも次第に用いられるようになった。

粉体の特性に大きな影響を及ぼす粒度の分野は、古くから研究が進められてきたため、マイコンを導入する試みが比較的早くから行なわれている。本稿においては、その現状の一端について述べた。

粒度は粉体の物性の測定の一つとして極めて重要であるため測定だけでも充分その意義はあるが、測定結果を粉体の生産プロセスへフィードバックすることにより粒度分布をコントロールし、さらに価値ある製品を製造するための技術的向上と生産のコストおよび消費エネルギーの節約が期待される。マイコンの有効利用は、これを可能にするだろう。

本稿を草するにあたり、島津製作所、アンドリュウ商会、日本ミリポア・リミテッド、野崎産業、日機装、シュミット、日科機、浜松テレビ、柏木研究所をはじめ多くの会社から送付された資料を参考にさせていただいた。

また、粒度測定のためのプログラム（NEC Basic Level II による）の作成については、松田良弘技官の協力を得た。

これら関係各位に感謝の意をあらわす。

追記

Table 2～4 のプログラムについては、紙面の都合

上詳細な説明をしなかった。御希望があればお問合せいただきたい。

参 考 文 献

- 1) 井上壽雄：1チップ・マイコンの家電へのインパクト，エレクトロニクス，25，[1]，21～23(1980)。
- 2) 小森律夫，松平俊次，遠山恵夫，前田芳夫，秋友信雄：マイクロコンピュータは如何に寄与したか—320形日立自記分光光度計—The Hitachi Scientific Instrument News，23，[1]，18～22(1980)。
- 3) 日本化学会：マイクロコンピュータ，化学と工業，31，[6](1978)。
- 4) 高松武一郎：化学工業におけるマイクロコンピュータの利用，化学工学，44，[2]，80～85(1980)。
- 5) 細川粉体工学研究所：ホソカワ/ミクロンスーパーセパレータMS S型，粉碎，[24]，150～153(1979)。
- 6) 古賀義亮：マイクロコンピュータによる BASIC，工学図書(1978)。
- 7) 古賀義亮：マイコン ソフトウェア入門，講談社(1979)。
- 8) 柏木恭忠：BASIC で広がる世界，CQ出版社(1979)。
- 9) 大内淳義：マイコン入門，広済堂(1977)。
- 10) 高坂彬夫：最近の粒度測定法，材料科学，7，[3]，159～172(1970)。
- 11) 高坂彬夫：微粉体の粒度測定，セラミックス，8，[8]，599～604(1973)。
- 12) 高坂彬夫：微粉体の粒度測定技術，粉碎，[21]，40～49(1976)。
- 13) 高坂彬夫，篠崎平馬，遠田保彦，井上達也，遠藤二男：光透過法による微粉体の粒度分布測定，材料，13，[133]，315～324(1964)。
- 14) 高坂彬夫：光透過法による粒度分布測定，粉体工学，2，[6]，1225～1231(1965)。
- 15) 島津製作所：画像解析装置オムニコン FAS-II 目視による定性測定から，画像解析による定量測定へ，Shimadzu Instrumentation News，Particle Technology，No. 8 CA 062—022
- 16) Cambridge Instrument：Cambridge Quantimet 720 Image Analysers
- 17) シュミット：定量組織分析における各種の画像分析装置による比較測定，1～14(1973)。
- 18) 東洋インキ：LUZEX 画像情報処理システム，(1975)。
- 19) 浜松テレビ：画像解析装置 IMAGELYZER 製品解説書，(1977)。
- 20) 丹羽 登：テレビジョン技術の計測への応用，計測と制御，12，[7]，575～586(1973)。
- 21) 日本ミリボア・リミテッド：IIMC粒子自動測定計数システム IIMC Particle Measurement Computer System，Bulletin BM 402(1977)。
- 22) 島津製作所：微粒子解析装置，SA-MID 形，CA 064-034。
- 23) 島津製作所：Shimadzu Instrumentation News Particle Technology，No. 11，CA 064-036
- 24) 島津製作所：オンストリーム粒度測定装置 SPA-2000 形カタログ，CA 093-034。
- 25) 高坂彬夫，松田良弘：He-Ne ガスレーザ透過法によるカオリン鉱物の粒度分布測定，材料，24，[262]，600～603(1975)。
- 26) 野崎産業：ハイアック自動微粒子計測器，カタログ。
- 27) 高坂彬夫，安部保志：遠心式光透過法による粘土鉱物の粒度分布測定，材料，18，[189]，526～530(1969)。
- 28) 高坂彬夫，姜 義清：遠心式光透過法によるカオリン鉱物の粒度分布測定，材料，18，[189]，526～530(1969)。
- 29) 島津製作所：遠心沈降式粒度分布測定装置，カタログ，CA 093-038，取扱説明書，計算機使用例。
- 30) 日機装：マイクロトラック 粒度分析計，カタログ(1978)。
- 31) 島津製作所：粒子径解析装置(セディグラフ)カタログ，CA 064-004，取扱説明書。
- 32) 日科機：コーンカウンター，自動粒度分布測定装置，TA II型カタログ。
- 33) 島津製作所：プロセス用粒度アナライザ，カタログ CA 093-032。
- 34) 島津製作所：粉体比表面積測定装置 SS-100形，取扱説明書。
- 35) 島津製作所：自動比表面積，細孔分布解析装置，デジソープ，カタログ，CA 064-003。
- 36) 高坂彬夫，遠藤正美，松田良弘：水晶温度センサーを使用したゼオライトの浸漬熱の測定，材料，29，[324]，868～872(1980)。

お粗末な和製英語

篠原 邦夫*

Kunio Shinohara

今や日本人は、テレビジョン、映画、雑誌などを通して、欧米の生活様式や考え方で、都合の良いところばかり取り入れて、異和感を持たなくなっている。中でも英米語は、宣伝や広告、看板などに氾濫しており、「日本も、将来は英語を話す国になる」と真面目に言う外国人もいる程である。

以前は、「外国語をあまり口にとすると、軽薄に思われる」とか、逆に「外国のものなら、何でも良い」という舶来崇拜があったが、いずれも両極端で、頂けない。言葉は、それぞれの民族の実生活に密着しており、異民族にも生きたまま自然に受け入れられるべきものである。所が、巷で見聞きする英語とやらは、学校で折角厳しく習った King's English とは大違いで、英和辞典でも仲々捜し出せない和製英語や省略語、日本語読みの英単語などが、度々使われている。英米人ならずとも、理解に苦しむ特殊な言葉が多いのには驚ろく。

確かに、言葉は時代と共に生きており、地域により変っている。英語を母国語とする国でも、鼻にかかった大声で、ゆっくり単純な表現のアメリカ語や、掠れた小聲で早口に、複雑な表現の多いキャナダ語、野性的でぶっきらぼうなオーストラリア語など、澄んで歯切れのよい正調のブリティッシュ英語とは、発音や言い回しもかなり違っている。ましてや、フレンチ風英語やヂャーマン風英語、更には、尻切れトンボのチャイニーズ英語や巻き舌のインディアン英語などは、とても聞きとり難いが、彼等は少なくとも流暢に話し続けるので、何とか、話のイミヂが湧く。

それらに対し、いわゆる和製英語は、本来英語ではなく日本の造語であるから、英文に役立たないばかりでな

く、単語としても、英米人にはサッパリ通じない。書いている時は、時間も辞書もあるから何とかなるが、話にはタイミングがあって、苦し紛れについ和製の単語や発音を口走ることがある。聞き直されると、無論、汗顔のいたりである。何故、日本人は臆気もなく、英語を似ても似つかぬ日本語で発音し、しかも頻繁に使用するのだろうか。綴りも意味もよく解らないことも少なくない。

その最大の弊害は、これから英語を習う子供達への悪影響である。彼等は、カタカナで書かれた英語は、むしろ日本語であるから、別にアルファベットで正確な英語を覚えねばならない。これは、徒労と二重の苦労だけではない。日本語を当てた曖昧な発音に慣れると、肝心の英語の発音に抵抗を感じるようになり、綴りもロウマンレターズの連想で誤ってしまいやすい。無論、御年配の方には、かつての敵性語という抵抗があり、正規の発音をあえてするのは気恥かしいのかもしれないが、一番気になる英語風日本語を口にするのも、この年代の人達（失礼！）に多い。最近では彼方の歌も直接耳にすることが多くなったためか、英語の歌詞の内容がよく解るようになり、若い人達は、あまり拘らずに生きた英語の発音をするようになってきたのは、大変喜ばしいことである。その意味では、T.V.の音声多重化で、生の英語のせりふが聞けるようになったのは、歓迎すべきことである。

こうしてヒアリングさえ鍛えれば、外国人との会話でも、適確な意味と発音の単語を一語づつでも、相手の話にタイミングを合せて発すれば、充分とまではいなくても、何とか意志の疎通ができるものである。それは、目と六感が援護してくれるからである。日本人の話でも、英単語を使うなら、むしろ気負って正確な発音を心掛け、もっとリアルな雰囲気を作って欲しい。その方が、テレやためらいで謙遜しているより、どれほど話し手自身や話の内容に信頼感が増すことであろう。

* 北海道大学工学部合成化学工学科
(〒060 札幌市北区北13条西8丁目)
Tel. (011)711-2111 内線6593

噴霧造粒法によるマイクロカプセル化法

—噴霧乾燥法をめぐる最近の話題—

川島 嘉明* 林 山陽* 竹中 英雄*

Yoshiaki Kawashima Shan Yang Lin Hideo Takenaka

1. 緒 言

—マイクロカプセルとその製法—

マイクロカプセル (microcapsule) は、文字通り直径がミクロンのオーダー (数 μm ~ 数 $100 \mu\text{m}$) の球状の微小容器である。容器の壁は通常は強固な高分子の薄膜 (数分の $1 \sim$ 数 μm) であり、容器の中に微量の物質を気体、液体、固体の種類を問わず封じ込むことができる。容器内の物質を芯物質と呼び、容器壁膜によって外部環境から保護することができる。これを容器外に取り出したい場合には、壁膜の材質や厚さ等を変えることによって、その時期、場所、及び速度を任意に調節することができる。マイクロカプセルがこれらの特長を発揮して、市場に華々しいデビューを飾ったのは、NCR社から出されたノーカーボン複写紙である。実に25年前のことである。その発明者の Green が第3回国際マイクロカプセル化会議 (1975年、東京、オーガナイザー：近藤保教授) に招かれて、特別講演を行った。“インクレスインクを作れと奇想天外な難注文を受けた”と当時を振り返りながらのジョークを巧みに交えた講演ぶりが今でも鮮やかに思い出される。以後、マイクロカプセルは医療、医薬、その他の各種工業分野において種々応用さ

れ、新しいタイプの製品が誕生した。現在人類に課せられている4つの命題、即ち環境、エネルギー、食糧、癌制圧にマイクロカプセル化技術が重要な役割をはたすものとその将来が期待される。

マイクロカプセルを作る方法は、一般に化学的、物理化学的、物理 (機械) 的方法とに分類することができる。物理化学、化学的方法是、芯物質の表面上で、モノマー又はポリマーから新しいポリマーの膜を作り、それによって芯物質を包み込む方法である。それに対して、物理的方法是既成のポリマーを用いている点異なる。この分類法に従って、マイクロカプセル化法を Table 1 にまとめた¹⁾。ここでは、機械的方法の内、噴霧造粒法

Table 1 マイクロカプセル化法の分類

化 学 的 方 法	{	1. 界面重合法
		2. in situ 重合法
		3. 液中硬化被覆法
物 理 化 学 的 方 法	{	4. 相分離法
		5. 液中乾燥法
		6. 融解分散冷却法
		7. 内包物交換法
		8. 粉末法
機 械 的 物 理 学 的 方 法	{	9. 気中懸濁被覆法
		10. 噴霧造粒法
		11. 真空蒸着法
		12. 静電合体法

* 岐阜薬科大学
(〒502 岐阜市三田洞東5-6-1)
Tel. (0582) 37-3931 内線245

Table 2 噴霧造粒法の分類

操 作 法		目的の単位操作	
噴霧造粒法	物理的方法	噴霧乾燥法	{ 結合剤等添加…乾燥、造粒, polymorphism 結合剤添加…乾燥、造粒, カプセル化, polymorphism
		噴霧凝固法	{ 凝固媒体—空気…造粒, カプセル化 凝固媒体—非溶媒…カプセル化, 造粒
	物理化学的方法		
	化学的方法	{ 前駆縮合体の添加—造粒, カプセル化 温度により複数の二つ反応性物質の結合或いは反応	噴霧乾燥法を用いて

に的を絞り、その概要と最近の話題について解説することにする。

2. 噴霧造粒法

噴霧造粒法は、液状物質を噴霧微粒化し、これを固定化して微細な球形粒子とする方法である。液状物質は微粒化が可能ならば、溶液、サスペンション、エマルションの別を問わない。噴霧造粒法は、微粒化した液滴を固定化する方法によって Table 2²⁾ の如く分類される。物理的方法では、熱的操作によって、微粒化溶液中の溶媒を蒸発させ、固体を析出させるか、溶融液滴を冷却固化させて固定化している。前者がいわゆる噴霧乾燥法であり、後者が噴霧凝固法である。後者の凝固法には壁膜材溶液を非溶媒中に噴霧し液滴表面に不溶性膜を形成さ

せる物理化学的方法もある。噴霧乾燥供給液（芯物質サスペンション）に皮膜形成性の高分子を添加すると、高分子溶液の固体粒子に対する濡れ特性によって、Fig. 1 に示される様な乾燥形式³⁾をたどり、乾燥粒子は造粒物

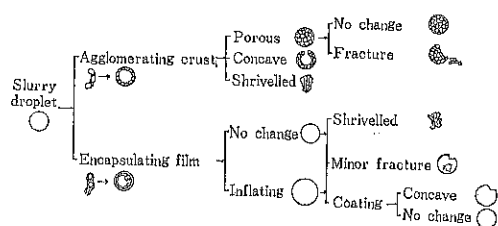


Fig. 1 The drying process for a slurry droplet

Table 3 噴霧乾燥法（高分子無添加）の実施例

Core material	Solvent	References
Ascorbic acid	Water	(5)
Calcium carbonate	Water	(6)
Cyclohexylsulfamic acid+Glycin	Water	(7)
Digitoxin	Chloroform-methanol	(8)
Glucose	Water	(9)
Kanamycin sulfate (Treated with active carbon)		(10)
Lactose	Water	(11)
Lignin (Treated with NaOH, H ₂ SO ₄)		(12)
Magnesium trisilicate	Water	(13)
Quinazoline	Chloroform+Denatured alcohol	(14)
Streptomycin	Water	(15)
Streptomycin	Water	(16)

Table 4 噴霧乾燥法（高分子添加）の実施例

Core material	Coating Polymer	Solvent	References
Aspirin, Phenacetin, Acetanilid	PVP	Water	(17)
Aspirin, Griseofulvin, Phenacetin	MC,PVP, MC-Kolloidon 30	Water	(18, 19)
Barbital	PVP, MC, PEG, Aminoplast	Water	(20)
Calcium sulfate dihydrate	Gum arabic+Guar gum	Water	(21)
Glycoside, Steroid, Aspirin, Tetracyclin	MC, PVP.	Chloroform-methanol or Water	(22)
Isobutyl allyl-barbituric acid	EC, MC	Water-Ethanol-Methanol	(23)
Menthol	Gelatin, Gum arabic ,Dextrin	Water	(24)
Phenobarbital	PVA, Hexamethylol-Melamine+Aminoplast	Water	(25)
Procainamide HCl	Acryl polymer	Water-Chloroform	(26)
Sulfamethylthiadiazole	Castor wax	Chloroform	(27)
Sulfamethoxazole	CAP, (Talc)	Ammonium solution	(28, 29)
Sulfamethoxazole	Gelatin-Gum arabic, coacervates	Water	(30)
Sulfaethidole	Glycowax, Castorwax	Ammonium solution	(31)
Sulfisomidine, Magnesium carbonate, Salicylic acid, Synthetic aluminium silicate	Gum arabic, Gelatin, CMC, MC, PVA, PVP.	Water, Ammonium solution	(32-34)
dl- α -Tocopheryl acetate	Gelatin	Water	(35)

又はカプセル化粒子となる。最近噴霧乾燥中に反応を行わせる、化学的方法が開発された。この方法は被乾燥液に反応性の前駆縮合体や二種の反応性物質を添加して、乾燥中に液滴表面上で縮合反応や重合反応を起こさせ、高分子膜を形成させる方法である。

以上の噴霧造粒法の内、物理的噴霧乾燥法については、その詳細をすでに別誌⁴⁾に紹介したので、ここでは応用事例についてのみ、Table 3、4にまとめた。Table 3には噴霧乾燥供給液に高分子結合剤を添加しない場合について、芯物質と溶媒の種類別にまとめた。Table 4には高分子結合剤を添加する場合で、その種類、芯物質及び溶媒を掲げた。噴霧凝固法では、通常は常温で固体状の Wax 様物質を溶融し、これに芯物質を分散させ、冷気流中に噴霧して凝固させている。噴霧乾燥の場合、被膜は溶媒の蒸発によって多孔性となり易いが、凝固法では良好なカプセル化が期待できる。従って芯物質の保護とかマスキングに適する。噴霧凝固法の実施例を、芯物質、壁材別に Table 5 にまとめた。非溶媒を利用する凝固法の実施例として、Hecker⁴⁶⁾は、ビタミンAを

ゼラチン水溶液内に分散して O/W 型エマルジョンとして、これを冷ヘキサン中に噴霧して、粒子径が 250~600 μm のビタミン含有マイクロカプセルを得ている。化学的噴霧乾燥法は Speiser⁴⁶⁾等によって開発された。実施例として、バルビツール酸のマイクロカプセル化を紹介する。メチルセルロース水溶液(I)に、バルビツール酸を分散させる。これに、トリエタノールアミン-ポリエチレングリコール-尿素-ホルマリン前駆縮合体(II)の水溶液を添加する。pH を 2.5 に調整した後、乾燥室入口温度 200°C 出口温度 100~105°C の条件で乾燥すると、(I)と(II)の重縮合体との混合マトリックス被膜が芯物質表面に形成される。被膜は緻密で、バルビツール酸は完全にカプセル化され、自由流動性の粉体になった。

3. 噴霧乾燥法によるマイクロカプセル粒子の特徴

噴霧造粒粒子はその原理から必然的に球状になり易く、そのため流動性や充填性が改善され、製剤操作が容易になる。この性質は、いわばマクロな粉体特性である。ここでは、熱的操作、特に噴霧乾燥操作によって変化する、分子レベルのミクロな物性について述べてみたい。

3.1 壁膜材の熱変性

噴霧乾燥法の特長は、噴霧液滴が乾燥室内で速やかに乾燥されるので、芯物質の熱による分解や劣化をおさえることができる点にある。しかしながら壁膜材がたんばく質等で、熱変性を受け易い物質の場合には、その影響は避けられず、マイクロカプセルの表面物性は乾燥前の壁膜材の性質とは異なったものになる。著者³⁰⁾等は、スルファメトキサゾールのゼラチン-アラビアゴムコアセルベートを相分離法で調製し、これを約 40°C の気流中でゆるやかに乾燥するか、又は噴霧乾燥して、マイクロカプセルを得た。マイクロカプセルの電気的性質を調べる為に、緩衝液中にマイクロカプセルを分散させ、その電気泳動速度を測定した⁴⁰⁾。この実験から得たマイクロカプセルの ζ 電位-pH 曲線を乾燥前のコアセルベートの結果と共に Fig. 2 に示す。マイクロカプセルの ζ 電位-pH 曲線は、コアセルベートのそれに比し負側に移動している。マイクロカプセルの表面電位は本来低 pH 領域では、コアセルベート膜中のゼラチンの作用により、コアセルベートの場合に見られる如く、正に移動すべきである。然るにマイクロカプセルの結果は、乾燥中にゼラチンが変性を起こし、アラビアゴムの影響(アラビアゴムは pH>2 で負に帯電している)の方が強く現

Table 5 噴霧凝固法の実施例

Core material	Coating Polymer	References
Amobarbital,	12-Hydroxyl stearyl	(36)
Phenobarbital	alcohol	
Dextromethophan	Glyceryl tristearate	(37)
	+12-hydroxyl- stearic acid, Glyceryl tristearate+behenic acid.	
Sulfamethizole,	Glyceryl trilaurate,	(38)
Lipase	Glyceryl tristearate	
Sulfaethidole	White Wax	(39)
Sulfaethidole	Carnauba wax,	(40)
	Glycowax,	
	Hydrogenated castor oil.	
Sulfaethidole	Cetyl alcohol,	(41)
	Glyceryl monostearate	
Sulfaethidole	Glyceryl tristearate	(42)
Sulfamethizole	Ethyl cellulose+	(43)
	Stearic acid	
Sulfamethizole	Hydrogenated	(44)
	castor oil	
Sulfaethidole	Hydrogenated	(45)
	castor oil	
Vitamin A palmitate	Gelatin/Hexane	(46)
Vitamin B ₁ , B ₂ , B ₁₂	Behenic acid	(47)

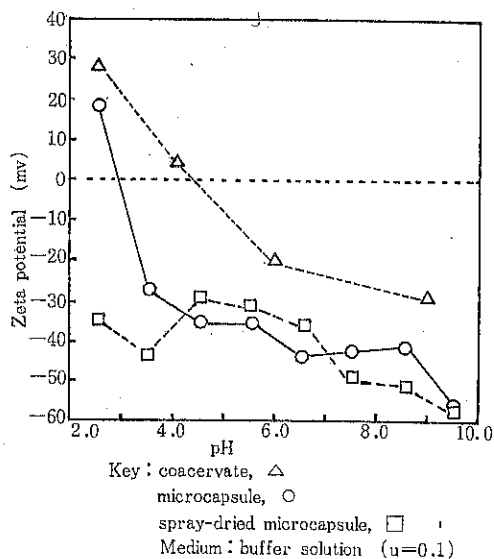


Fig. 2 Zeta potential-pH profile of coacervate, microcapsule and spray-dried microcapsule

われることを示唆している。特に噴霧乾燥マイクロカプセルの場合にはすべての pH 域において電位は負となり、ゼラチンの変性の度合いが温風乾燥の場合よりも強いことを示している。この結果は噴霧乾燥マイクロカプセルの表面物性が使用した壁膜物質から期待される性質とはかなりかけ離れたものになることを示して注目に値する。

3.2 結晶多形転移

噴霧乾燥法では液滴が瞬時に乾燥されるので、結晶の析出は他の晶析法に比べ急激である。その為、乾燥粒子の結晶形が乾燥前のそれとは異なる場合がある。殊に結晶多形が存在する有機医薬品の場合には、多形転移が生ずる可能性があり注意が必要である。医薬品に結晶多形が存在する時、溶解度や溶解速度の大きな準安定形の結晶を製剤化することにより体内への吸収速度を増大させ、血中への取り込み率、即ち生物学的利用率 (bioavailability) を高める工夫がなされている。然しながら、結晶が準安定形から安定形へ容易に転移する場合には、準安定形の配合は製剤の不安定化を招き、逆に不利になる。この様に結晶形の選択は、医薬品の製剤化にあたり重要なパラメータの一つとなっている。以下に著者等の実験結果を中心に、噴霧乾燥による多形転移につい

て述べる。

著者等²⁰⁾は、スルファメトキサゾールをセルロースアセテートフタレートのアンモニア水溶液に溶解した後、噴霧乾燥処理して腸溶性のマイクロカプセルを得た。マイクロカプセル内のスルファメトキサゾールの結晶形を IR, X線分析法で調べた結果 Form II であることが判明した。尚原料スルファメトキサゾール粒子の結晶形は Form I であった。噴霧乾燥製品並びに原料粒子の X 線回折図形を Fig. 3 に示す。噴霧乾燥製品の回折線の

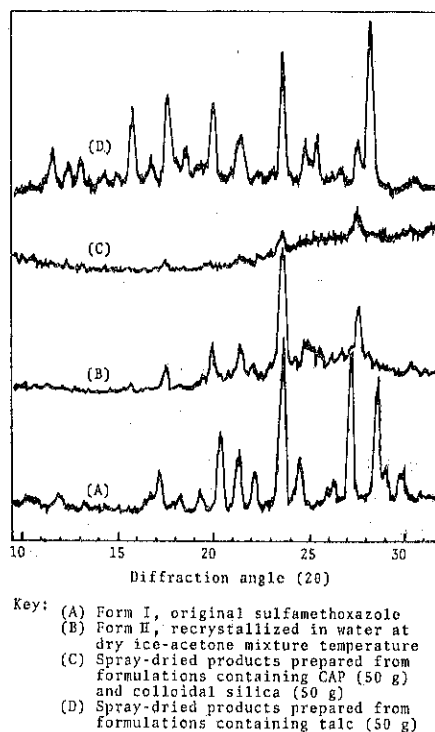


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of original and spray-dried sulfamethoxazole

強度は原料粒子のそれに比して弱く、かなりの非晶質が含まれている事も明らかになった。興味深いことは、多形転移が噴霧乾燥供給液中のセルロースアセテートフタレートに因ることが判明したことである。セルロースアセテートフタレート無添加のアンモニア水溶液を噴霧乾燥した場合にはスルファメトキサゾールの結晶形は Form I であった。これにセルロースアセテートフタレートを添加すると Form II が混在し始め、その含有量はセルロースアセテートフタレートの添加量と共に増大することが判明した。Fig. 4 に、セルロースアセテートフタレートの添加濃度と共に、噴霧乾燥製品の IR スペクトルが変化の様子を示した²⁰⁾。Form II に特有な 2990,

IR spectra of spray-dried products with increasing of CAP

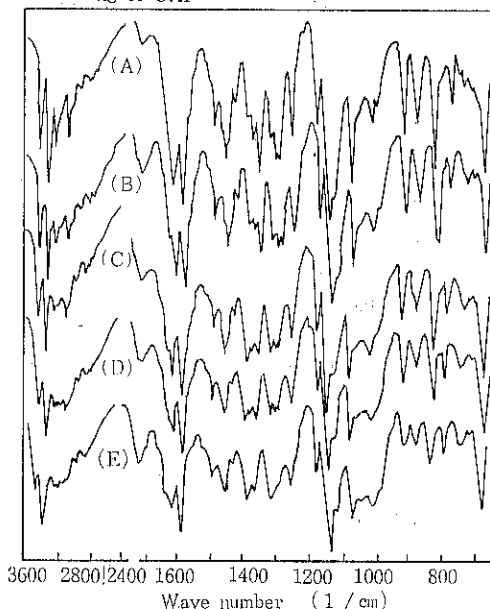


Fig. 4 IR Spectra of spray-dried products with increasing of CAP

1640, 1395, 750 cm^{-1} におけるピークが添加濃度と共に増大し、一方 3300, 3150 cm^{-1} における Form I のピークは減少した。スルファメトキサゾールの多形転移はセルロースアセートフタレート -OH 基とスルファメトキサゾールのアミノ基間の水素結合に基づく分子間相互作用により、スルファメトキサゾール分子の配列状態がセルロースアセートフタレート無添加の場合と異なることに因り生ずると思われる。噴霧乾燥供給液にコロイダルシリカ、タルク、モンモリロナイトクレイ等の添加剤を加えると、噴霧乾燥粒子は緻密な球状粒子となり流動性が著しく改善された。セルロースアセートフタレートのみの場合、コロイダルシリカを加えた場合の粒子の表面状態の相違を Fig. 5 の走査型電子顕微鏡写真によって示す。タルクを添加した場合の噴霧乾燥製品中のスルファメトキサゾールの結晶は Form I と Form II の混合物であることが判明した。スルファメトキサゾール分子のタルクへの強い吸着が、分子の配列状態を規制し、多形転移を惹起せしめたものと思われる。

著者等⁵⁰⁾はサリチル酸ナトリウムのメチルセルロース、ゼラチン、アラビアゴム等の水溶液を噴霧乾燥してマイクロカプセルを待た。このマイクロカプセルのX線回折図形には、原料のサリチル酸ナトリウムには見られない新しい回折線が現われ、多形の存在が示唆された。

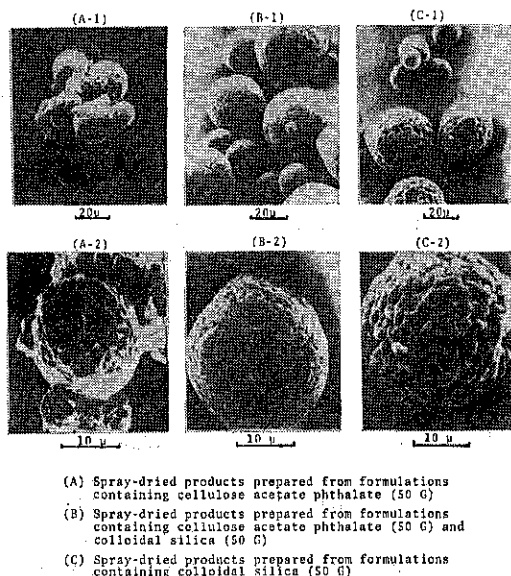


Fig. 5 Scanning electron microscopy photographs of spray-dried products

Junginger^{51),52)} はバルピタール、フェノバルピタール、グリセオフルピン、フェナセチン、クロラムフェニコールパルミテート等が噴霧乾燥処理によって準安定形や非晶質に変化することを見出ししている。Table 6 に、噴霧乾燥処理によって生ずる多形転移を、化合物名、溶媒名、結晶形についてまとめた。多形転移に影響を及ぼす因子として、乾燥温度も重要であることが著者等⁵⁷⁾の実験によって判明している。

4. 噴霧造粒法によるマイクロカプセルの応用

マイクロカプセルの応用分野は広汎で、応用例を分野別にまとめるには紙面が少なすぎる。そこでここでは、主として医薬品分野を中心にして、マイクロカプセル化の目的によって実施例を分類し以下に紹介する。

4.1 芯物質の放出速度の調節

製剤設計の基本は、生物学的利用率の向上にある。そのために、新しいドラッグデリバリーシステム (drug delivery system) や効力持続化法が種々開発されている。それらの大部分がマイクロカプセル化技術を応用している。効力の持続化は必要な量だけの薬物を常に一定速度で供給することにより達成される。マイクロカプセルからの芯物質の放出速度は壁膜の性質と厚さによって

Table 6 噴霧乾燥による多形転移

Core material	Coating Polymer & Solvent	Polymorphism	References
Aspirin, Phenacetin, Griseofulvin	PVP, MC, Kolloidon/ Chloroform-methanol	Amorphous	(18, 19)
Barbital, Carbromal	Chloroform	Metastable phase	(51)
Phenobarbital	Chloroform-methanol	"	
Chloramphenicol palmitate	Chloroform	Metastable phase	(52)
Digitoxin	Chloroform-methanol	Amorphous	(53)
	MC/Chloroform-methanol	"	
Lactose	Water	α -monohydrate α -anhydrate β -lactose	(11)
Lactose	Water	8% Amorphous	(54)
Phenobarbital	Alcohol PVP/Alcohol	Amorphous "	(55)
Salicylic acid, Sod. salicylate	Gum Arabic, PVP, CMC Gelatin/Water	50~80% Amorphous	(3)
Sulfamethoxazole	CAP/Ammonium solution	II + Amorphous	(28)
Sulfamethoxazole	Talc/Ammonium solution	I + II	(29)
Sulfamethoxazole	Gelatin-Acacia coacervate /Water	Amorphous	(30)
Sulfanilamide, Sulfathiazole	Methanol-Water	Metastable phase	(56)
Sulfisomidine	Acacia/Ammonium solution	Amorphous	(32)

決まる。一般的には、マイクロカプセル化によって徐放性製剤の設計がめざされているが噴霧乾燥法の場合には調製条件によってしばしば易溶性となる。永井²⁸⁾等は、ヒドロキシプロピルセルロース-L (HPC-L) と乳糖の物理的混合物とこれを噴霧乾燥処理した物を賦形剤にしてイソプロテレノールの二層錠を設計した。噴霧乾燥処理粉体の層は速放性であるが、物理的混合物の層は徐放性である。従って本錠剤を投与した場合、投与直後から長期間にわたり、一定速度で薬物を溶出させることができる。著者²⁸⁾等は先に説明した方法でスルファメトキサゾールのセルロースアセテートフタレートマイクロカプセルを調製した。本マイクロカプセルを直接打錠して、溶出挙動を調べた結果、第一液 (pH, 1.2) と第二液 (pH, 7.5) 中では明らかに溶出速度が異なることが判明した。データを Higuchi モデルで整理した結果を Fig. 6 に示す。第一液中では溶出初期を除けば、データはほぼ直線となり、溶出過程が Higuchi モデルに従うことが判った。即ち錠剤はマトリックス構造を有し、溶質のマトリックス内の拡散が溶出の律速過程となっている。それに反し第二液中では錠剤は速やかに崩壊した。その為溶出速度が著しく増大し、マイクロカプセルの腸溶性機能が明らかにされた。

Speiser²⁵⁾ はフェノバルビタールを噴霧重縮合反応

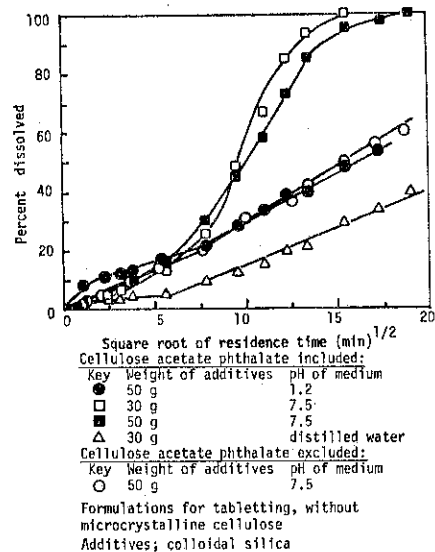


Fig. 6 Drug release percent as a function of square root of residence time

によりマイクロカプセル化し、調製条件と溶出速度との関係を検討した。マイクロカプセルの調製は、種々の pH に調整されたポリビニルアルコールと反応性モノマーの水溶液に芯物質を分散させた後噴霧乾燥して行われ

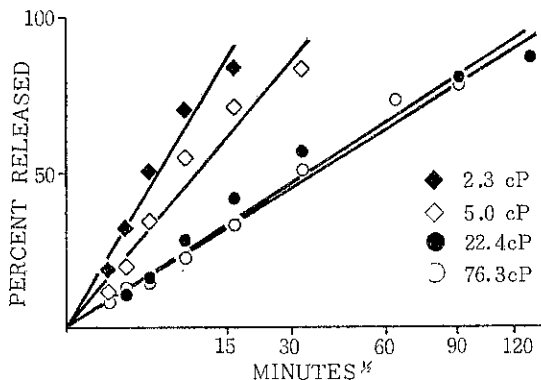


Fig. 7 Effect of viscosity on release rate.

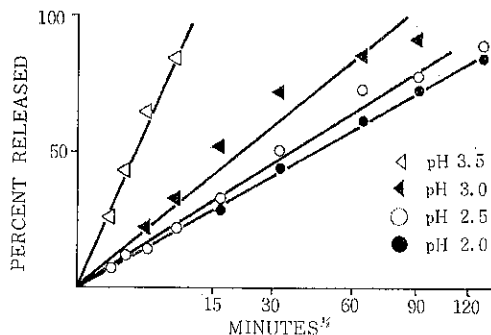


Fig. 8 Effect of pH on release rate.

た、Fig. 7, 8に見られる如く、噴霧乾燥供給液の pH が低く、粘度が高い程溶出速度が減少することが判明した。噴霧凝固法により製したマイクロカプセルはすべて良好な徐放性を示す。これは壁膜材であるワックスの疎水性とマイクロカプセルのマトリックス構造に由来する。

4.2 液状物質の粉末化

マイクロカプセル化技術による液状物質の粉末化は製剤設計上重要な意味を持つ。川邑⁶⁹⁾等はヒマシ油をアラビアゴム、デキストリン水溶液に乳化後噴霧乾燥して粉末化した。ヒマシ油は粉末化により服用し易くなり、かつ本来有する下剤効果はそのまま保持された。噴霧乾燥法による生薬中の精油や香料のマイクロカプセル化も興味深い。これらの揮発性成分の損失はマイクロカプセル化によって防ぐことができる。しかしながらこのマイクロカプセル化が、適用時における成分の放出を妨げてはならない。適当な調製条件を選べば噴霧乾燥マイクロカプセルの壁膜は易溶性となるので、上記条件に合致したマイクロカプセルを製造することができる。坂²⁴⁾はメントールの O/W 型エマルジョンに、カゼイン、ゼラチン、アラビアゴム、デキストリン等を添加して保護コロ

イドとし、これを噴霧乾燥して良好な結果を得ている。その他、ゼラチン、デキストリン水溶液に香料を乳化させて得た O/W 型エマルジョンを噴霧乾燥して、中空多核マイクロカプセルを製造した例がある⁶⁰⁾。生薬を精製水で浸出して得た浸剤並びに煎剤を噴霧乾燥して粉末化が試みられている。エキス中の主成分の分解や精油の損失も少なく、粉末漢方薬として将来性のある剤形と思われる。これらの応用例を Table 7 にまとめた。

Table 7 噴霧乾燥法による粉末化漢方薬

処 方 例	文献
葛根湯、麦門冬湯、加味帰脾湯、半夏厚朴湯	(61)
防風通聖湯、大柴胡湯、八味地黄湯、防風通聖散、加味逍遙散、四逆散、柴胡加竜骨牡蛎湯	(62)
当歸芍薬散、加味逍遙散	(63)
三黄散	(64)
半夏厚朴湯	(64)

4.3 その他の応用例—廃水処理—

噴霧乾燥法の最初の応用例がミルクの粉末化であったことに見られる如く、現在でも、食品工業における噴霧乾燥法の占める位置は大きい。その他洗剤工業、各種工業においても広く応用されている。ここでは本法が最近のめざましい高分子化学工業の発展にともない、大量にはき出される廃水処理に応用された例を紹介する。山本⁶⁵⁾等は、ポリビニルアルコール (PVA) の廃水を 2~15%濃度にまで濃縮した後、結合剤として澱粉を加え噴霧乾燥し PVA を完全に除去できたと報告している。Dimitriou⁶⁶⁾等は毒性のある廃水を同様に 20~40%濃度にまで濃縮した後、噴霧乾燥して回収する方法を考案している。

5. 結 言

以上噴霧乾燥法を中心にしたマイクロカプセル化法の概要と最近の話題を紹介した。本法が他の方法に比べて有利な点は、工業化へのスケールアップが容易なことである。注目すべき点は、乾燥条件によって乾燥製品のミクロな物性（表面物性、結晶形等）が微妙に変化することである、この点は特に医薬品の場合には有利にも不利にも展開するので注意が必要である。噴霧乾燥法の将来は上記の広い意味における熱変性と特殊雰囲気下における乾燥を中心にして進む気配を感じていることを“とり”にして結言としたい。

参 考 文 献

- 1) 近藤朝士：化学と工業，**22**，1123 (1969)
- 2) 川島嘉明：“マイクロカプセル化の新技术とその用途開発応用実例”，経営開発センター編，(1978)
- 3) Y. Kawashima, K. Matsuda and H. Takenaka : J. Pharm. Pharmac., **24**, 505 (1972)
- 4) 川島嘉明，粉体と工業，**4**，32，50 (1972)
- 5) 小菅卓夫：薬剂学，**23**，323 (1963)
- 6) Popov. G. : God. Nauchnoizsled Inst. Khim. Prom., **9**，105 (1970)
- 7) Vipin D. Shan : Drug Cosm. Ind., **106**，54 (1972)
- 8) Nuernberg E. : Prog. Colloid Polym. Sci., **59**，55 (1976)
- 9) N. G. Gulyuk : Sakh, Prom-st., 1976 (9) 63—65
- 10) D. F. Filorikyan : Khim-Farm. Zh., **4**，(11)，44 (1970)
- 11) J. T. Fell, & J. M. Newton : Pharm. Acta Helv., **45**，520 (1974)
- 12) Dimitri, Mitchell S. : US. pat. 3808,192 (1974)
- 13) Bowen Engineering Inc. : Drug Cosm. Ind., **98**，[2]，86 (1968)
- 14) S. S. Kornblum and J. O. Hirschorn : J. Pharm. Sci., **59**，606 (1970)
- 15) Grandi, Jose G. : Rev. Bras. Technol., **6**，7 (1975)
- 16) G. P. Rai : Chem. Age. India, **21**，250 (1970)
- 17) Hans Junginger : Pharm. Ind., **38**，461 (1976)
- 18) Hans Junginger : Acta Pharm. Tech., **23**，225 ; **23**，239 (1977)
- 19) Hans Junginger : Pharm. Ind., **39**，383，498 (1977)
- 20) P. Speiser : Pharm. Ind., **37**，555 (1975)
- 21) M. J. Robinson : J. Pharm. Sci., **50**，76 (1961)
- 22) Hans Junginger : Pharm. Ind., **38**，74，228 (1976)
- 23) Saul S. Kornblum : J. Pharm. Sci., **58**，125 (1969)
- 24) 坂高芳：工業化学，**63**，1431 (1960) ; **64**，1995，1998 (1961)
- 25) P. Speiser : J. Pharm. Sci., **66**，631 (1977)
- 26) J. P. Remon, et al : Farmaceutisch Tijdschrift Voor België, **55**，[2]，155 (1978)
- 27) N. N. Salib : Pharm. Ind., **39**，506 (1977)
- 28) H. Takenaka, Y. Kawashima and Shan Yang Lin : J. Pharm. Sci., Accepted (1980)
- 29) H. Takenaka, Y. Kawashima and Shan Yang Lin : J. Pharm. Pharmac., submitted.
- 30) H. Takenaka, Y. Kawashima and Shan Yang Lin : J. Pharm. Sci., **69**，513 (1980)
- 31) A. F. Asker et al : J. Pharm. Sci., **55**，[1] (1966)
- 32) H. Takenaka, Y. Kawashima and R. Ishibashi : Drug Develop. Ind. Pharmacy, **3**，[5]，459 (1977)
- 33) H. Takenaka, Y. Kawashima et al ; Chem. Pharm. Bull. (Japan), **19**，1234 (1971)
- 34) H. Takenaka, Y. Kawashima et al : J. Pharm. Pharmac., **27**，1 (1975)
- 35) Cannaloguga Marco : US. Pat. 3959472 (1976)
- 36) R. J. Lantz : US. Pat. 3146167 (1964)
- 37) W. E. Smith et al : J. Pharm. Sci., **59**，776 (1970)
- 38) K. A. Javaid et al : J. Pharm. Sci., **60**，1709 (1971)
- 39) I. S. Hamid and C. H. Becker : J. Pharm. Sci., **59**，511 (1970)
- 40) Y. Raghunathan and C. H. Becker : J. Pharm. Sci., **57**，1748 (1968)
- 41) A. G. Cusimano and C. H. Becker : J. Pharm. Sci., **57**，1104 (1968)
- 42) I. C. Robinson and C. H. Becker : J. Pharm. Sci., **57**，49 (1968)
- 43) M. W. Scott et al : J. Pharm. Sci., **53**，670 (1964)
- 44) M. J. Robinson et al : J. Amer. Pharm. Asso. (Sci. Ed.) **47**，874 (1958)
- 45) M. J. Robinson et al : J. Amer. Pharm. Asso. (Sci. Ed.) **48**，473 (1959)
- 46) J. C. Hecker : US. Pat. 3137630 (1964)
- 47) L. Stoye et al : US. Pat. 3037911 (1962)
- 48) P. Speiser : Ger. Offen. 2338428
- 49) 竹中英雄，川島嘉明，林山陽：粉体工学会誌，**17**，179 (1980)
- 50) Y. Kawashima, K. Matsuda and H. Takenaka : J. Pharm. Pharmac., **24**，505 (1972)
- 51) H. Junginger : Pharm. Ind., **39**，822 (1977)
- 52) H. Junginger : Pharm. Zeit., **30**，1107 (1976)
- 53) E. Nuernberg : Prog. Colloid Polym. Sci., **59**，55 (1976)
- 54) W. C. Gunsel and L. Lachman : J. Pharm. Sci., **52**，178 (1963)

- 55) Beyer Christian : Acta Pharm. Technol., 24, 171 (1978)
- 56) H. Junginger : Acta Pharm. Tech., 22, 169 (1976)
- 57) 竹中英雄, 川島嘉明, 林山陽 : 未発表データ
- 58) T. Nagai : Chem. Pharm. Bull., 26, 1652 (1978)
- 59) 川邑年四郎, 高野成幸 : 日本薬学会第93年会, 第三分冊 p. 234 (1973)
- 60) 小石真純 : 化学装置, [3] 1, (1979)
- 61) 小菅卓夫 : 薬剤学, 23, 241 (1963)
- 62) 國弘和雄ら : 日本薬学会第100年会
- 63) 林輝明, 小城忠一 : 厚生科学研究報告(昭和51年度)
- 64) 今関和泉, 平野智 : 厚生科学研究報告(昭和51年度)
- 65) Shigeyuki Yamamoto : Japan Kokai, 141, 856 (1977)
- 66) Michael Dimitriou : Swiss, 615, 140 (1980)

特許一言メモ No. 21

特 許 料 金

我が国では, 特許権を維持させるためには毎年定められた特許料を国に収入印紙で支払うシステムになっている。また, 初年度(公告日より)から第3年分まではまとめて払い込むことによって登録され, 特許権が与えられる。

そこで, その後の特許料であるが, 3年毎におよそ2倍, またその2倍と上がって行く。

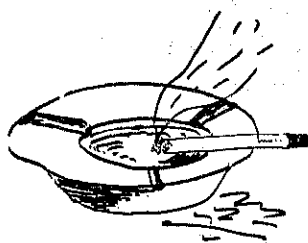
たとえば, 発明の数1のとき,

第1～3年は	毎年	4,000円
第4～6年	"	6,000円

第7～9年	"	12,000円
第10～12年	"	24,000円
第13～15年	"	48,000円

そして, 発明の数が1増すごとにたとえば第13～15年の場合は毎年で24,000円づつ加算しなければならない。したがって, 特許も数多く持っていればよい, というのではなく本当に有効なものを育てるようにしなければならなくなってきた。なお, これは昭53.5.1より改正された料金表による。

(M. N生)



欧洲粉体工学シンポジウム1980に参加して

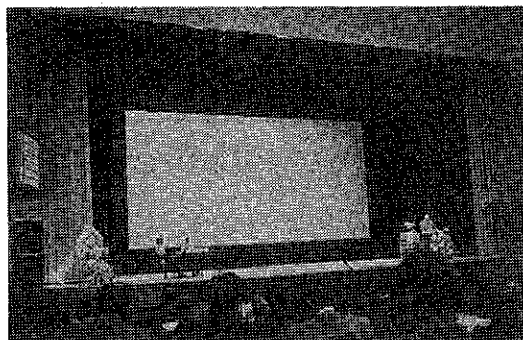
横山 豊和 *
Toyokazu Yokoyama

本年6月3日より3日間、オランダ・アムステルダム
の国際会議センターで開催された European Sym-
posium—Particle Technology 1980 に出席することがで
きました。その会議の印象や、まわりの様子などについ
て気のつきました事を思いつくままに書いてみたいと思
います。

1. シンポジウムの内容と印象

この大会はヨーロッパ化学工学連合の主催により欧洲
で4、5年に一度開かれるものです。

今回はカールスルーエ工科大学の故ルンプ教授の後を
継いで、同大学のシェーネルト教授が中心となって運営
されておりました。



会議場風景

参加者はヨーロッパのみでなく、アメリカ、オースト
ラリア、そして日本、インド等のアジア諸国からの研究
者、技術者を含め300名以上が集まりました。そのうち
99人が西ドイツからで、地元オランダが68人、英国23
人、日本からも6人が参加しました。(別表参照)

口頭発表の方は数でいうと英語とドイツ語がほぼ半数
づつで、3日間の会議中、唯一人だけがフランス語の講
演をしました。もっともすべての発表、質疑応答はその

シンポジウム参加者

国 名	人 数
西 ド イ ツ	99
オ ラ ン ダ	68
英 国	23
フ ラ ン ス	22
ス ウ ェ ー デ ン	22
ベ ル ギ ー	12
U. S. A.	10
デ ン マ ー ク	9
ス イ ス	9
ノ ル ウ ェ ー	8
日 本	6
他	53
合 計	341

3ヶ国語で同時通訳されていました。

形式は大きく分けて、中央会議室でのレビュウ、研究
発表と、その会議室後方の2階フロアでポスターディス
カッションがありました。後者については個々の研究内
容を要約して紹介する概説が各分野についてまとめて発
表されました。

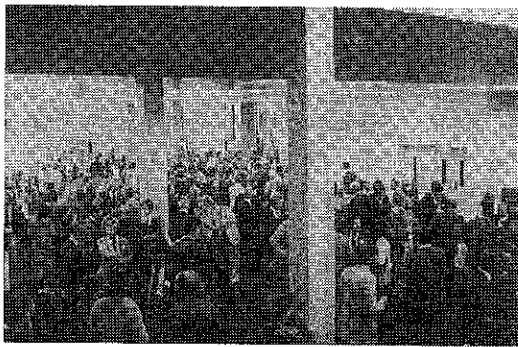
その後、約1時間半が各自で興味のあるテーマについ
てディスカッションするためにとられました。

このセッションでは名古屋大学の神保教授が、付着力
測定について研究発表をされており、その中で細川のこ
ヒテスタも紹介されておりました。

また1階フロアでは、粒度分布、粉体層の付着力等の
粉体物性の測定機、あるいは粉体プロセスに関連したメ
ーカークが何社かこの機会を利用してデモンストレーシ
ョンをしていました。

会議の内容は大きく3つに分けられます。すなわち、
粉砕、分級、物性です。さらに粉砕については1. プロセ
ス装置の開発、2. プロセスコントロール、3. 数学モデ
ル、4. 物理学的基礎、5. 測定と分けられています。

* HOSOKAWA EUROPE LTD. (U.K. Office)
St. John's Estate, Tylers Green, High Wycombe,
BUCKS. England



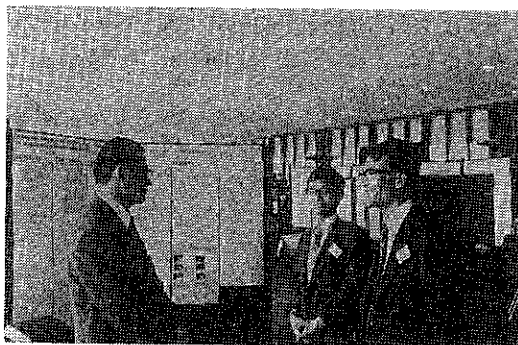
会場ロビー風景

第1日目は粉碎が中心テーマで、さらに家庭廃棄物のリサイクル技術や、粒度測定法に関するレビュー等がありました。

研究発表では、衝撃式粉碎機、あるいはボールミルでの粉碎機構や、野菜、穀類、弾性ゴム等の低温粉碎また閉回路粉碎システムコントロールの動力学的シミュレーションについての発表がありました。

2日目は分級に関するいくつかの講演とレビューが主で、その中では特に風力分級機での微粉分級の際の分散や定量供給の影響に関する研究、それに関連して微粉体層の流動性に及ぼす粒度分布の影響、あるいは分散粒子とガスとの相互作用などについての研究発表がありました。私にとって大変興味深いものでした。

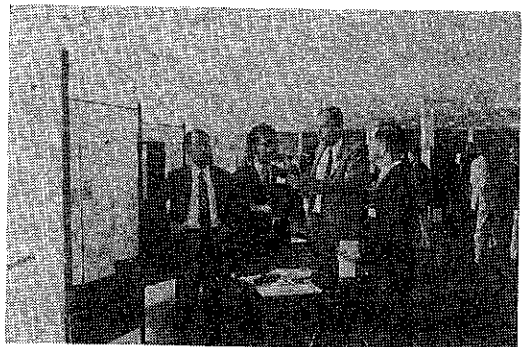
最終日も、講演、レビューについては「粉碎」に関するものが多かったようで、遠心ミルの開発や、同志社大学の奥田先生の「流体エネルギーミルによるプラスチックの粉碎」など興味深い研究発表講演がありました。



奥田先生(左端)、村田氏(神戸製鋼)(右端)と一緒にポスターセッション会場にて

各ポスターセッションの分類並に発表件数は次の通りです。

No. 25 (1980)



ポスターセッション会場にて、井伊谷先生、村田氏、神保先生(右端)

A. Comminution

- | | |
|---|-----|
| 1. Fundamentals | 7件 |
| 2. Mechanochemistry, Wear. | 6件 |
| 3. Impact and Jet Milling | 4件 |
| 4. Liberation | 3件 |
| 5. Ball Mills, Autogeneous, Roller Mills, Crushers. | 10件 |
| 6. Mathematical Simulation, Circuit Control. | 7件 |

B. Classification

- | | |
|--|----|
| 1. Theoretical Approaches | 5件 |
| 2. Performance of Classification Devices | 7件 |

C. Powder Mechanics

- | | |
|-------------------------------------|----|
| 1. Measuring Techniques and Results | 8件 |
| 2. Flow and Pressures in Silos | 3件 |
| 3. Spouted Beds | 1件 |

各講演には普通20分、レビューにはその倍の40分の時間が与えられていましたが、それでも時間不足気味で、予定より少しづつ遅れていたようでした。そういう事情もあって、各々の発表の後の質疑応答もかなり制限されていたように思いました。

それに反して、各テーマ毎のポスターセッションでは、各所でかなり活発なディスカッションが行われており、ポスターが見えない程の人垣のできているセッションもありました。

何んといっても、やはり興味深いテーマについて、発表者と身近に対面して、質問をし、回答を受け、説明してもらい、また別の意見を出して、それに対する考えを聞くといった、直接的なやりとりが、非常に意義のあるものだということを改めて感じました。

始めてこの会議に出席する機会を得た私にとっては、刺戟に満ちた3日間でしたが、過去何回かこのシンポジ

ウムに出席した人々の中からは、故ルンプ教授への追憶の聲が何度か、きかれました。

2. アムステルダムの町

ところで今回のシンポジウムは火曜日から3日間ということで、私はその前日の夕方、勤務先のあるロンドン郊外の Wycombe を発ち、空路アムステルダムに着きました。

西ドイツのケルンに居た頃は、何度か鉄道を使って訪れたことがありますが、飛行機は始めてです。

スキポール空港の入国手続きは、ロンドンのそれに比べてずっと簡単でした。夏時間をとっていることもあり、また天気もよくて、夕方といっても、まだ昼下りのような明るさでした。空港から町へのバスはかなり満員でしたが、そのバスが途中で、汽車のような白い水蒸気をあげて止ってしまい、中央駅のバスターミナルに着いたのは夜9時に近い頃でした。

その中央駅の構内を通り抜けて表に出ると、まだ青い空を映す運河と聖ニコラス教会の高い建物、それに趣きのある中央のダムラーク通りが、静かな雰囲気の中に広がっています。

市街から少し離れたホテルへ向う車中からは、駅前静けさとは対照的な、夏の夜を路上のテラスで楽しむ人々で溢れた賑やかな広場や通りが眺められ、久しぶりにふれるアムステルダムの下町を懐しく思いました。

3. 右 と 左

さて次の朝、ホテルで聞いておいた会議センター行きの市電が近くの停留所に止っているのを見つけて、あわてて飛び乗ったところ、その市電が後向きに動き出すのに気づき、やっとここは大陸で車は右側を走ることを思い出しました。

運転手に事情を話すと、乗り換えの順序までていねいに教えてくれて、フリーで一駅乗せてくれました。

それにしても、どうして日本や英国では車は左側、大陸では右側に決められたのかと改めて考えさせられました。

そういえば、つい先日、事務所のファイルの整理をしていたとき、各ファイルの「背」にタイトルを書き入れようとして、ふと迷ってしまいました。

「さて、カレイ式に書くか、それとも、ヒラメ式に書くか」と、すなわち、首を右に曲げて読めるように、上から下へ表題を綴るか、首を左に曲げて下から上へ綴るべきか？

こういう場合は前例をみるのが一番と、個々の書籍類をみてゆくと、英国の本はカレイ式に、ドイツの本はヒ

ラメ式であることが分りました。やっぱり両国は伝統的にどこかで左右の考え方が逆になっているようです。

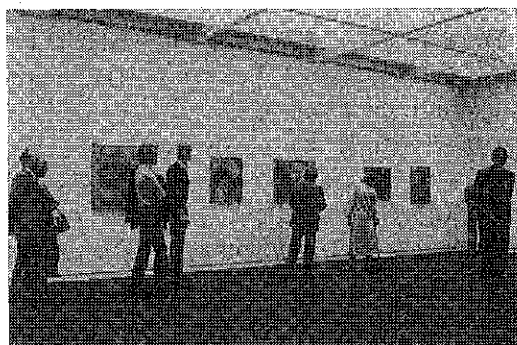
そこで、それではと日本語の本を見直したところ、便利なことに本の背文字は、読むのに首をかたむける必要なく、上から下に縦に書いてありました。

4. シンポジウムで出会った人々

さて、話を元に戻してシンポジウムで出会った人々について書いてみたいと思います。

会議場では聞いているだけで時間が過ぎてしまいましたが、第1日目の夕方は公式の懇親会が、市内のファン・ゴッホ美術館で開催されました。

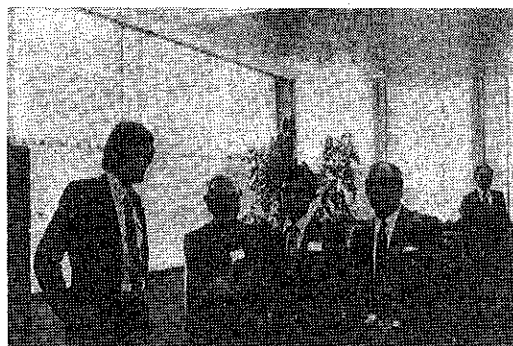
この美術館は、1972年に完成した近代的な建物で、ゴッホの絵200点近くを中心に、彼のデッサンや手紙なども集められています。



ファン・ゴッホ美術館にて

この立飲懇親会は、その数々の貴重な絵画に囲まれた中央ホールで開催されましたが、こういうあらたまった場での、フランクな雰囲気は少し意外にさえ思われる程でした。

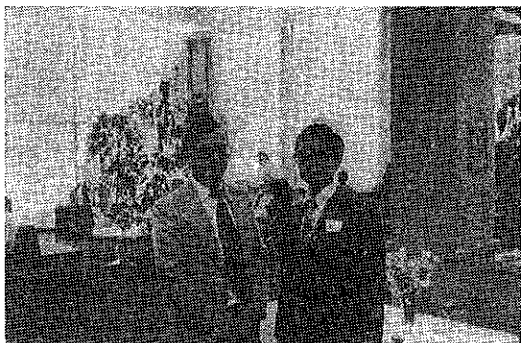
始めに井伊谷先生が、Bradford 工科大学の Williams 教授を紹介して下さいました。Powder Technology 誌



左から Dr. Schwedes, Dr. Williams, 筆者, Dr. Stairmand.

の件で、先生のことは度々伺っていましたが、直接にお話するのは始めてでした。欧米人にしては小柄な方ですが、親しみの感じられる人で、英国での粉体技術や生活事情などについてのお話を伺いました。

カールスルーエ大学時代の友人で、今回「固気二相流中の粒子と気体の相互作用」について研究発表した Dr. Gregor が、彼の新しいボスである Prof. Stahl を紹介してくれました。



Dr. Gregor とロビーにて

この方はクラウスマファイというドイツの大きな重化学工業会社より大学にいられた人で、大柄で Dr. Gregor の云うように現場の親方のような感じの貫禄のある人でした。

Dr. Gregor はカールスルーエ大学の粉体工学研究所で、私のとなりの研究室に机がありましたが、赤ちゃんを連れて奥さんと一緒によく私達の部屋に雑談に来たことがあり、久しぶりの再会を喜び合いました。

この会議には日本からは井伊谷先生、奥田先生、神保先生の他に東京大学の井上外志雄先生、神戸製鋼の村田氏も参加しておられましたが、話をした外国の人々の中には、日本という国にかなり強い関心を示す人が多くありました。プラスチックの分級の研究で、いくつかのペーパーを出していて、数ヶ月前にも英国の当社でのテ

ストの立合で来社した、西ドイツのヒュルス社の Dr. Smigerski もその1人で、会場でたまたま再会し、話題に不自由はありませんでした。

このシンポジウムでは、企業からの参加者も多く、たとえば西ドイツからの99人中60人余りが会社からの参加者でした。

懇親会もその盛りに達した頃になって、この美術館の展示品を見て歩きました。絵画に造詣の深い神保先生が、私達にゴッホの作品や日本の浮世絵がそれらに与えた影響などについて解説して下さいました。このシンポジウムの丁度100年前に、ゴッホが絵を書き出したということですが、その当時、まだ交通機関が現在のように発達していなかった時代から、このような東西の文化の交流があったことを改めて思うかべました。

2日目の講演終了後に、運営会の主催するボートのタベがありましたが、私自身はまだ予約しておらず、井伊谷先生も行かないとのことで、先生と一緒に街に散歩にでて、インド支那料理店に入りました。

先生の戦争中の研究生生活の事や、アメリカ留学時代のことなど、いろいろ面白いお話を伺い時のたつのも忘れてきき入りました。

私事ですが、この日が丁度渡欧5年目の日である事を思い出し、時の流れの早さと、人々との出会いの不可思議さに感慨ひとしおでした。

今回のシンポジウムへの参加は、私自身にとってヨーロッパでは初めての体験で、著名な先生方にお会いする機会に恵まれ、さらに日本の外での国際学会における日本人研究者の方々の活躍振りに直接ふれることができ、大変有意義な数日でした。この機会を与えられたことに深く感謝いたします。

(掲載させていただいた写真はすべて京都大学工学部教授、井伊谷鋼一先生より御提供いただきました。ここに厚く御礼申し上げます—編集部—)



新製品紹介

連続カサ密度測定機

ホソカワ/ミクロン ミクロンチェッカ (BC-100)

㈱細川粉体工学研究所*

1. はしがき

粉体を取扱うプロセスでは、粒子一個一個の物理的・化学的特性もさることながら、それらの集合体としての動的及び静的状態での集合特性を把握することが必要です。このような特性の中で最も基本的なものに充填特性がありますが、この充填特性を表わす量として最も一般的なものに「カサ密度」があります。「カサ密度」はどちらかというと抽象的な物性値ですが、単に容積と重量を測定するだけで数値を求めることができ、実用上よく用いられ、プロセスの重要な因子の一つとなっております。しかし、一般に「カサ密度」は測定結果にバラツキが大きく、試料の準備、秤量、後処理など手作業が多く、特に毒性のある物質を取扱う場合には安全管理上の問題もありました。

“ミクロンチェッカ”はこれらの問題を解決するために新開発された、完全自動の連続カサ密度測定機です。

全装置が密閉されているため、粉塵の発生がなく、測定値および、一定個数毎の各統計値がプリントアウトされます。

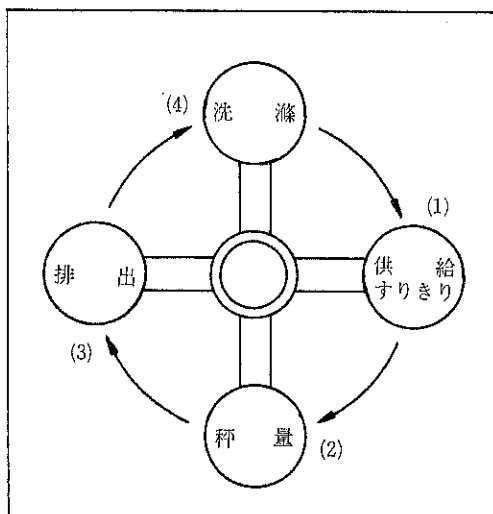
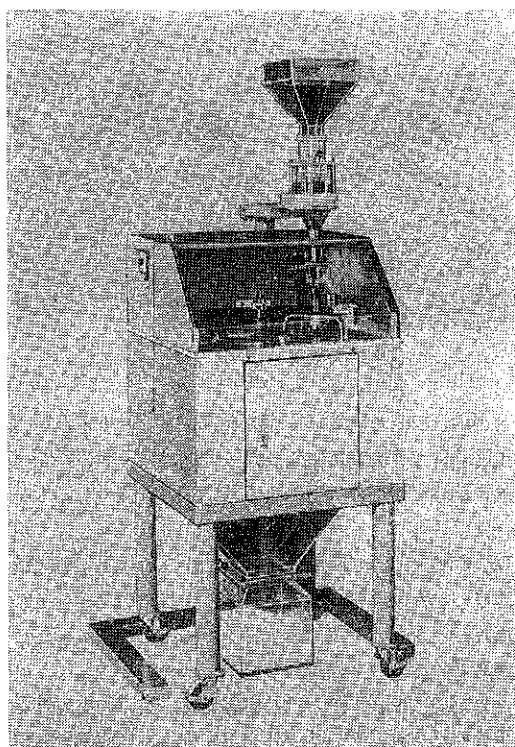
また、生産ラインと接続すれば省力化に大きく役立ちます。

2. ミクロンチェッカの動作説明

ミクロンチェッカの特長は試料供給から秤量（測定値表示）、排出、洗浄、統計々算に至るまで全自動に行えることです。回転する中心軸から水平方向に出た4本の把持アームにより順次次の各工程が進行します。

(1) 供給およびすり切り

ホッパに投入された試料はフロートロンにより定量的に篩を備えた電磁シェーカに導かれます。フロートロンの作動はミクロンチェッカ本体とタイマで連動されてい



* ㈱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

ますので、電磁シェーカ内の試料は常に一定量滞留する仕組みになっており、充填密度の極めて良好な再現が可能となります。なおこの振動による供給時間はタイマ調整により可変で、対象とする粉体の種類によって任意時間に設定することができます。

供給の終了した秤量カップには試料粉体が山盛になっていますので、一定容積とするためすり切りが行われます。本機ではこのすり切りを小型モータにより一定速度で行うため、すり切り時の圧密の再現性は極めて良好です。

(2) 秤 量

供給およびすり切りの位置から把持アームが90°回転し、天秤の位置に来ると、アーム把持が解放され、充填試料の秤量が行われます。測定された秤量値は卓上計算機のプリンターより「カサ密度」に換算されて直ちにデジタルプリントアウトされます。

(3) 排 出

秤量後、秤量カップは再び把持され、90°回転して排出の位置で上下に反転し、内容物が排出されます。排出された試料粉体はミクロンチェッカ下部シュートを滑り落ちて底部排出口に導かれます。この排出された試料粉体を元のプロセスラインに戻すことにより、完全自動化が達成されます。

(4) 洗 浄

排出の位置から、把持アームが90°回転し、再度反転してコンプレッサーからの圧縮空気の噴射により容器内面の洗浄が行なわれます。洗浄後、再び把持アームが90°回転し、元の供給の位置に戻り、サイクルが完了します。

なお、サンプリングされ、「カサ密度」が表示される時間インターバルは30秒から180秒の範囲で自由に設定することができます。

(5) 卓上計算機の機能

電子天秤による秤量結果はインターフェースを通じて直ちに卓上計算機に送られます。簡単なプログラム設定（プログラムボタンを押すのみ）により以下のような多様な機能が全自動で行なわれます。

- I) 電子天秤にて秤量した重量から「カサ密度」を算出し、直ちにプリンターからデジタルプリントアウトさせることができる。
- II) 品質管理において任意の「カサ密度」の設定値を設け、かつ品質適合範囲を規定する上限値、下限値を予め入力することができる。
- III) 品質管理値を外れた異常値が現われた場合には、異常を示す赤ランプが点灯し、赤字でプリントアウトされる。

IV) 任意個数のデータ毎に下記統計値をプリントアウトすることができる。

- | | |
|-------|--------|
| ① 設定値 | ⑤ 最大値 |
| ② 上限値 | ⑥ 最小値 |
| ③ 下限値 | ⑦ 標準偏差 |
| ④ 平均値 | |

V) 上記プログラムを実行させない場合には、通常のプリンタ付卓上計算機として使用できる。

3. 特 長

- (1) 全自動のため人手を要せず、省力化に役立ちます。
- (2) 各測定値および任意の個数の統計値がプリントアウトできます。
- (3) 測定精度並に再現性が高い。
- (4) 上限値および下限値の設定ができ、異常値の場合は「赤字プリント」し、警報装置（標準仕様外）の取付ができます。
- (5) 測定値は有効4ケタ（小数点以下3ケタ）で表示可能なため、ほとんど全ての粉体を測定対象とすることができます。
- (6) 各サンプルの測定時間のインターバルは任意に変更できます（30～180秒）[タイマーの交換によって更に長時間も可能]。
- (7) 電磁シェーカの振動時間はタイマーにて任意に設定できるので、粉体の種類により最適値が選べます。
- (8) 完全密閉式のため毒性のある粉体にも安全に使用できます。
- (9) 生産プロセスに組込んでオンライン測定が可能のため、完全自動化ができます。

4. 性能・仕様

ミクロン チェッカ 本 体	使 用 電 源	単相交流 100V 50/60Hz 三相交流 200V 50/60Hz
	消 費 電 力	1.0 kW
卓 上 計 算 機	試料量(秤量容器 1個あたり)	100 cc
	寸 法 (高さ×幅×奥行)	990mm×850mm ×850mm
卓 上 計 算 機	重 量	420 kg
	機 能	各種統計値のプリントアウト可能
卓 上 計 算 機	使 用 電 源	単相交流 100V 50/60Hz
	消 費 電 力	0.15 kW
卓 上 計 算 機	寸 法 (高さ×幅×奥行)	340 mm × 480 mm × 178 mm (インターフェースを含む)

(110頁へつづく)

新製品紹介

ホソカワ/フィッツ フ イ ッ ツ ミ ル

—食品・医薬品等の整粒，スラリー用に最適な粉碎機—

ホソカワミクロン(株)*

1. 概 要

ホソカワ/フィッツ フィッツミルは弊社が世界でも有名な粉体化学機械のメーカーである米国のフィッツ社(FITZ PATRICK)と技術提携を行なった粉碎機です。

永年に亘って開発されて来たフィッツミルは医薬品、工業薬品、食品等の整粒粉碎、解砕用として数多くの実績をもっております。

特に製品要求粒度の範囲の狭い場合の整粒には最大の能力を発揮します。微粉の発生が少なく、粒度の整った製品が得られます。粉碎時の発熱が少ない為、弱熱性物質の粉碎にも最適です。その上ハンマー部の両面が使用でき、回転方向及びロータ速度も簡単に変える事ができますので、2～3種のスクリーンを持つ事により、粗砕・中砕・微粉碎と1台の粉碎機によって用途に応じた使い方も可能です。

乾式粉碎はもとより、湿式粉碎用としても使用できるなど数多くの特長をもった粉碎機です。

2. 構 造

本機はケーシング内に用途に応じた形状のハンマー16本(DKAS 012は32本)が取付けられています。投入された原料は本機内で粉碎され、スクリーンを通して本機下部から取出されます。

本体はボルトで架台に取付けられており、ボルトの脱着によって本体を反対方向に変える事ができます。

主軸両端の3段プーリーはモーターと組み合わせでそれぞれ多段変速できるようになっています。

シャフト、ハンマー又はローターがスプラインによるはめ合いになっていますので、ハンマーの取付角度の変更は容易です。

又安全装置としてリミットスイッチが取付けられてお

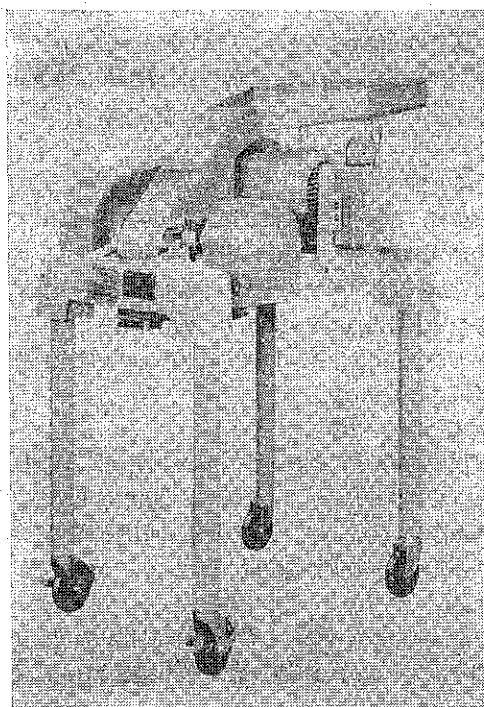


Photo. 1

り、シュート部を完全にセットしない限り稼動できないようになっています。

●スロート、ホッパー：ステンレス鋼SUS304です。

●スクリーン：ステンレス鋼SUS304です。

1, 2, 3, 5, 8, 15%φ

5, 10, 18%角が標準です。

他にメッシュのものもあります

●シャフト、ハンマー：ステンレス鋼SUS400シリーズの焼入れ品です。

●ケーシング：ステンレス鋼SUS304です。

標準材質は上記の通りですが、他の材質の製作も可能です。

*ホソカワミクロン株式会社

(〒573 枚方市招提田近1-9)

Tel. (0720) 55-2221代

Table 1 標準仕様

		DKAS 06	DKAS 012
所要動力 (kw)		5.5×4 P	11×4 P
回転数 (r. p. m)		1000~4600 (60Hz) 840~3830 (50Hz)	1000~4600 (60Hz) 840~3830 (50Hz)
ハンマー本数 (本)		16	32
ハンマー形式		ハンマー固定	ハンマー固定
概略重量 (kg)		380	460
概略寸法	A%	760	940
	B%	1070	1270
	H%	1635	1730

3. 特 長

- 微粉の発生が少なく、粒度のそろった製品が得られます。
- 粉碎時の発熱がほとんどありません。
- 所要動力に比して処理能力は大であります。
- 乾式、湿式何れにも使用できます。
- 可搬式で、移動が簡単です。
- シャフト、ハンマー又はロータがスプライン式の為、分解・清掃が容易です。
- 3段プーリーの組み合わせで3種の変速ができる為、巾広い粒度選定が可能です。
- 数種のハンマー、スクリーンを目的に応じて容易に交換できます。

4. 仕 様

現在フィッツミルは2機種標準としてあり、それらの仕様を Table 1 に示しました。なお、ハンマー、スロートおよびスクリーンは用途に応じて色々取替えることができ、photo. 2~photo. 4 にそれらの代表的な形状のものを示しました。

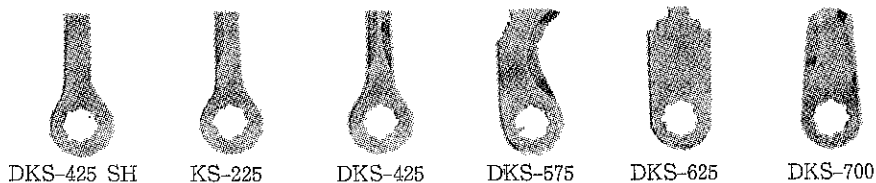
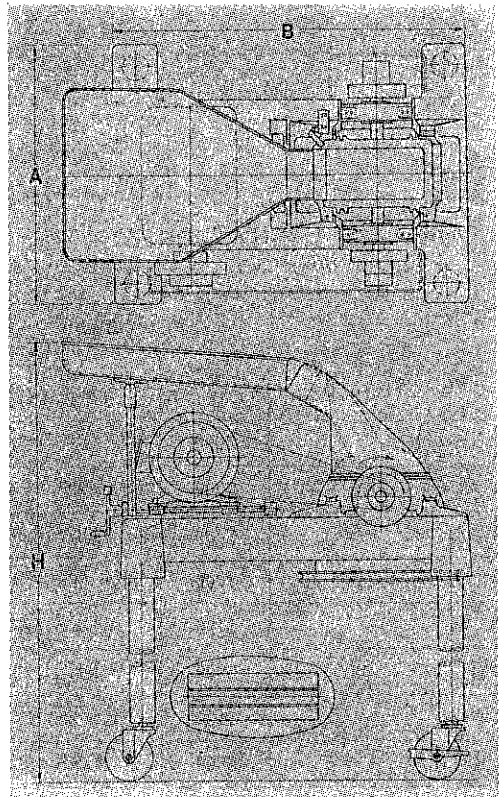


Photo. 2 用途に応じて使い分けるハンマーの形状

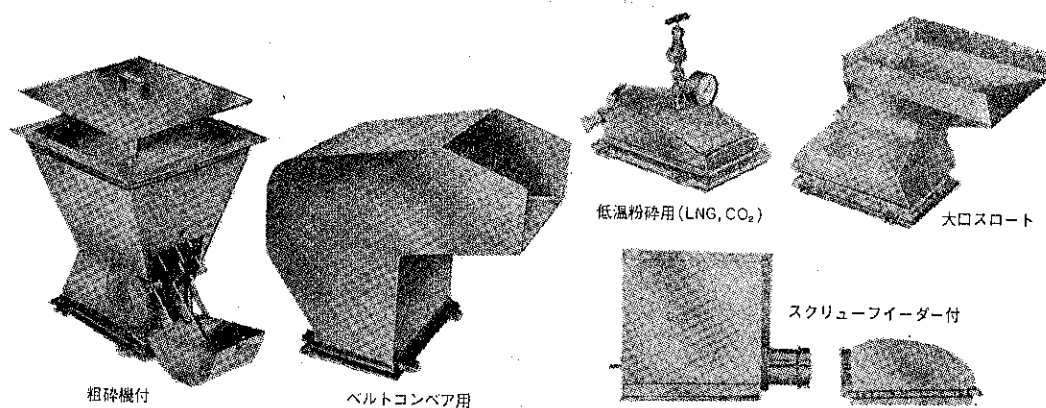


Photo. 3 スロートの各種形状

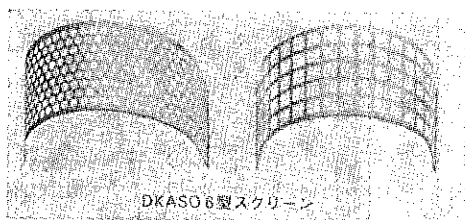


Photo. 4 スクリーンは丸孔、角孔、メッシュのものがあります。

5. 適用例

ホソカワ/フィッツフィッツミルの適用例を Table 2 に示します。

なお弊社試験所にフィッツミルテスト機 (DKASO 6 型) を常設しておりますので、テストにより御判断いただきたいと存じます。

Table 2 フィッツミル適用例

原 料 名	回転数 (r. p. m)	ハンマー (型式番号)	スクリーン (mmφ)	処理能力 (kg/Hr)	原料粒度	製品粒度及び目的
とうがらし	4600	DKS-625	3.0	300	—	スムーズ
コーヒ(フリーズドライ)	6000	DKS-225 フラット	0.5	140	—	—325 Mesh
みかん	2400	DKS-625	25	1200~1300	—25%φ	スラリー状
酸化アルミニウム	3000	DKS-225 フラット	5.0	550	80%かたまり	分散・ほぐし
肥 料	1100	DKS-425	8.0	600	+ 6M	—16 Mesh
CMC	6000	DKS-125	1.0	80	+20M	—20 Mesh
イオウ	1100	DKS-225 ナイフ	13.0	910	13%φ	—4 Mesh+10 Mesh
ユリヤ樹脂	6000	DKS-125	2.0	330	—	—50 Mesh

拡がりゆく ホソカワ/ミクロンNXミキサの用途

—NXV型ミキサの応用例を中心に—

ホソカワミクロン株式会社*

1. はじめに

NXミキサは逆円錐形の混合槽の内部に自転、公転するスクリュウを持ち、粉体材料（または湿潤材料）に上昇、公転、下降の運動を与え、混合、均質化を行う容器固定型（機械攪拌型）混合機です。

本機は発売以来納入台数2,000台を超え、飼料、農薬（タルク、クレーに原体の添加）、食品、顔料、染料（ロット調整、調色）、合成樹脂、窯業、セメント、壁材（混合、ロット調整）、医薬品等各種工業に多く利用されております。

近年単なる混合機としての役割だけでなく、その混合の機構を生かして造粒、加熱、冷却、乾燥、反応機としての役割をも担って、省力化に貢献し、本機の適用範囲をますます拡げております。

本稿では加圧または減圧操作が可能である耐圧型NXミキサ、NXV型について代表的な適用例を中心に紹介してみましょう。

2. NXV型 ホソカワ/ミクロンNXミキサの構造

Photo. 1にホソカワ/ミクロンNXミキサ（NXV-15）の外観を示しました。

混合槽内部の構造は通常のNXミキサと同一であります。使用圧力（加圧または減圧）およびジャケットの有無、ジャケットの圧力、所要動力等により缶体材料の板厚、シール機構、モータ動力等その都度設計いたしております。

現在到達真空度20 Torr、有効容積6000ℓ（NXV-60）まで納入実績がございます。

*ホソカワミクロン株式会社
（〒573 枚方市招提田近1-9）
Tel. (0720) 55-2221代

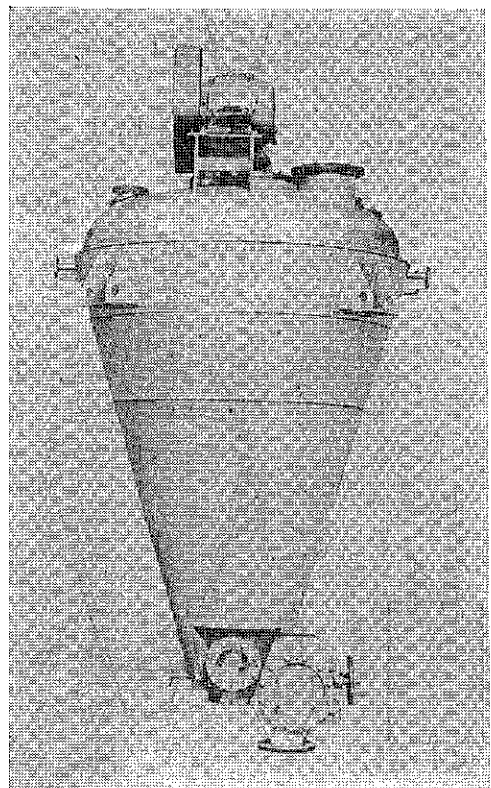


Photo. 1 NXV型ミキサ（NXV-15）

3. NXV型ミキサの応用

Fig. 1にNXV型（真空タイプ）の一般的なフローを示しました。

V型混合槽に仕込まれた材料（粉粒体、又はスラリー状材料）は自、公転するスクリュウにより壁面に強制的に押しつけられ、そこにおいて熱交換が行われます。このような作用が繰返し連続的に材料に加えられる結果伝熱効率は高く、迅速な熱交換が行なわれます。蒸発潜熱

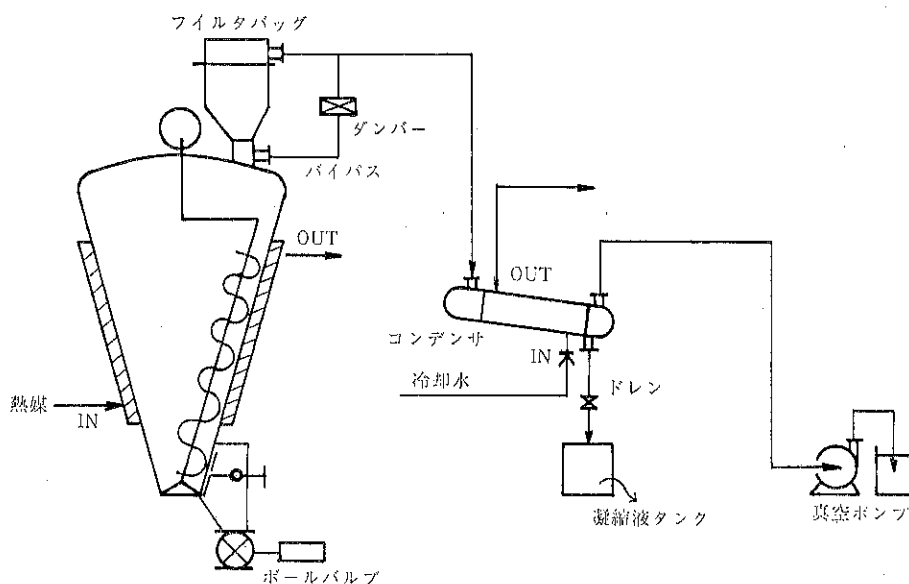


Fig. 1 NXV型ミキサの一般的フロー

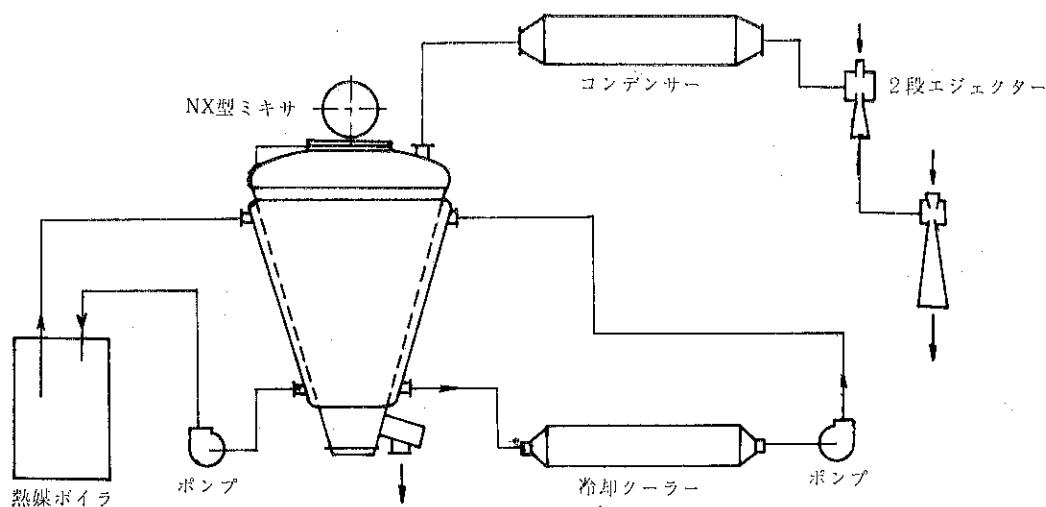


Fig. 2 有機薬品真空乾燥冷却装置のフロー

を得て蒸気となった材料中の湿分はバッグ（フィルタ）部で同伴した材料を除去した後、コンデンサ部で凝縮液として回収されます。真空ポンプは常に減圧に保たれるようにされています。

●真空乾燥、および冷却、結晶化を目的とした用途

Fig. 2 に有機薬品の真空乾燥冷却装置のフローを示しました。

本装置はNXV型ミキサで原料を加熱し、原料中に含

まれる有機溶剤を回収し、次に冷却して有機薬品を乾燥、結晶化させたものであります。即ち、有機溶媒（ベンゼン系）を含む材料をNXV型ミキサに仕込み、ジャケットに熱媒体を送り、ミキサ内を約200℃に加熱します。有機溶剤は蒸発し2段エンジェクターで吸引され、コンデンサで凝縮して回収されます。乾燥が終了すればジャケットの熱媒体は冷却用熱媒に切替えられ冷却を行い、結晶化した有機薬品が得られます。

●加圧操作を伴う真空乾燥の応用例

食品の殺菌工程と乾燥工程をNXV型ミキサで行うことを目的とした応用例で良好な結果が得られました。

材料をNXV型ミキサ槽内に投入、拌挽しながら機内およびジャケットに加圧蒸気を導入し、材料を加圧状態で加熱して殺菌します。その後、槽内を除々に減圧にしていき、材料中の湿分を蒸発させて材料を乾燥させます。

●反応器としての応用

加熱、冷却等の熱的操作を加え機内で化学反応を起させ、粉末製品として回収する適用例がございます。

高級脂肪酸と金属塩等を混合槽内に投入し、拌挽しながら加熱溶融し、化学反応を起させた後冷却します。材料状態は粉末→スラリー→塊状→粉末と変化し、最終的には数mm以下の粉粒体として回収されます。ただし、スラリーから塊状になる過程で粘度が非常に大きくなるため回転所要動力が大となるので注意が肝要です。

●イナートガス中での混合等の操作を行う場合

空気中では酸化反応等で発熱する場合、酸化反応をできるだけ抑止したい場合、又固気反応を槽内で起させる場合にもNXV型ミキサは一適用できます。

例えばカイロ灰、赤リン等の空気中で激しく反応するものの混合の場合機内にN₂ガス等のイナートガスを導入し、その雰囲気下で混合、加熱、冷却等の操作を行っております。

●脱気を目的とする場合

品質管理上スラリ、又はペースト中の気泡をできるだけ少くするため真空脱気操作を本機で行うことができます。すなわち、固体材料の混合だけでなく固液材料の混合、攪拌もNXミキサでは性能良く行うことができ、槽内を真空にすることにより材料中の気泡をも少くすることができます。

なお、NXV型ミキサの納入例をTable 1に示しました

4. NXV型ミキサの特長

1) 熱効率が低い。

2) 所要動力が少い、

NXV型ミキサを他の真空乾燥装置と置き換えることにより製品コストを約30%ひき下げた実績があります。

3) 製品の排出が容易で、残留量が少ない。

4) 水洗が簡単であります。従って品種替が容易に行

Table 1 NXV型NXミキサ納入実績の一例

業 種	型 式	原 料 名	用 途	備 考
食 品	NXV-20	食 品 原 料	脱 気, 混 合	混合比 1/10000
	NXV-6	チョコレート	殺 菌, 乾 燥	
	NXV-20	果 汁 粉 末	乾 燥	
	NXV-40	澱 粉	加 圧	空 気 輸 送
薬 品	NXV-60	医 薬 品	乾 燥	溶 剤 回 収
	NXV-35	医 薬 品	混 合	N ₂ 置 換
	NXV-20	有 機 薬 品	乾燥, 結晶化, 冷却	
金 属	NXV-15	酸 化 鉄	乾 燥	溶 剤 回 収
	NXV-35	赤 リ ン	混 合	N ₂ 雰 囲 気
樹 脂	NXV-60	熱可塑性樹脂	乾 燥	有機溶剤回収
	NXV-6	ナイロンチップ	乾 燥	
	NXV-6	樹 脂	乾 燥	溶 剤 回 収
染 料	NXV-20	染料中間物	反応, 結晶, 乾燥	
	NXV-20	染料中間体	乾 燥	溶 剤 回 収
	NXV-15	染 料	乾 燥	溶 剤 回 収
農 業	NXV-20	農 薬	乾 燥	溶 剤 回 収
その他	NXV-30	塩 化 物	混 合	N ₂ 雰 囲 気

えます。また、メンテナンスも容易に行えます。

5) 空気遮断部が少ない。従って空気のリーク量も少く、真空度の安定した状態が保たれます。また、真空ポンプ自体の容量も少くて、省エネルギー面で有効であります。

6) 工程の簡略化が図れます。

NXV型ミキサだけで混合、反応、乾燥、晶析、冷却等の工程が行なえ、工程が簡略になります。

5. おわりに

NXV型ミキサの用途の一端を紹介してまいりましたが、まだまだ適応分野は広がっていくものと確信いたしております。そのためには需要家各位の御指摘、御指導をお願いする次第でございます。

なお、弊社試験所にテスト機としてNXV-3型ミキサを常設しておりますので御検討いただきたく存じます。

特許一言メモ

No. 22

審査請求

特許法が改正され、公開公報が出されるようになったのは昭和46年中頃からである。この公開公報に「審査請求有」とか「……無」とかの記載があるが、これは、その公開時点で審査請求がなされたか否かを示している。そして「……有」は審査官のテーブルで既に審査の順番待ちをしていることになり、「……無」は審査のテーブルに並んでいないことを示している。そして、審査請求

の期限はその出願から特許の場合は7年以内、実案の場合は4年以内と規定されている。

なお、出願はしたが審査請求はしないというのもあり、たとえば昭和53年中に請求期限の切れた昭和46年特許出願の審査請求率は70.4%、同じく昭和49年実用新案出願の審査請求率は66.1%であった。(M.N生)

(103頁のつづき)

重	量	10 kg (インターフェースを含む)
付帯装置		
供給機 (フーロトロンAV-1)		
使用電源	単相交流	100V 50/60Hz
消費電力		0.2 kW
コンプレッサー	使用電源	単相交流 100V 50/60Hz
	消費電力	0.2 kW
	最大使用圧力	5 Kg/cm ²
	吐出空気量	25 l/min

寸法	514mm×609mm
(高さ×幅×奥行)	×250mm
重量	25 kg
集塵機 (キャビネットコレクターDC-60)	
使用電源	三相交流 200V 50/60Hz
消費電力	0.75 kW
濾過面積	6 m ²
寸法	840mm×560mm
(高さ×幅×奥行)	×630mm
重量	90 kg

(注) 生産プラントとのオンライン接続については御相談に応じます。

ホソカワ ニュース

○チーフエンジニア制の導入

昭和54年12月21日、当社技術、営業・管理部門のスペシャリスト養成のためチーフエンジニア制を導入しました。これは、関連会社を含めた各部門から応募者の自由申請と試験により知識、技術、経験が特に優れたエキスパートのみに授与されるものです。

○未来問題研究会発足

昭和55年3月1日北大阪商工会議所において、未来問題研究会が開かれました。この委員会は、未来の新しい技術を求めて粉体関連分野を中心に、その周辺技術の動向及び適用について研究討議し、知識を広げ技術革新、研究開発へのステップにしていこうとするものです。

○株式会社トーメンと販売代理店契約締結

昭和55年3月28日、当社は株式会社トーメンとの間で各種粉体処理設備全製品の国内販売代理店契約を締結しました。これを機会に同社は全国的に関連業界に販売を開始しました。

○台湾向け排ガス集塵装置成約

昭和55年5月、当社は台湾の国営製鉄会社である中国製鋼からライムキルンの排ガス集塵装置を受注しました。同装置の国際入札では日、米、欧、三つどもえの競合となりましたが結局、技術力と国内や台湾における納入実績が評価されての受注となりました。

○技術調査団渡米

昨年に引き続き、昭和55年5月11日～24日までの2週間、田中第二事業本部長、細川副本部長及び関連会社のホソカワインターナショナル岡嶋専務他の技術調査団が渡米しました。この調査団は米国の各技術提携先の視察と技術調査を行ったあと、シカゴで開催のパウダーショーを見学しました。同展では提携先のマイクロパル社より分級機、ミクロンセパレータを出展しました。

○'80食品工業展出席

とき 昭和55年6月3日～7日

ところ 東京晴海・東京国際貿易センター

小間数 4小間

当展示会は、食品関連機械装置の総合専門展示会であり、当社は昨年新たに技術提携を行った米国フィッツパトリック社の粉砕機（フィッツミル）、流動乾燥機（フ

リドベッドドライヤ）、及び乳化工機（デイスパミル）の実物展示と連続製麺加温装置などをパネルで展示しました。期間中具体的商談も多く非常に盛況でした。

○ソ連向け粉体処理技術と装置成約

昭和55年7月8日 当社はソ連の全ソ・ライセンス公団と研磨砥石製造用の磁器質結合材の粉体処理技術（ソフト）と同装置（ハード）の両方について輸出成約しました。この契約はソフトとハードの二本立て受注であるところに特長があり、関係業界から注目されています。

○機構改革

昭和55年7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。

従来のユーザー別による二事業本部制を廃し、大阪事業本部、東京事業本部の二地域別事業本部制に改組のほか、新たにプロジェクト本部、技術本部、企画本部を設けました。

○粉体技術講演討論会開催

昭和55年8月6日、当社において「第14回粉体工学に関する講演討論会」が開催されました。今回のテーマは「続・粉体の力学的特性の測定とその応用」で、全国各地より70名が参加され、盛況裡に終了しました。

○ホソカワミクロン株式会社に社名変更

株式会社細川鉄工所は、昭和55年8月11日から社名を「ホソカワミクロン株式会社」に変更しました。

細川鉄工所の社名は、長い間皆様方から馴染まれてきましたが、現在の業務内容の中心が粉体処理設備全体のエンジニアリング志向に変わり、実情に合わなくなってきたためであります。これを契機に、「技術のホソカワ、世界のホソカワ」として更に技術の向上と国際化を一層推進してまいります。

○東京支店移転

昭和55年8月11日、当社は東日本地域での販売強化と業務拡大のため、東京支店を従来の港区虎ノ門から豊島区東池袋サンシャイン60の30階に移転いたしました。

（新住所）東京都豊島区東池袋3丁目1番1号

サンシャイン60内、郵便局私書箱1137号

（郵便番号）170

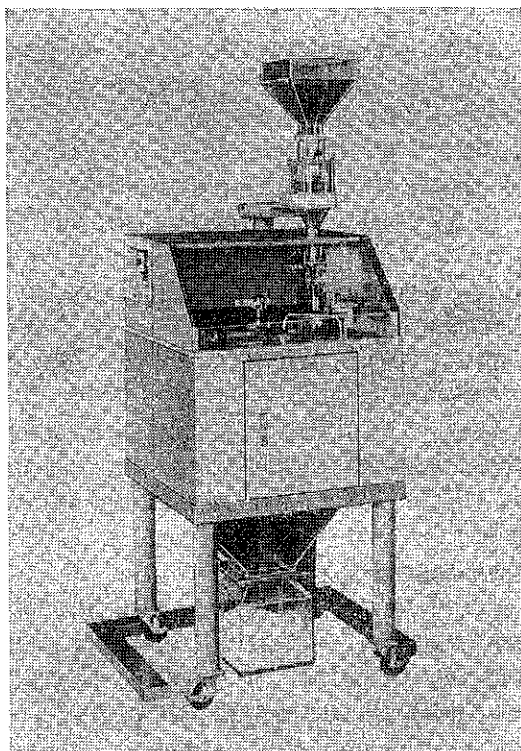
（電話番号）営業 03-986-8661（代）

技術 03-986-8681（代）

（テレックス）272-2020

○新製品 ホソカワ/ミクロン ミクロンチェッカ発売開始

昭和55年9月、当社は連続カサ密度測定機、「ミクロンチェッカ」の発売を開始しました。同装置は粉体の物性を掌握するのに最も適切なカサ密度の全自動、連続測定を行うもので、生産ラインと接続すれば省力化効果が一層増大するものとして期待されています。



○マイクロバル社のセールスカンファレンス出席

昭和55年9月19日～21日の間、当社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、社長及び関連会社であるホソカワ・インターナショナルの小林営業部長が出席いたしました。

○'80粉体工業展出張

とき 昭和55年9月22日～26日

ところ 東京晴海・東京国際貿易センター

小間数 21小間

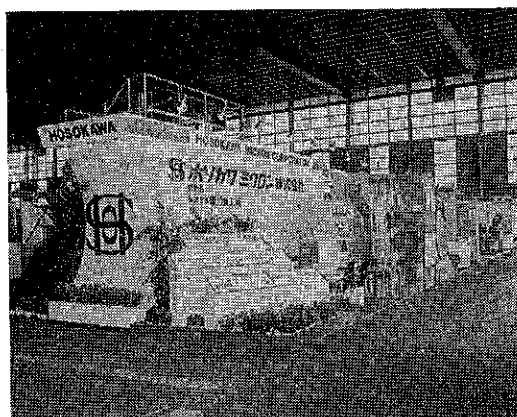
当展示会は日本粉体工業協会、化学工学協会、日本能率協会など5団体の共催により、1年おきに開かれているもので今年は第3回目にあたります。特に、粉体技術の粋を一堂に集めた専門展示会としては世界最大規模のものであります。

当社は、出品参加各社の中で最大の21小間にオリジナル製品をはじめ、技術提携製品など多数の機器を出展し、引合件数も多く非常に盛況でした。

(出品機種)

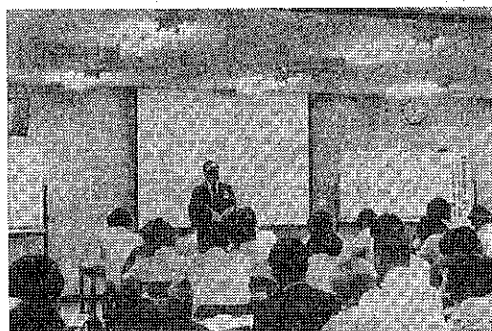
- ①超微粉碎機 スーパーミクロンミル M202NC型
- ②微粉碎機 ACMパルベライザ ACM-30型
- ③微粉碎機 ファインビクトリミル FVP-8型
- ④粉碎機 フィッツミル DKA06型
- ⑤粉碎機 " DKA012型

- ⑥分級機 スーパーセパレータMSS-1型(実演)
- ⑦分級機 ミクロンセパレータ MS-3型
- ⑧乳化機 ディスパミル D-2型
- ⑨混合・乾燥機 NXミキサ NXV-3型
- ⑩流動乾燥機 フリッドベッドドライヤ FA-75型
- ⑪造粒機 チルソネータ IR1.5×8型(実演)
- ⑫架橋防止機 ビンアクチベータ BA-4型
- ⑬供給機 ヘビィデューティフィーダ VDH-3型
- ⑭集塵機 パルスエア CP-25-8ビンマウント型
- ⑮試験用篩分機 ミクロンウオシープ(実演)
- ⑯連続カサ密度測定機 ミクロンチェッカ(実演)
- ⑰吊下式粉体層付着力測定機 コヒテスタ(実演)
- ⑱粉体特性測定機 パウダテスタ(実演)



○大阪地区営業技術研修会議開催

昭和55年9月26日～28日 兵庫県六甲山のYMCA研修センターにおいて大阪地区の当社及び関連会社の営業、技術関係者が参加して、昭和55年度営業技術研修会議が行われました。この会議は新社名、ホソカワミクロンへ変更を契機として更に今後ともますます研鑽に励み、その知識と技能を日常業務に反映していくことを目的としたもので、非常に有意義でありました。



○東京地区営業技術研修会議開催

昭和54年11月7日～9日、静岡県のラフォーレ修善寺において東京地区の当社及び関連会社の営業、技術関係者の研修会議が行われました。この会議は、営業、技術関係の基礎知識、基本技能の向上を通じて、名実共に「技術のホソカワ、世界のホソカワ」としての実体を確立していくことを目的としたもので、非常に有意義でありました。

“粉碎”誌編集委員会

編集委員会査読委員

査読委員長	大阪府立大学名誉教授	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
“ ”	静岡大学教授	狩野 武氏
“ ”	名古屋大学教授	神保 元二氏
(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に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せたもの。

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。実費にてお頒けいたします。

4) 掲載済み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。粉体工学に係る研究報告、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56年10月末日

原稿締切 昭和56年7月15日

編 集 後 記

編 集 部

※本誌も昭和32年創刊号発行以来25号を数え、誌面も充実してまいりましたが、これも偏に諸先生方および読者諸兄のお蔭と関係者一同感謝いたしております。

※中東の戦火はいまだくすぶり続け、脱石油、省エネルギーの声は一段と強まっているように感じられる昨今、本誌の関連記事が参考になれば幸であります。（F.N）

“粉 碎” No. 25 1980年 (非売品)

昭和55年12月15日 印刷

昭和55年12月20日 発行

編集発行責任者 横 山 藤 平

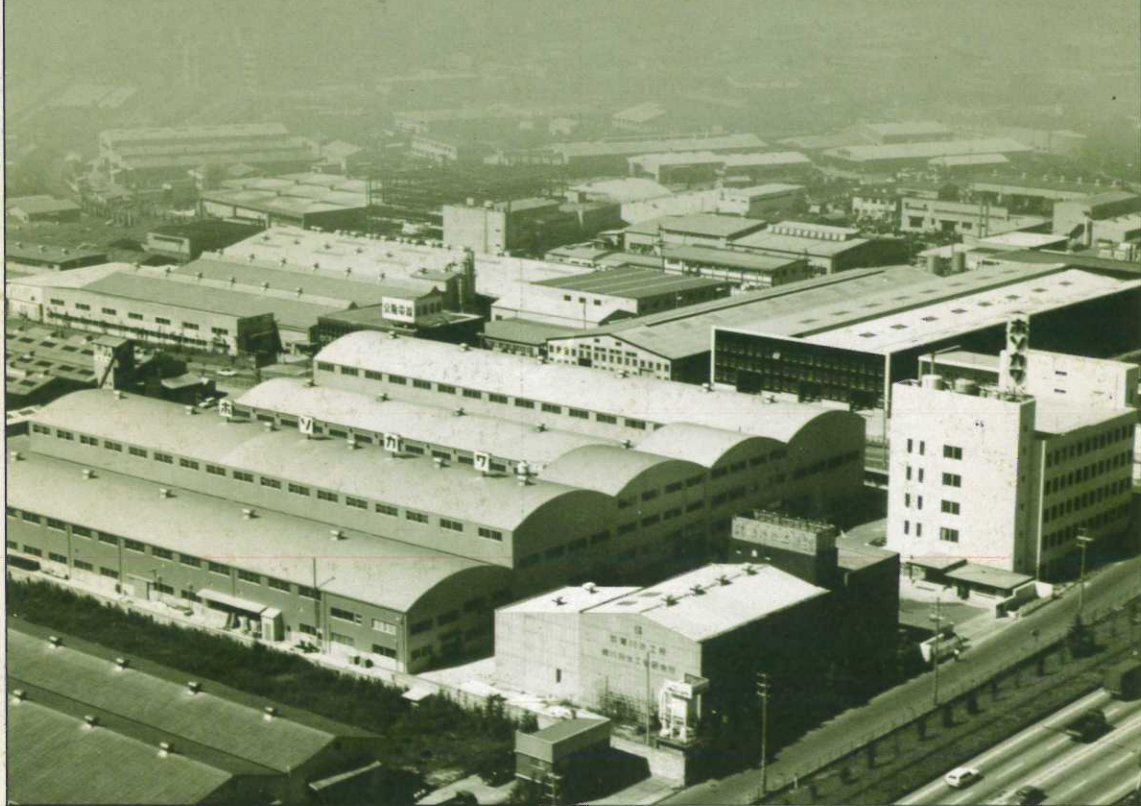
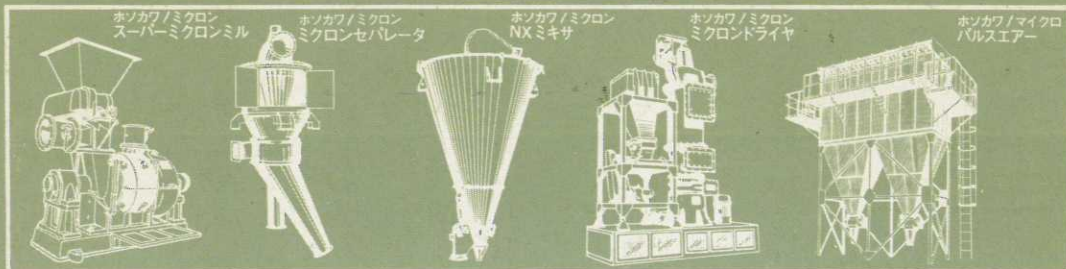
発行所 細川粉体工学研究所

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

システムで拓く粉体技術



粉体技術の**ホソカワ**

ホソカワは、大正5年の創業以来64年、粉体技術一筋に歩み、豊かな経験と確かな技術で、粉体化学機械の『専門化』を目指してきました。この経験を生かして、80年代の多様化するニーズに対応するため、粉碎、分級、混合、乾燥、集塵など各粉体処理単一操作技術の総合化によるシステム化を更に推進しております。

(旧社名 株式会社細川鉄工所)

ホソカワ ミクロン 株式会社

〒573 大阪府枚方市招提田近1丁目9番地
電話/枚方(0720)55-2221

●東京支店を下記の住所に移転いたしました●
〒170 東京都豊島区東池袋3丁目1番1号
サンシャイン60 電話/東京(03)986-8661

大韓民国駐在員事務所——大成産業株式会社
SEOUL特別市鐘路区貫鉄洞43-4 TEL.75-6451~5

中華民国駐在員事務所——源祥貿易股份有限公司
台湾省台北縣板橋市文化路1段223 TEL.961-4027